

SYSTEM EKSPERTOWY DAX WSPOMAGAJĄCY PLANOWANIE EKSPERYMENTU

ZBIGNIEW POLAŃSKI, JACEK PIETRASZEK, ROMA GÓRECKA

EXPERT SYSTEM DAX FOR DESIGN OF EXPERIMENTS

Abstract

The expert system was developed for design and analysis of experiment DAX-Expert 4.4 (Design and Analysis of eXperiment) - standard implementation for personal computer with Microsoft Windows 32-bit operating system. A base of inference procedure in rule-driven system DAX-Expert is new concept of identifiers for experimental design ($ID := DIN, bDIN, key$) and identifiers of conditions and target of experiment ($IEx := myDIN, keyDIN, xbDIN$). System's knowledge base contains base of rules (meta-rule: IF ($IEx = ID$) THEN (design recommendation)) and base of designs (720 designs). The interface of the DAX-Expert system makes possible widely commented dialog session and then adaptation of chosen experimental design including export to STATISTICA system. There is possible standard searching of the experimental design base also.

1. SYSTEMY EKSPERTOWE – POJĘCIE I ZASTOSOWANIA

System ekspertowy (eksperecki, doradczy) to program komputerowy do rozwiązywania problemów (zadań) z określonej dziedziny wiedzy, które zwykle zleca się człowiekowi pełniącemu rolę eksperta. Oprogramowanie typu system ekspertowy, należy do obszaru sztucznej inteligencji. Znaczenie i rozległość zastosowań metod sztucznej inteligencji są już aktualnie bezsporne. Można jednak zauważyć interesujące trendy, widoczne w przypadku porównania dwóch poważnych dziedzin sztucznej inteligencji: sieci neuronowych i systemów ekspertowych. Globalnie świat ekspozuje zdecydowanie problematykę systemów ekspertowych; natomiast u nas w kraju zagadnienia

sieci neuronowych są raczej porównywalne z systemami ekspertowymi. Szczególnie jest to widoczne w Internecie; przykładowo: frazie *expert system* globalnie odpowiada 3850000 lokalizacji stron, a frazie *neural networks* tylko 668000 (Google, 8.05.2003 r.) – ponad pięciokrotnie mniej. Ale już przeszukiwanie w kategoriach języka polskiego daje rezultaty porównywalne (ok. 4000 stron). Można mieć oczywiście zastrzeżenie, że Internet niekoniecznie musi być reprezentatywny – niemniej prawo wielkich liczb działa i wspomniane liczby dają do myślenia. Podobnie brak jest większej liczby, aktualnych polskich monografii, artykułów naukowych – nie wspominając już o całkowitym braku – praktycznych podręczników z dziedziny systemów ekspertowych. Tymczasem w języku angielskim sytuacja jest odwrotna; tylko jeden przy-

Z. Polański, R. Górecka: Instytut Technologii Materiałów; J. Pietraszek: Pracownia Systemów Inżynierii Wiedzy, Instytut Informatyki Stosowanej, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

kład: *The Handbook of Applied Expert Systems* (Liebowitz, 1998); notabene: 35 rozdziałów napisanych przez międzynarodowy zespół 45 autorów.

Struktury systemów ekspertowych mogą być bardzo zróżnicowane; najogólniej wyróżnić można trzy podstawowe moduły (przedstawione na rysunku 3) występujące w typowym, regulowym systemie ekspertowym:

- (1) *Baza wiedzy* (baza reguł i baza faktów).
- (2) *Procedury wnioskowania* w połączeniu ze strategiami poszukiwania.
- (3) *Interfejs* (edytor dialogu, ekspertyzy i informacji objaśniających oraz opcje modyfikacji systemu).

Należy też od razu stwierdzić, iż już od lat siedemdziesiątych wiadomo, że dominujące znaczenie ma tu jakość bazy wiedzy zawartej w systemie, a nie – nawet najbardziej finezyjne – procedury wnioskowania (wnioskowanie w przód, wstecz, rozmyte etc.). Pogląd ten wyraża lapidarne stwierdzenie (Mulawka, 1996, s. 21): *more knowledge less search*; można je uzupełnić prostą zasadą GIGO: *garbage in garbage out!* A to oznacza, iż w projektowaniu systemów ekspertowych, pomimo iż jest to *de facto* program komputerowy, nie decyduje kod źródłowy programu, lecz zagadnienia akwizycji i reprezentacji wiedzy. Nie są to jednak zagadnienia standardowego obszaru informatyki, lecz specyficznej jej dziedziny – inżynierii wiedzy. W żadnym jednak przypadku nie oznacza to deprecjonowania znaczenia metod wnioskowania, lecz wymóg równowagi pomiędzy jakością bazy wiedzy a jakością metod – ze wskazaniem na bazę.

Rozwijały się też początkowe nadzieje na utworzenie uniwersalnych systemów ekspertowych rozwiązujących każdy problem (*General Problem Solver*). Mniej więcej od lat 80. tworzone są – i znajdują szerokie zastosowania – systemy ekspertowe odnoszone do, raczej wąskich, lecz gruntownie reprezentowanych wielu dziedzin wiedzy specjalistycznej.

2. SYSTEM DAX-EXPERT

System DAX-Expert 4.4, opracowany w ramach projektu KBN nr 8.T10C.008, stanowi właśnie system ekspertowy obejmujący specjalistyczną wiedzę z dziedziny planowania i analizy eksperymentu (inaczej: stosowanej teorii eksperymentu). Przesłanki uzasadniające celowość utworzenia systemu DAX-Expert, w skrócie można określić następująco:

- (1) Badania empiryczne (eksperymenty) cechują prawie zawsze – w porównaniu z badaniami teoretycznymi – **znacznie wyższe koszty**. Poziom kosztów, zwłaszcza w obszarze badań stosowanych, nie może być ignorowany. To właśnie dążenie do obniżania kosztów badań doprowadziło do powstania, już w latach 20. ubiegłego wieku, dyscy-

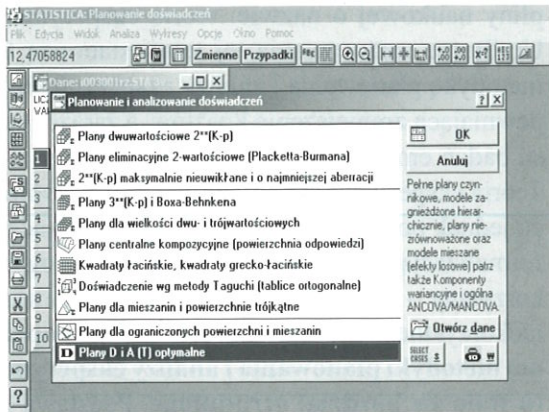
pliny naukowej o nazwie: teoria eksperymentu. Utylitarne zastosowania tej teorii stanowią tzw. metodykę planowania i analizy eksperymentu zapewniającą zmniejszenie kosztów, a zarazem czasu badań empirycznych.

- (2) Teoria eksperymentu podlega stałemu rozwojowi, co jednak połączone jest ze stale zwiększającą się formalizacją matematyczną. Trend ten – ogólnie korzystny – spowodował jednak nieoczekiwane, niekorzystne konsekwencje: **stosowanie poprawnej metodyki planowania i analizy eksperymentu stało się bardziej utrudnione**. Podstawą metodycznie poprawnego eksperymentu jest *plan eksperymentu, który badacz powinien umieć wybrać*. Rzecz w tym, iż powstało wiele planów, a każdy z nich posiada odmienne i dość złożone cechy decydujące o przydatności planu w odniesieniu do specyficznych celów i warunków konkretnego eksperymentu np. plany D- optymalne *minimalizują objętość elipsoidy koncentracji rozkładu ocen współczynników funkcji aproksymującej*. Badacz, specjalista w swojej dziedzinie, traktujący, zresztą całkiem słusznie, teorię eksperymentu jako *narzędzie pomocnicze* nie będzie zdolny do wyboru planu doświadczenia bez rzetelnej znajomości ... teorii eksperymentu. A to z różnych względów nie każdemu odpowiada i stanowisko takie należy akceptować. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku analizy wyników. Statystyczne metody są raczej łatwe obliczeniowo – problemem może być jednak ... wybór samej metody, łącznie z dostępną już aproksymacją neuronową.

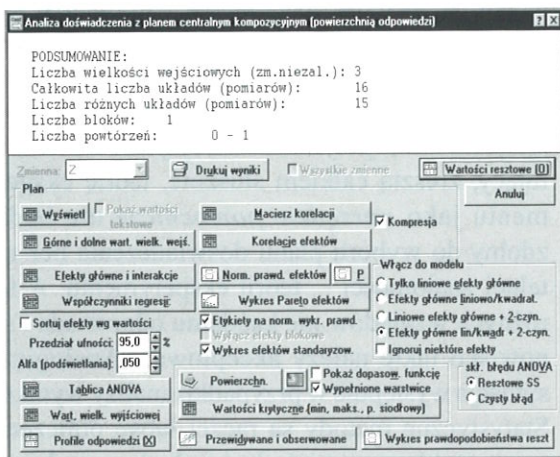
- (3) Wbrew częstemu przekonaniu, problem planowania i analizy eksperymentu nie został **zadowolająco i do końca rozwiązany** przez – powszechnie już dostępne **programy komputerowe** grupy CADEX/DOE (ang. Computer Aided Design and analysis of Experiments/ Design of Experiments) np. programy STATISTICA, DESIGN-EXPERT itp. Programy powyższe oparte są na koncepcji prezentacji różnych planów eksperymentu i metod analizy wyników, spośród których *użytkownik programu musi dokonać wyboru* (przedstawione na rysunku 1).

W podobny sposób prezentowane są rozległe możliwości statystycznej analizy wyników pomiarów, co widać na rysunku 2. Komputer szybko liczy, ale *badacz wskazuje co ma liczyć* i, co ważniejsze, musi umieć właściwie odczytać i zinterpretować wyniki obliczeń.

Retoryczne pytanie: *A jeżeli wybór planu eksperymentu i metody analizy wyników pomiarów był od początku błędny?* – prowadzi do istotnej konkluzji: istnieje uzasadniona potrzeba utworzenia systemu



Rysunek 1. Program STATISTICA wymaga wyboru planu eksperymentu z prezentowanej listy planów.
Figure 1. Program STATISTICA requires selection of the plan of the experiment from the attached list.



Rysunek 2. Użytkownik programu STATISTICA sam ustala metody statystycznej analizy wyników pomiarów.
Figure 2. User of the STATISTICA software selects himself the methods of the analysis of results of experiments.

ekspertowego typu doradczego (*advisory*) w dziedzinie planowania i analizy eksperymentu.

Utworzony system ekspertowy DAX-Expert 4.4 zapewnia poprawny i łatwy dla użytkownika wybór planu eksperymentu i odpowiadającej mu metody analizy wyników, łącznie ze wskazaniem wspomagającego programu komputerowego typu CADEX/DOE - dostosowanego do konkretnej charakterystyki realizowanego eksperymentu, określonej przez badacza w toku dialogu. Koncepcja i struktura systemu DAX-Expert odpowiada typowemu, regułowemu systemowi ekspertowemu ze standardowym układem modułów, jak przedstawiono na rysunku 3 (por. p. 1).

Źródłem dziedzinowej bazy wiedzy systemu ekspertowego DAX-Expert jest przede wszystkim sama teoria eksperymentu - opisana w licznych pracach monograficznych (zob. m.in.: (Box i Draper 1987; Dean i Voss 1999; Górecka 1998; John 1998; Mańczak 1976; Myers i Montgomery 1995; Polański 1984



Rysunek 3. Koncepcja systemu DAX-Expert.
Figure 3. Idea of the DAX-Expert system.

i inne) - wspomagana przez programy komputerowe typu CADEX/DOE (m.in. STATISTICA, DESIGN-EXPERT itd.). Równoległym, szczególnie ważnym źródłem dotyczącym systemowych reguł decyzyjnych - była opinia ekspertów, specjalistów w zakresie metodyki planowania i analizy eksperymentu.

3. FORMALIZACJA WIEDZY I UŻYTKOWANIE SYSTEMU DAX

System ekspertowy DAX oparty został na ustalonej *metodzie reprezentacji regułowej*. Odpowiada to przeznaczeniu systemu, jako systemu doradczego (*advisory*), do dokonywania *najlepszego wyboru* planu eksperymentu i skojarzonej z nim metody analizy wyników pomiarów.

Zaletą reprezentacji regułowej, o trudnym do przecenienia znaczeniu, jest możliwość poważnego uproszczenia, występującego w każdym systemie ekspertowym modułu, nazywanego *maszyną wnioskującą* (*inference engine*) lub po prostu *procedurami wnioskowania*, co przedstawiono na rysunku 3. Tworząc określoną regułę (prostą lub złożoną) można w konkluzji zawrzeć wnioski - stanowiący element ekspertyzy lub nawet pełną ekspertyzę systemu. Oczywiście może się to wiązać z pewnymi trudnościami przy kreowaniu reguł. Dotyczą one takich spraw jak redundancja, reakcja na brak wartości pewnej przesłanki występującej w regule, nie wspominając o całkowitym braku przesłanki - mogącym prowadzić do zu-

pełnie nieoczekiwanej konkluzji, konieczność zachowania poprawnej merytorycznie kolejności przesłanek (zagadnienie tzw. *kontekstu*) itp.

Szersze objaśnienie koncepcji systemu DAX-Expert wymaga opisu sposobu formalizacji wiedzy z zakresu stosowanej teorii eksperymentu, a w tym opisu wprowadzonych – całkowicie nowych w teorii eksperymentu – identyfikatorów planów eksperymentu i identyfikatorów eksperymentu.

W bazie wiedzy systemu zawarto 720 planów eksperymentu, a reguły kreowania ekspertyzy wykorzystują opracowaną koncepcję identyfikatorów (deskryptorów) planów eksperymentu ID (DIN, bDIN, key) konfrontowanych – w toku kreowania ekspertyzy – z identyfikatorami eksperymentu IEx (myDIN, xbDIN, keyDIN). Wszystkie reguły zawarte w systemie DAX bazują na ogólnej *metaregule*, o postaci:

$$\text{IF } [(IEx)^e = (ID)^p] \text{ THEN } [D^{(d)} := D^{(p)}]$$

gdzie:

$(IEx)^e$ – identyfikator eksperymentu utworzony w toku *e*-sesji z systemem ekspertowym DAX-Expert generującej *e*-ekspertyzę ($e = 1, 2, \dots$),

$(ID)^p$ – identyfikator planu eksperymentu zawartego w bazie planów eksperymentu systemu DAX-Expert ($p = 1, 2, \dots, NB$),

NB – liczba planów w bazie planów eksperymentu,

$D^{(d)}$ – rekomendowany plan eksperymentu ($d = 1, 2, \dots, NP$) spełniający warunki określone przez identyfikator eksperymentu $(IEx)^e$,

$D^{(p)}$ – plan eksperymentu zawarty w bazie planów eksperymentu systemu DAX-Expert,

NP – liczba planów eksperymentu rekomendowanych w *e*-ekspertyzie.

System DAX-Expert implementowany jest na komputerach PC z systemem operacyjnym Windows (zalecane: Windows 2000/XP Professional; procesor min. PII – 200 MHz, pamięć dla programu min. 25 MB, na dysku 80 MB; rys. 4).

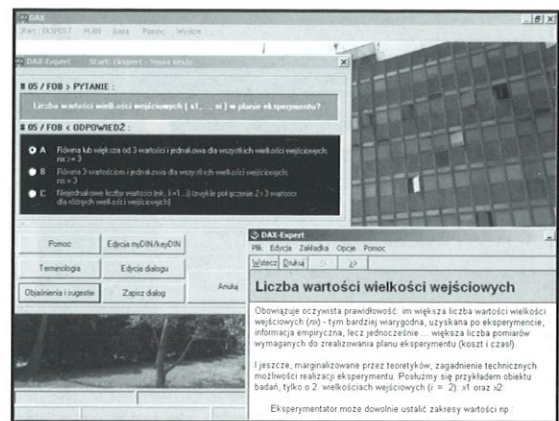
Podstawowym elementem systemu jest sesja (opcja: [Start : EKSPERT]), która obejmuje przede wszystkim dialog z systemem (wybór wariantu odpowiedzi na monitorowane kolejno pytania – rys. 5). Drzewo zapytań i możliwych odpowiedzi jest bardzo rozbudowane.

Po udzieleniu odpowiedzi na wszystkie zadane przez system pytania tworzona jest ekspertyza stanowiąca listę rekomendowanych planów eksperymentu spełniających postulaty badacza ustalone w toku dialogu (rys. 6 i 7). Dialog może być na żądanie w całości edytowany szczegółowo prezentując listę pytań i udzielonych odpowiedzi. Umożliwia to sprawdzenie poprawności dokonanej selekcji planów. Każdą ekspertyzę uzupełniają objaśnienia i sugestie dotyczące



Rysunek 4. Program - system ekspertowy DAX-Expert 4.4 (PC + Windows 2000 Professional).

Figure 4. Program - system DAX-Expert 4.4 (PC + Windows 2000 Professional).



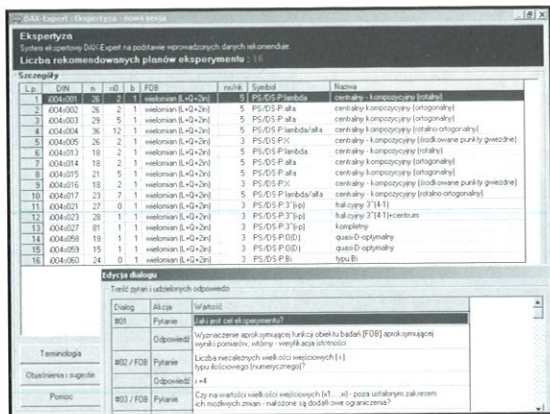
Rysunek 5. Sesja dialogowa z systemem DAX-Expert (dialog ułatwia system obszernych objaśnień i sugestii powiązanych tematycznie z każdym pytaniem dialogu).

Figure 5. Dialog session with the DAX-Expert system (wide system of explanations and suggestions connected with the topic of the question makes the dialog easier).

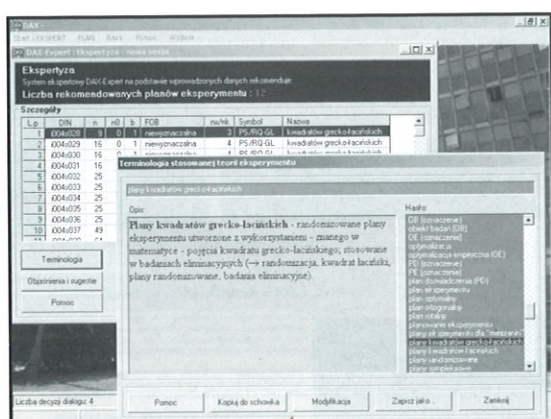
dalszego postępowania oraz bardzo rozbudowany system pomocy, który prócz tradycyjnej pomocy kontekstowej zawiera także rozszerzalny słownik terminologiczny stosowanej teorii eksperymentu oraz dwie kompletne pozycje literaturowe (m.in. Górecka 1998). Dla ułatwienia, pozycje te są na żądanie użytkownika wyświetlane w edytorze Microsoft Word, o ile jest zainstalowany na stanowisku komputerowym.

Możliwa jest szczegółowa prezentacja każdego z rekomendowanych planów, łącznie z jego pełną charakterystyką i informacjami o analizie wyników pomiarów. Ostateczny wybór planu eksperymentu dokonywany jest przez badacza, który również dokonuje jego adaptacji do warunków rzeczywistego eksperymentu i eksportuje plan do programu STATISTICA (opcja: [PLAN]) (rys. 8).

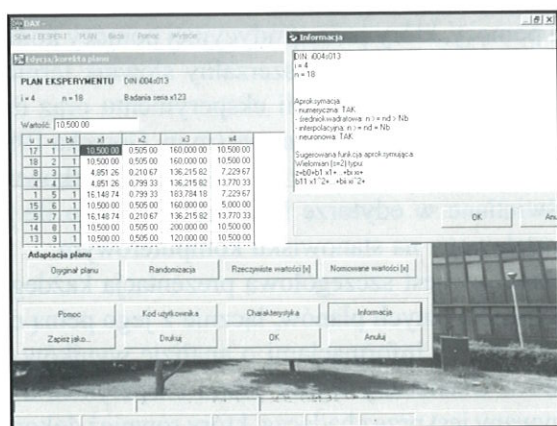
Niezależnie od obszernych objaśnień i sugestii, system DAX-Expert udostępnia specjalistyczne opra-



Rysunek 6. Ekspertyza systemu DAX-Expert zawierająca rekomendowane plany eksperymentu spełniające postulaty badacza.
Figure 6. Expertise of the DAX-Expert system containing plan of the experiment, which meets requirements of the researcher.



Rysunek 7. Ekspertyza systemu DAX-Expert zawierająca plany eksperymentu rekomendowane do badań eliminacyjnych (bez wyznaczania funkcji); problemy terminologiczne rozwiązuje słownik stosowanej teorii eksperymentu.
Figure 7. Expertise of the DAX-Expert system containing plan of the experiment recommended to the elimination phase (without determination of the function); nomenclature problems are solved by the dictionary of the applied experiment theory.



Rysunek 8. Plan eksperymentu i informacja o analizie wyników pomiarów (plan adaptuje się do rzeczywistego eksperymentu i eksportuje do programu STATISTICA).
Figure 3. Plan of the experiment and information about the analysis of the measurement results (plan is adapted to the real experiment and exported to the STATISTICA software).

cowania z zakresu teorii eksperymentu. Bardziej zaawansowani użytkownicy mogą zrezygnować z sesji dialogowej na rzecz bezpośredniego przeszukiwania bazy planów eksperymentu (opcja: [Baza]). Edycja profesjonalna systemu DAX-Expert umożliwiła modyfikację bazy planów eksperymentu polegającą na dodaniu, korekcie lub usunięciu planu.

4. PODSUMOWANIE

Utworzony został system ekspertowy planowania i analizy eksperymentów w regulowym systemie DAX-Expert 4.4 (*Design and Analysis of EXperiment – Expert System*) – implementacja standardowy komputer PC + Windows. Podstawę procedury wnioskowania w regulowym systemie DAX-Expert stanowi nowa koncepcja identyfikatorów planu eksperymentu (ID:= DIN, bDIN, key) oraz identyfikatorów celu i warunków eksperymentu (IEx:= myDIN, keyDIN, xbdIN). Baza wiedzy systemu zawiera bazę reguł (metaregła: IF (IEx = ID) THEN (rekomendacja planu)) oraz bazę planów eksperymentu (720 planów). Interfejs systemu DAX-Expert zapewnia przede wszystkim realizację sesji dialogowej z obszernymi objaśnieniami i sugestiami. Rekomendowany plan eksperymentu można łatwo adaptować do konkretnych warunków eksperymentu, przez wprowadzenie rzeczywistych wartości wielkości wejściowych, a następnie eksportować do programu STATISTICA. Niezależnie od sesji dialogowej możliwe jest również standardowe przeszukiwanie bazy planów eksperymentu.

UWAGA KOŃCOWA

Wersję podstawową systemu można uzyskać na płycie CD od Autorów artykułu, adres w stopce na pierwszej stronie.

LITERATURA

- Badźmirowski, K., Kubiś, M., 1991, *Systemy ekspertowe*. Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa.
- Box, G., Draper, N., 1987, *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. Wiley.
- Bubnicki, Z., 1990, *Wstęp do systemów ekspertowych*. PWN, Warszawa.
- Darlington, K., 2000, *The Essence of Expert Systems*. Prentice Hall.
- Dean, A., Voss, D., 1999, *Design and Analysis of Experiments*. Springer.
- Górecka, R., 1998, *Teoria i technika eksperymentu*. Politechnika Krakowska, Kraków.
- Górecka, R., Polański, Z., *Elastyczne plany doświadczeń zintegrowane z inteligentnym systemem obliczeniowym, Mat. Konf. MWK'2001*, Rynia k/Warszawy 21-24.05.2001.
- Jackson, P., 1998, *Introduction to Expert Systems* (third edition). Addison-Wesley.

- Jaworski, J., Podstawy techniki eksperymentu, *Mat. Konf. MWK'95*, Zegrze k/Warszawy 22-25.05. 1995.
- John, P.W.M., 1998, Statistical Design and Analysis of Experiments; *SIAM*, Philadelphia.
- Kacprzyński, B., 1974, *Planowanie eksperymentów - podstawy matematyczne*, WNT, Warszawa.
- Liebowitz, I., 1998, *The Handbook of Applied Expert Systems*, CRC Press.
- Mańczak, K., 1976, *Technika planowania eksperymentu*, WNT, Warszawa.
- Mulawka, J., 1996, *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa.
- Mulawka, J., Wybrane zagadnienia systemów ekspertowych, odkrywania wiedzy i eksploracji danych, *Mat. Konf. MWK'99*, Rynia k/Warszawy 7-10. 06.1999.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., 1995, *Response Surface Methodology*, Wiley.
- Niederlinski, A., 2000, *Regulowe systemy ekspertowe*. Wyd. Prac. Komp. J. Skalmierskiego, Gliwice.
- Polański, Z., 1977, *Metody optymalizacji w technologii maszyn*. PWN, Warszawa.
- Polański, Z., 1978, *Współczesne metody badań doświadczalnych*. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Polański, Z., 1984, *Planowanie doświadczeń w technice*. PWN, Warszawa.
- Polański, Z., Komputerowe wspomaganie planowania i analizy eksperymentu - CADEX, *Mat. Konf. MWK'95*, Zegrze k/Warszawy 22-25.05.1995.
- Polański, Z., Metody ekspertowe w planowaniu i analizie eksperymentu, *Mat. Konf. MWK'2001*, Rynia k/Warszawy 21-24.05.2001.
- Polański, Z., Inteligentne systemy planowania i analizy eksperymentu, *Mat. Konf. KKM 2001*, Politechnika Warszawska, 24-27.06.2001.
- Tyugu, E.Ch., 1989, *Programowanie z bazą wiedzy*. WNT, Warszawa.

Artykuł otrzymano 26 maja 2003 r.