



**POLSKA AKADEMIA NAUK**

**Instytut Badań Systemowych**

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA  
TECHNOLOGII I SYSTEMÓW  
INFORMATYCZNYCH**

**pod redakcją:**

**Jana Studzińskiego**

**Ludostawa Drelichowskiego**

**Olgierda Hryniewicza**





**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII  
I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH**

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE**  
**tom 28**

---

**Redaktor naukowy:**

**Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 2001

# **ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH**

pod redakcją

Jana Studzińskiego, Ludosława Drelichowskiego  
i Olgierda Hryniewicza

Wydano z wykorzystaniem dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju technologii, modeli i systemów informatycznych oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Wyodrębnioną grupę stanowią artykuły aplikacyjne omawiające wyniki projektów badawczych i celowych KBN.

Recenzenci artykułów:

Dr hab. inż. Ryszard Budziński, prof. US

Prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk

Dr hab. Adam Kopiński, prof. AE we Wrocławiu

Doc dr hab. inż. Marek Libura

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2001

ISBN 83-85847-59-6

ISSN 0208-8028

Rozdział 5

**Modele i systemy wspomaganie decyzji  
w zarządzaniu i technice**





# ROZPROSZONY SYSTEM EKSPERTOWY DO PROWADZENIA ZŁOŻONYCH PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

*Mieczysław Cepowski, Emil Michta*

*Politechnika Zielonogórska, Instytut Metrologii Elektrycznej*

## 1. Wprowadzenie

Analiza wprowadzania techniki komputerowej do różnego rodzaju przedsiębiorstw wykazuje dużą dynamikę wzrostu. Można przyjąć, że przedsiębiorstwa w chwili obecnej uzależnione są od funkcjonujących w nich systemów informatycznych (SI), a gwałtowny rozwój technologii z nimi związanych sprawia, iż rozszerza się zakres ich zastosowania. Są one także podstawą nowoczesnych koncepcji zarządzania. Na każdym z poziomów przedsiębiorstwa spotykamy się z problemem sprawnego wykorzystania potencjału systemów informacyjnych (wspomaganych systemami komputerowymi) przy minimalizacji kosztów pozyskania i przetwarzania informacji, zachowania spójności danych oraz ich udostępniania zgodnie z koncepcją STP (ang. *Straight Through Processing*) i ZLE (ang. *Zero Latency Enterprise*). Obserwujemy również procesy silnej integracji SI. Narzuca to szereg warunków projektowania i budowy takich systemów.

Każde przedsiębiorstwo przez cały czas swojego istnienia przechodzi okres przemian dostosowujących je do zmiennych warunków zewnętrznych i wewnętrznych. Wymaga to modyfikowania struktur przedsiębiorstwa i dużej elastyczności (podatności na zmiany i przeskalowanie) systemów informacyjnych. Istotnym składnikiem zasobów przedsiębiorstwa staje się informacja – mówimy o kapitale informacyjnym powstającym w procesie budowy, wdrażania i eksploatacji rozwiązań organizacyjnych i technicznych. Innym składnikiem, wcześniej niedocenianym, staje się wiedza, która nie tylko wymaga właściwego zarządzania, ale staje się również niezbędnym czynnikiem w procesach decyzyjnych. Wiedza jest jednak czynnikiem trudnym do jednoznacznego zdefiniowania i wykorzystania w praktycznie realizowanych systemach wspomagających proces zarządzania, lecz sukces przedsiębiorstw w nadchodzących latach będzie zależał od zdolności w nabywaniu, tworzeniu i wykorzystywaniu jej zarówno na poziomie strategicznym jak i operacyjnym (Toffler & Toffler, 1994, Nevis, DiBella, Gould, 1995, DiBella, Nevis 1998).

Im wyższy jest poziom w strukturze zarządzania, tym wiedza niezbędna po podjęciu decyzji musi być szersza, bardziej złożona, a tym samym trudniejsza do ogarnięcia bez odpowiednich informatycznych systemów wspomaganie podejmowania decyzji (SWPD). Osiągnięcie korzyści ze stosowania SI wymaga przyjęcia

kompleksowych założeń (Boar, 1999) oraz uwzględnienia złożonej problematyki eksploatacji obiektów technicznych<sup>1</sup>.

## 2. Rola systemu ekspertowego w aplikacji SCADA

Technologia informatyczna zaczyna ingerować w coraz to bardziej złożone procesy ludzkiej działalności. Jest to widoczne w obszarach zarządzania przedsiębiorstwem i sterowania procesami technologicznymi (Zieliński (pod red.), 2000). W art. (Cepowski, 2000) wskazano konieczność uwzględnienia metod Sztucznej Inteligencji – AI (ang. *Artificial Intelligence*) – w procesach informacyjno-decyzyjnych na każdym z poziomów przedsiębiorstwa i dla każdej grupy problemów (dobrze ustrukturalizowanych, słabo ustrukturalizowanych i wyrażonych jakościowo problemów nieustrukturalizowanych). W świetle zjawisk gospodarczych konsekwencje są najczęściej mierzone w kategorii zysków i strat, a „...każda decyzja niesie ze sobą, niekiedy daleko idące skutki, a tło takiej decyzji bywa zaś wcale nierzadko niezmiernie złożone.” (Roy, 1990). Uzasadnione jest ekonomiczne podejście do pozyskiwanej informacji i rozważenie różnicy pomiędzy korzyścią ze zdobytej informacji, a kosztami jej pozyskania. Dotyczy to zwłaszcza procesów technologicznych i obiektów z nimi związanych, gdzie do właściwego prowadzenia procesu, czy też sterowania, wystarcza niewielka ilość informacji, o ile jest ona połączona z wiedzą pozwalającą na przeprowadzenie procesu wnioskowania. Wiele zjawisk występujących w procesach technologicznych ma przebieg daleki od regularności, a ich modelowanie z użyciem metod analitycznych jest obarczone zbyt daleko posuniętymi uproszczeniami. Dlatego ważne staje się pozyskanie rzetelnej i rozległej wiedzy o zależnościach między czynnikami i obiektami (co jest przedmiotem badań nowej dziedziny: *Knowledge Discovery in Databases (KDD)*, i jej części – *Data Mining (DM)*), a także stworzenie możliwości włączenia się użytkownika w proces analizy problemu. Innym zagadnieniem jest konieczność uwzględnienia zachowań operatorów procesu i ich przełożonych w sytuacjach rutynowych, gdzie występuje zjawisko braku analizy i oceny sytuacji oraz ignorowanie informacji niezgodnych z własną prognozą operatora (Nowicki, 1999). Są to przesłanki do odejścia od narzędziowego traktowania technologii komputerowej (ograniczenia się do obliczeń numerycznych i prezentacji otrzymanych wartości na monitorze) i zastosowania Systemów Ekspertowych (SE) do rozwiązywania problemów obciążonych wysokim stopniem niepewności i dużym ryzykiem. W praktyce oznacza to zintegrowanie systemu SCADA (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition*) – systemu monitorowania i sterowania danego procesu technologicznego (lub procesów, czy też obiektów) – z otwartym i rozproszonym systemem ekspertowym. Złożone procesy tworzą układ wzajemnie połączony, który jeszcze musi uwzględniać interakcje z otoczeniem. Komputery klasy PC i oprogramowanie umożliwiające pracę w środowisku rozproszonym, stworzyły dobrą podstawę do zdecentralizowanego

---

<sup>1</sup> O. Downarowicz: *Geneza i współczesność zarządzania zasobami techniki*. [http://www.zie.pg.gda.pl/~odo/geneza\\_do\\_html3.htm](http://www.zie.pg.gda.pl/~odo/geneza_do_html3.htm).

przetwarzania informacji, a rozwój sterowników **PLC** (ang. *Programmable Logic Controllers*) i dedykowanych, autonomicznych systemów automatyki komputerowej dał możliwość realizowania w takiej konfiguracji funkcji dużych systemów **DCS** (ang. *Distributed Control Systems*). Wszystkie decyzje wypracowane w takich systemach, a dotyczące sposobu prowadzenia procesu można podzielić na (Niederliński, 1985):

- decyzje wypracowane i realizowane automatycznie, z wyłącznym wykorzystaniem systemu automatyki,
- decyzje wypracowane automatycznie, lecz realizowane przez operatora procesu, np. z powodu niemożliwości realizacji automatycznej,
- decyzje wypracowane i realizowane przez operatora procesu na podstawie przekazanych przez system automatyki wyników analizy i zarejestrowanego przebiegu procesu lub zestawów decyzji alternatywnych wraz z ich oceną.

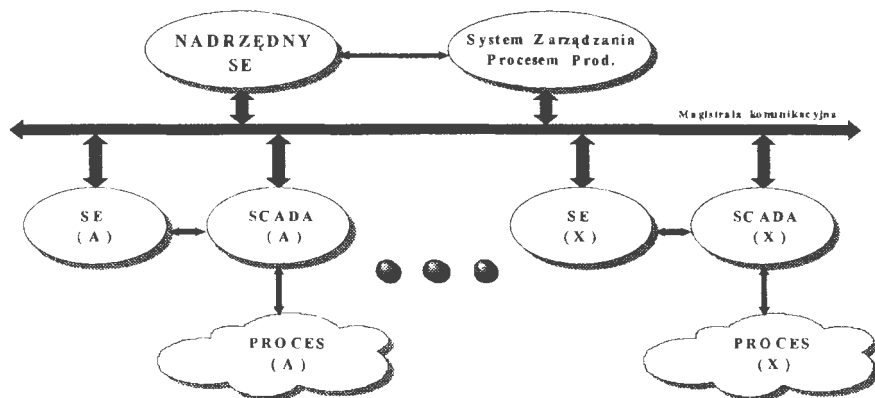
Jeżeli funkcje systemu sterowania ograniczymy do podstawowych (z zapewnieniem bezpieczeństwa pracy ciągu technologicznego), a każdą ważną decyzję (z pkt. widzenia sterowania) będzie podejmował operator procesu, to zasadne jest zintegrowanie **SE** z systemem **SCADA**. Ciągły wzrost bezpieczeństwa procesów produkcyjnych, autonomia działania w warunkach zagrożeń, szybka ocena zagrożeń awaryjną (a nie czekanie na przekroczenie progów alarmowych, zwłaszcza, że addytywne działanie parametrów procesu technologicznego może doprowadzić do niebezpieczeństwa (zagrożenia) bez widocznych symptomów alarmowych ) staje się dodatkową motywacją do włączenia w system informatyczny **SCADA** systemów ekspertowych.

Integrując, z udziałem systemów informatycznych, zarządzanie w przedsiębiorstwie, należy uwzględnić również rozwiązywanie problemów eksploatacyjnych posiadanych w ciągu technologicznym zasobów, gdzie metody i algorytmy decyzyjne pozwoliłyby odnieść się do<sup>1</sup>:

- planowania, harmonogramowania i rozliczania prac eksploatacyjnych,
- planowania i harmonogramowania obciążenia obiektów eksploatacji,
- rachunkowości kosztów i wyników eksploatacji,
- technologii eksploatacji,
- wartościowania decyzji eksploatacyjnych,
- planowania zapasów materiałów eksploatacyjnych.

Argumentem za taką integracją są koszty eksploatacji złożonych obiektów technologicznych i wielkość strat wynikających z awarii i nieplanowanych przestojów. Według<sup>1</sup> wydatki poniesione na utrzymanie obiektów technicznych w przemyśle Wspólnoty Europejskiej wynoszą trzykrotną wartość inwestycji. Dlatego też w fazie projektowania **SE** współpracujących z systemami informatycznymi na poziomie procesów technologicznych należy uwzględnić podejście ukierunkowane na niezawodność operacyjną (Duraj, 1999)

Na Rys. 1 przedstawiono model rozpatrywanego rozproszonego systemu ekspertowego - model nie uwzględniający bloków przetwarzania danych pod potrzeby systemu ekspertowego.



Rys. 1. Model rozproszonego systemu ekspertowego.

Warte zaznaczenia jest to, że SE nie zastępuje człowieka w procesie podejmowania decyzji, ale jest narzędziem wspomagającym proces podejmowania decyzji. Umożliwia on rozwiązywanie zagadnień, dla których oprócz szerokiej wiedzy merytorycznej niezbędne jest kojarzenie ze sobą różnorodnych faktów, pozornie nie mających ze sobą wiele wspólnego, bądź też są traktowane przez użytkowników jako mało istotne. Wiedza zgromadzona w systemie powinna być możliwie aktualna i pełna oraz dostępna w postaci zrozumiałej dla użytkownika systemu. Wymusza to stosowanie łatwego sposobu kodowania wiedzy i jej zapisu. Realizacja takiej struktury systemu wymaga wieloetapowego procesu realizacji, rozwiązania szeregu problemów technicznej realizacji rozproszonych SE, jak również precyzyjne zdefiniowanie interfejsów wymiany informacji. Pojawia się tutaj potrzeba jednolitego potraktowania pojęcia otwartości, tzn. rozpatrywania jego w aspekcie przenośności (umożliwia przeniesienie systemu na różne platformy sprzętowe oraz na różne systemy operacyjne), współoperatywności (odnosi się do zdolności indywidualnych komponentów do wymiany informacji na odpowiednich poziomach zgodnych z modelem warstwowym ISO/OSI) i integracji (odnosi się do interfejsów pomiędzy użytkownikiem, a całością sprzętu i oprogramowania w systemie) (Nutt, 1992). Zapewnienie integracji wymaga (Smolak, 1995):

- dostępu do różnorodnych danych niezależnie od ich typu,
- przezroczystości lokalizacji zasobów,
- metod rozwiązywania niezgodności semantycznej integrowanych danych,
- wysokiej efektywności - minimalizacja ilości komunikatów w sieci komunikacyjnej i równoczesna maksymalizacja ilości danych przetwarzanych w jednostce czasu,

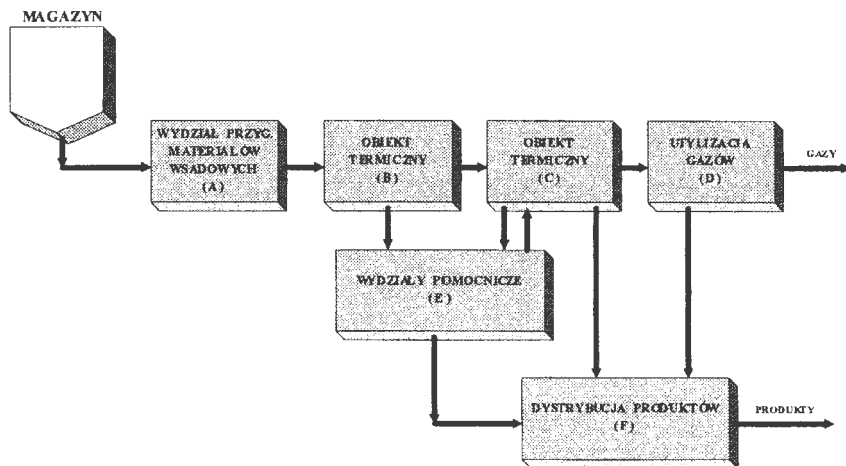
- bezpieczeństwa,
- zgodności ze standardami na poziomie interfejsu API i protokołów komunikacyjnych,
- łatwości tworzenia, rekonfigurowania, utrzymywania i użytkowania systemu jako całości.

Istotne również są takie cechy jak skalowalność systemu i dyspozycyjność informacji (dostęp do danych źródłowych) (Adamczewski, 1997).

W procesach przetwarzania informacji z obiektów rzeczywistych mamy do czynienia z informacjami nieostryimi, nieprecyzyjnymi i niepełnymi. Nie wystarcza już ujęcie ilościowe zjawiska, zwłaszcza tam, gdzie nie znamy jeszcze metod analitycznych ujęcia zjawisk silnie nieliniowych o dużej dynamice. Obiekty technologiczne o niesprecyzowanych modelach posiadają na ogół zbiór heurystyk pozwalających na pracę tego obiektu ukierunkowaną na osiągnięcie funkcji celu. W takim przypadku rozszerzeniem i uzupełnieniem metod przetwarzania numerycznego jest symboliczne przetwarzanie danych. Takie przetwarzanie zachodzi w systemach ekspertowych, systemach wspomaganie podejmowania decyzji itp. Wymaga ono wstępnego sklasyfikowania analizowanych przez system danych oraz znalezienia zależności pomiędzy analizowanymi wielkościami - pozyskania wiedzy. Wiedza, która jest niezbędna do pracy SE może mieć różną postać i może być w różny sposób klasyfikowana (Durkin, 1994, Raport, 1990, Baborski 1994, Owoc, 1991, Feingenbaum, 1981, Mulawka, 1996). Różnorodność rozwiązywanych problemów w analizowanych systemach wymaga stosowania różnych, współpracujących ze sobą, technik AI, co ukierunkowuje realizację takiego systemu w stronę rozwiązań hybrydowych - połączonych technik SE, sieci neuronowych i algorytmów genetycznych (programów ewolucyjnych). Ponadto zastosowanie proponowanego rozwiązania musi przynosić wymierne efekty, a to wymaga precyzyjnego określenia celu budowy systemu, zarówno w zakresie działalności operacyjnej, jak i strategicznej, przedsiębiorstwa. Kierunek rozwoju tej klasy systemów przebiega w stronę systemów wysoko zorganizowanych, zintegrowanych magistralami wymiany informacji, z centralnym ośrodkiem decyzyjnym, gdzie ponadto każdy podsystem jest w pełni autonomiczny w realizacji celów wydzielonych obszarów procesu technologicznego.

### **3. Charakterystyka procesu, cel budowy systemu ekspertowego**

Proces technologiczny, który stał się przedmiotem analizy, należy do bardzo złożonych i bardzo trudnych do zamodelowania. W ciągu technologicznym możemy wyróżnić 6 bardzo dużych obiektów (rys. 2), z których dwa są dużymi obiektami termicznymi (obiekt B i C), a jeden (obiekt D) kompletnym zakładem chemicznym przetwarzającym toksyczne gazy powstające w procesie produkcji.



Rys. 2. Schemat ciągu technologicznego.

W tym kompleksie technologicznym występuje szereg problemów związanych zarówno z działalnością operacyjną, jak również z planowaniem produkcji (krótko- i długoterminowym). Wpływa na to:

- duża bezwładność wstępnego przygotowania podstawowych materiałów do produkcji (obiekt A),
- niestabilna praca obiektu termicznego o pracy dyskretniej (wsadowej) – obiekt C,
- konieczność utrzymania określonych parametrów pracy obiektu termicznego B, dla ustalonych przepływów masowych substratów (praca ciągła), a także brak możliwości szybkich zmian tych parametrów bez utraty stabilności pracy obiektu,
- bardzo ostre granice technologiczne procesów na obiekcie D (wymagające utrzymania zadanych temperatur na poziomie ok. 500 °C z dopuszczalną odchyłką rzędu 5 °C),
- złożoność przepływów międzyobiektowych i niedeterministyczne zachowanie się tych obiektów,
- duża zmienność w czasie optymalnych warunków pracy,
- bazowanie na wiedzy empirycznej operatorów procesu, trudno poddającej się formalizacji analitycznej (ze względu na osiąganie celu sterowania przy pomocy różnych technik prowadzenia procesów, wypracowanych indywidualnie przez zespoły pracowników na danej zmianie produkcyjnej).

W przedstawionym schemacie ciągu technologicznego obiekt C stanowi pkt. krytyczny. Realizowany tam proces technologiczny (redukcja zużycia) charakteryzuje się dużą zmiennością, wymagającą ciągłej analizy dużej ilości zmiennych tech-

nologicznych oraz parametrów charakteryzujących stan obiektu. Sprawność i ciągłość procesu w tym miejscu ma decydujące znaczenie dla wydajności całego ciągu technologicznego. Obiekt C pracuje w sposób cykliczny z możliwymi do wydzielenia fazami procesu. O zmienności procesu mogą świadczyć duże odchylenia od wartości przeciętnej wskaźników technologicznych - np. czas trwania cyklu (od 5 do 12 godzin), wydajność procesu (od 42 do 62 Mg/h), jednostkowe zużycie energii elektrycznej (od 145 do 1200 kWh/Mg) - przy zbliżonych warunkach początkowych. Sam proces technologiczny jest bardzo trudny do analitycznego opisu, lecz obserwacja poszczególnych zespołów operatorów i analiza wyników przez nich osiągniętych pozwoliła na przyjęcie hipotezy o możliwości wspomagania prowadzenia tego procesu z użyciem systemu komputerowego wyposażonego w mechanizmy przetwarzania wiedzy teoretycznej i praktycznej (pozyskanej od różnych ekspertów i zespołów operatorów procesu). Obiekt B, będący również obiektem termicznym, pracuje w sposób ciągły, jednak stabilizacja procesu w określonym punkcie pracy strefy reakcyjnej jest zadaniem wymagającym bardzo dużego doświadczenia – wiedzy empirycznej. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność przewidywania skutków błędnych reakcji, stwarzających zagrożenia dla życia wielu ludzi i środowiska. W przedstawianym ciągu technologicznym obiekt D, stanowiący ostatnie ogniwo podstawowego cyklu produkcyjnego, poddany analizie wskazał na konieczność budowy dedykowanego systemu wspomagania prowadzenia procesu tam realizowanego. Ostre wymagania technologiczne i brak jednoznacznych metod osiągnięcia wymaganych do realizacji procesu przemian chemicznych stanów, a także analiza zachowania operatorów procesu w różnych sytuacjach kryzysowych, były podstawą rozpoczęcia prac nad koncepcją inteligentnego systemu sterowania całym procesem utylizacji gazów procesowych.

W każdym podsystemie kompleksu technologicznego można wskazać miejsca, w których można z powodzeniem zastosować wbudowane w lokalne systemy kontrolno-pomiarowe wąskozakresowe systemy ekspertowe do diagnostyki i predykcji stanów obiektów. Zarządzanie operacyjne na poziomie kompleksu technologicznego wymaga natomiast zgrupowania wysoko przetworzonych informacji z poszczególnych obiektów i dokonania uzgodnień z operatorami wszystkich procesów tam przebiegających. W tym przypadku budowa nadrzędnego systemu ekspertowego zintegrowanego z nadrzędnym systemem monitorowania i sterowania całego kompleksu współpracującego z nadrzędnym systemem zarządzania (opartego o moduły SAP R/3 i inne dedykowane systemy informatyczne) jest rozwiązaniem pozwalającym na minimalizację kosztów produkcji, długoterminowe planowanie produkcji i planową gospodarkę remontową.

#### **4. Założenia ogólne, opis systemu**

Popularnym modelem reprezentującym środowisko zautomatyzowanej produkcji jest czterowarstwowa, hierarchiczna struktura:

1. Sterowanie procesem produkcyjnym w czasie rzeczywistym,

2. Poziom nadzorowania i kontroli procesu,
3. Zarządzanie produkcją,
4. Zarządzanie przedsiębiorstwem.

W systemach tych zapewnia się zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa, zamówieniami, zakupami, finansami, księgowością, kosztorysowaniem, prognozowaniem i planowaniem działalności firmy.

Specyfika procesu produkcyjnego w przedstawionym kompleksie technologicznym wymaga zamodelowania i zarządzania tzw. wsadowymi procesami produkcyjnymi. Wymaga to opracowania różnorodnych modeli procesu i modelu przepływu informacji. Projektowany system informatyczny dla wyżej wymienionego kompleksu powinien tworzyć warstwę pośrednią pomiędzy kontrolą i nadzorowaniem procesu, a zarządzaniem całym przedsiębiorstwem. System ten ma obejmować ogólnie pojęte zagadnienia produkcji. Niezależnie od przyjętych rozwiązań systemu ważne jest posiadanie jak największej ilości danych z procesu technologicznego, pozwalających przeprowadzić w dowolnym czasie analizę procesu produkcyjnego. Był to pierwszy etap prac nad systemem informatycznym wspomagającym pracę całego kompleksu.

W tym systemie rozproszony system ekspertowy ma stanowić nowoczesne narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji przez kadrę zarządzającą całym kompleksem technologicznym jak również kadrę zarządzającą poszczególnymi obiektami. Na poziomie obiektów ciągu technologicznego implementowane tam systemy ekspertowe mają wspomagać pracę osób bezpośrednio nadzorujących pracę obiektu, tak aby proces przebiegał optymalnie, w zależności od aktualnego i przewidywanego stanu obiektu, z uwzględnieniem wszystkich istotnych interakcji z innymi obiektami i procesami. Ocena stanu rzeczywistego obiektu (procesu technologicznego) jest związana z wydzieleniem z mierzonych parametrów informacji niezbędnych do prawidłowej pracy SE, a także wymaga współpracy z innymi systemami SCADA i SE w ciągu technologicznym. Monitorowanie obiektu (procesu), przetwarzanie informacji i wspomaganie podejmowania decyzji przez operatora musi być traktowane jako całość. Wdrażanie nowych rozwiązań dla każdego obiektu wymaga od projektantów krytycznego spojrzenia na istniejące rozwiązania systemów informatycznych, systemów sterowania, a także uwzględnianie procesów biznesowych.

Przyjęto następujące założenia ogólne:

- praca w środowisku heterogenicznym i rozproszonym,
- system będzie składał się z podsystemów SCADA dla każdego obiektu lub fragmentu ciągu technologicznego i współpracujących z nimi SE zintegrowanych ze sobą oraz współpracujących z nadrzędnym systemem SCADA i SE,
- struktura hierarchiczna funkcjonalna i sprzętowa z wyróżnieniem części sprzętowej i oprogramowania realizujących funkcje akwizycji danych,



funkcje przetwarzania danych i wypracowania decyzji dla operatora procesu,

- możliwość komunikowania się i wymiany informacji z różnymi urządzeniami pomiarowymi i automatyki, z wykorzystaniem interfejsu szeregowego, sieci przemysłowych lub Lokalnych Sieci Komputerowych (LAN),
- wymiany informacji z systemami wspomagającymi zarządzanie na wyższych poziomach przedsiębiorstwa,
- szybkie reagowanie na zdarzenia zewnętrzne i zdarzenia systemowe,
- wielozadaniowość, wielodostęp, modularność, otwartość, łatwa konfiguracja do aktualnych potrzeb użytkownika przez jego służby technologiczne,
- duża niezawodność systemu i sprawne mechanizmy obsługi sieci komputerowych
- system wykorzystując metody AI ma przeprowadzić cały proces analityczny bazując na zmiennych procesowych i wykorzystując całą dostępną wiedzę heurystyczną dotyczącą tego procesu,
- łatwość implementacji na dowolnym obiekcie (poprzez wymianę baz wiedzy i interfejsów) oraz modyfikacja systemu we własnym zakresie służb technologicznych i informatycznych przedsiębiorstwa.
- archiwizacja wszystkich zmiennych procesowych pozyskiwanych z poszczególnych obiektów ciągu technologicznego, zdarzeń technologicznych i systemowych, faktów i konkluzji z poszczególnych SE; powstające bazy danych powinny być temporalne (w przypadku współpracy z urządzeniami automatyki musi być rejestrowany czas wpisania danej wartości do pamięci urządzenia),
- możliwość tworzenia struktur redundantnych i pracy w „gorącej rezerwie”,
- poprawa bezpieczeństwa,
- uwzględnienie aspektów ochrony środowiska.

Każdy z podsystemów będzie wymagał sformułowania indywidualnych zadań, przepływów informacji i doboru metod rozwiązywania wyspecyfikowanych problemów. Dla obiektu C, od strony technologicznej, zdefiniowano m.in. następujące zadania:

- kontrolowanie w sposób ciągły i analizowanie parametrów decydujących o jakości produktu i kosztach jego uzyskania,
- w oparciu o kroczący bilans energetyczny prognozować rozkład produktów i wypracować decyzje przeciwdziałania niewłaściwym reakcjom,
- optymalizacja procesu pod kątem utrzymania reżimów temperaturowych wsadu i spalin,
- optymalizacja procesu pod kątem poboru energii,
- dynamiczny bilans masowy i energetyczny,
- możliwość edycji bazy wiedzy przez technologów oraz tworzenia rozbudowanej bazy wyjaśnień,

- uruchamianie złożonych zadań obliczeniowych i symulacyjnych,
- analiza ważnych parametrów procesu w czasie rzeczywistym,
- archiwizacja danych wejściowych dla SE oraz wyników analiz,
- pełna archiwizacja przebiegu procesu,
- wykonywanie analiz statystycznych,
  - wyznaczenie nastaw parametrów sterujących,
  - minimalizacja odchyłek podstawowych wskaźników jakości prowadzenia procesu,
- zadania wspomagania operatorów procesu:
  - prognozowanie skutków podejmowanych decyzji, zwłaszcza w czasie rozruchu ciągu technologicznego,
  - obliczanie wskaźników jakości procesu dla oceny tych decyzji,
  - analiza alarmów i wybór decyzji w sytuacjach krytycznych (wybór metody postępowania w sytuacji krytycznej ),
- prognozowanie przebiegu kilku cykli do przodu,
- właściwe prowadzenie elektrod, uwzględniające m.in. wywołanie ruchu konwekcyjnego kąpieli, wyrównywanie prądów fazowych, odtwarzanie samospiekających się elektrod, wytapianie wsadu stałego i narostów spieków i zakrzepniętego topu, czy też utrzymanie temperatury produktów procesu w optymalnym zakresie,
- akwizycja zmiennych procesowych w czasie rzeczywistym,
- przetworzone zmienne procesowe (stanowiące fakty dla SE), wyniki pracy programów symulacyjnych i obliczeniowych, a także konkluzje muszą być dostępne dla innych SE oraz programów wizualizacji.

Cały system dla obiektu C można podzielić na: *akwizycję danych z procesu i właściwy SE*. Realizowany system jest wielozadaniowy, przystosowany do pracy w środowisku rozproszonym i heterogenicznym, spełniający wymagania systemu czasu rzeczywistego. Zastosowane rozwiązania pozwalają między innymi na współpracę z dodatkowym oprogramowaniem bieżącej kontroli jakości procesu.

Podbudową dla systemu ekspertowego jest istniejący system monitorowania i sterowania oparty na sterownikach PLC firmy MODICON, do których doprowadzone są sygnały analogowe i binarne opisujące parametry samego obiektu oraz urządzeń współpracujących bezpośrednio z obiektem. System SCADA oraz wszystkie programy symulacyjne i obliczeniowe, pracują na komputerze PC z procesorem Pentium pod systemem operacyjnym QNX. Wielozadaniowość i bardzo duża sprawność systemu QNX umożliwia dołączanie dodatkowych zadań takich jak: symulacje, zadania optymalizacyjne lub adaptacyjne, wykonywanych współbieżnie w systemie. Jako narzędzie do budowy systemu SCADA wybrano PRO-2000. Jako narzędzie do tworzenia SE wybrano pakiet Sphinx firmy AITECH. Jest to szkieletowy system ekspertowy wraz z narzędziami do tworzenia i zarządzania bazami wiedzy. Jego otwarta, tablicowa struktura oraz możliwość budowy systemu hybry-

dowego predysponowały ten pakiet do szybkiego prototypowania **SE**. Zaletą tego rozwiązania jest również możliwość definiowania kilku różnych źródeł wiedzy oraz możliwość wykorzystania rozwiązań generowanych przez inne podsystemy. O wyborze tego oprogramowania zadecydowała również łatwość obsługi tego pakietu i elastyczność, zwłaszcza jeśli chodzi o inżynierię wiedzy i otwartość **PC-SHELL** (gdzie możliwy jest nawet dostęp z poziomu języka C++ do metod w nim zawartych).

Po przeprowadzeniu analizy zagadnień, które mogą być rozwiązane w systemie, zdecydowano się na opisanie procesu wskaźnikami syntetycznymi (ilościowymi i jakościowymi), i wybranymi zmiennymi procesowymi, z uwzględnieniem czynników kosztotwórczych. Na koszty procesu duży wpływ ma ilość zużytej energii elektrycznej i ilość użytych dodatków technologicznych w każdym z cykli, stan termodynamiczny obiektu i czas trwania cyklu. Dozowanie energii jest oparte o kroczący bilans energetyczny pozwalając utrzymać zadane temperatury produktów. Wydzielonym zagadnieniem jest minimalizacja poboru mocy. Funkcją celu w prowadzonym procesie jest w chwili obecnej największa wydajność procesu, a pośrednio czas trwania cyklu. Parametry technologiczne są ustalane na podstawie wiedzy teoretycznej przy uwzględnieniu doświadczeń zdobytych w kilkunastoletnim okresie eksploatacji pieca. Budowany system wykorzystując metody tzw. **AI** potrafi skutecznie przeprowadzić cały proces analityczny bazując na zmiennych procesowych i wykorzystując całą dostępną wiedzę heurystyczną dotyczącą tego procesu. **SE** na podstawie oceny stanu bieżącego obiektu i aktualnych trendów, pozwala na wyznaczenie obszaru nastaw, dla których proces technologiczny osiąga optymalne wyniki. Konkluzje będące wynikiem działania **SE** pojawiają się na synoptykach właściwego systemu **SCADA**, natomiast pełna analiza drogi dojścia do danego rozwiązania jest dostępna na stacjach operatorskich pracowników dozoru średniego i wyższego.

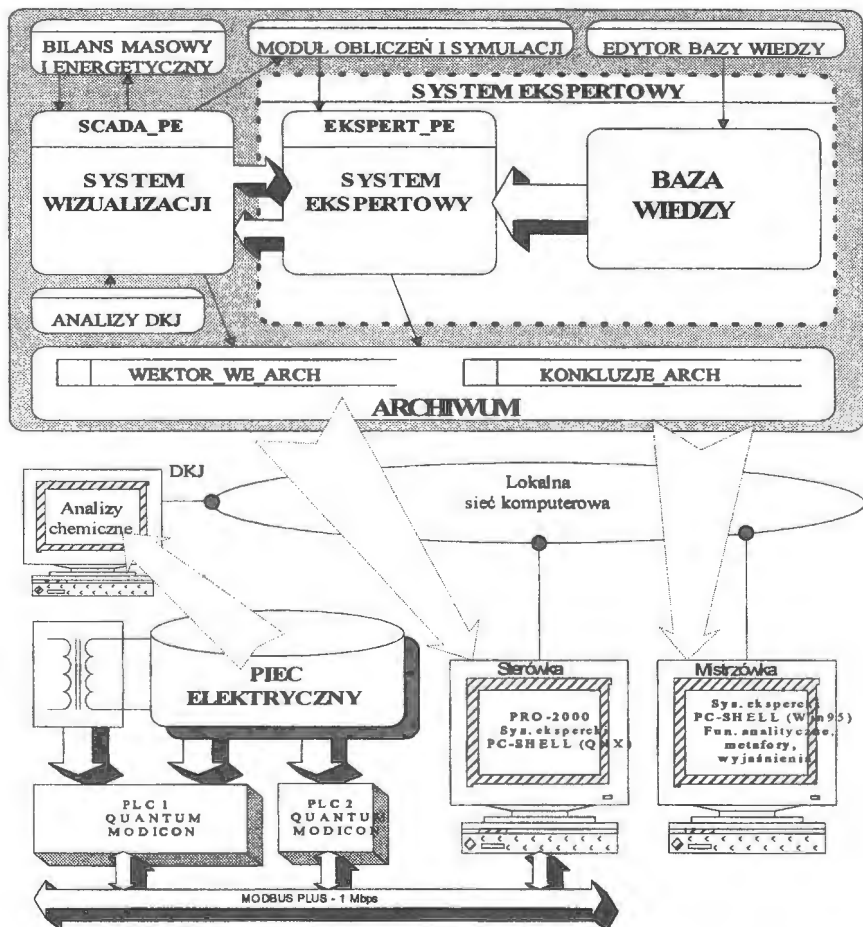
Budowany system ekspertowy stanie się podstawą do prac nad:

- Zmniejszeniem poziomu zmienności procesu realizowanego na obiekcie **C**,
- Poprawieniem jakości procesu,
- Usystematyzowaniem i normalizacją procesu.

Normalizacja procesu jest w tym przypadku czynnikiem pozwalającym wyeliminować wpływ indywidualnych kwalifikacji pracowników na prowadzenie procesu. Wymiernym efektem działania systemu jest zmniejszenie zużycia energii, minimalizacja kosztów produkcji, ciągła kontrola i analiza wskaźników produkcji, a także osiągnięcie powtarzalnych, optymalnych cykli.

System informatyczny wspomagający pracę obiektu **C** jest w interakcji z pozostałymi obiektami ciągu technologicznego. Planowanie produkcji w pozostałych podsystemach produkcji podstawowej musi przebiegać z uwzględnieniem prognoz kilku cykli do przodu dla obiektu **C** (jest to obiekt krytyczny dla całego procesu). Na rys. 3 przedstawiono strukturę części sprzętowej i programowej **SE** dla obiektu **C**.

Kolejnym obiektem, na którym będzie implementowany SE jest obiekt termiczny B wraz z obiektem A. Pracujący już na tych obiektach system SCADA pozwolił zebrać szereg danych niezbędnych do zamodelowania bilansów masowych i energetycznych.



Rys. 3. Struktura części sprzętowej i programowej systemu ekspertowego.

## 5. Pozyskiwanie wiedzy i jej implementacja

Bardzo ważnym zagadnieniem do rozwiązania, mającym wpływ na jakość opracowywanego systemu eksperckiego, jest baza wiedzy. Dla budowanych SE przyjęto zastosowanie reguł jako środka reprezentacji wiedzy. Sam proces pozyskiwania wiedzy może przebiegać według różnych scenariuszy. Jeden z nich podano w pracy, gdzie wyróżniono następujące fazy:

- Określenie dziedziny zastosowania oraz zakresu zadań, których rozwiązanie ma być wspomagane przez SE, dla którego wiedza ma być pozyskana,
- Identyfikacja źródeł wiedzy,
- Wybór środków reprezentacji wiedzy,
- Pozyskanie wiedzy i zapis wstępnej, prototypowej wersji bazy wiedzy dla pewnego podzbioru typowych problemów danej dziedziny,
- Weryfikacja wstępnej bazy wiedzy dla zbioru przypadków testowych,
- Rozbudowa bazy wiedzy do wersji pełnej (obejmującej pełny zakres danej dziedziny zastosowania),
- Zidentyfikowanie i usunięcie błędów wykrytych w bazie wiedzy,
- Walidacja bazy wiedzy przez niezależnych specjalistów i jej przekazanie do eksploatacji.

Dla opracowanego SE dwa pierwsze stadia procesu pozyskania wiedzy były prowadzone równolegle. Proces tworzenia bazy wiedzy jest związany z jej pozyskaniem. Podstawowymi źródłami wiedzy, dla przedstawianego przykładu, są:

- specjaliści (eksperti), od których wiedzę pozyskiwano w sposób bezpośredni,
- bazy danych zawierające archiwizowane dane pomiarowe wielkości charakteryzujących przebieg procesu technologicznego.

W celu pozyskania wiedzy od specjalistów zastosowano metodę kwestionariusza. Podstawowym celem opracowanej grupy formularzy „papierowych” było uzyskanie informacji o stopniu ważności różnych czynników decydujących o stanie obiektu (pieca elektrycznego).

Ekspertom przedstawiono następujące formularze:

- formularz podstawowy zawierający nazwy grup czynników decydujących o stanie,
- obiektu w poszczególnych fazach pracy pieca w jednym cyklu redukcji Cu z żużla jak i za jeden cykl,
- 13 formularzy szczegółowych związanych z nazwami grup czynników w formularzu podstawowym, w których zdefiniowano konkretne czynniki decydujące o stanie obiektu jak i pewne wskaźniki pozwalające ocenić stan obiektu.

Formularze przygotowano w formie tabelarycznej, umożliwiającej komputerowe opracowanie wyników badań. Ekspertom zaproponowano wypełnienie formularzy metodą punktową (0 ÷ 10) wg nakreślonej skali. Wypełnione formularze zostały poddane wstępnej analizie polegającej na wyeliminowaniu takich formularzy, które zostały wypełnione niewłaściwie lub zawierały luki w odpowiedziach. Pozostałe formularze, uznane wstępnie za wiarygodne, poddano opracowaniu ilościowemu (liczba ekspertów, liczba pytań, suma punktów, średnia arytmetyczna) połączonemu z opracowaniem statystycznym umożliwiającym szacowanie zgodności ocen ekspertów (współczynnik W-Kendalla, wartość przeciętna rang, ko-

relacja rangowa, suma kwadratów odchyłeń wartości przeciętnej, procent wariancji ogólnej) (Jagielski, 1997).

„Odkrywanie” wiedzy z baz danych miało na celu identyfikację określonych zachowań obiektu w czasie jednego i kilku cykli. Duża ilość danych oraz to, że dane te mogą zawierać szum lub mogą być niekompletne wymagało stosowania programów Statistica i Multi-Edip. Pozwoliło to określić, które z mierzonych parametrów obiektu zawierają istotne informacje o stanie obiektu w poszczególnych fazach procesu technologicznego.

Tak pozyskana wiedza oraz uzupełniona o wiedzę od specjalistów pośrednich (np. dokumentacja pieca, opis prowadzenia procesu redukcji Cu) była podstawą do prowadzenia dalszego procesu pozyskiwania wiedzy przez programistów bazy wiedzy. Ich zadaniem było łączenie wiedzy od wielu specjalistów, przekształcanie reguł oraz edytowanie objaśnień. Zbudowana baza wiedzy jest bazą regułową. Bazę wiedzy systemu ekspertowego podzielono na niezależne moduły związane z grupami czynników decydujących o stanie obiektu. Taki sposób jej reprezentacji umożliwiał łatwą jej weryfikację na etapie tworzenia oraz dołączenie nowych modułów bazy wiedzy w czasie użytkowania systemu.

W dalszej fazie pracy nad systemem, na podstawie pozyskanych danych z systemu SCADA i SE, będzie możliwe podjęcie próby pozyskania wiedzy z użyciem technik maszynowego uczenia się. Zamodelowane, z użyciem technik heurystycznych, procesy będą spełniały rolę magazynów wiedzy o danym procesie oraz będą wspomagać proces kształcenia operatorów procesu.

## 6. Podsumowanie

Nowoczesne koncepcje zarządzania wymagają sprawnego wykorzystania potencjału systemów informacyjnych i ich integracji, a dostosowanie się do zmieniających warunków zewnętrznych i wewnętrznych wymaga gromadzenia wiedzy i zarządzania wiedzą – kapitałem przedsiębiorstwa - oraz wymaga uwzględnienia złożonej problematyki eksploatacji obiektów technicznych. Wejście technologii informatycznych w złożone procesy ludzkiej działalności pozwala na rozwiązywanie problemów obciążonych wysokim stopniem niepewności i dużym ryzykiem.

W artykule przedstawiono koncepcję rozproszonego systemu ekspertowego wspomagającego prowadzenie złożonych procesów technologicznych. Integracja tablicowego SE z regułową bazą wiedzy z systemem SCADA jest rozwiązaniem pozwalającym na modelowanie procesów z uwzględnieniem różnych technik AI, tzn. pozwala na budowę elastycznych i zintegrowanych systemów hybrydowych. Oprócz wspomaganie prowadzenia procesów technologicznych na poziomie operacyjnym przedstawione rozwiązanie umożliwia wykorzystanie temporalnych baz danych do autoamatycznego pozyskiwania wiedzy w nich zawartej.

## Literatura

- Boar H.B. (1999) *Constructing Blueprints for Enterprise IT Architectures*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Downarowicz O. *Geneza i współczesność zarządzania zasobami techniki*. [http://www.zic.pg.gda.pl/~odo/geneza\\_do\\_html3.htm](http://www.zic.pg.gda.pl/~odo/geneza_do_html3.htm).
- Bentley: T. (1998) *Information Systems Strategy for Business*. CIMA Publ., London.
- Zieliński S. (pod red.) (2000) *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cepowski M. (2000) *Rozproszony system ekspertowy w systemach pomiarowych*. III Konferencja: Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemśle – SP-2000, Wyd. Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra.
- Roy B. (1990) *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. WNT, Warszawa.
- Nowicki A. (pod red.) (1999) *Doskonalenie wielopoziomowych systemów informacyjnych*. Wyd. Akademii Ekonomicznej im. O.Langego, Wrocław.
- Toffler A., Toffler H. (1994) *War and Anti-War. Survival at the Dawn of 21st Century*, Warner Books, London.
- Nevis E.C., DiBella A.J., Gould J.M. (1995) *Understanding Organizations as Learning Systems*. Sloan Management Review, 36(2).
- DiBella A. J., Nevis E. C. (1998) *How Organizations Learn. An Integrated Strategy for Building Learning Capability*. Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- A. Niederliński: 1985 *Systemy komputerowe automatyki przemysłowej T.2 Zastosowania* - WNT, Warszawa.
- Duraj J. (1999) *What is Operational Reliability?* <http://tpmonline.com/OperationalReliability.htm>.
- Nutt G. (1992) *Open Systems* - Prentice-Hall, Englewoods Cliffs.
- Smolak M. (1995) *Accessworks. Integracja danych w środowisku klient-serwer* - Digital Forum nr 16. jesień 95.
- Adamczewski P. (1997) *W przeddzień wielkiej zmiany - Strategie i Technologie*. Dod. Specjalny do tygodnika Computerworld, wiosna.
- Durkin J. (1994) *Expert Systems. Design and Development* - Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey.
- Raport Badawczy (1990) nt. *Systemy Ekspertowe w zarządzaniu* - sporządzony w AE w Katedrze Systemów Komputerowych, Wrocław, nr 2/90, grudzień.
- Baborski A. (pod red.) (1994) *Efektywne zarządzanie a sztuczna inteligencja*, Wyd. AE, Wrocław.
- Owoc M. (pod red.) (1991) *Elementy systemów ekspertowych*, Wyd. AE, Wrocław, Skrypty.
- Feigenbaum A. (pod red.) (1981) *Handbook of Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Mulawka J.J. (1996) *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa.
- Jagielski J. (1997) *Pozyskiwanie wiedzy od ekspertów na etapie projektowania i wdrażania systemu eksperckiego*. II Krajowa Konferencja Naukowo Techniczna *Diagnostyka Procesów Przemysłowych*, Łagów k/Zielonej Góry, wrzesień, pp. 215-220.





**ISSN 0208-8028**  
**ISBN 83-85847-59-6**

---

---

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy  
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: [bibliote@ibspan.waw.pl](mailto:bibliote@ibspan.waw.pl)**