



Wrocław University of Technology

# **System ekspertowy – zadania, budowa, zastosowania**

Halina Kwaśnicka

Katedra Inteligencji Obliczeniowej

Politechnika Wrocławska

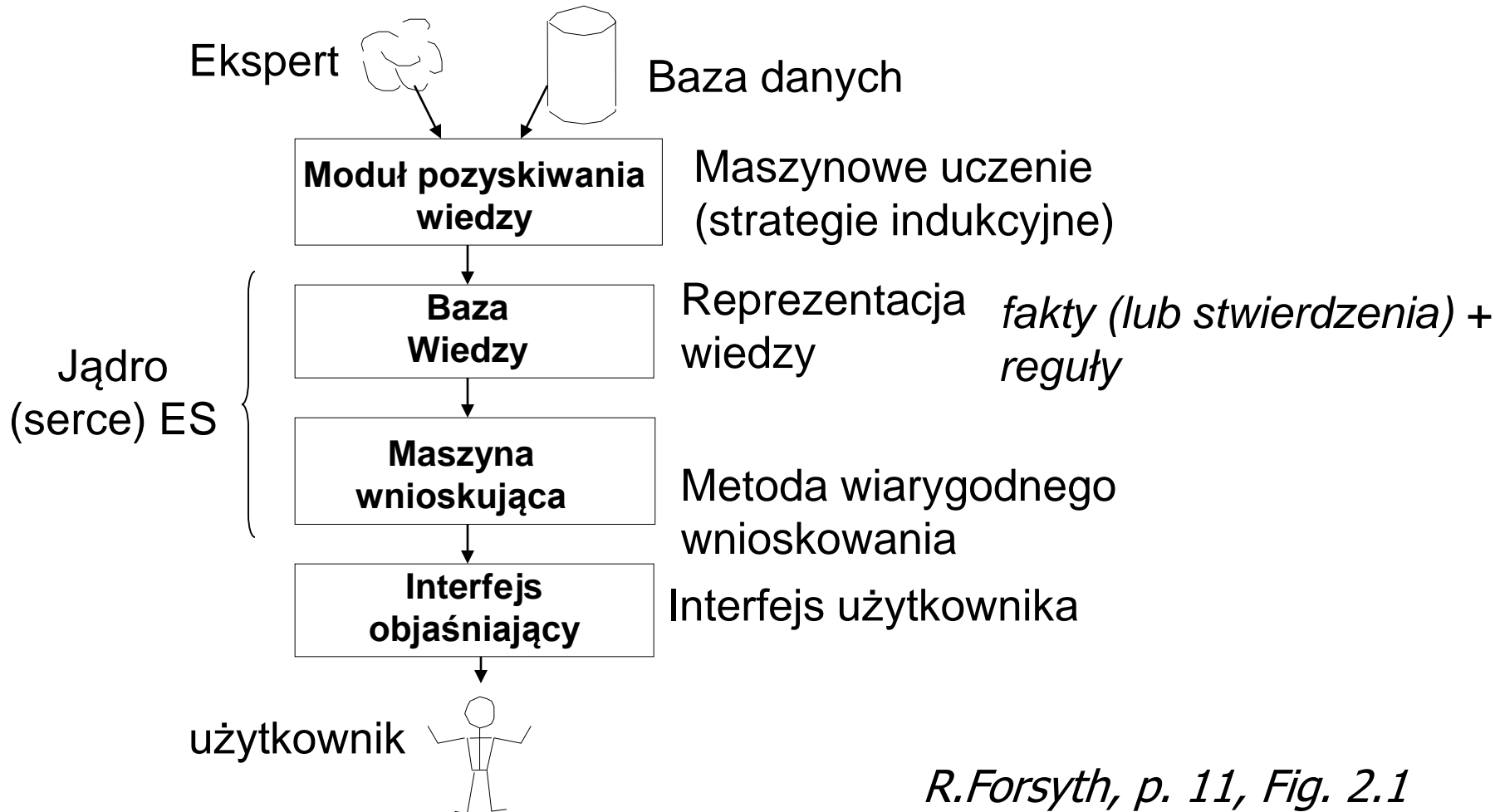
[Halina.kwasnicka@pwr.edu.pl](mailto:Halina.kwasnicka@pwr.edu.pl)

# System Ekspertowy - definicja

System Ekspertowy jest wbudowanym w komputer komponentem z bazą wiedzy, z umiejętnościami eksperta, który jest zdolny do oferowania inteligentnej porady lub podjąć inteligentną decyzję dotyczącą przetwarzanego problemu. Pożądaną dodatkową cechą, która może być postrzegana jako fundamentalna, jest zdolność systemu, na żądanie, do uzasadnienia swojej decyzji - przedstawienia procesu wnioskowania w sposób zrozumiały dla pytającego. Programowanie na bazie reguł umożliwia uzyskanie takich charakterystyk.

Expert Systems. Principles and case studies, R. Forsyth (Ed.),  
Chapman an Hall Computing, 1984.

# Typowy system ekspertowy - budowa



*R.Forsyth, p. 11, Fig. 2.1*

# Osiem głównych cech ES

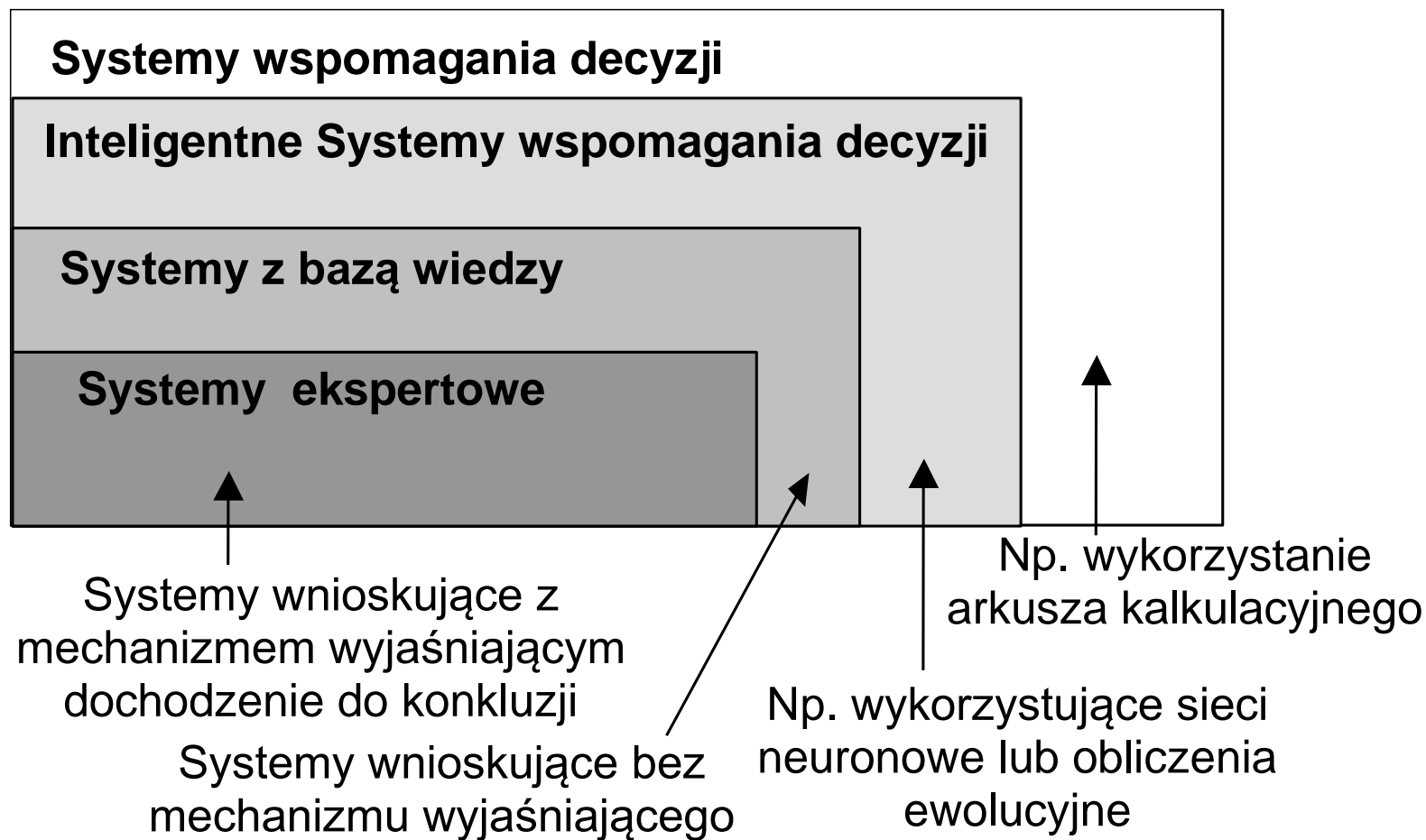
- System ekspertowy jest ograniczony do specyficznej dziedziny
- Może wnioskować z niepewnych danych
- Może wyjaśniać łańcuch wnioskowania w zrozumiały sposób
- Fakty i mechanizm wnioskujący są oddzielone od siebie
- Jest projektowany w sposób przyrostowy
- Zwykle jest na bazie reguł
- Dostarcza rady (*advice*) jako wyjście
- Zarabia pieniądze (jest to wymaganie eksploatacyjne)

# Dlaczego budować ES?

„Systemy Ekspertowe są niezbędne, aby uzupełniać lub zastępować ludzi przy wykonywaniu niektórych czynności, ponieważ ludzie:

- Posiadają ekspertyzę, która jest rzadkim dobrem
- Łatwo się męczą, zapominają i stają się opieszali
- Mogą porzucić pracę, mieć złe dni, być tendencyjnymi lub niesubordynowani
- Często nie są w stanie zrozumieć, przetrawić, zapamiętać lub łatwo sobie przypomnieć dużej ilości danych
- Mogą kłamać, ukryć się lub umrzeć ...”

# DSS - ES - KBS - wzajemne relacje



# Sztuczna i ‘naturalna’ ekspertyza

## Sztuczna ekspertyza

- jest stale dostępna
- łatwa do przeniesienia
- łatwa do zadokumentowania
- stała (w czasie)
- dostępna (jeśli chodzi o cenę)
- ...

## Ludzka ekspertyza

- nietrwała, ulotna
- trudna do przeniesienia
- trudna do zdokumentowania
- nieprzewidywalna
- droga
- ...

# Sztuczny i ‘naturalny’ ekspert

## Sztuczny ekspert

- brak kreatywności, inspiracji
- nie przystosuje się sam do nowych sytuacji
- przetwarza wiedzę symboliczną
- posiada wiedzę z wąskiego zakresu
- posiada wiedzę techniczną

## Ekspert

- ekspert jest kreatywny
- działa w nowych sytuacjach (adaptowalność)
- korzysta z doświadczeń czuciowych
- uwzględnia szerszy kontekst
- posiada wiedzę zdroworozsądkową



# Inżynieria wiedzy - proces budowy ES

- Budowa pierwszych systemów ekspertowych (ES) - bardziej sztuka niż przedsięwzięcie naukowe
- Budowa ES wymaga współpracy z ekspertami
- Definicja eksperta:

Ekspert jest to osoba, która, w wyniku treningu i doświadczenia może robić rzeczy, których reszta nie potrafi; eksperci są nie tylko biegli, lecz i efektywni, chętni do współpracy w zadaniach, których się podejmują. Eksperci wiedzą dużo rzeczy i znają różne chwytły oraz sygnały ostrzegające odnośnie znanych im problemów i zadań; oni również dobrze analizują informacje oderwane od problemu po to, by wyłuskać podstawowe rozwiązania, są dobrzy w rozpoznawaniu (i przeformułowaniu) problemów, żeby wyglądały one jak typowe przypadki, które są im znane.

# Budować ES gdy jest to możliwe:

- Istnieją autentyczni eksperci w danej dziedzinie
- Eksperci muszą być generalnie zgodni odnośnie rozwiązań w dziedzinie problemu
- Eksperci są w stanie wyartykułować i wyjaśnić stosowane metody
- Zadanie wymaga poznawczych sprawności (jeśli wymaga fizycznych manipulacji, to nie ES)
  - np. monitoring i sterowanie ramieniem robota na linii montażowej, część poznawcza może od inżyniera wiedzy, część fizyczna - bardziej konwencjonalne metody
- Zadanie nie powinno być ekstremalnie trudne
  - Jeśli ekspert nie jest w stanie nauczyć nowicjusza - musi być doświadczenie w pracy - może być trudno objąć proces przez ES
- Zadanie nowe (lub mało jeszcze zrozumiałe) dla ekspertów, że wymaga badań podstawowych - inżynier wiedzy nic nie zdoła

# Budować ES gdy jest to racjonalne:

- Jest możliwe (ale to nie wystarczy 😊 )
- Zadanie jest kosztowne, ocenić czy warto
- Kiedy ludzkie ekspertyzy są niedostępne
- Kiedy ludzkie ekspertyzy są rzadkie, zatem i drogie, lub nieużyteczne w konkretnym przypadku
- Kiedy firma potrzebuje bardzo podobnej ekspertyzy w wielu fizycznych miejscach (np. do sterowania każdą kolumną destylacyjnej)
- Tam, gdzie ludzka ekspertyza może być stracona w konkretnej organizacji
- Jeśli ma być w środowisku nieprzyjaznym, np. zakład energetyki nuklearnej, stacja kosmiczna, obca planeta
- Szkieletowe systemy ekspertowe („powłoki”)

# Przykłady zastosowań w hutnictwie (1)

- Światowy lider w praktycznych zastosowaniach systemów AI w hutnictwie/metalurgii - szwedzka firma NovaCast.
- Opracowała wiodące oprogramowanie dla odlewnictwa (stosowane obecnie w 35 krajach).
- Specjalizacją firmy jest maszynowe uczenie –metody indukcji reguł, NN i AG
- Przykładowe systemy tej firmy to:
  - SandMaster - adaptacyjny system sterowania odlewnią
  - MetalMaster - system optymalizacji składu wsadu

# Przykłady zastosowań w hutnictwie (2) - systemy wyprodukowane przez inne firmy

- Defect Analyzer 300 – zintegrowany system detekcji uszkodzeń w wysokojakościowych odlewach miedziowych, produkcja: firma FEI Company. Stosowany w Taiwan Foundry
- Pracujący w hucie aluminium Kaye (Presteigne) Ltd system oparty na CBR (Case Based Reasoning)
- ES sterujący procesem produkcyjnym wysokojakościowej stali w Boehler Uddenholm w Kapfenbergu, opracowany: Christian Doppler Laboratory for Expert Systems Politechniki Wiedeńskiej
- SACHEM (System of Aid to Control Blast Furnaces) – system kontrolujący pracę 6 pieców w 3 hutach francuskich (oszczędności rzędu 20 milionów euro rocznie)
- Około 25 ES rutynowo stosowanych w NKK Kawasaki (Japonia) Podstawowy system - diagnostyka i kontrola pieca hutniczego w celu stabilizacji wyników produkcji.
- Ponad 100 ES dla użytku wewnętrznego (około 30 w rutynowym użyciu) wykorzystywanych w Nippon Steel (Japonia), np. system nadzoru nad procesem wykorzystania pieca hutniczego (5-6 tys. reguł oraz NN do wstępnej obróbki danych)

# Przykłady zastosowań w hutnictwie (3) - Sterowanie procesem nagrzewania stali

- Cel: Obniżenie oksydacji na powierzchni kęsiska podczas procesu nagrzewania, które
  - ma wpływ na jakość produktu końcowego
  - jest niemierzalne w trakcie trwania procesu
- Kęsisko jest rozgrzewane od ok. 20°C do ok. 1100-1200°C
- Temperatura końcowa to kluczowy element kontroli procesu
- Zadanie operatora: takie sterowanie temperaturą wewnątrz pieca, by po zakończeniu ogrzewania różnica temperatur między powierzchnią a wnętrzem kęsiska mieściła się w określonym przedziale (w idealnym przypadku wynosi 0)
- Parametry procesu są ściśle powiązane, charakter procesu - silnie nieliniowy, dlatego:
  - przelotowe piece ogrzewające są zwykle sterowane przez operatorów w oparciu o ich wiedzę i doświadczenie

# Sterowanie procesem nagrzewania stali – Huta Xuxi w Shenhwa (Chiny)

- System składa się z trzech modułów:
  1. ustalanie współczynników kompensacji nastawień temperatury pieca w poszczególnych punktach w zależności od parametrów odgrzewanej stali (rodzaju sztaby i jakości surowca) oraz prędkości przesuwania (uwzględniane są wartości tych parametrów dla poprzedniej sztaby)
  2. ES z regułami pozyskanymi od operatorów, odpowiedzialny za dostarczanie uśrednionych danych (temperatura sztaby, zużycie oleju w palnikach i temperatura w różnych częściach pieca) – odpowiada to sposobowi postrzegania tych wartości przez człowieka
  3. steruje parametrami procesu, baza reguł (od ekspertów – operatorów), wnioskuje o optymalnych nastawach temperatury w poszczególnych punktach pieca. Automatycznie się uczy – raz dziennie na podstawie zużycia paliwa, nastaw temp. pieca oraz końcowej temperatury powierzchni sztaby tworzy nowe reguły - zmniejszenie zużycia energii
- System przetestowany na danych rzeczywistych i wdrożony w walcowni Xuxi w Shenhwa w Chińskiej Republice Ludowej.
- Efekt: zużycie energii o 8% i zmniejszenie strat oksydacji powierzchni sztab o 0.2% (dobre efekty ekonomiczne)

# Sterowanie procesem nagrzewania stali – inny przykład

- System dla koreańskiego koncernu POSCO
  - oparty na hierarchicznej modularnej NN
  - składa się z kilku niezależnych NN
  - potrafi podzielić postawione przed nią zadanie na dwa lub więcej funkcjonalnie niezależnych zadań i przydzielić je do nauczania osobnym podsieciom
  - wyniki testów okazały się bardzo dobre w zakresie zarówno szybkości, jak i jakości działania
- zdecydowano się powierzyć sterowanie pracą pieca automatycznemu systemowi



# Systemy sterowania piecami elektrycznymi (oszczędność energii)

- **SAI International w USA** - wykorzystuje NN - sterowanie poborem mocy przez piec łukowy
- zmniejszenie poboru energii, zużycia elektrod, zwiększenie produkcji
- oszczędności rzędu miliona dolarów rocznie
- od 1992 roku zainstalowane zostało ponad 30 tego typu kontrolerów
- **Neural Applications Corporation**
- W North Star Steel, Minnesota, USA - prototyp analogicznego systemu j.w., oszczędności zużycia prądu, tlenu, gazu i węgla
- rozwijany też system ScrapMaster - do efektywnego zarządzania przetwarzanym złomem – minimalizacja kosztów
- **System EFSOP**
- Goodfellow Technologies Inc (USA) opracowała system EFSOP - zarządzanie elektrycznymi piecami łukowymi
- EFSOP - analiza gazów wylotowych, optymalizacja procesu spalania (oszczędności rzędu miliona dolarów rocznie)
- EFSOP wdrożony jest w 7 zakładach w tym Co-Steel Lasco (USA) przynosząc ponad 700 tys. dolarów zysków rocznie

# Inteligentne systemy monitorowania do produkcji żelaza: Aceralia

- Projekt: IMSI (Intelligent Monitoring Systems for Ironmaking)
- Europejskie Stowarzyszenie Węgla i Stali (British Steel, VDEh-BFI, CSM oraz Aceralia Corporación Siderúrgica)
- Cel: inteligentne monitorowanie dwóch nowych pieców hutniczych zakładów w Gijón
- Założenia:
- Aceralia (północna Hiszpania, k. Gijón) - firma wytwarza żelazo i stal, uruchomiono 2 nowoczesne piece hutnicze - dotychczasowa wiedza zawarta w doświadczeniu operatorów stała się nieaktualna

# System Aceralia:

- monitoruje w czasie rzeczywistym ponad sto zmiennych i wytwarza podstawowe diagnozy stanu pieca
- prezentuje architekturę, w której tradycyjne koncepcje systemu opartego na wiedzy są połączone z technikami diagnozowania w oparciu o model, eliminując tym samym możliwe niespójności pierwszego i złożoność drugiego
- łączy modele analityczne z regułami ekspertów oraz metodami uzyskanymi z baz danych przez mechanizmy uczenia maszynowego
- Poziom wdrożenia
  - System jest się w fazie testów na instalacjach w Gijón
  - zaimplementowano jeden z modułów systemu ekspertowego (nadzorowanie statusu cieplnego pieca)
  - pozostałe dwa moduły: nadzoru zachowania wsadu (opadanie, zsuwanie, zawieszenie) oraz analizy gazów są w fazie opracowywania

# Inteligentne systemy monitorowania do produkcji żelaza - System Sachem

- Jeden z najnowocześniejszych i najwszechstronniejszych inteligentnych systemów sterowania stosowanych w hutnictwie
- Cel: usprawnienie monitorowania i diagnozowania pieców hutniczych należących do Usinor Group, członka grupy Arcelor, jednego z największych na świecie wytwórców produktów stalowych
- Pierwotny cel - uzyskanie oszczędności rzędu 1 euro na tonę produktu, osiągnięte oszczędności szacuje się na 1,66 euro na tonę
- Używany jest od 1999 roku do monitorowania i sterowania sześcioma piecami hutniczymi
- Pozwala na poprawę jakości produktu i na wydłużenie czasu życia wykorzystywanych urządzeń
- Istotny cel: zmniejszenie wpływu zmian zespołów operatorów na proces produkcji (np. w wyniku przejścia na emeryturę)

# System Sachem - misja

- zapewnienie ciągłości działania i niezawodności (ośmiodzinne zmiany operatorów i ograniczona zdolność ludzkiej percepcji)
- osiągnięcie regularności działania (integracja wiedzy ekspertów, w szczególności dotyczącej wczesnego wykrywania zdarzeń)
- zwiększenie wydajności ekonomicznej i technicznej
- wzrost czasu użytkowania pieca - lepsze i płynne prowadzenie procesu
- zgromadzenie wiedzy do lepszego analizowania działań przeszłych oraz skuteczniejszego szkolenia operatorów

# Funkcje systemu Sachem

- pozyskiwania danych, ich synchronizacji, porządkowania i weryfikacji,
- przetwarzania i walidacji pozyskanych danych - fizyczne i chem modele
- analizy sygnałów z wykorzystaniem NN (wykrywanie zmian)
- wykrywania zjawisk występujących w czasie działania oraz generowania ostrzeżeń i alarmów w razie potrzeby
- interpretacji aktualnej sytuacji na podstawie wnioskowania z wykorzystaniem rozbudowanej bazy wiedzy na temat procesu,
- rekomendowania operatorom właściwych akcji, w przypadku konieczności korekcji stanu

# Sachem - opracowanie systemu

- W latach 1992-1997 w pracach nad systemem Sachem uczestniczyło 6 inżynierów wiedzy oraz 13 wiodących ekspertów w dziedzinie diagnostyki pieca hutniczego
- Całkowity koszt gromadzenia wiedzy wyniósł około 30 osobolat (14 na wstępną akwizycję wiedzy, 16 na fazę dostrojenia i walidacji)
- Kompletny koszt projektu rozpoczętego w 1991 roku to około 200 osobolat, przy czym łączna liczba zaangażowanych inżynierów sięgnęła 40 osób
- Koszt opracowania systemu Sachem zamknął się kwotą około 24,39 milionów euro:
  - faza modelowania konceptualnego z kwotą 1,52 miliona euro
  - faza modelowania specyfikacji z kwotą 5,57 milionów euro
  - faza projektowania i kodowania z kwotą 17,3 milionów euro

# Sachem - prace nad systemem

- Powstały:
- tzw. Ogólna Analiza Ekspercka (rok prac) oraz
- tzw. Szczegółowa Analiza Ekspercka (dodatkowe dwa lata).
- Ekspertyza przebiegała trzema torami:
  - Formułowania zgromadzonej wiedzy w języku naturalnym bądź strukturalnym, możliwym do oceny przez ekspertów, którego wynikiem był model lingwistyczny obejmujący 2tys. stron tekstu i grafiki w ponad 70 dokumentach
  - Utworzenia modelu dla inżynierów oprogramowania
  - Implementacji modelu.
- Model konceptualny wiedzy opisujący cały system zawiera:
  - 25tys. obiektów dla 33 celów, 27 zadań
  - 75 struktur wnioskowania
  - 3200 koncepcji i 2000 relacji



# Sachem - baza wiedzy

- Bazy wiedzy systemu Sachem zawierają:
  - ponad 1060 klas obiektów,
  - 1100 reguł logiki pierwszego rzędu
  - ponad 140 typów raportowanych zdarzeń.
- Objętość kodu wynosi około 400 000 linii, z czego około 60% implementuje model funkcjonalny, którego 33% dedykowano faktycznym bazom wiedzy.

# Sachem - wdrożenia i rezultaty

- Pierwsza działająca wersja systemu została uruchomiona we wrześniu 1996 roku przy pierwszym piecu instalacji w Fos sur Mer.
- Obecnie Usinor Group posiada 6 pieców wykorzystujących system Sachem, po dwa w: Fos sur Mer, Dunkierce i Lorraine
- Łączna produkcja zakładów to 11,5 mln. ton, przy oszczędnościach 1,66 euro na tonę daje to zysk ponad 19 mln. euro rocznie
- Główne zalety z wdrożenia systemu obejmują:
  - zwiększenie dostępności pieca
  - zwiększenie zyskowności produkcji
  - oszczędności paliwowe
  - redukcję emisji dwutlenku węgla
  - udoskonalenie płynności procesu oraz jakości produktu
  - redukcję liczby wypadków procesowych, a tym samym zwiększenie bezpieczeństwa w miejscu pracy
  - wydłużenie czasu użytkowania pieca

# Sachem, inne rezultaty

- Sama dokładność analizy sygnałów pozwoliła na wykrycie awarii w sterownikach PLC (po weryfikacji duża ich część została wymieniona, co pozwoliło na znacznie lepsze sterowanie procesem)
- Po półtora roku funkcjonowania zanalizowano ponad 8 000 zjawisk, podsumowaniem tych analiz jest stwierdzenie, iż:

Sachem jest obecnie lepszy od najlepszego operatora

- Wprowadzenie systemu pozwoliło na zwiększenie wykorzystania czasu pieca poprzez ograniczenie czasu wyłączenia
- Około trzykrotnie zmalała liczba wypadków (poziom bezpieczeństwa)
- Wprowadzenie modułu doradczego pozwoliło na zmniejszenie standardowego odchylenia zawartości krzemu w produkcie o 4%
- Sachem nie zastąpił wiedzy ekspertów, a raczej spowodował wzrost doświadczenia wśród zatrudnionych techników

Zgromadzona przy projektowaniu systemu wiedza jest obecnie wykorzystywana w celu lepszego szkolenia operatorów

# *Następny wykład:*

Logika w ES, reprezentacja wiedzy

Za tydzień 

