

## Rozdział 7

# Podsumowanie i wnioski

Praca jest wynikiem badań autora nad strategią budowy systemu ekspertowego z zintegrowaną bazą wiedzy. Stanowi ona próbę syntezy obejmującej całokształt zagadnień związanych z budową diagnostycznego systemu ekspertowego dla złożonych procesów przemysłowych, począwszy od wyboru reprezentacji wiedzy a kończąc na metodzie wnioskowania zastosowanej w zaproponowanym systemie.

Sformułowany na wstępie cel pracy został w zakresie *opracowania budowy zintegrowanego systemu ekspertowego* osiągnięty poprzez:

- *szczegółową identyfikację przedmiotu badań* (forma reprezentacji wiedzy oraz zasady integracji różnych form reprezentacji wiedzy), wymagającą analizy własności złożonych procesów przemysłowych (rozdział 5), zadania diagnozowania tego typu procesów (rozdział 2.2), uwzględnienia specyfiki reprezentowania i gromadzenia wiedzy niezbędnej do realizacji zadania diagnostycznego (rozdział 3);
- *opis wybranych metod reprezentowania wiedzy* dotyczącej analizy własności metod analitycznych (rozdział 2.2.3), metod sztucznej inteligencji, do których zaliczono: sieci neuronowe (rozdział 4.2), logikę rozmytą (rozdział 4.3) i algorytmy ewolucyjne (rozdział 4.3.7);
- określenie *metod opisu stanu diagnozowanego procesu* przy wykorzystaniu metod analitycznych (rozdział 5.3, 6.2.1), sztucznych sieci neuronowych (rozdział 5.5.2, 6.2.2), zbiorów rozmytych (rozdział 4.3) i neuro-rozmytych (rozdział 4.3.6) oraz regułowych systemów ekspertowych (rozdział 4.4.3, 6.2.3);
- *opracowanie scenariusza procesu gromadzenia wiedzy w różnych formach oraz integrowania zgromadzonej wiedzy* w ramach regułowego systemu ekspertowego (rozdział 4.3.5, 4.3.6, 6.2).

Biorąc pod uwagę *złożoność zagadnienia diagnozowania procesu przemysłowego* oraz mając na uwadze *przebadanie możliwości opracowanej metodologii reprezentowania wiedzy*, utworzono *zintegrowany diagnostyczny system ekspertowy*. Centralnym elementem tego systemu jest *baza wiedzy*, którą opracowano zgodnie ze strukturą szkieletowego regułowego systemu ekspertowego EXSYS Professional. Regułowa reprezentacja wiedzy umożliwia zintegrowanie różnych form reprezentacji wiedzy. Podstawową z nich jest wiedza eksperta uzyskana na drodze opytania lub obserwacji działania danego eksperta lub grupy ekspertów. Uzyskaną deklaracyjną wiedzę reprezentowano w formie dyskretnej i rozmytej. W celu zweryfikowania przydatności obu form reprezentacji wiedzy deklaratywnej przeprowadzono badania porównawcze jakości diagnozowania SE dla obiektu dwóch zbiorników, w którym wprowadzono kilka charakterystycznych uszkodzeń pojedynczych i wielokrotnych. Ze względu na małą efektywność działania SE z wiedzą deklaracyjną dla złożonych procesów przemysłowych zaproponowano do opisywanego systemu włączyć wiedzę uzyskaną na bazie metod analitycznych (filtr Kalmana) oraz zgromadzoną przy wykorzystaniu wybranych elementów sztucznej inteligencji. Bazując na danych wejściowo-wyjściowych dostępnych w systemie monitorowania procesu przemysłowego, zaproponowano do budowy nieliniowych modeli zespołów procesu zastosować sztuczne sieci neuronowe. Mogą one być realizowane jako wielowarstwowy perceptron, samoorganizująca mapa Kohonena lub sieci z dynamicznymi neuronami. Biorąc dodatkowo pod uwagę niepewność i niedokładność gromadzonych w procesie monitorowania danych, zaproponowano uzupełnić bazę wiedzy SE o elementy utworzone na bazie logiki rozmytej. Pozwoliło to uzyskać kolejny poziom wzrostu niezawodności prowadzenia zadania diagnostycznego. Reprezentacja wiedzy oparta na zbiorach rozmytych pozwoliła na budowę modeli neuro-rozmytych, które łączą w sobie wiedzę uzyskaną od ekspertów z wiedzą wydobytą z baz danych w procesie uczenia sieci neuro-rozmytej. Ponadto zbiory rozmyte zastosowano również do budowy klasyfikatora stanu diagnozowanego procesu. Zaproponowany klasyfikator zbudowano na bazie wielowymiarowych zbiorów rozmytych a jego funkcjonalność przebadano, realizując zadanie diagnostyczne dla zespołu dwóch zbiorników z wprowadzonymi charakterystycznymi uszkodzeniami.

Przydatność opisanych w rozprawie form reprezentacji wiedzy oraz zasad ich integracji z wykorzystaniem regułowego systemu ekspertowego oceniono przeprowadzając grupę badań efektywności diagnostycznej SE z zintegrowaną reprezentacją wiedzy dla zespołu kocioł-turbina. Badania prowadzone w ramach eksperymentu symulacyjnego, wykonanego za pomocą zbudowanego dla badań cyfrowego symulatora pracy zespołu kocioł-turbina (Dodatek A), dotyczyły:

- *weryfikacji poprawności prowadzenia procesu diagnostycznego w hierarchicznej strukturze zintegrowanego SE*. Zawierały one etapy analizy pojawiania się fałszywych alarmów generowanych przez detektory wstępnej analizy przebiegu procesu przemysłowego. W celu podwyższenia niezawodności pracy ww detektorów wprowadzono redundancję programową łącząc w strukturę rów-

noległą detektor neuronowy (rozdział 6.2.2) i detektor z rozmytą reprezentacją wiedzy (rozdział 6.2.4.2);

- *oceny poprawności funkcjonowania SE z zintegrowaną bazą wiedzy*. Dokonano weryfikacji zasad powiązań między wiedzą reprezentowaną w formie deklaratywnej, jako priorytetowej oraz detektorów neuronowych, modeli i klasyfikatorów rozmytych (rozdział 6.2.3).

Badania potwierdziły poprawność przyjętej koncepcji budowy *diagnostycznego SE z zintegrowaną bazą wiedzy* oraz skuteczność opracowanych redundantnych form reprezentowania wiedzy z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

Badania, zrealizowane w zakresie opisanym wcześniej, pozwalają sformułować następujące stwierdzenia dotyczące tej pracy:

- Słuszność tezy 1. wykazano *opracowując zasady integracji różnych form reprezentacji wiedzy* do prowadzenia zadania diagnozowania procesu przemysłowego. Badania przeprowadzone dla zadania diagnozowania zespołu kocioł-turbina wykazały brak występowania fałszywych alarmów, dobrą skuteczność detekcji i lokalizacji wszystkich wprowadzanych uszkodzeń zarówno pojedynczych jak i wielokrotnych pojawiających się jednocześnie lub w określonej sekwencji czasowej (Dodatek B).
- Słuszność tezy 2. wykazano, *opracowując detektory analityczne, neuronowe i modele oraz klasyfikatory rozmyte*. Wykazano, że dla wybranych podzespółów diagnozowanego obiektu należy stosować różne formy reprezentacji wiedzy. Wybór formy reprezentacji wiedzy uzależniony jest od charakteru obserwowanego zespołu, od ilości i zakresu dostępnych danych opisujących zachowanie obiektu oraz od dostępności wiedzy o powiązaniach między dostępnymi wielkościami. Ponadto pokazano również, że dla podwyższenia niezawodności diagnozowania należy stosować redundancję programową umożliwiającą unikania fałszywych alarmów, jak również uzyskania systemu o zadawalającej wrażliwości na pojawiające się odstępstwa od normy na niewielkim poziomie lub czasie trwania. Proces gromadzenia wiedzy rozwiązano bazując na wiedzy eksperta (znajomość zjawisk fizycznych zachodzących w wybranych podzespółach obu diagnozowanych procesów, znajomość relacji przyczynowo-skutkowych wykorzystywanych przy budowie reprezentacji regułowej zarówno w formie dyskretnej jak i rozmytej) (rozdział 5.3, 5.4) oraz wykorzystując technikę uczenia z przykładów (rozdział 4.3.6, 4.3.7, 4.3.8).

Oceniając wykonaną pracę, autor uważa, że jej najważniejszymi, oryginalnymi osiągnięciami są:

- opracowanie zasady integracji wiedzy reprezentowanej w różnej formie. Przygotowanie algorytmu priorytetowania wybranych form reprezentowania wiedzy dla zadania wnioskowania o stanie diagnozowanego procesu (rozdział 6.2.3);

- opracowanie redundancyjnego układu wstępnej diagnozy stanu diagnozowanego procesu. Układ wyposażono w detektor neuronowy i klasyfikator rozmyty (rozdział 6.2.2, 6.2.4.2)
- przygotowanie i przetestowanie funkcjonalności rozproszonych struktur modeli rozmytych stosowanych w układzie diagnostycznym z modelem (rozdział 4.3.5);
- utworzenie algorytmu uczenia rozproszonych struktur modeli neuro-rozmytych (rozdział 4.3.6);
- wprowadzenie do regułowej bazy wiedzy mechanizmu rozpoznawania obrazów stanu obiektu opisanych z zastosowaniem zbiorów rozmytych (rozdział 6.2.3);
- przeprowadzenie analizy wpływu zasad rozmywania danych procesowych na jakość realizacji zadania diagnostycznego (rozdział 4.4.3.1);
- opracowanie metodologii wykorzystania metod sztucznej inteligencji do budowy zintegrowanego diagnostycznego SE.

Istotna część pracy (rozdział 6 wraz z dodatkami A i B) obejmuje zagadnienia oceny przydatności wprowadzonych metod i zastosowanych technik gromadzenia i wykorzystania różnych form reprezentowania wiedzy. Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność i niezawodność realizacji zadania diagnozowania modelu procesu przemysłowego (zespół kocioł-turbina). Zastosowanie omawianego systemu diagnostycznego dla złożonych procesów wymaga rozbudowy systemu zbierania danych oraz poszczególnych bloków zintegrowanej bazy wiedzy.

Wykonane badania, opisane w rozprawie, pozwalają określić *kierunki dalszych badań*, których realizacja wiąże się z wykorzystaniem koncepcji i metod przedstawionych w rozprawie do budowy systemu, w którym dokonano połączenia najnowszych osiągnięć w zakresie rozwoju sztucznej inteligencji. Uzasadnia to dalsze prace nad rozwojem metodologii łączenia różnych form reprezentacji wiedzy z technikami automatycznego zdobywania wiedzy o procesie.

Dalsze prace dotyczyć będą między innymi:

1. *W zakresie projektowania i strojenia modeli rozmytych:*

- *rozwój sposobów automatycznego wyboru struktury rozmytego modelu.*  
Obejmuje to zagadnienia rozwoju struktur równoległych i kaskadowych oraz mieszanych. Wybór struktury modelu należy zrealizować z wykorzystaniem technik optymalizacji wielokryterialnej;
- *rozwój metod strojenia parametrów rozmytych modeli.*  
Problem dotyczy przygotowania technik optymalizacji własności rozmytego modelu w zakresie doboru parametrów procesu rozmywania wejść

i wyjść, definicji operatorów *t-normy* i *s-normy* oraz operatora *implikacji*. W etapie pierwszym przyszłych badań należy ocenić skuteczność technik opartych o algorytmy ewolucyjne, programowanie genetyczne, oraz techniki przeszukiwania bezpośredniego;

- *rozwój klasyfikatorów rozmytych*. Prace badawcze w tym kierunku powinny obejmować zagadnienia adaptacyjnego doboru parametrów procesu rozmywania i wnioskowania w celu dostrojenia obszarów rozmytych (wielowymiarowych zbiorów rozmytych) do zdefiniowanych klas stanów procesu.
- *opracowanie rozmytej reprezentacji wiedzy uzyskanej od ekspertów*. Prace będą realizowane w celu uzyskania SE z kompletną bazą wiedzy (kompletność lingwistyczna).

2. *W zakresie zastosowań sieci neuronowych i neuro-rozmytych:*

- *rozwój detektorów neuro-rozmytych*. Dalsze prace zawierać będą zagadnienia wykorzystania sieci z dynamicznymi neuronami w strukturach neuro-rozmytych. W przypadku budowy systemu diagnostycznego dla procesu przemysłowego detektor neuronowy o dopasowanej do procesu dynamice pozwoli na pracę w trybie *on-line*.
- *opracowanie struktury i metod strojenia uogólnionego operatora implikacji rozmytej*. Uzyskane wyniki umożliwią realizację układów adaptacyjnych, w których w procesie strojenia modelu rozmytego definiowane będą parametry operatora rozmytej implikacji.

3. *W zakresie rozwoju zasad integracji wiedzy i danych opisanych w różnej reprezentacji:*

- *rozwój systemów ekspertowych opartych na diagramie cech*. Taka forma opisu własności SE umożliwia analizę różnorodności powiązań między cechami diagnozowanego procesu oraz cechami zastosowanego systemu diagnostycznego.
- *opracowanie metodologii opisu zasad wnioskowania w systemach ekspertowych z przybliżoną reprezentacją wiedzy*. Stanowić to będzie kontynuacje rozpoczętych już badań dotyczących zasad wnioskowania rozmytego z ważoną formą agregacji konkluzji.

