

*Jerzy Langman*  
*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki*  
*Akademia Rolnicza w Krakowie*

## **ZASTOSOWANIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W DIAGNOSTYCE PROCESÓW PRZETWÓRCZYCH**

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono podstawowe schematy diagnostyczne złożonych procesów przetwórczych produktów rolniczych. Z uwagi na silnie nieliniowe związki pomiędzy wejściem i wyjściem danego procesu przetwórczego, do opracowania modułu wnioskowania diagnostycznego procesu można wykorzystać metody sztucznej inteligencji.

**Słowa kluczowe:** sztuczna inteligencja, diagnostyka procesów

### **Wstęp**

Każdy proces przetwórczy możemy potraktować jako niezależny system, który posiada wejścia (produkty do przetworzenia), wyjścia (gotowy przetworzony produkt). Na każdy system podczas jego działania oddziałują różnorakie zakłócenia, które w zależności od ich siły oddziaływania mogą mieć większy lub mniejszy wpływ na końcową jakość gotowego wyrobu. Zakłócenia mogą być zewnętrzne lub generowane wewnątrz systemu przetwarzania na skutek zmian zachodzących w urządzeniach technicznych biorących udział w tym procesie. Zmiany te mogą być spowodowane procesami zużyciowymi, zmianami własności fizycznych w elementach aparatury używanej w przetwarzaniu bądź zmianami w nastawach poszczególnych elementów aparatury przetwórczej. Dlatego też chcąc uzyskać właściwą jakość przetworzonego produktu poszczególne węzły funkcjonalne aparatury przetwórczej winny być okresowo lub w trybie „on line” diagnozowane, żeby w momencie zaistnienia krytycznych zmian parametrów procesu przetwórczego można było zidentyfikować miejsce powstania sytuacji nieprawidłowej dla całego procesu przetwórczego.

### **Sztuczna inteligencja w procesie diagnostycznym.**

W trakcie realizacji dowolnego procesu przetwórczego dokonywane są pomiary wartości zmiennych procesowych, które wykorzystywane są zarówno do sterowania jak i ciągłej kontroli przebiegu całości lub wyodrębnionych technologicznie fragmentów procesu.

Opis analityczny przebiegu procesu przetwórczego, z uwagi na silne nieliniowości pomiędzy parametrami wejściowymi, wyjściowymi i zakłóceniami, nie zawsze jest możliwy do wykonania. Dlatego też w celu formalizacji opisu procesu przetwórczego można wykorzystać metody sztucznej inteligencji. W skład sztucznej inteligencji wchodzi następujące metody:

- sztuczne sieci neuronowe
- systemy ekspertowe
- logika rozmyta
- algorytmy genetyczne.

Wykorzystując poszczególne metody sztucznej inteligencji możemy dokonać formalizacji zapisu przebiegu procesu przetwórczego z uwzględnieniem szerokiego zakresu zmian wartości zmiennych procesowych występujących podczas jego realizacji jak też i możliwych zakłóceń. Uwzględnianie zakłóceń w zapisie formalnym przebiegu procesu pozwala na opracowanie skutecznego modułu wnioskowania diagnostycznego procesu przetwórczego.

System ekspertowy w oparciu o bazę wiedzy i system reguł dotyczące analizowanego problemu wygeneruje odpowiedni sygnał diagnostyczny. W SSN wiedza o danym zagadnieniu jest zawarta w zbiorze wag połączeń między neuronowych danej sieci. O ile w systemach ekspertowych wiedza zawarta jest w postaci jawnej w formie opisowej, to w przypadku sieci neuronowych informacje przetworzone przez sieć mają postać zbiorów liczbowych w których jest ona skompresowana i zakodowana, czyli w postaci niejawnej. Sztuczne sieci neuronowe oprócz zdolności do uczenia się posiadają jeszcze kluczową cechę jaką jest zdolność do uogólniania. Jest to szczególnie istotna cecha w procesie diagnozowania całego bądź fragmentu procesu przetwórczego.

Stosowanie systemów ekspertowych jako modułu składowego systemu wnioskowania diagnostycznego umożliwia jego modyfikację w trakcie jego eksploatacji, gdyż polega ona na rozszerzeniu zapisów w bazie wiedzy i bazie reguł, co może być przeprowadzane „na gorąco” bez konieczności nawet chwilowego wyłączenia go z eksploatacji.

Natomiast modyfikacja sztucznej sieci neuronowej wymaga przeprowadzenia od nowa procesu uczenia sieci na nowym, uwzględniającym zmiany przebiegu procesu, pliku uczącym. Pozwoli to na określenie nowego zbioru wag połączeń między neuronowych. Logika rozmyta pozwala na rozróżnianie stanów pośrednich pojedynczych lub zbiorów zmiennych procesowych, co jest istotne w rozróżnianiu zmian zachodzących w realizowanym procesie przetwórczym. Jest bowiem ona pod pewnym względem rozszerzeniem dwustanowej logiki boolowskiej.

Algorytmy genetyczne pozwalają na określenie zmian wartości zmiennych procesowych w powiązaniu z zaistniałymi wcześniej stanami procesu wykorzystując takie operatory genetyczne jak dziedziczenie, krzyżowanie i mutacje.

### **Podstawowe schematy diagnostyki procesów.**

Wszystkie te metody pozwalają na opis matematyczny procesu przetwórczego oraz na określaniu ilościowym i jakościowym wpływu sygnałów wejściowych i zakłóceń na zbiór sygnałów wyjściowych czyli na jakość przetworzonego produktu. Jest to potrzebne do określania przyczyn ewentualnych zmian jakości końcowego produktu.

W diagnostyce procesów testy wykonywane są automatycznie przez komputer diagnozujący, wyposażony w specjalny program realizujący algorytmy detekcyjne. Zakładamy, że w wyniku realizacji testu generowany jest jeden sygnał diagnostyczny. Algorytmy testu diagnostycznego, które generują  $m$  sygnałów diagnostycznych traktowane są jako  $m$  testów.

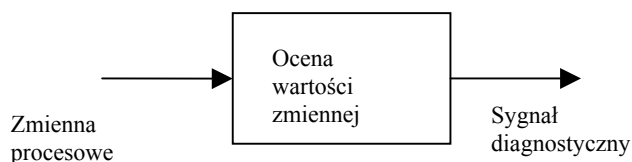
W najprostszym przypadku sygnałem diagnostycznym może być zmienna procesowa, jednak w celu pozyskania informacji o stanie obiektu diagnostyki zmienne procesowe poddawane są dalszemu przetwarzaniu. Zmienna procesowa jest mierzalnym sygnałem analogowym, natomiast sygnał diagnostyczny jest, w większości przypadków, wielkością binarną. Najczęściej stosowane są następujące metody pozyskiwania sygnałów diagnostycznych:

- sygnał diagnostyczny wyznaczany jest przez porównanie zmiennej procesowej z wartościami dopuszczalnymi lub granicznymi zmiennej (rys. 1),
- na podstawie przebiegu zmiennej procesowej w czasie wyznaczany jest parametr tej zmiennej (np. gradient, odchylenie standardowe, średnia itp.) (rys. 2),
- na podstawie związków ilościowych i jakościowych między zmiennymi procesowymi wyznaczany jest sygnał diagnostyczny (rys. 3),
- na podstawie modelu analitycznego obiektu wyznaczane są obliczeniowe wartości zmiennych procesowych i porównywane są one z wartościami zmierzonymi zmiennych procesowych (rys. 3). Residuum jest wyznaczane najczęściej

jako różnica między wartością zmierzoną i obliczoną zmiennej procesowej. Wyznaczona wartość residuum podlega ocenie na podstawie której generowany jest sygnał diagnostyczny.

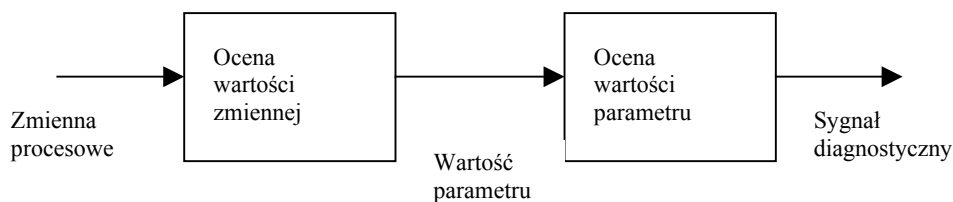
Wykrywanie uszkodzeń sprowadza się w zasadzie do przekształcenia zbioru zmiennych procesowych  $X$  w zbiór odpowiadających im sygnałów diagnostycznych  $S$ .

W diagnostyce procesów wykrywanie uszkodzeń winno bazować na mierzalnych sygnałach roboczych oraz ewentualnie na wymuszeniach testowych, które nie mogą zakłócać procesu.



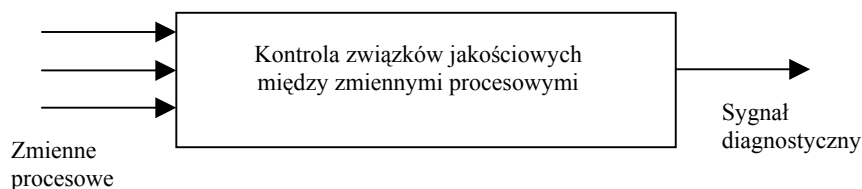
Rys. 1. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli wartości zmiennej procesowej

Fig. 1. Diagram of diagnostic test involving control of process variable value



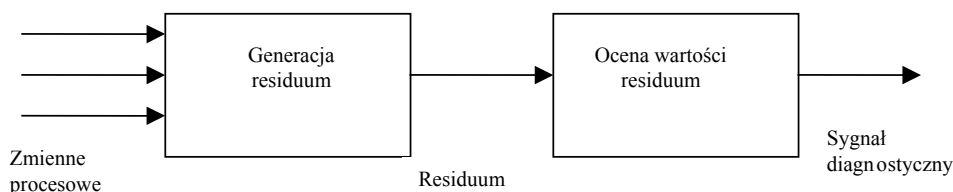
Rys. 2. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli wartości parametru zmiennej procesowej

Fig. 2. Diagram of diagnostic test involving control of process variable parameter value



Rys. 3. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli prostych związków jakościowych i ilościowych między zmiennymi procesowymi

Fig. 3. Diagram of diagnostic test involving control of simple qualitative and quantitative relations between process variables



Rys. 4. Schemat testu diagnostycznego wykorzystującego model analityczny obiektu

Fig. 4. Diagram of diagnostic test using analytical model of the object

Przekształcanie zbioru  $X$  zmiennych procesowych w zbiór  $S$  sygnałów diagnostycznych można dokonać wykorzystując metody sztucznej inteligencji. W celu porównania wartości zmiennej procesowej z wartościami dopuszczalnymi bądź granicznymi i na podstawie tego porównania wygenerowanie odpowiedniego sygnału diagnostycznego można wykorzystać odpowiednio wytrenowane sztuczne sieci neuronowe (SSN) o 1 wejściu, 1 wyjściu i  $n$  neuronach w warstwie ukrytej.

Natomiast generacja sygnału diagnostycznego na podstawie oceny wartości parametru zmiennej procesowej wymagać będzie porównania bieżącej wartości zmiennej procesowej z poprzednimi, wcześniej zarchiwizowanymi, wartościami zmiennej i na tej podstawie wyznaczenie aktualnej wartości sygnału diagnostycznego. Do realizacji tego zadania można wykorzystać zarówno SSN o  $k$  wejściach odpowiadających liczbie analizowanych (bieżących i zarchiwizowanych) wartościach

zmiennej procesowej, jak i system ekspertowy. W celu formalizacji związków jakościowych lub ilościowych między zmiennymi procesowymi można wykorzystać SSN oraz logikę rozmytą w celu określenia stanów pośrednich w stanie wartości zmiennych procesowych (co nie jest możliwe przy zastosowaniu logiki boolowskiej rozróżniającej dwa stany – prawda i fałsz). SSN powinna posiadać tyle wejść ile jest zmiennych procesowych opisujących dany proces oraz 1 wyjście. Logika rozmyta pozwala na ciągłe przejście między prawdą a fałszem. W zastosowaniach diagnostycznych logika rozmyta może stać się idealnym rozwiązaniem problemów decyzyjnych, gdzie nie zawsze można zdefiniować jednoznacznie stan techniczny obiektu. Logika rozmyta przeznaczona jest dla złożonych systemów nieliniowych, dla których nie można było stworzyć modeli matematycznych lub opracowane modele zawierały zbyt wiele uproszczeń.

### **Wnioski**

1. Złożoność zjawisk jakie zachodzą podczas procesów przetwórczych, a ściślej silnie nieliniowe związki między wejściem a wyjściem procesu, uniemożliwiają zastosowanie prostych metod wnioskowania diagnostycznego celem jednoznacznego określenia miejsca wystąpienia nieprawidłowości w realizacji założonej technologii przetwarzania.
2. Opracowując system diagnostyczny dla procesu przetwarzania najkorzystniejsze jest zastosowanie metod sztucznej inteligencji do budowy skutecznego systemu wnioskowania diagnostycznego. Skuteczność takiego systemu przejawiać się powinna w jednoznaczności diagnozy w wieloparametrowym procesie jakim jest proces przetwarzania produktów rolniczych.

### **Bibliografia**

Kościelny J.M. 2001. Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza Warszawa.

Baszura C. 1996. Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.

Mulawka J.J. 1996. Systemy ekspertowe, WNT.

Osowski S. 1996. Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym, WNT Warszawa.

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
IN PROCESSING DIAGNOSTICS**

**Summary**

The article presents basic diagnostic diagrams of complex farm produce processing. Due to heavily non-linear relations between the input and output of the particular process, for developing a process diagnostic inferencing module methods of artificial intelligence can be used.

**Key words:** artificial intelligence, process diagnostics