

Grzegorz Bartnik, Andrzej Kusz, Andrzej W. Marciniak
Katedra Podstaw Techniki
Akademia Rolnicza w Lublinie

MODELOWANIE PROCESU EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH ZA POMOCĄ DYNAMICZNYCH SIECI BAYESOWSKICH

Streszczenie

Przedstawione zostało zastosowanie dynamicznych sieci bayesowskich do modelowania niezawodności oraz wspomagania decyzji dotyczących eksploatacji maszyn na przykładzie linii do produkcji mleka.

Słowa kluczowe: wspomaganie decyzji w eksploatacji maszyn, modele niezawodnościowe, dynamiczne sieci bayesowskie

Wstęp

Sieci probabilistyczne (bayesowskie) mogą być użytecznym narzędziem do modelowania niezawodności oraz wspomagania decyzji dotyczących eksploatacji maszyn. Węzły sieci reprezentują stany elementów złożonego obiektu technicznego, a łuki zależności między nimi [Bartnik, Kusz, 2005a]. Zatem cała sieć reprezentuje stan obiektu jako całości. Z każdym węzłem sieci związany jest warunkowy rozkład prawdopodobieństwa znajdowania się danego składnika (części, podzespołu) w danym stanie uwarunkowany stanem elementów reprezentowanych przez elementy z nim związane.

Użycie miar probabilistycznych wynika stąd, że zmiany stanu mogą zachodzić według mniej lub bardziej nieprzewidywalnego wpływu otoczenia oraz procesów zużycia i starzenia materiałów konstrukcyjnych. Wprowadzone są dodatkowo węzły sieci reprezentujące działania eksploatacyjne, np. wymianę uszkodzonego elementu. Przewidywalność zachowania się złożonego obiektu wymaga bieżącego śledzenia stanu jego części oraz, w zależności od tych obserwacji, podejmowania odpowiednich działań korygujących (obsługowych). Reguły stosowania tych dzia-

łań nazywamy strategiami obsługowymi. Aby w modelu, którym jest sieć korygowana działaniami obsługowymi odwzorować ewolucję zmian stanu eksploatowanego obiektu należy użyć dynamicznych sieci probabilistycznych. Są to sieci, które uwzględniają lokalizację zdarzeń w czasie, a łączny rozkład prawdopodobieństwa nad zbiorem statycznych zmiennych losowych jest zastąpiony przez procesy losowe.

Konieczność redukcji złożoności obliczeniowej sprawia, że czas traktujemy jako zbiór chwil uporządkowanych relacją „wcześniej-później” i zakładamy, że stan w chwili późniejszej zależy tylko od stanu w chwili wcześniejszej, bezpośrednio ją poprzedzającej. Warunkowe prawdopodobieństwa zmian stanu (intensywności przejść między stanami) mogą być (ale nie muszą) niezmiennie w czasie.

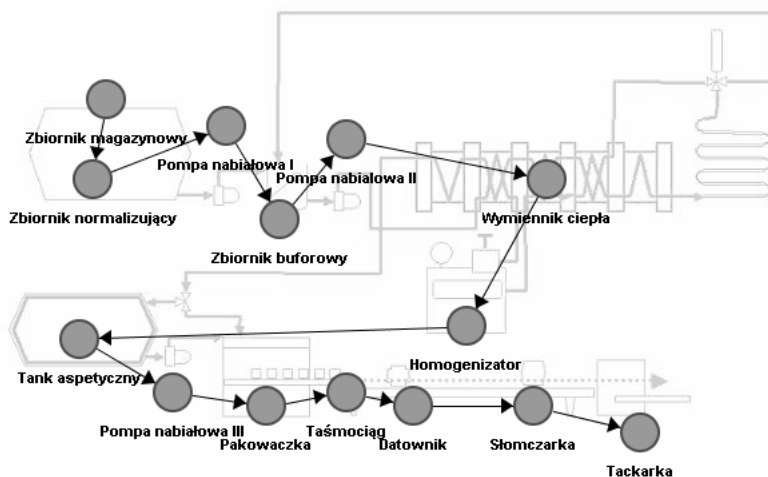
Sieć bayesowska jako model niezawodnościowy

Problem budowania modelu niezawodnościowego w postaci sieci bayesowskiej rozpatrywany jest na przykładzie linii do produkcji mleka. Taki rodzaj modelu jest potrzebny do ustalenia działań obsługowych, a w szczególności do określenia, jakie elementy będą wymieniane profilaktycznie, a jakie dopiero, gdy dojdzie do awarii.

Sieć bayesowska odwzorowująca strukturę niezawodnościową obiektu technicznego jest tworzona w ten sposób, że każdemu istotnemu elementowi obiektu odpowiada pewien węzeł sieci. Podobnie jak w klasycznej teorii niezawodności, wyróżniamy dwa stany niezawodnościowe – stan zdatności i stan niezdatności. Stąd, zmienne losowe związane z poszczególnymi węzłami sieci są zmiennymi boolowskimi – przyjmują tylko dwie wartości: *True*, *False*. Rozkład prawdopodobieństwa nad tymi wartościami zależy od czasu. Ażeby wyznaczyć funkcję niezawodności (gotowości w przypadku obiektów naprawialnych) obiektu, definiowaną jako prawdopodobieństwo znajdowania się obiektu w stanie zdatności przez zadany czas i w zależności od tego czasu, niezbędne jest uwzględnienie w sieci bayesowskiej wymiaru czasu. Jego dyskretyzację przeprowadzono w ten sposób, że jako krok czasowy przyjęto czas potrzebny na dzienny przerób surowca. Wymiar czasu jest rekurencyjnie symulowany poprzez dwie warstwy sieci odpowiadające przekrojom czasowym „ t ” i „ $t+1$ ”.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat linii do produkcji mleka smakowego i odpowiadającą jej sieć probabilistyczną.

Linia do produkcji mleka smakowego

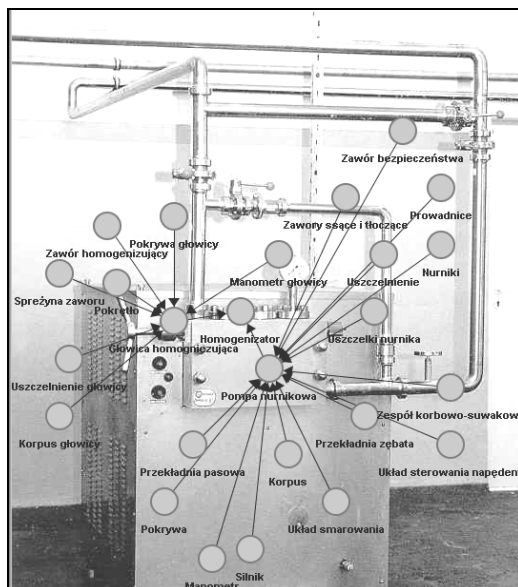


Rys. 1. Sieć reprezentująca linię do produkcji mleka smakowego w zakładzie mleczarskim

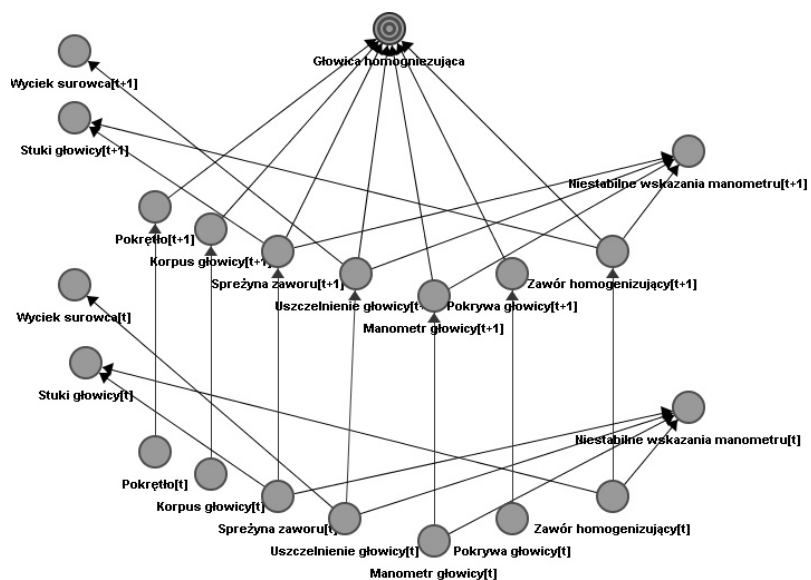
Fig. 1. Network model of milk production line

Każdy składnik linii technologicznej może zostać zdekomponowany na elementy składowe i zamodelowany jako subsieć. Na rysunku 2 pokazano subsieć reprezentującą homogenizator a na rysunku 3 sieć modelującą proces zmian stanu głowicy homogenizującej. W dwu przekrojach czasowych „t” i „t+1”, oprócz węzłów reprezentujących stany poszczególnych elementów składowych głowicy homogenizującej, występują również węzły reprezentujące obserwowalne symptomy sytuacji awaryjnej: „wyciek surowca”, „stuknięcia głowicy” oraz „niestabilne wskazania manometru”. Dla każdego elementu głowicy homogenizującej została ustalona wartość funkcji intensywności przejścia pomiędzy stanami zdadności i niezdatności w jednym kroku czasowym. Przyjęto założenie, że w zakresie jednego kroku czasu intensywność ta jest stała.

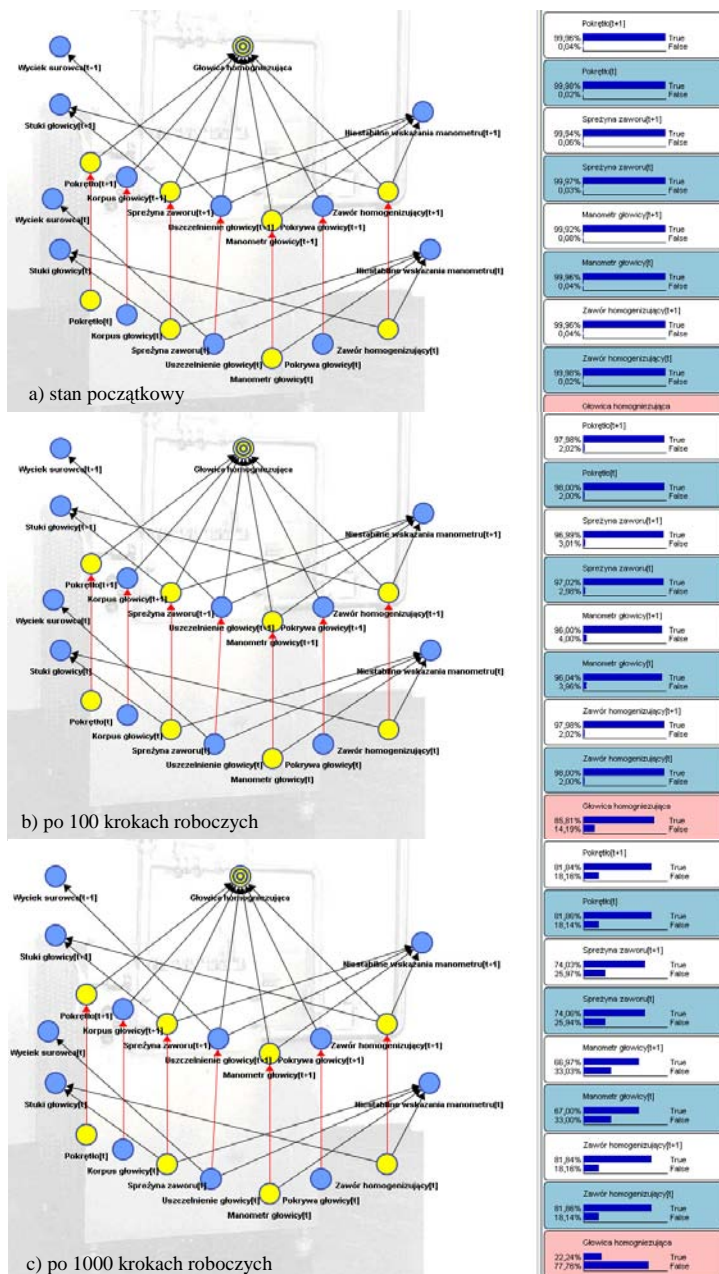
Wyniki działania algorytmu inferencyjnego na sieci z rysunku 3 przedstawiono na rysunku 4, gdzie 4a dotyczy stanu po jednym kroku czasu a 4b po 100 krokach (praktycznie jest to okres 3 – 4 miesięcy intensywnego użytkowania). W tym okresie nastąpił nieznaczny, ale zauważalny wzrost prawdopodobieństwa niezdatności poszczególnych komponentów i całkiem znaczny całej głowicy homogenizującej – z 0,3% do 14,19%.



Rys. 2. Sieć reprezentująca strukturę homogenizatora
 Fig. 2. Network representation of milk homogeniser reliability structure



Rys. 3. Sieć modelująca proces zmian stanu głowicy homogenizującej
 Fig. 3. Network model of state transition of milk homogeniser head



Rys. 4. Rozkład prawdopodobieństwa znajdowania się głowicy homogenizującej w stanie zdolności

Fig. 4. Probability distribution of milk homogeniser head availability

Z kolei rysunek 4c przedstawia stan po 1000 krokach (około 3 lata eksploatacji linii). Tu są już wyraźnie widoczne spadki prawdopodobieństwa zdatności na wszystkich komponentach. Zgodnie z przewidywaniami, najbardziej widoczny wzrost prawdopodobieństwa znajdowania się obiektu w stanie niezdatności nastąpił w przypadku głowicy (od 0,3% do 77,76%).

Prezentowany przykład pokazuje, jak ryzyko niezdatności zmienia się w czasie. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że jest to model niezawodnościowy, w którym nie zostały uwzględnione naprawy.

Model decyzyjny

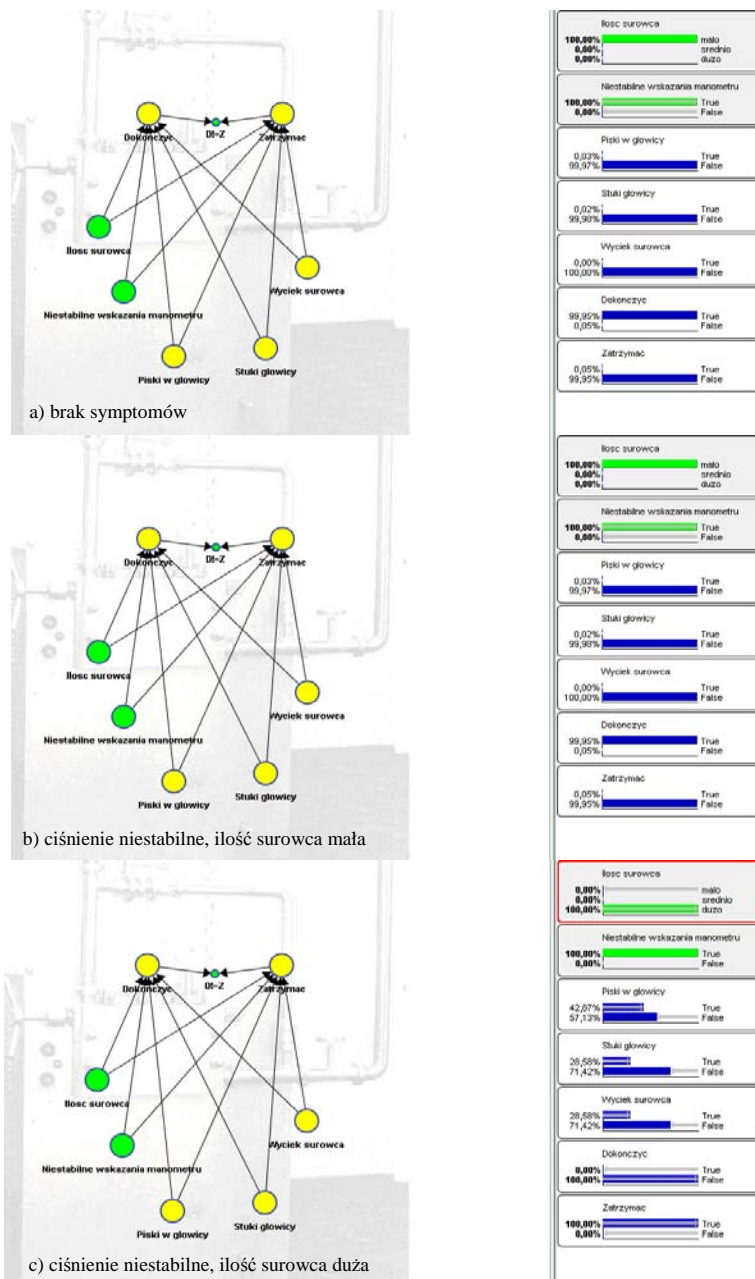
W oparciu o prezentowany model można rozwiązywać różne problemy decyzyjne. Jedną z kluczowych decyzji, jaką musi podjąć użytkownik w przypadku wystąpienia sytuacji problemowej podczas wykonywania zadania przez linię produkcyjną jest odpowiedź na pytanie - czy kontynuować proces pomimo wystąpienia symptomów uszkodzeń?

Wykorzystanie sieci do wspomagania decyzji pokazane zostało na przykładzie sytuacji, gdy obserwowane są określone zaburzenia funkcjonowania i należy podjąć decyzję, czy kontynuować proces produkcyjny czy go przerwać [Bartnik, Kusz, 2005b]. Z pierwszą decyzją – kontynuować – wiąże się możliwość propagacji uszkodzenia, czyli zwiększenia zakresu uszkodzenia, stopnia uszkodzenia, spadek jakości produktu. Każde z tych skutków generuje koszty, które nie zawsze są możliwe do oszacowania, zwłaszcza w tak krótkim czasie jakim zazwyczaj dysponuje użytkownik do podjęcia decyzji. Decyzja – przerwać proces – wiąże się również z dodatkowym kosztem, na który może się składać utrata części surowca czy niewykonanie zadania w terminie. Przewidywane koszty mogą, ale nie muszą być większe niż po podjęciu decyzji – kontynuować.

Na rysunku 5 pokazana jest sieć służąca do wspomagania decyzji poprzez informowanie użytkownika o rozkładzie prawdopodobieństwa dla wskazanego rozwiązania: „dokończyć proces” lub „zatrzymać proces” w zależności od ilości surowca pozostałego do przerobu oraz występowania następujących symptomów:

- niestabilne wskazania manometru,
- piski w głowicy,
- stuki w głowicy,
- wyciek surowca.

Rysunek 5a pokazuje rozkład prawdopodobieństwa bez występowania wspomnianych symptomów, a ilość surowca nie jest brana pod uwagę (rozkład prawdopodobieństwa małej, średniej i dużej ilości pozostałego do przerobu surowca jest równomierny).



Rys. 5. Sieć wspomagająca podejmowanie decyzji
 Fig. 5. Network model for decision support

Prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych symptomów wynika z faktu, że linia już pracowała i ma za sobą jeden krok roboczy. W tym przypadku prawdopodobieństwo tego, że powinno się dokończyć produkcję (lub jej nie zatrzymywać) jest, zgodnie z oczekiwaniami, bardzo wysokie (99,94%). Na rys. 5b wizualizowana jest następująca sytuacja: manometr wskazuje niestabilne ciśnienie, a ilość surowca jest mała (dla decyzji „dokończyć” - 99,94%). Wynik sugeruje użytkownikowi dokończenie produkcji z dużym prawdopodobieństwem sukcesu. Z kolei na rys 5c sytuacja jest taka, że manometr wskazuje niestabilne ciśnienie, ilość surowca jest duża (dla decyzji „zatrzymać” - 100%). Użytkownik otrzymuje jednoznaczną informację, że należy przerwać proces i przystąpić do usunięcia awarii.

Podsumowanie

Język sieci bayesowskich jest wystarczająco ekspresywny do opisu klasycznych problemów eksploatacji obiektów. Pokazano to na przykładzie budowania modelu niezawodnościowego linii technologicznej do produkcji mleka. Model taki jest gotową do uruchomienia aplikacją do wspomagania decyzji eksploatacyjnych.

Bibliografia

Bartnik G., Kusz A. 2005a. Sieci probabilistyczne jako system reprezentacji wiedzy diagnostycznej. Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych, Politechnika Warszawska, 2005. Zeszyt 5(14), s. 5-12.

Bartnik G., Kusz A. 2005b. System wspomagania procesów decyzyjnych w eksploatacji maszyn Inżynieria Rolnicza, Kraków 2005, z. 6 (66), s. 23-32.

BayesiaLab Tutorial, <http://www.bayesia.com>

MODELLING OF OPERATION PROCESS FOR ENGINEERING FACILITIES USING DYNAMIC BAYESIAN NETWORKS

Summary

The paper presents application of dynamic Bayesian networks for modelling of reliability and support of decision-making processes regarding machinery operation on the example of milk production line.

Key words: support of decision-making in machinery operation, reliability models, dynamic Bayesian networks