

**Agnieszka Kujawińska, Maria  
Piłacińska, Michał Rogalewicz,  
Adam Hamrol**

---

**Ocena stanu procesu wytwarzania  
jako przykład wspomagania decyzji  
w przedsiębiorstwie**

---

Ekonomiczne Problemy Usług nr 62, 297-304

---

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach  
dozwolonego użytku.

AGNIESZKA KUJAWIŃSKA, MARIA PIŁACIŃSKA, MICHAŁ ROGALEWICZ,  
ADAM HAMROL  
Politechnika Poznańska

## OCENA STANU PROCESU WYTWARZANIA JAKO PRZYKŁAD WSPOMAGANIA DECYZJI W PRZEDSIĘBIORSTWIE

### Wprowadzenie

W obszarach inżynierii produkcji oraz zarządzania produkcją, tak jak w każdej działalności decyzyjnej człowieka, ważna jest umiejętność odkrywania, zrozumienia i rozwiązywania problemów. Menedżerowie zauważają, że aby zarządzać racjonalnie, coraz więcej uwagi muszą poświęcać rozsądnemu podejmowaniu decyzji zarówno dotyczących działań operacyjnych, jak i strategicznych dla organizacji. Sukces działań podjętych w wyniku tych decyzji jest wynikiem znajomości reguł i mechanizmów rządzących procesami wytwarzania, umiejętności szybkiego reagowania na określony stan procesu, zdolności przewidywania przyszłych jego stanów oraz wyboru najlepszej (spośród wielu możliwych) decyzji dla określonej grupy kryteriów.

Podjmując decyzje, należy zawsze przyjąć pewne założenia. Zgodnie z zasadą *GI-GO* (*garbage in – garbage out*) przyjęcie złych założeń prowadzi do fałszywych rozważań, błędnych wniosków i działań. Niska efektywność decyzji jest dla przedsiębiorstwa zawsze szkodliwa, ponieważ może dezorganizować jego funkcjonowanie i podważać zaufanie pracowników. Ważne jest zatem, jakimi narzędziami wspomagającymi proces decyzyjny się dysponuje oraz na podstawie jakich danych dokonywane są analizy.

Narzędzia te to szeroko rozumiane metody ilościowe, których podstaw teoretycznych dostarczyły różne działy matematyki. Umożliwiają one analizę i często ocenę sytuacji na podstawie niepełnej wiedzy o zjawisku (szeroka gama metod statystycznych). Należą do nich: metody prognozowania, metody analizy dyskry-

minacyjnej, analiza czynnikowa, analiza grupowa, regresja wielowymiarowa, skalowanie wielowymiarowe, metody kolejkowe i wiele innych. Metody te są również pomocne w opisie relacji pomiędzy obserwowanymi zjawiskami, często umożliwiając konstruowanie prognoz o różnym horyzoncie czasowym.

Znane rozwiązania z dziedziny zarządzania produkcją poświęcają także wiele miejsca różnym technikom i narzędziom statystycznym, służącym ograniczeniu ryzyka podejmowania decyzji nietrafnych. Najczęściej stosowanymi metodami statystycznymi w zarządzaniu procesami wytwarzania są: statystyczne sterowanie procesami (ang. SPC), analiza systemów pomiarowych (ang. MSA) oraz narzędzia planowania doświadczeń (ang. DOE). W literaturze tematu spotyka się również opisy wykorzystania w analizie danych, pochodzących ze stanowisk produkcyjnych oraz wnioskowania, a co za tym idzie podejmowania decyzji na podstawie technik sztucznej inteligencji (AI) (np. sztucznych sieci neuronowych, algorytmów genetycznych, logiki rozmytej). Z jednej strony wąska specjalizacja poszczególnych zastosowań technik AI utrudnia wypracowanie jednolitego modelu oceny stanu procesu wytwarzania, z drugiej wykorzystanie określonej techniki (przykładowo sieci neuronowych), wymaga wiedzy dziedzinowej celem poprawnego uczenia sieci i interpretowania jej wyników. Problemem okazuje się także trudność wdrożenia opracowanych teoretycznie rozwiązań w dynamicznym otoczeniu produkcyjnym.

## **1. Ocena stanu procesu wytwarzania**

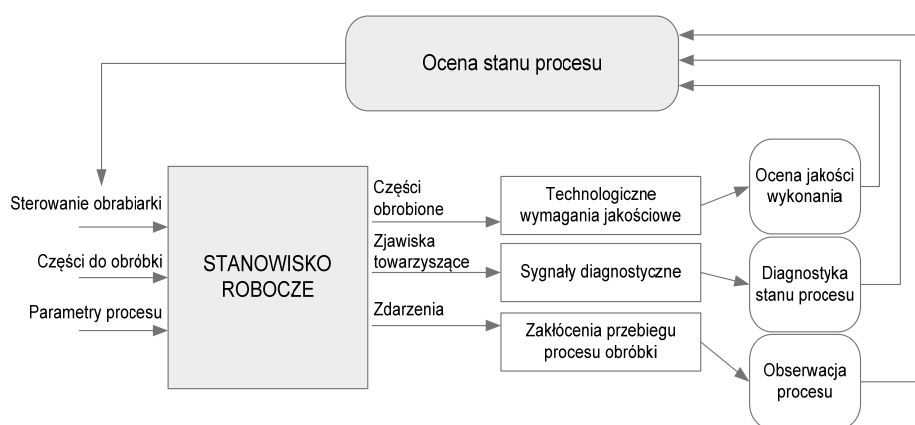
Kwestia oceny stanu procesów wytwarzania – ze względu na kryteria jakościowe – jest szeroko poruszana w literaturze naukowej. W odniesieniu do procesów wytwarzania części maszyn wymagania jakościowe sprowadzają się głównie do dokładności wymiarowej i kształtowej wyrobu oraz właściwości warstwy wierzchniej. Cechy te muszą zapewnić bezawaryjną eksploatację wyrobu w okresie przewidzianym przez projektanta i konstruktora. Jednym ze środków prowadzących do skutecznego osiągnięcia tych wymagań, przy jednoczesnym zachowaniu ekonomicznej efektywności wytwarzania, jest sterowanie jakością w całym cyklu życia wyrobu<sup>1</sup>.

Sterowanie jakością opiera się na wykorzystaniu danych powstających podczas szeroko rozumianej kontroli jakości. Polega na aktywnym i dynamicznym (adaptacyjnym) sterowaniu przebiegiem procesów wytwarzania we wszystkich fazach produkcji: koncepcji wyrobu, projektowania, technicznego przygotowania produkcji, wykonania, eksploatacji. Do niedawna podejście do problematyki zapewnienia jakości polegało na kontroli i podejmowaniu działań sterujących po za-

---

<sup>1</sup> G.M. Smith, *Statistical Process Control and Quality Improvement*, Pearson Prentice Hall, 2002.

kończeniu kolejnych etapów produkcji (np. kontrola techniczna przeprowadzona po zakończeniu operacji)<sup>2</sup>. Współcześnie sterowanie jakością przeprowadzane jest w sposób ciągły już w czasie realizacji procesu produkcyjnego. Ma ono charakter doraźnych działań, interwencji i ma na celu operacyjne zabezpieczenie wymaganej jakości wykonania. Działania te mogą polegać między innymi na wymianie narzędzia, skorygowaniu parametrów procesu, zaostreniu kryteriów kontroli itp. Jednym z podstawowych zagadnień warunkujących poprawność sterowania jakością w przedsiębiorstwie jest umiejętność wykorzystania danych generowanych na różnych stanowiskach w podejmowaniu decyzji.



Rys. 1. Źródła informacji dla działań związanych ze sterowaniem jakością

Źródło: A. Hamrol, A. Kujawińska, M. Piłacińska, M. Rogalewicz, *The new method of process quality evaluation*, 11th International QMOD Conference, Quality Management and Organizational Development Attaining Sustainability From Organizational Excellence to Sustainable Excellence, 20–22 August 2008, Helsingborg, Sweden, <http://www.ep.liu.se/ecp/033/036/>.

Generalnie decyzje te mogą być podejmowane w oparciu o informacje uzyskiwane: z bezpośredniego pomiaru obrabianych części (pomiar przeprowadzany jest po zakończeniu operacji), z pomiaru sygnałów pochodzących ze zjawisk towarzyszących procesowi (np. sygnał siły, temperatury, drgań – pomiar realizowany on-line), z obserwacji zdarzeń zachodzących podczas realizacji procesu (błąd operatora procesu, awaria maszyny)<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> A. Hamrol, *Zarządzanie jakością z przykładami*, PWN, Warszawa, 2008.

<sup>3</sup> A. Hamrol, *Process diagnostics as means of improving the efficiency of quality control*, „Production Planning and Control” 2000, Vol. 11, No. 8, s. 797–805.

Informacje z pomiaru wytworzonych części mogą być uzyskiwane w ramach: kontroli stuprocentowej, statystycznej kontroli odbiorczej lub statystycznej kontroli procesu.

Pomimo dysponowania zaawansowaną techniką pomiarową oraz stosowania coraz bardziej przyjaznego i rozbudowanego oprogramowania do przetwarzania wyników kontroli, zrealizowanie sprawnie działającego sprzężenia informacyjnego pomiędzy procesem wytwarzania a pozostałymi elementami systemu stwarza w praktyce nadal duże problemy. W wielu przypadkach dane z kontroli w toku produkcji są marnotrawione – służą jedynie do bieżącej regulacji procesu, często są gromadzone tylko po to, aby spełnić wymagania odbiorców odnośnie do tzw. zapisów jakości. Duże nadzieje wiąże się w tym zakresie ze statystycznymi technikami sterowania jakością, wykazują one jednak wiele słabości. Przykładowo karty kontrolne procesu oraz wskaźniki zdolności jakościowej nie przynoszą informacji na temat przyczyn zakłóceń procesu oraz wskazówek dotyczących działań korygujących. Jest to powodem, że potencjalne możliwości narzędzi statystycznego sterowania procesami nie są w pełni wykorzystywane. W literaturze tematu brak jest również informacji, które wskazywałyby na wdrożone efektywne rozwiązania pozwalające na wykorzystanie informacji z kontroli (parametrów, cech, zdarzeń, sygnałów) w ocenie stanu procesu.

Omawiany problem wnioskowania o stanie procesu na podstawie zbioru cech znanych to problem klasyfikacyjny. Metody klasyfikacji obiektów są od wielu lat rozwijane przez badaczy licznych dziedzin, takich jak rozpoznawanie sygnałów (np. mowy, EKG), rozpoznawanie obrazów (np. pisma, twarzy), systemy diagnostyczne, systemy sterowania, systemy uczące się i systemy odkrywania wiedzy w bazach danych. Analiza literatury z tego obszaru pozwoliła autorom na wyciągnięcie wniosków:

1. podstawą we wszystkich metodach klasyfikowania jest, w celu zbudowania poprawnego klasyfikatora, zbiór uczący, który często jest niepełny, niepewny lub przybliżony. Zły wybór (dobór) zbioru uczącego może prowadzić do błędnej oceny stanu procesu. Wynika z tego konieczność rozwijania metod odpornych na niepełność informacji, a nawet pojawiające się sprzeczności opisu.
2. problemem w metodach oceny procesu jest właściwy dobór języka opisu procesu – zbioru danych, na podstawie którego dokonywana jest ocena. Najczęściej metody oceny procesu wykorzystują dane określonego typu – albo jakościowe, albo ilościowe.
3. problemem w metodach klasyfikowania stanu procesu jest zmienna w czasie wiedza na temat procesu – opis wygenerowany na podstawie pewnej próby uczącej może się okazać po pewnym czasie niewystarczający i wymagać rewizji w celu dostosowania algorytmu klasyfikującego do zmieniających się danych.

W wyniku analizy badań światowych i literatury na temat metod oceny stanu procesu autorzy wyciągnęli istotne wnioski. Przede wszystkim należy stwierdzić, że pomimo szybkiego rozwoju metod i systemów klasyfikowania nadal pozostają one w pewnym stopniu zależne od człowieka. Sam proces projektowania systemu klasyfikującego wymaga od niego określenia sposobów zdobywania wiedzy oraz jej reprezentacji. Poza etapem tworzenia modelu powstają następujące problemy:

- zbyt mała lub zbyt duża zależność systemu od środowiska, w którym się znajduje, co może prowadzić do niepełnej analizy danych lub błędnej interpretacji,
- wiarygodność i poprawność generowanych wniosków,
- niekompletne lub częściowo sprzeczne dane,
- niezdefiniowanie ograniczeń dziedzinowych, co może prowadzić do zbyt daleko idących uogólnień i błędnych wniosków.

## **2. Koncepcja metod oceny stanu procesu wytwarzania**

Wnioski zapisane w poprzednim rozdziale stały się podstawą do podjęcia badań i działań przez autorów zmierzających do opracowania pakietu adaptacyjnych metod klasyfikacji stanu procesu wytwarzania. Przyjęto, że opracowane metody będą:

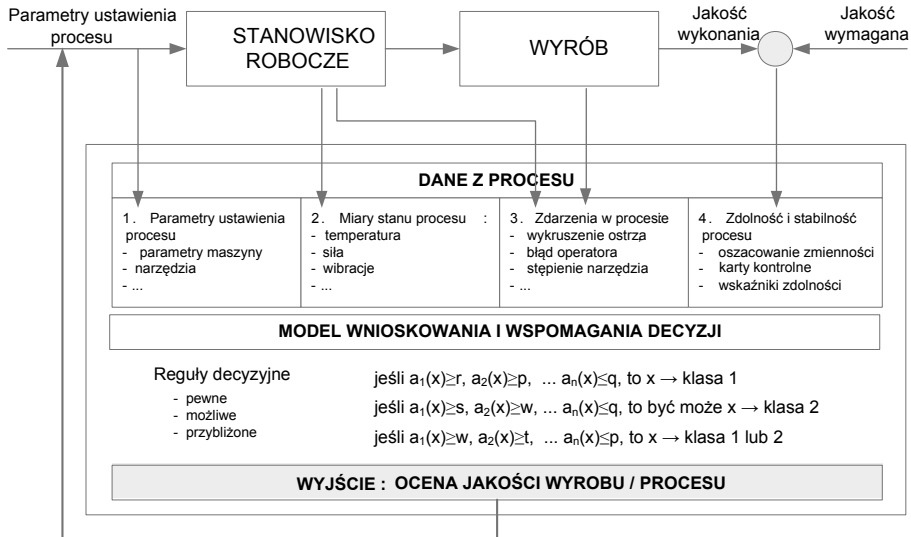
- generować wyniki i komunikaty zrozumiałe dla człowieka, czyli wyrażalne w opisie i modelu myślowym przez niego przyjętym,
- mieć możliwość ciągłego uczenia i dostosowywania do zmieniających się warunków produkcyjnych,
- dawać możliwość analizowania danych jakościowych i ilościowych, niezależnie od typu ich rozkładu,
- mieć możliwość zastosowania w praktycznie każdym procesie wytwarzania,
- zdolne do udzielenia wyjaśnienia dla każdego nowego przypadku,
- skuteczne na dużych zbiorach danych.

Opracowane metody oceny stanu procesu wytwarzania uwzględniają wiele cech jakościowych wyrobu (nie tylko krytyczną) i wiele charakterystyk procesu i jego otoczenia.

Metody wywodzą się częściowo z nauk decyzyjnych.

Z jednej strony autorzy zastosowali metodę opartą na teorii zbiorów przybliżonych. Do szacowania stanu procesu wytwarzania wykorzystane zostanie podejście regułowe, stanowiące jeden ze sposobów modelowania preferencji decydenta w wielokryterialnym problemie decyzyjnym.

Koncepcję metody oceny stanu procesu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Koncepcja metody oceny stanu procesu z wykorzystaniem podejścia regałowego

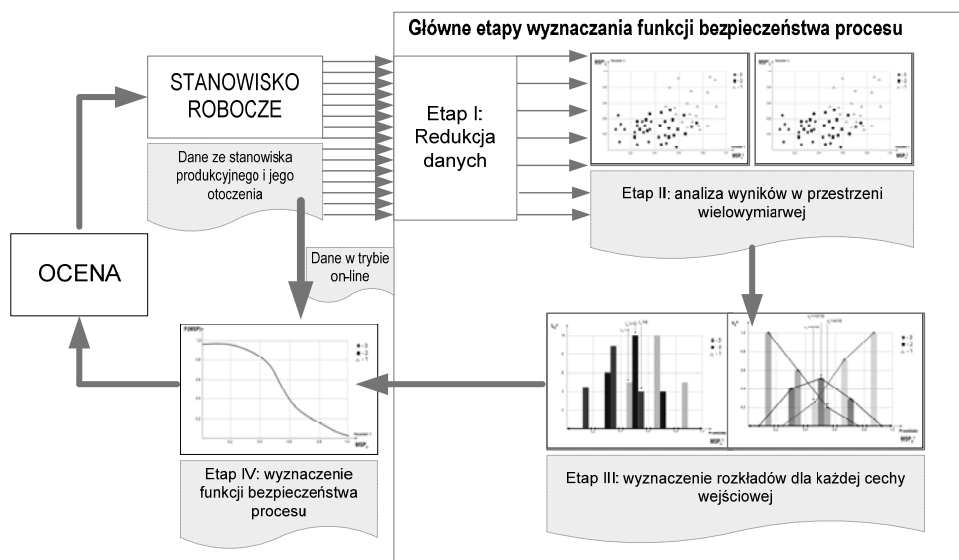
Źródło: M. Piłacińska, K. Leśniak, A. Kujawińska, K. Żywicki, *Model danych systemu sterowania przepływem i jakością produkcji*, „Studia Informatica”, 2009, Vol. 30, Nr 2B (84), s. 109–126.

Z danych zebranych o procesie, tj. zarejestrowanych na stanowisku produkcyjnym miar stanu procesu (np. temperatura, wibracje), zdarzeń, które wystąpiły podczas jego trwania (np. wykruszenie ostrza, błąd w obsłudze) oraz charakterystyk jakościowych wyrobów (np. chropowatość powierzchni, wytrzymałość) indukowane będą trzy rodzaje reguł decyzyjnych: reguły pewne (*jeśli..., to...*), możliwe (*jeśli..., to być może to...*) i przybliżone (*jeśli..., to... lub to...*)<sup>4,5</sup>. Pozwolą one na szacowanie jakości wyrobów wytwarzanych w procesie opisanym pewnym zbiorem charakterystyk, a dzięki temu na ocenę jakości (stabilności) procesu. Uzyskiwana w ten sposób ocena procesu określona została mianem wskaźnika bezpieczeństwa procesu. Główną zaletą analizy opartej na teorii zbiorów przybliżonych jest odrzucenie wszelkich dodatkowych założeń dotyczących np. rozkładu prawdopodobieństwa wartości atrybutów. Cała informacja o danym pojęciu zawarta jest wyłącznie w przykładach zgromadzonych w zbiorze uczącym.

<sup>4</sup> S. Greco, B. Matarazzo, R. Słowiński, *Rough set theory for multicriteria decision analysis*, „European Journal of Operational Research” 2001, Vol. 129, No. 1, s. 1–47.

<sup>5</sup> S. Greco, B. Matarazzo, R. Słowiński, *Decision Rule Approach*, w: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys*, red. J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott., Springer 2005, s. 507–561.

Z drugiej strony autorzy projektu opracowali autorską metodę umożliwiającą wyznaczenie tzw. funkcji bezpieczeństwa procesu, która pozwoli na ocenę poziomu bezpieczeństwa procesu oraz prognozowanie jego stanu.



Rys. 3. Koncepcja metody oceny stanu procesu z wykorzystaniem funkcji bezpieczeństwa procesu

Źródło: opracowanie własne.

Koncepcję metody oceny stanu bezpieczeństwa procesu z wykorzystaniem funkcji przynależności przedstawiono na rysunku 3. Działania związane z szukaniem funkcji bezpieczeństwa procesu składają się (w ogólnym ujęciu) z czterech etapów:

- redukcji danych pozyskiwanych na stanowisku produkcyjnym i w jego otoczeniu,
- analizy wyników w przestrzeni wielowymiarowej,
- analizy rozkładów danych,
- wyznaczania funkcji bezpieczeństwa procesu.

W poszczególnych etapach działań przewiduje się wykorzystanie technik z obszaru *data mining* oraz statystyki matematycznej. W efekcie powstał zatem zintegrowany pakiet metod, z których użytkownik będzie mógł korzystać w sposób dla siebie najbardziej dogodny (korzystny): równolegle lub z każdej oddzielnie.



## **Podsumowanie**

W czasach gdy przedsiębiorstwa konkurują ze sobą na wolnym rynku głównie za pomocą jakości procesów i produktów będących ich wynikiem, bardzo ważne stało się podejmowanie decyzji na podstawie rzetelnych i wiarygodnych danych. Takich danych w przypadku procesu wytwarzania – najważniejszego z punktu widzenia klienta, bo tworzącego wartość dodaną – dostarcza kontrola stuprocentowa, statystyczna kontrola odbiorcza lub statystyczna kontrola procesu. Wydaje się jednak, że w erze dążenia do produkcji bezbrakowej nie można ograniczać się tylko do oceny procesu na podstawie obrobionych już części. Należy już w trakcie trwania procesu oceniać jego stan i w razie potrzeby dokonywać korekt. Szczególnie istotne jest wzięcie pod uwagę takich cech jak parametry procesu, sygnały diagnostyczne towarzyszące procesowi oraz zdarzenia, jakie nastąpiły w trakcie jego trwania. Autorzy wyszli naprzeciw potrzebie opracowania metod, które pozwalają na ocenę stanu procesu wytwarzania. W artykule przedstawiono dwie metody: jedną opartą o klasyfikację stanu procesu do wcześniej zdefiniowanej klasy jakości, a drugą o wykorzystanie funkcji przynależności. Umożliwiają one określenie już w trakcie trwania procesu wytwarzania, czy wyrób, który będzie jego wynikiem, spełni nałożone na niego wymagania jakościowe.

## **MANUFACTURING PROCESS STATE EVALUATION AS AN EXAMPLE OF DECISION-MAKING SUPPORT IN ENTERPRISE**

### **Summary**

The subject of the paper is the problem of diagnosis and evaluation of an ability of the manufacturing process to meet quality requirements by products being the result of a process. In the article the idea of adaptive methods for classifying the state of the manufacturing process was presented. The adaptability of methods is understood as their ability to a flexible adjustment to: a production process which is changeable by nature, various manufacturing processes, a changing set of data describing the process state (a use of others process state measures) and therefore it is understood as a broadly defined methods ability to a continuous “self-learning”.

*Translated by Maria Pilacińska*