

METODYKA KSZTAŁTOWANIA PROCESU STEROWANIA ŚRODKIEM TRANSPORTU UKIERUNKOWANA NA WYMAGANY JEGO STAN TECHNICZNY

Jarosław SMOCZEK, Janusz SZPYTKO

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel. 12 617 31 04, e-mail: smoczek@agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Streszczenie

Jakość eksploatacji, bezpieczeństwo oraz realizowane zadania przez systemy i urządzenia transportowe (użytkowane w zautomatyzowanych procesach produkcyjnych) w istotnym stopniu zależą od informacji o oczekiwanym działaniu (procesie), czasie jej dostępu oraz poprawności działania systemu decyzyjnego. Przedmiotem wypowiedzi jest metodyka kształtowania procesu sterowania środkiem transportu ukierunkowana na wymagany jego stan techniczny, na przykładzie suwnicy pomostowej reprezentancie klasy wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych.

Słowa kluczowe: monitoring, ocena stanu technicznego, sterowanie, środek transportu.

SUPERVISION METHODOLOGY OF CONTROL PROCESS OF TRANSPORT DEVICE FOCUSING ON HIS OVERLOOKED TECHNICAL STATE

Summary

The operation quality and safety, as well as realized tasks by transportation devices in automated manufacturing, depend on information about waited operation (the process), time of her access and running correctness of decision - making system. The paper is describing the supervision methodology of control process of transport device focusing on his overlooked technical state, on the overhead crane example (the representative of the class large dimensional rail transport devices).

Keywords: monitoring, condition monitoring, control, transportation device.

1. WSTĘP

W systemach i urządzeniach transportowych realizujących procesy przemieszczania ładunków i ludzi, jakość eksploatacyjna i precyzja działania, jak też stan techniczny środka transportowego, w istotnym stopniu zależą od podsystemów wykonawczych i sterowania mechanizmami ruchu [Horacek et al, 2005; Jaźwiński et al, 2003]. W procesach, w których sterowanie realizowane jest przez człowieka (układ człowiek - maszyna), dodatkowymi czynnikami wpływającymi na jakość eksploatacji urządzeń transportowych są stan psychofizyczny operatora, jego doświadczenie i umiejętności.

Na stan techniczny i jakość użytkowania urządzenia wpływ mają zarówno nabywane i doskonalone umiejętności operatora, jak i rozwiązania techniczne stosowane w podsystemach wykonawczych i sterowania (rys. 1) i ułatwiające wykonywanie zadań (które można wyrazić potencjałem eksploatacyjnym układu człowiek - maszyna), a ponadto oddziaływania otoczenia przestrzeni roboczej [2, 9].



Rys. 1. Czynniki wpływające na stan techniczny urządzenia i dokładność realizowanych przez operatora zadań w procesie sterowania w układzie człowiek-maszyna

Niekorzystne oddziaływania zewnętrzne na układ człowiek - maszyna mogą być kompensowane w obszarze dysponowanego łącznego potencjału eksploatacyjnego. Po stronie techniki nie zawsze możliwe jest do zrealizowania ograniczenie wpływu

niekorzystnych czynników na precyzję działania układu, oraz na stan techniczny podsystemów urządzenia poprzez pełną lub częściową automatyzację (szczególnie przy zmiennym cyklu roboczym urządzenia i zmieniających się czynnikach zewnętrznych, często trudnych do uwzględnienia w algorytmie sterowania).

Z punktu widzenia zapewnienia wymaganej niezawodności eksploatacyjnej oraz bezpieczeństwa i jakości użytkowania urządzenia, w tymi dokładności wykonywanych zadań, istotnym jest prowadzenie badań w zakresie skutków sterowań mechanizmami urządzenia realizowanych przez operatora na jego stan techniczny i jakość użytkowania. Wyniki badań mogą być przydatne w diagnostyce urządzenia, a ponadto w opracowaniu metodyki definiowania i analizy jakościowych wskaźników eksploatacji [3]. Istotnym zagadnieniem jest ponadto optymalizacja procesu transportowego i implementacja nowych technicznych rozwiązań w podsystemach wykonawczych i sterowania urządzenia.

W systemach, w których sterowanie realizowane jest przez człowieka poprawność wykonywanych zadań zależy od współdziałania układu człowiek-maszyna. Elementy tego systemu wzajemnie na siebie oddziałują często wchodząc w szerszą relację człowiek - maszyna - otoczenie. W układzie człowiek - maszyna, człowiek oddziałuje na urządzenie i proces z wykorzystaniem dostępnych mu środków technicznych, które determinują jego sposób działania. Proces decyzyjny człowieka, na podstawie którego w odpowiedni sposób oddziałuje na urządzenie i otoczenie następuje w oparciu o informacje z przebiegu procesu i otoczenia, jak i wiedzę jaką posiada na temat urządzenia, samego procesu i środowiska pracy. Błędne podejmowanie decyzji, które może mieć wpływ na użytkowanie urządzenia i cały proces może skutkiem braku lub niedostatecznej informacji oraz błędów mechanizmu decyzyjnego, w tym niedoświadczenia operatora [7].

Odpowiednie dostosowanie rozwiązań technicznych w układzie człowiek - maszyna do potrzeb poprawności współdziałania tego układu może ograniczyć błędy operatora w procesie sterowania oraz ich wpływ na proces użytkowania urządzenia i dokładność realizowanych zadań.

Przedmiotem wypowiedzi jest metodyka kształtowania procesu sterowania środkiem transportu ukierunkowana na wymagany jego stan techniczny, na przykładzie suwnicy pomostowej reprezentancie klasy wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych.

2. SYSTEM MONITOROWANIA PROCESU UŻYTKOWANIA SUWNICY POMOSTOWEJ

W procesie transportu ładunku realizowanym przez suwnice pomostowe dokładność ruchów roboczych, czas realizowanego cyklu jak również jakość eksploatacji urządzenia w istotnym stopniu

zależą od podsystemów wykonawczych i sterowania [8]. Niekorzystne zjawiska towarzyszące procesowi przemieszczania ładunku pojawiające się w stanach nieustalonych pracy urządzenia, takie jak oscylacje ładunku zawieszono na wiotkichciągach, ukosowanie mostu suwnicy wynikające z różnicy momentu obciążenia mechanizmów jazdy mostu, przeciążenia w układach napędowych i konstrukcji wpływają na czas i dokładność realizowanego procesu transportowego oraz stan techniczny urządzenia [6].

Złożoność zjawisk towarzyszących przemieszczaniu ładunków wymaga w procesie sterowania uwzględnienia monitorowanej złożonej informacji o procesie. Z punktu widzenia użytkowników suwnic istotnymi zagadnieniami, związanymi z optymalizacją przemieszczanego ładunku jak i jakością eksploatacji urządzenia, są:

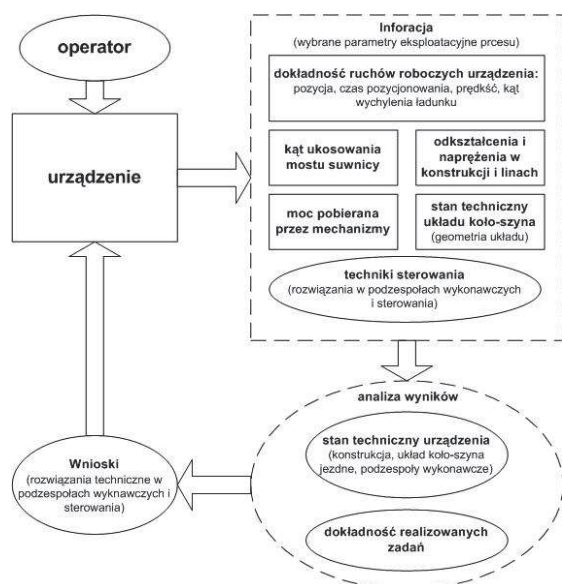
- z wymaganą dokładnością pozycjonowanie przemieszczanego ładunku,
- wystarczające tłumienie wychyleń zawieszono na ciągnie ładunku od stanu równowagi,
- ograniczenie kąta ukosowania mostu suwnicy względem torowiska,
- ograniczenie przeciążeń towarzyszących stanom nieustalonym pracy urządzenia (rozruch, hamowanie) i obciążających dodatkowo konstrukcję i układy napędowe,
- projektowanie i śledzenie bezkolizyjnej trajektorii ruchu przemieszczanego ładunku w trójwymiarowej przestrzeni roboczej urządzenia.

Realizacja powyższych celów możliwa jest poprzez zastosowanie właściwych układów sterowania wspartych układem monitorowania istotnych parametrów eksploatacyjnych urządzenia i otoczenia. Z uwagi na złożoność informacji o procesie, szczególnie przydatne są algorytmy sterowania obejmujące techniki rozmyte, eksperckie, sztuczne sieci neuronowe, lub ich hybrydy. Praktyczne stosowanie inteligentnych technik sterowania wymaga budowy systemów pomiarowo-kontrolnych umożliwiających rejestrację i przetwarzanie informacji niezbędnej do poprawnej realizacji algorytmu sterowania (w przypadku automatycznej pracy urządzenia), wspomagającego proces decyzyjny operatora (w przypadku sterowania dyspozycyjnego realizowanego przez człowieka) oraz nadzorowania procesu transportowego i stanu technicznego urządzenia [6].

Dla potrzeb badań ukierunkowanych na systemy sterowania i monitorowania procesu transportowego realizowanego przez suwnice pomostowe, opracowany i zbudowany został zintegrowany system nadzorowania pracy rzeczywistego urządzenia, dwudźwigarowej suwnicy pomostowej pracującej w hali produkcyjnej o udźwigu 12,5 ton, wysokości podnoszenia 10 [m] i rozpiętości mostu 16 [m] (rys. 2). Celem zrealizowanego systemu nadzorowania pracy urządzenia transportowego była ocena poprawności działania wybranych metod

sterowania, zastosowanych rozwiązań w układach napędowych na podstawie wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia. Przyjętymi wskaźnikami oceny stanu technicznego urządzenia i poprawności realizowanych zadań transportowych były:

- dokładność i czas pozycjonowania transportowanego ładunku (uchyb statyczny, kąt wychylenia transportowanego ładunku),
- kąt ukosowania mostu suwnicy,
- przeciążenia w układach napędowych mechanizmów ruchu urządzenia (moc czynna pobierana przez układy napędowe),
- odkształcenia i naprężenia konstrukcji mostu oraz lin jako funkcja obciążenia i położenia wciągarki suwnicy,
- opóźnienia występujące w układach sterowania i wykonawczych (np. czas rozruchu, hamowania, czas zadziałania zwalniaka hamulca).
- geometria układu koło-szyna (pomiar ustawienia kół, geometrii jezdni podsuwnicowej przeprowadzany w *off-line*).



Rys. 2. System monitorowania pracy suwnicy

W rezultacie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że na podstawie powyższych informacji możliwa jest analiza i ocena skutków sterowań realizowanych przez operatora oraz wpływu zastosowanych technik oraz rozwiązań w podzespołach napędowych i sterowania na stan techniczny i dokładność działania urządzenia transportowego typu suwnica pomostowa (reprezentant klasy wielkogabarytowych środków transportowych).

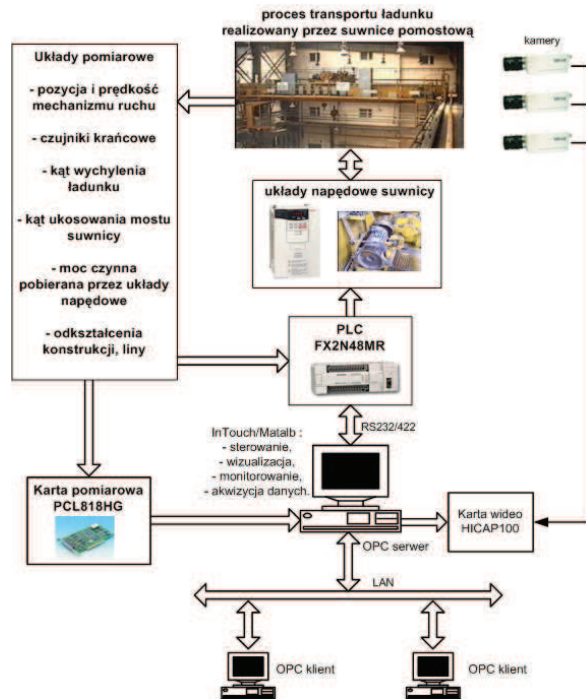
W efekcie monitorowania procesu eksploatacji urządzenia pozyskana informacja, w postaci zmian wybranych parametrów eksploatacyjnych, może zostać poddana analizie pod względem:

- wpływu technik sterowania i zastosowanych rozwiązań w podsystemach wykonawczych i sterowania na stan techniczny urządzenia: przeciążenia konstrukcji i układów napędowych,
- wpływu stanu technicznego urządzenia i zastosowanych technik sterowania na realizowane zadania transportowe: dokładność pozycjonowania, czas cyklu roboczego, tłumienie wahań ładunku,
- wpływu wartości i rozkładu obciążeń konstrukcji mostu oraz przeciążeń w układach napędowych towarzyszących stanom nieustalonym pracy mechanizmów ruchu suwnicy na stan techniczny układu koło-szyna i niekorzystne zjawiska zachodzące w tym układzie.

3. SYSTEM NADZOROWANIA PROCESU UŻYTKOWANIA SUWNICY POMOSTOWEJ

Przedstawiony na rysunku 3 system pomiarowo-sterujący umożliwił badanie algorytmów sterowania i ich realizacji na sterowniku PLC (ang. *Programmable Logic Controller*) typu FX2N48MR firmy Mitsubishi, a ponadto: pomiar, wizualizację, rejestrację i analizę wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia. Sygnały pomiarowe wykorzystywane w procesie sterowania podawane były bezpośrednio na wejścia analogowe i cyfrowe sterownika PLC. W układzie pomiarowym zastosowana została karta pomiarowo-sterująca PLC818HG firmy Advantech umożliwiająca akwizycję danych pomiarowych, współpracująca z oprogramowaniem Matlab. Do celów monitorowania w czasie rzeczywistym procesu zastosowane zostały narzędzia typu HMI (ang. *Human Machine Interface*) zapewniające współpracę pomiędzy operatorem i procesem sterowanym. Zbudowane zostały aplikacje w programach InTouch oraz Matlab pozwalające na sterowanie i wizualizację procesu sterowanego z poziomu komputera klasy PC.

Wymiana danych pomiędzy sterownikiem PLC realizującym określony algorytm sterowania, a aplikacją programu InTouch oraz środowiskiem Matlab, w którym zbudowane zostały układy pomiarowe, realizowana była z wykorzystaniem protokołu OPC. Zainstalowane kamery cyfrowe przekazujące sygnał za pośrednictwem karty video HICAP100 umożliwiają podgląd obrazu przestrzeni roboczej urządzenia na komputerze PC.



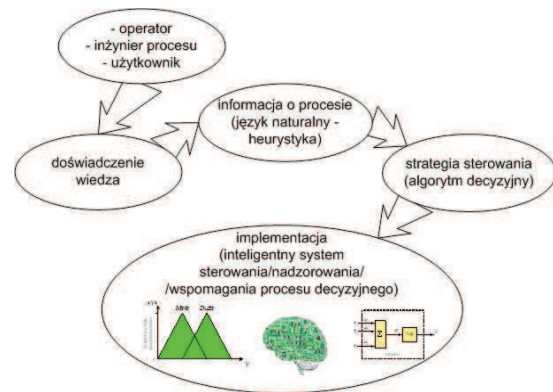
Rys. 3. System nadzorowania procesu transportowego realizowanego przez suwnice pomostową

4. WYKORZYSTANIE HEURYSTYKI W INTELIGENTNYCH SYSTEMACH STEROWANIA PROCESAMI TRANSPORTU

Badania skutków sterowań urządzeniem przez operatora mogą być źródłem informacji wykorzystanej do celów diagnostyki urządzenia i poprawy jakości działania i użytkowania mechanizmów. Doświadczenie operatora procesu, jego wiedza inżynierska wykorzystane mogą być w automatyzacji procesu. Wiedza operatora, użytkownika, czy też doświadczonego inżyniera procesu pozwala na zbudowanie systemu sterowania, w którym algorytm sterowania realizuje heurystyczną strategię sterowania. Przykładem takich systemów sterowania są systemy zbudowane z wykorzystaniem tak zwanych inteligentnych narzędzi obliczeniowych: logiki rozmytej, systemów eksperckich, sztucznych sieci neuronowych.

Modele rozmyte czy systemy eksperckie umożliwiają przedstawienie heurystycznej strategii sterowania pozyskanej od doświadczonego operatora procesu w postaci reguł decyzyjnych typu *Jeżeli-To*. Inteligentny system sterowania budowany jest często na podstawie informacji pozyskiwanych od operatora-inżyniera w postaci opisu procesu decyzyjnego. Opis ten wyrażony może być językiem naturalnym przedstawiającym zależność typu sytuacja-działanie: *... jeżeli stan procesu jest ... to należy ...* Źródłem takiej informacji mogą być na przykład ankiety przeprowadzane na doświadczonych operatorach i użytkownikach danego procesu, na podstawie których możliwe jest opracowanie algorytmu sterowania

i zaimplementowanie go w procesie sterowanym (na przykład poprzez przedstawienie go w postaci języka programowania, czy też języka maszynowego, zrozumiałego dla zastosowanego urządzenia sterującego (rys. 4).



Rys. 4. Implementacja strategii sterowania zbudowanej na podstawie wiedzy użytkownika procesu

Wiedza i doświadczenie operatorów i użytkowników, jako źródło informacji o procesie, wykorzystywane są do celów budowy systemów sterowania, systemów wspomagających, decyzyjnych, zarządzania i organizacji w procesach transportowych. Umożliwiają one rozwiązywanie szeregu złożonych problemów spotykanych w inżynierii transportu, a także w systemach sterowania środkami transportu (transport lądowy, morski, powietrzny, bliski).

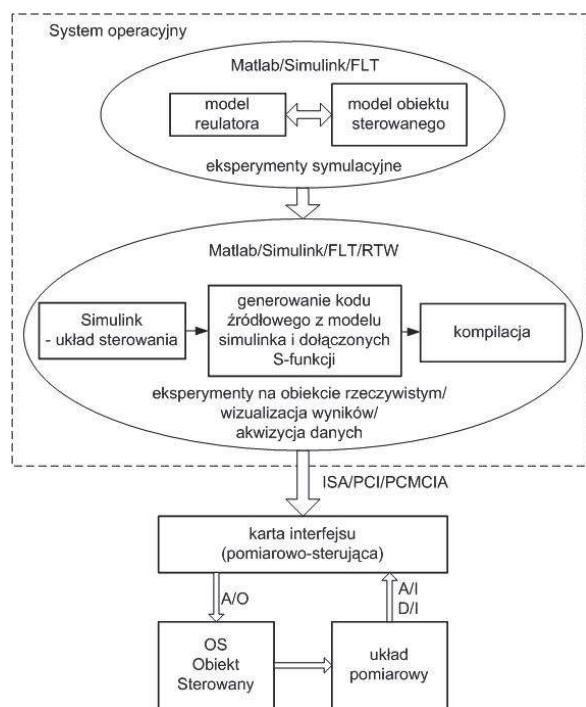
Przedstawiony na rys. 3 system umożliwia prowadzenie badań na obiekcie rzeczywistym ukierunkowanych na prototypowanie systemów sterowania opartych na inteligentnych metodach obliczeniowych. Zastosowana architektura sprzętowo-programowa pozwala na prowadzenie eksperymentów w czasie rzeczywistym na obiekcie, testowanie i weryfikację algorytmów sterowania opracowanych na modelach matematycznych urządzenia w środowisku Matlab/Simulink oraz układów kontrolno-pomiarowych, a następnie dalszą ich implementację z użyciem docelowego sterownika przemysłowego.

5. SZYBKIE PROTOTYPOWANIE STEROWANIA PROCESAMI TRANSPORTU

W procesie szybkiego prototypowania podsystemu sterowania ruchem suwnicy pomostowej można wyróżnić cztery etapy przedstawiające metodykę realizowanych badań (rys. 5):

1. opracowanie i zbudowanie matematycznych modeli suwnicy w programie Matlab/Simulink,

2. opracowanie algorytmu sterowania oraz jego badania symulacyjne w środowisku programowym Matlab'a,
3. budowa, testowanie i dostrajanie systemu sterowania i rozmytego algorytmu sterowania na drodze eksperymentów prowadzonych na obiekcie rzeczywistym,
4. implementacja algorytmu sterowania na sterowniku programowalnym PLC.



Rys. 5. Proces szybkiego prototypowania podsystemu sterowania urządzenia

Proces szybkiego prototypowania podsystemu sterowania znacząco skraca czas jego projektowania: budowy i badania regulatora, optymalizacji algorytmu, dostrajania parametrów regulatora, doboru czasu próbkowania oraz testowania poprawności działania elementów zbudowanego układu pomiarowo-sterującego. Proces szybkiego prototypowania podsystemu sterowania realizowany jest poprzez badania opracowanego algorytmu sterowania na matematycznym modelu obiektu sterowania w czasie symulacji komputerowych, a następnie weryfikacji podsystemu sterowania na drodze eksperymentów prowadzonych na obiekcie rzeczywistym. W rezultacie eksperymentów na urządzeniu rzeczywistym możliwe jest dostrojenie parametrów układu (czas próbkowania, kwantyzacja sygnałów pomiarowych i sterujących) oraz walidacja modelu matematycznego obiektu sterowanego.

Ważnym etapem szybkiego prototypowania algorytmu sterowania jest mechanizm automatycznego generowania kodu źródłowego i kompilacji na podstawie schematu blokowego

układu sterowania zbudowanego w programie Simulink. Umożliwia on płynne przejście z etapu badań symulacyjnych prowadzonych na cyfrowym modelu układu sterowania do etapu badań eksperymentalnych, w którym regulator oraz układ pomiarowo-sterujący testowany jest na obiekcie rzeczywistym.

Przykładowe wyniki badań przedstawionej metodologii projektowania algorytmów dla potrzeb podsystemu sterowania (z użyciem logiki rozmytej) oraz z wykorzystaniem opracowanego układu monitoringu wybranych parametrów eksploatacyjnych suwnicy pomostowej przedstawiono w pracy [6].

6. UWAGI KOŃCOWE

Zapewnienie wymaganego poziomu niezawodności eksploatacyjnej środków transportowych odgrywa coraz istotniejszą rolę w zautomatyzowanych procesach produkcyjnych, ma bezpośrednie przełożenie na działanie i wydajność procesu produkcyjnego. Dla powyższego istotnym jest ciągły monitoring stanu technicznego urządzenia i podejmowanie właściwych przedsięwzięć typu prewencyjnego w zakresie utrzymania wymaganego potencjału eksploatacyjnego układu człowiek - maszyna. W systemach, w których sterowanie realizowane jest przez człowieka poprawność wykonywanych zadań zależy od współdziałania układu człowiek-maszyna. Poprawne działanie systemu zależy, z jednej strony od zastosowanych środków technicznych zastosowanych w podsystemach wykonawczych i sterowania dostosowanych do możliwości psychofizycznych operatora, a z drugiej strony od doświadczenia i wiedzy operatora o procesie.

W rezultacie monitoringu procesu sterowania urządzeniem w określonych warunkach otoczenia i jego wybranych parametrów eksploatacyjnych, możliwa jest budowa wskaźników jakości użytkownika układu człowiek (automat) - maszyna. Analiza wskaźników użytkownika umożliwia badanie wpływu zastosowanych metod sterowania realizowanych przez człowieka, rozwiązań technicznych zastosowanych w podsystemach wykonawczych i sterowania na spełnienie wymagań jakościowych i ilościowych użytkownika w zakresie działania oraz stanu technicznego urządzenia.

Ważnym elementem badań może być pozyskanie wiedzy o procesie i wykorzystanie jej w implementacji nowych rozwiązań technicznych i organizacyjnych w celu poprawy eksploatacji. Przykładem wykorzystania wiedzy operatora procesu (działania w rezultacie zastosowania urządzenia) może być inteligentny system wspomagania procesu decyzyjnego, lub inteligentny system sterowania (zbudowany z wykorzystaniem modelowania rozmytego, systemów eksperckich oraz sztucznych sieci neuronowych). Systemy eksperckie oraz logika rozmyta umożliwiają zbudowanie układu sterowania, w którym strategia

sterowania procesem realizowana jest na podstawie algorytmu opracowanego na podstawie wiedzy doświadczonego użytkownika procesu. Przedmiotowa wiedza przedstawiana jest w formie reguł *jeżeli-to* określających zależności typu sytuacja-działanie.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

LITERATURA

1. Horacek P., Simandl M., Zitek P., Eds. (2005). *Preprints of the 16th IFAC World Congress 2005*, Prague.
2. Dąbrowski T.M. (2001). *Diagnozowanie systemów antropotechnicznych w ujęciu potencjalowo - efektywnym*. Wojskowa Akademia Techniczna, nr 2676/ 2001, Warszawa.
3. Jaźwiński J., Szpytko J. (2006). *Investigation of the device technical state changes in operation process*. CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (Eds. Narayanan S. et al), ISPE, Vellore Institute of Technology, Deemed University, s.813-821, Narosa Publishing House, New Delhi.
4. Jaźwiński J., Żurek J., Smalko Z. (2003). *Wybrane problemy prognozowania stanów niezawodnościowych obiektów technicznych*. Materiały XXXI Zimowej Szkoły Niezawodności, SPE KBM PAN, s. 196-206, Szczyrk.
5. Smoczek J., Szpytko J. (2005). The rapid prototyping of a crane intelligent control system. In: *The International Journal of INGENIUM*, Vol. 4, pp. 415-422.
6. Smoczek J., Szpytko J. (2006). *Fuzzy logic implementation on the PLC controller in the crane's control system*. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Domek S. and Kaszyński R. Eds., Technical University of Szczecin, Szczecin, 2006.
7. Szpytko J., Jaźwiński J., Woźniak D. A. (2006). *Reliability shaping aspects of man – automated device set*. Journal of KONBiN, v.1, no 2/2006, p. 41-46, Air Force Institute of Technology, Warszawa.
8. Szpytko J. (2004a). *Integrated decision making supporting the exploitation and control of transport devices*. In: Monographs, UWND AGH, Krakow.
9. Szpytko J. (2004b). *Kształtowanie procesu eksploatacji środków transportu bliskiego*. Biblioteka Problemów Eksploatacji, ITE, Kraków - Radom.



Dr inż. **Jarosław SMOCZEK**, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji systemów i środków transportu bliskiego; automatyka, monitoring i diagnostyka. Autor lub współautor ponad 20 opublikowanych prac w języku polskim i angielskim.



Prof. dr hab. inż. **Janusz SZPYTKO**, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Specjalista z zakresu budowy i eksploatacji systemów i środków transportu; automatyka, bezpieczeństwo i niezawodność, monitoring i diagnostyka, systemy decyzyjne. Autor lub współautor ponad 270 opublikowanych prac w języku polskim i angielskim. Członek STSTKT PAN, TC IFAC, SEFI, PTD, PTB, PSRA, ISA, SITPH i inne. Profesor wizytujący, m.in.: w Glasgow Caledonian University, Staffordshire University, Middlesex University, Poincare University I/ CRAN, Politecnico di Milano. Koordynator i uczestnik projektów naukowo-badawczych i edukacyjnych krajowych i międzynarodowych. Członek krajowych i międzynarodowych komitetów naukowych konferencji i sympozjów.