

MODELOWANIE SYMULACYJNE BUFORA WEWNĄTRZWDZIAŁOWEGO O ZŁOŻONYM SPOSOBIE STEROWANIA

Zenobia WEISS, Jacek DIAKUN

Streszczenie: W pracy przedstawiono próbę zastosowania metody symulacyjnej do badania działania wydzielonego fragmentu dużego systemu produkcyjnego. Omówiono poszczególne etapy badania symulacyjnego, biorąc pod uwagę specyficzne wymagania partnera przemysłowego dotyczące formy modelu symulacyjnego oraz złożony sposób sterowania omawianym systemem.

Słowa kluczowe: modelowanie, symulacja, organizacja produkcji.

1. Wstęp

Metody symulacyjne odgrywają znaczącą rolę w badaniach systemów produkcyjnych i są efektywnymi narzędziami wykorzystywanymi do poprawy działania przedsiębiorstw na różnych płaszczyznach ich funkcjonowania. Pozwalają one w znacznym stopniu wyeliminować ryzyko podjęcia nieprawidłowej decyzji dotyczącej modyfikacji systemu rzeczywistego (produkcyjnego) poprzez analizę wpływu proponowanych zmian na jego działanie.

Badanie systemu produkcyjnego, omówione w niniejszej pracy, przeprowadzono według typowego sposobu postępowania w takich sytuacjach, obejmujące następujące etapy [1, 2]:

- zdefiniowanie problemu,
- określenie celów i ogólnego planu badania,
- analizę działania systemu, gromadzenie i analizę danych wejściowych,
- budowę modelu,
- weryfikację modelu,
- walidację modelu,
- przeprowadzenie eksperymentów,
- analizę wyników i wyciągnięcie wniosków.

2. Zdefiniowanie problemu

W przypadku niniejszego badania celem ogólnym była analiza działania systemu dokonana na podstawie jego modelu metodą symulacyjną dla różnych kombinacji parametrów określających jego działanie. Badanie miało potwierdzić lub zaprzeczyć przypuszczeniom o potencjalnych rezerwach, tkwiących w bieżącej konfiguracji systemu oraz strukturze sterowania, celem dalszego zwiększenia jego wydajności.

Ze względu na wymagania partnera przemysłowego, dotyczące formy modelu (duża dokładność odwzorowania poszczególnych składowych modelowanego systemu), model

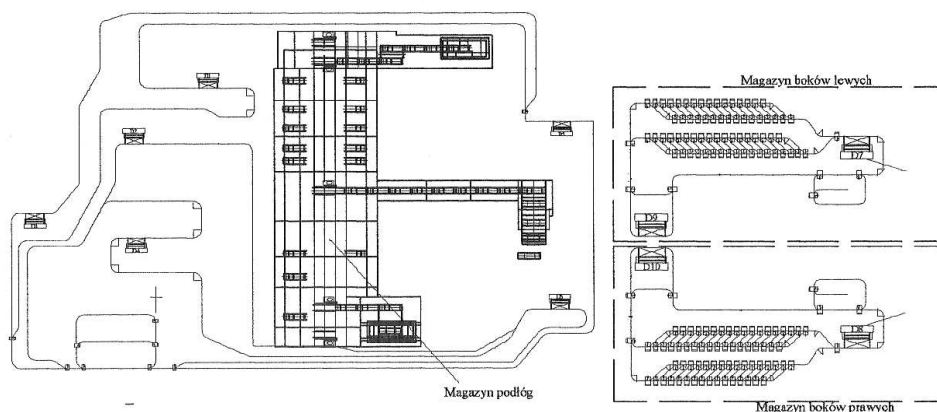
symulacyjny charakteryzuje się dużym stopniem złożoności, co miało wpływ na organizację poszczególnych etapów badania.

Badanie przeprowadzono we współpracy z jednym z przedsiębiorstw branży samochodowej, posiadającym fabrykę na terenie Polski. Ze względu na poufność przekazanych danych oraz zobowiązanie do nieujawniania informacji pozwalających na identyfikację firmy, niektóre nazwy własne zastąpiono w referacie określeniami zastępczymi.

System podlegający badaniu (tzw. magazyn potrójny) stanowi fragment dużego systemu produkcyjnego fabryki samochodów, obejmującego spawalnię, lakiernię, montaż finalny oraz testowanie gotowych pojazdów. Pełni on rolę bufora w dziale spawalni.

3. Analiza działania systemu

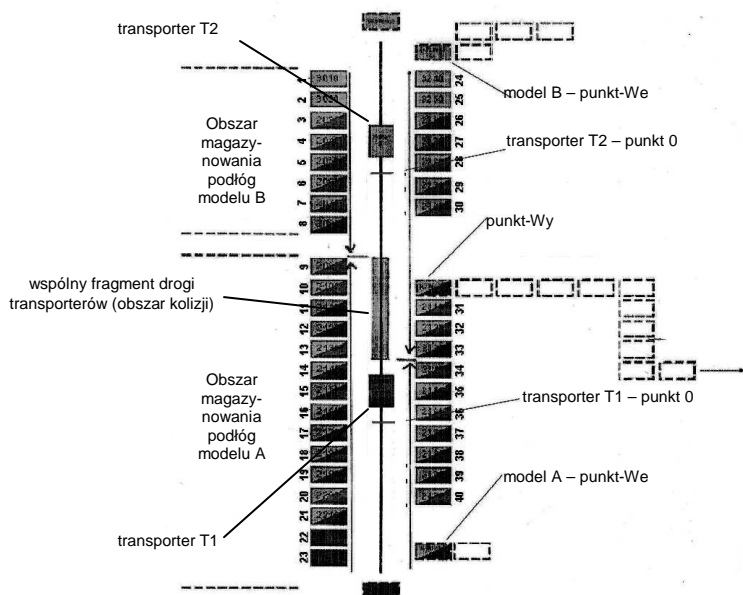
W zakładzie produkowane są dwa modele pojazdów: model A oraz model B. Dzienna wydajność produkcyjna wynosi ok. 640 pojazdów, na które składa się ok. 480 samochodów A oraz ok. 160 sztuk modelu B. Na tzw. magazyn potrójny składają się trzy podstawowe elementy: magazyn podłóg oraz dwa magazyny ścian bocznych, w których składowane są odpowiednio: podłogi oraz boki (osobno lewe i prawe) karoserii samochodów po opuszczeniu działu spawalni. Elementy te przechowywane są w omawianym magazynie przez określony czas, po czym są z niego wg odpowiedniego algorytmu wyprowadzane i przekazywane na linię produkcyjną celem dalszego montażu, tj. zespawania boku lewego, prawego oraz podłogi w kompletną karoserię. Magazyny ścian bocznych są względem siebie symetryczne – każdy z nich umożliwia składowanie 36 boków (na tzw. półkach) zawieszonych na elementach transportujących (tzw. zawieszkach). W magazynie może znajdować się 38 zawieszek (pustych lub pełnych). Magazyn podłóg składa się z kolei z 40 półek, na których magazynowane są podłogi. Obszar magazynu jest podzielony na dwie części: w pierwszej z nich magazynowane są podłogi modelu A (25 półek) w drugiej – modelu B (25 półek). Magazyn obsługiwany jest przez dwa wózki transportujące T1 i T2, poruszające się po wspólnym torze.



Rys. 1. Schemat magazynu potrójnego

Magazyn podłóg obsługiwany jest przez dwa transportery wózkowe, poruszające się po wspólnym torze. Obszar ich pracy częściowo pokrywa się, co może w pewnych sytuacjach

prować do kolizji – następuje wówczas wycofanie jednego z transporterów na tzw. punkt zerowy, tj. określone dla niego miejsce na drodze transportowej, na której czeka on na nadejście zlecenia. Sytuacja kolizji również została odzwierciedlona w modelu symulacyjnym. Schemat magazynu podłóg z zaznaczonymi obszarami pracy transporterów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat magazynu podłóg

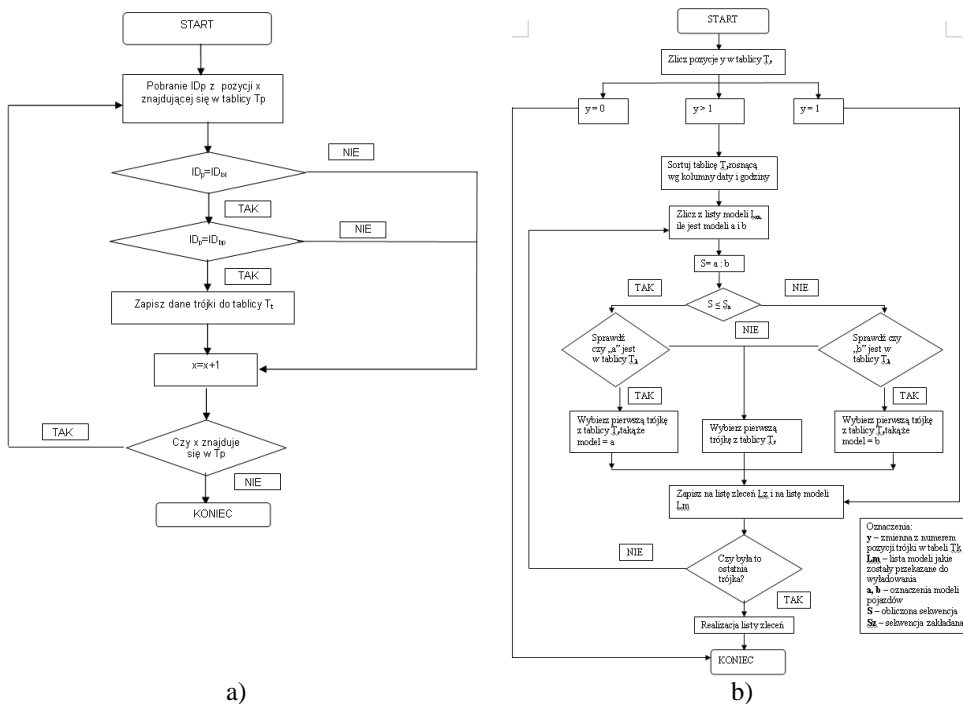
Praca magazynu jest w pełni zautomatyzowana. Na wejściu trzech magazynów (Punkt-We) części nadchodzą asynchronicznie, natomiast na wyjściu (Punkt-Wy) mogą się pojawić tylko synchronicznie, czyli trzy części jednocześnie (bok lewy, bok prawy oraz podłoga). Wybór części wyprowadzanych z magazynu odbywa się na zasadzie tzw. kompletowania trójek, tj. dopasowania do siebie boku lewego, prawego oraz podłogi o tym samym unikalnym identyfikatorze ID, przypisywanym każdemu pojazdowi oraz częściom, z których jest on złożony, na etapie planowania produkcji. Przy wyprowadzaniu części z magazynu brana jest również pod uwagę tzw. sekwencja, czyli odpowiedni stosunek liczby produkowanych modeli samochodów. Sekwencja ta wynosi 3:1 (średnio na trzy modele A przypada jeden B).

W sterowaniu magazynem można wyodrębnić dwie płaszczyzny. Pierwsza z nich (nadrzędna), tzw. system N, steruje całym magazynem potrójnym. Na podstawie danych o aktualnym oraz przeszłym stanie magazynu, podejmowana jest decyzja o:

- zamagazynowaniu, tzn. wyborze półki, na której ma zostać umieszczona pojawiająca się na wejściu magazynu część,
- wymagazynowaniu, tj. stworzenia tzw. listy zleceń w celu wyboru części do wyprowadzenia z magazynu.

Drugą (podrzedną) płaszczyzną sterowania stanowi tzw. system P, realizujący m.in. sprawdzanie wolnych miejsc w magazynie oraz realizujący zlecenia przesyłane z systemu

N w postaci komunikatów (tzw. telegramów), dotyczących zamagazynowania lub wymagazynowania konkretnej części.



Rys. 3. Algorytmy realizowane przez nadrzędny system sterujący pracą magazynu:
 a) szukanie trójek, b) tworzenie listy zleceń

System N tworzy m.in. listę zleceń elementów przeznaczonych do wymagazynowania. Na podstawie wywiadu z pracownikami firmy opracowany został algorytm pracy tego systemu, składający się generalnie z dwóch faz (rys. 3): szukania trójki oraz wyboru trójki do wyprowadzenia z magazynu. System przechowuje dane o stanie magazynu w postaci trzech tabel (po jednej dla każdego z magazynów) o odpowiedniej, takiej samej, strukturze. System wykorzystuje również tabele pomocnicze, wykorzystywane w procesie wyboru trójki do wyprowadzenia. Na tabelach tych dokonywane są operacje związane z wyszukaniem oraz wyborem trójki. Struktury te przedstawiono na rysunku 4.

Tablica podłóg Tp				
Poz (x)	Data	Godzina	ID	Model

Tablica boków lewych Tbl				
Poz (x)	Data	Godzina	ID	Model

Tablica boków prawych Tbp				
Poz (x)	Data	Godzina	ID	Model

Tablica trójek Tk				
Poz (y)	Data	Godzina	ID	Model

Lista zleceń Lz				
Poz (x)	Data	Godzina	ID	Model

Lista modeli Lm	
Pozycja	Model

Rys. 4. Struktury danych (tabele) wykorzystywane przez system N

3. Budowa modelu symulacyjnego

Z uwagi na złożone sterowanie magazynem, ramy czasowe badania oraz przedstawione wcześniej wymagania partnera przemysłowego dotyczące stopnia odzwierciedlenia działania systemu rzeczywistego za pomocą modelu symulacyjnego, zdecydowano o podziale etapu budowy modelu na dwie fazy. W ramach pierwszej fazy podzielono system rzeczywisty na dwa podsystemy, tj. magazyn podłóg oraz magazyny ścian, po czym przystąpiono do równoległej budowy modeli tych podsystemów celem ich późniejszego połączenia i uzyskania modelu docelowego (faza druga). Model zbudowano w symulatorze eM-Plant [3].

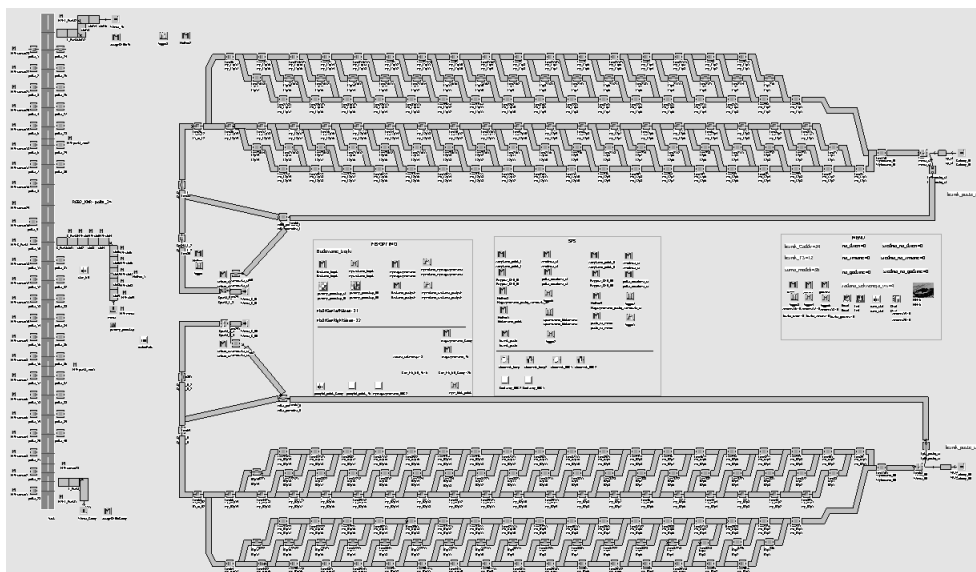
W czasie budowy obydwu modeli przyjęto zasadę, aby wizualny wygląd modelu był jak najbardziej zbliżony do systemu rzeczywistego, zarówno w warstwie fizycznej (elementy systemu oraz ich rozmieszczenie), jak i w warstwie logicznej (sterowanie magazynem). Z punktu widzenia elementów, z których budowany jest model w symulatorze, wyróżnić można:

- elementy statyczne – obiekty fizyczne systemu produkcyjnego (stanowiska produkcyjne, drogi transportowe, itp.) nie podlegające przemieszczaniu w czasie pracy systemu,
- elementy dynamiczne – obiekty fizyczne systemu produkcyjnego, przemieszczające się w czasie pracy systemu (części, wózki transportowe, itp.),
- elementy niematerialne – obiekty reprezentujące procedury wywoływane w odpowiednich stanach modelu, służące przede wszystkim sterowaniu modelem oraz struktury danych, na których działają procedury.

W przypadku omawianych modeli elementy statyczne to: półki, drogi transportowe, zwrotnice, Punkty-We oraz Punkty-Wy; za pomocą elementów dynamicznych zaimplementowano: części (elementy karoserii), zawieszki oraz dwa transportery. Algorytmy oraz struktury danych zaimplementowano za pomocą odpowiednich procedur oraz struktur danych.

W związku z przyjętym podziałem prac, modeli istotną trudność na etapie budowy modeli podsystemów stanowił fakt, iż magazyn pracuje jako całość, tzn. nadrzędny system sterujący podejmuje decyzję na podstawie danych ze wszystkich trzech magazynów. W sytuacji budowy osobnych modeli powstał problem implementacji „brakującej” części magazynu. Rozwiązano go za pomocą dodania do każdego z magazynów obiektów

„szczątkowo” implementujących pracę „brakującej” części tak, aby algorytm każdego magazynu pracował na pełnych danych dotyczących całego magazynu. W ten sposób przygotowano również obydwa modele pod kątem przyszłej unifikacji. W drugiej fazie etapu budowy modelu przystąpiono do integracji modeli cząstkowych, uzyskując w rezultacie docelowy model symulacyjny badanego systemu (rys. 5).



Rys. 5. Model symulacyjny badanego systemu

4. Weryfikacja i walidacja modelu

Model zbudowany w ramach poprzedniego etapu poddano weryfikacji oraz walidacji. Weryfikacja jest etapem badania symulacyjnego, mającego na celu potwierdzenie teoretycznych założeń modelującego dotyczących działania modelu; celem walidacji (etapu następującego po weryfikacji) jest z kolei określenie, czy model odzwierciedla system modelowany (rzeczywisty).

Weryfikacja omawianego modelu polegała na wprowadzeniu go w określony stan, a następnie analizie jego działania pod kątem poprawności jego zachowania. Dotyczyło to m.in. przekazywania elementów karoserii na półki zgodnie z określoną regułą magazynowania (części po pojawieniu się na wejściu przenoszone są na wolne półki znajdujące się jak najbliżej wejścia lub wyjścia magazynów, tj. Punktów-We oraz Punktów-Wy), wyprowadzania trójek z magazynu (z magazynów pobierane są trójki o tym samym identyfikatorze zgodnie z sekwencją) oraz zachowania przenośników w magazynie podłóg w obszarze kolizji. Badano również czasy przejazdów elementów transportujących części, konfrontując je z wartościami uzyskanymi z pomiarów. Zauważone usterki na bieżąco korygowano, uzyskując ostatecznie model spełniający założenia określone przez modelujących.

Walidację modelu przeprowadzono poprzez konfrontację danych uzyskanych z przebiegu symulacyjnego (realizacji algorytmu symulacji) imitującego tydzień pracy magazynu z danymi ze systemu produkcyjnego z analogicznego okresu. Stan początkowy

modelu był tożsamy ze stanem magazynu w momencie rozpoczęcia pracy w danym tygodniu (pewna liczba części zalega w magazynie podczas postoju w czasie weekendu), przez co wyeliminowano fazę rozruchu modelu, upraszczając etap walidacji. Dane z systemu rzeczywistego stanowiły również dane wejściowe modelu. Wartością stanowiącą podstawę walidacji była liczba trójek opuszczających magazyn – na przestrzeni kilku tygodni wartości te różniły się o co najwyżej kilka sztuk, co uznano za wynik satysfakcjonujący i pozwalający uznać model za zwalidowany, tj. odpowiadający systemowi rzeczywistemu i stanowiący podstawę do przeprowadzenia wiarygodnych eksperymentów symulacyjnych.

5. Eksperymenty symulacyjne

Pierwszy z eksperymentów dotyczył wpływu położenia początkowego transporterów T1 i T2 na wydajność pracy magazynu.

Przeprowadzono 150 symulacji różnych kombinacji pozycji początkowych obu transporterów dla dostarczonych przez firmę danych w kolejnych 2 tygodniach pracy przedsiębiorstwa [4]. Analizie poddano po 10 pozycji pomiarowych przesuwając każdorazowo położenie punktów o 2 metry. Przy dokonywaniu zmian pozycji początkowych należało pamiętać o wymaganiach odnośnie bezkolizyjności ustawień transporterów (minimalna odległość między dwoma transporterami równa odległości dwóch półek). Z tego powodu nie można było przeprowadzić pomiarów dla pozycji początkowych przenośnika T2 poniżej 48 metrów i przenośnika T1 powyżej 19,8 metra długości ich drogi.

Każdą symulację przeprowadzono dla 5 dni roboczych w godz. 6.00-6.00 (120 godzin). Analogiczne symulacje przeprowadzono również dla danych z następnego tygodnia. Miało to na celu sprawdzenie i porównanie tych samych kombinacji. Pomiarów w drugim tygodniu nie przeprowadzono dla pozycji startowych, które w pierwszym tygodniu uzyskały najmniejszą wydajność.

Tylko w jednej kombinacji pozycji startowych dla danych z 1 tygodnia uzyskano nieznacznie wyższą wydajność niż przy pozycjach stosowanych aktualnie, natomiast w 20 przypadkach uzyskano taką samą wydajność jak dla pozycji wyjściowych. Pozostałe 80 kombinacji zmniejszyła wydajność. Inne wyniki uzyskano dla 2 tygodnia. Tutaj aż 38 kombinacji uzyskało nieznacznie wyższą wydajność, a tylko jedno zestawienie gorszą. Uzyskane wyniki świadczą o braku wpływu położenia startowego na wydajność magazynu i zależności wyników od danych wejściowych.

Drugi z eksperymentów dotyczył działania magazynu w sytuacji zwiększonej wydajności produkcji. Przeprowadzenie takiego eksperymentu wymagało (ze względu na przyjęcie założenia o implementacji wejścia magazynów w postaci tabel, tj. sytuacji gdy momenty pojawiania się części na wejściu są znane, a nie obliczanie w trakcie trwania przebiegu symulacyjnego) zastąpienia w tabelach wejściowych danych oryginalnych (ze systemu rzeczywistego) danymi szacunkowymi. Na podstawie danych przekazanych przez przedsiębiorstwo obliczono średni takt, a następnie w kolejnych eksperymentach zmniejszono go o 10 sekund. Przyjęcie takiej formy eksperymentu pozwalało zachować kolejność pojawiania się części obydwu modeli, istotną dla działania systemu (tzn. eksperyment przeprowadzono dla kombinacji parametrów: oryginalna kolejność części – zmodyfikowane czasy pojawiania się części na wejściu).

Przeprowadzony eksperyment wykazał ograniczoną wydajność magazynu, tzn. dla taktu odpowiadającego wydajności ok. 700 samochodów na dobę zachodziło zjawisko

blokowania się systemu – elementy transportujące nie nadążały z odbieraniem pojawiających się na wejściu części.

6. Podsumowanie

Eksperymenty przeprowadzone na modelu symulacyjnym magazynu potrójnego wskazały na bardzo ograniczone możliwości poprawy jego działania. Potwierdziło to przypuszczenie o osiągnięciu przez omawiany system granicy wydajności i konieczności wprowadzenia bardziej złożonych działań organizacyjno-technicznych w celu istotnej poprawy parametrów jego pracy.

Przyjęty sposób organizacji badania symulacyjnego na etapie budowy modelu (równoległa budowa dwóch części modelu i ich późniejsza integracja) i konsekwencje z tego wynikające (podział prac w zespole, wydzielenie ról na budujących model oraz przeprowadzających eksperymenty) wskazuje na konieczność odpowiedniej organizacji projektu nie tylko od strony metodyki symulacji, ale również w sensie przedsięwzięcia informatycznego, m.in. poprzez uwzględnienie metod inżynierii oprogramowania dla małych projektów informatycznych w badaniu symulacyjnym.

Literatura

1. Banks J., Carson J.S., Nelson B.L., Nicol D.M., Discrete-Event System Simulation, Prentice Hall, Upper Saddle River 2001.
2. Gordon G., Symulacja systemów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
3. Symulator eM-Plant – dokumentacja.
4. Janaszak D., Eksperyment symulacyjny na bazie modelu magazynu potrójnego, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania (praca dyplomowa magisterska).

Prof. dr hab. inż. Zenobia WEISS
Mgr inż. Jacek DIAKUN
Zakład Zarządzania Produkcją
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska
61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel./fax.: (0-61) 665 27 74
e-mail: zenobia.weiss@put.poznan.pl
jacek.diakun@put.poznan.pl