

Tomasz ChLeBuS\*

## MODELOWANIE SYMULACYJNE LINII PRODUKCYJNEJ ORAZ OPTIMALIZACJA PRODUKCJI POD WZGLĘDEM WYKORZYSTANIA ŚRODKÓW TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO

Artykuł opisuje projekt w procesie produkcyjnym i wyniki w zakładzie BOSCH Polska Układy Hamulcowe w Twardogórze oraz w zakładzie GKN Automotive Polska w Oleśnicy. Celem projektu w BOSCH Polska Układy Hamulcowe w Twardogórze było określenie, dla potrzeb projektowanego nowego layoutu, natężenia przepływu materiału. Istniała konieczność wyznaczenia ilości i struktury zasobów transportowych przy planowanym wzroście produkcji. Na potrzeby projektu został zbudowany model symulacyjny, w którym poza typowymi stanowiskami pracy uwzględniono magazyny, myjnie, gniazda montażowe, wywóz odpadów. Dodatkowym efektem przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego były propozycje zmian do tworzonego layoutu.

Podstawowym celem projektu w GKN Automotive Polska w Oleśnicy było zaprojektowanie i optymalizacja layoutu rozbudowywanej fabryki w związku z koniecznością zwiększenia zdolności produkcyjnych. Modelowanie przeprowadzone zostało w zakresie gniazd i linii produkcyjnych, dróg transportowych, przepływu materiałów, środków transportu i jednostek transportowych. Projektując rozmieszczenie gniazd produkcyjnych i montażowych, powierzchni pomocniczych i obsługowych, za kryterium przyjęto minimalną drogę przepływu produktów i materiałów.

### 1. wSt P

Modele symulacyjne buduje się w celu zmniejszenia ryzyka niepowodzenia przy wprowadzaniu istotnych zmian do istniejącego systemu wytwórczego. Po wygenerowaniu modelu przeprowadza się analizę symulacyjną w celu określenia poszczególnych składników procesu. Rodzaje działalności, w których najczęściej stosuje się analizę symulacyjną, prezentuje rys. 1.

Symulacja to cyfrowe odwzorowanie istniejących zjawisk, zdarzeń lub procesów dla określenia ich cech oraz zbadania wprowadzenia zmian i wizualizacji wpływu tychże działań na istniejący system i określenie skutków tych zmian.

Symulacja pozwala na:

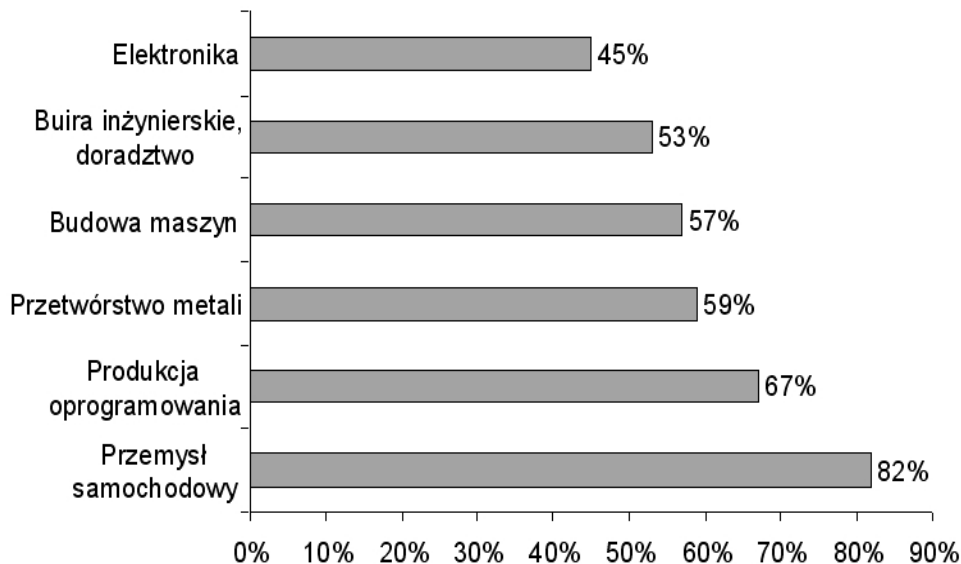
- zbadanie zależności wewnątrzsystemowych,
- określenie zmiennych w systemie lub procesie,

---

\* Dr Tomasz Chlebus, Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

- wystarczająco wszechstronne i wieloparametryczne modelowanie systemów i procesów,
- analizę badanych zależności w czasie,
- oszczędność czasu, zasobów,
- zrozumiałą interpretację wyników,

Rys. 1. Najczęstsze przypadki stosowania symulacji



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWR, IZ 2001

Najczęstszymi przyczynami kłopotów, które można rozwiązać za pomocą symulacji, mogą być:

- niewłaściwe zaprojektowanie layoutu,
- wysokie koszty transportu wewnętrznego firmy – głównie w przepływie materiałów z magazynów na hale produkcyjne oraz niewłaściwe określenie buforów operacyjnych.

Przy dzisiejszym nasyceniu rynku w każdym przedsiębiorstwie produkcyjnym szczególną uwagę zwraca się na to, aby spełniać trzy podstawowe warunki konkurencyjności (rys. 2):

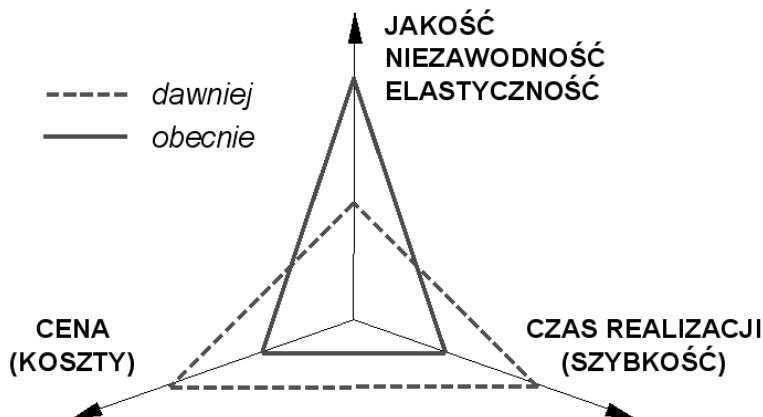
- minimalizacja kosztów;
- dostarczenie produktu dokładnie na czas;
- maksymalizacja jakości, niezawodności i elastyczności wyrobu.

Te trzy podstawowe cechy decydują o powodzeniu przedsiębiorstwa i produktu na rynku. Za pomocą analizy symulacyjnej można w sposób szybki i niedrogi znaleźć optymalne rozmieszczenie stanowisk pracy, urządzeń oraz zbadać wykorzystanie zasobów ludzkich i materialnych (rys. 3). Poprawne wyniki z badań symulacyjnych można uzyskać tylko wówczas, jeśli zbuduje się zintegrowany model przedsiębiorstwa obejmujący wszystkie komponenty procesu produkcyjnego.

Bosch Polska i GKN Automotive jako uczestnicy łańcucha logistycznego branży samochodowej zmuszone są dostosowywać swoje zdolności produkcyjne do dynamicznie zmieniającego się popytu. Jest szczególnie ważne, aby częste modyfikacje wyrobów i zmiany zapotrzebowania nie miały negatywnego wpływu na jakość wyrobów oraz produktywność procesu wytwórczego.

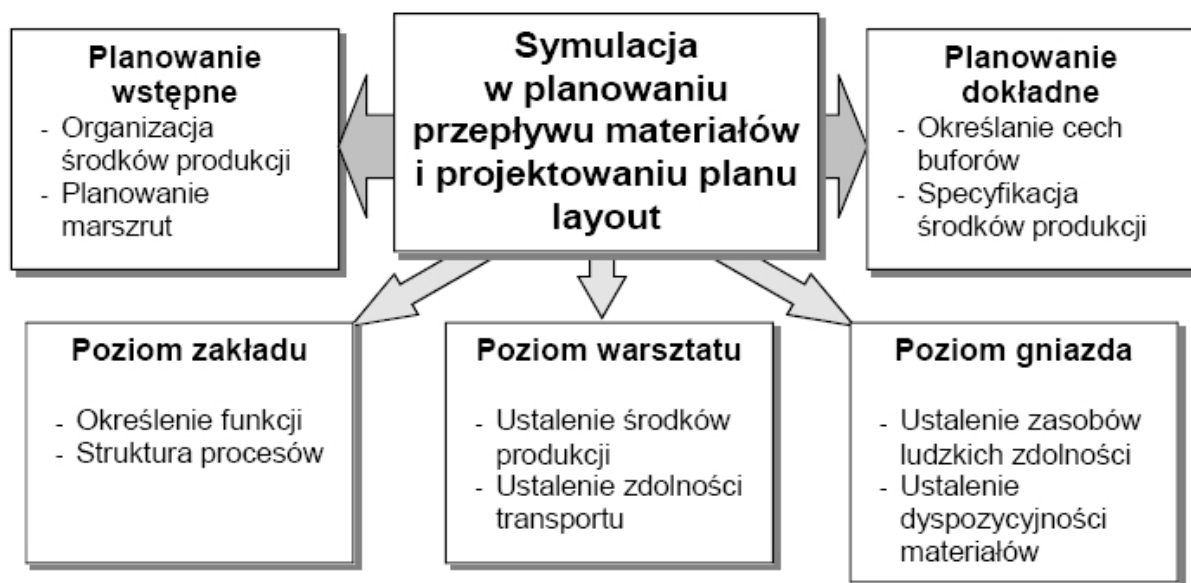
Warunki te mogły być spełnione tylko przy lokalizacji stanowisk produkcyjnych, które posiadają korzystne położenie komunikacyjne. Przy tej okazji zaistniała możliwość opracowania nowego layoutu, który odpowiadałby przyszłym potrzebom rozwojowym firmy.

Rys. 2. Podstawowe warunki konkurencyjności



Źródło: Balter J. F., Zbroja T., Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie, MWSLiT Wrocław

Rys. 3. Symulacja w planowaniu i sterowaniu przepływem materiałów



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWr, IZ 2001

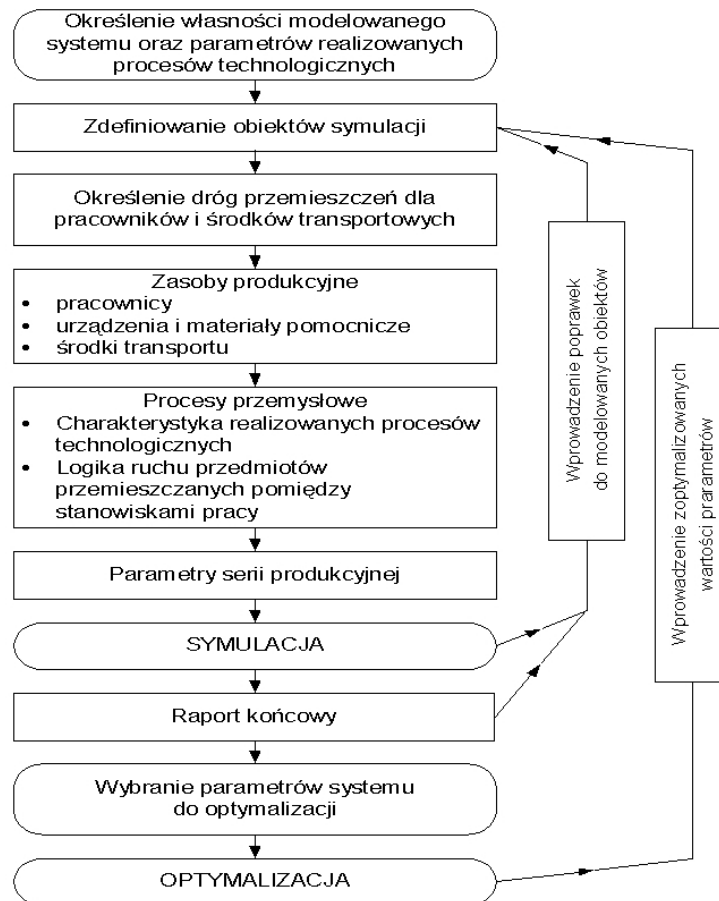
Etapy, przez jakie trzeba przejść, aby stworzyć model hali produkcyjnej, przedstawia rys. 4.

Schemat ten najbardziej odpowiada badanemu procesowi produkcyjnemu, ponieważ wszystkie poziomy na powyższym rysunku musiały zostać uwzględnione, aby powstał rzetelny i dokładny model symulacyjny nowej hali produkcyjnej, wraz z rozmieszczeniem na nim wszystkich stanowisk wytwórczych.

Jednym z etapów projektowania nowego layoutu jest określenie potrzeb transportowych oraz usunięcie utrudnień związanych z przepływem materiałów. Etap ten był szczególnie ważny ze

względem na planowany wzrost produkcji w najbliższym okresie, wprowadzenie nowych wyrobów oraz duży stopień zagęszczenia przepływu materiałów w obecnym zakładzie, występujące w nim wąskie gardła na drogach transportowych i niedostateczną ilość środków transportowych.

Rys. 4. Etapy modelowania systemu wytwórczego



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWr, IZ 2001

## 2. Projekt BoSch PoLSka

Do realizacji celu projektu konieczne okazało się zbudowanie modelu symulacyjnego uwzględniającego procesy obróbkowe i montażowe. Dane opisujące procesy technologiczne istniejące w chwili rozpoczynania projektu, które zostały przeniesione do wybudowanego zakładu, zostały pobrane z systemów PPC i MRP. Dla modyfikowanych komponentów i produktów, których struktura została zmieniona, posłużono się przybliżonymi informacjami o operacjach i zabiegach, dostępnych dla wyrobów technologicznie zbliżonych.

Niezbędne były dane opisujące:

- istniejący i planowany park maszynowy,
- przewidziane do wytwarzania elementy,
- zasoby produkcyjne (m.in. rodzaje i środki używane do transportu),
- topologia i długość dróg transportowych,
- struktura procesów technologicznych,

- wielkość i częstotliwość dostaw, wpływ części z linii do kooperanta,
- dane dotyczące transportu wiórów.

Jako wyniki analizy symulacyjnej spodziewano się uzyskać:

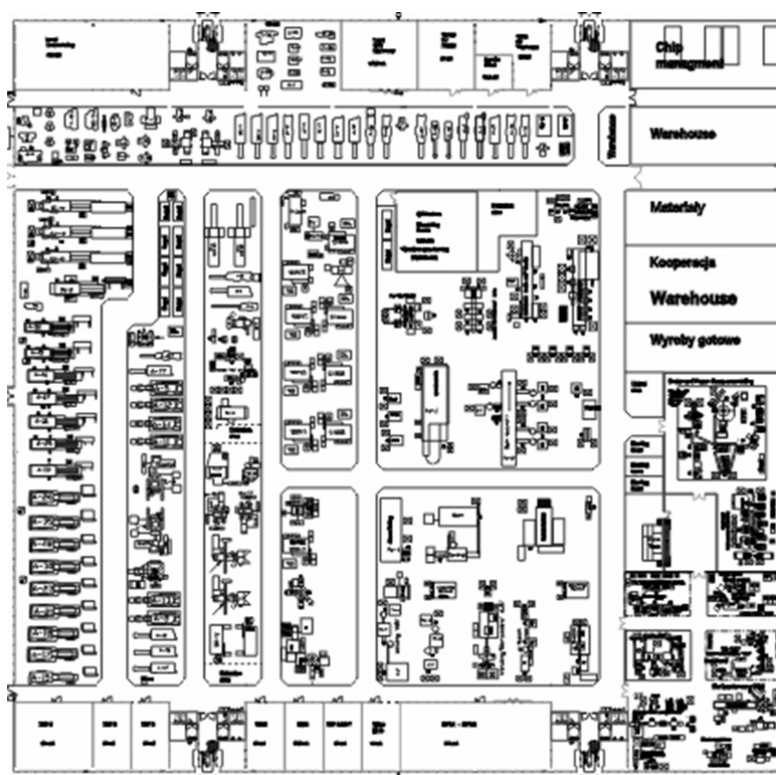
- usprawnienie przepływu materiału w nowym zakładzie w Mirkowie,
- ograniczenie możliwości przecinania się dróg transportowych oraz zmniejszenie koniecznych nawrotów wózków transportowych,
- wyznaczenie i ograniczenie częstotliwości transportu materiałów na wybranych odcinkach dróg,
- wyznaczenie ewentualnych miejsc, w których możliwe będzie minięcie się środków transportowych<sup>1</sup>.

Jako okres symulacji przyjęto losowy tydzień z planu produkcji, który utworzono na podstawie najbardziej intensywnego wykorzystania stanowisk pracy (dane dostępne w systemie PPC) oraz przewidywanego wzrostu woluminu produkcji.

Dodatkowym efektem, jaki spodziewano się uzyskać na podstawie symulacji, było zbadanie wpływu podjęcia decyzji o wywożeniu wiórów i zapełnieniu buforów przystanowiskowych podczas nocnej zmiany na intensywność operacji transportowych.

Na podstawie przedstawionych założeń zbudowano warianty modeli oraz przeprowadzono ich symulację – rys. 5.

Rys. 5. Fragment modelu hali produkcyjnej BOSCH



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWr, IZ 2001

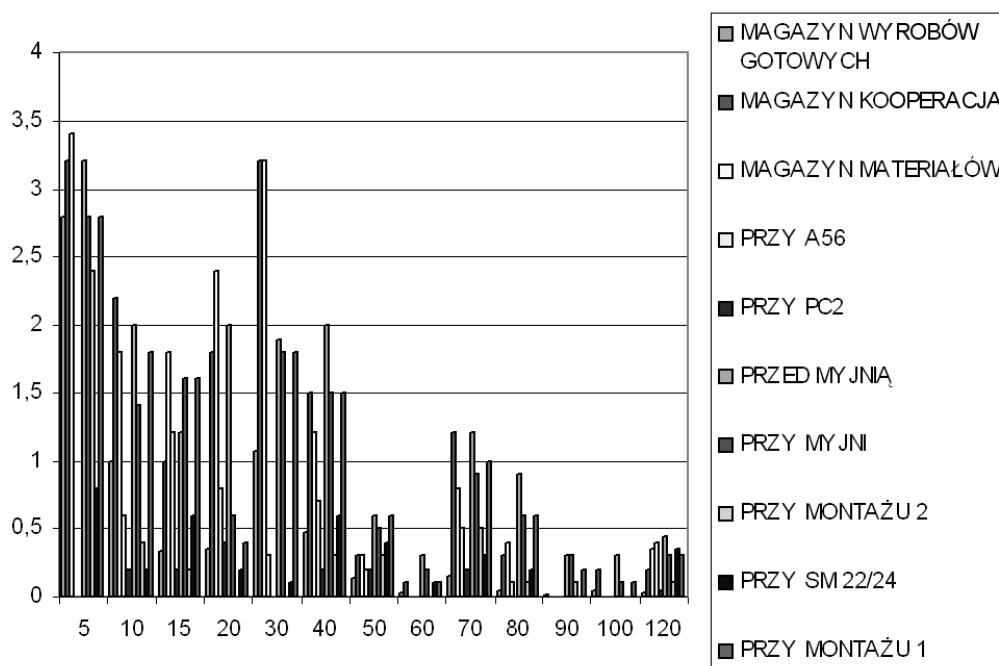
<sup>1</sup> Chlebus E., Chlebus T., Kowalski A., Polkowski M., Analiza przepływu materiału, marszrut transportowych oraz występowania wąskich gardeł na drogach transportowych w nowej fabryce BOSCH. Raport Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji, seria Sprawozdania nr 4/2002, Wrocław 2002

Wstępne wyniki symulacji, przedstawione na spotkaniu z kierownictwem firmy, posłużyły do walidacji modelu.

Szczytowe natężenie ruchu powstało na początku pierwszej zmiany, przy magazynach kooperacji i materiałów oraz myjni, gdzie osiąga ono wartość szczytową 3,4 wózka/min. Miejsce to zostało zaliczone do wąskich gardeł z powodu bardzo dużej częstotliwości ruchu. Kolejne znaczne obciążenie wypada w 30 minucie pierwszej zmiany, przy magazynie kooperacji oraz magazynie materiałów, gdzie osiągnie ono wartość szczytową 3,2 wózka/min, co również wywoła znaczne ograniczenie możliwości transportowych. Należy również zwrócić uwagę na duże natężenie ruchu w okolicach myjni (2 wózki/min). Oznacza to, że w węźle w pobliżu myjni przejeżdżać będą dwa wózki na minutę, a nie, że do myjni będą wjeżdżać dwa wózki na minutę.

Stan ten przedstawia rys. 6.

Rys. 6. Wyznaczenie ruchu dla modelu 1 (puste bufory, bez wiórów) dla pierwszych dwóch godzin



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWr, IZ 2001

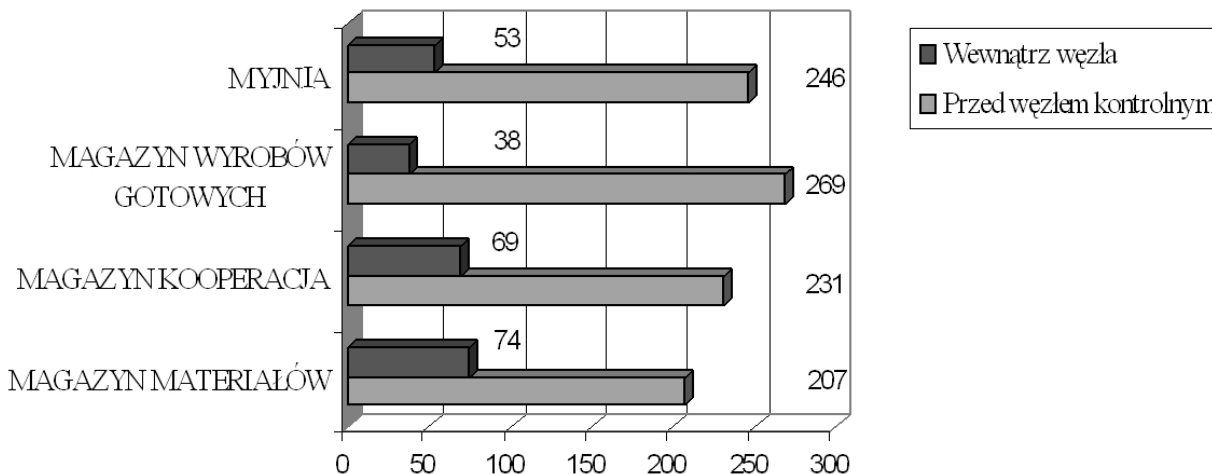
Na rys. 7 zobrazowano porównanie ruchu środków transportu przed i w magazynach oraz myjni. Wynika z niego, iż tylko 20 do 30% ruchu przed magazynami oraz myjnią jest generowane przez wózki wjeżdżające do tych pomieszczeń.

W powyższy sposób przeanalizowane zostały wszystkie modele, co pozwoliło na poprawienie w znaczący sposób layoutu. Modyfikacje, jakie powinny zostać wprowadzone do planu layoutu, są następujące:

- Przeniesienie myjni bliżej magazynu kooperacji. Duża liczba elementów z myjni jest transportowana do magazynu kooperacji.
- Przeniesienie linii montażowych naprzeciw magazynów, co powinno spowodować duże skrócenie czasu transportu i odciążenie dróg transportowych.

- Przeniesienie produkcji części hamulca bębnowego w miejsce obecnego montażu.
- Odwrócenie drugiej części linii produkcji hamulca bębnowego tak, aby nastąpiła ciągłość procesu produkcji tego wyrobu (brak potrzeby wykorzystania długich dróg transportowych).

Rys. 7. Porównanie ruchu wózków przed magazynem i w magazynach oraz w myjni



Źródło: Chlebus T., Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA, Praca magisterska PWr, IZ 2001

### 3. Projekt gkn automotive PoLSka

Program produkcji realizowany był na trzech liniach produkcyjnych:

- linii przegubu homokinematycznego (PU1 – 4 gniazda produkcyjne),
- linii półosi (PU2 – 3 gniazda produkcyjne),
- linii montażu (PU3 – 4 gniazda produkcyjne).

Na liniach stanowiska robocze są pogrupowane w gniazda produkcyjne, a produkcja sterowana za pomocą systemu KANBAN. Plany dotyczące rozwoju przedsiębiorstwa prognozowały, że w najbliższym czasie zostanie wprowadzonych 8 nowych gniazd produkcyjnych osi, 8 nowych gniazd montażowych.

Do budowy projektu layoutu posłużyły następujące dane:

- projekt programu produkcji z wyszczególnieniem grup produktów,
- projekt struktury procesu produkcyjnego w ujęciu technologicznym i przedmiotowym,
- plany rozwoju parku maszynowego i zdolności produkcyjnych,
- technologia wykonania produktów w poszczególnych gniazdach produkcyjnych,
- informacje na temat ograniczeń przy rozbudowie hali produkcyjnej.

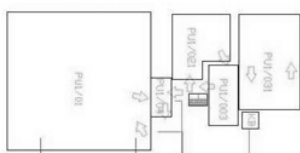
Do projektu nowego layoutu przyjęto następujące kryteria optymalizacji:

- minimalizację powierzchni,
- skrócenie dróg transportowych,
- redukcję zapasów produkcji w toku,
- liczbę środków transportowych (określenie potrzeb transportowych)
- koszty transportu wewnętrznego.

Z powodu konieczności uproszczenia modelu layoutu hali produkcyjnej, zdecydowano się na pominięcie w etapie analizy i optymalizacji layoutu poszczególnych gniazd produkcyjnych, wprowadzając tzw. Black Boksy (BB) będące odpowiednikiem czarnej skrzynki (elementu nierozbieralnego) oraz pominięto operacje transportowe odbywające się raz dziennie lub rzadziej. Powyższe uproszczenie pozwoliło na zachowanie rzeczywistych informacji na temat operacji transportowych i logiki ruchu oraz zoptymalizowanie rozmieszczenia przestrzennego na hali produkcyjnej.

Po przeprowadzeniu analizy symulacyjnej oraz zbadaniu wszystkich głównych węzłów transportowych wywnioskowano, że największe zagęszczenie środków transportu przewożących materiały i wyroby jest przy magazynie wyrobów gotowych, natomiast korytarz transportowy między liniami przegubu homokinematycznego i linii osi stanowi poważne ograniczenie w transporcie wiórów, które są odpadami poprodukcyjnymi (rys. 8).

Rys. 8. Wykres Sankeya obrazujący natężenie środków transportu na hali produkcyjnej



#### 4. PoDSumowanie

Jak można zauważyć, modelowanie przepływu materiałów i procesów produkcyjnych jest bardzo przydatną metodą dla rozpoznania działań realizowanych w przedsiębiorstwie. W czasie analiz przeprowadzono wiele obliczeń, a samo modelowanie skupiało się na wykorzystaniu funkcji użytkowych pakietu symulacyjnego ProModel. Pakiet ten nie jest bardzo skomplikowany w obsłudze, co wykazuje powyższe opracowanie, ale dostarcza wielu cennych informacji, których nie można osiągnąć bez tego typu narzędzi.



Zastanawia więc fakt, że tylko bardzo mała część polskich menedżerów próbuje rozpoznawać procesy swojej firmy w ten sposób, który jest zdecydowanie tańszy od eksperymentowania na żywym systemie.

Modelowanie symulacyjne systemów produkcyjnych jest potrzebne zarówno w fazie planowania, jak i ze względu na przyszłościowe wykorzystanie doświadczeń związanych z wcześniejszymi nieudanymi fazami reengineeringu. Oprócz tych zalet modelowanie jest bardzo tanim sposobem diagnozy procesów produkcyjnych i gospodarczych w porównaniu z późniejszymi konsekwencjami przestojów lub strat wynikających z nadprodukcji lub niemożności wywiązania się z umów z kontrahentami, których przyczyną jest niewłaściwe zarządzanie zasobami produkcyjnymi, czy - jak w tych przypadkach - niewłaściwa struktura logistyki wewnętrznej.

#### LITERATURA

- [1] *Twoje pismo*, Gazetka zakładowa, Bosch Twardogóra 2000
- [2] Chlebus E., Chlebus T., Kowalski A., Polkowski M., *Analiza przepływu materiału, marszrut transportowych oraz występowania wąskich gardeł na drogach transportowych w nowej fabryce BOSCH*, Raport Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji, seria Sprawozdania nr 4/2002, Wrocław 2002
- [3] Chlebus T., *Metody modelowania i analizy procesów produkcyjnych na podstawie BOSCH POLSKA*, Praca magisterska PWr, IZ 2001
- [4] Chlebus E., *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT Warszawa 2000
- [5] Balter J. F., Zbroja T., *Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie*, MWSLiT Wrocław

#### THE MODELLING SIMULATION OF A PRODUCTION LINE AND OPTIMISATION OF PRODUCTION IN THE ASPECT OF EXPLOITATION OF THE INTERNAL TRANSPORT MEANS

#### SUMMARY

Article describes the project in the production process and results in an establishment BOSCH braking systems in Poland and in the establishment Twardogórze GKN Automotive Poland in Rudolf. Objective of the project in BOSCH Poland braking systems on Twardogórze was to determine for the proposed new layout, flowrate material. There was need to fix the quantities and transport resources structure at the scheduled increase in production. Of the project has been built model, in which the typical working positions taken into account warehouses, washer, sockets mounting, exports of waste. The additional result were taken an experiment carried out proposals for amendments to these created. The primary objective of the project in Poland in Automotive GKN in Oleśnica was design and optimisation these development factory in connection with the need increase in production capacity. The primary objective of the project in Poland in automotive GKN was Rudolf design and optimisation these development factory in connection with the need increase in production capacity. Modelling has been carried out in the sockets and production lines, road transport, flow of materials, means of transport and transport units. In designing the distribution and production sockets assembly, ancillary surface and servicing criterion for the minimum calculated movement of products and materials.

**Recenzent: dr hab. inż. Zenon Zamiar**

