Zygmunt Mazur
Marek Dudek
Akademia Górniczo-Hutnicza

SYMULACYJNE PROJEKTOWANIE NOWOCZESNYCH STRUKTUR SYSTEMU WYTWARZANIA[1]

Wstęp

Dostosowanie się systemu wytwarzania do zmian zachodzących w jego otoczeniu jest możliwe wtedy, gdy jego struktura jest elastyczna. Obecne układy strukturalne mają sztywne struktury o określonych możliwościach zmian wielkości asortymentu i powiązań kooperacyjnych. Wysoki stopień elastyczności jest możliwy do osiągnięcia poprzez organizowanie nowych form przepływów kooperacyjnych, które wyznaczą strukturę organizacyjną systemu. Systemy wytwarzania i ich struktury powinny być tworzone z elementów (stanowisk pracy) występujących w różnych organizacjach będących węzłami sieci kooperacyjnej. Taka dynamiczna struktura systemu wytwarzania da możliwość osiągnięcia najwyższego stopnia elastyczności. Będą to procesowo zorientowane organizacje sieciowe, w których można wyłaniać zbiór elementów (modułów) dla zrealizowania określonego celu drogą formowania przepływu. Kształtowanie struktury dla określonych warunków i parametrów przepływu będzie możliwe, gdy w każdej sytuacji będzie można wybrać najlepszą organizację przepływu. Formy takie można nazwać adaptacyjnymi strukturami, gdyż konfiguracja (wzajemny układ elementów) uwzględnia bieżącą sytuację produkcyjną.

---

[1] Artykuł platny z umowy nr 10/10.200.150.

Kształtowanie struktury nowoczesnego adaptacyjnego systemu wytwarzania

W systemie wytwarzania znaczącą rolę odgrywa sprawne zorganizowanie powiązań elementów systemu, umożliwiające między innymi efektywny przepływ materiałów i półwyrobów od dostawców czy magazynów wejściowych do magazynu wyrobów gotowych, a nawet do użytkownika. Problem polega na rozstrzygnięciu następujących kwestii[2]:

- zsynchronizowania w czasie wszystkich dostaw tak, aby skrócić do minimum czas oczekiwania materiału czy półwyrobu na obróbkę lub montaż;
- minimalizacji czasu pomiędzy wyprodukowaniem wyrobu a włączeniem go do normalnej eksploatacji;
- zestawienia właściwych środków transportu i środków technicznych ułatwiających magazynowanie i wyszukiwanie potrzebnych w danej chwili materiałów, półfabrykatów lub wyrobów;
- zaprojektowania struktury przepływu o optymalnych drogach transportowych.

Uwzględnienie wszystkich procesów, które będą realizowane w kształtowanym systemie wytwarzania, daje możliwość uzyskania właściwej struktury systemu. To procesy kształtują strukturę systemu określając, które i ile elementów systemu uczestniczyć będzie w wytwarzaniu. Kształtowanie systemu powinno być sytuacyjne, a więc przebieg procesu powinien być dostosowany do zaistniałej sytuacji. Uwzględnienie w procesie kształtowania możliwych przepływów (kooperację elementów systemu) daje możliwość tworzenia struktury procesowej systemu wytwarzania[3]. Należy zatem widzieć projektowany proces jako przepływ w czasie i przestrzeni, a więc:

- strumienie przepływów i ich natężenia,
- sposoby przepływu i ich struktura,
- etapy działań i ich zależność czasowa.

Wymienione elementy przepływu decydują o strukturze systemu wytwarzania, czyli o liczbie elementów i ich przestrzennym usytuowaniu.

---

[2] I. Durlik, *Restrukturyzacja procesów gospodarczych*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998.

[3] Z. Mazur, *Formowanie przepływów logistycznych w systemach wytwarzania*, Scriptorium Textura, Kraków 2003.

Nowoczesne podejście do kształtowania struktury systemu opierać się powinno na określeniu reguł przepływu i współdziałania elementów. Reguły mogą być następujące:
- termin wykonania całego zadania,
- terminy etapów pośrednich,
- natężenie strumieni przepływu (równoległość, wielostrumieniowość),
- uszeregowanie zadań.

Kształtowanie nowoczesnych struktur polega zatem na[4]:
- poszukiwaniu kooperantów,
- określeniu możliwych sieci, związków kooperacyjnych,
- wyborze najkorzystniejszych przebiegów.

Uwzględnienie wszystkich możliwych kombinacji procesów nie jest możliwe bez odpowiednich narzędzi. Przydatnym narzędziem wydaje się modelowanie symulacyjne. Przydatność modelowania symulacyjnego do rozwiązywania podobnych problemów przedstawia literatura, która określa również, jakie można osiągnąć korzyści z tego tytułu, np.[5]:
- możliwość tworzenia nowych strategii, procedur, reguł decyzyjnych i informacji;
- sprawdzenie możliwości funkcjonowania systemu produkcyjnego w zmienionych warunkach (nowe maszyny, środki transportu itd.);
- możliwość określenia efektów wybranego rozwiązania;
- możliwość określenia parametrów systemu, które w największym stopniu wpływają na wynik;
- możliwość określenia wąskich gardeł w zaopatrzeniu, przebiegu produkcji;
- lepsze poznanie funkcjonowania systemu;
- możliwość wykrywania przyszłych zagrożeń, na które wcześniej można się przygotować.

Opis przedmiotu badań

Eksperyment symulacyjny mający na celu weryfikację proponowanej metodyki kształtowania struktury przeprowadzono na modelu systemu wytwarzania. Model zbudowano i zweryfikowano na podstawie badań

[4] A. Moczała, *Uwarunkowania projektowania procesów produkcyjnych w warunkach kooperacji*, „Zarządzanie Przedsiębiorstwem" 2004, nr 2.

[5] J. Matuszek, *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwo PŁ, Bielsko Biała 2000.

i analiz przeprowadzonych w przemyśle elektromaszynowym w 15 przedsiębiorstwach Polski południowej.

Przemysł elektromaszynowy to jeden z najbardziej rozbudowanych sektorów polskiego przemysłu. W jego ramach działa wiele branż. Według klasyfikacji działalności (PKD) zawiera się w sekcji D – przetwórstwo przemysłowe, które obejmuje między innymi:
- wytwarzanie nowych wyrobów w procesie produkcji jednostkowej, jak i seryjnej oraz masowej, mieszczące się w dziale 28 tej sekcji;
- montaż części składowych wyrobu finalnego mieszczący się w dziale 29 i 31.

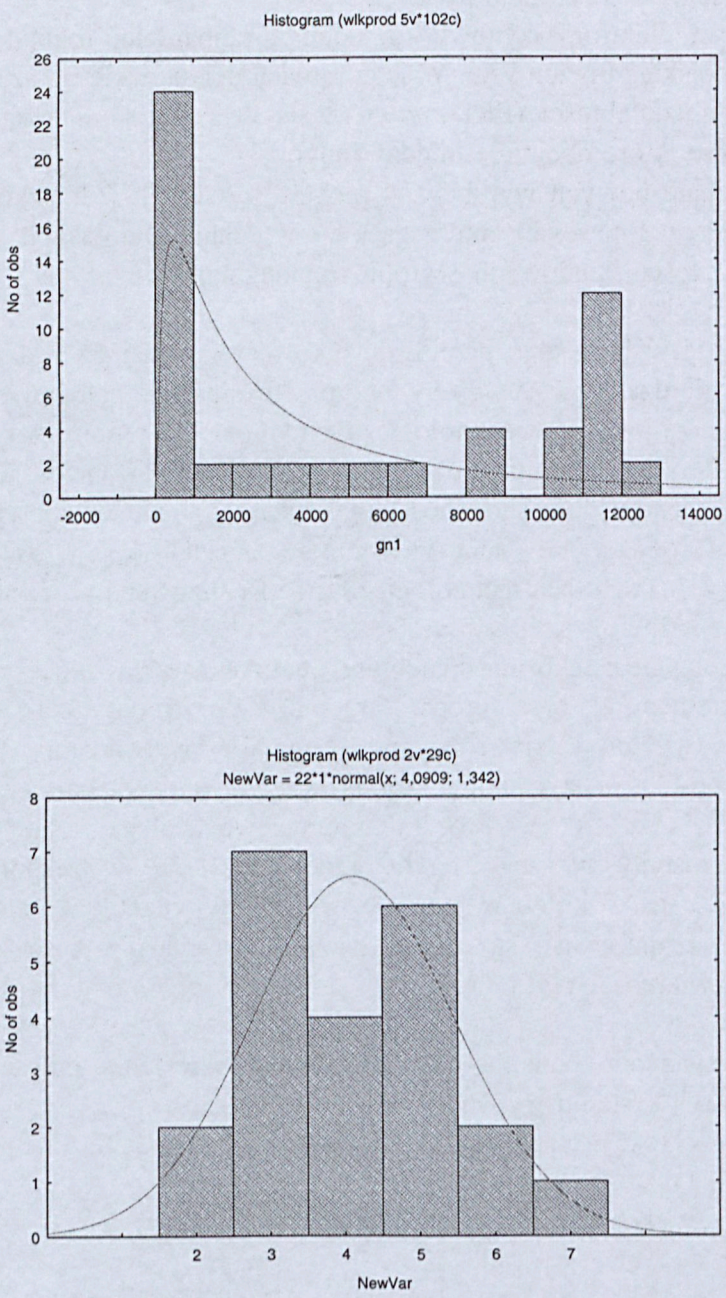
Słuszność wyboru tego przemysłu jako reprezentacji do badań można poprzeć stwierdzeniem, że wyroby tego przemysłu mają najbardziej różnorodne przebiegi procesów technologicznych i mogą być reprezentatywne dla wyrobów innych gałęzi przemysłu[6]. Produkty realizowane w tej gałęzi przemysłu cechuje duża złożoność konstrukcyjna i wieloetapowy proces produkcji (produkty powstają w wyniku realizacji kolejnych operacji opisanych w marszrutach technologicznych). Realizowane procesy charakteryzują się różnymi przepływami.

W przemyśle elektromaszynowym realizowane są procesy kształtowania elementów oraz procesy montażowe. Procesy kształtowania elementów wykonuje się różnymi technikami wytwarzania (np. odlewanie, obróbka plastyczna), z których dominującą metodą jest obróbka skrawaniem (ok. 70%). Procesy montażowe polegają na łączeniu części w zespoły niższego rzędu, które łączy się w zespoły rzędu wyższego, a te z kolei w gotowy wyrób. W przemyśle elektromaszynowym realizowane są różne wielkości produkcji i różne typy produkcji (wielkości partii produkcyjnych) przy zmiennym asortymencie produkcji.

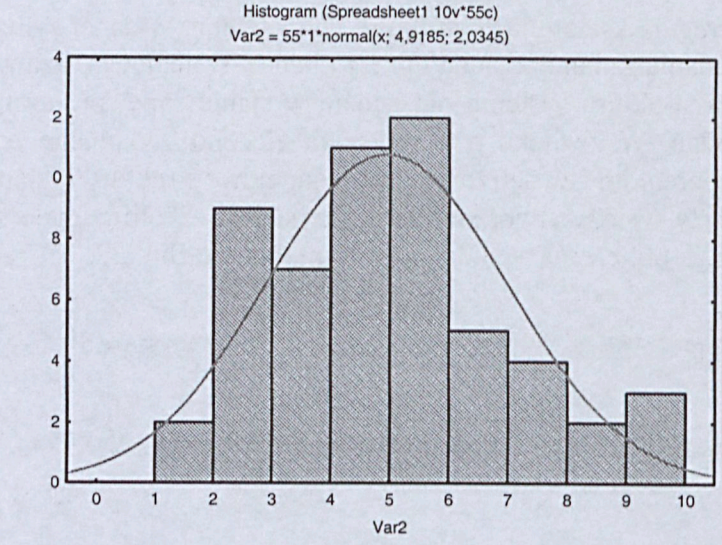
Przeprowadzone badania dały możliwość określenia podstawowych charakterystyk systemu wytwarzania, a mianowicie:
- średnia wielkość produkcji w badanym okresie i średnia liczba operacji na wyrób (rys. 1);
- średni czas i koszt wytworzenia jednego wyrobu (rys. 2).

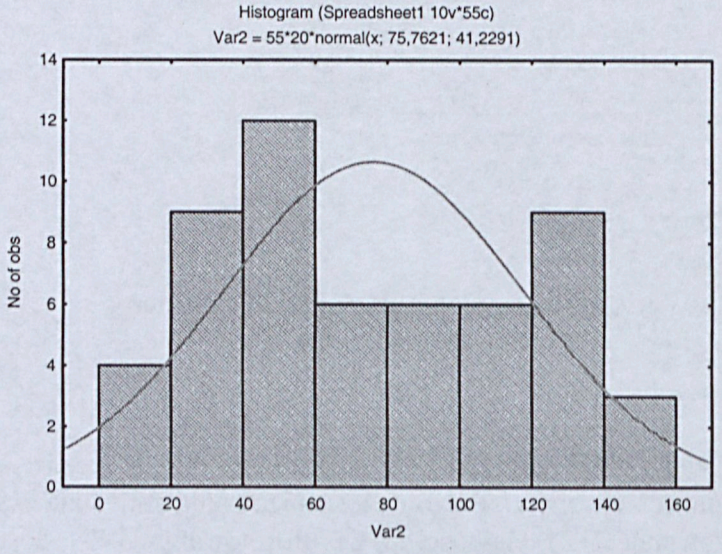
---

[6] J. Słoniec, *Efekt organizacyjny w harmonogramowaniu jako szczególny przypadek zjawiska synergii organizacji*, „Zarządzanie Przedsiębiorstwem" 2003, nr 1.



Rys. 1. Wielkość produkcji i liczba operacji w wyrobach
Źródło: Opracowanie własne



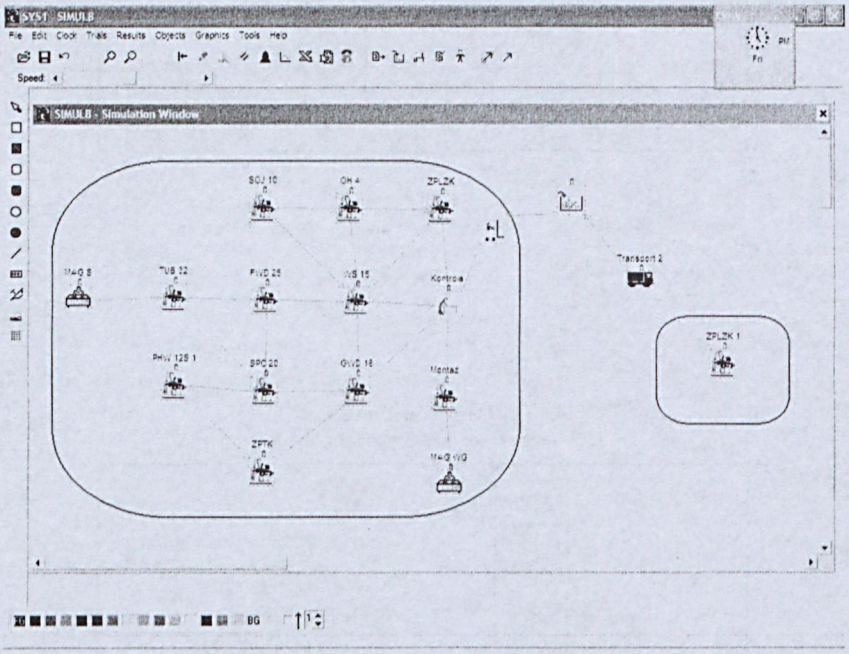


Rys. 2. Średni czas i koszt wytworzenia jednego wyrobu

Źródło: Opracowanie własne

Założenia i wyniki eksperymentu

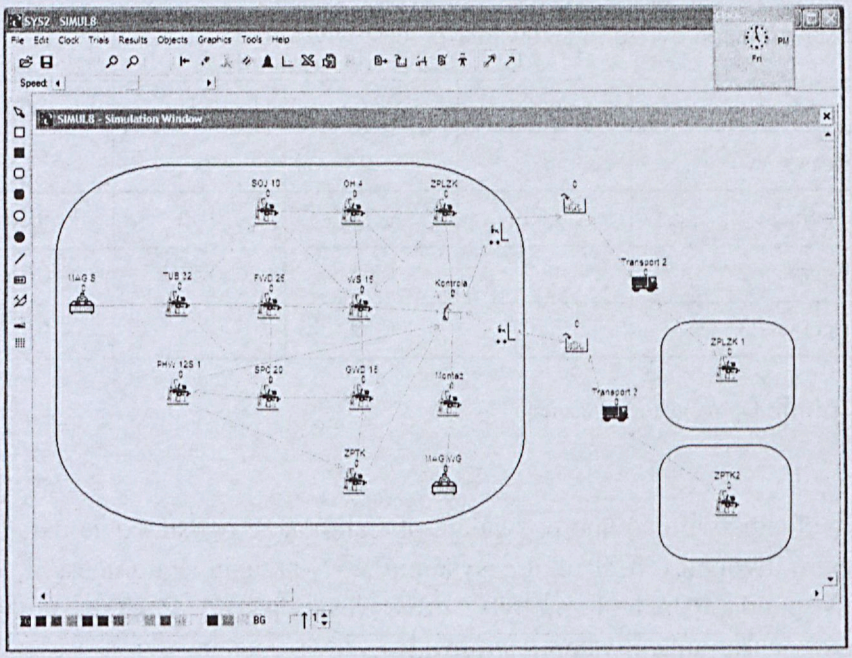
Główną regułą kształtującą strukturę wytwarzania w danej sytuacji był termin wykonania zadań narzucony przez klienta. Wstępna analiza wykazała, iż obecna struktura systemu nie będzie w stanie zapewnić terminowej realizacji zadań. W związku z powyższym zlecono wykonanie pewnych operacji kooperantom zewnętrznym (tworzono nowe struktury systemu). Na podstawie bazy wiedzy stworzono trzy przykładowe konfiguracje struktur wytwarzania, a obliczenia wykonano w symulatorze Simul8.



Rys. 3. Pierwszy układ konfiguracji struktury
Źródło: Opracowanie własne

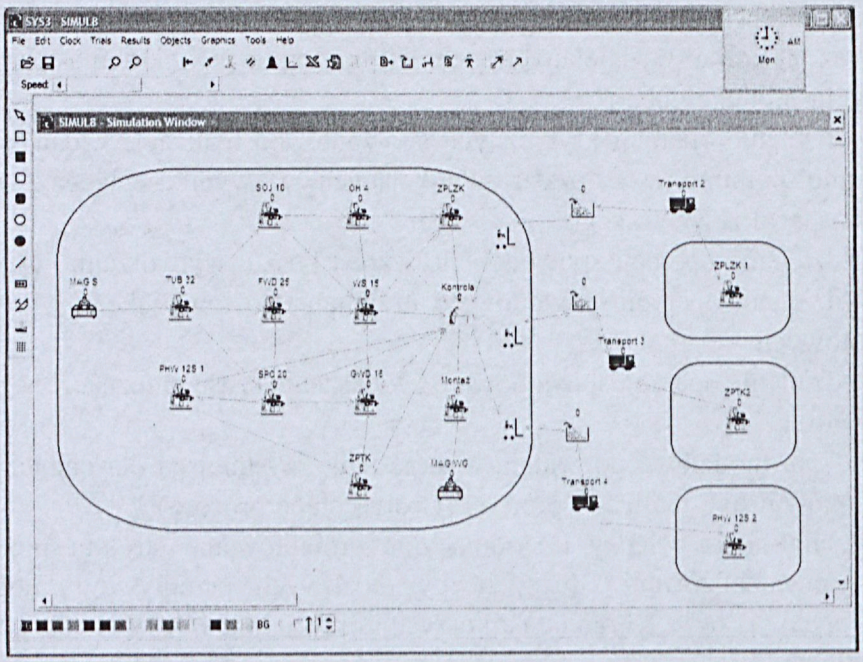
Zdecydowano się oceniać poziom zorganizowania procesów oraz poziom dostępności zasobów. Poziom zorganizowania określają wskaźniki zsynchronizowania (*WZ*), ciągłości (*WC*), uformowania (*WU*), dostępności zasobów (*WD*)[7] (tabela na s. 332).

[7] Z. Mazur, *Formowanie przepływów logistycznych*.



Rys. 4. Drugi układ konfiguracji struktury

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Trzeci układ konfiguracji struktury

Źródło: Opracowanie własne

Wartości wskaźników zorganizowania procesu wytwarzania

	WZ	WC	WU	WD
Wzorcowy stan	1	1	1	1
Konfiguracja 1	0,62	0,73	0,56	0,66
Konfiguracja 2	0,67	0,65	0,52	0,74
Konfiguracja 3	0,70	0,59	0,46	0,79

Źródło: Opracowanie własne.

Przebiegi symulacyjne pozwalają określić także podstawowe parametry procesów tworzących strukturę systemu wytwarzania. Parametrami, jakie zostały poddane badaniom, były: czas, koszt, jakość. Z eksperymentów wynikają następujące wstępne wnioski:

- wraz z liczbą wydzielanych operacji następuje spadek wskaźników zorganizowania *WC*, *WU* procesu wytwarzania;
- wraz z liczbą wydzielanych operacji następuje wzrost wskaźników zorganizowania *WZ*, *WD* procesu wytwarzania;
- wraz z liczbą wydzielanych operacji następuje zwiększenie długości cyklu produkcyjnego;
- wydzielenie operacji krytycznych spowodowało realizację zadań w terminie pomimo strat czasu wynikających w wyniku zaangażowania transportu zewnętrznego;
- wydzielenie operacji spowodowało wzrost kosztu wytworzenia wyrobu;
- wydzielenie operacji spowodowało utrzymanie poziomu jakości wyrobów gotowych;
- wydzielenie operacji spowodowało zwiększenie czasu przeznaczonego na kontrolę;
- badania modelowe pozwalają wybrać najkorzystniejszą dla danych warunków drogę realizacji procesu (tworzą mapę procesu);
- aktualna baza wiedzy i symulacyjne projektowanie struktur pozwala na przeanalizowanie dużej liczby możliwych przepływów kooperacyjnych i na wybranie najkorzystniejszych przepływów dla danej sytuacji.

Zakończenie

Kształtowanie elastycznej struktury systemu wytwarzania, najkorzystniejszej dla danej sytuacji, zrealizować można drogą modelowania symulacyjnego, które umożliwia badanie różnych wariantów rozwiązań. Elastyczność struktury uzyskać można tworząc uniwersalne formy przestrzenne, umożliwiające realizację zmiennych przepływów i kształtowanie przepływów o najkorzystniejszych parametrach czasowych. Możliwość kształtowania różnych przepływów i badania ich wpływu np. na termin realizacji ma istotne znaczenie w małych i średnich przedsiębiorstwach, w których jest ukierunkowanie na produkcję według zleceń. W takich warunkach coraz częściej stosuje się metody pozwalające uzyskiwać rozwiązania zadowalające (nie da się optymalizować). Konieczność podejmowania szybkiej decyzji, przy uwzględnieniu wielu różnych czynników wyklucza bowiem stosowanie metod optymalizacyjnych. Możliwość kształtowania struktury prowadzi do takiej organizacji przepływów w systemie, która pozwala na dostosowanie terminów realizacji zadań do terminów zamówień oraz na uzyskanie ciągłych i zsynchronizowanych strumieni przepływu.