

DOSKONALENIE ORGANIZACJI PROCESÓW WYTWARZANIA ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM NARZĘDZI SYMULACYJNYCH

Dariusz PLINTA, Sławomir KUKLA, Anna TOMANEK

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia związane z doskonaleniem produkcji. Główną uwagę zwrócono na narzędzia symulacyjne, które w połączeniu z różnymi metodami i narzędziami doskonalenia produkcji stają się w wielu przedsiębiorstwach podstawowym narzędziem do identyfikacji i analizy problemów, poszukiwania ich rozwiązań oraz do określania potencjalnych efektów zaproponowanych usprawnień. Problematykę doskonalenia procesu wytwarzania zilustrowano praktycznym przykładem, w którym połączono analizę symulacyjną z wykorzystaniem różnych narzędzi do wizualizacji i optymalizacji procesów.

Słowa kluczowe: doskonalenie produkcji, modelowanie i symulacja.

1. Wprowadzenie

Obecnie procesy wytwarzania są szczegółowo planowane, głównie z uwzględnieniem efektywnego wykorzystania zasobów. Realizowane procesy są szczegółowo analizowane i oceniane z ekonomicznego punktu widzenia. Dzięki rozwojowi sprzętu komputerowego i oprogramowania wspomagającego produkcję planowanie oraz analizy funkcjonowania systemów produkcyjnych są realizowane bardziej szczegółowo i coraz szybciej. Programy do planowania działań produkcyjnych stanowią obecnie jedną z ważniejszych części zintegrowanego systemu zarządzania przedsiębiorstwem [1, 8].

W planowaniu produkcji ważne jest przede wszystkim przygotowanie planów oraz harmonogramów, ale również osiągnięcie celów organizacyjnych przedsiębiorstwa, do których należą:




- spełnianie potrzeb klientów,
- spełnienie wymagań technologicznych,
- dotrzymanie ustalonych terminów,
- minimalizacja czasów realizacji zleceń produkcyjnych,
- maksymalne obciążenie stanowisk,
- obniżanie kosztów produkcji,
- minimalizacja czasów składowania,
- minimalizacja braków,
- minimalizacja magazynów.

Planowanie produkcji musi więc być powiązane z wszystkimi elementami systemu produkcyjnego, które mają istotny wpływ na realizację celów przedsiębiorstwa. Jeśli przykładowo przebrojenie pojedynczych stanowisk lub linii produkcyjnych ma istotny wpływ na termin realizacji zleceń produkcyjnych, to na etapie planowania produkcji należy sprawdzić możliwe warianty jej realizacji. Coraz częściej do planowania oraz sprawdzania alternatywnych harmonogramów wykorzystywana jest metoda modelowania i symulacji.

Wspomaga ona w znaczący sposób podejmowanie decyzji – wybór najlepszego z zaproponowanych rozwiązań [5, 6, 9].

2. Modelowanie i symulacja w zarządzaniu produkcją

W czasie projektowania kompleksowych systemów produkcyjnych, jak również przy planowaniu i zarządzaniu produkcją pojawia się wiele problemów. Na przykład duża ilość możliwych wariantów i ich złożoność często utrudnia ich ocenę. Uwzględnienie w symulacji wszystkich składników systemów produkcyjnego (rys.1) oraz aspektów realizacji procesu wytwarzania często sprawia, że staje się ona zbyt pracochłonna i kosztowna. Przy nieznanych przyszłych uwarunkowaniach produkcji, otoczenia firmy, nacisku na terminy, ograniczeniach finansowych i niedostępności do nowoczesnych technologii trudno zoptymalizować cały system produkcyjny. Dodatkowo po uruchomieniu zaprojektowanego systemu pojawiają się różne nieprzewidziane wcześniej problemy organizacyjne, które uniemożliwiają pełne wykorzystanie posiadanych zasobów. Z tego względu konieczne są ciągłe prace, których celem jest doskonalenie funkcjonującej organizacji. Aby ograniczyć opisane wyżej problemy warto na każdym etapie cyklu życia systemu produkcyjnego korzystać z narzędzi symulacyjnych [2].

Elementy modelu			
Składniki systemu produkcyjnego	Elementy statyczne		Magazyny, bufory, obrabiarki, linia produkcyjna 
	Elementy	Tymczasowe	Produkty, materiał, narzędzia 
		Stałe	Wózki, palety, pracownicy 
Zmienne systemu	Zmienne endogenne		Wydajność maszyn, dostępność maszyn, ilość potrzebnych narzędzi i urządzeń
	Zmienne egzogenne		Liczba zamówień, dostawy materiału, niedobór materiałów
	Parametry		Ilość maszyn, pojemność buforów, ilość wózków

Rys. 1. Główne składniki modelu systemu produkcyjnego [9]

Na utworzonym modelu symulacyjnym przeprowadza się eksperymenty, z których każdy reprezentuje inną strategię usprawnienia systemu produkcyjnego. Po dokonaniu oceny dokonywany jest wybór najbardziej efektywnego rozwiązania, które później jest realizowane w praktyce [3]. Za pomocą symulacji można sterować uruchamianiem zleceń produkcyjnych, ustalać wielkość serii, kolejność realizacji zadań produkcyjnych, można sterować przebiegiem ich realizacji, oraz dokonywać analizy funkcjonowania systemu produkcyjnego w przypadku planowanych remontów i losowych awarii.

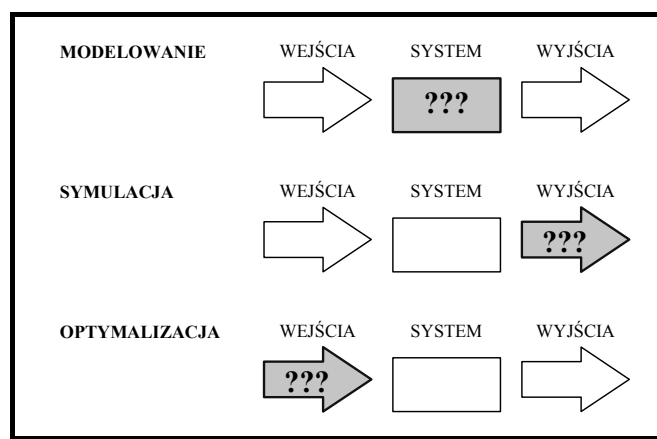
Współczesne przedsiębiorstwa działają w warunkach ograniczonego popytu oraz rynku klienta, który wymusza konieczność ciągłego doskonalenia procesów produkcyjnych.

Dlatego też coraz istotniejszym zagadnieniem staje się optymalizacja procesów produkcyjnych, która jest opisywana [4, 6, 7] jako procedura składająca się z trzech etapów:

- opracowania i odpowiedniego przedstawienia zbioru wariantów dopuszczalnych,
- sformułowania kryteriów optymalizacji,
- wyboru i opracowania metody znajdowania wariantu optymalnego.

Wymienione etapy można zrealizować również w projektach symulacyjnych. Różnicę między pojęciami modelowanie, symulacja i optymalizacja przedstawiono na rysunku 2. Różnica tkwi w zadaniach, którymi są [2]:

- dla modelowania – stworzenie modelu symulacyjnego,
- dla symulacji – określenie rezultatów podejmowanych działań,
- dla optymalizacji – określenie danych wejściowych koniecznych do uzyskania wymaganych wyników.



Rys. 2. Relacje pomiędzy modelowaniem, symulacją i optymalizacją [2]

Przez optymalizację systemu produkcyjnego rozumiemy takie zaprojektowanie lub reorganizację systemu produkcyjnego, czyli wszystkich jego składników, wejść i wyjść, które zapewnią optymalne jego funkcjonowanie [7]. Optymalizacja systemu produkcyjnego realizowana metodą symulacji może przykładowo dotyczyć:

- doboru pracowników,
- doboru maszyn,
- doboru środka transportu,
- ustawienia stanowisk pracy,
- umiejscowienia i wielkości buforów.

Podstawą optymalizacji procesów wytwarzania jest ich analiza i opis. Pojęcie struktury procesu obejmuje najbardziej istotne cechy jego budowy, które są niezmiennie pomimo zmienności parametrów charakteryzujących operacje. Proces wytwarzania można rozważać również jako system składający się z wejść, wyjść i samego procesu. Wejście stanowią materiały, natomiast wyjście gotowy wyrób. Proces wytwarzania jest więc szeregiem następujących po sobie operacji. Oprócz sposobu wizualizacji procesu wytwarzania istotną rolę w doskonaleniu odgrywają metody i narzędzia wspomagające identyfikację problemów (mapy procesów, diagramy spaghetti), ich przyczyn (wykresy Pareto, diagramy Ishikawy,

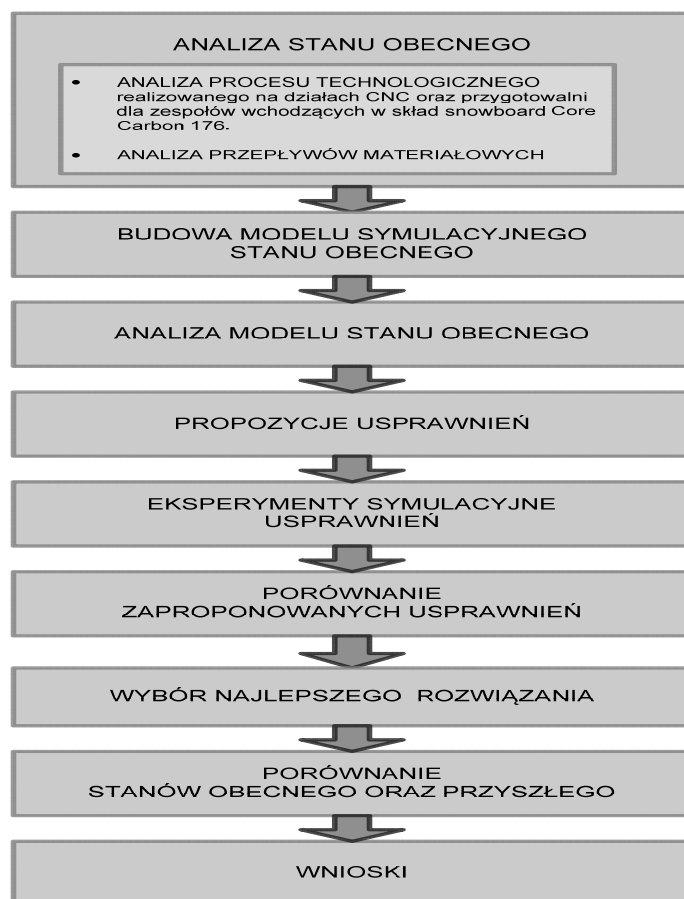
itp.) oraz opracowywanie rozwiązań (harmonogramy, kalkulacje kosztowe, itp.). Powiązanie wymienionych metod i narzędzi stanowi podstawę współczesnych systemów ciągłego doskonalenia organizacji procesów wytwarzania. W dalszej części artykułu przedstawiono przykład funkcjonowania takiego systemu, w którym wykorzystano różne metody i narzędzia analizy.

3. Praktyczny przykład

Badania zrealizowano na podstawie przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją zimowego sprzętu sportowego. W ramach badań przeprowadzono analizę przepływu materiałów na wydziałach CNC oraz przygotowalni z wykorzystaniem modelu symulacyjnego opracowanego w pakiecie Arena. Na podstawie otrzymanych raportów zaproponowano usprawnienia i przeprowadzono ich symulację na modelu komputerowym.

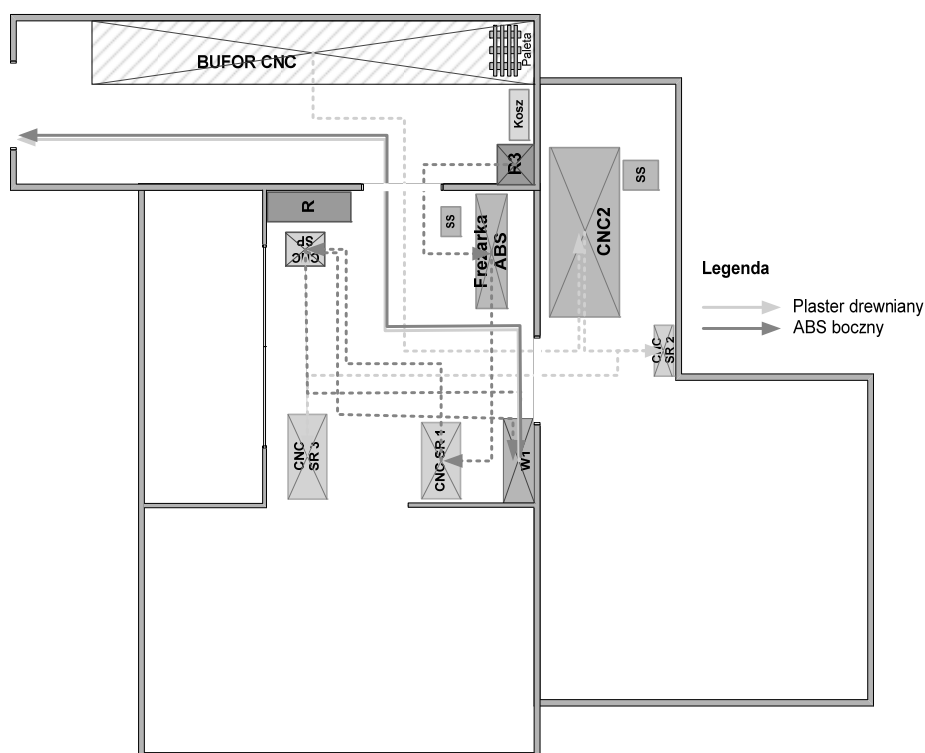
Celem przedstawionego projektu było udoskonalenie organizacji procesów wytwarzania oraz przepływów materiałowych na wydziałach CNC oraz Przygotowni poprzez identyfikację i eliminację źródeł strat.

Etapy realizacji badań przedstawione zostały na rysunku 3.



Rys. 3. Koncepcja badań

Ogólna struktura procesu wytwarzania wyrobów gotowych oraz dokumentacja technologiczna została przedstawiona w pracy [10]. Z wykorzystaniem diagramów spaghetti przedstawione zostały przepływy materiałów na poszczególnych wydziałach (przykład przedstawia rys. 4). Linie przerywane prezentują transport ręczny, natomiast linie ciągłe transport z wykorzystaniem wózka. W przypadku, gdy dwie linie jednego koloru narysowane są obok siebie oznacza to, że komponenty transportowane są łącznie, np. na jednym wózku.



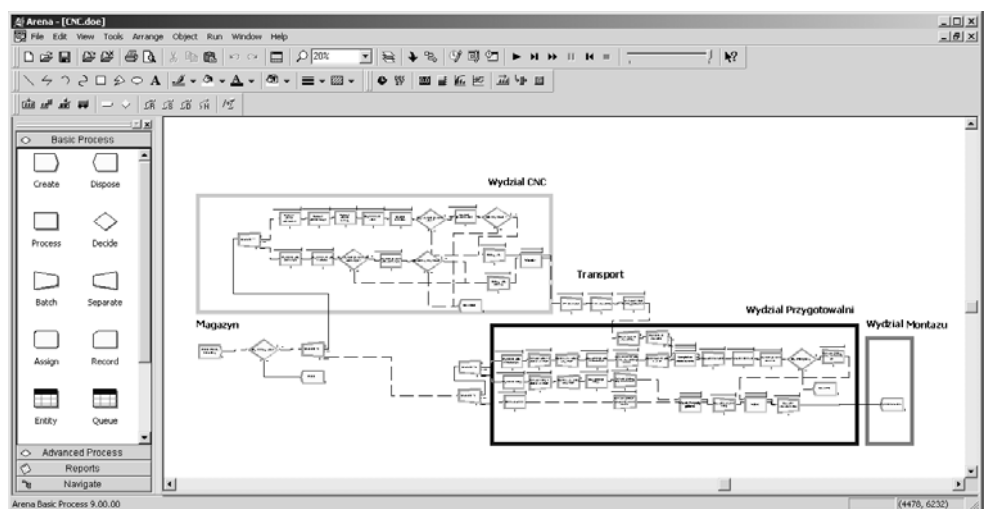
Rys. 4. Przykładowy diagram Spaghetti: Wydział CNC – stan obecny.

Na podstawie opracowanych danych (tabela 1) o procesie wytwarzania realizowanym na wydziałach CNC oraz na wydziale przygotowalni zostały przeprowadzone obliczenia produkcyjne oraz zbudowano model symulacyjny stanu obecnego. Do tworzenia modelu oraz przeprowadzania symulacji wykorzystany został pakiet do modelowania i symulacji systemów produkcyjnych Arena (rys. 5).

Jako czas symulacji przyjęto okres jednego miesiąca. Praca odbywała się w trybie dwuzmianowym, pięć dni w tygodniu. Takt pracy wyznaczył wąskie gardło procesu. Zasobem krytycznym okazał się operator CNC 2. Następnie obliczono zdolność linii produkcyjnej jako iloraz dostępnego czasu i taktu pracy oraz wyznaczone zostały obciążenia poszczególnych stanowisk produkcyjnych.

Tab. 1. Dane produkcyjne.

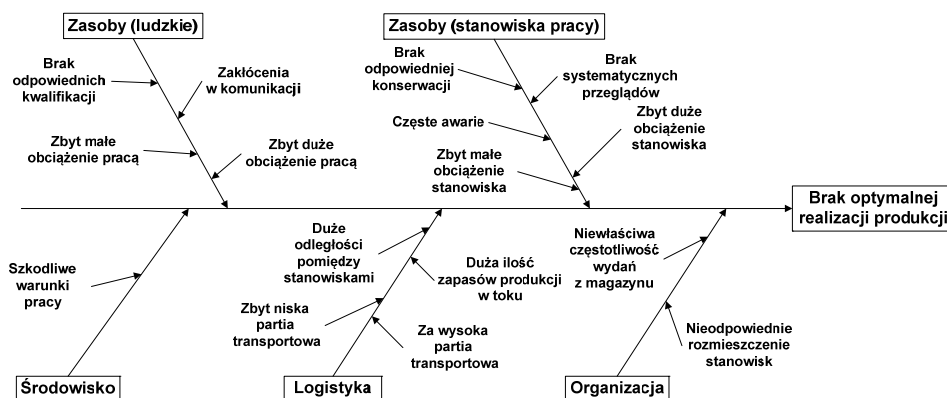
Zasób	Dostępne [min]	Zajęte/szt [min/szt]	Takt lini [min]	Liczba wyprodukowanych sztuk w analizowanym przedziale czasu [szt]	Zajęte / miesiąc [min]	Obciążenia zasobów [%]
CNC 2	76800	6,66	9,2619	2060	13727,50	71%
Frezarka ABS	76800	2,71			5587,75	29%
CNC SR 2	76800	1,10			2274,58	12%
CNC SR1	76800	1,25			2578,09	13%
CNC SR3	76800	0,50			1030,00	5%
CNC stan pom	76800	1,48			3058,69	16%
Ploter	76800	4,94			10169,19	53%
Przyg SR1	76800	4,17			8598,03	45%
Przyg SR2	76800	3,29			6775,34	35%
Giętarka	76800	1,66			3414,45	18%
Przyg stan pom	76800	0,42			869,32	5%
Operator CNC2	76800	9,26			19079,51	99%
Operator Frezarki ABS	76800	4,45			9177,09	48%
Operator Plotera	76800	9,11			18767,22	98%
Operator Giętarki	76800	1,66			3414,45	18%
Przygotownia monter	76800	3,71			7644,66	40%



Rys. 5. Model symulacyjny – stan wyjściowy

Raport z symulacji modelu stanu obecnego zbudowanego stanowi źródło informacji o procesie wytwarzania. Na jego podstawie zaproponowane zostały usprawnienia. Zespół analizując stan obecny procesu wytwarzania stworzył diagram Ishikawy. Zgodnie z nim przyczyny problemów w realizacji procesu wytwarzania podzielone zostały na pięć głównych grup. Opracowany diagram przedstawia rysunek 6.

Na podstawie raportu z symulacji dla stanu obecnego zespół projektowy zaproponował sześć usprawnień (tabela 2), które przetestowano w różnych eksperymentach symulacyjnych. Przykładowo usprawnienie numer 1 sprawdzono w eksperymentach nr 1, 2, 3, 5 i 6 (oznaczenie symbolem „X” w poniższej tabeli).



Rys. 6. Przyczyny problemów w realizacji procesu - diagram Ishikawy

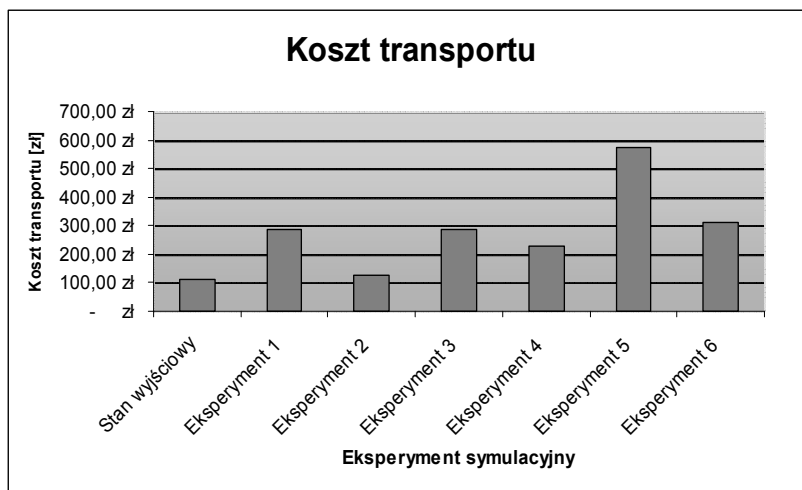
Tab. 2: Planowanie eksperymentu – usprawnienia.

Symulacja	Usprawnienia					
	1	2	3	4	5	6
Eksperyment 1	X	X	X			
Eksperyment 2	X	X		X		
Eksperyment 3	X		X		X	
Eksperyment 4		X		X		X
Eksperyment 5	X		X			X
Eksperyment 6	X		X	X		

Tab. 3. Koszty własne na wydziale CNC.

Koszty [zł/miesiąc]	Liczba wyprodukowanych sztuk	CNC 1	Frezarka ABS	SR CNC1	SR CNC2	CNC-SR3	SP CNC
Stan wyjściowy	1 860	51 907 zł	33 679 zł	11 189 zł	6 306 zł	5 737 zł	10 941 zł
Eksperyment 1	4 700	93 586 zł	49 160 zł	23 590 zł	11 251 zł	6 745 zł	22 646 zł
Eksperyment 2	2 040	61 223 zł	34 661 zł	11 975 zł	6 620 zł	2 927 zł	11 682 zł
Eksperyment 3	4 700	93 586 zł	49 160 zł	23 590 zł	11 251 zł	9 813 zł	22 646 zł
Eksperyment 4	1 870	52 021 zł	33 734 zł	11 233 zł	6 324 zł	2 683 zł	10 982 zł
Eksperyment 5	4 740	94 073 zł	49 378 zł	23 764 zł	11 321 zł	9 870 zł	22 811 zł
Eksperyment 6	5 080	98 209 zł	51 231 zł	25 249 zł	11 912 zł	10 358 zł	24 212 zł

Następnie przeprowadzono szereg symulacji. Z każdego eksperymentu wygenerowany został raport. Koszty związane z proponowanymi zmianami obliczone zostały według algorytmu szacowania kosztów własnych skupiając się na kosztach stanowiskowych maszyn, kosztach robocizny bezpośredniej zatrudnionych pracowników oraz kosztach transportu międzyoperacyjnego (przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3 oraz na rys. 7).

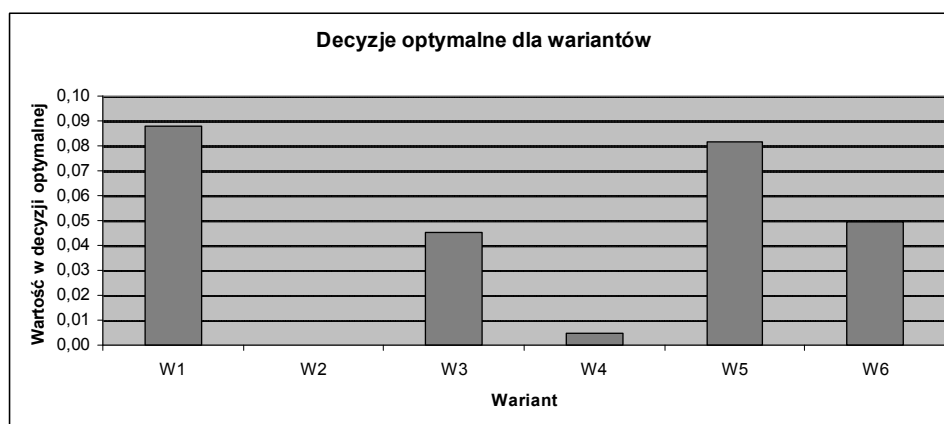


Rys. 7. Koszty transportu dla poszczególnych wariantów

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych i stworzonych na ich podstawie raportów otrzymano zbiór rezultatów. Dane te posłużyły do wyboru najlepszego rozwiązania z punktu widzenia przyjętych czterech kryteriów oceny:

- wydajności,
- kosztów transportu,
- średniego obciążenia zasobów,
- prognozowanego zysku.

Oceny wielokryterialnej poszczególnych wariantów w świetle przyjętych kryteriów dokonano według metody Yagera [4]. Opracowano tabelę ocen punktowych poszczególnych wariantów według każdego z przyjętych kryteriów na podstawie raportów z eksperymentów symulacyjnych oraz przeprowadzonych na ich podstawie kalkulacji.



Rys. 8. Porównanie wartości decyzji optymalnych dla sprawdzanych wariantów

W wyniku przeprowadzonych działań najlepszym wariantem przebiegu procesu produkcyjnego okazał się wariant 1. Na rysunku 8 przedstawiono wartości decyzji optymalnych dla poszczególnych eksperymentów.

5. Podsumowanie

Narzędzia symulacyjne połączone z różnymi metodami doskonalenia organizacji procesów wytwarzania stanowią skuteczne narzędzie do wizualizacji i analizy przepływów materiałowych w przedsiębiorstwie. Umożliwiają przetestowanie różnych propozycji rozwiązań na modelu komputerowym bez konieczności eksperymentowania w systemie rzeczywistym.

W opisanym przykładzie metoda oceny wielokryterialnej według Yagera umożliwiła wybór najlepszego rozwiązania bazując na ocenie wielu ekspertów i dla wielu kryteriów oceny, co pomocne jest przy wyborze racjonalnego udoskonalenia funkcjonowania systemu produkcyjnego.

Literatura

1. Brzeziński M.: Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie. Difin, 2013.
2. Košturiak J., Gregor M., Mičieta B., Matuszek J.: Projektovanie výrobných systémov pre 21 storočie. University of Zilina, Žyliná 2000.
3. Kelton W.D., Sadowski R.P., Sturrock D.T.: Simulation with ARENA. McGraw-Hill Inc., Nowy Jork 2007.
4. Kukła S.: Multi-criterion assessment of different variants of casts manufacturing processes. Archives of Foundry Engineering, vol. 14, Issue 3, 47-50, 2014.
5. Lewandowski J., Skołod B., Plinta D.: Organizacja systemów produkcyjnych. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
6. Maciąg A., Pietroń R., Kukła S.: Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
7. Moczala A.: Wielokryterialna optymalizacja projektowania procesów produkcyjnych. Politechnika Łódzka Filia w Bielsku-Białej, Bielsko Biała 1996
8. Orłowski C., Lipski J., Loska A.: Informatyka i komputerowe wspomaganie prac inżynierskich. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
9. Plinta D.: Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej, Bielsko-Biała 2015.
10. Tomanek A.: Doskonalenie organizacji przepływów materiałowych na przykładzie produkcji sprzętu sportowego. Praca dyplomowa magisterska, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, 2015.

Dr hab. inż. Dariusz PLINTA, prof. ATH

Dr inż. Sławomir KUKŁA

mgr inż. Anna Tomanek

Katedra Inżynierii Produkcji

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2

tel.: +48 33 8279 234

e-mail: dplinta@ath.bielsko.pl

skukla@ath.bielsko.pl