

e-mentor

DWUMIESIĘCZNIK SZKOŁY GŁÓWNEJ HANDLOWEJ W WARSZAWIE
WSPÓŁWYDAWCA: FUNDACJA PROMOCJI I AKREDYTACJ KIERUNKÓW EKONOMICZNYCH

2018, nr 3 (75)



Adam Koliński, Bogusław Śliwczyński, Paulina Golińska-Dawson, *Wykorzystanie symulacji jako narzędzia wspomagającego proces oceny efektywności produkcji w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, „e-mentor” 2018, nr 3(75), s. 80–90, <http://dx.doi.org/10.15219/em75.1366>.

Wykorzystanie symulacji jako narzędzia wspomagającego proces oceny efektywności produkcji w przedsiębiorstwach produkcyjnych



Adam
Koliński*



Bogusław
Śliwczyński**



Paulina
Golińska-
Dawson***

Przeptyw informacji, na podstawie których kadra zarządca może podejmować trafne decyzje, wymaga wsparcia narzędziami gospodarki elektronicznej i systemów informatycznych wspomagających zarządzanie. Symulacje procesów są narzędziem gospodarki elektronicznej coraz częściej wykorzystywanym w praktyce gospodarczej. W niniejszym artykule skoncentrowano się na zaprezentowaniu z informatyzowania oraz omówieniu procesu weryfikacji opracowanego modelu oceny efektywności procesu produkcji za pomocą narzędzia stosowanego do symulacji.

Wprowadzenie

Tworzenie modeli procesów i systemów operacyjnych oraz symulacja ich zachowania w warunkach quasi-rzeczywistych umożliwiają analizę wyników ekonomicznych (np. kosztów, rentowności, płynności finansowej i zapotrzebowania na kapitał obrotowy) oraz operacyjnych (np. produktywności, sprawności, niezawodności, poziomu wykorzystania zasobów), zanim zostaną podjęte decyzje organizacyjne, lokalizacyjne, inwestycyjne i zobowiązania finansowe (Koliński i Śliwczyński, 2015a, s. 119–144). Są działaniem wyprzedzającym przebudowę procesów czy struktur organizacyjnych przedsiębiorstwa. Potrzeba modelowania i symulacji jest efektem dążenia do poprawy wyników przedsiębiorstwa i maksymalizacji jego wartości. Często wynika z doświadczeń menedżerów w podejmowaniu nietrafionych decyzji bez ich uprzedniej, dogłębnej analizy. Modelowanie i symulacja systemów i procesów operacyjnych (w tym produkcyjnych) w łańcuchu dostaw wynika z potrzeby sprawdzenia scenariuszy działań i wariantów rozwiązań organizacyjnych (np. organizacji pracy i alokacji stanowisk produkcyjnych, scenariuszy marszrut produkcyjnych, przepływu materiałów, transportu wewnętrznego, procesów koprodukcji itd.) oraz metod i parametrów zarządzania operacyjnego na etapie planowania decyzyjnego.

Zarówno w literaturze przedmiotu, jak również w praktyce gospodarczej można spotkać liczne sposoby odzwierciedlania procesów zachodzących w przedsiębiorstwach w celach analitycznych. Metody symulacyjne uwzględniają wpływ czasu oraz zmienność parametrów sterujących, z tego względu wydają się właściwe do prezentacji dynamiki procesów (Pawlewski, 2010, s. 59). Umożliwiają analizę wpływu wielkości i intensywności przepływu materiałów (części, komponentów) na rozkład obciążenia w systemach produkcyjnych, analizę ograniczeń (w tym wąskich gardeł), poziomy krytyczne przepływu dla kolejek i przestojów produkcyjnych, a także wpływ na charakterystykę pracy urządzeń (diagnostyka). Analizując problematykę symulacji w procesach przedsiębiorstwa, ze szczególnym uwzględnieniem procesu produkcji, należy dokonać zestawienia kilku czynników wpływających na skuteczne przeprowadzenie symulacji. Rysunek 1. przedstawia klasyczny układ procesu wielokrotnej symulacji.

Przeprowadzenie symulacji umożliwia analizę procesu w różnych wariantach, które są weryfikowane w sposób wirtualny, a więc niewpływający na działalność procesu w czasie rzeczywistym. Jednak opierając się na dobrze opracowanych parametrach sterujących, zgodnych ze stanem faktycznym, można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że analizowany wariant procesowy ma szansę być zrealizowany w rzeczywistości gospodarczej. Każda symulacja wymaga określenia podstawowych zasad (Dullinger, 2009, s. 3):

- w przypadku złożonych procesów poddawanych symulacji konieczne jest odpowiednie dobranie narzędzia stosowanego do symulacji oraz szczegółowe modelowanie parametrów analizowanego procesu i systemu, w którym funkcjonuje, zdefiniowanie danych wejściowych oraz określenie celu;
- w przypadku elastycznych procesów poddawanych symulacji konieczna jest częsta zmiana wartości parametrów sterujących;

* Instytut Logistyki i Magazynowania

** Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu

*** Politechnika Poznańska

Wykorzystanie symulacji jako narzędzia wspomagającego...

- opieranie analizy o średnie wartości parametrów niesie za sobą ryzyko błędnych interpretacji;
- symulacja musi być przeprowadzona w odpowiednim czasie, aby osiągnąć jak największe korzyści.

Procedura projektowania modelu symulacyjnego obejmuje następujące etapy (Rodawski, 2006, s. 6):

- identyfikacja obiektu poddawanego symulacji, za pomocą jednego z dwóch podejść: odgórnego (*top-down*), w którym główny proces podlega uszczegółowieniu na podprocesy i działania; oddolnego (*bottom-up*), które rozpoczyna się od zdefiniowania wszystkich działań, by w następnym etapie pogrupować je w podprocesy i procesy główne;
- opracowanie diagramów procesu poddawanego symulacji za pomocą narzędzi informatycznych (liczba poziomów hierarchii zależy od szczególności analizowanego procesu);
- gromadzenie danych wejściowych oraz parametrów, a następnie wprowadzenie ich do modelu symulacyjnego;
- weryfikacja modelu, sprowadzająca się do porównania zachowania modelu symulacyjnego z rzeczywistym zachowaniem się danego systemu.

Symulacja jest jedną z metod ilościowej analizy problemów decyzyjnych, której główną zaletą jest możliwość oceny rozwiązań bez konieczności ich wdrażania w rzeczywistości rynkowej (Sarjusz-Wolski, 1998, s. 131). Informatyczne wspomaganie analiz i oceny efektywności procesów logistycznych w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest uzależnione od rzetelności danych wejściowych, pochodzących z systemów informatycznych (Koliński i Kolińska, 2012, s. 85). Specyfika procesu produkcji powoduje, że symulacja komputerowa znajduje szerokie zastosowanie. Zgodnie z analizą przeprowadzoną przez Pawła Pawlewskiego (2010, s. 59–63), należy stwierdzić, że wybór środowiska informatycznego używanego podczas symulacji procesów zależy od złożoności analizowanego problemu. Bardzo częstym rozwiązaniem jest zastosowanie do symulacji arkuszy kalkulacyjnych, które mogą być jednak stosowane tylko w przypadku prostych, niewymagających graficznego zobrazowania realizacji procesu symulacji. Specjalistyczne programy symulacyjne umożliwiają wykonanie symulacji w szerokim zakresie analitycznym, i często wymagają programowania dedykowanych makrodefinicji. Złożoność procesu produkcji powoduje, że budowa modeli symulacyjnych jest czasochłonna i podatna na błędy. W literaturze przedmiotu można jednak znaleźć liczne analizy empiryczne z wykorzystaniem symulacji, które dotyczą zarówno całego procesu (Kłosowski, 2011, s. 29–37), jak również jedynie jego wybranej, bardzo często skomplikowanej części (Denkena, Henjes i Henning, 2011, s. 9–14). Można również znaleźć liczne odniesienia literaturowe do analiz symulacyjnych procesów o różnej specyfice i w różnym aspekcie, które dotyczą:

- analizy finansowej opłacalności przebiegu procesu produkcji oraz przewidywania potencjalnie uzyskanych efektów (Meade, Kumar i Houshyar, 2006, s. 137–152);
- analizy optymalizacyjnej, mającej na celu redukcję zużycia zasobów (Zhang i Li, 2004, s. 409–420);
- analizy wyników operacyjnych realizacji procesu produkcji oraz mapowania strumienia wartości (Abdulmalek i Rajgopal, 2007, s. 223–236).

W niniejszym artykule skupiono się jedynie na prezentacji budowy modelu komputerowego oraz jego weryfikacji za pomocą symulacji. Są to wyłącznie elementy całościowego procesu konstrukcji i implementacji modelu symulacyjnego. Ze względu na specyfikę procesu produkcji oraz złożoność oceny efektywności procesu produkcji zrezygnowano z publikacji całościowego ujęcia modelu. Fazy budowy modelu symulacyjnego oraz jego założenia koncepcyjne, dobór wskaźników oraz ich priorytetowość zostały opisane w innej publikacji autorów (Koliński, Śliwczyński, Golińska-Dawson, 2017, s. 70–81), którą można traktować jako część wstępną objaśniającą podstawowe założenia budowy modelu, którego proces weryfikacyjny przedstawiono w niniejszym artykule.

Metodologia przeprowadzenia weryfikacji symulacyjnej

Wykorzystywane instrumentarium analityczne podczas przeprowadzania oceny efektywności procesu produkcji wymaga szczegółowych badań literaturowych oraz badań wykonywanych w praktyce gospodarczej. Wyniki badań literaturowych, a także badań w polskich przedsiębiorstwach zrealizowanych w latach 2011–2012 (Kolińska i Koliński, 2013, s. 2–6), świadczą o niezadowalającym stopniu wykorzystania analiz efektywności procesu produkcji. Uzyskane wyniki wymusiły konieczność usystematyzowania wiedzy dotyczącej określenia zakresu oceny efektywności procesów produkcji. Badania przedsiębiorstw produkcyjnych przeprowadzone w latach 2012–2013 (Koliński, Śliwczyński, Berlin Heidelberg 2015b, s. 205–219) świadczą zarówno o konieczności informatycznego wsparcia prowadzonych analiz efektywnościowych, jak również o trudnościach z ich skutecznym wykorzystaniem. Głównym wnioskiem przeprowadzonych badań był brak kompleksowej metody oceny efektywności procesu produkcji, którą ze względu na złożony proces analizy i duże zbiory danych (analityka *big data*) należy wspomagać narzędziami informatycznymi. Zdecydowano się na zastosowanie standardu BPMN oraz narzędzia używanego do symulacji i grafax, które umożliwiło wieloczynnikową analizę poprawności opracowanego modelu. W latach 2013–2014 dokonano opracowania kompleksowej metody oceny efektywności procesu produkcji oraz jego weryfikacji. W późniejszych latach (2014–2016) rozwinięto koncepcję oceny efektywności na procesy logistyczne, co umożliwiło również weryfikację

innych procesów logistycznych w łańcuchu dostaw, także w ujęciu wpływu działań operacyjnych na wynik finansowy przedsiębiorstwa¹.

Metodologia przeprowadzenia weryfikacji symulacyjnej opiera się na podstawowym założeniu wielokrotnej symulacji, przedstawionej na rysunku 1.

Opracowany model symulacyjny procesu produkcji (Koliński, Śliwczyński, Golińska-Dawson, 2017, s. 70–81) został poddany weryfikacji, która sprowadza się do sprawdzenia adekwatności modelu z praktyką gospodarczą, a także do zlokalizowania i usunięcia wszelkich błędów logicznych (Nowak, 2007, s. 30). Zastosowanie metody studium przypadku pozwala na odkrycie stanu badanego zjawiska, który wyniki badań ilościowych może jedynie sugerować. Studium przypadku w porównaniu z innymi metodami badawczymi oferuje szerszy zakres technik i narzędzi pozyskiwania oraz analizy danych. Źródłem danych mogą być obserwacje, wywiady, wyniki pomiarów, dane i dokumenty z przedsiębiorstw, artykuły prasowe, ankiety. Liczne możliwości uzyskania danych powodują, że metoda studium przypadków nie jest metodologicznie ograniczona w aspekcie analizy danych (Wójcik, 2013, s. 18). Studium przypadku należy traktować jako pojedynczy i ograniczony proces badawczy, który ma na celu szczegółową analizę wykorzystującą wiele technik badawczych przez długi czas (Maylor i Blackmon, 2005, s. 243).

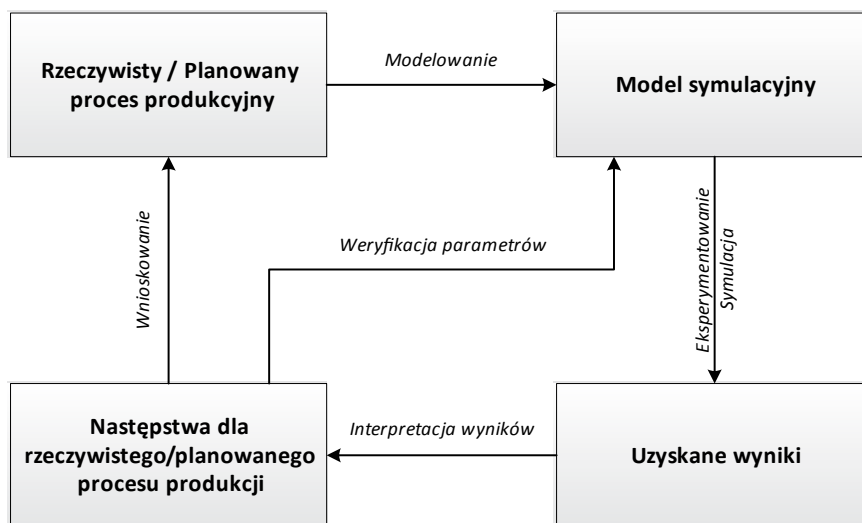
Opierając się na przeprowadzonej analizie literatury należy stwierdzić, że weryfikacja opracowanego modelu powinna być przeprowadzona symulacyjnie z uwzględnieniem różnych wariantów produkcyjnych, wymagających rozpatrzenia dla różnych zmiennych parametrów sterujących procesem oraz rodzajów

przepływów materiałów i wyrobów obciążających model procesu produkcji. Do najczęściej wykorzystywanych typów organizacji produkcji należą (Fertsch, 2016, s. 156–158):

- produkcja seryjna – organizacja produkcji, przy której wyroby wytwarzane są w seriach o zwykle stałej wielkości;
- produkcja jednostkowa – wytwarzanie niewielkich ilości wyrobów przy szerokim asortymencie, na indywidualne zamówienia klienta;
- produkcja ciągła – organizacja produkcji, w której proces technologiczny jest realizowany nieprzerwanie (przez całą dobę i siedem dni w tygodniu);
- produkcja nieciągła – organizacja produkcji, w której kolejne wyroby są wytwarzane z przerwami niewynikającymi z normalnego rytmu pracy;
- produkcja cykliczna – organizacja produkcji, w której wyroby są wytwarzane w określonym porządku, z zachowaniem stałego okresu między kolejnymi uruchomieniami lub zakończeniami serii tych samych wyrobów.

Typy organizacji produkcji, występujące w praktyce oraz opisywane w literaturze przedmiotu (Śliwczyński, Koliński i Andrzejczyk, 2014, s. 91–102), przedstawiają bardzo szeroki zakres podziałowy. Zdaniem autorów wariant analizujący produkcję seryjną umożliwi jednak kompleksową prezentację procesu weryfikacyjnego opracowanego modelu oceny efektywności procesu produkcji za pomocą metody szczegółowego studium przypadku, ze względu na wielowymiarowość i licznosc zmiennych parametrów poddanych symulacji.

Rysunek 1. Klasyczny układ procesu wielokrotnej symulacji



Źródło: opracowanie własne na podstawie Dullinger, K.H. (2009). Simulation in der Logistik – neue Anwendungsfelder, *LogForum*, Vol. 5, Issue 3, s. 2.

¹ Model referencyjny wielowymiarowego transponowania wyniku finansowego przedsiębiorstwa na zarządzanie operacyjne w łańcuchu dostaw (Score-Driven Management). Projekt statutowy Wyższej Szkoły Logistyki, Poznań 2016–2017.

Symulacja oceny ekonomicznej efektywności procesu produkcji

Model oceny efektywności powinien zawierać analizę procesu zarówno pod względem ekonomicznym (finansowo-kosztowym), jak również pod względem operacyjnym (realizacji procesu produkcji). Cele i mierniki analizy efektywności procesu produkcji powinny wynikać z wizji i strategii przedsiębiorstwa. Analizę efektywności procesu produkcji należy uznać za kompletną wtedy, gdy odnosi się nie tylko do tych mierników, które dotyczą wyników przeszłych, ale również do mierników pozwalających antycypować wpływ na wyniki w przyszłości.

Dokonując kompleksowej analizy symulacyjnej modelu oceny efektywności ekonomicznej procesu produkcji, należy pamiętać o dwóch podstawowych etapach weryfikacji symulacyjnej:

- pozyskanie danych z przedsiębiorstwa w celu sprawdzenia poprawności opracowania modelu z wynikami rzeczywistymi, uzyskanymi przez analizowane przedsiębiorstwo;
- przeprowadzenie analizy prognostycznej, umożliwiającej identyfikację zależności pomiędzy poszczególnymi elementami modelu.

Zważając na wybór rodzaju produkcji opracowano zakres normatywny wskaźników, który uwzględni również podział wskaźników na dwie zasadnicze kategorie:

- wskaźniki „pozytywne”, dla których wzrost uzyskanej wartości wynikowej powoduje wzrost efektywności procesu produkcji, a spadek wartości wynikowej, spadek efektywności procesu produkcji – na przykład wskaźnik zyskowności procesu produkcji;
- wskaźniki „negatywne”, dla których wzrost uzyskanej wartości wynikowej powoduje spadek efektywności procesu produkcji, natomiast spadek wartości wynikowej może spowodować wzrost efektywności procesu produkcji – na przykład wskaźnik kosztów produkcji.

Ze względu na specyfikę kompleksowej analizy efektywności procesu produkcji, zakres normatywny należy wyróżnić również na:

- wskaźniki finansowe i ekonomiczne, które odnoszą się do opłacalności realizacji procesu produkcyjnego – na przykład wskaźnik produktywności pracowników;

- wskaźniki operacyjne i technologiczne, które odnoszą się do sposobu realizacji procesu produkcyjnego – na przykład wskaźnik wykorzystania zdolności produkcyjnej.

Zestawienie przedstawione w tabeli 1. jest podstawą do określenia normatywnych wartości minimalnych i maksymalnych wykorzystywanych w środowisku informatycznym iGrafx Process 2011 for Six Sigma.

Dokonując uszczegółowienia procesu weryfikacyjnego należy przypomnieć, że model oceny efektywności ekonomicznej procesu produkcji jest zgodny z perspektywami Strategicznej Karty Wyników (Koliński, Śliwczyński i Golińska-Dawson, 2016, s. 129–145) i obejmuje:

- analizy efektywności w perspektywie finansowej (EFF11);
- analizy efektywności w perspektywie klienta (EFF12);
- analizy efektywności w perspektywie procesu wewnętrznego (EFF13);
- analizy efektywności w perspektywie rozwoju (EFF14).

Przedstawiona logika przeprowadzenia symulacji modelu controllingu operacyjnego jest identyczna dla wszystkich podprocesów modelu. Z tego względu szczegółowy opis przebiegu symulacji wykonano dla podprocesu analizy efektywności w perspektywie finansowej (EFF11).

Dane niezbędne do weryfikacji symulacyjnej pozyskano z przedsiębiorstwa produkcyjnego z branży AGD². Uzyskane z przedsiębiorstwa produkcyjnego informacje wejściowe, niezbędne do realizacji procesu weryfikacyjnego, zostały uzupełnione o zidentyfikowanie zakresów normatywnych dla poszczególnych typów organizacji produkcji (tabela 1). Identyfikacja zakresów normatywnych została opracowana na podstawie konsultacji eksperckich z kadrą kierowniczą przedsiębiorstw, które udostępniły dane do weryfikacji empirycznej i symulacyjnej modelu oceny efektywności. Wartości normatywne przedstawiają zakres procentowy, w jakim powinny mieścić się uzyskane wyniki wskaźników, z odróżnieniem wskaźników o charakterze pozytywnym i negatywnym.

Uzyskane dane z przedsiębiorstwa produkcyjnego uwzględniające wyróżnienie typu organizacji produkcji seryjnej przedstawia tabela 2.

Tabela 1. Zakres normatywny wskaźników dla poszczególnych rodzajów produkcji

Rodzaj wskaźnika	Zakres normatywny (produkcja seryjna)	
Wskaźniki „pozytywne”	Wskaźniki finansowe i ekonomiczne	90–99%
	Wskaźniki operacyjne i technologiczne	90–99%
Wskaźniki „negatywne”	Wskaźniki finansowe i ekonomiczne	0–10%
	Wskaźniki operacyjne i technologiczne	0–10%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

² Nie uzyskano zgody na ujawnienie nazwy przedsiębiorstwa.

Tabela 2. Dane z przedsiębiorstwa produkcyjnego niezbędne do przeprowadzenia weryfikacji symulacyjnej

Symbolika iGrafx	Opis	Produkcja seryjna
EFF11_Www	wartość wyrobów wadliwych [zł]	258 500
EFF11_Wwo	wartość wyrobów ogółem [zł]	275 000 000
EFF11_ZN	zysk netto [zł]	18 012 500
EFF11_WZ	wielkość zatrudnienia [osoby]	502
EFF11_Kzm	koszty zużycia materiałów [zł]	192 500 000
EFF11_Zm	przeciętny stan zapasów materiałowych [zł]	15 000 000
EFF11_SN	sprzedaż netto [zł]	360 250 000
EFF11_Kwp	koszty wynagrodzeń [zł]	16 877 637
EFF12_Izz	liczba zrealizowanych zamówień [zamówienia]	5550
EFF12_Oiz	ogólna liczba zamówień [zamówienia]	5661
EFF12_GK	wielkość docelowej grupy klientów [liczba klientów]	130
EFF12_WR	całkowita wielkość rynku [liczba klientów]	360
EFF12_Tz	łącznie czas realizacji zamówień [godz.]	5596
EFF12_Lz	liczba zamówień [zamówienia]	5661
EFF12_Lwd	liczba wadliwych dostaw [dostawa]	12
EFF12_Ld	łącznie liczba dostaw [dostawa]	3900
EFF13_Tpp	czas przestoju w procesie produkcji [godz.]	321,6
EFF13_Top	czas pracy ogółem [godz.]	6432
EFF13_WZP	wykorzystana zdolność produkcyjna [szt./zmianę]	622
EFF13_ZP	całkowita zdolność produkcyjna [szt./zmianę]	634
EFF13_Wsd	wartość surowców zakwalifikowanych jako defekty procesu produkcji [zł] lub [szt.]	750 000,00
EFF13_Wso	wartość surowców ogółem [zł] lub [szt.]	192 500 000
EFF13_Tb	czas bezprodukcyjny wykorzystujący energię elektryczną [godz./zmianę]	1,36
EFF13_Tm	całkowity czas pracy maszyny [godz./zmianę]	6,64
EFF13_Tzp	łącznie czas realizacji zleceń produkcyjnych [godz.]	5596
EFF13_Lzp	liczba zleceń produkcyjnych [zlec. prod.]	5550
EFF14_Ikw	liczba komponentów możliwych do wymiany [komp.]	213
EFF14_Iko	łącznie liczba komponentów w wyrobie [komp.]	330
EFF14_Lzsz	liczba zrealizowanych zleceń specjalnych [zlec. sp.]	1
EFF14_Lzs	łącznie liczba zleceń specjalnych [zlec. sp.]	1
EFF14_Lzpnw	liczba zrealizowanych projektów nowych produktów [proj.]	0
EFF14_Lpnw	łącznie liczba projektów nowych produktów [proj.]	1
EFF14_Lwds	liczba wadliwych dostaw surowców [dostawa]	10
EFF14_Lds	łącznie liczba dostaw surowców [dostawa]	5550

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

Wykorzystując dane przedstawione w tabeli 2. oraz formuły obliczeniowe wskaźników zawartych w opracowanej przez autorów koncepcji (Koliński, Śliwczyński i Golińska-Dawson, 2016, s. 141–142), należy wyznaczyć wartości poszczególnych wskaźników. Waga poszczególnych wskaźników została opracowana zgodnie z logiką zaprezentowaną w poprzednim artykule tego cyklu publikacyjnego (Koliński, Śliwczyński

ski i Golińska-Dawson, 2017, s. 70–81). Dokonując zestawienia obliczonych wartości wskaźników z ich zakresem normatywnym, można przeprowadzić analizę wskaźnikową (tabela 3).

Dokonując analizy wskaźnika udziału wadliwej produkcji (EFF11_W1), należy stwierdzić, że wartość obliczeniowa mieści się w zakresie normatywnym. Przyznanie wag poszczególnym wskaźnikom odbywa

Wykorzystanie symulacji jako narzędzia wspomagającego...

Tabela 3. Zestawienie wartości wskaźników w procesie EFF11

Wskaźnik	Wartość wskaźnika	Zakres normatywny wskaźnika		Analiza wskaźnika	Waga wskaźnika
		min	max		
EFF11_W1	0,00094	0	0,1	pozytywna	2,86
EFF11_W2	1,067240633	1	1,95	pozytywna	2,38
EFF11_W3	0,05	0,1	0,7	negatywna	1,9
EFF11_W4	717629,4821	500000	1000000	pozytywna	1,43
EFF11_W5	12,83333333	10	15	pozytywna	0,95
EFF11_W6	21,34481267	10	100	pozytywna	0,48

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

się zgodnie z analizą korzyści ekonomicznych (Koliński, Śliwczyński i Golińska-Dawson, 2016, s. 129–145).

Po pozytywnym przejściu przez weryfikację, proces symulacyjny przydzieli atrybutowi transakcji EFF11_W1status wartość dodatnią +2,86 (rysunek 2), co umożliwi późniejsze porównanie statusu całego podprocesu.

Dokonując analizy wskaźnika rentowności pracy (EFF_W2), należy stwierdzić, że wartość obliczeniowa ponownie mieści się w zakresie normatywnym. Przebieg procesu symulacyjnego odbywa się w sposób analogiczny do wskaźnika EFF_W1. Pozytywna weryfikacja wskaźnika pozwoli na przypisanie atrybutowi transakcji EFF11_W2status wartości dodatniej +2,38.

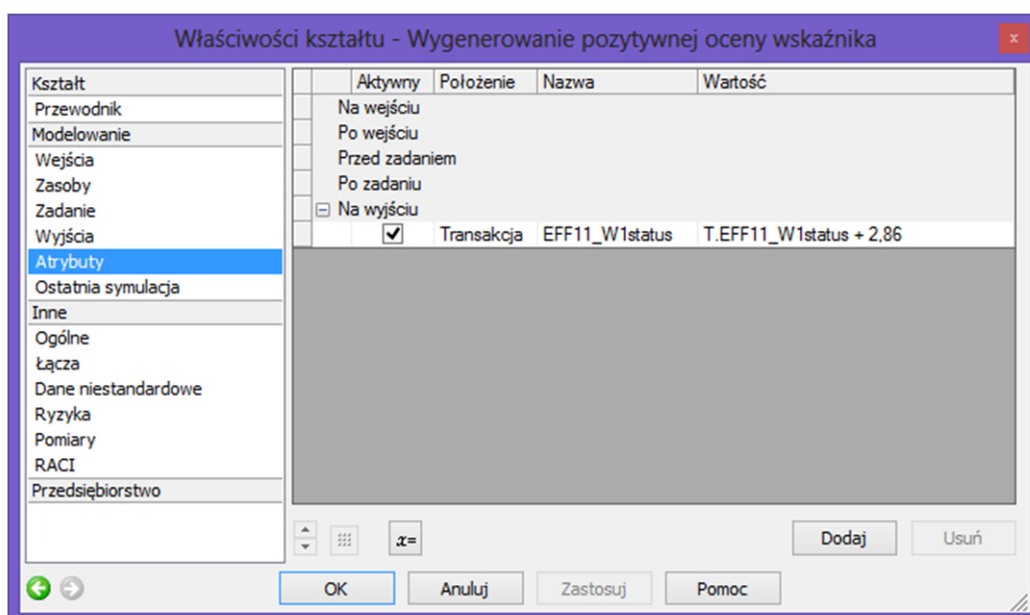
Analizując wskaźnik rentowności sprzedaży (EFF_W3) należy stwierdzić, że wartość obliczeniowa nie mieści się w zakresie normatywnym (jest mniejsza od minimalnej wartości normatywnej).

W analizowanym przypadku nastąpiła negatywna weryfikacja, co spowoduje, że proces symulacyjny przydzieli atrybutowi transakcji EFF11_W3status wartość ujemną -1,9 (rysunek 3).

Dokonując analizy wskaźnika wydajności pracy (EFF_W4), należy stwierdzić, że wartość obliczeniowa mieści się w zakresie normatywnym. Po pozytywnym przejściu przez proces weryfikacji, proces symulacyjny przydzieli atrybutowi transakcji EFF11_W4status wartość dodatnią +1,43, co umożliwi późniejsze porównanie statusu całego podprocesu.

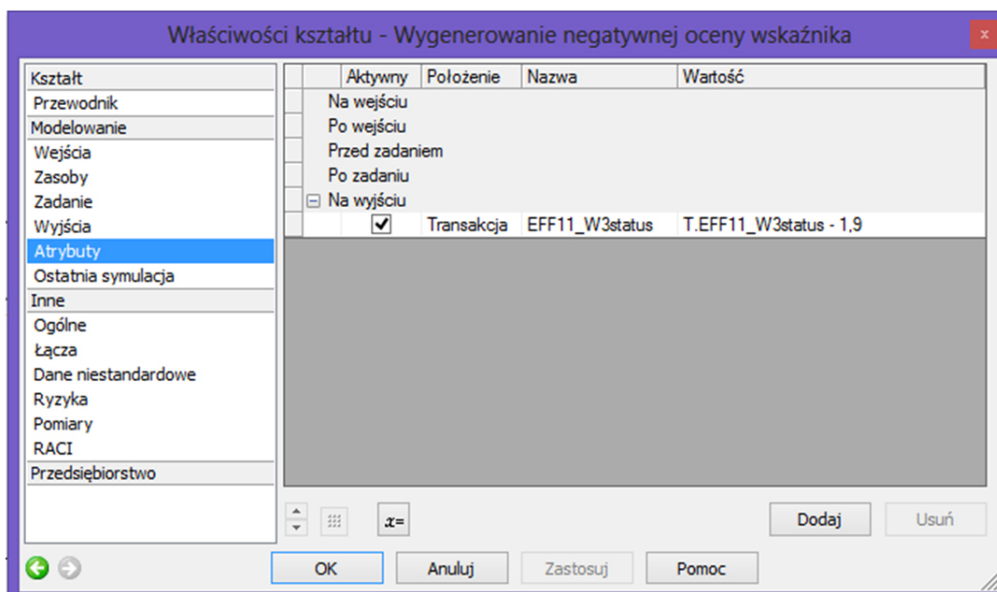
Analogiczny przypadek przedstawia analiza wskaźnika rotacji zapasów (EFF11_W5), która została oceniona pozytywnie, natomiast atrybutowi transakcji EFF11_W5status przydzielono wartość dodatnią +0,95. Analiza wskaźnika produktywności pracowników (EFF11_W6) również została zweryfikowana pozytywnie, co skutkowało przypisaniem atrybutowi transakcji EFF11_W6status wartości +0,48.

Rysunek 2. Wygenerowanie atrybutu pozytywnie ocenionego wskaźnika EFF_W1



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3. Wygenerowanie atrybutu negatywnie ocenionego wskaźnika EFF_W3 – Wariant 1



Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na przypisywanie wartości dodatnich lub ujemnych dla wyników ocenionych pozytywnie lub negatywnie, należy uznać, że analizowany podproces jest efektywny, gdy atrybut scenariuszowy StatusModeluEFF11 > 0, zgodnie z założeniem:

$$\begin{aligned} \text{StatusModeluEFF11} &= \text{EFF11_W1status} + \\ &+ \text{EFF11_W2status} + \text{EFF11_W3status} + \\ &+ \text{EFF11_W4status} + \text{EFF11_W5status} + \\ &+ \text{EFF11_W6status} \end{aligned}$$

Status modelu jest atrybutem przedstawiającym sumaryczną wartość ocenianego procesu w poszczególnych perspektywach (Koliński, Śliwczyński i Golińska-Dawson, 2017, s. 80). W analizowanym przypadku wartość atrybutu scenariuszowego StatusModeluEFF11 wynosi:

$$\begin{aligned} \text{StatusModeluEFF11} &= 2,86 + 2,38 - 1,90 + \\ &+ 1,43 + 0,95 + 0,48 = 6,2 \end{aligned}$$

Przy określonych danych wejściowych symulacja podprocesu analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie finansowej została zweryfikowana pozytywnie.

Dokonując symulacji podprocesu analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie klienta (EFF12), należy pamiętać o wykorzystaniu danych przedstawionych w tabeli 2. oraz formuł obliczeniowych opracowanych w ramach koncepcji modelu. Dokonując zestawienia wyników obliczeniowych wskaźników z ich zakresem normatywnym, można zrealizować analizę wskaźnikową (tabela 4).

Proces symulacyjny wskaźników ocenionych pozytywnie przebiega analogicznie do przypadku analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie finansowej. Dokonując analizy wskaźnika przeciętnego czasu realizacji zamówień (EFF12_W3), należy stwierdzić, że wartość obliczeniowa nie mieści się w zakresie normatywnym (jest większa od maksymalnej wartości normatywnej).

W analizowanym przypadku wartość atrybutu scenariuszowego StatusModeluEFF12 wynosi:

$$\text{StatusModeluEFF12} = 4 + 3 - 2 + 1 = 6$$

Przy określonych danych wejściowych symulacja podprocesu analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie klienta została zweryfikowana pozytywnie.

Tabela 4. Zestawienie wartości wskaźników z zakresem normatywnym w procesie EFF12

Wskaźnik	Wartość obliczeniowa wskaźnika	Zakres normatywny wskaźnika		Analiza wskaźnika	Waga wskaźnika
		min	max		
EFF12_W1	0,980392157	0,9	0,99	pozytywna	4
EFF12_W2	0,361111111	0,3	0,7	pozytywna	3
EFF12_W3	0,98851793	0,6	0,9	negatywna	2
EFF12_W4	0,003076923	0	0,1	pozytywna	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

Wykorzystanie symulacji jako narzędzia wspomagającego...

Weryfikacja symulacyjna podprocesu analizy efektywności w perspektywie procesu wewnętrznego (EFF13) przebiega analogicznie do powyższych. Korzystając z danych (tabela 2) oraz formuł obliczeniowych można dokonać analizy wskaźnikowej (tabela 5).

W analizowanym przypadku wartość atrybutu scenariuszowego StatusModeluEFF13 wynosi:

$$\text{StatusModeluEFF13} = 3,33 + 2,67 + 2 - 1,33 - 0,67 = 6$$

Przy określonych danych wejściowych symulacja podprocesu analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie procesu wewnętrznego została zweryfikowana pozytywnie.

W przypadku analizy symulacyjnej podprocesu oceny efektywności w perspektywie rozwoju (EFF14) można dokonać analizy wskaźnikowej przedstawionej w tabeli 6.

W analizowanym przypadku wartość atrybutu scenariuszowego StatusModeluEFF12 wynosi:

$$\text{StatusModeluEFF14} = 4 + 3 - 2 + 1 = 6$$

Przy określonych danych wejściowych symulacja podprocesu analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji w perspektywie rozwoju została zweryfikowana pozytywnie.

Ze względu na przypisywanie wartości dodatnich lub ujemnych dla ogólnych ocen poszczególnych podprocesów (StatusModeluEFF11, StatusModeluEFF12, StatusModeluEFF13, StatusModeluEFF14), należy

uznać, że cały analizowany proces jest efektywny, gdy atrybut scenariuszowy StatusModelu > 0, zgodnie z założeniem:

$$\text{StatusModelu} = \text{StatusModeluEFF11} + \text{StatusModeluEFF12} + \text{StatusModeluEFF13} + \text{StatusModeluEFF14}$$

W analizowanym przypadku wartość atrybutu scenariuszowego StatusModelu wynosi:

$$\text{StatusModelu} = 6,2 + 6 + 6 + 6 = 24,2$$

Ogólna analiza efektywności ekonomicznej procesu produkcji jest pozytywna i dopuszczalna. Na rysunku 4. przedstawiono raport wygenerowany po przeprowadzeniu całościowej analizy symulacyjnej w iGrafx Process 2011 for Six Sigma.

Przeprowadzona analiza symulacyjna oraz uzyskane wyniki dla poszczególnych wariantów produkcyjnych zostały dodatkowo zweryfikowane z kadrą kierowniczą przedsiębiorstwa udostępniającego dane³. Konsultacje potwierdziły praktyczną użyteczność opracowanego modelu oceny efektywności ekonomicznej procesu produkcji, uzyskanie wyników zgodnych ze stanem rzeczywistym w przedsiębiorstwie i umożliwiających optymalizację realizowanych procesów produkcyjnych. Przykład modelu dalszej regulacji procesu produkcyjnego według wyników symulacji – osiągając poziom optymalny wartości wskaźników lub próg satysfakcji – przedstawiono na rysunku 5.

Tabela 5. Zestawienie wartości wskaźników z zakresem normatywnym w procesie EFF13

Wskaźnik	Wartość obliczeniowa wskaźnika	Zakres normatywny wskaźnika		Analiza wskaźnika	Waga wskaźnika
		min	max		
EFF13_W1	0,05	0	0,1	pozytywna	3,33
EFF13_W2	0,981072555	0,9	0,99	pozytywna	2,67
EFF13_W3	0,003896104	0	0,1	pozytywna	2
EFF13_W4	0,204819277	0	0,1	negatywna	1,33
EFF13_W5	1,008288288	0,6	0,9	negatywna	0,67

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

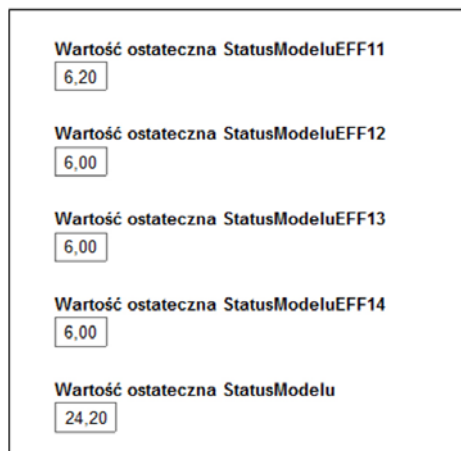
Tabela 6. Zestawienie wartości wskaźników z zakresem normatywnym w procesie EFF14

Wskaźnik	Wartość obliczeniowa wskaźnika	Zakres normatywny wskaźnika		Analiza wskaźnika	Waga wskaźnika
		min	max		
EFF14_W1	0,645454545	0,6	0,9	pozytywna	4
EFF14_W2	1	0,9	1	pozytywna	3
EFF14_W3	0	0,3	1	negatywna	2
EFF14_W4	0,001801802	0	0,1	pozytywna	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa.

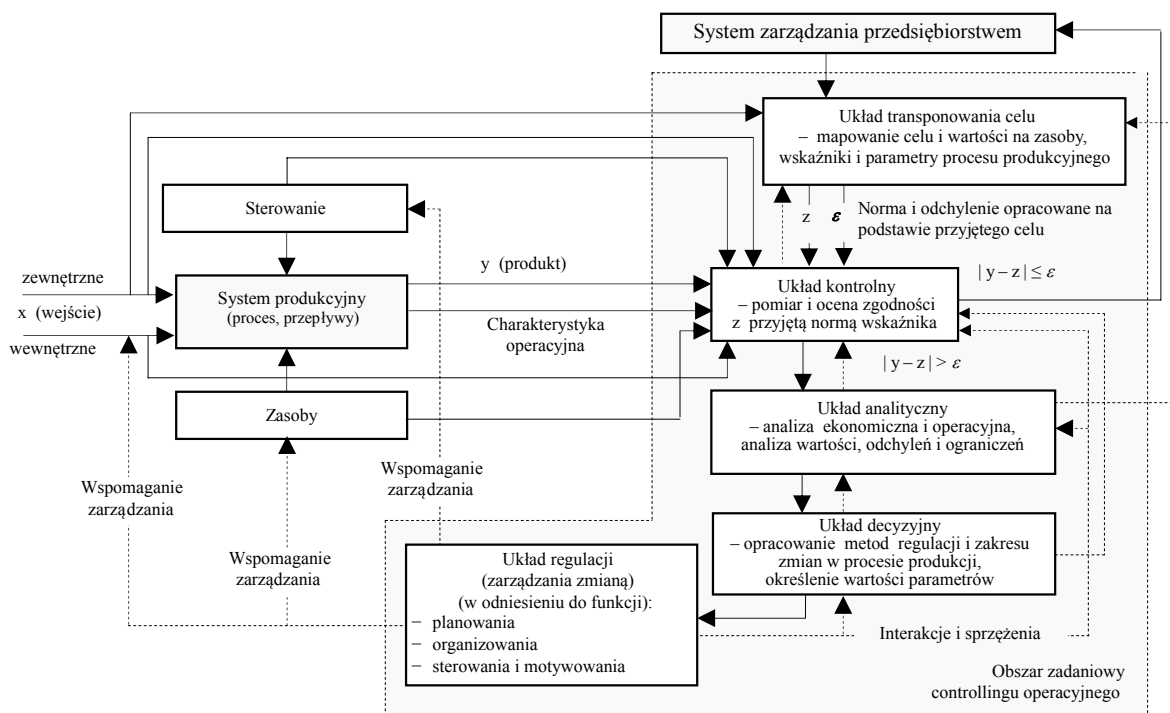
³ Kadra kierownicza przedsiębiorstwa podjęła decyzję o modyfikacji niektórych zakresów normatywnych, które uznano za specyficzne dla analizowanego procesu produkcji. Modyfikacje zakresów normatywnych zostały uwzględnione w opisywanym tutaj procesie symulacyjnym.

Rysunek 4. Raport z przeprowadzonej analizy efektywności ekonomicznej procesu produkcji



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5. Model systemu regulacji (optymalizacji) procesu produkcyjnego



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

W artykule autorzy przedstawili weryfikację symulacyjną opracowanego modelu oceny efektywności ekonomicznej procesu produkcji. Weryfikacja symulacyjna umożliwia również przeprowadzenie wielokrotnych symulacji prognostycznych, na podstawie których można zidentyfikować zależności pomiędzy poszczególnymi perspektywami modelu oceny efektywności ekonomicznej procesu produkcji. Weryfikacja symulacyjna oparta była o wielokrotne studium przypadków, jednak zdaniem autorów stu-

dium przypadku dotyczące produkcji seryjnej jest wariantem, który można uznać za reprezentatywny dla specyfiki procesów produkcyjnych. Charakterystyczne dla opracowanego modelu dwukierunkowe i wielowymiarowe relacje pomiędzy efektywnością ekonomiczną i operacyjną są trudne do weryfikacji symulacyjnej, ale jak wskazują wyniki badań, bardzo ważne dla menedżerów przedsiębiorstw. Rozpatrując zależności sprzężeń zwrotnych w modelu oceny efektywności procesu produkcji, należy uwzględnić możliwość negatywnego oddziaływania poprawy efektywności ekonomicznej na wyniki oceny efektywności

operacyjnej, i odwrotnie. Z tego względu dotychczasowe badania autorów skoncentrowano na weryfikacji poprawności modelu oceny efektywności ekonomicznej, w kolejnych etapach prac badawczych przewiduje się integrację aspektów efektywności ekonomicznej i operacyjnej.

Możliwości symulacji procesów mają znaczący wpływ nie tylko na realizację procesów produkcyjnych, ale również logistycznych w całym łańcuchu dostaw. Integracja procesowa łańcucha dostaw oraz identyfikacja powiązań przyczynowo-skutkowych i sprzężeń zwrotnych są coraz częściej opisywane w literaturze naukowej (Fanti et al., 2015, s. 86–96; Blöchl i Schneider, 2016, s. 130–135; Trojanowska, Varela i Machado, 2017, s. 490–498; Hadas et al., 2015, s. 225–239). Świadczy to o wzroście zainteresowania procedurami symulacyjnymi jako transparentnymi metodami badawczymi, szczególnie w zakresie nauk o zarządzaniu.

Bibliografia

Abdulmalek, F.A., Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, Issue 1, 223–236.

Blöchl, S.J., Schneider, M. (2016). Simulation Game for Intelligent Production Logistics – The PuLL® Learning Factory. *Procedia CIRP*, Vol. 54, 130–135.

Denkena, B., Henjjes, J., Henning, H. (2011). Simulation-based dimensioning of manufacturing process chains. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 4, Issue 1, 9–14.

Dullinger, K.H. (2009). Simulation in der Logistik – neue Anwendungsfelder. *LogForum*, Vol. 5, Issue 3, 1–12.

Fanti, M.P., Iacobellis, G., Ukovich, W., Boschian, V., Georgoulas, G., Stylios, C. (2015). A simulation based Decision Support System for logistics management. *Journal of Computational Science*, Vol. 10, 86–96.

Fertsch, M. (red., 2016). *Słownik terminologii logistycznej*. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.

Hadas, L., Cyplik, P., Adamczak, M., Domanski, R. (2015). *Dimensions For Developing Supply Chain Integration Scenarios*. Proceedings of The 15th International Scientific Conference, Business Logistics In Modern Management, Osijek 2015, Croatia, 225–239.

Kłosowski, G. (2011). Zastosowanie symulacji komputerowej w sterowaniu przepływem produkcji mebli. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 2, 29–37.

Kolińska, K., Koliński, A. (2013). Efektywność procesu zarządzania zapasami części zamiennych w przedsiębiorstwach produkcyjnych – wyniki badań. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 3, 2–6.

Koliński, A., Kolińska, K. (2012). Wykorzystanie informatycznych narzędzi wspomagających ocenę efektywności procesów logistycznych w przedsiębiorstwach produkcyjnych. *e-mentor*, 5, 82–87.

Koliński, A., Śliwczyński, B. (2015a). IT support of production efficiency analysis in ecological aspect, in: Golińska, P., Kawa, A. (eds.). *Technology Management for Sustainable Production and Logistics*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 205–219.

Koliński, A., Śliwczyński, B. (2015b). Model controlingu operacyjnego i oceny efektywności procesów, w: Śliwczyński, B. (red.). *Modelowanie systemu zarządzania przepływem materiałów i oceny efektywności procesów*. Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki, 119–144.

Koliński, A., Śliwczyński, B., Golińska-Dawson, P. (2016). Evaluation model for production process economic efficiency. *LogForum*, Vol. 12, Issue 2, 129–145.

Koliński, A., Śliwczyński, B., Golińska-Dawson, P. (2017). Metoda modelowania procesu oceny efektywności produkcji z wykorzystaniem standardu BPMN. *e-mentor*, 2(69), 70–81.

Maylor, H., Blackmon, K. (2005). *Researching Business and Management*. New York: Polgrave Macmillan.

Meade, D.J., Kumar, S., Houshyar, A. (2006). Financial analysis of a theoretical lean manufacturing implementation using hybrid simulation modelling. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 25, Issue 2, 137–152.

Nowak, M. (2007). *Symulacja komputerowa w problemach decyzyjnych*. Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego. Katowice: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej.

Pawlewski, P. (2010). Technologie informatyczne używane w symulacji procesów logistycznych. *Logistyka*, 1, 59–63.

Rodawski, B. (2006). Simulation of logistics processes. *LogForum*, Vol. 2, Issue 1, 1–15.

Sarjusz-Wolski, Z. (1998). Symulacja procesów logistycznych. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 6, 131–132.

Śliwczyński, B., Koliński, A., Andrzejczyk, P. (2014). *Organizacja i monitorowanie procesów produkcyjnych*. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.

Trojanowska, J., Varela, M.L.R., Machado, J. (2017). *The Tool Supporting Decision Making Process in Area of Job-Shop Scheduling*, in: Rocha, A., Correia, A., Adeli, H., Reis, L., Costanzo, S. (eds). Recent Advances in Information Systems and Technologies. *WorldCIST, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 571, 490–498.

Wójcik, P. (2013). Znaczenie studium przypadku jako metody badawczej w naukach o zarządzaniu. *e-mentor*, 48, 17–22.

Zhang, H., Li, H. (2004). Simulation-based optimization for dynamic resource allocation. *Automation in Construction*, Vol. 13, Issue 3, 409–420.

Simulation as a tool supporting the production efficiency evaluation

The information flow, from which managers can make decent decisions, requires the use of e-economy tools and enterprise support planning systems. Simulations as a tool of e-economy become increasingly popular in business practice nowadays. In this paper, the authors focus on presenting how the simulations were used to verify the developed model of evaluating production efficiency. Using a case study method, they describe the verification process, which depicts the specificity of the production process, on the example of serial production, which is the most representative in business practice. The main aim of the article is to present the informatization method of the evaluation model and the simulation as a tool supporting the decision-making process at the operational level.

Keywords: simulation of manufacturing processes; production efficiency; case study

Adam Koliński jest ekspertem z zakresu efektywności procesów logistycznych ze szczególnym uwzględnieniem logistyki produkcji. Specjalista ds. logistyki w Instytucie Logistyki i Magazynowania oraz adiunkt i koordynator naukowy Katedry Controllingu i Systemów Informatycznych Wyższej Szkoły Logistyki w Poznaniu; członek Polskiego Towarzystwa Logistycznego, Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego oraz Production and Operations Management Society. Zajmuje się realizacją projektów naukowo-badawczych, badawczo-rozwojowych i innowacyjnych. Od wielu lat prowadzi szkolenia z zakresu controllingu logistyki oraz systemów informatycznych wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem. Jest autorem lub współautorem kilkudziesięciu publikacji naukowych (w tym 15 opracowań monograficznych, skryptów akademickich oraz podręczników) i specjalistycznych z zakresu controllingu, efektywności produkcji oraz systemów informatycznych zarządzania. Jest członkiem Komitetu Naukowego Ogólnopolskiej Olimpiady Logistycznej.

Bogusław Śliwczyński jest ekspertem z zakresu controllingu, zarządzania operacyjnego i logistyki, profesorem Wyższej Szkoły Logistyki w Poznaniu oraz Instytutu Logistyki i Magazynowania. W realizowanych pracach naukowych, badawczo-rozwojowych i rynkowych łączy wiedzę z zakresu zarządzania i controllingu (doktor habilitowany nauk ekonomicznych) oraz systemów operacyjnych i informatycznych (doktor nauk technicznych). Jest Pełnomocnikiem Dyrektora Instytutu Logistyki i Magazynowania ds. Konsultingu oraz Kierownikiem Katedry Controllingu i Systemów Informatycznych Wyższej Szkoły Logistyki w Poznaniu. Brał udział w realizacji ponad 200 projektów badawczych i rynkowych dla przedsiębiorstw i instytucji w Polsce i UE w zakresie organizacji systemów zarządzania oraz controllingu, racjonalizacji procesów zakupów i zaopatrzenia, produkcji, zapasów i magazynowania, transportu i dystrybucji, a także zastosowania nowoczesnych systemów informatycznych i platform elektronicznych w przedsiębiorstwach oraz administracji publicznej. Jest autorem ponad 100 publikacji (w tym 10 książek) z zakresu controllingu, zarządzania operacyjnego oraz zarządzania procesami w łańcuchu dostaw.

Paulina Golińska-Dawson jest ekspertem z zakresu zarządzania operacyjnego i logistyki, w szczególności w przemyśle samochodowym, adiunktem na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. W realizowanych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych łączy wiedzę z zakresu zarządzania produkcją i logistyki z aspektami ekologicznymi oraz polityką zrównoważonego rozwoju. Jest redaktorem naczelnym serii książkowej w wydawnictwie Springer Publishing International *Środowiskowe problemy w produkcji i logistyce* („EcoProduction – Environmental Issues in Logistics and Manufacturing”). Recenzentka czasopism z listy filadelfijskiej z obszaru zrównoważonego rozwoju i zarządzania produkcją, m.in.: „Journal of Cleaner Production”, „International Journal of Advanced Manufacturing Technology”, „Sustainability”; autorka ponad 80 publikacji z zakresu zarządzania operacyjnego, zarządzania przepływem materiałów w logistyce zwrotnej i remanufacturingu oraz wsparcia informacyjnego decyzji menedżerskich w logistyce i produkcji.

POLECAMY



Paweł Bartoszczyk

Mechanizmy powstawania efektów ekoinnowacji w przedsiębiorstwach w Polsce

Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2018

Ekoinnowacje stanowią zarówno wyzwanie, jak i wielką szansę dla przedsiębiorstw ze względu na możliwość uzyskania efektów ekonomicznych w postaci zmniejszenia kosztów działalności i poprawy wizerunku przedsiębiorstwa. Celowość ich wprowadzania jest coraz częściej dostrzegana przez przedstawicieli przedsiębiorstw, ponieważ rośnie świadomość wpływu własnej działalności na środowisko i konieczności stawania się odpowiedzialnymi. Ze względu na pozytywne efekty zewnętrzne (przyrost wiedzy, zmiany dokonujące się w fazie adaptacji i dyfuzji) innowacje ekologiczne są także pożądane przez społeczeństwo. W polecanej monografii zaprezentowano zarówno stan wiedzy w obszarze ekoinnowacji (m.in. ustalenia Europejskiego Obserwatorium Ekoinnowacji oraz GUS oraz badania empiryczne przeprowadzone w Polsce w latach 2008–2016, z uwzględnieniem badań dotyczących przedsiębiorstw Czystszej Produkcji), jak i wyniki badań własnych autora. Celem badań było ustalenie, jakie efekty powstały w pięciu analizowanych przedsiębiorstwach w wyniku wdrożenia ekoinnowacji. Źródłem danych były dokumenty, zapisy, wywiady, zdjęcia, prezentacje i materiały wideo. Na podstawie przeprowadzonej

analizy opisano również synergię efektów ekonomicznych, ekologicznych i społecznych. Książka jest dostępna na stronie: <http://wydawnictwo.sgh.waw.pl/>