

SYMULACJA PROCESU TECHNOLOGICZNEGO W ASPEKTCIE JEGO LOGISTYKI I WYDAJNOŚCI

W artykule omówione zostały możliwości zastosowania symulacji komputerowej do analizy procesu technologicznego. Zaprezentowano przykładowe modele i przeanalizowano różne rozwiązania logistyczne. Przeprowadzone symulacje pozwoliły znaleźć taki model i konfigurację procesu, który zapewni osiągnięcie oczekiwanej wydajności. Zastosowane oprogramowanie pozwala tworzyć komputerowe modele procesów technologicznych i badać ich zachowanie.

WSTĘP

Modelowanie procesów jest obecnie najskuteczniejszym narzędziem służącym poznaniu i obrazowaniu zjawisk gospodarczych [10]. Dynamicznie zmienne otoczenie przedsiębiorstw oraz ciągła walka konkurencyjna wymusza znajdowanie rozwiązań najlepiej wpisujących się w potrzeby rynku [2]. W obecnych czasach firmy ciągle muszą dostosowywać się do zmieniających się warunków i wymagań klientów. Skracą się cykle życia wyrobów i występuje konieczność częstego uruchamiania nowych produkcji. Firmy muszą być elastyczne, a jednocześnie utrzymywać koszty na opłacalnym poziomie i szybko reagować na zmieniające się zapotrzebowanie klienta [11].

Sukces współczesnych przedsiębiorstw zależy m.in. od sprawnej logistyki przedsiębiorstwa [10]. Analiza łańcuchów logistycznych polega dziś na kompleksowej organizacji przepływu materiałów i wyrobów gotowych przy efektywnym wykorzystaniu wszelkich posiadanych zasobów, celem utrzymania zdolności zadaniowej i funkcjonalnej [2]. Stopień wykorzystania poszczególnych urządzeń w procesie zależy od jego struktury i realizowanego procesu technologicznego. Maksymalna możliwa produktywność całego systemu jest uwarunkowana m.in. jego wydajnością [3]. Z kolei, modelowanie procesów produkcyjnych polega na etapowaniu kolejnych czynności, zakończonych stworzeniem modelu rzeczywistego systemu. Dzięki analizie możliwych dróg postępowania dokonuje się wyboru wariantu, który w konkretnych warunkach i ograniczeniach pozwala na znalezienie optymalnego rozwiązania.

Budowa modeli symulacyjnych ma też swoje ograniczenia związane z pracochłonnością, a co za tym idzie kosztownością modelowania systemów produkcyjnych [8].

1. OPROGRAMOWANIE SYMULACYJNE DO MODELOWANIA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Systemy komputerowe pozwalają na realizację wielu działań w zakresie projektowania i symulacji procesów inżynierskich, w tym także produkcyjnych i logistycznych. Szczególną zaletą tych systemów jest możliwość modelowania procesów wytwarzania oraz symulacja ich funkcjonowania, w celu zoptymalizowania działań logistycznych [5].

Symulacja komputerowa to metoda polegająca na odwzorowaniu rzeczywistego systemu (np. produkcyjnego, logistycznego) w postaci modelu wirtualnej rzeczywistości oraz prowadzeniu badań i eks-

perymentów na tym modelu, w celu uzyskania pewnych charakterystyk ilościowych oraz jakościowych prezentujących działanie tego systemu. Symulacja komputerowa jest metodą badawczą często stosowaną dla potrzeb analizy przebiegu procesu produkcyjnego w celu poprawy wydajności [8].

Do zalet symulacji komputerowej w logistyce należy zaliczyć [5]:

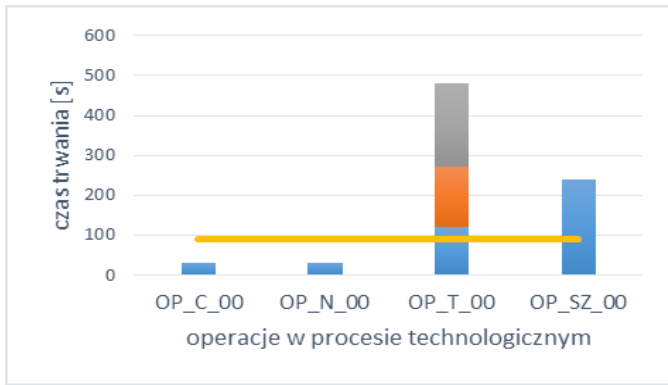
- wyeliminowanie podczas realizacji badań rzeczywistego sprzętu;
- skrócenie czasu realizacji badań w odniesieniu do testowania działania na obiekcie rzeczywistym;
- powtarzalność warunków przy realizacji kolejnych eksperymentów;
- bezpieczeństwo podczas badania systemu w warunkach ekstremalnych;
- eliminacja błędów pomiarowych związanych z czynnikami zewnętrznymi;
- redukcja kosztów prowadzonych badań i łatwość wprowadzania zmian.

Na rynku istnieje ogromny wybór dedykowanego oprogramowania symulacyjnego umożliwiającego modelowanie i testowanie działania systemów produkcyjnych oraz logistycznych [5]. Jednym z nich jest Tecnomatix Plant Simulation firmy Siemens [1], który służy do modelowania procesów wytwórczych przy użyciu specjalizowanych bibliotek komponentów.

Plant Simulation umożliwia symulację oraz optymalizację systemów produkcyjnych i logistycznych. Używając tego środowiska istnieje możliwość optymalizacji przepływu materiałów, wykorzystania zasobów na wszystkich poziomach przedsiębiorstwa, zaczynając od modelu globalnego, poprzez lokalne zakłady aż do pojedynczych linii. Plant Simulation pozwala tworzyć komputerowe modele systemów logistycznych, badać ich zachowanie i optymalizować procesy w nich zachodzące. Komputerowy model symulacyjny umożliwia przeprowadzanie eksperymentów oraz poszczególnych scenariuszy działania bez konieczności ingerencji w istniejący system, bądź też wykorzystanie doświadczeń na modelu w procesie planowania, na długo przed fizycznym powstaniem modelu rzeczywistego [9]. Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne dostarczają danych i informacji o procesach, które pomagają podjąć najlepsze decyzje [6].

Tecnomatix Plant Simulation stanowi narzędzie do modelowania i symulacji zdarzeń, które pozwala na tworzenie cyfrowych modeli systemów logistycznych (np. produkcji), co z kolei umożliwia sprawdzenie charakterystyk systemów i optymalizację ich wydajności.

Program:



Rys. 2. Czasy cykli C/T dla poszczególnych procesów realizowanych na linii produkcyjnej z zaznaczonym Czasem Taktu
Źródło: opracowanie własne.

Czas procesu dla obróbki jednego elementu wynosi 13 min, natomiast czas taktu wynosi $1260/850 = 89$ s.

Czas taktu definiuje jak często linię technologiczną powinien opuszczać gotowy produkt, aby zaspokoić wymagania klienta.

W dalszej analizie wykorzystano podejście przedstawione w [4].

Do utworzenia modelu wykorzystano następujące obiekty:

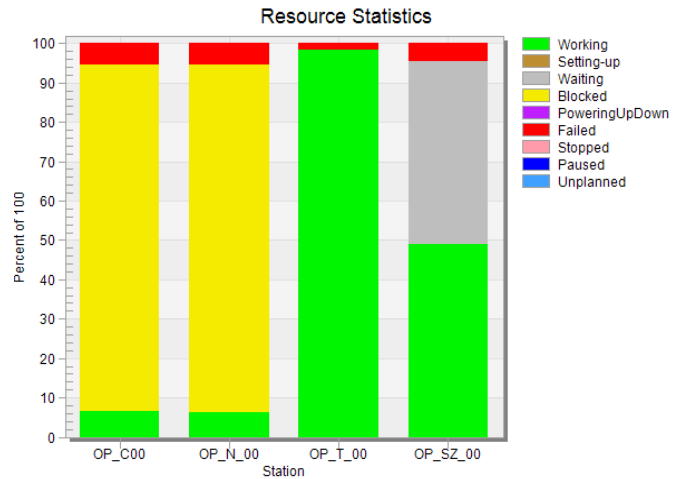
- Source (Źródło), tworzy i wypuszcza elementy przepływu,
- Drain (Wyjście) odbiera i usuwa elementy przepływu procesu z symulacji,
- Single Proc (element, obiekt, pojedyncza operacja), przetwarza lub wpływa na opóźnienie elementu przepływu, może powodować przestoje,
- Buffer (bufor, kolejka), tymczasowo przechowuje element przepływu, w sytuacji gdy kolejny obiekt nie może go przyjąć.

Każdą operację odwzorowano poprzez pojedynczy element (Single-Proc), któremu przypisano nazwę, czas trwania operacji i wartości wskaźników. Dla operacji OP_C i OP_N przyjęto bufor 100 szt.

Zgodnie z zasadami modelowania w Plant Simulation w pierwszej kolejności utworzono uproszczony model badanego procesu (rys. 3). Za pomocą opcji Event Controllera ustawiono zakładany czas i uruchomiono symulację.

Pierwsza symulacja potwierdziła wąskie gardło jakim jest proces toczenia. Ponadto, taka konfiguracja (szeregowe połączenie pojedynczych maszyn, które odpowiadają za każdą operację) nie zapewni oczekiwanej wydajności.

Wynik symulacji (rys. 4) wskazuje na wydajność zaledwie 154 szt./dzień.



Object Name	Mean Life Time	Throughput TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain Entity	9:57:44.7390	154	7	2.69%	0.00%	97.31%	2.17%

Rys. 4. Wynik symulacji realizacji procesu

Źródło: opracowanie własne.

Dla zapewnienia wymaganej wydajności wyznaczono liczbę maszyn niezbędną dla realizacji analizowanego procesu.

Korzystając ze wzoru:

$$N = \frac{Q * t}{T * R} \quad (1)$$

gdzie:

Q – wydajność [szt./dzień]

t – czas operacji [min]

T – dostępny czas [min/dzień]

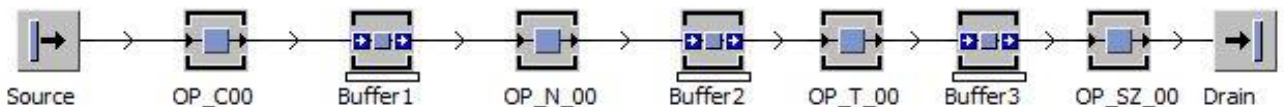
R – dostępność obrabiarek

wyliczono minimalną liczbę maszyn dla każdej operacji (N). Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Liczba maszyn dla każdej operacji

Kod operacji	Q [szt./dzień]	t [min]	T [min]	R	N	Minimalna liczba maszyn
OP_C_00	850	0,5	1260	95%	0,36	1
OP_N_00	850	0,5	1260	95%	0,36	1
OP_T_00	850	8	1260	95%	5,68	6
OP_SZ_00	850	4	1260	95%	2,84	3

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Uproszczony model procesu technologicznego

Źródło: opracowanie własne.

Wyznaczone wartości pozwalają na różne konfiguracje dot. rozmieszczenia maszyn w ramach operacji OP_T_00. Z kolei, operacja OP_SZ, z uwagi na to, iż obejmuje 1 zabieg nie podlegała dalszej analizie w zakresie konfiguracji (przyjęto połączenie równoległe w zakresie rozmieszczenia maszyn).

Program Plant Simulation pozwolił na analizę różnych konfiguracji realizacji procesu. Modelowany układ obejmuje wąskie gardło procesu, które stanowi operacja OP_T. Uwzględniając wymaganą kolejność zabiegów można podzielić tę operację na 1, 2 lub 3 etapy. Korzystając ze wzoru [12]:

$$K = \frac{(N - 1)!}{(N - m)! (m - 1)!} \quad (1)$$

gdzie:

N – liczba maszyn (obrabiarek): 6

m – liczba etapów (zabiegów): odpowiedni 1, 2, 3

wyznaczono liczbę potencjalnych konfiguracji ustawienia maszyn dla tej operacji, niezbędną dla zapewnienia oczekiwanej wydajności procesu (K = 16), w tym:

- jedną konfigurację 1- etapową,
- pięć konfiguracji 2- etapowych,
- dziesięć konfiguracji 3 – etapowych.

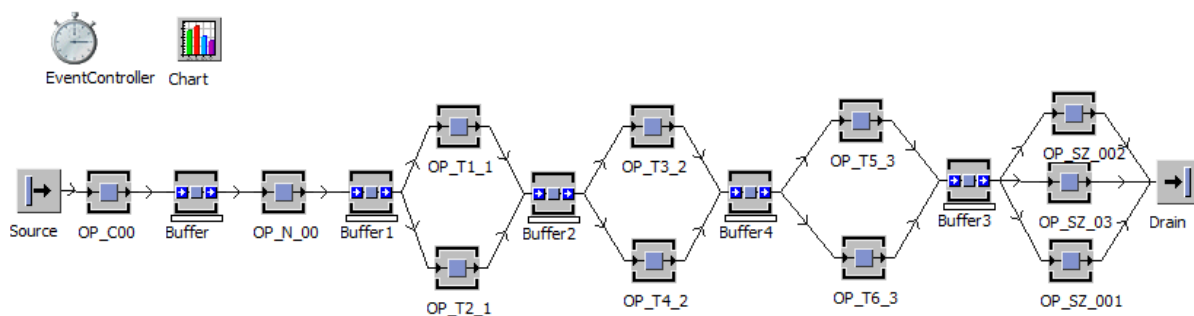
W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane symulacje dla przykładowych konfiguracji (1 i 3 etapowych) rozmieszczenia maszyn odpowiadających za realizację zabiegów w ramach operacji OP_T. Uwzględniono dwa przypadki tj. szeregowo-równoległe połączenie maszyn oraz połączenie równoległe.

2.3. Scenariusze rozwiązań

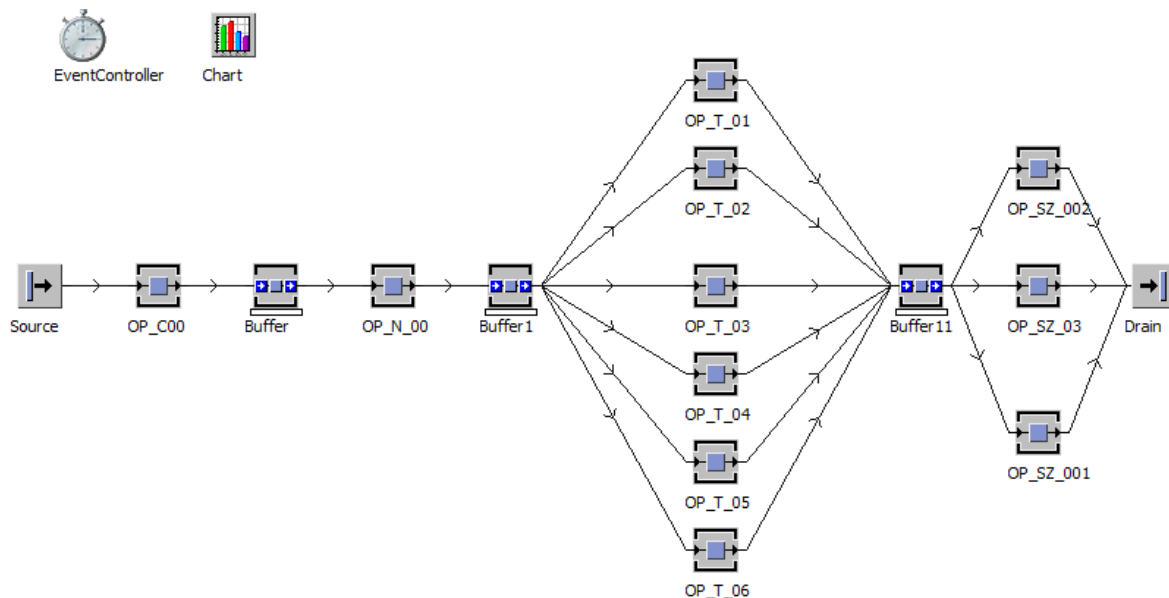
Po uwzględnienie wcześniejszych założeń zmodyfikowano model procesu (rys. 5), przy czym przyjęto szeregowo-równoległe połączenie maszyn dla zabiegów w ramach operacji OP_T.

Na rysunku 5 a) przedstawiono przykładowy model, w którym realizacja operacji OP_T podzielona została na trzy etapy. Etap pierwszy obejmuje zabieg 1 realizowany równoległe na dwóch maszynach (OP_T1_1 i OP_T2_1). Etap drugi to równoległe połączenie 2 maszyn, na których wykonywany jest zabieg 2 i analogicznie etap trzeci to równoległe połączenie 2 maszyn (OP_T3_2, OP_T4_2), na których wykonywany jest zabieg 3 (OP_T5_3, OP_T6_3) jeden po drugim.

Po uwzględnieniu szacunkowych czasów zabiegów i przy zachowaniu wcześniejszych ustawień przeprowadzono symulację dla takiej konfiguracji procesu, uzyskując poniższe wyniki (rys. 6):



a)



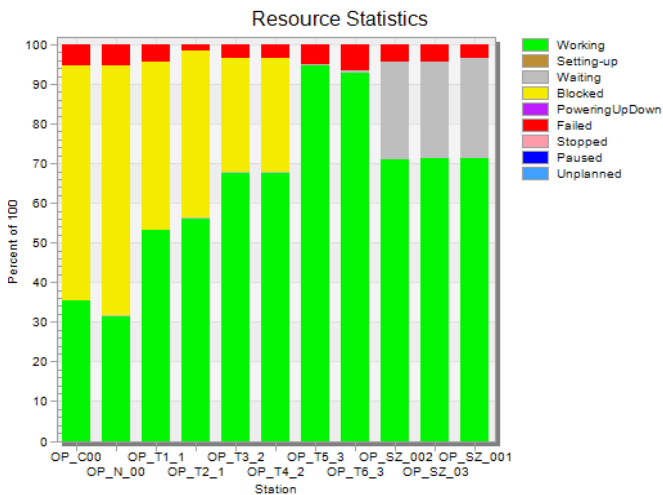
b)

Rys. 5. Konfiguracja realizacji procesu technologicznego

a) operacja OP_T realizowana w trzech etapach (połączenie szeregowo-równoległe)

b) operacja OP_T realizowana jednoetapowo (połączenie równoległe)

Źródło: opracowanie własne.

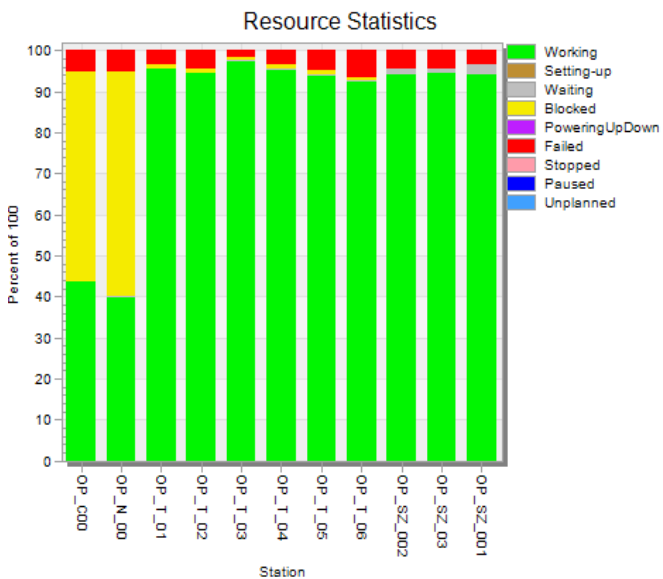


Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted								
Object Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain Entity	5:16:03.7797	673	32	6.10%	0.00%	93.90%		4.11%

Rys. 6. Wynik symulacji realizacji procesu (3 etapy operacji OP_T)
Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wartości wskazują na niezadowalającą efektywność procesu i nie zapewniają wymaganej wydajności dziennej produkcji.

Na rysunku 5 b) obrazowano model, w którym operacja OP_T realizowana jest w ramach jednego etapu tj. poprzez równoległe połączenie 6 maszyn, które realizują wszystkie 3 operacje.



Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted								
Object Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain Entity	4:06:57.1373	889	42	6.49%	0.00%	93.51%		5.26%

Rys. 7. Wynik symulacji realizacji procesu (1 etap OP_T)
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki symulacji (rys. 7) wskazują osiągnięcie zakładanej wydajności, choć dwie pierwsze operacje mają ponad 50% niewykorzystany bufor potencjalnych możliwości.

Przeprowadzona symulacja nie uwzględnia analizy kosztów zakupu maszyn, która może wpłynąć na decyzje dotyczące realizacji danego procesu. Niemniej pozwala na bezpośrednią identyfikację obszarów redukcji kosztów i zwiększenia wydajności. Może również odegrać ważną rolę w analizie ryzyka, gdyż wskazuje scenariusze oparte na propozycjach podejmowanych działań.

Warto tu podkreślić, iż jednym z czynników, który decyduje o tym czy przeprowadzać symulacje jest złożoność działań. Współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne powinny szybko dostosować się do zmiennych wymagań i potrzeb klientów, dlatego bardzo ważną wydaje się możliwość posługiwania się narzędziami pozwalającymi na modelowanie i symulację przepływu produkcji (procesów technologicznych, produkcyjnych, logistycznych).

PODSUMOWANIE

Stosując modelowanie symulacyjne można przeprowadzać niemal nieograniczoną liczbę eksperymentów symulacyjnych pozwalających na weryfikację różnych rozwiązań z zakresu planowania i logistyki procesu technologicznego (i/lub produkcyjnego) nie ingerując w realny system. Zastosowane oprogramowanie (Tecmatix Plant Simulation) pozwala tworzyć komputerowe modele systemów i badać ich zachowanie. Modelowanie umożliwia przeprowadzanie eksperymentów oraz ocenę poszczególnych scenariuszy działania bez konieczności ingerencji w istniejący system czy pochopnych decyzji dotyczących zakupu maszyn. Szczegółowe narzędzia analityczne, statystyki i zestawienia pozwalają użytkownikom oceniać różne scenariusze produkcyjne oraz podejmować szybkie i rzetelne decyzje na wczesnym stadium procesu planowania produkcji.

Należy tu pamiętać, że budowa poprawnie działającego modelu systemu wytwórczego (proces technologiczny) jest pracochłonna i wymaga zarówno dobrej znajomości modelowanego procesu, jak i programu symulacyjnego. Ponadto, na jakość modelu wpływa też poziom szczegółowości odwzorowania.

Obecnie na rynku istnieje duży wybór dedykowanego oprogramowania symulacyjnego umożliwiającego modelowanie i symulację działania procesów technologicznych, produkcyjnych oraz logistycznych. Zastosowany program wydaje się spełniać zakładane przez producenta funkcjonalności w zakresie symulacji procesów wytwarzania. Niemniej podejmując decyzję o stosowaniu (zakupie) oprogramowania należy zwrócić uwagę na różny zakres możliwości danego programu, zakres modelowania i prowadzenia analiz oraz na jego możliwości wizualizacyjne, tak aby oprogramowanie spełniało wszystkie oczekiwania.

BIBLIOGRAFIA

- Bangso S.: *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk*, SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 2010.
- Berlińska J., *Modelowanie procesów logistycznych w aspekcie utrzymania ruchu*, Logistyka Nr 5, 2012.
- Cisowski T., Łukasz Wojciechowski Ł., *Wydajność łańcuchów dostaw węgla*, Projektowanie i sterowanie procesami pod red. Janeczarek M.M., Lipski J., Politechnika Lubelska, Lublin 2013.
- Danilczuk, W., Cechowicz, R., Gola, A., *Analiza konfiguracji linii produkcyjnych na podstawie modeli symulacyjnych* Informatyczne Systemy Zarządzania, 5, 2014, s. 25-42.
- Gołda G., Gwiazda A., Kampa A., Monica Z., *Zastosowanie systemów komputerowego wspomaganie w planowaniu działań logistycznych*. Aspekty Logistyczne w Biznesie pod red. Kowalska K, Sobczak P., WSB Dąbrowa Górnicza, 2015.
- Karkula, M. *Weryfikacja i walidacja dynamicznych modeli symulacyjnych procesów logistycznych* Logistyka, Nr 2, 2012, s.717-726.
- Kikolski, M. *Zastosowanie Plant Simulation w analizie wydajności produkcji wybranego elementu szafki podtynkowej* w: R. Knosala (red.), Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji Opole, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2016.

8. Kłos, S., Patalas-Maliszewska, J., *Symulacja przebiegu procesów produkcyjnych w systemach przepływowych w oparciu o oprogramowanie Tecnomatix Plant Simulation* w: R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* Opole, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2016.
9. Kostrzewski M., *Porównanie metod projektowania magazynu – projektowanie wg procedury analitycznej oraz przy użyciu narzędzia symulacyjnego*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej z.70 Transport 2009.
10. Małecki K., Szarafińska M., *Modelowanie procesów logistycznych w przedsiębiorstwie wirtualnym*, Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą, Seria: Studia i Materiały, nr 17, 2008
11. Stadnicka D., Mach A., *Symulacja pracy linii produkcyjnej na przykładzie praktycznym*, Zarządzanie Przedsiębiorstwem Nr 2, 2011.
12. Yoram Koren, *The Global Manufacturing Revolution Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, USA, John Wiley & Sons, 2010.

Simulation of the technological process in terms of its logistics and productivity

The article discussed possibilities of using computer simulation to analyze the technological process. Exemplary models were presented and the various logistics solutions were analyzed. The simulations allowed to find the model and configuration process that will ensure the achievement of the expected productivity.

Autorzy:

dr inż. **Karina Janisz** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Techniczny, kjanisz@pwsz-ns.edu.pl

dr inż. **Anna Mikulec** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Techniczny, amikulec@pwsz-ns.edu.pl

mgr inż. **Kazimierz Górka** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Techniczny, kgorka2@poczta.onet.pl