

PLANOWANIE PRZEPIYU PRODUKCJI Z UWZGLĘDNIENIEM OGRANICZEŃ SYSTEMU TRANSPORTU WEWNĘTRZNEGO WSPOMAGANE SYSTEMAMI SYMULACYJNYMI

Damian KRENCZYK

Streszczenie: Dynamiczny rynek konsumenta oraz ostra konkurencja na rynku wytwórców wymusza na producentach konieczność wdrażania nowych, efektywnych metod planowania i weryfikacji planów produkcji. W artykule zaprezentowano podejście do procesu planowania przepływu produkcji zorientowane na weryfikację przyjętego planu produkcji z uwzględnieniem ograniczeń systemu transportu wewnętrznego. Przedstawiono koncepcję opartą na autorskiej metodzie integracji systemów planowania produkcji z systemami symulacyjnymi. Pokazano przykład realizacji procesu weryfikacji symulacyjnej przepływu produkcji oraz sformułowano i podsumowano omawiane zagadnienia.

Słowa kluczowe: planowanie przepływu produkcji, wspomaganie podejmowania decyzji, systemy transportu wewnętrznego, symulacja i modelowanie

1. Wprowadzenie

Wzrost złożoności produktów, wynikający z rozwoju nowych technologii wytwarzania, opracowywania innowacyjnych rozwiązań technicznych oraz zmiennych wymagań konsumentów, wymusza na producentach konieczność poszukiwania i wdrażania nowych, efektywnych metod planowania przepływu produkcji. Sprawna i skuteczna odpowiedź na te potrzeby jest możliwa nie tylko poprzez dostęp do odpowiednich zasobów systemów wytwórczych, lecz także poprzez optymalne planowanie i sterowanie na poziomie operacyjnym. Kwestie te muszą być brane pod uwagę już na etapie projektowania przyszłych układów obiektów wyposażenia technicznego [1]. Problemy związane z planowaniem oraz harmonogramowaniem produkcji tradycyjnie traktują zasoby produkcyjne jako podstawowe ograniczenia w systemie [2, 3]. Ponieważ jednak czasy transportu surowców i półproduktów są w wielu przypadkach porównywalne z czasami realizacji operacji produkcyjnych, skuteczność procesu planowania w dużej mierze zależy od możliwości uwzględnienia w modelach decyzyjnych elementów składowych systemu transportu wewnętrznego (zwłaszcza w zautomatyzowanych systemach transportu materiałów), tak aby odzwierciedlić ich oddziaływanie w rzeczywistych zastosowaniach przemysłowych [4, 5]. Aspekt ten jest bardzo istotny, z punktu widzenia ponoszonych przez producentów kosztów, związanych z obsługą urządzeń transportu wewnętrznego. Szacuje się, że około 20-50% całkowitych kosztów operacyjnych przedsiębiorstwa produkcyjnego oraz 15-70% całkowitego kosztu wytworzenia produktu można przypisać właśnie do tego obszaru. Ponadto badania pokazują, że ponad 35% wydajności systemu może zostać utracone poprzez zastosowanie nieprawidłowych układów i projektów lokalizacji [1, 6]. W związku z tym, na etapie ich przygotowywania, plany przepływu produkcji, konfiguracja systemów wytwarzania, harmonogramy czy reguły sterowania,

powinny zostać zweryfikowane z uwzględnieniem ograniczeń związanych z urządzeniami transportu wewnętrznego [1, 2, 4, 5].

W artykule zaprezentowano podejście do procesu planowania przepływu produkcji zorientowane na weryfikację przyjętego harmonogramu lub reguł sterujących, z ograniczeniami dostępnego systemu transportu wewnętrznego. Zaproponowano autorską metodę integracji systemów wspomagających podejmowanie decyzji z systemami symulacyjnymi. W dalszej części artykułu, w rozdziale 2, zaprezentowano krótki przegląd prowadzonych prac nad metodami automatycznego generowania modeli symulacyjnych. W rozdziale 3 omówiono podstawowe aspekty związane z systemami transportu wewnętrznego, natomiast opis metody generowania modeli zawarto w rozdziale 4. Rozdział 5 poświęcono na pokazanie przykładu realizacji procesu weryfikacji symulacyjnej przepływu produkcji. Wnioski sformułowano i podsumowano omawiane zagadnienia w rozdziale 6.

2. Systemy symulacyjne we wspomaganii planowania produkcji

Rozwiązania trzeciej rewolucji przemysłowej, która obejmowała koncepcję Computer Integrated Manufacturing (CIM) i Flexible Manufacturing Systems (FMS), coraz częściej już nie wystarczają aby sprostać rosnącym wymaganiom w najbardziej dynamicznych branżach [7, 8]. Dzisiaj odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie globalnego rynku jest czwarta rewolucja przemysłowa (Industry 4.0), bazująca na rozwiązaniach sieci cyberfizycznych – obejmująca m.in. systemy zasobów produkcyjnych oraz systemów transportu i magazynowania. Urządzenia produkcyjne, zdolne mają być do autonomicznej wymiany informacji w celu osiągnięcia większej elastyczności, także na poziomach zarządzania, planowania i kontrolowania przepływu procesów. Przemysł 4.0 bazuje na cyfrowej integracji technicznych i sieciowych aspektów systemów wytwarzania. W tym kontekście modelowanie i symulacja komputerowa odgrywają kluczową rolę w zarządzaniu rosnącą złożonością systemów produkcyjnych [7, 8, 9]. Obecne stosowane metody i narzędzia modelowania wciąż opierają się na ręcznym wprowadzaniu danych i analizowaniu wyników. Powoduje to, że zastosowanie tych metod jest bardzo utrudnione, szczególnie w kontekście potrzeb modelowania i symulacji coraz większych i bardziej złożonych systemów, która jest jednym z głównych wyzwań w tym obszarze [10]. Odpowiedzią na te potrzeby są prowadzone prace badawcze nad metodami półautomatycznego i automatycznego generowania modeli symulacyjnych [10, 11]. Bazują one na koncepcjach tworzenia modeli symulacyjnych z zewnętrznych źródeł danych za pomocą interfejsów wymiany danych z systemami symulacyjnymi lub algorytmów tworzenia modeli. Model symulacyjny nie jest zatem tworzony w standardowy sposób, przy użyciu funkcji czy wizualnych narzędzi symulacyjnych. Oznacza to, że planiści/inżynierowie korzystający z narzędzi automatycznych, powinni mieć możliwość przygotowania modeli symulacyjnych i przeprowadzania eksperymentów jedynie poprzez zmianę lub wskazanie danych wejściowych, które automatycznie aktualizują cały model symulacyjny. Dotychczas rozwijane metody półautomatyczne generowanie modeli można podzielić na trzy główne kategorie [10, 11, 12]:

- podejście parametryczne: modele są generowane w oparciu o istniejące bloki konstrukcyjne (atomy) przechowywane w bibliotekach, wybierane i konfigurowane na podstawie parametrów pochodzących z innych systemów,

- podejście strukturalne: generowanie modeli opiera się na danych opisujących strukturę systemu produkcyjnego (zazwyczaj w postaci danych dotyczących rozmieszczenia urządzeń na hali produkcyjnej),
- podejście hybrydowe: łączenie metod AI (systemy eksperckie, sieci neuronowe, itp.) z dwoma przedstawionymi powyżej.

Większość prezentowanych w literaturze koncepcji generowania modeli symulacyjnych może zostać zaimplementowanych jedynie z dedykowanymi komputerowymi systemami symulacyjnymi lub umożliwiają one wygenerowanie modeli symulacyjnych dla określonej struktury przepływu procesów produkcyjnych. Utrudnia to ich szerokie zastosowanie w praktyce przemysłowej, głównie ze względu na brak możliwości szybkiego dostosowywania modelu do nowej konfiguracji systemu produkcyjnego czy podsystemu transportowego. Wiele z nich jest ciągle w fazie koncepcyjnej lub brak jest ich praktycznych zastosowań. Wspomniana luka badawcza stanowiła główny czynnik motywacyjny rozwoju autorskiej metody półautomatycznego generowania modeli symulacyjnych opartej na podejściu parametrycznym, wspomagającej m.in. procesy weryfikacji symulacyjnej ograniczeń związanych z systemem transportu wewnętrznego.

3. System transportu wewnętrznego

Realizacja operacji transportowych wewnątrz procesu produkcyjnego oraz pomiędzy wydziałami lub systemami produkcyjnymi realizowana może być poprzez wiele dostępnych ręcznych, półautomatycznych lub zautomatyzowanych urządzeń. Główne ich funkcje to: przemieszczanie międzywydziałowe, wewnątrzwydziałowe, międzystanowiskowe oraz stanowiskowe, a także zabezpieczanie, przechowywanie oraz automatyczne sterowanie przepływem materiałów i produktów [13,14].

Sposób działania i kontroli systemu transportowego zazwyczaj realizowany jest odrębnie z wykorzystaniem heterogenicznych systemów wymieniających informację pomiędzy sobą. Funkcjonuje on zatem według odrębnych zasad i reguł, i wykorzystuje własne czynniki, wobec których wymagane są odrębne systemy i zasady organizacji, gospodarowania i zarządzania. Procesy transportowe mogą natomiast stanowić element integracji przepływów materiałowych i informacyjnych, wymagających jednak koordynacji i wzajemnego dostosowania parametrów [15]. Ich dokładne zaplanowanie pozwala określić rodzaj, ilość, miejsce i termin wykorzystania materiału, determinując jednocześnie operacje transportowe, manipulacyjne i magazynowe oraz towarzyszący im przepływ informacji [5]. Tak więc, wymagane zmiany w obszarze organizacyjnego przygotowania produkcji wymuszają konieczność usprawniania przepływu informacji oraz integrację systemów wspomagających podejmowanie decyzji.

Możliwości wspomagania procesu weryfikacji symulacyjnej ograniczeń związanych z systemem transportu wewnętrznego (w szczególności z przemieszczaniem międzystanowiskowym oraz stanowiskowym materiałów surowców i półproduktów), jako najczęściej powiązanych z tworzonymi planami i harmonogramami dla poziomu operacyjnego, w którym operacje transportowe realizowane są przez wózki widłowe, pojazdy AGV, oraz przenośniki, przedstawione zostaną w kolejnych rozdziałach.

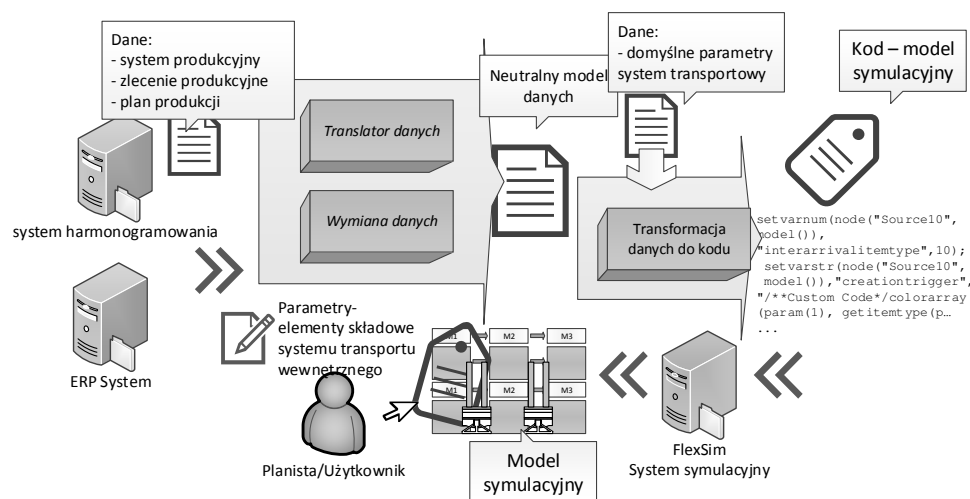
4. Półautomatyczne generowanie modeli dla systemów symulacyjnych

Osiągnięcie postawionego celu będzie realizowane w czterech zasadniczych etapach. Etap pierwszy związany jest z pozyskaniem kompletnych danych wymaganych do

przygotowania funkcjonalnego modelu symulacyjnego. Wykorzystywane są metody reprezentacji danych z użyciem rozszerzalnego języka znaczników XML (stanowiących neutralny format zapisu danych) oraz metod mapowania i transformacji danych. Dane te pozyskiwane są z systemów informatycznych wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem na różnych szczeblach i obszarach funkcjonalnych (ERP, MRP, PPC, APS, itp.). Przykładowe moduły systemów klasy PPC/ERP, pozwalające na pozyskiwanie danych w postaci dokumentów XML, to: NetWeaver systemu SAP czy IFS Connect systemu IFS Application, który pozwala na integrację z innymi systemami lub programami obsługi elektronicznej wymiany danych (EDI) [12]. W następnym etapie realizowane są procesy wymiany danych pomiędzy źródłową reprezentacją danych a neutralnym pośrednim modelem danych. Uwzględniają one zarówno dane wymagane w kolejnym etapie do wygenerowania części składowych modelu symulacyjnego, opisujące zasoby systemu produkcyjnego, zlecenie produkcyjne, jak i procedury sterowania pracą zasobów (plany produkcji).

W kolejnym etapie dane z modelu pośredniego są transformowane bezpośrednio na kod programowy tworzony w wewnętrznych językach programowania systemów symulacyjnych. Ostatni etap to dołączenie do modelu obiektów reprezentujących elementy składowe systemu transportu wewnętrznego oraz sparametryzowanych informacji o procedurach sterujących przepływem procesów na zasobach (realizowane przez operatora systemu), w celu przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych (rys. 1).

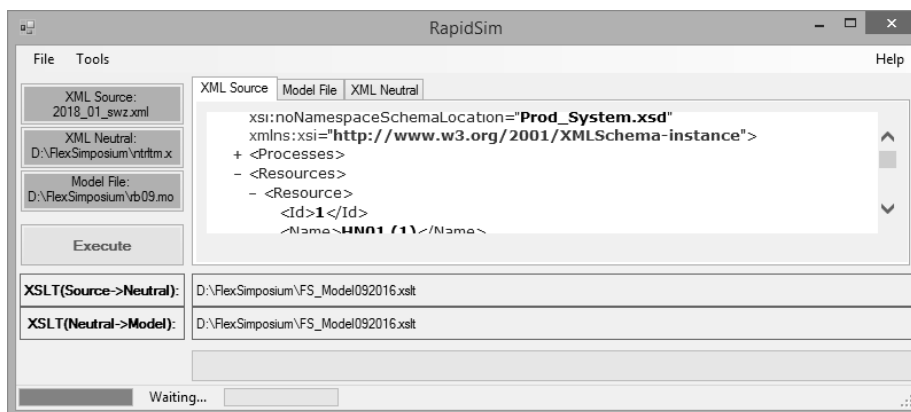
Automatyczne generowanie kodu w wewnętrznym języku programowania systemu symulacyjnego, zawierającego instrukcje tworzące kompletny model symulacyjny, realizowane są z wykorzystaniem metod programowania automatycznego (Automatic Programming). Jako informacje wejściowe w tym procesie wykorzystywane są jedynie instancje pośredniego neutralnego modelu danych [16].



Rys. 1. Półautomatyczne generowanie modeli symulacyjnych
Źródło: [5]

Przedstawiona powyżej metoda oraz opracowane definicje struktury danych wyjściowych z systemów wspomagających planowanie przepływu produkcji oraz

transformacje danych, zostały zaimplementowane w autorskim oprogramowaniu komputerowym RapidSim [17] (rys. 2).



Rys. 2. RapidSim

W skład tego oprogramowania wchodzi następujące moduły:

- graficzny interfejs użytkownika,
- moduł walidacji i parsowania dokumentów XML,
- procesor XSLT,
- generator kodu skryptów modelu symulacyjnego,
- moduł tworzenia i edycji dokumentów XML oraz XSLT,
- moduł automatyzacji parametrów wejściowych.

Wykonane oprogramowanie jest narzędziem uniwersalnym i może zostać skomercjalizowane z dowolnym systemem planowania w dowolnym przedsiębiorstwie produkcyjnym.

5. Przykład realizacji procesu weryfikacji symulacyjnej

Praktyczna implementacja przedstawionej metody została zrealizowana z wykorzystaniem system planowania produkcji powtarzalnej SWZ oraz komercyjnego systemu symulacyjnego FlexSim.

5.1. System SWZ

SWZ to komputerowy system weryfikacji zleceń produkcyjnych. Wspomaga planistę w procesie podejmowania decyzji o przyjęciu bądź odrzuceniu do realizacji zleceń w systemach jednoczesnej wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. Program SWZ umożliwia wyznaczanie procedur sterujących pracą systemu w postaci sekwencji operacji technologicznych (lokalnych reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych) dla każdego zasobu produkcyjnego, wykonywanych cyklicznie w okresie pracy systemu [12].

System SWZ wyposażony jest w moduł generujący pliki XML, zawierający dane wprowadzone do systemu SWZ przez planistę oraz wyniki w postaci procedur sterujących. Opracowana definicja danych w postaci schematu XML, zawiera dane o zasobach produkcyjnych, magazynach międzyzasobowych oraz dane o procesach produkcyjnych

(marszrutę technologiczną, czasy przygotowawczo-zakończeniowe, czasy jednostkowe), a także sekwencje realizacji operacji produkcyjnych dla wszystkich procesów produkcyjnych na zasobach systemu.

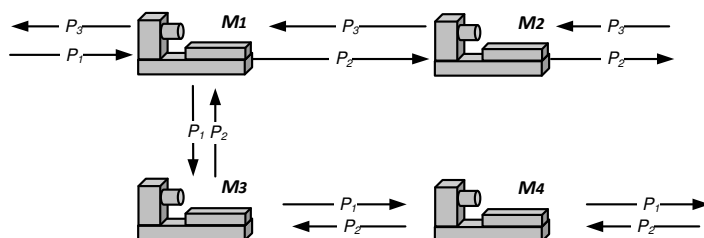
5.2. System symulacyjny FlexSim

FlexSim zapewnia rozbudowane wsparcie dla budowy modeli symulacyjnych, analizy i ich weryfikacji. Został opracowany przez FlexSim Software Products, Inc. FlexSim jest w pełni konfigurowalnym, graficznie zorientowanym oprogramowaniem symulacyjnym, które integruje modelowanie, symulację i wizualizację 3D oraz animację w trójwymiarowym obiektowym środowisku typu „przeciągnij, upuść i połącz”. W systemie symulacyjnym dyskretny lub ciągły przepływ jest tworzony z zastosowaniem predefiniowanych obiektów modelowania, które są kompletnymi parametryzowanymi podstawowymi elementami tworzenia modeli.

Obiekty dyskretny (które tworzą, wysyłają i przechowują elementy oczekujące na realizację, tworzą przepływy produktów poprzez model, grupują i wykonują operacje technologiczne na produktach, itd.) są wykorzystywane do opracowania modeli symulacji zdarzeń dyskretnych, w których zachowanie modelu wynika ze zdarzeń występujących w dyskretnym punkcie w czasie [18]. Predefiniowane obiekty są dostępne w bibliotekach. Ponadto system oferuje mechanizmy, które pozwalają na automatyczny import i eksport danych ze źródeł zewnętrznych oraz mechanizmy ułatwiające analizę danych.

4.3. Tworzenie modelu

Do systemu SWZ wprowadzono dane opisujące system produkcyjny składający się z czterech zasobów produkcyjnych, w którym współbieżnie realizowane są trzy procesy produkcyjne. Przebieg procesów w systemie ilustruje rysunek 3.

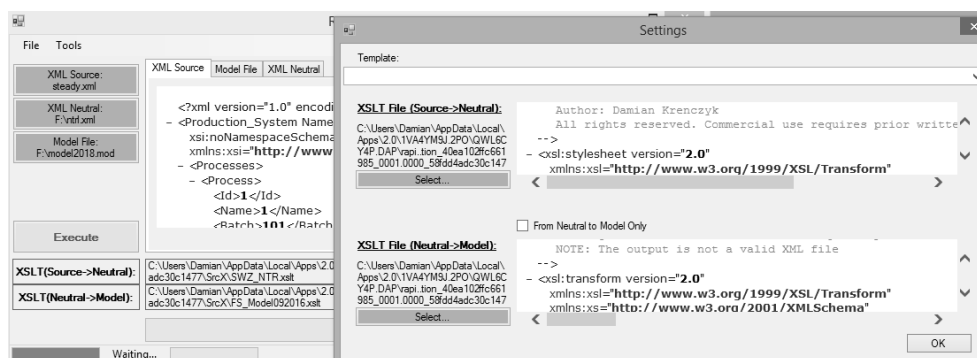


Rys. 3. System produkcyjny

Czasy realizacji procesów na poszczególnych zasobach produkcyjnych wprowadzono do systemu SWZ w macierzach procesów MP_x , gdzie w pierwszym wierszu podano numery zasobów, na których realizowane są operacje danego procesu, w drugim – czasy jednostkowe operacji, a w trzecim – czasy przygotowawczo-zakończeniowe:

$$MP_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad MP_2 = \begin{bmatrix} 4 & 3 & 1 & 2 \\ 5 & 7 & 5 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad MP_3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 4 & 3 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Następnie, w celu wyznaczenia reguł sterujących pracą zasobów w postaci sekwencji operacji w cyklu pracy, przeprowadzono obliczenia i wygenerowano dokument XML w systemie SWZ. Zawiera on dane dotyczące zasobów produkcyjnych, magazynów, dane o procesach produkcyjnych oraz reguły sterujące pracą zasobów.



Rys. 4. Wczytane dane w systemie RapidSim

Wygenerowany dokument XML z systemu SWZ wczytano w programie RapidSim oraz (dla przygotowanych plików wsadowych transformacji i mapowania danych) wygenerowano plik wejściowy do systemu symulacyjnego FlexSim (rys. 4), zawierający kompletny model symulacyjny, wraz z danymi dotyczącymi systemu produkcyjnego oraz przepływu zleceń produkcyjnych.

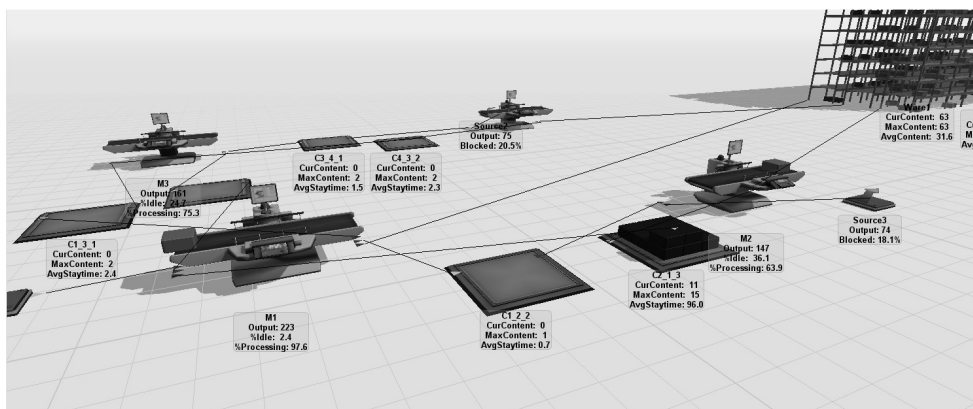
Kod modelu symulacyjnego zawiera wstępnie sparametryzowane obiekty podstawowe, do których można dodać i sparametryzować obiekty odpowiadające za elementy składowe systemu transportu wewnętrznego (por. rys. 1). Rysunek 5 przedstawia utworzony po wczytaniu do oprogramowania FlexSim kompletny model symulacyjny.

Kolejnym krokiem było dodanie obiektów składających się na system transportu międzystanowiskowego. W analizowanym przypadku transport wewnątrz wydziału odbywa się z zastosowaniem wózków widłowych, natomiast transport półproduktów do magazynów międzywydziałowych realizowany jest za pomocą przenośników rolkowych akumulacyjnych. Zmodyfikowany model z uwzględnieniem środków transportu wewnętrznego pokazano na rys. 6. Operator/planista posiadając automatycznie utworzony model symulacyjny, wraz z dodanymi obiektami tworzącymi system transportowy, ma możliwość łatwej i szybkiej parametryzacji poszczególnych jego części. Standardowe parametry definiowane dla obiektów transportowych odnoszą się m.in. do prędkości i przyspieszeń, czasów załadunku i rozładunku czy ich pojemności.

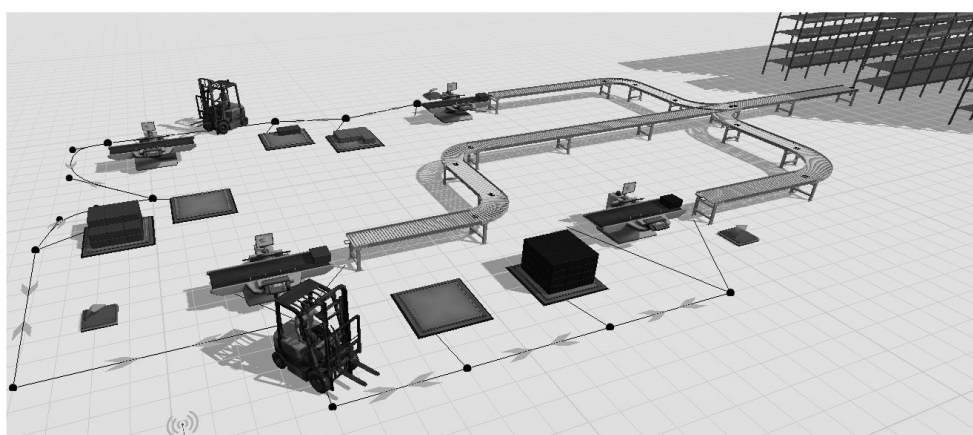
Na rysunku 7 przedstawiono formularze elektroniczne zawierające parametry standardowe dla obiektów reprezentujących wózki widłowe (o dowolnym napędzie) oraz elementy przenośników (dowolnego typu – taśmowe, rolkowe, itd.).

Dla wózków są to: prędkość pionowa podnoszenia (Lift speed), pojemność (Capacity), przyspieszenia i opóźnienia ruchu (Acceleration, Deceleration), maksymalna prędkość (Max speed), czasy załadunku i wyładunku (Load/Unlod time). Podobnie szeroki wachlarz parametrów dotyczy pozostałych środków transportu. Wymienione powyżej parametry wraz z parametrami odzwierciedlającymi rzeczywiste wymiary danego środka transportu, pozwalają na odwzorowanie w modelu komputerowym właściwie całości zachowania obiektu. Odpowiadają one typowym zidentyfikowanym ograniczeniom systemu

logistycznego, które wpływają zarówno na koszty jak i na rzeczywisty czas realizacji zleceń produkcyjnych.



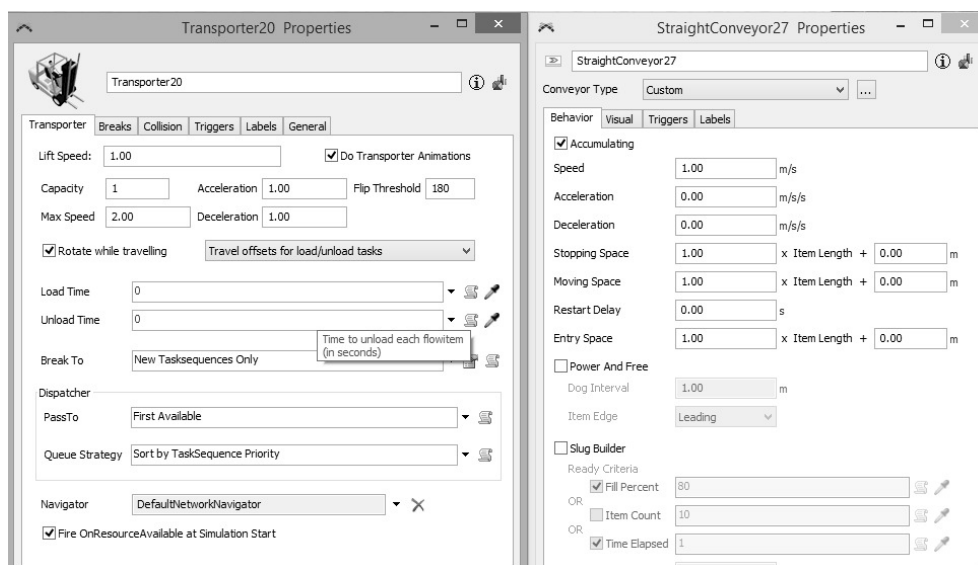
Rys. 5. Model w systemie FlexSim



Rys.6. Model w systemie FlexSim z dodanymi obiektami transportowymi

Ponadto, analiza eksperymentów symulacyjnych pozwala także na weryfikację aspektów związanych z ergonomią pracy w systemie produkcyjnym i logistycznym wraz z analizą ewentualnych kolizji i ograniczeń geometrycznych (szerokość tras przejazdów, powierzchnia pól odkładczych, itp.).

W celu porównania wpływu systemu transportowego na analizowany model systemu produkcyjnego, przeprowadzono eksperymenty symulacyjne monitorując rozkład procentowy stanu zasobów produkcyjnych i transportowych oraz wydajność dla poszczególnych procesów. Danymi wejściowymi były informacje uzyskane z systemu planowania produkcji SWZ, dotyczące sposobu przepływu procesów w systemie wraz z regułami sterującymi pracą zasobów. System ten bierze pod uwagę jedynie czasy operacji na zasobach produkcyjnych, nie uwzględniając operacji transportowych (jak wiele innych systemów harmonogramowania). Wielkości współczynników wykorzystania zasobów dla poszczególnych maszyn wyznaczone w systemie SWZ wynosiły odpowiednio: M1 - 100% (zasiób krytyczny), M2 i M4 - 67% oraz M3 - 76%. Dane te porównano z wynikami

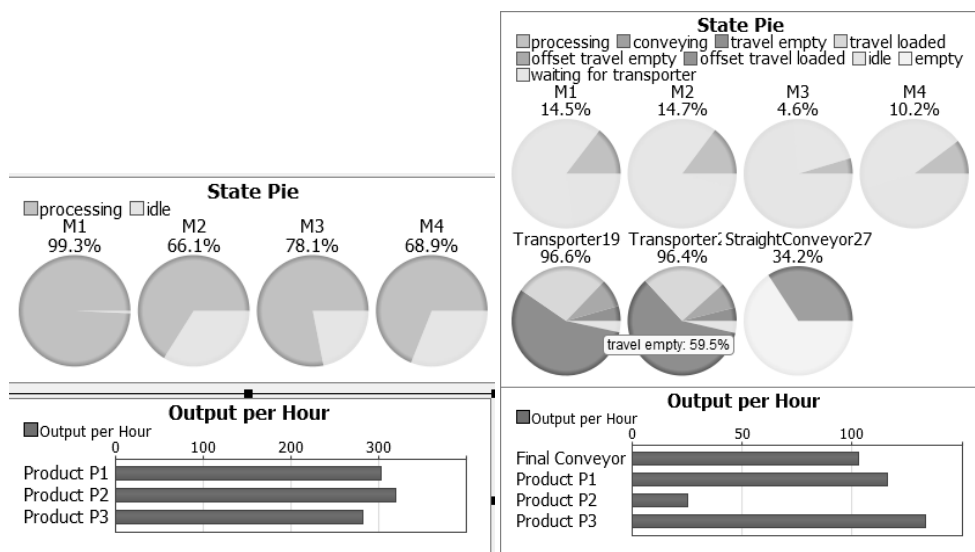


Rys.7. Parametry standardowe obiektów transportowych

symulacji. Na rysunku 8 pokazano szczegółowe wyniki bez uwzględnienia środków transportu (po lewej stronie) z wynikami z jego uwzględnieniem (po prawej), dla których przyjęto liczbę wózków widłowych w systemie w poziomie czterech sztuk. Uzyskane wyniki potwierdziły wielkości obciążenia zasobów uzyskane w systemie SWZ oraz pokazały znaczący wpływ systemu transportu wewnętrznego zarówno na czasy realizacji zleceń, jak i na rozkład wykorzystania poszczególnych stanowisk. W analizowanym przypadku wydajność wyraźnie spadła - np. dla produktu P1 zmalała przeszło trzykrotnie po uwzględnieniu w analizie czasów transportu wewnętrznego (wartości *output per Hour* dla P1). Związane jest to z czasami oczekiwania na dostarczenie półproduktów i surowców. Oczywiście wpływ ten zależy od wydajności samego systemu transportowego, na który z kolei wpływa liczba dostępnych środków transportowych.

Zwiększając liczbę środków transportu różnica ta maleje, lecz z drugiej strony jednocześnie rosną koszt eksploatacji i inwestycji w system transportowy. Tym samym zastosowanie narzędzi symulacyjnych może wspomagać proces decyzyjny związany zarówno z doбором typu jak i liczby środków transportowych.

Przedstawiony przykład tworzenia modelu symulacyjnego wraz z wynikami przeprowadzonych eksperymentów, pokazuje przydatność proponowanego rozwiązania we wspomagananiu procesu weryfikacji planów przepływu produkcji. Dodatkowo może być cennym narzędziem optymalizacji parametrów systemu transportowego, w zależności od przyjętych kryteriów oceny poszukiwanych rozwiązań.



Rys. 8. Porównanie wyników symulacji

5. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda integracji systemów planowania z systemami symulacji dyskretnej stanowiąca jednocześnie metodę półautomatycznego generowania modeli dla systemów symulacyjnych, umożliwia szybkie ich tworzenie oraz łatwą modyfikację i parametryzację. Może stać się sprawnym i skutecznym narzędziem wspomagającym proces planowania i weryfikacji przepływu produkcji w warunkach ograniczeń wytwórczych oraz ograniczeń związanych z systemem transportu wewnętrznego. Opracowane oprogramowanie RapidSim potwierdziło swoją przydatność jako uniwersalny moduł integrujący. Pokazane wyniki eksperymentów wskazują także na przydatność przedstawionej koncepcji wykorzystania symulacji w procesach wspomagania decyzji w obszarze optymalizacji typu i liczby środków transportowych. Pokazany na przykładzie zbiór parametrów i środków stanowi otwarty katalog obiektów, którymi dysponuje planista. Modele pokazane w tym artykule są dostępne do pobrania pod adresem <http://imms.home.pl/rapidsim/IZIP2018.zip>.

Literatura

1. Hosseini-Nasab H., Fereidouni S., Fatemi Ghomi S.M.T. i in.: Classification of facility layout problems: a review study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2018, Vol. 94: 957 –977.
2. Framinan J.M., Leisten R., Ruiz García R.: Overview of Scheduling Tools. In: *Manufacturing Scheduling Systems*. Springer 2014, London.
3. Abedinnia H., Glock C.H., Schneider M.D.: Machine scheduling in production: A content analysis. *Applied Mathematical Modelling*, Volume 50, 2017, s. 279-299.
4. Krenczyk D., Kempa W.M., Kalinowski K., Grabowik C., Paprocka I.: Production planning and scheduling with material handling using modelling and simulation. *MATEC Web of Conferences* 112, 09015, 2017.

5. Krenczyk D., Jagodziński M.: Wspomaganie weryfikacji przepływu produkcji w warunkach ograniczeń produkcyjnych poprzez integrację systemów ERP z systemami symulacyjnymi. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, 2016, t. 17, z. 12, cz. 2, s. 251-164.
6. Tompkins A., White J.A., Bozer Y.A., Frazelle E.H., Tanchoco J.M.A., Trevino J.: *Facilities planning*, Wiley, New York, 2003.
7. Zuehlke D.: SmartFactory - Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34, 2010, s. 129–138.
8. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0, 2013 Working Group.
9. Rashid A., Tjahjono B.: Achieving manufacturing excellence through the integration of enterprise systems and simulation. *Production Planning & Control*, 27 (10), 2016, s. 837-852.
10. Crosbie R.E.: Grand Challenges in Modeling and Simulation. *SCS M&S Magazine*, 2010, 1(1) s. 1-8.
11. Bergmann S., Strassburger S.: Challenges for the automatic generation of simulation models for production systems. *Proc. of the Summer Computer Simulation Conf. SCS 2010*, s. 545–549.
12. Huang Y., Seck M.D., Verbraeck A.: From data to simulation models: component-based model generation with a data-driven approach. *Proc. of the Winter Simul. Conf. 2011*, s. 724–734.
13. Bouh M.A., Riopel D.: Material handling equipment selection: new classifications of equipments and attributes. *International Conference on Industrial Engineering And Systems Management (IESM), Seville, Spain, IEEE 2015*, s. 461-468.
14. Biniasz, D.: Rola i funkcje transportu wewnętrznego małych przedsiębiorstw produkcyjnych - studium przypadku. *Logistyka*, 2014 nr 3, s. 533—542.
15. Dohn K.: Organizacja procesów transportu wewnętrznego-studia przypadków. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej „Transport”, Zeszyt naukowy nr 70*. Wydaw. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009, s. 47-58.
16. Krenczyk D.: Integracja systemów planowania produkcji z dyskretnymi systemami symulacyjnymi. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice*, 2013.
17. RAPID.SIM - Efektywna integracja z systemami symulacyjnymi. <http://imms.home.pl/rapidsim/>, dostęp: 05.01.2018.
18. Beaverstock M., Greenwood A.G., Lavery E., Nordgren B., *Applied Simulation: Modeling and Analysis Using FlexSim*. FlexSim Software Products, Inc. 2012.

Dr hab. inż. Damian KRENCZYK
 Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych
 i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
 Politechnika Śląska
 44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A
 tel.: (032) 237 12 19
 e-mail: damian.krenczyk@polsl.pl