

**Justyna Lemke, Małgorzata
Łatuszyńska**

**Przesłanki zastosowania symulacji
komputerowej w modelowaniu
alokacji zasobów produkcyjnych**

Ekonomiczne Problemy Usług nr 106, 131-148

2013

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

JUSTYNA LEMKE

Akademia Morska w Szczecinie

MAŁGORZATA ŁATUSZYŃSKA

Uniwersytet Szczeciński

PRZESŁANKI ZASTOSOWANIA SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W MODELOWANIU ALOKACJI ZASOBÓW PRODUKCYJNYCH

Wprowadzenie

Wynikająca z globalizacji rynków coraz większa konkurencja wymusza na producentach podejmowanie działań mających na celu maksymalizację wartości dodanej. Wytwarzanie odpowiedniej ilości produktów, za które klient będzie chciał zapłacić stosowną cenę, wymaga między innymi skracania czasu przepływu materiałów, elastyczności produkcji oraz utrzymania odpowiedniej jakości produktów. Dla osiągnięcia optymalnej wartości dodanej, przy zapewnieniu długookresowego zysku, kluczowym staje się planowanie produkcji. Trzeba zwrócić uwagę, że nie chodzi tylko i wyłącznie o określenie, co i kiedy należy wyprodukować, ale o uwzględnienie efektywnego wykorzystania zasobów, czyli między innymi czym oraz gdzie należy wykonać produkty. Równocześnie niezbędne jest monitorowanie i analiza wpływu na organizację zmieniającego się otoczenia oraz podejmowanie stosownych decyzji w chwili wystąpienia zakłóceń. Ryzyko niepowodzenia może zostać zmniejszone dzięki wcześniejszemu przetestowaniu przyjętych rozwiązań. Możliwość taką daje zastosowanie symulacji komputerowej w podejmowaniu decyzji dotyczących alokacji zasobów produkcyjnych.

Celem artykułu jest analiza przesłanek, które powodują, że metoda symulacji komputerowej w konwencji dynamiki systemowej może być z sukcesem zastosowana do wspomagania decyzji alokacyjnych. Ponadto w opracowaniu zaprezentowano przykład modelu, za pomocą którego możliwe jest testowanie różnych scenariuszy w zakresie przydziału pracowników do jednostek produkcyjnych.

1. Systemowe ujęcie alokacji zasobów produkcyjnych

Pojęcie paradygmatu systemowego, który w literaturze przedmiotu zwany jest też holistycznym lub myśleniem systemowym, zostało wprowadzone przez Kuhna¹. Prowadzenie badań zgodnych ze szkołą systemową zakłada przejście od nauki obiektywnej (absolutnej) do epistemicznej, czyli zależnej od układu odniesienia. Skutkuje to stwierdzeniami kontekstowymi i wnioskowaniem przybliżonym, będącym kolejnym etapem aproksymacji postrzegania rzeczywistości. Nauka systemowa stanowi samodzielną dziedzinę, która posiada własny przedmiot oraz metody badań. Przedmiotem są systemy, a metody badań koncentrują się na ich określeniu i przedstawianiu oraz wyznaczaniu otoczenia, a także analizowaniu i optymalizacji struktury i zachowania się systemów².

W literaturze przedmiotu istnieje wiele, bardziej lub mniej rozbudowanych, definicji pojęcia system. Uważa się, iż do nauki zostało ono wprowadzone przez amerykańskiego biologa von Bertalanffy'ego³. Autor ogólnej teorii systemów (*general systems theory*) nazwał systemem organizację, w której znany jest i możliwy do wyodrębnienia oraz opisanie zbiór elementów składowych, a także relacji zachodzących między nimi⁴. Obecnie pojęcie system jest bardzo

¹ C. Cempel, *Teoria i inżynieria systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego dla studentów wydziałów politechnicznych*, E Skrypt 2005, neur.am.put.poznan.pl, s. 7.

² Z. Gałdys, W. Pogorzelski, *Elementy analizy systemowej*, Wydawnictwo Naukowe Novum, Płock 2002, s. 25.

³ W. Falkiewicz, *Systemy informacyjne w zarządzaniu. Uwarunkowania, technologie, rodzaje*, C.H. Beck, Warszawa 2002, s. 3; S. Łobejko, *Systemy informacyjne w zarządzaniu wiedzą i innowacją w przedsiębiorstwie*, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2005, s. 15.

⁴ L. von Bertalanffy, *General systems theory*, „Yearbook of the Society for General System Research”, 1956, No. 1, s. 1–10.

pojemne. Jak podaje Falkiewicz, można je odnieść do dowolnego fragmentu rzeczywistości. Systemem może być zarówno rzecz, jak i człowiek, a także pojęcie abstrakcyjne, proces czy zdarzenie⁵.

W literaturze podkreśla się, że system powinien być zdefiniowany w oparciu o cztery podstawowe rygory: ścisłości, niezmienności, zupełności i rozłączności⁶. Wymusza to ścisłe określenie, które z elementów należą do systemu, a które do jego otoczenia. Wraz z identyfikacją otoczenia określa się systemy nadrzędne oraz podsystemy, przy czym, zgodnie z nowoczesną analizą systemową, jak podaje Gałdys, wydzielenie podsystemów z systemu powinno się odbywać według kryterium spełnianych przez nie funkcji⁷. Każdy z obiektów systemu może być przypisany tylko i wyłącznie do jednego z podsystemów. Przy definiowaniu systemu powinno się podać jego cel, a także wejścia, wyjścia i mechanizm przetwarzania (transformacji)⁸.

Jeżeli za system produkcyjny przyjmie się, za Durlikiem, „układ materialny, energetyczny i informacyjny eksploatowany przez człowieka i służący wytwarzaniu określonych produktów (wyrobów lub usług) w celu zaspokojenia różnorodnych potrzeb konsumentów”, to można stwierdzić, że całe przedsiębiorstwo produkcyjne będzie właśnie takim systemem⁹. Wejściami tak rozumianego systemu będą zasoby i niezbędne do procesów gospodarowania nimi informacje, a wyjściami to przede wszystkim produkty, odpady i informacje. Transformacją wejścia w wyjście będą zaś sterować procesy wytwarzania i alokacji zasobów. Co za tym idzie, jak zostało przedstawione na rysunku 1, alokacja zasobów produkcyjnych będzie stanowić podsystem systemu produkcyjnego.

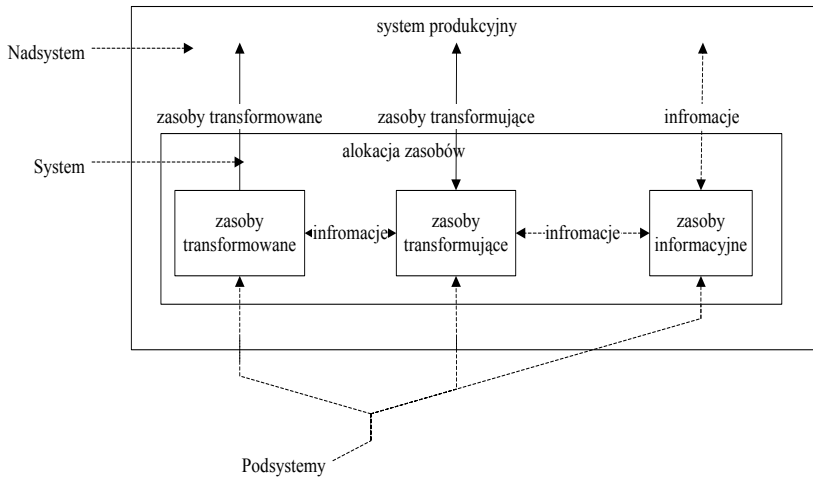
⁵ W. Falkiewicz, *op. cit.*, s. 4.

⁶ Z. Gałdys, W. Pogorzelski, *op. cit.*, s. 24.

⁷ *Ibidem*, s. 53.

⁸ A. Januszewski, *Funkcjonalność informatycznych systemów zarządzania*, t. 1, PWN, Warszawa 2008, s. 20.

⁹ I. Durlik, *Inżynieria zarządzania*, cz. 1, Placet, Warszawa 2004, s. 31.



Rys. 1. Ideowy schemat systemu alokacji zasobów produkcyjnych

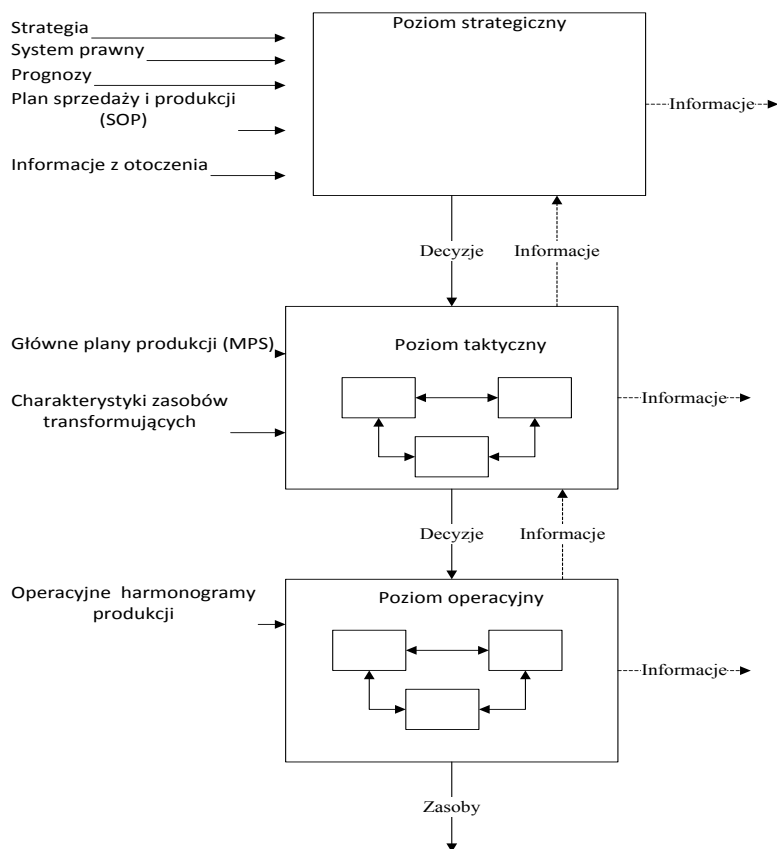
Źródło: opracowanie własne.

Celem podsystemu alokacji zasobów produkcyjnych, zwanego dalej systemem alokacji zasobów, będzie zatem takie przydzielenie ilości zasobów o odpowiedniej jakości do systemu produkcyjnego, aby firma mogła zrealizować założenia strategii oraz zadania systemu logistycznego¹⁰. Realizacja złożonego, określonego w strategii celu wymaga planowania produkcji na wszystkich szczeblach zarządzania: strategicznym, taktycznym i operacyjnym. W literaturze przedmiotu mówi się o wielopoziomowym systemie planowania produkcji¹¹. W zależności od struktury celów i poziomów ich osiągnięć przyjętych za akceptowalne należy podjąć odpowiednio różne decyzje w zakresie wewnętrznej alokacji zasobów¹². Wskazuje to na konieczność uzależnienia struktury systemu alokacji zasobów od wspomnianych wcześniej poziomów planowania, co zostało pokazane na rysunku 2.

¹⁰ Uwarunkowania i sposoby wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw, red. M. Białasiewicz, Oeconomicus, Szczecin 2009, s. 29.

¹¹ M. Kraszewska, *Wielopoziomowy system planowania produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*, „Automatyka” 2008, nr 12 (2), s. 295–304; T. Krupa, T. Ostrowska, *Metoda wielopoziomowego bilansowania zasobów w procesie zarządzania projektami*, Zakopane, www.ptzp.org.pl, 2011, s. 605–615.

¹² T. Krupa, *Elementy organizacji zasoby i zadania*, WNT, Warszawa 2006, s. 32.



Rys. 2. System alokacji zasobów a poziomy planowania produkcji

Źródło: opracowanie własne.

Decyzje dotyczące przydziału zasobów z jednej strony powinny prowadzić do osiągnięcia zysku, z drugiej zaś do zadowolenia wszystkich interesariuszy firmy. Równocześnie, jak uważa Rogowski, czynniki produkcji powinno się dobierać i koordynować w taki sposób, aby produkcja była wykonywana w jak najkrótszym czasie przy maksymalnej efektywności¹³. Przez efektywność w literaturze przedmiotu rozumie się stosunek rzeczywistych do planowanych wyników¹⁴.

¹³ A. Rogowski, *Podstawy organizacji i zarządzania produkcją w przedsiębiorstwie*, CeDeWu, Warszawa 2010, s. 27.

¹⁴ C. Bozarth, R.B. Handfield, *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*, Helion, Gliwice 2007, s. 94.

Pomiaru efektywności proponuje się dokonywać za pomocą Wskaźnika Wykorzystania Wyposażenia OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), który jest wypadkową dostępności, wykorzystania i jakości, przy czym:

- dostępność to stosunek czasu, w którym maszyna faktycznie pracowała do czasu operacyjnego,
- wykorzystanie to stosunek teoretycznego (planowanego) czasu jednostkowego pomnożonego przez rzeczywistą produkcję do rzeczywistego czasu pracy,
- wskaźnik jakości to stosunek produktów prawidłowych do całkowitej, a więc uwzględniającej braki, produkcji¹⁵.

W związku z powyższym, chcąc maksymalizować efektywność, należy tak rozporządzać zasobami, aby maszyna będąc dostępną maksymalnie długo w zaplanowanym, operacyjnym czasie wyprodukowała jak najwięcej niewybrakowanych produktów.

Uzyskanie takiego efektu wiąże się między innymi z odpowiednim, niwelującym przestoje dysponowaniem pracownikami, odpowiednim planowaniem uruchamiania nowej partii produkcyjnej oraz zamawianiem materiałów. Ponadto powinno się dążyć do maksymalizacji obciążeń stanowisk w najbliższych okresach planistycznych. Takie dysponowanie parkiem maszynowym zwiększa zdolność produkcyjną w dalszych okresach¹⁶. Jasiński podkreśla znaczenie nie tyle samego śledzenia zmian w strukturze zasobów, co nieustannej identyfikacji tych zasobów, od których najbardziej zależy wykonalność planów¹⁷. W pierwszym momencie alokacja, czyli przydzielenie maszyny do konkretnego zadania, może wydawać się optymalna, gdyż w pełni wykorzystana jest jej zdolność produkcyjna. Jednak, ze względu na brak możliwości wykonywania przez obrabiarkę innych zleceń, z punktu widzenia całego przedsiębiorstwa taki wariant nie musi już być naj-

¹⁵ S. Zandieh, S.A.N. Tabatabaei, M. Ghandahary, *Evaluation of Overall Equipment Effectiveness in Continous Process Production System of Condensate Stabilization Plant in Assalooyeh*, „Interdisciplinary Journal of Research in Business” 2012, No. 10, s. 590–598.

¹⁶ M. Euwe, H. Wortmann, *Planning Systems in the Next Century (I)*, „Computers in Industry” 1997, No. 34, s. 233–237; *Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem*, red. R. Konsala, PWE, Warszawa 2007, s. 108–109.

¹⁷ *Podstawy zarządzania operacyjnego*, red. Z. Jasiński, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2005, s. 140.

korzystniejszy¹⁸. W związku z powyższym ważne jest, aby rozdzielając zasoby do poszczególnych działań, mieć na uwadze całokształt przedsiębiorstwa. Na dynamiczny charakter alokacji zasobów zwraca uwagę również Marak. Według tego autora alokacja zasobów powinna być tak przeprowadzana aby wykorzystać nadarżające się okazje¹⁹.

Przedstawione problemy związane z analizą systemu alokacji zasobów produkcyjnych dowodzą, że można go zaliczyć do klasy systemów szczególnie złożonych. W literaturze wyrażany jest pogląd, że efektywnym narzędziem badania tego typu systemów jest symulacja komputerowa. Metoda ta, przez swą zdolność manipulacji czasoprzestrzenią, pozwala na ujmowanie oraz zrozumienie odległych w czasie i w przestrzeni powiązań przyczynowo-skutkowych zachodzących między elementami systemu złożonego²⁰.

2. Zastosowania systemowo-dynamicznej symulacji komputerowej w alokacji zasobów produkcyjnych

Dynamika systemowa jest metodą symulacji ciągłej opracowaną przez Forrestera i jego współpracowników z Massachusetts Institute of Technology na przełomie lat 50. i 60. minionego stulecia²¹. Modeli systemowo-dynamicznych dotyczących problematyki alokacji zasobów produkcyjnych należy doszukiwać się wśród opracowań traktujących o systemie produkcyjnym, a także

¹⁸ B. Liwowski, R. Kozłowski, *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Oficyna Wolters Kluwer Business, Kraków 2007, s. 61.

¹⁹ *Elementy nauki o przedsiębiorstwie*, red. M. Marak, Fundacja na rzecz Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1999, s. 29.

²⁰ C. Cempel, *Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań – wybrane zagadnienia dla studentów studiów magisterskich, podyplomowych i doktoranckich. Poradnik*, Instytut Technologii i Eksploatacji, Radom 2003, s.49–62; J.W. Forrester, *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge Mass 1971, s. 88.

²¹ Na temat założeń i zastosowań dynamiki systemowej napisano wiele, m.in. w: F. Campuzano, J. Mula, *Supply Chain Simulation: a system dynamic approach for improving performance*, Springer, New York 2011, s. 37–48.; K. Krupa, *op. cit.*, s. 23–100; M. Łatuszyńska, *Symulacja komputerowa dynamiki systemów*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej, Gorzów Wlkp. 2008, s. 32–77; A. Maciąg, R. Pietroń, S. Kukła, *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2013, s. 182–212; B.J. Ranganath, *System Dynamics: Theory And Case Studies*, I.K. International Publishing House, New Dehli 2008; *Elementy dynamiki systemów*, red. J. Tarajkowski, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2008, s. 33–163.

ogólnie, o zagadnieniach związanych z zarządzaniem zasobami. Propozycje modeli o takiej tematyce można znaleźć w literaturze przedmiotu, począwszy od lat 70. ubiegłego stulecia, na przykład modele: odtworzenia produkcyjnych środków trwałych oraz systemu produkcja–zbyt autorstwa Součka, czy prezentujący interakcje klienta i producenta model Łukaszewicza²². Z nowszych pozycji na uwagę zasługuje opisywany przez Rydzaka i in. model mający na celu ocenę programów poprawy niezawodności maszyn w sytuacji, gdy wewnętrzne lub zewnętrzne zakłócenie doprowadza do zmiany paradygmatu zarządzania z prognostycznego utrzymania ruchu (*proactive maintenance*) na niepożądane reaktywne utrzymanie ruchu (*reactive maintenance*)²³. Z kolei w artykule Suryani i in. podjęto problematykę oceny polityki wzrostu wydajności przy optymistycznych i pesymistycznych prognozach popytu²⁴. Alokacja zasobów dla mających na celu wprowadzenie nowego produktu na rynek procesów badawczo-rozwojowych została opisana również w modelu Repenninga²⁵.

Z czasem zaczęto dostrzegać potrzeby wykraczające poza klasyczne modelowanie systemowo-dynamiczne. Größler, w uwzględniającym specyfikę producenta modelu łańcucha dostaw, zaproponował połączenie dynamiki systemów z modelowaniem agentowym²⁶. Kasperska w swoich modelach optymalizacji trzech produktów: Dynabalance (1-3) i bilansu surowców Dynabalance (3-1), włączyła w funkcjonalność systemowo-dynamicznego modelu optymalizację bazującą na próbach Coyle'a²⁷.

²² R. Łukaszewicz, *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975, s. 216–219; Z. Souček, *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, PWN, Warszawa 1979, s. 233–394.

²³ F. Rydzak, P. Maguszewski, J. Sendzimir, E. Chlebus, *A Concept of Resilience in Production Systems*, www.systemdynamics.org/conferences/2006/proceed/papers/RYDZA149.pdf, 2006 (30.06.2013).

²⁴ E. Suryani, S. Chou, R. Hartono, C. Chen, *Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework*, „Simulation Modelling Practice and Theory” 2000, No. 18, s. 732–751.

²⁵ N.P. Repenning, *A dynamic model of resource allocation in multi-project research and development systems*, „System Dynamics Review” 2000, No. 16 (3), s. 173–212.

²⁶ A Größler, M. Stotz, N. Schiertz, *A Software Interface Between System Dynamics and Agent-Based Simulations-Linking Vensim and RePast*, http://www.systemdynamics.org/conferences/2003/proceed/PAPERS/346.pdf_2003 (30.06.2013).

²⁷ E. Kasperska, *Dynamika systemowa symulacja i optymalizacja*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005, s. 80–129.

Bogatym źródłem modeli obejmujących omawianą problematykę są materiały z międzynarodowych konferencji organizowanych rokrocznie od ponad 30 lat przez System Dynamics Society. Dla celów niniejszego opracowania dokonano przeglądu materiałów konferencyjnych z ostatnich 10 lat. Wyniki przeglądu zestawiono w tabeli 1, w której w sposób hasłowy przedstawiono problematykę przywoływanych referatów. Dokładne informacje są dostępne w wirtualnych materiałach konferencyjnych publikowanych w Internecie na stronie www.systemdynamics.org.

Tabela 1

Zastosowania dynamiki systemowej w modelowaniu zasobów produkcyjnych

Autorzy	Tytuł referatu	Cel modelu
XXX Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, St Gallen, Szwajcaria 2012²⁸		
X. Huang, M. Kunc	Modeling Start-ups using System Dynamics: Towards a generic model	Analiza strategii wzrostu dla rozruchu przedsiębiorstwa produkcyjnego
XXIX Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Washington, USA 2011²⁹		
J. Venkateswaran, K. Margabandu, D. Bijulal, N. Hemachandra	Simulation based Analysis of Service Levels in Stable Production-Inventory Systems	Badanie wydajności systemu kontroli produkcji w warunkach niepewnego popytu
XXVIII Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Seul, Korea 2010³⁰		
Dae Joong Kim, Soyeon Kim	Combination of Cooperation and Competition for Organizational Productivity Improvement	Analiza produktywności w warunkach ograniczonych zasobów w kontekście łączenia współpracy i konkurencji w organizacji
J.B. Morrison	Managing the Dynamics of Process Improvement: Production, Improvement and Learning	Analiza problemu doskonalenia procesu produkcyjnego w warunkach ograniczonych zasobów

²⁸ *Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. E. Husemann, D. Lane, St. Gallen, www.systemdynamics.org, 2012.

²⁹ *Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. J.M. Lyneis, G.P. Richardson, Washington, www.systemdynamics.org, 2011.

³⁰ *Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. T.H. Moon, www.systemdynamics.org, Seoul 2010.

Autorzy	Tytuł referatu	Cel modelu
XXVI Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Ateny, Grecja 2008³¹		
D. Bijulal, J. Venkateswaran	Closed-Loop Supply Chain Stability under Different Production-Inventory Policies	Analiza wpływu różnych strategii kontroli produkcji na liczbę zwracanych produktów
Ch.I. Michaloudis, P.E. Georgiadis	The Efficiency of Alternative Control Mechanisms in a MTO three-stage tandem Production/Inventory System	Badanie efektywności alternatywnych mechanizmów kontroli na system produkcji i zapasów
A. Politou, P.E. Georgiadis	Production Planning and Control in Flow Shop Operations using Drum Buffer Rope Methodology: A System Dynamics Approach	Planowanie procesu produkcji przy zastosowaniu teorii ograniczeń
XXV Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Boston, USA 2007³²		
R.D.R. Kakollu	Modelling and Analysis of Production System of a Steel Plant- a System Dynamics Approach	Analiza alternatywnych strategii produkcyjnych dla stalowni
F. Rydzak, E. Chlebus	Application of Resilience Analysis in Production Systems – Bombardier Transportation Case Study	Analiza elastyczności systemów produkcyjnych w warunkach niepewności i występowania zakłóceń
J. Juering	Engineering Change Orders Influencing Manufacturing Start-Ups	Analiza porównawcza polityk zarządzania zmianami w systemie produkcyjnym
XXIV Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Nijmegen, Norwegia 2006³³		
A.C. Márquez	Maintenance Policies for Capacity Constrained production Systems	Badanie a skuteczność alternatywnych polityk utrzymania produkcji w warunkach ograniczonej zdolności produkcyjnej
F. Rydzak, P. Magnuszewski, J. Sendzimir, E. Chlebus	A Concept of Resilience in Production Systems	Badanie wpływu alternatywnych programów poprawy niezawodności maszyn na elastyczność systemu produkcyjnego w różnych warunkach

³¹ 26th International Conference of the System Dynamics Society, Athens, red. B.C. Dangerfield, www.systemdynamics.org, 2008.

³² Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamic Society, eds. J. Sterman, R. Oliva, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Boston, www.systemdynamics.org, 2007.

³³ Proceedings of the 24th International Conference of the System Dynamic Society, eds. A. Größler, E.A. J.A. Rouwette, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Nijmegen, www.systemdynamics.org, 2006.

Autorzy	Tytuł referatu	Cel modelu
XXIII Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Boston, USA 2005³⁴		
J. Dvornik, A.M. Munitic, F. Mitrovic	SD Simulation Modelling of Organisational Business System of Management of Material & Informational Flows in Productive Company	Kompleksowe modelowanie przedsiębiorstwa produkcyjnego
XXII Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Oxford, Anglia 2004³⁵		
P. Goncalves, J.H. Hines, J. Sterman Ch. Lertpattarapong	The Impact of Endogenous Demand on Push-Pull Production System	Analiza zależności między niestabilnością łańcucha dostaw a popytem konsumentów w warunkach hybrydowego systemu produkcyjnego
XXI Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Nowy York, USA 2003³⁶		
G.E.Zapata, A.C. Marquez	A Qualitative Analysis of Push and Pull Models	Porównanie alternatywnych systemów produkcji
XIX Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Atlanta, USA 2001³⁷		
M. Cloutier	The Maple Sap Products Industry in Quebec: an Economic and Production System Dynamics Model	Analiza procesu produkcji soku klonowego
XVIII Międzynarodowa Konferencja System Dynamics Society, Bergen, Norwegia 2000³⁸		
Marquez A.C., Zapata G.E.,	Studying Behavior Patterns in Production Systems Through Qualitative Analysis	Badanie relacji między zastosowanymi technikami produkcji a zachowaniem się systemu produkcyjnego
Foschiani S.	Strategic Management of Production Systems – a Longitudinal Analysis on the Evolution of Models: Experiences from a Research Project	Wspomaganie strategicznych decyzji podejmowanych w obszarze zarządzania produkcją

Źródło: opracowanie własne na podstawie cytowanych materiałów konferencyjnych.

³⁴ *Proceedings of the 23th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. J. Sterman, N.P. Reppening, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Boston, www.systemdynamics.org, 2005.

³⁵ *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, eds. M. Kennedy, G.W. Winch, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Oxford, www.systemdynamics.org, 2004.

³⁶ *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*, eds. R. Eberlein, V.G. Diker, R.S. Langer, J.I. Rowe, New York, www.systemdynamics.org, 2003.

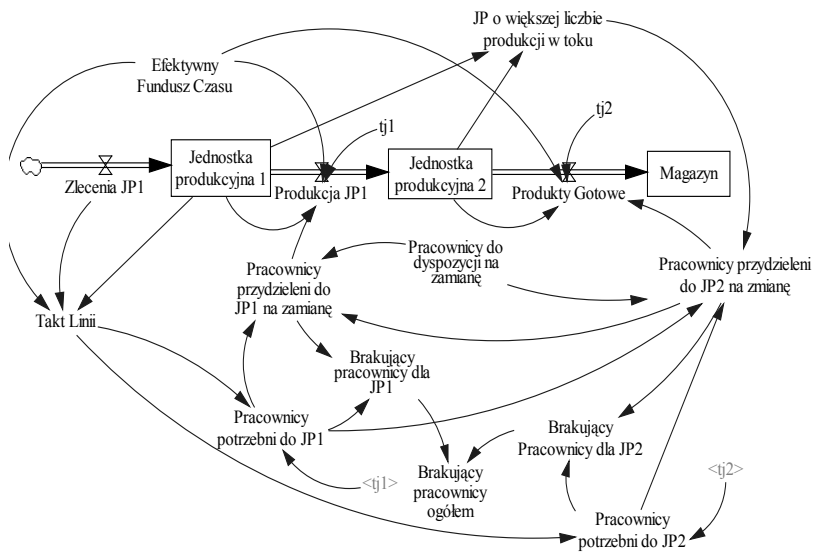
³⁷ *Proceedings of the 19th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. J.H. Hines, V.G. Diker, R.S. Langer, J.I. Rowe, Atlanta, www.systemdynamics.org, 2001.

³⁸ *Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. P.I. Davidsen D.N. Ford, A.N. Mashayekhi, Bergen, www.systemdynamics.org, 2000.

Wymienione przykłady zostały wybrane w sposób mniej lub bardziej przypadkowy, gdyż trudno byłoby odwołać się do wszystkich doniesień dotyczących zastosowania metod symulacji komputerowej do praktyki i teorii zarządzania zasobami w systemach produkcyjnych w różnych krajach i na różnych kontynentach.

3. Model przydziału pracowników do jednostek produkcyjnych

W celu zilustrowania możliwości użycia komputerowego modelu symulacyjnego do generowania informacji przydatnych w alokacji zasobów produkcyjnych zostanie przedstawiony model przydziału pracowników do jednostek produkcyjnych w linii montażowej.



Rys. 3. Model alokacji pracowników

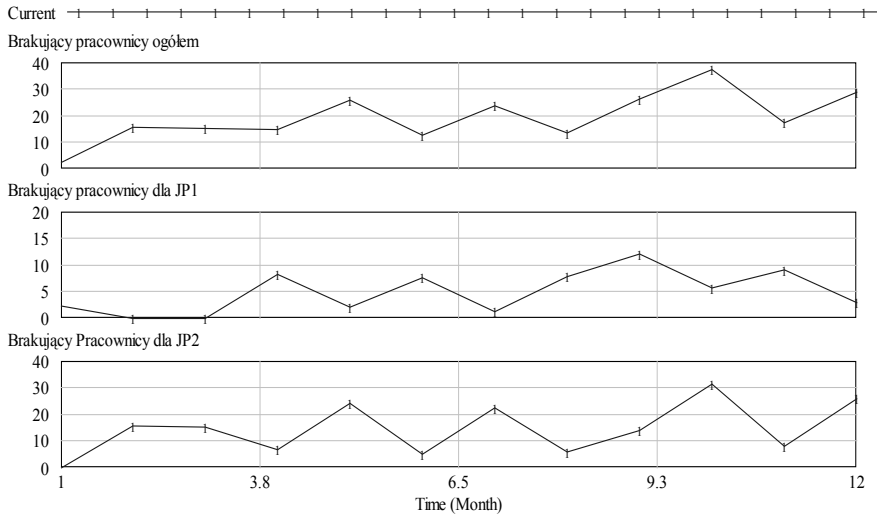
Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 3 zaprezentowano diagram strukturalny modelu zbudowany w konwencji systemowo-dynamicznej. Należy podkreślić, że prezentowany

model ma służyć jedynie do ilustracji problemu. W modelu założono, że każdy produkt ma tę samą marszrutę technologiczną. Dla każdej jednostki produkcyjnej został określony czas jednostkowy, który odzwierciedla pracochłonność wykonania operacji na jednym detalu przez jednego pracownika. W każdym okresie planistycznym firma dysponuje taką samą liczbą pracowników produkcyjnych. Pracownicy mają kwalifikacje, aby obsłużyć obie jednostki produkcyjne. Produkcja odbywa się w systemie trzymianowym, przy czym na każdej ze zmian jest do dyspozycji taka sama liczba pracowników.

Podstawą przydzielania pracowników jest równoważenie obciążenia linii produkcyjnej. Procedura w klasycznym ujęciu została opisana między innymi przez Dębskiego³⁹. W modelu jednak dokonano pewnych modyfikacji tej metody. Przede wszystkim uwzględniono ograniczoną ilość zasobu ludzkiego, co za tym idzie spośród jednostek produkcyjnych zostało wyznaczone „stanowisko decyzyjne”. Jest nim jednostka o najdłuższym jednostkowym czasie produkcji. W prezentowanym modelu jest to jednostka produkcyjna „JP2”. Zadaniem stanowiska decyzyjnego jest określenie, gdzie najpierw należy przydzielić pracowników. Priorytet przydziału jest ustalany przy uwzględnieniu robót w toku na poszczególnych stanowiskach. To, które ma więcej elementów do wykonania, dostanie wymaganą liczbę pracowników. W przypadku gdy nie ma tylu pracowników do dyspozycji, wszyscy wolni zostają przydzieleni do tej jednostki. Drugie w kolejności przydziału stanowisko otrzyma spośród pozostałych pracowników możliwie największą liczbę, jaka została wyznaczona w oparciu o takt produkcyjny. Przy czym wyznaczenie taktu linii odbywa się dla każdego okresu planistycznego (jeden miesiąc w modelu) i jest uzależnione od produkcji niedokończonych na pierwszym stanowisku oraz napływających nowych zleceń.

³⁹ D. Dębski, *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstw*, cz. 1, WSiP, Warszawa, 2009, s. 113.



Rys. 4. Analiza brakującej siły roboczej

Źródło: opracowanie własne.

Analiza zaprezentowanych na rysunku 4 wyników przykładowych eksperymentów symulacyjnych dotyczących braku pracowników wskazuje na rosnący trend ogólnej liczby niedoboru kadry. Jest to wskazówka do bliższego przyjrzenia się systemowi i poszukania przyczyn takiego stanu rzeczy. Rozważyć można między innymi zatrudnienie nowych pracowników bądź zmianę procedury lokowania pracowników.

Podsumowanie

Podejmowanie decyzji dotyczących zasobów w systemie produkcyjnym jest zagadnieniem niezwykle złożonym. Wynika to z konieczności jednoczesnego uwzględnienia wielu obszarów działalności firmy, przy czym nie bez znaczenia pozostaje czynnik czasu. Wymagana jest nieustanna analiza i porównywanie wielu wariantów, co skłania do sięgnięcia po metodę symulacji komputerowej⁴⁰. Na modelu symulacyjnym można eksperymentować i „zmieniając rzeczywistość”, sprawdzać różne opcje decyzyjne. Należy pod-

⁴⁰ A. Januszewski, *op. cit.*, s. 48.

kreślić, że wspomniane wcześniej atrybuty firmy produkcyjnej, tj. zmienność i duża liczba elementów, sprawiają, że odzwierciedlenie rzeczywistości staje się niezwykle skomplikowane⁴¹.

Do analizowania takich właśnie złożonych układów proponuje się zastosowanie metody symulacji komputerowej w konwencji dynamiki systemów. W metodzie tej w badanym układzie rozważanym jako całość identyfikuje się sprzężenia zwrotne pomiędzy poszczególnymi jego elementami. Umożliwia to śledzenie zachodzących równolegle procesów i zjawisk⁴².

Literatura

- Bertalanffy L. von, *General systems theory*, „Yearbook of the Society for General System Research” 1956, nr 1.
- Bozarth C., Handfield R.B., *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*, Helion, Gliwice 2007.
- Campuzano F., Mula J., *Supply Chain Simulation: a system dynamic approach for improving performance*, Springer, New York 2011.
- Cempel C., *Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań – wybrane zagadnienia dla studentów studiów magisterskich, podyplomowych i doktoranckich. Poradnik*, Instytut Technologii i Eksploatacji, Radom 2003.
- Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego dla studentów wydziałów politechnicznych*, E-skrypt 2005, neur.am.put.poznan.pl.
- Dębski D., *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstw*, cz. 1, WSiP, Warszawa 2009.
- Durlik I., *Inżynieria zarządzania*, cz. 1, Placet, Warszawa 2004.
- Elementy dynamiki systemów*, red. J. Tarajkowski, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2008.
- Elementy nauki o przedsiębiorstwie*, red. M. Marak, Fundacja na rzecz Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1999.
- Euwe M., Wortmann H., *Planning Systems in the Next Century (I)*, „Computers in Industry” 1997, No. 34.
- Falkiewicz W., *Systemy informacyjne w zarządzaniu. Uwarunkowania, technologie, rodzaje*, C.H. Beck, Warszawa 2002.
- Fałda B., *Modelowanie dynamiczne procesów ekonomicznych*, Wydawnictwo KUL, Lublin 2010.

⁴¹ B. Fałda, *Modelowanie dynamiczne procesów ekonomicznych*, Wydawnictwo KUL, Lublin 2010, s. 96.

⁴² *Elementy dynamiki systemów...*, s. 69.

- Forrester J.W., *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge Mass 1971.
- Galdys Z., Pogorzelski W., *Elementy analizy systemowej*, Wydawnictwo Naukowe Novum, Płock 2002.
- Größler A., Stotz M., Schiertz N., *A Software Interface Between System Dynamics and Agent-Based Simulations-Linking Vensim and RePast*, <http://www.systemdynamics.org/conferences/2003/proceed/PAPERS/346.pdf> 2003.
- Januszewski A., *Funkcjonalność informatycznych systemów zarządzania*, t. 1, PWN, Warszawa 2008.
- Kasperska E., *Dynamika systemowa, symulacja i optymalizacja*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- Komputerowe wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwem*, red. R. Konsala, PWE, Warszawa 2007.
- Kraszewska M., *Wielopoziomowy system planowania produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*, „Automatyka” 2008, nr 12 (2).
- Krupa T., Ostrowska T., *Metoda wielopoziomowego bilansowania zasobów w procesie zarządzania projektami*, Zakopane 2011.
- Krupa T., *Elementy organizacji, zasoby i zadania*, WNT, Warszawa 2006.
- Liwowski B., Kozłowski R., *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Oficyna Wolters Kluwer Business, Kraków 2007.
- Łatuszyńska M., *Symulacja komputerowa dynamiki systemów*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej, Gorzów Wielkopolski 2008.
- S. Łobejko, *Systemy informacyjne w zarządzaniu wiedzą i innowacją w przedsiębiorstwie*, SGH, Warszawa 2005.
- Łukaszewicz R., *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975.
- Maciąg A., Pietroń R., Kukla S., *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2013.
- Podstawy zarządzania operacyjnego*, red. Z. Jasiński, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2005.
- Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. E. Husemann, D. Lane, St. Gallen, www.systemdynamics.org 2012.
- Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. J.M. Lyneis, G.P. Richardson, Washington, www.systemdynamics.org 2011.
- Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society*, ed. T.H. Moon, Seoul, www.systemdynamics.org 2010.
- Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society*, ed. B.C. Dangerfield, Athens, www.systemdynamics.org 2008.
- Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. J. Sterman, R. Oliva, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Boston, www.systemdynamics.org 2007.

- Proceedings of the 24th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. A. Größler, E.A.J.A. Rouwette, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Nijmegen, www.systemdynamics.org 2006.
- Proceedings of the 23th International Conference of the System Dynamic Society*, eds. J. Sterman, N.P. Reppening, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Boston, www.systemdynamics.org 2005.
- Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, eds. M. Kennedy, G.W. Winch, R.S. Langer, J.I. Rowe, J.M. Yanni, Oxford, www.systemdynamics.org. 2004.
- Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*, eds. R. Eberlein, V.G. Diker, R.S. Langer, J.I. Rowe, New York, www.systemdynamics.org 2003.
- Proceedings of the 19th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. J.H. Hines, V.G. Diker, R.S. Langer, J.I. Rowe, Atlanta, www.systemdynamics.org 2001.
- Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society*, eds. P.I. Davidsen, D.N. Ford, A.N. Mashayekhi, Bergen, www.systemdynamics.org 2000.
- Ranganath B.J., *System Dynamics: Theory and Case Studies*, I.K. International Publishing House, New Dehli 2008.
- Repenning N.P., *A dynamic model of resource allocation in multi-projekt research and development systems*, „System Dynamics Review” 2000, No. 16 (3).
- Rogowski A., *Podstawy organizacji i zarządzania produkcją w przedsiębiorstwie*, CeDeWu, Warszawa 2010.
- Uwarunkowania i sposoby wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw*, red. M. Białasiewicz, Oeconomicus, Szczecin 2009.
- Rydzak F., Maguszewski P., Sendzimir J., Chlebus E., *A Concept of Resilience in Production Systems*, www.systemdynamics.org/conferences/2006/proceed/papers/RYDZA149.pdf 2006.
- Souček Z., *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, PWN, Warszawa 1979.
- Suryani E., Chou S., Hartono R., C. Chen, *Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework*, „Simulation Modelling Practice and Theory” 2000, No. 18.
- Szaban B., Szaban J., *Symulacja komputerowa systemów dynamicznych*, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1983.
- Zandieh S., Tabatabaei S.A.N., Ghandahary M., *Evaluation of Overall Equipment Effectiveness in Continous Process Production System of Condensate Stabilization Plant in Assalooyeh*, „Interdisciplinary Journal of Research in Business” 2012, No. 10.

**THE USE THE COMPUTER SIMULATION IN THE MODELING
OF PRODUCTION RESOURCE ALLOCATION****Summary**

Making decisions on the allocation of production resources is very difficult due to their multilevel nature and dynamics of the enterprise and its environment. The essence of the process for the resources allocation is not only present observations or past events, but also knowledge of planned activities effects - and on this basis the selection of the desired option. For this reason, it is advisable to use in this process methods allowing to generate information on the expected effects of implementation various scenarios of allocation. This article analyzes the reasons that make the method of System Dynamics simulation satisfies this requirement, as well as an example of the model, with which it is possible to test various scenarios in the allocation of workers to production units.

Translated by Małgorzata Łatuszyńska