

Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania



Justyna Lemke

Autoreferat rozprawy doktorskiej:

**Modelowanie alokacji zasobów produkcyjnych z wykorzystaniem
metod symulacji komputerowej**

Promotor:

Prof. US dr. hab. Małgorzata Łatuszyńska
Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Instytut Informatyki w Zarządzaniu

Recenzenci:

prof. zw. dr hab. Dorota Witkowska
Uniwersytet Łódzki
Wydział Zarządzania
Katedra Finansów i Strategii Przedsiębiorstwa

dr hab. inż. Kesra Nermend, prof. US
Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
Instytut Informatyki w Zarządzaniu

Szczecin 2015

Spis treści

| | |
|--|----|
| 1. Postawienie problemu badawczego | 3 |
| 2. Cel i hipoteza pracy | 4 |
| 3. Układ rozprawy | 5 |
| 4. Procedura badawcza | 7 |
| 5. Wybrane wyniki badań | 8 |
| 6. Koncepcja systemu symulacyjnego | 19 |
| 7. Wnioski końcowe | 22 |
| 8. Wykaz publikacji własnych | 24 |

1. Postawienie problemu badawczego

Alokacja zasobów jest jednym z głównych obszarów badawczych jakim zajmuje się ekonomia. W przedsiębiorstwie produkcyjnym wyraża się ona przez przydział zasobów do poszczególnych procesów¹, co wymaga uwzględnienia wielu aspektów. Po pierwsze zasoby są ograniczone. Po drugie, w tym samym czasie mogą wystąpić konkurencyjne działania, do których można je przydzielać. Wreszcie, firma realizując produkcję poprzez przydzielanie zasobów, musi spełniać cele postawione na różnych poziomach planowania. Nie bez znaczenia jest także fakt, że system produkcyjny, w którym realizowana jest alokacja, jest szczególnie złożony - charakteryzuje się dynamiką oraz licznymi nieliniowymi powiązaniem i sprzężeniami między poszczególnymi elementami. Ponadto występują duże odległości w czasie i przestrzeni pomiędzy zmianą w systemie, a jej skutkiem (opóźnienie czasowe). W konsekwencji system ten może odmiennie reagować na zmiany w otoczeniu bezpośrednio po ich zajściu i po dłuższym okresie².

Wszystko to sprawia, że badanie mechanizmów alokacji zasobów i skutków ich działania w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest wyzwaniem, które bez odpowiedniego wsparcia metodologicznego wydaje się być bardzo trudne do realizacji. Proponowane w literaturze przedmiotu metody i techniki organizatorskie wspomagające ocenę i badanie procesów związanych z alokacją zasobów w jednostkach gospodarczych, jak metoda Delficka czy wykres Ishikawy, z powodu nieuwzględniania w nich zależności ilościowych pomiędzy danymi wejściowymi, a wynikami na wyjściu, mogą stanowić jedynie wstęp do pogłębionych badań³. Metody badań operacyjnych (modele programowania liniowego, nieliniowego) natomiast nie uwzględniają w pełni wspomnianej złożoności dynamicznej procesu produkcyjnego. Chociaż analiza ekonomiczna dopuszcza znacznie uproszczone modele rzeczywistości, to są takie zjawiska i procesy, jak np. alokacja zasobów, dla wyjaśnienia których takie modele okazują się być niewystarczające⁴.

W XXI w., w dobie wszechobecnej komputeryzacji, swoje miejsce znalazły metody modelowania i symulacji komputerowej. Symulacja, zgodnie z literaturą przedmiotu, daje

¹Waters D.: *Zarządzanie operacyjne. Towary i usługi*. PWN, Warszawa 2001, s. 32.

²Wierciszewska A., Lasek M.: *Dynamika systemów jako narzędzie modelowania procesów rozwoju gospodarczego*. Optimum. Studia Ekonomiczne, 1(49) 2011, s. 63-79.

³Metody i techniki organizatorskie to zbiór metod służących do rozwiązania problemów organizacyjnych. W przypadku systemów produkcyjnych jest to poszukiwanie rozwiązań, które zapewnią między innymi wysoki poziom produktywności poprzez odpowiedni poziom wykorzystania zasobów. O tym min w: Lis S (red.): *Vademecum produktywności*, Placet 1999, s. 117-141.

⁴Begg D., Fischer S., Dornbusch R.: *Mikroekonomia*, PWE, Warszawa, s. 113.

lepsze rezultaty aniżeli metody analityczne w badaniu złożonych systemów⁵. Forrester uważa wręcz, że „odzwierciedlenie zachowania się systemów szczególnie złożonych leży poza granicami możliwości tradycyjnych metod matematycznych⁶. Ponadto symulacja pozwala na większą precyzję obliczeń oraz, co ważniejsze, w znacznym stopniu skraca czas uzyskania rozwiązań. Kolejną zaletą jest możliwość przeprowadzenia trudnych do zrealizowania w realnym systemie eksperymentów.

Dotychczasowe wyniki badań wskazują na stosowanie różnorodnych metod modelowania i symulacji w ocenie realizacji zadań związanych z alokacją zasobów produkcyjnych⁷, co znalazło również odzwierciedlenie w pracach autorki⁸, ale wciąż pozostaje otwarte pytanie, którą z metod symulacji komputerowej użyć, aby zbudować kompleksowy model alokacji zasobów produkcyjnych?

2. Cel i hipoteza pracy

Za cel rozprawy przyjęto **opracowanie kompleksowego, precyzyjnie odwzorowującego system rzeczywisty modelu symulacyjnego alokacji zasobów produkcyjnych**. Przez kompleksowy model należy rozumieć taki, który pokazuje modelowane zjawisko w całej jego złożoności. W takim modelu uwzględnia się nie tylko zależności wewnętrzne pomiędzy elementami badanego systemu, ale i reakcje systemu na bodźce zewnętrzne⁹. Kompleksowe odwzorowanie można zatem utożsamić z holistycznym, całościowym ujmowaniem badanego systemu. Z kolei model precyzyjny

⁵O tym m in w: Cempel C.: *Nowoczesne zagadnienia metodologii i filozofii badań – wybrane zagadnienia dla studentów studiów doktoranckich i podyplomowych*. e-skrypt 2002, <http://neur.am.put.poznan.pl>, [dostęp z dn. 10-08-2012], s. 50; Forrester J. W.: *Planung unter dem Einfluss komplexer sozialer Systeme* [w:] Ronge V., Schmiege G.: *Politische Planung in Theorie und Praxis*. München, R. Piper & Co. Verlag 1971, s. 88.

⁶Forrester J. W.: *Planung ...op cit.*, s. 88.

⁷Porównaj: Mula J., Poler R., Garcia-Sabater J. P., Lario F. C.: *Models for Production Planning under uncertainty: A Review*. *International Journal of Production Economics*, (103) 2006, s. 271-285 oraz artykuły przedstawione w tabelach 9,10,16,17 i 21 doktoratu.

⁸Lemke J.: *Rola symulacji w zintegrowanych systemach zarządzania*, *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 16(88) 2009, s. 59-62.; Lemke J.: *Wspomaganie decyzji produkcyjnych przy pomocy modelu symulacyjnego*. *Metody Informatyki Stosowanej*, (14) 2008, s. 139-145; Lemke J.: *Zastosowanie narzędzi symulacyjnych w zarządzaniu produkcją*. [w:] *Metody Ilościowe w Ekonomii Wybrane Problemy*, pod red. Tarczyński W, Nermend K., Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2009, s. 97-110; Lemke J., Łatuszyńska M.: *Koncepcja symulatora dla zintegrowanych systemów informatycznych zarządzania*, [w:] *Materiały II Konferencji Technologie Informatyczne w Zarządzaniu – Zastosowania systemów e-biznesu w gospodarce wrzesień 2007*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Informatycznej w Warszawie, Warszawa 2007, s. 191-202.; Lemke J., Łatuszyńska M.: *Przesłanki zastosowania symulacji komputerowej w alokacji zasobów produkcyjnych*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Ekonomiczne Problemy Usług*, 78(1)2013, s. 131-148.

⁹Dohn K.: *Studium oceny procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie przemysłowym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006, s. 13; Krupa T.: *Elementy organizacji. Zasoby i zadania*. WNT, Warszawa 2006, s. 15.

to taki, który odznacza się akceptowalną dla użytkownika dokładnością i co za tym idzie poprawnie odwzorowuje rzeczywistość.

Zrealizowanie tak sformułowanego głównego celu pracy wymagało ponadto opracowania **podstaw metodycznych modelowania modularnego systemu produkcyjnego ze szczególnym uwzględnieniem alokacji zasobów produkcyjnych.**

W rozprawie weryfikowano hipotezę badawczą głoszącą, że **zastosowanie metody systemowo-dynamicznego modelowania modularnego pozwoli na precyzyjne i kompleksowe odzwierciedlenie alokacji zasobów produkcyjnych.**

Rozprawa ma charakter głównie poznawczy, ale również metodyczny i stosowany. Aspekt poznawczy wyraża się poprzez studia literaturowe. Aspekt metodyczny polega na opracowaniu koncepcji systemowo-dynamicznego modelowania alokacji zasobów produkcyjnych. Stosowany charakter sprowadza się do opracowania i zweryfikowania modelu alokacji zasobów produkcyjnych dla wybranej do studium przypadku firmy Noratel. Dodatkowo zaproponowano koncepcję systemu symulacyjnego dla wspomagania oceny ekonomicznej alokacji zasobów produkcyjnych.

Koncepcja modelowania modularnego alokacji zasobów produkcyjnych jest uniwersalna, co oznacza możliwość wykorzystania jej w modelowaniu przedsiębiorstw charakteryzujących się różnymi systemami produkcyjnymi, w celu oceny alokacji zasobów pod różnym kątem. Ponadto podjęta w doktoracie tematyka alokacji zasobów produkcyjnych oraz modelowania i symulacji wymagała poszukiwania informacji rozproszonych w wielu obszarach nauki, co nadaje jej charakter interdyscyplinarny.

3. Układ rozprawy

Praca składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów oraz zakończenia. Na końcu zamieszczono załącznik z opracowanymi modułami systemowo - dynamicznymi. W pierwszym rozdziale, po dokonaniu przeglądu literatury, uporządkowano aparat pojęciowy dotyczący zasobów w tym także zasobów produkcyjnych. Wskazano również na znaczenie właściwej alokacji zasobów dla przedsiębiorstwa. W ostatnim podpunkcie zaproponowano systemowe ujęcie alokacji zasobów produkcyjnych. Szczególna uwaga została zwrócona na złożoność systemu alokacji zasobów produkcyjnych.

Drugi rozdział został poświęcony tematyce modelowania alokacji zasobów produkcyjnych. Na wstępie dokonano przeglądu metod i technik planowania alokacji zasobów produkcyjnych. Następnie przeanalizowano definicje modelu i modelowania oraz

dokonano analizy proponowanych w literaturze metod modelowania systemów produkcyjnych pod kątem przydatności w planowaniu alokacji zasobów produkcyjnych. W efekcie wykazano zasadność zastosowania metod modelowania w odwzorowaniu alokacji zasobów produkcyjnych, a także wskazano na modelowanie symulacyjne jako najbardziej adekwatną metodę badania dynamicznego systemu alokacji zasobów produkcyjnych.

W trzecim rozdziale skoncentrowano się na symulacji komputerowej jako metodzie badawczej. Omówiono etapy modelowania symulacyjnego, a także dokonano krytycznej oceny symulacji komputerowej pod kątem jej wad i zalet. W drugim podpunkcie uzasadniono wykorzystanie symulacji w planowaniu alokacji zasobów produkcyjnych. Trzeci podpunkt został poświęcony porównaniu metod i technik wykorzystywanych w symulacji systemów produkcyjnych. Zaprezentowano wybrane publikacje z konferencji krajowych i zagranicznych modeli symulacyjnych podejmujących tematykę zasobów w przedsiębiorstwie produkcyjnym, wskazując na szerokie zainteresowanie badaczy modelowaniem symulacyjnym systemów produkcyjnych w tym także alokacji zasobów. Wykazano, że za każda z analizowanych metod modelowania symulacyjnego jest w stanie badać fragmenty systemu alokacji zasobów produkcyjnych. Zasygnalizowano, że dla kompleksowego odwzorowania wspomnianego systemu najbardziej odpowiednia będzie dynamika systemowa.

W czwartym rozdziale Omówiono podstawy metodologiczne oraz zastosowania modelowania i symulacji w konwencji systemowo-dynamicznej w badaniu systemu alokacji zasobów produkcyjnych. Przeanalizowano poszczególne etapy modelowania jak również wykorzystywane we wspomnianej symulacji oprogramowanie. Wskazano na istniejący w modelowaniu systemowo - dynamicznym nurt konstrukcji modeli w oparciu o skonstruowane wcześniej bloki. Na tej bazie przedstawiono koncepcję systemowo-dynamicznego modelowania modularnego, zaproponowano własną interpretację modułu, a także nazwaną w pracy modelowaniem modularnym procedurę tworzenia z modułów pełnego modelu. Omówiono również autorskie moduły dla systemu alokacji zasobów produkcyjnych. W ostatnim podpunkcie przedstawiono ogólną koncepcję zbudowanego zgodnie z wcześniej zdefiniowanym systemowo - dynamicznym modelowaniem modularnym modelu symulacyjnego alokacji zasobów produkcyjnych. Czwarty rozdział stanowi zamknięcie teoretycznej części weryfikacji hipotezy.

Piąty rozdział jest uzupełnieniem teoretycznych rozważań. Na początku uzasadniono zastosowaną metodę analizy w oparciu o studium przypadku. Równocześnie

zdefiniowano kryteria wyboru przypadku do badania. Następnie omówiono metodologię walidacji i weryfikacji systemowo - dynamicznych modeli symulacyjnych. W kolejnych podpunktach zaprezentowano firmę Noratel, dla której opracowano, zweryfikowano i zwalidowano model symulacyjny alokacji zasobów produkcyjnych. Wyniki eksperymentów symulacyjnych uzyskane za pomocą modelu pozwoliły na potwierdzenie postawionej w pracy hipotezy badawczej.

Szósty rozdział wskazuje na możliwości rozwoju przedstawionej w pracy koncepcji systemowo-dynamicznego modelowania modularnego alokacji zasobów produkcyjnych. Zaproponowano między innymi wykorzystanie przedstawionej koncepcji w informatycznym systemie symulacyjnym, który byłby wsparciem dla analityków w przeprowadzaniu oceny podmiotu oraz poszukiwaniu prawidłowości dotyczących alokacji zasobów w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

Integralną częścią doktoratu jest załącznik, w którym pokazano opracowane moduły, za pomocą których można budować modele z zakresu alokacji zasobów produkcyjnych. Załącznik stanowi egemplifikację bazy modułów.

4. Procedura badawcza

Weryfikację hipotezy przeprowadzono zgodnie z procedurą badawczą, na którą składały się następujące etapy:

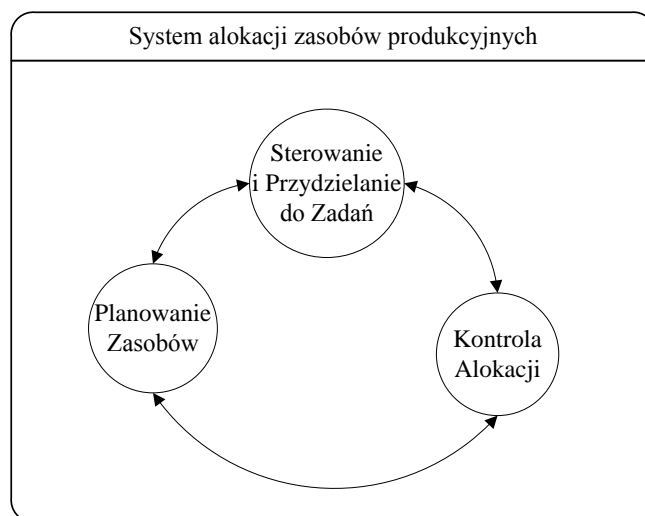
1. analiza złożoności systemu produkcyjnego ze szczególnym uwzględnieniem problematyki alokacji zasobów produkcyjnych;
2. przegląd metod modelowania alokacji zasobów produkcyjnych;
3. analiza porównawcza metod symulacji komputerowej w kontekście zastosowania do badania alokacji zasobów produkcyjnych;
4. opracowanie koncepcji systemowo dynamicznego modelowania modularnego systemu alokacji zasobów produkcyjnych;
5. opracowanie bazy systemowo – dynamicznych, opisujących elementarne części systemu alokacji zasobów produkcyjnych modułów;
6. opracowanie modelu konceptualnego alokacji zasobów produkcyjnych;
7. weryfikacja i walidacja proponowanego modelu.

W każdym etapie realizacji badań posłużono się metodą studiów literaturowych z danej tematyki. Dodatkowo w trakcie realizacji drugiego etapu przeprowadzono analizę metod planowania i oceny alokacji zasobów produkcyjnych, a także porównanie metod modelowania systemów produkcyjnych. W trzecim etapie zbadano metodą analizy

porównawczej metody symulacji komputerowej. Etapy czwarty, piąty i szósty procedury badawczej są wynikiem syntezy teorii modelowania i symulacji (w tym dynamiki systemowej), ekonomii, zarządzania i inżynierii produkcji. Moduły oraz model konceptualny zostały opracowane zgodnie z metodologią modelowania systemowo-dynamicznego. Efektem etapu siódmego jest empiryczne potwierdzenie opracowanych we wcześniejszych etapach teoretycznych założeń. Posłużono się w tym celu metodą analizy studium przypadku

5. Wybrane wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych podczas pierwszego etapu procedury badawczej studiów literaturowych, odnoszących się do zasobów w systemie produkcyjnym, zdefiniowano system alokacji zasobów produkcyjnych, którego celem jest realizacja procesów z zakresu planowania, sterowania i kontroli wykorzystania zasobów (rys. 1). Wykazano ponadto, że system ten jest podsystemem dynamicznego systemu produkcyjnego, a każdy z jego elementów jest uzależniony jest od efektów pracy pozostałych.



Rysunek 1. Podsystemy systemu alokacji zasobów produkcyjnych
Źródło: opracowanie własne

System alokacji zasobów produkcyjnych należy do klasy systemów złożonych, w związku z czym do jego modelowania wymagane jest użycie adekwatnych metod i narzędzi. Dokonana w drugim etapie procedury analiza metod modelowania systemów produkcyjnych dała podstawy do stwierdzenia, że nie wszystkie są odpowiednie do analizy dynamicznych, złożonych systemów. Przeanalizowano metody modelowania graficznego,

analitycznego czy symulacyjne. Zauważono, że modele graficzne nie pozwalają na obserwację zmiennych w czasie. Ponadto częstym problemem jest przedstawienie elementów sterowania procesami. Metody analityczne natomiast w przeciwieństwie do symulacji wymagają wielu uproszczeń i zaawansowanego aparatu matematycznego, przez co nie są zalecane dla odwzorowywania złożonych systemów. Wobec powyższego alternatywą dla modelowania graficznego czy analitycznego stanowić może symulacja komputerowa. W badaniu systemu produkcyjnego wykorzystuje się zarówno metody symulacji ciągłej jak i dyskretnej. Zastosowanie ich zależy przede wszystkim od charakterystyki konkretnego systemu produkcyjnego i problemu decyzyjnego związanego z alokacją zasobów. W tabeli 1 zaprezentowano porównanie obydwu grup metod symulacji komputerowej. Oceny dokonano pod względem ich przydatności w kompleksowym odwzorowaniu dynamicznego, szczególnie złożonego systemu alokacji zasobów produkcyjnych.

Tabela 1. Porównanie metod symulacji pod względem kryteriów procedury budowy modelu

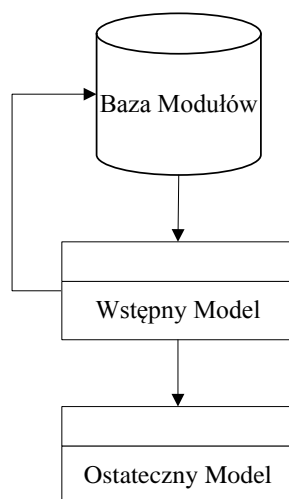
| Cecha | Metoda symulacji | |
|--|-------------------------|------------------------------------|
| | dyskretnej | ciągłej |
| Procedura tworzenia modelu | | |
| Niezbędna liczba detali w opisie problemu | duża | mała |
| Modelowanie graficzne | tak | tak |
| Szczegółowość opisu procesu produkcyjnego i badanie związków przyczynowo - skutkowych | | |
| Przydatność w modelowaniu złożonych systemów | średnia | duża |
| Równoczesna obserwacja zmian elementów systemu | tak | tak |
| Obserwacja zmian wartości zmiennych w czasie | tak | tak |
| Przydatność w badaniu związków przyczynowo- skutkowych | średnia | duża |
| Zastosowanie do symulacji typów produkcji oraz problemów decyzyjnych | | |
| Poziom problemu decyzyjnego | operacyjny taktyczny | taktyczny, strategiczny |
| Typ produkcji | dyskretna | stacjonarna, ciągła, elastyczna |
| Dostępność narzędzi informatycznych wspomagających budowę modelu | | |
| Dostęp do narzędzi informatycznych | łatwy | łatwy |

Źródło: opracowanie własne

Uwzględniając własności teoretyczne, zalety i wady analizowanych metod wykazano, że dla badania takich systemów jak system alokacji zasobów produkcyjnych najbardziej odpowiednią metodą symulacji komputerowej jest dynamika systemowa. Rozpropagowana przez J. W. Forreстера metoda symulacji komputerowej jest szczególnie

zalecana dla zrozumienia struktury i zachowania się złożonych systemów¹⁰. Szczególnie, kiedy chodzi o rozpoznawanie reakcji systemu w długim okresie. Właściwość tą uznano za priorytetową w stosunku do możliwości wyznaczania w oparciu o symulację konkretnych wartości punkt po punkcie. Pomimo wielu zalet dynamiki systemowej daje się jednak zauważyć pewne problemy związane z jej zastosowaniem. Przede wszystkim duża liczba zmiennych, poziomów i relacji między elementami systemu wydłuża czas modelowania. Podkreśla się brak gotowych komponentów oraz możliwości śledzenia poszczególnych obiektów. Równocześnie w analizowanych systemowo - dynamicznych modelach dało się zauważyć tendencję wykorzystywania przy ich budowie fragmentów innych modeli.

Zaprezentowana w czwartym etapie procedury badawczej koncepcja systemowo - dynamicznego modelowania modularnego alokacji zasobów produkcyjnych może ułatwić i przyspieszyć proces modelowania. Równocześnie wpisuje się w nurt budowy modeli z gotowych komponentów. Istotę modelowania modularnego pokazano na rysunku 2.



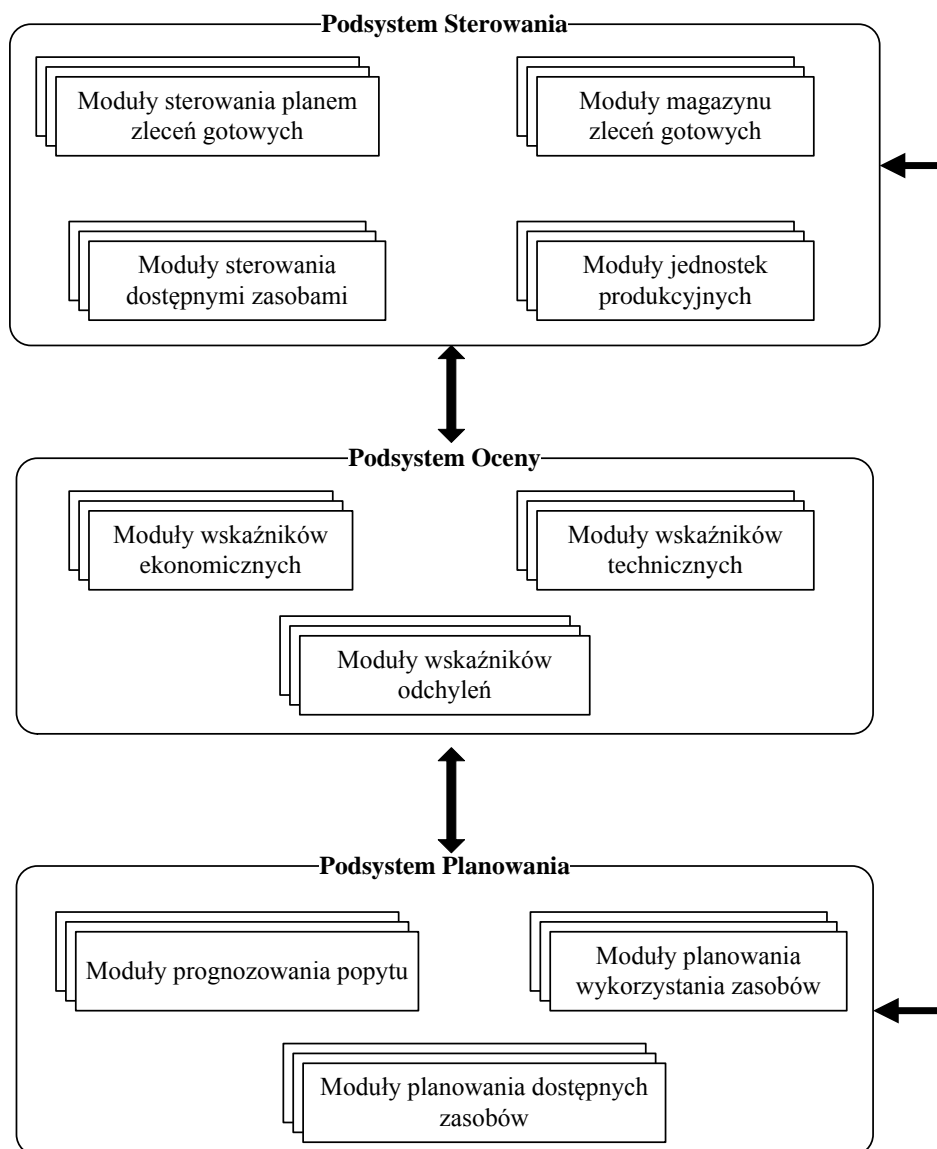
Rysunek 2. Istota modelowania modularnego

Źródło: opracowanie własne

Modelowanie modularne polega na „łączeniu” ze sobą wcześniej przygotowanych i zwalidowanych modułów. Przez moduł należy rozumieć zapisane w konwencji systemowo-dynamicznej powtarzalne struktury, odwzorowujące elementarne części systemu rzeczywistego. Bloki te zawierają poziomy, strumienie, zmienne pomocnicze, parametry, a także instrukcje formalnego języka symulacyjnego.

¹⁰O tym m. in. w: Pejić-Bach M., Čerić V.: *Developing System Dynamics Models with „Step by-Step” Approach*. Journal of Information and Organizational Sciences 31 (1) 2007, s. 171-185; Seema A., Ijaz Y.: *System Dynamics: An Effective Tool for Organizational Analysis and Prediction*. [w:] Proceedings of the First National Conference on Organizational Analysis and Qualitative Research: Contemporary Practices & Challenges, Peshawar, Pakistan 2008, cscr.umt.edu.pk, [dostęp z dn. 04-04-2014], s. 1-28.

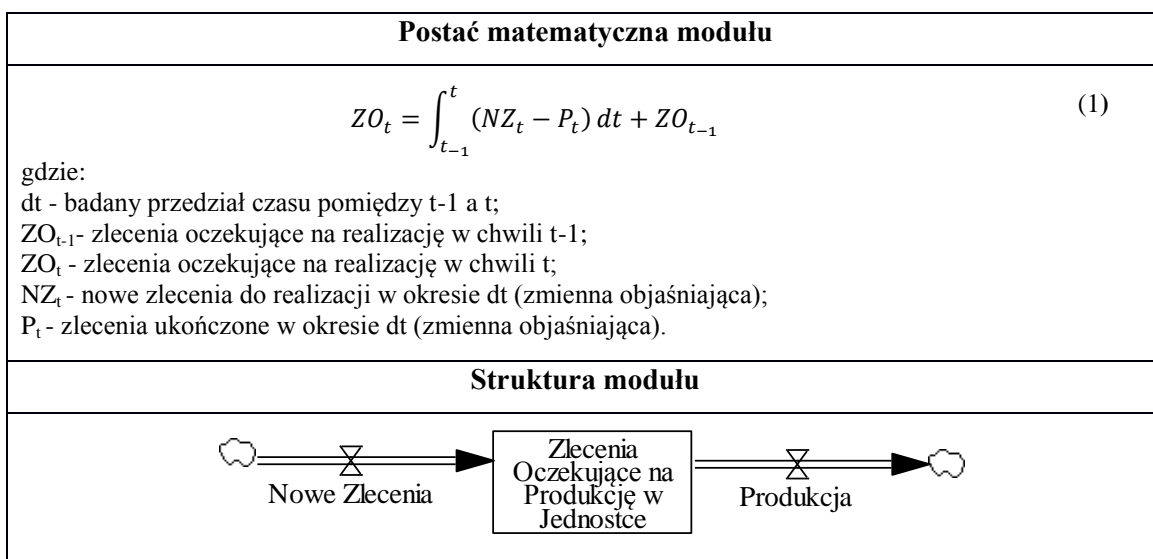
Modelujący ma do dyspozycji bazę modułów z obszaru tematycznego alokacji zasobów produkcyjnych. Moduły zapisane w bazie powinny być na tyle uniwersalne, aby można było zbudować w oparciu o nie różne modele dla różnych problemów związanych z alokacją zasobów produkcyjnych. W zależności od celu modelu i specyfiki procesu produkcyjnego (np. produkcja na magazyn czy na zamówienie) z bazy modułów należy wybrać odpowiednie struktury i „połączyć” je ze sobą. Przez połączenie należy rozumieć przypisanie wartości zmiennej objaśniającej jednego modułu wartości zmiennej objaśnianej w drugim module. Ostatnim etapem modelowania modularnego jest uzupełnienie „modelu wstępnego” (zbudowanego tylko z modułów z bazy) o obiekty, które nie znalazły się w dysponowanej bazie.



Rysunek 3. Klasyfikacja modułów według podsystemów systemu alokacji zasobów produkcyjnych
 Źródło: opracowanie własne

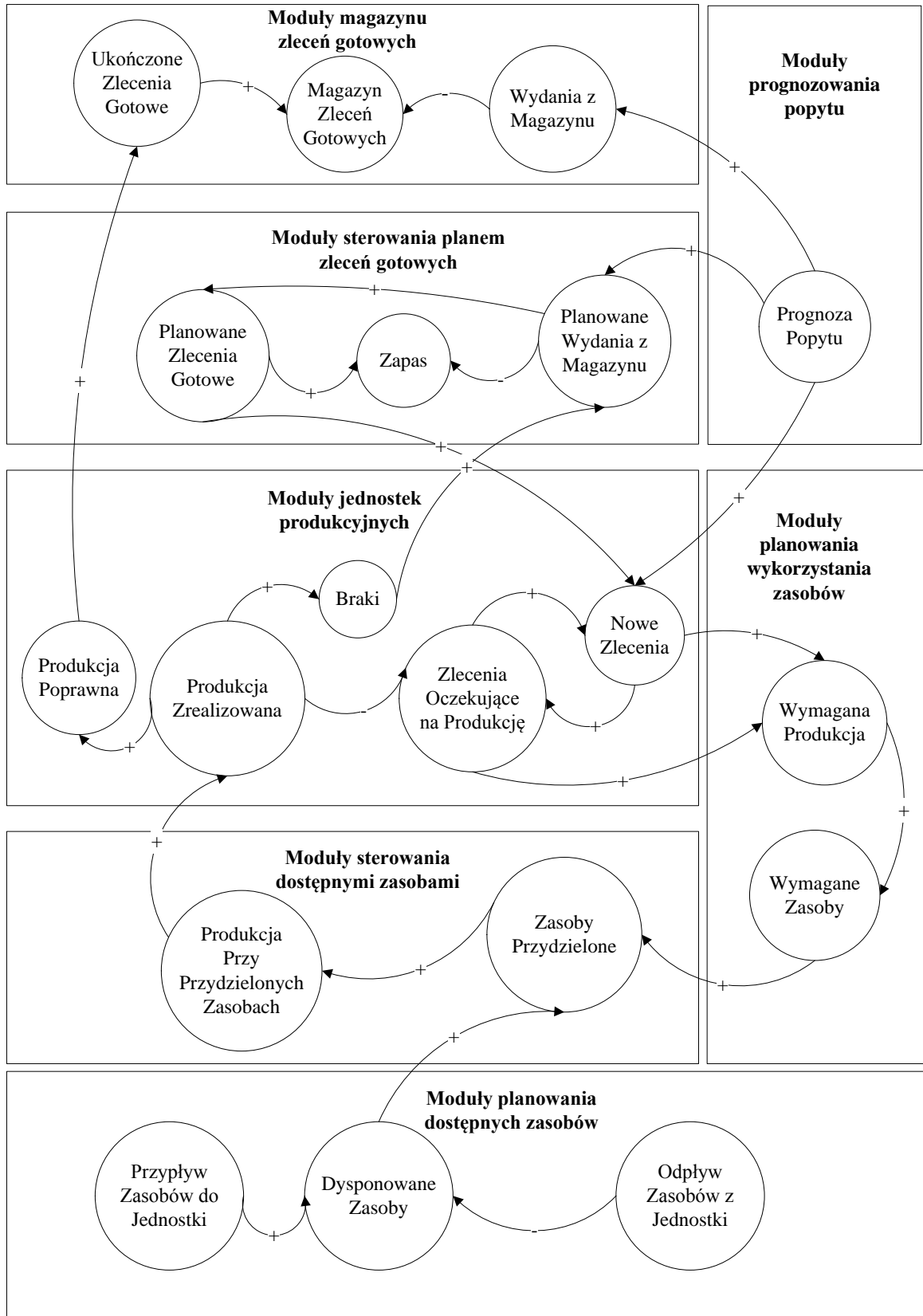
W piątym etapie procedury badawczej opracowano dla systemu alokacji zasobów produkcyjnych egzemplifikację bazy modułów. Moduły pogrupowano tematycznie i przyporządkowano jednemu z podsystemów alokacji zasobów produkcyjnych, tj. podsystemowi: sterowania, oceny lub planowania (rys. 3).

Poszczególne struktury są wynikiem prowadzonej w poprzednich etapach analizy obiektów i funkcjonalności systemu alokacji zasobów produkcyjnych, oraz odwzorowujących system produkcyjny modeli systemowo – dynamicznych innych autorów. Przykładowy z 57 zdefiniowanych w załączniku doktoratu modułów pokazano na rysunku 4.



Rysunek 4. Moduł zleceń oczekujących na produkcję
 Źródło: opracowanie własne

Wybierając odpowiednie moduły z tak przygotowanej bazy i łącząc je zgodnie z zaprezentowanym na rysunku 5 diagramem przyczynowo – skutkowym można odwzorować alokację zasobów produkcyjnych dla systemów produkcyjnych charakteryzujących się różnymi formami organizacji i sterowania produkcją. Opracowany diagram jest efektem szóstego etapu procedury badawczej i stanowi model konceptualny alokacji zasobów produkcyjnych. Oznacza to, że w zależności od potrzeb w docelowym modelu symulacyjnym dany moduł z bazy może być użyty kilkakrotnie bądź nie występować w nim ani razu.



Rysunek 5. Diagram przyczynowo skutkowy alokacji zasobów produkcyjnych
 Źródło: opracowanie własne

Ostatnim etapem procedury badawczej było przeprowadzenie badań empirycznych na modelu dla studium przypadku, jakim było przedsiębiorstwo Noratel¹¹. Przedsiębiorstwo wybrano kierując się następującymi kryteriami:

- firma powinna być przedsiębiorstwem produkcyjnym;
- proces produkcyjny realizowany w przedsiębiorstwie powinien obejmować wiele stanowisk (grup stanowiskowych);
- firma powinna dysponować danymi dotyczącymi przepływu półproduktów przez poszczególne jednostki oraz przydziału do nich zasobów;
- wybrane przedsiębiorstwo powinno wywodzić się z sektora średnich lub dużych przedsiębiorstw.

Przy ustalaniu kryteriów kierowano się przede wszystkim potrzebą przetestowania modelu systemu alokacji zasobów produkcyjnych (przedsiębiorstwo produkcyjne, dane źródłowe). Ponadto założono, że firmy z sektora średnich lub dużych przedsiębiorstw powinny realizować produkcję z na tyle dużą częstotliwością, aby uznać jej procesy za umownie ciągłe, co pozwoli na zastosowanie w badaniach symulacji ciągłej, jaką jest dynamika systemowa. Wymóg wielu stanowisk natomiast podyktowany był możliwością wykorzystania w jednym modelu kilku struktur tego samego typu.

Niezbędne do konstrukcji modelu dane i informacje pozyskano w oparciu o wywiady, obserwację, a także analizę danych z systemu informatycznego modelowanego przedsiębiorstwa. Do wykonania samego modelu zaś posłużył pakiet symulacyjny Vensim PLE. Zgodnie z sugestiami kadry zarządzającej za cel modelu przyjęto ocenę alokacji pracowników. Na podstawie otrzymanych danych wyznaczono dziewięć gniazd (tab. 2) oraz określono wzajemne relacje pomiędzy nimi. Firma udostępniła dwa pliki z danymi w formacie CSV, z których jeden (MRPROUTE) zawierał dane normatywne dotyczące zleceń z okresu od stycznia 2007 do listopada 2008¹². Drugi natomiast (MRPWORKSH) opisywał faktyczne wykonanie poszczególnych operacji z tego samego przedziału czasowego. Dane zaimplementowano do systemu obsługi baz danych Microsoft Access. Przy wyodrębnieniu niezbędnych wartości i informacji skorzystano z zapytań SQL

¹¹Więcej informacji o Noratel i jego asortymencie na stronie www.noratel.pl.

¹²Pierwsze rozmowy z Noratelem prowadzone były w 2008 r. Otrzymane dane były najświeższe w danym momencie. Ponieważ w odniesieniu do celów i hipotezy pracy aktualność danych nie ma znaczenia, po przeprowadzonych testach i wypracowaniu ostatecznych procedur wyodrębniania danych postanowiono zaimplementować do modelu dane z otrzymanego przedziału czasowego.

systemu zarządzania bazą danych MS Access oraz opracowano na platformie Microsoft Visual Studio 2008 specjalną aplikację¹³.

Tabela 2. Ukierunkowana macierz przepływu półproduktów w firmie Noratel

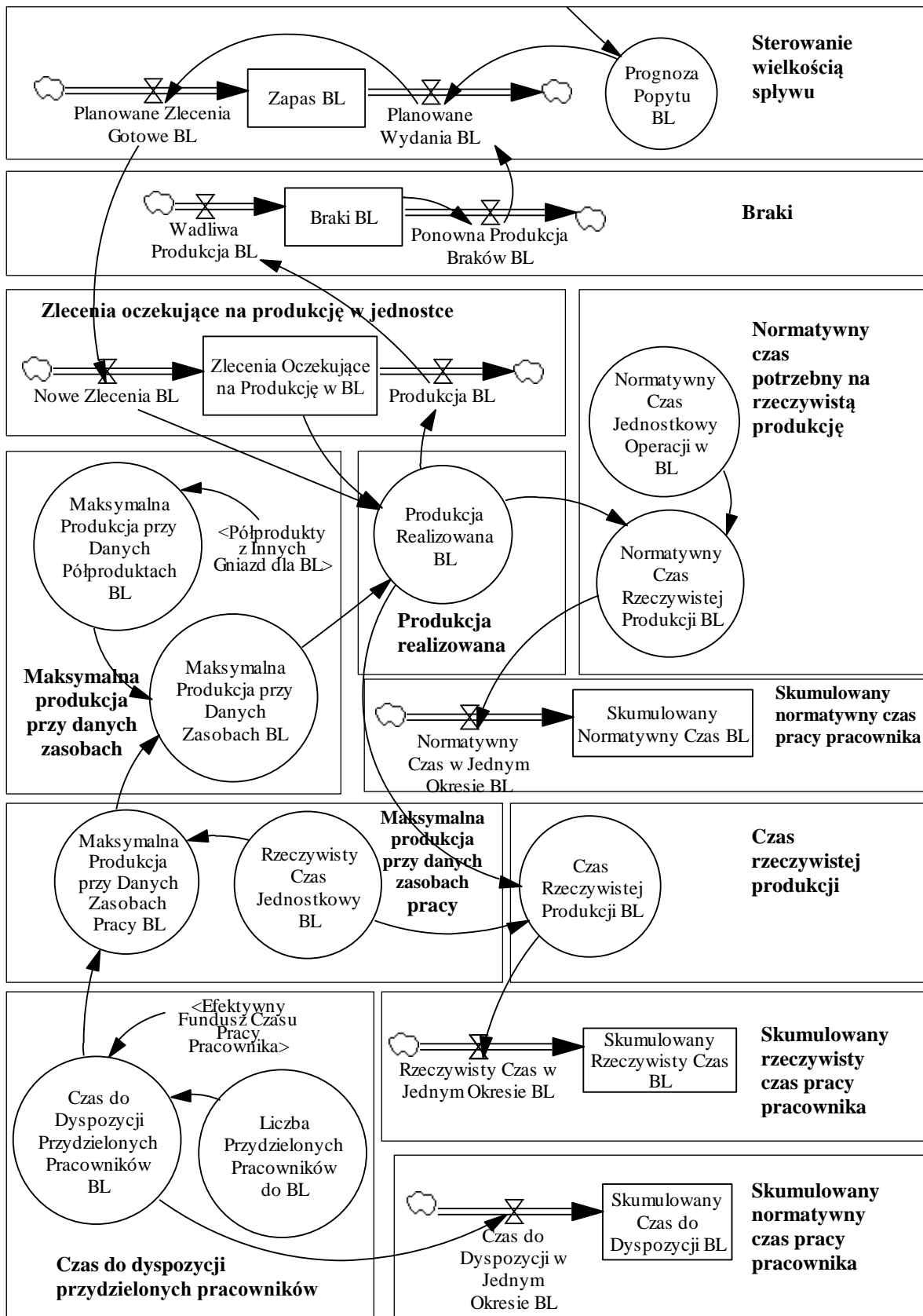
| Do gniazda | BL | IMP | MON | PIER | WT | KJ | MG | NP | ZAL | Produkty Gotowe |
|---------------------|----|-----|-----|------|----|----|----|----|-----|-----------------|
| Z gniazda | | | | | | | | | | |
| BL | X | X | X | | | X | | X | | |
| IMP | | X | X | | | X | X | X | | |
| MON | X | X | X | X | X | X | X | X | | X |
| PIER | X | | X | X | X | | | | | |
| WT | X | | X | X | X | | | | | |
| KJ | | X | X | | | X | X | X | X | X |
| MG | X | | X | X | | | | | | X |
| NP | | | X | | | X | X | | X | |
| ZAL | | | X | | | | X | X | | |
| Zlecenia od Klienta | | | | | | | X | | | |

Zródło: opracowanie własne

Fragment modelu przedstawiający pracę przykładowego gniazda został pokazany na rysunku 7. Zasoby, którymi gniazdo dysponuje determinują ostateczną liczbę wychodzących z niego półproduktów (produktów końcowych). Maksymalna produkcja jest wypadkową jednostkowego czasu wytwarzania i czasu dysponowanego pracowników. Ten ostatni powstaje przez przemnożenie liczby pracowników przez uwzględniający planowane przestoje efektywny fundusz czasu pracy jednego pracownika. Jeżeli moce na to pozwalają to realizowane są wszystkie przychodzące i oczekujące zlecenia. W przeciwnym wypadku liczba wyprodukowanych produktów jest adekwatna do możliwości pracowników. Na tej samej zasadzie zamodelowano pozostałych osiem gniazd. Po „połączeniu” ze sobą wszystkich gniazd model uzupełniono o moduły oceny. Ze względu na cel modelu zdecydowano się na wykorzystanie w ocenie alokacji pracowników wskaźnika ogólnej efektywności pracowników (ang. OCE Overall Craft Effectiveness)¹⁴.

¹³W aplikacji zastosowano kod Visual Basic.

¹⁴Por.: Mączyński W., Nahirny T.: *Efektywność służb utrzymania ruchu jako składowa efektywności pracowników*. [w:] Materiały konferencyjne IZIP, Zakopane 2012, www.ptzp.org.pl, [dostęp z dn. 02-05-2014]., s. 203-2013; Zandieh S., Tabatabaei S. A. N. i Ghandahary M.: *Evaluation of Overall Equipment Effectiveness in Continous Process Production System of Condensate Stabilization Plant in Assalooyeh*. Interdisciplinary Jopurnal of Research in Business, 910) 2012 s. 590-598.



Rysunek 6. Fragment modelu odwzorowujący gniazdo BL (Blachowanie)
 Źródło: opracowanie własne

W ostatnim kroku badania empirycznego przeprowadzono weryfikację i walidację modelu symulacyjnego Noratela, a także przeanalizowano możliwości wykorzystania modelu w ocenie alokacji zasobów produkcyjnych¹⁵. Oceny dokonano zgodnie z proponowaną dla modeli systemowo - dynamicznych procedurą¹⁶. Dla omawianego studium przypadku zaplanowano przeprowadzenie wybranych testów struktury (*ang. structure tests*) i zachowania (*ang. model behavior tests*). Ze względu na to, iż model w momencie weryfikacji nie był wdrożony zrezygnowano z przeprowadzenia testów wpływu polityki (*ang. tests of policy implications*). Testom poddano poszczególne moduły oddzielnie jak i cały model. Uzupełnieniem testów jakościowych były testy statystyczne. Obliczono zalecaną dla modeli systemowo - dynamicznych statystykę Theil'a oraz błędy statystyczne (MPE, MAPE, MSPE i RMSPE)¹⁷. Przyjęto, zgodnie z literaturą przedmiotu dotyczącą modelowania systemowo-dynamicznego¹⁸, że model można uznać za poprawny, jeżeli błędy dla zmiennych związanych z produkcją gniazd będą akceptowalne. Jest to zmienna, która zależy od największej liczby pozostałych parametrów. Zatem założono, że jej błędy są najbardziej wrażliwe na błędy w innych zmiennych. Ocenie poddano również rozkład strumienia produkcji wychodzącego z jednego gniazda na zlecenia przekazywane pozostałym jednostkom. Przykładowe wyniki testów zaprezentowano w tabeli 3. Wartości statystyki Theil'a wskazują na udział błędu niesystematycznego w rozbieżnościach pomiędzy danymi rzeczywistymi, a symulowanymi, co pozwoliło uznać wyniki symulacji za akceptowalne.

Tabela 3. Wartości statystyki Theil'a dla wybranych zmiennych

| Zmienna | I ² | Ip ₁ ² | Ip ₂ ² | Ip ₃ ² |
|---------------|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Produkcja BL | 0,09 | 10,59 | 1,19 | 88,22 |
| Produkcja MON | 0,06 | 0,15 | 6,95 | 92,90 |

¹⁵Wstępne wyniki walidacji i weryfikacji zostały opublikowane w: Lemke J., Łatuszyńska M.: *Validation of System Dynamics Models-a Case Study*, Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation JEMI, 9(2) 2013, s. 45-59.

¹⁶O tym m. in. w: Martis M.: *Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Outlook*. The Electronic Journal of Business Research Methods, 4(1) 2006, s. 39-46; Balci O.: *Credibility Assessment of Simulation Results: The State of the Art*. [w:] Proceedings of the Conference on Simulation Methodology and Validation, The Society for Computer Simulation, San Diego 1986, s. 62-71; Jaskiewicz A.: *Inżynieria oprogramowania*. Helion, Gliwice 1997, s. 193-199; Davis P.: *Generalizing Concepts and Methods of Verification, Validation and Accreditation (VV&A) for Military Simulations*. Rand, Santa Monica 2002, s. 18-25.

¹⁷Sterman J.: *Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit of System Dynamics Models*. *Dynamica*, 10(II) 1984, s. 51-65.

¹⁸Uważa się że testów sprawdzających należy wykonać tyle na ile jest to konieczne. Nie ma konieczności testowania wszystkich parametrów. Zobacz: Carson J. S.: *Model Verification and Validation*. [w:] Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, San Diego, California 2002, www.wintersim.org, [dostęp z dn. 25-05-2014], s. 52-58.

| Zmienna | I^2 | Ip_1^2 | Ip_2^2 | Ip_3^2 |
|--|-------|----------|----------|----------|
| Produkcja WT | 0,03 | 1,25 | 1,93 | 96,82 |
| Produkcja z MON dla MON | 0,08 | 3,46 | 0,48 | 96,06 |
| Produkcja z MON dla PIER | 0,09 | 4,06 | 2,60 | 93,34 |
| Produkcja z MON dla MG Zleceń Gotowych | 0,07 | 0,79 | 0,04 | 99,17 |

Źródło: opracowanie własne

Po zweryfikowaniu trafności generowanych przez model wartości liczbowych dla poszczególnych zmiennych dokonano oceny, czy model prawidłowo reaguje na sztuczne zakłócenia. Zdecydowano się na wprowadzenie wariantu uruchomienia produkcji. Po wyzerowaniu stanów magazynów międzykomórkowych model zareagował prawidłowo, „pozwalając” na produkcję w gniazdach, które nie są powiązane bezpośrednio z magazynem wysyłającym zlecenia na produkcję dopiero po pewnym czasie. Ponadto przestudiowano zachowanie się modelu dla wydłużonego do 51 miesięcy zakresu czasu. Kolejne testy wykonano w celu sprawdzenia wrażliwości systemu na zmianę liczby pracowników. Poprawność modelu została również sprawdzona na podstawie reakcji wskaźnika efektywności pracowników (OCE) na różne warunki początkowe. Model przeszedł pozytywnie wszystkie testy wrażliwości.

Podsumowując wyniki opisanych wyżej testów stwierdzono, iż charakterystyka wyjść modelu jest akceptowalna w porównaniu z wyjściami systemu realnego. Błędy pomiędzy danymi symulowanymi, a rzeczywistymi są na akceptowalnym poziomie z punktu widzenia teorii walidacji modelowania systemowo - dynamicznego. Równocześnie zasygnalizowano sens prowadzenia dalszych badań ukierunkowanych na wypracowanie rozwiązań generujących mniejsze błędy statystyczne. W szczególności uwaga powinna zostać zwrócona na mechanizmy rozdziału zleceń wychodzących z jednostki produkcyjnej. Ponadto proces rejestracji danych w badanym przedsiębiorstwie powinien być bardziej dostosowany do potrzeb modelu. Posiadanie dodatkowych informacji, np. o kategoriach asortymentu w poszczególnych zleceniach, powinno ułatwić wygenerowanie lepiej dopasowanych strumieni. Model prawidłowo reagował na wprowadzane sztuczne warunki krytyczne (brak pracowników, brak półproduktów) i zmianę struktury (wydłużenie okresu symulacji, zmiana liczby pracowników). Model pozwolił na ocenę alokacji pracowników, uwzględnił najważniejsze koncepcje z zakresu alokacji zasobów produkcyjnych, a moduły, z których został zbudowany odpowiadają aktualnemu stanowi wiedzy. Zatem pozytywnie przeszedł testy struktury i zachowania się modelu. Tym samym potwierdzono, że skonstruowany w konwencji systemowo - dynamicznego modelowania modularnego model kompleksowo i precyzyjnie odwzorował

system alokacji zasobów produkcyjnych. Co za tym idzie zrealizowano cel pracy i potwierdzono hipotezę.

Model dla firmy Notarel powstał w celu potwierdzenia zasadności wykorzystania systemowo - dynamicznego modelowania modularnego w odwzorowywaniu systemu alokacji zasobów produkcyjnych. Za pomocą modelu dla studium przypadku można było dokonać oceny alokacji pracowników. Tymczasem, co widać w tabeli 4, opracowywane we wspomnianej konwencji modele mogą być budowane dla różnych celów.

Tabela 4. Przykładowe cele budowy modeli

| Kierunek zastosowania koncepcji | Cel modelu |
|---|---|
| Diagnoza obecnego systemu | - techniczno-ekonomiczna analiza wykorzystania zasobów w czasie; - identyfikacja przyczyn aktualnych parametrów zasobu; - identyfikacja zasobów wpływających na dynamikę produkcji. |
| Ocena nowych technologii ¹⁹ | - analiza dynamiki wydajności nowej polityki sterowania zasobami; - analiza dynamiki kapitałochłonności nowej technologii; - analiza dynamiki pracochołonności nowej technologii. |
| Prognozowanie zachowania się systemu w przyszłości przy obecnej technologii | - analiza dynamiki wskaźników wydajności zasobów przy prognozowanym popycie; - ocena ex ante dynamiki wybranych wskaźników oceny systemu przy niezmiennym się otoczeniu. |

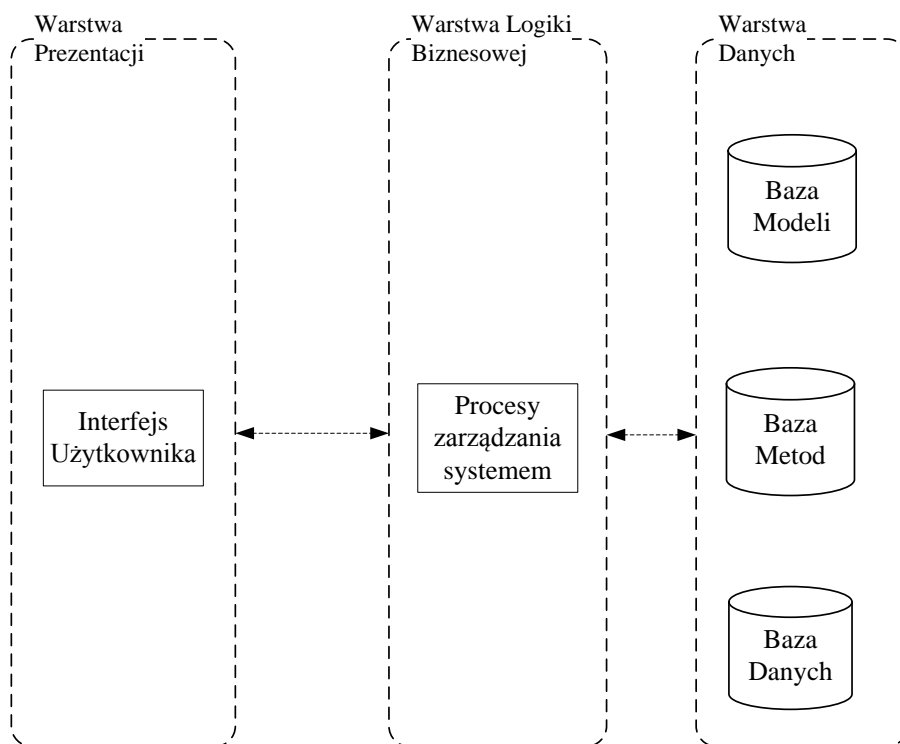
Zródło: opracowanie własne

Co za tym idzie, zaproponowana koncepcja jest uniwersalna. Można ją wykorzystać w modelowaniu systemów alokacji zasobów produkcyjnych dla różnych firm i związanych z zasobami produkcyjnymi problemów analitycznych.

6. Koncepcja systemu symulacyjnego

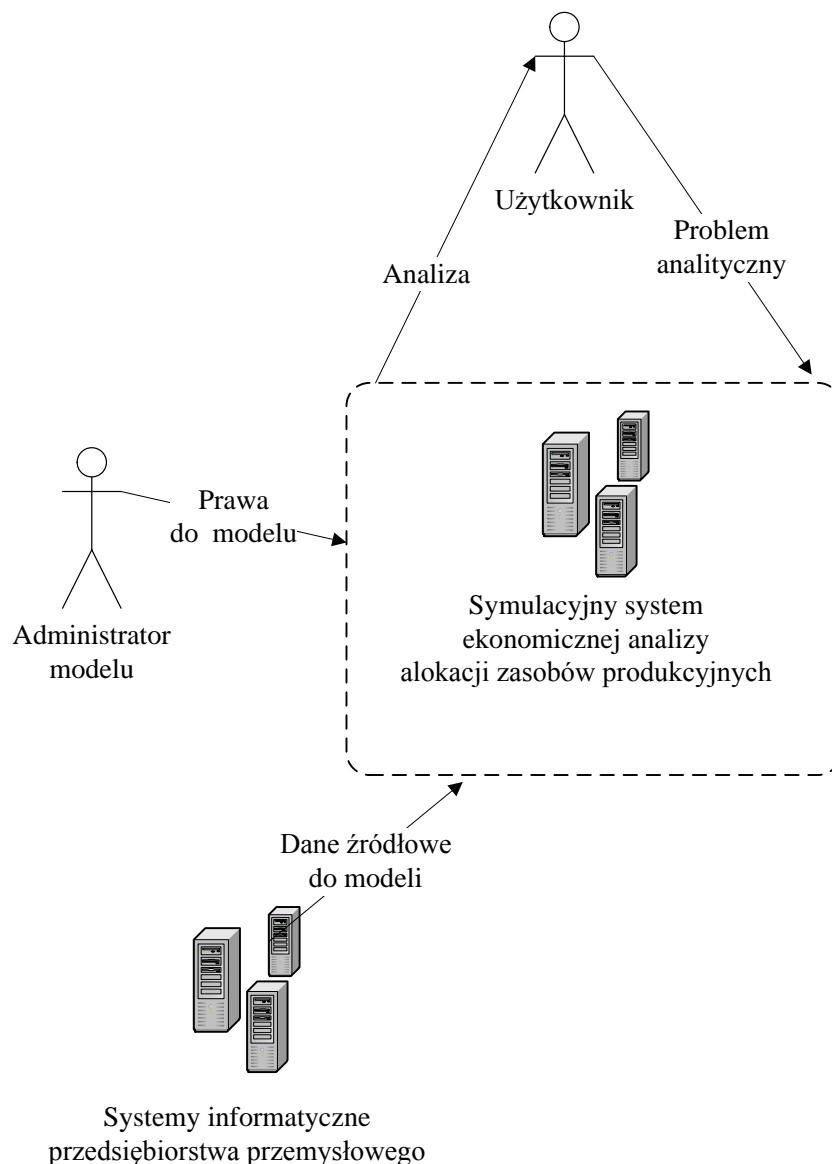
Aby ułatwić korzystanie z przedstawionej koncepcji modelowania modularnego alokacji zasobów produkcyjnych w doktoracie zaproponowano zbudowanie odpowiedniego narzędzia informatycznego – systemu symulacyjnego o otwartej, wielowarstwowej architekturze opartej na technologii klient-serwer (rys. 8).

¹⁹Technologia oznacza metodę łączenia czynników produkcji w procesie wytwarzania dóbr: Begg D., Fischer S. i Dornbusch R.: *Mikroekonomia... op. cit.*, s. 336.



Rysunek 7. Architektura systemu symulacyjnego wspomagania analizy ekonomicznej alokacji zasobów produkcyjnych
 Źródło: opracowanie własne

Zakłada się, że system informatyczny wykorzystujący koncepcję systemowo-dynamicznego modelowania modularnego będzie narzędziem wspierającym przeprowadzanie analiz ekonomicznych pod kątem oceny alokacji zasobów produkcyjnych. Ograniczenie się tylko do wspomagania oceny bez bezpośredniej ingerencji systemu w sterowanie procesem produkcji wiąże się z możliwymi różnymi grupami odbiorców wspomnianych ekspertyz. Proponowane narzędzie informatyczne w szczególności skierowane jest do kadry kierowniczej firm produkcyjnych, pracowników outsourcingowych firm analitycznych czy instytucji finansujących nowe technologie, a także naukowców prowadzących badania dotyczące alokacji zasobów w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Ze względu na zakładaną wymianę danych (na przykład przedsiębiorstwo produkcyjne – instytucja finansująca) projektując informatyczny system symulacyjny ekonomicznej analizy alokacji zasobów produkcyjnych należy szczególną uwagę zwrócić na mechanizmy weryfikacji użytkowników i procedury dostępu do danych. Schemat komunikacji z systemem, przedstawiono na rysunku 9.



Rysunek 8. Schemat komunikacji z symulacyjnym systemem analizy ekonomicznej alokacji zasobów produkcyjnych
 Źródło: opracowanie własne

Na podstawie udostępnionych przez system danych użytkownik tworzy ostateczne modele i przeprowadza eksperymenty symulacyjne oraz ma dostęp do sporządzanych przez niego, bądź udostępnionych jemu analiz. Przewiduje się implementację różnych form prezentacji, takich jak wykresy, schematy, tabele i teksty. Administrator modelu jest pracownikiem firmy produkcyjnej i zezwala użytkownikowi na dostęp do danych źródłowych swojej firmy. Tym samym zezwala na ich wykorzystanie w procesie tworzenia modelu i analizy eksperymentów symulacyjnych. Niezbędne dla skonstruowania modelu dane źródłowe mogłyby być uzyskane bezpośrednio z już funkcjonujących w przedsiębiorstwie systemów informatycznych.

Interesujące byłoby rozszerzenie możliwości systemu symulacyjnego o funkcjonalność systemu ekspertowego. Wskazane jest, aby proponowane narzędzie oprócz modelowania i symulacji wspomagało również mechanizmy akwizycji wiedzy i wnioskowania. Wiedzę wykorzystywaną w procesie modelowania, symulacji i wnioskowania można pozyskać bezpośrednio od eksperta, a także z innych źródeł, takich jak zasoby Głównego Urzędu Statystycznego czy internetowe serwisy z publikacjami z zakresu zarządzania i inżynierii produkcji²⁰. Współpracujący z systemem symulacyjnym system ekspertowy, dzięki wbudowanym mechanizmom wnioskowania, wspomógłby między innymi wyjaśnienie związków przyczynowo - skutkowych zachodzących między zmiennymi modelu symulacyjnego, interpretację wskaźników, a także zawarte w bazie wiedzy pojęcia i logikę przeprowadzania wyводу.

Przedstawiona koncepcja systemu symulacyjnego do analizy alokacji zasobów produkcyjnych wykracza poza postawiony cel pracy, stanowi jedynie zarys pomysłu i wymaga wielu szczegółowych przemyśleń. Wdrożenie proponowanego systemu symulacyjnego związane jest z nakładami czasu, finansów oraz pracą sztabu specjalistów z różnych dziedzin w szczególności informatyków, matematyków, specjalistów inżynierii i zarządzania produkcją oraz analityków ekonomicznych.

7. Wnioski końcowe

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają przyjętą hipotezę oraz pozwalają na stwierdzenie, że cel pracy został w całości zrealizowany. Zawarte w pracy rozważania i spostrzeżenia doprowadziły do następujących konkluzji:

1. Modelowanie wykorzystuje się w różnych obszarach badania systemu produkcyjnego. Pozwala ono na identyfikację czynników wpływających na parametry systemu produkcyjnego. Metody modelowania wykorzystuje się w szczególności przy analizie wydajności, kosztów czy polityki sterowania produkcją.
2. Alokacja zasobów produkcyjnych jest podsystemem złożonego, dynamicznego systemu produkcyjnego. Zatem wskazane jest wykorzystanie symulacji komputerowej do jej badania. Oprócz możliwości obserwacji zmiennych w czasie

²⁰Z wielu takich źródeł korzystano w doktoracie między innymi z: www.systemdynamics.org – publikacje z konferencji *System Dynamics Society*; www.wintersim.org – publikacje konferencji *Winter Simulation Conference*; www.ptzp.org.pl – publikacje z konferencji *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji* (do roku 2011 nazwa cyklu była *Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie*) oraz publikacje z kwartalnika *Zarządzanie Produkcją*.

zaletą tych metod jest to, że pozwalają na przeprowadzenie niemożliwych do zrealizowania na rzeczywistym systemie eksperymentów.

3. Spośród metod symulacji komputerowej dla badania i planowania procesów związanych z alokacją zasobów najbardziej odpowiednią wydaje się dynamika systemów Forrestera. Metoda ta pozwala na odwzorowanie i obserwację zachowania się w czasie wielu wzajemnie skorelowanych zmiennych. Możliwość identyfikacji istniejących w systemie alokacji zasobów produkcyjnych sprzężeń zwrotnych przyczynia się do zrozumienia jego struktury i zachowania. W konsekwencji ułatwia podejmowanie decyzji dotyczących alokacji zasobów.
4. W różnych, opublikowanych modelach odwzorowujących system produkcyjny da się wyodrębnić podobne struktury. Dodatkowo, w jednym modelu mogą występować powtarzające się systemowo - dynamiczne bloki. Stwarza to podstawę do kreowania zbioru gotowych, przetestowanych modułów dotyczących alokacji zasobów produkcyjnych.
5. Przedstawiona w pracy koncepcja modelowania modularnego ułatwi proces systemowo – dynamicznego modelowania. Równocześnie pozwala na łączenie kilku metod modelowania. W konsekwencji zostają poszerzone możliwości prowadzenia badań w zakresie alokacji zasobów produkcyjnych.
6. Opracowany model alokacji zasobów produkcyjnych jest uniwersalny, oznacza to, że można go wykorzystać dla modelowania różnych firm i związanych z zasobami produkcyjnymi problemów analitycznych.

Elementy nowości zawarte w pracy, stanowiące wkład własny, to przede wszystkim opracowanie:

1. podstaw metodycznych systemowo-dynamicznego modelowania modularnego dla odwzorowania systemu alokacji zasobów produkcyjnych;
2. systemowo - dynamicznych modułów dla systemu alokacji zasobów produkcyjnych;
3. modelu dla studium przypadku;
4. koncepcji systemu symulacyjnego do ekonomicznej analizy alokacji zasobów produkcyjnych.

Ponadto wartość dodaną niniejszej dysertacji stanowi usystematyzowanie zebranej w wyniku badania poznawczego wiedzy rozporoszonej w wielu obszarach nauki. Na uwagę zasługuje zaproponowany system symulacyjny umożliwiający wykorzystanie koncepcji modelowania modularnego w praktyce. Może ułatwić on budowanie modeli

symulacyjnych osobom o różnych specjalnościach niekoniecznie będących profesjonalistami z informatyki. Równocześnie system symulacyjny stanowić może platformę do tak bardzo obecnie pożądanej współpracy biznesu i nauki. Jego wdrożenie jest jednym z oczekiwanych kierunków rozwoju zaprezentowanego w pracy zagadnienia. Ponadto koncepcję bazy systemowo - dynamicznych modułów można wykorzystać tworząc zbiory struktur dla innych dziedzin życia gospodarczego.

8. Wykaz publikacji własnych

- [1] Felusiak L., Lemke J.: *Analyse der Controlling- Konzepte und Modifikation der deutschen Controllingsoftware LEO zur Umsetzung auf dem polnischen Markt./Analiza koncepcji controllingu oraz modyfikacja niemieckiego systemu LEO dla controllingu celem wdrożenia na polskim rynku.*, Seria Wydawnicza Polsko-Niemieckiego Studium Informatyki Ekonomicznej Im. Konrada Zusego Wydawnictwo Naukowe US, Szczecin-Wismar (6) 2000, s. 11-14.
- [2] Lemke J., Łatuszyńska M.: *Koncepcja symulatora dla zintegrowanych systemów informatycznych zarządzania.* [w:] Materiały II konferencji Technologie Informacyjne w Zarządzaniu – Zastosowania systemów e-biznesu w gospodarce wrzesień 2007, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Informatycznej w Warszawie, Warszawa 2007, s. 191-202.
- [3] Lemke J.: *Wspomaganie decyzji produkcyjnych przy pomocy modelu symulacyjnego.* [w:] Metody Informatyki Stosowanej pod red. Łatuszyńska M., Nermend K., Polska Akademia Nauk, Szczecin 2008, s. 139-145.
- [4] Lemke J.: *Zastosowanie narzędzi symulacyjnych w zarządzaniu produkcją.* [w:] Metody Ilościowe w Ekonomii. Wybrane Problemy pod red. Tarczyński W., Nermend K., Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2009, s. 97-110.
- [5] Lemke J.: *Rola symulacji w zintegrowanych systemach zarządzania.* [w:] Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 16(88) 2009, s. 59-62.
- [6] Lemke J.: *Koncepcja zarządzania finansami jednostek samorządu terytorialnego w oparciu o model symulacyjny.* [w:] Finanse i Rachunkowość w Zarządzaniu Wybrane Problemy pod red. Głodek Z., Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Gorzów Wielkopolski 2009, s. 105-121.
- [7] Lemke J., Łatuszyńska M.: *Symulacyjne badanie wpływu alokacji zasobów produkcyjnych na produktywność systemu produkcyjnego.* [w:] Technologia

- Informacyjna Wybrane Problemy i Zastosowania pod red. Łatuszyńska M., Nermend K., Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2010, s. 103-126.
- [8] Lemke J.: *Zarządzanie zasobami produkcyjnymi przy użyciu systemu ekspertowego.*[w:] Wykorzystanie Wybranych Technologii Komunikacji w Zarządzaniu Wartością Organizacji pod red. W. L. Kiełtyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012, s. 58-74.
- [9] Lemke J., Łatuszyńska M.: *Symulacja komputerowa w modelowaniu alokacji zasobów produkcyjnych.* *Studia Informatica* (31) 2012, s. 115-126.
- [10] Lemke J., Łatuszyńska M.: *Przesłanki zastosowania symulacji komputerowej w alokacji zasobów produkcyjnych.* *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Ekonomiczne Problemy Usług*, (781) 2013, s. 131-148.
- [11] Lemke J., Łatuszyńska M.: *Validation of System Dynamics Models – a Case Study.* *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation JEMI*, 9(2) 2013, s. 45-59.
- [12] Łatuszyńska M., Lemke J.: *Zastosowanie modelowania modularnego w zarządzaniu zasobami produkcyjnymi.* *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania Zarządzanie i Marketing*, 2(34)2013, s. 39-49.
- [13] Lemke J.: *System approach for productive resources allocation.* *Logistyka* (6) 2014, s. 13513-13516.
- [14] Lemke J.: *Concept of simulation system for the economic analysis of the allocation of productive resources.* *Logistyka* (6) 2014, s. 13509-13512.