Małgorzata BARAN¹
Justyna STECKO²

SYMULACYJNY MODEL PRODUKCJA-ZBYT W KONWENCJI METODY DYNAMIKI SYSTEMÓW PRZYPADEK PRZEDSIĘBIORSTWA FOTOSYSTEM

W artykule omówiono system produkcji i zbytu w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Początkowo wytłumaczono istotę procesów produkcji i zbytu, czyli kluczowych procesów wchodzących w skład działalności podstawowej przedsiębiorstwa produkcyjnego. Wskazano i krótko scharakteryzowano najważniejsze reguły decyzyjne powiązane bezpośrednio z tymi procesami. Następnie przedstawiono profil działalności przedsiębiorstwa produkcyjnego Fotosystem, w którym przeprowadzono badania mające na celu praktyczne zapoznanie się z wymienionymi procesami. Dzięki temu wyłoniono zmienne modelu myślowego związanego z tymi procesami, które następnie powiązano w diagram przyczynowo-skutkowy, będący podstawą do opracowania modelu symulacyjnego. W diagramie zaznaczono charakterystyczne rodzaje sprzężeń zwrotnych działających w badanym systemie. Docelowy model symulacyjny opracowano w konwencji metody dynamiki systemów, pozwalającej na przedstawianie procesów zachodzących w systemach (jakimi są również przedsiębiorstwa), zarówno w aspekcie ilościowym, jak i pod kątem analizy dynamiki ich zachowania. Wykorzystano tu oprogramowanie Vensim® DSS. Bazując na zbudowanym diagramie zależności, przedstawiono postać graficzną modelu, uwzględniając charakterystyczne rodzaje zmiennych – czyli zmienne akumulacyjne, przepływowe oraz informacyjne. Wskazano również stałe występujące w modelu. Podano poszczególne definicje zmiennych oraz wartości stałych dla modelu. Wartości te wynikały bezpośrednio z przeprowadzonych badań empirycznych w przedsiębiorstwie. W ostatnim etapie przeprowadzono symulację modelu dla przyjętego kroku, przedstawiono przebiegi wybranych zmiennych systemu i dokonano analizy otrzymanych wyników. Wskazano także praktyczne możliwości wykorzystania opracowanego modelu.

Słowa kluczowe: produkcja, zbyt, modelowanie symulacyjne, dynamika systemów

1. WPROWADZENIE

Modelowanie należy rozumieć jako doświadczalną lub matematyczną metodę badania złożonych układów, zjawisk i procesów (technicznych, fizycznych, chemicznych, ekonomicznych, społecznych) na podstawie konstruowania modeli³. Głównym celem modelowania wykorzystującego metodę dynamiki systemów jest nie tylko graficzne przedstawienie struktury danego systemu, jego złożoności oraz wzajemnych zależności, ale również szukanie możliwości rozwiązania problemów w nim występujących. Eksperymenty przeprowadzane w wirtualnym świecie pomagają projektować świat realny (po-

¹ Dr inż. Małgorzata Baran, Zakład Ekonomii i Podstaw Zarządzania, Wydział Prawa i Administracji, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Grunwaldzka 13, 35-068 Rzeszów, tel. 017 872 2044, mbaran@univ.rzeszow.pl (autor korespondencyjny).

² Dr Justyna Stecko, Zakład Nauk Humanistycznych, Wydział Zarządzania, Politechnika Rzeszowska, ul. Polna 1, 35-084 Rzeszów, tel. 017 865 1204, e-mail: jstecko@prz.edu.pl

³ *Nowa Encyklopedia Powszechna*, t. 4, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996, s. 259.

strzegany), natomiast doświadczenia w świecie realnym dostarczają informacji światu wirtualnemu. Jednym z najważniejszych aspektów jest wyraźne i jednoznaczne wskazanie zagadnienia (lub problemu), dla którego będzie modelowany dany system, oraz skupienie się na nim podczas wszystkich etapów modelowania.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie symulacyjnego modelu procesów produkcji i zbytu opracowanego dla przedsiębiorstwa Fotosystem⁴. Dzięki niemu przedsiębiorstwo może przeprowadzać szereg testów i strategii działania związanych z tymi procesami. Model zawiera najważniejsze przepływy fizyczne i informacyjne wraz z regułami decyzyjnymi, które nimi kierują. Model zbudowano w konwencji metody dynamiki systemów⁵. Dane empiryczne niezbędne do modelu (czyli poszczególne zmienne i stałe oraz wartości stałych) zebrano w badanym przedsiębiorstwie. Badania przyjęły formę pogłębianych wywiadów z kierownictwem przedsiębiorstwa, obserwacji procesów produkcji i zbytu oraz analizy materiałów źródłowych.

Podstawą do opracowania modelu był model przedstawiony przez Stermana⁶. Model ten został przez autorki niniejszej publikacji zmodyfikowany oraz dostosowany do profilu działalności badanego przedsiębiorstwa.

2. PRODUKCJA I ZBYT JAKO KLUCZOWE PROCESY DZIAŁALNOŚCI PODSTAWOWEJ PRZEDSIĘBIORSTWA PRODUKCYJNEGO

Wśród różnych aktywności, jakie przejawia każde przedsiębiorstwo, jedną z najważniejszych stanowi jego działalność podstawowa. Działalność podstawową przedsiębiorstwa produkcyjnego można określić jako szereg czynności niezbędnych do wykonania dóbr, będących przedmiotem sprzedaży i stanowiących źródło przychodów niezbędnych do finansowania kosztów funkcjonowania i rozwoju tego przedsiębiorstwa.

Podstawowym elementem ustalenia działalności podstawowej jest wybór: co produkować, ile produkować i dla kogo produkować – co wiąże się z jednoznacznym określeniem profilu asortymentowego i rozmiarów działalności. Po tych ustaleniach następuje koncepcyjne opracowanie zamierzonej działalności (nazywane inaczej przygotowaniem produkcji), zapewnienie dla przyszłej produkcji odpowiednich materiałów do przetworzenia (czyli przedmiotów pracy), wyposażenia produkcyjnego (środków pracy) oraz siły roboczej. Kolejnym etapem jest zorganizowanie produkcji wraz z zapewnieniem ekonomicznej racjonalności realizowanych procesów produkcyjnych oraz dopilnowanie prawidłowego przebiegu jej wykonania⁷.

⁴ Na prośbę kierownictwa nazwa przedsiębiorstwa została zmieniona.

⁵ Zob. m.in. J. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge 1961; R. Łukaszewicz, *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975; R.G. Coyle, *Management System Dynamics*, John Wiley & Sons, Chichester 1977; K.R. Śliwa, *O organizacjach inteligentnych i rozwiązywaniu złożonych problemów zarządzania nimi*, Oficyna Wydawnicza WSM SIG, Warszawa 2001; E. Kasperska, *Dynamika systemowa. Symulacja i optymalizacja*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005; P.M. Senge, *Pięta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2006; *Elementy Dynamiki Systemów*, red. J. Tarajkowski, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 2008; A. Piekarczyk, K. Zimniewicz, *Myślenie sieciowe w teorii i praktyce*, PWE, Warszawa 2010.

⁶ J. Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin McGraw-Hill, Boston 2000, s. 727.

⁷ B. Liwowski, *Działalność podstawowa przedsiębiorstwa i jej wyspecjalizowane zakresy*, [w:] *Podstawy ekonomiki i zarządzania przedsiębiorstwem*, red. J. Kortan, C. H. Beck, Warszawa 1997, s. 244.

Przygotowanie produkcji związane jest z czynnościami umożliwiającymi sprawny przebieg procesu wytwórczego. Literatura przedmiotu wskazuje na trzy podstawowe elementy przygotowania produkcji: przygotowanie konstrukcyjne, przygotowanie technologiczne oraz przygotowanie organizacyjne⁸. Liwowski dodaje do nich kolejne trzy elementy: rozpoznanie rynku, wdrożenie projektu konstrukcyjnego, technologicznego i organizacyjnego oraz przygotowanie zbytu.

Rdzeniem działalności podstawowej przedsiębiorstwa produkcyjnego jest produkcja. Produkcję można określić jako zbiór powiązanych ze sobą i wzajemnie uwarunkowanych, tworzących określoną całość procesów pracy, w których trakcie ludzie, wykorzystując dobra i siły przyrody, wytwarzają przedmioty materialne, będące dobrami użytkowymi, służącymi do zaspokojenia potrzeb społecznych⁹. Różnorodność form, w jakich występują procesy produkcyjne, utrudnia ich typologię¹⁰. Najczęściej wymienianymi typami produkcji są: produkcja jednostkowa, produkcja seryjna oraz produkcja masowa. Podstawowymi cechami produkcji jednostkowej są¹¹: wytwarzanie pojedynczych (lub kilku podobnych) wyrobów, nierównomierne wykorzystanie zdolności produkcyjnych, wielorakość czynności i operacji na jednym stanowisku roboczym, potrzeba zatrudniania wysoko wykwalifikowanych pracowników ze względu na konieczność pracy na uniwersalnych urządzeniach, wydłużony cykl produkcyjny. Produkcja seryjna charakteryzuje się głównie: okresowym wytwarzaniem określonej liczby jednakowych wyrobów, większą specjalizacją stanowisk roboczych, większą możliwością automatyzacji procesów produkcyjnych, technicznym normowaniem pracy, skróceniem długości cyklu produkcyjnego oraz zwiększeniem wydajności pracy. Najważniejszymi atrybutami produkcji masowej są: długotrwałe wytwarzanie wyrobów w jednym lub kilku zbliżonych wariantach, wysoka specjalizacja stanowisk roboczych, wyeliminowanie przerw w pracy siły roboczej i urządzeń, specjalistyczne wyposażenie wraz z pełną automatyzacją procesów produkcyjnych, dokładne przygotowanie produkcji, sprawne zaopatrzenie materiałowe oraz gospodarowanie zapasami.

Biorąc pod uwagę sposób zorganizowania procesu wytwórczego, można rozróżnić produkcję potokową i produkcję uniwersalną. Produkcję potokową charakteryzuje ciągłość przebiegających działań w całym procesie produkcyjnym, odnosząca się zarówno do przedmiotu pracy oraz środków pracy, jak i do pracy ludzkiej. W praktyce oznacza to brak zahamowań, przerw i zakłóceń w procesie produkcyjnym oraz możliwie najoszczędniejszy sposób jego przebiegu. Istotne w tym typie jest przestrzenne rozmieszczenie stanowisk roboczych w porządku zgodnym z zaplanowaną kolejnością ich włączania się do procesu produkcyjnego. Ostatnim ważnym aspektem produkcji potokowej jest specjalizacja pracy i stanowisk roboczych. Dotyczy ona zarówno wyposażenia technicznego, jak również pracujących przy nich pracowników. Główną zaletą specjalizacji jest osiągnięcie lepszych wyników produkcji pod względem ilościowym oraz jakościowym.

Odmiernym typem produkcji jest produkcja uniwersalna. Nie występuje tu zjawisko specjalizacji, więc różnorodne procesy produkcyjne wykonywane są na tych samych sta-

⁸ Zob. m.in. E. Pająk, *Zarządzanie produkcją*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006, s. 46; K. Pasternak, *Zarys zarządzania produkcją*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2005, s. 234–243; K. Szatkowski, *Przygotowanie produkcji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

⁹ *Mały ilustrowany leksykon techniczny*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983, s. 420.

¹⁰ B. Liwowski, *op. cit.*, s. 278.

¹¹ K. Pasternak, *op. cit.*, s. 103.

nowiskach. Przedmiot pracy z jednego stanowiska na drugie najczęściej przekazywany jest partiami lub jako pojedynczy, często unikatowy egzemplarz, co powoduje przestoje przepływu przedmiotu pracy w całym cyklu produkcyjnym. Chociaż proces produkcyjny nie przebiega w tak sprawny i oszczędny sposób jak w wypadku produkcji potokowej, to jednak główną zaletą produkcji uniwersalnej jest jej elastyczność, która pozwala na podejmowanie różnorodnych zleceń produkcyjnych bez konieczności reorganizacji istniejącego porządku organizacyjnego.

Procesom produkcyjnym podporządkowane są struktury produkcyjne przedsiębiorstwa, które można określić jako hierarchiczny układ powiązań nadrzędności i podporządkowania, funkcjonujących pomiędzy większymi komórkami organizacyjnymi, a wchodzącymi w ich skład mniejszymi jednostkami¹². Do najczęściej występujących struktur produkcyjnych należy zaliczyć strukturę technologiczną i strukturę przedmiotową. W przypadku struktury technologicznej występuje podobieństwo technologicznych metod obróbki przedmiotów pracy w odrębnych komórkach organizacyjnych. Jeśli przedsiębiorstwo wytwarza 3 różne produkty, to przedmioty pracy, z których zostaną wyprodukowane wszystkie produkty, trafią początkowo do komórki zajmującej się obróbką plastyczną części, następnie do komórki odpowiedzialnej za obróbkę wiórową poszczególnych części, dalej do komórki zajmującej się montażem części itd. Strukturę przedmiotową charakteryzują komórki specjalizujące się w jednorodnych wyrobach, ale stosujące do ich produkcji różne technologie. Rozpatrując powtórnie przedsiębiorstwo produkujące 3 różne produkty, można stwierdzić, że w wypadku struktury przedmiotowej każdy zespół przedmiotów pracy, z których powstanie określony wyrób, trafi do jednej komórki organizacyjnej, gdzie kolejno przejdzie przez obróbkę plastyczną, obróbkę wiórową, montaż itd.

Oprócz struktur organizacyjnych duży wpływ na przebieg produkcji ma organizacja przepływu przedmiotu pracy przez komórkę organizacyjną, w której jest on obrabiany. Przepływy te można podzielić na równoległe, szeregowo oraz szeregowo-równoległe.

W przepływie równoległym przedmiot pracy trafia na pierwsze stanowisko pracy i po zaplanowanej obróbce jest kierowany na stanowisko drugie, następnie trzecie itd. Realizowana jest w tym wypadku ciągłość ruchu przedmiotów pracy, które bez zastoju czasowych trafiają na stanowiska robocze. Minusem tego typu przepływu są postoje stanowisk roboczych, które można zredukować, gdy czasy trwania operacji na poszczególnych stanowiskach pracy są sobie równe lub czasy trwania operacji dłuższych stanowią wielokrotność czasu trwania operacji krótszych (przy założeniu proporcjonalnej wówczas liczby maszyn).

Podczas przepływu szeregowego stanowiska robocze są w możliwe największym stopniu wykorzystywane, natomiast przedmioty pracy ulegają licznym zahamowaniom w swoich przepływach, co sprzyja powstawaniu zapasu międzyoperacyjnego.

Najbardziej elastyczny wydaje się więc przepływ szeregowo-równoległy. Partia produkcyjna trafia na pierwsze stanowisko pracy w celu zaplanowanej obróbki. Drugie stanowisko pracy nie czeka na zakończenie obróbki całej partii, tylko przystępuje do pracy najwcześniej, jak to możliwe, pobierając te sztuki ze stanowiska pierwszego, których obróbka już została zakończona. Podobnie postępują kolejne stanowiska pracy. Dzięki takiemu rozwiązaniu skracają się zastoje stanowisk pracy oraz maleją zapasy międzyoperacyjne.

¹² *Ibidem*, s. 284.

Zarówno budowa struktury organizacyjnej, jak i przepływ przedmiotów pracy związane są z tak zwanym cyklem produkcyjnym – parametrem, który charakteryzuje sprawność przebiegu procesu produkcyjnego. Cykl produkcyjny podawany jest w jednostkach czasu liczonych od momentu wydania przedmiotu pracy w postaci materiału (lub materiałów) z magazynu do momentu, gdy wyrób gotowy powstały z przedmiotu pracy, po zaakceptowaniu przez kontrolę techniczną, trafia do magazynu wyrobów gotowych.

Kolejnym procesem podstawowym w przedsiębiorstwie, bezpośrednio związanym z produkcją, jest zbyty wyprodukowanych wyrobów. Najważniejszym zadaniem komórki zbytu w przedsiębiorstwie jest dostawa gotowych wyrobów do klientów. Ale oprócz tego pracownicy zbytu zajmują się następującymi zadaniami:¹³

- analizą rynku;
- wyborem kanałów sprzedaży;
- zawieraniem umów sprzedaży z klientami;
- realizacją sprzedaży;
- organizacją obsługi posprzedażnej;
- prowadzeniem reklamy;
- zarządzaniem magazynem wyrobów gotowych.

Współczesna orientacja rynkowa, w której konsument i rynek odgrywają rolę dominującą, powoduje, że wszystkie działania w sferze produkcji oraz zbytu koncentrują się na zaspokajaniu (oraz pobudzaniu) potrzeb klientów. Przedsiębiorstwo zatem, aby sprostać wymaganiom rynku, musi prowadzić działalność marketingową¹⁴.

3. PROFIL DZIAŁALNOŚCI PRZEDSIĘBIORSTWA FOTOSYSTEM

Przedsiębiorstwo Fotosystem należy do sektora małej przedsiębiorczości działającej w województwie podkarpackim. Firma działa na rynku fotograficznym od kilkunastu lat. Współpracuje między innymi z takimi korporacjami, jak KODAK. Sieć autoryzowanych dystrybutorów firmy w całej Polsce oferuje produkty fotograficzne z dwóch serii: PRO i FUN. Klientami działu PRO są profesjonalni fotografowie z Polski i Europy, natomiast klientami działu FUN są amatorzy fotografii oraz osoby, dla których fotografia stanowi pasję oraz hobby.

Produktami firmy, cieszącymi się obecnie dużym zainteresowaniem na rynku, są fotoalbumy i fotoksiążki. Zastępują one tradycyjne albumy ze zdjęciami, stanowiąc trwałe, eleganckie i kolorowe pamiątki, między innymi z uroczystości rodzinnych. Klient może sam opracować całą szatę graficzną swojej fotoksiążki lub fotoalbumu, korzystając z darmowego programu komputerowego dostępnego na stronie internetowej firmy lub zlecić jej opracowanie pracownikom firmy.

W badaniach skupiono się na produkcji, jakim jest fotoksiążka. Jej produkcja odbywa się tylko pod konkretne zamówienie. Produkcja ma charakter potokowy, ze strukturą

¹³ K. Kucińska, *Rynkowe uwarunkowania funkcjonowania przedsiębiorstwa*, [w:] *Podstawy ekonomiki...*, s. 326.

¹⁴ Zob. T. Bał, *Zbyt w gospodarce rynkowej*, [w:] *Przedsiębiorstwo w gospodarce rynkowej*, red. T. Bał, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa, Stowarzyszenie Wyższej Użyteczności, Rzeszów 1992, s. 199–200.

technologiczną i przepływem szeregowo-równoległym. Ogólnie na proces produkcyjny fotoksiążki składają się następujące procesy: obróbka graficzna, naświetlanie, kontrola jakości naświetlenia, praca nad okładkami albumu, składanie bloku albumu, wprawianie bloku w okładki, kontrola jakości. Cykl produkcyjny trwa 3–4 dni. Po tym czasie gotowa fotoksiążka jest wysyłana na adres klienta bądź klient odbiera ją osobiście w punkcie obsługi.

4. DEFINICJE ZMIENNYCH MODELU PRODUKCJA-ZBYT

Pierwszym krokiem w badaniach była obserwacja działań, jakie wchodziły w skład procesu produkcji i zbytu w badanym przedsiębiorstwie. Następnie, wspólnie z kierownictwem przedsiębiorstwa oraz osobami wytypowanych przez kierownictwo, wyznaczono zmienne (parametry) budujące model symulacyjny tych procesów. Definicje poszczególnych zmiennych zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Definicje zmiennych modelu PRODUKCJA-ZBYT

Nazwa zmiennej	Definicja
Rozpoczęcie produkcji	Tempo ¹⁵ kierowania poszczególnych czynników do produkcji
Aktualna zdolność produkcyjna	Realna wielkość produkcji (przypadająca na określoną jednostkę czasu), wynikająca z dostępności przedmiotów pracy (surowców) oraz siły roboczej
Możliwa produkcja wynikająca z dostępności surowców	Możliwa wielkość produkcji wyrobów gotowych, wynikająca z dostępności surowców pobieranych z magazynu surowców przedsiębiorstwa
Możliwa produkcja wynikająca z dostępności siły roboczej	Możliwa wielkość produkcji, wynikająca z dostępności zatrudnionej siły roboczej, charakteryzującej się określoną wydajnością
Produkcja w toku	Zmienna kumulująca liczbę wyrobów będących aktualnie w różnych fazach produkcji
Zakończenie produkcji	Strumień produkcji zakończonej kierowany do magazynu wyrobów gotowych
Czas trwania cyklu produkcyjnego	Czas liczony od rozpoczęcia do zakończenia procesu produkcyjnego
Wymagane rozpoczęcie produkcji	Wymagana wielkość produkcji (przypadająca na określoną jednostkę czasu), jaka wynika z sumy „Wymaganej produkcji”, „Korekty wielkości produkcji w toku” i „Korekty wymaganego rozpoczęcia produkcji o zaległą produkcję”

¹⁵ Zarówno słowo „tempo”, jak i „strumień” użyte w nazwie określonej zmiennej lub jej objaśnieniu oznaczają, że w modelu symulacyjnym ta zmienna będzie pełnić funkcję zmiennej przepływowej lub informacyjnej, przyjmującej wielkości liczbowe przypadające na wybraną jednostkę czasu.

Korekta wielkości produkcji w toku	Odpowiada za dostosowanie wielkości produkcji w toku do pożądanego poziomu
Wymagana wielkość produkcji w toku	Wymagana wielkość produkcji w toku proporcjonalna do „Wymaganej produkcji”
Czas na korektę wielkości produkcji w toku	Wymagany czas na dostosowanie wielkości produkcji w toku do pożądanego poziomu
Korekta wymaganego rozpoczęcia produkcji o zaległą produkcję	Odpowiada za powiększenie „Wymaganego rozpoczęcia produkcji” o wielkość zaległej produkcji
Czas na korektę o zaległą produkcję	Czas na korektę „Wymaganego rozpoczęcia produkcji” o wielkość zaległej produkcji
Wymagana produkcja	Wymagana wielkość produkcji (przypadająca na określoną jednostkę czasu), jaka wynika bezpośrednio z „Zamówień do produkcji”
Zamówienia do produkcji	Liczba zamówień skierowanych do produkcji
Odebrane zamówienia	Liczba zamówień odebranych bezpośrednio od klientów
Wyroby gotowe	Ilość wyrobów gotowych, znajdujących się w magazynie wyrobów gotowych
Dostawa wyrobów gotowych do klientów	Oznacza tempo wysyłki wyrobów gotowych do klienta
Możliwe tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych	Możliwa liczba wyrobów gotowych (przypadająca na określoną jednostkę czasu), jaka może być dostarczona do klienta, wprost proporcjonalna do liczby „Wyroby gotowych” i odwrotnie proporcjonalna do ilości „Czasu przygotowania do wysyłki”
Czas przygotowania do wysyłki	Czas trwania czynności związanych z przygotowaniem gotowego produktu do wysyłki do klienta
Wymagane tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych	Wymagana liczba wyrobów gotowych, jaka powinna być dostarczona do klienta (w określonej jednostce czasu), wynikająca bezpośrednio z „Niezrealizowanych zamówień” i „Planowanego opóźnienia dostawy”
Niezrealizowane zamówienia	Liczba otrzymanych zamówień, które nie zostały zrealizowane i dostarczone klientom
Napływ zamówień	Strumień zamówień kierowanych na produkcję
Realizacja zamówień	Strumień zrealizowanych zamówień wynikający bezpośrednio z „Dostawy wyrobów gotowych do klientów”

Zaległa produkcja	Oznacza wielkość niezrealizowanej produkcji po „Planowanym opóźnieniu dostawy”
Opóźnienie dostawy wyrobów gotowych	Czas określający aktualne opóźnienie w realizacji napływających zamówień, przy założeniu, że tempo realizacji zamówień jest takie jak wartość zmiennej „Realizacja zamówień”
Planowane opóźnienie dostawy	Planowany czas w przedsiębiorstwie, jaki upłynie od momentu złożenia przez klienta zamówienia do momentu dostawy zamówionych wyrobów

Źródło: opracowanie własne.

Dobre zmienne powiązane w pętli przyczynowo-skutkowej. Dzięki temu powstał diagram zależności (rys. 1), którego interpretacja jest następująca: napływające zamówienia są po pierwsze sygnałem dla przedsiębiorstwa do odpowiedniej regulacji wielkości produkcji i po drugie stanowią niezrealizowane zamówienia, które zostaną zrealizowane po wyprodukowaniu zamówionych wyrobów. W pierwszym wypadku „Odebrane zamówienia” przechodzą w „Zamówienia do produkcji”, które wyznaczają bezpośrednio „Wymaganą produkcję”. „Wymagana produkcja” ustala nowy poziom „Wymaganej wielkości produkcji w toku”, który jest porównywany z bieżącym poziomem „Produkcji w toku”. Jeśli pomiędzy „Wymaganą wielkością produkcji w toku” oraz „Produkcją w toku” występują rozbieżności, wówczas dokonuje się „Korekta wielkości produkcji w toku”. „Wymagana produkcja” razem z „Korektą wielkości produkcji w toku” wyznaczają „Wymagane rozpoczęcie produkcji”, które określa wielkość „Rozpoczęcia produkcji”.

Po skompletowaniu odpowiednich surowców do produkcji oraz wyznaczeniu kompetentnej siły roboczej rozpoczyna się produkcja. Wielkość produkcji, którą wyznaczają wielkości zamówień czekających na realizację, zależy od aktualnej zdolności produkcyjnej przedsiębiorstwa, która wynika z dostępności odpowiedniej ilości surowców zużywanych w trakcie produkcji oraz z dostępności siły roboczej. Przedmioty pracy przechodzą przez kolejne fazy procesu produkcyjnego, określane jako „Produkcja w toku”. Po upływie „Czasu trwania cyklu produkcyjnego” następuje „Zakończenie produkcji”, w wyniku którego gotowe wyroby trafiają do magazynu „Wyrobów gotowych”. W magazynie są pakowane i przygotowywane do dostawy do klientów.

Rys. 1. Diagram zależności modelu PRODUKCJA-ZBYT

Źródło: opracowanie własne.

Rzeczywista „Dostawa wyrobów gotowych do klientów” zależy od „Możliwego tygodniowego tempa dostawy wyrobów gotowych” oraz od „Wymaganego tygodniowego tempa dostawy wyrobów gotowych”. „Możliwe tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych” wyznaczone jest poprzez dostępność w magazynie wyrobów gotowych - wyprodukowanych sztuk zamówionych przez klientów. Natomiast „Wymagane tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych” określa liczba „Niezrealizowanych zamówień” oraz „Planowane opóźnienie dostawy”. W tym wypadku „Planowane opóźnienie dostawy” to planowany czas w przedsiębiorstwie, jaki upłynie od momentu złożenia przez klienta zamówienia do momentu realizacji tego zamówienia.

Poza „Planowanym opóźnieniem dostawy” występuje także „Opóźnienie dostawy wyrobów gotowych”, wynikłe wskutek nagromadzenia „Niezrealizowanych zamówień”. Gdy czas „Opóźnienia dostawy wyrobów gotowych” przewyższa czas „Planowanego opóźnienia dostawy”, wówczas następuje kumulacja „Zaległej produkcji”. Informacja o „Zaległej produkcji” poprzez „Korektę wymaganego rozpoczęcia produkcji o zaległą produkcję” dodatkowo powiększa „Wymagane rozpoczęcie produkcji”.

W diagramie występuje pięć prostych ujemnych sprzężeń zwrotnych: B1, B2, B3, B4 i B5 oraz jedno dodatnie sprzężenie zwrotne – R1, świadczących o ciągłych procesach regulacji i dynamice występującej w tym systemie.

5. SYMULACYJNY MODEL SYSTEMU PRODUKCJA-ZBYT

W kolejnym etapie za pomocą oprogramowania Vensim® DSS¹⁶ zbudowano model symulacyjny produkcji i zbytu (rys. 2). Przyjęte wcześniej zmienne przekształcono odpowiednio w zmienne akumulacyjne, przepływowe i informacyjne oraz stałe informacyjne, dla których przyjęto odpowiednie dane numeryczne (korzystając z badań empirycznych).

Model symulacyjny opracowano w konwencji metody dynamiki systemów. Metoda opiera się na trzech filarach: na tradycyjnym zarządzaniu, na prawach cybernetyki i na symulacji komputerowej. Tradycyjne zarządzanie pomaga w identyfikacji problemu bądź zagadnienia (systemu), które będzie modelowane. Pomaga w odpowiednim doborze zmiennych wpływających na zachowanie systemu oraz wskazuje ścieżki przepływu informacji pomiędzy tymi zmiennymi. Formułuje reguły decyzyjne odpowiedzialne za sterowanie modelem. Cybernetyka odpowiada za powiązanie wybranych zmiennych budujących model w dodatnie lub ujemne pętle sprzężenia zwrotnego oraz pomaga w strukturalizacji modelu matematycznego dla budowanego systemu. Rozwiązanie takiego modelu, obejmującego często zależności nieliniowe, wymaga odpowiedniej metody numerycznej, którą w wypadku dynamiki systemów jest właśnie symulacja komputerowa¹⁷.

¹⁶ Producentem oprogramowania jest Ventana Systems, Inc., oficjalna strona firmy: <http://www.vensim.com>.

¹⁷ Zob. także M. Baran, *Rozwinięcie symulacyjnego modelu dostosowania zatrudnienia do potrzeb produkcyjnych przedsiębiorstwa Alfa w konwencji dynamiki systemów*, „Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej”, „Zarządzanie i Marketing” 17/4 (2010), s. 9–16; M. Baran, K. Śliwa, *System theories and practise*, „Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation” 9/3 (2013), <http://jemi.edu.pl/pl/archive.html> (dostęp: 06.02.2014); M. Baran, J. Stecko, *Symulacyjny model gospodarki – przypadek przedsiębiorstwa Fotosystem*, „Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej”, „Humanities and Social Sciences” XVIII/20, (2/2013), s. 29–40.

Rys. 2. Symulacyjny model PRODUKCJA-ZBYT

Źródło: opracowanie własne.

W modelu występują trzy zmienne akumulacyjne:

- „Produkcja w toku” powiększana przez zmienną przepływową „Rozpoczęcie produkcji” i pomniejszana przez kolejną zmienną przepływową „Zakończenie produkcji”;
- „Zapasy wyrobów gotowych” powiększane przez „Zakończenie produkcji” i pomniejszane przez „Dostawę wyrobów gotowych do klientów”;
- „Niezrealizowane zamówienia” powiększane przez „Napływ zamówień” i pomniejszane przez „Realizację zamówień”.

Reszta zmiennych i stałych odgrywa rolę pomocniczo-informacyjną.

Zależności matematyczne pomiędzy zmiennymi i stałymi tej części wraz z jednostkami zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Definicje zmiennych i wartości stałych w modelu

Nazwa zmiennej/stalej	Definicja	Jednostka
Rozpoczęcie produkcji	MIN (Aktualna zdolność produkcyjna, Wymagane rozpoczęcie produkcji)	[szt./tydzień]
Aktualna zdolność produkcyjna	MIN (Możliwa produkcja wynikająca z dostępności siły roboczej, Możliwa produkcja wynikająca z dostępności surowców)	[szt./tydzień]
Możliwa produkcja wynikająca z dostępności siły roboczej	1200 (uśrednione dane empiryczne)	[szt./tydzień]
Możliwa produkcja wynikająca z dostępności surowców	800 (uśrednione dane empiryczne)	[szt./tydzień]
Produkcja w toku	INTEG (Rozpoczęcie produkcji-Zakończenie produkcji) Wartość początkowa: Wymagana wielkość produkcji w toku	[szt.]
Zakończenie produkcji	DELAY3 (Rozpoczęcie produkcji, Czas trwania cyklu produkcyjnego)	[szt./tydzień]
Czas trwania cyklu produkcyjnego	0,51 (uśrednione dane empiryczne)	[tydzień]
Wymagane rozpoczęcie produkcji	MAX (0, Wymagana produkcja + Korekta wielkości produkcji w toku + Korekta wymaganego rozpoczęcia produkcji o zaległą produkcję)	[szt./tydzień]
Korekta wielkości produkcji w toku	(Wymagana wielkość produkcji w toku – Produkcja w toku)/Czas na korektę wielkości produkcji w toku	[szt./tydzień]
Wymagana wielkość produkcji w toku	Czas trwania cyklu produkcyjnego * Wymagana produkcja	[szt.]
Czas na korektę wielkości produkcji w toku	0,17	[tydzień]

	(uśrednione dane empiryczne)	
Korekta wymaganego rozpoczęcia produkcji o zaległą produkcję	Zaległa produkcja/Czas na korektę o zaległą produkcję	[szt./tydzień]
Czas na korektę o zaległą produkcję	0,085 (uśrednione dane empiryczne)	[tydzień]
Wymagana produkcja	MAX (0, Zamówienia do produkcji)	[szt./tydzień]
Zamówienia do produkcji	MAX (0, Odebrane zamówienia(Time))	[szt./tydzień]
Odebrane zamówienia	[(0,0)– (56,600)],(0,130),(1,170),(2,227),(3,284),(4,187),(5,185), (6,248),(7,216),(8,166),(9,150),(10,148),(11,155),(12,139), (13,184),(14,113),(15,120),(16,127),(17,156),(18,116), (19,115),(20,129),(21,128),(22,136),(23,156),(24,152),(25,194), (26,198),(27,162),(28,223),(29,231),(30,259),(31,379),(32,272), (33,279),(34,420),(35,490),(36,356),(37,312),(38,307),(39,321), (40,336),(41,331),(42,342),(43,337),(44,352),(45,346), (46,329),(47,352),(48,458),(49,350),(50,352),(51,368), (52,321),(53,296),(54,290),(55,349),(56,284)	[szt./tydzień]
Wyroby gotowe	INTEG (Zakończenie produkcji – Dostawa wyrobów gotowych do klientów) Wartość początkowa: 0	[szt.]
Dostawa wyrobów gotowych do klientów	MIN (Możliwe tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych, Wymagane tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych)	[szt./tydzień]
Możliwe tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych	Wyroby gotowe/Czas przygotowania do wysyłki	[szt./tydzień]
Czas przygotowania do wysyłki	0,17 (uśrednione dane empiryczne)	[tydzień]
Wymagane tygodniowe tempo dostawy wyrobów gotowych	Niezrealizowane zamówienia/Planowane opóźnienie dostawy	[szt./tydzień]
Niezrealizowane zamówienia	INTEG (Napływ zamówień – Realizacja zamówień) Wartość początkowa: 0	[szt.]
Napływ zamówień	Zamówienia do produkcji	[szt./tydzień]
Realizacja zamówień	Dostawa wyrobów gotowych do klientów	[szt./tydzień]
Zaległa produkcja	IF THEN ELSE (Opóźnienie dostawy wyrobów gotowych/Planowane opóźnienie dostawy > 1, (Opóźnienie	[szt.]

Źródło: opracowanie własne.

Wielkości zamówień miały bezpośredni wpływ na dynamikę zachowania zmiennych akumulacyjnych systemu PRODUKCJA-ZBYT. Wykres pierwszy na rysunku 3 obrazuje ich zmienność i wahania w poszczególnych tygodniach. Należy pamiętać, że wartości tych zmiennych stanowią całki pomiędzy budującymi je zmiennymi przepływowymi.

Wykres drugi to zestawienie przebiegów dwóch zmiennych: „Zamówień do produkcji” oraz „Dostawy wyrobów gotowych do klientów”. Wartości pierwszej zmiennej wynikały z przeprowadzonych badań empirycznych. Natomiast wartości drugiej są wartościami symulowanymi. Na wykresie można zaobserwować przesunięcie w czasie pomiędzy wartościami tych dwóch zmiennych, wynikające z wielkości „Planowanego opóźnienia dostawy” (4 dni).

7. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metodykę budowy symulacyjnego modelu systemu PRODUKCJA-ZBYT na przykładzie przedsiębiorstwa Fotosystem. Modelowanie systemu pozwoliło na identyfikację poszczególnych procesów przebiegających w tym systemie oraz na graficzne przedstawienie ich kolejności. Wpłynęło to pozytywnie na ogólną analizę systemu, a także na eliminację działań, które nie wносиły wartości do poszczególnych procesów. Dodatkowo model symulacyjny pozwolił na przeprowadzenie wielu testów związanych z weryfikacją założonych strategii zarządzania tym systemem w badanym przedsiębiorstwie.

Obecnie model może być wykorzystywany w przedsiębiorstwie Fotosystem w następujących procesach:

- obserwacji dynamicznych zależności pomiędzy zmiennymi budującymi system PRODUKCJA-ZBYT;
- prognozowaniu zachowania się systemu PRODUKCJA-ZBYT w odpowiedzi na zmieniające się otoczenie (wyrażone poprzez zmianę wartości parametrów stałych modelu lub dodanie nowych stałych);

- planowaniu i decydowaniu związanym z zarządzaniem tym systemem;
- szkoleniach personelu i młodej kadry kierowniczej.

Przestawiony model może posłużyć także innym przedsiębiorstwom o podobnym profilu działalności, które mogą zaadaptować go do własnego otoczenia i wymagań.

LITERATURA

- [1] Bal T., *Zbyt w gospodarce rynkowej*, [w:] *Przedsiębiorstwo w gospodarce rynkowej*, red. T. Bal, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa, Stowarzyszenie Wyższej Użyteczności, Rzeszów 1992.
- [2] Baran M., *Rozwinięcie symulacyjnego modelu dostosowania zatrudnienia do potrzeb produkcyjnych przedsiębiorstwa Alfa w konwencji dynamiki systemów*, „Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej”, „Zarządzanie i Marketing” 17/4 (2010).
- [3] Baran M., Śliwa K., *System theories and practise*, „Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation” 9/3 (2013), <http://jemi.edu.pl/pl/archive.html> (dostęp: 06.02.2014).
- [4] Baran M., Stecko J., *Symulacyjny model gospodarki – przypadek przedsiębiorstwa Fotosystem*, „Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej”, „Humanities and Social Sciences” XVIII/20 (2/2013).
- [5] Coyle R.G., *Management System Dynamics*, John Wiley & Sons, Chichester 1977.
- [6] *Elementy Dynamiki Systemów*, red. J. Tarajkowski, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 2008.
- [7] Forrester J., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge 1961.
- [8] <http://www.vensim.com>.
- [9] Kasperska E., *Dynamika systemowa. Symulacja i optymalizacja*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [10] Kucińska K., *Rynkowe uwarunkowania funkcjonowania przedsiębiorstwa*, [w:] *Podstawy ekonomiki i zarządzania przedsiębiorstwem*, red. J. Kortan, C.H. Beck, Warszawa, 1997.
- [11] Liwowski B., *Działalność podstawowa przedsiębiorstwa i jej wyspecjalizowane zakresy*, [w:] *Podstawy ekonomiki i zarządzania przedsiębiorstwem*, red. J. Kortan, C.H. Beck, Warszawa 1997.
- [12] Łukaszewicz R., *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975.
- [13] *Mały ilustrowany leksykon techniczny*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
- [14] *Nowa Encyklopedia Powszechna*, t. 4, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
- [15] Pająk E., *Zarządzanie produkcją*, PWN, Warszawa 2006.
- [16] Pasternak K., *Zarys zarządzania produkcją*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2005.
- [17] Piekarczyk A., Zimniewicz K., *Myślenie sieciowe w teorii i praktyce*, PWE, Warszawa 2010.
- [18] Senge P.M., *Piąta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2006.
- [19] Sterman J., *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin McGraw-Hill, Boston 2000.
- [20] Szatkowski K., *Przygotowanie produkcji*, PWN, Warszawa 2008.
- [21] Śliwa K.R., *O organizacjach inteligentnych i rozwiązywaniu złożonych problemów zarządzania nimi*, WSM SIG, Warszawa 2001.

THE SIMULATION MODEL OF PRODUCTION AND DISTRIBUTION IN THE CONVENTION OF THE SYSTEM DYNAMICS METHOD A CASE OF THE FOTOSYSTEM ENTERPRISE

The article is related to the production and distribution systems in a manufacturing company. Initially, the essence of the production process and distribution process, that are the key processes included in the basic activity of the manufacturing company, was explained. The most important decision rules directly linked to these processes were identified and briefly characterized. Next, the profile of the Fotosystem company was shown. In that company, investigations connected with above processes were conducted. Thus, variables of the system mental model was selected. Variables were linked to the cause – effect diagram. The diagram was the basis for the development of a simulation model. Characteristics type of the feedback loops operating in the system were marked. The target simulation model was developed in the convention of the system dynamics method, which allows to the representation of processes occurring in the system, both in terms of quantity and in terms of the analysis of the dynamics of their behavior. The software Vensim ® DSS was used here. The graphical form of the simulation model was presented with characteristic types of the variables: accumulations, flows and information variables. Definitions of variables and values of the constants of the model were given. These values resulted directly from empirical research in the Fotosystem company. In the final step, the model was simulated for the assumed step. The runs of selected variables of the system were shown and the analysis of them was presented. At the end, practical possibilities of using the developed model were discussed.

Keywords: production, distribution, simulation modeling, system dynamics

DOI: 10.7862/rz.2014.mmr.1

Tekst złożono w redakcji: marzec 2014

Przyjęto do druku: marzec 2014