

SYMULACJA KOMPUTEROWA PROCESÓW LOGISTYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU VENSIM

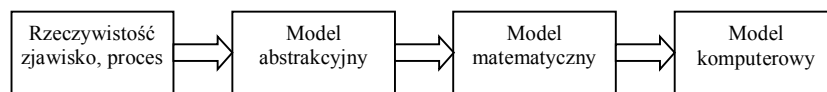
Wacław GIERULSKI, Sławomir LUŚCIŃSKI, Ryszard SERAFIN

Streszczenie: W artykule pokazano możliwości zastosowania metody symulacji ciągłej z użyciem ogólnie dostępnego programu Vensim, do komputerowego modelowania i symulacji procesów logistycznych. Przedstawiono przykład budowy modelu magazynu produkcyjnego z uwzględnieniem zakłóceń dostaw co do ilości i jakości dostarczanego asortymentu. Wskazano możliwość rozbudowy modelu w celu symulacji magazynu produkcyjnego wieloasortymentowego, oraz celowość tego rodzaju działań w dynamicznej ocenie dostawców. Problem ten jest istotny w przedsiębiorstwach produkcyjnych, które dążą do zmniejszania wielkości zapasów przy zapewnieniu ciągłości procesu produkcyjnego.

Słowa kluczowe: Modelowanie, symulacja komputerowa, Vensim, procesy logistyczne, magazyn produkcyjny

1. Wprowadzenie

Poznanie zjawisk i procesów jest celem wielu programów badawczych. Stosowane w tym celu są różne metody, począwszy od działań praktycznych polegających na obserwacji a kończąc na analizach teoretycznych, często z wykorzystaniem aparatu matematycznego. W obecnych czasach dominacji narzędzi informatycznych niezwykle ważną i skuteczną metodą badawczą jest symulacja komputerowa. Jest to odwzorowanie badanego zjawiska lub procesu w formie programu komputerowego nazywanego także modelem komputerowym, utworzonego z wykorzystaniem modelu matematycznego. W takim ujęciu symulacja komputerowa jest metodą badawczą, szczególnie przydatną w procesach dynamicznych opisujących zmiany zachodzące w funkcji czasu. Budowa modelu komputerowego umożliwiającego symulację jest końcowym etapem procesu modelowania obejmującego model abstrakcyjny (fizyczny), matematyczny, komputerowy (Rys. 1).



Rys.1. Elementy procesu modelowania
Źródło: opracowanie własne

Model abstrakcyjny, nazywany także modelem fizycznym, jest to pewien byt, który w uproszczeniu odzwierciedla modelowaną rzeczywistość. Stopień uproszczenia wynika z planowanego do realizacji celu badawczego. Powinien on być na tyle złożony, aby uwzględnić istotne w badaniu cechy, a na tyle prosty, aby jego analiza była możliwa z wykorzystaniem dostępnych metod i narzędzi. Model matematyczny tworzy zestaw równań i funkcji, których parametry i zmienne skojarzone są z modelem abstrakcyjnym. W przypadku modelowania procesów dynamicznych w modelu stosowane są równania

różniczkowe w których występują funkcje czasu. Model komputerowy pozwala na wykonywanie obliczeń zgodnie z zależnościami tworzącymi model matematyczny. Obecny rozwój specjalistycznych narzędzi informatycznych pozwala w wielu przypadkach przekształcać model matematyczny na model komputerowy bez konieczności tworzenia pełnego kodu programu.

Symulacja komputerowa szeroko wykorzystywana jest nie tylko w badaniach naukowych. Popularnym przykładem są symulatory jazdy samochodem, często stanowiące elementy gier komputerowych. Ważną rolę spełniają profesjonalne symulatory lotnicze stanowiące bardzo skuteczne narzędzie w procesie szkolenia pilotów samolotów wojskowych i cywilnych. W tym przypadku odwzorowywane są nie tylko elementy wizualne, ale także, sterowane komputerowo wybrane rzeczywiste ruchy kabiny co jest ważnym elementem symulacji. Innym przykładem są symulatory portów wykorzystywane przy szkoleniu kapitanów dowodzących statkami morskimi.

2. Symulacje w procesach logistycznych

Logistyka jest to proces planowania oraz kontroli działań mających na celu opłacalny ekonomicznie przepływ i magazynowanie surowców, zapasów, wyrobów gotowych oraz związanych z nimi informacji począwszy od miejsca pochodzenia do miejsca konsumpcji, w celu zaspokojenia potrzeb klienta. Zadaniem logistyki jest dostarczenie właściwego towaru, właściwemu klientowi, we właściwej ilości, we właściwym czasie, na właściwe miejsce, we właściwym stanie i po właściwej, czyli możliwie najniższej cenie [2,10,11].

W ramach logistyki można wydzielić trzy obszary działań związanych z różnymi etapami procesu wytwórczego:

- Logistyka zaopatrzenia - której głównym celem jest dostarczenie towarów w odpowiednim czasie, ilości i jakości zgodnie z zapotrzebowaniem odbiorcy.
- Logistyka dystrybucji - obejmująca przepływ produktów od wytwórcy do finalnego nabywcy
- Logistyka produkcji – obejmująca działania pomiędzy logistyką zaopatrzenia a logistyką dystrybucji i obejmuje wszystkie czynności związane z dostarczeniem surowców, materiałów i półproduktów bezpośrednio do miejsca realizacji procesu produkcyjnego oraz ich przemieszczanie zgodnie z kolejnymi etapami produkcji, aż do magazynu wyrobów gotowych.

Każdy z tych trzech obszarów działań może być przedmiotem badań z wykorzystaniem metod symulacyjnych; tutaj jednak ograniczono się do logistyki zaopatrzenia gdzie modelowany jest proces obsługi magazynu. Metody symulacyjne dotyczące logistyki zaopatrzenia mogą być włączone do standardowych działań przedsiębiorstwa, przykładowo w procesie oceny dostawców, przy analizie skutków nieprawidłowości dotyczących ilości (kompletności) i jakości dostaw. Podejście takie świadczy o stosowaniu innowacyjnych działań w przedsiębiorstwie nie tylko w odniesieniu do wytwarzanych produktów ale także do metod zarządzania [3,4]. Związane to jest z odpowiednio wysokim poziomem rozwoju środowiska innowacyjnego w przedsiębiorstwie [6] co skutkuje stosowaniem nowoczesnych metod wspomagających podejmowanie decyzji. Zagadnienia symulacji i analizy skutków nieprawidłowości w dostawach nabierają szczególnie dużego znaczenia, gdy tworzenie i utrzymywanie dużych zapasów z różnych powodów jest niewskazane. Przykładem może być duża odlewnia żeliwa, gdzie codziennie w procesie produkcyjnym wykorzystywane są olbrzymie ilości złomu a magazynowanie wiąże się z dodatkowym kosztownym przeładunkiem.

3. Program symulacyjny VENSIM

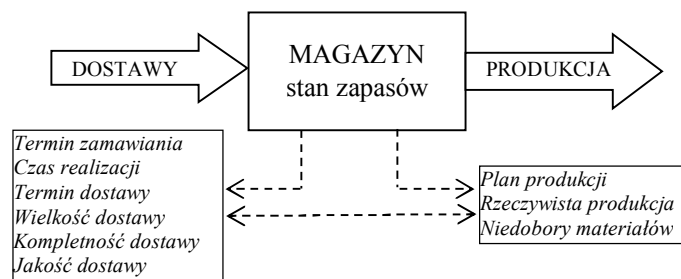
Procesy logistyczne związane są ze zmianami zachodzącymi w czasie. Są to więc procesy dynamiczne i do ich opisu w modelu komputerowym potrzebny jest program realizujący zadanie całkowania równań różniczkowych. Istnieje wiele takich programów (najbardziej znany to Matlab), a jednym z nich, tutaj stosowanym jest Vensim, produkt firmy Ventana Systems Inc., udostępniany bezpłatnie w wersji edukacyjnej (PLE). Program Vensim umożliwia modelowanie i symulację dowolnych systemów zawierających elementy i relacje między nimi opisane zależnościami matematycznymi [7]. W programie zastosowano intuicyjny interfejs graficzny, dzięki któremu budowa diagramu strukturalnego modelu polega na rozmieszczeniu w oknie roboczym programu obiektów graficznych reprezentujących elementy (zmienne) modelu, a następnie połączenie ich skierowanymi łukami obrazującymi relacje wpływu między nimi. W następnym kroku budowy modelu należy poszczególnym elementom przypisać odpowiednie funkcje lub operacje matematyczne definiujące te elementy. Vensim posiada bibliotekę wbudowanych funkcji, z której w prezentowanym modelu magazynu wykorzystano następujące:

- klasyczna funkcja warunkowa; IF THEN ELSE ($\{cond\}$, $\{ontrue\}$, $\{onfalse\}$),
- opóźnienie sygnału wyjściowego; DELAY FIXED ($\{in\}$, $\{dtime\}$, $\{init\}$),
- generowanie wartości losowej; RANDOM UNIFORM ($\{min\}$, $\{max\}$, $\{seed\}$),
- część całkowita liczby; INTEGER ($\{x\}$),
- cykliczny impuls jednostkowy; PULS TRAIN ($\{start\}$, $\{duration\}$, $\{repeattime\}$, $\{end\}$).

Dla przeprowadzania symulacji należy wybrać jednostkę czasu (sekunda, minuta, godzina, dzień, tydzień, miesiąc) oraz określić przedział wyrażony w tych jednostkach dla którego będzie przeprowadzana symulacja. Ponadto należy określić krok czasowy jako część wybranej jednostki ($1 - 0,0078125$), z którym będą realizowane obliczenia w procesie symulacji. Vensim stosuje całkowanie metodą Eulera lub Rungego-Kutty 4-tego rzędu. Program umożliwia określenie jednostek miary dla poszczególnych zmiennych modelu; spójność ich zastosowania jest kontrolowana w trakcie edycji definicji każdej zmiennej modelu. Brak zdefiniowanych jednostek lub wykryte błędy ich zastosowania nie wykluczają możliwości uruchomienia symulacji. W takim przypadku, otrzymane wyniki obliczeń, które formalnie są wykonywalne w programie, mogą nie mieć sensu w odniesieniu do rzeczywistości.

4. Model magazynu produkcyjnego

Magazynowanie jest jednym z elementów gospodarowania zapasami i z punktu widzenia logistyki stanowi bufor w przepływie materiałów (ogólnie produktów) [2,10]. Magazyn produkcyjny jest miejscem przechowywania materiałów, surowców, półproduktów itp. wykorzystywanych w procesie wytwarzania wyrobów. W ujęciu systemowym magazyn produkcyjny można przedstawić jako obiekt, w którym na wejściu są dostawy zwiększające stan zapasów a na wyjściu pobierane są materiały potrzebne do produkcji, co zmniejsza stan zapasów. W przypadku magazynu dla jednego asortymentu (jeden rodzaj materiału) w modelu występuje jeden sygnał wejściowy obrazujący dostawy i jeden wyjściowy obrazujący potrzeby produkcyjne (Rys. 2).



Rys. 2. Model magazynu produkcyjnego dla jednego asortymentu
Źródło: opracowanie własne

Sygnal wejściowy DOSTAWY charakteryzują następujące parametry (wielkości):

- Termin zamawiania – moment w czasie, w którym składane jest zamówienie. W zależności od przyjętego modelu zamówienia mogą być składane w jednakowych odstępach czasu, w terminach zależnych od stanu zapasów w magazynie lub w terminach zależnych od wielkości przyszłych potrzeb produkcyjnych i bieżącego stanu zapasów.
- Czas realizacji – okres pomiędzy złożeniem zamówienia a realizacją dostawy.
- Termin dostawy – moment w czasie, w którym dostawa wpływa do magazynu. Zależy od dwóch poprzednich parametrów i jest późniejszy od terminu zamawiania o wartość czasu dostawy.
- Wielkość dostawy – ilość przedmiotu dostawy w jednej partii dostawy wskazana w zamówieniu wyrażana w jednostkach naturalnych (sztuki, komplety, kilogramy, tony, litry itp.)
- Kompletność dostaw – miara wielkości odchylenia pomiędzy zamówioną a rzeczywistą wielkością dostawy; obrazuje ew. niedotrzymanie przez dostawcę warunków zamówienia co do ilości zamawianego asortymentu.
- Jakość dostawy – miara ilościowa tej części dostarczonego asortymentu, która nie spełnia wymagań jakościowych zamawiającego (zła jakość) i jako taka nie zostaje przyjęta do magazynu produkcyjnego.

Sygnal wyjściowy PRODUKCJA, przy założeniu (przyjętym dla celów prezentacyjnych), że do wyprodukowania jednostki produktu niezbędna jest jednostka materiału, charakteryzują następujące parametry (wielkości):

- Plan produkcji – wielkość zapotrzebowania na materiał niezbędny do realizacji planowanej wielkości produkcji (zadysponowana ilość materiału).
- Rzeczywista produkcja – wielkość pobrania z magazynu materiału wykorzystanego w produkcji (pobrana ilość materiału). W przypadku odpowiedniego stanu zapasów jest zgodna z planem produkcji (ilością zadysponowaną).
- Niedobory materiałów – miara wielkości odchylenia pomiędzy planem produkcji a rzeczywistą produkcją; wynika z braku dostatecznej ilości materiałów w magazynie.

Sygnaly wejściowe i wyjściowe w ogólnym przypadku zależą od stanu zapasów w magazynie oraz wzajemnie od siebie. Przykładowo, zamówienia mogą zależeć

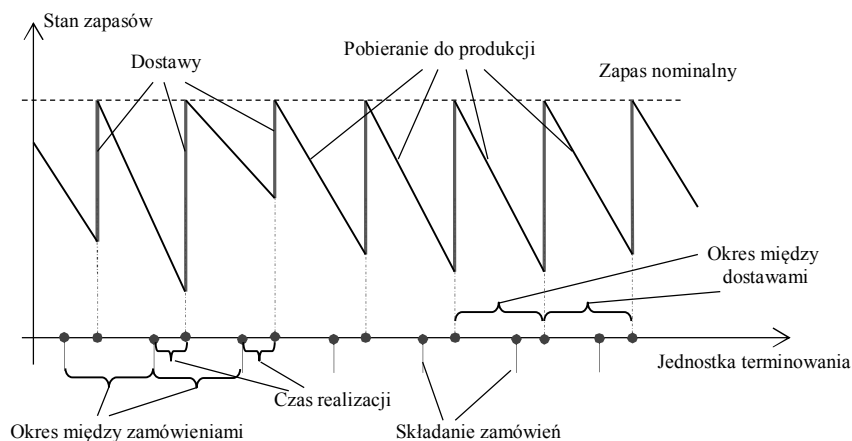
od przyszłych potrzeb wynikających z planu produkcji oraz od bieżących stanów zapasów. Podobnie, niedobory materiałów i związana z tym rzeczywista produkcja zależy od stanu zapasów a więc także od terminów i wielkości dostaw.

5. Model symulacyjny magazynu produkcyjnego

W celu zamodelowania strategii zaopatrzeniowej magazynu produkcyjnego model przeglądu okresowego w zaopatrywaniu magazynu, w którym występują:

- stały cykl przeglądu zapasów i składania zamówień,
- zmienna wielkość poszczególnych zamówień określona każdorazowo jako różnica między przyjętym zapasem nominalnym (maksymalnym poziomem zapasu) i stanem zapasu magazynowego w chwili cyklicznego przeglądu i składania zamówienia.

Na rys. 3 przedstawiono przyjęty model gospodarki magazynowej (dla jednego asortymentu).



Rys. 3. Zaopatrywanie magazynu z zastosowaniem modelu przeglądu okresowego

Źródło: opracowanie własne

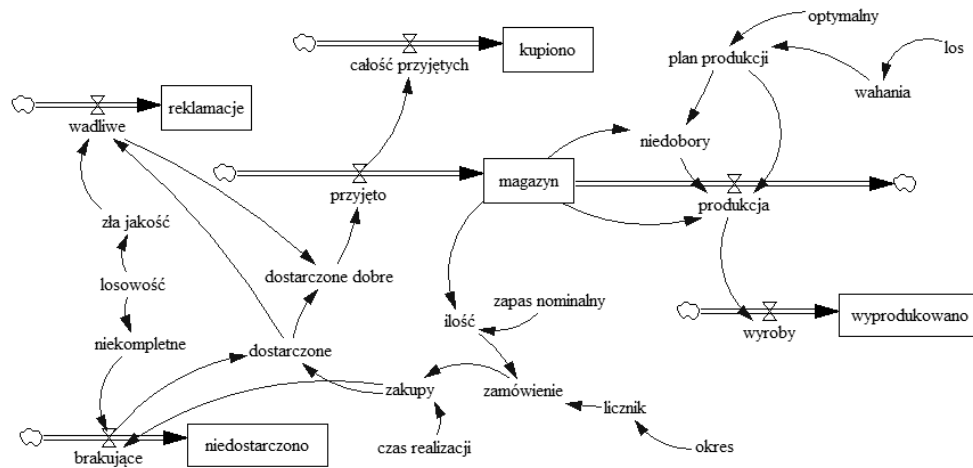
Na rys. 4 (strona nast.) przedstawiono diagram strukturalny modelu symulacyjnego magazynu produkcyjnego zbudowanego w programie Vensim w oparciu o zidentyfikowane parametry sygnałów wejściowego i wyjściowego magazynu oraz przyjęte założenia dotyczące jednostkowego zapotrzebowania na materiał i przyjętego modelu gospodarki magazynowej.

Przedstawiony model zawiera 28 bloków obliczeniowych co jest równoznaczne z przyjęciem 28 zmiennych w modelu.

W tabeli 1 (strona nast.) przedstawiono opis i definicje poszczególnych zmiennych wyrażone zależnościami zapisanymi z zastosowaniem języka modelowania i funkcjami wbudowanymi programu Vensim, z pominięciem przypisania jednostek miar poszczególnym zmiennym. Zmienne pogrupowano w zależności od powiązanych z nimi zależnościami matematycznymi.

- bloki całkujące (1 – 5) – całkowanie (metodą Eulera),
- funkcje (6 – 16) – wbudowane funkcje programu,

- działania arytmetyczne (17 – 19) – dodawanie lub odejmowanie,
- stałe (20 – 25) – wartości mogą być zmieniane w kolejnych symulacjach,
- przypisanie (26 – 28) – formalne przypisanie dla realizacji przyjętego algorytmu (Rys. 4.).



Rys. 4. Diagram strukturalny modelu symulacyjnego magazynu produkcyjnego
Źródło: opracowanie własne

Tab. 1. Zmienne w modelu symulacyjnym

Lp.	Zmienne	Opis
Bloki kalkujące		
1	Magazyn = przyjęto-produkcja wartość początkowa = 0	Stan zapasów w magazynie
2	Wyprodukowano = wyroby wartość początkowa = 0	Całkowita ilość rzeczywiście wyprodukowanych wyrobów
3	Kupiono = całość przyjętych wartość początkowa = 0	Całkowita ilość zakupionych dobrych materiałów
4	Niedostarczone = brakujące wartość początkowa = 0	Całkowita ilość zamówionych a niedostarczonych towarów
5	Reklamacje = wadliwe wartość początkowa = 0	Całkowita ilość towarów o złej jakości
Funkcje		
6	Produkcja = IF THEN ELSE(niedobory>0, magazyn, plan produkcji)	Ilość materiałów pobieranych z magazynu z uwzględnieniem sytuacji niedoborów
7	Niedobory = IF THEN ELSE (magazyn<plan produkcji, plan produkcji-magazyn, 0)	Ilość brakujących w magazynie materiałów dla realizacji planu produkcji
8	Zamówienie = IF THEN ELSE(licznik=1, ilość, 0)	Określenie terminu składania zamówienia
9	Ilość = IF THEN ELSE(magazyn<zapas nominalny, zapas nominalny-magazyn, 0)	Wielkość zamówienia przy warunku, że stan zapasów w magazynie jest niższy od zapasu nominalnego
10	Wadliwe = IF THEN ELSE(dostarczone>0, IF THEN ELSE(zła jakość>0, zła jakość, 0), 0)	Określa ilość dostarczonego towaru o złej jakości

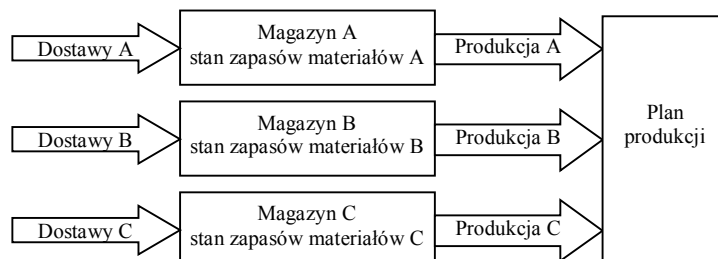
11	Brakujące = IF THEN ELSE(zakupy>0, IF THEN ELSE(niekompletne>0, niekompletne, 0), 0)	Określa ilość zamówionego a niedostarczonego towaru w dostawie
12	Licznik = PULSE TRAIN(0, 1, okres, 60)	Licznik dla określania terminów składania zamówienia
13	Zakupy = DELAY FIXED(zamówienie, czas realizacji,0)	Przesunięcie realizacji zamówienia względem złożenia zamówienia
14	Wahania = INTEGER(RANDOM UNIFORM(-10, 5, los))	Część losowo zmienna planu produkcyjnego
15	Niekompletne = INTEGER(RANDOM UNIFORM(-10, 10, losowość))	Wyznaczana losowo ilość zamówionego a niedostarczonego towaru
16	Zła jakość = INTEGER(RANDOM UNIFORM(-10, 10, losowość))	Wyznaczana losowo ilość towaru o złej jakości
Działania arytmetyczne		
17	Plan produkcji = optymalny + wahania	Generowany w modelu plan produkcji jako suma części stałej i losowo zmiennej
18	Dostarczone = zakupy-brakujące	Ilość dostarczonego towaru
19	Dostarczone dobre = dostarczone-wadliwe	Ilość dostarczonych towarów o dobrej jakości
Stale – przykładowe wartości, można zmieniać		
20	Los = 1 ()	Wartość startowa funkcji losowej. Zmiana wartości startowej generuje nowe wartości funkcji.
21	Optymalny = 12	Część stała planu produkcyjnego
22	Zapasy nominalny = 65	Wielkość zapasu nominalnego
23	Okres = 4	Odstęp czasowy pomiędzy zamówieniami w jednostkach terminowania
24	czas realizacji = 2	Czas realizacji zamówienia w jednostkach terminowania
25	Losowość = 0	Wartość startowa funkcji losowej. Zmiana wartości startowej generuje nowe wartości funkcji.
Przypisanie		
26	Całość przyjętych = przyjęto	Formalne przypisane (równoważne zmienne)
27	Wyroby = produkcja	Formalne przypisane (równoważne zmienne)
28	Przyjęto = dostarczone dobre	Formalne przypisane (równoważne zmienne)

Zródło: opracowanie własne

Tak zbudowany model oprócz realizacji zakupów według systemu zamówień przedstawionego na rys. 3, dodatkowo umożliwia symulację zakłóceń w dostawach. Zakłócenia w tym przypadku są to niekompletne dostawy w których ilość dostarczonego towaru jest mniejsza od zamówionej, oraz zła jakość części towaru, który nie jest kierowany do magazynu i może podlegać reklamacji. Przedstawiony model gospodarowania zapasami można rozbudować dla wielu asortymentów towaru poprzez zwielokrotnienie liczby magazynów, jako wydzielonych funkcji jednego rzeczywistego magazynu.

Nie jest to jednak tylko formalne zwielokrotnienie modeli symulacyjnych przedstawionych na rys. 4. Konieczne jest ich sprzężenie z uwzględnieniem odpowiednich instrukcji warunkowych, tak aby pobieranie z magazynu materiałów następowało w ilościach pozwalających na kompletowanie pełnego zestawu wymaganego w produkcji.

Przedstawiając ten warunek inaczej można powiedzieć, że wystąpienie niedoborów w jednym z magazynów wpływa na ilość towarów pobieranych z innych magazynów.

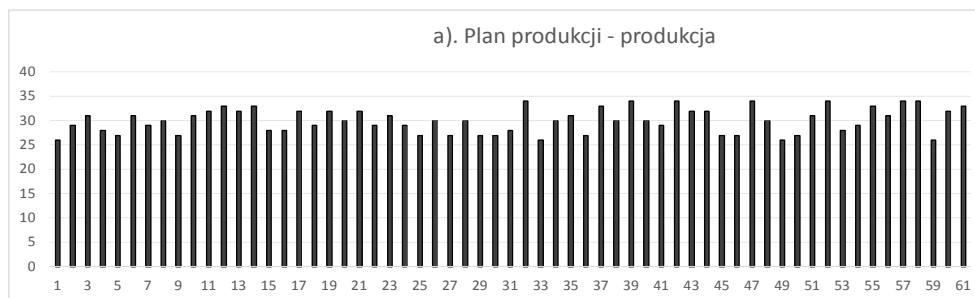


Rys. 5. Model gospodarki magazynowej dla trzech towarów
Źródło: opracowanie własne

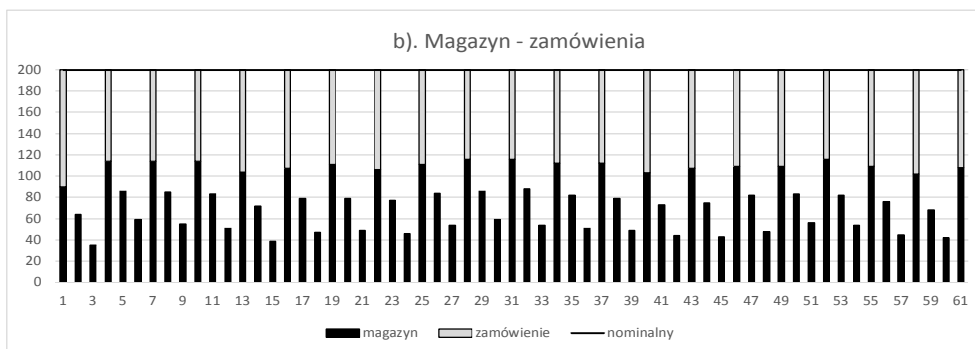
6. Wyniki badań symulacyjnych

W dalszej części pracy przedstawiono wyniki symulacji dla pojedynczego magazynu. Jako jednostkę terminowania przyjęto jeden dzień. Symulacje prowadzono dla okresu 61 dni. Wyniki symulacji przedstawiono w postaci wykresów słupkowych sporządzonych na podstawie dostępnych w formie tabelarycznych zestawień (z programu Vensim) wartości przyjmowanych przez poszczególne zmienne modelu.

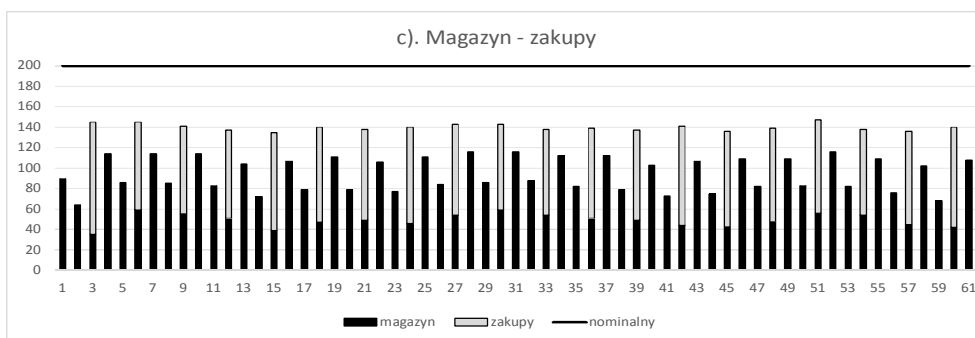
Pierwsza symulacja (Rys. 6.) została przeprowadzona przy założeniu, że dostawy są kompletne i o dobrej jakości (symulacja dostaw bez zakłóceń). Początkowy stan zapasów w magazynie oraz zapas nominalny dobrano tak, że w całym analizowanym przedziale czasu symulacji skwantyfikowanym w jednostkach terminowania nie występują niedobory, zatem zrealizowana wielkość produkcji odpowiada w pełni planowanej produkcji (Rys. 6a.).



Rys. 6a. Symulacja dostaw bez zakłóceń
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6b. Symulacja dostaw bez zakłóceń
Źródło: opracowanie własne



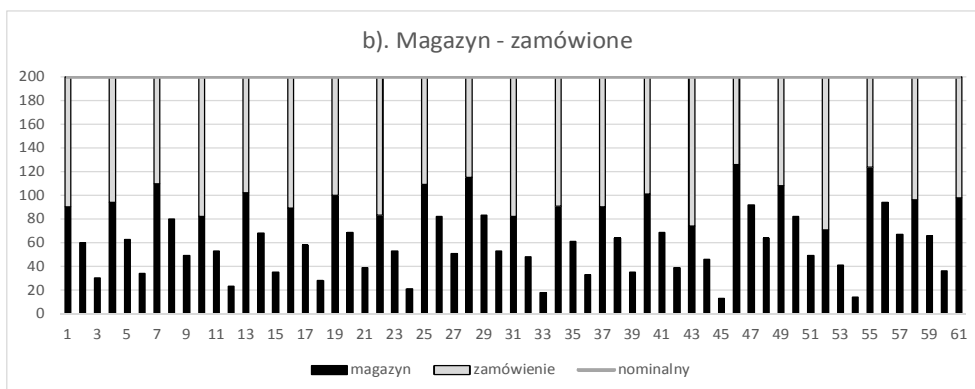
Rys. 6c. Symulacja dostaw bez zakłóceń
Źródło: opracowanie własne

Wielkość zamawiana obliczana jako uzupełniająca do poziomu nominalnego na podstawie poziomu zapasu magazynowego w momencie zamawiania (Rys. 6b.). Z uwagi na pobranie z magazynu w trakcie realizacji dostawy (2 dni), w momencie po przyjęciu dostawy poziom zapasu magazynowego jest poniżej zapasu nominalnego (Rys. 6c.).



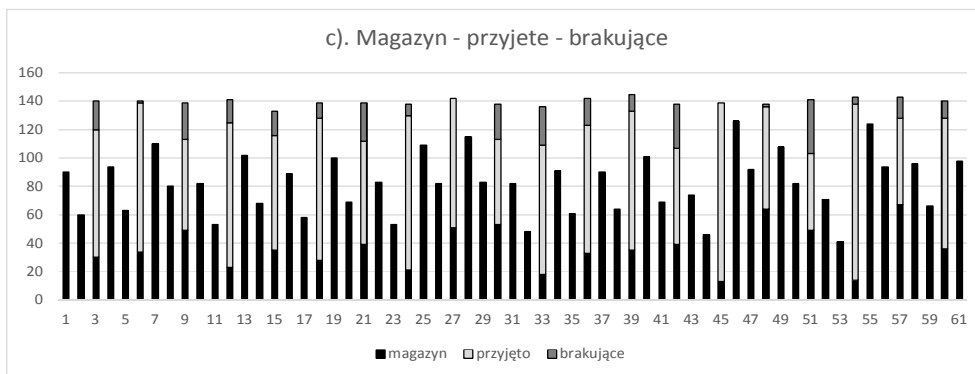
Rys. 7a. Symulacja dostaw z zakłóceniami
Źródło: opracowanie własne

W kolejnej symulacji do modelu wprowadzono zakłócenia dostaw, które mogą być mniejsze niż zamawiane, a dodatkowo część dostaw może być złej jakości i nie jest przyjmowana do magazynu (symulacja dostaw z zakłóceniami). W tym przypadku występują niedobory w magazynie, co powoduje, że produkcja w niektórych dniach jest niższa od planowanej (Rys. 7a.).



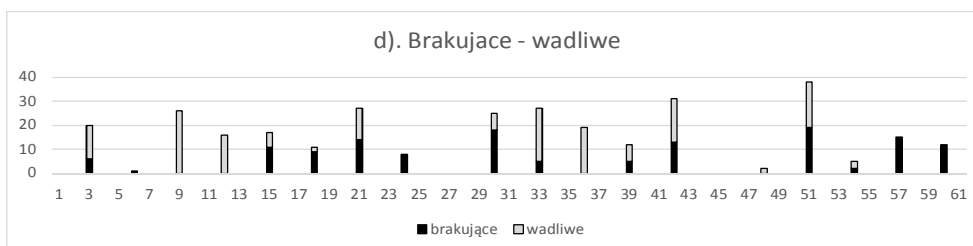
Rys. 7b. Symulacja dostaw z zakłóceniami
Źródło: opracowanie własne

Podobnie jak poprzednio, wielkość zamówienia dopełnia stan zapasów do poziomu nominalnego (Rys. 7b.), a w momencie realizacji po dwóch dniach poziom ten nie jest osiągnięty.



Rys. 7c. Symulacja dostaw z zakłóceniami
Źródło: opracowanie własne

Zapas magazynowy po dostawie jest poniżej nominalnego zarówno ze względu na zużycie materiałowe w okresie realizacji dostaw jak i wprowadzone losowe zakłócenia wielkości dostaw przyjmowanych do magazynu, odpowiadających niekompletności (niedobory) lub złej jakości części partii dostaw (Rys. 7c.).



Rys. 7d. Symulacja dostaw z zakłóceniami
Źródło: opracowanie własne

Na rys. 7d pokazano wielkość ubytków w dostawach z podziałem na brakujące materiały i te o złej jakości. Model symulacyjny pozwala na wyznaczenie wielu innych wielkości charakteryzujących analizowany proces. Przykładowe wyniki łączne dla całego procesu przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki łączne dla przykładowej symulacji

Wyznaczane wielkości	Symulacja	
	bez zakłóceń	z zakłóceniami
Plan produkcji	1833	1833
Wyprodukowano	1833	1772
Złożone zamówienia	1818	2060
Przyjęto do magazynu	1818	1751
Niedobory w magazynie	0	61
Niekompletne dostawy	0	138
Zła jakość dostaw	0	171
Stan magazynu - początkowy	90	90
Stan magazynu - końcowy	75	69

Źródło: opracowanie własne

5. Wnioski

Celem pracy jest budowa prototypu modelu magazynu produkcyjnego z uwzględnieniem wpływu zakłóceń o losowym charakterze w środowisku modelowania symulacyjnego programu Vensim. Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne wykazują, że obiekty, typy zmiennych oraz wbudowane funkcje dostępne w użyтым programie umożliwiają budowanie modeli symulacyjnych procesów logistycznych z uwzględnieniem modelowania zakłóceń występujących w rzeczywistych przebiegach (realizacjach) planowanych procesów. Przedstawiony model jest zaledwie zaczątkową postacią modelu docelowego, stąd w pracy nie zaprezentowano dalszych analiz uzyskanych wyników.

Symulacja komputerowa jest tutaj jedynie narzędziem pozwalającym na zastępowanie eksperymentów rzeczywistych eksperymentami komputerowymi. Jest to metoda względnie szybka i tania (jeśli pominąć jednorazowy wydatek czasowy na budowę i weryfikację modelu), pozwala na wielokrotne powtórzenia przy tych samych lub odpowiednio do potrzeb badawczych zmienianych warunkach. Badania tego rodzaju w znacznym stopniu mogą obniżyć stopień niepewności w odniesieniu do realizowanych w praktyce procesów logistycznych. Podejście takie jest szeroko stosowane w innych obszarach działań inżynierskich, np. w metrologii [1]. W praktycznych rozwiązaniach model symulacyjny

może być elementem systemu ekspertowego [5] wspomagającego dynamiczny proces oceny dostawców [8,9].

Literatura

1. Adamczak S., Bochnia J., Kaczmarska B.: Estimating the Uncertainty of Tensile Strength Measurement for a Photocured Material Produced by Additive Manufacturing, *Metrology and Measurement Systems*, Vol. XXI (2014), No. 3,
2. Beier F. J., *Logistyka*, Szkoła Główna Handlowa, warszawa 2004
3. Kaczmarska B., Sulerz A.: Ocena innowacyjności przedsiębiorstw informatycznych, w: *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Wyd. WSH Kielce 2013,
4. Kaczmarska B., Sulerz A.: *Audyt innowacyjności przedsiębiorstw usługowych, w: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, pod red. R.Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, T. 1,
5. Kaczmarska B.: *Zastosowanie doradczych systemów ekspertowych*, Zeszyty Naukowe Ekonomia Technika Zarządzanie Politechniki Świętokrzyskiej nr 34, Wyd. PŚk, Kielce 2006
6. Kaczmarska B.: *Modelowanie Innowacyjnego Rozwoju Przedsiębiorstw*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2015
7. Krupa K.: *Modelowanie symulacje i prognozowanie – systemy ciągłe*. Wydawnictwo naukowo-techniczne. Warszawa 2008.
8. Serafin R. Luściński S.: *Dynamiczna ocena dostawców z zastosowaniem adaptacyjnego systemu oceny ryzyka dostaw*. [w:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, pod red. R.Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, T. 1,
9. Serafin R.: *Koncepcja systemu adaptacyjnego zarządzania ryzykiem dostaw w procesach produkcyjnych*. Zarządzanie przedsiębiorstwem, Nr 3, 2013.
10. Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 2003,
11. Maruszak, B., *Hasło: Logistyka*. Encyklopedia Zarządzania [On line], 1 luty 2014. [Data, ostatni dostęp: 1 grudnia 2014]. URL: <http://mfiles.pl/pl/index.php/Logistyka>.

Dr hab. inż. Waclaw GIERULSKI, prof. nadzw. PŚk.
Dr inż. Sławomir LUŚCIŃSKI
Katedra Inżynierii Produkcji
Wydział Zarządzania i Modelowania Komputerowego
Politechnika Świętokrzyska
25-314 Kielce, Aleja Tysiąclecia PP 7
e-mail: waclaw.gierulski@tu.kielce.pl
luscinski@tu.kielce.pl

Mgr inż. Ryszard SERAFIN
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
e-mail: r.serafin@po.opole.pl