

Bogumił MENDLIKOWSKI<sup>1</sup>, Paweł PAWLEWSKI<sup>2</sup>  
 Politechnika Poznańska

## Porównanie oprogramowania do symulacji i modelowania procesów logistycznych<sup>3</sup>

### 1. Wprowadzenie

Główną osią tego artykułu jest porównanie dwóch systemów do symulacji procesów logistycznych. Są to oprogramowania firmy CLASS i FlexSim. Oprogramowanie FlexSim jest już używane przez autorów artykułu, natomiast oprogramowanie CLASS zostało wskazane przez operatora logistycznego, z którym autorzy współpracują. Operator jest firmą globalną. Oprogramowanie symulacyjne powinno mieć zdolność modelowania, symulacji, przewidywania i wizualizacji systemów między innymi w produkcji, obsłudze materiałów, służbie zdrowia, magazynach, m.in. MWS (Magazynach Wysokiego Składowania), procesach w kopalniach i elektrowniach, logistyce itp. Systemy takie powinny być jednocześnie funkcjonalne, elastyczne i przyjazne użytkownikowi. Jeśli oprogramowanie spełnia te założenia, to pomaga zoptymalizować obecnie istniejące procesy w tych instytucjach lub firmach oraz zaplanować zupełnie nowe. Dodatkowo można zmniejszyć i zidentyfikować straty, zredukować koszty oraz zwiększyć przychód firmy.

Optymalne wykorzystanie zasobów organizacji (ludzie, sprzęt), poprawa elastyczności struktury organizacyjnej, minimalizacja kosztów są tylko wybranymi celami jakie stawiają sobie firmy biorące udział w rynkowej walce o klienta [1].

Niestety wybór odpowiedniego oprogramowania do symulacji procesów jest trudny. Bardzo często jest to problem z powodu szerokiego wachlarza dostępnych obecnie narzędzi do symulacji procesów. Wiedzę na ten temat można czerpać z fachowej literatury (książki, gazety, materiały konferencyjne, np. e.g. Winter Simulation Conference – [www.wintersim.org](http://www.wintersim.org)), źródeł internetowych poświęconych narzędziom do symulacji, można również dostać wolny dostęp do kodów źródłowych takiego oprogramowania.

Struktura artykułu jest następująca: w sekcji 2 opisane zostały procesy logistyczne realizowane w magazynach MWS, w sekcji 3 przedstawiono krótką analizę literatury dotyczącej symulacji procesów logistycznych, w sekcji 4 opisano kryteria, które zdaniem autorów warto uwzględnić przy wyborze oprogramowania. Ostatnia sekcja zawiera porównanie dwóch systemów: CLASS i FlexSim. Ostateczne wnioski i uzasadnienie wyboru najlepszego systemu określono w punkcie 6.

### 2. Procesy logistyczne w magazynach MWS

Proces logistyczny jest to uporządkowany i skoordynowany łańcuch operacji związany z przepływem materiałów. Efektem procesu logistycznego jest usługa logistyczna. Usługa logistyczna jest to z kolei przetransportowanie lub magazynowanie produktu logistycznego w jakości, ilości i w czasie zgodnym z oczekiwaniami klientów.

Procesy realizowane w magazynach MWS można podzielić na wewnętrzne oraz na procesy w obrębie przyjęcia i wydania towaru z magazynu. Istnieją więc trzy grupy procesów. Każdy z tych procesów można odpowiednio zoptymalizować i przeprojektować, aby spełniały wymogi stawiane przez firmę. Poniżej przedstawiono przykładową listę procesów wewnętrznych badanego magazynu:

- proces domrażania produktów po przyjęciu,
- proces wybijania mięsa,
- proces wyboru odpowiednich miejsc składowania,
- konfiguracja miejsc kompletacyjnych odpowiednim asortymentem (minimalna, jak i maksymalna ilość towaru, poziom nasycenia),
- ułożenie ścieżki zbiórki,
- inwentaryzacja ciągła w procesie kompletacji,
- odpowiednie oznakowanie miejsc składowania oraz buforów dla komór składowania,
- analiza pracy pickerów (reakcja na słabą wydajność),
- zarządzanie (istnienie interfejsów EDI),
- gdy towar powierzony – fakturowanie usług (do każdej operacji logistycznej generujemy tzw. specyfikację usług i w oparciu o cenniki każdej usługi generowana jest faktura dla klienta),

<sup>1</sup> Mgr inż. B. Mendlikowski, Politechnika Poznańska.

<sup>2</sup> Dr hab. inż. P. Pawlewska, Politechnika Poznańska.

<sup>3</sup> Artykuł recenzowany.

- zmiana stanów (statusów) towarów przechowywanych w magazynie MWS, np. towary oczekujące na inspekcję jakości, towary w czasie karencji mikrobiologicznej, towary ze zwrotów – możliwe ruchy międzymagazynowe, towary uszkodzone, towary zablokowane przez klienta, towary zablokowane – możliwe wydania do producenta itp.,
- wszelkie zmiany właściciela towaru w magazynie – już na etapie przechowywania produktów (np. powierzonych) możliwa staje się zmiana właściciela produktów jednego kontrahenta i przejęcie (np. kupno) przez innego kontrahenta,
- możliwości zmian parametrów (np. cech – atest) opisujących i skonfigurowanych pod daną partię towaru,
- proces przesunięć magazynowych (np. palet) z jednego miejsca w inne (np. magazyn),
- zarządzanie procesem dekompletacji produktów, np. ze zwrotów,
- inwentaryzacja produktów zmiennie-wagowych.

Wszystkie powyższe procesy można odpowiednio ulepszyć aby ich wydajność pracy mogła ulec poprawie. Poniżej przedstawiono procesy, które mają za zadanie dostarczenie (przyjęcie) produktów do magazynu:

- awizo dostawy,
- cross-docking,
- przyjęcie do magazynu – generacja przesunięć lokalizacyjnych i szukanie odpowiednich miejsc składowania,
- etykietowanie własne i producenta,
- ważenie towarów,
- sprawdzanie temperatury towarów (skrócenie czasu mierzenia, 33 palety na TIR) + etykietowanie producenta,
- uzupełnienie miejsc kompletacyjnych na potrzeby kompletacji w momencie przyjęcia,
- korzystanie z opcji Shelf Life dla przyjęcia towaru,

Procesy zewnętrzne, które realizowane są przy wydaniu towaru z magazynu, w badanym obiekcie zostały zidentyfikowane następująco:

- istnienie dodatkowego procesu listy załadunkowej (awizo pojazdu) zmniejszającej ilość błędów przy wysyłce towaru z magazynu,
- korzystanie z Shelf Life dla wydania towaru,
- korzystanie i konfiguracja miejsc odkładczych tzw. DriveIn-ów,
- odpowiednie zarządzanie datami ważności (istnienie analiz towarów o kończącym się terminie ważności),
- możliwość grupowania zleceń wydania (ten sam kontrahent, miejsce dostawy, data realizacji itp.),
- wydawanie towarów zmiennie-wagowych.

Można zauważyć, że powyższe procesy logistyczne mają miejsce w większości magazynów i ich stosowanie jest nieodzownym elementem pracy każdego MWS.

### 3. Symulacja procesów logistycznych – tło literaturowe

Przez symulację rozumie się: przybliżone odtwarzanie zjawiska lub zachowania danego obiektu za pomocą jego modelu. Szczególnym rodzajem modelu jest model matematyczny, często zapisany w postaci programu komputerowego [2].

Symulacje stosuje się, jeśli trudno jest przez podejście analityczne zbadać dany problem logistyczny. W magazynach MWS jest taka dynamika zachowania systemów i procesów logistycznych, że konieczne staje się skorzystanie z narzędzi symulacyjnych. Ułatwiają one rozwiązywanie problemów logistycznych, a co za tym idzie dają możliwości firmom logistycznym na konkurencyjną działalność. Wykorzystując symulacje nie trzeba tworzyć modeli fizycznych, przez co oszczędza się środki finansowe. Dzięki korzystaniu z symulacji jest możliwe eksperymentowanie i zmienianie modelu rzeczywistości, w taki sposób, że można testować różne scenariusze, przeprowadzać różne warianty testowe i sprawdzać ich wpływ na poszczególne elementy otoczenia. Technologię symulacyjną stosuje się dzisiaj również w wspieraniu podejmowania decyzji przez managerów. Przeprowadzone eksperymenty dostarczają informacji o procesach i pomagają podjąć najlepszą decyzję.

W przypadku procesów logistycznych istotne znaczenie ma weryfikacja modeli symulacyjnych. Modele logistyczne należą do grupy modeli dynamicznych i wymagają analizy ich dynamicznego zachowania [3].

Artykuł nie skupia się na opisie technik stosowanych w procesach weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych. Przegląd odpowiednich publikacji [4] umożliwi rozszerzenie tej wiedzy. Dalsza część pracy odpowiada na pytanie, jakie są kryteria wyboru oprogramowania do symulacji procesów logistycznych. Zasybulowanie oznacza naśladowanie rzeczywistego systemu przez użycie eksperymentalnego modelu reprezentującego system rzeczywisty [5].

### 4. Kryteria wyboru oprogramowania do symulacji procesów logistycznych

Artykuł zwraca uwagę na szczególne kryteria, które są istotne i wystarczające, aby można było powiedzieć, że jedno narzędzie ma przewagę nad innym. Bierze się pod uwagę nie tylko względy ergonomii używania, ale przede wszystkim wachlarz możliwości dostępnych do zrealizowania w pełni procesu symulacji. Pierwszym głównym kryterium jest prostota jego użycia, nie wymagająca profesjonalnej wiedzy informatycznej, zwłaszcza programistycznej.

Do najważniejszych kryteriów wyboru oprogramowania symulacyjnego zaliczono:

- uruchamianie szybko i łatwo dowolnej liczby scenariuszy procesów typu What if, możliwe jest porównywanie i uruchamianie różnych scenariuszy,
- możliwości projektowe, testowanie oraz przeprojektowywanie procesów logistycznych w magazynach logistycznych,
- funkcje animacji do dynamicznego zachowania się modeli w celu wychwycenia błędów i ewentualnych blokad, spiętrzeń w modelu,
- funkcje kontroli spójności i poprawności wszystkich połączeń badanych modeli symulacyjnych po każdej zmianie parametrów,
- łatwość używania licznych opcji, dzięki którym możliwe jest testowanie oraz czytelne i jasne zrozumienie funkcjonalności,
- możliwość modelowania bezpośrednio w 3D (bez konieczności tworzenia modelu 2D),
- opcje drag and draw podczas konstruowania modeli procesów lub wyglądu magazynu logistycznego,
- narzędzia do pomiarów mierników wydajnościowych zaprojektowanych procesów logistycznych,
- możliwość śledzenia i ustawiania tzw. punktów zatrzymań w badanych modelach (debugger), podobnych do tych stosowanych w środowiskach programistycznych [4],
- dostosowanie do własnych potrzeb wyglądu poszczególnych elementów wyposażenia magazynów logistycznych, np.: wózki widłowe, regały do składowania palet itp.
- importowanie do systemów CAD zaprojektowanych symulacji [4],
- możliwość uruchomienia w czasie procesów symulacyjnych łącznie z udziałem personelu, wózków ręcznych, widłowych, pokazujące powiązania stref magazynowych, dokładnie reprezentujących zaprojektowany system.

Dodatkowo istotnym elementem pomocnym przy wyborze pakietu symulacyjnego jest dostępność i łatwość tworzenia odpowiednich mierników wykorzystywanych w magazynach / centrach dystrybucyjnych. W tabeli 1 przedstawiono listę takich mierników.

Tab. 1. Wskaźniki (mierniki) wykorzystywane w magazynach (centrach logistycznych)

Nazwa miernika angielska	Nazwa miernika polska	Wyjaśnienie co mierzy	Jak mierzyć i jak pokazywać	Jednostki
Inbound flows	przepływ jednostek przychodzących	- liczba rozładowywanych pojazdów - liczba rozładowanych pojazdów - liczba pojazdów oczekujących na rozładunek - ilość rozładowanego towaru - czas oczekiwania	–	sztuki minuty
Outbound flows	przepływ jednostek wychodzących	- liczba załadowanych pojazdów - czas średniego opóźnienia - czas najdłuższego opóźnienia	–	sztuki minuty
Labour usage	wydajność pracy	- procentowe wykorzystanie zmiany	- liczba operatorów pracujących (w ciągu godziny) / liczba godzin na zmianę	godziny
Docks usage	wykorzystanie doków	- procent wykorzystania doków - liczba zajętych doków		%
Marshalling area usage	wykorzystanie dostępnych powierzchni magazynowych	- procent wykorzystania wpływania i wypływania towarów do i z magazynu	- liczba dostępnych ramp (doków) / liczba przesyłanych palet	%
MHE Usage & Costs materials handling equipment (MHE)	użycie i koszt maszyn, które biorą udział przy produkcji, transporcie, kontroli i przechowywaniu dóbr	- obciążenie wózków widłowych - koszt maszyn w przemyśle - np. przewidywalność używania liczby wózków widłowych (forklift) - np. koszt różnicowy pomiędzy gęstością przechowywania towarów na regałach a automatyzacją pojazdów (wózki widłowe), które wymagają odpowiedniej przestrzeni do pracy - zmniejszenie kosztów pracy - np. optymalizacja zaprojektowanych metod pickingu w systemach MWS (ze względu na koszty)	- liczba posiadanych / liczba wykorzystanych - czas przestoju - rotacja na lok. kompletacyjnych	% np. PLN minuty liczba szt.
Automated System usage	automatyzacja używanego systemu	–	–	–

Nazwa miernika angielska	Nazwa miernika polska	Wyjaśnienie co mierzy	Jak mierzyć i jak pokazywać	Jednostki
Tasks currently available to be done	wykonane na bieżąco dostępne zadania	- raport wydajności pracowników	- picking (liczba zrealizowanych kartonów / liczba zrealizowanych ruchów)	%
Replenishments and transfers	uzupełnianie zapasów i transfer	- prognozowanie zapasów - koszty utrzymania zapasów - koszty uzupełniania zapasów - koszty braków zapasów	- sprzedaż / zamówienia /zapotrzebowanie / planowanie - ilość utraconych produktów A (data ważności) / wszystkie produkty A - czas składania zamówień i ich realizacji / czas pracy pracownika - liczba utraconych kontrahentów	ilość % %
Storage area congestion	przeciążenie przestrzeni magazynowej	- np. rotacja miejsca kompletacyjnego (niewspółmierny do jego wykorzystania) - rotacja palet na rampie	- ilość towarów / dzień	%
Path group congestion	przeciążenie ścieżki zbiórki	- rotacja produktów w poszczególnych korytarzach na komorach	- liczba produktów w korytarzu/ liczba zadań wózków widłowych	%

## 5. Porównanie programu CLASS i FlexSim

Poszukiwanie odpowiednich narzędzi symulacyjnych nie jest sprawą prostą. Wybór ograniczono do pakietów symulacyjnych DES (ang. Discrete Event System) systemów zdarzeń dyskretnych. Na rynku dostępnych jest wiele pakietów symulacyjnych, m.in. Anylogic, Witness, Simio, Arena, FlexSim. Autorzy wcześniej już zdecydowali o wyborze pakietu FlexSim z puli programów dostępnych na rynku. Wybór ten został opisany w [6] i [7]. W trakcie realizacji projektu z globalnym operatorem logistycznym pojawiła się konieczność porównania pakietu FlexSim ze wskazanym przez operatora specjalistycznym oprogramowaniem CLASS. Porównanie tych pakietów przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Porównanie parametrów oprogramowania CLASS i FlexSim

Parametr	CLASS Warehouse Simulation	FlexSim
Technologia (2D,3D)	stara technologia 2D (3D jako postprocessor) 3D tylko wizualizacja	nowa (supernowoczesna) technologia rzeczywistego 3D (animacja i kinematyka)
Rysowanie	układ strony – rysowanie używając prostych narzędzi 2D	importowanie formatów DWG (AutoCad)
Format (tekstury)	dla formatu 3D – standard kształty (tekstury z bitmap), cl3D format	kształty z wszystkich 3D CAD programów (praktycznie wszystkie 3D formaty), rozszerzone tekstury, odbicie itd.
Obiekty	zamknięty system – tylko obiekty dostępne w menu, tylko operacje z listy	system otwarty – dostęp to każdego parametrów – tworzenie obiektów
Pisanie skryptów	brak skryptów	skrypty w języku FlexScript/C++
Analizy	standardowe statystyki, analiza przepływów	standardy i projektowanie statystyk przez użytkowników
Operatorzy animacji	brak operatorów animacji	operatorzy animacji – możliwości analizy ruchu części ciała – bardzo szczegółowa analiza
Rozszerzone obiekty	brak rozszerzonych obiektów, takich jak pojazd, dźwig, robot, winda	rozszerzone obiekty: pojazdy ASRS, dźwig, robot, winda itp.
Optymalizator, esperymentator	brak eksperymentatora i optymalizatora	wbudowany eksperymentator i optymalizator OptQuest, narzędzia do definiowanie wielu eksperymentalnych scenariuszy do automatyzacji procesu
Technologia agentowa	brak	nowa technologia – bazująca na agentowej (Logistics GEO) do modelowania procesów w magazynie precyzyjnie w rzeczywistym świecie
Łączenie technologii	brak	możliwości do łączenia technologii używając przenośników, operatorów, wózków widłowych, ASRS
Moduły AVG	brak	moduły AVG
Interfejsy	interfejs (brak danych)	to/from Excel, SQL, ODBC
Raporty	raporty na ekranie (brak danych)	csv (Excel), html
Rozwiązywanie problemów	tylko rozwiązywanie standardowych problemów zdefiniowanych przez autorów w CLASS	bez limitu

## 6. Podsumowanie – uzasadnienie wyboru

Bazując na własnym doświadczeniu oraz na wykorzystanej w tej pracy literaturze autorzy zdefiniowali szereg kryteriów oceny oprogramowania do symulacji procesów logistycznych. Ważnym etapem jest samo określenie złożoności procesów logistycznych, szczególnie w obszarze MWS. Dopiero na tej podstawie można zastanowić się nad kryteriami ich oceny. To z kolei pozwala na zdefiniowanie i zwrócenie uwagi na szczególne parametry, które mogą być istotne w ocenie specjalistycznego oprogramowania do symulacji procesów logistycznych. Autorzy zdefiniowali kilkanaście takich parametrów, które bardzo istotnie przyczyniają się do wyboru najlepszego oprogramowania do symulacji procesów logistycznych. Szczególnie istotne okazują się własności dotyczące modelowania i animacji bezpośrednio w 3D, łatwość tworzenia modeli, otwartość systemu, brak limitów i ograniczeń oraz możliwość tworzenia własnych obiektów. Oprogramowanie FlexSim przoduje tutaj zdecydowanie nad CLASS. W FlexSim można używać wielu obiektów do modelowania, takich jak pojazdy ASRS, dźwigi, roboty, windy itp. Dodatkowo możliwości eksperymentowania modelem symulacji dzięki optymalizatorowi OptQuest można rozwiązywać problemy o bardzo dużym zbiorze możliwych rozwiązań, na przykład dotyczących alokacji zasobów. Powyższe argumenty zadecydowały o wyborze programu FlexSim do realizacji projektu optymalizacji procesów w strefie kompletacji w jednym z największych centrów dystrybucyjnych w Europie.

### Streszczenie

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na najważniejsze kryteria w ocenie oprogramowania do symulacji i modelowania procesów logistycznych realizowanych w centrach dystrybucyjnych. Kryteria te są podstawą do wyboru oprogramowania najlepszego, tak aby służyło budowie procesów logistycznych oraz poprawie (Reengineeringu) obecnych procesów, a w konsekwencji poprawie wydajności pracy procesów logistycznych w magazynach MWS (Magazynach Wysokiego Składowania), Centrach Dystrybucyjnych.

**Słowa kluczowe:** procesy logistyczne, centrum dystrybucyjne, modelowanie, symulacja.

### Comparison Software to simulation and modelling logistic processes

#### Abstract

The paper presents the results of research performed in the area of modeling and simulation of warehouse operations in a supply chain. Author defines in details main problems concerning warehousing. "Old" and "new" approaches to model and simulate of warehouse operations are compared based on available simulation programs on the market. The criteria for the comparison were described and set of typical indicators dedicated to warehouse operations are showed.

#### LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- [1] Klaus R., Mendlikowski B., *Modelowanie procesów gospodarczych z wykorzystaniem oprogramowania e-proces DGA*.
- [2] Pidd M., *Computer Simulation in Management Science*, John Wiley & Son Ltd, 2004.
- [3] Balcerak A., *Walidacja modeli symulacyjnych źródła postaw badawczych. Symulacja Systemów Gospodarczych*, Prace Szkoły Antałówka 2000, s. 28–44, 2003.
- [4] Karkula M., *Weryfikacja i walidacja dynamicznych modeli symulacyjnych procesów logistycznych*, „Logistyka” 2012, nr 2.
- [5] Beaverstock M., Greenwood A., Lavery E., Nordgren W., *Applied Simulation. Modeling and Analysis using Flexsim*, Flexsim Software Products, Inc., Canyon Park Technology Center, Orem, USA, 2011.
- [6] Pawlewski P., *Requirements for Logistics multimodal network simulation*, „Zarządzanie przedsiębiorstwem” 2013, nr 1.
- [7] Pawlewski P., *Simulation Tools to support practical multimodal logistics modelling and design*, „Zarządzanie Produkcją” 2013, nr 2.