

Marek KARKULA\*

## WERYFIKACJA I WALIDACJA DYNAMICZNYCH MODELI SYMULACYJNYCH PROCESÓW LOGISTYCZNYCH

### Streszczenie

W artykule omówiono zagadnienia związane z weryfikacją i walidacją dyskretnych modeli symulacyjnych, będących ważnym narzędziem badaczy zajmujących się analizami procesów i systemów logistycznych. Omówiono podstawowe techniki wykorzystywane do przeprowadzenia weryfikacji i walidacji oraz zaprezentowano rozwiązania wspierające te techniki w pakietach symulacji dyskretnej sterowanej zdarzeniami.

**Słowa kluczowe:** model symulacyjny, weryfikacja, walidacja, proces logistyczny

### 1. WPROWADZENIE

Modele symulacyjne stosowane są zazwyczaj wtedy, gdy nie można lub bardzo trudno jest uzyskać rozwiązanie analityczne badanego problemu. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku analizy dynamicznego zachowania systemów i procesów logistycznych. Odpowiedni dobór strategii i sprawne posługiwanie się narzędziami logistycznymi, w tym metodami symulacji komputerowej, umożliwia i ułatwia rozwiązywanie problemów logistycznych występujących w działalności przedsiębiorstw na rynku, zwłaszcza w przypadku konieczności kooperacji między różnymi podmiotami.

Bez możliwości przeprowadzenia badań symulacyjnych na modelach systemów lub procesów logistycznych często jest trudne, a czasami wręcz niemożliwe, stwierdzenie, jaki wpływ na ich zachowanie mają poszczególne czynniki związane z tymi systemami. Wykorzystując model symulacyjny, można na nim eksperymentować, „zmieniać rzeczywistość”, testować różne scenariusze decyzyjne, czy też sprawdzać oddzielnie wpływ poszczególnych elementów otoczenia.

Należy pamiętać, że narzędzie jakim jest symulacja, nie służy do podejmowania decyzji za menedżerów. Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne dostarczają im danych i informacji o procesach, które pomagają podjąć najlepsze decyzje. Jak wspomniano modele symulacyjne są coraz częściej wykorzystywane do rozwiązywania problemów i wspomagania w zakresie podejmowania decyzji. Twórcy oraz użytkownicy tych modeli dążą do tego, aby na podstawie informacji uzyskanych z wyników symulacji, można było podejmować właściwe decyzje – muszą zatem dołożyć wszelkich starań, praktycznie na każdym z etapów badań i budowy modelu, aby zachować poprawność samego modelu jak i wyników otrzymanych na podstawie przeprowadzanych eksperymentów.

W tym celu istnieje potrzeba ciągłej kontroli jakości prac w każdym etapie procesu modelowania symulacyjnego. Bardzo ważnym krokiem w eksperymentach symulacyjnych jest walidacja i weryfikacja modelu. Początkowo narzędzia te stosowane były do oceny poprawności procedur i algorytmów przez Departament Obrony USA (DoD), jednak wielu badaczy zajmujących się problemami logistyki zauważyło, że także w tym obszarze należy stosować narzędzia weryfikacji i walidacji w celu minimalizacji ryzyka błędnej decyzji podjętej na podstawie niewłaściwego modelu lub modelu generującego niewłaściwe wyniki.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

## 2. PROBLEM WERYFIKACJI I WALIDACJI W LITERATURZE

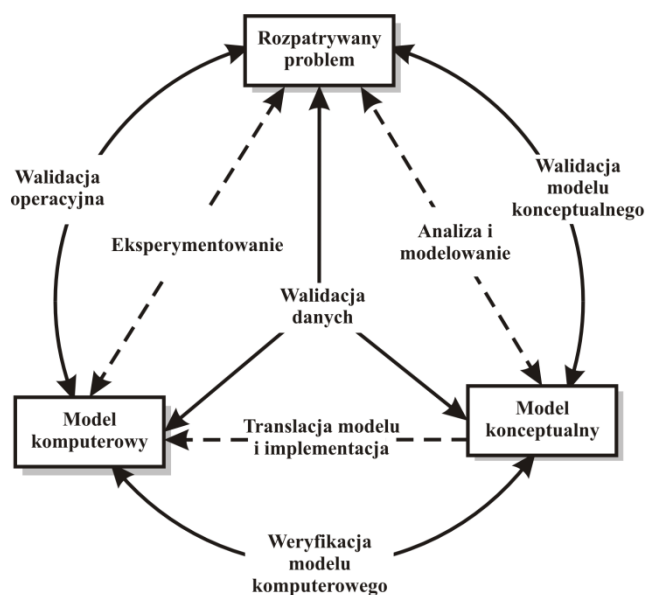
Weryfikacja powinna dać odpowiedź na pytanie: Czy model jest zbudowany w sposób poprawny?, podczas gdy walidacja odpowiada na pytanie: Czy zbudowany jest poprawny model? W literaturze można spotkać różne poglądy na temat weryfikacji i walidacji. Pewna grupa badaczy uważa te pojęcia za synonimy, jednak według większości weryfikacja to konieczna, lecz niewystarczająca faza w procesie walidacji [1, 2, 5, 12, 13]. W tabeli 1 przedstawiono za [1] kilka definicji tych pojęć.

**Tab. 1 Walidacja i weryfikacja modelu symulacyjnego według wybranych autorów**

Źródło	Walidacja	Weryfikacja
Schlesinger [18]	Sprawdzanie, czy model komputerowy ma – w swojej dziedzinie zastosowań – wystarczający poziom trafności.	Sprawdzanie, czy model komputerowy jest wystarczająco trafną reprezentacją modelu konceptualnego.
Balci [2]	Stwierdzenie, że działanie modelu, w założonej dziedzinie zastosowań, jest zasadne i zgodne z celami modelowania.	Stwierdzenie wystarczającej trafności transformacji jednej formy modelu w drugą.
Tucker [21]	Proces rozstrzygnięcia o stopniu, w jakim model jest wiernym odwzorowaniem rzeczywistości z perspektywy jego zamierzonych zastosowań.	Proces rozstrzygnięcia, czy implementacja modelu jest zgodna z opisem i specyfikacją jego twórcy.

Źródło: [1]

Walidacja i weryfikacja modelu symulacyjnego nie są procesami jednostkowymi i nie stanowią wyraźnie wyodrębnionego etapu badania symulacyjnego – traktować je należy jako proces ciągły, zachodzący w trakcie cyklu modelowania. Weryfikacja to sprawdzanie, czy model komputerowy jest wystarczająco trafną reprezentacją modelu konceptualnego, natomiast walidacja oznacza rozstrzygnięcie, czy model komputerowy ma – w swojej dziedzinie zastosowań – wystarczający poziom trafności.



**Rys. 1 Walidacja i weryfikacja w procesie modelowania.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1, 17]

Jak już wspomniano weryfikacja i walidacja modelu symulacyjnego nie są działaniami jednostkowymi. Porównując uproszczony schemat modelowania (rys. 1) oraz wnioski z prac [1, 13, 17] można stwierdzić, że głównymi fazami tych procesów są: walidacja modelu konceptualnego – dokonywana na etapie formułowania założeń do modelu, weryfikacja modelu – przeprowadzana na etapie tworzenia modelu formalnego i walidacja operacyjna – przeprowadzana na etapie eksperymentowania z modelem. Ostatni krok dotyczy przede wszystkim użytkownika końcowego modelu.

### 3. NARZĘDZIA WERYFIKACJI I WALIDACJI

Istnieje wiele narzędzi i testów do przeprowadzania weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych. Generalnie narzędzia te można podzielić na cztery kategorie: nieformalne – weryfikacja i walidacja modelu odbywa się bez sformalizowanych narzędzi matematycznych;

- formalne – wykorzystanie technik z tej grupy polega na badaniu poprawności modelu z wykorzystaniem narzędzi matematycznych;
- statyczne – służą do walidacji modelu konceptualnego oraz prawidłowości translacji na model komputerowy, należą do nich analizy przepływu danych, analizy składni i semantyki modelu;
- dynamiczne – wymagają „uruchomienia” modelu i analizy jego dynamicznego zachowania; ta grupa metod jest szczególnie ważna w przypadku walidacji modeli procesów i systemów logistycznych;

Dokonując przeglądu publikacji [1, 8, 12, 13] można wskazać następujące techniki stosowane w procesach weryfikacji i walidacji modeli symulacyjnych:

#### **Konfrontacja z innymi modelami** (ang. *comparison to other models*)

Technika ta polega na porównaniu wyników modelu symulacyjnego z wynikami innych, zasadnych modeli, opisujących dany system i służących do rozwiązania tego samego (bądź zbliżonego) problemu. Na przykład, wyniki uproszczonych modeli symulacyjnych mogą być porównywane z wynikami znanych modeli analitycznych, wymaga to jednak często modyfikacji modelu symulacyjnego.

#### **Walidacja zdarzeniowa** (ang. *event validity*)

Zdarzenia generowane w modelu symulacyjnym są porównywane ze zdarzeniami zachodzącymi w oryginale modelu (w systemie rzeczywistym).

#### **Testy degeneracyjne** (ang. *degenerate tests*)

Procedura testów degeneracyjnych polega na wykonaniu eksperymentu symulacyjnego na uproszczonym (zdegenerowanym) modelu przez usunięcie części modelu lub wybór wartości parametrów wejściowych modelu i potwierdzenie zgodności wyników symulacji z intuicyjnym zachowaniem systemu.

#### **Testy warunków ekstremalnych** (ang. *extreme condition tests*)

Struktura modelu oraz jego wyniki powinny potwierdzać założenia istnienia warunków ekstremalnych (kombinacji stanów systemu, których wystąpienie jest mało prawdopodobne). Na przykład, jeśli stany zapasów produkcji w toku są zerowe, to stan produkcji gotowej powinien też być zerowy.

**Walidacja ekspertowa** (ang. *face validity*)

Technika ta polega na potwierdzaniu zasadności modelu przez specjalistów danej dziedziny przedmiotowej (ekspertów, użytkowników). W szczególności rozpatrywana jest racjonalność modelu i/lub jego zachowań np. poprzez stwierdzenie poprawności logiki struktury (schematu blokowego modelu) i poprawności relacji wejście-wyjście modelu. Szczególnym przypadkiem tej metody są testy Turinga, które polegają na rozwiązywaniu przez ekspertów problemu identyfikacji zbioru danych systemu rzeczywistego i zbioru wyników modelu symulacyjnego. Do oceny zasadności badanego modelu można także wykorzystać wtedy metody statystyczne odpowiedzi udzielonych przez ekspertów.

**Testy stałych wartości** (ang. *fixed values tests*)

Jako dane wejściowe modelu i jego parametry wykorzystywane są wartości stałe. Umożliwia to porównanie wyników modelu z wartościami obliczonymi w sposób analityczny.

**Walidacja historyczna danych** (ang. *historical data validation*)

Jeśli dostępne są dane historyczne zachowania się systemu rzeczywistego, to część tych danych wykorzystywana jest w procesie budowy modelu, pozostała część natomiast jest użyta do oceny zasadności modelu.

**Metody grafiki operacyjnej** (ang. *operational graphics*)

Zachowanie się zmiennych wyjściowych modelu (np. zajętości buforów, wykorzystania stacji obsługi, bezczynności maszyn) prezentowane jest w trakcie przebiegów eksperymentów w formie graficznej w funkcji wpływającego czasu.

**Analiza wrażliwości** (ang. *parameter variability-sensitivity analysis*)

Technika ta to jedna z najczęściej stosowanych metod walidacyjnych i weryfikacyjnych, a opiera się ona na zmianie wartości danych wejściowych i parametrów wewnętrznych modelu w celu określenia wpływu tych zmian na zachowanie się modelu. W wyniku tych eksperymentów zależności obserwowane w modelu powinny być takie same jak w systemie rzeczywistym. Te z parametrów, które są wrażliwe, tzn. ich nieznaczna zmiana (na ogół w granicach 10%) powoduje znaczne zmiany zachowania się modelu, powinny być szacowane z większą dokładnością przed wykorzystaniem ich w modelu.

**Analiza wariancji** (ang. *variance analysis*)

Jest to testowanie hipotez, że wartość średnia otrzymana z charakterystyki szeregów czasowych z symulacji jest równa średniej wartości szeregu czasowego otrzymanego z obserwacji systemu rzeczywistego. Do głównych wad tej metody należy zaliczyć konieczność założenia normalności rozkładu i niezależności stochastycznej.

**Testy zgodności** (ang. *goodness of fit tests*)

Technika polega na testowaniu hipotez o zgodności rozkładów empirycznych z założonymi w modelu symulacyjnym rozkładami prawdopodobieństwa. Testowana jest także hipoteza, że wyniki generowane podczas symulacji mogą być traktowane jako realizacja procesu stochastycznego o rozkładach prawdopodobieństwa obliczanych na podstawie danych historycznych.

**Analiza regresji** (ang. *regression analysis*)

Analiza taka umożliwia ocenę regresji pomiędzy ciągami obserwowanymi w rzeczywistości, a tymi uzyskanymi w wyniku przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych. Testowana

jest hipoteza, że otrzymane równania regresji mają odcinki, w których różnice pomiędzy danymi generowanymi w symulacji i danymi rzeczywistymi można uznać za bliskie zeru.

#### **Określenie przedziałów ufności** (ang. *confidence intervals*)

Metoda ta polega na określeniu i interpretacji przedziałowych ocen wyników otrzymanych na drodze eksperymentów symulacyjnych. W wyniku tego można przyjąć, iż oceniany parametr znajdzie się w wyznaczonym przedziale na obranym poziomie ufności.

#### **Animacja** (ang. *animation*)

Wiele współczesnych pakietów symulacyjnych daje możliwość obserwacji przepływu obiektów dynamicznych dzięki funkcji animacji. Funkcja ta pozwala na skuteczną ocenę poprawności dynamicznego zachowania się modelu. W przypadku modeli procesów logistycznych technika ta umożliwi ocenę przepływu obiektów w systemie (materiałów, informacji, itp.)

#### **Modele 3-D i wirtualna rzeczywistość** (ang. *3-D models and virtual reality*)

Dzięki takiej reprezentacji modelu jego użytkownik może w sposób interaktywny uczestniczyć w zmianach, które w modelu zachodzą i w ten sposób dokonywać oceny zachowania się modelu.

### 4. NARZĘDZIA WALIDACJI W PAKIETACH SYMULACYJNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO ANALIZY PROCESÓW LOGISTYCZNYCH

W ciągu ostatnich kilkunastu lat można zauważyć wzrost zainteresowania dedykowanymi dla danej dziedziny pakietami symulacyjnymi (ang. *rapid simulation tools*). Główną zaletą takich pakietów jest prostota w ich użyciu. Cecha ta spowodowała, że użytkownikami pakietów mogli zostać nie tylko specjaliści z zakresu programowania, ale także osoby, dla których zaawansowane techniki informatyczne i programowanie nie jest codziennym zajęciem czy profesją. Model w tego typu pakietach budowany jest z reguły w formie graficznej, przy użyciu myszki stosując metodę przeciągnij i upuść (ang. *drag and drop*), a dane wprowadzane są za pomocą odpowiednich okien dialogowych służących do parametryzacji.

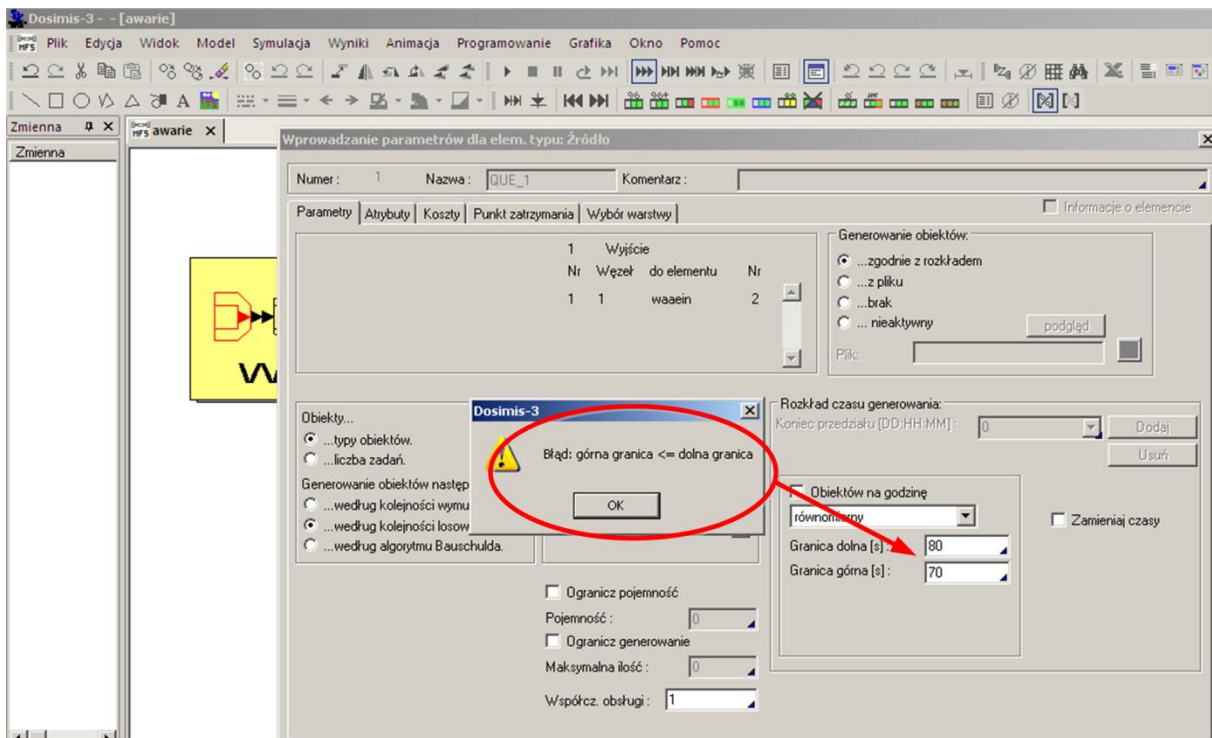
W wielu pakietach tego typu prostota obsługi pociąga za sobą spadek elastyczności w budowaniu modeli. Pakiety komercyjne oferują jednak obok standardowych technik, metody umożliwiające odwzorowanie praktycznie dowolnych elementów i algorytmów występujących w rzeczywistych systemach. Jednym z podstawowych wymagań stawianych nowoczesnym pakietom symulacyjnym jest możliwość przeprowadzenia zarówno weryfikacji jak i walidacji budowanych dzięki nim modeli.

#### 4.1. WERYFIKACJA I WALIDACJA W PAKIECIE DOSMIS-3

Wśród narzędzi do modelowania symulacyjnego procesów i systemów logistycznych warto wymienić pakiet DOSIMIS-3 wykorzystujący mechanizmy modelowania dyskretnego sterowanego zdarzeniami [4, 7, 11]. Pakiet ten jest modułowo zorientowanym narzędziem symulacji, które w szczególności dostosowano do planowania i tworzenia modeli systemów logistycznych. Dzięki modułowemu podejściu do problemu modelowania zastosowanemu w pakiecie użytkownik ma możliwość szybkiego otrzymania wyników eksperymentów symulacyjnych i nawet dla niewielkich przedsięwzięć może być skutecznym narzędziem do wspomagania procesów decyzyjnych. Pakiet ten jest interaktywnym symulatorem

graficznym, a zasada działania i organizacja obliczeń tego symulatora opiera się na procesach dyskretnych sterowanych zdarzeniami i umożliwia symulację między innymi złożonych systemów logistycznych. Podstawą obliczeń wykonywanych przez symulator są zachodzące w zbudowanym modelu zdarzenia oraz związane z nimi upływ czasu, a aparat matematyczny wykorzystywany w trakcie symulacji bazuje przede wszystkim na teorii automatów skończonych.

Pakiet posiada wiele, wbudowanych narzędzi i mechanizmów kontroli poprawności, weryfikacji i walidacji modelu. Na rysunku 2 przedstawiono jeden z wielu dostępnych mechanizmów weryfikacji – następuje weryfikacja danych wprowadzonych przez użytkownika i w przypadku błędnej sytuacji generowane jest ostrzeżenie z komunikatem o błędzie.

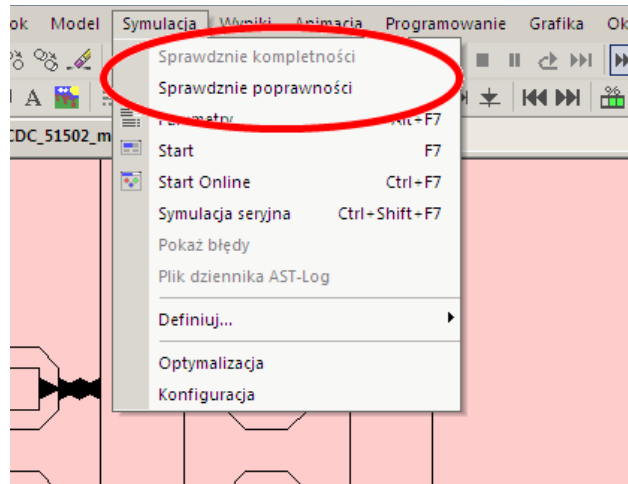


Rys. 2 Weryfikacja wprowadzonych danych

Weryfikację i walidację tworzonych modeli można przeprowadzać m.in. za pomocą udostępnionych przez pakiet mechanizmów jak również standardowych narzędzi statystycznych:

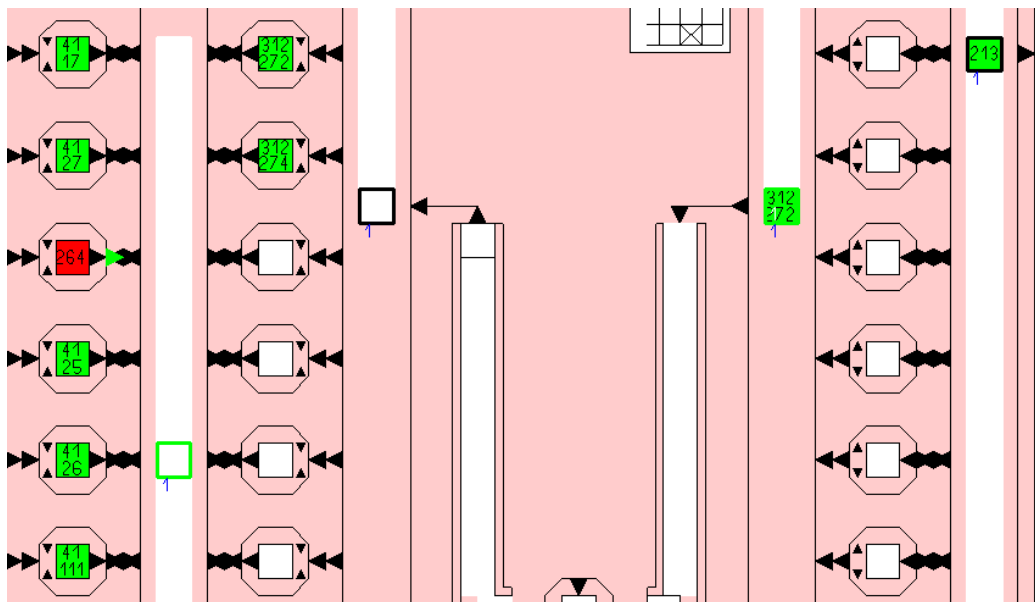
- sprawdzanie kompletności modelu (ang. *consistency check*),
- sprawdzanie poprawności modelu (ang. *check errors*),
- animacji przebiegów,
- mechanizmowi zastawiania pułapek (ang. *breakpoints*), który umożliwia śledzenie wartości poszczególnych zmiennych lub ich atrybutów,
- statystycznej ocenie obserwowanych przebiegów, wygenerowanych przez program symulacyjny, z zależnościami pochodzącymi z danych rzeczywistych.

Mechanizmy kontroli spójności i poprawności (ang. *consistency and error check*, pokazane na rysunku 3) sprawdzają, czy wszystkie parametry, jak również połączenia elementów modelu są poprawne. Kontrola ta odbywa się zazwyczaj po każdej zmianie parametrów modelu. Wybranie tej funkcjonalności powoduje, że wszystkie elementy z błędami, niespójnymi parametrami są zaznaczane i wyróżniane jednym kolorem.



Rys. 3 Mechanizmy sprawdzania kompletności i poprawności modelu

Funkcja animacji okazuje się bardzo ważnym i użytecznym narzędziem do walidacji modeli symulacyjnych, dodatkowo umożliwia ona prezentację dynamicznego zachowania się modelu. Przy pomocy narzędzia jakim jest animacja można szybko wychwycić błędy w modelu czy np. blokady i spiętrzenia w modelowanym systemie. Zmienne stany obiektów przepływających przez system są reprezentowane przez odpowiednio zabarwione elementy graficzne (przykład modelu w trakcie animacji pokazano na rys. 3).



Rys. 4 Animacja przepływu materiałów w modelu symulacyjnym

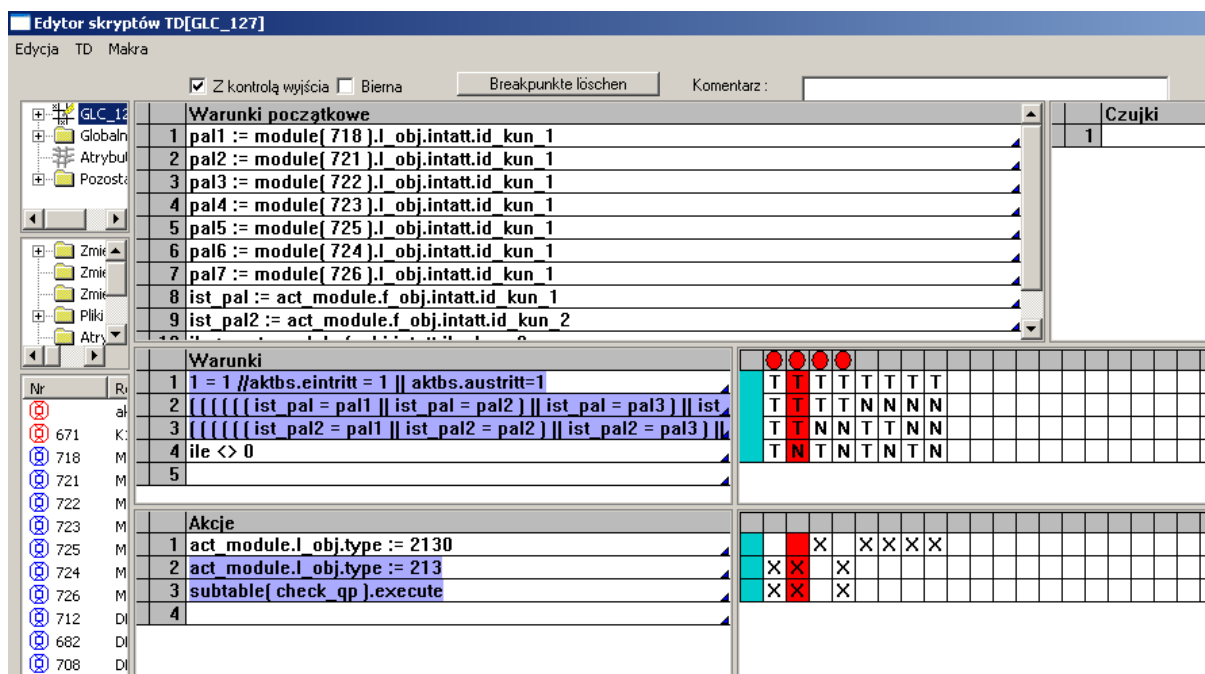
Można zatem w trakcie animacji wyodrębnić stany w jakich znajdują się obiekty, a mianowicie „zablokowany”, „w trakcie obsługi”, „oczekuje na pracownika”, „w trakcie transportu”, czy „jest przezbrajany”. Animacja przepływu obiektów w systemie może być dokonywana krokowo i w każdej chwili można ją zatrzymać i wydrukować widok modelu wraz ze stanami obiektów znajdujących się w systemie.

Wraz ze wzrostem stopnia złożoności i rozmiaru modelu wzrasta również potrzeba posiadania wydajnego narzędzia umożliwiającego odnajdywanie i śledzenie błędów w modelu. Takim niezwykle użytecznym, szczególnie w procesie walidacji modelu narzędziem jest mechanizm zastawiania pułapek (ang. *breakpoints*) znanych także jako

punkty zatrzymań. Mechanizm ten zapożyczony został z środowisk programistycznych, które wykorzystują do interaktywnej analizy kodu programów tzw. debuggera (programu pozwalającego na wykrywanie błędów w kodzie). Także w wykorzystanym symulatorze dostępna jest funkcja umożliwiająca ustawianie punktów zatrzymań dla elementów (np. w momencie zajścia w nim określonego zdarzenia), obiektów ruchomych, czy też tabel decyzyjnych.

Dzięki niej modelujący ma możliwość zatrzymania trwającej symulacji, prześledzenie interesujących go parametrów i fragmentów modelu i ponowne uruchomienie symulacji. W przedstawionej na rysunku 4 tabeli decyzyjnej zastosowano mechanizm pułapek w celu prześledzenia realizacji zaimplementowanych algorytmów. Punkty zatrzymań ustawione zostały regułą od pierwszej do czwartej. W przykładzie zilustrowanym na rysunku 4 doszło do spełnienia reguły nr 2 – w tym momencie symulacja jest zatrzymywana, kolumna macierzy z regułą podświetlana na kolor czerwony, a odpowiednie warunki i decyzje (akcje) na kolor jasno niebieski.

W trybie tym użytkownik ma także podgląd na aktualne wartości zmiennych lokalnych i globalnych wykorzystywanych w modelu (w oknie Czujki (ang. *watch*)).



Rys. 5 Debugowanie i mechanizm zastawiania pułapek w tabelach decyzyjnych w celu weryfikacji i walidacji modelu

Uwieńczeniem studiów symulacyjnych jest analiza wyników i możliwość wnioskowania na ich podstawie (także walidacja wyników). Wyniki analiz statystycznych są tak podzielone, żeby użytkownik mógł szybko ocenić zachowania przejściowe i na podstawie statystyk przedziałowych stabilność badanego systemu w pojedynczych przedziałach czasu co usprawnia proces walidacji modelu.

## 5. PODSUMOWANIE

Weryfikacja i walidacja modeli procesów logistycznych to krytyczne etapy w procesie budowy i wykorzystania modelu symulacyjnego. Bez rzetelnego podejścia do problemu oceny wiarygodności modeli nie możemy być pewni, że decyzje, które podejmujemy będą właściwe. Zadanie to jest obecnie znacznie ułatwione – nowoczesne pakiety symulacyjne



posiadają szereg narzędzi wspomagających te działania. Jednakże nie ma prostych i jasnych algorytmów jak weryfikacja i walidacja powinna być przeprowadzana i praktycznie dla każdego projektu symulacyjnego może wyglądać trochę inaczej.

## LITERATURA

- [1] Balcerak A. *Walidacja modeli symulacyjnych – źródła postaw badawczych*. Symulacja Systemów Gospodarczych. Prace Szkoły Antałówka 2000, strony 28–44, 2003
- [2] Balci O.: *Verification, validation, and certification of modeling and simulation applications*, [In] Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003, pp. 150–158
- [3] Bangsow S.: *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [4] Barbey H.-P.: *Validation of unstable discrete event models*, [In] Burczynski T., Kołodziej J., Byrski A., Carvalho M. (Eds), Proceedings 25th European Conference on Modelling and Simulation, June 7–10, 2011, Krakow, Poland
- [5] Champagne L. E., Hill R. R.: *Simulation validation with historic outcome*, [In] Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005, pp. 1138–1147.
- [6] Conwell C. L., Enright R., Stutzman, M. A.: *Capability maturity models support of modelling and simulation verification, validation, and accreditation*, [In] Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, 2000, pp. 819–828
- [7] *DOSIMIS-3 – Podręcznik użytkownika*. Wersja 6.0, SDZ GmbH, Dortmund 2011
- [8] Fei-Yan Min, Ming Yang, Zi-Cai Wang, *Knowledge-based method for the validation of complex simulation models*, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 18, Issue 5, May 2010, Pages 500-515, ISSN 1569-190X, 10.1016/j.simpat.2009.12.006. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X09001919>)
- [9] Garrido J. M.: *Object Oriented Simulation. A Modeling and Programming Perspective*, Springer Science+Business Media, LLC 2009
- [10] Marquez A. C.: *Dynamic modelling for supply chain management: dealing with front-end, back-end and integration issues*, London, Springer-Verlag, 2010
- [11] Merkurjev Y., Merkurjeva G., Piera M. À, Guasch A. (Eds.): *Simulation-Based Case Studies in Logistics*, Springer-Verlag, 2009.
- [12] Rabe M., Spiekermann S., Wenzel S.: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*, Springer-Verlag, 2008, ISBN 9783540352822
- [13] Rabe M., Spiekermann S., Wenzel S.: *Verification and validation activities within a new procedure model for V&V in production and logistics simulation*, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, 2009, pp. 2509–2519
- [14] Robinson S.: *General concepts of quality for discrete-event simulation*, European Journal of Operational Research, Volume 138, Issue 1, 1 April 2002, Pages 103–117, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221701001278>)
- [15] Robinson S.: *Simulation: the practice of model development and use*, John Wiley & Sons Ltd, 2004
- [16] Robinson S. (Ed.): *Conceptual modeling for discrete-event simulation*, CRC Press, 2011
- [17] Sargent R. G.: *Verification and validation of simulation models*, [In] Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, 2011, pp. 183–198
- [18] Schlesinger S.: *Terminology for model credibility*, Simulation, 1979, pp. 103–104
- [19] *Standard for models and simulations*, NASA Technical Standard, National Aeronautics and Space Administration, Washington, 2008, <http://standards.nasa.gov/documents/viewdoc/3315599/3315599>

- [20] Thomas D., Joiner A., Wei Lin, Lowry M., Pressburger T.: *The unique aspects of simulation verification and validation*, Aerospace Conference, AEGIS Technol. Group, Huntsville, AL, USA, IEEE 2010
- [21] Tucker W.: *A Glossary of Modeling and Simulation Terms for Distributed Interactive Simulation*, 1995
- [22] VDI-Richtlinie 3633: *Simulation von Logistik – Materialfluß und Produktionssystemen*, Duesseldorf, 1992
- [23] Wenzel S., Weiß M., Collisi-Böhmer S., Pitsch H., Rose O.: *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008

## **VERIFICATION AND VALIDATION OF DYNAMIC SIMULATION MODELS OF LOGISTICS PROCESSES**

### **Abstract**

The article discusses issues related to verification and validation of simulation models, which are an important tool for researchers in the analysis of processes and logistics systems. The basic techniques used for the verification and validation, and presented solutions that support these techniques in discrete event simulation package are discussed.

**Keywords:** modeling and simulation, verification, validation, logistics processes