

SYSTEMOWO-DYNAMICZNA SYMULACJA WEBOWA

MAŁGORZATA ŁATUSZYŃSKA¹

Uniwersytet Szczeciński
Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania
¹ e-mail: mlat@wneiz.pl

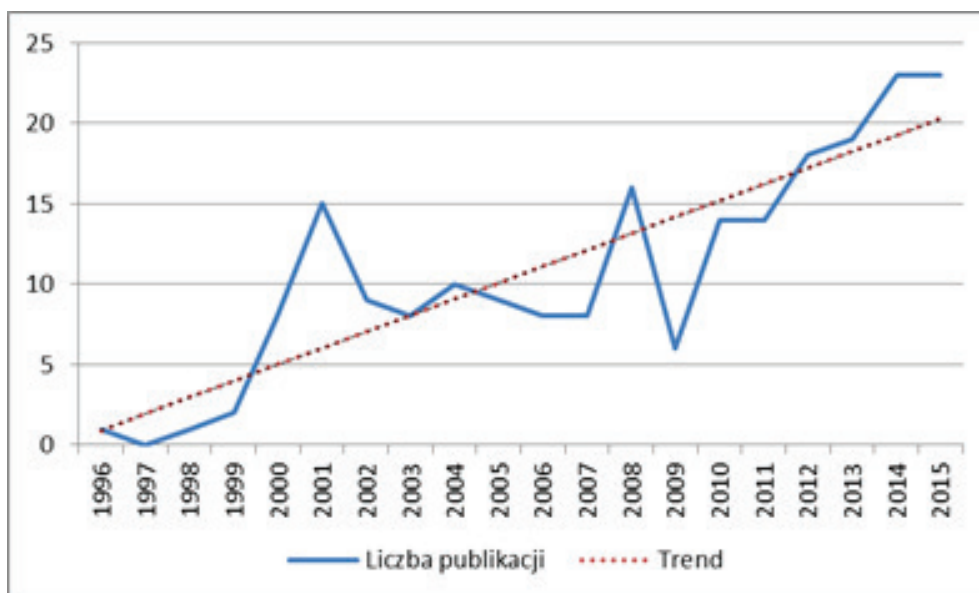
SŁOWA KLUCZOWE | symulacja komputerowa, technologia webowa, dynamika systemowa

STRESZCZENIE | Artykuł dotyczy problematyki symulacji webowej (ang. *web-based simulation*), a koncentruje się na metodzie symulacji ciągłej – dynamice systemowej (ang. *System Dynamics*). Podstawowym jego celem jest przegląd aplikacji webowych służących do symulacji i wizualizacji modeli systemowo-dynamicznych. Ponadto w artykule dokonano krótkiej charakterystyki wybranych rodzajów symulacji webowej oraz podsumowano jej zalety i wady

Wprowadzenie

Symulacja webowa to termin określający zastosowanie metod i usług komputerowego modelowania symulacyjnego w połączeniu z technologią webową głównie poprzez przeglądarkę internetową. W ogólnym sensie tego typu forma modelowania i symulacji jest rozumiana jako środowisko dostarczania aplikacji do modelowania symulacyjnego i realizacji obliczeń (zob. Byrne i in., 2010; Kuljis i Paul, 2001 oraz Maciąg i in., 2013).

Pojęcie symulacji webowej jest prawdopodobnie tak stare jak sama sieć WWW (Reichen-thal, 2002). Pierwsze prace z nią związane rozpoczęły się w 1995. Polegały na dodaniu interfejsów webowych do symulacji uruchamianych jako skrypty bądź programy CGI (ang. *Common Gateway Interface*). Zaraz potem nastąpiły prace związane z rozwojem pakietów symulacyjnych opartych na języku Java. Ich wyniki zostały przedstawione podczas Winter Simulation Conference w 1996 roku (np. Nair i Miller, 1996; Buss i Stork, 1996; Fishwick, 1996 oraz Kuljis, 1996). Od tego czasu zainteresowanie oraz poziom wysiłków badawczych w obszarze symulacji webowej stale wzrasta, czego dowodzi zwiększająca się z roku na rok liczba publikacji na ten temat. Pokazuje to rysunek 1, który powstał na bazie przeglądu opracowań naukowych opublikowanych w latach 1996–2015, zamieszczonych w bazie ScienceDirect prowadzonej przez wydawnictwo Elsevier. Większość publikacji pojawiła się w czasopiśmie *Simulation Modelling Practice and Theory*. Opracowania odnoszą się zarówno do aspektów technicznych symulacji webowej i jej różnych rodzajów, jak i do zastosowań w różnych obszarach, np. medycynie, edukacji, grach komputerowych czy systemach wspomagania decyzji.



Rysunek 1. Liczba publikacji związanych z symulacją webową w latach 1996–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie ScienceDirect.

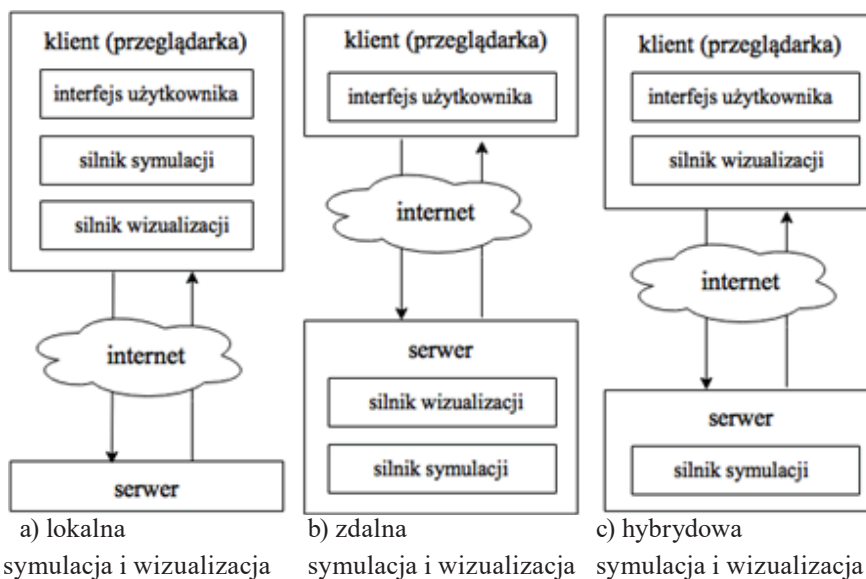
Niniejszy artykuł dotyczy systemowo-dynamicznej symulacji webowej. Podstawowym jego celem jest przegląd aplikacji webowych służących do symulacji i wizualizacji modeli systemowo-dynamicznych. Ponadto w artykule dokonano krótkiej charakterystyki wybranych rodzajów symulacji webowej oraz podsumowano jej zalety i wady.

Rodzaje symulacji webowej

Podstawowym kryterium podziału symulacji webowej jest architektura jej aplikacji (Bencomo, 2004; Myers, 2004; Page, 1999 oraz Whitman i in., 1998). Zgodnie z tymże kryterium można wyróżnić: lokalną, zdalną oraz hybrydową symulację i wizualizację

W lokalnej symulacji i wizualizacji silnik symulacji oraz komponenty odpowiedzialne za wizualizację są pobierane do lokalnego komputera użytkownika. Podczas realizacji swoich zadań działają w środowisku przeglądarki internetowej (Bencomo, 2004; Byrne i in., 2010; Myers, 2004). Podstawową konfigurację lokalnej symulacji i wizualizacji, po początkowej fazie ładowania, prezentuje rysunek 2a. Podczas tej fazy użytkownik otwiera przeglądarkę i przechodzi do strony internetowej zawierającej zazwyczaj aplet wywoływany automatycznie przez przeglądarkę. Aplet zawiera zarówno silnik symulacji, jak i wizualizacji, które działają lokalnie po stronie klienta. Możliwy jest bardziej zaawansowany układ, w którym na przykład po stronie serwera znajduje się baza danych (Byrne i in., 2010).

W zdalnej symulacji i wizualizacji zarówno silnik symulacji, jak i generator wizualizacji/animacji są zlokalizowane i uruchamiane zdalnie – po stronie serwera (Bencomo, 2004; Holzinger i in., 2008). Dostęp do nich odbywa się przez przeglądarkę po stronie klienta, na zasadzie przetwarzania wsadowego (rys. 2b). Parametry są przekazywane do silnika symulacji za pośrednictwem serwera sieci Web, a wyniki są zwracane użytkownikowi po zakończeniu działania symulacji (Myers, 2004; Fishwick, 1996; Narayanan i in., 1999; Morilla i in., 2001; Byrne i in., 2010; Bencomo, 2004). Rysunek 2b pokazuje podstawową konfigurację zdalnej symulacji i wizualizacji, po początkowej fazie ładowania.



Rysunek 2. Podstawowa konfiguracja po początkowej fazie ładowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie Byrne i in. (2010).

Hybrydowa symulacja i wizualizacja, łącząc cechy lokalnej ze zdalną, daje korzyści wynikające z obu podejść (Miller i in., 2000; Myers, 2004; Whitman i in., 1998). W tym podejściu symulacja jest wykonywana zdalnie po stronie serwera, a w momencie, kiedy użytkownik łączy się z serwerem przez przeglądarkę internetową, ładowany jest silnik wizualizacji/animacji na komputer klienta (rys. 2c). Dzięki dedykowanemu połączeniu danych, wyniki symulacji są przekazywane do klienta w sposób umożliwiający dynamiczne ich wyświetlanie na komputerze użytkownika. Hybrydowa symulacja i wizualizacja jest zwykle realizowana z zastosowaniem serwera i apletów Javy (Myers, 2004), ale możliwe są również inne sposoby realizacji. W tabeli 1 zestawiono podstawowe cechy omówionych rodzajów symulacji webowej ze wskazaniem przykładowych technologii realizacyjnych oraz uwzględnieniem zalet i wad.

Zagadnienia omówione w tym punkcie są wspólne dla różnych metod symulacji komputerowej. Różnice w procesie modelowania i symulacji między różnymi metodami wynikają przede wszystkim z natury i przeznaczenia danej metody. Zostały one omówione w różnych publikacjach, szczególnie w odniesieniu do trzech najbardziej popularnych metod symulacji: symulacji zdarzeń dyskretnych, symulacji wieloagentowej czy dynamiki systemowej (np. Behdani, 2012; Borshchev, 2013). W dalszej części artykułu skoncentrowano się na dynamice systemowej.

Tabela 1. Porównanie podstawowych rodzajów symulacji webowej

Rodzaj symulacji webowej	Przykłady stosowanej technologii	Zalety	Wady
Lokalna symulacja i wizualizacja	aplety Javy; Macromedia Flash	opóźnienie sieciowe między użytkownikiem a symulatorem zredukowane do zera	moc i elastyczność narzędzia symulacyjnego są zminimalizowane, ponieważ sprawność symulacji zależy od wydajności sprzętu po stronie klienta
Zdalna symulacja i wizualizacja	CGI (ang. <i>Common Gateway Interface</i>) zdalne wywołanie metod w Javie (ang. <i>Remote Method Invocation – RMI</i>) JavaBeans CORBA (ang. <i>Common Object Request Broker Architecture</i>) Zdalne wywoływanie procedur (ang. <i>Remote Procedure Call – RPC</i>) gniazda sieciowe (ang. <i>sockets</i>) interfejsy oprogramowania symulacyjnego	symulacja jest uruchamiana na komputerach o dużej mocy obliczeniowej, a użytkownicy mogą uzyskać dostęp do wyników z dowolnego komputera z przeglądarką; możliwość adaptacji interfejsów istniejących narzędzi symulacyjnych, ułatwiająca pracę użytkownikom; łatwiejsze utrzymanie aplikacji	utrudniona obserwacja symulowanych procesów online; brak możliwości przerywania symulacji w dowolnym momencie; użytkownik ma dostęp tylko do wcześniej zdefiniowanych wyjść; wymagana jest znajomość technologii oprogramowania pośredniczącego (ang. <i>middleware</i>); możliwość wystąpienia długiego czasu oczekiwania na wyniki symulacji, zwłaszcza przy dużym obciążeniu serwera
Hybrydowa symulacja i wizualizacja	JSP (ang. <i>Java server pages</i>) aplety Javy ASP.NET	sprzęt o większej mocy; ułatwione utrzymanie aplikacji; zmniejszone obciążenie serwera; lepsza interakcja z użytkownikiem	komunikacja pomiędzy klientem a serwerem może być upośledzona ze względu na opóźnienia w sieci

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Bencomo (2004) oraz Byrne i in. (2010).

Symulacja systemowo-dynamiczna

Dynamika systemowa jest metodą modelowania symulacyjnego stosowaną głównie do analizy problemów słabo ustrukturalizowanych, o dużej liczbie współzależności między elementami. Podstawy teoretyczne tej metody stworzył w latach 50. XX wieku Forrester wraz ze swoimi współpracownikami z Massachusetts Institute of Technology. Forresterowskie podejście do modelowania systemów przemysłowych – pierwsza dziedzina zastosowania omawianej metody – jest opisane w jednej z wcześniejszych prac, zatytułowanej *Industrial Dynamics* (Forrester, 1961). Forrester widział dynamikę systemową jako narzędzie wspomagające zarządzanie na najwyższym szczeblu, w planowaniu strategicznym, gdzie tradycyjna teoria zarządzania niewiele może zdziałać.

W trakcie ponad 60 lat interpretacja dynamiki systemowej ulegała pewnym zmianom, zachowując jednakże podstawowe założenia teoretyczne, oparte na trzech dyscyplinach naukowych: tradycyjnej teorii zarządzania, cybernetyce oraz symulacji komputerowej. Tradycyjne zarządzanie jest procesem, który polega na nieustannym podejmowaniu decyzji. W dużym uproszczeniu proces ten zaczyna się od obserwacji świata zewnętrznego, identyfikacji celów oraz wykrywania powiązań i strumieni informacyjnych. W efekcie powstają myślowe wyobrażenia, modele, na podstawie których przewidywane jest przyszłe zachowanie się systemu w różnych warunkach. Największą trudność w tym procesie przysparza selekcja i przełożenie posiadanych informacji na działanie zapewniające osiągnięcie postawionych celów. Jednak bardzo często błędy w zarządzaniu wynikają nie tyle z niewłaściwego postrzegania poszczególnych łańcuchów przyczynowo-skutkowych, ile z mylnego pojmowania zachowania się systemu jako całości.

Cybernetyka, bazująca na teorii sprzężenia zwrotnego, kładąc duży nacisk na dynamiczne zależności pomiędzy elementami systemu, dostarcza narzędzi umożliwiających lepsze poznanie mechanizmów jego zachowania się. Daje wskazówki do odróżniania informacji ważnych od nieważnych w danym kontekście, a następnie do ich strukturalizacji i formalizacji w modelu matematycznym. Rozwiązanie takiego modelu, często wielorównaniowego, opisującego zależności nieliniowe, i przewidywanie za jego pomocą konsekwencji rozważanych decyzji jest możliwe tylko przy zastosowaniu odpowiedniej metody numerycznej. W przypadku dynamiki systemowej jest to symulacja komputerowa oparta na metodzie stałego kroku. W rezultacie dynamika systemowa daje rozumową, racjonalnie uzasadnioną bazę narzędziową do budowania modeli dostarczających informacji na temat zachowania się systemu jako całości, za pomocą którego możliwe jest doskonalenie strategii rozwoju systemu.

Aparat matematyczny oraz zasady modelowania w konwencji dynamiki systemowej przedstawiono w licznych publikacjach (m.in. Łatuszyńska, 2008; Meadows, 2008).

Narzędzia systemowo-dynamicznej symulacji webowej

Od początków istnienia metody dynamiki systemowej powstało wiele narzędzi pozwalających na modelowanie sprzężeń zwrotnych, nieliniowości i opóźnień czasowych wpływających na zachowanie się badanego systemu. Dzięki tym narzędziom jest możliwe używanie tej meto-

dy bez znajomości zaawansowanej matematyki. Pierwszym był specjalny język programowania o nazwie DYNAMO, stworzony w latach 60. XX wieku. Był to typowy język wyższego rzędu, niezbyt przyjazny dla użytkownika o niskiej wiedzy informatycznej. Później pojawiło się wiele innych narzędzi. Na stronie internetowej System Dynamics Society znajduje się aktualizowana na bieżąco lista narzędzi (SDS, 2016). Zawiera ona również narzędzia, które w mniejszym lub większym stopniu umożliwiają konstruowanie i/lub uruchamianie modeli systemowo-dynamicznych w sieci WWW. Są to:

- AnyLogic – produkt firmy AnyLogic Company (anylogic.com),
- Consideo iMODELER – produkt firmy Consideo GmbH (www.consideo-modeler.de),
- Forio Simulations – produkt firmy Forio Corporation (www.forio.com),
- Insight Maker – stworzony przez S. Fortmanna-Roego i G. Bellingera a udostępniany przez firmę Give Team (www.insightmaker.com),
- SimiLive – usługa sieciowa dedykowana dla oprogramowania symulacyjnego Simile simulation software by Simulistics Ltd (similive.simulistics.com),
- Simupedia Studio – wtyczka do oprogramowania symulacyjnego Simantics System Dynamics opracowana w VTT Technical Research Centre of Finland i Semantum Oy (sysdyn.simantics.org; www.simupedia.com),
- Sysdea – produkt firmy Strategy Dynamics Ltd (sysdea.com).

Oprogramowanie symulacyjne **AnyLogic** pozwala na tworzenie modeli i symulację systemowo-dynamiczną, a także symulację zdarzeń dyskretnych oraz wieloagentową. Umożliwia również tworzenie modeli hybrydowych. Modele tworzone za pomocą pakietu AnyLogic są w 100% aplikacjami Javy, stąd mogą być łatwo publikowane jako aplety internetowe. Wiele takich apletów z modelami systemowo-dynamicznymi jest dostępnych na stronie internetowej www.runthemodel.com.

Consideo iMODELER oferuje możliwość modelowania ilościowego i jakościowego. Narzędzie to pozwala na konstruowanie modeli w sieci WWW i jest bezpłatne dla potrzeb edukacyjnych. Można je uruchamiać na komputerze, tablecie czy smartfonie jako aplikację webową (iMODELERService) lub alternatywnie, jako plik startowy aplikacji w środowiskach operacyjnych Windows, Mac czy Linux. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: www.know-why.net.

Forio Simulations pozwala na tworzenie webowych interfejsów do istniejących modeli systemowo-dynamicznych. Ponadto udostępnia użytkownikom bibliotekę interaktywnych środowisk. Jest to aplikacja webowa z licencją komercyjną, dodatkowo wyposażona w kilka opcji dających możliwość bezkosztowego (lub za niewielką opłatą) publikowania i rozpowszechniania modeli i wyników symulacji. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: forio.com/simulate.

Insight Maker jest platformą pozwalającą na modelowanie i symulację przy użyciu kilku metod. Wszystkie jej elementy są uruchamiane w przeglądarce internetowej. Umożliwia między innymi tworzenie schematów przyczynowo-skutkowych, map myśli oraz schematów strukturalnych modeli systemowo-dynamicznych. Dzięki tej aplikacji można budować, uruchamiać

i współdzielić modele systemowo-dynamiczne bez pobierania czy instalowania programu. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: insightmaker.com/tag/Sample-Model.

SimiLive jest sieciową usługą pozwalającą na uruchamianie modeli systemowo-dynamicznych, zbudowanych w środowisku pakietu symulacyjnego Simile, w przeglądarce internetowej. Dzięki niej można łatwo publikować istniejące modele, udostępniając użytkownikom możliwość definiowania wartości parametrów modelu oraz sposobu wizualizacji wyników modelu. Usługa umożliwia pracę na ekranie dotykowym. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: similive.simulistics.com/demos.




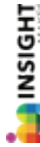



Simupedia Studio jest aplikacją umożliwiającą tworzenie interaktywnych stron WWW. Jest to narzędzie związane z oprogramowaniem symulacyjnym z otwartym kodem źródłowym o nazwie Simantics. Oprogramowanie ma architekturę typu klient-serwer, jest wyposażone w semantyczną bazę danych i korzysta z platformy Eclipse. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: www.simupedia.com/Demo/#WorkRoom/Management.

Sysdea to webowe narzędzie dedykowane dla modeli tworzonych w konwencji dynamiki systemowej. Przyjazne w użyciu, posiada obszerną dokumentację i opcje udostępniania modeli. Przykładowe modele są dostępne na stronie internetowej: strategydynamics.com/info/system-dynamics.aspx.

Dodatkowe informacje dotyczące wymienionych wcześniej webowych narzędzi do systemowo-dynamicznego modelowania symulacyjnego, odnoszące się do zastosowanej technologii, rodzaju symulacji webowej i głównych cech, zawiera tabela 2. Tylko trzy z omówionych aplikacji: Consideo iMODELER, Insight Maker i Sysdea dają możliwość zarówno tworzenia modeli, uruchamiania symulacji, jak i wizualizacji/animacji jej wyników za pomocą przeglądarki. Pozostałe są przede wszystkim wykorzystywane do publikowania w internecie modeli utworzonych wcześniej za pomocą określonego oprogramowania symulacyjnego. Wspólną cechą wszystkich opisanych w tabeli narzędzi jest to, że umożliwiają one zmiany w danych wejściowych modelu przed uruchomieniem symulacji. Dodatkowo, niektóre narzędzia pozwalają na zmiany w strukturze gotowych modeli (np. iMODELER, Sysdea).

Niewątpliwie połączenie dynamiki systemowej z technologią WWW pozwala na uniknięcie wielu ograniczeń typowych dla tradycyjnego modelowania symulacyjnego, realizowanego za pomocą dedykowanego oprogramowania, szczególnie wówczas, gdy stosuje się je dla celów edukacyjnych.

Tabela 2. Narzędzia systemowo-dynamicznej symulacji webowej

Nazwa narzędzia	Logo	Licencja	Rodzaj symulacji webowej	Technologia/język	Główne cechy	Dostępność studiów przypadku	Szkolenia online/dokumentacja
AnyLogic		prawne zastrzeżone, komercyjne oprogramowanie, darmowa wersja do celów edukacyjnych	lokalna	Aplety webowe Javy	symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych.	tak	tak
Consideo iMODELER		prawne zastrzeżone, komercyjne oprogramowanie	lokalna	JavaScript, Adobe Flash	konstruowanie oraz symulacja i wizualizacja nowych modeli; symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych oraz dokonywania zmian strukturalnych w modelu	tak	tak
Forio Simulations		prawne zastrzeżone, komercyjne oprogramowanie	hybrydowa	JavaScript, interfejsy programistyczne aplikacje oparte na architekturze REST; Forio SimLang, Python, Julia, R, Vensim	symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych	tak	tak
Insight Maker		oprogramowanie darmowe, licencja publiczna	lokalna	JavaScript	konstruowanie oraz symulacja i wizualizacja nowych modeli; symulacja i wizualizacja istniejących modeli z ograniczoną możliwością wprowadzania danych wejściowych	tak	tak
SimiLive		prawne zastrzeżone, komercyjne oprogramowanie, darmowa wersja do celów ewaluacyjnych, ograniczona do maksymalnie 25-elementowych modeli	hybrydowa	JavaScript, C++, Prolog, Tcl	symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych	tak	nie
Simupedia Studio		licencja publiczna	hybrydowa	JavaScript, Modelica	symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych	tak	tak
Sysdea		prawne zastrzeżone, komercyjne oprogramowanie, darmowa 30-dniowa wersja próbna	lokalna	JavaScript	konstruowanie oraz symulacja i wizualizacja nowych modeli; symulacja i wizualizacja istniejących modeli z możliwością wprowadzania danych wejściowych oraz dokonywania zmian strukturalnych w modelu	tak	tak

Źródło: opracowanie własne.

Ograniczenia te związane są głównie ze stosunkowo wysokimi kosztami nabycia narzędzi symulacyjnych (ceny podstawowego oprogramowania systemowo-dynamicznego, jak iThink/Stella, Powersim Studio czy Vensim, wahają się od 1000 do ponad 7000 euro, zależnie od wersji), a także z hermetyczną naturą wiedzy potrzebnej do stosowania symulacji komputerowej, którą, jak się zdaje, posiadają tylko eksperci i doświadczeni użytkownicy modeli symulacyjnych (Maciąg i in., 2013, s. 314).

Zalety i wady symulacji webowej

Symulacja webowa posiada wiele zalet w porównaniu do klasycznych pakietów symulacyjnych, na co wskazuje wielu autorów, między innymi: Whitman i in. (1998), Kuljis i Paul (2001), Miller i in. (2001), Bencomo (2004), Pidd i Carvalho (2006). Dla przykładu Byrne i in. (2010) wymieniają następującą listę zalet:

- łatwość stosowania – proces konstruowania i rozwiązywania modelu symulacyjnego jest skomplikowany, czasochłonny i podatny na popełnianie błędów, natomiast powszechnie znaną cechą sieci WWW jest łatwość nawigowania i użytkowania; internet oferuje przyjazny interfejs zarówno do interakcji, jak i kontrolowania przebiegu symulacji;
- możliwość współpracy – środowisko symulacji webowej może wspierać grupowe tworzenie modelu, pozwalając osobom zaangażowanym w projekt na komunikowanie się ze sobą i konstruowanie modelu z różnych lokalizacji w sieci WWW; rozwiązanie to skutkuje zmniejszeniem kosztów i czasu konstruowania modelu w porównaniu do korzystania z klasycznych pakietów systemowo-dynamicznych użytkowanych tylko lokalnie;
- łatwość ponownego użycia modeli – sieć WWW wspiera ponowne użycie istniejących modeli ze względu na swą rozproszoną naturę i dostępne funkcje zarządzania treścią, jak np. maszyny wyszukiwujące czy protokoły dostępu do wspólnych danych;
- wieloplatformowość – możliwość uruchamiania aplikacji symulacji webowej w dowolnej przeglądarce internetowej w każdym systemie operacyjnym, bez konieczności kompilowania;
- kontrolowany dostęp – dostęp może być kontrolowany poprzez użycie haseł, a także ograniczanie ram czasowych dostępu;
- szeroka dostępność – aplikacje symulacji webowej mogą być używane z dowolnego miejsca na świecie i w dowolnym czasie;
- wersjonowanie, personalizacja i utrzymanie – aplikacje symulacji webowej nie wymagają zaawansowanego utrzymania; wszystkie modyfikacje mogą być dokonywane za pośrednictwem serwera i na bieżąco widoczne dla użytkowników;
- integracja i interoperacyjność – narzędzia webowe można zintegrować i włączyć zarówno do istniejących, jak i powstających aplikacji internetowych.

Symulacja webowa ma również wady w porównaniu z klasyczną symulacją. Byrne i in. (2010) wymieniają między innymi następujące:

- spowolnienie pracy – ze względu na konieczność pobierania elementów aplikacji oraz z powodu przeciążenia sieci (Suh, 2005);
- ograniczenia graficznego interfejsu użytkownika – interfejs oferowany w sieci WWW, w przeciwieństwie do interfejsu klasycznego pakietu symulacyjnego, ma pewne ograniczenia, chociaż zaczyna się to zmieniać ze względu na rozwój narzędzi multimedialnych działających w sieci;
- luka w zabezpieczeniach – aplikacje webowe są bardziej podatne na złośliwe ataki niż aplikacje klienckie;
- stabilność narzędzi symulacji webowej – stabilność zależy od trwania witryny internetowej, która obsługuje środowisko modelowania (Kuljis i Paul, 2001);
- ograniczenia licencyjne – jeżeli silnik symulacji jest konstruowany na bazie licencjonowanego klasycznego oprogramowania symulacyjnego, mogą pojawić się problemy wynikające z ograniczeń związanych ze stałym miejscem użytkowania narzędzia, gdyż w przypadku aplikacji webowych wymagana jest licencja sieciowa. Problemu nie ma, gdy silnik symulacji jest oparty na oprogramowaniu typu open source.

Podsumowanie

Dzięki nowoczesnym technologiom internetowym stało się możliwe przejście od symulacji komputerowej do symulacji webowej. Jak wynika z przedstawionych rozważań, od początku istnienia internetu dokonano wiele w zakresie symulacji webowej – również w odniesieniu do symulacji systemowo-dynamicznej. Niestety, mimo możliwości, jakie daje sieć WWW i jej szeroka dostępność, symulacja webowa nie rozpowszechniła się wśród użytkowników biznesowych. Trudno jest znaleźć jakiegokolwiek doniesienia dotyczące zastosowania symulacji webowej w kontekście biznesowym, w przeciwieństwie do edukacyjnego.

Mimo przedstawionych wad, stanowiących bariery w upowszechnieniu się systemów symulacji webowej, ten kierunek rozwoju narzędzi symulacji komputerowej ma duży potencjał. Aktualnie rozwój ten zmierza w stronę szerszego wykorzystania technologii przetwarzania w chmurze, udostępniającej różne zasoby IT w bardzo przyjazny, tani sposób, na żądanie. Technologia ta uwalnia użytkowników od obciążeń związanych z zarządzaniem zasobami obliczeniowymi oraz zmniejsza koszty sprzętowe, dzięki czemu aplikacje symulacji komputerowej stają się bardziej dostępne (Kothari i in., 2015; Liu i in., 2012). Symulacja w chmurze staje się coraz bardziej atrakcyjna zarówno dla środowiska naukowego, zajmującego się modelowaniem i symulacją, jak i praktyków.

Podziękowania

Autorka pragnie podziękować dr. Grzegorzowi Wojarnikowi (Uniwersytet Szczeciński) za zgłoszenie użytecznych uwag do wcześniejszych wersji tekstu, szczególnie w zakresie technologii WWW.

Literatura

- Behdani, B. (2012). Evaluation of paradigms for modeling supply chains as complex socio-technical systems. W: *Proceedings of the 2012 Simulation Conference WSC* (s. 1–15). Huntington.
- Bencomo, S.D. (2004). Control learning: present and future. *Annual Reviews in Control*, 28 (1), 115–136.
- Borshchev, A. (2013). *The big book of simulation modelling*. North America: Anylogic.
- Buss, A., Stork, K. (1996). Discrete event simulation and World-Wide-Web using Java. W: J.M. Charnes, D.J. Morris, D.T. Brunner, J.J. Swain (red.), *Proceedings of the 28th Conference on Winter Simulation* (s. 780–785). Coronado.
- Byrne, J., Heavey, C., Byrne, P.J. (2010). A review of Web-based simulation and supporting tools. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 253–276.
- Fishwick, P.A. (1996). Web-based simulation: some personal observations. W: J.M. Charnes, D.J. Morris, D.T. Brunner, J.J. Swain (red.), *Proceedings of the 28th Conference on Winter Simulation* (s. 772–779). Coronado.
- Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. New York: Wiley.
- Holzinger, A., Emberger, W., Wassertheurer, S., Neal, L. (2008). Design, development and evaluation of online interactive simulation software for learning human genetics. *Elektrotechnik & Informationstechnik*, 125 (5), 190–196.
- Kothari, S., Peck, T., Zeng, J., Oblea, F., Votaw, A.E., Dispoto, G. (2015). Simulation as a cloud service for short-run high throughput industrial print production using a service broker architecture. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 58, 115–139.
- Kuljis, J., Paul, R.J. (2001). An appraisal of web-based simulation: whither we wander? *Simulation Practice and Theory*, 9 (1–2), 37–54.
- Kuljis, J. (1996). HCI and simulation packages. W: J.M. Charnes, D.J. Morris, D.T. Brunner, J.J. Swain (red.), *Proceedings of the 28th Conference on Winter Simulation* (s. 687–694). Coronado.
- Liu, X., He, Q., Qiu, X., Chen, B., Huang, K. (2012). Cloud-based computer simulation: Towards planting existing simulation software into the cloud. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 26, 135–150.
- Łatuszyńska, M. (2005). *Modelling of Consequences of Transport Corridors Development*. LIBERTAS Paper 62, November.
- Łatuszyńska, M. (2008). *Symulacja komputerowa dynamiki systemów*. Gorzów Wielkopolski: Wydawnictwo PWSZ w Gorzowie Wielkopolskim.
- Maciąg, A., Pietroń, R., Kukla, S. (2013). *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*. Warszawa: PWE.
- Meadows, D.H., Wright, D. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea: Chelsea Green Publishing Company.
- Miller, J.A., Fishwick, P.A., Taylor, S.J.E., Benjamin, P., Szymanski, B. (2001). Research and commercial opportunities in web-based simulation. *Simulation Practice and Theory*, 9 (1–2), 55–72.
- Miller, J.A., Seila, A.F., Xiang, X. (2000). The JSIM web-based simulation environment. *Future Generation Computer Systems*, 17 (2), 119–133.
- Morilla, F., Fernández, A., Dormido-Canto, S. (2001). Control systems analysis and design server. W: S. Dormido, F. Morilla (red.), *Internet Based Control Education 2001: A Proceedings Volume from the IFAC Workshop, Madrid 2001* (s. 151–156). Pergamon.
- Myers, D.S. (2004). An Extensible Component-Based Architecture for Web-Based Simulation Using Standards-Based Web Browsers. Blacksburg: Department of Computer Science, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Nair, R., Miller, J.A. (1996). A Java-based query driven simulation environment. W: J. Charnes, M.D.J. Morris, D.T. Brunner, J.J. Swain (red.), *Proceedings of the 28th Conference on Winter Simulation* (s. 786–793). Coronado.
- Narayanan, S., Rao, N., Geist, J., Kiran, P., Ruff, H.A., Draper, M. i in. (1999). UMAST: A Web-based architecture for modeling future uninhabited aerial vehicles. *Simulation*, 73 (1), 29–39.
- Page, E.H. (1999). Beyond speedup: PADS, the HLA and web-based simulation. W: R. Fujimoto, S.J. Turner (red.), *Proceedings of the Thirteenth Workshop on Parallel and Distributed Simulation* (s. 2–9). Atlanta.
- Pidd, M., Carvalho, A. (2006). Simulation software: not the same yesterday, today or forever. *Journal of Simulation*, 1 (1), 7–20.

- Reichenthal, S.W. (2002). Re-introducing web-based simulation. W: E. Yücesan, C.-H. Chen, J.L. Snowdon, J.M. Charnes (red.), *Proceedings of the 34th Conference on Winter Simulation: Exploring New Frontiers* (s. 847–852). San Diego.
- Suh, W. (2005). Web application development methodologies. W: J. Travers (red.), *Web Engineering: Principles and Techniques* (s. 76–93). London: Idea Group Publishing.
- SDS (2016). Tools for System Dynamics. System Dynamics Society. Pobrano z: tools.systemdynamics.org (15.08.2016).
- Whitman, L., Huff, B., Palaniswamy, S. (1998). Commercial simulation over the web. W: D. Medeiros, J.E. Watson, F.J.S. Carson, M.S. Manivannan (red.), *Proceedings of the 30th Conference on Winter simulation* (s. 335–340). Washington.

WEB-BASED SYSTEM DYNAMICS SIMULATION

KEYWORDS | computer simulation, System Dynamics, WWW technology

ABSTRACT | The article gives a short review of the area of Web-based simulation (WBS) in the context of System Dynamics (SD) simulation technique, exploring technology aspects of WBS, summarizing Web-based tools for SD and the advantages and disadvantages of Web-based simulation.