

**Małgorzata Łatuszyńska**

## **MODELOWANIE MODULARNE W UJĘCIU DYNAMIKI SYSTEMOWEJ**

### **1. Wprowadzenie**

Dynamika systemowa jest metodą szczególnego podejścia do problemów zarządzania w systemach gospodarczych, opracowaną przez J. W. Forrestera, który zdefiniował ją następująco: „...jest to badanie cech charakterystycznych informacyjnego sprzężenia zwrotnego występującego w działalności gospodarczej w celu wykazania, w jaki sposób struktura organizacyjna, zwiększanie planów oraz opóźnienia czasowe (obserwowane w decyzjach i działaniach) oddziałują na siebie i wpływają na powodzenie przedsiębiorstwa. Zajmuje się ono [badanie] wewnętrznymi oddziaływaniami między strumieniami informacji, pieniędzy, zamówień, materiałów, zatrudnienia i wyposażenia kapitałowego w przedsiębiorstwie, w przemyśle lub całej gospodarce narodowej” [Forrester 1961, s. 13]<sup>1</sup>.

Dynamika systemowa to znana i uznana metoda badania rzeczywistości, zaliczana do metod ciągłej symulacji komputerowej, nauczana niemal na każdym szczeblu edukacji<sup>2</sup>. W konsekwencji często stosuje się ją w praktyce do badania różnego rodzaju systemów (głównie ekonomicznych, ale również ekologicznych, urbanistycznych, socjalnych itp.), o czym świadczy chociażby tematyka licznych referatów prezentowanych na corocznych wielopanelowych, międzynarodowych konferencjach poświęconych dynamice systemowej, organizowanych od ponad 20 lat przez System Dynamics Society w różnych miejscach kuli ziemskiej<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Podstawy teoretyczne tej metody są szeroko opisane m.in. w publikacjach [Łukaszewicz 1975; Gordon 1974; Souček 1979; Kirkwood 1998]. W Internecie opublikowano kurs dynamiki systemowej: [Road Maps 2000].

<sup>2</sup> Długą listę kursów, na których można zapoznać się z dynamiką systemową w różnych ośrodkach uniwersyteckich i akademickich, prezentuje Kwaśnicki [1998]; zob. również Forrester [1992].

<sup>3</sup> Szczegółowe informacje na temat konferencji znajdują się na stronie internetowej System Dynamics Society: [www.systemdynamics.org](http://www.systemdynamics.org).

Podobnie jak inne metody, dynamika systemowa musi się rozwijać i dostrajać tak, aby utrzymać swą pozycję wśród innych metod badawczych, a nawet ją umocnić. Rozwój dynamiki systemowej odbywa się poprzez doskonalenie stosowanych narzędzi (rozwój wewnętrzny – np. nowe pakiety komputerowe, nowe formuły modelowania), a także poprzez poszukiwanie punktów styecznych z innymi technikami badawczymi, rozwijającymi się niezależnie (rozwój na zewnątrz) – np. metodami sztucznej inteligencji.

Niniejszy artykuł dotyczy jednego z kierunków rozwoju wewnętrznego dynamiki systemowej – poprzez doskonalenie warsztatu badawczego. Jest to kierunek wyznaczony przez stosunkowo nową koncepcję modelowania modularnego, czyli składania modelu symulacyjnego z gotowych substruktur, odzwierciedlających podstawowe zachowania, działania czy też interakcje zachodzące w systemie rzeczywistym.

## 2. Koncepcja modelowania modularnego

Idea modelowania modularnego bazuje na założeniu, że modelowanie systemów polega na tworzeniu „modelu modeli”, czyli struktury niejednorodnej, składającej się z wielu mogących się powtarzać bloków strukturalnych, zwanych modułami. Uzasadnienia merytorycznego omawianej koncepcji dostarcza analiza istniejących modeli zbudowanych w konwencji dynamiki systemowej, wykazująca, że pewne rozwiązania, zastosowane w nich do odzwierciedlenia zbliżonych charakterem procesów rzeczywistych, są takie same bez względu na szczebel organizacyjny, jakiego dotyczą. Zdarza się nawet, że są one wielokrotnie powielane w jednym modelu symulacyjnym.

Moduły służą jako materiał w konstrukcji modelu docelowego, ale i same mogą być modelami. Reprezentują one szablony typowych struktur rodzajowych, czyli takich, które odwzorowują pewne podstawowe zależności służące do modelowania procesów realnych. Należy jednak zastrzec w tym miejscu, że w literaturze dotyczącej dynamiki systemowej zakres pojęcia struktur rodzajowych jest nieprecyzyjnie zdefiniowany. W najwęższym ujęciu struktury rodzajowe utożsamiane są z molekułami, czyli niewielkimi powtarzalnymi blokami strukturalnymi zapisanymi w konwencji systemowo-dynamicznej. Według R. Eberleina i jego współpracowników idea molekuly jest ściśle związana z tym, co jest określane mianem klasy w programowaniu obiektowym [Eberlein i in. 2000]. Molekuła może odwzorowywać elementarną strukturę wspólną dla wielu systemów, zatem może być użyta wielokrotnie dla różnych modeli, a także w jednym modelu symulacyjnym<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Wiele takich molekuł zostało już formalnie zdefiniowanych w postaci standardowych substruktur służących do opisu danego problemu. Ich przegląd znajduje się w opracowaniu dostępnym w Internecie [Hines 2000].

Do struktur rodzajowych zaliczane są również archetypy systemowe. Jest to pojęcie zaproponowane przez D. Meadows, a rozpowszechnione dzięki publikacjom P. Senge'a [Senge 2002, s. 365-375]. Archetypy przedstawiane są jako schematy przyczynowo-skutkowe reprezentujące strukturę systemu i akcentujące główne sprzężenia proste i zwrotne. Archetypy odzwierciedlają wspólne dla różnych systemów rzeczywistych współzależności, trudne do intuicyjnego ogarnięcia. P. Senge zaleca studiowanie i rozpoznawanie archetypów w celu ułatwienia identyfikacji najbardziej typowych z nieliniowych struktur. Archetyp systemowy jest ilustracją ogólnego problemu, nie zaś modelem. Jest jednak możliwe skonstruowanie modelu symulacyjnego opisującego archetyp<sup>5</sup> i taki model może stanowić materiał do budowy modelu docelowego, zatem może być utożsamiany z modułem w rozumieniu proponowanym w niniejszym artykule.

Moduły mogą być także utożsamiane z nanomodelami symulacyjnymi. Nanomodele według A. Balcerak i A. Pełecha to modele proste, a zarazem elementarne – takie, z których można budować większe i na które można duże modele rozkładać, ale których nie można już rozkładać na modele prostsze ([Balcerak, Pełech 1997, 2000]. Nanomodelem symulacyjnym jest najprostszy możliwy model symulacyjny, a więc taki, który odwzorowuje pojedyncze elementarne działanie wyróżnialne w oryginale na najniższym z rozpatrywanych poziomów hierarchicznych. Podział hierarchiczny nie musi pokrywać się z hierarchią podległości. Może być on podziałem myślowym. Nanomodele są bytami realnymi – mogą być odkrywane w każdym z istniejących modeli symulacyjnych i używane do tworzenia nowych modeli.

Każdy z modelujących w konwencji dynamiki systemowej może stworzyć własny zestaw modułów powtarzanych w konstruowanych modelach. Zestaw taki, w formie tzw. biblioteki modułów, jest źródłem gotowych rozwiązań pewnych klas problemów, zarówno na etapie tworzenia nowego modelu, jak i podczas dokonywania na nim eksperymentów symulacyjnych. Raz utworzona biblioteka modułów może być uzupełniana blokami strukturalnymi wykrywanymi w istniejących modelach symulacyjnych lub poprzez definiowanie nowych modułów na bazie obserwacji i teorii dotyczącej badanego systemu. Proces włączania do biblioteki nowych modułów może być praktycznie ciągły.

Przedstawioną koncepcję modelowania można nazwać homogenicznym modelowaniem modułowym, gdyż w model docelowy wbudowuje się moduły stworzone w ramach jednej techniki symulacyjnej, w tym przypadku dynamiki systemowej. Można sobie jednak wyobrazić sytuację, gdy jeden układ tworzą bloki strukturalne konstruowane różnymi technikami symulacyjnymi (np. symulacja ciągła i symulacja zorientowana na zdarzenia). W takim przypadku mówi się o heterogenicznym modelowaniu modułowym. Podobną koncepcję modelowania

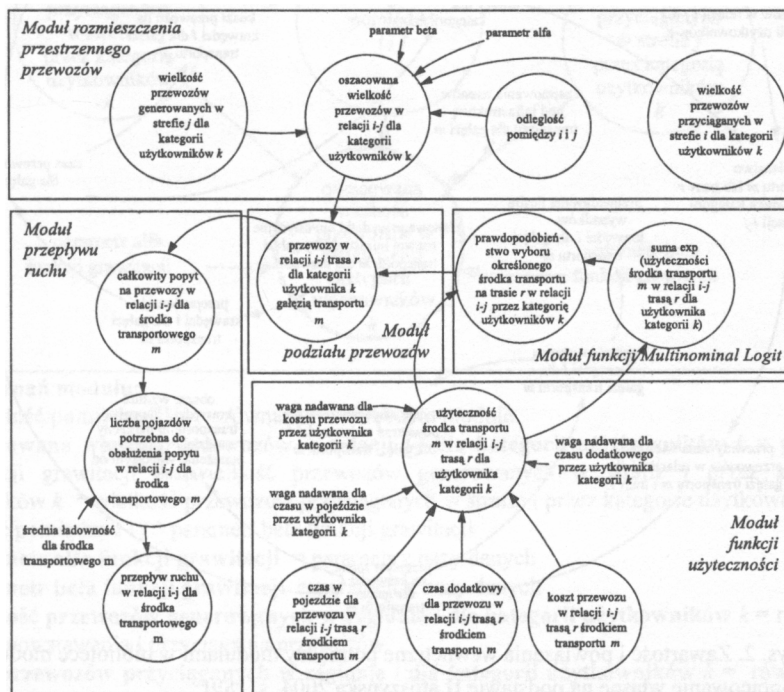
---

<sup>5</sup> Zestaw modeli skojarzonych z podstawowymi archetypami można znaleźć w publikacji wirtualnej [Bellinger, Internet 2004].

symulacyjnego, pod nazwą multimodelingu, zaproponowali na początku lat dziewięćdziesiątych Fishwick i Zeigler [1992; 1993] oraz Fishwick [2000]. Multimodeling to rozwinięcie metodologiczne symulacji mieszanej, czyli techniki łączącej symulację ciągłą z dyskretną. Zasadnicza różnica pomiędzy symulacją mieszaną a multimodelingiem polega na tym, że o ile w symulacji mieszanej do opisu modelu stosuje się jednorodny język formalny (np. GASP), o tyle w multimodelingu każdy blok modelu jest konstruowany za pomocą aparatu odrębnej techniki symulacyjnej. Do łączenia modeli w multimodelingu wykorzystuje się właściwości nowoczesnych obiektowych języków programowania.

### 3. Przykład modelu systemowo-dynamicznego tworzonego z gotowych modułów

Schemat strukturalny przykładowego modelu systemowo-dynamicznego, zbudowanego z gotowych modułów, zaprezentowano na rys. 1<sup>6</sup>. Jest to model popytu

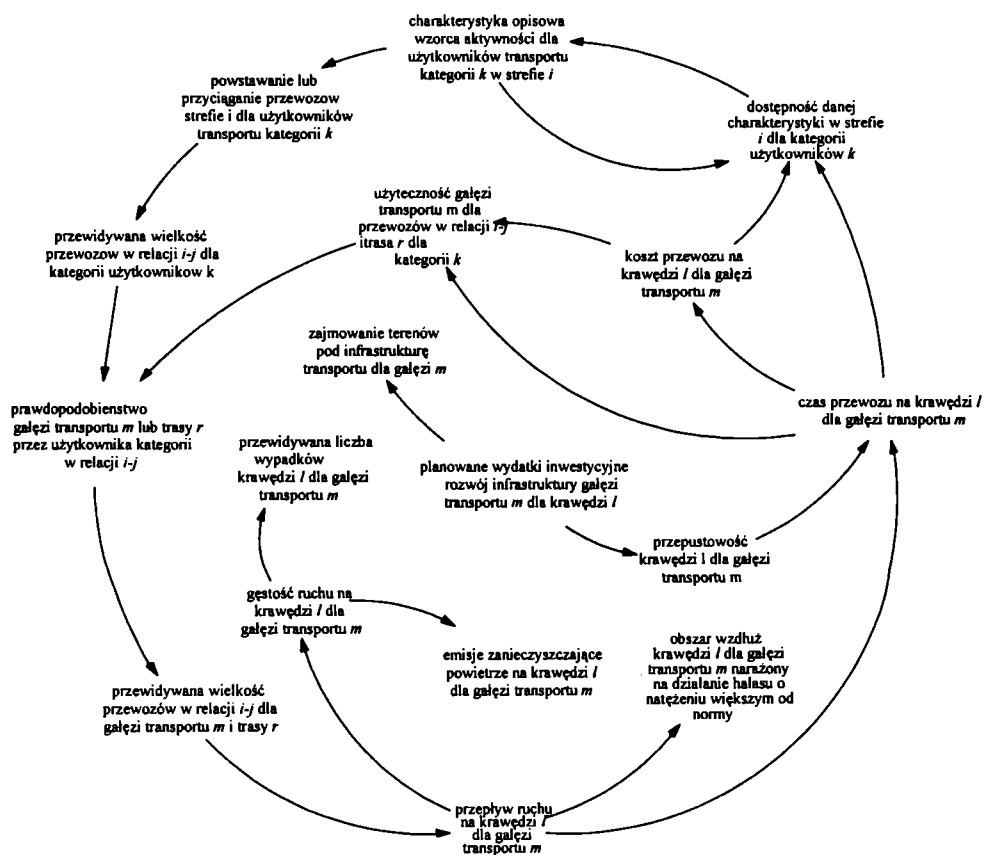


Rys. 1. Schemat strukturalny modelu popytu na przewozy

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łatuszyńska 2004, s. 162].

<sup>6</sup> Schemat narysowano w notacji pakietu symulacyjnego Vensim, który jest produktem amerykańskiej firmy software'owej Ventana Systems. Wersja przeznaczona do badań własnych jest dostępna bez opłat licencyjnych na stronie internetowej [www.vensim.com](http://www.vensim.com).

na przewozy zaczerpnięty z monografii [Łatuszyńska 2004], skonstruowany na podstawie klasycznej, czterokrokowej procedury modelowaniu popytu na przewozy<sup>7</sup>. Jego zadaniem jest generowanie informacji na temat przewidywanego popytu na przewozy z podziałem na relacje przewozu, środki transportu oraz kategorie użytkowników transportu. Informacje te są wykorzystywane w zarządzaniu procesem modernizacji i budowy elementów infrastruktury różnych gałęzi transportu w określonym systemie transportowym.



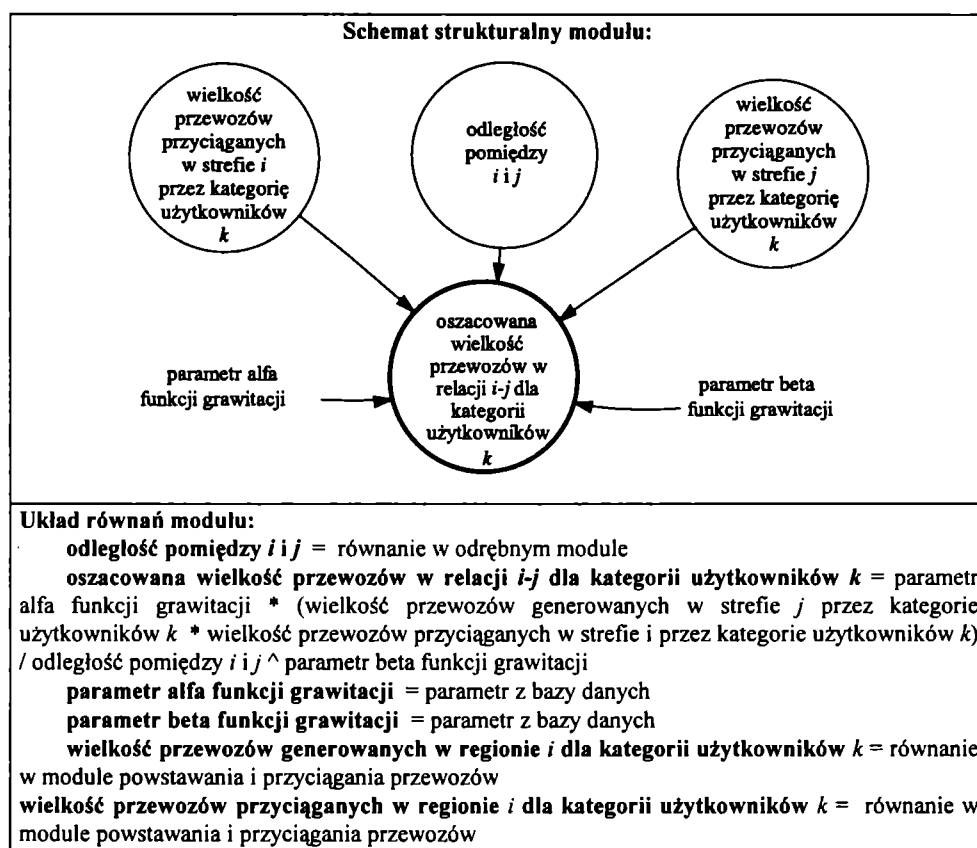
Rys. 2. Zawartość i powiązania wewnętrzne pomiędzy modułami w bibliotece modułów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łatuszyńska 2004, s. 189].

Na rysunku wyróżniono moduły, na bazie których powstał prezentowany model. Są to moduły: rozmieszczenia przestrzennego przewozów, podziału prze-

<sup>7</sup> Klasyczna procedura modelowania popytu na przewozy jest omówiona m.in. w [Manheim 1984].

wozów, przepływu ruchu, funkcji logitowej wielomianowej (ang. *multinomial logit*) oraz funkcji użyteczności, które odwzorowują szablony mechanizmów stosowanych w klasycznej procedurze modelowania popytu na przewozy. Moduły te wchodziły w skład biblioteki gotowych modułów o strukturze przedstawionej na rys. 2. Biblioteka zawiera moduły, które mogą być wykorzystane w budowaniu i eksperymentowaniu na modelach systemowo-dynamicznych, służących do generowania informacji potrzebnych m.in. do oceny projektów infrastrukturalnych w transporcie<sup>8</sup>. Połączenia pomiędzy poszczególnymi modułami uwidocznione na rysunku nie odzwierciedlają hierarchicznych zależności pomiędzy nimi, gdyż takie nie istnieją; informują o wykorzystaniu pewnej części danego modułu do budowy innego modułu.



Rys. 3. Moduł rozmieszczenia przestrzennego przewozów

Źródło: [Łatuszyńska 2004, s. 160].

<sup>8</sup> Zawartość omawianej biblioteki modułów jest opisana w [Łatuszyńska 2004, s. 213-239].

Składnikami modułów są elementy notacji systemowo-dynamicznej (poziomy, strumienie, zmienne pomocnicze, parametry) i instrukcje formalnego języka symulacyjnego (np. Vensim). Przykład struktury jednego z modułów, modułu rozmieszczenia przestrzennego, zaprezentowano na rys. 3.

Rozmieszczenie przestrzenne przewozów jest wyznaczane w modelowaniu popytu dla wszystkich relacji oraz kategorii użytkowników objętych analizą, co wymusza wielokrotne powielanie stosownego bloku strukturalnego w modelu docelowym.

#### 4. Uwagi końcowe

Procedura tworzenia nowego modelu symulacyjnego jest pracochłonna i żmudna, nie zawsze też „zwraca się” w postaci wartościowych wyników. Zatem każda innowacja, która ma na celu przyspieszenie analizy, jest cenna, a dzięki dysponowaniu wcześniej zdefiniowanymi modułami badacz jest w stanie skonstruować nowy model znacznie szybciej. Proces budowania modelu jest również łatwiejszy, co jest szczególnie ważne dla użytkowników nie związanych profesjonalnie z informatyką. Ponadto analiza właściwości gotowych bloków strukturalnych daje możliwość rekonstrukcji założeń tworzonych modeli symulacyjnych oraz weryfikacji teorii na temat badanego systemu. Prezentowane podejście zachęca modelującego do szukania podobnych zachowań w systemach na pierwszy rzut oka bardzo różniących się od siebie, dzięki czemu powiększa się wiedza na temat otaczającej nas rzeczywistości.

Idea modelowania modularnego wymaga dopracowania na płaszczyźnie narzędziowej. Potrzebne jest stworzenie odpowiedniego oprogramowania, które pozwoliłoby modelującemu nie tylko na rozwiązywanie modelu symulacyjnego i prezentację wyników symulacji, ale również na operowanie gotowymi modułami, a więc tworzenie na ich bazie modeli, a także uzupełnianie biblioteki nowymi blokami strukturalnymi. Narzędzie takie mogłoby stanowić swego rodzaju symulacyjny system wspomaganie decyzji.

#### Literatura

- Balcerak A., Pełech A., *Nanomodele symulacyjne – zarys pomysłu*, [w:] Szkoła Symulacji Systemów Gospodarczych – Antałówka '97, WSPiZ, Warszawa 1997.
- Balcerak A., Pełech A., *Pojęcia i definicje do nanomodelowania symulacyjnego*, [w:] Szkoła Symulacji Systemów Gospodarczych – Antałówka '98 i '99 – suplement, WSPiZ, Warszawa 2000.
- Bellinger G., *Archetypes. Interaction Structures of the Universe*, <http://www.systems-thinking.org>, Internet 2004.
- Eberlain R., Hines J., Ho R., Melhuish J., Richardson G., *Modeling with Molecules*, LeapTec and Ventana Systems, Inc. <http://www.vensim.com/molecule.htm>, Internet 2000.

- 
- Fishwick P.A., *Toward an Integrative Multimodeling Interface: A Human-Computer Interface Approach to Interrelating Model Structures*, „Simulation” 2004 vol. 80 nr 9, s. 421-432.
- Fishwick P.A., *A Simulation Environment for Multimodeling*, „Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications” 1993 nr 3, s. 151-171.
- Fishwick P.A., Zeigler B.P., *A Multimodel Methodology for Qualitative Model Engineering*, „ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation 1992 nr 2(1), s. 52-81.
- Forrester J.W., *Industrial Dynamics*, The MIT Press and Wiley, New York 1961.
- Forrester J.W., *System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarden through 12th Grade Education*, MIT, Cambridge 1992.
- Gordon G., *Symulacja systemów*, WNT, Warszawa 1974.
- Hines J., *Molecules of Structure. Version 1.4. Building Blocs for System Dynamics Models. LeapTec and Ventana Systems, Inc.*, <http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/sd/molecule.pdf>, Internet 2000,
- Kirkwood C.W., *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Arizona State University, <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/>, Internet 1998.
- Kwaśnicki W., *Dynamika systemów jako metoda nauczania*, [w:] *Symulacja komputerowa w nauczaniu ekonomii*, red. E. Radosiński, Polskie Towarzystwo Symulacyjne, Wrocław 1998.
- Łatuszyńska M., *Modelowanie efektów rozwoju międzynarodowych korytarzy transportowych*, Wydawnictwo Naukowe US, Szczecin 2004.
- Łukaszewicz R., *Dynamika systemów zarządzania*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1975.
- Manheim M.L., *Fundamentals of Transportation System Analysis. Volume 1: Basic Concepts*, The MIT Press, Cambridge (Massachusetts) and London 1984.
- Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics*, MIT System Dynamics in Education Project, <http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/home.html>, Internet, 2000.
- Senge P., *Piąta dyscyplina: teoria i praktyka organizacji uczących się*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002.
- Souček Z., *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, PWN, Warszawa 1979.

## MODULAR MODELLING IN SYSTEM DYNAMICS APPROACH

### Summary

The paper presents the direction of System Dynamics methodology development called modular modelling. It is described the idea of modular modelling and the example of System Dynamics model constructed on the basis of predefined modules.

---

Dr Małgorzata Łatuszyńska jest adiunktem w Instytucie Informatyki w Zarządzaniu na Wydziale Nauk Ekonomicznych i Zarządzania Uniwersytetu Szczecińskiego  
e-mail: [malgorzata.latuszynska@uoo.univ.szczecin.pl](mailto:malgorzata.latuszynska@uoo.univ.szczecin.pl)