

1.6

Część 1

Wyzwania metodyczne współczesnego zarządzania

Edward Radosiński*

Weryfikacja jako podstawowy problem modelowania systemów zarządzania – procedura RAD-VER

Streszczenie

Weryfikacja jest uważana za najważniejszy z – do dziś nierozwiązanych – problemów modelowania w naukach o zarządzaniu. Na podstawie wyników dyskusji o problemie weryfikacji, w referacie został zaproponowany sposób rozwiązania tego problemu w formie procedury weryfikacji modelu systemu zarządzania na poziomie mikroekonomicznym, w tym przypadku – przedsiębiorstwa. Ze względu na podstawowy charakter problemu, rozwiązanie zagadnienia weryfikacji modeli systemów zarządzania zostanie wyprowadzone z zastosowaniem metod proponowanych przez współczesną metodologię nauk. Proponowana procedura weryfikacji, zwana RAD-VER, została podzielona na dwa etapy: weryfikacja symulatora komputerowego oraz weryfikacja założeń modelu przedsiębiorstwa. Celem pierwszego etapu weryfikacji jest wykazanie, że symulator systemu zarządzania może być traktowany jako wiarygodny algorytm komputerowy. Na tym etapie procedury weryfikacyjnej jest badane, czy transformację – dokonywaną w trakcie przebiegu symulacyjnego – zdań syntetycznych w formie założeń modelu oraz zestawu danych początkowych via zbiór zdań analitycznych (algorytm komputerowy) do wyników końcowych (zbiór zdań syntetycznych) można uznać za tautologiczny łańcuch wyników dedukcyjnych.

* Politechnika Wroclawska, ORCID: 0000-0003-2806-4658.

Na etapie weryfikacji założeń modelu przedsiębiorstwa posłużono się metodą indukcyjnej konfrontacji zdaniowej (*sentential confrontation*).

Słowa kluczowe: system zarządzania, weryfikacja, przedsiębiorstwo, symulacja komputerowa

Verification of a model as a scientific tool in management science – the Rad-Ver procedure

Abstract

The aim of the research presented in this paper is to solve one of the fundamental, unsolved to date, problems of management science, i.e. verification of a model as a scientific tool. To attack this problem, certain crucial issues in the philosophy of science (the demarcation problem, the principle of verifiability) must be redefined. In discussing the question of verification, a procedure (the so called RAD-VER procedure) for verifying a model of a management system, in our case – a firm, is formulated. It is assumed that verification is a ceaseless process of evaluating a model's scientificity from the standpoints of deductive reasoning, coherency and empiricism. Verification has been divided into two stages: the verification of the assumptions underlying the model of a firm and the verification of the simulator.

Keywords: management systems, verification, industrial firm, computer simulation

1. Wprowadzenie

Jeżeli chcemy poznawać systemy rzeczywiste (w naszym przypadku system zarządzania typu „przedsiębiorstwo przemysłowe”) za pomocą ich modeli (w naszym przypadku komputerowy model symulacyjny zwany dalej symulatorem), to należy ocenić, czy wnioski wyprowadzone w wyniku poznania modelu mogą być podobne do wniosków możliwych do uzyskania poprzez bezpośrednią obserwację rzeczywistości. Ważne jest również wskazanie tych obszarów zastosowania i sposobów realizacji eksperymentów symulacyjnych, przy których powinna występować żądana zgodność charakterystyk dynamicznych, uzyskanych za pośrednictwem symulatora, z zachowaniem się obiektu będącego przedmiotem modelowania. Zagadnienie to, nazywane weryfikacją modeli¹,

¹ W tym artykule używamy wyłącznie terminu „weryfikacja”. W literaturze terminy „weryfikacja” oraz „walidacja” są używane bądź naprzemiennie (przypisując im to samo znaczenie), bądź rozłącznie jako odrębne etapy procesu oceny modelu, por. A.M. Law, W.D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, 1991, s. 26; J. Janová, *Crop Planning Optimization Model: the Validation and Verification Processes*, “Central

należy „(...) do najbardziej nieuchwytnych spośród wszystkich do dziś nierozwiązanych problemów dotyczących metod symulacyjnych”². Czterdzieści lat później „walidacja wciąż pozostaje jednym z tych nierozwiązanych problemów modelowania systemów”³. Natomiast J.D. Sterman stwierdza jednoznacznie: „validation and verification is impossible”⁴.

2. Podstawy weryfikacji

Kierując się zaleceniem H. Reichenbacha⁵, analizę problemu (weryfikacja modelu symulacyjnego systemu zarządzania typu „przedsiębiorstwo przemysłowe”) zaczniemy od analizy języka. Słowo „weryfikacja” wywodzi się z łaciny: *verificare* – wywodzić prawdę. Tym samym można uznać, że weryfikacja modelu jest działaniem mającym na celu potwierdzenie (lub odrzucenie) tezy o prawdziwości (łac. *veritas*) modelu. Jeżeli

European Journal of Operations Research” 2012, vol. 20, s. 451–462; P.J. Durst, D.T. Anderson, C.L. Bethel, *A Historical Review of The Development of Verification and Validation Theories For Simulation Models*, “International Journal of Modeling Simulation and Scientific Computing” 2017, vol. 8, no. 2; J.P.C. Kleijnen, *An Overview of the Design and Analysis of Simulation Experiments for Sensitivity Analysis*, “European Journal of Operational Research” 2005, vol. 164(2); D.J. Murray-Smith, *Concepts of Simulation Model Testing, Verification and Validation*, w: *Testing and Validation of Computer Simulation Models: Principles, Methods and Applications*, Book Series: Simulation Foundations Methods and Applications, 2015, s. 19–33; Z. Wang, A. Lehmann, *A Framework for Verification and Validation of Simulation Models and Applications*, Book series: *Communications in Computer and Information Science*, Asiasim 2007, vol. 5, s. 237. Szczegółowy dyskurs terminologiczny („weryfikacja” czy „walidacja”) przeprowadził Dybkaer, zob. R. Dybkaer, *Generic Division of ‘Quantity’ and Related Terms*, “Accreditation & Quality Assurance” 2011, vol. 16.

² T.H. Naylor, J.M. Finger, *Verification of Computer Simulation Models*, “Operations Research” 1967, vol. 14(2), s. B-92.

³ M.S. Martis, *Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Out*, “Electronic Journal of Business Research Methods” 2006, vol. 4(1), s. 39–45, Business Source Complete, EBSCOhost [data dostępu 28.01.2016].

⁴ J.D. Sterman, *Business Dynamics. Systems Thinking and Modelling for a Complex World*, Irwin McGraw-Hill, Boston 2000. Identyczny pogląd wyrażają Landry i Oral: „(...) nie ma uzgodnionego poglądu dotyczącego definicji modelu zweryfikowanego”. Piszą oni dalej, że „brak jest jednoznacznej odpowiedzi na pytanie: co to jest model zweryfikowany. Nie istnieje jedna uniwersalna metoda naukowa, tym samym brak jest uniwersalnego zbioru kryteriów, który umożliwiłaby jednoznaczne zweryfikowanie modelu”, zob. M. Landry, M. Oral, *In Search of a Valid View of Model Validation for Operations Research*, “European Journal of Operational Research” 1993, vol. 66(2), s. 161–162. Sargent, podsumowując dyskusję na temat weryfikacji i walidacji, konkluduje, że działania te „mają krytyczne znaczenie dla skuteczności procesu budowy modelu symulacyjnego. Niestety, do tej pory nie dopracowano się zestawu testów, za pomocą których można jednoznacznie wnioskować o poprawności modelu”, zob. R.G. Sargent, *Verification and Validation of Simulation Models*, w: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Medeiros et al. (Eds.), IEEE, 1998, s. 129. R. Dery, M. Landry i C. Banville stwierdzają, że „brak jest zgody przy próbie odpowiedzi na pytania: jaki model uważamy za poprawnie zweryfikowany, w jaki sposób należy przeprowadzić proces weryfikacji modeli”, por. R. Dery, M. Landry, C. Banville, *Revisiting the Issue of Model Validation in OR: an Epistemological View*, “European Journal of Operational Research” 1993, vol. 66(2), s. 169. Także Georgescu-Roegen uważa, że „nie ma testu rozstrzygającego (*acid test*) w walidacji modeli”, zob. N. Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Harvard 1971.

⁵ H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, University of California Press, 1951.

zaakceptujemy klasyczną teorię korespondencji (*the correspondence theory*)⁶, prawda myśli polega na jej zgodności z rzeczywistością (*veritas est adequatio rei et intellectus* – Tomasz z Akwinu)⁷. Należy się jednak zgodzić z tymi, którzy uważają (patrz: Platon, Timaeus), że w przypadku wszelkich sądów, zdań o rzeczywistości⁸ (a formą takiego sądu jest model) kryterium prawdziwości utożsamiane z absolutną, pełną zgodnością jest chybione⁹.

Jednoznacznie o prawdziwości jakichś poglądów można wyrokować jedynie w ramach stworzonego przez nas samego systemu pojęć, w którym, z definicji, przypisujemy niektórym zależnościom między tymi pojęciami atrybuty prawdy lub fałszu (tak jest w grach kierowniczych, ang. *corporate games*). Aby wykorzystać te systemy pojęć do interpretacji rzeczywistości, musimy wprowadzić także relacje między atrybutami a obserwowanymi zjawiskami realnymi. Percepcja tych zjawisk jest jednak zależna od indywidualnych cech narządów zmysłów, sylwetki psychicznej i społecznej obserwatora. Tak więc brak pewności należy traktować nie jako incydentalny skutek zastosowania błędnych modeli, lecz jako immanentną, trwałą cechę wszelkich sądów o rzeczywistości, w tym sądów formułowanych za pomocą modeli. Reichenbach stwierdza, że „filozofia nauki (...) odmawia absolutnej pewności każdej wiedzy dotyczącej fizycznego świata. Nie można stwierdzić z całkowitą pewnością istnienia ani indywidualnych zdarzeń, ani praw rządzących tymi zdarzeniami. Tylko zasady logiki i matematyki reprezentują dziedziny, w których pewność jest osiągalna, zasady te mają jednak charakter analityczny i beztreściowy. Pewność jest nierozdzielnie związana z brakiem sensu”^{10, 11}.

⁶ Por. R.L. Kirkham, *Theories of Truth: A Critical Introduction*, MIT Press, Cambridge 1992.

⁷ Do tej klasycznej definicji nawiązuje Tarski, pisząc, że “the truth of a sentence consists in its agreement with (or correspondence to) reality”, A. Tarski, *The Semantic Conception of Truth*, “Philosophical and Phenomenological Research” 1944, vol. 4.

⁸ W tym artykule niektóre określenia terminologiczne zostały zaczerpnięte z rachunku zdań.

⁹ Problemy filozoficzne związane z zagadnieniem weryfikacji zostały przedyskutowane między innymi w pracach T.H. Naylor, J.M. Finger, *Verification of Computer Simulation Models*, “Operations Research” 1967, vol. 14(2); G. Kleindorfer, L. O’Neill, R. Ganeshan, *Validation in Simulation: Various Positions in the Philosophy of Science*, “Operations Research” 1998, vol. 8; S.I. Ijeoma, J. Andersson, A. Wall, *Correctness Criteria for Models’ Validation – A Philosophical Perspective*, www.mrtc.mdh.se/publications, 2001.

¹⁰ H. Reichenbach, *op.cit.*, s. 304. Dokładny cytat, w tłumaczeniu angielskim, z wykładu Einsteina w Berlinie, 1921, jest następujący: „As far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain; and to the extent that they are certain, they do not refer to reality”. Warto jednak przypomnieć, że już w starożytności Tertullianus nauczał w *De Carne Christi*, że *certum est, quia impossibile est*.

¹¹ Według Magee „jest więc poważnym błędem próbować tego, czego niemal zawsze próbowali naukowcy i filozofowie, a mianowicie dowieść prawdziwości teorii, czy uzasadnić nasze przekonanie o ich prawdziwości, albowiem próbować tego, to próbować rzeczy logicznie niemożliwych. (...) niewłaściwy pogląd na naukę zdradza się w dążeniu do tego, by mieć słuszność”, zob. B. Magee, *Popper*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 28. Można zatem wyrazić opinię, że chęć poznania idealnego, uzyskania pełnej zgodności myśli z rzeczywistością, jest jednym z najniebezpieczniejszych źródeł błędów w badaniach naukowych, bo ujawnia żądzę posiadania tzw. wiedzy wyższej.

Negacja możliwości absolutnego (prawdziwego) poznania rzeczywistości nie może jednak prowadzić do swoistego nihilizmu poznawczego czy też anarchizmu epistemologicznego¹² uznającego bezcelowość („nothing is true”, „anything goes”) badania modeli ze względu na jakość odwzorowania przez nie systemów rzeczywistych¹³. O ile sama niepewność jest nierozzerwalnie związana z naszą wiedzą o rzeczywistości, o tyle rozmiar tej niepewności i jej struktura mogą być w znacznym stopniu zredukowane i przekształcane dzięki wysiłkowi ludzkiego umysłu.

Współcześnie panuje ogólne przekonanie, że naukowe modele, narzędzia, metody są bardziej pewne (prawdziwe) niż inne sposoby poznawania i opisywania rzeczywistości, np. metafizyczne, astrologiczne czy teologiczne¹⁴. B. Magee pisze: „Chociaż nie pewne, to jednak prawa naukowe są najbardziej prawdopodobne ze wszystkiego, co umysł ludzki może wymyślić. W praktyce prawa naukowe można uznawać jako pewne”¹⁵. Jeżeli zatem zaakceptujemy stanowisko filozoficzne reprezentowane przez scjentyzm, np. w formie myśli neopozytywistycznej, to można uznać, że im bardziej narzędzie poznania (w tym model przedsiębiorstwa) jest rzetelne pod względem naukowym, tym większa jest szansa, że wnioski wyprowadzone w postaci zdań syntetycznych wyjaśniają badane zjawisko rzeczywiste z „dokładnością właściwą dla obszaru badań”¹⁶. W tym kontekście problem weryfikacji modeli jawi się nie jako badanie ich prawdziwości, ale jako próba określenia, co w modelu spełnia kryteria naukowości, co zaś ma swe źródło w spekulacji i intuicji.

Problem „co to jest metoda naukowa, a co nie jest metodą naukową” (tzw. problem demarkacji) jest przedmiotem rozważań filozofów od starożytności. T. Mayer pisze wprost, że „filozofom nie udało się znaleźć kryterium, na podstawie którego można by odróżnić naukę od nienauki”¹⁷. K. Popper ucieka się do definicji wyrażonej raczej w języku literackim, pisząc, że „metoda nauki to metoda śmiałych hipotez oraz dociekliwych i surowych prób ich obalenia”¹⁸. Natomiast według E. Nagla „stosowanie metody naukowej

¹² Te określenia zostały zapożyczone od Feyerabenda, por. P. Feyerabend, *Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, Verso, London 1980, s. 10.

¹³ Patrz także dyskusja Weinwurma na temat badań operacyjnych jako metody naukowej: E.H. Weinwurm, *Limitations of the Scientific Method in Operations Research*, „Operations Research” 1957, vol. 3, s. 46.

¹⁴ Problem ten jest podjęty w dyskusji pomiędzy neopragmatycznymi empirystami (Quine – „wymóg stopniowej potwierdzalności”) a logicznymi empirystami z Koła Wiedeńskiego (Carnap – „wszystko albo nic”).

¹⁵ B. Magee, *op.cit.*, s. 22–23.

¹⁶ Ten postulat Arystotelesa, „model is valid if it achieves that degree of accuracy which belongs to the subject matter”, Aristotle, *Ethica Nicomachea*, wydaje się być bardziej pragmatyczny od idealistycznego postulatu Tomasza z Akwinu: „Veritas est adequatio rei et intellectus”. W pewnym sensie postawa Arystotelesa jest podzielana przez Reichenbacha: „If a man does his best, what else can you ask of him?”, zob. H. Reichenbach, *op.cit.*, s. 249.

¹⁷ T. Mayer, *Truth versus Precision in Economics*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham 1999, s. 12. Natomiast Blaug dodaje: „brak jest zgody wśród filozofów nauki co do koniecznych i wystarczających warunków, których spełnienie pozwala uznać dane zdanie za naukowe”, M. Blaug, *The Methodology of Economics or How Economists Explain*, Cambridge University Press, 1992, s. 139.

¹⁸ K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge, London–New York 2002.

polega na wytrwałym sprawdzaniu uzasadnień, dokonywanym zgodnie z ustalonymi zasadami, które służą do oceny metod uzyskiwania przesłanek oraz do ustalania siły uzasadniającej tych przesłanek”¹⁹.

Wydaje się jednak, że trudności ze zdefiniowaniem pojęcia nauki mają charakter immanentny. Obiektywne zdefiniowanie nauki może być dokonane jedynie z zewnątrz, z pozycji niezależnego obserwatora stojącego poza nauką, a przynajmniej nieakceptującego a priori paradygmatu naukowości sformułowanego przez T.S. Kuhna. Naukowcy odrzucają jednak sądy pozanaukowe, traktując je jako bezwartościowe. Warto w tym miejscu przywołać drugie twierdzenie Gödla o niemożliwości podania dowodu niesprzeczności dla systemu formalnego wyłącznie za pomocą środków tego systemu. Także słowa przypisywane Einsteinowi: „nie jesteśmy w stanie rozwiązać problemu z tego samego poziomu świadomości, z którego został ten problem wykreowany”.

Mimo braku jednoznacznego rozwiązania problemu demarkacji, zachodzi jednak zgodność co do tego, że istnieją pewne zasady, które umożliwiają odróżnienie poznania naukowego (czy też zdań naukowych) od innych, pozanaukowych form działalności intelektualnej człowieka. Szkoła Logicznego Pozytywizmu utrzymuje, że zdanie jest znaczące (prawdziwe w sensie naukowym), jeżeli jest albo empirycznie weryfikowalne przez doświadczenie, albo tautologicznie weryfikowalne przez wnioskowanie dedukcyjne (tzw. zasada weryfikalności). Z zasady tej wynika, że w procesie weryfikacji teorii należy stosować tak dedukcyjne, jak i empiryczne kryteria naukowości. Metody dedukcyjne stosujemy wówczas, gdy prawdziwość (weryfikowalność) zdania możemy jednoznacznie wyprowadzić (wydedukować) na podstawie praw matematyki i logiki. W sensie empirycznym, sądy o zjawiskach rzeczywistych wyprowadzone na podstawie danej teorii są uważane za naukowe wtedy, gdy zgadzają się z wynikami ich obserwacji, dokonywanej „metodami intersubiektywnymi”²⁰.

Ponieważ nasze rozważania weryfikacyjne dotyczą nie teorii naukowej, ale modelu (czyli pewnej miniteorii) postulują wprowadzenie trzeciego kryterium (poza empirią i dedukcją), czyli koherencyjności. Zgodnie z koherencyjną teorią prawdy (patrz: R.L. Kirkham²¹, ale wcześniej Descartes *Meditation on First Philosophy*) za prawdziwe, w naszym przypadku za naukowe, uważamy te sądy o rzeczywistości, które są niesprzeczne z pewnym uporządkowanym zbiorem zdań. W modelowaniu zdania o rzeczywistości wyprowadzone poprzez symulację uważamy za naukowe, jeżeli są zgodne

¹⁹ E. Nagel, *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Harcourt, Brace & World, New York 1961, s. 21.

²⁰ Popper definiuje krytycyzm intersubiektywny jako „wielostronną ocenę poprzez krytyczną dyskusję” („idea of mutual control by critical discussion”), zob. K. Popper, *op.cit.* Dla Hegla: “If something is valid for anybody in possession of his reason, then its grounds are objective and sufficient” (*Phänomenologie des Geistes*).

²¹ R.L. Kirkham, *op.cit.*

(koherentne) ze zdaniem wyprowadzonymi z teorii naukowej opisującej ten fragment rzeczywistości, który jest obiektem badań. Tym samym zasadę weryfikacji, tym razem w odniesieniu do modelu, rozszerzymy i sformułujemy w sposób następujący: „zdanie będące elementem modelu jest znaczące (prawdziwe w sensie naukowym), jeżeli jest albo empirycznie weryfikowalne przez doświadczenie, albo tautologicznie weryfikowalne przez wnioskowanie dedukcyjne, albo weryfikowalne koherentnie na gruncie praw ogólnie uznanej teorii”.

Oceniając więc naukowość danego modelu w procesie jego weryfikacji, posługujemy się w sposób naprzemienny metodami i narzędziami właściwymi dla podejścia koherentnego, empirycznego i dedukcyjnego.

W praktyce każda ocena naukowości modelu (czyli procedura weryfikacyjna) jest ograniczona do skończonej liczby testów, niewyczerpujących, nawet w minimalnym stopniu, wszystkich możliwych sytuacji, jakie może wykreować rzeczywistość. Oznacza to, że żaden test pozytywny nie przesądza o poprawności modelu niezależnie od tego, jaką postawę metodologiczną przyjmie^{22,23}. Co więcej, ze względu na znaczenie poznawcze eksperymentu symulacyjnego, rozstrzygnięciom pozytywnym w weryfikacji powinno być przypisywane dużo mniejsze znaczenie niż konkluzjom falsyfikującym. Wynik negatywny testów weryfikacyjnych natomiast zmusza do poszukiwania źródeł ujawnionych sprzeczności przez ponowną, dokładną analizę struktury modelu, włącznie z próbą rewizji jego podstawowych założeń. Tym samym konkluzje falsyfikacyjne mają zwykle znacznie większą wartość poznawczą dla modelującego niż rozstrzygnięcia pozytywne²⁴. Celem procedury weryfikacji powinna być nie confirmacja modelu, lecz – przeciwnie – jego falsyfikacja za pomocą dostępnych metod i sposobów, gdyż w pewnym sensie *ex falso omnia sequitur*.

Jedynie falsyfikacja dedukcyjna prowadzi do jednoznacznych wniosków co do poprawności modelu. Natomiast kryteria weryfikacji naukowości, opierające się na zasadach koherencjonizmu i empiryzmu, dają zadowalające rozstrzygnięcia tylko w niektórych sytuacjach, gdy błędy poczynione w konstrukcji modelu są oczywiste, a jego zachowanie

²² Popper stwierdza, że “no amount of true sentences experience cannot justify the claim that the universal explanatory theory is true”; zob. K. Popper, *op.cit.*, s. 16. Także Einstein: “no amount of experimentation can ever prove me right”, zob. *The Collected Papers of Albert Einstein. The Berlin Years: Writings, 1918–1921*, Vol. 7, Document 28, M. Janssen, R. Schulmann et al. (Eds.), Princeton University Press, Princeton 2002.

²³ Seria wyłącznie pozytywnych wyników testów kontrolnych może świadczyć zarówno o poprawności modelu, jak i o ułomności samej procedury jego weryfikacji. Teza ta jest prawdopodobna zwłaszcza wtedy, gdy weryfikację przeprowadza sam twórca modelu. Wówczas proces ten może być zniekształcony (zwykle nieświadomie) z powodu naturalnego w tym przypadku, subiektywnego stosunku modelującego do swego dzieła (*love to the brainchild*).

²⁴ Trawestując słowa Ackoffa, “models are senseless but modelling is priceless”, zob. R.L. Ackoff, *The Future of Operational Research Is Past*, w: *Critical Systems Thinking: Directed Readings*, R.L. Flood, M.C. Jackson (Eds.), John Wiley & Sons, New York 1970.

wykazuje rażące odchylenia od charakterystyk obserwowanych w rzeczywistości. Sytuacja jest jednak znacznie bardziej złożona, jeżeli, mimo negatywnego testu weryfikacyjnego, nie jesteśmy w stanie wskazać przyczyny występowania odchyłeń. Wszelkie zarzuty pod adresem modelu dokonywane z pozycji koherencyjnych można odpierać dowolnie długo poprzez formułowanie *ad hoc* dodatkowych, szczegółowych warunków, czyli stosując tzw. *immunizing stratagems*²⁵. Z kolei negatywny wynik testów empirycznych może być kwestionowany ze względu na możliwe błędy pomiaru, niereprezentatywność badanej sytuacji, źle sformułowane tzw. *background assumptions* (Duhem-Quine problem)²⁶ itd. A zatem żaden pozytywny lub negatywny test dokonany z pozycji zasad weryfikacji koherencyjnej czy empirycznej nie może być traktowany jako *experimentum crucis* w sprawdzaniu, czy model jest narzędziem poznania naukowego²⁷.

Niejednokrotnie modelujący staje przed swoistym dylematem czy też paradoksem, iż kryteria empiryczne nie są konieczne, a kryteria koherencyjne nie są wystarczające, by udzielić twierdzącej odpowiedzi na pytanie, czy model jest poprawny w sensie naukowym. Konsekwencją tego dylematu jest konieczność wprowadzenia innego niż dedukcjonizm, koherencjonizm czy empiryzm kryterium naukowości, jakim jest krytycyzm. Wywodzący się ze świadomości, iż nasz rozum jest ograniczony, a zmysły niedoskonałe i zawodne, krytycyzm powinien być rozumiany przez świadome przyjęcie – w stosunku do modelu – postawy ustawicznej obserwacji, sprawdzania i korygowania jego założeń. Można tu przytoczyć stwierdzenie odnoszące się do teorii naukowych, lecz słuszne też ze względu na ocenę naukowości modeli, że „przy analizie zagadnienia demarkacji teorii naukowych od pseudonaukowych wprowadzone zostaje rozróżnienie między postawą krytyczną a dogmatyczną. Myślenie dogmatyczne ma charakter przednaukowy (...) teoria pretendująca do naukowej winna być podatna na falsyfikację i przewidywać istnienie takich faktów, z którymi nie dałoby się jej pogodzić. Im więcej sytuacji jest zakazanych przez teorię, im większy jest zbiór jej potencjalnych falsyfikatorów, tym lepsza jest sama teoria. Warunkiem naukowości jest więc możliwość obalenia i podatność na krytykę. Krytycyzm jest najważniejszy w świecie nauki”²⁸.

Założenie ustawicznego krytycyzmu powoduje, że weryfikacja przestaje być uważana za jeden z etapów tworzenia modelu, lecz staje się procesem towarzyszącym modelowi w czasie całego okresu eksploatacji, aż do momentu jego całkowitego zarzucenia na rzecz innego, lepiej opisującego rzeczywistość. Trawestując sformułowanie K. Poppera, można

²⁵ K. Popper, *Unended Quest: An Intellectual Autobiography*, Open Court Publishing Co., 1976.

²⁶ Jak pisze B. Russell: „Już Hume stwierdził, że czysty empiryzm nie może być traktowany jako wyłączna podstawa do rozważań naukowych”, zob. B. Russell, *History of Western Philosophy and its Connection with Political and Social Circumstances from the Earliest Times to the Present Day*, Allen and Unwin, 1948, s. 669.

²⁷ To stwierdzenie jest oczywistą konsekwencją tezy o nierozwiązywalności problemu demarkacji.

²⁸ M. Heller, J. Życiński, *Wszechświat i filozofia* (The Cosmos and Philosophy), PTT, Kraków 1986, s. 76.

stwierdzić, że gra zwana weryfikacją modeli nie ma w istocie kresu, „kto postanawia któregoś dnia, że jakieś zdania nie wymagają dalszego uzasadnienia i że traktować je można jako ostatecznie potwierdzone, wycofuje się tym samym z gry”²⁹.

Powyższe rozważania, z konieczności bardzo ogólne i ocierające się wręcz o tautologię, pozwalają jednak sformułować pewne postulaty, które mogą mieć istotny wpływ na proponowany (w tym artykule) sposób weryfikacji modeli systemów zarządzania:

- 1) Weryfikacja modeli nie jest oceną ich prawdziwości, lecz analizą ich naukowości na podstawie przyjętych uprzednio kryteriów;
- 2) Analizę naukowości modeli powinno się przeprowadzać zarówno z pozycji koherentnych, dedukcyjnych, jak i empirycznych;
- 3) Ze względu na znaczenie poznawcze, celem weryfikacji powinna być nie konfirmacja modelu, lecz jego falsyfikacja;
- 4) Wprowadzenie zasady ustawicznego krytycyzmu czyni weryfikację procesem ciągłym, który towarzyszy modelowi od chwili jego narodzin aż do czasu całkowitego poniechania.

W tym kontekście, akceptując postawę weryfikacjonistów z Koła Wiedeńskiego, należy uznać, że modele w naukach zarządzania mogą być akceptowane wyłącznie z propozycjami i wynikami procedury weryfikacyjnej. Budowanie samych modeli, choćby najbardziej wyrafinowanych formalnie, bez zamiaru ich weryfikacji jest twórczością pozanaukową (jak np. pisanie powieści czy malowanie obrazów) i tym samym ich wartość należy oceniać wyłącznie za pomocą kryteriów właściwych dla tego typu działań (np. ze względu na cechy estetyczne, barwność narracji, walory moralne)³⁰.

Podsumowaniem tego etapu rozważań są słowa P. Godfrey-Smitha: „Jeżeli nie ma sposobu, aby zweryfikować zdanie, to zdanie to nie ma sensu”³¹.

²⁹ K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge, London 1965, s. 53. Podobny pogląd wyraża Mayer, pisząc: „zaprzestanie gry, gdy się wyprzedziło innych, jest dobrą zasadą w hazardzie, ale nie w nauce”, T. Mayer, *op.cit.*, s. 194.

³⁰ Wbrew pozorom kryteria estetyczne nie są całkowicie lekceważone przez ludzi nauki. Na przykład Dirac, referując badania Schrödingera nad funkcją falową, pisze: „(...) ważne jest, by badane równania były piękne, niż żeby były one zgodne z doświadczeniami (...) Wydaje się, iż jeśli ktoś poszukuje harmonijnych równań (...) to jest na pewno na dobrej drodze w swoich badaniach. Natomiast jeżeli brak jest całkowitej zgody między otrzymanymi wynikami a doświadczeniem, to badacz nie powinien się zniechęcać, ponieważ rozbieżności te mogą wynikać z łatwych do usunięcia błędów i wszystko się wyjaśni z dalszym rozwojem teorii”, zob. A.M. Dirac, *The Evolution of the Physicist's Picture of Nature*, „Scientific American” 1963, vol. 208, no. 5, s. 47. Także zdaniem Agassiego, „smak, styl, forma itp. są równie cenne w nauce, jak w sztuce czy religii”, zob. J. Agassi, *Science in Flux*, D. Reidel Publishing Comp., Boston 1975, s. 3. Czynnik estetyczny jako kryterium naukowości uznaje także Popper, wymieniając warunek prostoty jako kryterium wyboru spośród hipotez poznawczo równorzędnych (por. *Droga do wiedzy. Domysły i refutacje*).

³¹ P. Godfrey-Smith, *Theory and Reality: An Introduction to the Philosophy of Science*, University of Chicago Press, Chicago-London 2003, s. 27.

3. Koncepcja weryfikacji symulatora – procedura RAD-VER³²

Procedura weryfikacji modelu komputerowego firmy jest oparta na metodologicznych założeniach sformułowanych w pkt 1.1. Przypomnijmy, że przyjęto, iż weryfikacja jest nieustannym (*never-ending*) procesem ciągłym (postulat permanentnego krytycyzmu) weryfikowania (de facto falsyfikacji) modelu firmy jako narzędzia poznania naukowego z pomocą kryteriów dedukcyjnych, koherentnych i empirycznych. W procedurze RAD-VER proces weryfikacji został podzielony na dwa etapy: weryfikacji symulatora³³ i weryfikacji założeń modelu firmy³⁴.

3.1. Weryfikacja symulatora

Celem pierwszego etapu procedury RAD-VER jest wykazanie, że symulator może być traktowany jako wiarygodny algorytm komputerowy. Przyjmując terminologię rachunku zdań, symulator w postaci algorytmu komputerowego jest zbiorem zdań analitycznych. Na tym etapie procedury weryfikacyjnej należy wykazać, że transformacja – dokonywana w trakcie przebiegu symulacyjnego – zdań syntetycznych w formie założeń modelu oraz zestawu danych początkowych via zbiór zdań analitycznych (algorytm komputerowy) do wyników końcowych (zbiór zdań syntetycznych) jest bezbłędnym, tautologicznym łańcuchem wynikań dedukcyjnych. Tym samym dla tego etapu procedury RAD-VER, kryteria dedukcyjne właściwe dla matematyki i logiki zostały przyjęte jako odpowiednie podstawy do sprawdzenia wewnętrznej spójności konstrukcji symulatora. Mając na uwadze ekonomiczny charakter systemu przedmiotowego (firma przemysłowa), także kryteria dedukcyjne wyprowadzone z teorii księgowych (zasada podwójnego zapisu) zostały użyte.

³² Prezentowana koncepcja weryfikacji symulatora komputerowego firmy jest rozwijana przez autora artykułu od co najmniej 20 lat. Poszczególne fazy rozwoju metody RAD-VER były prezentowane m.in. w następujących publikacjach: E. Radosiński, Ł. Radosiński, *Construction of a Flexible Simulation Model of a Corporation*, "Operations Research and Decisions" 2019, vol. 29, no. 1, s. 75–95; E. Radosiński, Ł. Radosiński, *Verification of a Model as a Scientific Tool of Operations Research: a Methodological Approach*, "Operations Research and Decisions" 2018, vol. 28, no. 3, s. 45–62. Niniejszy artykuł zawiera finalne i chyba ostateczne rozwiązanie problemu.

³³ Symulator jest to program komputerowy umożliwiający wykonanie eksperymentu symulacyjnego.

³⁴ Oczywiście także zdanie zawierające dane początkowe, jeśli ma być zdaniem naukowym, musi być weryfikowalne, czyli falsyfikowalne.

Jeżeli przyjmiemy hipotezę o istnieniu zmiennych stanu, to za podstawę konstrukcji ogólnego, matematycznego modelu systemu zarządzania można uznać następującą strukturę mnogościową (uporządkowaną piątkę)³⁵:

$$(1) \quad M^{c-d} = (T, G, Z, f, \beta),$$

gdzie:

T – jest interwałem czasu rzeczywistego, w którym t_p, t_k są granicznymi momentami eksperymentu symulacyjnego;

$G = \{g(t) = (g_1(t), \dots, g_n(t))\}$ jest zbiorem funkcji zdefiniowanym na (t_p, t_k) , a $g_j(t)$ jest j -tą funkcją wejścia.

Zbiór punktów nieciągłości dla funkcji $g_j(t)$ oznaczono jako T_j^d ,

$$T_j^d = \{t_{1,j}, t_{2,j}, \dots, t_{l(j),j}\}.$$

$$\text{A zatem niech } T^d = \bigcup_{j=1}^n T_j^d = \{t_1, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, t_m\},$$

gdzie m liczba punktów nieciągłości dla $g(t) \in G$.

Z jest zbiorem funkcji zdefiniowanym na (t_p, t_k) ,

$$Z = \{z(t) = (z_1(t), \dots, z_s(t))\}, \text{ przy czym } z_j(t) \text{ oznacza } j\text{-tą funkcję stanu.}$$

W przedziale (t_i, t_{i+1}) , gdzie t_i i t_{i+1} są to dwa kolejne elementy zbioru T^d , $z(t)$ jest rozwiązaniem następującego równania różniczkowego:

$$(2) \quad \frac{dz(t)}{dt} = f(z(t), g(t)) \text{ dla warunku początkowego } z(t_i) = z_i,$$

gdzie f jest funkcją przejścia stanu $f: Z \times G \rightarrow Z$.

Dla każdego $t_i \in T^d$, istnieje funkcja statyczna:

$$\beta_i: R_z \rightarrow R_z; \text{ także dla } t_k: \beta_k: R_z \rightarrow R_z, \text{ gdzie } R_z \text{ jest zakresem funkcji } Z.$$

Ponieważ brak jest metody pozwalającej na analityczne rozwiązania zbioru równań (2), zatem otrzymanie dokładnego rozwiązania jest niemożliwe. W takim przypadku można użyć metod numerycznych, co pozwoli na uzyskanie rozwiązania przybliżonego dla (2). Jeżeli, dla przykładu, chcemy to rozwiązanie uzyskać za pomocą metody

³⁵ Notacja zapożyczona od: B. Zeigler, *Theory of Modelling and Simulation*, John Wiley & Sons, 1976.

całkowania numerycznego Eulera, to wówczas musimy przeddefiniować zbiory składające się na strukturę (1):

$$(3) \quad M_E^{c-d} = \langle T, G, Z, f, \beta, \Delta t \rangle.$$

Niech $\frac{t_k - t_p}{\Delta t} = b_k$; wówczas b_k zastępujemy przez n'_k , gdzie n'_k jest najbliższą liczbą

całkowitą do b_k .

Tym samym: $t_k \equiv t'_k = t_p + n'_k \times \Delta t$, gdzie $|t_k - t'_k| < \frac{\Delta t}{2}$.

Zatem: $t_i \rightarrow t'_i$, gdzie:

$$t_i \equiv t'_i = t_p + n'_i \times \Delta t, |t_i - t'_i| < \frac{\Delta t}{2}, T^{d'} = \{t'_1, \dots, t'_i, t'_{i+1}, \dots, t'_m\}.$$

Dla każdego interwału (t'_i, t'_{i+1}) istnieje r_i punktów $t'_{i,h}$, takich że $t'_{i+1} = t'_i + (r_i + 1) \times \Delta t$.

Zatem dla $h \in \{0, 1, \dots, r_i\}$:

$$(4) \quad z(t'_{i,h+1}) = z(t'_{i,h}) + \Delta t \times f(z(t'_{i,h}), g(t'_{i,h}), z(t'_i)) = z_i.$$

Analogicznie dla interwału: (t_p, t'_1) .

$$(5) \quad \text{Dla każdego: } t'_i \in T^{d'}, \beta_i : R_z \rightarrow R_z; \text{ także dla } t'_k, \beta_k : R_z \rightarrow R_z.$$

Powinniśmy mieć na uwadze, że zastosowana metoda numeryczna jest zawsze niedokładna ze względu na błąd aproksymacji. Dodatkowo w przypadku symulacji stałego kroku stosunkowo nieznaczne błędy aproksymacji mogą się kumulować. Co więcej, dla pewnych, nieznanymi z góry zbiorów danych wejściowych błędy obcięcia (*truncation errors*) czy też błędy wynikające z niepełnej reprezentacji liczb zmiennoprzecinkowych w pamięci komputera (*floating-point round-off errors*) mogą ulegać akceleracji, powodując, że całkowite odchylenie wyniku symulacyjnego od wartości dokładnej rośnie w tempie wykładniczym, a w konsekwencji iteracyjny proces rozwiązywania układu równań różniczkowych traci stabilność.

Ta niedoskonałość metod numerycznych w sposób znaczący ogranicza zaufanie badacza do symulatorów ciągło-dyskretnych jako naukowego narzędzia badania zjawisk dynamicznych w przedsiębiorstwie³⁶. To jest zatem dodatkowa przesłanka, by – zgodnie

³⁶ Nieprzewidywalność symulacji, a tym samym jej wątpliwy status jako metody naukowej dobrze ilustruje problem ze znalezieniem stałej Hardego-Littlewooda. Mimo że istnienie stałej Hardego-Littlewooda zostało jednoznacznie wykazane w sposób analityczny, to do dziś nie udało się wygenerować tej wartości, stosując wyłącznie metody symulacyjne, por. Richards. Matematycy z kolei nie uważają za dowód

z zasadą ustawicznego krytycyzmu (por. punkt 2) – wymagać, aby każdy eksperyment symulacyjny był jednocześnie eksperymentem weryfikacyjnym.

3.2. Weryfikacja założeń

Naukowość założeń modelu będzie weryfikowana z pozycji dedukcyjnych, koherencyjnych i dedukcyjnych. Ten etap ma kluczowe znaczenie dla całego procesu weryfikacji, gdyż, jak to już zostało zaznaczone, przebieg symulacyjny jest, z zastrzeżeniami podniesionymi w punkcie 3.1, transformacją tautologiczną. Innymi słowy, eksperyment symulacyjny jest niczym więcej niż wyprowadzeniem – przez symulator – logicznych konsekwencji założeń modelu powiązanych z danymi początkowymi. Model symulacyjny jest niczym więcej niż spetryfikowanym odwzorowaniem wiedzy (lub niewiedzy) modelującego o problemie, ponieważ trawestując empirystów genetycznych, *nihil est in modo simulari, quod non prius fuerit in intellectu*. Jak pisze Reichenbach: „to tylko czyni jawnym te konsekwencje, które są zawarte w sposób niejawnym w założeniach. To odsłania te konkluzje, które wcześniej były ujęte przesłankach”³⁷. Zatem wyniki symulacji nie będą bardziej wiarygodne i nie będą zawierały więcej niż to, co zostało ujęte w teoriach i założeniach użytych przy budowie modelu^{38, 39}.

Podejście dedukcyjno-nomologiczne, tzw. metoda Hempla-Oppenheima-Nagla, jest ogólnie akceptowalnym sposobem naukowej weryfikacji. Metoda ta może być stosowana, jeżeli posiadamy eksplanans, czyli zbiór praw ogólnych (a co najmniej jedno takie prawo), które obejmują eksplanandum. Ten system praw ogólnych, zwany teorią naukową, musi posiadać aprobatę *communus omnia doctorum*. Teoria pozostaje ważna, dopóki nie zostanie sfalsyfikowana przez empiryczny eksperyment naukowy lub nie zostanie wykazane, że teoria jest obciążona błędem dedukcyjnym.

naukowy symulacyjny potwierdzenia hipotezy Riemanna, mimo że obliczenia przeprowadzone dla co najmniej trzech milionów wartości potwierdziły prawdziwość tej hipotezy, por. J.B. Rosser, J.M. Yohe, L. Schoenfeld, *Rigorous Computation and the Zeros of the Riemann Zeta-Functions*, w: *Information Processing 68*, 1, North Holland, 1969. Co więcej, niektórzy poddają w wątpliwość wyniki obliczeń numerycznych jako sposobu udawadniania twierdzeń naukowych. Jak pisze E. Chattoe: „przy większości eksperymentów symulacyjnych modelujący ma do dyspozycji tyle parametrów, że jest w stanie wygenerować dowolny rezultat”, E. Chattoe, *Why Are We Simulating Anyway? Some Answers from Economics*, w: *Social Science Microsimulation*, K.G. Troitzsch et al. (Eds.), Springer Verlag, 1966, s. 94.

³⁷ H. Reichenbach, *op.cit.*

³⁸ Jedynymi nowymi informacjami generowanymi w trakcie eksperymentu symulacyjnego są błędy obliczeń numerycznych.

³⁹ Autorowi artykułu bliskie są poglądy tych, którzy uważają, że „sens rozumowania za pomocą modelu zawiera się w tym, iż chcąc poznać to, co jeszcze niepoznane, badamy to, co zawiera się już w przesłankach”, zob. E. Schneider, *Einführung in die Wirtschaftstheorie*, Bd. IV, Tübingen 1952. Model niczego nie odkrywa, jedynie porządkuje inaczej informacje już zawarte w jego założeniach konstrukcyjnych i danych wejściowych. To inne uporządkowanie może jednak pobudzić badacza do twórczej refleksji i na tym polega wartość modelowania jako sposobu poznawania otaczającej nas rzeczywistości.

W obszarze mikroekonomii mimo uporczywych wysiłków nie udało się do tej pory przyjąć logicznego i ogólnie uznanego zbioru twierdzeń o zachowaniu się organizacji wytwórczych, które byłyby słuszne niezależnie od bieżących warunków gospodarowania, a zatem które mogłyby aspirować do miana teorii przedsiębiorstwa. Ekonomiści wywodzący się z diametralnie różnych szkół poznawczych, jak J. Kornai czy J. Robinson, zgodnie podtrzymują tezę o ograniczonych możliwościach podejścia racjonalnego przy tłumaczeniu zjawisk ekonomicznych: „(...) nie istnieje dojrzała teoria systemów gospodarczych”⁴⁰, „(...) teoria przedsiębiorstwa odpowiadająca warunkom gospodarki dynamicznej jest jeszcze w pieluszkach”⁴¹.

Co więcej kwestią sporną pozostaje, czy ekonomia, a zwłaszcza mikroekonomia, jest w stanie zaproponować nawet jedno *stricte* ekonomiczne prawo ogólne wymagane przez metodę nomologiczno-dedukcyjną. Przy odwzorowywaniu zjawisk mikroekonomicznych, a z takimi mamy do czynienia na poziomie przedsiębiorstwa, staje się ułomna zaproponowana przez Reichenbacha zasada probabilistycznego sprawdzania poprawności empirycznej. Próba wykorzystania w tym celu danych zebranych metodami statystyki opisowej może prowadzić do wątpliwych wyników, jeżeli struktura badanego obiektu ulegnie poważnym zmianom w analizowanym okresie. Zdaniem N. Georgescu-Roegen, „ważność testów statystycznych, nawet nieparametrycznych, wymaga warunków, które szybko zmieniająca się struktura, jaką jest proces ekonomiczny, może spełnić tylko przez czysty przypadek”^{42, 43}.

Brak przekonującej teorii firmy powoduje, że istnieje wiele hipotez dotyczących zachowania się systemów ekonomicznych, lecz nie ma zgody, która z metod opartych na tych hipotezach wyjaśnia w sposób właściwy konkretne zjawiska gospodarcze. Jak pisze E. Nagel: „różnice pomiędzy zakładanymi warunkami idealnymi, dla których prawa ekonomiczne były formułowane, a rzeczywistymi warunkami rynkowymi są tak duże (...) że wartość metody nomologicznej w dziedzinie ekonomii wciąż (...) pozostaje kwestią sporną”⁴⁴. Innymi słowy mikroekonomia jako nauka nie oferuje wiarygodnego

⁴⁰ J. Kornai, *Anti-Equilibrium: On Economic Systems Theory and the Tasks of Research*, M. Kelley Pubs., New York 1990, s. 43.

⁴¹ J. Robinson, *Economic Heresies: Some Old-fashioned Questions in Economic Theory*, Basic Books, New York 1971, s. 167–168.

⁴² N. Georgescu-Roegen, *op.cit.*, s. 278. I dalej „poprzez dobór właściwego dłuta rzeźbiarz może udowodnić, że w dowolnym pniu ukryta jest piękna Madonna (...) Innymi słowy w ekonomii jest tyle narzędzi, że sprawny badacz jest w stanie udowodnić dowolną tezę”, N. Georgescu-Roegen, *op.cit.*, s. 340.

⁴³ W swojej propozycji zbioru testów mających na celu weryfikację modeli ekonomicznych zbudowanych za pomocą dynamiki systemowej J.W. Forrester i M. Senge utrzymują, że „konwencjonalne testy statystyczne odnoszące się do struktury modelu nie mogą być wykorzystane jako wystarczająca podstawa do odrzucenia tezy o poprawności modelu”; zob. J.W. Forrester, M. Senge, *Tests for Building Confidence in System Dynamics Models*, “TIMS Studies in Operations Research” 1980, s. 94.

⁴⁴ E. Nagel, *op.cit.*, s. 436.

systemu ilościowych praw ekonomicznych ani w formie deterministycznej, ani probabilistycznej, które dla danych warunków początkowych mogłyby zostać zaakceptowane jako eksplanans dla eksplanandum, jakie stanowią założenia modelu firmy^{45,46}. Podsumowując tę część rozważań, należy stwierdzić, że w odniesieniu do modelowania ekonometrycznego firmy podejście koherentne jest nieuprawnione, co w znaczący sposób podważa wiarygodność procesu weryfikacyjnego na tle innych nauk o solidnych podstawach teoretycznych⁴⁷.

Porzucając podejście dedukcyjno-nomologiczne, musimy zdać się na metodę hipotetyczno-dedukcyjną, właściwą racjonalnemu krytycyzmowi, która wydaje się być alternatywnym sposobem weryfikacji symulatorów przedsiębiorstwa poprzez połączenie wnioskowania matematycznego z metodami obserwacyjnymi. W proponowanej procedurze RAD-VER, opartej na metodzie hipotetyczno-dedukcyjnej, przyjmujemy a priori założenia modelu. Następnie poprzez obserwację rzeczywistości tworzony jest zbiór bazowych zdań empirycznych. Dalej, pozytywnie zweryfikowany symulator jako maszyna dedukcyjna (por. punkt 3.1) zostaje użyty do przeprowadzenia weryfikacyjnych eksperymentów symulacyjnych. Wyniki tych eksperymentów umożliwiają sformułowanie zdań bazowych, które tworzą bazę zdań symulacyjnych. Zdania te powinny być sformułowane w taki sposób, aby ich struktura (syntaktyka) była co najmniej podobna do zdań empirycznych⁴⁸. Dysponując bazą zdań empirycznych i bazą zdań symulacyjnych, jesteśmy w stanie dokonywać bezpośredniego porównania danego zdania symulacyjnego z jego

⁴⁵ Jak stwierdził Kobrinskij: „konieczność wprowadzenia dużej liczby założeń istotnie różni ekonomię od innych nauk”, czego przykładem jest teoria firmy bazująca na założeniach ekonomii neoklasycznej, zob. N.E. Kobrinskij, *Osnovy Ekonomičeskoj Kibernetiki* (The Fundamentals of Economic Cybernetics), Izdatel'stvo Ėkonomika, 1975, s. 54.

⁴⁶ W sensie racjonalnym, poprawność założeń dla modelu systemu ekonomicznego typu przedsiębiorstwo możemy zatem dowieść jedynie w tych obszarach, w których przyjęte relacje wynikają jednoznacznie z praw bilansowych, czyli w sferze finansowej i – częściowo – w procesie produkcji. Zależności te nie są jednak *stricte* prawami ekonomicznymi, gdyż mają bądź charakter zdań analitycznych, bądź są redukowalne do twierdzeń przyrodoznawstwa. Z. Czerwiński pisze, że „przeprowadzono mnóstwo badań nad funkcjami produkcji, funkcjami popytu, funkcjami kosztów, ale – jakkolwiek uzyskano w wielu przypadkach dobre przybliżenie do wyników obserwacji, to jednak przybliżenie to ujawniało się w dość wąskich granicach czasowo-przestrzennych. Prawidłowości wykrywane przez ekonometrię okazały się lokalnymi, nieprzypominającymi pod tym względem «uniwersalnych» praw przyrody. Znajomość takich lokalnych prawidłowości ma bezspornie pewną wartość użytkową dla krótkookresowego prognozowania. Uniwersalnych, ilościowych praw ekonomicznych ekonometria jednak nie wykryła”, zob. Z. Czerwiński, *Dylematy ekonomiczne (Economic Dilemmas)*, PWE, Warszawa 1992, s. 199–200.

⁴⁷ Pewnym pocieszeniem dla ekonomistów jest, że z tym samym problemem muszą się zmagać na przykład fizycy. Einstein pisze: że “for the time being (...) we do not possess any general theoretical basis for physics, which can be regarded as its logic foundations”, Einstein A., *Out of My Later Years*, Philosophical Library, 1950.

⁴⁸ Oczywiście pojawia się pytanie: jakie zdania podstawowe (*basic sentences*) co do formy i treści można uznać za nadające się do konfrontacji zdaniowej. Problem ten zauważa Popper, pisząc o relatywności zdań bazowych (*relativity of basic statements*) i podkreślając, że konwencjonalizm dominuje przy akceptacji zdań jako podstawa dla empirycznej falsyfikacji.

odpowiednikiem w bazie empirycznej, czyli przeprowadzić tzw. konfrontację zdaniową (*sentential confrontation*).

Wynik konfrontacji zdaniowej pozwala na weryfikację założeń modelu poprzez regułę *modus tollens*. W procedurze RAD-VER reguła ta jest następująca:

‘założenia modelu → konfrontacja zdaniowa i – konfrontacja zdaniowa, wówczas – założenia modelu’. Innymi słowy: kiedy zaakceptujemy a priori, że „założenia modelu – TRUE”, z tego wynika, że „konfrontacja zdaniowa także TRUE”, ale jeżeli „konfrontacja zdaniowa – FALSE”, to z tego wynika „założenia modelu – FALSE”.

Pozytywna weryfikacja modelu jako „maszyny dedukcyjnej” i pozytywny wynik konfrontacji zdaniowej daje nam, przynajmniej na dany moment, podstawę do przyjęcia, że konstrukcja modelu i jego założenia są akceptowalne tak ze względu na podejście dedukcyjne, jak i empiryczne i koherentne. Tym samym nie mamy przesłanek do odrzucenia symulatora będącego przedmiotem weryfikacji. Konkludując, w obszarze stosowalności procedury RAD-VER symulator może być traktowany jako narzędzie poznania naukowego „z dokładnością właściwą dla obszaru badań” (Arystoteles).

Jeżeli natomiast konfrontacja zdaniowa przyniosła wynik negatywny, to model należy uznać za negatywnie zweryfikowany. Taki wynik zmusza modelującego do ponownej krytycznej analizy założeń poczynionych przy konstrukcji modelu i odpowiedniej ich modyfikacji.

Proponowana procedura oparta na metodzie hipotetyczno-dedukcyjnej nie może być traktowana jako bezdyskusyjny sposób na weryfikację modeli. Podejście to ma poważne ograniczenia i jest krytykowane przez wielu⁴⁹. Tym samym, jeżeli zaakceptujemy procedurę RAD-VER jako szkielet weryfikacji, wówczas musimy ponownie przedyskutować potencjalne obszary zastosowań dynamicznego, komputerowego symulatora jako narzędzia poznania zjawisk mikroekonomicznych typowych dla przedsiębiorstwa.

Najogólniej dynamiczny model firmy może być stosowany do:

- prognozowania w formie zdań o przyszłości systemu ekonomicznego;
- predykcji w formie zdań o relacjach pomiędzy przyczynami i efektami (tzw. analiza „what if”).

Jeżeli mamy zamiar stosować symulator jako maszynę prognostyczną, to oznacza, że z góry akceptujemy dwa podstawowe założenia:

- ontologiczne, że istnieje „zaszyty” w strukturę systemu zbiór relacji pomiędzy przeszłością, terażniejszością i przyszłością systemu;
- epistemologiczne, że ten zbiór relacji może zostać ujawniony, tzn. zidentyfikowany, opisany i zmierzony.

⁴⁹ Zob. P. Godfrey-Smith, *op.cit.*

Także przyjmujemy założenie metafizyczne, że czas rzeczywisty i czas symulacyjny jest tą samą substancją⁵⁰. Jest to uproszczenie warte szerszej dyskusji, ponieważ, przykładowo, w symulacyjnym modelu dynamicznym wszystkie zdarzenia zależą jednoznacznie od czasu, co w świecie rzeczywistym nie jest takie oczywiste. Powyższe założenia (ontologiczne, epistemologiczne, metafizyczne) są w rozumieniu Kanta zdaniem a priori i tym samym nie są weryfikowalne ani z pozycji koherencyjnych, ani empirycznych czy dedukcyjnych⁵¹.

4. Podsumowanie

Ta nieweryfikowalność podstawowych założeń modelu czyni wątpliwym tezę o możliwości wykorzystania komputerowego modelu systemu ekonomicznego jako narzędzia prognozowania⁵². Należy podkreślić, że dla zdań o przyszłości zachodzi inwersja pomiędzy wartością poznawczą zdania a prawdopodobieństwem, że jest prawdziwe. Zdanie o przyszłości z prawdopodobieństwem spełnienia bliskim 1 (np. „jutro wszędzie słońce”) mają zerową wartość poznawczą, czyli są bliskie tautologiom. Natomiast dla zdań o przyszłości o wysokiej wartości poznawczej (np. „20 lipca 2022 roku we Wrocławiu będzie trzęsienie ziemi”) prawdopodobieństwo, że okażą się prawdziwe, jest bliskie zera, co czyni je bezużytecznymi. W każdej dziedzinie nauki istnieją „szare strefy”, gdzie dzięki wysiłkowi ludzkiego umysłu można formułować zdania o znaczącej wartości poznawczej i z rozsądnym prawdopodobieństwem ich spełnienia⁵³. W ekonomii

⁵⁰ Założenie, że czas symulacyjny i czas rzeczywisty są tożsame, należy uznać za radykalne uproszczenie. Dla przykładu, w przeciwieństwie do rzeczywistości model symulacyjny zakłada linearność i sekwencyjność zdarzeń. To ważne zagadnienie nie jest omawiane w tym artykule.

⁵¹ Wątpliwe jest także podstawowe założenie dynamicznego modelowania ekonomicznego, że zachowanie się przedsiębiorstwa może być adekwatnie odwzorowane przez układ równań różniczkowych. To założenie jest typową Kantowską sentencją a priori i zostało sformułowane na podstawie wysoce spekulatywnych analogii pomiędzy systemami ekonomicznymi a zasadniczo innymi systemami fizycznymi, zwłaszcza mechanicznymi. S. Żurawicki stwierdza: „proponując użycie modeli dynamicznych w ekonomii, przytacza się przykłady ich skutecznego użycia np. w fizyce, wydaje się jednak, że bezkrytyczna transplantacja metod, które okazały się skuteczne w mechanice, do ekonomii jest nieuprawnione z wielu powodów”, zob. S. Żurawicki, *Ekonomia polityczna a matematyka – zagadnienia metodologiczne*, PWE, Warszawa 1980, s. 83.

⁵² Z kolei S. Schoeffler uważa, że: „naukowa predykcja jest możliwa tylko wówczas, gdy dysponujemy prawami uniwersalnymi, nieograniczonymi szczególnymi warunkami. Natomiast system ekonomiczny jest zawsze poddawany siłom spoza ekonomii, jak również przypadkowi. Z tego powodu nie ma czegoś takiego jak prawa ekonomiczne czy ekonomiczna predykcja”, zob. S. Schoeffler, *The Failures of Economics: A Diagnostic Study*, Harvard University Press, 1955, s. 94. Także Blaug: „nie ulega wątpliwości, że zachodzą poważne ograniczenia co do możliwości przez ekonomistów przepowiadania charakterystyk dynamicznych procesów ekonomicznych. Tym samym można wyrazić poważny sceptycyzm co do kierunku, w jakim podąża współczesna ekonomia”, M. Blaug, *op.cit.*, s. 247.

⁵³ T. Mayer zwraca uwagę na ten problem, choć nieco w innym kontekście: „prawdopodobieństwo vs. testowalność”; także Popper zwraca uwagę na relację „testowalność – wartość informacyjna”, T. Mayer, *op.cit.*, s. 29; K. Popper, *op.cit.*, s. 35.

wyznaczenie tej „szarej strefy” jest bardzo trudne. Mając na uwadze reputację modelu jako narzędzia poznawczego, ograniczymy potencjalny obszar zastosowań do eksperymentów predykcyjnych „what if”, zwykle przeprowadzanych w warunkach „all other things being equal” (*caeteris paribus*)^{54, 55}. Kierując się wnioskami wyprowadzonymi w trakcie dyskusji pomiędzy Baconem (*Novum Organum*) i Humem (*An Enquiry concerning Human Understanding*), autor tego artykułu podziela tezę, że nie posiadamy żadnej wiedzy o przyszłości i tym samym metody prognozowania są nieuprawnione, szczególnie w ekonomii⁵⁶.

Formułowanie zależności w formie ilościowej, jak to jest wymagane w symulacji komputerowej, jest trudne ze względu na to, że podstawowe problemy związane identyfikacją, obserwacją i pomiarem kategorii na poziomie mikroekonomicznym pozostają wciąż nierozwiązane. Na przykład takie czynniki, jak ranga organizacji w otoczeniu, autorytet i aspiracje decydentów, zaufanie do stabilizacji sytuacji rynkowej mają znaczny wpływ na procesy decyzyjne; jednocześnie cech tych nie można w praktyce skwantyfikować⁵⁷. Wskazane wyżej problemy z identyfikacją i pomiarem w połączeniu z nieweryfikowalnością niektórych kluczowych założeń tworzących fundament modelu symulacyjnego powoduje, że wydaje się nierealistyczne oczekiwanie, iż wygenerowane via eksperyment symulacyjny charakterystyki dynamiczne mogą być weryfikowalne przy użyciu kryteriów ilościowych. Mając znowu na uwadze reputację modelu jako narzędzia poznawczego, jesteśmy zmuszeni odmówić modelowi symulacyjnemu zdolności do objaśnienia

⁵⁴ Zdaniem autora efektywne prognozowanie ekonomiczne jest możliwe tylko wówczas, gdy spełnione są warunki determinizmu naukowego. Pogłębiona analiza tego kluczowego dla weryfikacji problemu wykracza poza zakres tego artykułu. Postulując ograniczenie potencjalnego pola zastosowań symulatora, należy pamiętać, iż ci, którzy są w stanie okiełznać swoje żądze poznawcze, uzyskują więcej, niż tracą.

⁵⁵ Warte odnotowania jest, że mimo posiadania bardzo obszernego i rzetelnego zbioru o historii notowań giełdowych, w prognozowaniu kursów akcji losowe błędzenie daje nie gorsze wyniki niż złożone metody matematyczne oparte na analizie technicznej czy fundamentalnej. Także żaden z licznych modeli prognozowania dla cen surowców nie przewidział ich załamania w latach 1973, 1979 czy 2008. Autor artykułu uważa, że dążenie do zbudowania precyzyjnej prognozy ekonomicznej jest drogą donikąd. Im bardziej prognoza jest ilościowa i precyzyjna w ujęciu liczbowym, tym mniejsza jest szansa, że prognoza ta będzie miała jakąkolwiek wartość poznawczą. Warto w tym miejscu przypomnieć frazę przypisywaną J.K. Galbraithowi: „The only function of economic forecasting is to make astrology look respectable”.

⁵⁶ W ramach dyskusji o sensie naukowym modeli prognostycznym należałoby zwrócić uwagę na problemy mentalnej kontroli przebiegu eksperymentu symulacyjnego ze strony modelującego/eksperymentatora. Nieco w odmiennym kontekście problem ten został podniesiony przez N. Georgescu-Roegenę: „the more complicated the model and the greater the number of variables involved, the further it moves beyond our mental control, which in the social sciences is the only possible control”. Z braku miejsca ten kluczowy dla modelowania ekonomicznego problem nie będzie omówiony w tym artykule.

⁵⁷ Fakt ten jest zwykle ignorowany przez ekonometryków. Trawestując zdanie Kelvina, „jeśli nie możesz zmierzyć, to i tak zmierz”, zob. F.H. Knight, *What is Truth' in Economics? On the History and Method of Economics*, University of Chicago Press, Chicago 1956, s. 166. Niektórzy uważają jednak, że ekonomia jest „the most quantitative (...) of all sciences because its observables are made numerical by life itself”*, zob. J. Schumpeter, *Essays*, Transaction Publishers, New Brunswick-London 1991, s. 100, cyt. przez N. Georgescu-Roegenę, *op.cit.*

zachowania się systemu zarządzania w wymiarze ilościowym. Postulujemy zatem, aby przy ocenie naukowości takich modeli kryteria weryfikacji, a w konsekwencji wnioski objaśniające, zostały ograniczone wyłącznie do sfery jakościowej⁵⁸.

Z powyższej dyskusji można wyprowadzić następujące wnioski odnoszące się do: weryfikacji modeli:

- metoda hipotetyczno-dedukcyjna zostanie zastosowana jako metoda weryfikacji symulatora firmy;
- weryfikacja wyników eksperymentów symulacyjnych będzie dokonywana wyłącznie z wykorzystaniem kryteriów jakościowych;

konstrukcji modelu:

- moduły weryfikacyjne powinny stanowić integralną część struktury symulatora;

zastosowań modelu:

- jako narzędzie poznawcze symulator firmy będzie stosowany wyłącznie do eksperymentów predykcyjnych (nie prognostycznych);
- tylko jakościowe wnioski będą wyprowadzane z wyników przebiegów symulacyjnych.

Podsumowując ten dyskurs o weryfikacji, należy uznać za paradoksalne, że w odniesieniu do tak współczesnych konstrukcji myślowych, jakimi są komputerowe modele systemów zarządzania, dylematy procesu ich weryfikacji zostały chyba najtrafniej ujęte przez średniowiecznego filozofa słowami: „Nie znajdziecie. Ale szukajcie tak, jakbyście mieli znaleźć” (św. Augustyn, także Mt 7,7-12).

Bibliografia

- Ackoff R.A., *Concept of Corporate Planning*, John Wiley & Sons, New York 1970.
- Agassi J., *Science in Flux*, D. Reidel Publishing Comp., Boston 1975.
- Blaug M., *The Methodology of Economics or How Economists Explain*, Cambridge University Press, Cambridge 1992.
- Boulding K.E., *Beyond Economics: Essays on Society, Religion and Ethics*, University of Michigan Press, 1968.
- Chattoo E., *Why Are We Simulating Anyway? Some Answers from Economics*, w: *Social Science Microsimulation*, K.G. Troitzsch et al. (Eds.), Springer Verlag, 1966.
- Czerwiński Z., *Dylematy ekonomiczne (Economic Dilemmas)*, PWE, Warszawa 1992.
- Dery R., Landry M., Banville C., *Revisiting the Issue of Model Validation in OR: an Epistemological View*, “European Journal of Operational Research” 1993, vol. 66(2).
- Dirac A.M., *The Evolution of the Physicist’s Picture of Nature*, “Scientific American” 1963, vol. 208, no. 5.

⁵⁸ Warto w tym miejscu przypomnieć, że brak jak dotychczas satysfakcjonującej odpowiedzi na pytanie, czy ekonomia została napisana językiem matematyki.

- Durst P.J., Anderson D.T., Bethel C.L., *A Historical Review Of The Development Of Verification And Validation Theories For Simulation Models*, "International Journal of Modeling Simulation and Scientific Computing" 2017, vol. 8, no. 2.
- Dybkaer R., *'Verification' Versus 'Validation': a Terminological Comparison*, "Accreditation & Quality Assurance" 1980, vol. 16(2).
- Einstein A., *Out of My Later Years*, Philosophical Library, 1950.
- Feyerabend P., *Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, Verso, London 1980.
- Ford F.N., Bradbard D.A., Cox J.F., Ledbetter W.N., *Simulation in Corporate Decision Making: Then and Now*, "Simulation" 1987, vol. 49(6).
- Forrester J.W., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge 1961.
- Forrester J.W., Senge M., *Tests for Building Confidence in System Dynamics Models*, "TIMS Studies in Operations Research" 1980.
- Georgescu-Roegen N., *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Harvard 1971.
- Godfrey-Smith P., *Theory and Reality: An Introduction to the Philosophy of Science*, University of Chicago Press, Chicago-London 2003.
- Harding S., *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis*, Springer Science & Business Media, 1976.
- Heller M., Życiński J., *Wszechświat i filozofia (The Cosmos and Philosophy)*, PTT, Kraków 1986.
- Ijeoma S.I., Andersson J., Wall A., *Correctness Criteria for Models' Validation – A Philosophical Perspective*, www.mrtc.mdh.se/publications, 2001.
- Janová J., *Crop Planning Optimization Model: the Validation and Verification Processes*, "Central European Journal of Operations Research" 2012, vol. 20, s. 451–462.
- Kirkham R.L., *Theories of Truth: A Critical Introduction*, MIT Press, 1992.
- Kleindorfer G., O'Neill L., Ganeshan R., *Validation in Simulation: Various Positions in the Philosophy of Science*, "Operations Research" 1998, vol. 8.
- Kleijnen J.P.C., *An Overview of the Design and Analysis of Simulation Experiments for Sensitivity Analysis*, "European Journal of Operational Research" 2005, vol. 164(2).
- Kobrowski N.E., *Osnovy Ekonomičeskoj Kibernetiki (The Fundamentals of Economic Cybernetics)*, Izdatel'stvo Ėkonomika, 1975.
- Kornai J., *Anti-Equilibrium: On Economic Systems Theory and the Tasks of Research*, M. Kelley Pubs., New York 1990.
- Lakatos I., *Falsification and the Methodology of Research Programmes*, w: *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos, J. Musgrave (Eds.), Cambridge University Press, 1974.
- Landry M., Oral M., *In Search of a Valid View of Model Validation for Operations Research*, "European Journal of Operational Research" 1993, vol. 66(2).
- Law A.M., Kelton W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, 1991.
- Magee B., *Popper*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
- Magee B., *Popper*, Frank Cass., London 1974.
- Martis M.S., *Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Out*, "Electronic Journal Of Business Research Methods" 2006, vol. 4, no. 1, s. 39–45, Business Source Complete, EBSCOhost (28.01.2016).
- Mayer T., *Truth versus Precision in Economics*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham 1993.
- Murray-Smith D.J., *Concepts Of Simulation Model Testing, Verification And Validation*, w: *Testing and Validation of Computer Simulation Models: Principles, Methods and Applications*, Book Series: Simulation Foundations Methods and Applications, 2015, s. 19–33.

- Nagel E., *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Harcourt, Brace & World, New York 1961.
- Naylor T.H., Finger J.M., *Verification of Computer Simulation Models*, "Operations Research" 1967, vol. 14(2).
- Popper K., *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*, Claredon Press, 1972.
- Popper K., *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge, Abingdon-on-Thames 2002.
- Popper K., *Unended Quest: An Intellectual Autobiography*, Open Court Publishing Co., 1976.
- Radosiński E., Radosiński Ł., *Construction of a Flexible Simulation Model of a Corporation*, "Operations Research and Decisions" 2019, vol. 29, no. 1, s. 75–95, 7 rys., bibliogr. 21.
- Radosiński E., Radosiński Ł., *Verification of a Model as a Scientific Tool of Operations Research: a Methodological Approach*, "Operations Research and Decisions" 2018, vol. 28, no. 3, s. 45–62.
- Reichenbach H., *The Rise of Scientific Philosophy*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles 1951.
- Richards I., *On the Incompatibility of Two Conjectures Concerning Primes*, "Bulletin of American Mathematical Society" 1980, no. 80.
- Robinson J., *Economic Heresies: Some Old-fashioned Questions in Economic Theory*, Basic Books, New York 1971.
- Rosser J.B., Yohe J.M., Schoenfeld L., *Rigorous Computation and the Zeros of the Riemann Zeta-Functions*, w: *Information Processing* 68, 1, North Holland, 1969.
- Russell B., *History of Western Philosophy and its Connection with Political and Social Circumstances from the Earliest Times to the Present Day*, Allen and Unwin, 1948.
- Samuelson A., *The Collected Scientific Papers of Paul A. Samuelson*, J.E. Stiglitz (Ed.), MIT Press, Cambridge 1966.
- Sargent R.G., *Verification and Validation of Simulation Models*, w: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Medeiros et al. (Eds.), IEEE, 1998.
- Sargent R.G., *Verification and Validation of Simulation Models*, "Journal of Simulation" 2013, vol. 7, no. 1 (Feb. 2013), s. 12–24.
- Schneider E., *Einführung in die Wirtschaftstheorie*, Bd. IV, Tübingen, 1952.
- Schoeffler S., *The Failures of Economics: A Diagnostic Study*, Harvard University Press, 1955.
- Sterman J.D., *Business Dynamics. Systems Thinking and Modelling for a Complex World*, Irwin McGraw-Hill, Boston 2000.
- Tarski A., *The Semantic Conception of Truth*, "Philosophical and Phenomenological Research" 1944, vol. 4.
- Wang Z., Lehmann A., *A Framework for Verification and Validation of Simulation Models and Applications*, Book series: *Communications in Computer and Information Science*, Asiasim 2007, vol. 5, s. 237+.
- Weinwurm E.H., *Limitations of the Scientific Method in Operations Research*, "Operations Research" 1957, vol. 3.
- Zeigler B., *Theory of Modelling and Simulation*, John Wiley & Sons, Hoboken 1976.
- Żurawicki S., *Ekonomia polityczna a matematyka – zagadnienia metodologiczne* (Political Economics and Mathematics – Methodological Problems), PWE, Warszawa 1980.