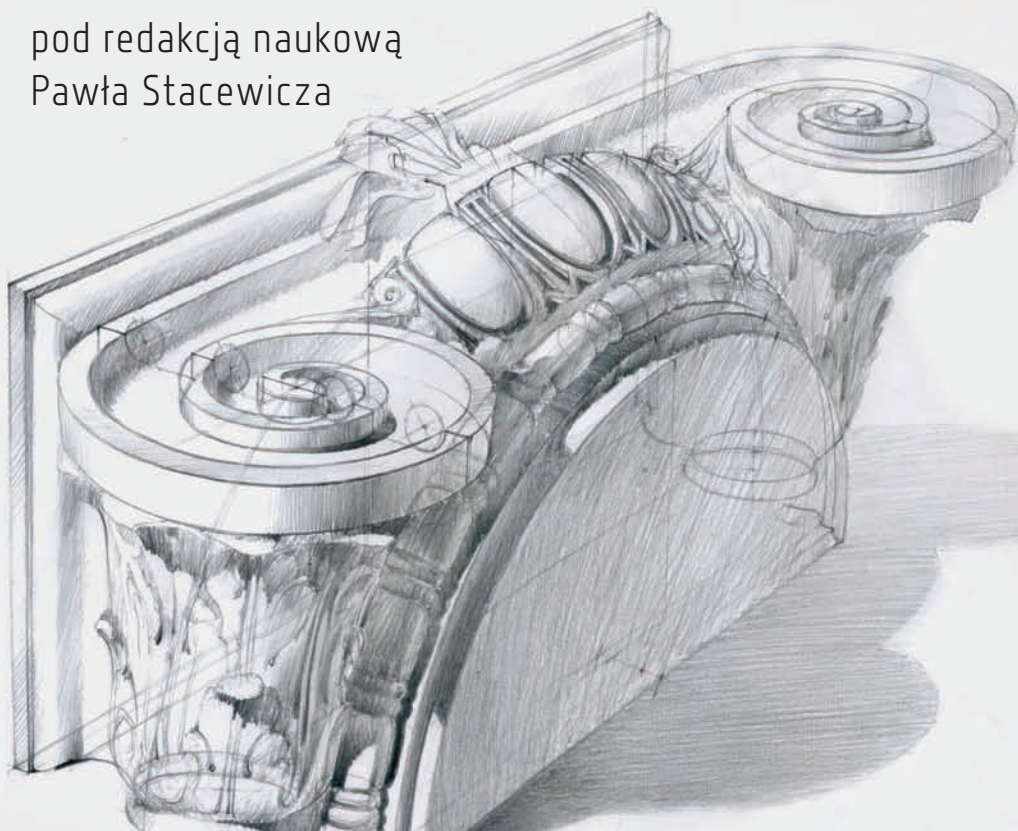


INFORMATYKA A FILOZOFIA

Od informatyki i jej zastosowań do światopoglądu informatycznego

Praca zbiorowa
pod redakcją naukową
Pawła Stacewicza



CALCU LEMUS

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INFORMATYKA A FILOZOFIA

**Od informatyki
i jej zastosowań
do światopoglądu
informatycznego**

INFORMATYKA A FILOZOFIA

Od informatyki i jej zastosowań do światopoglądu informatycznego

Praca zbiorowa
pod redakcją naukową
Pawła Stacewicza



OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
WARSZAWA 2015

Publikacja została dofinansowana ze środków Wydziału Filozoficznego Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie oraz ze środków Wydziału Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej

Recenzenci

Witold Marciszewski
Robert Poczobut

Autorzy

<i>Jerzy Mycka</i>	— rozdz. 3
<i>Adam Olszewski</i>	— rozdz. 3
<i>Robert Piechowicz</i>	— rozdz. 7
<i>Paweł Polak</i>	— rozdz. 2
<i>Anna Sarosiek</i>	— rozdz. 8
<i>Radosław Siedliński</i>	— rozdz. 4
<i>Paweł Stacewicz</i>	— rozdz. 1
<i>Justyna Szatan</i>	— rozdz. 5
<i>André Włodarczyk</i>	— rozdz. 6

Projekt okładki

Danuta Czudek-Puchalska

Skład komputerowy

Hanna Jakubicka

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w Internecie bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

ISBN 978-83-7814-437-3

Księgarnia internetowa Oficyny Wydawniczej PW www.wydawnictwopw.pl
tel. 22 234-75-03; fax 22 234-70-60; e-mail: oficyna@wpw.pw.edu.pl

Oficyna Wydawnicza PW, ul. Polna 50, 00-644 Warszawa. Wydanie I. Zamówienie nr 115/2015
Druk i oprawa: Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Warszawskiej, tel. 22 234-55-93

Spis treści

Od redaktora tomu	7
Rozdział 1. Światopogląd informatyczny. Naukowe podstawy i filozoficzne perspektywy (<i>Paweł Stacewicz</i>)	11
Rozdział 2. Od informatyki empirycznej ku informatyce ogólnej. Ewolucja świadomości metodologicznej (<i>Paweł Polak</i>)	25
Rozdział 3. Czy teza Churcha ma jeszcze jakieś znaczenie dla informatyki? (<i>Jerzy Mycka,</i> <i>Adam Olszewski</i>)	53
Rozdział 4. Życie – informacja – ewolucja. Wokół metabiologii Gregory Chaitina (<i>Radosław Siedliński</i>)	75
Rozdział 5. Rola symulacji komputerowych we współczesnej kosmologii (<i>Justyna Szatan</i>) .	105
Rozdział 6. Informatyka szansą na rozwój naukowej lingwistyki (<i>André Włodarczyk</i>)	117
Rozdział 7. Język, przekonania i komputer (<i>Robert Piechowicz</i>)	137
Rozdział 8. Biosemiotyczne inspiracje sztucznej inteligencji (<i>Anna Sarosiek</i>)	151
Indeks nazwisk.	169
Indeks rzeczowy.	171
Informacje o autorach	173

Od redaktora tomu

Niniejsza monografia zbiorowa jest owocem filozoficznego namysłu jej autorów nad współczesnymi dokonaniem informatyki – informatyki, która coraz silniej przenika do różnych nauk szczegółowych. Czytelnik znajdzie w niej zarówno logiczno-informatyczne konkrety (dotyczące np. modelowania ludzkich zdolności komunikacyjnych), jak i analizy metodologiczne (skupione m.in. wokół postępującej empiryzacji informatyki), jak i treści filozoficzne (związane np. z oceną roli informatyki we współczesnej kulturze). Konwencja taka jest zgodna ze współczesnym rozumieniem filozofii, która nie zamyka się w swojej szklanej wieży, nie odżegnuje się od nauk, lecz przeciwnie: wychodzi do nich, stara się je zrozumieć, a niekiedy nawet wskazać im obiecujące kierunki rozwoju.

Pojęciem, które scala tematycznie kolejne rozdziały jest *światopogląd informatyczny*. Oznacza ono pewną nową wizję świata – wizję, która polega na opisie i próbach zrozumienia otaczających nas zjawisk w kategoriach informatycznych (jak algorytm, struktura danych czy automat). Nie wszyscy autorzy monografii deklarują wprost, że ów światopogląd żywią, niemniej jednak ich teksty – obrazujące coraz dalej idącą informatyzację nauk – skłaniają do namysłu, czy faktycznie pojęcia informatyczne mogą stać się istotną składową współczesnego światopoglądu. A jeśli mogą, to co je łączy z filozofią?

Aby dać czytelnikowi wstępny obraz informatyczno-filozoficznej zawartości książki, odniosę się krótko do poszczególnych tekstów¹.

W tekście otwierającym monografię, *Światopogląd informatyczny. Naukowe podstawy i filozoficzne perspektywy*, wprowadzam czytelnika w pojęcie światopoglądu informatycznego, ukazując jego kulturowe tło oraz informatyczne jądro. Opisując ów rdzeń, wyjaśniam sens podstawowych terminów informaty-

¹ W formie przypisu chciałbym wyjaśnić, że układ tekstów wewnątrz monografii odpowiada malejącej ogólności ujęć: od ogólnego omówienia pojęcia światopoglądu informatycznego i metodologicznych aspektów informatyki do zastosowań informatyki w konkretnych dziedzinach.

Chciałbym wyjaśnić także, że ze względu na różny charakter tekstów (niektóre są bardziej filozoficzne, a niektóre bardziej techniczne) pozostawiłem autorom swobodę w wyborze konwencji odwołań do bibliografii. Wydaje mi się, że ujednolicenie tej kwestii mogłoby zaburzyć odbiór niektórych tekstów.

ki teoretycznej (jak algorytm, złożoność czasowa czy nieobliczalność). W warstwie filozoficznej tekstu skupiam się na inspirowanych informatycznie pytaniach o umysł, zapytując między innymi o adekwatność różnych jego modeli.

W drugim rozdziale monografii, *Od informatyki empirycznej ku informatyce ogólnej – ewolucja świadomości metodologicznej*, Paweł Polak analizuje – na przykładzie konkretnych wyjątków ze współczesnej myśli metodologicznej – ciekawą ścieżkę rozwojową informatyki. Wiedzie ona od informatyki rozumianej jako nauka formalna (blisko powiązana z matematyką), poprzez informatykę empiryczną (w której bada się zachowania programów i systemów komputerowych; tworzonych niekiedy „na wzór” systemów naturalnych), aż do współczesnego projektu informatyki ogólnej. Ta ostatnia dyscyplina miałaby badać – na odpowiednio wysokim poziomie ogólności – zarówno naturalne, jak i sztuczne, systemy do przetwarzania informacji. Jako taka zaś mogłaby stanowić fundament współczesnego światopoglądu.

W tekście kolejnym, *Czy Teza Churcha ma jeszcze jakieś znaczenie dla informatyki?*, Jerzy Mycka i Adam Olszewski nie wychodzą poza macecznik światopoglądu informatycznego, tj. samą informatykę. Analizują od strony metodologicznej różne koncepcje hiperobliczeń, czyli obliczeń wykraczających swoją mocą poza możliwości uniwersalnej maszyny Turinga. Dochodzą do wniosku, że jakkolwiek teoria tego rodzaju technik jest całkiem dobrze rozwinięta, to nic nie wskazuje na to, by mogły one zostać efektywnie zrealizowane. Innymi słowy: zdaniem Autorów, sformułowana w latach 30. XX wieku Teza Churcha wciąż jeszcze wyznacza nieprzekraczalne granice praktycznej optymalizacji.

Za pośrednictwem tekstu Radosława Siedlińskiego pt. *Życie – informacja – ewolucja. Wokół metabiologii Gregory Chaitina* możemy przyjrzeć się szczegółowo pewnej skrajnej wersji światopoglądu informatycznego, ukiepunkowanej na opis procesów biologicznych. Tekst omawia krytycznie Chaitinowską próbę wykorzystania kategorii informatycznych do opisu ewolucji prostych organizmów: u jej podstaw leży rozumienie organizmów jako pewnego rodzaju działających programów, a kodu DNA – jako naturalnego języka programowania. Autor przekonuje, że jakkolwiek zakodowana w genach informacja stanowi ważny element życia, to modelując życie nie da się jej oddzielić od procesów fizycznych (energetyczno-metabolicznych).

Zainicjowany przez Pawła Polaka metodologiczny wątek monografii znajduje swoją kontynuację w tekście Justyny Szatan pt. *Rola symulacji komputerowych we współczesnej kosmologii*. Jego autorka przekonuje, że we współczesnej nauce metoda symulacji komputerowej jest traktowana równorzędnie do

tradycyjnych metod empirycznych, tj. obserwacji i eksperymentu. Na poparcie tej tezy przytacza szereg przykładów z zakresu kosmologii przyrodniczej. Zauważa nadto, że skuteczność symulacji komputerowych w opisie Wszechświata dostarcza nowego argumentu na rzecz tezy o jego matematyczności. Dzieje się tak, ponieważ zarówno działanie realizującego symulację komputera, jak i sam algorytm symulacji, opierają się na pewnych regułach matematycznych.

Inna dziedzina szczegółowa, w której z coraz większym powodzeniem stosuje się metody informatyczne to lingwistyka. W tekście pt. *Informatyka szansą na naukowy rozwój lingwistyki* André Włodarczyk daje szeroki przegląd zastosowań informatyki do analizy języków naturalnych i formułowanych w nich wypowiedzi. Oprócz rozwiązań szczegółowych (związanych np. z analizą statystyczną tekstowych baz danych i drażnieniem danych), autor kreśli program lingwistyki interaktywnej, która polega na dochodzeniu do coraz bardziej adekwatnych modeli języka poprzez interakcję komputera (generującego spójne logicznie modele próbne) i badacza (wprowadzającego do modeli nowe założenia).

W tematykę informatycznie uprawianej lingwistyki wpisuje się doskonale tekst Roberta Piechowicza, *Język, przekonania i komputer*, o zastosowaniach trzech systemów logicznych do zapewnienia komputerom elementarnych zdolności komunikacyjnych. Autor prezentuje krótko te systemy (w ujęciu aksjomatycznym), a następnie wyjaśnia, jak komunikowałyby się z ludźmi maszyny, wewnątrz których systemy te zaimplementowano.

W tekście kończącym monografię, pt. *Biosemiotyczne inspiracje badań nad sztuczną inteligencją*, Anna Sarosiek podejmuje jedno z kluczowych pytań światopoglądu informatycznego, które brzmi: „Czy ludzką inteligencję da się zrealizować sztucznie za pomocą pewnego rodzaju systemów informatycznych?”. Udziela nań odpowiedzi twierdzącej, wskazując na maszyny interaktywne oparte m.in. na sztucznych sieciach neuronowych i algorytmach ewolucyjnych. Uzasadnieniem takiego wyboru są badania biosemiotyków – wynika z nich, że będący podstawą inteligencji indywidualny świat znaczeń może ukształtować się tylko w interakcji z otoczeniem.

Kończąc słowo wstępne, chciałbym serdecznie podziękować Autorom za ich wkład do monografii, a także za ciekawą i inspirującą wymianę myśli podczas jej powstawania. Równie serdeczne podziękowania należą się Recenzentom pracy, profesorom Witoldowi Marciszewskiemu i Robertowi Poczo-butowi, którzy przyczynili się istotnie do jej udoskonalenia.

Czytelnikom zaś życzę owocnej lektury!

Paweł Stacewicz

Rozdział 1

Światopogląd informatyczny. Naukowe podstawy i filozoficzne perspektywy

Paweł Stacewicz

Politechnika Warszawska, Wydział Administracji i Nauk Społecznych

Streszczenie. W niniejszym tekście omawiam syntetycznie kulturowe tło, informatyczne zaplecze oraz filozoficzny potencjał światopoglądu informatycznego. Światopogląd ten traktuję jako ogniwo pośrednie między świadomością wagi współczesnych dokonań informatyki (jej teorii i zastosowań) oraz opartą na pojęciu informacji filozofią przyszłości (tzw. informatyzmem). W ramach wątku filozoficznego pracy koncentruję się na inspirowanych informatycznie pytaniach o umysł (jego zawartość informacyjną i strategię modelowania) oraz złożoność świata (która wiąże się wprost ze złożonością podejmowanych przez umysł problemów).

Słowa kluczowe: algorytm, kod, obliczalność, przetwarzanie informacji, modelowanie informatyczne, światopogląd informatyczny, informatyka ogólna.

Wprowadzenie. W tekście otwierającym monografię chciałbym omówić syntetycznie centralne dla jej tematyki pojęcie *światopoglądu informatycznego*. Pojęcie to odpowiada pewnej ogólnej wizji świata, w ramach której podstawowe kategorie informatyczne – takie jak algorytm, dane czy automat – traktuje się jako wartościowy punkt wyjścia do opisu zjawisk nietechnicznych. Ponieważ wizję tę nazywam światopoglądem, wyjaśnię na początek, w jaki sposób rozumiem samo pojęcie światopoglądu (jeszcze bez przydawki „informatyczny”)¹.

¹ Od ponad dwóch lat różne wątki światopoglądu informatycznego są dyskutowane i rozwijane w akademickim blogu internetowym *Cafe Aleph* (<http://marciszewski.eu>); po raz pierwszy natomiast zostały nakreślone we współtworzonej przeze mnie książce pt. *Umysł-Komputer-Swiat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia* (jej współautorem jest Witold Marciszewski). Podkreślić trzeba, że zarówno wspomniane źródła, jak i niniejsze kompendium, zawierają pewną wizję *autorską* (ściślej: dwu-autorską), która jednak – m.in. ze względu na dyskusje w blogu i niniejszą monografię – zyskuje coraz szerszy zasięg (ów coraz szerszy zasięg obejmuje również pewne uwagi krytyczne).

Otóż, po pierwsze, sytuując to pojęcie w płaszczyźnie psychologicznej, trzeba stwierdzić, że jest światopogląd zjawiskiem prywatnym, zespołem indywidualnych przekonań konkretnego człowieka co do spraw tak podstawowych (i ogólnych zarazem) jak: struktura i poznawalność świata, natura umysłu, system wartości podstawowych itp. Mówiąc obrazowo: jest to coś w rodzaju *małej filozofii* konkretnego człowieka; filozofii, która ma istotny wpływ na życiowe wybory i decyzje tegoż.

Z drugiej strony, przechodząc od konkretnych ludzi do tworzonych przez nich społeczności, trzeba powiedzieć, że jest światopogląd zjawiskiem *społecznym*: pewnym typem poglądów (na tematy zarysowane wyżej), które dostatecznie dobrze utrwaliły się w określonej społeczności i w określonym czasie (epoce). Tak pojęty światopogląd może stanowić punkt wyjścia do opracowania systematycznej filozofii – w miarę spójnej, wyrażonej za pomocą terminów technicznych, powiązanej przeważnie z jakimś nurtem historycznym (np. arystotelizmem czy kantyzmem).

Jak widać z powyższych określeń, chcę traktować światopogląd jako coś bliskiego *filozofii*: z jednej strony, jako małą prywatną filozofię konkretnego człowieka, z drugiej zaś – jako ugruntowany społecznie wstęp do filozofii uprawianej systematycznie. Niniejszy tekst, poprzez nagromadzenie w nim różnych pytań z pogranicza filozofii i nauk szczegółowych, jest bliższy intencji drugiej.

Na koniec wprowadzenia wypada wyjaśnić przyjętą dalej konwencję prezentacji. Kierując się zasadą maksymalnej zwięzłości tekstu, podzieliłem go na krótkie „encyklopedyczne” punkty – punkty główne (od 1 do 13) składają się na trzon wywodu (przy pierwszym czytaniu można skoncentrować się tylko na nich); punkty podrzędne stanowią zbiór krótkich rozwinięć i uwag do tegoż trzonu. Wyjaśnię jeszcze, że nawet w ramach tak „ekonomicznej” konwencji nie mogłem pozwolić sobie na uwzględnienie wszystkich wątków światopoglądu informatycznego. Ich szerszy przegląd znajdzie czytelnik w książce *Umysł – Komputer – Świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, a także we współredagowanym przeze mnie blogu akademickim *Cafe Aleph* (zob. przypis nr 1). Obecny artykuł ma na celu wydobyć z ww. źródeł najważniejszych informacji, a także wskazanie tych elementów światopoglądu informatycznego, które współgrają z innymi fragmentami niniejszej monografii².

² Ze względu na wskazane źródła do obecnego tekstu nie załączam zbyt obszernej bibliografii. Jej poszerzoną wersję znajdzie Czytelnik w książce *Umysł-Komputer-Świat* oraz w blogu (są w nim dostępne również całe teksty). W odpowiednich miejscach niniejszego tekstu podaję również odnośniki do szczegółowej zawartości ww. źródeł.

1. Światopogląd informatyczny (w skrócie: ŚPIN) rozumiem jako pewien typ poglądów przedfilozoficznych³, które są ugruntowane naukowo, a wychodzą od silnego przekonania, że kluczową rolę w opisie świata i relacji człowiek-świat odgrywa pojęcie *informacji* (oraz jemu pokrewne). Poglądy takie mogły się ukształtować dopiero w *erze informatycznej*, przenikniętej na wskroś informacją (jako realnym dobrem) oraz technikami jej przetwarzania (głównie komputerowymi).

1.1. Zgodnie z *technologicznym* kryterium podziału faz rozwojowych ludzkiej cywilizacji (daną fazę wyznacza tzw. technologia definiująca; zob. np. [Bolter, 1990]), erę informatyczną poprzedzały: a) era rolnicza – zdominowana przez technologie manualne; służące głównie uprawie ziemi, oraz b) era przemysłowa – zdominowana przez techniki i urządzenia do przetwarzania energii, głównie silniki. W obydwu wymienionych okresach pewne proste techniki przetwarzania informacji były znane, np. pod postacią liczydeł czy arytmometrów, nie one jednak dominowały (a tak się dzieje w erze informatycznej).

1.2. Za symboliczny początek ery informatycznej można uznać rok 1936, w którym Alan Turing sformułował słynną koncepcję *maszyny uniwersalnej* – stanowiącą teoretyczny fundament pod przyszłe techniki algorytmiczne i komputerowe [Turing, 1936]. W tymże roku ukazało się kilka innych prac podejmujących tę samą tematykę – autorstwa E. Posta i A. Churcha, a wcześniej K. Gödla [1931].

1.3. Wynalazkiem praktycznym (w przeciwieństwie do stricte teoretycznej konstrukcji Turinga), który pozwolił nowej erze zaistnieć, a dziś warunkuje jej rozwój, jest *komputer cyfrowy*. Współczesnym dopełnieniem tegoż wynalazku, czyniącym z pojedynczych komputerów układy zdolne współdziałać w skali globalnej, jest *Internet*.

1.4. Niezależnie od pewnych konstrukcji inżynierskich i stojących za nimi idei matematycznych do zaistnienia ery informatycznej przyczyniły się fundamentalne odkrycia w *biologii*, dotyczące zawartości informacyjnej organizmów żywych (genów, kodu DNA, mechanizmów dziedziczenia, ewolucyjnego schematu rozwoju)⁴.

³ Jakkolwiek z psychologicznego punktu widzenia można mówić o światopoglądach konkretnych osób, to dalej skupię się raczej na abstrakcyjnym pojęciu ŚPIN. Pojęcie to jest konstruktem teoretycznym (typ poglądów), swoistą *idealizacją*, która z jednej strony odwołuje się do indywidualnych poglądów i światopoglądów (zjawisk psychologicznych), a z drugiej strony, wyznacza dla nich abstrakcyjny i ogólny punkt odniesienia.

⁴ W ramach niniejszej monografii o wzajemnych związkach informatyki i biologii pisze szeroko Radosław Siedliński w tekście pt. *Życie-informacja-ewolucja. Wokół metabiologii Gregory Chaitina* (opisuje te związki na marginesie krytyki różnych koncepcji G. Chaitina).

2. Psychologiczną (a szerzej: społeczną) podstawą ŚPIN jest świadomość właściwa erze informatycznej, czyli *świadomość informatyczna*. Ma ona dwie podstawowe *odmiany*, które u konkretnych ludzi nie muszą występować łącznie:

- (i) *świadomość technologiczną* – związaną z użytkowaniem różnych urządzeń do przetwarzania danych, głównie komputerów (jest to wąski wymiar świadomości inf.);
- (ii) *świadomość (pre)filozoficzną* – zbudowaną na przekonaniu, że pojęcia informacji i systemu informatycznego wykraczają daleko poza ludzkie wytwory (artefakty); a dotyczą także organizmów, ludzkiego umysłu i struktur społecznych (jest to szeroki wymiar świadomości inf.).

Każda z wymienionych odmian świadomości informatycznej ma trzy składniki:

- (a) *poznawczy* – mniej lub bardziej rozległa wiedza teoretyczna o metodach pozyskiwania, przechowywania, przetwarzania, przekazywania informacji oraz jej zastosowaniach;
- (b) *aksjologiczny* – przekonanie o tym, że posiadanie informacji, wiedza o jej istocie, a także pewne umiejętności informatyczne, są dobrami/wartościami, o które należy zabiegać;
- (c) *praktyczny* – związany z efektywnym wykorzystywaniem wiedzy o informacji i systemach do jej przetwarzania⁵.

2.1. Choć świadomość informatyczna mogła zaistnieć w pełni dopiero w drugiej połowie XX wieku (zdominowanej przez elektroniczne technologie przetwarzania danych), to pewne jej pierwociny – które możemy nazwać *informatyczną preświadomością* – przenikają całe dzieje ludzkiej cywilizacji. Jej wyraz i owoc zarazem stanowią przełomowe wynalazki, będące kamieniami milowymi cywilizacyjnego postępu: mowa, systemy liczbowe, pismo, liczydło, biblioteka, druk (wszystkie one służą utrwalaniu i przekazywaniu pewnych form informacji).

2.2. Najpłytsza postać świadomości informatycznej wyraża się w znajomości pewnych „obiegowych” faktów dotyczących informacji i technik jej przetwarzania.

Dla przykładu: a) informacja jest czymś, co opisuje i reprezentuje (np. w pamięci komputera) obiekty istniejące w świecie; b) najprostszym sposobem zapisu informacji, stosowanym np. wewnątrz komputerów cyfro-

⁵ Szersze omówienie ww. pojęć można znaleźć w książce [Marciszewski, Stacewicz, 2011, s. 211–226].

wych, jest zapis zero-jedynkowy; c) wewnątrz każdej komórki organizmu tkwi pewien kod (kod DNA), który warunkuje rozwój tegoż organizmu.

2.3. Najgłębsza postać świadomości informatycznej wymaga rzetelnej znajomości logiczno-matematycznych podstaw współczesnych technik przetwarzania danych, a także ich ograniczeń (np. istnienia problemów nierozwiązywalnych za pomocą technik cyfrowych)⁶.

2.4. Dojrzała postać świadomości informatycznej łączy się z doniosłą dla ludzkiej kultury ideą *racjonalności*, która stanowi siłę napędową zachodniej cywilizacji, a przejawia się w systematycznym dążeniu do wiedzy, jej utrwalaniu i stosowaniu do coraz to nowych problemów.

Owemu związkowi „cywilizacyjnemu” odpowiada ważna relacja pojęciowa między pojęciami informacji i wiedzy: wiedza byłaby informacją dostatecznie dobrze uzasadnioną, czyli elementem koniecznym dążenia do wiedzy byłoby pozyskiwanie informacji⁷.

3. Psychologiczna *granica* między świadomością [informatyczną] a indywidualnym światopoglądem [informatycznym] nie jest ostra: światopogląd ma charakter bardziej *całościowy*, dotyczy wszelkich (lub dostatecznie wielu) aspektów rzeczywistości, a wymaga posiadania (przez daną jednostkę) świadomości zarówno technologicznej, jak i filozoficznej, obejmującej nadto wszystkie trzy składniki (poznawczy, aksjologiczny i praktyczny).

4. Nie ulega wątpliwości, że światopogląd informatyczny – rozumiany i konkretnie (jako zespół poglądów konkretnego człowieka), i abstrakcyjnie (typ poglądów) – wyrasta z *refleksji naukowej* (związanej głównie z matematyką, logiką, informatyką, fizyką i biologią), a ciąży ku *filozofii* (czyli ujęciu bardziej systematycznemu i specjalistycznemu, osadzonemu nadto w historii tej dyscypliny)⁸.

4.1. W samej nazwie „światopogląd informatyczny” wyraża się fakt rozpięcia ŚPIN między *filozofią* (bardzo bliską problematyce światopoglądowej) i *naukami szczegółowymi* (przede wszystkim informatyką; wskazywaną przez drugi człon nazwy).

⁶ Wyrazem namysłu nad tymi ograniczeniami jest obecna w niniejszej monografii praca J. Mycki i A. Olszewskiego pt. *Czy teza Churcha ma jeszcze jakieś znaczenie dla informatyki?*

⁷ Tematowi temu jest poświęcona jedna z dyskusji w blogu *Cafe Aleph*: wpis *Informacyjna piramida*, <http://marciszewski.eu/?p=7913>, ostatni dostęp: 9.03.2015.

⁸ W niniejszej monografii pogląd ten rozwija Paweł Polak. Czyni to w kontekście rozwoju metod samej informatyki, co wyraża dobrze tytuł jego pracy: *Od informatyki empirycznej ku informatyce ogólnej – ewolucja świadomości metodologicznej*.

4.2. Najstarszą bodaj ideą naukową (ściślej: matematyczną), która legła u podstaw ŚPIN jest idea *kodowania liczbowego* (sformułowana w postaci zaczątkowej przez starożytnych Pitagorejczyków). To ona otworzyła drogę przyszłej ekspansji komputerów – czyli maszyn operujących na kodach liczbowych, reprezentujących bardzo różnorodne obiekty.

4.3. Między ŚPIN a naukami szczegółowymi występuje swoiste *sprzężenie zwrotne*. Z jednej strony, to wyniki pewnych nauk wpłynęły na uformowanie się ŚPIN, a z drugiej strony, to ŚPIN warunkuje informatyczny styl myślenia w niektórych naukach (np. biologii czy psychologii), jak też wpływa na powstawanie nowych dyscyplin (np. kognitywistyki)⁹.

4.4. Typowo filozoficznym rysem ŚPIN jest fakt, że konstytuują go nie tylko pewne kluczowe pojęcia (zob. pkt 5) i ogólne tezy, lecz przede wszystkim pewne *otwarte pytania* (np. *Czym jest informacja?* – pytanie fundamentalne; *Czy wszelkie formy poznania dają się zrealizować sztucznie za pomocą cyfrowych technik przetwarzania danych?* – pytanie powiązane z badaniami nad sztuczną inteligencją).

5. Najważniejszą nauką, do której odwołuje się ŚPIN, jest wspólnie *informatyka* (rozumiana i technicznie, i teoretycznie) z jej trzema naczelnymi pojęciami: *informacją (danymi)*, *algorytmem* i *automatem*.

Istotą ŚPIN w jego warstwie *poznawczej* jest tendencja do opisywania/objaśniania jak największej liczby zjawisk (technicznych, biologicznych, dotyczących umysłu, społecznych) w kategoriach trzech wymienionych pojęć (a także im pokrewnych lub na nich nabudowanych).

6. Najważniejsze pojęcia *informatyczne*, które leżą u podstaw ŚPIN, są powiązane ze sobą siatką następujących znaczeń:

a. *System informatyczny* jest pewnym *automatem*, który przetwarza dane w sposób *algorytmiczny* (czyli zaprogramowany).

b. *Dane* są to *informacje zakodowane* w sposób adekwatny do możliwości przetwarzającego je *automatu* (np. cyfrowo lub analogowo).

Krócej: dane są *tworzywem* systemów informatycznych.

c. Informatyczne *kody* mają *moc sprawczą*, co rozumie się tak, że odpowiednie sekwencje symboli kodowych powodują (ze względu na konstrukcję automatu) odpowiednie akcje automatu.

Krócej: informatyczny kod jest *kodeksterującym*.

⁹ W niniejszej monografii kwestię wspomnianego sprzężenia zwrotnego obrazują dobrze teksty: A. Włodarczyka (w odniesieniu do lingwistyki), R. Siedlińskiego (w odniesieniu do biologii) oraz J. Szatan (w odniesieniu do kosmologii).

d. *Algorytm* jest to schemat operacji możliwych do wykonania przez pewną *maszynę* informatyczną: d1) uniwersalną maszynę Turinga UMT (algorytm rozumiany wąsko, choć najbardziej precyzyjnie); d2) jakąkolwiek maszynę (algorytm rozumiany szerzej, *de facto* w sposób otwarty).

e. Algorytmy – służące do rozwiązywania określonych klas problemów – mają różną *złożoność* (czasową i pamięciową), która jest miarą ich *efektywności*. Cechę złożoności przypisuje się również samym problemom: złożoność problemu P jest to złożoność najbardziej efektywnego (czyli najmniej złożonego) spośród wszystkich algorytmów rozwiązujących problem P.

f. Nawet w dziedzinie problemów jasno określonych (a tylko te są domeną informatyki) istnieją problemy *nieobliczalne*, czyli *algorytmicznie nierozwiązywalne*:

f1) *nierozwiązywalne zasadniczo* – gdy nie istnieje (w sensie obiektywnym) algorytm rozwiązujący wszystkie szczególne przypadki danego problemu; lub

f2) *nierozwiązywalne praktycznie* – gdy dla danego problemu nie istnieje algorytm o dostatecznie niskiej złożoności czasowej¹⁰.

g. Zależnie od przyjętego *modelu obliczeń/algorytmizacji* (np. turingowskiego lub innego) mówi się o różnych rodzajach *obliczalności* (i nieobliczalności). Problemy rozwiązywalne za pomocą UMT nazywa się *t-obliczalnymi*, zaś rozwiązywalne za pomocą innego rodzaju maszyn *nt-obliczalnymi* lub *hiperobliczalnymi*¹¹.

h. *Moc obliczeniowa* maszyny określonego typu (np. cyfrowej; typ maszyny zależy od przypisanego jej modelu obliczeń) jest to zakres rozwiązywalnych przez nią *problemów*.

7. Typowa dla ŚPI *szeroka* interpretacja ww. pojęć technicznych (zob. 6a do 6h), prowadzi do różnorodnych *tez i pytań*, które dotyczą umysłu i świata. Stają się one sensowne (i zrozumiałe) pod warunkiem, że założymy wstępnie, iż: (a) umysł stanowi pewien system do przetwarzania informacji, (b) pewne

¹⁰ Problemy algorytmicznie nierozwiązywalne lub nieobliczalne nazywa się także *algorytmicznie niedostępnymi*. Nazwa ta wydaje się trafna, bo choć w sensie obiektywnym pewne problemy mogą mieć rozwiązania (jak problem stopu maszyny Turinga), to okazuje się, że za pomocą żadnego (lub: żadnego dostatecznie efektywnego) algorytmu nie możemy uzyskać dostępu do wiedzy o tym rozwiązaniu.

¹¹ W niniejszej monografii tematyce hiperobliczalności jest poświęcony rozdział J. Mycki i A. Olszewskiego.

fragmenty świata (lub nawet cały świat) mają określoną *zawartość informacyjną* (kod sterujący) – warunkującą ich strukturę i działanie¹².

7.1. Szeroka interpretacja ww. pojęć technicznych stanowi jednocześnie redukcję pojęć ogólniejszych do technicznych. Mówiąc obrazowo: uogólnianie i redukcja spotykają się jakby w pół drogi.

7.2. Założenie (a) jest typowe dla takich dyscyplin jak psychologia poznawcza czy kognitywistyka (gdzie umysł definiuje się jako system do przetwarzania informacji); zaś założenie (b) odnosi się z pewnością do organizmów żywych, które mieszczą w sobie warunkujący ich rozwój kod DNA.

7.3. Założenie (b) wydaje się szersze niż (a), ponieważ umysł stanowi fragment świata; ze względu jednak na szczególne właściwości umysłu (będącego nie tylko fragmentem świata, lecz przede wszystkim podmiotów poznających świat) założenia (a) i (b) należy rozróżnić.

7.4. Odległym pierwowzorem, kluczowego dla ŚPIN, założenia (b) wydaje się arystotelesowa teoria *hylemorfizmu* (każda substancja stanowi złożenie materii i formy) oraz wchodząca w jej skład koncepcja formy (zwłaszcza formy jako aktu, swoistego algorytmu; por. też budowę wyrazu „informacja”: „in-forma-cja”)¹³.

8. Zgodnie z kolejnością założeń wymienionych w punkcie 7 w centrum ŚPIN sytuuje się *zagadka ludzkiego umysłu*, który z jednej strony przypomina sztuczne systemy do przetwarzania danych (komputery), a z drugiej strony, ma nad nimi poznawczą (szerzej: życiową) przewagę.

8.1. O tym, że umysł ludzki przypomina komputer, świadczą analizy wielu czynności poznawczych (jak wnioskowanie, dowodzenie, uczenie się), które wskazują, że czynności te mają charakter algorytmiczny – to znaczy polegają na systematycznym i efektywnym przetwarzaniu odpowiednio dobranych symboli (por. np. [Lindsay, Norman, 1984]). Świadczą o tym także udane komputerowe realizacje takich czynności; są one przedmiotem specjalnego działu informatyki, zwanego sztuczną inteligencją (o nim dalej).

8.2. O niewątpliwiej przewadze umysłu nad komputerem świadczy fakt, że współcześnie to człowiek jest pomysłodawcą, konstruktorem i programi-

¹² W tej sprawie zob. [Marciszewski, Stacewicz, 2011; s. 228–230].

¹³ Różnym interpretacjom pojęcia informacji była poświęcona jedna z dyskusji w blogu *Cafe Aleph*: wpis *O informatycznym i ogólnym pojęciu informacji*, <http://marciszewski.eu/?p=4651>, ostatni dostęp: 9.03.2015.

stą systemów informatycznych (a nie odwrotnie). Krótko: systemy informatyczne są wytworem i narzędziem ludzkiego umysłu. Czy tak będzie zawsze i czy istnieją jakieś zasadnicze przeszkody na drodze ku wytworzeniu maszyn/systemów autonomicznych? – oto jedno z pytań stawianych w ramach ŚPIN¹⁴.

8.3. Zagadkowość umysłu potęguje fakt, że jak dotychczas na polu żadnej z nauk nie udało się przekonująco wyjaśnić takich własności/funkcji umysłu, jak: świadomość, inwencja czy poznawcza intuicja. A wydaje się, że funkcje te decydują o poznawczej skuteczności człowieka¹⁵.

9. Z ogólnonaukowego punktu widzenia najlepszy wgląd w zagadkę umysłu daje konstrukcja i analiza (naukowych) *modeli umysłu*.

Z węższego, tj. informatycznego, punktu widzenia (który jest istotą ŚPIN) za najbardziej adekwatną strategię modelowania umysłu uznaje się strategię *informatyczną* – zgodnie z nią umysł modeluje się jako taki czy inny system do przetwarzania danych.

9.1. Modelowany informatycznie umysł trzeba rozumieć jako złożony system poznawczy, który obejmuje mózg jako swój podsystem (umysł i mózg nie są systemami rozłącznymi; mózg można określić jako biologiczną podstawę umysłu).

9.2. Informatyczna strategia modelowania umysłu ma różne warianty, wyznaczone przez różne typy systemów informatycznych modelujących umysł. Są wśród nich układy regułowe (logicystyczne), sieciowe (konekcyjne) i ewolucyjne.

9.3. Informatyczne modele umysłu są modelami cząstkowymi – to znaczy dotyczą konkretnych (nierzadko izolowanych) czynności poznawczych, jak percepcja, wnioskowanie czy uczenie się¹⁶.

10. Rozumiejąc i/lub modelując umysł informatycznie, zakłada się w sposób konieczny, że wypełniające umysł informacje są w określony sposób *kodowa-*

¹⁴ W niniejszej monografii temat ten podejmuje, w szczególnym kontekście tzw. systemów ucieleśnionych, Anna Sarosiek (rozdział pt. *Biosemiotyczne inspiracje sztucznej inteligencji*). W książce [Marciszewski, Stacewicz, 2011] są temu zagadnieniu poświęcone rozdziały 3, 6 i 13; zaś w blogu Cafe Aleph jest dostępna m.in. ciekawa dyskusja pt. *O sztucznej inteligencji z Turingiem w tle* (<http://marciszewski.eu/?p=1901>, ostatni dostęp: 9.03.2015).

¹⁵ Por. np. [Bobyryk, 1996] (mimo daty publikacji tematyka ta jest wciąż aktualna).

¹⁶ Pogłębione studium tematyki ujętej w punktach 9.1–9.3 zawarłem w książce [Stacewicz, 2010].

ne. Przyjmuje się zatem istnienie *wewnątrz-umysłowego kodu* (WUK) – który podobnie jak kody dla maszyn informatycznych jest kodem sterującym, a ponadto może zostać (co najmniej w pewnym przybliżeniu) odzwierciedlony w liczbach¹⁷.

10.1. Podobnie jak w przypadku maszyn informatycznych kod WUK musi występować w dwóch przynajmniej postaciach: (a) statycznej – chodzi o kod przetwarzanych danych, jak np. dane zmysłowe czy pamięciowe; (b) dynamicznej – chodzi o kod schematów (algorytmów) odpowiedzialnych za przetwarzanie danych (jest to kod sterujący).

10.2. Przyjmując, że kod indywidualnego umysłu daje się odzwierciedlić w liczbach, a nawet zapisać (przy pewnej metodzie kodowania) jako jedna gigantyczna super-liczba, natykamy się na różne pytania o naturę owej liczby.

Na pierwszy plan wybijają się dwa: (a) *Czy jest to liczba wymierna, czy niewymierna?*, oraz (b) *Czy jest to liczba obliczalna, czy nieobliczalna?* Pytanie (b) ma sens pod warunkiem, że dopuścimy niewymierne kody WUK.

10.3. Odnosząc powyższe pytania do zjawisk wewnątrz-umysłowych (opisywanych przez takie czy inne liczby), dochodzimy do wniosku, że dotyczą one arcyważnego zagadnienia dyskretności/ciągłości dziedziny mentalnej.

Wyraża się ono następującym pytaniem: *Czy zjawiska wewnątrz-umysłowe są dyskretne* (gdyby takie były, dałyby się opisać za pomocą liczb obliczalnych, tworzących zbiór przeliczalny, a więc dyskretny), *czy też są to zjawiska ciągłe* (gdyby takie były, do ich opisu byłyby niezbędne również liczby nieobliczalne, tworzące zbiór nieprzeliczalny, a więc ciągły)¹⁸.

11. Metodologiczna zaleta informatycznych modeli umysłu polega na tym, że opisują one dobrze bardzo ważną, jeśli nie najważniejszą, funkcję umysłu, jaką jest *rozwiązywanie problemów* (systemy informatyczne służą właśnie rozwiązywaniu odpowiednio kodowanych problemów).

Dzięki konstrukcjom i modelom informatycznym udało się uzyskać precyzyjną wiedzę o różnych poziomach (klasach) *złożoności i obliczalności problemów*, przed którymi staje ludzki umysł (nierzadko wspomagany komputerem).

¹⁷ Por. [Marciszewski, Stacewicz, 2011; s. 115–134].

¹⁸ Ciekawa dyskusja na powyższy temat – zainicjowana przez Freemana Dysona, a prowadzona w kontekście organizmów żywych – jest dostępna w Internecie, pod nagłówkiem *Is life analog or digital?* <http://edge.org/conversation/is-life-analog-or-digital> (ostatni dostęp: 16.03.2015).

11.1. Rozwiązywanie problemów uznaje się powszechnie za domenę ludzkiej inteligencji (wg. jednej z definicji „inteligencja to tyle co zdolność do rozwiązywania problemów”). Z tego powodu najlepszym źródłem modeli umysłu są stricte informatyczne badania nad sztuczną inteligencją (podzielone na szereg działów i szczegółowych badawczych pól).

11.2. Istnienie problemów nieobliczalnych (zob. pkt 6f), a więc istnienie formalnych ograniczeń technik informatycznych, może skłaniać do przyjęcia tezy o *ponadmaszynowej mocy ludzkiego umysłu* – który potrafi ograniczenia takie pokonywać, a przynajmniej identyfikować.

11.3. Piszac o pokonywaniu wskazanych ograniczeń, mamy na myśli dwie kwestie: (a) rozwiązywanie problemów nieobliczalnych praktycznie (tych o zbyt dużej złożoności czasowej/pamięciowej) w sposób przybliżony, lecz ze względów praktycznych wystarczający; (b) obmyślanie nowych modeli obliczeń (algorytmów), na gruncie których problemy nieobliczalne stają się obliczalne (chodzi np. o model obliczeń analogowych)¹⁹.

12. Z perspektywy rozważań o *złożoności problemów* stają się widoczne dwa, sprzężone ze sobą, zjawiska kulturowe: (a) złożoność problemów we współczesnym świecie ustawicznie rośnie; jednocześnie jednak (b) nieustannie wzrasta moc obliczeniowa systemów informatycznych (które wspomagają ludzi w rozwiązywaniu tychże problemów).

12.1. W związku z powyższym sprzężeniem wyłania się doniosłe światopoglądowo pytanie o „nadażanie” wzrostu mocy obliczeniowej systemów informatycznych za wzrostem złożoności problemów. Prócz ogólnych odpowiedzi typu TAK (drugi proces podąża za pierwszym), lub NIE (pierwszy proces jest „szybciej” rozbieżny do nieskończoności), są możliwe różne bardziej subtelne warianty. Wśród nich i taki (pesymistyczny), że jeśli umysł jest poznawczo/algorytmicznie równoważny komputerom cyfrowym, to pewne problemy pozostaną dla niego na zawsze nierozwiązywalne.

12.2. Poglądowi wyrażonemu w ostatnim zdaniu (wyżej) można przeciwstawić *optymistyczną* wersję światopoglądu informatycznego, zgodnie

¹⁹ Z kwestią (b) wiąże się jednak znamienity fakt, osłabiający tezę o ponadmaszynowej mocy ludzkiego umysłu. Otóż zidentyfikowane dotychczas ograniczenia informatyki nie muszą dotyczyć wszelkich technik informatycznych (modeli obliczeń), lecz tych tylko, które wynaleziono i opisano (w tym cyfrowych). Nie można wykluczyć zatem, że maszyny przyszłości – działające na innych zasadach niż współczesne – będą co najmniej tak sprawne poznawczo jak ludzki umysł.

z którą umysł ludzki buduje wiedzę nie tylko algorytmicznie, lecz również *intuicyjnie* – gdy metoda algorytmiczna (związana np. z określonym typem algorytmów) napotyka trudność, uaktywnia się poznawcza intuicja, która generuje nowe pojęcia bądź nowe typy algorytmów (zwiększając poznawczą moc umysłu)²⁰.

12.3. Zauważyć trzeba, że za wspomnianą wyżej rosnącą złożoność problemów we współczesnym świecie odpowiada także sama informatyka (czy też jej narzędzia). Za jej sprawą zaistniało np. nowe (po części internetowe) zjawisko nadmiaru informacji czy nawet chaosu informacyjnego. Ze zjawiskiem tym wiąże się doniosły problem odpowiedniej selekcji informacji, a także ich efektywnej weryfikacji.

13. Opisane wyżej filozoficzne wątki światopoglądu informatycznego skłaniają do przypuszczenia, że z czasem wyłoni się z niego systematyczna, oparta na uogólnionych pojęciach informatycznych filozofia, którą możemy nazwać roboczo *informatyzmem*.

Zjawiskiem sprzyjającym jej zaistnieniu byłoby powstanie *informatyki ogólnej* (w odróżnieniu od dominującej dziś informatyki technicznej, czyli *computer science*) – która na odpowiednio wysokim poziomie ogólności opisywałaby różne systemy do przetwarzania informacji: i komputerowe, i naturalne (biologiczne), i społeczne²¹.

13.1 Typowe przykłady systemów, które mogłyby wchodzić w zakres informatyki ogólnej to: mózg, umysł, organizm żywy, bank, uczelnia wyższa. Z pewnego punktu widzenia każdy z nich odbiera, przetwarza i wytwarza zakodowane w określony sposób informacje (np. w przypadku mózgu są to pewne układy pobudzeń neuronalnych, a w przypadku umysłu m.in. obrazy i teksty)²².

13.2. Informatyka ogólna (tj. nauka o naturalnych i sztucznych systemach przetwarzających informacje) byłaby właściwą naukową podstawą informatyzmu; podobnie jak dziś naukową podstawą światopoglądu informa-

²⁰ Wspomniany wyżej światopogląd ma głębokie korzenie w myśli filozoficznej Kurta Gödla, którą współcześnie opisuje i rozwija Witold Marciszewski. Por. [Marciszewski, 2006] i [Marciszewski, 2013].

²¹ W tej sprawie zob. [Marciszewski, Stacewicz, 2011; s. 201–205].

²² Wyłania się tu ciekawe zagadnienie podobieństwa informatyki ogólnej do historycznego już projektu *cybernetyki*. Być może wolno mówić o nowym „wcieleniu” cybernetyki, która wydała z siebie informatykę, a teraz, na innym jakościowo poziomie, z nowym zasobem pojęć i narzędzi (informatycznych właśnie), może powrócić na naukowo-kulturową scenę.

tycznego są różne rozproszone nauki o informacji, z informatyką (techniczną) w roli głównej.

13.3. Istotą filozoficznego informatyzmu byłoby założenie o tym, że każdy byt mieści w sobie pewną informacyjno-algorytmiczną zawartość (tak czy inaczej kodowaną), która na równi z substratem materialnym przesądza o jego specyfice. Wstępnym zadaniem informatyzmu byłby (definitywny) opis tej zawartości z uwzględnieniem różnych wymiarów pojęcia informacji, w tym: a) fizykalnego (informacja jako uporządkowana struktura), b) komunikacyjnego (informacja jako treść pewnego przekazu), c) epistemologicznego (informacja jako czynnik wiedzytwórczy), oraz d) technicznego (informacja jako przetwarzane komputerowo dane).

ŹRÓDŁA (wymienione bezpośrednio w tekście²³)

1. *Cafe Aleph* (<http://blog.marciszewski.eu/>), akademicki blog dyskusyjny W. Marciszewskiego i P. Stacewicz, obejmujący wiele tekstów, wpisów i dyskusji dotyczących światopoglądu informatycznego.
2. Bobryk J., *Akty świadomości i procesy poznawcze*, Wydawnictwo Leopoldinum, Warszawa 1996.
3. Bolter J.D., *Człowiek Turinga. Kultura Zachodu w wieku komputera*, PIW, Warszawa 1990.
4. Gödel, K., *Über formal unentscheidbare Sätze der „Principia Mathematica” und verwandter Systeme*, I. Monatshefte für Mathematik und Physik, vol. 38, 173–198, 1931.
5. Gödel, K., *Über die Länge von Beweisen*, *Ergeb. Math. Kolloquiums*, vol. 7, 23–24, 1936.
6. Lindsay P.H., Norman D.A., *Procesy przetwarzania informacji u człowieka*, PWN, Warszawa 1984.
7. Marciszewski W., *Racjonalistyczny optymizm poznawczy w Gödrowskiej wizji dynamiki wiedzy*, [w:] „Nauka i język (seria druga). Księga pamiątkowa Marianowi Przełęckiemu w darze na dziewięćdziesięciolecie urodzin”, red. Brożek A., Jadacki J., Norbertinum, Lublin 2013.
8. Marciszewski W., *The Gödelian Speed-up and Other Strategies to Address Decidability and Tractability*, *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, vol. 9(22), 2006.
9. Marciszewski W., Stacewicz P., *Umysł – Komputer – Świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Wydawnictwo EXIT, Warszawa 2011.
10. Stacewicz P., *Umysł a modele maszyn uczących się. Współczesne badania informatyczne w oczach filozofii*, Wydawnictwo EXIT, Warszawa 2010.
11. Turing A.M., *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*, „*Proc. Lond. Math. Soc.*” 1936, (2) 42, s. 230–265.

²³ Zgodnie ze wstępnymi wyjaśnieniami nie podaję tu pełnej bibliografii, która znajduje się w blogu *Cafe Aleph* oraz książce *Umysł-Komputer-Świat* (zob. przypis nr 2).

Informational worldview. Scientific foundations and philosophical perspectives

A b s t r a c t

This text deals synthetically with the cultural and computer science background and the philosophical potential of informational worldview. I treat this worldview as a link between the awareness of the importance of contemporary achievements of computer science (its theory and applications) and the philosophy of future based on the concept of information (the so-called informatism). Within the philosophical thread of the text I focus on the questions - inspired by computer science - concerning the mind (its information content and modelling strategies) and the complexity of the world (which is directly related to the complexity of issues taken up by the mind).

Rozdział 2

Od informatyki empirycznej ku informatyce ogólnej – ewolucja świadomości metodologicznej

Paweł Polak

Wydział Filozoficzny UPJPII w Krakowie
Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych

Streszczenie. Niniejsze opracowanie przedstawia filozoficzne i metodologiczne rozważania wokół empirycznego statusu informatyki. Rozpoczęły się one od pionierskiej pracy H.A. Simona i A. Newella *Computer Science As Empirical Inquiry* (1975). Późniejsze rozważania (S.S. Shapiro, P. Wegner, A.H. Eden, P.J. Denning) tworzyły stopniowo nowy obraz informatyki jako ogólnej nauki związanej z pojęciem obliczeń (przetwarzania informacji). W niniejszej pracy przedstawiono drogi wiodące ku uogólnionej koncepcji informatyki. Opisano tu również pokrótce pewne interesujące współczesne ujęcia informatyki ogólnej (G. Dodig-Crnkovic, W. Marciszewski i P. Stacewicz).

Słowa kluczowe: informatyka ogólna, informatyka empiryczna, obliczenia naturalne, metodologia informatyki, paradygmaty informatyki, filozofia informatyki, historia informatyki

Wstęp

Pytając o miejsce informatyki w dzisiejszym świecie naturalne wydaje się zadanie pytania o to, czy dziedzina ta może być kandydatką do roli wiedzy fundamentalnej – wiedzy kierującej podstawowymi intuicjami i założeniami filozoficznymi. Innymi słowy – czy informatyka może w jakimś stopniu spełniać rolę światopoglądową społeczeństwa XXI wieku? Jeśli tak miało by się stać, z pewnością musi dojść do głębokich przeobrażeń w naszym rozumieniu tego, czym jest informatyka. Choć dla niektórych taka rola wspomnianej

dziedziny może wydawać się cokolwiek egzotyczna, to warto zauważyć, że pierwsze kroki w tym kierunku poczynili już metodolodowie. Interesujące światło na taką rolę informatyki rzuca pewien nurt refleksji metodologicznej, rozwijany co prawda od kilkudziesięciu lat, ale dopiero w ostatnim czasie zyskujący szersze uznanie. Warto więc nieco bliżej przyrzeć się rozważaniom, które związane są z analizą empirycznych aspektów informatyki.

Patrząc na miejsce informatyki we współczesnej cywilizacji wydawać by się mogło, że dziedzina ta należy do grona dyscyplin w pełni ukształtowanych, zatem powinna posiadać dobrze wykrystalizowaną metodologię. Okazuje się jednak, że mimo kilkudziesięciu lat gwałtownego rozwoju, wciąż nie ustaje dyskusja nad podstawami metodologicznymi tej dziedziny. Uważam, że refleksja metodologiczna stwarza dogodną perspektywę dla zrozumienia współczesnych przemian na gruncie informatyki i ich roli dla współczesności.

Informatyka będzie traktowana tutaj – zgodnie z praktyką naukową – jako dziedzina niejednorodna metodologicznie i epistemologicznie¹. Warto przypomnieć że, do języka polskiego termin ten wprowadził już w październiku 1968 r. Romuald Marczyński podczas ogólnopolskiej konferencji poświęconej „maszynom matematycznym” w Zakopanem. Miała to być nauka obejmująca nie tylko wiedzę o zagadnieniu obliczalności i algorytmach, ale również dotycząca wiedzy o maszynach cyfrowych i sposobach ich konstruowania (co niewątpliwie akcentowało nie tylko aspekty inżynierskie,

¹ W niniejszej pracy nie będę definiował pojęcia „informatyka” – staram się raczej ukazać, w jaki sposób zakres znaczeniowy tego pojęcia zmienia się w ostatnich czasach pod wpływem pewnych dążeń empirystycznych. Warto podkreślić, że współcześnie nie ma widoków na konsensus odnośnie definicji informatyki.

O problemach z różnymi tradycjami uprawiania informatyki i o kłopotach definicyjnych można przeczytać więcej w pracy: M. Tedre, *Computing As a Science: A Survey of Competing Viewpoints*, „Minds and Machines”, t. 21, nr 3, 2011, s. 361–387. Zestawienie różnych prób zdefiniowania tej dyscypliny znaleźć można w pracy: W. Rapaport, *Philosophy of Computer Science: An Introductory Course*, „Teaching Philosophy”, t. 28, nr 4, 2005, s. 323–324. Nieco skromniejsze zestawienie różnych ujęć wraz z krótkim omówieniem definicji można znaleźć również w pracy: G. Dodig-Crnkovic, *Scientific Methods in Computer Science*, [w:] <http://www.mrtc.mdh.se/publications/0446.pdf> (ostatni dostęp: 21.10.2014).

W interesujący sposób źródła problemów z ujęciem metody informatyki oświetlają również uwagi M. Tedrego na temat roli anarchizmu metodologicznego w początkowym etapie rozwoju informatyki – uważa on, że dzięki temu podejściu udało się połączyć bardzo odległe od siebie epistemologicznie i metodologicznie dziedziny, co umożliwiło powstanie fundamentalnych koncepcji, jak na przykład paradygmat konstrukcji maszyn z zapisanym programem. Informatyka jest w tym ujęciu skutkiem owocnej anarchii metodologicznej, co do dziś owocuje zwyczajowym pomijaniem rozważań metodologicznych w tej dyscyplinie. Więcej na ten temat: M. Tedre, *The Development of Computer Science: A Sociocultural Perspective*, Joensuu 2006. (Rozprawa dostępna jest w sieci pod adresem: <ftp://www.cs.uku.fi/pub/Dissertations/tedre.pdf>).

ale i swoiste aspekty empiryczne). Dziedzina ta silnie związana była zarówno z tradycją badań matematyczno-logicznych jak i tradycją inżynierią. Podstawą klasycznego rozumienia informatyki stały się trzy fundamentalne koncepcje: koncepcja uniwersalnej maszyny Turinga, koncepcja algorytmu oraz paradygmat projektowania maszyn z zapisanym programem². Wraz z rozwojem badań okazało się, że takie standardowe ujęcie wymaga rozszerzeń i zmian.

Wątki empiryczne, które interesować nas będą w tym opracowaniu, dotyczyć będą metody stosowanej w szeroko rozumianej informatyce. Warto zaznaczyć tutaj, że często spotykane ujęcie informatyki, które sprowadza ją do algorytmiki (np. popularne ujęcie D. Harela³), próbuje zredukować tę dziedzinę jedynie do roli części matematyki i metodologicznie usytuować ją po części w matematyce czystej, po części – w stosowanej. Taka redukcja, przytoczona tu jako wyraz pewnej skrajności w myśleniu o informatyce, nie oddaje w pełni specyfiki informatyki⁴. Teza o istnieniu empirycznych aspektów informatyki, choć nie jest zupełnie nowa, pozwoli lepiej ukazać wagę innowacyjnych koncepcji pojawiających się na jej gruncie. Są one szczególnie interesujące, ponieważ wielu badaczy sygnalizuje, że informatyka zbliża się metodologicznie do nauk przyrodniczych, a jej filozofia – do szeroko rozumianej filozofii przyrody.

W niniejszym opracowaniu przeglądowym prześledzimy najważniejsze stanowiska z dziejów refleksji nad empiryczną informatyką (pomijamy więc dzieje pozostałych obszarów informatyki). Rozpocniemy od ukazania tego, w jaki sposób program badawczy mający na celu stworzenie sztucznej inteligencji wpłynął na rozumienie informatyki jako dyscypliny empirycznej. Następnie ukażemy rozwój debaty wokół empirycznego charakteru informatyki przypadający głównie na ostatnie dwie dekady. Skupimy się na zagadnieniach metodologicznych, pomijając z konieczności niektóre bardzo ważne wątki

² Por M. Tedre, *Computing As a Science...*, op. cit. Na temat paradygmatu maszyn z zapisanym programem (*stored-program paradigm*) zob. M. Tedre, *The Development of Computer Science: A Sociocultural Perspective...*, op. cit., s. 439–440. Uwzględnienie tego paradygmatu podkreśla znaczenie aspektów inżynierskich w informatyce.

³ Zob. D. Harel, *Rzecz o istocie informatyki: Algorytmika*, Warszawa 1992.

⁴ Interesujące zestawienie różnych koncepcji informatyki można znaleźć w antologii: R. Murawski (tłum.), *Filozofia informatyki: antologia*, Poznań 2014. Szczególnie mocno kwestia różnic między matematyką a informatyką została zaakcentowana w pracy: D.E. Knuth, *Informatyka i jej związek z matematyką* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 16–18.

praktyczne związane z empiryzmem w informatyce⁵. Na zakończenie zastanowimy się nad znaczeniem ukazanych przemian dla uogólnienia koncepcji informatyki.

2.1. Prekursorzy sztucznej inteligencji o empiryzmie informatyki (H.A. Simon & A. Newell)

Doszukując się źródeł poglądów o empirycznym charakterze pewnych aspektów informatyki konieczne będzie odwołanie się do programu badań nad sztuczną inteligencją (SI, ang. AI – *Artificial Intelligence*). Ten wielowątkowy nurt badawczy wywodzi się z dwudziestowiecznej cybernetyki, a współcześnie używana nazwa została ukuta dopiero w 1956 r. Od lat sześćdziesiątych badania rozwijają się głównie na gruncie informatyki, często zatem traktuje się je jako część informatyki. Samo pojęcie sztucznej inteligencji jest niejednoznaczne i nieostre, ponieważ bazuje na różnorodnie rozumianych pojęciach inteligencji lub inteligentnych zachowań, które mają opisywać systemy zrealizowane w sposób sztuczny. Mimo tych trudności pojęciowych wypracowano szereg technik i systemów, które realizują pewne zachowania uznawane za inteligentne. Za Mariuszem Flasińskim można wymienić główne obszary tego typu zachowań: percepcja, rozpoznawanie obrazów, reprezentacja wiedzy, uczenie się, rozwiązywanie problemów, wnioskowanie, podejmowanie decyzji, planowanie, przetwarzanie języka naturalnego, manipulacja i lokomocja, inteligencja społeczna, emocjonalna oraz kreatywność⁶.

⁵ Z pewnością z punktu widzenia praktyki najważniejszym obecnie zagadnieniem o charakterze empirycznym w informatyce jest testowanie niezawodności i sprawności działania programów. Programy traktuje się jako obiekty przyrodnicze, które bada się klasycznymi metodami przyrodoznawstwa. Zagadnienia te weszły już na stałe do metodologii informatyki i są przedmiotem kursów akademickich. Zob. np. Noah Smith, David Smith, *Empirical Research Methods in Computer Science*, [w:] <http://www.cs.jhu.edu/~nasmith/erm/> (ostatni dostęp: 22.10.2014). W niniejszej pracy interesować nas będzie jednak ogólniejsza dyskusja nad statusem informatyki.

⁶ Dokładniejsze omówienie tych dziedzin zastosowania SI można znaleźć w 16 rozdziale książki: M. Flasiński, *Wstęp do sztucznej inteligencji*, Warszawa 2011.

Skrajne stanowisko w kwestii empirycznego charakteru informatyki przedstawili w połowie lat siedemdziesiątych XX w. dwaj wybitni przedstawiciele programu sztucznej inteligencji Allen Newell i Herbert A. Simon⁷. Badacze ci stworzyli pierwsze programy wykazujące pewne cechy ludzkiej inteligencji: *Logic Theorist* (1956) i *General Problem Solver* (1957). Warto przypomnieć, że programy te wywarły znaczący wpływ na rozwój SI – pierwszy z nich przeprowadził automatyczny dowód 38 spośród 52 twierdzeń zawartych w *Principia Mathematica* Russella i Whiteheada (dowód jednego z twierdzeń był uważany za bardziej elegancki od oryginalnego), co znacząco wzmocniło wiarę naukowców w możliwość sukcesu programu sztucznej inteligencji. Simon i Newell uznani zostali nie tylko za prekursorów praktycznych rozwiązań, ale również ugruntowali pogląd, że inteligencja (jako zdolność do rozwiązywania problemów) może zostać urzeczywistniona przy pomocy manipulacji symbolami, a zatem przy pomocy odpowiednich algorytmów i obliczeń. W takim ujęciu symbolicznym realizacja inteligencji miała być zupełnie niezależna od podłoża – systemu obliczeniowego. W uznaniu zasług Simona i Newella dla rozwoju SI w 1975 r. zostali oni uhonorowani prestiżową nagrodą Turinga (ACM Turing Award). Wygłosili wówczas wykład, który na trwałe zapisał się w historii wspomnianej dziedziny – powszechnie wiadomo, że sformułowali oni wówczas program symbolicznej SI. Dla nas interesujący jest szczególnie kontekst wspomnianej pracy – autorzy potraktowali bowiem informatykę jako dyscyplinę empiryczną, co widać już w samym tytule pracy⁸.

Charakterystyczne i interesujące jest samo ujęcie przedmiotu badań otwierające wspomnianą pracę: „informatyka jest badaniem zjawisk otaczających komputery”⁹. Autorzy proponują spojrzenie na komputery jako na obiekty świata empirycznego oddziałujące z innymi obiektami empirycznymi. Przejawy działania komputerów można badać empirycznie, tak jak interakcje komputerów z innymi przedmiotami realnego (empirycznego) świata. Według

⁷ Podejście to powstało w latach 70. i było podzielane przez grupę, do której zaliczyć można co najmniej dwóch innych badaczy: Alan Perlis, George Forsythe. Por. P.J. Denning, *Beyond Computational Thinking*, „Communications of the ACM”, t. 52, nr 6, 2009, s. 29.

⁸ A. Newell, H.A. Simon, *Computer Science As Empirical Inquiry: Symbols and Search*, „Communications of the ACM”, t. 19, nr 3, 1976, s. 113–126. Fragmenty pracy dostępne są również w polskim tłumaczeniu: A. Newell, H.A. Simon, *Informatyka jako nauka empiryczna* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 12–13.

⁹ „Computer science is the study of the phenomena surrounding computers”. A. Newell, H.A. Simon, *Computer Science As Empirical Inquiry...*, *op. cit.*, s. 113.

powszechnej interpretacji program badawczy sztucznej inteligencji, a wraz z nim informatyka, miały być więc po prostu odmianą nauk empirycznych. Komputer w tym ujęciu nie jest tylko zestawem hardware i software – zaprogramowany komputer traktowali jako żywy organizm¹⁰. Warto podkreślić, że opisywanie komputera jako żyjącego organizmu nie jest tylko wyrazem mianery językowej. Informatyka w tym ujęciu miałaby zbliżać się metodologicznie do biologii i innych nauk przyrodniczych. W oczywisty sposób wiąże się to z podzielaną przez Simona i Newella koncepcją silnej sztucznej inteligencji (strong AI).

2.1.1. Specyfika obserwacji i eksperymentu w informatyce

Metodologia informatyki według Simona i Newella bazuje na pojęciach obserwacji i eksperymentu, ale są one specyficznie rozumiane, podobnie jak to ma miejsce w naukach takich jak astronomia, ekonomia i geologia, które bazują na szeroko rozumianym empiryzmie (różnią się natomiast od wąskiej koncepcji empiryzmu związanej z metodą fizyki).

„W rzeczywistości skonstruowanie maszyny stawia pytanie dla natury, i nasłuchujemy odpowiedzi obserwując działającą maszynę i analizując ją za pomocą wszystkich dostępnych środków analitycznych i pomiarowych. Każdy nowy program, który został utworzony jest eksperymentem. Stawia on pytanie naturze i jego zachowanie daje wskazówki dla udzielenia odpowiedzi”¹¹.

Specyfika eksperymentu w informatyce polega na tym, że ten sam obiekt (komputer, program) możemy z reguły badać jednocześnie metodami empirycznymi, jak i analitycznymi. Pojedynczy eksperyment daje więc o wiele więcej informacji niż eksperyment w innych naukach. Innymi słowy, autorzy zauważają, że analiza obiektów informatycznych jedynie za pomocą środków formalnych (matematycznych) nie pozwala na udzielenie rozstrzygającej odpowiedzi, czy program w rzeczywistości działa tak, jak powinien. Można jednak już w tym miejscu sformułować zarzut, że w wielu przypadkach formalne

¹⁰ „The machine – not just the hardware, but the programmed, living machine – is the organism we study”. *Ibid.*

¹¹ „Actually constructing the machine poses a question to nature; and we listen for the answer by observing the machine in operation and analyzing it by all analytical and measurement means available. Each new program that is built is an experiment. It poses a question to nature, and its behavior offers clues to an answer”. *Ibid.*, s. 114.

metody badania programu są wystarczające i stanowią nawet przedmiot nauczania informatyki akademickiej. Innymi słowy można więc żywić pewne wątpliwości co do zasadności prezentowanego podejścia.

Omawiane stanowisko staje się bardziej zrozumiałe, kiedy spojrzymy na bardzo złożone programy, a w szczególności na te, które zaliczamy do sztucznej inteligencji – dopiero tutaj formalne środki analizy nie potrafią udzielić rozstrzygającej odpowiedzi na pytanie, czy działający program spełnia wymogi zachowań inteligentnych – nie dysponujemy bowiem odpowiednio adekwatnym formalnym ujęciem tego, czym jest inteligencja. Zresztą sam cel działania programu wydaje się nieuchwytny w pełni dla metod formalnych, za to z powodzeniem empirycznie rozwiązujemy kwestię orzekania o inteligencji innych ludzi (choć nie znaczy to, że panuje np. jednomyślność w orzekaniu o inteligencji lub jej braku). Za prekursora takiego rozumienia konieczności występowania empiryzmu można z powodzeniem uważać A. Turinga, którego słynny test opierał się właśnie na operacyjnej procedurze, posiadającej ściśle empiryczny charakter.

Według Simona i Newella inteligentny system możemy zbudować jedynie poprzez stosowanie specyficznej odmiany metody prób i błędów – konieczne jest tworzenie empirycznych teorii odnośnie własności koniecznych do realizacji inteligentnego systemu, a następnie testowanie ich poprzez budowę i sprawdzanie działania konkretnego systemu. Autorzy kontynuują więc sposób myślenia Turinga o zagadnieniu sztucznej inteligencji, wyprowadzają jednak daleko idące konsekwencje z tego stanowiska.

Podstawową kwestią pozostaje to, w jaki sposób rozumieć hipotezę lub teorię empiryczną na gruncie informatyki. Simon i Newell uznali, że w informatyce mamy do czynienia z teoriami jakościowymi (piszą oni o „prawach o strukturze jakościowej”). Autorzy podali kilka przykładów pozwalających zrozumieć to, czym według nich jest teoria jakościowa. Przykładem takiej teorii jest koncepcja komórki w biologii – stała się ona podstawą nowoczesnej biologii, bazuje na obserwacjach organizmów, ale komórki opisywane są w sposób jakościowy, co wystarcza dla formułowania różnych predykcji biologicznych. Drugim przykładem jest teoria płyt tektonicznych w geologii – teorię tę można weryfikować za pomocą odpowiednich obserwacji, pozwala na wyciąganie interesujących wniosków odnośnie budowy skorupy ziemskiej, choć pozostaje ona jedynie na poziomie jakościowego opisu zjawisk. Podobnie interpretowana była koncepcja patogenu w medycynie (Pasteur) oraz atomizmu w chemii (Dalton). Wspomniani autorzy zaznaczali, że teorie i prawa

o charakterze jakościowym odgrywały dużą rolę w rozwoju nauki, a wiele przełomowych odkryć miało tego typu charakter.

2.1.2. Hipotezy w informatyce w kontekście SI

Można się domyślać, że teorie jakościowe w informatyce miałyby spełnić podobną rolę jak wspomniane wcześniej przykłady teorii (praw) jakościowych. Według autorów teorie takie obecne są w całej informatyce, mimo że wspominali jedynie o tych związanych z zagadnieniem sztucznej inteligencji. Na tym polu sami wskazali dwie interesujące hipotezy empiryczne: hipotezę fizycznego systemu symbolicznego oraz hipotezę dotyczącą poszukiwań heurystycznych. Przyjrzyjmy się bliżej pierwszej z nich, gdyż wywarła duży wpływ na program SI.

Hipoteza fizycznego systemu symbolicznego Simona i Newella znana jest przede wszystkim jako pierwsze sformułowanie programu badawczego SI. Sformułowana została następująco:

„Fizyczny system symboliczny posiada konieczne i wystarczające środki do realizacji ogólnych inteligentnych zachowań”.¹²

Nas interesuje tutaj jedynie empiryczny charakter tej hipotezy. Łatwo wskazać, że autorzy zdefiniowali klasę systemów (fizyczny system symboliczny)¹³ oraz postawili pytanie, czy zachowanie takich systemów jest odpowiednie dla naśladowania pewnych procesów rzeczywistych. Założyli oni, że hipoteza może być albo prawdziwa, albo fałszywa, ale o tym powinny rozstrzygnąć argumenty empiryczne a nie filozoficzne¹⁴. Hipoteza taka uzasadnia wysiłki poszukiwania coraz bardziej wyrafinowanych systemów przetwarzania informacji, a autorzy próbowali pokazać, że historia informatyki jest ciągiem kolejnych prób potwierdzenia hipotezy w praktyce. Hipoteza spełniałaby więc ważną rolę heurystyczną, określałaby cele do zrealizowania, a przez to wyznaczałaby kierunki rozwoju informatyki.

¹² „A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action”. *Ibid.*, s. 116.

¹³ W ujęciu M. Flasińskiego fizyczny system symboliczny można scharakteryzować następująco: „składa się ze zbioru elementów zwanych symbolami, z których konstruuje on struktury symboliczne, zwane wyrażeniami, oraz zbioru procesów (modyfikacji, reprodukcji, destrukcji) operujących na tych wyrażeniach”. M. Flasiński, *Wstęp do sztucznej inteligencji...*, *op. cit.*, s. 6.

¹⁴ Zauważmy, że większość badaczy z dziedziny SI uważa, iż druzgocący cios koncepcji fizycznego systemu symbolicznego zadał znany argument chińskiego pokoju J. Searle’a.

Poddajmy teraz sformułowanie tezy niewielkiej zmianie w następujący sposób:

„**Istnieje** fizyczny system symboliczny, **który** posiada konieczne i wystarczające środki do realizacji ogólnych inteligentnych zachowań”.¹⁵

Wówczas teoretycznie jedna obserwacja powinna rozstrzygająco potwierdzić tą zmodyfikowaną tezę. Warto zauważyć, że stanowisko to jest metodologicznie naiwne (dla obu wersji tez), ponieważ nie bierze pod uwagę tego, że nie da się uzyskać ani rozstrzygającego potwierdzenia ani rozstrzygającego obalenia tej tezy – zawsze bowiem można reinterpretować wyniki obserwacji¹⁶.

Systemy sztucznej inteligencji miałyby więc być pytaniami stawianymi rzeczywistości, z tym że sama odpowiedź nie była najważniejsza. O wiele ważniejsze jest to, że hipotezy empiryczne są „ważnym źródłem idei, które wpływają na konstrukcję programów”¹⁷. Hipotezy te są ważnym składnikiem rzeczywiście uprawianej informatyki, mimo że nie są ideałem epistemologicznym:

„Bliższe są atmosferze geologii lub biologii ewolucyjnej niż fizyki teoretycznej. Są jednak wystarczająco silne, aby umożliwić nam dziś projektowanie i budowę umiarkowanie inteligentnych systemów dla znacznego zakresu zadań, w których ludzka inteligencja przejawia w wielu sytuacjach”.¹⁸

Podjęcie Simona i Newella – jeśli interpretować je jako proste sprowadzenie całej informatyki do dyscypliny empirycznej jest z pewnością nadmiernym uproszczeniem, gdyż istnieje część badań bliska metodzie ma-

¹⁵ „A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action”. A. Newell, H.A. Simon, *Computer Science As Empirical Inquiry...*, *op. cit.*, s. 116.

¹⁶ Sytuacja z drugą wersją tezy ma się tutaj analogicznie jak w naiwnym falsyfikacjonizmie, z tą tylko różnicą, że tutaj pojedynczy przypadek pozwala uznać prawdziwość tezy a w falsyfikacjonizmie pozwala uznać błędność hipotezy. Naiwność tego stanowiska wynika natomiast choćby z tego, że nie brane są pod uwagę różne możliwości reinterpretacji wyników obserwacji, tak aby nie dopuścić do potwierdzenia tezy. Innymi słowy przeciwnik hipotezy fizycznego systemu symbolicznego mógłby zawsze tak reinterpretować obserwację, aby wykazać, że hipoteza nie została spełniona.

¹⁷ A. Newell, H.A. Simon, *Computer Science As Empirical Inquiry...*, *op. cit.*, s. 119.

¹⁸ „They have more flavor of geology or evolutionary biology than the flavor of theoretical physics. They are sufficiently strong to enable us today to design and build moderately intelligent systems for a considerable range of task domains of how human intelligence works in many situations”. *Ibid.*, s. 126.

tematyki, jak choćby wspomniana algorytmika¹⁹. Jeżeli jednak uznać, że informatyka w swej praktyce badań oparta jest na pewnych fundamentalnych empirycznych teoriach jakościowych²⁰, to wydaje się, iż stanowisko to jest interesującym wstępem do dalszych rozważań nad specyfiką metodologiczną tej dziedziny.

2.2. Informatyka jako nauka przyrodnicza w ujęciu Stuarta S. Shapiro

Dalej idące ujęcie metody informatyki przedstawił S.S. Shapiro w swym tekście *Informatyka: badanie procedur*²¹. W tej koncepcji centralną rolę odgrywają procedury, które autor zdefiniował za słownikiem Webstera jako „szczęgólny, konkretny sposób postępowania w celu osiągnięcia czegoś”²². Takie pojęcie zawiera w sobie zarówno pojęcie algorytmu, jak i pozwala opisać typowe dla informatyki obiekty (np. systemy operacyjne), które nie spełniają ścisłej definicji algorytmu (nie spełniają np. wymogu skończonego działania). Shapiro stawia tezę, że informatyka zajmująca się procedurami jest nauką przyrodniczą ze względu na swój obiekt. Uzasadnia to następująco:

„Procedury nie są obiektami naturalnymi, twierdzą jednak, że są one zjawiskami naturalnymi, które mogą być i rzeczywiście są obiektywnie mierzalne”²³.

Kluczowe jest zatem rozróżnienie obiektu i zjawiska. Co prawda obiekt jest artefaktem, celowo skonstruowanym przez człowieka, ale można domyślać się, że jego działanie bazuje na procesach naturalnych, może być więc badane jak każde inne zjawiska naturalne.

¹⁹ Warto zaznaczyć, że i w tej kwestii zdania są podzielone. Tezę odnośnie istotnych różnic pomiędzy informatyką a matematyką postawił np. Donald E. Knuth. (*idem* D.E. Knuth, *Informatyka i jej związek z matematyką...*, *op. cit.*).

²⁰ Niestety autorzy nie wskazali takich teorii, a zaproponowane przez nich tezy empiryczne są tylko przykładami tego, w jaki sposób należy rozumieć empiryczną metodę informatyki. Do dziś trudno wskazać tego rodzaju teorie, co wskazuje na istotne problemy prezentowanego stanowiska. Z tego względu późniejsze próby nawiązań poszły w nieco innych kierunkach.

²¹ S.S. Shapiro, *Informatyka: badanie procedur* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 21–25. Tekst oryginalny: S.S. Shapiro, *Computer Science: The Study of Procedures*, [w:] <http://www.cse.buffalo.edu/~shapiro/Papers/whatis.cs.pdf> (ostatni dostęp: 21.10.2014).

²² S.S. Shapiro, *Informatyka: badanie procedur...*, *op. cit.*, s. 22.

²³ *Ibid.*

Takie postawienie sprawy z jednej strony zawęży perspektywę badawczą (badamy tylko zjawiska) i to jest głównym zarzutem, który można by skierować pod adresem Shapira. Autor wypowiada się jednak niezbyt jasno odnośnie zakresu empiryzacji, co może być interpretowane jako wyraz ostrożności. Warto jednak zauważyć, że z drugiej strony stanowisko to przedstawia istotne zalety – bierze pod uwagę to, że gdyby nie istniały naturalne procesy warunkujące obliczenia, niemożliwe by było tworzenie systemów informatycznych. Takie podejście wskazuje, że systemy informatyczne wchodzą w typowe relacje przyczynowe z innymi obiektami naturalnymi, zatem te aspekty mogą być badane za pomocą metodologii nauk przyrodniczych.

Ujęcie Shapira wskazuje, że granice pomiędzy informatyką a sferą naturalną będącą domeną badań empirycznych nie jest tak ostra, jak by się mogło na pierwszy rzut oka wydawać. Wprowadzenie w obręb informatyki procesów obliczeniowych o charakterze naturalnym otworzyło nową perspektywę, pozwalającą rozciągnąć zakres informatyki na świat przyrodniczy. Wraz z propozycjami Simona i Newella mamy tu do czynienia z interesującymi próbami szerszego spojrzenia na metodę informatyki. Te głosy, wyłamujące się z głównego nurtu myślenia o informatyce, uitorowały drogę dla późniejszej dyskusji o fundamentalnej roli tej dziedziny.

2.3. Paradygmaty informatyki w ujęciu Petera Wegnera i Amnona H. Edena

Wątki związane z empirycznym charakterem informatyki pojawiły się również w kontekście wyróżnienia i analizy paradygmatów tej dziedziny. Podejście takie pozwoliło dostrzec nowe kierunki uogólnień informatyki. Przyjrzymy się tu dwom znacznieszym próbom tego typu analiz.

2.3.1. Cztery paradygmaty (kultury) informatyki Petera Wegnera

W podobnym czasie co Simon i Newell swą propozycję ujęcia metody informatyki przedstawił Peter Wegner. W roku 1976 analizując różne definicje informatyki wyróżnił on cztery paradygmaty uprawiania tej dyscypliny

i wpisał je w jej historyczny rozwój²⁴. Paradygmat empiryczny – inspirowany stanowiskiem Simona i Newella – był według Wegnera pierwszym historycznie paradygmatem informatyki i dominował w latach 50. XX wieku. Okres ten nazwał „zbieraniem danych” – już użycie takiego określenia sugeruje związki z koncepcją indukcyjnego zbierania danych, mającej na celu utworzenie podstaw dla budowy przyszłej teorii²⁵. Interpretacja taka wydaje się poprawna, ponieważ w ujęciu Wegnera badania empiryczne miały jedynie charakter wstępny, przygotowawczy:

„Jest naturalne, że dyscypliny ewoluują od wstępnej fazy empirycznej przez fazę matematyczną do «praktycznej» zorientowanej na zastosowania inżynierskie”.²⁶

Mamy tu zatem uproszczony zarys rozwoju problematyki naukowej: od zbierania danych²⁷, poprzez abstrakcję do skonstruowania matematycznej teorii, a ostatecznie punktem dojścia jest praktyczne zastosowanie tejże teorii.

²⁴ P. Wegner, *Research Paradigms in Computer Science* [w:] *Proceedings of the 2Nd International Conference on Software Engineering*, Los Alamitos, CA, USA, 1976, s. 322–330. Wegner wyróżnił paradygmat naukowy (empiryczny), matematyczny, technologiczny oraz postulował istnienie czwartego związanego z opanowaniem złożoności powstającej w systemach informatycznych. Ten ostatni paradygmat związany jest z zaproponowaną przez Wegnera definicją informatyki jako dziedziny zarządzania złożonością (*management of complexity*). Kwestię filozoficznych podstaw zróżnicowania sposobów uprawiania informatyki podjął przeszło dwie dekady później również James H. Fetzer. (zob. J.H. Fetzer, *Program Verification: The Very Idea*, „Communications of the ACM”, t. 31, nr 9, 1988, s. 1048–1063. Przedruk w: T.R. Colburn, J.H. Fetzer, Terry L Rankin (red.), *Program verification: fundamental issues in computer science*, Dordrecht; Boston 1993, s. 321–358).

²⁵ Interpretację tę wspiera również motto podkreślające indukcyjną interpretację metody empirycznej. Zaczepnięte zostało z opracowania P. Bridgmana zawartego w *Encyclopedia of Science and Technology*: „The empirical method is generally characterized by the collection of large amounts of data before much speculation as to their significance or without much idea of what to expect, and is to be contrasted with more theoretical methods in which the collection of empirical data is guided to a large extent by preliminary theoretical exploration.”

²⁶ „It is natural for disciplines to evolve from an initial empirical phase through a mathematical phase to a „practical” engineering-oriented phase.” P. Wegner, *Research Paradigms in Computer Science...*, *op. cit.*, s. 323.

²⁷ Zbieranie danych autor rozumie w specyficzny sposób – wspomina o zbieraniu doświadczeń podczas konstruowania pierwszych języków programowania i podczas tworzenia podstawowych technik implementacji. Co ciekawe autor używa w tym kontekście pojęcia odkrycie (*discovery*) – informatycy odkrywali zarówno języki programowania jak i pewne sposoby programowania na drodze swoistych eksperymentów z systemami komputerowymi. Języki programowania traktowane były jedynie jako narzędzia, a nie obiekty rozważań teoretycznych (por. *ibid.*, s. 333).

Wegner widział jednakże miejsce dla empiryzmu nie tylko w fazie wstępnej. W dalszych etapach rozwoju informatyki metody empiryczne miałyby być adekwatne dla zadań związanych z oceną działania i wydajności programów²⁸. Poza tym miałyby to być odpowiednie podejście do badania systemów o dużej złożoności, których analiza struktury jest zbyt skomplikowana. W takich przypadkach według Wegnera pozostaje nam jedynie empiryczne badanie zachowań programów. Warto zaznaczyć, że z metodologicznego punktu widzenia propozycja ta nie wniosła nowych, interesujących elementów – bazuje ona raczej na uproszczonym i stereotypowym obrazie nauki. Jednakże sam pomysł zastosowania pojęcia paradygmatu do analizy informatyki miał się po latach okazać owocny.

2.3.2. Trzy paradygmaty Amnona Edena

Pomysł dotyczący paradygmatów informatyki rozszerzył i pogłębił kilka lat temu Amnon H. Eden²⁹, ujmując jednak nieco inaczej niż Wegner kwestię liczby paradygmatów, jak i interesujące nas zagadnienie empiryzmu. Autor ten ukazał również dokładniej filozoficzne podstawy wyróżnionych paradygmatów.

Należy zaznaczyć, że zarówno Eden jak i Wegner używali kuhnowskiego pojęcia paradygmatu. Pragnęli oni zwrócić uwagę na to, że przyjmowane przez informatyków zbiory fundamentalnych przekonań, decydują m.in. o tym, iż faktycznie współistnieją różnorodne rozstrzygnięcia odnośnie zakresu informatyki i jej metodologii. Oczywiście rozwiązanie takie jest mało krytyczne, gdyż nie bierze pod uwagę nawet krytyki pojęcia paradygmatu, którą przeprowadził sam Thomas Kuhn. Niemniej pojęcie to sprawdziło się dość dobrze w roli instrumentalnej – w roli narzędzia intelektualnego, porządkującego istniejące intuicje odnośnie tego, czym może być informatyka.

W niektórych aspektach można potraktować badania Edena jako swoistą próbę rozwinięcia i doprecyzowania koncepcji pochodzących od Simona i Newella. Po pierwsze, Eden wyróżnił paradygmat racjonalistyczny³⁰, który

²⁸ Por. *Ibid.*, s. 324.

²⁹ A.H. Eden, *Three Paradigms of Computer Science*, „Minds and Machines”, t. 17, nr 2, 2007, s. 135–167. Fragmenty pracy zostały przetłumaczone na język polski: A.H. Eden, *Trzy paradygmaty informatyki* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 176–184.

³⁰ A.H. Eden, *Three Paradigms of Computer Science...*, *op. cit.*, s. 136n.

ma być podzielany powszechnie przez teoretyków informatyki, którzy traktują ją jako część matematyki. Z punktu widzenia epistemologicznego poszukiwana jest za pomocą środków dedukcyjnych aprioryczna wiedza o „prawności”. Przedmiotem badań badaczy dzielących ten paradygmat są obiekty matematyczne.

Po drugie, Eden wyróżnił paradygmat technokratyczny, przyjmowany przez inżynierów zajmujących się oprogramowaniem (*software engineers*) – programy są traktowane jako dane, a bada się je metodami empirycznymi.

Po trzecie, wyróżnił on paradygmat naukowy (*scientific*), przyjmowany przez badaczy zajmujących się SI, którzy traktują programy jako odpowiedniki procesów mentalnych (równoważne im). Badacze dzielący ten paradygmat poszukują zarówno wiedzy apriorycznej, jak i aposteriorycznej za pomocą połączenia metod dedukcyjnych jak i eksperymentalnych.

Jak widać wątki empiryczne pojawiają się wprost w dwóch ostatnich paradygmatach. Nas interesować będzie przede wszystkim paradygmat naukowy, jako ten, którego horyzonty sięgają dalej niż perspektywa skutecznych zastosowań technicznych. Podstawowym zagadnieniem jest kwestia epistemologiczna, którą A.H. Eden ujmując następująco: czy wiedza o programach ma charakter aprioryczny czy aposterioryczny; czy pochodzi z czystego rozumu czy z doświadczenia? W przypadku występowania formalnej specyfikacji programu wydaje się, że wystarczą metody analityczne, natomiast przy nieformalnej specyfikacji z pewnością metoda ta okazuje się niewystarczająca. Co więcej złożoność analizowanych problemów informatycznych sprawia, że choć w *zasadzie* można by je było poddać analizie, to w praktyce o własnościach możemy dowiedzieć się jedynie poprzez obserwację i eksperymentowanie z programami.

2.3.3. Informatyka jako nauka o naturze?

Według Edena w paradygmacie naukowym badacz musi stosować metody empiryczne ze względu na specyfikę niektórych programów: złożoność³¹, a niekiedy nawet ich chaotyczne zachowanie. Przedmiotem zainteresowania tego paradygmatu są również programy samomodyfikujące się, których aktualnych cech nie możemy przewidzieć dedukcyjnie. Cechy te upodob-

³¹ Eden mówi również o argumentie ze złożoności – analityczna analiza zachowań nie da się zrealizować w praktyce.

niąją je do niektórych obiektów naturalnych opisywanych i badanych metodami naukowymi. W związku z tym wydaje się, że pewne metody badawcze nauk przyrodniczych powinny być skuteczne w przypadku informatyki. Oczywiście pojawiają się zarzuty, czy można traktować na równi przedmioty naturalne i artefakty (jakimi są komputery i programy). Artefakty wchodzą jednak w interakcje z rzeczywistością na tej samej zasadzie, co przedmioty naturalne – pozwala to na uznanie ich za część jednej rzeczywistości i badanie tego, w jaki sposób oddziałują z innymi elementami tej rzeczywistości.

Eden zwraca uwagę, że pojęcie eksperymentu naukowego musi być wyraźnie odróżnione od testów niezawodności występujących w paradygmacie technokratycznym: choć oba pojęcia związane są z badaniami empirycznymi to pierwsze ma służyć empirycznemu testowaniu hipotez (niestety autor nie podaje przykładów), natomiast drugie sprawdzeniu, czy program odpowiada wymaganiom stawianym przez użytkowników. Pierwsze podejście cechuje się również tym, że bada zależności ogólne, a nie tylko przystosowanie programów do konkretnych wymagań odnośnie użyteczności. To właśnie występowanie *explicite* kontekstu hipotetycznego decyduje o naukowości tej metody empirycznej. Warto nadmienić, że koncepcję metody hipotetyczno-dedukcyjnej jako metody naukowej Eden zaczerpnął wprost od Karla R. Poppera.

Eden rozszerzył koncepcję Simona i Newella zauważając, że program komputerowy modelujący pewne koncepcje teoretyczne może z powodzeniem służyć do ich testowania. Zamiast typowego dla nauk przyrodniczych zabiegu tworzenia dedukcji teoretycznych i porównywania ich z doświadczeniem przebiegać ma proces następujący:

teoria → model → implementacja komputerowa modelu → empiryczne testowanie implementacji modelu³².

Eden podał kilka przykładów, w których pokazywał wykorzystanie symulacji w różnych dziedzinach nauki: teoria chaosu deterministycznego, psychologia poznawcza, biologia ewolucyjna i genetyka, kosmologia. Autor ten podjął się uzasadnienia tezy, że przedmiot badań informatyki jest niezwykle bliski przedmiotom naturalnym. Według niego obiekty in-

³² Analizę relacji między teorią a modelami informatycznymi można znaleźć również w interesującej pracy: P. Stacewicz, A. Włodarczyk, *Modeling in the Context of Computer Science – A Methodological Approach*, „Studies in Logic, Grammar and Rhetoric”, t. 20, 2010, s. 155–179.

formatyczne są bliskie rzeczywistości w takim stopniu, w jakim nastąpiło prawdopodobnienie³³ teorii, na której bazują te obiekty. W paradygmacie naukowym informatyka miałaby się stopniowo stawać jedną z nauk przyrodniczych.

Uznanie obiektów informatycznych za obiekty naturalne wydaje się karkołomnym zadaniem. Eden podaje jednak kilka przykładów, które pokazują, że ujęcie takie może nie być paradoksalne. Najbardziej przemawiający przykład dotyczy DNA, które jest strukturą informacyjną kodującą dane potrzebne do procesu budowy organizmu. Można więc uzasadniać, że struktura taka powinna dać się ująć za pomocą typowych środków informatyki:

„Wydaje się rozsądne, aby patrzeć na zapis DNA w genomie jako na wykonywalny kod, który może zostać określony za pomocą zestawu komend w proceduralnym imperatywnym języku [programowania]”.³⁴

Dla Edena zagadnienie utożsamienia przedmiotu informatyki z dziedziną naturalną odgrywa istotną rolę. Uważa on bowiem, że kryzys w informatyce spowodowany jest dominacją paradygmatu inżynierskiego, stanowisko to poparł zresztą odwołaniami do poglądów wielu znanych badaczy. Paradygmat naukowy według wspomnianego autora wyznacza kierunek, w jakim powinna rozwijać się metodologia informatyki. Dziedzina ta miałaby się stać zatem jedną z nauk empirycznych – miało by to w dalszej perspektywie zapewnić dopływ teorii dla dalszego rozwoju conceptualnego zastosowań inżynierskich. Tak więc odejście od paradygmatu technokratycznego może w dalszej perspektywie służyć również rozwojowi inżynierii oprogramowania – to główny postulat Edena ukazujący wagę rozważań nad empiryzmem dla przyszłości całej informatyki.

Postulowane przez Edena utożsamienie przedmiotu informatyki z przedmiotem nauk przyrodniczych opiera się jednak na silnym założeniu, że można adekwatnie zredukować naturalne procesy do procesów obliczeniowych. Tak silne założenie o charakterze ontologicznym domaga się uzasadnienia, tym bardziej że istnieją argumenty za tym, że nie jest ono oczywiste.

³³ Autor ma na myśli Popperowskie pojęcie *verisimilitude*.

³⁴ „It seems reasonable to view the DNA script in the genome as executable code that could have been specified by a set of commands in a procedural imperative [programming] language”. R. Brent, J. Bruck, 2020 *Computing: Can computers help to explain biology?*, „Nature”, t. 440, nr 7083, 2006, s. 416–417.

2.3.4. Empiryczna informatyka wobec innych nauk

Z naszego punktu widzenia istotne mogą być również pewne spostrzeżenia odnośnie przedstawionego powyżej schematu metodologicznego. Rozważając proces testowania empirycznego można stwierdzić, że podpadają pod niego również wszelakie komputerowe symulacje procesów rzeczywistych. Symulacja taka może być traktowana jako implementacja modelu teorii – a badanie empirycznych własności symulacji daje pośrednio informacje również o symulowanej teorii. Patrząc na powyższy schemat można zapytać, czy celowe jest wprowadzanie jeszcze jednego członu pośredniego między strukturę teoretyczną a proces testowania empirycznego. W zasadzie wydaje się to bowiem zbyt uczynne. Odpowiedź tkwi w złożoności sytuacji eksperymentalnej – często bezpośredni pomiar przekracza możliwości czasowe, techniczne lub finansowe. Symulacja pozwala zdobyć wiedzę o problemie w stosunkowo łatwy i szybki sposób. Dzięki temu można wykluczyć wiele błędnych ścieżek poszukiwań i wskazać te, które są obiecujące. Współczesna nauka, zmagająca się z coraz bardziej złożonymi problemami, korzysta więc powszechnie z tej metodologii. Sądzę, że tak rozumiana informatyka stała się najważniejszym narzędziem współczesnych nauk przyrodniczych – w tym sensie możemy mówić o *z informatyzowanych naukach przyrodniczych*. Metodologia empiryczna w informatyce spotkała się zatem w pół drogi z metodą empiryczną nauk przyrodniczych³⁵.

Mamy tu więc do czynienia z interesującą ewolucją metody nauk empirycznych – rozszerzany jest zakres praktycznie dostępny badaniom empirycznym kosztem zapośredniczenia uzyskiwanych wyników. Traktowanie programów symulacyjnych jako obiektów empirycznych stało się już normą w naukach przyrodniczych – to chyba najciekawsza płaszczyzna interakcji informatyki z innymi dziedzinami. Paradygmat naukowy prowadzi więc w konsekwencji do wtopienia się informatyki w strukturę innych nauk empirycznych, otwiera to więc niezwykle szerokie pole przed tą dziedziną. Zagadnienie empirycznych aspektów informatyki ma więc również związek z najważniejszymi problemami filozoficznymi współcze-

³⁵ Więcej na temat roli symulacji komputerowych można znaleźć w: E.B. Winsberg, *Science in the age of computer simulation*, Chicago 2010. E.B. Winsberg, *Computer Simulations in Science*, [w:] <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/simulations-science/> (ostatni dostęp: 21.10.2014).

snej nauki³⁶. Wyrażone tu poglądy nie są odosobnione na gruncie filozofii informatyki – wydaje się, że zbliżone podejście można odnaleźć u Petera J. Denninga, któremu poświęcimy kolejną część rozważań.

2.4. Peter J. Denning – empiryczna metodologia przyszłości informatyki

Interesujące nas uwagi Denninga mają również związek z debatą na temat przyszłości informatyki. Autor ten uważa, że do lat dziewięćdziesiątych XX w. naukowcy w tej dziedzinie skoncentrowani byli przede wszystkim na projektowaniu i rozwoju technologii, celem ich było skonstruowanie niezawodnych komputerów i środowisk sieciowych.

„Teraz, gdy to się udało, jesteśmy coraz bardziej zdolni do podkreślania eksperymentalnego charakteru metody i mamy nowy zapał aby odnowić nasz obraz tej dziedziny jako nauki”³⁷.

Według Denninga informatyka powinna być ważnym partnerem naukowym w badaniach interdyscyplinarnych. Badacz ten uważa bowiem, że procesy obliczeniowe są obiektywnie realizowane w przyrodzie, niezależnie czy o tym wiemy i czy obserwujemy takie procesy. Informatyka miałaby więc być studium procesów informacyjnych, również takich, które występują w przyrodzie. Komputery w takim ujęciu są tylko narzędziem a nie obiektem badań³⁸.

Denning używa pojęcia paradygmatów w informatyce w sposób bardzo luźny, niekiedy mówi wprost o trzech tradycjach, z których wywodzą się badacze (matematyczna, eksperymentalna oraz inżynierska). W przeciwień-

³⁶ Stanowisko Edena, jak zostało to pokazane, wydaje się skrajne. Warto nadmienić, że pojawiły się bardziej umiarkowane próby analizy przemian dokonujących się pod wpływem rozpowszechnienia się symulacji na gruncie nauk przyrodniczych. Jedną z takich interesujących prób jest monografia: E.B. Winsberg, *Science in the age of computer simulation...*, *op. cit.* Autor co prawda ostrożnie wypowiada się o związkach symulacji z doświadczeniem, ale przyznaje, że wprowadzenie symulacji jest istotną zmianą w metodologii, przynoszącą wiele interesujących kwestii filozoficznych. Dodaje również, że filozofowie dotychczas raczej nie dostrzegają wspomnianych przemian. Tak diagnozuje przyczynę: „philosophers of science have had a bias in favor of the proposition that the philosophically interesting action in the sciences occurs when new theories are proposed” (*Ibid.*, s. 135).

³⁷ P.J. Denning, *Beyond Computational Thinking...*, *op. cit.*, s. 29.

³⁸ Zob. *Ibid.*, s. 30.

stwie do kuhnowskiego paradygmatu granice między tradycjami są płynne i jeden badacz może równocześnie odwoływać się do różnych tradycji³⁹.

Poprawna nauka przyrodnicza musi spełniać według Denninga zestaw 6 kryteriów:

- posiada zorganizowany korpus wiedzy;
- wyniki są powtarzalne;
- posiada dobrze rozwiniętą metodę eksperymentalną;
- pozwala na uzyskiwanie predykcji (w tym nieoczekiwanych);
- posiada hipotezy podatne na falsyfikację;
- zajmuje się obiektami naturalnymi.

Według wspomnianego autora pierwsze pięć kryteriów zostało spełnione przez informatykę – może być więc uznana za faktyczną dziedzinę empiryczną. Problematiczne dla Denninga jest tylko ostatnie kryterium, jednak w ostatnich latach odkryto w różnych dziedzinach procesy naturalnego przetwarzania informacji, więc i ta obiekcja okazuje się niesłuszna. Co więcej procesy związane z przetwarzaniem informacji okazują się bardzo powszechne w przyrodzie. Zresztą granica między tym co naturalne a artefaktem zaczyna się zacierać również i w naukach przyrodniczych, np. w chemii projektuje się cząsteczki związków chemicznych, można je więc traktować równie dobrze jako artefakty. Denning podąża więc nieco odmienną drogą od Edena – próbuje uzasadnić, że informatyka bada naturalne procesy, które w obiektywny sposób realizują pewne obliczenia i przetwarzają informację. Przyjmuje więc wprost tezę o matematyczności świata – rzeczywistość realizuje według niego obiektywne procesy obliczeniowe.

Denning uznał ujęcie Simona i Newella informatyki jako „nauki o zjawiskach otaczających komputery” za nieaktualne, co według niego jest podstawą „uderzającego zwrotu” w rozumieniu informatyki. W jego ujęciu metoda eksperymentalna wyszła w informatyce poza kręgi związane z programem SI i wyznacza specyfikę całej najnowszej informatyki jako dyscypliny przyrodniczej poświęconej badaniu procesów obliczeniowych (zarówno naturalnych jak i sztucznych)⁴⁰. Zmianę tę obrazować miała też nowa nazwa *computational science* (nauka o obliczeniach) zamiast dawnej *computer science* (dosłownie: „nauka o komputerach”, w języku polskim tłumaczona jednak jako

³⁹ Zob. P.J. Denning, *Is Computer Science Science?*, „Communications of the ACM”, t. 48, nr 4, 2005, s. 29.

⁴⁰ Zob. P.J. Denning, *Computing is a Natural Science*, „Communications of the ACM”, t. 50, nr 7, 2007, s. 13–18.

informatyka⁴¹). Autor postawił również pytanie o fundamentalne zasady informatyki i wskazał zespół siedmiu takich zasad, sformułowanych na bazie znanych systemów informatycznych. Zabieg taki miał pozwolić na rozszerzenie kręgu badań na systemy naturalne⁴².

Denning odwołując się do znanej pracy W. Tichy'ego wskazuje na to, że źródłem utraty zaufania do informatyki było to, że w dziedzinie tej co druga hipoteza była podawana bez żadnego sprawdzenia (w porównaniu do średniej liczby 5% takich hipotez w innych dziedzinach), zatem nader często nie sprawdzały się⁴³. Jest to dla niego argument za koniecznością powszechnego wprowadzenia empirycznego testowania hipotez stawianych w informatyce. Co więcej Denning zwraca uwagę na to, że naukowe podejście w informatyce staje się powszechniejsze, co przekłada się na wzrost liczby testowanych hipotez. W tej wizji informatyka za niedługo stanie się dojrzałą nauką o statusie nauki empirycznej. W tym ujęciu koncepcja uogólnionej informatyki uniezależniła się od programu sztucznej inteligencji i stała się przedmiotem rozważań metodologicznych.

2.5. Ku radykalnej empiryzacji – uogólniona perspektywa obliczeń

Wspomniany przez Denninga zwrot w rozumieniu informatyki stał się od lat dziewięćdziesiątych XX wieku przedmiotem zainteresowania wielu badaczy, którzy uznali pojęcie obliczeń za centralne pojęcie tej dziedziny. Co prawda nie ma konsensusu w kwestii tego, czym są ogólnie rozumiane obliczenia, ale można z pewnością powiedzieć, że tego typu podejście polega na odwróceniu dotychczasowej perspektywy i zmianie niektórych celów informatyki.

Samson Abramsky z Oxford University Computing Laboratory podsumował następująco wspomniany proces: informatyka powstała z prób automatyzacji obliczeń, pierwotnym celem było obliczanie funkcji matematycznych, a droga ku temu wiodła przez formalizację oraz mechanizację rozumowań

⁴¹ Notabene Denning uważa, że ta popularna w Europie nazwa lepiej oddaje specyfikę omawianej nauki niż „computer science”, gdyż zwraca uwagę na pojęcie informacji. W gruncie rzeczy warto zauważyć, że niektóre z omawianych wcześniej problemów są specyficzne dla nauki w USA. Niestety ramy tej pracy nie pozwalają na rozwinięcie tego interesującego wątku.

⁴² Więcej na ten temat można znaleźć na stronie *Great Principles of Computing* <<http://cs.gmu.edu/cne/pjd/GP/GP-site/>>.

⁴³ Denning uważa, że jest to główne źródło głosów wieszczących koniec informatyki.

logicznych i matematycznych. Obecnie celem, który stawiamy przed systemem obliczeniowym jest konkretne zachowanie, a nie wynik funkcji. Zatem to wzajemne interakcje są głównymi celami, które mają realizować współczesne systemy obliczeniowe⁴⁴. Wspomniane interakcje są domeną szeroko rozumianej sfery empirycznej⁴⁵, zatem kierunek ten prowadzi do głębokiej empiryzacji informatyki. Związany jest on również ściśle z prowadzonymi w ostatnich latach badaniami układów złożonych.

Tak zmienione podejście pozwala na uogólnienie koncepcji obliczeń na procesy naturalne: fizyczne i biologiczne, a nawet społeczne⁴⁶, które mogą być taktowane jako procesy przetwarzania informacji. Oczywiście wymaga to wytworzenia nowych – w stosunku do standardowych – modeli obliczeń. Podejście takie znajduje – co interesujące – nie tylko uznanie teoretyków, ale i praktyków z dziedziny robotyki, ponieważ pozwala na rozwiązywanie trudnych problemów (*vide* paradoks Moraveca) przy pomocy koncepcji obliczeń ucieleśnionych, czyli obliczeń fizycznych wykonywanych przez części składowe robotów⁴⁷. Adaptacyjne techniki wykorzystujące interakcje fizycznej struktury robota z otoczeniem okazują się w praktyce często o wiele skuteczniejsze od klasycznych technik obliczeniowych wykorzystywanych w sterowaniu.

Pojawiają się również głosy, jak np. Gordany Dodig-Crnkovic, sugerujące, że dostrzeżenie obliczeniowej natury procesów przyrodniczych powinno wytworzyć nowego typu filozofię przyrody – filozofię opartą na

⁴⁴ Zob. S. Abramsky, *Information, Processes and Games* [w:] *Philosophy of information*, P. Adriaans, J. van Benthem (red.), Amsterdam, The Netherlands; Boston 2008, s. 483–549.

⁴⁵ Warto zauważyć, że wspomniane interakcje mogą rozgrywać się również w środowiskach symulowanych, zatem następuje interesujące rozszerzenie pojęcia empiryczności.

⁴⁶ Najczęściej w literaturze przedmiotu rozważa się procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. Procesy społeczne stosunkowo rzadko są wymieniane w tym kontekście. Warto więc przypomnieć interesujące dokonania Ludwiga von Misesa oraz Friedricha A. Hayeka dotyczące koncepcji wolnego rynku jako systemu obliczeniowego. Zob. L. von Mises, *Die Wirtschaftsrechnung im sozialistischen Gemeinwesen*, „Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik”, t. 47, nr 1, 1920, s. 86–121 (wersja angielska zob. np. L. von Mises, *Economic calculation in the socialist commonwealth*, Auburn, Alabama 2012); F.A. v. Hayek, *Socialist Calculation: The Competitive 'Solution'*, „Economica”, t. 7, nr 26, 1940, s. 125–149. W języku polskim interesującą analizę metodologiczną tego zagadnienia przedstawił W. Marciszewski w pracy: W. Marciszewski, *Wolny rynek jako system przetwarzania informacji* [w:] *Informacja a rozumienie*, M. Heller, J. Mączka (red.), Tarnów-Kraków 2005, s. 235–267.

⁴⁷ Zob. np. A. Sarosiek, *Próby aplikacji paradygmatu ucieleśnionego umysłu w tworzeniu sztucznej inteligencji*, „Semina Scientiarum”, t. 12, 2013, s. 97–107.

pojęciach informacji oraz obliczeń⁴⁸. Autorka ta pisze, że ma to być „nowa filozofia przyrody, która dostarczy podstaw dla unifikacji wiedzy z obecnie odseparowanych dziedzin nauk przyrodniczych, filozofii i informatyki (*computing*)”⁴⁹.

Opisywany zwrot dotyczący celów informatyki wymaga z pewnością rozwinięcia pogłębionych analiz metodologicznych. Warto nadmienić więc, że temat ten doczekał się już obszernych monografii⁵⁰, a niektóre jego aspekty ujęte są w kilku rozdziałach niniejszej publikacji. Trzeba też zauważyć, że refleksja metodologiczna wokół pojęcia obliczeń przyniosła już m.in. pierwsze klasyfikacje. Szczególnie interesujące wydaje się ujęcie Marka Burgina i wspomnianej już Gordany Dodig-Crnkovic zaprezentowane w ich pracy przeglądowej na temat koncepcji obliczeń⁵¹. Warto przytoczyć wspomnianą próbę klasyfikacji, aby ukazać różnorodność kontekstów, w jakich rozważane jest zagadnienie obliczeń. Ukazuje to również, jak znacząco rozszerzony został zakres objęty zainteresowaniem informatyki, rozumianej jako nauka o procesach obliczeniowych (informacyjnych).

Według wspomnianych autorów wyróżnić można triadę odpowiadającą Peirce’owskiej triadzie obiekt-znak-interpretant:

- a) obliczenia ucieleśnione (*physical* lub *embodied*),
- b) obliczenia symboliczne lub abstrakcyjne,
- c) obliczenia umysłowe (mentalne).

Autorzy zaznaczają, że obliczenia umysłowe i symboliczne bazują zawsze na obliczeniach ucieleśnionych. Te ostatnie dzielą się na obliczenia fizyczne, chemiczne i biologiczne. Obliczenia fizyczne różnicowane są również ze

⁴⁸ Zob. G. Dodig-Crnkovic, *Alan Turing’s Legacy: Info-Computational Philosophy of Nature*, „arXiv:1207.1033 [cs]”, 2012. W innej pracy autorka ta stwierdziła: „It is evident that natural computing nature presents a new natural philosophy of generality and scope that largely exceed natural philosophy of Newton’s era, presented in his *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Natural computation bring us to the verge of true paradigm shift in modeling, simulation and controlling the physical world, and it remains to see how it will change our understanding of nature [...]” G. Dodig-Crnkovic, R. Giovagnoli, *Computing Nature: A Network of Networks of Concurrent Information Processes*, „arXiv:1210.7784 [cs]”, 2012. Opublikowane również w: G. Dodig-Crnkovic, R. Giovagnoli, *Computing nature: Turing centenary perspective*, Heidelberg, New York 2013.

⁴⁹ G. Dodig-Crnkovic, *Alan Turing’s Legacy...*, *op. cit.*, s. 1.

⁵⁰ Z nowszych pozycji warto wymienić monografię zbiorową: H. Zenil (red.), *A computable universe: understanding and exploring nature as computation*, Singapore 2013.

⁵¹ M. Burgin, G. Dodig-Crnkovic, *Typologies of Computation and Computational Models*, „arXiv:1312.2447 [cs]”, 2013.

względem na skalę, której dotyczą – począwszy od poziomu kwantów, skończywszy na skalach kosmologicznych.

Takie rozszerzenie koncepcji obliczeń przywiodło Burgina i Dodig-Crnkovic do akceptacji (za autorami *Handbook of Natural Computing*) tezy, że dziedzina naturalnych obliczeń jest to „obszar badań, który zajmuje się zarówno obliczeniami zaprojektowanymi przez człowieka (*human-designed computing*) i inspirowanymi przez naturę, a także obliczeniami, które rozgrywają się w naturze”⁵². W ten sposób informatyka staje się nauką o obliczającej (matematycznej) przyrodzie. Tak więc zarówno symulacje procesów naturalnych stosowane w naukach przyrodniczych, jak i wykorzystywanie procesów naturalnych do obliczeń są dwiema stronami tego samego zagadnienia, które zmusza nas do przemyślenia kwestii matematyczności przyrody. Trzeba jednak zgodzić się ze wspomnianymi autorami, że pojęcie obliczeń jako naturalnego przetwarzania informacji domaga się wciąż lepszego zrozumienia. Obecnie budzi bowiem wiele zastrzeżeń odnośnie tego, czy poprzez rozszerzenie swego zakresu pojęcie to nie utraciło swego sensu.

Wydaje się, że blisko spokrewniona z tym nurtem jest również koncepcja informatyki ogólnej przedstawiona przez W. Marciszewskiego i P. Stacewicza⁵³. Mamy tu do czynienia z innym punktem wyjścia – podstawowym przedmiotem tej dziedziny jest ogólnie rozumiany System Przetwarzania Informacji (SPIN). Analizując tę koncepcję można zauważyć wyraźną tendencję do rozszerzania koncepcji procesów informacyjnych (i związanych z nimi procesów obliczeniowych). Tym, co różni wspomnianą propozycję od przedstawionego poniżej nurtu badań obliczeń naturalnych jest większa ogólność ujęcia. Z pewnością interesującym wkładem do dyskusji metodologicznych jest koncepcja postulująca uznanie struktur społecznych za pełnoprawne systemy przetwarzania informacji (obliczeń). Koncepcja obliczeń zyskała w ten sposób kolejne interesujące rozszerzenie, a informatyka ukazała kolejne możliwości unifikacji wiedzy o rzeczywistości. Z uwagi na charakter niniejszej publikacji, pozwalam sobie odsłać Czytelnika do innych części, dokładniej eksplikujących wspomniane stanowisko.

⁵² *Ibid.*, s. 17.

⁵³ P. Stacewicz, W. Marciszewski, *Umysł-komputer-świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT 2011. Zob. zwłaszcza rozdział rodz. 14 „Informatyka ogólna czyli teoria przetwarzania informacji”.

Zakończenie

Jak pokazuje powyższy przegląd, refleksja odnośnie empirycznego charakteru informatyki towarzyszy tej dziedzinie od ponad czterech dekad. W toczącej się dyskusji na temat metodologii informatyki można zauważyć rosnącą świadomość znaczenia empirycznych aspektów informatyki. Widać także wyrażenie, że ten nurt refleksji służy także pogłębieniu świadomości fundamentalnego charakteru informatyki.

Warto zaznaczyć, że problematyczne w ukazanej dyskusji jest częste bezkrytyczne i powierzchowne wykorzystywanie klasycznych koncepcji metodologicznych. Zapewne wynika to z faktu, że większość osób wypowiadających się w tych kwestiach zajmuje się przede wszystkim informatyką, a filozofię traktuje jako działalność marginalną lub co najwyżej pomocniczą. W wyniku tego brakuje pogłębionej dyskusji metodologicznej, która pozwoliłaby prawdopodobnie bardziej adekwatnie ująć swoistość metodologiczną informatyki (lub brak tej swoistości). Dziedzina ta bowiem z jednej strony jest jednym z ważniejszych obszarów współczesnej wiedzy, a z drugiej pozostaje dla filozofów ciągle słabo zbadanym terenem.

Warto zwrócić uwagę na to, że mimo braku jasności odnośnie fundamentalnych kwestii metodologii informatyki, dziedzina ta stała się niepostrzeżenie istotną składową metodologii rozwiniętych nauk przyrodniczych⁵⁴. Rozważania nad rolą symulacji komputerowych oraz nad rolą technik komputerowych wspomagających eksperymenty ukazują nie tylko głęboką ewolucję metody nauk przyrodniczych, ale wskazują na głębokie związki łączące informatykę ze światem przyrody. W tym kontekście otwarte pozostają jednak wciąż pytania o przyszłość tej dyscypliny. Czy może ona zaniknąć jak niegdysiejsza mikroskopia, czy też zachowa swoją odrębność jako fundamentalna dziedzina naukowa? Sygnalizowane wątpliwości odnośnie tego, czy informatyka przetrwa jako odrębna nauka, wskazują, że dziedzina ta tak mocno przeniknęła do podstaw innych nauk, iż tracimy z oczu jej odrębność. Powoli dostrzegamy również, że większość procesów naturalnych ma charakter procesów obliczeniowych – podstawowych obiektów rozważań informatyki. Dziedzina ta zaczyna więc jawić się jako nauka unifikująca tak odległe nauki jak biologia, fizyka czy nauki o umyśle i nauki o społeczeństwie. Możliwe jest więc również

⁵⁴ Zob. E.B. Winsberg, *Science in the age of computer simulation...*, op. cit. S. Leciejewski, *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych: studium metodologiczno-filozoficzne*, Poznań 2013.

powstanie informatyki ogólnej, która nie będzie koncentrować się wyłącznie na komputerach cyfrowych, a w polu jej zainteresowań będą szeroko rozumiane procesy przetwarzania informacji (realizowane zarówno w procesach naturalnych jak i w artefaktach).

Jakie są granice wspomnianej unifikacji? Czy wszystko może zostać w końcu zinformatyżowane? Czy dotychczasową informatykę zastąpi w przyszłości informatyka ogólna? Zapewne jest zbyt wcześnie, aby pokusić się o podanie rozstrzygających odpowiedzi. Różnice w poglądach na metodę informatyki nie powinny nam jednak przysłonić faktu głębokiej informatyzacji nauk. Współczesne nauki bez informatyki byłyby bowiem ślepe, a naukowy obraz świata nie może się już bez niej obyć.

BIBLIOGRAFIA

1. Abramsky S., *Information, Processes and Games* [w:] *Philosophy of information*, P. Adriaans, J. van Benthem (red.), Amsterdam, The Netherlands; Boston 2008, s. 483–549.
2. Brent R., Bruck J., 2020 *Computing: Can computers help to explain biology?*, „Nature”, t. 440, nr 7083, 2006, s. 416–417.
3. Burgin M., Dodig-Crnkovic G., *Typologies of Computation and Computational Models*, „arXiv:1312.2447 [cs]”, 2013.
4. Colburn T.R., Fetzer J.H., Terry L Rankin (red.), *Program verification: fundamental issues in computer science*, Dordrecht; Boston 1993.
5. Denning P.J., *Beyond Computational Thinking*, „Communications of the ACM”, t. 52, nr 6, 2009, s. 28–30.
6. Denning P.J., *Computing is a Natural Science*, „Communications of the ACM”, t. 50, nr 7, 2007, s. 13–18.
7. Denning P.J., *Is Computer Science Science?*, „Communications of the ACM”, t. 48, nr 4, 2005, s. 27–31.
8. Dodig-Crnkovic G., *Alan Turing’s Legacy: Info-Computational Philosophy of Nature*, „arXiv:1207.1033 [cs]”, 2012.
9. Dodig-Crnkovic G., *Scientific Methods in Computer Science*, [w:] <http://www.mrtc.mdh.se/publications/0446.pdf> (ostatni dostęp 21.10.2014).
10. Dodig-Crnkovic G., Giovagnoli R., *Computing Nature: A Network of Networks of Concurrent Information Processes*, „arXiv:1210.7784 [cs]”, 2012.
11. Dodig-Crnkovic G., Giovagnoli R., *Computing nature: Turing centenary perspective*, Heidelberg, New York 2013.
12. Eden A.H., *Three Paradigms of Computer Science*, „Minds and Machines”, t. 17, nr 2, 2007, s. 135–167.
13. Eden A.H., *Trzy paradygmaty informatyki* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 176–184.
14. Fetzer J.H., *Program Verification: The Very Idea*, „Communications of the ACM”, t. 31, nr 9, 1988, s. 1048–1063.
15. Flasiński M., *Wstęp do sztucznej inteligencji*, Warszawa 2011.

16. Harel D., *Rzecz o istocie informatyki: algorytmika*, Warszawa 1992.
17. Hayek F.A. v., *Socialist Calculation: The Competitive 'Solution'*, „Economica”, t. 7, nr 26, 1940, s. 125–149.
18. Knuth D.E., *Informatyka i jej związek z matematyką* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 16–18.
19. Leciejewski S., *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych: studium metodologiczno-filozoficzne*, Poznań 2013.
20. Marciszewski W., *Wolny rynek jako system przetwarzania informacji* [w:] *Informacja a rozumienie*, M. Heller, J. Mączka (red.), Tarnów; Kraków 2005, s. 235–267.
21. Mises L. von, *Die Wirtschaftsrechnung im sozialistischen Gemeinwesen*, „Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik”, t. 47, nr 1, 1920, s. 86–121.
22. Mises L. von, *Economic calculation in the socialist commonwealth*, Auburn, Alabama 2012.
23. Murawski R. (tłum.), *Filozofia informatyki: antologia*, Poznań 2014.
24. Newell A., Simon H.A., *Computer Science As Empirical Inquiry: Symbols and Search*, „Communications of the ACM”, t. 19, nr 3, 1976, s. 113–126.
25. Newell A., Simon H.A., *Informatyka jako nauka empiryczna* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 12–13.
26. Noah Smith, David Smith, *Empirical Research Methods in Computer Science*, [w:] <http://www.cs.jhu.edu/~nasmith/erm/> (ostatni dostęp 22.10.2014).
27. Rapaport W., *Philosophy of Computer Science: An Introductory Course*, „Teaching Philosophy”, t. 28, nr 4, 2005, s. 319–341.
28. Sarosiek A., *Próby aplikacji paradygmatu ucieleśnionego umysłu w tworzeniu sztucznej inteligencji*, „Semina Scientiarum”, t. 12, 2013, s. 97–107.
29. Shapiro S.S., *Computer Science: The Study of Procedures*, [w:] <http://www.cse.buffalo.edu/~shapiro/Papers/whatiscs.pdf> (ostatni dostęp 21.10.2014).
30. Shapiro S.S., *Informatyka: badanie procedur* [w:] *Filozofia informatyki: antologia*, R. Murawski (tłum.), Poznań 2014, s. 21–25.
31. Stacewicz P., Marciszewski W., *Umysł-komputer-świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT 2011.
32. Stacewicz P., Włodarczyk A., *Modeling in the Context of Computer Science – A Methodological Approach*, „Studies in Logic, Grammar and Rhetoric”, t. 20, 2010, s. 155–179.
33. Tedre M., *Computing As a Science: A Survey of Competing Viewpoints*, „Minds and Machines”, t. 21, nr 3, 2011, s. 361–387.
34. Tedre M., *The Development of Computer Science: A Sociocultural Perspective*, Joensuu 2006.
35. Wegner P., *Research Paradigms in Computer Science* [w:] *Proceedings of the 2Nd International Conference on Software Engineering*, Los Alamitos, CA, USA, 1976, s. 322–330.
36. Winsberg E.B., *Computer Simulations in Science*, [w:] <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/simulations-science/> (ostatni dostęp 21.10.2014).
37. Winsberg E.B., *Science in the age of computer simulation*, Chicago 2010.
38. Zenil H. (red.), *A computable universe: understanding and exploring nature as computation*, Singapore 2013.

From empirical computer science to general informatics: evolution of methodological awareness

A b s t r a c t

This paper presents philosophical and methodological considerations related to empirical status of computer science. They started with the H.A. Simon's & A. Newell's *Computer Science As Empirical Inquiry* (1975). The following considerations (S.S. Shapiro, P. Wegner, A.H. Eden, P.J. Denning) gradually form a new view of this domain – a general science connected with the notion of computation (information processing). There are presented some ways leading to generalization of the concept of informatics. There are also shortly described some interesting modern concepts of general informatics (G. Dodig-Crnkovic, W. Marciszewski & P. Stacewicz).

Rozdział 3

Czy teza Churcha ma jeszcze jakieś znaczenie dla informatyki?

Jerzy Mycka¹, Adam Olszewski²

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Matematyki

²Wydział Filozoficzny UPJPII w Krakowie,

²Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych

Streszczenie. Artykuł zajmuje się analizą roli Tezy Churcha w kontekście rozwoju badań związanych z hiperobliczalnością. Tekst zaczyna się od przedstawienia różnorodnych poglądów na istotę informatyki oraz ograniczeń związanych z jej metodami. Następnie – w obrębie zasygnalizowanych zagadnień – prezentowana jest Teza Churcha i jej znaczenie przy określaniu granic metod używanych przez informatykę. Opierając się na powyższych wyjaśnieniach praca przechodzi do scharakteryzowania różnych propozycji hiperobliczeń uzupełniając je zestawieniem pokazującym ich relatywną moc względem hierarchii arytmetycznej.

Zasadniczym wątkiem artykułu jest analiza wzajemnych zależności pomiędzy treścią Tezy Churcha a teoriami hiperobliczalności. W głównej części rozważań przytoczone są argumenty za zniesieniem Tezy Churcha spowodowanym przez wprowadzenie metod hiperobliczalnych do informatyki oraz przedstawiona jest krytyka tych poglądów. Zaakcentowana jest przy tym rola warunku efektywności zawartego w sformułowaniu omawianej Tezy. Dyskusja kończy się podsumowaniem broniącym obecnego statusu Tezy Churcha w obrębie refleksji filozoficzno-informatycznej jako ważnego punktu odniesienia do określenia czym jest efektywna obliczalność.

Słowa kluczowe: hiperobliczalność, teza Churcha, obliczenia efektywne, filozofia informatyki

Tytułowe pytanie jest nawiązaniem do tytułu artykułu Marka Burgina *The Rise and Fall of Church-Turing Thesis*, w którym autor kwestionuje wartość tezy Churcha (dalej: TC) dla informatyki na obecnym (i przyszłym) stadium jej rozwoju. Jak wiadomo po upływie niemal osiemdziesięciu lat od sformułowania

TC, jej wartość logiczna nie została rozstrzygnięta, co jest zadziwiające samo w sobie¹. Tradycyjny pogląd w odniesieniu do TC jest taki, że wyznacza ona ograniczenie górne na klasę funkcji efektywnie obliczalnych w sensie intuicyjnym, zrównując ją (tę klasę) z klasą funkcji (częściowo) rekurencyjnych². Jeśli więc za podstawowe narzędzie informatyki uznamy algorytm, to TC ogranicza poważnie ramy tego, co może uzyskać informatyka (informatyk), zarówno w sensie teoretycznym, jak i praktycznym. Zadaniem tej pracy jest obrona wyjątkowej roli TC dla informatyki w kontekście całej klasy proponowanych modeli obliczeń posiadających cechę *hiperobliczalności* (tak zwane *hypercomputations*)³. W pierwszej części krótko szcharakteryzujemy różne określenia informatyki, w drugiej rozpatrzmy zagadnienia bardziej filozoficzne i ogólne, związane z hiperobliczalnością i zanegowaniem TC, a w trzeciej przedstawiona zostanie bardziej szczegółowa krytyka koncepcji Burgina.

1. Zacznijmy od próby określenia czym jest informatyka⁴. Najprawdopodobniej nie istnieje jakaś jedna jej definicja, co do której byłaby powszechna zgoda. I tak Newell i Simon wskazują na to, że informatyka jest nauką empiryczną, gdzie eksperymentem jest każdy program i komputer ([10], s. 9 i nast.). Autorzy tego poglądu mówią o ‘nasłuchiwanie’ odpowiedzi od maszyny wcześniej skonstruowanej. Wskazuje to na to, że programiści i inżynierowie są twórcami programu i maszyny, których niektóre własności nie są znane twórcom a priori, a mogą dopiero zostać odczytane przez obserwację. To pokazuje, iż słowo ‘eksperyment’ jest użyte przez nich w dość szczególnym znaczeniu. Donald Knuth uważa, że informatyka zajmuje się badaniem algorytmów. Przy czym algorytmy są rozumiane jako precyzyjnie zdefiniowane ciągi reguł mówiące „jak otrzymać określoną informację wyjściową z danej informacji wejściowej w skończonej liczbie kroków”. Programem dla

¹ Sprawa nie jest tak prosta. Pierwszym twierdzeniem pracy jest: Teza Churcha-Turinga jest fałszywa; zaś drugim, że pojęcie obliczalności nie jest absolutne, lecz względne i zależne od dostępnych zasobów (por. [4], s.1–2). Warto zauważyć, że nawet jeżeli pojęcie obliczalności jest względne, to i tak relatywizacje TC do poszczególnych typów obliczeń i dostępnych zasobów są ważnymi pytaniami i w żaden sposób nie można przesądzać dla każdego typu fałszywości TC.

² Burgin, podobnie jak wielu innych, pisze o tezie Churcha-Turinga. Teza Churcha jest równoważna tezie Turinga, ale, ściśle rzecz biorąc, należy je odróżnić.

³ Szczególną uwagę przykładamy tutaj do prac Marka Burgina. Traktujemy je jako charakterystyczne dla pewnego typu zakwestionowania TC.

⁴ Pierwszy rozdział ciekawej antologii [8] ważnych tekstów na temat informatyki pod redakcją R. Murawskiego jest poświęcony tekstom zawierającym określenia czym jest informatyka.

danego algorytmu jest jego konkretna realizacja, i podobny stosunek zachodzi pomiędzy informacją i 'danymi'. Przy takim ujęciu informatyka istnieje od wielu tysiącleci (gdyż np. informatykami byli już Babilończycy 3500 lat temu). Knuth przywołuje też pogląd Forsythe'a, że „algorytmiczny punkt widzenia jest użytecznym sposobem organizacji wiedzy w ogólności”. Stuart S. Shapiro traktuje informatykę jako naukę przyrodniczą [*natural science*] badającą procedury ([10], s. 21), przy czym procedury rozumiane są bardzo szeroko jako: „szczególny, konkretny sposób postępowania w celu osiągnięcia czegoś”. Procedury w informatyce nie muszą mieć charakteru krokowego (step-by-step), ponieważ dopuszczalne są procedury równoległe, natomiast nie mogą być niekończące się ani nieefektywne (jak np. procedury heurystyczne). Wedle Shapiro informatyka jest nauką przyrodniczą, gdyż badając procedury, bada zjawiska występujące w przyrodzie. Tak rozumiana informatyka dzieli się na teoretyczną i stosowaną. Frederick P. Brooks Jr. ujmuje informatykę jako dyscyplinę syntetyczną i inżynierską, niebędącą nauką (typu *science*), która zajmuje się wytwarzaniem „rzeczy, czy są to komputery, czy algorytmy lub programy” (por. [10], s. 10). Tak więc informatyka nie jest *science*, i błędnie nazwano ją *computer science*. Brooks zwraca uwagę na publikacje informatyków, które, podobnie jak matematyczne, coraz bardziej odrywają się od rzeczywistych problemów i od możliwości bycia zrozumianymi przez czytelników, a nawet niektórych specjalistów, co czyni je „śmieciami”. Peter J. Denning rozumie informatykę jako naukę o procesach (projektowania, analizy, implementacji, efektywności i zastosowania) przetwarzania informacji. Cechą indywidualną informatyki jest według niego to, że nie sposób precyzyjnie odróżnić części teoretycznej od części inżynierskiej (zastosowań), co w przypadku innych *sciences* jest zazwyczaj możliwe. Jako pewną ciekawostkę warto przytoczyć etapy ewoluowania informatyki wg Denninga, którymi są (od najwcześniejszych do najnowszych): teoria (1940), obliczenia numeryczne (1945), architektura (1950), języki programowania i metodologia (1960), algorytmy i struktury danych (1968), systemy operacyjne (1971), sieci (1975), oprogramowanie *interface* (1978), systemy baz danych (1980), obliczenia równoległe (1982) i sztuczna inteligencja (1986?) (por. [10], s. 31 i nast.). Juris Hartmanis i Herbert Lin pojmują ją jako naukę o informacji skoncentrowaną „na sposobach jej reprezentowania i przetwarzania oraz na urządzeniach i systemach, które wykonują te zadania”. Centralnymi pojęciami dla całej informatyki są: myślenie algorytmiczne, reprezentacja informacji oraz programy komputerowe. Autorzy ci dają taką metaforę: „[p]rogramiści są w dużej mierze dramaturgami, jak i aktorami”.

mi-lalkarzami [...] pracują jak pisarz, gdyby ten ostatni mógł sprawić [...] żeby jego postaci ożywały” ([10], s. 35).

Podsumowując ten zestaw określeń informatyki widać, że nie ma powszechnej zgody co do naukowości tej dyscypliny (w sensie *science*), choć większość autorów podziela ten pogląd; po drugie zazwyczaj wyróżnia się dwie paralelne części składowe – teoretyczną i inżynierską; po trzecie często występuje element empiryczny; i po czwarte zasadniczymi pojęciami są algorytmy (procedury), programy oraz maszyny (komputery) przetwarzające informacje (z czym wiąże się pojęcie ustrukturalizowanych danych). Autorzy niniejszego opracowania są zgodni, że informatykę najwygodniej jest rozumieć jako dyscyplinę, która posiada dwie składowe: teoretyczną i praktyczną. Pierwsza składowa – teoretyczna – zajmuje się algorytmami i programami *in abstracto* tzn. konstruowaniem takich programów, badaniem ich ogólnych własności, porównywaniem, podczas gdy druga implementacją obliczeń na odpowiednio skonstruowanych maszynach (komputerach)⁵. TC w tym kontekście mogłaby być postrzegana jako rodzaj łącznika (pomostu) pomiędzy tymi dwoma składowymi.

2. Stewart Shapiro, w krótko omówionym powyżej artykule *Computer Science: The Study of Procedures*, napisał, iż informatyka opiera się pewnych fundamentalnych zasadach. Jedną z nich jest teza Churcha-Turinga, która ma implikować, że komputer może wykonać każdą procedurę wykonywalną przez dowolną maszynę, w szerokim znaczeniu tego terminu, włącznie ze zwierzętami czy nawet człowiekiem, o ile mają charakter mechanistyczny. Nawiązując do idei Hilberta, który domagał się by wszystkie dyscypliny naukowe aksjomatyzować, można zapytać o aksjomatyzację informatyki. Podanie aksjomatów dla *computer science* bardzo by się przysłużyło jej precyzyjniejszemu rozumieniu. Wydaje się, że TC znalazłaby się pośród aksjomatów tej dyscypliny⁶. TC „identyfikuje”, jak chciał Church, intuicyjne pojęcie funkcji efektywnie obliczalnej z matematycznym pojęciem funkcji rekurencyjnej, bądź maszyny Turinga⁷. Ta ‘identyczność’⁸ pozwala na stoso-

⁵ Jest to bardzo ogólna charakterystyka. Nie wchodzimy w te zagadnienia bliżej, gdyż zmierzamy w innym kierunku.

⁶ Tak na przykład uważa Burgin ([2], s. 14).

⁷ Można ją sformułować: EF(id)REK lub EF(id)TUR, gdzie: EF – pojęcie funkcji efektywnie obliczalnej; REK – pojęcie funkcji rekurencyjnej; TUR – pojęcie funkcji obliczalnej w sensie Turinga.

⁸ Relacja ta ma zwykle własności identyczności oraz oznaczamy ją skrótem „id”. Natura takiej „identyczności” pojęć nie jest jasna, gdyż termin *pojęcie* nie jest jasny.

wanie swoistej metazasady ekstensjonalności pojęć, której można nadać postać [MEP]: dla dowolnych pojęć P_1, P_2 oraz kontekstu C zachodzi: jeśli $P_1(\text{id}) P_2$ oraz $C(P_1)$, to $C(P_2)$. Zasada ta jest dyskusyjna, jeśli jednak ją przyjmiemy wraz z TC, to uzyskamy dość interesujące wnioski⁹.

Jeden z nich dotyczy nierozstrzygalności *problemu stopu*. To twierdzenie wraz z dowodem zostało sformułowane i dowiedzione przez Alana Turinga w wersji dotyczącej maszyn Turinga. Stwierdza ono, że nie istnieje maszyna Turinga, która rozstrzyga problem czy określona poprzez swój program maszyna Turinga zatrzyma się dla zadanego wejścia. Dowód tego twierdzenia ma strukturę dowodu nie wprost, na jego początku zakłada się, że maszyna rozstrzygająca ten problem istnieje, a następnie wykazuje się, że to założenie prowadzi do sprzeczności. Na mocy TC i MEP twierdzenie to jest równoważne stwierdzeniu, że nie istnieje funkcja efektywnie obliczalna w sensie intuicyjnym, obliczająca problem stopu dla maszyn Turinga. Prawdziwość tego twierdzenia nie jest już taka całkiem oczywista, gdyż klasa funkcji efektywnie obliczalnych w sensie intuicyjnym może być obszerniejsza od funkcji Turing-obliczalnych. Twierdzenie Turinga o nierozstrzygalności problemu stopu jest jednym z twierdzeń o *niemożliwości* osiągnięcia czegoś przez (rozum) Człowieka jako gatunek – *Homo Sapiens*. Wywołało to przeróżne reakcje nie tylko wśród uczonych, ale również wśród zwykłych ludzi. Davis (por. [5], [6]) porównuje tę sytuację do niezgody niektórych ludzi wobec niemożności skonstruowania *perpetuum mobile*. Całe zastępy konstruktorów (również uczonych) próbowały, pomimo jasnego argumentu o niemożliwości, wykazać, że *perpetuum mobile* jest jednak możliwe. Natomiast Ord ([13]) jako analogię przywołuje przykład powstania geometrii nieeuklidesowych, które początkowo były wręcz odrzucane, jako niemające nic wspólnego z fizyczną rzeczywistością, gdy w końcu okazało się, iż struktura globalna wszechświata jest prawdopodobnie właśnie nieeuklidesowa. Podobnie stało się w przypadku twierdzeń o *niemożliwości* uzyskania pewnych wyników w obszarze rozstrzygalności, które w przypadku hiperobliczeń stają się rozstrzygalne. Wydaje się, że właśnie furtką do takiego podejścia jest zanegowanie TC, i w konsekwencji odrzucenie MEP. Powyższe metafory Davisa i Orda są dość atrakcyjne, jednak jeśli przyjrzeć się im bliżej, to okazują się nie być całkiem trafne. Geometrie nieeuklidesowe nie są bowiem rozszerzeniem geometrii euklidesowej, lecz są alternatywne wobec niej, w przeciwieństwie do hiperobliczeń, które są

⁹ MEP jest w pewnym sensie konsekwencją TC w sformułowaniu samego Churcha.

najczęściej rozszerzeniami standardowych obliczeń¹⁰. Natomiast *perpetuum mobile*, jako niezgodne z zasadami termodynamiki i zasadą zachowania energii, czyli z podstawowymi zasadami fizyki klasycznej, jest niemożliwe do skonstruowania. Jednak warto zwrócić uwagę, że tak jak II prawo termodynamiki w pewnym sensie określa granice, w których muszą się mieścić rozsądne teorie fizyczne, tak i TC może być postrzegana jako rodzaj ograniczenia nałożonego na teorie obliczeń. Hiperobliczalność – przynajmniej według niektórych koncepcji nie jest wykluczona, lecz wręcz jest dopuszczalna z punktu widzenia fizyki¹¹. Niejako klasycznym przykładem takiej argumentacji jest praca Shagrira i Pitowsky’ego (por. [14], [19]), gdzie podany jest przykład fizycznego cyfrowego hiperkomputera, wykonującego nieskończoną liczbę operacji w skończonym okresie czasu, na podstawie opisu zgodnego z zasadami Ogólnej Teorii Względności.

3. Pierwszą próbą wyjścia poza obszar funkcji obliczalnych w sensie Turinga (i na podstawie TC funkcji efektywnie obliczalnych w sensie intuicyjnym) była koncepcja *wyroczeni* (*oracle*), którą zaprezentował sam Turing w swej pracy doktorskiej pisanej pod okiem A. Churcha i ukończonej w 1939 roku. Maszyna Turinga (MT) wyposażona w wyrocznię (funkcję lub zbiór) – *o*-maszyna – pozwala na uzyskiwanie odpowiedzi na podstawie obliczenia przeprowadzonego w zależności od odpowiedzi wyroczeni. Interesujące przypadki to takie, gdy wyrocznia jest funkcją nieobliczalną: czarną skrzynką, z której można dodatkowo korzystać przy obliczeniach wykonywanych przez maszynę Turinga¹². Ta koncepcja dała podstawę do stworzenia badań z zakresu tzw. względnej obliczalności, należącej do uogólnionej teorii obliczalności, która analizuje moc obliczeniową MT biorąc pod uwagę możliwości dołączonej wyroczeni¹³. Choć Turing sam nie zajmował się więcej tym zagadnieniem, zwolennicy hiperobliczalności kontynuują ten temat, rozważając charakter samej wyroczeni: może ona być czarną skrzynką o nieujawnionej strukturze, bądź nieskończoną taśmą z zapisem funkcji charakterystycznej nieskończonego zbioru albo strumieniem wejściowym dostarczającym nierekurencyjne dane z różnych źródeł, głównie

¹⁰ Chociaż powstają z geometrii absolutnej, jako jej szczególne przypadki. Powstaje zatem pytanie o to, czy geometria absolutna jest zrealizowana, bądź realizowalna w rzeczywistości?

¹¹ Copeland i Shagrir próbują zaatakować ‘dowód’ mechanistycznej wersji TC podany przez Gandy’ego (por. [3]).

¹² Takie MT są przez niektórych traktowane jako pierwsze hipermaszyny.

¹³ Do tego zagadnienia powrócimy w dalszej części pracy.

z przyrody (mechanika kwantowa, inne procesy fizyczne). W niektórych sytuacjach taka MT może obliczać funkcje nieobliczalne przez zwykłą MT (por. [13], s. 146).

Innego rodzaju próba innowacji polegała na analizie możliwości obliczeniowych maszyn Turinga ze względu na różne składowe: liczbę stanów (dwa stany zastąpią dowolną skończoną ich liczbę); liczbę symboli (dwa wystarczą do zastąpienia każdego skończonego alfabetu); operacji (można zrezygnować z operacji wymazywania symboli bez utraty mocy); liczbę taśm i głowic (każdy skończony układ jest równoważny obliczeniowo jednej taśmie z jedną głowicą); niedeterminizm (rezygnacja z determinizmu maszyny nie podnosi jej mocy)¹⁴. Jak widać próby te nie przyniosły właściwie niczego znaczącego, gdyż nie doprowadziły do zwiększenia możliwości obliczeniowych maszyn Turinga.

Zasadniczy atak na TC przyszedł w związku z pojawieniem się tak zwanej *hiperobliczalności* (czasem nazywanej także *superobliczalnością*). Cechą wspólną tego podejścia jest w istocie osłabienie pojęcia efektywnej obliczalności, w wyniku czego uzyskuje się nowe (intuicyjne) pojęcie obliczalności¹⁵, pod które podpada więcej funkcji, zaś TC staje się fałszywa i, co więcej, traci swój wyjątkowy charakter¹⁶. Sama hiperobliczalność posiada różne postaci, a dla jej uzasadnienia podaje się przesłanki, które między innymi opierają się na różnych kombinacjach trzech głównych wariantów TC, pochodzących od G. Kreisela, różniących się rozumieniem *efektywnej obliczalności*: *Human Variant* (funkcja efektywnie obliczalna intuicyjnie, to funkcja obliczalna przez [umysł] człowieka), *Physical Variant* (funkcja efektywnie obliczalna intuicyjnie, to funkcja realizowalna [względem uznanych teorii] przez jakiś proces przyrody) oraz *Machine Variant* (funkcja efektywnie obliczalna intuicyjnie, to funkcja obliczalna mechanicznie). Odrębną tezą jest ta, która twierdzi, że trzy wymienione warianty są sobie wzajemnie równoważne¹⁷.

Podamy poniżej kilka przykładowych wariantów bądź wersji propozycji hiperobliczeń.

Jedna z wersji hiperobliczalności powstaje w związku z pojęciem losowości i mechaniką kwantową. Stworzono ideę tzw. komputera kwantowego, czyli układu kwantowego, którego ewolucja rozumiana jest jako obliczanie,

¹⁴ Jednak takie zmiany mogą być istotne z punktu widzenia złożoności (por. [11], s. 50–51).

¹⁵ Bądź Turing-obliczalności uzyskanej poprzez manipulacje z pojęciem MT.

¹⁶ To jest właśnie punkt odnośnie do TC, z którym autorzy nie mogą się zgodzić.

¹⁷ Ta równoważność jest ciekawa sama w sobie. Hiperobliczalność zakłada rozejście się tych wariantów jako nierównoważnych.

bazującego na strumieniu kubitów (kwantowa jednostka informacji), których rolę odgrywają cząstki elementarne jak np. fotony lub elektrony, licząc na możliwości obliczania funkcji nieobliczalnych. Jednak okazało się, że wyższość komputerów kwantowych nad zwykłymi maszynami może polegać w istocie na znacznie większej szybkości obliczeniowej. W świetle dotychczasowych badań wszystko wskazuje, że maszyny kwantowe wnoszą istotną zmianę tylko na poziomie złożoności obliczeniowej (klasa *BPQ* problemów rozwiązywanych przez maszyny kwantowe w czasie wielomianowym jest nadzbiorem klasy problemów rozwiązywanych w czasie wielomianowym przez zwykłe maszyny Turinga; chociaż podejrzewa się, iż jest to nadzbiór właściwy, jak dotąd, nie udało się podać dowodu tej hipotezy). To samo odnosi się do odpowiednich maszyn na poziomie teoretycznym.

Hiperobliczalność mogłaby się pojawić także w przypadku istnienia pewnego procesu nierekurencyjnego w przyrodzie, który, aby być użyteczny, musiałby spełniać warunek ujarzmialności (*harnessable*) tzn. być „strumieniem” (*stream*), który posiada właściwie informacje zakodowane w sobie”¹⁸. „Ujarzmialność” (*harnessing*) procesu można rozumieć na dwa poniżej wskazane sposoby (por. [12], s. 16).

Proces *P* jest *matematycznie* ujarzmialny wtedy i tylko wtedy, gdy zachowanie *P* odnośnie do wejścia/wyjścia:

- jest albo wprost deterministyczne albo deterministyczne w sposób przybliżony (to znaczy taki, który gwarantuje, że szansa wystąpienia błędu i jego rozmiar mogą być zredukowane do dowolnie małego rozmiaru);
- posiada skończoną definicję matematyczną, która może zostać poznana naukowo.

Proces *P* jest *fizycznie* ujarzmialny wtedy i tylko wtedy, gdy:

- może zostać w sposób naukowy wykazane, że proces jest użyteczny w roli symulacji jakichś innych procesów.

Kolejną możliwością jest tzw. *fair-nondeterminism*, związany z niedeterministycznymi MT. Zwykle maszyny niedeterministyczne, jak wspomniano powyżej, są równoważne co do mocy obliczeniowej standardowym MT, a ich niedeterminizm jest zwany ograniczonym niedeterminizmem (*bounded non-determinism*). Pewne spostrzeżenia wywodzące się z fizyki (Hewitt), *client-*

¹⁸ Jeszcze inną możliwość obliczania funkcji nierekurencyjnych dawałyby procesy fizyczne rosnące szybciej niż funkcja *Busy Beaver*. Istnienie takich procesów jest niepewne (por. [13], s. 146).

cloud computing oraz z procesów współbieżnych (*concurrent processing*)¹⁹, doprowadziły do utworzenia koncepcji nieograniczonego niedeterminizmu (*unbounded nondeterminism*). Jednym z głównych problemów procesów współbieżnych jest problem komunikowania się pomiędzy procesorami, których może być bardzo wiele. Pojęciem z tym związanym jest *fairness* (sprawiedliwość, bezstronność). Polega ono na tym, że jeśli maszyna przyjmuje jakiś stan nieskończenie wiele razy, musi dokonać każdego przejścia z tego stanu jakie ma umożliwione w programie (por. [16], s. 3–4.). Przykładem programu, który rozróżnia sposób działania maszyn z *bounded nondeterminism* od urządzeń z *unbounded nondeterminism*, które posiadają własność *fairness* jest poniższa konstrukcja.

krok 1. Napisz **1** w następnej kratce lub przejdź do kroku 3.;

krok 2. Przejdź do Kroku 1.;

krok 3. Zatrzymaj się.

Maszyna ta może pracować w nieskończoność, jeśli jednak ma własność *fairness*, to się zawsze zatrzyma, choć nie wiadomo kiedy²⁰. Niedeterministyczny system takiego typu spełnia w powyższym przypadku następujące warunki: 1. Gdy zastartuje, system zawsze się zatrzyma; oraz 2. Dla dowolnej liczby naturalnej n , jest możliwe, że system zatrzyma się na wyjściu, które jest większe niż n ” (por. [16], s. 11). Termin *nieograniczony* (*unbounded*) w przypadku niedeterminizmu MT znaczy, że obliczanie przez maszyny posiadające własność *fairness* zawsze się skończy, ale liczba kroków do zatrzymania jest nieznana i przez to nieograniczona.

Maszyny, które spełniałyby powyżej opisane warunki mogłyby rozwiązać problem stopu. Konstrukcję takiej niedeterministycznej maszyny Turinga H rozstrzygającej problem stopu dla dowolnej maszyny M i jej danych d można szkicowo przedstawić następująco. Dla zadanego kodu maszyny Turinga M oraz danych d maszyna H niedeterministycznie dokonuje w stanie q jednego z poniższych wyborów:

- albo wpisuje **1** w kolejnej kratce i powraca do stanu q ;
- albo używa dotychczas wypisaną liczbę jedynek (oznaczymy tę wartość przez n) do symulacji n kroków obliczenia maszyny M na danych d ; jeśli

¹⁹ Modelami takich procesów są np. sieci Petriego, model Aktora, równoległe RAM.

²⁰ Będzie pracować w nieskończoność, jeśli przyjmiemy definicję standardowej, niedeterministycznej MT (por. [8], s. 7).

w toku tej symulacji maszyna M znajdzie się w stanie finalnym wówczas H przechodzi w stan akceptujący, w przeciwnym razie (gdy n kroków nie wystarczy, by M obliczyła wynik dla danych d) maszyna M przechodzi w stan odrzucający.

Warunek *fairness* gwarantuje, że w toku obliczeń H zawsze musi pojawić się wybór drugi (choć nie ma żadnych ograniczeń na to kiedy się on pojawi, dlatego jest to niedeterminizm nieograniczony). Każda możliwa ścieżka obliczeniowa H jest skończona; jeśli maszyna M w ogóle się zatrzymuje dla danych d , to jedna ze ścieżek obliczenia H kończy się akceptacją. To spełnia standardowy warunek akceptacji niedeterministycznych maszyn – przynajmniej jedna ścieżka daje akceptację; przy czym wszystkie możliwe ścieżki obliczeń są skończone.

Rozważane rozszerzenia pojęcia obliczalności, czy też hiperobliczalności, związane są bezpośrednio lub pośrednio z pojęciem nieskończoności. Ściśle rzecz biorąc nieskończoność pojawia się już przy standardowej koncepcji MT, gdyż rozważana maszyna dla pewnego wejścia może się nie zatrzymać, przez co należy rozumieć, że będzie pracować w nieskończoność. Jednak uzyskanie hiperobliczalności, przez wprowadzenie nieskończoności do rozważań, musi wyglądać inaczej. Jednym ze sposobów jest przyjęcie nieskończonych danych wejściowych. Klasyczna MT dopuszcza jedynie skończone dane wejściowe, ale naturalnym rozszerzeniem jej działania jest przyjęcie jako danej wejściowej odpowiednio zakodowanej liczby rzeczywistej. MT może dać na wyjściu nierekurencyjny wynik, pod warunkiem, że dostała na wejściu również nierekurencyjną liczbę rzeczywistą. Można sądzić, że jest to jakaś postać hiperobliczeń, gdyż obliczanie dokonuje się na liczbach rzeczywistych, i dodatkowo posiada zastosowanie w tzw. *analizie rekurencyjnej*²¹. W praktyce obliczenie odbywa się na skończonej części liczby, czyli de facto na liczbach wymiernych i – poza wygodnym w niektórych przypadkach zapisem – nie poszerza mocy obliczeniowej.

Jeszcze innym sposobem dołączenia nieskończoności do zwykłej MT jest dopuszczenie nieskończonej liczby stanów wewnętrznych (cf. [12]). Takie maszyny posiadają nieskończony program, który przypisuje każdej liczbie wartość obliczalnej funkcji i jest trochę podobny do *o*-maszyn. W takim przypadku maszyna obliczać będzie dowolną funkcję ze zbioru liczb naturalnych w zbiór liczb naturalnych. Jeśli jednak nie nakładamy ograniczeń na organizację tej nieskończonej liczby stanów, tracimy wszelką efektywność.

²¹ Nie jest to uważane za kontrowersyjne. Jest to z pewnością rozszerzenie zwykłego pojęcia obliczalności (por. [13], s. 150).

Turing, w swojej analizie obliczalności, nie zakładał niczego szczególnego o czasie potrzebnym do wykonania poszczególnych operacji. Uważał, że czas ma charakter dyskretny, a dla każdego kroku obliczeniowego potrzeba takiej dyskretniej (jednakowej) jednostki czasu. Ta 'luka' w argumentacji Turinga stała się okazją do wprowadzenia tzw. *przyśpieszających Maszyn Turinga* (ATM), które każdy kolejny krok obliczeniowy wykonują w czasie dwukrotnie krótszym niż poprzedni. W ten sposób takie maszyny mogłyby wykonać nieskończoną liczbę operacji w dwóch jednostkach czasu (np. w ciągu dwóch minut). W wyniku tego, z każdą MT można łączyć maszynę przyśpieszającą ATM, która na wyjściu ma to, co pozostanie w pierwszej kratce po upływie dwóch jednostek czasu. Łatwo zauważyć, że taka procedura prowadzi do rozstrzygnięcia problemu stopu dla maszyny wyjściowej. Całkiem naturalnie można pomyśleć o uogólnieniu MT, która wykona nieskończoną liczbę operacji ITTM (*Infinite Time TM*), bazującą na ATM. ITTM wykorzystuje ATM do wykonania nieskończonej liczby operacji, następnie resetuje ATM, aktywuje ją powtórnie na danej wyjściowej uzyskanej w poprzednim obliczaniu (odpowiednio modyfikując proporcje czasowe). Procedurę tę można powtórzyć nieskończoną liczbę razy, uzyskując w podobny sposób obliczenia o długości opisanej coraz większymi liczbami porządkowymi. Taka maszyna Turinga mogłaby prowadzić obliczenia w ω krokach, jak również liczyć używając większych pozaskończonych liczbach porządkowych (por. [12], s. 21).

Ciekawą próbą hiperobliczalności opartej na procesie fizycznym rozwinął Mark Hogarth, który mówi o możliwości (w sensie zgodności z Ogólną Teorią Względności) procesu ujarzmiającego nieskończoność. Sam proces jest nieskończony wedle swojego wewnętrznego czasu, natomiast dla obserwatora jest on czasowo skończony. Pewna standardowa MT mogłaby, zgodnie z tym pomysłem, odbyć nieskończoną podróż wzdłuż linii świata, pozwalającą na rozstrzygnięcie problemu stopu i mogłaby przekazać informację o wyniku do zewnętrznego obserwatora.

Sieci neuronowe (*recurrent neural network*) stanowią kolejną próbę dla umocowania hiperobliczalności. Jeśli wagami przypisanymi połączeniom pomiędzy wierzchołkami (*nodes*) są liczby wymierne, to możliwości sieci nie przekraczają standardowych MT. Jednak przypisanie wag będących liczbami rzeczywistymi, zwiększa istotnie możliwości obliczeniowe takiej sieci²².

²² Na temat tej koncepcji sieci neuronowych, szczególnie w wersji H. Siegelmana, wypowiedział się krytycznie M. Davis w [5].

Zaproponowano również hiperobliczalność w dość szczególnym sensie, polegającą na zmianie dziedziny i przeciwdziedziny obliczanych funkcji, z liczb naturalnych na liczby rzeczywiste, czy też elementy dowolnego pierścienia. Opis takiej ‘maszyny Turinga’ wygląda oczywiście całkowicie inaczej. W takim ujęciu, przy pewnych założeniach, można uzyskać ‘obliczalność’ nierekurencyjnych funkcji określonych w liczbach rzeczywistych.²³

W pracy [13] znajdujemy ciekawe porównanie głównych teorii hiperobliczalności w odniesieniu do ich pozycji względem hierarchii arytmetycznej, dzięki czemu mamy możliwość porównania tych teorii pomiędzy sobą. Poniżej prezentujemy tę tabelę.

	Model obliczalności	Miejsce w hierarchii lub poza nią
1	Maszyna Turinga	Δ_1
2	Przyspieszająca maszyna Turinga	Σ_1
3	Maszyna Turinga o czasie nieskończonym (w $<\omega \times n$ kroków czasowych)	Δ_n
4	Maszyna Turinga o czasie nieskończonym (w $<\omega \times \omega$ kroków czasowych)	Δ_ω
5	Maszyna Turinga o czasie nieskończonym (w dowolnym czasie)	$\Sigma_1^1 \cup \Pi_1^1 < \text{moc} < \Delta_2^1$
6	Maszyna Malamenta-Hogharta	aż do Δ_ω
7	Uczciwa niedeterministyczna maszyna Turinga	Σ_1
8	Maszyna Turinga z nieskończoną liczbą stanów	wszystkie poziomy
9	Okresowa sieć neuronowa (w czasie wykładniczym)	wszystkie poziomy
10	Okresowa sieć neuronowa (w czasie wielomianowym)	P/poly
11	Maszyna z wyrocznią (o -maszyny, sprzężone maszyny Turinga)	wszystkie poziomy
12	Maszyny BSS (nad R)	zmienia się ze zbiorem/ strumieniem
13	Maszyny Turinga z losowo sprzężonym strumieniem	zmienia się ze zbiorem/ strumieniem

²³ W [13] przedstawiono następujące rodzaje hiperobliczalności: a) o -Machines; b) Turing Machines with Initial Incriptions; c) Coupled Turing Machines; d) Asynchronous Networks of Turing Machines; e) Error Prone Turing Machine; f) Probabilistic Turing Machines; g) Infinite State Turing Machines; h) Accelerated Turing Machines; i) Infinite Time Turing Machines; j) Fair Non-Deterministic Turing Machines.

Powyższa tabela wykorzystuje do klasyfikacji mocy obliczeniowej różnych modeli hiperobliczalnych poziomy hierarchii arytmetycznej. Jest to hierarchia, którą można uznać za pewien rodzaj skali nieobliczalności. Hierarchia arytmetyczna jest zwykle definiowana jako dwa ciągi rodzin relacji na liczbach naturalnych. Jest to wybór dość naturalny biorąc pod uwagę, że relacje mogą reprezentować zarówno zbiory jak i funkcje.

Punktem wyjścia jest rodzina takich relacji R , dla których ich spełnianie przez zadany ciąg argumentów (n_1, \dots, n_k) może być sprawdzone poprzez zwykłą maszynę Turinga M_R . Taka maszyna M_R dla zapisanej na taśmie reprezentacji liczb n_1, \dots, n_k wykonuje stosowne obliczenia i kończy w stanie akceptującym, gdy zachodzi $R(n_1, \dots, n_k)$; zaś w stanie odrzucającym, gdy nie zachodzi $R(n_1, \dots, n_k)$. Tę rodzinę nazywamy poziomem Σ_0 lub równoważnie poziomem Π_0 . Na kolejnych poziomach relacje z poziomów niższych są modyfikowane poprzez dodawanie kwantyfikatorów: relacja $R(n_1, \dots, n_k)$ jest na poziomie Σ_{n+1} wtedy i tylko wtedy gdy $R(n_1, \dots, n_k) \leftrightarrow \exists n_{k+1} Q(n_1, \dots, n_k, n_{k+1})$ dla Q należącego do Π_n ; symetrycznie relacja $R(n_1, \dots, n_k)$ jest na poziomie Π_{n+1} wtedy i tylko wtedy gdy $R(n_1, \dots, n_k) \leftrightarrow \forall n_{k+1} Q(n_1, \dots, n_k, n_{k+1})$ dla Q należącego do Σ_n .

Intuicyjnie oznacza to, że aby rozstrzygnąć czy relacja R jest na poziomie Σ_1 należy sprawdzać na pomocą maszyny Turinga spełnianie relacji Q dla kolejnych wartości n_{k+1} . Akceptacja R nastąpi, gdy zostanie znaleziona pierwsza liczba spełniająca Q . Jednak odrzucenie R można oznajmić dopiero wtedy, gdy Q zostanie negatywnie zweryfikowana dla wszystkich liczb naturalnych. Podobnie, aby sprawdzić relację R z poziomu Π_1 należy znaleźć świadka niespełniania Q lub zweryfikować pozytywnie wszystkie liczb naturalne jako spełniające Q . Na wyższych poziomach pojawiają się kolejne kwantyfikatory, których nakładanie potęguje użycie nieskończonej liczby kroków: dla poziomu drugiego nieskończoną liczbę razy trzeba wykonać nieskończoną liczbę kroków obliczeniowych (dla Σ_n i Π_n proces ponawiania nieskończonej liczby kroków powtarza się n -krotnie). Część wspólną poziomów Σ_n i Π_n oznaczamy jako Δ_n , zaś sumę wszystkich rodzin relacji w hierarchii arytmetycznej jako Δ_ω .

Jak widać, im wyżej pewna relacja znajduje się w w hierarchii arytmetycznej, tym większa liczba procesów nieskończonych jest konieczna do rozstrzygnięcia jej spełniania dla zadanych argumentów. Co istotne hierarchia arytmetyczna związana jest z maszynami Turinga z wyroczniami. Okazuje się, że relacja jest na poziomie Δ_{n+1} wtedy i tylko wtedy, gdy da się ona rozstrzygnąć przez maszynę o wyroczni $\emptyset^{(n)}$ (gdzie $\emptyset^{(n)}$ jest zbiorem skonstruowa-

nym w wyniku n -krotnej aplikacji operacji skoku – tj. szczególnego rodzaju wzmocnieniem zbioru rozwiązującego problem stopu). Jak widać, wyrocznie dające maszynom Turinga rzeczywiste wzmocnienie mocy obliczeniowej wnoszą równocześnie pewien potencjał nieskończonych obliczeń.

W tych miejscach tabeli, w których pojawiają się napisy Σ_1^1 , Π_1^1 , Δ_2^1 mamy do czynienia z odwołaniami do hierarchii analitycznej. W tym przypadku w definicjach relacji dopuszczone są kwantyfikatory ze zmiennymi reprezentującymi zbiory (inaczej niż w przypadku hierarchii arytmetycznej, gdzie kwantyfikatory dotyczyły wyłącznie liczb). Cała hierarchia arytmetyczna jest zawarta w podstawowym poziomie hierarchii analitycznej, a stopień uwikłania procesów nieskończonych w problemy zawarte w kolejnych piętrach hierarchii analitycznej jest proporcjonalnie jeszcze większy.

Wypada jeszcze zwrócić uwagę na klasę P/poly. Jest ona zdefiniowana jako klasa problemów, które mogą być rozwiązane przez zwykłą maszynę Turinga o wielomianowej złożoności czasowej, która może korzystać z ciągu wskazówek o rozmiarze wielomianowo zależnym od wielkości danych. Co jest jednak kluczowe to fakt, iż ciąg wskazówek jest niejednorodny – to znaczy nie istnieje zuniformizowana obliczeniowo metoda ich wyznaczania. Innymi słowy, ponownie pojawia się zasób o charakterze nieskończonym jako istotny komponent hiperobliczeń.

Mark Burgin, który sam stworzył kilka alternatywnych koncepcji rozszerzających pojęcie obliczalności, jest całkowicie przekonany o konieczności wyjścia poza model obliczalności stworzony przez Turinga (i modeli równoważnych). Wylicza następujące kierunki, w których rozwija się hiperobliczalność:²⁴

A. Modele Algorytmiczne:

1. Limiting recursive functions (Gold, 1965; Putnam, 1965)
2. Inductive inference (Gold, 1967; Blum i Blum, 1975)
3. Inductive centralized computations (Freuvald, 1974; Burgin, 1983; Burgin, 1987; Burgin, 1999)
4. Inductive net computations (Garson and Franklin, 1989; Garson, Franklin, Bagget, Boyd i Dickerson, 1992)
5. Topological computations (Burgin, 1983, 1992; Pour-El i Richards, 1989)
6. Fuzzy computations (Zadeh, 1969; Wiedermann, 2000)
7. Interactive and concurrent computations (Milner, 1973, 1980; Milne, 1985; Hoare, 1985; Wegner, 1995)

²⁴ Obok nazwisk twórców odpowiedniej koncepcji wskazany jest rok jej powstania. Dokładniejsze i krytyczne omówienie koncepcji Burgina zostanie zaprezentowane w dalszej części pracy ([2], s. 122).

B. Modele Semialgorytmiczne:

1. Computations with an oracle (Turing, 1939)
2. Infinite precision net computations (Pollack, 1987; Hartley i Szu, 1987; Siegelman i Sontag, 1991)
3. Recursion theory on real numbers (Abramson, 1971; Blum, Shub i Smale, 1989; Moore, 1996)
4. Analogue computations (Shannon, 1941; Scarpellini, 1963; Moore, 1996)
5. Infinite time Turing machines (Hamkins i Lewis, 2000; Welch, 2000)
6. Trans-recursive operators (Burgin i Borodyanskii, 1992)
7. Dynamical system and field computations (Mesarovic i Takahara, 1975; MacLennan, 1990; da Costa i Doria, 1996; Bournez, 1999)
8. Fixed point models (Scott, 1971; Manna i Vuillemin, 1972; Abramsky i Jung, 1994; Edalat, 1997; Edalat i Sünderhauf, 1998)

C. Modele Abstrakcyjne:

1. α -recursion or recursion on ordinals (Takeuti, 1960; Machover, 1961; Levy, 1963; Wainer, 1972)
2. Generalized computability (Moschovakis, 1969; Skordev, 1976; Tucker i Zucker, 1988, 2002)
3. Recursion in higher types (Kleene, 1959; Kleene, 1963)
4. Induction in abstract structures (Moschovakis, 1974)
5. Computations in categories (Riguet, 1965; Adamék, 1974; Arbib i Manes, 1974; Trnková, 1974)

4. Wskazane powyżej modele hiperobliczalności można próbować uporządkować na podstawie różnych kryteriów. Powyżej przytoczyliśmy propozycję takiej klasyfikacji, jaką sporządził Mark Burgin. Na podstawie analizy różnych modeli procesów hiperobliczalnych (wśród których szczególną rolę pełnią indukcyjne maszyny Turinga) Burgin (cf. [1]) wnioskuje, że w świetle osiągnięć hiperobliczalności teza Churcha może zostać uznana za obaloną.

Jednak wydaje się, że argumenty Burgina nie dają podstawy do tak mocnych stwierdzeń. Burgin mocno podkreśla nowe perspektywy stwarzane przez hiperobliczenia oraz konieczność dogonienia przez praktykę informatyczną nowych teorii obliczalności. Ten sposób myślenia zdaje się całkowicie pomijać jeden z istotnych aspektów TC: określenie relacji pomiędzy praktycznymi a teoretycznymi możliwościami funkcji obliczalnych. Nic nie wskazuje na to, aby można było bezkrytycznie każdą konstruktywną teorię matematyczną uznać za w pełni aplikowalną w praktyce. I dlatego istotne jest pytanie, które z pojęć matematycznych odpowiadają praktycznie użytecznym mecha-

nizmom. Teza Churcha udziela na to pytanie pewnej odpowiedzi osadzonej w wieloletniej praktyce oraz teoretycznej refleksji. Dlatego propozycje alternatywne nie powinny opierać się na czystych deklaracjach i na bezkrytycznym optymizmie, ale posiadać weryfikowalne uzasadnienia.

Mark Burgin przedstawia następującą argumentację krytykującą dotychczasowe modele obliczeń. Otóż do niedawna dominujące modele opierały się na systemach zamkniętych (bez możliwości interakcji), pracujących w skończonym czasie na sposób sekwencyjny. Tymczasem dzisiejsza rzeczywistość pokazuje nam aplikacje informatyczne działające cyklicznie, współdziałające z otoczeniem i wykorzystujące mechanizmy równoległości. Dlatego – zdaniem Burgina – należałoby wprowadzić nową teorię dostosowaną do zmodyfikowanej praktyki wykorzystując teorię hiperobliczeń i stosując ją do nowych jakościowo rozwiązań.

Problem z tego rodzaju argumentem polega na tym, że ignoruje on różnicę pomiędzy: a) (nie)zgodnością różnych szczegółów modeli obliczeniowych ze strukturą praktycznie działających systemów komputerowych oraz b) relacją mocy obliczeniowej tych modeli w stosunku do możliwości przywołanych systemów informatycznych. To prawda, że zwykła maszyna Turinga nie jest czytelnym modelem współczesnych komputerów. Wskutek tego proponowanych jest wiele innych modeli procesów obliczeniowych. Jednak nie zmienia to faktu, że jak dotąd przy teoretycznym modelowaniu komputerów nikt nie był w stanie wskazać urządzenia, którego *moc* obliczeniowa przekraczałaby bariery wbudowane w maszynę Turinga. Tak więc, chociaż kształt modeli bywa nieadekwatny do współczesnych urządzeń obliczeniowych, to ich siła przetwarzania jest ta sama.

Burgin próbuje przełamać te zastrzeżenia wskazując na to, że hiperobliczalne procesy wykraczają poza schematy klasycznej algorytmiki. Jako elementy, które wprowadzają tą nową jakość wymienia on następujące czynniki:

- 1) interakcję procesów obliczeniowych;
- 2) użyteczność obliczeń nieskończonych.

Rozpatrzmy te oba punkty zarówno ze strony teorii jak i praktyki.

Interakcja nie jest zupełnie nowym odkryciem teorii informatyki. Już maszyny Turinga z wyrocznią można uznać za modelowanie podawania dodatkowych informacji w toku obliczeń z zewnętrznego źródła. Podobnie sieci Petriego czy interaktywne systemy dowodowe („Interactive Proof Systems”) są teoretycznymi opisami procesów rozproszonych i interaktywnie komunikujących się ze sobą (pamiętajmy, że jeśli interakcja systemu z zewnętrznym środowiskiem daje hiperobliczalne efekty, to ich źródło mieści się poza ana-

lizowanym systemem). Żadne z tych modeli – istotnych w punktu widzenia złożoności obliczeniowej – nie prowadzą do wzmocnienia siły obliczeniowej. Nieskończony proces polegający na cyklicznym ponawianiu pewnych obliczeń z wyrzucaniem wyników częściowych jest znany tak dawno jak programowanie. Łatwo uzyskać jego symulację na zwykłej maszynie Turinga.

W obu przypadkach problem polega na tym, że jeżeli pozostajemy – czy używając cykliczności czy interakcji – w obrębie klasycznych urządzeń liczących uzyskamy wyniki mieszczące się w klasycznej teorii obliczeń. Aby przełamać barierę hiperobliczeń potrzebny jest jakiś komponent systemu (pewien supermechanizm), który sam w sobie przekracza granice zwykłej obliczalności. Okazuje się więc, że to nie interakcja czy nieskończona pętla wprowadzają nową jakość, ale ukryta w tle funkcja nieobliczalna. W ten sposób zamiast nowych rozwiązań otrzymujemy po prostu postulat możliwości wykorzystania w algorytmach procesów nieobliczalnych.

Z punktu widzenia praktyki opisy Burgina nie dają dostatecznego wyjaśnienia w jaki sposób można by wyciągnąć w skończonym czasie informację zależną od całości przebiegu nieskończonego procesu. Podajmy dla ilustracji intuicyjny przekład jego rozwiązania problemu stopu:

- wyświetl na początku działania na monitorze komunikat „testowany program dla zadanych danych nie zatrzymał się”;
- następnie uruchom testowany program dla zadanych danych i gdyby doszło do zakończenia jego pracy wyświetl komunikat „testowany program dla zadanych danych zatrzymał się”.

Ten prosty przykład ma prezentować możliwość uzyskania w skończonym czasie odpowiedzi dotyczącej nieskończonego procesu. Jednak wyraźnie widać, że komunikat negatywny nie jest rzeczywistym wynikiem, ponieważ może on ulec modyfikacji. Tego typu maszyny mogłyby być użyteczne tylko wtedy, gdyby w jakiś sposób wypisanie negatywnego komunikatu gwarantowało jego ostateczność – co jednak jest możliwe tylko po wykonaniu nieskończonej liczby kroków. W obecnej formie propozycja Burgina po prostu miesza rolę tymczasowego założenia z ostatecznym wynikiem procesu.

Powracając do ogólniejszej perspektywy można dostrzec, że Burgin prezentuje pewien wariant Hilbertowskiego optymizmu badawczego, którego hasłem mogłaby być słynna maksyma „Wir müssen wissen. Wir werden wissen”. Jednak odpowiedź na kluczowe pytanie: „czy praktyka informatyczna w ogóle może zrealizować teorię obliczeń?” musi mieć silniejsze uzasadnienie niż wiara w nieograniczony postęp.

Analizy dokonane przez Burgina nie eliminują w rozwiązywaniu problemów nieobliczalnych realnego wykorzystywania zasobów nieskończonych. W ten sposób powracamy do pytania o to, czy praktyka może w ogóle w skończony sposób wykorzystywać procesy istotnie nieskończone? Teza Churcha mówi, że to nie jest możliwe, bo pojęcie „efektywność” zawiera w sobie wymaganie wykorzystywania realistycznych zasobów (czasu, pamięci, itp), w odróżnieniu od dopuszczenia nieskończonych mocy do obliczeń. Burgin, nie zwracając na to uwagi, sugeruje podjęcie działań inżynierskich mimo braku wyjaśnienia, na jakich zasadach miałyby się one opierać. Można się zastanawiać, na ile jego program nie jest propozycją konstrukcji informatycznego perpetuum mobile.

Warto przy okazji dodać, iż Burgin (por. [2], s. 27) charakteryzując pojęcie algorytmu uważa, że „[r]eguly tworzące algorytm są jednoznaczne, proste do wykonania (realizacji) i mają proste, skończone opisy”. To sformułowanie pojęcia efektywności, jako cechy bycia prostym do realizacji, jest raczej dość nietypowe. Jeśli odniesiemy je do funkcji to wtedy musielibyśmy mówić o funkcjach efektywnie obliczalnych, jako takich, których obliczenia są *łatwe do wykonania*, co wydaje się niezgodne z zamierzonym znaczeniem terminu.

Powracającym wątkiem analiz hiperobliczalności jest wykorzystanie (jawne lub ukryte) nieskończonych zasobów pewnego rodzaju do przełamaniu bariery nieobliczalności. Warto w tym kontekście przypomnieć Lemat Shoenfielda, który mówi, że relacja jest stopnia Δ_2 wtedy i tylko wtedy, gdy jest granicą ciągu relacji rekurencyjnych. Ten znany wynik umacnia przekonanie, że aby uzyskać funkcję o mocy obliczeniowej przerastającej funkcje częściowo rekurencyjne (stopnia Δ_2 lub wyższego) trzeba użyć całego nieskończonego ciągu wartości. Ich implementacja oznaczałaby, że można aktualną nieskończoność uchwycić poprzez mechanizmy fizyczne działające przy skończonych zasobach.

Teza Churcha w gruncie rzeczy mówi, że uzyskanie nierekurencyjnego obliczenia jest możliwe tylko wtedy, gdy zrezygnujemy z wymogu efektywności (czyli także z wymogu skończonych zasobów). W ten sposób można uznać, że Teza Churcha implikuje przekonanie, że w świecie fizyki nie jest możliwe skuteczne uzyskanie wyniku zależnego od istotnie nieskończonego procesu przy wykorzystaniu tylko skończonych zasobów (której elementy nie posiadają istotnie nieskończonej charakterystyki). Większość propozycji zwolenników hiperobliczeń, jak na razie nie wyjaśnia w jaki sposób można by w praktyce przełamać barierę nieskończoności, tzn. gdzie można znaleźć w fizyce możliwe do wykorzystania mechanizmy, które zaimplementują nieskończone

i nierekurencyjne procesy. To pokazuje, że nie zaistniał jak na razie żaden fakt, który falsyfikowałby Tezę Churcha, a jej rola w określaniu ograniczeń możliwości obliczeń jest wciąż fundamentalna.

5. Jak można zauważyć na podstawie skrótowego omówienia różnych sposobów dokonywania hiperobliczeń, te poszukiwania (badania) mają pewne wspólne, poniżej opisane cechy.

A. Dotyczą one głównie tezy Turinga (TT), a nie tezy Churcha (TC)²⁵. Jak już wcześniej wskazano, rozróżniamy te dwie tezy, choć są równoważne. Istotną różnicą jest to, że TT odnosi się (niemal bezpośrednio) do obliczeń maszynowych, mechanicznych²⁶, czyli dotyczy *Machine Variant* Kreisla, podczas gdy TC dotyczy *Human Variant*, czyli obliczalności przez (umysł) Człowieka, pojmowanego gatunkowo.

B. Badania nad hiperobliczalnością idą głównie w dwóch kierunkach.

b1) Z jednej strony mamy manipulowanie pojęciem maszyny Turinga, czyli refleksję nad formalną stroną TT. Ta manipulacja ma również różne postaci: (b1.1) może dotyczyć samego programu MT; (b1.2) może dotyczyć wykorzystywanych czy dołączanych zasobów MT;

b2) Z drugiej strony mamy odmienne sprecyzowanie części intuicyjnej TT, co w istocie skutkuje sformułowaniem nowej, innej tezy, i uznania TT za fałszywą.

C. Wzorując się na uwadze Kreisla odnośnie do TC, można powiedzieć w przypadku hiperobliczalności o występowaniu *błędu systemowego*. Polega on na tym, że dla uzyskania hiperobliczalności, w znakomitej liczbie prac, krytykuje się pojęcie obliczalności zawarte w sformułowaniach TC i TT i się je próbuje rozszerzyć²⁷. Nie jest żadnym problemem przeniesienie terminu *obliczalność* na pewne inne procesy przekraczające w jakiś sposób MT (podobnie jak nie ma problemu z użyciem terminu *liczba*, w odniesieniu do liczb zespolonych, porządkowych, kardynalnych czy kwaternionów²⁸).

²⁵ To są dwie różne wersje, w odróżnieniu od wariantów. Wersje różnią się prawą stroną, zaś warianty lewą stroną 'identyczności' będącej tezą.

²⁶ Podobnie uważał Kurt Gödel.

²⁷ Niektórzy uważają, że mamy tu do czynienia z rozszerzeniem, ale są i tacy, którzy uważają, że w istocie pierwotna jest hiperobliczalność, natomiast Turing-obliczalność jest jej wyidealizowanym, granicznym przypadkiem (por. [18], s. 5).

²⁸ Choć niektórzy takie problemy podnosili.

Należy jednak zauważyć, że twórcy hiperobliczalności zapominają, że w TC jest mowa o *efektywnej obliczalności*, a nie o samej obliczalności. W skrócie można powiedzieć następująco: hiperobliczalność jest obliczalnością w sensie szerszym, ale hiperobliczalność nie jest efektywną obliczalnością.

Przeanalizujmy więc nieco bliżej problem efektywności. Zwrot „funkcja efektywnie obliczalna” można przedstawić jako $EO(f)$ używając przy tym skrótów: E – efektywnie; O – obliczalna oraz f – funkcja w liczbach naturalnych. Wydać by się mogło, że zachodzi: $EO(f) \leftrightarrow (E \& O)(f) \leftrightarrow E(f) \& O(f)$. Gdyby tak było, to $EO(f) \rightarrow E(f)$, a tak w ogólnym przypadku być nie musi. Argument za odrzuceniem powyższej implikacji pochodzi z analizy językowej. Słowo *efektywny(a)*, jest kalką z języka angielskiego stosowaną przez wielu polskich autorów jako odpowiednik użytego przez Churcha słowa „*effective*”. Wydaje się, że w języku polskim należy go przetłumaczyć inaczej. W nawiązaniu do słownika Webstera²⁹: *efektywny* znaczy *wytworzony (gotowy), określony, ostateczny i zamierzony (skutek)*³⁰. Przy takim rozumieniu terminu rozważana implikacja $EO(f) \rightarrow E(f)$, stanie się fałszywa, gdy za funkcję f przyjmiemy funkcję Ackermanna. Funkcja ta jest funkcją rekurencyjną i formalnie mieści się w klasie funkcji uważanych za efektywnie obliczalne. Jednak funkcja Ackermanniana nie jest praktycznie efektywna z powodu tempa wzrostu wartości, które uniemożliwia skuteczne obliczenia już dla stosunkowo niedużych argumentów (dwucyfrowych).

Z powyższego przykładu wynika, że $EO(f)$ należy rozumieć jako: $(O[E])(f)$, gdzie E jest modyfikatorem predykatu O. Możemy stąd wyciągnąć wniosek, że w większości przypadków hiperobliczalność jest formą obliczalności (jest $O[X]$), natomiast nie spełnia ona warunku efektywności: $X \neq E$. To właśnie bowiem obliczalność ma być efektywna, a nie funkcja wspomniana w sformułowaniu TC.

²⁹ Słownik języka angielskiego Merriam-Webstera (on-line) podaje jako określenie dla – *effect* – (pozostawiamy tylko określenia ważne dla naszych rozważań): 1. **a change that results when something is done or happens**; 2. **an event, condition, or state of affairs that is produced by a cause**; 3. a particular feeling or mood created by something; 4. an image or a sound that is created in television, radio, or movies to imitate something real.

³⁰ Słownik języka angielskiego on-line Merriam-Webstera podaje jako określenie dla – *effective* – (pozostawiamy tylko określenia ważne dla naszych rozważań): 1. **producing a result that is wanted**; 2. having an intended effect of a law, rule, etc.; 3. in use; 4. starting at a particular time. Pełniejsza definicja dla – *effective* (pierwsze znane użycie pochodzi z XIV wieku): 1. **producing a decided, decisive, or desired effect** <an *effective* policy>; 3. ready for service or action <*effective* manpower>; 4. actual <the need to increase *effective* demand for goods>; 5. being in effect: operative <the tax becomes *effective* next year>.

D. Całkiem na koniec warto zauważyć, że Mike Stannett (por. [17]) podał pewien argument za tym, iż hiperobliczalność nie jest eksperymentalnie odrzucalna, a zatem nie jest falsyfikowalna. Używając kryterium naukowości teorii w wersji Poppera, należałoby uznać teorię hiperobliczalności za nienaukową, co w pewnym sensie jest zgodne z poglądem M. Davisa [6]. Nie ma tutaj miejsca na analizę stanowiska Stannetta, ale nie można go zlekceważyć.

Krótko podsumowując można zauważyć, że program badawczy hiperobliczalności nie unieważnia problemów poruszanych przez TC. Wydaje się zatem, wbrew pochopnej oraz pesymistycznej diagnozie Burgina o ‘upadku’ tezy Churcha, że ma się ona całkiem dobrze i w sposób czytelny wyznacza granice tego, co umysł *Homo Sapiens* może efektywnie obliczyć.

BIBLIOGRAFIA

1. Burgin Mark, *The Rise and Fall of Church-Turing Thesis*, draft.
2. Burgin Mark, *Super-Recursive Algorithms*, Springer 2005.
3. Copeland Jack, Shagrir Oron, *Physical Computation: How General are Gandy's Principles for Mechanism?*, **Minds and Machines**, 17 (2007), 217–231.
4. Copeland Jack, Sylvan Richard, *Beyond the Universal Turing Machine*, draft.
5. Davis Martin, *The myth of Hypercomputation*, draft, 1–39.
6. Davis Martin, *Why there is no such discipline as hypercomputation*, **Applied Mathematics and Computation**, 178 (2006) 4–7.
7. Harel David, „Rzecz o istocie informatyki. Algorytmika”, WNT 2000.
8. Hewitt Carl, *What is Computation? Actor Model versus Turing's Model*, draft.
9. MacLennan Bruce J., *Natural computation and non-Turing models of computation*, **Theoretical Computer Science**, 317 (2004), 115–145.
10. Murawski Roman (red.), „Filozofia informatyki”, Wydawnictwo Naukowe UAM 2014.
11. Odifreddi P., *Classical Recursion Theory*, vol. 1, North-Holland Publishing Company, 1989.
12. Ord Toby, *Hypercomputation: computing more than the Turing machine*, draft.
13. Ord Toby, *The many forms of hypercomputation*, **Applied Mathematics and Computation**, 178 (2006), 143–153.
14. Shagrir Oron, Pitowsky Itamar, *Physical Hypercomputation and the Church–Turing Thesis*, **Minds and Machines**, 13 (2003), 87–101.
15. Shagrir Oron, *Super-tasks, accelerating Turing machines and uncomputability*, **Theoretical Computer Science**, 317 (2004), 105–114.
16. Spaan E., Torenvliet L., van Emde Boas P., *Nondeterminism, Fairness and a Fundamental Analogy*, **EATCS bulletin**, 37 (1989), 186–193.
17. Stannett Mike, *Hypercomputation is Experimentally Irrefutable*, 2001, draft.
18. Stannett Mike, *The case for hypercomputation*, **Applied Mathematics and Computation**, 178 (2006) 8–24.
19. Zenil Hector, *Introducing the Computable Universe* [w:] „A Computable Universe. Understanding and Exploring Nature as Computation.” (ed.) Hector Zenil, 2012.

Is Church's Thesis still of any importance for computer science?

A b s t r a c t

The article deals with the analysis of the role of Church's Thesis in the context of research devoted to different kinds of hypercomputation. The text begins with presenting a few views on the nature of computer science and the limitations of its methods. Then Church's Thesis is discussed with a special emphasis on its importance in determining the limits of the algorithmic methods. The paper proceeds to characterize the various proposals of hypercomputation situating them on levels of the arithmetical hierarchy.

The leading theme of the article is a pursuit of clarification of the relationship between the content of the Church's Thesis and theories of hypercomputation. In the main part of the paper some arguments (written from the standpoint of hypercomputation) for the abolition of Church's Thesis are presented and confronted with critique of these views. The importance of the condition of effectiveness in the formulation of Thesis is highlighted during this analysis. The discussion concludes with a summary, in which the current status of Church's Thesis is defended and its significance as a reference point to determine what is effective computability is stressed.

Rozdział 4

Życie – informacja – ewolucja. Wokół metabiologii Gregory Chaitina

Radosław Siedliński

Polsko-Japońska Akademia Technik Komputerowych w Warszawie

Streszczenie. Artykuł zawiera prezentację oraz dyskusję podstawowych założeń oraz wyników tzw. metabiologii autorstwa G. Chaitina. Pokazuje dlaczego metabiologii nie udaje się zrealizować stawianego przed nią celu, jakim jest bycie adekwatnym modelem matematycznym ewolucji darwiniowskiej. Ze względu na zredukowanie obszaru informacji biologicznej do informacji genetycznej (zapisanej w DNA) oraz inne dalece posunięte uproszczenia, metabiologia nie jest użytecznym narzędziem pracy dla biologów będąc raczej wynikiem filozoficznie ugruntowanego światopoglądu jej twórcy.

Słowa kluczowe: Gregory Chaitin, ewolucja, metabiologia, genocentryzm, informacja biologiczna, maszyna Turinga, przetwarzanie informacji, filozofia biologii, Pracowity Bóbr, światopogląd informatyczny

W roku 2007 nakładem wydawnictwa World Scientific z Singapuru ukazał się zbiorowy tom zatytułowany *Randomness & Complexity: from Leibniz to Chaitin* zawierający prace ofiarowane Gregory Chaitinowi z okazji jego sześćdziesiątych urodzin. Wieńczący go esej autorstwa samego Chaitina zawiera na końcu listę siedmiu problemów, z którymi warto się, zdaniem ówczesnego jubilata, zmierzyć w przyszłości. Pierwsze dwa problemy, oznaczone na owej liście jako „trudne”, brzmią następująco:

- *Rozwinąć model matematyki, który jest biologiczny, to znaczy ewoluuje i rozwija się, jest dynamiczny, nie statyczny. Być może [mógłby to być] formalny system aksjomatyczny zależny od czasu [a time dependent formal axiomatic system]?*
- *Zrozumieć kreatywność w matematyce – skąd biorą się nowe idee? Podobnie w biologii – jak powstają nowe, bardziej złożone organizmy? Być*

może model życia-jako-ewoluującego-oprogramowania [life-as-evolving-software model] jest wart uwagi? (Chaitin, 2007, 440).

Przytaczam oba fragmenty, gdyż prezentują one załączki idei, które legły u podstaw projektu metabiologii rozwijanego przez Gregory Chaitina w szeregu artykułów publikowanych przezeń w następnych kilku latach i podsumowanych zbiorczym tomem jego autorstwa pt. *Proving Darwin* wydanym drukiem w roku 2012. Matematyka istniejąca *more biológico*, stosunek kreatywności matematycznej do biologicznej, życie rozumiane jako ewoluujące oprogramowanie – wszystkie te problemy i koncepcje są ważnymi elementami metabiologii i jako takie zostaną poruszone w niniejszym artykule.

Metabiologia, którą mamy się tu zająć to twór wieloraki. Z jednej strony jest ciekawą próbą stworzenia matematycznie precyzyjnej postaci teorii ewolucji w drodze doboru naturalnego. Z innej jest pionierską próbą rozszerzenia granic stosowalności pojęcia życia na obszary, w których wcześniej nikomu nie przyszło do głowy go szukać. Jest także próbą ukazania ukrytych podobieństw między nieskończonym bogactwem świata czystej matematyki a zadziwiającą różnorodnością i kreatywnością form świata ożywionego. Jako całość jest wreszcie wyrazem niezachwianej wiary jej autora, jednego z najwybitniejszych matematyków współczesnych, w siłę eksplanacyjną nowoczesnej („postgödlowskiej”, jak mawia Chaitin) matematyki.

Artykuł niniejszy ma za zadanie przybliżyć czytelnikowi główne idee metabiologii (pomijając aparaturę formalną i szczegóły techniczne, które znaleźć można w oryginalnych pracach Chaitina), a następnie przedstawić ich krytyczne omówienie. Cel ów zrealizowany zostanie w trzech kolejnych podrozdziałach. W pierwszym z nich ustalę, czym jest metabiologia, jakie motywy stały za jej powstaniem oraz jakie cele stawia przed nią jej twórca; prezentuję w nim także aparat pojęciowy oraz matematyczny rdzeń koncepcji Gregory Chaitina. W rozdziale drugim przedstawiam te założenia oraz wyniki metabiologii, które uznane zostały przez recenzentów i krytyków za problematyczne (z punktu widzenia informatyki oraz biologii). Rozdział ostatni i najobszerniejszy zawiera natomiast dyskusję tego, co uważam za najciekawszą, a jednocześnie najbardziej dyskredytującą cechę metabiologii: jej skoncentrowanie na genetycznie interpretowanej informacji biologicznej – którą opatruję mianem genocentrycznego informacjonizmu.

Pomysły Chaitina omawiam opierając się zarówno na tekstach rozproszonych, publikowanych w rozmaitych periodykach oraz tomach zbiorowych, jak i na tych, które włączył on do tomu *Proving Darwin*. Książkę tę uznać zresztą

należy za autorską próbę zarówno podsumowania jak i spopularyzowania metabiologii. Z tego powodu w niniejszym artykule stosunkowo często powołuję się właśnie na teksty w niej zawarte. Podczas pisania artykułu dysponowałem wyłącznie egzemplarzem cyfrowym tej pozycji. Jego paginacja różni się od tej, która widnieje w wersji papierowej. Nie chcąc wprowadzać czytelnika w błąd, kiedy odwołuję się do konkretnych miejsc i cytatów we wspomnianej publikacji, nie podaję numeru strony, lecz wyłącznie tytuł rozdziału. Zatem na przykład zapis „(PD, 2)” oznacza, że dany fragment odwołuje się do treści zawartych w drugim rozdziale *Proving Darwin* (analogicznie: zapis „(PD, 2, 5)” odnosi do rozdziału drugiego oraz piątego). Ponieważ książka Chaitina liczy zaledwie 123 strony, odszukanie odnośnych fragmentów nie powinno nastreczyć czytelnikowi większych trudności. Pojawiające się w kilku miejscach (PD, Pref.) oznacza przedmowę do *Proving Darwin*.

4.1. Prezentacja metabiologii

4.1.1 Punkt wyjścia

Od wielu lat uważam, że brak [formalnego] dowodu działania darwinowskiej ewolucji jest matematycznym skandalem (PD, 5). Takimi słowy Gregory Chaitin rozpoczął odczyt, który wygłosił w Santa Fe Institute, 10 stycznia 2011 roku. Zważywszy na fakt, że ich autor jest matematykiem i teoretykiem informatyki, nie powinna nas dziwić taka ocena sytuacji. Należałoby jednak zapytać: co dokładnie ma na myśli Chaitin, gdy mówi o „dowodzie na działanie ewolucji”? Rozważmy zatem kolejny cytat: *Jeżeli darwinowska teoria ewolucji jest tak fundamentalna, jak utrzymują biolodzy, to powinna istnieć abstrakcyjna teoria matematyczna uchwytyująca jej istotę* (PD, 2). Okazuje się zatem, że Chaitin ma na myśli brak matematycznie zaawansowanej teorii, która formalizowałaby centralne pojęcia teorii ewolucji w drodze doboru naturalnego oraz opisywane przez nią mechanizmy zmian ewolucyjnych. Jego autorski projekt metabiologii ma być zaś próbą uzupełnienia owej skandalicznej luki we współczesnej nauce. Motywacja taka zbliża propozycję Chaitina do uprzednio podejmowanych prób formalizowania teorii ewolucji. Wśród nich pionierską była genetyka populacyjna (R.A. Fisher, S. Wright), po której nastąpiły rozmaite próby kolejne odwołujące się m.in. do teorii procesów

stochastycznych (M. Kimura) oraz teorii gier (R. Trivers, J. Maynard Smith). Niestety, pomimo niepodważalnych zalet i użyteczności żadna z nich nie jest oczekiwaną matematyczną teorią ewolucji *par excellence*; wszystkie je należy uznać za próby jedynie częściowe. Jesteśmy wobec tego zmuszeni przyznać, że póki co nauka nie wypracowała spójnego matematycznego języka, za pomocą którego można by opisywać procesy ewolucji (Kozłowski, 2011, 75).

Wróćmy jeszcze do ostatniego cytatu z Chaitina. Zawarta w nim implikacja przyjmowana jest przezeń jako prawdziwa w oczywisty sposób, bez konieczności jakiegokolwiek jej uzasadnienia (jedynym wsparciem dla niej jest powołanie się na dykteryjkę o Kurcie Gödelu, który wyznać miał niegdyś, iż nie wierzy w odkrycia nauk empirycznych, lecz jedynie w prawdy aprioryczne). O tym, że nie jest to bynajmniej stanowisko odosobnione, zaś pytanie o matematyzowalność teorii ewolucji darwinowskiej jest uznawane za ważne również przez biologów, świadczyć może choćby następujący fragment: *Pytanie o możliwość matematyzacji teorii ewolucji jest ważne. Gdyby nie dało się jej zmatematyzować, oznaczałoby to, że w gruncie rzeczy nie jest ona prawdziwą teorią, a raczej, używając sformułowania Ernsta Rutherforda, zbieraniem znaczków pocztowych. Wskazywać by to mogło na to, że albo teoria zawiera wewnętrzne sprzeczności, albo jest luźną opowieścią o świecie zawierającą elementy mitów, bez ambicji bycia teorią naukową zbliżającą się do wytworów nauk humanistycznych* (Kozłowski, 2011, 76). Oba powyższe cytaty znakomicie oddają naturalne nastawienie dużej części przedstawicieli współczesnej nauki (rozumianej jako anglosaska *science*). Wiedza, która nie da się należycie zmatematyzować, nie zasługuje w ostateczności na miano prawdziwej, lub też, ujmując rzecz od nieco innej strony, ostatecznym probierzem doniosłości i prawdziwości twierdzeń naukowych jest ich podatność na matematyzowalność.

Mimo podjęcia wielu rozmaitych prób uczynienia teorii ewolucji darwinowskiej teorią ścisłą i matematycznie zaawansowaną wciąż *nie można jednak wykluczyć, że teoria ewolucji nie będzie w sposób jednorodny zmatematyzowana, ale będzie podobnie jak w chwili obecnej posługiwać się „modelikami” tworzonymi ad hoc dla rozwiązywania konkretnych zagadnień* (Kozłowski, 2011, 76). Właśnie taka perspektywa zdała się Gregory Chaitinowi skandaliczną oraz godną ubolewania. Dla jej usunięcia podjął się skonstruowania spójnego modelu matematycznego, który nazwał metabiologią. Chcąc zbudować taki model, za celowe uznał użycie narzędzi matematyki dyskretniej: *Ażeby zrozumieć biologię potrzebujemy postmodernistycznej, dyskretniej, algorytmicznej matematyki, nie newtonowskich równań różniczkowych, nie analizy, nie starej matematyki* (PD, 3). Owa „matematyka postmodernistyczna” to matematyka

uprawiana po przełomowych osiągnięciach Gödela i Turinga, świadoma niemożności własnego ufundowania w ostatecznym systemie aksjomatycznym, zawierająca nieskończoną hierarchię prawd, z których każda kolejna otwiera perspektywę wiodącą ku następnej. Taką matematykę Chaitin uznaje za najwłaściwszą dla podjęcia próby skonstruowania długo oczekiwanej precyzyjnej i sformalizowanej teorii ewolucji w drodze doboru naturalnego.

4.1.2. Czym jest metabiologia?

Odpowiedź Chaitina jest krótka i treściwa: jest to *dziedzina paralelna wobec biologii i zajmująca się badaniem losowej ewolucji sztucznego oprogramowania (programów komputerowych) w miejsce badania oprogramowania naturalnego (DNA)*. (PD, Pref.). W szeregu tekstów publikowanych między 2009 a 2012 rokiem Chaitin podaje zbliżone definicje, czy raczej przybliżenia, pojęcia metabiologii. *Zamiast badać losowo ewoluujące oprogramowanie naturalne, DNA, rozwijamy równoległą [wobec biologii] teorię losowo ewoluującego oprogramowania sztucznego, losowo ewoluujących programów komputerowych. Tym właśnie zajmuje się metabiologia*. (PD, 2). Zwróćmy jednocześnie uwagę, że tym, co stara się osiągnąć Chaitin, nie jest tworzenie konkretnych symulacji komputerowych i badanie ich funkcjonowania. Perspektywa zakorzenienia metabiologii *in silico*, aczkolwiek niewykluczona, jest przez jej twórcę odłożona w czasie. Podstawowym celem Chaitina nie jest bowiem uprawianie symulacji, lecz budowa teorii.¹ To właśnie odróżnia metabiologię od aplikacyjnego ze swej natury obszaru badań nad Sztucznym Życiem (*Artificial Life*) zbliżając ją do czystej matematyki.

4.1.3. Co jest celem metabiologii?

Odpowiedź pozornie jest prosta: stworzyć maksymalnie ogólny matematyczny model procesów ewolucji, tzn. skonstruować możliwie najprostszy system, w którym da się wyrazić kluczowe pojęcia oraz mechanizmy teorii ewolucji

¹ Nieprzypadkowo zapewne książkę Chaitina otwiera krótki esej matematyka Gian-Carlo Roty zatytułowany *Problem Solvers and Theorizers*, będący pochwałą pewnego typu matematyków, których opatruje on mianem „teoretyków”. Dla nich bowiem *najwyższym osiągnięciem matematyki jest teoria rozjaśniająca jakiś nieprzenikniony problem*. Można domniemywać, że sam Chaitin uważa się w głębi duszy za tak rozumianego teoretyka.

w drodze doboru naturalnego (PD, 5). System ów to właśnie metabiologia, a dokładniej będący jej rdzeniem poszukiwany model matematyczny. Okazuje się jednak, że tak klarownie sformułowany cel ma swoje drugie dno. Oto bowiem metabiologia okazuje się być dla Chaitina *najważniejszą próbą odnalezienia platońskiego ideału ewolucji* [to find the Platonic ideal of Evolution] (PD, 5). Argentyński matematyk odwołuje się tu wprost do starej tradycji filozoficznej kładącej nacisk na to, co abstrakcyjne i pozaczasowe, która najwyraźniej jest badaczowi bliska (co zresztą nie dziwi w przypadku matematyka). Tworzenie matematycznego modelu procesów ewolucji darwinowskiej nie jest tu traktowane wyłącznie jako konstruowanie przydatnego narzędzia celem uzupełnienia luki w obecnym stanie wiedzy. Jest raczej rozumiane jako odkrywanie obiektywnie istniejących, abstrakcyjnych („platońskich”) struktur matematycznych. Tym samym cały projekt metabiologii okazuje się niejako przy okazji realizować wyraźnie filozoficzne cele. Takie rozpoznanie filozoficznego uwikłania badań Chaitina wzmacniają dodatkowo czynione przezeń odwołania do tradycji pitagorejskiej: *metabiologia jest rodzajem pitagorejskiej biologii*. Jako taka uznana jest ona przez badacza za *matematyczny dowód na istnienie życia* (PD, 2) co podsuwa nam trop wiodący ku odsłonięciu ostatecznego celu Chaitinowskiego projektu: formalnego dowodu istnienia życia w obszarze, w którym nikt nie spodziewałby się go znaleźć, życia abstrakcyjnego – matematycznego.

Cel stawiany przed metabiologią jest zatem dwojaki. Z jednej strony chodzi o stworzenie najprostszego formalnego systemu, w którym można zaimplementować procesy ewolucji darwinowskiej. Z drugiej zaś idzie o *odsłonięcie głębokich matematycznych struktur biologii, ukazanie ukrytego, matematycznego rdzenia wszelkiego rodzaju życia* (PD, Pref.).

4.1.4. Matematyczny model ewolucji darwinowskiej

Szkielet procedury postępowania przyjętej przez Chaitina przy konstruowaniu matematycznego rdzenia metabiologii jest prosty. Najpierw identyfikuje się pojęcia kluczowe w słowniku biologii ewolucyjnej. Dla argentyńskiego matematyka są nimi: organizm, DNA, mutacja, dostosowanie, ewolucja. Zauważmy brak tak podstawowych terminów jak dziedziczność, rozmnażanie, zmienność jednostkowa, populacja, genotyp, czy fenotyp. Następnie dokonuje się ich interpretacji w aparacie pojęciowym matematyki, czy też raczej informatyki teoretycznej:

Organizm żywy = naturalny (nie stworzony przez człowieka) program

DNA = naturalny język programowania

Mutacja = program modyfikujący dany organizm

Dostosowanie = liczba naturalna obliczana przez organizm

Ewolucja = droga w przestrzeni możliwych programów (droga w tzw. krajobrazie adaptacyjnym wiodąca zawsze w kierunku wzrastającego poziomu dostosowania).

Chaitin nie jest przy tym konsekwentny w swoim rozumieniu pojęcia DNA. W wielu miejscach pisze o DNA jako „naturalnym oprogramowaniu”, podczas gdy w innych określa je mianem „naturalnego języka programowania”, a nawet „uniwersalnego języka programowania” (pisze np. o *bytach żywionych zarządzanych przez oprogramowanie*, natomiast DNA traktuje jako *język tegoż oprogramowania*) (PD, 2)². Zauważmy też wynikające z przyjętej przez Chaitina terminologii utożsamienie organizmu z jego DNA. Jest ono oczywiste, skoro nie czyni się rozróżnienia między genotypem a fenotypem: *moje organizmy nie mają metabolizmu ani ciała, wyłącznie DNA; żadnego hardware, tylko software* (PD, 2). Do tego „informacjocentryzmu” metabiologii powrócę jeszcze w rozdziale trzecim.

Bazując na powyższych interpretacjach, Chaitin konstruuje uproszczony matematyczny model procesów ewolucji darwinowskiej. Hipotetyczny organizm modelowany jest w nim przez maszynę Turinga (program komputerowy **P** o długości n -bitów). Poziom dostosowania owego organizmu interpretowany jest jako obliczana przezeń liczba naturalna **F** (od *fitness* – „dostosowanie”). Następnie program ów poddawany jest losowej mutacji, tzn. staje się daną wejściową dla programu mutującego (**M**), który zwraca program potomny (**P'**) o tej samej długości, co program macierzysty, lecz o wyższej wartości *fitness* (**F**).

Pojedynczy krok na ścieżce ewolucyjnej opisanej przez model Chaitina jest więc bardzo prosty: w każdym pokoleniu przodek (**P**) jest mutowany w potomka (**P'**), który zastępuje przodka jeżeli:

- a) zatrzymuje się,
- b) drukuje liczbę naturalną (**F**),
- c) **F** jest większa niż liczba drukowana przez przodka.

Jeżeli **F** nie spełnia warunku c), to aplikuje się kolejną mutację, aż do uzyskania potomka o wartości **F** wyższej niż u przodka. Okazuje się jednak,

² Takie rozumienie DNA jest inspirowane ideami Johna von Neumanna przedstawionymi w jego pracy pt. *The General and Logical Theory of Automata* (jej zasadnicze zręby powstały jeszcze w 1948 r.), na którą Chaitin wielokrotnie się powołuje.

że owa prosta procedura generuje nieusuwalne kłopoty, o których napiszę nieco dalej³.

Do modelowania rywalizacji między kolejnymi generacjami organizmów-programów Chaitin używa **funkcji Pracowitego Bobra** (*Busy Beaver* – **BB**). Funkcja **BB(n)** zdefiniowana jest jako największa liczba naturalna zwracana przez n -stanową, binarną (zatrzymującą się) maszynę Turinga (**M**), która rozpoczyna pracę od czystej taśmy. Każdą taką maszynę **M**, dla której funkcja **BB(n)** przyjmuje największą możliwą wartość, nazywamy **Pracowitym Bobrem** (**BB**)⁴.

Zastanówmy się w tym miejscu nad przyczynami, dla których Chaitin decyduje się użyć funkcji Pracowitego Bobra do matematycznego modelowania rywalizacji między kolejnymi generacjami swoich organizmów. Otóż funkcja ta okazuje się pełnić w metabiologii dwojaką rolę. Z jednej strony odwołanie się do jej użycia uzasadniane jest koniecznością postawienia przed organizmami-programami jakiegoś celu; *wyznaczenia im jakiegoś wymagającego zadania*. Tym samym funkcję Pracowitego Bobra wybiera Chaitin jako rodzaj „silnika”, niezbędnego do „uruchomienia”, a następnie „napędzania” procesu ewolucji abstrakcyjnych organizmów (PD, 4, 5)⁵. Z drugiej zaś strony funkcja **BB(n)** jest w omawianym modelu analogonem cechującej biosferę zdolności generowania nowych rozwiązań w odpowiedzi na presję selekcyjną (co jest rdzeniem ewolucji darwinowskiej). Tę właśnie cechę autor *Proving Darwin* nazywa „kreatywnością” i uznaje ją za nieusuwalnie wpisaną w samą istotę życia. Kreatywność biosfery zrównuje on z inną kreatywnością, mianowicie tą wpisaną jakoby w samą naturę matematyki. Natomiast twórczy potencjał tkwiący w matematyce dobrze oddaje właśnie funkcja Pracowitego Bobra,

³ W metabiologii obserwujemy zatem losową ewolucję **pojedynczego** n -bitowego programu w kierunku wzrastającej wartości *fitness*, aż do osiągnięcia przezeń poziomu Pracowitego Bobra. Brak populacji jest jednym z punktów, w których model Chaitina rozmija się ze współczesną biologią. Więcej na ten temat piszę w rozdziale drugim.

⁴ Pracowity Bóbr może być zatem rozumiany jako n -bitowej długości program, który w momencie zakończenia pracy drukuje największą liczbę naturalną spośród wszystkich programów o tej samej długości.

⁵ W tej roli być może należałoby uznać funkcję Pracowitego Bobra za metabiologiczny odpowiednik biologicznego zjawiska presji selekcyjnej (środowiskowej), które odpowiedzialne jest za podtrzymywanie procesu ewolucji biologicznej. Każde pokolenie organizmów żywych ma wskazke jasno określony cel: przeżyć i wydać na świat potomstwo. Presja selekcyjna natomiast powoduje, że tylko wybranym udaje się ów cel osiągnąć. Tym samym niejako napędza ona ewolucję oraz wyznacza kierunek zmian, którym podlegają kolejne generacje organizmów.

a dokładnie rzecz ujmując, fakt jej nieobliczalności⁶. Z tego też powodu argentyński badacz decyduje się uznać tę funkcję za dobre przybliżenie fenomenu kreatywności biosfery. Szczegóły rozumowania Chaitina da się przedstawić w następujących punktach:

Przesłanki:

- Ewolucja biologiczna (wędrowka kolejnych generacji organizmów przez krajobraz adaptacyjny w kierunku wzrastającej wartości dostosowania) jest ciągłym tworzeniem
- Ewolucyjne odkrywanie kolejnych poziomów dostosowania = kreatywność biologiczna
- Obliczanie kolejnych wartości funkcji **BB(n)** jest ciągłym tworzeniem
- Osiąganie kolejnych etapów na drodze ku Pracowitemu Bobrowi = kreatywność matematyczna;

Wniosek:

- Kreatywność biologiczna = kreatywność matematyczna (PD, 4, 5).

Chaitin dostrzega zatem wyraźną analogię między potencjalnie niezmiernym bogactwem form ożywionych a nieskończonym bogactwem treści czystej matematyki. Nie próbuje przy tym wyjaśniać bliżej, dlaczego uważa ową analogię za klarowną i oczywistą, ani dlaczego czytelnik jego tekstów miałby na nią przystać. Uznaje po prostu, że ekwiwalentem kreatywności matematycznej jest w świecie fizycznym ewoluująca biosfera i *vice versa*. Takie rozstrzygnięcie opiera się na pewnym założeniu, które jest typowe dla chaitinowskiego sposobu myślenia o biologii. Otóż przyjmuje, że algorytmiczna teoria informacji (oraz matematyka, na której się ona opiera) jest najlepszym kandydatem na narzędzie, za pomocą którego można porwać się na realizację celu, jakim jest zbudowanie formalnej teorii ewolucji darwinowskiej (Chaitin, 2010, 11).

Wiemy już, co rozumie Chaitin przez kreatywność biologiczną. Wiemy też, z czym skłonny jest ją utożsamiać. Kolejną kwestią poruszoną przez argentyńskiego badacza jest szybkość zmian ewolucyjnych. Natura narzędzi matematycznych wybranych przez Chaitina celem zbudowania swojego modelu

⁶ Znajomość wartości funkcji **BB(n)** dla odpowiednio dużych wartości argumentu **n** pozwoliłaby teoretycznie na rozwiązanie tak fundamentalnych problemów jak np. hipoteza Goldbacha lub hipoteza Riemanna. Z tego powodu Chaitin uznaje próby szacowania choćby i początkowych wartości funkcji **BB(n)** za fascynujące i o dużej doniosłości. (Chaitin, 1987, 110–111). Warto tu może dodać, że obecnie znamy wartości **BB(n)** wyłącznie dla **n ≤ 4**: **BB(1) = 1**, **BB(2) = 4**, **BB(3) = 6**, **BB(4) = 13**. Natomiast dla **n > 4** znamy jedynie ograniczenia dolne: **BB(5) > 4089**, **BB(6) > 10¹⁴³⁹**.

nie nadaje się raczej do opisu zmian o charakterze jakościowym. W związku z tym kreatywność biosfery należy skonceptualizować w sposób umożliwiający jej badanie za pomocą narzędzi służących do opisu ilościowego. Chaitin dokonuje więc prostego utożsamienia: *Kreatywność biologiczna* = *szybkość ewolucji* (PD, 4). Okazuje się zatem, że Chaitinowi idzie nie tyle o **potencjał** tkwiący w mechanizmie ewolucji darwinowskiej, ile raczej o **tempo** wyłaniania się nowości przezeń generowanych; idzie o odpowiedź na pytanie: *jak szybko wzrasta dostosowanie* (czyli jak szybko rośnie parametr dostosowania **F**). I właśnie dla mierzenia tak rozumianej szybkości ewolucji Chaitin sięga po funkcję Pracowitego Bobra (PD, 1). Przyjrzyjmy się wynikom osiągniętym przez Chaitina w tym obszarze.

Uznając mutacje za najważniejszy element mechanizmu generowania nowości ewolucyjnych, Chaitin stara się opisać zależność między regułą aplikowania mutacji a czasem potrzebnym dla osiągnięcia poziomu Pracowitego Bobra. W efekcie identyfikuje trzy różne reguły wyboru konkretnej mutacji spośród puli możliwych programów mutujących, dostępnych na każdym kolejnym kroku ewolucji. Są nimi kolejno:

- a) wybór czysto losowy,
- b) wybór zgodnie z rozkładem prawdopodobieństwa (prawdopodobieństwo wyboru programu mutującego jest proporcjonalne do jego długości w bitach),
- c) wybór wyłącznie optymalnej mutacji (zawsze wybieramy mutację, która wyprodukuje potomka zwracającego najwyższą możliwą wartość parametru **F**).

Związek między tymi sposobami wyboru mutacji a tempem ewolucji przedstawia poniższa tabela:

Reguła wyboru mutacji dla n -bitowego organizmu P		Czas (T) potrzebny na osiągnięcie poziomu Pracowitego Bobra przez P
a)	czysto losowo	$T = 2^n$
b)	zgodnie z rozkładem prawdopodobieństwa	$n^2 \leq T \leq n^3$
c)	zawsze optymalna mutacja	$T = n$

Odpowiadając na pytanie, który z powyższych trzech scenariuszy najlepiej przybliża faktyczne procesy ewolucji biologicznej w drodze doboru naturalnego, Chaitin bez wahania wskazuje na drugi. Scenariusze a) oraz c) są odrzucane jako nierealistyczne z dwóch różnych powodów. Scenariusz

pierwszy nie oddaje dość dobrze procesów ewolucyjnych, gdyż stworzenie jakiegokolwiek potomka o wyższej fitness trwałoby zbyt długo i nie pozwoliłoby na uruchomienie realnych procesów ewolucyjnych. Scenariusz ostatni zaś wymagałby założenia o istnieniu mechanizmu działającego celowo oraz kierującego się w swym działaniu uprzednio posiadaną wiedzą o mutacjach optymalnych dla każdego szczebla procesu ewolucyjnego.⁷ Scenariusz b) opatruje Chaitin nazwą „losowej ewolucji kumulatywnej” (*random cumulative evolution*) i stwierdza, że jest ona najlepszym możliwym przybliżeniem mechanizmów realnej ewolucji darwinowskiej w ramach stworzonego przezeń modelu. Formalny dowód zależności przedstawionej w punkcie b) uznaje Chaitin za najważniejsze osiągnięcie swojej metabiologii oraz argument kluczowy dla wykazania, że ewolucja typu darwinowskiego jest w stanie konstruować obiekty o coraz wyższym stopniu dostosowania. Co więcej, fakt istnienia takiego dowodu argentyński badacz uważa za powód wystarczający, aby uznać swój matematyczny model za najdosłowniej żywy: *oto dlaczego twierdzimy, że nasz model ewoluuje a zatem jest ożywiony* (PD, 4). Skoro zachowuje się analogicznie do procesów ewolucji biologicznej, to najwyraźniej nie ma przeciwwskazań, aby przypisać mu cechę bycia ożywionym. Swoją matematyczną konstrukcję Chaitin podsumowuje triumfalnym zawołaniem: *Odkryłem ewoluującą formę życia w pitagorejskim świecie czystej matematyki!* (PD, 2).

Takie podejście jest oczywiście efektem przyjęcia specyficznego kryterium dla „bycia obiektem żywym”. Mianowicie takiego, w którym za warunek wystarczający uznana zostaje zdolność do ewolucji w drodze doboru naturalnego. Dowolny system wyposażony w mechanizmy takowej ewolucji można wówczas uznać za ożywiony.⁸ Niemniej jednak należy pamiętać, że w przypadku modelu Chaitinowskiego nie mamy do czynienia z jakimkolwiek „układem” czy „systemem” w rozumieniu fizycznym, lecz z tworem czysto matematycznym, abstrakcją będącą formalną interpretacją wybranych

⁷ Scenariusz c) opatruje Chaitin znaczącym mianem „inteligentnego projektu” (*intelligent design*), który natychmiast przywołuje na myśl najważniejszy nurt współczesnego kreacjonizmu, aczkolwiek autor *Proving Darwin* zaznacza, że nie chodzi mu o jakiegokolwiek boskiego projektanta: *Projektant nie jest bóstwem, jest matematykiem, który wynajduje najlepsze możliwe sekwencje mutacji do przetestowania* (PD, 5).

⁸ Zauważmy jednak, że równie dobrze można przyjąć, że zbiór obiektów zdolnych do ewolucji w drodze doboru naturalnego nie musi bynajmniej pokrywać się ze zbiorem obiektów ożywionych. Jest tak w przypadku definicji zaproponowanej przez T. Gántiego, który odróżnia rzeczywiste (absolutne) i potencjalne kryteria życia, zdolność do ewoluowania umieszczając w drugiej z tych kategorii (Gánti, 1986, 80–89).

pojęć biologii współczesnej. Trudno wobec tego mówić tu o jakiegokolwiek faktycznej ewolucji układu w czasie. Obiekty matematyczne, jako pozaczasowe abstrakcje, nie ewoluują przecież w jakimkolwiek biologicznie akceptowalnym sensie tego terminu. Ewoluuować mogą wyłącznie układy fizyczne poddane prawom termodynamiki. Za fizycznie uwikłane można z pewnością uznać komputerowe symulacje sztucznych ekologii funkcjonujące *in silico* (takowe badane są w ramach studiów nad Sztucznym Życiem), jednak Chaitin wyraźnie podkreśla, że nie one są obiektem zainteresowania metabiologii, która jest teorią czysto matematyczną (i to w postaci wykluczającej póki co możliwość jej praktycznej aplikacji, o czym poniżej).

4.2. Kwestie dyskusyjne w modelu Chaitina

Niżej przedstawione cztery problemy generowane przez metabiologię podzielić można na dwie grupy. Grupa pierwsza (problemy 1 i 2) jest istotna przede wszystkim z punktu widzenia matematyka lub informatyka. Wynika to z faktu pojawienia się w niej pojęcia wyroczni (*oracle*), które uznać należy za niestandardowe w słowniku współczesnej *computer science*, oraz pominięcia istotnych ograniczeń natury fizycznej, kluczowych z punktu widzenia ewentualnych symulacji komputerowych. Grupa druga (problemy 3 i 4) będzie ważniejsza raczej dla biologa, jako że pokazuje metabiologię jako model niespójny z fundamentalnymi ustaleniami współczesnego ewolucjonizmu (ukierunkowanie procesów ewolucji) oraz posługujący się dalece posuniętymi uproszczeniami, które stawiają pod znakiem zapytania jego adekwatność biologiczną.

4.2.1. Użycie wyroczni

Przypomnijmy krótko: program \mathbf{P} symuluje organizm biologiczny. Wartość dostosowania tego organizmu-programu $\mathbf{F}(\mathbf{P})$ jest wyrażana liczbą naturalną \mathbf{N} zwracaną przez \mathbf{P} w momencie zakończenia pracy: $\mathbf{F}(\mathbf{P}) = \mathbf{N}_p$. Następnie \mathbf{P} poddawany jest mutacji \mathbf{M} w wyniku której uzyskuje się potomka \mathbf{P}' : $\mathbf{P}' = \mathbf{P}(\mathbf{M})$. Jeżeli $\mathbf{N}_p < \mathbf{N}'_p$ to \mathbf{P} jest zastępowany przez \mathbf{P}' , a cała procedura powtarzana od nowa.

Kłopot z powyższą procedurą polega na tym, że jest ona **nieobliczalna**, gdyż jej stosowanie wymaga rozwiązania problemu stopu. W celu obejścia

owego problemu Chaitin uznaje za konieczne dwukrotne odwołanie się do użycia Turingowskiej **wyroczeni**:

- 1 – gdy mutujemy przodka **P** przy użyciu programu mutującego **M**, aby uzyskać potomka **P'**
- 2 – gdy sprawdzamy, czy **P'** jest programem zatrzymującym się.

W punkcie pierwszym musimy mianowicie wiedzieć, czy program mutujący **M** po otrzymaniu jako danych wejściowych przodka **P** kiedykolwiek się zatrzyma, produkując potomka **P'** (mutacja, która nigdy się nie zatrzymuje jest z oczywistych względów niepożądana). W punkcie drugim z kolei musimy wiedzieć, czy potomek jest programem zatrzymującym się i drukującym liczbę **F** większą niż liczba drukowana przez jego przodka (potomek o niedającej się ustalić wartości *fitness* byłby przecież w równie oczywisty sposób niepożądany).

Chaitin zdaje sobie oczywiście sprawę z nieobliczalności skonstruowanej przez siebie procedury, niemniej przechodzi nad tym faktem do porządku, nie uważając go bynajmniej za problematyczny lub choćby niewygodny. Na pierwszy rzut oka może się to wydawać pewną nonszalancją, czy wręcz lekkomyślnością ze strony badacza (Shallit, 2013). Przestaje taką być, jeżeli tylko pamiętamy, że Chaitin porusza się w obszarze czystej matematyki, nie próbując tworzyć jakichkolwiek modeli funkcjonowania biosfery lub choćby tylko jej fragmentów, przeznaczonych do implementacji w istniejących językach programowania oraz do uruchamiania na realnie istniejących maszynach liczących.⁹ Autor *Proving Darwin* ma pełną świadomość, iż zaproponowany przezeń model matematyczny jest idealizacją posuniętą tak daleko, że ze światem fizycznym badanym przez biologów łączy go jedynie wspólna terminologia i niewiele więcej: *Wszystko to jest eleganckie, lecz bardzo odległe od konwencjonalnej biologii* (PD, 8). Dlatego uznaje go wyłącznie za matematyczny „punkt orientacyjny”, jak również inspirację dla dalszych badań – tym razem wykorzystujących już cały dorobek badań nad życiem biologicznym i jego rozmaitymi komputerowymi symulacjami: *Jedna z możliwo-*

⁹ Objaśniając czym jest wyroczenia, Chaitin wyraża się jasno i dobitnie: *Wyroczenia to sposób na obliczenie czegoś, co nie może być obliczone przez normalny komputer [...] Innymi słowy, to matematyczna fantazja. Sposób wyobrażenia sobie komputerów potężniejszych, niż jakiegokolwiek komputery dające się naprawdę zbudować* (PD, 4). Przy tej okazji zwolennik kreacjonizmu, Casey Luskin, zwraca uwagę, na pewną niespójność w propozycji Chaitina. Otóż z jednej strony twórca metabiologii jasno stwierdza, iż to właśnie obecność Turingowskiej wyroczeni jest źródłem napędzającym proces ewolucji w jego modelu, z drugiej zaś strony przyznaje z rozbrajającą szczerością, że sama idea takiej wyroczeni jest „matematyczną fantazją” (Luskin, 2014).

*ści, to eksperymenty przy użyciu komputerów zamiast dowodzenia twierdzeń: metabiologia eksperymentalna, eksperymenty komputerowe uruchamiane na klastrach maszyn. Ażeby takie podejście eksperymentalne zadziałało musimy ograniczyć czas pracy programów, tak żeby nie potrzebować wyroczni.*¹⁰

4.2.2. Nieograniczone zasoby

Projektowi metabiologii postawić można szereg kolejnych zarzutów. Wśród nich najważniejszym wydaje się być wyposażenie ewoluujących organizmów-programów (choć właściwsze w tym kontekście byłoby użycie liczby pojedynczej, jako że Chaitin nigdzie nie rozważa jakichkolwiek populacji programów) w dostęp do nieskończonych zasobów obliczeniowych oraz nieskończonego czasu. Ewert, Dembski i Marks dobitnie formułują ów zarzut w przywoływanym już artykule: *Model Chaitina korzysta z wyroczni, [kolejnych wartości funkcji] Pracowitego Bobra oraz nieograniczonych zasobów, rzeczy które albo nie istnieją, albo są niepoznawalne, albo też są ograniczone. Ponieważ programy [rozważane] w metabiologii mają Nielimitowaną długość i mogą pracować przez nieograniczony czas, owa nieograniczoność podważa w istocie kreatywność wymaganą do rozwiązania problemu [podawania] wielkich liczb. Dysponując nieograniczonymi zasobami i nieograniczonym*

¹⁰ Użyty w powyższym cytacie termin „metabiologia eksperymentalna” zdaje się być po prostu inną nazwą dla rozwijanej od trzech dekad dziedziny Sztucznego Życia (*Artificial Life* – AL). Niemniej jednak w odnośnych tekstach Chaitina brak jakiegokolwiek wzmianki o tym obszarze badań. Nie znajdziemy w nich nazwisk Christophera Langtona (pomysłodawcy nazwy i pioniera AL), Toma Raya (twórcy *Tierry*, jednego z pierwszych programów symulujących ewolucję darwinowską), czy Chrisa Adamiego (twórcy *Avidy*, innego z klasycznych programów do studiowania procesów ewolucyjnych w środowisku komputerowym). Jest to o tyle zaskakujące, że rdzeniem metabiologii jest procedura bardzo podobna do tej, która używana jest np. w środowisku *Avida*, autorstwa Ch. Adamiego (Ewert, Dembski, Marks, 2013; Alicea, 2013). Być może wyjaśnieniem tej nieobecności jest fakt, że twórcom programu Sztucznego Życia przyświecała idea odtworzenia biochemicznych procesów życia na podłożu innym niż chemiczne – *in silico* (Emmeche, 1992). Tymczasem Chaitin uważa, że nie stworzył, lecz **odkrył** nową, czysto matematyczną postać życia – *in abstracto*. W związku z tym inżynierska metafora implementacji standardowych procesów w niestandardowym substracie ustępuje miejsca podróźniczej metaforze odkrywania nieznanych obszarów rzeczywistości. Obecne natomiast, i nader często przywoływane, jest w tekstach Chaitina nazwisko Johna von Neumanna. Postać von Neumanna jest Chaitinowi potrzebna ze względu na dokonane przez węgierskiego badacza wyraźne rozróżnienie między układem fizycznym (w przypadku układów żywych – organizm i jego funkcjonowanie) oraz informacją, która go opisuje (informacja genetyczna zapisana w DNA).

czasem da się zrobić niemalże wszystko. Włączenie z szybkim przekroczeniem mocy obliczeniowych znanego nam Wszechświata (Ewert, Dembski, Marks, 2013, 7). Niewielkim tylko pocieszeniem zdaje się być fakt, że Chaitin jest w pełni świadom tej wady własnego modelu. Traktuje zresztą ów stan rzeczy jako przejściowy i próbuje wskazywać ogólnikowo dalsze ścieżki możliwego rozwoju metabiologii: *Bardziej realistyczne modele będą uwzględniały ograniczony czas pracy programów unikając tym samym użycia wyroczni. Sądzę, że osiągnięty zostanie rodzaj kompromisu między realizmem biologicznym a tym, co może zostać udowodnione: im bardziej realistyczny model, tym większa potrzeba polegania raczej na symulacjach komputerowych, aniżeli [czysto formalnych] dowodach* (PD, 5).

Problemy związane z dwukrotnym odwołaniem się do pomocy wyroczni oraz obdarowaniem ewoluujących programów dostępem do nieograniczonych zasobów obliczeniowych – istotne z punktu widzenia informatyka lub matematyka – są jednak tylko połową problemów, jakich nastrocza model Chaitina. Drugą połowę tworzą bowiem poważne kłopoty natury biologicznej.

4.2.3. Ewolucja ukierunkowana

Zauważmy, że w modelu zaproponowanym przez Chaitina mutacje działają wyłącznie w kierunku wzrastającego poziomu *fitness* (parametr **F** może tylko rosnąć). Brak jest w omawianym modelu mutacji obniżających wartość parametru **F**, a co za tym idzie negatywnie wpływających na przeżywalność organizmu. Mutacje w ujęciu Chaitina zwracają potomka o *fitness* wyższej niż u przodka albo nie zwracają go wcale (Kaznatcheev, 2012b). W związku z tym ewoluujący program-organizm (**P**) zawsze osiąga poziom Pracowitego Bobra (**BB**), choć oczywiście różny może być czas do tego potrzebny. W przestrzeni tworzonej przez wszystkie generacje potomków danego **P** brak jest lokalnych szczytów adaptacyjnych, na których ewolucja mogłaby utknąć. Oznacza to, że zawsze istnieje mutacja, która prowadzi ku wyższej wartości parametru **F** – aż do poziomu **BB**. Innymi słowy: krajobraz ewolucyjny w modelu Chaitina jest **ekstremalnie gładki** – możliwa jest wyłącznie podróż od podnóża (pierwsza generacja) do samego szczytu (**BB**) (Alicea, 2014, Luskin, 2014). I podobnie jak w przypadku odwołania się do pomocy wyroczni, Chaitin ma świadomość tego, że proponowany przezeń typ krajobrazu ewolucyjnego jest bardzo nietypowy (oraz nie ma wiele wspólnego ani z krajobrazem ewolucyjnym organizmów biologicznych, ani

też z krajobrazem możliwych programów komputerowych): *Ażeby ewolucja darwinowska mogła działać, krajobraz adaptacyjny musi być bardzo specjalny* (PD, 5).

Można stąd wyciągnąć wniosek, że mutacje w omawianym modelu nie są losowe, lecz ukierunkowane. Innymi słowy: Chaitinowski model ewolucji jest **teleologiczny**, co czyni go niespójnym z fundamentami współczesnej biologii ewolucyjnej (Kaznatcheev, 2012a). Jeżeli dołożymy do tego fakt, że Chaitin sam stawia siebie w roli zadeklarowanego zwolennika i obrońcy neodarwinizmu, to zrozumiemy, dlaczego szczegółowy tekst poświęcili metabiologii znani szermierze współczesnego kreacjonizmu – William Dembski, Robert J. Marks II oraz Winston Ewert. We wspólnym artykule wykazują oni, że swoim modelem osiąga Chaitin skutek dokładnie odwrotny od zamierzonego. Zamiast wykazać, że ślepy mechanizm doboru naturalnego jest źródłem twórczej mocy biosfery, pokazuje on, że aby ów mechanizm mógł w ogóle działać muszą być uprzednio spełnione warunki, które bynajmniej nie powstały w drodze doboru naturalnego i wymagają zewnętrznego wobec całego mechanizmu źródła informacji w postaci Turingowskiej wyroczni oraz krajobrazu ewolucyjnego o specyficznym kształcie (Ewert, Dembski, Marks, 2013).

4.2.4. Nieadekwatność biologiczna

Poza wyżej wspomnianymi problemami w metabiologii uderza także rozziw między założeniami czynionymi przez Chaitina a ustaleniami współczesnej biologii ewolucyjnej.

Model Chaitina jest z biologicznego punktu widzenia skrajnie uproszczony i nierealistyczny. Ewolucja w drodze doboru naturalnego wymaga istnienia populacji, nie pojedynczego organizmu (a z tym *de facto* mamy do czynienia w modelu Chaitina). To właśnie pomiędzy osobnikami należącymi do populacji mamy do czynienia ze zróżnicowaniem osobniczym, rywalizacją o ograniczone zasoby niezbędne do przeżycia i rozmnożenia, dostosowaniem do warunków środowiskowych. Tymczasem w metabiologii elementy te są całkowicie pominięte, co podkreślają zgodnie krytycy propozycji Chaitina (Kaznatcheev, 2012a, Luskin, 2014, Shallit, 2013).

Również sam mechanizm aplikowania mutacji jest w modelu Chaitina nierealistyczny. Nie rozróżnia on mianowicie między mutacją, a jej selekcją przez czynniki środowiskowe. Akt mutacji oraz jej późniejszy wpływ na sto-

pień przeżywalności organizmu zostały ze sobą scalone w ramach jednego kroku procesu ewolucyjnego (Kaznatcheev, 2012a). Nie powinno to jednak dziwić, skoro w rozważanym modelu nie mamy do czynienia ani z fenotypami, ani z ekologiami, ani z jakimkolwiek rodzajem presji środowiskowej. Tym samym Chaitinowski mechanizm mutacji algorytmicznej nie ma wiele wspólnego ze znanymi biologom faktycznymi mechanizmami działania mutacji genowych (działających na poziomie pojedynczych fragmentów nici DNA), genomowych (działających na poziomie całego genomu), czy też chromosomowych.

Skrótowe zestawienie wspomnianych powyżej różnic między biologią a metabiologią zawiera poniższa tabela.

BIOLOGIA		METABIOLOGIA
1	Wiele koegzystujących organizmów	Jeden organizm – program
2	Populacje genetyczne	Brak populacji
3	Ograniczone zasoby środowiskowe (czas jest skończony)	Nieograniczone zasoby obliczeniowe (taśma maszyny i czas są nieskończone)
4	Zróżnicowanie osobnicze	Brak zróżnicowania osobniczego
5	Rywalizacja organizmów o zasoby	Brak rywalizacji o zasoby
6	Zróżnicowana przeżywalność osobnicza	Każdy udany mutant przeżywa
7	Rozróżnienie między mutacją a doborem	Brak rozróżnienia między mutacją a doborem
8	Populacja może utknąć na lokalnym szczycie w krajobrazie ewolucyjnym	Program zawsze osiąga najwyższy możliwy poziom fitness (Pracowitego Bobra)
Populacje, ekologie, fenotypy, wynik jest nieoczywisty		Brak populacji, brak ekologii, brak fenotypów, wynik jest oczywisty

Formalne podejście Chaitina zaowocowało więc skrajnie uproszczonym modelem, który raczej nie będzie inspirujący ani dla informatyków (gdyż odwołuje się do pomocy wyroczni, ignoruje ograniczenia natury sprzętowej, tudzież wyniki 30 lat badań prowadzonych w obszarze Artificial Life), ani dla biologów (ze względu na radykalne uproszczenia oraz pominięcie problemów interesujących z punktu widzenia ich codziennej pracy badawczej) (Shallit, 2013, Kaznatcheev, 2012a). Powyższa analiza (drugiej grupy problemów) wskazuje wyłącznie punkty niezgodności między metabiologią a powszechnie przyjmowanymi ustaleniami nowoczesnej teorii ewolucji opartej na neodarwinowskim postrzeganiu biosfery. W następnej części artykułu zajmę się natomiast krytyką propozycji Chaitina z szerszej perspektywy.

4.3. Genocentryczny informacjonizm metabiologii

Właściwym obiektem zainteresowania zarówno biologii, jak i metabiologii, czyni Chaitin **informację**: *gdy zajmujemy się systemami złożonymi, takimi jak te pojawiające się w biologii, myślenie o przetwarzaniu informacji okazuje się kluczowe* (Chaitin, 2006, 13). W jego ujęciu pod słowem „informacja” kryje się jednak wyłącznie jeden jej typ – informacja zakodowana w podwójnej helisie DNA, informacja genetyczna. W metabiologii mamy więc do czynienia z pewną postacią genocentryzmu, który zresztą obecny jest również we współczesnej biologii ze szczególnym wskazaniem na biologię molekularną, genetykę, a także neodarwinizm (Downes, 2006). Jedni badacze uważają go za coś oczywistego i dobrego (G. Williams, R. Dawkins, J. Maynard Smith), podczas gdy inni wprost przeciwnie – ubolewają nad tym, że z horyzontu poznawczego współczesnych nauk o życiu „zniknęły organizmy” zastąpione dogmatycznie traktowanym DNA (B. Goodwin, S. Kauffman, R. Lewontin). Za sprawą spektakularnych sukcesów nowoczesnej genetyki (np. zsekwencjonowanie genomu ludzkiego w ramach Human Genome Project) ów genocentryzm przeniknął również na poziom kultury masowej (co jakiś czas natykamy się na medialne newsy o odkryciu genu odpowiedzialnego jakoby za tę czy inną ludzką cechę, bynajmniej nie tylko cielesną! – *casus* psychologii ewolucyjnej), w której propagowany jest dzięki wysiłkowi popularyzatorskiemu wielu znanych biologów (w szczególności zaś Richarda Dawkinsa, którego teksty Chaitin zna i ceni). Zaowocowało to specyficzną sytuacją, zarówno w samej biologii, jak i w jej społeczno-medialnym odbiorze. Trafnie, jak sądzę, podsumowują ją następujące słowa Briana Goodwina, wybitnego biologa i jednego z najważniejszych adversarzy neodarwinizmu: *Ostatnimi laty wydarzyło się w biologii coś niezwykle interesującego. Swojskie organizmy, rośliny i zwierzęta, włącznie z nami samymi, które obserwujemy wszędzie wokół, podobnie jak wiele form niewidocznych, jak bakterie i inne mikroby, przestały być fundamentalnymi podmiotami życia. Ich miejsce zajęły geny, którym przypisano wszystkie podstawowe cechy, charakteryzujące niegdyś żywe organizmy. [...] za fasadą, którą postrzegamy jako żywy, funkcjonujący, rozmnażający się organizm, kryją się geny, które sprawują nad wszystkim kontrolę* (Goodwin, 1994, 1). Biologię uprawianą w tej perspektywie Goodwin nazywa „genocentryczną” i pojęcie to doskonale pasuje także do nastawienia badawczego Gregory Chaitina.

Chaitinowska metabiologia niemalże modelowo wpisuje się w nakreślony przez Goodwina horyzont rozumienia procesów życia. Skoncentrowanie na

informacji genetycznej widać w niej na każdym kroku. Chaitin absolutyzuje informację zapisaną w DNA uznając ją za istotę wszelkiego życia. Jego teksty nie pozostawiają co do tego żadnych wątpliwości: właściwym obiektem badań biologii jest informacja genetyczna. Jeżeli chcemy zrozumieć procesy ewolucji biologicznej, winniśmy skoncentrować uwagę badawczą wyłącznie na aspekcie informacyjnym (*software*), który jest dalece istotniejszy niżli aspekt energetyczno-metaboliczny (*hardware*) (PD, 2). Jednocześnie Chaitin wyznaje, że jednym ze źródeł inspirujących go do przyjęcia tak radykalnie genocentrycznego stanowiska były poglądy luminarza neodarwinizmu, Richarda Dawkinsa: *Zaczerpnąłem od Dawkinsa nacisk, jaki kładzie on na geny. Kto przejmowałby się ciałami!?* (PD, 4). Jawna prowokacyjność ostatniego zdania jest celowa, a przy tym uzupełniona wielką pewnością siebie graniczącą niemalże z lekceważeniem. Oto co argentyński matematyk ma do powiedzenia na temat termodynamicznego, fizycznego wymiaru życia: *Biolodzy sądzą, że liczy się każdy szczegół, nie potrafią odróżnić tego, co fundamentalne od tego, co drugorzędne. Energetyka, metabolizm żywego organizmu jest nieistotny, tym, co się liczy jest wyłącznie informacja, tym, co się liczy jest jedynie to, skąd biorą się instrukcje do działania.* (PD, 2). Tezy takie jak powyższa mogą zaskoczyć i skonfundować nie tylko biologów. Ażeby jednak w pełni zrozumieć dlaczego Chaitin posuwa się do ich głoszenia, musimy najpierw spróbować uchwycić logikę kryjącą się za jego postępowaniem przy konstruowaniu projektu metabiologii. Sądzę, że w sposób dostatecznie dobry oddaje ją poniższa procedura:

- 1) skonstruuj formalny model ewolucji darwinowskiej;
- 2) znajdź definicję życia możliwą do zaimplementowania w modelu;
- 3) uznaj obiekt spełniający w modelu powyższą definicję za żywy;
- 4) wyciągnij wniosek, że udowodniłeś istnienie życia w modelu

a ponieważ:

- 5) model jest tworem matematycznym (abstrakcyjnym)

zatem:

- 6) przyznaj mu absolutny, pozaczasowy, konieczny (platoński) sposób istnienia

stąd:

- 7) wyciągnij wniosek, że udowodniłeś istnienie życia matematycznego (*ergo*: absolutnego, pozaczasowego etc.).

W celu pomyślnego przeprowadzenia powyższej procedury muszą oczywiście zostać spełnione pewne warunki. Przede wszystkim musimy być w sta-

nie skonstruować formalny model procesów ewolucji. Ażeby to osiągnąć konieczne jest jednak poczynienie daleko idących uproszczeń (Chaitin usuwa wobec tego z modelu populacje, fenotypy, konieczność rywalizacji o ograniczone zasoby itp.). Następnie dysponować musimy odpowiednią definicją życia. Zależy nam na definicji, którą moglibyśmy łatwo zaimplementować w naszym modelu, a która jednocześnie byłaby wiarygodna biologicznie (tzn. panowałaby co do niej powszechna zgoda, że trafnie uchwytuje fenomen życia).¹¹ Tu z pomocą przychodzi Chaitinowi tzw. „definicja darwinowska”, którą zapożyczył (po dokonaniu stosownych modyfikacji) od brytyjskiego biologa – Johna Maynarda Smitha.¹²

John Maynard Smith (1920–2004) to jeden z najważniejszych ewolucjonistów i neodarwinistów XX wieku oraz badacz, którego poglądy Chaitin przywołuje jako kluczowe dla wypracowania własnego rozumienia życia. Jego nazwisko pojawia się w tekstach składających się na *Proving Darwin* kilkakrotnie. Zaproponowana przez Brytyjczyka definicja życia:

- a) żywym jest układ posiadający właściwości niezbędne do tego, aby zagwarantować mu ewolucję w drodze doboru naturalnego; własnościami tymi są: zdolność do rozmnażania, zmienność jednostkowa oraz dziedziczność (Maynard Smith, 1992, 23–24)

stała się punktem wyjścia dla definicji życia stworzonej przez samego Chaitina, aczkolwiek autor *Proving Darwin* potraktował ją co najwyżej pretekstowo, by nie rzec wręcz nonszalancko. Przypisuje on bowiem brytyjskiemu biologowi definicję bardzo nieprecyzyjne:

- b) *życie jest systemem wyposażonym w dziedziczność, mutacje oraz ewoluującym w drodze doboru naturalnego* (PD, 4),

albo też skrajnie uproszczone:

- c) *życie jest tym, co ewoluuje* (PD 1, 2).

¹¹ Naturalnie musimy przyjąć, że stworzenie takiej uniwersalnej definicji życia jest w ogóle możliwe, co bynajmniej nie jest oczywiste. Istnieje bowiem szereg badaczy głoszących tezę dokładnie przeciwną i popierających ją rozmaitymi argumentami. Kompleksowym wprowadzeniem w meandry najnowszych dyskusji nad możliwością stworzenia uniwersalnej i niekontrowersyjnej definicji życia są artykuły K. Chodasewicza (2010, 2014)

¹² Niemalże na ironię zakrawa fakt, że definicja darwinowska, której zwolennikiem był m.in. Maynard Smith, nie ma żadnego sensu, jeżeli rozpatrywać ją poza kontekstem populacji. Nie da się jej bowiem zastosować do pojedynczego osobnika, tymczasem model Chaitina populacji nie uwzględnia (Chodasewicz, 2014, 505).

Chaitin sugeruje także, jakoby Maynard Smith skłonny był całkowicie ignorować fakt istnienia metabolizmu jako nieusuwalnego elementu procesów życiowych i zamiast tego skupiać się wyłącznie na badaniu procesów przetwarzania informacji zapisanej w DNA (PD, 3). Wydaje się to jednak zbyt mocnym stwierdzeniem w odniesieniu do Brytyjczyka, w którego pracach znajdujemy bardziej umiarkowane tezy (Maynard Smith, Szathmáry, 2000, 40–41, 135–138). Faktycznie podkreśla on kluczowe znaczenie informacji genetycznej w zarządzaniu procesami pobierania i przetwarzania energii w organizmie żywym, jednakże jego genocentryzm wydaje się być daleki od radykalizmu, jaki stara się przypisać mu Chaitin. W przeciwieństwie bowiem do badacza brytyjskiego, jak też większości współczesnych biologów, Chaitin najzupełniej pomija metaboliczno-energetyczny aspekt życia (życie traktowane jako układ fizyczny samopodtrzymujący się oraz samooodtworzający), redukując je wyłącznie do procesów informacyjnych.

Zwróćmy uwagę, jak uproszczone przez Chaitina definicje b) oraz c) różnią się od zaproponowanej przez brytyjskiego biologa definicji a). Z oryginalnej wersji zniknęły populacje (zmienność jednostkowa możliwa jest wszakże jedynie w populacji), zniknęła też zdolność do rozmnażania się (czyli wydawania potomstwa) natomiast w ich miejsce pojawiły się mutacje, których w oryginale brak (mutacje są mechanizmem odpowiedzialnym za zmienność genetyczną jednostek tworzących populację i jako takie są Chaitinowi potrzebne). W efekcie całej operacji z oryginalnej definicji Maynarda Smitha pozostaje ogryzek w postaci definicji c). Jeżeli za życie uznać „cokolwiek co ewoluuje (w drodze doboru naturalnego)”, to dlaczego owym „czymkolwiek” nie miałyby być informacja (w szczególności zaś informacja sterująca)? Stąd już tylko mały krok do takiej definicji życia, której Chaitin potrzebuje: *życie to ewoluujące oprogramowanie*. I taka właśnie jej wersja przytaczana jest wielokrotnie w rozmaitych tekstach Argentyńczyka.¹³ Zauważmy jednak, że definicja c) jest skrajnie monoatrybutywna. Odziera zjawisko życia z jakichkolwiek uwikłań fizycznych, chemicznych,

¹³ Zauważmy tutaj, że aczkolwiek metabiologia nie jest teorią biogenezy, to jednak wpisane są w nią pewne rozstrzygnięcia odnośnie początków życia. Otóż jeżeli utożsamiać życie z oprogramowaniem, to *początki życia są w istocie początkami oprogramowania, początkami DNA* (PD, 2). Przy takiej optyce nie powinna też dziwić rzucona mimochodem sugestia, że monumentalne dzieło matematyka S. Wolframa pt. *A New Kind of Science* (2002) – będące uporządkowanym i systematycznym przeglądem wyników badań autora nad różnymi klasami automatów komórkowych – *może być interpretowane jako książka poświęcona początkom życia* (PD, 3).

organizmalnych i ekologicznych¹⁴. Natomiast w połączeniu z kolejnym założeniem czynionym przez Chaitina – że *naturalnym oprogramowaniem sterującym budową oraz funkcjonowaniem organizmów jest DNA* – konstruuje ona genocentryczny światopogląd, w którym całe bogactwo życia daje się zredukować do powielania łańcuchów DNA.

W ramach tego światopoglądu każda komórka zarządzana jest przez owo naturalne oprogramowanie, biosfera pełna jest oprogramowania, oprogramowanie jest przyczyną niezwyklej plastyczności biosfery, ażeby zrozumieć procesy ewolucji należy skoncentrować się na oprogramowaniu, sama ewolucja jest losową ścieżką w przestrzeni oprogramowania, wreszcie biologia jako nauka jest archeologią tego oprogramowania. Właściwym obiektem zainteresowania biologów winna tym samym stać się algorytmiczna informacja zapisana w naturalnym oprogramowaniu, jakim jest DNA. Z jednej strony takie podejście jest skrajnym uproszczeniem stanowiska Maynarda Smitha, z drugiej zaś świadczy o celowym pominięciu jednego z najważniejszych paradygmatów badawczych w biologii najnowszej.¹⁵ Biologia systemów, gdyż o niej mowa, wychodzi poza uproszczoną genocentryczną wizję neodarwinizmu, kreśląc wizję życia jako dynamicznej sieci interakcji pomiędzy olbrzymimi układami cząstek tworzącymi rozmaite hierarchicznie uporządkowane systemy (Noble, 2006; Choraży, 2011; Konieczny, Roterman, Spólnik, 2010). Natomiast stanowisku Chaitina bliżej jest raczej do rozumienia życia reprezentowanego przez inspirowany teorią informacji funkcjonalizm A. Kołmogorowa, A. Lapunowa, tudzież funkcjonalizm pankomputacjonalistów pokro-

¹⁴ Zdecydowana większość istniejących definicji życia to definicje poliatributywne (wieloaspektowe), czyli takie, które podkreślają zarówno energetyczny (związany z metabolizmem), jak i informacyjny (związany z rozmnażaniem i dziedziczeniem) aspekt procesów życia (Chodasewicz, 2013, 121; Poczobut, 2011, 221). Nieliczne definicje monoatributywne (jednoaspektowe; czyli takie, które uwypuklają jeden z powyższych aspektów kosztem pomniejszenia drugiego) wydają się być zbyt radykalne, gdyż zmuszają nas do uznania za żywe obiektów, których zazwyczaj za takowe nie uznajemy (np. komputerowych symulacji procesów ożywo-nych, lub też biosfery jako całości). Innymi słowy: *ontologiczny koszt przyjęcia jakiegokolwiek definicji jednoaspektowej jest zbyt wielki [...] jej konsekwencje prowadzą do zupełnego „wywrócenia do góry nogami” naszej siatki kategorialnej*. (Chodasewicz, 2013, 122). Jednakże skrajnie jednoaspektowe podejście Chaitina całkowicie ignoruje wypracowany przez biologów konsensus wyrażający się powszechnym przyjmowaniem którejś z licznych poliatributywnych definicji życia. W efekcie definicja zaproponowana przez Chaitina nie spełnia wymagań, które się przed rzetelnymi definicjami życia zazwyczaj stawia (Chodasewicz, 2010, 79).

¹⁵ O tym, że jest to pominięcie celowe, bynajmniej nie wynikające z niewiedzy Chaitina, świadczą następujące słowa: *Podkreślmy, czego nie zamierzamy czynić. Z pewnością nie zamierzamy się zajmować biologią systemów: rozległymi, złożonymi, realistycznymi symulacjami systemów biologicznych*. (Chaitin, 2010, 11).

ju S. Wolframa, które wywodzą się z pomysłów autorstwa J. von Neumanna powstałych jeszcze pod koniec lat 40. XX wieku (Poczobut, 2011, 222–223; Poundstone, 2013, 190–191).

Należy tutaj zaznaczyć, że problematyczne w koncepcji Chaitina nie jest bynajmniej samo skoncentrowanie się na informacji relewantnej biologicznie, lecz zredukowanie obszaru tejże informacji wyłącznie do informacji zakodowanej w łańcuchu DNA. Podkreślanie znaczenia informacji i jej przetwarzania dla funkcjonowania układów żywych nie jest wszakże ani nowe, ani specjalnie kontrowersyjne. Istnieją rozmaite propozycje tłumaczenia wzajemnych relacji między życiem a informacją, którym udaje się uniknąć skrajności Chaitinowskiej metabiologii. Przykładem takiej propozycji jest np. koncepcja informacji biologicznej zaproponowana przez A. Latawiec (Latawiec, 1983, 1996). Zgodnie z nią jako informację relewantną biologicznie należałoby traktować *każdy rodzaj oddziaływania (zarówno wewnętrznego, jak i zewnętrznego) na organizm (i wewnątrz niego), przebiegający na każdym poziomie organizacyjnym, służący organizmowi do życia i przeżycia w warunkach aktualnych i przyszłych* (Latawiec, 1996, 233). Informacja genetyczna zapisana w DNA jest w niej traktowana jako jeden z trzech typów informacji wewnątrz-organizmalnej i odpowiedzialna jest wyłącznie za syntezę białek w komórce. Poza nią Latawiec wyróżnia jeszcze informację immunologiczną (jej nośnikami są antygeny i przeciwciała) oraz strukturalną (związaną z konstruowaniem i rekonstruowaniem uszkodzonych fragmentów organizmów). Oprócz informacji wewnętrznej w propozycji tej wyróżnia się jeszcze jeden rodzaj informacji istotnej biologicznie: informację zewnątrz-organizmalną (komunikacyjną oraz ekologiczną).

Chaitinowska metabiologia jednakże całkowicie pomija istnienie wielkiego obszaru biologicznej **informacji pozagenetycznej**, czyli takiej, której nośnikiem nie jest wyłącznie podwójna nić DNA. A jednak to właśnie w nim lokuje się rosnąca wciąż liczba poznanych epigenetycznych mechanizmów przekazywania informacji oraz jej dziedziczenia (Jablonka, Lamb, 1995; Davies, 2012; Gecow, 2010). Ich systematyczne badania trwają co najmniej od połowy lat 80. ubiegłego stulecia, choć wczesne wyniki badań dopuszczające możliwość nie tylko genetycznego przepływu i dziedziczenia informacji biologicznej datują się jeszcze na lata 50. XX wieku (Holliday, 2006, 78). Chaitin ignoruje jednak istnienie wspomnianego obszaru, a co za tym idzie – nie uwzględnia go w projekcie swojej metabiologii. Dlatego zawężenie obszaru informacji istotnej biologicznie wyłącznie do informacji zakodowanej w łańcuchu DNA skutkuje ujęciem uproszczonym

i fałszującym faktyczny obraz tego, jak się rzeczy mają. Tymczasem najnowsze badania jednoznacznie sugerują, że informacja biologiczna nie jest ulokowana w żadnym konkretnym miejscu układu ożywionego. Jest ona raczej własnością nielokalną, rozproszoną po całym systemie, jakim jest np. komórka. Nie da się wskazać na jakąkolwiek wyizolowaną strukturę fizyczną i stwierdzić: „właśnie tutaj znajduje się informacja biologiczna” (Walker, Cisneros, Davies, 2012; Walker, Davies, 2013). Również informacja zapisana w łańcuchu DNA jest relewantna wyłącznie kontekstowo, w odniesieniu do konkretnych obiektów fizycznych obecnych w komórce (chemicznej aparatury translacyjnej). Słuszniej byłoby więc stwierdzić, że informacja biologiczna zawiera się raczej w relacjach poszczególnych elementów skomplikowanych sieci zależności wewnątrz- oraz międzykomórkowych (a także międzykankowych, międzyukładowych, międzyorganizmalnych oraz ekologicznych), aniżeli że zapisana jest wyłącznie w DNA (Walker, Davies, 2013). Takie właśnie złożone sieci zależności są obiektem badań biologii systemów oraz epigenetyki, które dynamicznie rozwijają się w ostatnich dekadach. Wagę ich kompleksowego badania oraz konieczność wyjścia poza genocentryczny punkt widzenia wypracowany przez neodarwinizm podkreślają najwybitniejsi współcześni biolodzy: *analiza [sieci zależności w obrębie żyjącego organizmu] nie powinna być ograniczona do przepływu informacji od genów do białek, lecz winna dotyczyć wszelkich funkcji działających w komórkach i organizmach, włączając w to interakcje i transformacje chemiczne, a także zjawiska fizyczne, jak sygnały elektryczne i procesy mechaniczne* (Nurse, 2008, 425). Za wyraźną i dobitną metaforę wyrażającą samo sedno podejścia systemowego w nowoczesnej biologii niech posłużą tu słowa D. Noble’a: *Księgą życia jest samo życie. Nie da się go zredukować do jednej z jego baz danych [genomu]* (Noble, 2006, 10). Jest to stanowisko dokładnie przeciwne temu, które zajmuje Chaitin, wierzący, że tak jak liczba Ω jest *skoncentrowaną esencją matematycznej kreatywności* (PD, 3), tak DNA jest esencją życia, natomiast jego metabiologia – *uchwyceniem matematycznej esencji teorii Darwina* (PD, 5).

W swoim radykalnym ujęciu fenomenu życia Chaitin nie stara się jednak niuansować rozumienia informacji biologicznej. Poprzestaje zatem na przyjęciu uproszczonego schematu, podług którego DNA jest zarazem repozytorium informacji o budowie i rozwoju całego organizmu, uniwersalnym językiem programowania, jak też samym oprogramowaniem sterującym wszelkimi funkcjami tegoż organizmu. Chaitin najdosłowniej przenosi schematy rodem z informatyki teoretycznej na biologię. Schemat taki oto:

Program → Obliczanie → Wynik

przekłada na:

DNA → Rozwój → Organizm.

Opatruje przy tym całość jednoznaczny komentarzem: *uznając życie za biochemiczne oprogramowanie (...) skupiam się na informacji cyfrowej zawartej w DNA (...) DNA jest w istocie językiem programowania służącym do budowy i zarządzania organizmem* (Chaitin, 2007b, 305). Jest to z grubsza stanowisko, które R. Lewontin nazwał „doktryną DNA”, zaś D. Noble (za A. Pichotem) – „DNA-manią” (Lewontin, 1993, Jerzmanowski, 2001, 146–153; Noble, 2006, 3–6). Na potrzeby niniejszego artykułu pozwoliłem sobie opatrzyć je mianem genocentrycznego informacjonizmu. Problem tkwi jednak w tym, że propozycja Chaitina wydaje się być nietrafiona z czysto biologicznego punktu widzenia – DNA nie jest bowiem ani centralnym repozytorium informacji o budowie całego organizmu, ani też oprogramowaniem bezpośrednio sterującym jego funkcjami i behawiorem (Noble, 2006; Davies, 2012; Żekanowski, Łuków, 2005; Koj, Jura, Rokita, 2005). Również uniwersalność i powszechna stosowalność kodu genetycznego nie jest bynajmniej tak absolutna, jak to sugeruje Chaitin (Krzanowska, 1995, 24–25)¹⁶.

Co więcej, stosowanie pojęć takich, jak „oprogramowanie”, „maszyna Turinga”, „komputer”, „obliczanie” w kontekście biologicznym nie jest dla Chaitina jedynie użyteczną metaforą, która pomaga nam ujrzeć stary obszar badawczy w nowym świetle. Przyroda, jego zdaniem, *wynalazła komputer oraz [rozdzielenie] hardware/software* (PD, 3). Przyroda także *wymyśliła oprogramowanie na długo zanim myśmy to uczynili* (PD, 2). Cała biosfera wypełniona jest archaicznym oprogramowaniem, niemniej jednak nie byliśmy w stanie rozpoznać go jako takiego, aż do czasu przełomowych osiągnięć Turinga i von Neumanna – pojawienia się idei uniwersalnej maszyny liczącej, architektur komputerowych oraz języków programowania (PD, 2). Chaitin zdaje się nie dostrzegać, że zdominowanie wielkich obszarów życia codziennego, kultury, nauki, sztuki przez technologie komputerowe wprowadziło do powszechnego użycia szereg pojęć i metafor, za pomocą których postrzegamy i opisujemy otaczający świat oraz nasze z nim interakcje. Komputer stał się metaforą definiującą naszą epokę tak samo, jak wcześniej miało to miejsce

¹⁶ Można sobie wyobrazić spójne logicznie hipotetyczne systemy dziedziczenia w świecie ożywionym, które w ogóle obywałyby się bez istnienia kodu genetycznego, czyli jakiegokolwiek symbolicznej reprezentacji białek. Co więcej, byłyby one wyposażone w procesy dziedziczenia oraz ewolucji analogiczne do tych, które znamy ze świata realnego. Opis takiego możliwego systemu podaje P. Godfrey-Smith (2000).

z zegarem i maszyną parową (Bolter, 1990). Niemetaforyczne rozumienie pojęć takich, jak „komputer” lub „oprogramowanie” w omawianym kontekście może jednak brać się z faktu, że twórca metabiologii jest przede wszystkim informatykiem i matematykiem, nie biologiem ani humanistą. W efekcie tego siatka pojęciowa oraz rozumowania typowe dla dyscypliny, z którą obcuje na co dzień zostają przezeń zabsolutyzowane i wyprojektowane w przestrzeń dyscypliny całkowicie odmiennej.¹⁷ Oczywiście Chaitin nie jest w tym odosobniony. Spora część współczesnej biologii jest zdominowana przez to, co P. Griffiths nazwał *information talk* – operowaniem pojęciami wywodzącymi się ze słownika teorii informacji i informatyki (Griffiths, 2001). Problem polega jednak na tym, że pojęcia te rzadko kiedy są czymś więcej, niż metaforami, natomiast znacznie częściej wiodą na manowce prowadząc do zgoła nietrafnego rozpoznania mechanizmów rządzących biosferą (Sarkar, 1996).

* * *

Kończąc, spróbujmy jeszcze dokonać krótkiego podsumowania oraz interpretacji koncepcji przedstawionej przez Gregory Chaitina. Widziana z filozoficznego dystansu metabiologia jawi się zatem jako pewna postać:

- a) **redukcjonizmu** – to za sprawą omawianego wcześniej genocentrycznego informacjonizmu oraz pominięcia aspektów termodynamicznych życia; wszelkie życie w tej perspektywie można, czy wręcz należy zredukować wyłącznie do procesów informacyjnych; wydaje się, że Chaitin istotnie *zastępuje bio-centryzm pewnym rodzajem info-centryzmu* (Tanga, Gelati, Ghelli, 2013, 59);
- b) **funkcjonalizmu** – skoro życie przestaje być domeną obiektów biologicznych, to może być implementowane *in silico*: Life \neq Wet-ware; co więcej funkcjonalizm ów zdaje się rozciągać poza domenę fizykalną, obejmując także abstrakcyjne obiekty matematyczne – *ewoluujące formy życia w pitagorejskim świecie czystej matematyki* (PD, 2);
- c) **platonizmu** – ponieważ istotą procesów biologicznych są procesy informacyjne, których idealną, matematyczną postać stara się odsłonić właśnie metabiologia: *Poszukuję platońskiej istoty [the Platonic essence] biologii*.

¹⁷ W zakończeniu jednego z artykułów wchodzących w skład *Proving Darwin*, Chaitin posuwa się nawet do jak najdosłowniejszego utożsamienia informatyki i biologii pisząc: *Dostępne są już matematyczne narzędzia do studiowania ewolucji mutującego oprogramowania. Informatyka teoretyczna [theoretical computer science] jest teoretyczną biologią* (PD, 5 – wytluszczenie oryginalne).

Prawdziwe istoty [żywe], które znamy i kochamy, interesują mnie wyłącznie jako wskazówki dla znalezienia idealnych platońskich form życia [ideal Platonic forms of life] (Chaitin, 2007b, 305).

Należy być świadomym, że przystępując do konstruowania metabiologii Gregory Chaitin stanął przed koniecznością wyboru odpowiednich kategorii ontologicznych, które posłużyły mu do dokonania conceptualizacji fenomenu życia. Trzeba także pamiętać, że dobór owych kategorii oraz sposób ich stosowania uzależniony jest w dużym stopniu od powszechnie przyjmowanych w danym czasie teorii wyjaśniających badane zjawiska (Poczobut, 2011, 237). Obierając informację jako podstawową kategorię ontologiczną na potrzeby swojej metabiologii, Chaitin dokonał zapewne trafnego wyboru. Niemniej jednak sposób w jaki ją zastosował wydaje się – co najmniej z punktu widzenia współczesnej biologii – być już mniej trafny. Absolutyzacja tego pojęcia (oraz pojęć blisko z nim sprzężonych) przy jednoczesnym zawężeniu jego zakresu (do informacji genetycznej) oraz całkowitym pominięciu aspektu termodynamicznego systemów żywych zaowocowała propozycją o wąskim zakresie stosowalności z punktu widzenia biologa i mogącą zainteresować przede wszystkim matematyków oraz teoretyków informatyki. Tymczasem to właśnie ze strony matematyków i informatyków pojawiły się zarzuty, że rdzeń matematyczny, na którym wspiera się metabiologia, aczkolwiek ciekawy sam w sobie, nie zwiastuje bynajmniej rewolucji na miarę algorytmicznej teorii informacji, której Chaitin był współtwórcą 4 dekady wcześniej (Shallit, 2013). W obecnej postaci metabiologia jawi się raczej czymś na kształt ciekawego eksperymentu matematycznego, który jednakże trudno traktować jako poważną propozycję z zakresu biologii teoretycznej (a taki przecież cel przyświecał jej twórcy). Sam Chaitin zdaje się mieć świadomość rozlicznych bolączek, które trapią jego model sugerując, że wymaga on dalszej pracy, ażeby uczynić go bardziej wiarygodnym, tudzież zdolnym do implementacji w postaci konkretnych symulacji komputerowych.

Całościowa matematyczna teoria ewolucji darwinowskiej pozostaje wciąż pieśnią przyszłości, zaś biolodzy wydają się pozostawać w kwestii możliwości jej sformułowania umiarkowanymi pesymistami: *Nic nie wskazuje na to, by miał wkrótce powstać uniwersalny język matematyczny dla opisu zjawisk ewolucyjnych. Być może taki język nie powstanie lub co bardziej prawdopodobne, powstanie, lecz nie wejdzie do powszechnego użytku ze względu na ogromną złożoność ewoluujących układów biologicznych* (Kozłowski, 2011, 83). Autor powyższego fragmentu sugeruje nam dwa scenariusze: 1) matematyka ewolucji w ogóle nie powstanie, 2) powstanie, lecz nie będzie używana, ze względu

na nieprzystawalność do gigantycznej złożoności ewoluującej biosfery. Sądę, że przypadek metabiologii lokuje się w drugim z nich, a to przez wzgląd na omówioną nieadekwatność biologiczną. W ostatecznym rozrachunku metabiologię należy bowiem uznać raczej za ekspresję filozoficznych poglądów jej autora, aniżeli próbę stworzenia teorii użytecznej z punktu widzenia praktyki badaczy świata ożywionego.

BIBLIOGRAFIA

1. Alicea B. (2013), *Metabiology and the Evolutionary Proof*; tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://syntheticdaisies.blogspot.com/2013/01/metabiology-and-evolutionary-proof.html>.
2. Bolter J.D. (1990), *Człowiek Turinga. Kultura Zachodu w wieku komputera*, tłum. Tomasz Goban-Klas, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa.
3. Chaitin G. (1987), *Computing the Busy Beaver Function*, [w:] „Open Problems in Communication and Computation”, [ed.] T.M. Cover and B. Gopinath, Springer, 1987, ss. 108–112.
4. Chaitin G. (2006), *Epistemology as Information Theory: from Leibniz to Ω* , [w:] „Collapse”, vol. 1, ss. 27–51.
5. Chaitin G. (2007a), *Algorithmic Information Theory: Some Recollections*, [w:] „Randomness & Complexity, from Leibniz to Chaitin”, [ed.] Cristian S. Calude, World Scientific, Singapore 2007, ss. 423–441.
6. Chaitin G. (2007b), *Speculations on Biology, Information and Complexity*, [w:] Chaitin G., „Thinking about Gödel and Turing. Essays on Complexity 1970–2007”, World Scientific, Singapore, ss. 303–313.
7. Chaitin G. (2009), *Evolution of Mutating Software*, [w:] „EATCS Bulletin” 97, February 2009, ss. 157–164.
8. Chaitin G. (2010), *Metaphysics, Metamathematics and Metabiology*, [w:] „APA Newsletter on Philosophy and Computers” vol. 10, no. 1, ss. 9–12.
9. Chaitin G. (2012), *Proving Darwin. Making Biology Mathematical*, Pantheon Books, New York.
10. Chaitin G. (2013), *Life as Evolving Software*, [w:] „A Computable Universe: Understanding and Exploring Nature as Computation”, [red.] H. Zenil, World Scientific, Singapore 2013, ss. 277–302.
11. Chaitin G. (2014), *Conceptual Complexity and Algorithmic Information*; tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://www.umcs.maine.edu/~chaitin/ontology.pdf>.
12. Chodasewicz K. (2010), *Między optyризmem a sceptycyzmem. Rozważania nad perspektywami uniwersalnej definicji życia*, [w:] „Studia Philosophica Wratislaviensia”, vol. 1, fasc. 1, 2010, ss. 75–96.
13. Chodasewicz K. (2013), *Wieloraka realizacja i życie*, [w:] „Filozofia i nauka”, tom 1, 2013, ss. 114–134.
14. Chodasewicz K. (2014), *Definiować, czy nie? Współczesne kotrowersje na temat potrzeby i sposobu definiowania życia*, [w:] „KOSMOS”, tom 63, nr 4(305), ss. 501–516.
15. Chorąży M. (2011), *Wprowadzenie do biologii systemów*, [w:] NAUKA, 1/2011, ss. 59–84.
16. Davies P.C.W. (2012), *The Epigenome and Top-Down Causation*, [w:] „Interface Focus” vol. 2, issue 1, ss. 42–48.

17. Downes S.M. (2006), *Biological Information*, [w:] „Philosophy of Science: An Encyclopedia”, [red:] J. Pfeiffer, S. Sarkar, New York, Routledge, ss. 64–68.
18. Emmeche C. (1992), *Life as an Abstract Phenomenon: Is Artificial Life Possible?*, [w:] „Towards a Practice of Autonomous Systems”, [red:] P. Bourguine, F.J. Varela, MIT Press, Cambridge, ss. 466–474.
19. Ewert W., Dembski W.A., Marks II R.J. (2013), *Active Information in Metabiology*, [w:] „BIO-Complexity”, 2013 (4), ss. 1–10; tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://bio-complexity.org/ojs/index.php/main/article/view/BIO-C.2013.4/>.
20. Gánti T. (1986), *Podstawy życia*, tłum. Tomasz Kulisiewicz, Wiedza Powszechna, Warszawa.
21. Gecow A. (2010), *Ewa, Jabłonka i Lamarck*, [w:] „KOSMOS”, tom 59, nr 1–2(286–287), ss. 27–38.
22. Godfrey-Smith P. (2000), *On the Theoretical Role of „Genetic Coding*, [w:] „Philosophy of Science”, vol. 67, ss. 26–44.
23. Goodwin B. (1994), *How the Leopard Changed its Spots. The Evolution of Complexity*, Phoenix Books, London.
24. Griffiths P.E. (2001), *Genetic Information: A Metaphor in Search of a Theory*, [w:] „Philosophy of Science”, vol. 68, ss. 394–412.
25. Holliday R. (2006), *Epigenetics: A Historical Overview*, [w:] „Epigenetics”, vol. 1, issue 2, ss. 76–80.
26. Jablonka E., Lamb M.J. (1995), *Epigenetic Inheritance and Evolution: The Lamarckian Dimension*, Oxford University Press
27. Jerzmanowski A. (2001), *Geny i życie. Niepokoje współczesnego biologa*, Prószyński i S-ka, Warszawa.
28. Kaznatcheev A. (2012a), *Is Chaitin Proving Darwin with Metabiology?*; tekst dostępny pod adresem internetowym: <https://egtheory.wordpress.com/2012/06/29/proving-darwin/>.
29. Kaznatcheev A. (2012b), *Critique of Chaitin's Algorithmic Mutation*; tekst dostępny pod adresem internetowym: <https://egtheory.wordpress.com/2012/07/08/algorithmic-mutation/>.
30. Koj A., Jura J., Rokita H. (2005), *Informacja genetyczna jako deterministyczny chaos*, [w:] „Informacja a rozumienie”, [red:] M. Heller, J. Mączka, Wydawnictwo Biblos, Kraków, ss. 73–90.
31. Konieczny L., Roterman I., Spólnik P. (2010), *Biologia systemów. Strategia działania organizmu żywego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
32. Kozłowski J. (2011), *Czy teorię ewolucji można zmatematyzować?* [w:] „Ewolucja życia i ewolucja wszechświata”, [red:] J. Mączka, P. Polak, Copernicus Center Press, Kraków, ss. 75–84.
33. Krzanowska H. (1995), *Zapis informacji genetycznej*, [w:] „Zarys mechanizmów ewolucji”, [red:] H. Krzanowska, A. Łomnicki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 17–70.
34. Łatawiec A. (1983), *Koncepcje informacji biologicznej*, [w:] „Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody”, tom 5, [red:] K. Kłósak, Warszawa, ss. 151–259.
35. Łatawiec A. (1996), *Życie a informacja biologiczna*, [w:] „Śląskie Studia Historyczno-Teologiczne”, nr 29, ss. 231–234.
36. Lewontin R. (1993), *Biology as Ideology: The Doctrine of DNA*, Harper Perennial, New York.
37. Luskin C. (2014), *Why Chaitin's Mathematical „Proof” of Darwinian Evolution Fails*; tekst dostępny pod adresem internetowym: http://www.evolutionnews.org/2014/04/bio-complexity_084071.html.
38. Maynard Smith J. (1992), *Problemy biologii*, tłum. Maria Aleksandra Bitner, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

39. Maynard Smith J., Szathmáry E. (2000), *Tajemnice przełomów w ewolucji. Od narodzin życia do powstania mowy ludzkiej*, tłum. Michał Madaliński, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
40. Noble D. (2006), *The Music of Life. Biology Beyond the Genome*, Oxford University Press.
41. Nurse P. (2008), *Life, Logic and Information*, [w:] „Nature” vol. 454, ss. 424–426.
42. Poczubut R. (2011), *Od rozszerzonego życia do rozszerzonego umysłu (poznania)*, [w:] „Przegląd filozoficzno-literacki”, nr 2–3(31), ss. 217–238.
43. Poundstone W. (2013), *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*, Dover Publications.
44. Sarkar S. (1996), *Biological Information: A Sceptical Look at Some Central Dogmas of Molecular Biology*, [w:] „The Philosophy and History of Molecular Biology: New Perspectives”, [red.] S. Sarkar, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, ss. 187–232.
45. Shallit J. (2013), [recenzja książki] *Proving Darwin: Making Biology Mathematical*, [w:] „Reports of The National Center For Science Education”, vol. 33, no. 1; tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://reports.ncse.com/index.php/rncse/article/view/150/217>.
46. Tanga M., Gelati G., Ghelli F. (2013), *From Metabiology To Metaevolution: A New Perspective In (Life) Sciences*, [w:] „Journal of The Siena Academy of Sciences”, vol. 5 – 2013, ss. 59–74.
47. Walker S.I., Cisneros L., Davies P.C.W. (2012), *Evolutionary Transitions and Top-Down Causation*, [w:] „Artificial Life 13”, [red.] Ch. Adami, D.M. Bryson, Ch. Ofria, R. Pennock, MIT Press, Cambridge, ss. 283–290.
48. Walker S.I., Davies P.C.W. (2012), *The Algorithmic Origins of Life*, [w:] „J.R. Soc. Interface”, vol. 10, issue 79; tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/10/79/20120869>.
49. Żekanowski C., Łuków P. (2005), *Genocentryzm: między biologią, filozofią i kulturą*, tekst dostępny pod adresem internetowym: <http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,4189>.

Life-Information-Evolution. A Critique of Gregory Chaitin's Metabiology

Abstract

The aim of the paper is twofold. First, it presents the fundamental ideas and results of the “metabiology” created by G. Chaitin. Second, it shows why metabiology ultimately fails as a candidate for being a proper mathematical model for the theory of evolution by natural selection. Because of genocentric reductionism and biological oversimplifications metabiology should be perceived rather as an expression of the philosophical worldview of its author.

Rozdział 5

Rola symulacji komputerowych we współczesnej kosmologii

Justyna Szatan

Politechnika Warszawska, Wydział Administracji i Nauk Społecznych

Streszczenie. Rozwój technologii komputerowej nie tylko zmienił codzienne życie człowieka, ale przede wszystkim istotnie wpłynął na kształt współczesnej nauki. Doskonałym przykładem w tym względzie jest kosmologia przyrodnicza. Komputery, których moc obliczeniowa znacznie przewyższa moc obliczeniową człowieka, jak i rozwój metod numerycznych, okazały się być bardzo skutecznym narzędziem dostarczającym wiedzy na temat tych obszarów Wszechświata, których badanie przy użyciu teorii i eksperymentu jest wysoce utrudnione. Głównym celem niniejszego artykułu jest wskazanie przykładów potwierdzających tezę, iż symulacje komputerowe stanowią w kosmologii równorzędną do teorii i obserwacji metodę badań.

Słowa kluczowe: symulacje komputerowe, kosmologia przyrodnicza, teoria, eksperyment, model

5.1. Wprowadzenie

Już od czasów najdawniejszych człowiek próbował poznawać otaczającą go rzeczywistość. Początkowo stawiał pytania w odniesieniu do najbliższego otoczenia, z czasem jednak rozszerzał zakres swoich zainteresowań i próbował badać to, co wydawało się wykraczać poza zakres jego możliwości poznawczych. Jednym z ogromnych sukcesów w tym względzie jest powstanie kosmologii przyrodniczej. Nauka ta niewątpliwie przyczyniła się do poszerzenia naszej wiedzy na temat globalnie wziętego Wszechświata, a przede wszystkim pozwoliła nam na uzyskanie w mia-

rę spójnego obrazu rzeczywistości. Zdobywanie, badanie i objaśnianie największego dostępnego nam obszaru fizycznego¹ jest możliwe dzięki ciągle rozwijającym się badaniom teoretycznym, licznym obserwacjom, a od pewnego czasu również dzięki symulacjom komputerowym. Zarówno komputery, których moc obliczeniowa znacznie przewyższa moc obliczeniową człowieka, jak i rozwój metod numerycznych okazały się być bardzo skutecznym narzędziem dostarczającym wiedzy na temat tych obszarów Wszechświata, których badanie „tradycyjnymi” metodami jest wysoce utrudnione. Głównym celem niniejszego artykułu jest wskazanie przykładów potwierdzających tezę, iż symulacje komputerowe stanowią w kosmologii równorzędną do teorii i obserwacji metodę badań. Co więcej, symulacje komputerowe nie tylko przyczyniają się do poszerzenia naszej wiedzy z zakresu kosmologii, ale również ich sukcesy w zdobywaniu informacji na temat globalnie wziętego Wszechświata stają się źródłem licznych dyskusji filozoficznych.

5.2. Teoria i obserwacje

– trudności w badaniu Wszechświata w wielkiej skali

Kosmologia w sposób wyraźny odróżnia się od pozostałych nauk przyrodniczych ze względu na to, iż przedmiotem jej badań jest Wszechświat rozumiany jako całość. Opisywanie i wyjaśnianie funkcjonowania tak rozumianego Wszechświata stało się możliwe dzięki zastosowaniu wyspecjalizowanego aparatu matematycznego. To właśnie m.in. dzięki równaniom różniczkowym, geometrii Riemanna i rachunkowi tensorowemu Einstein jako pierwszy mógł przedstawić teorię opisującą zachowanie Wszechświata jako całości. Zmatematyzowane teorie legły u podstaw tworzenia modeli kosmologicznych, które stanowią teoretyczne ramy pozwalające opracować i zrozumieć wyniki eksperymentu. O poprawności modelu decyduje zgodność z obserwacjami. Wyprowadzając implikacje testowalne i porównując je z aktualnymi obserwacjami następuje wybór jednego z wielu modeli (w przypadku kosmologii relatywistycznej) lub przyjęcie bądź obalenie modelu proponowanego (w innych ko-

¹ H. Bondi, *Kosmologia*, Warszawa, 1965, s. 20.

smologiach)². Tego typu procedury pozwoliły na odsłonięcie wielu istotnych szczegółów m.in. na temat wieku, kształtu, tempa ekspansji czy przebiegu ewolucji Wszechświata. Niemniej jednak, mimo licznych sukcesów zaczęły się pojawiać pytania, na które udzielenie odpowiedzi tylko i wyłącznie przy użyciu teorii i eksperymentu byłoby niemożliwe lub wysoce utrudnione.

Kluczowym problemem w badaniu Wszechświata jest to, że człowiek jest jego częścią i nie może wyjść poza jego obszar³. Oznacza to, iż zdobywanie informacji na temat globalnie wziętego Kosmosu odbywa się z jednego punktu i nie ma możliwości wychodzenia na zewnątrz i porównania tego, jak wygląda Wszechświat w innych obszarach czasoprzestrzennych. Dodatkowo wszelkie informacje na temat Wszechświata docierają do człowieka ze skończoną prędkością, co oznacza, że obserwując bardzo odległe obiekty widzimy je takimi, jakimi były one w przeszłości. Fakty te w znacznym stopniu ograniczają możliwości zdobywania informacji na temat Wszechświata jako całości. Kosmolog nie może tak, jak np. fizyk eksperymentator badać w laboratorium przedmiotu swoich zainteresowań. Nie może też, jak ma to miejsce w większości nauk przyrodniczych odtwarzać, czy izolować od siebie procesów, które leżą w obszarze jego zainteresowań. Trudno byłoby mu bowiem eksperymentować na przykład z ewolucją galaktyk. W wielu przypadkach badanie globalnie wziętego Wszechświata jest po prostu niezwykle trudne, o ile w ogóle możliwe do przeprowadzenia tradycyjnymi metodami (tn. przy użyciu teorii i obserwacji). Przykładem może tu być formowanie się i ewolucja kosmicznych struktur, czy liczne pytania narastające wokół ciemnej materii⁴. Rozwiązanie tych kwestii

² Tego typu procedury miały miejsce np. w przypadku sfalsyfikowania modelu stanu stacjonarnego i potwierdzenia modelu gorącego Wszechświata. Było to możliwe dzięki pionierskim rozważaniom Edwina Hubble'a i sformułowaniu przez niego prawa o oddalaniu się od siebie galaktyk z prędkością proporcjonalną do odległości znanego jako prawo Hubble'a, odkryciu w 1965 roku przez Arno Penziasa i Roberta W. Wilsona promieniowania relikтового, a także dzięki zaobserwowaniu przesunięcia ku czerwieni przez Vesto M. Slipera oraz Milтона L. Humasona, które przyczyniło się do odrzucenia modelu statycznego Wszechświata, patrz np. J. Turek, *Wszechświat dynamiczny*, Lublin 1995, s. 45.

³ S. Mazierski, *Charakterystyka i kierunki rozwoju kosmologii przyrodniczej*, „Roczniki Filozoficzne” XVIII (1970), z. 3, s. 17.

⁴ Pytania te dotyczą m.in. kwestii czym jest ciemna materia, z czego jest zbudowana i jaka jest jej natura. Publikowane są liczne prace dotyczące tych zagadnień zobacz np. M. Livio, J. Silk, *Physics: Broaden Search for Dark Matter*, „Nature” (2014) 507, s. 29–31; J. Hogan, *Unseen Universe: Welcome to the dark side*, „Nature” (2007) 448, s.240–245; V. Rubin, *Dark Matter in the Universe*, „Scientific American. Special Issue: Cosmos”, 1998, s. 106–110; M. Livio (ed.) *The Dark Universe. Matter, Energy and Gravity*, New York 2003; R. Caldwell, M. Kamionkowski, *Cosmology: Dark matter and dark energy*, „Nature” (2009) 458, s. 587–589.

przy użyciu eksperymentu byłoby możliwe do przeprowadzenia, niemniej jednak wymagałoby ogromnych nakładów finansowych, a przede wszystkim byłby to niezmiernie długi proces⁵. Specyfika przedmiotu kosmologii, wymagała zatem znalezienia dodatkowego sposobu badania rzeczywistości, który byłby jednocześnie metodą równoległą do teorii i obserwacji. Z pomocą przyszła tu technologia komputerowa, której szybki rozwój w końcu XX i początkach XXI wieku zaowocował powstaniem nowego narzędzia do badania wielkoskalowego Wszechświata, jakim są symulacje komputerowe.

5.3. Rozumienie symulacji komputerowych i ich znaczenie we współczesnych badaniach kosmologicznych

Pojęcie symulacji jest w nauce pojęciem wieloznacznym⁶, także w przypadku symulacji komputerowych nie występuje jedno ich rozumienie⁷. Warto zatem przyrzeć się nieco bliżej ich pojmowaniu i procesowi tworzenia, a następnie zbadać użyteczność tego typu metody badań w kosmologii przyrodniczej.

W rozumieniu potocznym symulacja komputerowa jest pojmowana jako naśladowanie czy odtwarzanie zachowania kogoś lub czegoś przy użyciu komputera. Stworzenie takiej symulacji zakłada pewną znajomość, posiadanie pewnych informacji na temat obiektu, który jest naśladowany przez komputer. Podobne założenie ma miejsce w definicji zawartej w słowniku języka polskiego, w którym symulacje komputerowe definiuje się jako: „badanie zachowania się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji działania programów komputerowych symulujących to zachowanie”⁸. Z kolei w nauce znajdujemy trojaki ich rozumienie:

⁵ W.A. Hewling, *Kosmologia ciemnej materii z oddziaływaniem skalarnym*, Rozprawa doktorska z zakresu astrofizyki napisana pod kierownictwem prof. dr. hab. Romana Juszkiewicza Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Warszawa 2010.

⁶ Kwestię tą szczegółowo przedstawia: A. Latawiec, *Pojęcie symulacji i jej użyteczność naukowa*, Warszawa 1993.

⁷ Zobacz np. Hasło: Computer Simulations in Science, [w:] „Stanford Encyclopedia of Philosophy” <http://plato.stanford.edu/entries/simulations-science/>, dostęp: 5.09.2014.

⁸ Słownik języka polskiego PWN, http://sjp.pwn.pl/slownik/3067986/symulacja_komputerowa, dostęp: 05.09.2014.

- 1) W sensie wąskim symulacja komputerowa jest to program realizowany przez komputer, który krok po kroku realizuje reguły zapisane za pomocą modelu matematycznego⁹.
- 2) W sensie szerokim przez symulację komputerową rozumie się metodę pozwalającą na badanie systemu działającego w czasie¹⁰.
- 3) W ujęciu alternatywnym próbuje rozpatrywać się ją jako szczególny przypadek symulacji, który realizowany jest przez zaprogramowany komputer. Symulacja definiowana jest tu jako dowolny system A, który posiada dynamiczne zachowanie podobne do innego systemu B, tak że używany przez nas system A może być zastosowany do poznania drugiego systemu B¹¹.

W drugim rozumieniu symulacja komputerowa obejmuje cały proces, na który w skrócie składa się: wybór odpowiedniego modelu, ustalenie algorytmu postępowania, utworzenie na jego podstawie programu komputerowego, uruchomienie programu, analiza wyników programu komputerowego, weryfikacja bądź walidacja modelu, wyciąganie wniosków dotyczących systemu, który próbuje się modelować i wizualizacja wyników¹².

Chcąc stworzyć symulację badanego systemu musimy dysponować parametrami wejściowymi tzn. musimy mieć jakąś wiedzę na temat tego systemu. Wiedza ta pozyskiwana jest na drodze rozważań teoretycznych, bądź eksperymentu¹³. Na bazie tak pozyskanych informacji i w drodze pewnych przybliżeń (uwzględnieniu cech naszym zdaniem istotnych i ustaleniu relacji między tymi cechami) uzyskujemy to, co jest charakterystyczne dla systemu,

⁹ Zobacz np. T. Grune-Yanoff, P. Weirich, *The Philosophy and Epistemology of Simulation A Review*, „Simulation & Gaming” 41(1), 2010, s. 22; E. Winsberg, *Computer Simulation and The Philosophy of Science*, „Philosophy Compass” 4/5 (2009), s. 835.

¹⁰ Definicję taką znaleźć można np. w: G.S. Fishman, *Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody*, Warszawa 1981; S. Robinson, *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, 2004; E. Winsberg, *op. cit.*, s. 836.

¹¹ Zobacz np.: P. Humpreys, *Extending ourselves: Computational science, empiricism, and scientific methods*, New York 2004, s. 110.

¹² Zobacz np. E. Winsberg, *op. cit.*, s. 836; A. Latawiec, *Rola symulacji w kreowaniu świata wirtualnego*, [w:] A. Kiepas, M. Sułkowska, M. Wołek, *Człowiek a światy wirtualne*, Katowice, 2009, s. 55, P. Stacewicz, A. Włodarczyk, *O modelowaniu informatycznym, ze szczególnym odniesieniem do badań nad sztuczną inteligencją*, *Zagadnienia Naukoznawstwa* 4, (190), 2011; s. 481–500.

¹³ Grotendorst J., Marx D., Muramatsu A., *Quantum Simulations of Complex Many-Body Systems: From Theory to Algorithms*, John von Neumann Institute for Computing, Jlich, NIC Series, (2002) vol. 10, s. 211–254.

i tworzymy model, który w przypadku symulacji komputerowych zapisywany jest w postaci wzorów matematycznych. Następnie ma miejsce przekazanie do komputera polecenia wykonania określonych działań. Dzieje się to w dwóch krokach. Po pierwsze ustala się reguły postępowania prowadzące do rozwiązania konkretnego problemu, czyli tworzy się algorytm postępowania. Po drugie tłumaczy się algorytm na „zbiór instrukcji określonego języka programowania”¹⁴ innymi słowy pod postacią programu komputerowego zleca się komputerowi wykonanie określonych działań¹⁵. Po uruchomieniu symulacji dokonujemy porównania jej wyników z wynikami doświadczalnymi, co pozwala nam na ocenę trafności wyboru modelu. Zweryfikowany model pozwala na uzyskanie wiedzy na temat tych własności obiektów materialnych, których pomiar jest wysoce utrudniony lub nie można go dokonać w sposób bezpośredni¹⁶. Jak już zostało wspomniane z uwagi, iż kosmologia jest nauką o globalnie wziętym Wszechświecie i odległości w niej rozpatrywane są ogromne, coraz powszechniejsze jest przeprowadzanie doświadczeń i obserwacji na modelu z wykorzystaniem programu symulacyjnego.

Jednym z przykładów potwierdzającym skuteczność symulacji komputerowych w zdobywaniu informacji na temat wielkoskalowego Wszechświata jest badanie procesów zachodzących podczas masowych i gwałtownych narodzin gwiazd, które powstają na skutek zderzenia galaktyk. Badania zakończone sukcesem w tym względzie udało się przeprowadzić grupie francuskich astronomów pod kierownictwem Florenta Renauda¹⁷. Zespół ten przy użyciu dwóch najpotężniejszych superkomputerów (Super MUC pracującego przez 8 miesięcy oraz Curie pracującego przez 12 miesięcy) dokonał symulacji procesów zachodzących przy zderzeniu galaktyk NGC 4038 oraz NGC 4039, a także dla galaktyki podobnej do Drogi Mlecznej. Dla dwóch pierwszych galaktyk symulacja obejmowała warunki panujące na obszarze 600 tysięcy lat świetlnych dla galaktyki podobnej do naszej było to 300 tysięcy lat świetlnych. Powstanie gwiazd ma miejsce, gdy zawarty w galaktykach gaz zaczyna kolapsować na skutek oddziaływań grawitacyjnych. Przy zderzeniach galak-

¹⁴ Tao Pang, *Metody obliczeniowe w fizyce*, Warszawa 2001, s. 20.

¹⁵ Szczegółowy opis tworzenia algorytmów i programów komputerowych, znaleźć można w: Tao Pang, *op. cit.*, s. 18–20.

¹⁶ Por. Heermann W.D., *Computer Simulation Method in Theoretical Physics*, Berlin 1990, a także P. Stacewicz, A. Włodarczyk, *op. cit.*

¹⁷ Wyniki pracy zostały opublikowane w: F. Renaud, F. Bounaud, K. Kraljic, P.-Alain Duc, *Starbursts triggered by inter-galactic tides and interstellar compressive turbulence*, marzec 2014, w: <http://arxiv.org/pdf/1403.7316.pdf>, dostęp: 05.09.2014.

tyk zwiększają się losowe ruchy gazu i powstają turbulencje czyniące o wiele trudniejszym zapadanie się gazu. Wydawać by się mogło zatem, iż procesy odpowiedzialne za tworzenie gwiazd powinny zostać w tym wypadku spowolnione, ale symulacja przeprowadzana przez grupę Renaulta wykazała, że w rzeczywistości ulegają one przyspieszeniu. Jak się okazało podczas zderzenia galaktyk przejście w stan kompresji jest bardziej prawdopodobne. Zderzanie galaktyk generuje nadmiar gęstego gazu, wskutek czego dochodzi do gwałtownych narodzin licznych gwiazd. Narodziny te są dużo efektywniejsze w przypadku zderzenia dwóch galaktyk aniżeli w przypadku galaktyki pojedynczej. Sukces naukowców z francuskiego Instytutu AIM pokazał, że symulacje komputerowe są niezwykle pomocne w odczytywaniu natury i historii galaktyk¹⁸.

Innym sukcesem wykorzystania programu symulacyjnego do badań nad Wszechświatem w wielkiej skali jest projekt o nazwie „Illustris”. Symulacja ta obejmuje niewielki fragment Kosmosu i odtwarza 13 miliardów lat ewolucji zarówno w skali mega jak i mikro. Symulowany wycinek Wszechświata to sześcian o bokach długości 350 milionów lat świetlnych, wewnątrz którego znajduje się 12 miliardów trójwymiarowych pikseli reprezentujących zarówno materię barionową, jak i ciemna materię. Pięć lat kodowania i trzy miesiące obliczeń na ośmiu tysiącach procesorów dało naukowcom z Massachusetts Institute of Technology możliwość prześledzenia jak ewoluowała materia we Wszechświecie (procesy formowania się gwiazd, czarnych dziur oraz powstawania galaktyk). Projekt został przyjęty z wielkim entuzjazmem dlatego, iż wymodelowane w nim zdarzenia zarówno w wielkiej jak i małej skali dosyć dobrze zgadzają się z obserwacyjną bazą danych (np. tempo formowania się gwiazd, masy gwiazd i ciemnej materii w galaktykach, ilość i rozłożenie galaktyk spiralnych i eliptycznych w przeszłości i teraz). Sam projekt napawa optymizmem, jeżeli chodzi o przyszłość badań z użyciem programów symulacyjnych. Niebywałą zaletą takiej symulacji jest to, że naukowcy mogą dowolnie cofać się w czasie, zatrzymywać się w dowolnym momencie i przybliżać wybrane obszary, aby przyjrzeć się dokładnej zjawiskom występującym w pojedynczej galaktyce (wprawdzie kosmologowie mieli wgląd we wczesny Wszechświat dzięki Kosmicznemu Teleskopowi Hubble’a, niemniej jednak przy jego użyciu nie było możliwe śledzenie ewolucji pojedynczej galaktyki).

¹⁸ Royal Astronomical Society, *A turbulent birth for stars in merging galaxies*, w: <http://www.ras.org.uk/news-and-press/news-archive/254-news-2014/2444-a-turbulent-birth-for-stars-in-merging-galaxies>, dostęp: 30.08.2014.

Zdaniem autorów projektu mimo pewnych niezgodności z obserwacjami¹⁹ „Illustris” stanowi ważne narzędzie w badaniach kosmologicznych, a nieścisłości w nim występujące powinny skłonić naukowców do dalszych badań, gdyż świadczą o tym, iż nie rozumiemy czegoś w realnym Wszechświecie i nie potrafimy jeszcze w sposób dokładny odtwarzać mechanizmów jego rozwoju²⁰.

Oprócz wskazanych przykładów symulacje komputerowe okazały się użyteczne także w badaniach dotyczących ciemnej materii oraz w badaniach procesów powstawania pierwszych gwiazd. Pierwsze z nich prowadzone w ramach Programu Obliczeń Wielkich Wyzwań Nauki i Techniki (POWIEW) pozwoliły na wizualizację pola gęstości ciemnej materii we Wszechświecie. Program kierowany przez W. A. Hewllinga pozwolił przy użyciu Superkomputera IBM Power 775 Boreasz²¹, wykonać jedną z największych symulacji kosmologicznych o nazwie COpernicus COMplexio. Sześć tygodni pracy komputera objęło 13 miliardów punktów, pozwalających na odtworzenie skupisk ciemnej materii we Wszechświecie²². Poprzez symulacje komputerowe stara się także odkryć, wytłumaczyć i zrozumieć procesy powstawania pierwszych gwiazd. Dzięki działaniu superkomputerów astronomowie z Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics wywnioskowali m.in. iż czas powstawania pierwszych gwiazd może być znacznie dłuższy niż zakładano pierwotnie²³.

Powyższe przykłady wskazują na przydatność symulacji komputerowych w procesie badania Wszechświata jako całości. Co więcej ich sukcesy pozwalają wysunąć wniosek, iż stanowią one obok obserwacji i teorii, wiarygodną i równorzędną metodę zdobywania informacji na temat wielkoskalowego Wszechświata. Symulacje pozwoliły na ustalenie szeregu informacji, których otrzymanie byłoby znacznie trudniejsze przy użyciu tradycyjnych

¹⁹ Illustris przedstawia wcześniejsze i szybsze niż w rzeczywistości powstawanie gwiazd w małych galaktykach i nie daje możliwości modelowania powstania wczesnych czarnych dziur. Patrz: M. Boylan-Kolchin, *A virtual Universe*, „Nature” (2014) vol. 509, s. 170.

²⁰ Dane zawarte w niniejszym paragrafie pochodzą z: M. Vogelsberger, S. Genel, V. Springel, P. Torrey, D. Pijacki, D. Xu, G. Snyder, S. Bird, D. Nelson, L. Hernquist, *Properties of galaxies reproduced by hydrodynamic simulation*, „Nature” (2014) vol. 509, s. 177–182.

²¹ Szczegółowe informacje na temat systemu IBM Power 775 dostępne są na stronie projektu: http://wielkiewyzwania.pl/?page_id=626, dostęp: 30.09.2014.

²² Wizualizacja wyników zespołu Hewllinga dostępna jest na stronie: <http://vimeo.com/76812335>, dostęp: 30.09.2014.

²³ T.H. Greif, V. Springel, V. Bromm, *On the operation of the chemothermal instability in primordial star-forming clouds*, opublikowany, maj 2014, w: <http://arxiv.org/abs/1305.0823>, dostęp: 30.09.2014.

metod. W porównaniu z metodami analitycznymi, zastosowanie komputerów w badaniach nad Kosmosem skraca czas²⁴, w porównaniu z eksperymentem w bardzo wielu przypadkach koszty przeprowadzanych badań ulegają zmniejszeniu²⁵. Wielu uczonych uważa, iż „Symulacje komputerowe są jedyną metodą pozwalającą analizować powstawanie wielkoskalowej struktury Wszechświata, poczynwszy od małych początkowych zaburzeń, aż do wysoce nieliniowej i skomplikowanej struktury obserwowanej w dzisiejszym kosmosie²⁶.” Symulacje komputerowe z jednej strony dają możliwość dopełnienia i uzupełnienia eksperymentu tzn. pozwalają na przeprowadzenie badań tam, gdzie trudne jest zastosowanie metody obserwacyjnej. Z drugiej zaś strony pozwalają sprawdzać hipotezy, testować aktualne modele, a w szczególności testować i tworzyć nowe teorie.

5.4. Zakończenie

Powyższe przykłady i korzyści płynące z zastosowania metody symulacyjnej w porównaniu z metodami tradycyjnymi pozwalają na przypisanie symulacjom komputerowym roli równorzędnej do teorii czy eksperymentu. Co więcej, sukcesy eksplanacyjne tej metody są istotnie nie tylko z punktu widzenia kosmologii, ale i filozofii. Stały się one powodem do refleksji dla przedstawicieli wielu dyscyplin filozoficznych. Przykładem często podejmowanych kwestii w związku ze znaczącą rolą symulacji komputerowych w kosmologii jest problem matematyczności świata. Ponieważ działanie komputera opiera się na matematyce ożyły nadzieje na stworzenie nowego argumentu za matematycznością przyrody. Właśnie ta metoda poznawcza ożywiła wśród filozofów pytanie o możliwość zrozumienia Wszechświata w całej jego złożoności. Szczególne zainteresowanie budzi fakt, iż wykorzystywane w kosmologii superkomputery dają możliwość przewidywania i wizualizowania tego, co będziemy mogli zobaczyć przy użyciu teleskopów lub poprzez analizę danych.

W przypadku przeprowadzania symulacji zainteresowanie wzbudził fakt, iż komputery wychodząc od pewnego zadanego stanu początkowego, doko-

²⁴ I. Białynicki-Birula, I. Białynicka-Birula, *Modelowanie rzeczywistości, jak w komputerze przegląda się świat*, Warszawa 2007, s. 7.

²⁵ P. Humpreys, *op. cit.*, s. 133–134.

²⁶ W. A. Hewlling, *op. cit.*, s. 34.

nują szeregu bardzo długich matematycznych przekształceń zgodnie z zadanymi regułami. Działanie komputera opiera się na matematyce, to znaczy, że bez niej tworzenie symulacji komputerowych nie byłoby ani zrozumiałe ani możliwe. Skuteczność metody symulacyjnej miałaby być potwierdzeniem możliwości powiązania świata rzeczywistego z abstrakcyjnymi równaniami matematycznymi, bowiem otrzymywane wyniki stanowią wizualizację tego, co otrzyma się po wprowadzeniu do komputera pewnych reguł matematycznych. Skuteczność symulacji komputerowych, widziana jest zatem jako nowy argument za matematycznością świata²⁷. Jak można zatem zauważyć, symulacje komputerowe stanowią nie tylko niezwykle skuteczne narzędzie w nauce, w istotny sposób wpływając na jej kształt, ale ich skuteczność wpływa także na kierunek dyskusji podejmowanych w ramach współczesnej filozofii.

BIBLIOGRAFIA

1. Barrow J.D., *Pi razy drzwi*, Warszawa 1996.
2. Białynicki-Birula I., Białynicka-Birula I., *Modelowanie rzeczywistości, jak w komputerze przegląda się świat*, Warszawa 2007.
3. Bondi H., *Kosmologia*, Warszawa 1965.
4. Boylan-Kolchin M., *A virtual Universe*, „Nature” (2014) vol. 509, s. 170–171.
5. Caldwell R., Kamionkowski M., *Cosmology: Dark matter and dark energy*, „Nature” (2009) vol. 458, s. 587–589.
6. Davies P., *Plan Stwórcy*, Kraków 1996.
7. Fishman G.S., *Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody*, Warszawa 1981.
8. Greene B., *Ukryta Rzeczywistość*, Warszawa 2012.
9. Greif T.H., Springel V., Bromm V., *On the operation of the chemothermal instability in primordial star-forming clouds*, maj 2014, w: <http://arxiv.org/abs/1305.0823>, dostęp: 30.09.2014.
10. Grotendorst J., Marx D., Muramatsu A., *Quantum Simulations of Complex Many-Body Systems: From Theory to Algorithms*, John von Neumann Institute for Computing, Jlich, NIC Series, (2002) vol. 10, pp. 211–254.
11. Grune-Yanoff T., Weirich P., *The Philosophy and Epistemology of Simulation A Review*, „Simulation & Gaming” 41(1), 2010, s. 20–50.
12. Heermann W.D., *Computer Simulation Method in Theoretical Physics*, Berlin 1990.
13. Hewlling W.A., *Kosmologia ciemnej materii z oddziaływaniem skalarnym*, Rozprawa doktorska z zakresu astrofizyki napisana pod kierownictwem prof. dra hab. Romana Juszkiewicza Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Warszawa 2010.
14. Hogan J., *Unseen Universe: Welcome to the dark side*, „Nature” (2007) 448, s. 240–245.

²⁷ Rozważania na ten temat prowadzą m.in.: B. Greene, *Ukryta Rzeczywistość*, Warszawa 2012; J.D. Barrow, *Pi razy drzwi*, Warszawa 1996; P. Davies, *Plan Stwórcy*, Kraków 1996; P. Polak, *Komputery, wyobrażenia i współczesna filozofia przyrody* [w:] M. Kuszyk-Bytniewska, A. Łukasik (red.), „Filozofia przyrody współcześnie”, Kraków 2010, s. 305–318.

15. Humpreys P., *Extending ourselves: Computational science, empiricism, and scientific methods*, New York 2004.
16. Latawiec A., *Pojęcie symulacji i jej użyteczność naukowa*, Warszawa 1993.
17. Latawiec A., *Rola symulacji w kreowaniu świata wirtualnego*, [w:] A. Kiepas, M. Sułkowska, M. Wolek, *Człowiek a światy wirtualne*, Katowice 2009, s. 50–58.
18. Livio M., Silk J., *Physics: Broaden Search for Dark Matter*, „Nature” (2014) 507, s. 29–31.
19. Livio M. (ed.), *The Dark Universe. Matter, Energy and Gravity*, New York 2003.
20. Mazierski, *Charakterystyka i kierunki rozwoju kosmologii przyrodniczej*, „Roczniki Filozoficzne” XVIII (1970), z. 3, s. 13–25.
21. Pang T., *Metody obliczeniowe w fizyce*, Warszawa 2001.
22. POWIEW Pogram Obliczeń Wielkich Wyzwań Nauki i Techniki, *Boreasz – IBM Power 775* w: http://wielkiewyzwania.pl/?page_id=626, dostęp 30.09.2014.
23. Polak P., *Komputery, wyobrażenia i współczesna filozofia przyrody*, [w:] M. Kuszyk-Bytniewska, A. Łukasik (red.), „Filozofia przyrody współcześnie”, Kraków 2010, s. 305–318.
24. Renaud F., Bournaud F., Kraljic K., Duc P.A., *Starbursts triggered by inter-galactic tides and interstellar compressive turbulence*, marzec 2014, w: <http://arxiv.org/pdf/1403.7316.pdf>, dostęp: 05.09.2014.
25. Robinson S., *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, 2004.
26. Royal Astronomical Society, *A turbulent birth for stars in merging galaxies*, w: <http://www.ras.org.uk/news-and-press/news-archive/254-news-2014/2444-a-turbulent-birth-for-stars-in-merging-galaxies>, dostęp: 30.08.2014.
27. Rubin V., *Dark Matter in the Universe*, „Scientific American. Special Issue: Cosmos”, 1998, s. 106–110.
28. Stacewicz P., Włodarczyk A., *O modelowaniu informatycznym, ze szczególnym odniesieniem do badań nad sztuczną inteligencją*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 4, (190), 2011; s. 481–500.
29. Turek J., *Wszelchświat dynamiczny*, Lublin 1995.
30. Vogelsberger M., Genel S., Springel V., Torrey P., Pijacki D., Xu D., Snyder G., Bird S., Nelson D., Hernquist L., *Properties of galaxies reproduced by hydrodynamic simulation*, „Nature” (2014) vol. 509, s. 177–182.
31. Winsberg E., *Computer Simulation and The Philosophy of Science*, „Philosophy Compass” 4/5 (2009), s. 835–845.

The role of computer simulations in the modern cosmology

Abstract

Dynamic development of computer technology has made a lot of changes in human lives and most importantly it has changed the shape of contemporary science. One of the greatest examples to support this thesis is the role of computer simulations in the process of obtaining knowledge about globally taken Universe. Recent research have shown that computer simulations gave a huge possibility to get information about these parts of the Universe which are not available to traditional methods. The main goal of this article is to show that theory and experiment are not sufficient in the study of the Universe in a large scale and that computer simulations are equivalent method to these two.

Rozdział 6

Informatyka szansą na rozwój naukowej lingwistyki¹

André Włodarczyk

Université Charles de Gaulle (Lille 3),
Paris-Sorbonne (Paris 4)

Streszczenie. Lingwistykę drugiej połowy XX wieku cechuje dążenie do w miarę ścisłego opisu zjawisk językowych. Wprawdzie już pod koniec XIX stulecia F. de Saussure poszukiwał takiej definicji języka, dzięki której językoznawstwo mogłoby się stać dyscypliną autonomiczną. Jednakże dopiero pod wpływem matematyki i informatyki zrodziły się tendencje, by opisywać zjawiska językowe przy pomocy narzędzi formalnych.

Początek XXI wieku zdaje się wskazywać na to, że zarówno lingwistyka strukturalna jak i informatyczna korzysta ze zdobyczy informatyki, która umożliwia im przebadanie coraz bogatszych baz danych materiałowych dotyczących poszczególnych języków. Wobec wielkich ilości danych oraz wciąż rosnących możliwości ich przetwarzania rodzą się potrzeby czynienia dalszych kroków w kierunku nauk ścisłych, a zwłaszcza – rzecz jasna – informatyki. Doprowadziło to do rozwoju lingwistyki komputerowej, do budowy słowników elektronicznych oraz oprogramowań do przekładu (jeszcze nie zupełnie) automatycznego.

Jednakże, żeby informatyka stać się mogła szansą dla lingwistyki, potrzebna jest bliższa współpraca między językoznawcami a informatykami. Zatem w drugiej części niniejszego artykułu opisane zostały dwa przykłady badań zarówno teoretycznych jak i z zakresu metodologii, które świadczą o próbach stworzenia nowego podejścia do zagadnień lingwistycznych, jakimi są pojęcia tak ważne, jak predykcja, topikalizacja i tym podobne, ale

¹ Autor dziękuje za cenne rady i wskazówki prof. Bożennie Bojar (Uniwersytet Warszawski), prof. Radosławowi Katarzyniakowi (Politechnika Wrocławska) oraz dr. Pawłowi Staciewiczowi (Politechnika Warszawska), a także recenzentowi prof. Witoldowi Marciszewskiemu (Uniwersytet Warszawski). Winę za błędy i niedociągnięcia, jakie pomimo wszelkich starań, pozostały – być może – w niniejszym rozdziale autor ponosi osobiście, za co z góry pragnie przeprosić Czytających.

także o stosowaniu algorytmów wypracowanych w ważniejszych działach eksploracji danych (data mining) celem ustanowienia nowych procedur dla rzeczowych badań interdyscyplinarnych wiodących, poprzez innowacyjne metody *interaktywne* (człowiek-komputer), do utworzenia w przyszłości lingwistyki prawdziwie *kompleksowej*.

Słowa kluczowe: *lingwistyka strukturalna, lingwistyka informatyczna, lingwistyka interaktywna, skupianie uwagi w wypowiedzi, ontologia języka, semantyka, pragmatyka, orzekanie, meta-informacja*

6.1. Wstęp

Informatyka jest swoistym ucieleśnieniem czy raczej mechanizacją matematyki, bez której żadna metoda badawcza nie może dzisiaj zasługiwać na miano nauki, i to niezależnie od stopnia pożądanej ścisłości w prowadzonych badaniach. Stan aktualny lingwistyki strukturalnej jest niezupełnie zadowalający z punktu widzenia metodologii badań eksperymentalnych artykuł niniejszy reprezentuje stanowisko, według którego nauka jest jedna i zasadza się na matematyce, której część – od pół wieku – przybrała kształt informatyki, czyli inżynierii liczb, danych, informacji i wiedzy.

Dzisiaj zagadnieniem języka zajmują się eksperci wielu dziedzin badawczych, wśród których najważniejszymi są: neurologia mózgu, psychologia, teoria komunikacji, antropologia oraz estetyka. Zatem badania lingwistyczne – siłą rzeczy – winne być interdyscyplinarne, a ponadto eksploracyjne i interaktywne. Nie ulega wątpliwości, że to właśnie informatyka stanie się platformą, która umożliwi rozwój wiedzy w zakresie każdej z dziedzin badawczych, co – jednocześnie – uściśli wiedzę o tych dziedzinach oraz przyczyni się do ich systemowego opisanie, a często także i do symulowania poszczególnych mechanizmów, na jakie składają się zdolności językowe oraz funkcje mowy ludzkiej.

Dalsze unaukowanie lingwistyki jest potrzebą, o której pisze się coraz częściej. Nie tyle więc będzie mowa w tej pracy o przyczynach potrzeby unaukowania poszukiwań wiedzy o języku i językach, ile o nowych metodach naukowych i narzędziach badawczych. W Polsce na ten temat pisali m.in. A. Bogusławski (1986), W. Lapis (2003), J. Bańcerowski (2006), A. Pawłowski (2006) i D. Zielińska (2010). Zaś o potrzebie i sposobności stosowania

narzędzi informatycznych interaktywnych w polonistyce pisała H. Włodarczyk (2010). Oprócz tego Bańcherowski J. (2006) opublikował także ważny artykuł w j. angielskim o tendencjach formalizowania oraz matematyzacji w lingwistyce XX stulecia.

6.2. Lingwistyka w dobie przemian

Pośród nauk humanistycznych i społecznych na przełomie XIX i XX stulecia w lingwistyce – jako najpierwszej – pojawił się paradygmat strukturalny (powstały w dużej mierze pod wpływem rozwoju chemii). Wkrótce też lingwistyka strukturalna stała się nauką „modną”, co przyczyniło się do przyznania jej wiodącej roli wśród nauk takich jak socjologia, antropologia, psychologia poznawcza, teoria komunikacji oraz literatura i estetyka. Jednakże, ulegając wpływom metod opracowywanych w laboratoriach nauk komputerowych, w drugiej połowie XX stulecia „moda” przeobraziła się w szersze zainteresowanie językiem, jego złożoną budową oraz licznymi funkcjami, które można by usiłować poddawać matematycznej formalizacji. To właśnie w atmosferze badań nad językami formalnymi (jakimi są m.in. sztuczne języki wymyślane dla celów programowania pierwszych elektronowych maszyn liczących) Chomsky N. (1956) opracował swoją teorię składni języków naturalnych², którą w niedługim czasie zdołał zainteresować światową wspólnotę lingwistów. Ujawniły się wtedy dwa przeciwstawne kierunki w lingwistyce strukturalnej³: obok deskryptywnego (indukcyjnego) powstał generatywny (dedukcyjny). Podczas gdy „deskryptywiści” zajmowali się różnorodnością materii językowej, zbieraniem i opisywaniem danych, „generatywiści” na podstawie domniemanej jednorodności formy językowej budowali gramatyki formalne. Sytuacja ta była przede wszystkim wynikiem różnicy w definiowaniu języka.

² Warto zauważyć, że w tym samym czasie powstały (1) słynna dzisiaj „hierarchia języków formalnych” lub „hierarchia Chomskiego” a kilka lat później (2) dwa twierdzenia Chomskiego i Schützenbergera (1963) dotyczące (a) obliczania ilości słów w gramatykach bezkontekstowych oraz (b) związku między algebrą a językami formalnymi.

³ Tak właśnie w roku 1987 Altman G. scharakteryzował podstawowe różnice pomiędzy badaniami prowadzonymi nad „formą” i „materią” językową.

W lingwistyce **deskryptywnej** (opisowej) język – to zbiór wyrazów, analiza których prowadzi do poznania jego natury. Zasadniczą czynnością w deskrypcji języka jest wyjaśnianie (**explanation**).

$$J = (W, J)$$

Język – to zbiór wyrazów W otrzymany w wyniku analizy zbioru zdań należących do języka J .

W lingwistyce **generatywnej** język jest definiowany jako zbiór reguł, których znajomość pozwala na tworzenie wszystkich jego wyrażen. Model języka winien posiadać zdolność do **przewidywania** (**prediction**).

$$J = (W, G)$$

Język – to zbiór zdań utworzonych z wyrazów W wedle reguł gramatyki G .

Właściwy przełom w nauce o języku dokonał się jednakże nieco później, a mianowicie kiedy informatycy zaczęli opracowywać algorytmy do przekładu z języka na język. Okazało się wtedy, że oprócz formalnych teorii gramatyk generatywnych trzeba było wypróbować wiele innych podejść⁴. W wyniku badań laboratoryjnych⁵ z technik przetwarzania języków naturalnych wyrosła lingwistyka informatyczna (zwana także lingwistyką komputerową) mająca na celu zarówno analizę jak i syntezę wyrażen języków naturalnych. Jednakże pomimo wielu przydatnych zastosowań rozwiązań teoretycznych, badania prowadzone w tej dziedzinie polegały przede wszystkim na poszukiwaniu reguł gramatycznych z użyciem cech syntaktyczno-semantycznych, tzw. synsem, oraz wiedzy o preferencjach (statystycznych) w używaniu wyrażen językowych. W latach 90. w zasadzie zaprzestano rozwijania – przedtem niezwykle intensywnego – nurtu badań nad teoriami gramatyk formalnych, natomiast informatycy – w miarę możliwości, jak na przykład w Japonii – przenieśli swoje badania na różne uczelnie humanistyczne z programami nauczania nowej dziedziny lingwistycznej znanej pod nazwą przetwarzanie języków naturalnych (*Natural Language Processing*). Ponadto technikami przetwarzania języków naturalnych zainteresowali

⁴ Wśród nich (ok. 30.) przeróżne gramatyki takie jak LFG : Lexico-Functional Grammar (Bresnan, 1982), FUG : Functional Unification Grammars (Key, 1983), HG : Head Grammars (Pollard, 1984), HPSG : Head-driven Phrase Structure Grammar (Pollard, 1985), GPSG : Generalized Phrase Structure Grammar (Gazdar et al., 1985), UCG : Unification Categorical Grammar (Uszkoreit, 1986), TAG : Tree-Adjoining Grammar (Joshi, 1987) itp.

⁵ Nie wszystkie z nich miały praktyczny charakter. Wystarczy wspomnieć Gramatykę Montague'a, której *raison d'être* był przecież aspekt tylko teoretyczny.

się poniektórzy lingwiści będący wykładowcami uniwersyteckimi, którzy wprowadzili je do własnych programów nauczania. Zachowania te świadczą o tym, że ówczesna inżynieria językowa osiągnęła swoje apogeum z powodów tak teoretycznych jak i sprzętowych, i że nabyte doświadczenia przyniosły świadomość konieczności przeprowadzenia dogłębnych badań nad językową „materią”.

Tablica 1

	Lingwistyka strukturalna	Lingwistyka informatyczna
FORMA (Struktury)	Lingwistyka teoretyczna (transformacyjna, generatywna i aplikatywna)	Przetwarzanie języków naturalnych (gramatyki leksykalno-funkcyjne, unifikacyjne i logiczne)
MATERIA (Dane)	Lingwistyka typologiczna (deskryptywna i korpusowa)	Technologie języków ludzkich (zarządzanie bazami danych tekstowych, eksploracja tekstów i Lingwistyka interaktywna ¹)

¹ Zob. podrozdz. 6.3.1.

Należy także wspomnieć o istnieniu czysto matematycznego paradygmatu rozwijającego się równolegle zarówno z lingwistyką strukturalną jak i informatyczną. Do paradygmatu tego należą różne odmiany (podaję tylko inicjatorów) gramatyk kategorialnych (Leśniewski S. (1886–1939), Ajdukiewicz K. (1890–1963), Lambek J. – 1958, Steedman M. – 2000) oraz stratyfikacyjnych (Lamb S. – 1958). Gramatyka Montague’a jest jedną z ważniejszych odmian gramatyki kategorialnej. Jej autor, logik Montague R. (1970), postuluje wręcz, że języki naturalne należy traktować tak samo jak języki formalne. Jest to jednakże stanowisko dość kontrowersyjne, zwłaszcza w zaproponowanej wersji. W Polsce do badań zgodnych z paradygmatem matematycznym można zaliczyć między innymi prace Pogonowskiego J. (1988, 1991, 1993, 1997 i inne).

6.3. Od materii do modelu

Lingwistyka korpusowa polega na prowadzeniu analiz jednostek językowych tworzących teksty, jej prawzorem były listy i kartoteki (dzisiaj pliki komputerowe) wyrażen językowych tworzonych przez lingwistów struktu-

ralistów. Te praktyki zostały zautomatyzowane przy użyciu *technologii języków ludzkich*, której zasadniczym celem jest budowanie słowników i tezaurusów, a w grę wchodzi dzisiaj najnowocześniejsze (częściowo zazębiające się ze sobą) dziedziny badawcze będące pozyskiwaniem wiedzy o językach zwane (a) **drażeniem tekstów** (*text mining*), wyrastającym przede wszystkim z technik zarządzania bazami danych tekstowych⁶ i tych procedur drążenia danych (*data mining*), które służą do wydobywania i obróbki danych surowych oraz (b) **lingwistyką interaktywną**⁷, wyrastającą z technik statystycznej analizy danych (*data analysis*), drążenia danych (*data mining*) oraz zautomatyzowanego odkrywania wiedzy (*automated knowledge discovery*). Drażeniem tekstów nie będę się tutaj zajmował, ponieważ istnieją po polsku prace opisujące dość szczegółowo tę dziedzinę (na przykład Piasecki M., 2010), natomiast postaram się zasygnalizować na tym terenie wciąż jeszcze słabiej rozwiniętą część badań z zakresu drążenia danych (*data mining*), a mianowicie specyfikację danych oraz ewaluację wyników analiz danych w odniesieniu do pozyskiwanej wiedzy od lingwistów w procesie interakcji z programami komputerowymi. Choć wyniki pracy algorytmów na surowym materiale są ważne i ciekawe, to jednak często potwierdzają one jedynie to, co już lingwiści w jakiś sposób opisali. Zatem najważniejszym etapem eksploracji danych w badaniach nad językami (nie zaś tylko tekstami) podczas stosowania narzędzi drążenia danych jest ich opis polegający na przekształcaniu danych surowych na symbole formalne, a następnie poddawaniu wyników tych przekształceń połowicznie zautomatyzowanym analizom i całkowicie zautomatyzowanym ewaluacjom.

6.3.1. Lingwistyka interaktywna

Lingwistyka interaktywna nawiązuje do postulatów *analizy składnikowej* (*componential analysis*) jako metody na wyodrębnianie składników bezpośrednich w jednostkach składniowych. Analiza składnikowa wraz z analizą tematyczną (*theme analysis*) i analizą taksonomiczną (*taxonomic analysis*) stanowiła podwaliny dla takich działów lingwistyki strukturalnej jak teoria

⁶ W Polsce w IPI PAN powstaje Narodowy Korpus Języka Polskiego (Przepiórkowski A., 2004, 2012).

⁷ Termin ukuty przez autora niniejszego artykułu. Warto mimo to przytoczyć raczej wtedy wyjątkowy na świecie przykład bardzo owocnego zastosowania cech semantycznych do opisu ok. 200 czasowników ruchu, a była nim praca B. Bojar, 1979.

poła leksykalnego, gramatyka transformacyjna oraz różne modele semantyki generatywnej. Chociaż została ona niesłusznie krytycznie oceniona i zaniechana na łonie lingwistyki strukturalnej⁸, użycie cech, a dokładniej *struktur cech* (*feature structures*), do opisu gramatyk okazało się nieodzowne w przetwarzaniu języków naturalnych (dział lingwistyki informatycznej zajmujący się pisaniem gramatyk i słowników dla celów budowanych interfejsów (sprzęgów) człowiek-maszyna, przekładu automatycznego z języka na język itp.).

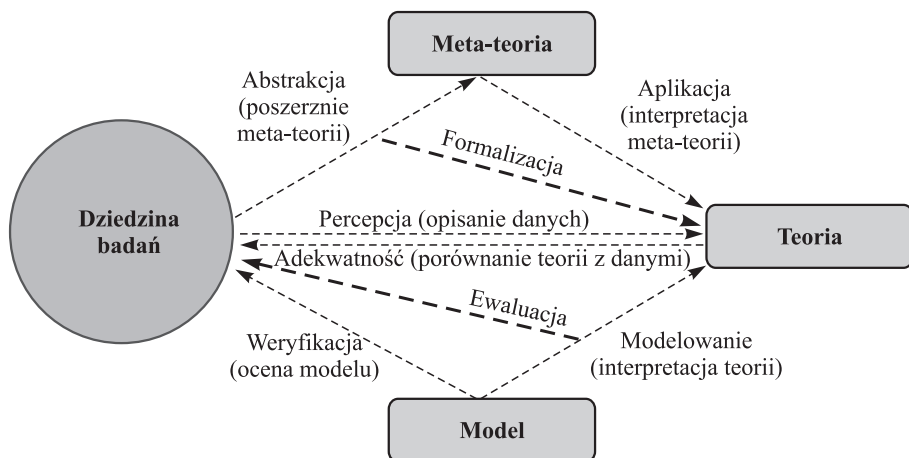
I rzeczywiście, podstawą naukowych przedstawień wszelkich dziedzin są właśnie cechy (własności) wchodzących w ich zakres przedmiotów. Podobnie rzeczy się mają w lingwistyce, gdzie przedmiotami badań są cechy składników wyrażen językowych należących do poziomów/modułów różnego rodzaju⁹. Ponieważ wyrażenia są znakami, traktując znaki jako byty same w sobie można rozpatrywać nie tylko byty (składniki) świata, lecz również i znaki językowe i wszelkie inne nośniki treści semiotycznych jako zawierające odpowiednio *treści ontologiczne* i *semantyczne*. Wszystkie rodzaje gramatyk formalnych, jakie są po dziś dzień używane do implementowania programów tłumaczących z języka na język, polegają na specyfikowaniu reguł semantyczno-syntaktycznych przy pomocy struktur cech. Problemem okazały się nie tylko przyjmowane (w żaden sposób jeszcze nie sprawdzone) cechy, lecz także zbyt jednolita (nie modułarna) struktura reprezentacji. Celem metody interaktywnej jest zatem spójny (a więc sprawdzony) wybór cech podobnie, jak to jest obecnie czynione w programie gramatyki rozproszonej, (patrz 3.2). Badania polegają bowiem na procedurze iteratywnej (a więc w duchu Archimedesza), mającej doprowadzić do uzyskania systemu wolnego od sprzeczności. Jest to niewątpliwie całkowita nowość w lingwistyce strukturalnej¹⁰, której dotychczasowe teorie nie miały żadnych szans ani na solidną formalizację pozyskiwanej wiedzy ani na jej ewaluację.

⁸ Warto mimo to przytoczyć raczej wtedy wyjątkowy przykład bardzo szczegółowego, na łonie lingwistyki strukturalnej, zastosowania cech semantycznych do opisu ok. 200 czasowników ruchu, a była nim praca B. Bojar, 1979.

⁹ Najczęściej wymieniane są cechy fonetyczne, prozodyczne, morfologiczne, składniowe, semantyczne i pragmatyczne.

¹⁰ A nawet i w lingwistyce informatycznej poza nielicznymi przypadkami takimi, na przykład, jak gramatyki logiczne pisane w językach programowania takich, jak Prolog, ponieważ język ten ze swojej natury jest systemem pozwalającym na rozwiązywanie problemów.

Schemat modelowania interaktywnego



Na schemacie modelowania interaktywnego uwidocznione zostały 4 rodzaje dziedzin: poza (a) **dziedziną badań** (fragmenty świata rzeczywistego tj. języki) znajduje się (b) **metateoria**¹¹ (użyteczne aksjomaty, abstrakcyjne pojęcia, struktury i operacje dotyczące wszystkich poziomów badanej dziedziny), (c) **teoria** będąca formalnym opisem fragmentu świata, która powstaje w wyniku przeprowadzonych badań oraz (d) **modele** (gramatyki, tezaury, leksykony itp.). Celem takiej procedury badawczej jest pozyskiwanie wiedzy poprzez budowanie systemów *reguł inferencji logicznych*, *kontekstów (wielowartościowych)* i „systemów informacyjnych” (zerojedynkowych) w drodze – w tej samej kolejności – operacjonalizacji systemów *doradczych (expert systems)* opartych na języku programowania *Prolog* (Colmerauer A., 1970), systemów *decyzyjnych* (Pawlak Z., 1981 i 1987) czy też *logiki kontekstowej* (Wille R., 1982; Wolff K.E., 2010). Dodajmy jeszcze, iż stosując logikę systemów rozproszonych¹² (Barwise J.K. & Seligman J., 1997) można wydzielić w tym iteracyjnym procesie badawczym dwie abstrakcyjne sieci rozproszone, dzięki którym **formalizacja i ewaluacja modeli** jawią się jako powiązane ze sobą komutacje przepływu informacji. Aspekt interaktywny badań polega za-

¹¹ Metateorię do procedury iteratywnej zaproponował lingwista Pogonowski J. (1991) włączając jednocześnie dziedzinę badań nieformalnych (wynik konceptualizacji), co za tym idzie etap rekonstrukcji teorii nieformalnych. Dziedzina ta jednakże traci rację bytu ze względu na możliwość interakcji z komputerem.

¹² por. Stacewicz P. & Włodarczyk A., 2010 i 2011.

tem na tworzeniu meta-teorii i budowaniu modeli oraz na stosowaniu *formalizacji i ewaluacji* w iteratywnym (eksperymentalnym) procesie badawczym.

6.3.2. Przykład: teoria meta-informacyjnych centrów uwagi w wypowiedzi

Teoria meta-informacyjnych centrów uwagi (MIC¹³) w wypowiedzi¹⁴ jest pierwszą próbą uogólnionego opisu kilku zagadnień, często dyskutowanych oddzielnie w licznych pracach lingwistycznych, a mianowicie: *szyku wyrazów w zdaniu, predykcji, topikalizacji oraz fokalizacji*. Opracowana i sprawdzona w zastosowaniu do opisu języków różnych typów, wraz z teorią semantyki asocjacyjnej, stanowi ona zaczątek dla programu „gramatyki rozproszonej”. Z uwagi zarówno na swoje podłoże informatyczne jak i na jej interdyscyplinarne konwergencje teoria ta rozwinęła się w wyniku badań prowadzonych z zastosowaniem metody interaktywnej. A to dlatego, że w teorii MIC (a) semantyka wypowiedzi językowych traktowana jest jak **informacja**, co umożliwia (b) podanie nowej definicji predykatu (orzeczenia) opartej na pojęciu **meta-informacji**¹⁵ dla opisu języków naturalnych tak na tle formuł logiki klasycznej jak i na użytek informatyki.

Według teorii semantyki asocjacyjnej jądrem znaczenia jest zatem informacja dotycząca *sytuacji* zdefiniowanej relacyjnie jako złożenie ról *czynnych, biernych i pośrednich* należących do różnych poziomów hierarchii sytuacji ontologicznych. Sytuacje wyrażane przez wypowiedzi językowe są najczęściej relacjami **wirtualnymi**, tj. takimi, które implikują „stowarzyszone” z nimi relacje aktualne. W skład definicji sytuacji semantycznej wchodzi także pojęcie *zakotwiczenia* czaso-przestrzennego. Ponadto nieodłącznymi (również podstawowymi) składnikami sytuacji semantycznych są *aspekt* i *modalność*.

¹³ MIC – to akronim od *Meta-Informative Centering* (Włodarczyk A. & Włodarczyk H., 2008, 2011 i 2013).

¹⁴ W niniejszym rozdziale termin „wypowiedź” został użyty w znaczeniu „językowy wykładnik (objaw) aktu mowy”, podczas gdy wyrazy „wypowiadanie” i „wypowiedzenie” oznaczają pojęcie „aktu mowy”, odpowiednio jako klasy i intencji.

¹⁵ Metainformację po raz pierwszy zdefiniował formalnie polski cybernetyk H. Greniewski (1968) w ramach definicji kodu będącego uogólnieniem pojęcia język, natomiast do badań nad językiem naturalnym włączyła je B. Bojar (1972, patrz także niżej). W innym ujęciu – także cybernetycznym – M. Mazur (1970) twierdził, że meta-informacja pojawia się już na poziomie sygnału, a mianowicie z chwilą transformacji informacji na wyrażenie językowe (w wyniku czego – wg tej teorii – powstaje potrzeba upewnienia się przez odbiorcę o prawdziwości komunikatu językowego).

Podstawowe składniki informacyjne wypowiedzi i jej wartości:

Sytuacja semantyczna = (R, Z), wartości = {prawda, fałsz},

gdzie **R** – role, **Z** – zakotwiczenia czasoprzestrzenne.

Podstawowymi składnikami warstwy komunikatywnej języka są wykładniki meta-informacji. Właściwie wydzielone zostały dwa poziomy meta-informacji: (1) struktura predykcji (tj. mówienia o podmiocie i ew. dopełnieniu) oraz (2) struktura topikalizacji i fokalizacji (tj. mówienia dodatkowo o topiku i ew. fokusie). Sposób, w jaki wykładniki meta-informacji wskazują na elementy informacji można porównać do *enkapsulacji*¹⁶ w programowaniu, gdzie rozgranicza się pomiędzy *sprzęgiem* (częściami programu „widocznymi”, „publicznymi”) oraz *implementacją* (częściami programu „ukrytymi”, „prywatnymi”). W lingwistyce rozgraniczenie to było rozważane na różne sposoby i pod różnymi nazwami, bodaj najtrafniejszą z nich (choć niekoniecznie najlepiej zdefiniowaną) jest prawdopodobnie para „eksplikatura/implikatura” (Sperber D. & Wilson D. – 1998).

Podstawowe składniki meta-informacyjne wypowiedzi i jej wartości:

Enkapsulacja (oprawa) pragmatyczna = (W, O),

wartości = {„datum”, „novum”},

gdzie **W** – wyróżnienie („o czym” jest mowa) i **O** – omówienie („co” się o tym mówi).

Z punktu widzenia teorii MIC enkapsulacja (to nie tylko hermetyzacja) odgrywa kapitalną rolę w budowaniu wyrażeń językowych, bowiem komunikaty językowe są „oprawione” w podstawowe moduły meta-informacyjne oraz zawierają wyłącznie treści cząstkowe kodu wewnętrznego, treści ewidentne pozostając „domniemane”), a więc zamykane w format wyrażeń języka naturalnego. Zatem języki naturalne enkapsulują meta-informację (warstwa pragmatyki) i informację (warstwa semantyki) nadając im w ten sposób kształtu sekwencji *fraz podstawowych*, tj. pierwszorzędných składników bezpośrednich wypowiedzi (*major phrases*). To właśnie w Polsce powstała pierwsza w historii lingwistyki ogólnej propozycja (Bojar B. – m.in. 1972, 1978, 1979 i 1986), której myślą przewodnią było zaliczenie

¹⁶ Pojęcie *enkapsulacji* zapożyczam z informatyki zarówno z (a) programowania obiektowego (choć tylko częściowo; chodzi mianowicie o tę część definicji, która mówi o łączeniu struktur – wraz z danymi i wykonywanymi na nich operacjami – w jednostki (pakiety) często zwane modułami oraz (b) sieciowych systemów komunikacyjnych (patrz protokoły przesyłania danych itp.).

meta-informacji wyrażanej przez czasowniki takie, jak „komentować”, „potwierdzać”, „namawiać”, „słuchać” i kilkadziesiąt innych do pragmatyki języka. Mimo to fakt, że ani meta-informacja ani enkapsulacja treści (tak semantycznych jak i pragmatycznych) w wypowiedzi w ogóle nie zostały dostrzeżone, był powodem tego, iż w lingwistyce ogólnej powstało sporo nieporozumień¹⁷ w sprawie opisu podstawowych części składowych wypowiedzi, jakimi są podmiot i orzeczenie. Ta sama informacja semantyczna może być tak *wyrażana* jak i *orzekana* (a nawet – jak zobaczymy *omawiana*) czy też – tak w przypadku orzekania¹⁸ jak i ogólniej – *enkapsulowana* z różnych punktów widzenia (aspekt¹⁹) zależnie od wyróżnienia takiej czy innej z jej części składowych. Będąc cechą modularności, enkapsulacja jest pojęciem, które – w porównaniu z jednolitą strukturą drzewiastą – pozwala na lepszą analizę systemu języka.

Inną niesłychanie ważną problematyką języków naturalnych jest to, że tak pojęcia jak i jednostki językowe podlegają równoległym funkcjom **selekcji** i sekwencyjnym funkcjom **kombinacji**. Dowody tego rodzaju procesów umysłowych płyną z badań nad afazją (choroba polegająca na utracie mowy), ponieważ – jak to po raz pierwszy opisał Jakobson R. (1956), następnie zaś Wisniewski E. J. (1997), u pacjentów cierpiących na jedną z odmian tej choroby zanikają zdolności porównywania cech, zaś u innych pojawiają się zaburzenia w łączeniu wyrazów. Maxwel J.A. i Miller B. (2012) zaproponowali włączenie selekcji i kombinacji do podstawowych składników *metody jakościowej* analizy danych. I rzeczywiście, biorąc pod uwagę, że wiedza naukowa jest przechowywana w formie narracji, kategoryzacja i wszelkiego rodzaju analogie winny służyć systematycznie i jednocześnie tak do prowadzenia analiz jak i do zapisu wyników. Tak też należy postępować w przypadku badań prowadzonych z zastosowaniem metody lingwistyki interaktywnej (patrz poniżej).

¹⁷ Wprawdzie chociaż opisy niektórych autorów (m.in. M.A.K. Halliday, 1967, Halliday M.A.K. & Greaves, W.S., 2008, Peregrin J., 2011) wyróżniały różne płaszczyzny w wypowiedzi, zagadnienie predykcji pozostawało nadal w dziedzinie prawdziwościowej (semantycznej).

¹⁸ Warto zauważyć, że enkapsulacja „najszersza” zachodzi w wypowiedzi na poziomie meta-informacji.

¹⁹ W trakcie badań interaktywnych wypracowana została całkiem nowa teoria kategorii aspektu. Podstawy tej teorii stanowi część teorii sytuacji semantycznej (Włodarczyk A., 2003, Włodarczyk H., 2009, Włodarczyk A. & Włodarczyk H., 2013).

6.4. U zbiegu nauk

Informatyka, będąc zarazem działem matematyki i najlepszym przykładem jej zastosowania przy użyciu automatów (maszyn liczących) czyli inżynierią, stanowi nie tyle nowy paradygmat w nauce, ile wręcz solidne podwaliny do naukowego podejścia do wszelkich zagadnień. Struktury wiedzy oraz treści, jakie użytkownicy języków naturalnych/ludzkich sobie przekazują, muszą być niesłychanie złożone skoro – jak się okazało – przekład automatyczny wciąż nastrocza informatyce tak poważne trudności. Metoda informatyczna poza pojęciem **struktury** wprowadziła do badań nad językiem **reprezentację danych i informacji** oraz zasady ich **przetwarzania** (operacje). Jest to wynik algorytmicznego podejścia do zagadnień lingwistycznych.

6.4.1. Metoda interdyscyplinarna

U progu 21. stulecia badania naukowe w dziedzinie informatyki, a w szczególności w dziale tak zwanej sztucznej inteligencji, zapowiadają wielki przełom w metodologii badań. Niesłychane możliwości zapisywania wiedzy w bazach danych oraz nowe funkcje komputerów imitujące zdolności ludzkiego intelektu umożliwią w ciągu najbliższej dekady jeszcze bliższą współpracę między badaczami reprezentującymi różne nauki. Stanie się to o tyle skuteczne, że człowiek w swojej interakcji z komputerami będzie mógł *myśleć z maszynami*. Nie ulega wątpliwości, że zawsze kiedy człowiek tworzył nowe narzędzia pracy, jej wydajność rosła.

Myślenie z maszynami technicznie nazywane jest zwykle eksploracją danych, która to dziedzina informatyki wykorzystuje przeróżne metody obliczeniowe poczynawszy od analizy baz danych, włączając logiki rozmyte, przybliżone i decyzyjne, analizy pojęć formalnych, logiki systemów rozproszonych, metody obliczania ziarnistego zwane inaczej metodami obliczania przy pomocy słów (*computing with words*), a kończąc na automatycznym odkrywaniu wiedzy (*automated discovery*).

Podjęście interdyscyplinarne okazuje się koniecznością zawsze wtedy, kiedy w grę wchodzi dziedzina badawcza wymagająca teorii języka uwzględniającej większą liczbę zmiennych niż klasyczne teorie wyłącznie immanentne²⁰. Interdyscyplinarność w połączeniu z metodą interaktywną umożliwia budowanie

²⁰ Cf. F. de Saussure (1916 i 1991) i L. Hjelmslev (1928 i 1979),

modeli, które już są lub będą bardziej adekwatne niż poprzednie. Program gramatyki rozproszonej (wyrastającej z paradygmatu informatycznych systemów współbieżnych i rozproszonych) oraz istniejące już teorie skupiania uwagi (*centering of attention*) w wypowiedzi i w tekście²¹ jest wynikiem takiego podejścia.

Jednakże badania interdyscyplinarne mają sens tylko wtedy, kiedy są wykonywane z rzetelnym przygotowaniem oraz zaangażowaniem badaczy w odpowiednie dziedziny wiedzy. Jak trudna jest współpraca interdyscyplinarna wystarczy wspomnieć wysiłki mające na celu tworzenie sieci *neuropodobnych*, czyli sztucznych sieci. Już w pierwszym okresie badań nad takimi sieciami (badań inspirowanych neurobiologicznie) liczba parametrów branych pod uwagę w rozwiązaniach formalnych była znikoma w stosunku do – z roku na rok rosnącej – ilości odkrywanych własności komórek nerwowych oraz ich obopólnych połączeń (dendryty i synapsy). Dzisiaj do sieci neuropodobnych wprowadza się już nie tylko modularność (a więc rozproszenie struktur), lecz wręcz konstruuje się systemy rozproszone, na które składają się procesy tak sekwencyjne jak i współbieżne, pamięci dzielone i prywatne, a „agenci” czy „aktorzy” wymieniają między sobą komunikaty zarówno w trybie synchronicznym jak i asynchronicznym. Neurolodzy żywią jednak wielkie nadzieje na współpracę z informatykami w procesie odkrywania modułów zwanych „strefami zainteresowań” (*region of interest* – ROI) dzięki nowym możliwościom wglądu *in vivo* w procesy zachodzące w mózgu za pomocą skanerów fMRI²².

Można się spodziewać, że interdyscyplinarne badania naukowe prowadzone w oparciu o ontologię (w liczbie mnogiej) z zastosowaniem metod interaktywnych pozwolą uporać się z niedociągnięciami kognitywizmu²³. Za takie „niedociągnięcie” można uważać niechęć do ontologii już nawet w klasycznej lingwistyce strukturalnej, a w lingwistyce kognitywnej wręcz jest nim częściowe zaprzeczenie, o ile nie odrzucenie wszelkiego odniesienia do ontologii.

6.4.2. Rozpoznanie konwergencji jako przykład podejścia kompleksowego

Dziedziną teorii MIC jest koncentracja *składników wypowiedzi* wynikająca ze skupienia uwagi. Jest to całkowicie zgodne z komputerową teorią centro-

²¹ Centering theory (B.J. Grosz, 1981; B.J. Grosz et al., 1995).

²² fMRI jest akronimem od „functional Magnetic Resonance Imaging”. (http://en.wikipedia.org/wiki/Functional_magnetic_resonance_imaging)

²³ O krytyce kognitywizmu zob. A. Chmielecki (2013).

wania *składników tekstu* (elementów wypowiedzi w odniesieniu do tekstu, B.J. Grosz, 1981, B.J. Grosz et al., 1995). Choć powstałe w różnych okresach czasu (*resp.* 1990. i 1980.) i w różnych krajach (Francja i USA), teorie te wzajemnie się uzupełniają. Obydwie odwołują się do psychologicznego pojęcia, jakim jest funkcja uwagi w mózgu/umyśle człowieka. Warto zauważyć, iż pojęcia i definicje przyjęte w teorii MIC okazały się przydatne w psycholingwistyce do modelowania ważnych bloków aktywacji różnych stref pamięci ludzkiego mózgu (Stachowiak Franz J. – 2013).

Podział fraz odnoszących do centrów uwagi w wypowiedzi bazowej na *globalne* i *lokalne* znalazł potwierdzenie w teorii uwagi Oberauera K. (2002), neurologa specjalizującego się w badaniu struktur pamięci. W tej teorii możliwe są maksymalnie dwa centra uwagi jednocześnie, i to nawet pod warunkiem, że każde z nich – w zakresie tej samej hierarchii – należy do innego poziomu pamięci. By nazwać spełniające ten warunek operacje selekcji, Oberauer również – i to niezależnie od autorów teorii MIC – używa pojęć „uwagi globalnej” i „lokalnej”.

Według teorii MIC ogromną większość języków, jaką stanowią języki *nominatywne* (nazywane także *akuzatywnymi*), w wypowiedziach bazowych cechuje domniemany związek podmiotu z *agentem czynnym*, tzw. „agentem”), natomiast pozostałe języki należące do niezbyt licznej grupy języków *ergatywnych* w wyrażeniach bazowych cechuje domniemany związek podmiotu z *agentem biernym*, tj. „pacjensem”). W neuropsychologii uwagi, rozróżnienie wprowadzone przez Austina J.H. (2006 i 2013) pomiędzy uwagą *ego-centriczną* a *allo-centriczną* zdaje się świadczyć o właściwym potraktowaniu wspomnianych różnic między językami różnymi językami etnicznymi w teorii MIC, co w konsekwencji znakomicie przyczynia się do lepszego (bo o niebo prostszego od istniejących) wyjaśnienia różnic pomiędzy wyżej wspomnianymi klasami języków.

Osobliwością teorii MIC jest *systematyczny* opis struktur (a) predykcji (orzekania) oraz (b) topikalizacji i fokalizacji (omawiania), jakie cechują nakładające się na siebie dwie struktury hierarchiczne. Biorąc pod uwagę tylko wypowiedzi bazowe (kanoniczne), ich 3 formalne składniki (S=Podmiot, O=Dopełnienie i V=Czasownik) można zasadniczo ustawić parami w 4 szykach: (a) SVO i SOV oraz (b) VOS i OVS. Warto zauważyć, z punktu widzenia zdrowego rozsądku dot. komunikowaniu informacji zaledwie szyki SVO i SOV wydają się *normalne*; szyki VOS i OVS można uważać za mało prawdopodobne z uwagi na końcową pozycję globalnego składnika S (podmiotu) wypowiedzi. Natomiast, w drzewach składników bezpośrednich, szyki „li-

ści” (terminali) takie jak *OSV i *VSO są absolutnie wykluczone²⁴, ponieważ w przeciwnym wypadku fraza odnosząca się do S (podmiotu) musiałaby być *lokalną* (a z definicji jest *globalną*). Zasadniczość szyków wyrazów **SOV** lub **SVO** potwierdzają dane pochodzące z lingwistycznej bazy danych WALS²⁵, z której wynika, że szyki te są charakterystyczne dla 2/3 z dotychczas opisanych 1377 języków świata.

6.5. Zakończenie

Mimo wielu lokalnych prób i „pobożnych” życzeń niektórych teoretyków języka, lingwistyka dzisiaj nadal często jest jeszcze dziedziną wiedzy co najwyżej „naukową”²⁶. Nie ulega więc wątpliwości, że zachodzi potrzeba szerszej debaty na temat jej dalszego unaukowania. Należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości powstanie lingwistyka *kompleksowa*²⁷ (*integral linguistics*), która będzie nauką interdyscyplinarną opartą na matematyce oraz inżynierii informacji i wiedzy.

Teoria MIC została przytoczona w tym artykule z dwóch powodów: (1) by dać przykład zastosowania nad językiem naukowej metody polegającej na informatycznej pętli interaktywnej oraz – szerzej – (2) by wskazać na konieczność głębszego zrozumienia podstawowych struktur wypowiedzi ze względu na centralną rolę języka naturalnego we wszelkim dyskursie naukowym, co znalazło potwierdzenie w zastosowaniu metod statystycznych (tak za pomocą grupowania cech i obiektów) jak i automatycznego klasyfikowania obiektów, a nawet przy pomocy drażenia danych oraz informatycznych metod modelowania.

Warto też nadmienić, że wspomniane podejście interaktywne do pożytkiwania wiedzy teoretycznie ma klasyczne podłoże badawcze, które jest

²⁴ Nic też dziwnego, że w rozumowaniu dotyczącym „złożeń wywróconych” („upside-down compositions”, Tellier I., 2000), szyki wyrazów VSO i OSV nie mogą być wygenerowane w wyniku złożenia logicznego, ale muszą być uzupełnione przez rachunek lambda w celu linearyzacji fraz.

²⁵ Akronim od The World Atlas of Language Structures Online. <http://wals.info/feature/81A>.

²⁶ Słownik Języka Polskiego PWN definiuje termin „naukowy” jako: **żart.** „siłący się na naukowość”. Określenie to dotyczy przede wszystkim współczesnych „nauk o języku” (language sciences), nie dotyczy natomiast przykładowo komputerowego przetwarzania mowy (speech processing).

²⁷ W Polsce zob. Mazurkiewicz-Sokołowska J. (2010).

*analizy*czne. Przykładem tego niech będą najczęściej stosowane metody drążenia danych (*data mining*). Jednakże obecnie pośród metod, które imitują procesy biologiczne znane jako algorytmy genetyczne w paradygmacie badań ewolucyjnych, można znaleźć także bardzo oryginalne propozycje *syntetycznych* metod badawczych. Do takowych zaliczyć można z pewnością takie procesy neuropodobne, które powodują, że sztuczne sieci neuronowe²⁸ mogą się uczyć lub być nauczane. Pomimo, że – jak się wydaje – poglądy w tej dziedzinie są nie tylko przeciwstawne, a – jak w przypadku H. Nakashimy (2008) – nawet wręcz antagonistyczne, stanowią propozycję stosowania programowania ewolucyjnego jako **interaktywnej** metody badawczej.

BIBLIOGRAFIA

1. Altman G. (1987) *The Levels of Linguistic Investigation*, Theoretical Linguistics, vol. 14: edited by H. Schnelle, W. de Guyter, Berlin – New York: 227–239.
2. Austin J.H. (2000) *Consciousness evolves when the self dissolves*. Journal of Consciousness Studies, Volume 7, Numbers 11–12, Imprint Academic., 209–230.
3. Austin J.H. (2013) *Zen and the brain: mutually illuminating topics*, Journal *Frontiers in Psychology – Consciousness Research*, vol. 4, art. 784: (www.frontiersin.org)
4. Bańcerowski J. (2006) *The axiomatic method in 20th century European linguistics*, History of the Language Sciences – An International Handbook on the Evolution of the Study of Language from the Beginnings to the Present, Auroux S., Koerner E.F.K., Niederehe H.J., Versteegh K. (eds), Handbooks of Linguistics and Communication Science, vol. 18 (3), Walter de Gruyter & Co. :, 2007–2025.
5. Barwise J.K. & Seligman J. (1997) *Information Flow, The Logic of Distributed Systems*. Cambridge, New-York : Cambridge University Press : 274.
6. Bogusławski A. (1986) *O pojęciu wyjaśniania i o wyjaśnianiu w lingwistyce*, Biuletyn PTJ: 40 (45–51).
7. Bojar, B. (1972) *Elementy metainformacji w tekstach języka naturalnego*, Prace filologiczne, t. XXIII, Warszawa.
8. Bojar B. (1978) *Polskie czasowniki dotyczące procesów informacyjnych (elementy metainformacji w tekstach języka naturalnego)*. Studia językoznawcze. Streszczenia prac doktorskich III. Ossolineum, Wrocław.
9. Bojar B. (1979) *Opis semantyczny czasowników ruchu oraz pojęć związanych z ruchem*, *Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego* 168, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 258.
10. Bojar B. (1986) *Metainformacja jako przedmiot badań pragmatyki języka naturalnego*. Acta Philologica, nr 15.

²⁸ Stacewicz P. (2015) proponuje nawet połączyć algorytmy genetyczne z sieciami neuronowymi.

11. Bojar B. (1991) *Metainformacja w języku naturalnym*, Words are Physicians for an Ailing Mind, ed. by Grochowski M., Weiss D. and Sagners, Slavistische Sammlung, vol. 17, Verlag Otto SAGNER, München: 93–99.
12. Chmielecki A. (2013), *Podstawy Psychoniki – ku alternatywie dla Cognitive Science*, IFiS PAN, Warszawa: 335 (37–81).
13. Chomsky N. (1956). *Three models for the description of language*. IRE Transactions on Information Theory (2): 113–124.
14. Chomsky N. & Schützenberger, M.-P. (1963) *The Algebraic Theory of Context-Free Languages*, in Computer Programming and Formal Systems, P. Braffort and D. Hirschberg (eds.), North Holland: 118–161.
15. Colmerauer A. (1970) *Les systèmes-q ou un formalisme pour analyser et synthétiser des phrases sur ordinateur*, publication interne no 43, septembre 1970, Département d'informatique, Université de Montréal, republié dans T.A.L., 1992 (1–2): 105–148.
16. Greniewski H., 1968, *Język nauki*, Zagadnienia Naukoznawstwa, tom IV, zeszyt 1(13), PAN, Warszawa: 24–66.
17. Grosz B.J. (1981). *Focusing and description in natural language dialogues*, Elements of Discourse Understanding, ed. by A. Joshi, B. Webber, and I. Sag. Cambridge University Press : 85–105.
18. Grosz B.J., Joshi A.K., and Weinstein, S. (1995). *Centering: A framework for modeling the local coherence of discourse*, Computational Linguistics, 21 (2).
19. Hjelmslev L.T. (1928) *Principes de grammaire générale*, wyd. Bianco Lundo, Kopenhaga. (przekład na j. polski: *Prolegomena do teorii języka*, Językoznawstwo strukturalne. Wybór tekstów, H. Kurkowska, A. Weinsberg (red.), Warszawa 1979).
20. Jakobson R. & Halle M. (1956) *Two aspects of language and two types of aphasic disturbances*, Fundamentals of Language, Roman Jakobson, The Hague, Mouton. (reprinted in: (a) Selected Writings – II: *Word and Language*, Mouton, The Hague – Paris 1971 and (b) *Essais de Linguistique Générale*, Éditions de Minuit, Paris 1963)
21. Lamb S. (1958) *A Grammar of Mono*. PhD. Dissertation. Berkeley: 391.
22. Lambek J. (1958), *The mathematics of sentence structure*, Amer. Math. Monthly, 65: 154–170.
23. Lapis W. (2003) *Jak się parać lingwistyką? Formalna analiza podejść wieloaspektowych*, Investigationes Linguisticae, vol. IX, Poznań.
24. Halliday M.A.K., 1967. *Notes on Transitivity and Theme in English (Part 2)*. Journal of Linguistics 3 :, 206.
25. Halliday M.A.K. & Greaves W.S. (2008) *Intonation in the Grammar of English*, Equinox London.
26. Maxwel J.A. i Miller B. (2012) *Real and Virtual Relationships in Qualitative Data Analysis (with Barbara Miller)*, in Maxwell J.A.: *A Realist Approach for Qualitative Research*, Part II: Chapter 7, George Mason University, Sage Publications.
27. Mazur M. (1970) *Jakościowa teoria informacji*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 224.
28. Mazurkiewicz-Sokołowska J. (2010) *Lingwistyka mentalna w zarysie – o zdolności językowej w ujęciu integrującym*, Universitas, (TA)WPN Kraków, 261.
29. Montague R. (1970) *English as a Formal Language*, Linguaggi nella società e nella tecnica, Bruno Visentini (ed.), Mailand, 189–223.
30. Nakashima H. (2008) *Methodology and a discipline for synthetic research – What is Synthesiology?*, in Synthesiology, English edition, vol. 1 (2008), No. 4, 282–290.

31. Oberauer K. (2002) *Access to Information in Working Memory: Exploring the Focus of Attention*, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 2002, vol. 28, No. 3, 411–421.
32. Pawlak Z. (1981) *Information Systems – Theoretical foundations*. Information Systems, 6(3):, 205–218.
33. Pawlak Z. (1982) *Rough sets*, International Journal of Computer and Information Science, vol. 11 (5): 341–356.
34. Pawlak Z. (1987) *O Analizie pojęć*, in: Od Kodu do kod, A. Bogusławski & B. Bojar (red.): 249–252.
35. Pawlak Z. (1991) *Rough Sets*. Theoretical Aspects of Reasoning about Data, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 237.
36. Pawłowski A. (2006) *O stosowalności metod ścisłych w badaniach języka*, in: Efekt motyla – Humanisci wobec teorii chaosu, Heck, D. i Bańko, K. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław: 92–99.
37. Peregrin J. (2011) *There is no such Thing as Predication*, Conceptus – Zeitschrift für Philosophie. Year 40 (97): 29–51.
38. Piasecki M. (2010) *Automatyczne wydobywanie wiedzy o semantyce języka naturalnego z korpusów tekstu*, Metodologie językoznawstwa (Filozoficzne i empiryczne problemy w analizie języka), Stalmaszczyk Piotr (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 143–181
39. Pogonowski J. (1988) *Matematyczny Model Analizy Lingwistycznej*, Working Papers series 29, UAM, Poznań: 135.
40. Pogonowski J. (1991) *Hierarchiczne Analizy Języka*, seria Językoznawstwo, Nr 14, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań: 64.
41. Pogonowski J. (1993) *Linguistics Oppositions*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. A. Mickiewicza UAM, Poznań: 135.
42. Pogonowski J. (1997) *Przestrzenie Podobieństwa i Opozycji, Skłonność metafizyczna. Bogusławowi Wolniewiczowi w darze*. Wydział Filozofii i Socjologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 83–95.
43. Przepiórkowski A. (2004) *Korpus IPI PAN* – Wstępna wersja, Instytut Podstaw Informatyki, Warszawa.
44. Przepiórkowski A., Bańko, Górski R.L. i Lewandowska-Tomaszczyk B. [eds.] (2012) *Narodowy Korpus Języka Polskiego*, Praca zbiorowa, Wydawnictwo Naukowe PWN SA: 331.
45. Saussure (de) F. (1916) *Cours de linguistique générale*, publié par Ch. Bally A. Sechehaye avec la collaboration de A. Riedlinger Bally (w przekładzie na język polski: *Kurs językoznawstwa ogólnego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991).
46. Sperber D. & Wilson D., 1998. *Relevance and irony*, Relevance Theory: Applications and Implications, R Carston & S. Uchida (eds.), Amsterdam: John Benjamins. 283–93.
47. Stacewicz P. & Włodarczyk A. (2010) *Modeling in the Context of Computer Science – a Methodological Approach*, Journal Studies in Logic, Grammar and Rhetoric, Philosophical Trends in the 17th Century from the Modern Perspective, a print and electronic journal, H. Świączkowska (ed.), vol. 20 (33) : 155–179.
48. Stacewicz P. & Włodarczyk A. (2011) *O Modelowaniu Informatycznym – ze szczególnym odniesieniem do badań nad sztuczną inteligencją*, Zagadnienia Naukoznawstwa, 4 (190), Warszawa : 65–184.
49. Stacewicz P. (2015) *Evolutionary Schema of Modeling Based on Genetic Algorithms*, Journal Studies in Logic, Grammar and Rhetoric, vol. 40 (53) : 219–239.

50. Stachowiak F.J. (2013) *Semantic and episodic memory by reference to the ontological grounding of the old and new meta-informative status*, in [Włodarczyk A. & Włodarczyk H. eds. (2013)]: 103–119.
51. Stachowiak F.J. (2013) *Tracing the role of memory and attention for the meta-informative validation of utterances*, in [Włodarczyk A. & Włodarczyk H. eds. (2013)]: 121–141.
52. Steedman M. (2000), *The Syntactic Process*, The MIT Press.
53. Tellier I (2000), *Semantic-Driven Emergence of Syntax: The Principle of Compositionality upside-down*, International Conference on the Evolution of Language (Evolang, 2000), poster session, Paris : 220–224.
54. Wille R. (1982) *Restructuring Lattice Theory: an Approach based on Hierarchies of Concepts*, in: Ordered Sets, I. Rival (ed.), Reidel, Dordrecht-Boston: 445–470. Reprinted in: Ferré, S., Rudolph S. (eds.): Formal Concept Analysis. ICFCA 2009. LNAI 5548. Springer, Heidelberg: 314–339.
55. Wille R. (2000) *Contextual Logic Summary*. In: Stumme, G. (ed.): Working with Conceptual Structures: Contributions to ICCS. Shaker-Verlag, Aachen : 265–276.
56. Wille R. (2004) *Implicational Concept Graphs*, in: Wolff, K.E. et al (eds.): Conceptual Structures at Work. LNAI 3127, Springer, Heidelberg: 52–61 :
57. Wisniewski E.J. (1997) *Understanding novel noun phrases*, in Proceedings of IWHIT, 1997, The University of Aizu: 97–101.
58. Włodarczyk A. (2003) *Les Cadres des situations sémantiques*, Études Cognitives / Studia Kognitywne 5, SOW, PAN, Warsaw, p. 35–51, English translation: „Frames of Semantic Situations” in [Włodarczyk A. & Włodarczyk H. eds. (2013)]: 41–58.
59. Włodarczyk A. (2008) *Roles and Anchors of Semantic Situations*, Études cognitives / Studia kognitywne 8, SOW, PAN, Warsaw, reprinted in [Włodarczyk A. & Włodarczyk H. eds. (2013)]: 3–20.
60. Włodarczyk A. (2009) *Interactive Discovery of Ontological Knowledge for Modelling Language Resources – prolegomena*, Representing Semantics in Digital Lexicography, Proceedings of MONDILEX, the 4th Open Workshop, V. Koseska-Toszewa, L. Dimitrova and R. Roszko (eds), SOW, Warszawa : 44–55.
61. Włodarczyk A. & Włodarczyk H. (2008) *Roles, Anchors and Other Things we Talk About: Associative Semantics and Meta-Informative Centering Theory*, Series: „Mouton Series in Pragmatics”, I. Kecskes (ed.), Journal Intercultural Pragmatics, vol. 5. No. 3., Mouton – De Gruyters, Berlin/New York : 345–365.
62. Włodarczyk A. & Włodarczyk H. (2011) *Information Centering: Subjecthood and Topicality*, An International Workshop on Linguistics of BA and The 11th Korea-Japan Workshop on Linguistics and Language Processing, Waseda University, Tokyo.
63. Włodarczyk A. & Włodarczyk H. eds. (2013) *Meta-informative Centering in Utterances – Between Semantics and Pragmatics*, John Benjamins Publishing Co.
64. Włodarczyk H. (2009) *From Ontological Attributes to Semantic Feature Structures – Experimental research on Aspect in Polish*, Cognitive studies – Études Cognitives, vol. 9, SOW, Warszawa, 15–32.
65. Włodarczyk H. (2010) *Lingwistyka na polonistyce krajowej i zagranicznej w dobie filozofii informatyczno-logicznej*, in Journal LINGVARIA, vol. 1 (7), Cracow.
66. Wolff K.E. (2010) *Temporal Relational Semantic Systems*, Conceptual Structures: From Information to Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, vol. 6208:165–180
67. Zielińska D. (2007) *Proceduralny model języka. Językoznawstwo z pozycji teorii modeli nauk empirycznych*. WUJ. Kraków.

Computer Science as an Opportunity for the Development of Scientific Linguistics

A b s t r a c t

Linguistics in the second half of the 20th century was characterized by the pursuit of descriptions of languages that were as strict as possible. As a matter of fact, at the end of the 19th century, F. de Saussure searched for such a definition of language by which linguistics could become an autonomous discipline. However, it was under the influence of sciences such as mathematics and computer science that there arose the tendency to describe language phenomena using formal methods and tools.

At the beginning of the 21st century, it seems that both structural and computational linguistics benefit from the achievements of computer science, which allows them to extract knowledge from multiple databases containing richer and richer material about individual languages. In view of the large amount of data and ever-increasing processing capabilities of computers, the need arises to take further steps towards science, and - especially of course - computer science. This has led to the development of computational linguistics, the construction of electronic dictionaries and (as yet not entirely) automatic translation software.

However, for computer science to become a real opportunity for linguistics, there is a clear need for closer cooperation between linguists and computer scientists. Thus, the second part of this article describes two examples of both theoretical research and methodology, which demonstrate attempts to create a new approach to some linguistic issues as important as predication, topicalization and the like, and also the application of algorithms developed in the major sectors of data mining in order to establish new procedures for interdisciplinary research methods via innovative *interactive* (human-computer) methods, in order to create a truly *integral* theory of language.

Rozdział 7

Język, przekonania i komputer

Robert Piechowicz

Wydział Filozoficzny UPJPII w Krakowie

Streszczenie. Komunikacja językowa dostarcza istotnego wkładu do ludzkiej orientacji w świecie. Jej ekonomiczność, notoryczny brak precyzji czy też rola czynników kontekstowych decydują o tym, że prawa, którymi rządzą się wypowiedzi są odmienne od tych, jakim podlegają zdania (nie tylko z punktu widzenia logiki). Dlatego też zasadną wydaje się sugestia, że próby nauczania komputerów strategii komunikacyjnych podobnych do stosowanych przez istoty ludzkie może – zwłaszcza na poziomie ich teoretycznego opisu – być nie lada wyzwaniem. Artykuł jest próbą opisu tego problemu wykorzystującym trzy systemy logik wypowiedzi. W pierwszym rozdziale artykułu przedstawiony zostanie system logiki, który – skonstruowany przez Athanassiosa Tzouvarasa – miał nieco odmienny od, wiążącego dla niniejszych rozważań, cel. Rozdział drugi poświęcony będzie oryginalnemu pomysłowi Marka Tokarza na formalizację Zasady Kooperacji H.P. Grice’a, zaś rozdział trzeci zawiera propozycję systemu powstałego na bazie drobnych modyfikacji w systemie Tokarza.

Słowa kluczowe: logika, komputer, przekonania, komunikacja

7.1. Logika wypowiedzi kłamliwych

System logiki wypowiedzi został skonstruowany przez A. Tzouvarasa w ściśle określonym celu¹. Było nim mianowicie nowatorskie rozwiązanie paradoksu kłamcy. Dzięki użytym narzędziom autor chciał poddać analizie słyn-

¹ A. Tzouvaras, „Logic of Knowledge and Utterance and the Liar”, *Journal of Philosophical Logic*, vol. 27, No. 1, s. 85–108.

ny paradoks uwzględniając perspektywę wypowiedzi, pojętych jako nośnik intencji podmiotu. Jednakże z punktu widzenia celu niniejszego artykułu bardziej istotna jest kwestia zakodowanych w przyjętym aparacie formalnym cech komunikującego się podmiotu.

System K-U (ang. *Knowledge-Utterance* czyli Wiedza-Wypowiedź) scharakteryzowany jest przez trzy grupy aksjomatów. Pierwsza z nich dotyczy spójnika **K**, druga – **U**, zaś w trzeciej mamy wskazane związki pomiędzy nimi. Oczywiście przyjmowane są także aksjomaty języka zdaniowego, natomiast regułami systemu są reguła odrywania oraz relatywizacje reguły Gödla obu funktorów, czyli:

$$(RO) \quad \begin{array}{l} A \rightarrow B, A \\ \hline B \end{array},$$

$$(RGK) \quad \begin{array}{l} A \\ \hline KA \end{array},$$

$$(RGU) \quad \begin{array}{l} A \\ \hline UA \end{array}$$

Do pierwszej grupy aksjomatów – charakteryzujących spójnik **K** – należą następujące formuły:

$$(Ax\ 1) \quad K(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (K\alpha \rightarrow K\beta)$$

$$(Ax\ 2) \quad K\alpha \rightarrow \alpha$$

$$(Ax\ 3) \quad K\alpha \rightarrow KK\alpha$$

$$(Ax\ 4) \quad \neg K\alpha \rightarrow K\neg K\alpha$$

Są to więc standardowe – aczkolwiek również dyskusyjne – wymogi formalne narzucone na spójnik epistemiczny **K**. W drugiej grupie aksjomatów znajdują się wyrażenia postaci:

$$(Ax\ 5) \quad U(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (U\alpha \rightarrow U\beta)$$

$$(Ax\ 6) \quad \neg U\perp$$

$$(Ax\ 7) \quad U\alpha \equiv UU\alpha$$

$$(Ax\ 8) \quad \neg U\alpha \equiv U\neg U\alpha$$

Grupa trzecia zawiera natomiast dwie formuły:

$$(Ax\ 9) \quad U\alpha \rightarrow KU\alpha$$

$$(Ax\ 10) \quad \neg U\alpha \rightarrow K\neg U\alpha$$

Aksjomat piąty to zrelatywizowana do spójnika U formuła wyróżniająca normalne logiki modalne. Oczywiście nietrudno dostrzec, że zakodowana w nim cecha wypowiedzi jest rzadko na co dzień realizowana. Nawet bardzo racjonalnym interlokutorom rzadko zdarza się wyciągać wszystkie, logicznie poprawne, wnioski z wypowiedzianych przez siebie przesłanek. Cel wypowiedzi, specyfika adresata czy też indywidualny styl powodują, że zamiast formułowania uzasadnionych wniosków rozmówcy milczą, przedstawiają konkluzje słabsze od zamierzonych czy też nie wynikające z przesłanek, które zostały wskazane².

Aksjomat szósty koduje z kolei równie sporadyczną w codziennej wymianie zdań cechę, mianowicie niewypowiadanie sprzeczności. W komunikacji potocznej sprzeczna wypowiedź, o ile została sformułowana świadomie, zazwyczaj posiada ściśle określony cel trudny do uchwycenia za pomocą narzędzi formalnych. Oczywiście bardziej niebezpieczne jest wystąpienie sprzeczności niezaplanowanej przez nadawcę. Mimo to sporadycznie zdarzają się sytuacje w których jej obecność stanowiłaby podstawę do przeprowadzenia przez odbiorcę rozumowania zgodnego z prawem Dunsza Szkota.

Kolejne dwa aksjomaty odpowiadają prawom introspekcji pozytywnej i negatywnej. Jednakże mimo bardzo liberalnej interpretacji bez trudu można dostrzec, że zdecydowana większość naszych wypowiedzi nie jest przez nas później przytaczana (czyli nie zachodzi implikacja prosta), zaś z kolei sugerowane odniesienia do naszych własnych słów nie świadczą o tym, że je kiedykolwiek wypowiedzieliśmy (co podważa implikację odwrotną). Podobne argumenty można zastosować względem aksjomatu 8. Jeśli bowiem czegoś nie mówimy, to nie wynika z tego, że będziemy o tym wieścić innym. Z kolei wskazanie, że jakiś sąd nie został sformułowany nie musi odpowiadać stanowi faktycznemu. Ponadto omawiane analogaty praw introspekcji są kłopotliwe ze względu na brak uwzględnienia perspektywy czasowej. Zauważmy, że prowadzenie refleksji oraz świadome czuwanie nad jej porządkiem wydaje się wykonalne (choć trudne). Natomiast wypowiadanie się na jakiś temat wraz z odniesieniem do tej wypowiedzi w ramach *oratio obligua* przekracza ludzkie możliwości artykulacyjne. Jedynie wprowadzenie perspektywy czasowej pozwoliłoby odróżnić taką sytuację od – czynionego na co dzień dość często – przytaczania własnych słów.

Wprowadzenie ostatniej grupy aksjomatów zostało wymuszone przez specyfikę systemu. Mianowicie występowanie w nim dwóch spójników kodu-

² Przykładowo jednym z zaleceń formułowanych przez specjalistów od NLP jest markowanie związków przyczynowo-skutkowych i pozostawianie konkluzji domyślności odbiorcy. Wyciągnięty w ten sposób wniosek okazuje się bardziej dla niego wiążący, niż wypowiedziany przez nadawcę.

jących odmienne modalności wymagało wskazania związków między nimi a ponadto jest konsekwencją przyjętego przez autora celu rozważań, czyli formalnego opisu kłamliwych strategii konwersacyjnych.

7.2. Formalizacja zasady kooperacji

Drugi z omawianych w niniejszym artykule system logiki wypowiedzi zaproponowany został przez M. Tokarza³. Przesłanki przedstawionej przez niego konstrukcji były odmienne od przyjętych przez Tzouvrasa. Tokarz nie zamierzał bowiem rozwiązać jakiegoś szczegółowego problem a jedynie sformalizować pojęcie wypowiedzi. Osiągnięcie tak określonego celu powinno być nadbudowane nad aparaturą pojęciową dotycząca implikatur konwersacyjnych. Ona bowiem pozwala odpowiedzieć na pytanie „co zostało powiedziane” biorąc pod uwagę użycie określonego zdania w towarzyszących mu okolicznościach. Skoro zaś kontekst w którym użytkownicy języka posługują się zdaniami każdorazowo nacechowany jest ich sposobem patrzenia na świat, to całkowicie uzasadnione wydaje się stowarzyszenie tego, co zostało wypowiedziane z przekonaniem nadawcy odnośnie otaczającej go rzeczywistości nie zaś z posiadaną przez niego wiedzą. Codzienna komunikacja bowiem – po pierwsze – nie musi być w pełni dopasowana do swojego przedmiotu. Skuteczność wymiany zdań częstokroć idzie w parze z jej niedokładnością. Po drugie wiedza dotyczy znacznie węższego obszaru rzeczywistości, niż przekonania. Związanie z nią więc codziennej aktywności komunikacyjnej znacznie uszczupliłoby jej zakres. ostatecznie problemy konceptualne z kategorią wiedzy przeniosłyby się na konstatacje dotyczące wypowiedzi, co mogłoby skutecznie utrudnić dotyczące jej rozważania.

W systemie LI zaproponowanym przez Marka Tokarza tło epistemiczne zawiera charakterystykę podmiotu racjonalnego. Mianowicie aksjomaty:

- (Ax 1) jeśli $\alpha \in \text{TAUT}$, to $\mathbf{B}\alpha$
- (Ax 2) $\mathbf{B}\alpha \equiv \mathbf{B}\mathbf{B}\alpha$
- (Ax 3) $\neg\mathbf{B}\alpha \equiv \mathbf{B}\neg\mathbf{B}\alpha$
- (Ax 4) $\mathbf{B}\neg\alpha \rightarrow \neg\mathbf{B}\alpha$
- (Ax 5) $\mathbf{B}(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (\mathbf{B}\alpha \rightarrow \mathbf{B}\beta)$

³ M. Tokarz, *Pragmatyka logiczna*, PWN, 1992.

kodują minimalne wymogi racjonalnego gospodarowania przekonaniem. Po pierwsze, podmiot racjonalny akceptuje wszystkie klasyczne tautologie. Nie oznacza to oczywiście, że musi je posiadać w pamięci podręcznej ale jedynie że nie odrzuca żadnej z formuły, o ile wiadomo mu że jest ona tautologiczna. Po drugie racjonalność podmiotu wymaga aby był on silnie introspektywny zarówno w sensie negatywnym jak i pozytywnym. Zasadność przyjmowania formuł kodujących prawa introspekcji jest przedmiotem nieustannych sporów i polemik w literaturze przedmiotu. Kolejny wymóg – prawo niesprzeczności – jest standardowo przyjmowany w jakichkolwiek, nadbudowanych nad klasyczną, logikach doksastycznych. Mimo tego, że powody przyjęcia niesprzeczności jako jednej ze składowych racjonalności wydają się jasne, to bardziej krytyczna refleksja wskazuje, że takie ustalenie jest co najmniej kontrowersyjne gdyż to skazuje konstruowany system na brak empirycznej adekwatności. Podtrzymanie wymogu niesprzeczności wydaje się być sensowne przy dodatkowych założeniach (uwzględnienie czasu, strukturalnego charakteru przekonań). Kolejna formuła koduje twórczy charakter przekonań, czyli możliwość ich przekształcania zgodnie z fundamentalną regułą logiki klasycznej – regule odrywania.

Do tak określonego epistemicznego tła dorzucone zostają dwa aksjomaty charakteryzujące podstawowe cechy tworzenia wypowiedzi. Po pierwsze:

$$(Ax\ 6) \quad U(\alpha \wedge \beta) \rightarrow (U\alpha \wedge U\beta)$$

Aksjomat ten koduje – według M. Tokarza – istotną zależność charakteryzującą tworzenie wypowiedzi. Mianowicie wypowiedzenie złożonego sądu implikuje wypowiedzenie każdego z sądów składowych. Po drugie:

$$(Ax\ 7) \quad \text{Jeżeli } l(\beta) < l(\alpha), v(\beta) \subseteq v(\alpha), \beta \vdash \alpha, \neg(\alpha \vdash \beta), \text{ to } \mathbf{B}\alpha \rightarrow (\mathbf{B}\alpha \wedge \neg \mathbf{B}\beta)$$

gdzie l oznacza długość formuły, natomiast v – ilość występujących w niej zmiennych.

W konsekwencji ten dość rozbudowany aksjomat jest formalnym odpowiednikiem Zasady Kooperacji H.P. Grice'a. Wskazuje on mianowicie, jak należy interpretować wypowiedzenie zdania z pary dwóch zdań porównywalnych co do długości, ilości zmiennych i siły inferencyjnej.

Mianowicie wypowiedzenie przez kogoś zdania słabszego implikuje, że jest on przekonany o jego wiarygodności a zarazem zdania silniejszego nie uważa za wiarygodne. Innymi słowy osoba uczestnicząca w komunikacji zgodnie z tym aksjomatem dostarcza wkładu uznanego za maksymalnie nośny informacyjnie.

Z przyjętych aksjomatów wynikają tezy charakteryzujące racjonalne strategie komunikacyjne. Przede wszystkim racjonalny podmiot wypowiada takie zdania, których wiarygodności jest przekonany. Formalnie:

$$U\alpha \rightarrow B\alpha$$

Skoro przyjęte aksjomaty miały – w zamierzeniu Tokarza – odpowiadać propozycji Grice’a, to formalny odpowiednik maksymy jakości nie mógł nie wynikać z aksjomatów. Niestety jest to jedyna optymistyczna konstatacja dotycząca formalnych reprezentantów reguły kooperacji jaka znajduje się u Tokarza. Trudno się temu jednak dziwić – Gazdar, którego konstrukcja była dla Tokarza punktem wyjścia pominął maksymy sposobu i relewancji, zaś w przypadku maksymy ilości wprowadził bardzo złożoną konstrukcję opartą o implikatury skalarne i zdania złożone (także z wykorzystaniem funktorów epistemicznych). Jeśli jednak narzuci się bardziej liberalną siatkę interpretacyjną, to można zauważyć, że maksyma ilości jest zakodowana na poziomie wypowiedzi formalizowalnych przez KRZ w aksjomacie 6 oraz w tezie

$$U(\alpha \wedge \beta) \rightarrow (\neg B\alpha \wedge B\neg\alpha \wedge \neg B\beta \wedge B\neg\beta)$$

Tu jednak pojawiają się dwa kluczowe problemy. Po pierwsze, kontrowersyjna wydaje się charakterystyka spójnika *U* zawarta w aksjomacie siódmym. Spójnik koniunkcji w języku potocznym nie rządzi się bowiem prawami lubianymi przez logików – dlatego wypowiedź o charakterze koniunkcyjnym niekoniecznie uzyska poprawną parafrazę w postaci koniunkcji poszczególnych zdań z których jest zbudowana⁴.

Po drugie, użycie wspomnianego aksjomatu nie pozwala odróżnić wypowiedzenia alternatywy i implikacji. Mianowicie:

$$U(\alpha \vee \beta) \rightarrow (B\alpha \wedge \neg B\alpha \wedge B\beta \wedge \neg B\beta)$$

oraz

$$U(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (B\alpha \wedge \neg B\alpha \wedge B\beta \wedge \neg B\beta)$$

Konsekwencja ta jest niepożądana z analogicznych powodów, jak omówiona poprzednio. Mianowicie system LI bez wątpienia czyni zadość wymogom wzajemnej definiowalności spójników w logice klasycznej, które jednak na poziomie konwersacji rzadko bywa respektowana. Niewątpliwie taki stan

⁴ Jeśli przykładowo krytykowane jest czyjeś wygórowane mniemanie o sobie słowami *Oczywiście, że Ziuta jest podobna do Marylin Monroe, jednak Marylin nie jest podobna do Ziuty*, to rozbicie tej wypowiedzi na poszczególne zdania nie tylko niszczy zawartą w niej aluzję ale pozwala uzyskać koniunkcję wypowiedzi sprzecznych.

rzeczy jest związany ze szczególnymi cechami spójnika implikacji i jego dość luźnym związkiem z okresem warunkowym w języku naturalnym.

7.3. Minimalna logika wypowiedzi

Aksjomat 7, będący podstawą omówionego w poprzednim rozdziale systemu, bez wątpienia odpowiada intuicjom nadbudowanym nad maksymami konwersacyjnymi. Jednak jego sformułowanie nie należy do najprostszych. Mimo tego, że Tokarz w swojej książce zwięźle zdezawuował alternatywne sposoby formalnego zakodowania maksym Grice'a wydaje się, że poszukanie alternatywy dla aksjomatu 7 jest jak najbardziej pożądane. Problem polega jednak na tym że bądź to taka propozycja uwikła się w techniczne problemy związane z formalnym wyeksplikowaniem prostego pomysłu na maksymy ilości i sposobu bądź też wymagać będzie dokonania arbitralnego wyboru i sformułowania minimalnych warunków, jakie nałożyć można na racjonalną komunikację.

Nie opowiadając się za żadną ze stron sporu o prymat którejś z maksym konwersacyjnych Grice'a, przyjmijmy założenie zgodnie z którym minimalnym wymogiem nałożonym na racjonalną komunikację jest to, że wypowiedzi generowane przez uczestników jakiegokolwiek wymiany zdań powinny dotyczyć informacji dla nich wiarygodnych. Z tego względu jedynym aksjomatem w systemie alternatywnym względem już omówionych byłaby formuła postaci:

$$(Ax) \quad U\alpha \rightarrow B\alpha$$

Na podstawie (Ax), korzystając ze standardowych reguł postaci: możliwe jest zakodowanie istotnych cech pewnego typu strategii komunikacyjnej. Przede wszystkim przyjęta formuła pozwala dowieść kilku wariantów prawa niesprzeczności, mianowicie:

$$\neg(U\alpha \wedge U\neg\alpha),$$

$$U\alpha \rightarrow \neg U \neg\alpha,$$

$$U \neg\alpha \rightarrow \neg U \alpha.$$

Niezależnie od tego, czy niesprzeczność będzie rozumiana jako jedna z cech składających się na racjonalność czy też z nią identyczna, wskazane formuły sugerują że zakres obowiązywalności proponowanego systemu będzie istotnie węższy niż to, co podpada po miano komunikacji codziennej.

Bez wątpienia opisywany formalizm zostałby ubogacony rozszerzeniem aksjomatyki przez – odpowiednio zrelatywizowany – aksjomat Kripkego. Jednak, na co już wskazano prezentując system Tzouvarasa, aksjomat K wprowadzony do logik wypowiedzi czyni je niezbyt intuicyjnymi, choć pozwala zarazem wpisać się w dobrze opisaną klasę logik modalnych. Jednak pominięcie aksjomatu Kripkego pozwala scharakteryzować dość szczególny typ uczestnictwa w codziennej wymianie zdań. Mianowicie:

$$U(\alpha \wedge \beta) \rightarrow (\neg U\neg\alpha \wedge \neg U\neg\beta),$$

$$U(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (U\alpha \rightarrow \neg U\neg\beta),$$

$$U(\alpha \vee \beta) \rightarrow (\neg U\neg\alpha \vee \neg U\neg\beta).$$

W codziennej komunikacji nie występuje logiczny obowiązek formułowania *explicite* wniosków. Powody dla których czyni się odstępstwo od tej zasady są rozmaite: chęć uniknięcia subiektywnej interpretacji ze strony odbiorcy, gadulstwo czy też rygor narzucony naszemu sposobowi wypowiadania się. Konsekwencją zaproponowanego aksjomatu jest wymóg minimalny, mianowicie wskazanie przesłanek wymaga nieprzeczenia wynikającej z nich konkluzji.

Kolejne zależności pokazują w jaki sposób posiadane przez użytkowników języka stany przekonaniowe determinują formułowane przez niech wypowiedzi. Mianowicie:

$$B(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (U\alpha \rightarrow \neg U\neg\beta).$$

Ze względu na zależność pomiędzy funktorami U oraz B zakodowaną w (Ax) można jako wniosek z danej formuły wskazać implikację postaci:

$$B(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (B\alpha \rightarrow \neg U\neg\beta).$$

A zatem racjonalny uczestnik komunikacji nie wypowiada zdań sprzecznych z wnioskami wynikającymi z jego przekonań czy też – jak pokazano w poprzedniej zależności – przekonań i odnoszących się do nich wypowiedzi. Zależności odwrotne mają nieco inny charakter. Otóż po pierwsze:

$$(U\alpha \wedge \neg B\beta) \rightarrow \neg U(\alpha \rightarrow \beta),$$

oraz po drugie:

$$(B\alpha \wedge \neg B\beta) \rightarrow \neg U(\alpha \rightarrow \beta).$$

Zatem niewypowiadanie zdań o charakterze implikacyjnym jest konsekwencją braku przekonania o zasadności ich następników a zarazem wypowiadania (lub przynajmniej uznaniu wiarygodności) ich poprzedników. Oczy-

wiecie należy pamiętać o tym, że opisywany system jest na tyle słaby, iż nie wychwytuje istotnej z punktu widzenia efektywności komunikacyjnej różnicy pomiędzy wypowiedzianiem zdania przeczącego a niewypowiedzianiem zdania twierdzącego. Należy jednak zauważyć że toczony na co dzień dialogi nie są odpowiednio informatywne w sensie Grice'a. W konsekwencji niejednokrotnie otrzymanie adekwatnej ilości danych wymaga wydobycia ich od rozmówcy za pomocą odpowiednio dobranych pytań. Ponadto obie implikacje pokazują także, iż jeśli znany jest „punkt wyjścia” rozmowy, czyli przekonania interlokutora czy też to, co już zostało przez niego wypowiedziane, to możliwe jest przewidzenie tego, jakich wypowiedzi on nie sformułuje. Kolejne trzy formuły kodują zależności pomiędzy przekonaniem o zachodzeniu określonego typu zależności pomiędzy zdaniem a strategiami komunikacyjnymi dotyczącymi tych zdań. Wypowiedzanie zdań złożonych w których występują spójniki ma identyczne konsekwencje, co uznawanie takich zdań. Mianowicie:

$$\mathbf{B}(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (\mathbf{U}\neg\alpha \rightarrow \neg\mathbf{U}\neg\beta),$$

$$\mathbf{B}(\alpha \wedge \beta) \rightarrow (\neg\mathbf{U}\neg\alpha \wedge \neg\mathbf{U}\neg\beta),$$

$$\mathbf{B}(\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (\mathbf{U}\alpha \rightarrow \neg\mathbf{U}\neg\beta).$$

Ostatnie dwie konsekwencje przyjętej bazy formalnej są następujące:

$$[\mathbf{U}\alpha \wedge \mathbf{B}(\alpha \rightarrow \beta)] \rightarrow \neg\mathbf{U}\neg\alpha,$$

$$[\mathbf{U}\neg\alpha \wedge \mathbf{B}(\beta \rightarrow \alpha)] \rightarrow \neg\mathbf{U}\beta.$$

Pokazują one jakie są komunikacyjne konsekwencje wypowiedzenia określonych zdań oraz stanów przekonaniowych dotyczących zależności w jakich zdanie wypowiedziane występuje. Jak łatwo zauważyć uznanie, że każde wypowiedziane zdanie jest uznane przez jego nadawcę za wiarygodne nakłada na tworzenie wypowiedzi jeden typ zakazu, mianowicie nieprzeczenia konsekwencjom wypowiedzianego (lub uznanego) zespołu przesłanek. Z tego względu można zapostulować dołączenie do opisywanego systemu nowego spójnika określonego następująco:

$$\mathbf{M}\alpha \equiv \neg\mathbf{U}\alpha \wedge \neg\mathbf{U}\neg\alpha.$$

Dzięki tak zdefiniowanemu spójnikowi możliwe będzie odróżnienie nieprzeczenia jakiemuś zdaniu od milczenia na jego temat. Jednak nawet mimo takiej modyfikacji omówiony system posiada jeden istotny mankament, mianowicie równie dobrze może służyć pomocą w formalizacji pewnego typu racjonalnej komunikacji, jak też chociażby strategii wyniośle milczących interlokutorów.

7.4. Jak komunikuje się maszyna?

Podstawowym problemem maszyn komunikujących się zgodnie z omówionymi systemami jest to, że mają one wszelkie szanse na bycie komunikacyjnymi ascetami. Żaden z aksjomatów nie gwarantuje tego, że proces komunikacji zostanie zainicjowany przez komputer ani nawet tego, że raczy ustosunkować się do komunikatów swojego rozmówcy. Z tego powodu próby wprowadzenia istotnych modyfikacji w przedstawionych systemach czy też konstrukcja systemu alternatywnego powinna zawierać formalny gwarant interakcyjności.

Pozostałe cechy maszyn jako uczestników komunikacji są związane ze specyfiką poszczególnych systemów.

W przypadku maszyny działającej zgodnie z logiką Tzouvarasa jej wkład w konwersację polegałby na werbalizowaniu wnioskowań zgodnie z regułą odrywania, co zostało zakodowane w aksjomacie 5. Ta pożyteczna w niektórych kontekstach umiejętność nie zawsze jest realizowana w autentycznych sytuacjach komunikacyjnych. Istoty ludzkie niekiedy nie potrafią wyciągnąć odpowiednich wniosków z przyjętych przez siebie przesłanek, jak również pozostawiają czasami konkluzję domyślności swojego rozmówcy. Komunikacyjne odpowiedniki reguł pozytywnej i negatywnej introspekcji – czyli aksjomaty 7 i 8 – są kolejnymi elementami decydującymi o specyfice strategii komunikacyjnej takiej maszyny. Pomijając kwestię temporalnej relatywizacji jakiegoś komunikatu i komunikatu i tym komunikacie, aksjomaty te można potraktować jako gwarant możliwości użycia mowy zależnej zarówno w odniesieniu do zdań wypowiedzianych, jak też tych które nie zostały zwerbalizowane.

Komputer, którego strategie komunikacyjne byłyby zgodne z logiką Tzouvarasa potrafiłby zwiększać zakres swoich stanów epistemicznych dołączając do zbioru wyjściowego wiedzę o tym, że coś zakomunikował (aksjomat 9) lub też tego nie uczynił (aksjomat 10). Jednak mimo tego taka maszyna mogłaby zostać rozmówcą niewiarygodnym. Przyjęty bowiem zespół aksjomatów jest niesprzeczny, chociażby względem formuł kodujących dwa standardowe sposoby tworzenia wypowiedzi niewiarygodnych – wypowiadanie tego, czego się nie wie oraz wypowiadania czegoś niezgodnego ze stanem wiedzy. Paradoksalnie każda z tych formuł najbardziej zbliżałby strategię komunikacyjną maszyny do tego, jak porozumiewają się ze sobą na co dzień istoty ludzkie.

Nieco innych problemów nastroczałaby komunikacja z komputerem komunikującym się zgodnie z systemem opisanym przez Marka Tokarza. Przede wszystkim dość problematyczne wydaje się to, że wypowiedzenie zdanie o charakterze koniunkcyjnym implikuje koniunkcję wypowiedzi zdań składowych. Zasada taka obowiązuje wówczas, gdy mamy do czynienia przede wszystkim z informacyjnym użyciem języka. W przypadku funkcji perswazyjnej czy też wówczas, gdy posługujemy się językiem figuratywnym wydaje się ona szwankować (np. wypowiedzenie zdania *Wykup naszą polisę i zmień swoje życie* nie sprowadza się do koniunkcji wypowiedzeń: *wykup polisę* oraz *zmień swoje życie*, gdyż trudno tu zauważyć zasugerowany w pierwszym przypadku związek pomiędzy wskazanymi przez oba zdania stanami rzeczy). Bez wątpienia stanowiłoby to istotne ograniczenie w komunikacji z maszyną działającą według logiki Tokarza – mimo oparcia na spostrzeżeniach Grice’a komputer korzystałby głównie (o ile nie tylko) z informacyjnej funkcji języka. Co więcej, ten problematyczny związek pomiędzy funktorem *U* mającym kodować tworzenie wypowiedzi oraz standardowymi funktorami ekstensjonalnymi jest widoczny także w przypadku wypowiedzi alternatywnych implikacyjnych, które – jak już wskazano w drugim rozdziale – są od siebie nierozróżnialne.

Zakodowana w aksjomacie 7 umiejętność doboru relewantnych ze względu na kontekst komunikatów wydaje się dostarczać dobrego argumentu na rzecz przekonania o zbliżonym do ludzkiego stylu komunikacji maszyny pracującej według standardów Tokarza. Syntaktyczna podstawa oceny wartości merytorycznej zdania – łatwa w ocenie dla maszyny – miałaby dostarczyć, po pierwsze, decyzji epistemicznej co do poznawczego waloru zdania, po drugie natomiast dostarczyć w rezultacie odpowiedniego w danym kontekście aktu komunikacyjnego. Mimo tego system Tokarza pozwala zakodować zachowania komunikacyjne maszyny pod kątem związku pomiędzy tym, co wypowie a jej stanami przekonaniowymi. Innymi słowy uczestnik sytuacji komunikacyjnej z udziałem komputera pracującego według logiki Tokarza będzie miał więcej danych dotyczących jej stanów wewnętrznych, niż potencjalnych strategii konwersacyjnych.

Ostatni z omówionych systemów generuje innego typu problemy. Przede wszystkim maszyny działające zgodnie z przyjętym jedynym aksjomatem dla spójnika *U* byłyby komunikacyjnie oszczędne i w znacznym stopniu przewidywalne. Większość tez, które są dowodliwe w tym systemie pokazuje czego maszyny nie mogłaby powiedzieć, o ile zostało już coś przez nią zakomunikowane. Pozostałe tezy z kolei pozwalają rozmówcy wywnioskować jakie

przekonania maszyn żywi, skoro zdecydowała się na konkretne posunięcie komunikacyjne. W szczególności nie można by wymagać od komputera działającego według wskazanych standardów zwięzłości czy też mówienia na temat. Trudno się jednak spodziewać większego zaangażowania po stronie maszynowego rozmówcy, skoro jedyną zasadą w oparciu o którą komunikowałby się z człowiekiem jest zgodność tego, co powiedziane z przekonaniami będącymi w jego dyspozycji.

7.5. Zakończenie

Próba opisania zachowań komunikacyjnych jest dość trudnym zadaniem. Jeśli bowiem opierać się ona będzie na primacie systemu, to uzyskane rezultaty będą znajdowały się daleko od mechanizmów konwersacyjnych, które miały wyjaśnić. Poucza o tym konstrukcja A. Tzouvarasa – aczkolwiek, jak już wspomniano, cel który jemu przyświecał był odmienny od omawianego w niniejszym artykule. Mimo to można przyjąć, że próby formalnego opisania spójnika U prawdopodobnie nie dadzą się wpisać w standardowe ujęcie logik modalnych.

Z kolei dostosowanie aparatu formalnego do jednego z bardziej znamienitych wyników z zakresu pragmatyki, czyli propozycji Grice’a, również nie wygląda zbyt zachęcająco. Otrzymano bowiem niezbyt intuicyjne wyniki na bazie formalnej rekonstrukcji Zasady Współpracy tudzież strategię komunikacyjnego ascety. Problem formalnej rekonstrukcji pojęcia wypowiedzi wydaje się jednak istotny, zaś jakiegokolwiek wiążące konstatacje prawdopodobnie będą wymagały zastosowanie bardziej wyrafinowanego od zarysowanych w niniejszym artykule propozycji⁵.

Pierwsza grupa badań związana powinna być z faktualizacją doksastycznego (czy też epistemicznego) tła dla systemów logiki wypowiedzi. Przekonania żywione przez istoty ludzkie cechuje bowiem wiele odstępstw od wzmiankowanej w artykule racjonalności: począwszy od luk w uzasadnieniach, różnych stopniach akceptacji, podatności na rewizję a na niezupełności czy też sprzeczności skończywszy. Uwzględnienie tych niuansów niewątpliwie pomogłoby w zidentyfikowaniu specyfiki w nabywaniu i przetwarzaniu przekonań przez komputery.

⁵ Zob. Ch. Liao, *Belief, information acquisition, and trust in multi-agent systems – A modal logic formulation*, Artificial Intelligence, 149 (2003) 31–60.

Grupa druga z kolei powinna dotyczyć wypracowania nieco bardziej wyrafinowanych narzędzi formalnych kodujących pojęcie wypowiedzi. Użycie języka nie sprowadza się do jego informacyjnej funkcji, zaś korzystanie z niej w komunikacji ma zazwyczaj charakter dialogiczny nie zaś – jak w niniejszym artykule – monologiczny. Próba odniesienia do idei Grice’a i Gazdara z wykorzystaniem opisanego aparatu formalnego miała charakter cokolwiek rudymenarnego odniesienia. Faktyczna komunikacja jest zjawiskiem o wiele bardziej zróżnicowanym, niż generowanie sprawozdań z posiadanych przez siebie przekonań.

BIBLIOGRAFIA

1. Jacquette D., *A companion to philosophical logic*, Blackwell, 2002.
2. Tokarz M., *Pragmatyka logiczna*, PWN, 1992.
3. Tzouvaras A., *Logic of knowledge and utterance and the liar*, *Journal of Philosophical Logic* 27 (1998), s. 85–108.
4. Liao Ch., *Belief, information acquisition, and trust in multi-agent systems – A modal logic formulation*, *Artificial Intelligence*, 149 (2003), s. 31–60.

Language, beliefs and computer

Abstract

Language communication brings some essential features to human worldview. Its efficiency, notorious lack of precision or role of contextual factors implies that laws of language performance are distinct from laws of sentences (not only from a logical point of view). Thus suggestion that human-like communication learning strategies which should be implemented in computers is a great challenge is reliable. This article is an attempt of description mentioned problem, i. e. logic of utterances and concerns three types of logical tools, that are used to codify a term „utterance”. First chapter includes system invented by Athanassios Tzouvaras, although he invented this system for different aim. In second chapter contains some original ideas of Marek Tokarz, who was inspired by H. P. Grice’s work. Third chapter contains system created by some modification of Tokarz work.

Rozdział 8

Biosemiotyczne inspiracje sztucznej inteligencji

Anna Sarosiek

Wydział Filozoficzny UPJPII w Krakowie,
Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych

Streszczenie. W pracy opisano niektóre biosemiotycznie inspirowane prace nad sztuczną inteligencją. Sztuczne systemy zostały ukazane jako posiadające dyspozycję do osiągnięcia autonomii w wyniku uczenia się, samodzielnego rozwoju oraz ewolucji oprogramowania. Od strony biosemiotycznej skupiono się na teorii Jakoba von Uexküll'a, zgodnie z którą systemy i maszyny inteligentne winny brać aktywny udział w procesach semiotycznych i wchodzić w interakcje ze środowiskiem. W świetle tej teorii każdy sztuczny system inteligentny winien posiadać własny fenomenalny świat.

Słowa kluczowe: biosemiotyka, sztuczna inteligencja, maszyny semiotyczne, autonomia, ucieleśnienie

8.1. Wprowadzenie

Badacze sztucznej inteligencji poszukują źródeł inspiracji w wielu odmiennych dziedzinach nauki. Metody rozwiązywania problemów wypracowane na drodze klasycznego obliczeniowego podejścia wymagają rozszerzenia. Jednym z nurtów badawczych w projekcie sztucznej inteligencji są badania o charakterze biosemiotycznym. Biosemiotyka stara się połączyć wyniki badań dwóch odmiennych dziedzin: biologii, która podejmuje próbę systematyzacji życia w kategoriach materii i energii, oraz semiotyki, która analizuje procesy umysłowe istot żywych. Bada zjawisko życia i analizuje nieodłącznie z nim związane wielopoziomowe procesy semiotyczne. Kodowanie znaczenia jest immanentną i niezmienną cechą każdej żywej istoty. Jest obecne zarówno na poziomie molekularnym i poziomie ekosystemu. Procesy semiotyczne kształtują informację

dotyczącą przebiegu innych, obserwowalnych procesów. Przetwarzanie znaku może stać się kluczem do zrozumienia przekazywanej informacji. Analiza procesów biosemiotycznych ma na celu odkrycie, w jaki sposób informacja jest kodowana, przekazywana i interpretowana przez żywe organizmy.

Głównym przedstawicielem dziedziny biosemiotyki pozostaje Jakob von Uexküll. Prawdopodobnie jako jeden z pierwszych zaczął zastanawiać się nad wielością światów percepcyjnych. Jego stanowisko stało się wykładnią dla dalszych badań nad przetwarzaniem znaczeń przez żywe organizmy. Przedstawienie teorii, zaprezentowanej przez Uexkülla, pozwala przyrzeć się podstawowym założeniom i wynikom biosemiotyki. Jego celne wnioski zostały z powodzeniem wykorzystane w pracach nad sztuczną inteligencją.

Przetwarzanie znaków jest interesujące nie tylko z perspektywy biosemiotyki, próbującej ustalić, jakim procesom poddawane jest znaczenie w świecie żywych organizmów. Sposoby przekazywania i odczytywania informacji są też istotne dla badaczy sztucznych systemów. Szczególnie mogą mieć fundamentalne znaczenie dla rozwoju badań nad sztuczną inteligencją (SI). Działania na tym polu zmierzają do wyposażenia maszyn w fizyczne i behawioralne zdolności człowieka. Prace prowadzone obecnie w dziedzinie sztucznej inteligencji mierzą się z problemami nierozwiązanymi w podejściu GOFAI¹. Wówczas starano się stworzyć sztuczny inteligentny system, który mógłby być realizowany przez fizyczne maszyny Turinga. To symboliczne podejście nie przyniosło oczekiwanych rezultatów. Wielu umiejętności nie dało się opisać przy pomocy reguł formalnych. Główny problem stanowił sposób ugruntowania pojęć. Symbole, którymi operować miała maszyna potrzebowały głębszego wymiaru. Zasadniczy błąd polegał na przekonaniu, że sztuczne systemy muszą być programowane, obserwowane i interpretowane przez człowieka.

8.2. Maszyna symboliczna i umysł ucieleśniony

Niepowodzenia w komputerowej realizacji sztucznej inteligencji były spowodowane niemożliwością zaprogramowania systemów w ten sposób, by ich funkcjonowanie przypominało działanie człowieka. Zaskakującym okazał się fakt, że procesy, które do tej pory uważano za skomplikowane i wymagają-

¹ GOFAI –Dobra Staromodna Sztuczna Inteligencja (*Good Old-Fashioned Artificial Intelligence*). W ten sposób przyjęto określać pierwsze badania nad sztuczną inteligencją przeprowadzane w paradygmacie symboliczno-obliczeniowym.

ce wysoce abstrakcyjnego myślenia, takie jak działania logiczne lub trudne obliczenia nie stanowiły dla maszyny problemu. Natomiast te, które uważano za najprostsze, jak poruszanie się lub komunikowanie, były niemalże niemożliwe do zaprogramowania i wymagały wielu kosztownych obliczeń². W latach osiemdziesiątych pojawił się nowy trend, rozważający umysł ucieleśniony, obejmujący najpierw nauki poznawcze poświęcone badaniom umysłu, a potem również dziedzinę sztucznej inteligencji. Szybko zaczął obowiązywać nowy paradygmat, w ramach którego umysł był postrzegany jako bezpośrednio związany z ciałem i środowiskiem. Badania nad SI zostały ukierunkowane na sposoby nabywania pojęć przez sztuczne systemy. Wnikliwej obserwacji poddano również kształtowanie się relacji maszyn ze światem zewnętrznym. Projektanci sztucznej inteligencji szukali inspiracji w naukach poznawczych. Podjęto próby aplikacji tych teorii w pracach nad sztuczną inteligencją. Zadanie było o tyle trudne, że wymagało specyficznego ucieleśnienia maszyny. Musiała posiadać nie tylko fizyczne ciało, które miało możliwość wchodzenia w sprzężenie zwrotne z otoczeniem, lecz również umiejętność wykorzystania rezultatów tej interakcji w przyszłości³. Założono, że każdy system musi uczyć się i rozwijać w interakcji z innymi i z otoczeniem, co było podstawowym do spełnienia wymogiem paradygmatu ucieleśnionego umysłu. Rozpoznany został podstawowy błąd dotychczasowego podejścia. Znaki, którymi operowały maszyny nie były związane z otaczającym je światem. Pojęcia nie były w żaden sposób ugruntowane. Programista przekazywał sztucznemu systemowi dane, które nie posiadały zewnętrznych odniesień. Sposób, w jaki łączyły się z rzeczywistością istniał tylko i wyłącznie w umyśle projektanta systemu⁴. To człowiek interpretował znaki zewnętrznego świata modelując wewnętrzne reprezentacje maszyny. Tworzony w ten sposób semantycznie obcy obraz świata nie mógł stać się podstawą inteligentnych działań sztucznego systemu. Nie zachodził realny proces powstawania znaczenia. Działanie systemu było zależne od pracy programisty i pojęć, które w nim kodował. Pojawiło się zatem pytanie, czy można zbudować system ucieleśniony, wchodzący w faktyczne relacje ze światem zewnętrznym i tworzący własne pojęcia?

² H. Moravec, *When will computer hardware match the human brain*, „Journal of Evolution and Technology”, t. 1, nr 1, 1998, s. 10.

³ M. Wilson, *Six views of embodied cognition*, „Psychonomic bulletin & review”, t. 9, nr 4, 2002, s. 625–636.

⁴ S. Harnad, *The symbol grounding problem*, „Physica D: Nonlinear Phenomena”, t. 42, nr 1, 1990, s. 335–346.

Już Charles Peirce rozważał możliwość przetwarzania znaków przez sztuczny układ. Dowodził, że przetwarzający informacje system bierze udział w semiozie – procesie przetwarzania znaków⁵. Przebieg semiozy uznał za niezależny od istnienia żywego umysłu, który mógłby go kontrolować. Przetwarzanie symboli przez podmiot semiozy powoduje powstawanie znaczeniowo wartościowanego świata. Każdy system, niezależnie od swoich fizycznych właściwości, miałby wykazywać pewien stopień semiotyczności. Peirce uważał myśli za ciągi symboli niezależne od biologicznego mózgu i związane z zewnętrznym desygnatem znaku⁶. By sztuczny system odczytał symbol, samodzielnie go przetworzył i wyprodukował adekwatną odpowiedź, musi zachodzić proces semiozy, czyli przełożenie znaku na inny znak. Wtedy zostaje przeprowadzona operacja na znaczeniu. Maszyna symboliczna może brać udział w interpretacji znaków. W biologicznym mózgu, jak i w maszynie, między wejściem a wyjściem układu odbywa się przetwarzanie danych. Operacje te związane są przyczynowo i celowo z środowiskiem, w którym system jest osadzony. W sztucznym systemie można dostrzec nie tylko możliwość pełnej semiozy, lecz także pierwiastek inteligencji, umożliwiający pełną wymianę informacji ze środowiskiem. Dla Peirce’a warunkiem właściwego działania procesu przetwarzania znaków było rozszerzenie umysłu na zewnętrzne obiekty. Przedmioty te stanowić miały semiotyczne i materialne podłoże znaku, reprezentujące go i wpływające na sposób interpretacji⁷. Obiekty świata zewnętrznego zostały uznane za integralną część powstawania znaczenia.

Postrzeganie umysłu jako ucieleśnionego i połączonego ze swoim środowiskiem powróciło do nauki w latach osiemdziesiątych XX wieku. Ucieleśniony umysł stał się inspiracją dla badań nad sztuczną inteligencją. W pracach nad konstruowaniem ucieleśnionej SI przyjęto, że tylko system posiadający możliwość komunikacji ze środowiskiem zewnętrznym może przejawiać inteligentne zachowanie. Musi posiadać sieć czujników, które będą przekazywać

⁵ Należy zaznaczyć, iż Peirce wielokrotnie podkreślał, że sztuczny system może najwyżej brać udział w procesach quasi-semiozy i przetwarzać quasi-znaki. Peirce swoje rozważania opierał tylko na znajomości działania maszyny logicznej Stanhope’a i Jevonsa, a więc funkcjonującej w oparciu o zaimplementowane procedury. Współczesne badania nad ucieleśnionymi agentami zmuszają do zrewidowania definicji maszyny semiotycznej. Por: C.S. Peirce, *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Pragmatism and Pragmaticism*, Charlottesville, Va 1994, t. 5, par. 473.

⁶ C.S. Peirce, *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Science and Philosophy*, Charlottesville, Va 1994, t. 7, par. 366.

⁷ Ibid.; P. Skagestad, *10 Peirce’s Semiotic Model of the Mind* [w:] *The Cambridge Companion to Peirce*, C. Misak (red.), 2004, s. 253.

informacje z otoczenia, oraz efektorów, które pozwolą na nie oddziaływać. Taka konstrukcja dałaby możliwość uzyskania szerszego tła dla powstających pojęć, zwiększyłaby ich semantyczną wartość, a może umożliwiłaby powstanie intencjonalności⁸, pozwalającej sztucznemu systemowi subiektywnie interpretować informacje przychodzące z zewnątrz. Badacze sztucznej inteligencji stanęli więc przed wyzwaniem stworzenia nowych metod, umożliwiających systemowi wiązanie przetwarzanych symboli z otaczającym go światem.

8.3. Problem ugruntowania symboli

Nowe podejście do konstrukcji sztucznych systemów inteligentnych inspirowane było rezultatami uzyskanymi w dziedzinie nauk kognitywnych. Symbole używane przez istniejące systemy uznano za puste i jałowe. Nie dawały możliwości stworzenia systemu wyposażonego w wiedzę porównywalną z wiedzą ludzką. Problem stanowiły też założenia konstrukcyjne. Tradycyjnie używano się podejścia *top-down*, skupiającego się na wewnętrznym rozumowaniu systemu, uprzednio już zaplanowanym i zaprogramowanym. W zamian pojawiła się propozycja, by pozwolić systemowi rozwijać się samodzielnie, pozwalając mu na interakcje ze środowiskiem. Nowe podejście (*bottom-up*) pozwalało projektować systemy funkcjonujące w oparciu o pojedyncze moduły, skupiające się na pojedynczych działaniach, będących odpowiedzią na bodźce z zewnątrz. Moduły były powiązane ze sobą w swobodny sposób. Sprzężenie percepcji i działania poszczególnych modułów miało zapewnić sztucznemu systemowi możliwość uczenia się i rozwoju, poprzez dekompozycję i ponowne łączenie zadań.

Nowa sztuczna inteligencja konstruowana była poprzez ucieleśnienie i osadzenie w środowisku⁹. Ucieleśnienie zapewniało istnienie fizycznego, wyposażonego w czujniki i efekторы, „ciała” systemu, które mogło przyjąć informację z zewnętrznego świata oraz odpowiedzieć na nią. Osadzenie pozwoliło budować bezpośrednie relacje systemu z otoczeniem oraz badać wzajemne wpływy i przebieg informacji. Sprzężenie zwrotne ze środowiskiem i „niby-orgazmiczna” budowa sztucznego systemu, pozwolić miały na two-

⁸ Intencjonalność jest tu cechą stanów psychicznych, które są ukierunkowane na pewien cel i posiadają przedmiot odniesienia (myślenie o czymś, wierzenie w coś). Por. J. Bremer, *Wprowadzenie do filozofii umysłu*, Wydawnictwo WAM 2010, s. 21.

⁹ R.A. Brooks, *Elephants don't play chess*, „Robotics and Autonomous Systems”, t. 6, nr 1, 1990, s. 3–15.

rzenie własnej historii, wykorzystywanej do rozwoju i przetrwania. Systemy miały przetwarzać dane w sposób podobny do ludzi. SI poprzez interpretację mogłaby tworzyć wewnętrzne modele świata oraz wysyłać wytworzone znaki na zewnątrz. Cel miał zostać osiągnięty poprzez skonstruowanie układów, które by samodzielnie uczyły się, rozwijały oraz ewoluowały. Wizja maszyny deterministycznej została porzucona. Nowe systemy miały działać w interakcji z światem zewnętrznym, opierając się na własnych doświadczeniach, podejmując własne wybory i wykazując własną inicjatywę¹⁰.

Takie próby były już podejmowane wcześniej. W 1949 roku William Grey Walter, inspirowany się badaniami Jacquesa Loeba nad tropizmami, zbudował z niewielkiej ilości obwodów roboty przypominające żółwie. Ich zadaniem było celowe poruszanie się, omijanie przeszkód, zdobywanie energii. Wyposażone zostały w fotokomórkę i styk elektroniczny, pełniące funkcję naturalnych receptorów sensorycznych. Walter chciał skonstruować możliwie najprostsze mechanizmy odruchów zmysłowych. Chciał też udowodnić, że nieduża ilość obwodów elektrycznych może powodować skomplikowane działania¹¹. W ten sposób powstały biologicznie inspirowane maszyny, które poruszały się, odnajdywały i rozpoznawały cel. Kolejni konstruktorzy rozwijali te układy, starając się poza podstawowymi funkcjami, modelować takie znaczące cechy jak autonomiczność¹² i samoorganizacja.

Maszyny inteligentne miały zostać połączone z otoczeniem, zapewniającym niezbędne struktury, pozwalające wchodzić w sprzężenie zwrotne. Środowisko miało dostarczać odpowiedniej ilości danych, tak by mogły budować wiedzę i wykorzystywać ją zgodnie z własnymi celami i założeniami. Marzeniem konstruktorów sztucznej inteligencji było stworzenie systemu o skuteczności poznawczej dorównującej ludzkiemu umysłowi. Umysł jednak pozostawał dziedziną wciąż niezbadaną. Powrócono więc do teorii biologicznych, wyjaśniających działanie najprostszych organizmów. Poszukiwania skierowane zostały też w stronę biosemiotyki, która rozumiała informację

¹⁰ R.A. Brooks, *Intelligence without reason*, „The Artificial Life Route to Artificial Intelligence: Building embodied, situated agents”, 1995, s. 25–81.

¹¹ W.G. Walter, *A machine that learns*, „Scientific American”, t. 185, nr 2, 1951, s. 60–63.

¹² Określenie „autonomiczny” w odniesieniu do sztucznych układów posiada tu znaczenie mniej formalne i stosowane będzie w stosunku do systemów, które są w stanie utrzymać własną organizację i tożsamość. Posiadają umiejętność zachowania tych cech nawet w przypadku uszkodzenia części układu. Zob: H.R. Maturana, F.J. Varela, *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*, Dordrecht 1980, s. 135.

jako zbudowaną z systemu znaków „instrukcję obsługi” żywego organizmu¹³. Do tej pory programy sztucznej inteligencji były efektem pracy projektantów¹⁴; skonstruowanymi z wybranych z ludzkiego świata symboli, przełożonymi na symboliczny język programu. Tymczasem badania biosemiotyczne ukazywały gatunkową i osobniczą specyfikę procesu kształtowania się pojęć. Wskazywały, że obiekt postrzegany przez żywy organizm należący do jednego gatunku nie będzie posiadać tego samego znaczenia dla przedstawiciela innego gatunku. Konstrukcja sztucznego organizmu mogła być inspirowana biologicznie, jednak jego działanie musiało opierać się o własne doświadczenia. Tylko jego samodzielnie stworzone pojęcia mogły stać się przyczyną inteligentnego zachowania.

8.4. Budowanie znaczenia w świecie doświadczanym

Badacze nowej sztucznej inteligencji wprowadzili do prac nad ucieleśnionymi i autonomicznymi systemami biologicznie inspirowaną teorię znaczenia. W opracowaniu metod konstruowania systemów pomógł koneksjonizm, na którego powstanie i rozwój wpłynęły badania żywych organizmów. W sztucznych sieciach neuronowych możliwe było nie tylko przysyłanie sygnałów lecz również nadawanie im konkretnego znaczenia. Robot, którego zadaniem było sprzątanie pomieszczenia, musiał odróżnić istotne dla jego zadania przedmioty od tych, które powinien zignorować. Dzięki czujnikom wykrywał znaczące obiekty w swoim zasięgu, następnie informacje przekazywane były do warstwy wejściowej sieci. Znak wprowadzony na wejście sieci był przetwarzany równolegle przez neurony tworzące sieć, dotąd aż ustalił się stan neuronów warstwy ostatniej, sterującej silnikiem. Dzięki temu maszyna mogła poprawnie zinterpretować bodźce i zachować się odpowiednio do sytuacji (np.: ominąć przeszkodę, zabrać pustą puszkę, zignorować obraz podobnej puszkę na ścianie). Percepcyjny świat agenta tworzy-

¹³ R.A. Brooks, *Elephants don't play chess...*, *op. cit.*; S. Harnad, *The symbol grounding problem...*, *op. cit.* Pojawia się propozycja, by stworzyć hybrydę symbolicznego i niesymbolicznego sensomotorycznego systemu. Miałoby to dać możliwość połączenia wcześniejszych dokonań z nowymi badaniami.

¹⁴ Między zmysłami organizmu, do których należy zadanie odbierania bodźców a tworzącymi się pojęciami i symbolami istnieją ważne szlaki zależne od procesów psychicznych. Stają się niezbędnym kontekstem dla powstawania subiektywnego schematu pojęciowego. System symboliczny jest systematycznie interpretowany i powiększany w wyniku dynamicznej interakcji ze światem, do którego się odnosi. Zob. S. Harnad, *The symbol grounding problem...*, *op. cit.*

ły zatem przedmioty zawierające znaczenie. Wewnętrznym światem stawał się przepływ sygnałów w sieci neuronowej, który zależał od aktualnej i prywatnej interakcji agenta¹⁵ oraz jego środowiska. Sztuczna sieć neuronowa została wykorzystana do symulowania systemów poznawczych żywych istot. Jej działanie bazowało na informacji przekazywanej przez sztuczne neurony tworzące sieć połączeń¹⁶. Taka sieć mogła modelować proste czynności poznawcze lub naśladować część bardziej skomplikowanego procesu kognitywnego.

Jedną z inspiracji w badaniach nad ucieleśnioną sztuczną inteligencją była biosemiotyczna teoria znaczenia Jakoba von Uexkülla¹⁷. Żywe organizmy stały się wzorem dla uczących się, ewoluujących i autonomicznych agentów¹⁸. Biosemiotyczna perspektywa pozwala postrzegać organizmy jako nieredukowalne do swoich fizycznych elementów i posiadające emergentne własności wyższego poziomu. Te nowe, fenomenalne aspekty i jakościowe cechy systemu, umożliwiają proces samoorganizacji i aktywne dostosowanie do środowiska. Uexküll zakładał istnienie odmiennych percepcyjnie światów różnych gatunków. Percepcja świata miała być wynikiem działania sensorów i efektorów. Każdy system funkcjonować mógł dzięki czujnikom i silnikom, które przystosowane zostały do wchodzenia w interakcje z zewnętrznym światem podmiotu¹⁹. Dzięki temu świat mógł być postrzegany jako wypełniony działaniem. Ta biosemiotyczna koncepcja *Umweltu*²⁰ wykorzystana została też

¹⁵ Agent jest określeniem autonomicznego systemu. Od zwykłego systemu cyfrowego odróżnia go, przede wszystkim, zdolność percepcji. Agenci posiadają również umiejętność komunikowania się i działania w swoim środowisku, w wyniku czego dochodzi do interakcji ze światem zewnętrznym.

¹⁶ R. Tadeusiewicz, *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM 1993.

¹⁷ R.A. Brooks, *Achieving artificial intelligence through building robots* [w:] 1986, R.A. Brooks, *Intelligence without representation*, „Artificial Intelligence”, t. 47, nr 1–3, 1991, s. 139–159; R.A. Brooks, *Intelligence without reason...*, op. cit.

¹⁸ Sztuczne systemy nawet w nazewnictwie wykazują analogię do istot biologicznych. Nazywa się je sztucznymi organizmami, biorobotami, biotami, animatami, ucieleśnionymi agentami. Wszystkie te określenia sugerują, by traktować je jako quasi-żywe.

¹⁹ J. von Uexküll, *The Theory of Meaning*, „Semiotica”, t. 1, nr 42, 1982, s. 25–82.

²⁰ *Umwelt* jest pojęciem często błędnie tłumaczonym jako środowisko. Ma jednak znacznie szersze znaczenie. *Umwelt* obejmuje w tym samym czasie relacje między interaktywnym organizmem i zewnętrznym światem. Organizm musi być ucieleśniony i osadzony. Jednocześnie musi być świadomy istnienia zewnętrznego świata i swoich możliwości działania w nim. *Umwelt* opisuje własny, fenomenalny świat podmiotu oraz znaczeniową przestrzeń. W *Umwelcie* jednostka odbiera znaczące sygnały, przetwarza informacje i deszyfruje systemy kodów i znaków. *Umwelt* jest świadomie poznawany przez akty percepcji, poznania, języka. *Umwelt* jest sumą tego wszystkiego, co znaczące dla istoty będącej w nim.

w dziedzinie SI skoncentrowanej na budowie systemów, które tak jak żywe organizmy, miały działać w świecie, ucząc się, rozwijając swoje umiejętności i ewoluując w relacji z otoczeniem. Taka aktywność możliwa była dzięki wykorzystaniu algorytmów ewolucyjnych i sztucznych sieci neuronowych. Maszyna skonstruowana w zgodzie z założeniami biosemiotycznymi, mogła zostać uznana za biorącą bezpośredni udział w procesach semiotycznych, które stanowiły część jej *Umweltu*.

Uexküll był przeciwnikiem nurtu mechanistycznego w biologii, postrzegającego żywe istoty jako mechanizmy. Zgadzał się z przedstawicielami tej orientacji, że każdy żyjący system zbudowany jest ze składników, łączących się w coraz to większe zespoły, oddziaływające zarówno z sobą i otoczeniem. Uważał jednak, że nie należy żadnego z takich systemów traktować jako maszyny, w której procesy przebiegają w kierunku od wejścia do wyjścia²¹. Jego zdaniem należało postrzegać je jako podmioty – operatorów systemu, interpretujących swoje części jako całość. Dostrzeżenie operatora kierującego mechanicznymi strukturami tłumaczyło aktywność organizmu, jaką jest łączenie postrzegania i działania. Bodźce z zewnątrz docierały do wnętrza systemu, a on odpowiadał na nie poprzez uruchomienie efektorów. Percepcja świata powstać miała w wyniku czucia, percepcji, obserwacji własnego działania oraz natychmiastowego dostrzegania efektów tej aktywności²². Tak odbierany i rozumiany był prywatny *Umwelt* – świat wokół podmiotu. Stawał się jedynym znanym i znaczącym wszechświatem organizmu.

Dla badaczy sztucznej inteligencji teoria *Umweltu* jest istotna z kilku względów. Po pierwsze, pokazuje naturalne połączenia między znakami ludzi i zwierząt. Pozwala to rozważyć możliwość znalezienia takiego połączenia ze światem sztucznych organizmów. Po drugie, wskazuje na niemożność poznania *Umweltu* należącego do odmiennego gatunku. Znacząca rzeczywistość jest reprezentowana przez znaki i symbole czytelne dla systemu, który może je zinterpretować. Znaki, istniejące w przestrzeni wszechświata, ale niemożliwe dla odczytania przez dany system, nie mogą istnieć w jego *Umwelcie*²³.

²¹ Co było charakterystycznym myśleniem mechanistycznych biologów. Zob. J. von Uexküll, *The Theory of Meaning...*, *op. cit.*

²² *Ibid.*

²³ Wibracje powietrza, które docierają do ludzkiego ucha, nie niosą dla człowieka żadnego znaczenia. Są zazwyczaj niedosłyszalne i nie są interpretowane. Natomiast dla większości owadów są czytelnym źródłem informacji o pogodzie, obecności partnera, położeniu ciała w przestrzeni. Por: J. von Uexküll, *A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds*, „Semiotica”, t. 89, nr 4, 2009, s. 319–391.

Dlatego też różne gatunki, nie dzieląc wspólnego schematu znaczeń, nie mają dostępu do obcych *Umweltów*. Atrybucja przekonań u wysokorozwiniętych zwierząt pozwala na uzyskanie jedynie fragmentarycznego zrozumienia świata innych. Wzorzec poznania jest kształtowany gatunkowo. Odkrywanie świata odmiennego gatunku odbywa się zawsze z perspektywy rodzaju, do którego należy badający. Taki mentalny model obcego *Umweltu* jest nieuchronnie naznaczony subiektywnością²⁴.

8.5. Autonomia sztucznych systemów

Każdy proces powstawania znaczenia mający miejsce w systemie, sztucznym czy biologicznym, zaczyna się od bodźców percepcyjnych a kończy użyciem efektorów. Informacja przechodzi przez skomplikowaną strukturę interpretacji, która ściśle łączy postrzeganie i działanie²⁵. Uexküll opisuje relację między bodźcami, które docierają do organizmu, a tymi, które sam wysyła, jako kręgi funkcjonalne²⁶. Krąg funkcjonalny przedstawia schemat działań systemu łączącego podmiot oraz obiekt działania. Pokazuje, jak przenoszone są informacje o przedmiotach świata podmiotu. Podkreśla też działanie systemu nadawania znaczeń. Każdy krąg funkcjonalny łączy podmiot z przedmiotem działania w ścisłej interakcji²⁷.

Sztuczne systemy, których funkcjonowanie opierało się na modelu kręgów funkcjonalnych, działały podobnie jak te kręgi. Najpierw obecność obiektu – desygnatu znaku była rejestrowana. Następował proces interpretacji: zbie-

²⁴ Nauka stara się zrozumieć działanie innych organizmów z pośredniej i funkcjonalnej perspektywy. Świetnego przykładu dostarcza tu Nagel w swoim klasycznym już eksperymencie myślowym. Zob: T. Nagel, *Jak to jest być nietoperzem?* [w:] *Pytania ostateczne*, A. Romaniuk (tłum.), Warszawa 1997, s. 203–219. Nie można uzyskać ani właściwego, ani wystarczającego dostępu do nietoperzego świata, mimo ogromu zebranej wiedzy, opisującej jego funkcje i własności.

²⁵ J. von Uexküll, *The Theory of Meaning...*, *op. cit.*

²⁶ Perspektywa semiotyczna ukazuje tu triadyczną relację znaku: 1. przedmiot zewnętrzny jest desygnatem znaku, 2. odwzorowanie sygnału przez sieć pełni rolę interpretanta, jest kształtującym się pojęciem, 3. znak pojawiający się na wyjściu jest reprezentamenem (jakimkolwiek wyrażaniem znaku). Zob: C.S. Peirce, *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Elements of Logic*, Charlottesville, Va 1994, t. 2, par. 228.

²⁷ T. von Uexküll, *The Sign Theory of Jakob von Uexküll* [w:] *Classics of Semiotics*, M. Krampen i in. (red.), Springer US 1987, s. 147–179.

ranie i porządkowanie danych na temat przedmiotu, a w jego rezultacie: nadawanie znaczenia. Zastosowanie procedur uruchamiających silniki, zależne było od znaczenia informacji i sposobu, w jaki przetworzony znak miał być zaprezentowany. Każdy z elementów kręgu funkcjonalnego stawał się częścią procesów przetwarzania znaków. Procesy te mogły przebiegać tylko w interakcji ze środowiskiem, ponieważ działanie świata zewnętrznego nieustannie wpływało na działania podmiotu, umożliwiając regulację aktów konstytuowania znaczenia i kształtowanie się organizmu²⁸.

Teorie biosemiotyczne opisują organizmy jako obdarzone wewnętrzną siłą. W klasycznym nurcie SI maszyny traktowane są jako heteronomiczne. Przetwarzanych przez nie symbolom brakuje autentycznego znaczenia. Semantyka, którą reprezentują jest semantyką drugiego stopnia, dostarczoną maszynie przez programistę. Krytycy SI, jak Hubert Dreyfus, przekonali, że komputer nie posiada kontekstualnej, pełnej wiedzy na temat otaczającego go świata. Programy przedstawiają jedynie fragmentaryczne dane. Są zaledwie symulacją części funkcjonowania żywego organizmu. Bez człowieka operującego maszyną nie będą przejawiać inteligentnego działania²⁹. John Searle w argumencie chińskiego pokoju, dowodził, że nawet jeśli sztuczny system zacznie używać języka, nie będzie to oznaczało, że ten język zrozumie. Maszyny nie są w stanie wnikać w znaczenie przetwarzanych danych i odnieść się ze zrozumieniem do własnych działań. Mogą wykorzystać jedynie syntaktyczne zasady manipulacji symbolami³⁰. Powyższa krytyka wynikła z błędu leżącego u podstaw prac w symbolicznym nurcie sztucznej inteligencji. Oczekiwano, że powstaną maszyny przejawiające ludzką inteligencję. Krytycy tradycyjnej SI mieli rację twierdząc, że maszyna nigdy nie osiągnie zdolności człowieka. Było to niemożliwe z powodu narzuconych z góry sposobów tworzenia pojęć, a następnie łączenia ich w schematy i bazy wiedzy. Biosemiotyka ukazuje nową perspektywę postrzegania sztucznych systemów, które zgodnie z koncepcją Uexkülla mogą posiadać własny fenomenalny świat, w którym znaczenie jest inne niż w świecie człowieka. Dla SI znaki i symbole języka człowieka należą do obcego *Umweltu*. Należy się spodziewać, że maszyny autonomiczne,

²⁸ B. Buchanan, *Onto-ethologies: The animal environments of Uexküll, Heidegger, Merleau-Ponty, and Deleuze*, Cambridge Univ Press 2008, s. 147–179.

²⁹ H.L. Dreyfus, *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, Harper & Row 1979.

³⁰ J.R. Searle, *Umysły, mózgi i programy* [w:] *Filozofia umysłu*, B. Chwedeńczuk (red. tłum.), t. II, Warszawa 1995, s. 301–324.

wchodzące w unikalne interakcje ze swoim otoczeniem, będą wytwarzać własne znaczenie a nawet własny język³¹.

Nowa, biologicznie inspirowana sztuczna inteligencja konstruuje i bada systemy autonomiczne. Szczególnie ważna jest samoorganizacja wewnętrznej struktury, która mogłaby odpowiadać za tworzenie się domen wiedzy i wykorzystanie ich do inteligentnego działania³². Istotne jest też zaobserwowanie, które bodźce świata zewnętrznego są wyodrębniane i poddawane interpretacji. Pozwala to rozpoznać elementy, które w wyniku interakcji systemu ze środowiskiem stworzyły semantyczny związek. Nieożywiony układ fizyczny jest testowany w oparciu o ugruntowane hipotezy, które mogą pomóc rozwiązać problem semantyki „z drugiej ręki”. Ważne wyniki przyniosły badania poruszających się robotów, budujących relacje z otoczeniem przy pomocy czujników i silników. Starano się odtworzyć schematy funkcjonujące u żywych organizmów: połączenia procesów percepcyjnych z sensorycznymi i z motorycznymi³³. Wyodrębnienie związku między percepcją i działaniem stało się możliwe dzięki kontrolowaniu przez program użycia znaczenia, czyli jego procesów przetwarzania znaków. Badaniu poddano schematy połączeń między procesami percepcyjnymi, sensorycznymi i motorycznymi, by odkryć jakimi szlakami podążają informacje. Główną rolę odgrywały miejsca wzmacniania i wyciszania sygnałów, a także moduły konsolidujące szczegółowe dane. Najpierw znaczenie przypisywane zostawało bodźcom, a następnie odpowiedziom systemu. Przepływ informacji w autonomicznych systemach, skutkujący wytworzeniem działania, okazał się w dużej mierze niezależny od zamysłu projektantów. Nowe procesy przetwarzania znaku, które poddano analizie, były prawdopodobnie wynikiem adaptacji bądź ewolucji programów. Aktywność sztucznych systemów zaczęła wymykać się interpretacji³⁴. Nie można było dłużej używać narzucających się porównań z człowiekiem, ponieważ znaczenie w sztucznych systemach konstruuje zupełnie odmienny *Umwelt*.

³¹ L. Steels, P. Vogt, *Grounding Adaptive Language Games in Robotic Agents* [w:] *Proceedings of the Fourth European Conference on Artificial Life*, MIT Press 1997, s. 474–482.

³² C. Emmeche, *Does a robot have an Umwelt? Reflections on the qualitative biosemiotics of Jakob von Uexküll*, „Semiotica”, nr 134, 2001, s. 653–693.

³³ R.A. Brooks i in., *The Cog Project: Building a Humanoid Robot* [w:] *Computation for Metaphors, Analogy, and Agents*, C. L. Nehaniv (red.), Cambridge 1999, s. 52–87.

³⁴ T. Ziemke, *A stroll through the worlds of robots and animals: Applying Jakob von Uexküll's theory of meaning to adaptive robots and artificial life*, „Semiotica”, t. 2001, nr 134, 2006, s. 701–746.

Inspirowane biologicznie systemy inteligentne budowano z pojedynczych modułów behawioralnych. Bioroboty Rodneya Brooksa za model miały kręgi funkcjonalne. Każdy z nich skonstruowany był z kilku prostych systemów obliczeniowych, przesyłających dane niskoprzepustowymi kanałami. Wszystkie systemy wchodziły w interakcje z otoczeniem, pracując niezależnie od siebie. Każdy moduł, podobnie jak organiczny krąg funkcjonalny, został połączony z receptorem i silnikiem. Receptor odbierał dane ze środowiska, silnik kontrolował efekторы odpowiedzialne za odpowiedzi na bodźce. Wszystkie moduły budowały wielowarstwową, subsumcyjną strukturę³⁵. Architektura tego typu została złożona z kilku typów sterowania, układy nadrzędne mogły zastąpić uszkodzone lub działające zbyt wolno układy podrzędne. Była to alternatywa dla rozwiązań proponowanych w ramach klasycznych badań SI i wykorzystujących symboliczne reprezentacje, ponieważ działała wyłącznie w oparciu o informacje pochodzące z sensorów³⁶. Hierarchiczne ułożenie warstw pozwalało na wzmacnianie lub wyciszanie sygnałów. Niższe warstwy zajmowały moduły realizujące drobne działania, wyższa warstwa łączyła i wykorzystywała efekty pracy niższych poziomów. W konsekwencji powstawał elastyczny i aktywny system, który z powodzeniem mógł działać w zmiennym środowisku.

Dynamiczny związek między światem a ciałem zwierzęcia był inspiracją dla rozwijania sztucznych systemów w stronę autonomicznego, rozwijającego się samodzielnie układu. U autonomicznych agentów pojawiły się emergentne własności będące wynikiem samorozwoju i adaptacji. Wraz ze wzrostem interakcji z dynamicznym środowiskiem zwiększała się funkcjonalność³⁷. Relacje ze światem zewnętrznym oraz proste reguły behawioralne wpływały na rozwój inteligentnych systemów. Agenci musieli posiadać umiejętność dekompozycji skomplikowanego zadania, by poszczególne moduły architektury wewnętrznej mogły zająć się wykrywaniem pojedynczych sygnałów, modelowaniem ich, obliczeniami, kierowaniem silnikami. Autonomiczny system nie posiadał modułu centralnego, a komunikacja przebiegająca między poszczególnymi układami była minimalna. Wyższa warstwa integrowała działania pojedynczych układów, w wyniku czego powstawało zachowanie systemu. W przypadku niepełnej informacji, system zachowywał się jak żywy

³⁵ Zwanej również architekturą Brooksa. Zob. R.A. Brooks, *Elephants don't play chess*, „Robotics and Autonomous Systems”, t. 6, nr 1, 1990, s. 3–15.

³⁶ R.A. Brooks, *A robust layered control system for a mobile robot*, „IEEE Journal of Robotics and Automation”, t. 2, nr 1, 1986, s. 14–23.

³⁷ C. Emmeche, *Does a robot have an Umwelt?..*, op. cit.

organizm i korzystał z baz danych innych domen³⁸. Architektura subsumcyjna wzmacniała działania poprzez łączenie informacji napływających z różnych modułów³⁹. Wyższe poziomy nie determinowały działania systemu, a jedynie je interpretowały. Interpretacja zachodziła dzięki fizycznie ugruntowanym hipotezom, tworząc reprezentacje systemu – wewnętrzne modele świata. Sztuczny organizm mógł dopasować działanie do tworzenia silnych i skutecznych relacji ze środowiskiem. Dużą rolę odgrywało sprzężenie percepcji z działaniem. Informacja zwrotna, będąca odpowiedzią na działanie systemu była natychmiastowa i ułatwiała wybór kolejnego działania.

System używający receptorów sensorycznych do badania otoczenia styka się bezpośrednio z rzeczywistością. Bodźce są znakami odbieranymi przez czujniki i przekazywanymi do warstwy wejściowej (model narządów zmysłowych), następnie trafiają do sieci, która przesyła je dalej, gdzie nadawane są im wagi. Podczas przetwarzania oraz transmisji sygnałów znaki otrzymują znaczenie. Modułowa i hierarchiczna struktura wzmacnia je bądź osłabia, wykorzystując dostępną w systemie wiedzę. Przetworzone znaki trafiają do silników uruchamiających efekторы. System uczy się rozpoznawać i odpowiadać na sygnały. Samodzielnie bierze udział w procesach przetwarzania znaku⁴⁰. Przepływ sygnałów między systemem a środowiskiem jest podstawą samoorganizacji sieci. Wagi połączeń są nadawane w wyniku powtarzanego w danym kontekście sygnału. Sterowniki mogą być rozwijane przy użyciu metod ewolucyjnych. Z czasem uczą się jak reagować na zmieniające się środowisko, a zmiana ich funkcjonowania jest emergentną własnością, która powstała w wyniku rozwoju⁴¹. Reagują na te przedmioty zewnętrzne, które mają dla nich znaczenie. System staje się samoadaptacyjny. Bada świat zewnętrzny i dokonuje wyboru działań. Kiedy działanie systemu staje się niezależne od programisty, może okazać się niezrozumiałe dla obserwatora⁴². Sztuczne systemy powinny być nie tylko zdolne do podejmowania decyzji, lecz również

³⁸ Tak jak człowiek używa danych pochodzących z różnych domen zmysłowych, by uzupełniać wiedzę na temat otoczenia.

³⁹ R.A. Brooks, *Artificial Intelligence and real robots...*, *op. cit.*

⁴⁰ Początkowo sieć zostaje poddana nauce, jak powinna regulować przepływ sygnału. Dzięki powtarzaniu, wzmacnianiu i osłabianiu, system uczy się regulować późniejsze połączenia.

⁴¹ Jako przykład może tu posłużyć wyprodukowany przez firmę Sony piesek-robot Aibo. Jego zestaw czujników wysyła sygnały wpływające na pracę kontrolerów, co z kolei skutkuje powstawaniem nowych zachowań robota. Wszystkie te działania można obserwować jako rezultat interakcji systemu ze środowiskiem.

⁴² R.A. Brooks, *Achieving artificial intelligence through building robots...*, *op. cit.*

do generowania własnych celów. W eseju poświęconym autonomii maszyn, Paweł Stacewicz zakłada, że taka umiejętność mogłaby powstać w wyniku obliczeń inicjowanych losowo⁴³. Biosemiotyczna perspektywa zakłada, że organizmy znajdują znaczące cele, zgodne z ich działaniami. Zatem losowość zachodząca nawet na najgłębszym poziomie nie powinna wpływać na autonomiczny system. Cele sztucznego systemu powinny wynikać z integracji odniesienia do świata zewnętrznego i samoodniesienia. Powinny być zgodne z działaniem maszyny we własnym *Umwelcie*. Stacewicz wskazuje istotny dla autonomii problem, przedstawiając maszyny jako narzędzia człowieka, lub systemy od niego niezależne⁴⁴. Zmusza to do ciekawej refleksji. Sztuczny organizm kształtujący swój własny *Umwelt*, wyznaczałby własne cele i reagował tylko na obiekty, które miałyby dla niego znaczenie. Pełna autonomia musiałaby nie tylko wyzwolić go spod władzy człowieka, lecz uczynić zupełnie dla niego nieprzydatnym.

8.6. Uwagi końcowe

Fizyczny świat wewnętrzny sztucznego systemu pozostaje strukturą połączeń sieci neuronowej. Jednak interpretacja zachodząca w sieci sztucznego systemu zmienia jej działanie i stan. System przetwarza i interpretuje informację zgodnie z swoją wiedzą i doświadczeniem. Reguły postępowania, opracowane w trakcie nauki, regulują jego aktywność. Sprzężenie zwrotne pozwala dostroić działanie systemu do zmiennego środowiska. Odpowiadają za to procesy uczenia się i rozwoju maszyny. W niewielkim przedziale czasu, można zaobserwować zmiany programów sterowników, wykorzystujących symbole zewnętrzne i informacje z zewnątrz. Przeanalizowanie i przewidywanie ich zachowania i dalszego rozwoju może okazać się trudne dla zewnętrznego obserwatora, ponieważ procesy zmienione przez algorytmy ewolucyjne są często niemożliwe do odczytania przez człowieka i sprzeczne z jego intuicją⁴⁵.

Całkowite oddzielenie sztucznego systemu i jego twórcy jest niemożliwe. To projektant systemu odpowiada za ilość warstw i sposób ich ułożenia

⁴³ W. Marciszewski, P. Stacewicz, *Umysł, komputer, świat: o zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Warszawa 2011, s. 81.

⁴⁴ *Ibid.*, s. 71.

⁴⁵ Por: *Ibid.*; P. Husbands i in., *Better living through chemistry. Evolving GasNets for robot control*, „Connection Science”, t. 10, nr 3–4, 1998, s. 185–210.

w sieci, rodzaj użytej architektury a także zaprogramowanie podstawowych procedur. Mimo tego, autonomiczny układ uniezależnia się od człowieka. Nie wiadomo, jakie sieć tworzy wewnętrzne reprezentacje i w jaki sposób znak jest przetwarzany. Podobnie rozwija się żywy organizm. Budowa komórek i ich ilość, działanie narządów wewnętrznych jest zależna od programu genetycznego. Jednak sposób funkcjonowania umysłu, tworzenie reprezentacji, nie pozostają całkowicie podporządkowane tym właściwościom. Również w sztucznym systemie proces przetwarzania znaków uwalnia się od sztywnego programu. Zmiany zachodzące w sieci będącej podstawą działań agenta są podobnie elastyczne, jak w przypadku systemu nerwowego ludzi. Powstaje nowe znaczenie, które jest ugruntowane w *Umwelcie* maszyny.

Prace nad ucieleśnioną sztuczną inteligencją pokazały, że nie jest łatwo naśladować żywe organizmy. Najprostsze czynności generują największe koszty obliczeniowe. Płynne poruszanie się, sprawna komunikacja są wciąż odległym, wymagającym wiele pracy, celem. Umiejętności reprodukcji, przetrwania i naprawy uszkodzeń pozostają w odległej przyszłości SI. Jednak inspiracje biologiczne wydają się być właściwym kierunkiem badań. Podłączenie sztucznego systemu do czujników i silników sprawia, że może on produkować spójne zachowanie, mimo modułowej budowy. Podobnie funkcjonują żywe, inteligentne organizmy. Ukształtowanie się gatunkowych *Umweltów*, wchodzenie w semiotyczne relacje ze środowiskiem, powstanie wyspecjalizowanych kręgów funkcjonalnych jest wynikiem wielu zmian. W efekcie powstały świetnie funkcjonujące systemy. Ich złożoność jest przyczyną dostosowania do świata, w którym żyją. A złożoność ta została wymuszona przez złożoności środowiska i pozostaje od niego zależna. Elastyczność i poddanie się dynamicznie zmieniającemu się otoczeniu przynosi lepsze efekty niż użycie danych pochodzących z bazy wiedzy lub procedur działań zawartych w skrypcie programisty. Inteligentne, sztuczne systemy różnią się od żywych fizycznym podłożem. Uczące się sieci koneksjonistyczne zajmujące miejsce układu nerwowego, cyfrowe odpowiedniki zmysłów, mechaniczne silniki, algorytmy ewolucyjne, pozwalające na rozwój i adaptację, sprawiają, że maszyny zdobywają możliwość bycia samoorganizującymi się i autonomicznymi. To co stanowi *Umwelt*, to informacje, które docierają do sieci neuronowych poprzez układ czujników, a potem podlegają procesom obróbki w systemie. Przypomina to działanie kręgów funkcjonalnych aktywizujących się w wyniku pojawienia się znaczącego obiektu. Pytanie o fenomenalny świat maszyn może ostatecznie uzyskać potwierdzenie. Pytanie to może jednak dotyczyć tylko takich maszyn, które są zdolne do autonomicznej interakcji z otoczeniem.

BIBLIOGRAFIA

1. Bremer J., *Wprowadzenie do filozofii umysłu*, Wydawnictwo WAM 2010.
2. Brooks R.A., *A robust layered control system for a mobile robot*, „IEEE Journal of Robotics and Automation”, t. 2, nr 1, 1986, s. 14–23.
3. Brooks R.A., *Achieving artificial intelligence through building robots* [w:] 1986.
4. Brooks R.A., *Artificial Life and real robots* [w:] *Toward a Practice of Autonomous Systems*, 1992, s. 3–10.
5. Brooks R.A., *Elephants don't play chess*, „Robotics and Autonomous Systems”, t. 6, nr 1, 1990, s. 3–15.
6. Brooks R.A., *Intelligence without reason*, „The Artificial Life Route to Artificial Intelligence: Building embodied, situated agents”, 1995, s. 25–81.
7. Brooks R.A., Breazeal C., Marjanović M., i in., *The Cog Project: Building a Humanoid Robot* [w:] *Computation for Metaphors, Analogy, and Agents*, C. L. Nehaniv (red.), Cambridge 1999, s. 52–87.
8. Buchanan B., *Onto-ethologies: The animal environments of Uexküll, Heidegger, Merleau-Ponty, and Deleuze*, Cambridge Univ Press 2008.
9. Dreyfus H.L., *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, Harper & Row 1979.
10. Emmeche C., *Does a robot have an Umwelt? Reflections on the qualitative biosemiotics of Jakob von Uexküll*, „Semiotica”, nr 134, 2001, s. 653–693.
11. Harnad S., *The symbol grounding problem*, „Physica D: Nonlinear Phenomena”, t. 42, nr 1, 1990, s. 335–346.
12. Husbands P., Smith T., Jakobi N., O'Shea M., *Better living through chemistry. Evolving GasNets for robot control*, „Connection Science”, t. 10, nr 3–4, 1998, s. 185–210.
13. Marciszewski W., Stacewicz P., *Umysł, komputer, świat: o zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Warszawa 2011.
14. Maturana H.R., Varela F.J., *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*, Dordrecht 1980.
15. Moravec H., *When will computer hardware match the human brain*, „Journal of Evolution and Technology”, t. 1, nr 1, 1998, s. 10.
16. Nagel T., *Jak to jest być nietoperzem?* [w:] *Pytania ostateczne*, A. Romaniuk (tłum.), Warszawa 1997, s. 203–219.
17. Peirce C.S., *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Elements of Logic*, Charlottesville, Va 1994, t. 2.
18. Peirce C.S., *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Pragmatism and Pragmaticism*, Charlottesville, Va 1994, t. 5.
19. Peirce C.S., *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Science and Philosophy*, Charlottesville, Va 1994, t. 7.
20. Skagestad P., *10 Peirce's Semiotic Model of the Mind* [w:] *The Cambridge Companion to Peirce*, C. Misak (red.), 2004, s. 241.
21. Steels L., Vogt P., *Grounding Adaptive Language Games in Robotic Agents* [w:] *Proceedings of the Fourth European Conference on Artificial Life*, MIT Press 1997, s. 474–482.
22. Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM 1993.
23. Uexküll J. von, *A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds*, „Semiotica”, t. 89, nr 4, 2009, s. 319–391.
24. Uexküll J. von, *The Theory of Meaning*, „Semiotica”, t. 1, nr 42, 1982, s. 25–82.

25. Uexküll T. von, *The Sign Theory of Jakob von Uexküll* [w:] *Classics of Semiotics*, M. Krampen, K. Oehler, R. Posner, i in. (red.), Springer US 1987, s. 147–179.
26. Walter W.G., *A machine that learns*, „Scientific American”, t. 185, nr 2, 1951, s. 60–63.
27. Wilson M., *Six views of embodied cognition*, „Psychonomic bulletin & review”, t. 9, nr 4, 2002, s. 625–636.
28. Ziemke T., *A stroll through the worlds of robots and animals: Applying Jakob von Uexkülls theory of meaning to adaptive robots and artificial life*, „Semiotica”, t. 2001, nr 134, 2006, s. 701–746.

Biosemiotic Inspirations of Artificial Intelligence

Abstract

The aim of this paper is to present biosemiotic inspirations influencing the work on Artificial Intelligence. Artificial systems have been depicted as having a disposition to achieve autonomy through self-development, learning and the evolution of software. The theory of Jakob von Uexküll plays a major role in understanding this approach. Offering a new perspective, it presents intelligent machines as taking an active part in the process of semiosis and interacting with the environment. It proposes to think of AI as having its own phenomenal world.

Indeks nazwisk

- Bańczerowski J. 119
Bojar B. 123, 125n
Brooks R. 163n
Burgin M. 46, 53, 66nn
Chaitin G. 75, 77
Church Alonso 13, 57n, 72
Cisneros 98
Davies P. 98
Davis M. 57, 72
Dawkins R. 92
Dembski W. 88
Denning P.J. 41nn
Dodig-Crnkovic G. 46
Eden A.H. 37nn
Emmechew C. 162n
Ewert W. 88
Flasiński M. 28
Gazdar G. 142, 149
Gödel K. 22
Greniewski H. 125
Grice P.H. 141, 143, 145, 148
Grosz B.J. 130
Harel D. 27
Harnad S. 153, 157
Hewling W.A. 112
Hjemslev L.T. 128
Jakobson R. 127
Kaznatcheev A. 89
Kreisel G. 59, 71
Kripke P. 144
Kuhn T. 37
Latawiec A. 97
Marciszewski W. 22, 47
Marczyński R. 26
Marks R. 88
Murawski R. 54
Newell A. 28nn, 37, 43
Ord T. 57
Pawłowski A. 119
Peirce Ch.S. 154
Pogonowski J. 121, 124
Popper K. 39
Post E. 13
Przepiórkowski A. 122
Renaud F. 110
Russel B. 29
Saussure (de) F. 117, 128
Shapiro S. 34, 35
Simon H. 28nn, 37, 43
Smith J.M. 94
Stacewicz P. 47, 124, 132
Stannet M. 73
Tokarz M. 140, 142n, 147
Turing A. 13, 31, 57n, 62, 66
Tzouvaras A. 137, 140, 144nn
Uexküll (von) J. 164nn
Walker S. 98
Wegner P. 35, 37
Whitehead A. 29

Powyższy indeks nie zawiera nazwisk wszystkich osób wymienionych w tekście, lecz jedynie nazwiska tych osób, które autorzy uznali za najważniejsze.

Indeks rzeczowy

- agent 157, 164
- aksjomat HPG 143
- aksjomat Kripkego 144
- algorytm 16, 26, 34, 53nn, 66nn
- automat 16
- autonomiczny system 162nn

- badania interdyscyplinarne 15, 42, 128n
- biologia systemów 96
- biosemiotyka 151, 161

- centrum uwagi 125
- Copernicus COmplexico 112

- dane 16
- definicja życia 94n
- DNA 98n
- DNA-mania 98n
- drażnienie danych 131

- efektywne obliczenia 54, 56nn, 62, 70, 72n
- eksperyment w informatyce 30n, 31, 39
- epigenetyka 97
- epistemologia informatyki 41, 43
- era informatyczna 13
- ewaluacja modeli 124
- ewolucja ukierunkowana 89
- ewolucja, tempo zmian 83

- fizyczny system symboliczny 32
- fokalizacja 124nn

- genocentryzm 92n

- hierarchia arytmetyczna 64n
- hiperobliczalność 54, 57nn, 70nn
- hipotezy w informatyce 31nn, 39
- hylemorfizm 18

- IBM Power 775 Boreasz 112
- idealizacja matematyczna 87
- Illustris 111
- informacja 16, 18, 20, 23, 92n, 125
- informacja biologiczna 80, 97n, 101
- informatyka 15, 16, 22, 53nn, 68
- informatyka a nauki przyrodnicze 41
- informatyka empiryczna 26nn
- informatyka jako nauka przyrodnicza 34n, 38nn, 43
- informatyka ogólna 22, 47
- informatyka, przeszłość dyscypliny 22, 42, 47
- informatyzm 22
- intencjonalność 154

- kod informatyczny 16, 20
- kodowanie liczbowe 16
- koneksjonizm 157
- krajobraz ewolucyjny 89
- kreatywność biologiczna 82
- kreatywność matematyczna 82

- lingwistyka interaktywna 122, 130
- logika przekonań 140
- logika wiedzy 138
- logika wypowiedzi 138, 141
- losowa ewolucja kumulatywna 84

- maszyna Turinga 13, 17, 26, 56nn, 64nn, 81, 86
- matematyczność świata 113n
- matematyczny model ewolucji 81
- matematyzacja teorii ewolucji 78nn
- metabiologia 77, 95n
- metabiologia vs biologia 90n
- metabiologia, krytyka 87nn
- metafora 99
- meta-informacja 126
- minimalna logika wypowiedzi 143, 147

- model 106, 108n, 121
model kosmologiczny 106
model umysłu 19, 20
modele obliczalności 17, 64, 66
modelowanie 123n, 131
modelowanie informatyczne 19n
- neodarwinizm 92
nieadekwatność biologiczna 90
niedeterminizm 59nn
nieobliczalność 17, 86
nierozstrzygalność 57
nieskończoność 61nn, 70
- obliczalność 17, 20, 71, 72
obliczenia naturalne 35, 39, 40, 43
orzekanie 127
- paradygmaty informatyki 25n, 39nn
podmiot 126, 130
POWIEW 112
powstanie gwiazd 110
Pracowity Bóbr 82nn
pragmatyka 126, 140nn
prawa introspekcji 139
prawdopodobienie 39
predykcja 125n
procedura jako fundamentalne pojęcie informatyki 34n
przetwarzanie informacji 13n, 22, 23, 45nn, 81, 93, 97
przetwarzanie znaków 154
- racjonalność 15, 139n, 143, 148
rozstrzygalność 57
- semantyka 125, 161n
semioza 154
sieci neuronowe 157
struktura subsumcyjna 163
symulacje komputerowe 39, 41, 108n
symulacje procesów przy zderzeniu galaktyk 110
system K-U 138
system Tokarza 140, 147
system Tzouvarasa 146
sytuacja ontologiczna 126
sytuacja semantyczna 126
sztuczna inteligencja 21, 28n, 32n, 38, 152nn, 162, 166
- świadomość informatyczna 14
światopogląd informatyczny 7, 11nn, 21, 25, 47, 99
- teleologiczność 90
teoria ewolucji 80
teoria znaczenia 158, 163
teza Churcha 53nn, 67, 70nn
topikalizacja 125, 130
- ugruntowanie symboli 152n, 156
Umwelt 158n, 164
umysł 18nn
umysł ucieleśniony 153nn
uwaga 129n
- wyroczenia Turingowska 86
- złożoność problemów 20

Informacje o autorach

Jerzy Mycka (dr) – matematyk, logik i informatyk; pracuje w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. W swoich badaniach zajmuje się matematycznymi podstawami informatyki i teorią obliczalności, filozoficznymi aspektami teorii obliczeń oraz interakcją pomiędzy matematyką, filozofią i muzyką. Autor ponad 40 recenzowanych artykułów naukowych oraz podręcznika teorii funkcji obliczalnych. Zainteresowany zagadnieniami wzajemnych oddziaływań matematyki i teologii oraz tradycyjnej liturgii rzymskiej.

Adam Olszewski (dr.hab. prof. UPJP2) – filozof i teolog; dziedziny zainteresowania: filozofia logiki, filozofia matematyki, teza Churcha, teoria intuicji, teoria pojęć, teoria losowości, intuicjonizm, relacje pomiędzy teologią i nauką. Zatrudniony na Wydziale Filozoficznym UPJP2; p.o. kierownika Katedry Filozofii Logiki.

Robert Piechowicz (dr) – logik i filozof. Adiunkt na Wydziale Filozoficznym Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II (temat dysertacji: *Relacja bliskości znaczeń na poziomie leksyki*). Członek grupy badawczej „Filozofia w informatyce”. Zainteresowania naukowe: filozofia języka, filozofia umysłu, filozofia nauki i metodologia nauk, filozofia logiki, logika, retoryka.

Paweł Polak (dr hab.) – filozof informatyki, filozof przyrody oraz filozof i historyk nauki; kieruje grupą badawczą „Filozofia w informatyce” działającą w ramach Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, członek Komisji Historii Nauki Polskiej Akademii Umiejętności. Związany z Wydziałem Filozoficznym Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie. Zajmuje się głównie filozoficznymi podstawami informatyki oraz recepcją teorii naukowych w Polsce. Autor ponad 50 publikacji naukowych, nagrodzony nagrodą im. J. Jędrzejewicza za najlepszą książkę poświęconą historii nauki w Polsce (I edycja, 2013). Prowadzi blog naukowy poświęcony popularyzacji historii filozofii polskiej „Filozoficzny Kraków” <<https://filozoficznykrakow.wordpress.com/>>.

Anna Sarosiek (mgr) – ukończyła studia na Wydziale Filozofii UPJPII ze specjalnością „filozofia umysłu i kognitywistyka”. Jej zainteresowania naukowe dotyczą założeń filozoficznych we współczesnej informatyce. Przede wszystkim zajmują ją problemy obecne w pracach nad sztuczną inteligencją.

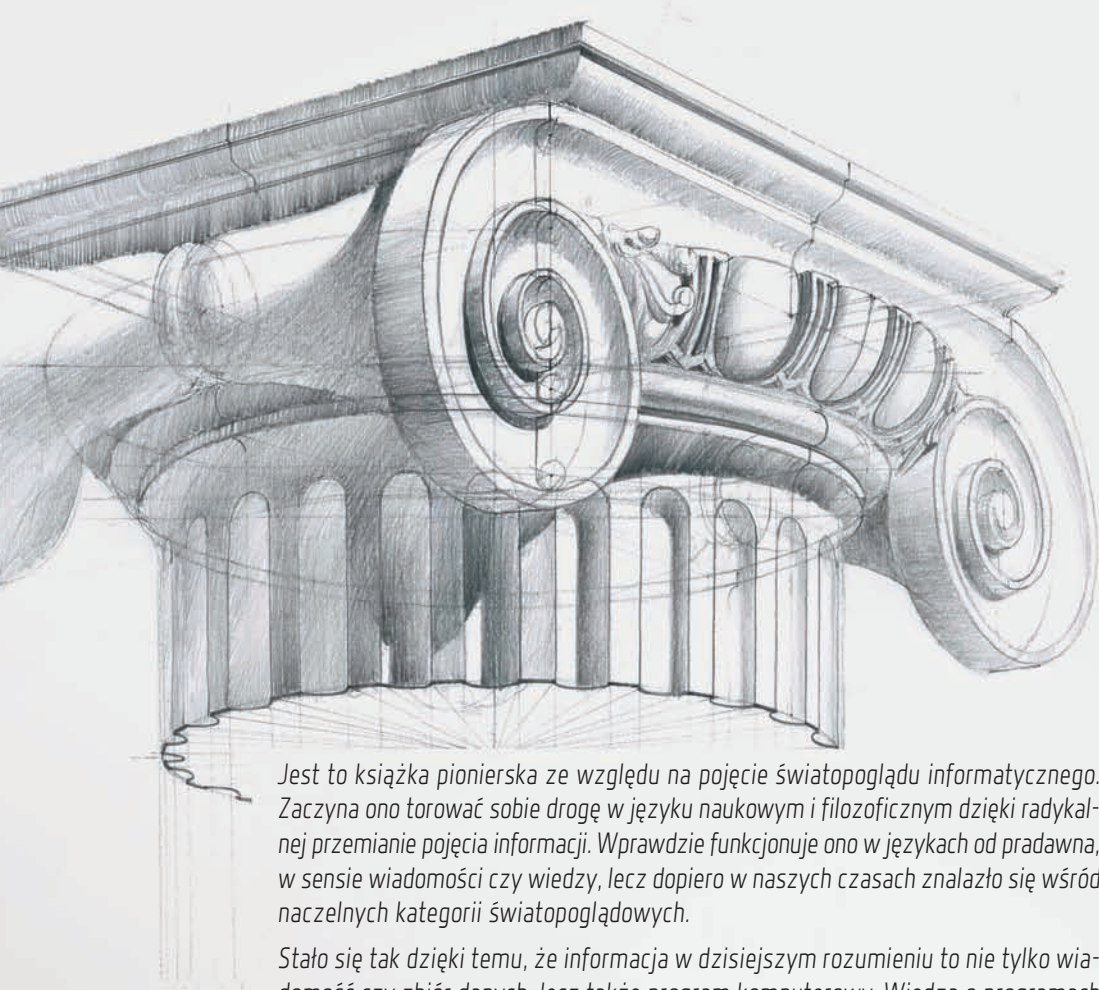
Radosław Siedliński (dr) – filozof i znawca kultury japońskiej. Studia magisterskie i doktorskie odbył w Instytucie Filozofii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Od 2007 roku jest zatrudniony jako adiunkt na Wydziale Kultury Japonii Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych w Warszawie. Zajmuje się filozofią informatyki oraz biologii. Miłośnik japońskiej popkultury wizualnej spod znaku mangi i anime.

Paweł Stacewicz (dr) – filozof, informatyk i dydaktyk matematyki; adiunkt na Wydziale Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej; autor dwóch monografii naukowych o tematyce z pogranicza informatyki i filozofii: *Umysł a modele maszyn uczących się* (2010) oraz *Umysł – Komputer – Świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia* (2011, wspólnie z Witoldem Marciszewskim); redaktor bloga akademickiego *Cafe Aleph* <<http://marciszewski.eu/>>.

Justyna Szatan (mgr) – asystent w Zakładzie Filozofii Nauki, Socjologii i Podstaw Techniki na Wydziale Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej; doktorantka na Wydziale Filozofii KUL. Zajmuje się problematyką filozoficzną pojawiającą się w kontekście osiągnięć współczesnej kosmologii, zwłaszcza zagadnieniami intelligibilności i przygodności Wszechświata.

André Włodarczyk (prof. em., dr hab.) – japonista, lingwista-informatyk, w latach 1979–1992 pracował naukowo w Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS (odpowiednik PAN-u). Następnie kierował katedrami japonistyki kolejno na uniwersytetach Stendhal – Grenoble 3 (1992–2000) i Charles de Gaulle – Lille 3 (2000–2011). Ponadto w latach (2000–2012) prowadził badania w zakresie lingwistyki informatycznej w CELTA (Centre de Linguistique Théorique et Appliquée - Ośrodek Lingwistyki Teoretycznej i Stosowanej) na uniwersytecie Paris-Sorbonne. Autor i redaktor wielu książek i artykułów.

Początkowo jego badania nad językiem japońskim nacechowane były duchem strukturalizmu; później, z jednej strony, dzięki wprowadzeniu metod informatycznych do lingwistyki oraz, z drugiej, ulegając przemożnym wpływom zdobyczy logiki polskiej wszczął badania ogólnolingwistyczne mające na celu utworzenia nowej teorii kompleksowej pod nazwą *gramatyka rozproszona*. Ostatnio jednej z teorii wchodzącej w skład gramatyki rozproszonej została poświęcona praca zbiorowa pt. *Meta-Informative Centering in Utterances* (John Benjamins Pub. Co. – 2013), w której udział wzięło międzynarodowe grono lingwistów stosujących tę teorię do opisu różnych języków. Do dziedziny metodologii nauki jego wkładem jest *interaktywna lingwistyka* powstała w wyniku pracy nad platformą „Semana”, umożliwiającą odkrywanie „ukrytych” struktur w bazach danych.



Jest to książka pionierska ze względu na pojęcie światopoglądu informatycznego. Zaczyna ono torować sobie drogę w języku naukowym i filozoficznym dzięki radykalnej przemianie pojęcia informacji. Wprawdzie funkcjonuje ono w językach od pradawną, w sensie wiadomości czy wiedzy, lecz dopiero w naszych czasach znalazło się wśród naczelných kategorii światopoglądowych.

Stało się tak dzięki temu, że informacja w dzisiejszym rozumieniu to nie tylko wiadomość czy zbiór danych, lecz także program komputerowy. Wiedza o programach – i tych sztucznych (jak systemy operacyjne), i tych naturalnych (jak kody genetyczne) – rewolucjonizuje nasz światopogląd. Są to obiekty abstrakcyjne i niematerialne, a jednak władają niepodzielnie procesami fizycznymi. Są zatem równie realne jak materia i energia, to zaś prowadzi do nowego obrazu wszechświata.

Książka pod redakcją Pawła Stacewicza przekonująco ukazuje światopoglądowe implikacje informatyki oraz jej obecność w różnorodnych naukach, jak matematyka, biologia, kosmologia, psychologia, lingwistyka. Nie wszystkie wchodzące w grę nauki zostały uwzględnione, ale jest to dostatecznie silna reprezentacja, by zachęcić czytelnika do refleksji nad skalą zjawiska określanego coraz częściej mianem światopoglądu informatycznego.

Witold Marciszewski

ISBN 978-83-7814-437-3



9 788378 144373