

PAWEŁ POLAK

Czy wszystko wykonuje obliczenia? Wybrane filozoficzne implikacje pankomputacjonistycznej interpretacji obliczeń naturalnych

ABSTRACT. Could everything compute? Some philosophical implications of pancomputationalism view on natural computing

Natural computing is an important concept of modern computer science. It brings some conceptual bridges between classical computer science and natural sciences. It plays also interesting role in development of contemporary philosophy, and it is tied with the metaphysical concept of pancomputationalism. This article shows some impact of natural computing on philosophy (philosophy of science, metaphysics, and worldview).

KEY WORDS: natural computing, pancomputationalism, philosophy of computing, methodology of computing, informational worldview

1. Wstęp

Techniki komputerowe, rozwijane szczególnie intensywnie od połowy XX wieku, doprowadziły nie tylko do znaczących przemian społecznych i kulturowych, ale wpłynęły również wyraźnie na sposób myślenia współczesnego człowieka [zob. np. Bolter, 1984; Polak, 2015b]. Szczególnie interesujące jest, w jaki sposób przełożyło się to na myślenie filozoficzne – uważane od wieków za najwyższą i najbardziej systematyczną część kultury.

Filozofia z różną dynamiką włącza w swój obręb inspiracje płynące z obszaru nauki i techniki – interesujące wydaje się więc przyjrzenie się temu, w jaki sposób te nowoczesne koncepcje z obszaru szeroko rozumianej informatyki mogą wywierać wpływ na refleksję. Z bogatej perspektywy refleksji filozoficznej inspirowanej nowoczesnymi technikami informatycznymi wybrane zostaną wątki związane z koncepcją obliczeń naturalnych (*natural computing*). Koncepcja ta, ukazująca możliwości rozszerzenia zakresu klasycznej informatyki, interpretowana jest najczęściej jako wyraz pankomputacjonizmu, czyli specyficznej metafizyki świata przyrody. Pankomputacjonalizm uznaje przyrodę za wytwór i ucieleśnienie swoistych procesów obliczeniowych, a jego inspiracji można szukać w tradycyjnych interpretacjach pitagoreizmu oraz w poglądach Gottfrieda Wilhelma Leibniza¹. Celem niniejszej pracy jest przybliżenie koncepcji obliczeń naturalnych jako współczesnej odmiany pankomputacjonizmu oraz jego najważniejszych filozoficznych i światopoglądowych implikacji.

¹ Pankomputacjonizm jest poglądem mówiącym o tym, że wszystkie układy fizyczne mogą prowadzić swego rodzaju obliczenia. Za prekursora nowoczesnego pankomputacjonizmu uważa się Konrada Zusego, a do popularyzacji najbardziej przyczynili się: Edward Fredkin, Steven Wolfram i John Archibald Wheeler. Pogląd ten ma różne odmiany: nieograniczoną (*unlimited pancomputationalism*), mówiącą, że każdy system fizyczny może przeprowadzić każde obliczenie, natomiast wersja ograniczona (*limited pancomputationalism*) przyjmuje, że każdy system fizyczny może wykonać pewne obliczenia. Wyróżnia się również wersję pankomputacjonizmu interpretacjonistycznego oraz kauzalnego – pierwszy zakłada, iż rzeczywistość może być interpretowana jako przeprowadzająca obliczenia, a druga – że obliczeniowa natura wynika z kauzalnej struktury rzeczywistości [Piccinini, 2017]. W niniejszym artykule wersję odrzucam interpretacjonistyczną wersję pankomputacjonizmu, która odpowiada tezie o matematyzowalności rzeczywistości, nas interesować będzie natomiast ontologiczna teza matematyczności świata. Odrzucam również silniejszą wersję nieograniczonego pankomputacjonizmu z tego względu, że trudno udowodnić tę tezę, a także ponieważ trudno uzgodnić ją z przyjętą wersją kauzalną. Przyjęta tu koncepcja pankomputacjonizmu nazywana jest niekiedy ontycznym pankomputacjonizmem [Piccinini, 2017], w tekście głównym zgodnie z powyższymi zastrzeżeniami i dla prostoty używamy tylko nazwy „pankomputacjonizm”.

2. Bardzo krótka historia koncepcji obliczeń naturalnych

Koncepcja obliczeń naturalnych powstała w latach 70. XX w. i stała się już źródłem nowej specjalizacji w obrębie informatyki prawie dwie dekady temu². Odgrywa ona coraz większą rolę zarówno w samej informatyce, jak i w filozofii informatyki. Standardowo wiąże się ją z trzema głównymi obszarami: (1) obliczeniami inspirowanymi systemami naturalnymi, (2) procesami wykorzystującymi zjawiska naturalne do przeprowadzenia obliczeń oraz (3) obliczeniową naturą procesów przyrodniczych [zob. Kari, Rozenberg, 2008; zob. także de Castro, 2007]. Na gruncie informatyki wyznacza ona ważne, często praktyczne kierunki rozwoju tej dyscypliny. Na gruncie filozofii wskazuje natomiast bardzo interesujące perspektywy analizy i zmusza do postawienia wielu pytań odnośnie specyfiki informatyki i jej metody. Szczególnie interesujące jest to, że koncepcja obliczeń naturalnych (zwłaszcza w obszarze (3)) wykazuje pewne związki ze znaną tezą o matematyczności przyrody. Równie frapujące jest to, że informatyka zbliża się w ten sposób do nauk przyrodniczych, a jej filozofia – do filozofii przyrody. Niektórzy badacze wskazują również, że klasyczne koncepcje obliczeń stają się przeszkodą w dalszym rozwoju informatyki, a koncepcje obliczeń wyrosłe z badań nad ucieleśnioną inteligencją zachęcają wręcz do porzucenia dotychczasowej ramy teoretycznej [por. Barry Cooper, 2012].

Przyjrzyjmy się temu, w jaki sposób wspomniana koncepcja oddziałuje na filozofię. Rozpocznijmy od analizy pojęciowej, która pozwoli nam ukazać następnie metafizyczny i metodologiczny wymiar zagadnień związanych z koncepcją obliczeń naturalnych. Następnie przytoczone zostaną stanowiska wybranych naukowców i myślicieli, które wskazują na światopoglądowe implikacje koncepcji obliczeń naturalnych.

² Dobitym świadectwem tego procesu są poświęcone wyłącznie temu zagadnieniu tematyczne konferencje i czasopisma (np. *Natural Computing: An International Journal*).

3. Metaforyka obliczeń naturalnych w świetle pankomputacjonizmu

Zastanawiające, że, mimo rozwoju wspomnianej specjalizacji, samo pojęcie obliczeń naturalnych nie jest precyzyjnie zdefiniowane, nie wiadomo również, w jaki sposób rozumieć koncepcję obliczeń, nie odnosząc się do konkretnego modelu obliczeń. Badacze wykazują zaś stosunkowo dużą swobodę w nadawaniu różnych znaczeń tym pojęciom, zwłaszcza jeśli chodzi o trzeci z wskazanych powyżej obszarów badawczych.

Wspomniana nieostrość znaczeniowa wydaje się jednak zamierzoną cechą wspomnianej koncepcji. Dobrym przykładem, pozwalającym lepiej zrozumieć wspomnianą cechę, jest programowa deklaracja zawarta w specjalistycznym czasopiśmie *Natural Computing* wydawanym od 2002 roku przez wydawnictwo Springer:

Obliczenia naturalne (*natural computing*) odnoszą się do procesów obliczeniowych, które można zaobserwować w naturze oraz do obliczeń zaprojektowanych przez ludzi, które zainspirowane zostały przyrodą. W trakcie analizy złożonych zjawisk przyrodniczych przy użyciu terminów związanych z procesami obliczeniowymi nasze rozumienie zarówno samej przyrody, jak i istoty obliczeń staje się coraz lepsze. Charakterystyczną cechą projektowanych przez ludzi obliczeń, które powstają z inspiracji przyrodniczej, jest metaforyczne użycie pojęć, zasad i mechanizmów leżących u podstaw systemów przyrodniczych. Obliczenia naturalne zawierają w sobie algorytmy ewolucyjne, sieci neuronowe, obliczenia molekularne i obliczenia kwantowe. [Anon b.d.]³.

Warto wyróżnić kilka istotnych elementów składających się na naszkicowaną koncepcję:

³ Natural Computing refers to computational processes observed in nature, and human-designed computing inspired by nature. When complex natural phenomena are analyzed in terms of computational processes, our understanding of both nature and the essence of computation is enhanced. Characteristic for human-designed computing inspired by nature is the metaphorical use of concepts, principles and mechanisms underlying natural systems. Natural computing includes evolutionary algorithms, neural networks, molecular computing and quantum computing [Anon b.d.] (tłumaczenie własne z języka angielskiego).

- 1) odnosi się zarówno do procesów obserwowanych w naturze, jak i do procesów sztucznych, zaprojektowanych na podstawie pewnych inspiracji procesami naturalnymi – dotyczy zatem klasy procesów naturalnych, jak i sztucznych, które łączy pewna analogia;
- 2) użycie terminologii obliczeniowej okazuje się przydatnym narzędziem conceptualnym służącym do analizy złożonych systemów naturalnych, wspomniane ramy pojęciowe pozwalają na lepsze zrozumienie natury (przyrody), jak i samych procesów obliczeniowych;
- 3) charakterystyczne jest metaforyczne użycie pojęć, zasad i mechanizmów leżących u podstaw procesów lub systemów naturalnych.

Jak widać z powyższej charakterystyki, nieostrość znaczeniowa ma swoje główne źródło w metaforycznym podejściu do opisu sytuacji naturalnej. Pojęcie obliczania wykorzystywane jest swobodnie, o ile pozwala na budowę nowych procesów obliczeniowych albo umożliwia lepsze zrozumienie procesów naturalnych. Dla filozofa pojawia się zatem problem, czym jest tak ogólnie rozumiany proces obliczeniowy i jakie jest kryterium pozwalające uznać coś za proces obliczeniowy. Wspomniany problem jest źródłem wielu zarzutów odnośnie wspomnianej koncepcji – obserwowane rozszerzanie klasy procesów uznawanych za obliczeniowe sugeruje, że pojęcie obliczeń naturalnych może nie posiadać znaczenia.

Można wspomniane problemy ominąć, przyjmując skrajne rozwiązanie, iż każdy naturalny proces jest procesem obliczeniowym, a skutek każdego procesu naturalnego jest wynikiem swoście rozumianych obliczeń (pankomputacjonizm)⁴. Wielu współczesnych naukowców zajmujących się naturalnymi obliczeniami przyjmuje takie lub zbliżone stanowisko⁵. Warto zauważyć, że skrajność ta wymaga przyjęcia tezy o matematyczności świata (w znaczeniu możliwości adekwatnego opisywania jej przy pomocy struktur

⁴ Niekiedy koncepcja ta nazywana bywa neopitagoreizmem ze względu na wiele podobieństw do tradycyjnych interpretacji pitagoreizmu [Krajewski, 2007].

⁵ Na przykład autorzy opracowania dotyczącego obliczeń realizowanych poprzez kraby rozpoczynają swoją pracę dobitną deklaracją metodologiczną: „All natural processes can be interpreted in terms of computations.” [Gunji i in., 2011]. Interesującą dyskusję na temat pankomputacjonizmu, jego odmian i możliwych uzasadnień można znaleźć w pracy Dodig-Crnkovic, Müller, 2011.

matematycznych). W praktyce teza ta wiąże się z mocnym i nieoczywistym założeniem, że wszystkie aspekty procesów obliczeniowych daje się wyrazić przy pomocy struktur formalnych. Nie do końca jasne jest również to, jaka jest relacja pomiędzy strukturami matematycznymi (aczasowe) a procesami obliczeniowymi („matematyka w działaniu”) [Polak, 2017].

Teza o matematyczności przyrody – co należy podkreślić – ma charakter metafizyczny, ponieważ istnienie adekwatnego opisu rozumiane jest jako relacja odpowiedniości między strukturami świata a strukturami uznawanymi za matematykę; jest to więc wypowiedź o strukturze rzeczywistości. Jeżeli świat działa w sposób matematyczny, to z konieczności cała natura jest wynikiem struktur matematycznych, może być więc interpretowana jako proces obliczeniowy, choć niekoniecznie sprowadzalny do formalnego modelu maszyny Turinga. Niekiedy badacze wspominają o konieczności akceptacji realizmu strukturalnego [np. Burgin, Dodig-Crnkovic, 2013], ale jeśli zauważymy, że wspomniane struktury są strukturami matematycznymi, to wspomniane założenie staje się równoznaczne z akceptacją tezy o matematyczności przyrody.

Warto postawić w tym miejscu pytanie, dlaczego nie jest wystarczająca słabsza teza o matematyzowalności świata, czyli teza, która mówi o tym, iż procesy naturalne są jedynie skutecznie opisywane modelami matematycznymi (rzeczywistość jest podatna na opis matematyczny) [zob. Heller, 2006]. Zauważmy, że słabsza wersja nie pozwala ominąć problemu kryterium, ponieważ nie zapewnia tego, że wszystkie elementy rzeczywistości muszą mieć taką samą własność⁶.

Ukazane skrajne rozumienie koncepcji obliczeń naturalnych, jak wiadać, obarczone jest wieloma trudnościami, których rozwiązanie zastępowane jest często wiarą w istnienie takich rozwiązań. Należy jednak wspomnieć, że przyjmowanie takiego stanowiska nie jest jednak zupełnie bezpodstawne – ma ono pewną conceptualną zaletę, która doprowadziła już do wielu praktycznych zastosowań. Pozwala bowiem swobodnie my-

⁶ Mimo to na bazie słabszych założeń da się również sformułować interesujące wersje pankomputacjonizmu, które, choć nie rozwiązują problemu kryteriów, pozwalają pogłębić analizę koncepcji obliczeń naturalnych. Z konieczności pomijamy je w niniejszym opracowaniu. Więcej na ten temat: Dodig-Crnkovic, Müller, 2011.

śleć zarówno o sztucznych systemach obliczających, jak i naturalnych procesach jako o komplementarnych realizacjach procesów obliczeniowych. Stąd można myśleć o tym, że część obliczeń dokonywana jest poprzez klasyczne komputerowe systemy, a część realizowana poprzez procesy wykorzystujące zjawiska naturalne. Konstatacja ta stała się źródłem inspiracji dla programu ucieleśnionej sztucznej inteligencji (EAI – ang. *Embodied Artificial Intelligence*). Przełamanie bariery konceptualnej nie tylko dało nadzieje na rozwiązanie paradoksu Moraveca, ale też otworzyło drogę dla rozwoju podstaw informatyki [Barry Cooper, 2012].

4. Obliczenia naturalne i nowe oblicze metody matematyczno-empirycznej

Wspomniana perspektywa ma interesujące implikacje filozoficzne związane z kwestiami metodologicznymi. Warto zwrócić uwagę na fakt, że wiele naturalnych procesów uznanych zostało za obliczeniowe dopiero w momencie, gdy udało się zrozumieć, jakie typy obliczeń dokonywane są w danym układzie. Co prawda układy liczące w typie obliczeń realizowanych przez kraby [Gunji i in., 2011] są bardzo intrygujące i silnie przemawiają do wyobraźni większości odbiorców, to jednak o wiele trudniejsze koncepcyjnie okazało się zrozumienie natury obliczeń, jakie dokonują się za pośrednictwem układów kwantowych bądź przy pomocy systemów społecznych [von Mises, 1920]. Warto więc odnotować, że za obliczeniowe uznawane są te procesy, które potrafimy zrozumieć jako obliczeniowe, a klasa ta ulega szybkiemu poszerzeniu [zob. np. Rozenberg i in., 2010; Zenil, 2013]. Leandro Nunes de Castro podsumował ten proces następująco: „Obliczenia naturalne nauczyły nas *myśleć «naturalnie» o obliczeniach*, a także *myśleć obliczeniowo o naturze*” [de Castro, 2007, s. 29]⁷.

Z perspektywy interpretacji pankomputacjonistycznej pojęcia natury i obliczeń można utożsamiać. Natomiast obecnie wskazywane różnice

⁷ Natural computing has taught us to think ‘naturally’ about computation and also to think computationally about nature.

między tymi pojęciami są jedynie wyrazem tego, jakie typy działań potrafimy rozpoznać jako wyraz obliczeń i którym potrafimy nadać praktyczne znaczenie. Przyjęcie pankomputacjonizmu (albo przyjęcie założenia o matematyczności świata realizującej się w procesach obliczeniowych) jest rozstrzygnięciem metafizycznym, ze wszystkimi konsekwencjami tego faktu. Korzystając jednak z Popperowskiej sugestii o możliwej wymienności tez metafizycznych i metodologicznych [Popper, 2002, s. 51], można również potraktować ją jako tezę metodologiczną. Staje się ona wówczas wezwaniem, aby badać świat, jako wyraz procesów obliczeniowych. Wspomniana owocność takiego podejścia jest racją za utrzymywaniem takiej dyrektywy metodologicznej⁸, choć nie należy się spodziewać ostatecznego jej potwierdzenia.

Dyrektywa badania świata jako wyrazu działania procesów obliczeniowych formułowana jest w ramach zaakceptowanej metody matematyczno-empirycznej. Co prawda pierwsze pomysły odnośnie uznania wspomnianej dyrektywy przypisać można Leibnizowi i jego dedukcyjnej koncepcji rzeczywistości [zob. np. Trzęsicki, 2006; Marciszewski, 2003], ale do praktyki naukowej wprowadzona została ona dopiero w XX wieku i stała się przyczyną głębokich przeobrażeń na gruncie metody naukowej w ostatnim półwieczu⁹.

5. Naturalne obliczenia a pytania o naukowość informatyki

Przyjrzyjmy się teraz innym metodologicznym implikacjom pankomputacjonistycznej interpretacji koncepcji obliczeń naturalnych. Peter J. Denning już w początku lat 80. XX wieku stał się prekursorem „naukowania” informatyki. Twierdził on, że tradycja inżynierska, która zdomi-

⁸ Kwestię tę należy rozumieć przez analogię do sytuacji występującej w nowożytnych naukach przyrodniczych. Owocność metody matematyczno-empirycznej stała się racją za wyborem tej metody i utrzymywaniem jej jako głównej metody badania przyrody.

⁹ Z perspektywy badań eksperymentalnych sytuacja ta została znakomicie przedstawiona w pracy: Leciejewski, 2013. Wspomniane przemiany obserwować można również przez pryzmat dążeń do empiryzacji informatyki [Polak, 2015a; zob. także Denning, 2012].

nowała początki rozwoju dziedziny, nie tylko zaowocowała nieadekwatną nazwą *computer science* (ang. dosł. „nauka o komputerach”), ale też zakorzeniła pogląd o tym, że informatyka nie jest typową nauką przyrodniczą (w znaczeniu ang. *science*). Rozwiązaniem dla niego jest zwrot w kierunku koncepcji obliczeń – pozwala ona na rozwój badań nad przetwarzaniem informacji w kierunku empirycznym, typowym dla nauk przyrodniczych. Denning zaznaczał jednak, że jedną z dwóch głównych przyczyn przyjęcia takiego stanowiska było odkrycie naturalnych procesów obliczeniowych. To właśnie same nauki przyrodnicze wymusiły według niego zmiany w rozumieniu informatyki [zob. Denning, 2013].

Według Denninga nowa obliczeniowa nauka (*computing*) powinna zajmować się procesami informacyjnymi – zarówno sztucznymi, jak i naturalnymi¹⁰. Koncepcja obliczeń naturalnych okazuje się według niego kluczowa dla uzasadnienia tego, że przedmiot typowych nauk przyrodniczych i informatyki jest analogiczny, zatem upada najpoważniejszy zarzut, że jest to jedynie wiedza o artefaktach. Badacz ten przyjmuje, że w przyrodzie istnieją realne, obiektywne procesy przetwarzania informacji, a ich analiza jest przedmiotem wspomnianej dyscypliny.

Denning uważa, że zmiany metodologiczne wprowadzone przez koncepcję naturalnych obliczeń przyniosły także wiele korzyści dotychczasowym naukom przyrodniczym. Z racji powszechności procesów informacyjnych, nauki przyrodnicze uzyskały bardzo skuteczne i wszechstronne narzędzie rozwiązywania problemów. Owocność wspomnianej koncepcji jest więc ewidentna, a źródła jej należy się dopatrywać w praktyce nauk przyrodniczych. Peter J. Denning wraz z Paulem S. Rosenbloomem posunęli się nawet do stwierdzenia, że nauka o obliczeniach tworzy nową „wielką domenę nauki” (obok dotychczas istniejących jak: nauki fizyczne, biologia i nauki społeczne) [Denning, Rosenbloom, 2009].

Spoglądając krytycznie na propozycje Denninga, warto zaznaczyć, że mogą one z pewnością odegrać rolę inspiracji do przełamania impasu w rozwoju informatyki i z tego punktu widzenia odgrywają zapewne istotną

¹⁰ „Computing is the study of information processes, artificial and natural” [Denning, 2007].

rolę. Zapewne jest to ważny głos płynący ze środowiska informatyków, trudno jednak nie zauważyć, że porównania dokonywane przez Denninga są nad wyraz schematyczne. W dużym uproszczeniu określił on niezbyt długą listę ponadczasowych kryteriów zapewniających naukowy (w sensie *science*) charakter metody badawczej¹¹. Wyraźnie widać, że nie tylko bezkrytycznie podziela on demarkacjonizm, ale nie interesuje się nazbyt historią nauki, ukazującą głębokie przeobrażenia wyobrażeń o naukowym charakterze wiedzy na przestrzeni wieków – wizja jest więc mocno uproszczona.

Bardziej wyważona od propozycji Denninga wydaje się opinia cytowanego już Leandra Nunes de Castro, który twierdzi, że koncepcja obliczeń naturalnych wprowadziła nowy, owocny paradygmat dla badań naukowych i inżynierskich. Koncepcja paradygmatu wyjaśniać ma odrębność wspomnianego nurtu od dotychczasowych badań z zakresu szeroko rozumianej informatyki¹². Tłumaczyć ma ona między innymi swoistość metodologiczną wynikającą z połączenia badań uznawanych bezsprzecznie za typowo naukowe (np. mechanika kwantowa, genetyka, itp.) z działaniami o charakterze inżynierskim. Paradygmat ten wyznacza więc interdyscyplinarny lub multidyscyplinarny charakter badań [de Castro, 2007, s. 29]. Rozwiązanie takie dziedziczy jednak trudności związane z koncepcją paradygmatu i jej intuicyjnym, nieprecyzyjnym charakterem. Mimo zastrzeżeń filozofów analitycznych myślenie o paradygmacie obliczeń naturalnych spełnia istotną funkcję dla samych naukowców – otwiera nowe drogi myślenia o rzeczywistości i o obliczeniach. Innym ważnym aspektem jest również nadzieja na odsunięcie katastroficznych wizji wyczerpania potencjału technik obliczeniowych, jakie z wielką emfazą głosi np. Ray Kurzweil [Kurzweil, 2005]. Naturalne obliczenia wskazują konkretne możliwości obliczenio-

¹¹ “[1] Organized to understand, exploit, and cope with a pervasive phenomenon. [2] Encompasses natural and artificial processes of the phenomenon. [3] Codified structured body of knowledge. [4] Commitment to experimental methods for discovery and validation. [5] Reproducibility of results. [6] Falsifiability of hypotheses and models. [7] Ability to make reliable predictions, some of which are surprising.” [Denning, 2013, s. 37].

¹² Warto zauważyć, że pojęcie paradygmatu używane jest w tym kontekście dość swobodnie. Na przykład L. Kari i G. Rozenberg mówią o paradygmatach obliczeń inspirowanych różnymi zjawiskami naturalnymi [por. Kari, Rozenberg, 2008].

wego opanowania „trudnych” problemów. Jeśli zaś technologiczna osobliwość polegać ma na istotnej zmianie technik wykorzystywanych przez cywilizację i znacząco wpływających na jej rozwój – to towarzyszy nam ona już w ostatnich dwóch dekadach.

6. Nowy obraz świata – natura jako system obliczeniowy

Filozoficzny wpływ koncepcji obliczeń naturalnych wykracza poza wskazane dotychczas obszary. W perspektywie pytań o wpływ nowoczesnych technologii na społeczeństwo XXI wieku szczególnie ważne wydaje się ich znaczenie światopoglądowe, któremu warto się przyjrzeć nieco bliżej.

Najważniejszą obecnie rzeczniką światopoglądowego charakteru koncepcji obliczeń naturalnych jest Gordana Dodig-Crnkovic. W przeglądowym artykule stanowiącym wprowadzenie do książki *Computing Nature* wraz z Raffaelą Giovagnoli scharakteryzowała ona koncepcję obliczeń naturalnych jako źródło nowego obrazu świata [Dodig-Crnkovic, Giovagnoli, 2012]. Podkreślały one za Hodgesem, że pionierem koncepcji obliczającej natury jest Alan Turing [nb. podobne zdanie podzielał również cytowany już S. Barry Cooper, por. Barry Cooper, 2012], który rozważał obliczenia dokonujące się w systemach naturalnych i z tego względu może być również uznany za filozofa przyrody. Co ważne, postulują one, że dla zrozumienia nowego obrazu świata konieczne jest jednakże porzucenie obrazu obliczeń realizowanych według wzorca wyznaczonego przez formalny model maszyny Turinga. Model ten ukazuje bowiem „zamknięty” układ obliczeniowy, który działa na zadanych danych wejściowych i generuje dane wyjściowe. Zrozumienie roli interakcji pozwoliło redefiniować oczekiwania odnośnie tego, czym mogą być obliczenia. Tu ma swoje źródło koncepcja Wszechświata jako układu wyliczającego swoje stany na podstawie stanów poprzednich, a obliczenia te realizowane są poprzez oddziaływania elementów Wszechświata. Jest to jednak układ o wielu poziomach organizacji, na których dokonują się różnego rodzaju obliczenia. Koncepcja ta zyskuje stopniowo uznanie na gruncie rozważań na temat

metafizycznej budowy świata przyrody, a krytyczna ocena wskazuje na to, że być może jest ona jednym z ciekawszych współczesnych przyczynków do tej najdłużej trwającej w dziejach ludzkości intelektualnej dyskusji [zob. Pexton, 2015].

Z pewnością po odrzuceniu mechanicyzmu na przełomie XIX i XX wieku nauka i filozofia usilnie poszukiwały nowego uniwersalnego obrazu wyznaczającego fundament dla myślenia o świecie. Choć wiek XX przyniósł wiele propozycji w tej kwestii, to na dłuższą metę najskuteczniejszym wydaje się obliczeniowy obraz świata. Bezgłośna rewolucja, która dokonała się we wszystkich naukach, spowodowała, że dziś pojęcia informacyjne są powszechnie uznawane zarówno we wszystkich naukach przyrodniczych, społecznych, humanistycznych a nawet na gruncie sztuki. Za tymi zmianami poszły również głębokie zmiany metodologiczne na gruncie samej informatyki, które wskazują na możliwość budowy obrazu świata na jej bazie [Polak, 2015a]. Dostrzegamy jednocześnie, że otaczająca nas rzeczywistość „przesiąknięta” jest systemami komputerowymi, a do myślenia o świecie i do opisu różnorodnych aspektów życia używamy metafor i pojęć informatycznych [zob. np. Polak, 2015b].

Sytuację tę Dodig-Crnkovic i Giovagnoli diagnozują w skrajny sposób, uznając, że informatyczny obraz świata zastąpił newtonowski, a dawna filozofia mechanistycznej przyrody zastąpiona została przez filozofię obliczającej natury: „Jest oczywiste, że koncepcja obliczeń naturalnych/obliczającej natury ukazuje nową filozofię przyrody, której ogólność i zakres znacznie przekraczają filozofię przyrody ery Newtona, ujętą w jego *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” [Dodig-Crnkovic & Giovagnoli, 2012]¹³.

Warto zauważyć, że diagnozy stawiane z wnętrza procesów dziejowych bywają bardzo zawodne, jednak ponad pół wieku sukcesów informatyki w wyjaśnianiu świata napawa optymizmem odnośnie do tego, że wspomniany styl myślenia może okazać się trwały. Szczególne wrażenie robi bowiem fakt, że proces akceptacji tego stylu myślenia rozegrał się

¹³ It is evident that natural computing/ 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*.

„oddolnie”, bez większych deklaracji programowych, co sugeruje, że jest on odpowiedzią na różnorodne potrzeby eksplanacyjne, które pojawiały się w praktyce naukowej. Wrażenie to wzmacnia fakt, że ta bezgłośna rewolucja dokonała się niemal równocześnie na gruncie bardzo odległych dziedzin. Co prawda nie przesądza to w żaden sposób o tym, że informatyczny obraz świata będzie ostateczny. Wskazuje to jednak na fakt, że mimo niesłuchanie szybkiego tempa rozwoju nauki, której w całej rozciągłości nie jest już w stanie objąć żaden pojedynczy umysł ludzki, doszło do wypracowania podstaw wspólnych dla wszystkich (i to nieraz niesłuchanie odległych) dyscyplin. Pojawienie się takiego u wspólnionego obrazu świata jest niemalym zaskoczeniem, gdyż nie da się go uzyskać na drodze rozszerzeń indukcyjnych (dotychczas uznawanych za najlepsze źródło tego typu wiedzy), gdyż można podać w wątpliwość możliwość wypracowania uogólnień na bazie odmiennych schematów pojęciowych, jak i jest to niemożliwe w praktyce, gdyż w czasie poszukiwania uogólnień cały czas zmienia się zasób wiedzy, który należałoby poddać uogólnieniom¹⁴. Z tego też względu można żywić racjonalnie uzasadnione przekonania, że obraz ten powinien być przez pewien czas stabilny, gdyż brak na razie widoków na rychłą zmianę tego stanu rzeczy. Konstatacja taka zapewne może być mocno zaskakująca dla osób wierzących w nieograniczoną „płynność ponowoczesności”, pojawiają się jednak głosy wskazujące, że mimo upadku wielu składników nowożytnego obrazu świata i porzucenia wielu cech charakterystycznych nowożytnej metody naukowej odpowiednio rozszerzona informatyka pozwala wciąż na rozwijanie badań, które realizują cele, jakie stawiamy przed nauką [Marcos, 2012; zob. także Polak, 2014].

Ukazane powyżej cechy nowego obrazu świata skłaniają również do stawiania pytań o rolę pankomputacjonistycznej interpretacji obliczeń naturalnych dla budowy światopoglądu inspirowanego informatyką. Op-

¹⁴ Boleśnie faktu tego doświadczyli już na początku XX wieku uczeni i filozofowie z ośrodka krakowskiego, którzy próbowali wytworzyć tego rodzaju filozoficzną syntezę wiedzy naukowej. Artykuł opublikowany przez Straszewskiego w roku 1903 jest intrygującym świadectwem tego, jak dynamicznie zmieniała się sytuacja w nauce i jak szybko tego typu próby stawały się przestarzałe, choć dynamiczne przemiany na gruncie fizyki dopiero zaczynały nabierać rozpędu [zob. Straszewski, 1903].

tymistyczne stanowisko w tej kwestii wyrażają Witold Marciszewski, prowadzący przez szereg lat konsekwentnie filozoficzne rozważania nad światopoglądem, oraz współpracujący z nim od kilku lat Paweł Stacewicz¹⁵. Interesującą kwestią badawczą pozostaje to, na ile opisywana tu koncepcja obliczeń naturalnych zbieżna jest z koncepcją obliczeń analogowych, która jest podstawą pomysłów Marciszewskiego i Stacewicza. Być może pogłębiona refleksja nad koncepcją obliczeń analogowych mogłaby pomóc w przerzuceniu pomostów interpretacyjnych między wspomnianymi koncepcjami.

7. Zakończenie: obliczenia jako metafora świata

Wybrane przykłady ukazują jedynie wierzchołek góry lodowej problematyki związanej z koncepcją obliczeń naturalnych. Koncepcja ta uważana jest za ważny katalizator interakcji nauk przyrodniczych z informatyką, który jest źródłem rozwoju współczesnej nauki¹⁶.

Przytoczone przykłady ukazują, że współcześnie obliczeniowa metafora świata jest bardzo owocną, jak i nadal wiele obiecującą ideą, kształtującą również metodologię nauki. Z pewnością wydaje się ona najlepszą metaforą scalającą na nowo różnorodne, wyspecjalizowane działy nauki. Od czasu odrzucenia ostatnich form mechanicyzmu wyraźnie brakowało idei pozwalającej na odnalezienie spójnego obrazu rzeczywistości. Poja-

¹⁵ Dobry wyraz koncepcji znajduje się w pracy: Stacewicz, Marciszewski, 2011; Stacewicz, 2015. Rozważania na ten temat prezentowane są również na blogu akademickim „Cafe Aleph”: <http://marciszewski.eu/?cat=8>.

¹⁶ Pogląd taki wyrażają redaktorzy cytowanego opracowania *Handbook of Natural Computing*, pisząc: „We are now witnessing exciting interaction between computer science and the natural sciences. While the natural sciences are rapidly absorbing notions, techniques and methodologies intrinsic to information processing, computer science is adapting and extending its traditional notion of computation, and computational techniques, to account for computation taking place in nature around us. Natural Computing is an important catalyst for this two-way interaction, and this handbook is a major record of this important development”.

wienie się takiej koncepcji może wydawać się nawet niespodziewane, jeśli wziąć pod uwagę najcięższą chorobę „Wielkiej Nauki” – specjalizację. Wszak jeśli nawet dwóch fizyków zajmujących się różnymi specjalnościami może mieć ogromne trudności we wzajemnej komunikacji wyników ze względu na bariery specjalizacji języka, to pojawienie się idei unifikującej w zasadzie całość wiedzy ludzkiej wydawać się może niemal niemożliwe.

Warto podkreślić, że idee informatyczne ukształtowały się w dużej mierze w kontekście praktyki naukowej, a pomysły ich rozszerzenia pojawiały się raczej jako rozstrzygnięcia praktyczne, niż deklaracje programowe. Można więc na nie poniekąd patrzeć jak na wynik oddolnych, samorzutnych procesów rozwoju nauki, sterowanych decyzjami poszczególnych badaczy. Idee te – a szczególnie koncepcja obliczeń naturalnych w interpretacji pankomputacjonistycznej – dają współcześnie nadzieję odzyskania podstaw dla spójnego obrazu świata. Znajomość historii nauki oraz jej metodologii zmuszają jednak do dużej ostrożności odnośnie tego, w jakim stopniu nadzieje te uda się zaspokoić.

Podziękowanie

Autor składa wyrazy wdzięczności dla dra Pawła Stacewicza za wiele cennych uwag, które były inspiracją do pogłębienia niektórych rozważań i pozwoliły ulepszyć niniejszy tekst.

Bibliografia

- Anon, „Natural Computing: An International Journal”, <http://link.springer.com/journal/11047> [dostęp: 8.09.2015].
- Barry Cooper S., (2012), „The mathematician’s bias – and the return to embodied computation”, [w:] *A Computable Universe*, *WORLD SCIENTIFIC*, s. 125–142, http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789814374309_0007 [dostęp: 6.10.2015].
- Bolter J.D., (1984), *Turing’s Man: Western Culture in the Computer Age*, Chapel Hill, University of North Carolina Press.

- Burgin M., Dodig-Crnkovic G., (2013), *Typologies of Computation and Computational Models*, arXiv:1312.2447 [cs]. URL= <http://arxiv.org/abs/1312.2447> [dostęp: 21.10.2014].
- de Castro L.N., (2007), „Fundamentals of natural computing: an overview”, *Physics of Life Reviews*, 4(1), s. 1–36. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571064506000315> [dostęp: 10.10.2015].
- Denning P.J., (2007), „Computing is a natural science”, *Communications of the ACM*, 50(7), s. 13–18, <http://doi.acm.org/10.1145/1272516.1272529> [dostęp: 21.10.2014].
- Denning P., (2012), „Ubiquity Symposium: The Science in Computer Science: Opening Statement”, *Ubiquity*, (December), s. 1–5, <http://doi.acm.org/10.1145/2406356.2406357> [dostęp: 10.09.2015].
- Denning P.J., (2013), „The Science in computer science”, *Communications of the ACM*, 56(5), s. 35–38. <http://doi.acm.org/10.1145/2447976.2447988> [dostęp: 10.09.2015].
- Denning P.J., Rosenbloom P.S., (2009), „Computing: the fourth great domain of science”, *Communications of the ACM*, 52(9), s. 27–29, <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1562164.1562176> [dostęp: 10.09.2015].
- Dodig-Crnkovic G., Giovagnoli R., (2012), *Computing Nature: A Network of Networks of Concurrent Information Processes*, arXiv:1210.7784 [cs], <http://arxiv.org/abs/1210.7784> [dostęp: 21.10.2014].
- Dodig-Crnkovic G., Müller V.C., (2011), „A dialogue concerning two world systems: info-computational vs. mechanistic”, [w:] *Information and Computation, Series in Information Studies*, red. M. Burgin & G. Dodig-Crnkovic, Singapore, World Scientific Publishing Co., s. 149–184, <http://arxiv.org/abs/0910.5001> [dostęp: 10.09.2015].
- Gunji Y.-P., Nishiyama Y., Adamatzky A., (2011), „Robust soldier crab ball gate”, *Complex Systems*, 20(2), s. 93–104, <http://www.complex-systems.com/pdf/20-2-2.pdf> [dostęp: 15.02.2017].
- Heller M., (2006), „Czy świat jest matematyczny?”, [w:] M. Heller, *Filozofia i wszechświat: wybór pism*, Kraków, TAIWPN Universitas, s. 48–57.
- Kari L., Rozenberg G., (2008), „The many facets of natural computing”, *Communications of the ACM*, 51(10), s. 72–83, <http://www.csd.uwo.ca/faculty/lila/pdfs/The%20many%20facets%20of%20natural%20computing.pdf> [dostęp: 10.09.2015].
- Krajewski S., (2007), „Neopitagoreizm współczesny: uwagi o żywotności pitagoreizmu”, [w:] *Człowiek: twór wszechświata – twórca nauki*, red. M. Heller, J. Mączka, R. Janusz, Kraków–Tarnów, Polska Akademia Umiejętności – Ośrodek Badań Interdyscyplinarnych – Wydawnictwo Diecezji Tarnowskiej Biblos, s. 57–93.
- Kurzweil R., (2005), *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*, New York, Viking.
- Leciejewski S., (2013), *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych: studium metodologiczno-filozoficzne*, Poznań, Wydawnictwo Naukowe UAM.

- Marciszewski W., (2003), „Would Leibniz have shared von Neumann’s logical physicalism?”, *Logic and Logical Philosophy*, 3, s. 115–128, <http://apcz.pl/czasopisma/index.php/LLP/article/view/LLP.1995.007> [dostęp: 16.01.2017].
- Marcos A., (2012), *Filozofia nauki: nowe wymiary*, Toruń, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- von Mises, L., (1920), „Die Wirtschaftsrechnung im sozialistischen Gemeinwesen”, *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 47(1), s. 86–121, http://www.mises.de/public_home/article/94 [dostęp: 15.02.2017].
- Pexton M., (2015), „Emergence and fundamentality in a pancomputationalist universe”, *Minds and Machines*, 25(4), s. 301–320, <http://link.springer.com/10.1007/s11023-015-9383-9> [dostęp: 31.03.2016].
- Piccinini G., (2017), „Computation in physical systems”, [w:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. E.N. Zalta, Metaphysics Research Lab, Stanford University, <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/computation-physicalsystems/> [dostęp: 24.11.2017].
- Polak P., (2014), „Nauka poza kontekstem uzasadnienia [recenzja]”, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, (56), s. 295–305.
- Polak P., (2015a), „Od informatyki empirycznej ku informatyce ogólnej – ewolucja świadomości metodologicznej”, [w:] *Informatyka a filozofia: Od informatyki i jej zastosowań do światopoglądu informatycznego*, red. P. Stacewicz, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s. 25–50.
- Polak P., (2015b), „Sieć, software czy obliczenia naturalne? Jakie techniki definiują myślenie filozoficzne Homo informaticus?”, *Studia Metodologiczne*, (34), s. 143–170, <http://studiametodologiczne.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2016/02/SM34-08.pdf> [dostęp: 15.02.2017].
- Polak P., (2017), „Current perspectives on the development of the philosophy of informatics (with a special regard to some Polish philosophers)”, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, (62).
- Popper K.R., (2002), *Logika odkrycia naukowego*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Rozenberg G., Bäck T., Kok J.N. red., (2010), *Handbook of Natural Computing*, Berlin–Heidelberg, Springer.
- Stacewicz P., (2015), „Światopogląd informatyczny. Naukowe podstawy i filozoficzne perspektywy”, [w:] *Informatyka a filozofia: od informatyki i jej zastosowań do światopoglądu informatycznego*, red. P. Stacewicz, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s. 11–24.
- Stacewicz P., Marciszewski W., (2011), *Umysł-komputer-świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, <http://libra.ibuk.pl/book/101353> [dostęp: 6.03.2014].
- Straszewski M., (1903), „Pomysły do syntezy”, *Przegląd Polski*, 148, s. 439–461.

Trzęsicki K., (2006), „Leibnizjaskie inspiracje informatyki”, *Filozofia Nauki*, 3 (55), s. 21–48, <http://logika.uwb.edu.pl/KT/Leibnizjanskie%20inspiracje%20informatyki.pdf> [dostęp: 15.02.2017].

Zenil H. red., (2013), *A Computable Universe: Understanding and Exploring Nature as Computation*, Singapore, World Scientific.

Paweł Polak
Wydział Filozoficzny
Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie
ul. Kanonicza 9
31-002 Kraków
e-mail: pawel.polak@upjp2.edu.pl