

Polska Akademia Nauk • Oddział w Poznaniu
Wydział Teologiczny • Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

SZTUCZNE ŻYCIE - mit czy rzeczywistość?



Ośrodek Wydawnictw Naukowych • Poznań 2008

Sztuczne życie
- mit czy rzeczywistość?

Polska Akademia Nauk • Oddział w Poznaniu
Wydział Teologiczny • Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Sztuczne życie – mit czy rzeczywistość?

Teksty wykładów wygłoszonych na sympozjum naukowym
zorganizowanym przez Oddział Polskiej Akademii Nauk
i Wydział Teologiczny UAM w Poznaniu
dnia 20 czerwca 2008 roku

Ośrodek Wydawnictw Naukowych • Poznań 2008

Polska Akademia Nauk, Oddział w Poznaniu
Wydział Teologiczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Sztuczne życie – mīt czy rzeczywistość?

Publikacja dofinansowana przez
MINISTRA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO
za pośrednictwem
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, ODDZIAŁ W POZNANIU

ISBN 978-83-7314-039-4

© Copyright by OWN PAN, Poznań 2008
All rights reserved

Na okładce wykorzystano obraz Salvadora Dali
Ekspłodująca głowa rafaelowska, 1951

Redakcja: Andrzej Wójtowicz

Instytut Chemii Bioorganicznej
Ośrodek Wydawnictw Naukowych
Polska Akademia Nauk, Oddział w Poznaniu
61-713 Poznań, Wieniawskiego 17/19
tel.: (48-61) 8528503, faks: (48-61) 8520671
e-mail: wojtow@man.poznan.pl

Printed in Poland (MOŚ I ŁUCZAK, Poznań)

Spis treści

Wprowadzenie	
Jan Węglarz	7
Naukowe definicje życia	
Andrzej B. Legocki	9
Sztuczne życie.	
Algorytmy inspirowane biologicznie	
Maciej Komosiński	23
Etyczne aspekty sztucznego życia	
Paweł Bortkiewicz	43
Refleksja teologiczna wobec zagadnienia „sztucznego życia”	
Marian Machinek	61

WPROWADZENIE

Sesje naukowe, organizowane wspólnie przez Oddział Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu i Wydział Teologiczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, tradycyjnie podejmują problematykę o znaczeniu fundamentalnym i starają się naświetlić ją z punktu widzenia nauk ścisłych i przyrodniczych oraz z punktu widzenia filozofii i teologii.

Problematyka życia, jako należąca do głównego nurtu zainteresowań naszych sesji, była już poruszana w różnych aspektach (por. *Zjawisko śmierci w naukach przyrodniczych i w religii*, 1999, *Fenomen życia w ujęciu interdyscyplinarnym*, 2003).

Tym razem podejmujemy problematykę tzw. sztucznego życia, zapytując o różne jego odmiany, a przede wszystkim o to, co różni je od życia „prawdziwego”. W tym celu musimy znowu postawić pytanie o definicję życia, o jego istotę, niezależną od napierającej „sztuczności”.

Mamy nadzieję, że ten zbiór referatów przedstawionych na sesji przybliży odpowiedź na powyższe pytanie i będzie inspiracją do dalszych przemyśleń.

PROF. DR HAB. JAN WĘGLARZ

NAUKOWE DEFINICJE ŻYCIA

ANDRZEJ B. LEGOCKI

Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Poznań

Od niepamiętnych czasów człowiek zadaje sobie fundamentalne pytania dotyczące jego istnienia, miejsca we Wszechświecie, a także początków życia na Ziemi. Mimo ogromnego, dokonującego się na naszych oczach postępu nauki i nieustannego poszerzania się obszarów wiedzy, większość tych kwestii pozostaje nadal nierozstrzygnięta. Wydaje się, że kluczem do zrozumienia procesów powstawania i następowania wielkich przemian w świecie przyrody jest odwołanie się do zasady zmienności, która uformowała współczesną nam rzeczywistość. Czy jednak sama ta konstatacja nieuchronnej zmienności bytów przyrodniczych i wynikające z niej przemijanie są w stanie zaspokoić nasze pragnienie zrozumienia tajemnicy życia?

Nauki przyrodnicze nie potrafią w definitywny sposób wyjaśnić, w jaki sposób powstało życie na Ziemi. Tym niemniej, istnieje wiele prawdopodobnych scenariuszy opartych o analizę obiektów paleontologicznych i o założenia powszechnie akceptowanej przez świat naukowy teorii ewolucji. W oparciu o te przesłanki można było wyrobić sobie racjonalny pogląd na możliwy przebieg wczesnych etapów pojawiania się życia na Ziemi, a także określić warunki, w których w ogóle mogło ono zaistnieć.

Złożoność i niezwykle różnorodność fenomenu życia w pewnym sensie uzasadniają wielowątkowość rozmaitych definicji, za pomocą których próbowano je określić. Na ogół jednak żadna pojedyncza definicja nie potrafi ogarnąć wszystkich naraz atrybutów życia.

Dla przykładu: niektóre z tych definicji podkreślają oddzielenie układów żywych od biologicznego otoczenia, z którym podtrzymują one wymianę substratów i elementów środowiska, prowadząc samodzielne przemiany związane z pobieraniem i metabolizowaniem pożywienia, oddychaniem, wzrostem i rozwojem (definicja fizjologiczna). Pod względem właściwości fizycznych układy żywe wyróżniają się wzrastającym stopniem uporządkowania, odwrotnie niż Wszechświat, w którym uporządkowanie ulega zmniejszeniu na rzecz porządku losowego.

Z kolei definicja genetyczna oparta jest o unikalną zdolność organizmów żywych do samoodnawiania się (autoreplikacji). Nośnikiem tej cechy są kwasy nukleinowe, które są swoistymi „matrycami dziedziczenia”. Pozostają one przy tym podatne na zmiany strukturalne w swoich łańcuchach (mutacje). Dzięki tym zmianom możliwe są adaptacje całych organizmów do zróżnicowanych i zmiennych, w długiej skali czasu, warunków środowiska. Wydaje się, że słuszne jest przyjęcie zasady o współkształtowaniu przyrodniczej zmienności zarówno przez zasoby genetyczne samych organizmów, jak i uwarunkowania środowiska.

Na ogół panuje zgodność, że do podstawowych właściwości, które wyróżniają organizmy żywe od świata nieożywionego, należą:

- zdolność do autoreplikacji,
- prowadzenie autonomicznego metabolizmu oraz możliwość przetwarzania energii,
- podatność na ewolucję i występowanie zmian przystosowawczych zgodnie z darwinowską zasadą selekcji naturalnej.

Układy żywe posiadają złożoną i hierarchiczną architekturę wewnętrzną. Wyróżniają się też zdolnością do utrzymywania ciągłości życia pomimo śmierci pojedynczych osobników, nawet w obliczu wymierania całych gatunków. Ten atrybut życia wynika z uniwersalności reguł przyrody i jej przemożnej zdolności do nieustannego odtwarzania procesów („cyklów”) życiowych.

Głównym celem dociekań biologii jest zrozumienie złożoności organizmów żywych. Analizowane pojedynczo komórki określonego orga-

nizmu są w zasadzie bardzo podobne do komórek każdego innego, losowo wybranego organizmu. Jednak, mimo iż wszystkie żywe organizmy składają się z bardzo podobnych do siebie elementów komórkowych, w przyrodzie wykształciła się zadziwiająca różnorodność biologiczna polegająca na tym, że każdy wyższy organizm jest pod względem garnituru genetycznego niepowtarzalny i unikalny w całej przyrodzie.

Istnieje wiele koncepcji filozoficznych na temat pochodzenia życia na Ziemi. Opierają się one na rozmaitych założeniach tworzących odrębne nurty myślowe. U podstaw popularnego wśród współczesnych przyrodników nurtu leży hipoteza, że pojawienie się najwcześniejszych form życia było możliwe dzięki reakcjom chemicznym, które zaszły pomiędzy kilkoma prostymi związkami nieorganicznymi (woda, amoniak, metan, cyjanowodor i in.). Reakcje te przebiegały w prebiotycznych warunkach temperatury i ciśnienia, a ich produktami były związki organiczne – aminokwasy i zasady azotowe. Asocjacje tych cząsteczek były zdolne do tworzenia prymitywnych układów samoreplikujących. Te zaś mogły później łączyć się w struktury łańcuchowe o charakterze prepolinukleotydowym czy prepolipeptydowym. Po przestrzennym uformowaniu się w struktury termodynamicznie stabilne, cząsteczki te z upływem wielu lat ziemskiej ewolucji przybierały postać makrocząsteczek zdolnych do wzajemnych oddziaływań. Te właśnie reakcje legły przypuszczalnie u podstaw wykształcenia się załączków procesów życiowych.

Proste związki organiczne wykrywane są także na pozaziemskich obiektach astronomicznych Wszechświata. Trudno je jednak traktować jako indykatory życia teraźniejszego lub też relikty życia przeszłego. Obecność tych związków w przestrzeni pozaziemskiej oznacza jedynie, iż wystąpiły tam warunki do utworzenia materii organicznej z prostych związków nieorganicznych. Stąd jednak do zaistnienia cząsteczek bardziej złożonych, warunkujących pojawienie się życia w znanej nam formie, wiedzie bardzo długi ciąg zdarzeń, każde o określonym stopniu prawdopodobieństwa.

Rozważania na temat prawdopodobieństwa wystąpienia na obiektach naszej galaktyki wszystkich uwarunkowań, które zadecydowały o pojawieniu się fenomenu życia, od lat wypełniają ciekawą sferę rozważań astrofizycznych.

Metafizyczna hipoteza powstania życia na Ziemi zakłada, że życie powstało w wyniku nadprzyrodzonego aktu stwórczego, którego nie da się opisać za pomocą znanych nam reguł fizyki i chemii. W ten sposób metafizyka przeniosła rozważania o pojawieniu się życia na Ziemi do sfery wiary.

Niektóre nurty rozważań na temat pochodzenia życia na Ziemi oparte są o hipotetyczne scenariusze egzobiologii. Uważają one za prawdopodobne przeniesienie zawiązkowych form życia (w postaci związków organicznych lub bardziej złożonych elementów żywych komórek – białek i kwasów nukleinowych) z innych obiektów Wszechświata na Ziemię.

Wśród kwestii natury filozoficznej, które zawsze towarzyszyły dociekaniom poznawczym na temat powstania życia, na szczególną wzmiankę zasługuje wyartykułowanie przez wybitnego biologa francuskiego Jacques Monoda dylematu: „przypadek czy konieczność?”. Sam Monod był zwolennikiem tezy, że życie na Ziemi pojawiło się, przy sprzyjających warunkach środowiska, w wyniku zdarzeń losowych. Inny pogląd wyrażali tacy badacze, jak Christian de Duve czy Robert Shapiro, którzy uważali, że życie jest wynikiem samoorganizujących się właściwości materii i nie jest zjawiskiem unikalnym dla naszej planety.

Nauki przyrodnicze nie potrafią w definitywny sposób wyjaśnić wszystkich uwarunkowań związanych z fenomenem życia. Koncepcje metafizyczne głoszą, że życie na naszej Ziemi, podobnie jak cały Wszechświat, zostały stworzone. Nauki przyrodnicze nie powinny *a priori* odrzucać prawd ukazywanych przez metafizykę, tak jak ta nie powinna przeczyć prawdom o świecie odkrywanym przez nauki przyrodnicze. Teoria ewolucji i doktryna stworzenia nie muszą pozostawać ze sobą w konflikcie. Czystym nieporozumieniem jest wykorzystywanie teorii ewolucji do dowodzenia, że nie ma Boga. Nauka nie może

przecież zakazywać osobom wierzącym przeświadczenia, że niewidzialna ingerencja Stwórcy w procesy losowe przyrody spowodowała właśnie, że świat jest taki, jakim go postrzegamy. Z całą jego złożonością i współzależnościami istnienia.

Życie na Ziemi może trwać w bardzo wąsko określonych przedziałach uwarunkowań chemicznych, geofizycznych i klimatycznych. Występowanie form żywych takich, jakie są nam znane, uzależnione jest od chemicznej reaktywności węgla i dostępności wody. Atomy pierwiastków występujących w komórkach żywych – wodór, węgiel, azot, tlen, fosfor i siarka występują na wielu obiektach Wszechświata. Nie wiadomo jednak, czy wraz z nimi występuje tam woda i panują temperatury zapewniające reaktywne oddziaływania międzypierwiastkowe, co z kolei miałoby decydujące znaczenie dla powstania tam układów żywych.

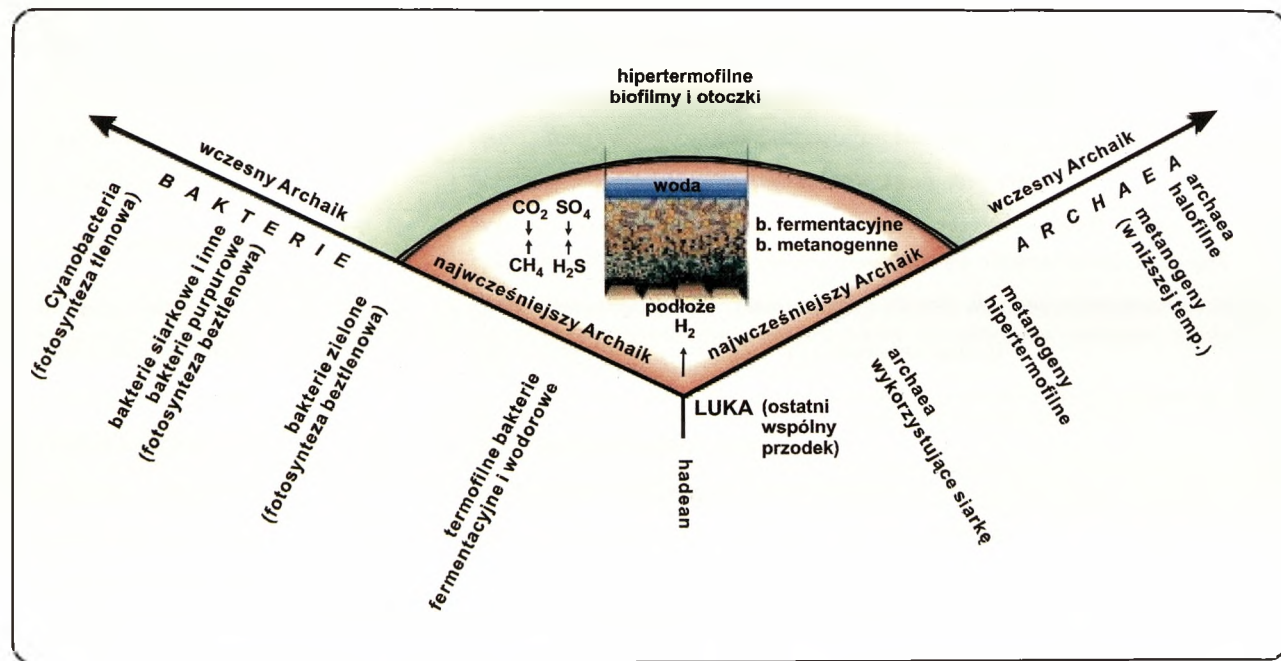
Ziemia powstała ok. 4,5 mld lat temu. Intensywny okres bombardowania naszej planety innymi obiektami astronomicznymi oraz promieniowaniem jonizującym trwał przez pierwszych kilkaset milionów lat po jej uformowaniu. W tym okresie woda w oceanach mogła mieć okresowo temperaturę nawet 100 stopni Celsjusza. Pierwsze proste formy żywych organizmów datowane są na 3,46 miliardów lat temu. Były to jednokomórkowe organizmy auktotroficzne wytwarzające tlen (*Primaevifilum amoenum*, *Archaeoscellatoropsis disciformis* i in.). Skamieniałe formy kopalnych mikroorganizmów (stromatolity) podobnych do współczesnych cyjanobakterii zachowały się na kilku kontynentach, m.in. w północno-zachodniej Australii.

Przez miliardy lat, życie na Ziemi mogło rozwijać się tylko głęboko pod powierzchnią oceanów z uwagi na destrukcyjne działanie promieniowania UV. W skali trwania życia kolonizacja lądów i powierzchni wód przez pierwotne organizmy nastąpiła dopiero stosunkowo niedawno, bo ok. 400 mln lat temu, kiedy w atmosferze zakumulowało się dostatecznie dużo tlenu wytworzonego przez organizmy fotosyntetyzujące dla utworzenia warstwy ozonu chroniącej Ziemię przed zabójczym ultrafioletem.

Tabela I. Najkrótsza historia Wszechświata i życia na Ziemi

10-15 miliardów lat temu	Wielki Wybuch (BB). Powstaje Wszechświat. Pojawia się grawitacja
10^{-43} sekundy później	Temperatura obniża się do 100 milionów miliardów miliardów stopni
10^{-34} sekundy później	Temperatura obniża się do miliardów miliardów stopni. Materia pojawia się w formie kwarków i elektronów. Pojawia się antymateria
10^{-10} sekundy później	Pojawiają się oddziaływania elektromagnetyczne oraz słabe oddziaływania korpuskularne
10^{-5} sekundy później	Temperatura obniża się do 1 trylionu stopni. Powstają protony i neutrony z kwarków i antyprotony z antykwarków. Ze zderzenia protonów z antyprotonami powstają fotony (światło)
1 minuta później	W temperaturze 1 miliarda stopni powstają pierwsze pierwiastki: hel, lit i ciężkie formy wodoru
300 000 lat później	Temperatura obniża się do 3000 stopni. Tworzą się pierwsze atomy
1 miliard lat po Wielkim Wybuchu (BB)	Tworzą się galaktyki
3 miliardy lat po BB	Powstają gwiazdy i układy słoneczne (gwiazdne)
5-10 miliardów lat po BB (tj. ok. 5 miliardów lat temu)	Powstaje Ziemia
3,4 miliarda lat temu	Na Ziemi pojawiają się pierwsze formy życia (anaerobowe prokarioty)

1,7 miliarda lat temu	Pojawia się DNA
700 milionów lat temu	Pojawiają się wielokomórkowe rośliny i zwierzęta
570 milionów lat temu	Eksplzja Kambryjska. Pojawiają się zróżnicowane formy morfologiczne żywych organizmów. Początki strunowców
400 milionów lat temu	Pojawienie się roślin lądowych
200 milionów lat temu	Pojawiają się pierwsze ssaki w świecie dinozaurów
65 milionów lat temu	Wymieranie dinozaurów, rozwój ssaków
50 milionów lat temu	Oddzielenie się naczelnych
30 milionów lat temu	Pojawienie się rozwiniętych małp naczelnych i dużych małp bezogonowych
15 milionów lat temu	Pojawienie się pierwszych małp człekokształtnych
5 milionów lat temu	Dwunożni humanoidzi. <i>Homo habilis</i> (2-ręczny) wytwarza pierwsze narzędzia
2 miliony lat temu	<i>Homo erectus</i> , pojawił się w Afryce, posługuje się ogniem, zaczyna posługiwać się językiem, wytwarza oręż
500 000 lat temu	Pojawia się <i>Homo sapiens</i> – tworzenie technologii
90 000 lat temu	<i>Homo sapiens sapiens</i> – nasz bezpośredni przodek
10 000 lat temu	Początki rolnictwa uprawowego i udomawiania zwierząt
8000 lat temu	Pierwsze osady miejskie w Mezopotamii
5500 lat temu	Język pisany w użyciu



Ryc. 1. Biosfera ziemska późno-archaiczna (wg Nisbet i Sleep, 2001)

Za współczesne „okna” na prebiotyczne warunki życia uważa się okolicę wulkanicznych głębi na dnie Pacyfiku, który jest najstarszym zasobem wód na Ziemi. Tam na głębokościach 1,5-3 km w pobliżu czynnych wulkanów, z których wydobywają się gazy wulkaniczne: siarkowodór, cyjanowodór, metan oraz obecne są siarczki żelaza, żyją liczne mikroorganizmy (np. *Thermococcus thioeducens*), wykorzystujące wodór jako źródło energii. Być może w takich właśnie ekstremalnych warunkach rodziło się życie na naszej planecie i wszystkie współczesne procesy biochemiczne wywodzą się z „fazy hydrotermalnej” formowania życia.

Wydarzeniami w historii życia na Ziemi, które zadecydowały o ukształtowaniu się współczesnych form życia, wyróżniającą się niezwykłą wprost różnorodnością, było uformowanie się fotosyntezy oksygenowej u sinic oraz pojawienie się płciowości u organizmów wyższych. Płeć pojawiła się w przyrodzie ok. 1,1 mld lat temu i odtąd stanowi główne źródło zmienności (różnorodności) w przyrodzie. Rozmnażanie płciowe i związane z nim tasowanie zasobów genowych organizmów znacząco przyspieszyło tempo ewolucji oraz specjacji. Nastąpiło to poprzez wprowadzenie w przyrodzie zjawiska śmierci biologicznej. U organizmów bezpłciowych, dzięki klonalnie wytworzonemu potomstwu określony zestaw genowy staje się biologicznie nieśmiertelny, ponieważ zachowany zostaje w każdym następnym pokoleniu klonalnym. U organizmów płciowych natomiast, unikalna kombinacja jego zasobów genowych stanowi charakterystyczny znacznik osobniczy, który znika z chwilą śmierci organizmu i nie pojawi się już nigdy więcej w przyszłości.

Podstawy współczesnej filozofii przyrody stworzył Karol Darwin (1809-1882). W swym wielkim dziele „O pochodzeniu gatunków” postawił tezę, że każdy żyjący gatunek jest potomkiem przodków, którzy są do niego tym mniej podobni, im dalej sięgamy wstecz. Co więcej, Darwin przedstawił śmiały pogląd, który dziś uważa się za dobrze udokumentowany, że wszystkie gatunki mają charakter monofiletycz-

ny, tzn. wywodzą się od wspólnego przodka. Wskazują na to wspólne szlaki dziedziczenia i uniwersalność przemian komórkowych. Natomiast bogactwo różnorodności gatunków i form życia jest w znacznym stopniu wynikiem nieustannych selekcji organizmów lepiej przystosowujących się do życia w zmieniających się warunkach środowiska, które pojawiały się na Ziemi od jej zarania.

W ostatnich latach spore zainteresowanie wywołała dyskusja nad określeniem pierwotnych (primordialnych) form życia, które może uosabiać tzw. ostatni wspólny przodek (*Last Universal Common Ancestor – LUCA*). LUCA był przypuszczalnie tworem termolubnym o stabilnych wiązańach międzycząsteczkowych, co w łańcuchach kwasów nukleinowych zapewnia wyższą zawartość par G-C. Rozważania takie prowadzi się na poziomie genomów i mają one charakter raczej spekulatywny, choć mogą mieć także wymiar użyteczny. Na ich podstawie podejmuje się bowiem próby wyznaczenia tzw. „genomu minimalnego” organizmów żywych, co może ułatwić wyselekcjonowanie genów uniwersalnego charakteru wspólnych dla wszystkich żywych organizmów. Zidentyfikowanie tzw. genów pierwotnych mogłoby przyczynić się do wyjaśnienia istoty mechanizmów różnicowania, rozwoju i adaptacji środowiskowych. Ponadto kwestia ta ma także konkretny wymiar aplikacyjny dla biologii syntetycznej przy konstruowaniu sztucznych komórek dla celów technologicznych.

W ostatniej dekadzie XX wieku powstała genomika – dziedzina biologii, która zajmuje się opisaniem budowy zasobów genetycznych i organizacją chromosomów żywych organizmów. Genetyka natomiast, należąca do klasycznych dyscyplin przyrodniczych, zajmuje się z pomocą biologii molekularnej, rozpoznaniem właściwości strukturalnych i funkcjonalnych zespołów genowych oraz genów pojedynczych. Znalazło to zastosowanie w najnowszych nurtach biologii syntetycznej przy konstrukcji uproszczonych, niewystępujących w przyrodzie, struktur typu komórkowego, przypominających quasi-komórki prebiotyczne. Komórki, nawet najprostsze, są jak wiadomo, najdoskonalsze.

szymi bioreaktorami, mogącymi po wyposażeniu w odpowiednio zaprogramowane genomy podjąć produkcję pożądaných preparatów biomedycznych.

W laboratoriach specjalistycznych prowadzone są obecnie prace nad stworzeniem sztucznych komórek bakteryjnych dla celów technologicznych. W tym celu doskonalone są metody syntezy chemicznej długich łańcuchów DNA oraz syntezy całych genomów. W dziedzinie tej dzięki badaniom J. Craiga Ventera dokonany został znaczący postęp. Udało się mianowicie w sposób bardzo sprawny przeprowadzić syntezę całego genomu bakteriofaga $\Phi 174$ złożonego z ok. 5400 nukleotydów. Można oczekiwać, że w ciągu kilku lat automatyczne syntetyzery będą produkowały łańcuchy DNA o długości 1 miliona nukleotydów, co odpowiadałoby czwartej części genomu *E. coli*. Ciekawostką może być w tym miejscu uwaga, że największym ograniczeniem dla dalszego usprawniania syntezy chemicznej długich łańcuchów DNA jest nie tyle doskonalenie samego przebiegu reakcji, co korygowanie błędów powstałych w trakcie różnych etapów syntezy.

Genomy bakterii wykorzystywanych współcześnie dla celów biotechnologicznych są stosunkowo niewielkie w porównaniu z genomami innych występujących w przyrodzie organizmów. Liczą one „zaledwie” po kilka milionów nukleotydów. Dla porównania: genomy wyższych organizmów modelowych – owadów: *Drosophila melanogaster* zawierają 120 milionów nukleotydów, roślin: *Arabidopsis thaliana* – 118,7 miliona nukleotydów. Za najmniejsze genomy o poznanej budowie uważa się genom pasożyta ludzkiego *Mycoplasma genitalium* z 540 tysiącami nukleotydów kodujący 517 białek oraz genom obligatoryjnego symbionta mszyc *Buchnera aphidicola* z 450 tysiącami nukleotydów kodujący 450 białek. Genomy obu tych mikroorganizmów są dziś wykorzystywane w pracach nad skonstruowaniem sztucznego genomu o użytecznych właściwościach. Szacuje się, że ok. 300-350 genów struktury takiego sztucznego genomu mogłoby zapewnić komórce utrzymanie funkcji życiowych (tzw. genom minimalny).

Prace nad skonstruowaniem komórki syntetycznej, którym można by przypisać próbę stworzenia sztucznego życia, są dziś prowadzone w szeregu pracowniach. Cele tych prac są na ogół skupione wokół konkretnych aplikacji praktycznych. Niektóre z nich są niezwykle ważne i ciekawe. Tak na przykład instytut J. Craiga Ventera podjął prace nad uzyskaniem komórki półsyntetycznej (z wykorzystaniem naturalnych elementów komórkowych), która miałaby wiązać dwutlenek węgla z powietrza i przekształcać go w gaz energetyczny – metan. Gdyby zamierzenia te powiodły się, można by je uznać za udaną próbę zminimalizowania przyczyn ocieplania się naszego klimatu. Innym, bardzo ambitnym kierunkiem nowej biologii syntetycznej jest wytwarzanie ważnych i poszukiwanych biofarmaceutyków w odpowiednio przygotowanych syntetycznych komórkach. Należy do nich m.in. artemizyna – ważny lek przeciwmalaryczny. Artemizyna występuje w roślinie bylicy rocznej *Artemisia anna* i jest niezwykle oczekiwanym lekiem przeciwko tej groźnej chorobie ze względu na uodpornienie się niektórych populacji pierwotniaków *Plasmodium* roznoszących malarię na skuteczne dotąd leki oparte na pochodnych związków chininowych.

Możliwość konstruowania sztucznych komórek bakteryjnych zdolnych do wytwarzania użytecznych biopreparatów oznacza kolejny przełom technologiczny w naukach przyrodniczych. Polega on przede wszystkim na wprowadzeniu nowych idei z pogranicza chemii i biologii dla konstruowania wydajnych bioreaktorów komórkowych, w których można przeprowadzać złożone reakcje biotechnologiczne dla uzyskiwania określonych produktów. Trzeba jednak z naciskiem powiedzieć, że ukazanie tych perspektyw w żadnym przypadku nie oznacza, iż potrafimy w warunkach laboratoryjnych stworzyć żywy organizm o wysokim stopniu złożoności, zdolny do wzajemnych oddziaływań i do dialogu ze środowiskiem. Obecnie, i zapewne w dającej się przewidzieć przyszłości, w zasięgu nauki leżą możliwości konstruowania dla celów użytecznych jedynie najprostszych układów biologicznych imitujących komórki bakteryjne lub ich fragmenty.

Podjęmowanie nowych wyzwań poznawczych, obejmujących zwłaszcza konstruowanie sztucznych układów żywych ma swoje odzwierciedlenie w dyspacie nad kwesiami etycznymi. Nauka, przy całej swej misji formułowania zadań wyprzedzających, musi nade wszystko kierować się zasadą najszerzej rozumianej odpowiedzialności. Posługiwanie się w laboratoriach badawczych, a tym bardziej produkcyjnych, wytworzonymi układami półsyntetycznymi, nie może nieść z sobą większego zagrożenia niż praca z komórkami pochodzenia naturalnego. Dotyczy to również wytwarzania syntetycznych łańcuchów DNA i całych genomów.

Rozważania na temat powstania życia i jego uwarunkowań przedstawiane są zawsze z perspektywy człowieka zajmującego w przyrodzie miejsce centralne. Człowiek podporządkowując sobie przyrodę, w której żyje, stał się za nią odpowiedzialny, nie przestając być nadal jej integralną częścią.

Ten krótki i siłą rzeczy pobieżny przegląd myśli na temat życia chciałbym zakończyć cytatem kiedyś zasłyszany: „Tajemnica życia jest nie tylko ciekawsza niż przypuszczamy, lecz nawet ciekawsza niż potrafimy sobie wyobrazić”.

SZTUCZNE ŻYCIE. ALGORYTMY INSPIROWANE BIOLOGICZNIE

MACIEJ KOMOSIŃSKI

*Zakład Inteligentnych Systemów Wspomagania Decyzji
Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska*

1. CZYM JEST SZTUCZNE ŻYCIE?

Najczęściej zaczynając rozmowę o sztucznym życiu, pytamy najpierw „a czym jest życie?” Nie ma takiej definicji życia, która by w ścisły sposób określiła ten fenomen i zarazem znalazła uznanie wśród wszystkich badaczy. Powstało za to wiele definicji skupiających się na poszczególnych aspektach życia – metabolizmie, aktywności w środowisku, genetyce, ewolucji i dziedziczeniu informacji, zdolności do samoorganizacji i przetrwania w postaci zorganizowanej pomimo niszczącego wpływu otoczenia itp. Nie w każdej sytuacji można łatwo określić, czy coś jest, czy nie jest żywe; łatwiej ocenić „stopień” życia lub podać listę wyznaczników (cech) życia, które w badanym obiekcie występują.

Potocznie, kiedy mówimy o sztucznym życiu, w pierwszej kolejności – osobom, które wcześniej nie zgłębiły tej tematyki – przychodzi na myśl życie sztucznie wytworzone. Oznacza to syntetyczne życie biochemiczne – twory, którymi zajmuje się biologia syntetyczna, a zatem formy życia, które nie różnią się od form naturalnych, lecz ich sposób powstania (pochodzenie) jest inny. Jednak sztuczność takich form życia jest dyskusyjna – przecież nie różnią się od swoich odpowiedników naturalnych. Zatem trudne (lub niemożliwe... zależy to od sposobu

syntezy) byłoby odkrycie ich nienaturalnego pochodzenia poprzez późniejsze badania (chyba że byłby to jakiś oryginalny organizm nieznyany do tej pory na Ziemi).

Oprócz biologicznego życia syntetycznego, życie sztuczne kojarzy się również z maszynami, które posiadają zdolność samopowielania i autonomicznego funkcjonowania w środowisku, a także z niematerialną sztuczną inteligencją, która dorównuje wysoce rozwiniętym istotom żywym.

Choć w języku mówionym nie usłyszymy różnicy, w piśmie możemy wyróżnić wielkimi literami inne znaczenie Sztucznego Życia – mianowicie kierunek badań, który zajmuje się budowaniem modeli życia we wszelkich dostępnych środowiskach (mediach). Przede wszystkim wykorzystuje się środowisko programowe (*software*), sprzętowe (*hardware*) i biochemiczne (*wetware*). Co ciekawe, kolejność jest tu odwrotna od tej, jaką widzieliśmy w intuicyjnym rozumieniu terminu „sztuczne życie”: tam przede wszystkim myśleliśmy o formach biologicznych, później o robotach, a w końcu o niematerialnych programach. Tu najpopularniejsze jest środowisko programowe, część badań prowadzi się przy wykorzystaniu robotów, a najrzadziej eksperymentuje się w laboratorium biochemicznym.

Pierwsza konferencja poświęcona Sztucznemu Życiu (*Artificial Life*, AL, *Alife*) odbyła się w Los Alamos w roku 1987 z inicjatywy amerykańskiego biologa, Christophera Langtona [6]. Konferencję nazwano *International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, choć obecnie określana jest często jako „*Artificial Life I*”. Patrząc na zakres zainteresowań Sztucznego Życia, w ostatnim roku zauważyć można wyraźne skupienie uwagi na osiągnięciach biologii syntetycznej – i choć „mokra” część badań Sztucznego Życia wcześniej nie dotyczyła syntezy naturalnych form życia, wydaje się, że ten nurt zostanie do Sztucznego Życia wkrótce włączony.

Czym zatem zajmowało się Sztuczne Życie w zakresie środowisk (bio)chemicznych (*wetware*)? Badano obliczenia chemiczne, a więc takie

przetwarzanie informacji, w którym medium są substancje chemiczne. Zaletą tego podejścia jest masywna równoległość oraz odporność na zakłócenia; można znaleźć analogie do modelu automatów komórkowych, a podejście do obliczeń przypomina modele wykorzystujące cząsteczki biologiczne, lecz jest ogólniejsze. Z grubsza środowiska, w których przebiegają obliczenia chemiczne, dzieli się na takie, w których:

- brak zróżnicowania przestrzennego (np. dzięki mieszaniu): obliczenia polegają na pojawieniu się i zachodzeniu połączonych reakcji chemicznych; wynikiem są produkty reakcji określonych typów o określonych parametrach,
- występują lokalne różnice i przestrzenne zróżnicowanie (np. przez brak mieszania): można tu bezpośrednio przetwarzać dane dwu- i trójwymiarowe, na przykład, matryca komórek wypełnionych substancją pobudliwą, która może posiadać jeden z kilku stanów, a zmiana stanu zależy od stanów sąsiednich komórek.

W takich środowiskach można rozwiązywać realne zadania obliczeniowe (budować oscylatory chemiczne, bramki logiczne, przetwarzać obrazy, a nawet uruchamiać „algorytmy” śledzenia celu, omijania przeszkód czy szukania optymalnej drogi). Choć środowisko jest biochemiczne, nie ma tu mowy o syntezie życia, raczej o wykorzystaniu podstawowych właściwości środowiska do prowadzenia ogólnie rozumianych obliczeń.

2. DEFINICJA SZTUCZNEGO ŻYCIA

Wypunktujmy najważniejsze cechy Sztucznego Życia:

- jest to interdyscyplinarny kierunek badający *życie takie, jakie znamy* (na Ziemi) oraz *życie takie, jakie mogłoby być* (życie „możliwe”);
- odtwarza właściwości życia (ucieleśnienie, fizyczne ograniczenia, samoorganizację) w środowisku programowym, elektronicznym, chemicznym i innych;
- pomaga zrozumieć życie, identyfikując zasady rządzące zjawiskami biologicznymi i realizując je w innych środowiskach (np. w kompu-

terach), co pozwala na prowadzenie nowych rodzajów eksperymentów i badań;

- zaciera granice pomiędzy tradycyjnymi dyscyplinami;
- zmusza do refleksji nad tym, co sztuczne, a co naturalne, oraz nad powstawaniem i właściwościami życia.

Można by powiedzieć, że celem Sztucznego Życia jest tworzenie uogólnionego modelu życia, badanie „po prostu” życia, a nie życia na Ziemi. To bardzo ważne, bowiem ludzie mają głęboko zakorzoną tendencję do odwoływania się zawsze do życia, jakie znają – co często powoduje, że jakiegokolwiek inne formy życia są albo uważane za niemożliwe, albo za nierealne, albo (w najlepszym razie) za gorsze (podróbki życia). Funkcjonuje nawet pojęcie „szowinizmu węglowego”, określające właśnie taką postawę, a także niemożność wyjścia poza ludzkie doświadczenia i obserwacje dotyczące życia na Ziemi. Czy trudno wyobrazić sobie sytuację, w której to nasz fenomen życia na Ziemi jest uważany za podróbkę i „niepełne” życie przez inne, dużo bogatsze i bardziej złożone życie? Skoro sami jesteśmy świadomi istnienia i możliwości budowania prostszych środowisk oraz form życia, nie powinniśmy też wykluczać ani istnienia, ani możliwości skonstruowania życia bardziej złożonego i zachwycającego – a więc, odwołując się do „szowinistycznego” podejścia – życia bardziej prawdziwego i cennego od naszego.

Przytaczane często przykłady ewoluujących wirusów komputerowych, listów rozsyłanych przez ludzi (z gatunku przekonującego w swojej treści *spamu*), a nawet plotek, sądów lub idei, które się rozpowszechniają – mają pokazać, jak pozornie abstrakcyjne twory mogą przejawiać właściwości tradycyjnie kojarzone z życiem (zdolność do powielania, mutowania, wymiany informacji, ewolucji, dopasowania do środowiska, metabolizmu).

Sztuczne życie kontrastuje się z badaniami biologicznymi, twierdząc, że badania biologiczne mają najczęściej charakter analityczny i polegają na dzieleniu złożonych zjawisk na prostsze mechanizmy tak,

by ostatecznie móc zrozumieć owe zjawiska. W Sztucznym Życiu natomiast bardzo często doprowadza się do powstania złożonych systemów z prostych elementów, co często prowadzi do syntezy złożonych (niezrozumiałych) zachowań, mimo że znamy szczegółowo wszystkie elementy podstawowe oraz relacje między nimi.



Ryc. 1. Boidy – zidentyfikowano trzy proste reguły niezbędne do odtworzenia realistycznego zachowania stadnego (ławice ryb, klucze ptaków). Wszystkie osobniki przestrzegają tych samych reguł, choć obserwacja zachowania stada często sugeruje istnienie liderów lub podgrup. Rysunek z pakietu Framsticks (rozdział 5 [5])

Takie podejście wielokrotnie pozwoliło stworzyć sztuczne systemy zachowujące się w ludzko podobny sposób do systemów biologicznych. Oczywiście nie ma żadnej gwarancji, że podobne zachowanie w skali makro gwarantuje podobną budowę wewnętrzną – w ten sposób nie możemy od razu odkryć zasady działania danego biologicznego systemu. Mimo to takie podejście, choć może wydawać się niezbyt badawczym, niesie ze sobą olbrzymie korzyści. Po pierwsze, wiemy, jak system biologiczny *może być* skonstruowany – i jest to prawdopodobnie

najprostsza możliwa konstrukcja (badacze rzadko budują niepotrzebnie skomplikowane konstrukty). Po drugie, wiemy, jak możemy badać system biologiczny, żeby potwierdzić lub sfalsyfikować konkretną hipotezę dotyczącą jego wewnętrznej budowy – możemy na przykład poddawać go działaniu określonych bodźców i porównywać zachowanie systemu naturalnego i sztucznego modelu. Takie podejście przydaje się przy próbach wyjaśnienia zjawisk budzących ciągle kontrowersje – kwestii powstawania gatunków, wielopoziomowej selekcji, zachowań stadnych i komunikacji międzypersonalnej itp. Stwierdzenie, że w symulacji komputerowej stworzonej przez człowieka obserwowane są identyczne zachowania jak w biologicznym systemie, pozwala często uniknąć ryzykownych eksperymentów myślowych, argumentacji „na sucho” i wieloletnich dyskusji opartych na intuicji.

Tematyka badań Sztucznego Życia jest tak szeroka, jak szerokie jest pojęcie życia; wymienimy podstawowe obszary zainteresowań:

- samoorganizacja,
- chemiczne początki życia, sztuczne chemie,
- ewolucja, selekcja, koewolucja, ewolucja ekosystemów,
- rozwój wielokomórkowy,
- naturalna i sztuczna morfogeneza,
- uczenie się i rozwój,
- sztuczne/wirtualne światy, *avatars*,
- autonomia robotów; roboty humanoidalne,
- robotyka ewolucyjna, projektowanie ewolucyjne,
- detektory życia,
- ewoluujące układy scalone, układy samonaprawiające się,
- emergentne zachowania zbiorowe,
- inteligencja grupowa,
- ewolucja zachowań społecznych, ewolucja komunikacji,
- epistemologia,
- sztuka (ewolucyjna muzyka, rzeźba, architektura; systemy interakcyjne).

Jak widać, lista ta dotyczy całego spektrum życia, od cząsteczek chemicznych po ekosystemy i społeczności. Widoczne są zarówno wątki biologiczne, jak i technologiczne, a w oczy rzuca się często występujące słowo „ewolucja”. Wszędzie tam, gdzie występuje słowo „sztuczne”, chodzi o badanie uogólnień procesów i praw znanych z naszego świata.

Sztuczne Życie jest w sposób oczywisty kierunkiem interdyscyplinarnym, wymagającym od badaczy niemałej wiedzy ze względu na złożoność materii, jaką się zajmują, oraz ciągłej chęci poszerzania horyzontów i działania na styku różnych dziedzin. Wśród naukowców zajmujących się Sztucznym Życiem znajdziemy biologów, fizyków, chemików, informatyków, inżynierów, ekonomistów, lingwistów, kognitywistów, psychologów, matematyków, antropologów, filozofów, artystów i przedstawicieli innych dyscyplin.

W badaniach Sztucznego Życia można wyróżnić dwa główne nurty:

- modelowanie istniejących zjawisk i procesów biologicznych w celu poszerzenia wiedzy o życiu naturalnym i jego lepszemu zrozumieniu („Czy ekosystem może zaistnieć w pamięci komputera? ”, „Na jakiej zasadzie tworzą się klucze ptaków? ”);
- budowanie złożonych systemów inspirowanych biologicznie i ich wykorzystywanie w praktyce („Czy (i jak) maszyna może się powielać? ”, „Czy programy komputerowe mogą powstawać na drodze ewolucji? ”, „Jak stworzyć robota, który będzie funkcjonował w otoczeniu człowieka? ”).

Pierwszy z nich jest bardziej poznawczy, drugi – pragmatyczny, związany z zastosowaniami. Badań reprezentujących nurt pierwszy jest tak wiele, jak wiele jest zagadek w biologii i modeli wartych odkrycia. W kolejnej części artykułu skupię się na kilku wybranych modelach drugiego nurtu.

3. ALGORYTMY INSPIROWANE BIOLOGICZNIE

W informatyce jest wiele algorytmów, których pochodzenie związane jest z inspiracją naturą. Niekiedy trudno stwierdzić, czy dany al-

gorytm powstał jako próba naśladownictwa natury, czy też powstał w zdroworozsądkowy sposób, a później skojarzył się z istniejącym procesem i został analogicznie nazwany. Algorytmy inspirowane biologicznie nie zajmują w informatyce jakiegoś szczególnego miejsca, mogą być zastępowane innymi algorytmami lub mieszane z nimi, tworząc rozwiązania hybrydowe. Można jednak pokusić się o pewną charakterystykę algorytmów inspirowanych biologicznie: są one często odporne na zakłócenia (niedoskonałe dane, zmienne warunki, niepewność informacji) i zwykle nie prowadzą do uzyskania ściśle optymalnych (najlepszych możliwych) rozwiązań. Ponadto dosyć często mają charakter rozproszony, zdecentralizowany, są skalowalne, a rozwiązania uzyskane w wyniku ich działania mogą cechować się nadmiarowością (czasem złudną) i trudnymi do wykrycia zależnościami.

Poniżej przedstawię trzy przykładowe klasy algorytmów inspirowanych biologicznie: algorytmy ewolucyjne, algorytmy mrówkowe oraz sztuczne układy odpornościowe.

3.1. Algorytmy ewolucyjne (genetyczne) i koewolucyjne

Zadziwiająco wiele sytuacji, z jakimi spotykamy się w życiu codziennym, starając się znaleźć dla nich najlepsze wyjście, daje się sprowadzić do ogólnego problemu poszukiwania najlepszego rozwiązania w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych. Rzadko kiedy myślimy w takich kategoriach o naszych problemach – rzadko staramy się wyobrazić wszystkie możliwe postępowania, ocenić każde z nich, porównać je i wreszcie zidentyfikować najlepsze. Taka „siłowa” metoda nie jest może specjalnie wyrafinowana, ale na pewno skuteczna. Thomas Edison, podsumowując swoje żmudne i nieprzynoszące sukcesu badania nad skonstruowaniem wytrzymałego włókna żarówki, stwierdził, że bynajmniej nie poniósł porażki – po prostu odkrył 10 000 niedziałających rozwiązań.

Zwróćmy uwagę, że w pewnym sensie przy takim podejściu następuje zamiana problemu jakościowego (wynalezienie nowego rozwią-

zania, pewien akt tworzenia, odkrycie) w ilościowy (znajdę najlepsze rozwiązanie, systematycznie sprawdzając wszystkie możliwości). Wiedząc o tym, że przełomowy wynalazek powstał w wyniku przetestowania wszystkich kombinacji kilkunastu czynników, nie byłibyśmy skłonni docenić wynalazcy tak bardzo, jak byśmy to zrobili, uważając, że on swój wynalazek „wymyślił”, „odkrył” albo skonstruował.

W dzisiejszych czasach możemy zaimplementować program symulujący zachowanie żarnika w zależności od jego składu, płynącego prądu i innych czynników. Program byłby w stanie oszacować trwałość włókna, jasność i temperaturę barwową emitowanego światła, a zatem... moglibyśmy „wynaleźć” najlepszą żarówkę, nie dokonując żadnego eksperymentu w realnym świecie, bazując jedynie na znanych prawach fizyki. Ile by to trwało? Zależy od tego, ile możliwości konstrukcji żarnika chcielibyśmy sprawdzić oraz ile trwałaby ocena każdej z tych możliwości.

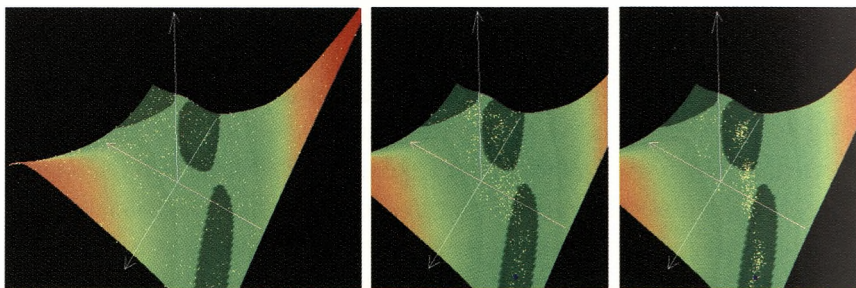
Czy takie postępowanie nosiłoby znamiona inteligencji? Raczej nie. Czy wyniki uzyskane w ten sposób mogą konkurować z wynikami uzyskanymi innymi metodami (odkrycia, „wymyślenia” rozwiązania)? Dysponując odpowiednią ilością czasu (odpowiednio szybkim komputerem), uzyskamy najlepsze możliwe rozwiązanie, prawie na pewno lepsze od wszystkiego, co byliśmy w stanie wymyślić.

„Komputer jest głupcem, który braki w inteligencji nadrabia szybkością” – ale czy trzeba naprawdę sprawdzać wszystkie możliwe rozwiązania? Okazuje się, że nie zawsze, a przede wszystkim, nie zawsze tak bardzo zależy nam na odkryciu tego najlepszego rozwiązania. Nie wnikając w liczne (i skądinąd bardzo interesujące) pomysły unikania siłowego przeszukiwania wszystkich alternatyw, wyjaśnijmy, co ma do tego ewolucja?

Organizmy żyjące na Ziemi są pewnym niewielkim podzbiorem zbioru wszystkich możliwych organizmów, jakie dałoby się zakodować, używając DNA. Konkurując ze sobą i podlegając zmianom genetycznym, podczas rozmnażania uczestniczą w ciągłej ewolucji, podobnie jak

ewolucji podlegają wojenne techniki ataku i obrony czy też techniki wykonywania skoków narciarskich. Pomysł na ewolucję w komputerze jest prosty: zamiast sprawdzać olbrzymią liczbę wszystkich możliwych rozwiązań danego problemu, stwórz niewielki zbiór (populację) tych rozwiązań, a następnie zmieniaj je (mutuj), wymieniaj je częściami (krzyżuj), oceniaj, a przede wszystkim powielaj (rozmnażaj) te, które są najlepsze w populacji.

Taki cykliczny proces znany pod nazwą algorytmu ewolucyjnego (lub genetycznego, choć nazwy te ściśle biorąc nie są jednoznaczne) prowadzi najczęściej do skupienia się populacji rozwiązań w pewnym rejonie całej przestrzeni wszystkich „pomysłów”, w którym przeważają rozwiązania bardzo dobre (ryc. 2).



Ryc. 2. Ilustracja działania algorytmu ewolucyjnego. Populacja osobników (jasne punkty) jest początkowo przypadkowo rozrzucona w przestrzeni wszystkich możliwych rozwiązań. Na rysunku oś pionowa odpowiada kosztowi rozwiązań (im niższa wartość, tym lepiej). W kolejnych krokach słabsze rozwiązania (o wyższym koszcie) giną, a lepsze są rozmnażane, mutowane i krzyżowane. Już po pierwszym i drugim pokoleniu widać, jak populacja skupia się w obszarach dobrych rozwiązań

I tak, zamiast odkryć najlepszą żarówkę, sprawdzając wszystkie możliwości, możemy odkryć prawie najlepszą żarówkę dzięki ewolucji wirtualnych żarówek w komputerze – i przy okazji zaoszczędzić wiele czasu, unikając testowania żarówek złych i bardzo złych. Należy zau-

ważyć, że takie ewolucyjne podejście może być też stosowane do ograniczenia liczby testów w realnym świecie (tzn. w podejściu analogicznym do opisanych wyżej badań Edisona) – nie tylko w wirtualnej, symulowanej rzeczywistości.

W wyniku stosowania algorytmów ewolucyjnych [4] w ostatnich latach powstają rozwiązania najróżniejszych problemów – lepsze niż te, jakie byli w stanie dotychczas skonstruować ludzie. Warto zwrócić uwagę, że do wykorzystania podejścia ewolucyjnego musimy umieć ocenić na komputerze każde potencjalne rozwiązanie, natomiast *nie musimy* wbudowywać w algorytm ewolucyjny żadnej, tradycyjnie istniejącej i przez wiele lat udoskonalanej, wiedzy na temat tego, jak budować dobre rozwiązania w danym problemie. Zatem potrzebujemy symulatora żarówki oraz sposobu na krzyżowanie i mutowanie składu żarników, ale nie potrzebujemy wpisywać w algorytm jakiegokolwiek „sztuki” budowania żarników czy wiedzy dziedzicznej. Pozwala to uniknąć algorytmowi obciążeń związanych z wiedzą przekazywaną z pokolenia na pokolenie – dla niego wszystkie pomysły są równouprawnione. Z kolei dla człowieka-konstruktora pierwszeństwo mają pomysły nawiązujące do obecnego stanu wiedzy i doświadczenia.

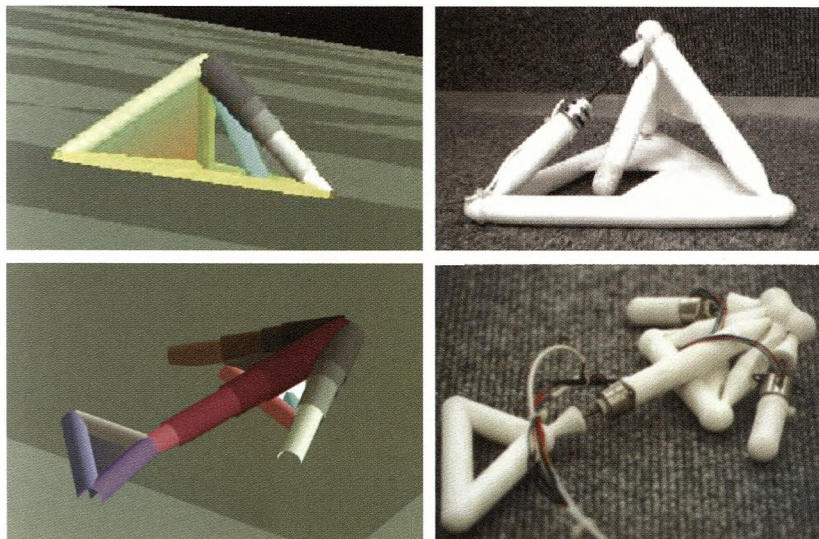
Oczywiście algorytmy ewolucyjne mogą oceniać rozwiązania pod kątem wielu kryteriów – jakości, ceny, wytrzymałości, szacowanego czasu produkcji, ergonomii itd.; najtrudniej zapewne zawrzeć w algorytmie ocenę estetyki i kilku innych kryteriów, które człowiek-konstruktor uwzględnia nieświadomie. Dlatego zapewne rozwiązania uzyskiwane przez algorytmy genetyczne są lepsze od tych tworzonych przez ludzi, ale są też zaskakujące, dziwne, nieszablonowe... kreatywne. Bywają patentowane, co świadczy o ich oryginalności. Algorytmy ewolucyjne są też wykorzystywane w celu uniknięcia problemów z rozwiązaniami opatentowanymi (znany przypadek z anteną Wi-Fi) – po co płać wynalazcy, skoro, znając zasady, można sobie samemu „wyewoluować” konkurencyjne rozwiązanie?

Ze względu na ogólność opisanego podejścia algorytmy ewolucyjne bywają odważnie nazywane „automatem do wynalazków” i są stosowane właściwie we wszystkich dyscyplinach – elektronice, inżynierii, medycynie, ekonomii, itd., itd. Wymieńmy kilka konkretnych osiągnięć – uzyskano pamięci USB o 30-krotnie wyższej trwałości; światłowodowy dwukrotnie większym pasmie dzięki zastosowaniu otworów o dziwnych, kwiecistych kształtach (zamiast wcześniej stosowanych sześciokątnych); lepsze kile, turbiny, śmigła, skrzydła, obiektywy, implanty ślimakowe, wzmacniacze, filtry, anteny... Nie wspominając o dziedzinach, w których człowiek nie ma dużego doświadczenia, takich jak tworzenie algorytmów dla komputerów kwantowych.

O ile nie włączymy kryterium prostoty (np. kary za złożoność rozwiązań) do procesu ewolucyjnego, będziemy w stanie rozróżnić rozwiązania wyewoluowane od tych zbudowanych przez człowieka. Człowiek będzie tworzył rozwiązania możliwie proste, symetryczne i estetyczne; ewolucja da w wyniku rozwiązania zbudowane chaotycznie, z elementami nadmiarowymi i pozornie nadmiarowymi – rozwiązania, które ludziom często trudno jest zrozumieć. Dlatego człowiek w pierwszym odruchu usiłuje ulepszać i upraszczać rozwiązania wyewoluowane, by ku swojemu zaskoczeniu przekonać się, że to, co wydawało się zbędne i niezależne od reszty, okazuje się istotnym elementem misternie powiązanym z innymi fragmentami rozwiązania.

Niewątpliwie jesteśmy dopiero na początku drogi. Czy zamiast ewoluować rozwiązanie, można dokonać ewolucji metody, która rozwiązanie zbuduje? Tak, można. Wtedy ewolucji będzie podlegała wiedza, jak budować dobre rozwiązania, a nie same rozwiązania. Czy można prowadzić koewolucję kilku populacji tak, by były dla siebie konkurencją i ciągle utrzymywały presję? Czy można stworzyć kilka populacji, które współpracują ze sobą? Czy można zamodelować określone środowisko z ograniczonymi zasobami, o które będą konkurowały rozwiązania, unikając w ten sposób potrzeby bezpośredniego definiowania kryteriów oceny rozwiązań? Na wszystkie te pytania od-

powiedzi są twierdzące. Często nie zdajemy sobie sprawy, że w urządzeniach, których używamy na co dzień, zastosowano rozwiązania powstałe dzięki opisanemu powyżej podejściu – a są to skromne początki.



Ryc. 3. Wyewoluowane, poruszające się roboty [7]. Po lewej: wirtualne środowisko symulacyjne, w którym roboty były oceniane podczas ewolucji. Po prawej – roboty wytworzone niemal bez udziału człowieka na podstawie ich opisu z symulatora

W Sztucznym Życiu wyróżniliśmy dwa nurty – praktyczny (jego wyrazem są właśnie przedstawione algorytmy ewolucyjne) i badawczy. Ten drugi nurt w kontekście ewolucji obejmuje tworzenie i badanie różnych modeli ewolucji po to, by udzielić odpowiedzi na rozmaite pytania – na przykład: Czy ewolucja jest powtarzalna? Czy przebiega liniowo, czy skokowo? Czy przy niezmiennych warunkach zewnętrznych osiąga stabilizację? Czy komplikuje, czy upraszcza organizmy? Czy organizmy późniejsze są lepsze od wcześniejszych? Czy powstają organizmy odporne na zmiany warunków zewnętrznych? itp.

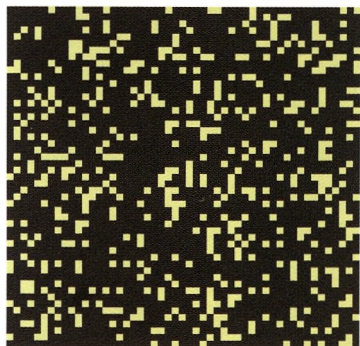
3.2. Algorytmy mrówkowe i inteligencja grupowa

Inteligencja grupowa, nazywana też czasem inteligencją roju (*swarm intelligence*), obejmuje podejścia, w których zachowanie inteligentne wynika ze współdziałania wielu prostych osobników (agentów). Natura dostarcza nam wielu przykładów społeczności organizmów, w których pojedyncze osobniki są nieświadome całości zadania, w jakim uczestniczą, natomiast ich liczność oraz specyficzne zachowanie prowadzi do wykonania tego zadania.

Systemy oparte na takim podejściu przejawiają cechy, o których pisałem wcześniej: osobniki wykonują zadanie w sposób skuteczny, ale niekoniecznie ściśle optymalny, a systemy są odporne na zakłócenia i są skalowalne (sterowanie liczbą osobników wpływa na jakość i sposób wykonania zadania). Brak centralnego sterowania – istotna właściwość tego paradygmatu oraz swoisty „brak nadzoru” nad sposobem wykonania zadania są nietypowe dla tradycyjnych rozwiązań informatycznych. Przypadkowy charakter działania całego systemu oraz brak stu-percentowych gwarancji co do czasu i jakości wykonania zadania są w istocie cechami systemów naturalnych, ale w kluczowych zastosowaniach, gdzie rolę grają pieniądze lub zdrowie człowieka, takie podejścia są niechętnie stosowane. Można dyskutować, czy tradycyjne podejścia są faktycznie bezpieczniejsze od tych inspirowanych biologicznie.

Porównajmy obie koncepcje na przykładzie zadania zbierania kawałków drewna w jedno wyznaczone miejsce. Wyobraźmy sobie pewien model świata (ryc. 4), w którym kawałki te są przypadkowo porzucane, w każdym miejscu może leżeć co najwyżej jeden kawałek, a celem jest ich zebranie w jednym obszarze przy pomocy pewnej liczby robotników (np. robotów lub „termitów”). Tradycyjne podejście wymaga ustalenia miejsca zbiórki drewna, a następnie zaprogramowania wszystkich robotów tak, by przemierzały świat za pomocą określonego algorytmu w poszukiwaniu pojedynczych kawałków drewna, podnosiły je, a następnie w oparciu o swoją bieżącą pozycję i pozycję miejsca zbiórki wyznaczały odpowiedni kierunek. Idąc w stronę sterty,

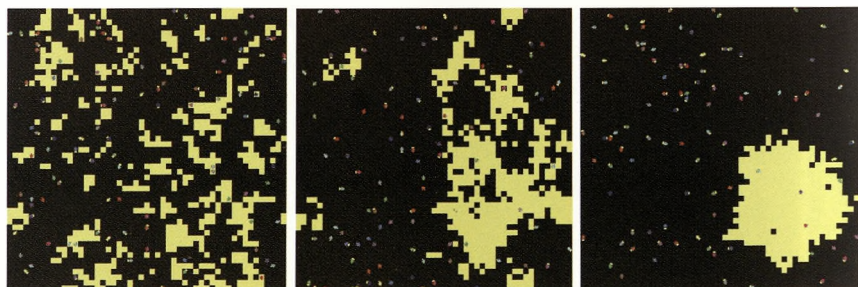
roboty musiałyby rozróżnić przypadkowo porozrzucane kawałki drewna od miejsca, w którym zaczyna się sterta – wbrew pozorom, niełatwy problem.



Ryc. 4. Dwuwymiarowy wirtualny świat z przypadkowo porozrzucanymi kawałkami drewna (jasne kwadraty)

Takie tradycyjne podejście do zadania zbierania drewna jest trudne do zaimplementowania, ale nosi na sobie znamię przemysłanego, systematycznego, logicznego postępowania. Mozolnie ulepszając taki algorytm, uzyskamy ostatecznie upragniony efekt i jako twórcy algorytmu będziemy w miarę przekonani o jego skuteczności. Jest zaskakujące, że radykalnie inne podejście, niewymagające od robotów wiedzy o tym, gdzie się znajdują ani gdzie jest sterta, da podobny efekt. Przepis dla robota brzmi: poruszaj się po świecie przypadkowo. Jeśli nadepniesz na kawałek drewna, podnieś go. Jeśli niosąc kawałek drewna nadepniesz na inny – połóż swój kawałek na wolnym miejscu obok. To wszystko!

Ten skrajnie prosty przepis prowadzi do „wyłonienia się” sterty w dosyć przypadkowym miejscu (ryc. 5), mimo że uczestnicy procesu nie są absolutnie świadomi, jaki jest zamierzony efekt ich działań. Zjawisko to nosi nazwę *emergencji*. Powstała sterta nie będzie zapewne tak elegancka jak w tradycyjnym podejściu, nie będzie również tak stabilna (kawałki drewna na brzegach mogą być ciągle przenoszone przez robotników), zwróćmy za to uwagę, jak wiele można popsuć, zakłócając w różny sposób wiedzę agentów w tradycyjnym podejściu, i jak niewiele można zakłócić w podejściu bez nadzoru.



Ryc. 5. Emergencja sterty. Rysunki z pakietu StarLogo (rozdz. 6 [5])

W powyższym, niezbyt praktycznym przykładzie (nieczęsto informatycy programują roboty zbierające drewno na stertę), zadanie jest wykonywane przez wiele agentów – stąd nazwa *agent-based modeling* (ABM). Podejście niescentralizowane ilustruje dobrze sytuację, gdzie *całość jest czymś więcej niż sumą części składowych*: za „sumą” kryje się na tyle specyficzny (można by powiedzieć: „nieliniowy”) sposób lokalnych interakcji agentów ze sobą i ze środowiskiem, że prowadzi on do nieoczekiwanego całościowego, globalnego efektu.

Podobne podejście wykorzystywane jest w stosunkowo nowych algorytmach optymalizacyjnych – algorytmach mrówkowych [3], gdzie wyimaginowane mrówki budują wspólnie rozwiązanie problemu, wybierając samodzielnie jedynie dobre fragmenty rozwiązania, i informując za pomocą wirtualnego feromonu o jakości całego rozwiązania. Efektywność tych algorytmów jest porównywalna z istniejącymi, tradycyjnymi podejściami.

Paradygmat inteligencji grupowej kusi niewielkimi wymaganiami co do niezawodności komunikacji, nie wymaga globalnej informacji ani ciągłej wiedzy o stanie procesu. Można powiedzieć, że nie wymaga... serwera, stąd jest atrakcyjny np. w sieciach bezprzewodowych tworzonych *ad hoc*, które są rozproszone, dynamiczne, bez centralnego planowania, o ograniczonych zasobach i niepewnej komunikacji. Również

w robotyce jest to obecnie intensywnie rozwijający się dział [1] – samoorganizujące się i współpracujące grupy robotów, gdzie prostota przekłada się zarówno na odporność na zakłócenia, jak i na niską cenę i możliwość masowej produkcji. Wiele klasycznych problemów informatycznych (np. sortowanie), doskonale przebadanych i rozwiązanych na dziesiątki sposobów, można również rozpatrywać w opisanej powyżej, alternatywnej perspektywie.

3.3. Sztuczne układy odpornościowe (systemy immunologiczne)

System immunologiczny [2] jest rozproszonym układem posiadającym zdolność uczenia się, adaptacji i zdolnym do rozproszonej, progowej detekcji różnego rodzaju anomalii. System ten zmienia się i ewoluuje, tworząc samoorganizującą się pod wpływem patogenów sieć. Infekcje, których doznajemy, są zarazem próbą i nauką dla naszego układu odpornościowego.

W informatyce model układu odpornościowego przydaje się wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba wykrywania anomalii. W szczególności może to oznaczać nietypowe działanie systemu operacyjnego spowodowane przez podejrzaną działający program (program błędnie napisany lub wirus). Ogólniej, sztuczny układ odpornościowy odpowiada sytuacjom, w których chcemy odróżnić przypadki „swoje” od „wrogich”, albo dobre od złych. Takich sytuacji jest oczywiście wiele, od rozpoznawania niebezpiecznych programów, przez wykrywanie listów reklamowych, monitorowanie biura i analizę obrazów z kamer, identyfikację nietypowych sytuacji w samolocie dzięki analizie odczytów z czujników, aż po kompresję informacji – bo przecież wiedza zawarta w nauczonym systemie immunologicznym to zwarta postać opisu dobrych lub złych przypadków.

Najpierw, na etapie selekcji negatywnej, tworzy się pewną liczbę detektorów (przeciwciał), które nie rozpoznają żadnego z dobrych przypadków. Podczas pracy systemu, jeśli nadchodzący, nowy przypadek jest odpowiednio blisko jakiegoś detektora – zostaje uznany za

„zły”, a uaktywniony detektor (lub detektory) w procesie selekcji klonalnej ulega powieleniu i mutacjom. W ten sposób system wzmacnia swoją reakcję na antygeny, z którymi się zetknął. Oczywiście jeśli dysponujemy negatywnymi przypadkami (antygenami) wcześniej, zanim uruchomimy system, możemy już na nich dokonać wstępnego „uczenia” układu odpornościowego. Jeśli ich nie mamy, możemy zacząć używać systemu nauczonego jedynie na pozytywnych przykładach. W każdym razie wychodzimy z założenia, że wszystko, co nie przypomina znanej, normalnej sytuacji (pozytywnego przypadku lub komórki macierzystej), jest anomalią.

4. REFLEKSJE NAD SZTUCZNYM ŻYCIEM

W badaniach i algorytmach opisanych w niniejszym artykule nie ma metafizyki: są one wykorzystywane w praktyce i mogą być wielokrotnie powtarzane – być może dlatego człowiek traktuje je jako część świata technologii. To coś dzieje się gdzieś w komputerze, zatem nie zasługuje na specjalną uwagę, a już na pewno nie na poważne traktowanie należne istotom żywym. Ów szowinizm węglowy, o którym była wcześniej mowa, jest bardzo silnie zakorzeniony – sam nieustannie przekonuję się, jak trudno jest wyjść poza ustalony schemat rozpoznawania fenomenu życia. Doświadczenie podpowiada, że człowiek bez pomocy specjalnych narzędzi nie będzie w stanie rozpoznać nawet bardzo zaawansowanych form życia, o ile nie będą zbliżone do życia ziemskiego.

Potrzebujemy mikroskopu, by zobaczyć organizmy, których nie dostrzegamy gołym okiem; bez mikroskopu możemy jedynie liczyć, że zobaczymy pośrednie efekty ich istnienia. A czego potrzebujemy, by dostrzec życie istniejące w pamięci komputera? Czy jesteśmy na tyle pewni siebie, by skreślić możliwość istnienia życia w takim środowisku? Czy odkryjemy życie na innej planecie, czy też wylądujemy na tamtejszych organizmach, uważając ją za martwą? Człowiek jest niezmiernie przywiązany do tego, co widzi i czuje; wystarczy zmienić nie-

co reprezentację świata, odbić obraz, zamienić wymiary, pokolorować inaczej – i dostrzegamy jedynie chaos, który jest przecież tym samym życiem, przetransformowanym jedynie do postaci, do której nie byliśmy przyzwyczajeni. W filmie *The Matrix* [8] pokazano świat, do którego przywykliśmy, oraz świat zielonych spadających symboli – to są dwie reprezentacje tego samego świata, lecz nie łudźmy się, że w owych symbolach odkrylibyśmy cokolwiek interesującego.

Komputery przekroczyły zdolności intuicyjnego rozumienia człowieka już na początku ich rozwoju. Zaledwie kilka, kilkanaście sztucznych neuronów połączonych ze sobą w skomplikowany sposób stanowi materiał do wielogodzinnych, żmudnych analiz. Tymczasem obecnie mamy terabajty pamięci w komputerach i jesteśmy w stanie symulować złożone środowiska i procesy ewolucyjne, które zagospodarowują tą pamięć wirtualnymi, wysoce zorganizowanymi konstruktami (por. środowisko Avida, rozdz. 1 [5]). Trudno znaleźć słowa, by opisać przepaść dzielącą nas od pełnego ogarnięcia tych wirtualnych środowisk... pozostaje ich obserwacja lub ignorancja, bo na dogłębne analizy nie mamy czasu, środków ani chęci. Studia biologiczne nad życiem ziemskim trwają od zarania ludzkości, ale przecież nie zatrudnimy podobnej liczby naukowców do badania wirtualnych ekosystemów!

Zatem po co w ogóle tworzyć symulacje wykraczające poza możliwości analizy? Część badań ma ściśle określone cele i zgodnie z dobrą praktyką eksperymentatora, modele są możliwie proste – takie, by objąć zjawisko podlegające badaniu. Tym samym Sztuczne Życie oferuje użyteczne metody weryfikacji hipotez dotyczących życia ziemskiego, które pomagają rozstrzygnąć istniejące spory i wątpliwości.

Jednak człowiek, który zawsze kreował swoje „małe światy” i symulacje rzeczywistości, nie chce ograniczać się do wiernego odzwierciedlania w nich ziemskich realiów. Nie chce też definiować szczegółowo wszystkich zasad panujących w wirtualnych światach. Badacze zamierzają raczej sprawdzić, do czego zdolna jest swobodna ewolucja w coraz bardziej złożonych środowiskach, gdzie minimalizowane są

ograniczenia konstrukcyjne sztucznych form życia, a maksymalizowane możliwości ich interakcji ze sobą i z otoczeniem. Analiza wyników sprowadza się tu do obserwacji stanu środowiska, a zatem jest wysoce niedoskonałą metodą odkrywania interesujących fenomenów ze względu na liczne ograniczenia i przyzwyczajenia człowieka. Wiemy, że powstają bardzo złożone struktury, ale bez żmudnych, subiektywnych badań nie potrafimy ocenić, na ile one są „ciekawe” i wartościowe – bowiem nie dysponujemy na razie ogólnymi miarami czy też detektorami życia (ani też detektorami inteligencji, świadomości, emocji, uczuć). Co prawda trwają prace nad stworzeniem ogólnych „mierników” życia, ale może się paradoksalnie okazać, że innego życia nie zauważymy albo nie docenimy – chyba że będzie na tyle zaawansowane, że to ono nawiąże z nami kontakt.

Piśmiennictwo

- [1] Adamatzky A., Komosinski M. *Artificial Life Models in Hardware*. Springer Verlag, 2009 (w druku).
- [2] De Castro L.N., Timmis J. *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*, Springer 2002.
- [3] Dorigo M., Stützle T. *Ant Colony Optimization*, MIT Press 2004.
- [4] Goldberg D.E. *The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms*, Kluwer Academic Publishers 2002.
- [5] Komosinski M., Adamatzky A. *Artificial Life Models in Software*, I wyd. 2005, Springer Verlag 2009 (w druku).
- [6] Langton C.G. *Artificial Life: An Overview*. MIT Press 1995.
- [7] Pollack J., Lipson H., Ficici S. et al. *Evolutionary Techniques in physical robotics*. [w:] *Evolvable Systems: From Biology to Hardware: Third International Conference, ICES 2000, Edinburgh, Scotland, April 17-19, 2000: Proceedings*, Springer 2000.
- [8] Wachowski L., Wachowski A. Film *The Matrix*. 1999.

ETYCZNE ASPEKTY SZTUCZNEGO ŻYCIA

PAWEŁ BORTKIEWICZ

Wydział Teologiczny
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

1. WPROWADZENIE – TERMINOLOGIA

Należy zauważyć na samym wstępie, że termin „sztuczne życie” (*artificial life*, AL) przy całej swojej popularności używania nie jest bynajmniej jednoznaczny. W różnych wyszukiwarkach słownikowych podawane są zazwyczaj następujące określenia tego terminu:

- próby symulacji za pomocą różnych modeli danych i zaawansowanych algorytmów zachowania istniejących gatunków;
- próba stworzenia sztucznego życia, które nie naśladuje żadnej z istniejących w przyrodzie form, lecz funkcjonuje tylko i wyłącznie w obrębie komputera (lub sieci komputerowej);
- sztuczna inteligencja (*artificial intelligence*, AI) – sztuczna sieć neuronowa, wzorowana na sieci neuronów budującej np. mózg człowieka, działająca równie sprawnie, jak jej biologiczny odpowiednik.

Mimo że wymieniony termin i jego znaczenia same w sobie są stosunkowo nowe, w ostatnim czasie pojawiło się jeszcze jedno, najnowsze znaczenie, wyznaczające odmienne od dotychczasowych techniki działań, ale i zarazem odmienne refleksje filozoficzne i etyczne. Chodzi tutaj o projektowane przez znanego biologa i genetyka amerykańskiego Craiga Venture’a „organizmy, które nie występują naturalnie w przyrodzie i które można „zrobić” w laboratorium. Syntetyczna biologia to

zupełnie nowa dziedzina nauki, a wiele wykorzystywanych w niej metod nigdy wcześniej nie istniało”¹.

Można zatem zauważyć, że sama terminologia i znaczenia terminów wskazują na dwie główne grupy czy też obszary pojawiania się „sztucznego życia”. Jednym z nich jest obszar algorytmów i komputerów, drugim – obszar syntetycznej biologii.

Trudność w precyzyjnym określeniu, czym jest sztuczne życie, wynika wszakże z faktu o wiele bardziej podstawowego. O ile bowiem naturalną reakcją na temat „sztucznego życia” jest ustawienie go w jakiejś opozycji do życia „naturalnego”, to podstawowym problemem staje się sama próba definicji życia jako takiego. Pluralizm istniejących w tym względzie określeń potwierdza raczej zakłopotanie niż satysfakcję. Tytułem przykładu można wymienić następujące określenia:

- życie to sprzężony zespół reakcji chemicznych i procesów elektronowych w półprzewodzącym środowisku związków białkowych...,
- życie to fala elektromagnetyczna wyemitowana przez kwantowy oscylator...,
- życie jest procesem rywalizacji o elektrony; walki uporządkowanej, planowanej, zorganizowanej, celowej².

Paradoksalnie być może dla niektórych, znaczące odkrycia w zakresie biologii molekularnej, miast przybliżać jasność i precyzję takiej definicji, stawiają raczej pytania niż odpowiedzi. Jeśli bowiem spoglądamy współcześnie na życie z perspektywy genomu, to rodzi się fundamentalnie istotne pytanie – jaki jest minimalny zestaw ważnych genów?

Ponieważ mamy trudności z klasyczną definicją sztucznego życia, pozostaje nam w tym momencie podjęcie próby refleksji nad jego istotą w sposób opisowy.

¹ Cyt. za: M. Salik. *Najlepszy genetyk świata chce stworzyć sztuczne życie*. [w:] http://www.dziennik.pl/opinie/article52511/Najlepszy_genetyk_swiat_chce_stworzyc_sztuczne_zycie.html [stan z 20.09.08].

² Por. W. Sedlak, *Bioelektronika*, Warszawa IW PAX, 1979.

2. ISTOTA SZTUCZNEGO ŻYCIA I SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Nie wnikając zatem w metodologicznie poprawną definicję sztucznego życia, można zaobserwować pewne jego przejawy, by tą drogą dążyć do ustalenia jego istoty. Nietrudno zauważyć zatem, że metody sztucznego życia stosowane są do symulacji zachowań grup zwierząt, np. kluczy ptaków. Innym obszarem zastosowania sztucznego życia jest od lat przemysł filmowy. Wykorzystuje się w nim tzw. boidy, czyli programy symulujące zachowanie kluczy ptaków, rojów owadów. Znaczący przedmiot zwracają uwagę na to, że armie we „Władcy Pierścieni” miały już pewną dozę „inteligencji”, a zatem reagowały na wydarzenia batalistyczne w sposób w pewnym stopniu samodzielny i samosterujący się.

Innym przykładem są programy typu OCR, na bazie których tworzone są aplikacje rozpoznające twarze poszukiwanych przestępców w tłumie przechodniów. Wreszcie, sztuczne życie, które jest bazą sztucznej inteligencji bywa stosowane w systemach eksperckich do przeszukiwania dużych zbiorów danych (tzw. *data mining*). Jednymi z najbardziej popularnych obszarów ich zastosowania są także gry komputerowe („Creatures”) oraz programy sterujące np. robotami przemysłowymi.

Pośród tych obszarów funkcjonowania sztucznego życia, warto osobne miejsce poświęcić pokrótce tzw. grze w życie. Przyjmując, niezależnie od wskazanych powyżej niejednoznaczności pojęć, iż życie w każdym swoim przejawie i na każdej płaszczyźnie opiera się ostatecznie na prostych interakcjach między poszczególnymi jednostkami, można odnieść tę prostą zasadę do niezwykle złożonych i różnorodnych organizmów żywych. To właśnie tę zasadę wykorzystał w 1968 r. brytyjski matematyk John Conway, tworząc Grę w Życie (*Game of Life*)³.

³ Por. P. Conevey, R. Highfield, *Granice złożoności. Poszukiwania porządku w chaotycznym świecie*, Prószyński i s-ka, Warszawa 2007; M. Gardner, *Mathematical Games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "Life"*, Sci. Amer. 1970; 223: 120-123; A. Piwowarczyk, *Fascynujący świat sztucznych organizmów (część I)*. [w:] <http://www.alife.pl/articles/p/piwowarczyk1> (z dnia 20. 09. 08).

Jej istotą jest zastosowaniu określonych reguł dla każdego kwadratu reprezentującego komórkę w pewnej siatce. Wyznaczone reguły to:

- każdy czarny kwadracik (komórka) jest żywy, każda biała komórka jest martwa,
- każda komórka ma ośmiu sąsiadów,
- każda komórka może jako żywa przejść do następnej generacji, jeżeli jej dwóch lub trzech sąsiadów to żywe komórki,
- jeśli więcej niż trzy (zatłoczenie) lub mniej niż dwie (izolacja) sąsiednie komórki są żywe, to komórka umiera,
- każda martwa komórka może zostać ożywiona, jeżeli jej trzech sąsiadów to żywe komórki.

Jeżeli każdorazowo zastosuje się wspomniane reguły dla każdej komórki, oznacza to, że podane „istnienia” dokonują przechodzenia z jednego pokolenia do drugiego. Powstałe w ten sposób kolejne generacje charakteryzują się widocznymi zmianami wzorów, tak, że mogą tworzyć wręcz wyjątkowo złożone i fascynujące kształty. Niektóre spośród powstałych w ten sposób układów komórek szybko stawały się nieuporządkowanym zbiorem i umierały. Natomiast były i takie, które pozostawały aktywne przez setki albo i tysiące pokoleń. Dowodziły niejako możliwości i realizacji przechodzenia od prostoty początkowej formy i prostych reguł do coraz wyższej złożoności otrzymywanych w ten sposób wyników.

Pytanie jakie może się nasunąć dla obserwatora tego stanu rzeczy dotyczy warunków, jakie musi spełnić komputerowy organizm, aby mógł zostać uznany za żywy. Ellen Thro w swojej książce „Sztuczne życie. Zestaw narzędzi badacza” (1994), podaje, że żywy jest ten organizm, który:

- istnieje w przestrzeni i w czasie,
- rozmnaża się,
- przechowuje informację o samym sobie,
- ma metabolizm – może przetwarzać materię na energię,
- oddziałuje z otoczeniem,

- składa się z niezależnych części,
- wykazuje stabilność przy zmiennych warunkach środowiska,
- ewoluuje,
- rośnie lub rozszerza się.



Ryc. 1. Przykładowy układ w Grze w Życie: produkcja „szybowców”⁴

Innym przykładem zastosowania mechanizmów ewolucji są biomorfy Richarda Dawkinsa, które zostały opisane w jego książce „Ślepy zegarmistrz”.



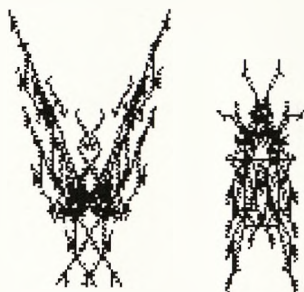
Ryc. 2. Przykładowe biomorfy

⁴ Zamieszczone ilustracje pochodzą z A. Piwowarczyk, *Fascynujący świat sztucznych organizmów* (część I). [w:] <http://www.alife.pl/articles/p/piwowarczyk1> (stan z dnia 20.09.08).

Sama nazwa biomorfy jest autorstwa Desmonda Morrisa i powstała na oznaczenie nieokreślonych zwierzęcopodobnych kształtów w jego surrealistycznych obrazach.

Dawkins, badając ewolucję form, zastosował proste operacje genetyki, takie jak rekombinacja i mutacja, uzyskując w ten sposób zmianę prostych kształtów z pokolenia na pokolenie. Do tych działań genetyki dodał własny wybór, według własnych estetycznych preferencji, najbardziej interesujących kształtów do dalszego rozmnażania. W ten sposób z prostych kształtów, początkowych opartych na drzewach zaczęły powstawać skomplikowane formy zbliżone wyglądem do insektów, człowieka w czapce, a nawet księżycowego lądownika.

Coraz bardziej złożone istoty o złożonych regułach, które w sztucznym życiu przejawiają pewne zachowania prawdziwych zwierząt zyskały nazwę animków (ang. *animats*).



Ryc. 3. Biomorfy: ptak i mucha

Jako pierwszy tego określenia użył Stewart Wilson dla oznaczenia wyewoluowanych na komputerze poszukujących pożywienia automatów w kształcie kwadratów. Pozwalały na prowadzenie badań nad podstawowymi regułami uczenia się istot żywych, co prowadziło do lepszego dostosowania się do otoczenia i wymuszania odpowiedniego zachowania. Zaprogramowany przez Stewarta Wilsona pierwszy animek, miał za główny cel znajdowanie pożywienia. Aby to osiągnąć posiadał on trzy podstawowe zmysły: wzrok, węch i smak oraz możliwość odczuwania bólu i przyjemności. Istotnie, przy ich pomocy po pewnym

czasie nauczył się odnajdować szybko jedzenie w swoim środowisku. Właśnie skrócony, czy też wyuczony czas znajdowania pożywienia sugerował, że animek analizował otoczenie, działał na podstawie sprawdzonych swoich reguł, albo podejmował działanie na podstawie dodanych przez siebie nowych reguł, tworząc ostatecznie na własne potrzeby 8 podstawowych reguł.

Innym, bardzo interesującym przykładem omawianych form sztucznego życia są patyczaki (ang. *framsticks*), które posiadają swój własny genotyp. Jak zapewnia najkrócej główny twórca tej formy, dr Maciej Komosiński „*Framsticks* to projekt trójwymiarowej symulacji sztucznych form życia. Obejmuje on modelowanie zarówno ich struktury mechanicznej („ciała”), jak i sieci neuronowej („mózgu”). Możliwe jest projektowanie różnych rodzajów eksperymentów, takich jak prosta optymalizacja (przy użyciu algorytmów ewolucyjnych), koewolucja, ewolucja nieograniczona i spontaniczna, podział na pule genów i populacje, różne odwzorowania genotyp/fenotyp oraz modelowanie gatunków i ekosystemów”⁵.

Patyczaki to twory o uproszczonej budowie, które posiadają swoiste kości oraz mięśnie, jak również elementy umożliwiające wchłanianie energii, a także receptory zapachu, dotyku i równowagi. Cechuje je również sieć neuronowa. Poruszają się w wirtualnym trójwymiarowym środowisku, pozyskując energię z jej źródeł lub przez zabicie innego stworzenia. Można mówić o swoistej dramaturgii tych tworów, które giną, podlegają mutacjom ale i ewoluują!

⁵ http://www.framsticks.com/p/al_main.html [stan z 22. 09. 2008]; por. M. Komosiński, Sz. Ulatowski. *Framsticks – Artificial Life*. [w:] *ECML '98 Demonstration and Poster Papers*, red. C. Nédellec, C. Rouveirol, Chemnitzer Informatik-Berichte, Chemnitz, 1998: 7-9; M. Komosiński, Sz. Ulatowski, *Framsticks: sztuczne życie – złożona symulacja stworzeń i ich ewolucji*. [w:] *Materiały konferencyjne III Krajowej Konferencji Algorytmy Ewolucyjne i Optymalizacja Globalna KAEiOG*, Potok Złoty, 25-28 Maj, 1999: 157-166.

Dokonując ostatnich prób ukazania istoty sztucznego życia, można zauważyć, że obejmuje ono – jak widać z powyższych prezentacji – tworzenie wirtualnych organizmów. Ich cechą charakterystyczną jest to, że rozwijają się wyłącznie w obrębie systemu operacyjnego, żyją jako procesy, konkurujące ze sobą o dostęp do czasu procesora. Zawierają w sobie programy, których kod traktowany jest jak kod genetyczny, i który w kolejnych mutacjach przekształcany jest na coraz bardziej złożone formy. W ten sposób tworzy się coś na kształt ewolucji tych form sztucznego życia.

Na tym tle nie mogą dziwić próby tworzenia sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence*; AI), u źródeł których jest przekonanie o możliwości opracowania maszyny, bądź programu, którego zdolność myślenia, jak i analizowania oraz wnioskowania byłaby porównywalna, a nawet większa niż u człowieka. Nietrudno, niejako na marginesie zauważyć już w tym miejscu, pozbawionej oceny aksjologicznej prezentacji, że taka perspektywa rodzi zasadnie tak nadzieje, jak i również obawy. Próby tworzenia sztucznej inteligencji ograniczają się wszakże na razie do tworzenia sieci neuronowych, odpowiadających ludzkim neuronom.

3. KWESTIE DYSKUSYJNE AL i AI

Rozwój nowych technik związanych z tworzeniem sztucznego życia, a zwłaszcza sztucznej inteligencji rodzi – co nie może dziwić – cały szereg pytań i kwestii dyskusyjnych natury pozatechnicznej. Nietrudno dostrzec choćby ogromne wyzwania, jakie stoją przed dotychczasową filozofią i teologią, a które dotyczą kwestii (re)definicji życia, podmiotu działania, samodzielnego i samostanowiącego istnienia itp.

W tym kontekście, jako swoisty przykład konfrontacji tradycyjnych kryteriów odnoszenia się do człowieka – podmiotu działania, pojawił się problem zasad moralnych urządzeń obdarzonych sztuczną inteligencją (AI).

Pierwszą próbę w tym zakresie przyniósł unikalny katalog praw robotów autorstwa Issaca Asimova⁶. Katalog ten, czy też karta praw zawierał zaledwie trzy prawa robotów:

- robot nie może skrzywdzić człowieka, ani przez zaniechanie działania dopuścić, aby człowiek doznał krzywdy,
- robot musi być posłuszny rozkazom człowieka, chyba że stoją one w sprzeczności z Pierwszym Prawem,
- robot musi chronić sam siebie, jeśli tylko nie stoi to w sprzeczności z Pierwszym lub Drugim Prawem⁷.

Z czasem dodano do tej karty jeszcze jedno, pierwszorzędne prawo: robot nie może skrzywdzić ludzkości, lub poprzez zaniechanie działania doprowadzić do uszczerbku dla ludzkości.

Nawet tak ograniczony, a zarazem uzupełniony katalog praw budził szereg uwag krytycznych. Stąd zapewne wyrosła próba jego skorygowania, dokonana przez Davida Langforta.

David Langfort sformułował zatem trzy nowe prawa robotów:

- robot nie może działać na szkodę Rządu, któremu służy, ale zlikwiduje wszystkich jego przeciwników,
- robot przestrzegał będzie rozkazów dowódców, z wyjątkiem przypadków, w których będzie to sprzeczne z trzecim prawem,
- robot będzie chronił własną egzystencję za pomocą broni lekkiej, ponieważ robot jest „cholernie drogi”.

Nietrudno dostrzec, że w powyżej przedstawionym katalogu, sformułowanie tych praw miało charakter przynajmniej poniekąd ironiczny czy cyniczny.

Kolejną próbę sformułowania praw robotów podjął Mark Tilden, który także ujął je w trzy zasady:

⁶ Isaac Asimov zawarł te prawa w opowiadaniu *Zabawa w berka (Runaround)*, opublikowanym w 1942 r.

⁷ Te i pozostałe prawa za: http://pl.wikipedia.org/wiki/Etyka_Robot%C3%B3w [stan z 20. 09. 2008].

- robot musi chronić swoją egzystencję za wszelką cenę,
- robot musi otrzymywać i utrzymywać dostęp do źródeł energii,
- robot musi nieprzerwanie poszukiwać coraz lepszych źródeł energii.

W ramach podejmowanych i wzmiankowanych tutaj prób usystematyzowania katalogu uprawnień bądź zobowiązań maszyn obdarzonych sztuczną inteligencją należy z pewnością umieścić teorię przyjaznej AI autorstwa Eliezera Yudkowsky'ego. W teorii tej opisuje się w sposób indykatywny, bądź imperatywny następujące zasady:

- roboty kierują się moralnością i są przyjaźnie nastawione do człowieka,
- roboty staną się odrębną formą życia niezależną od człowieka,
- roboty będą nawet myśleć w odmienny od naszego sposób.

Powyższe zasady i reguły opierają się w sposób aprioryczny na możliwości zaistnienia sztucznej superinteligencji.

Ponadto w teorii tej wskazuje się na odrzucenie założeń psychologii ewolucyjnej – nie jest konieczne, aby sztuczna inteligencja kierowała się w życiu, podobnymi do naszych modelami myślenia. Jeżeli natomiast sztuczna inteligencja osiągnie taki poziom samoświadomości, że będzie w stanie sama siebie programować i ulepszać, to wówczas, w konsekwencji – różnice pomiędzy nią, a nami będą się stale powiększać.

Yudkowsky zauważa ponadto, że nam, ludziom, jako twórcom sztucznej inteligencji powinno zależeć, aby rozwijała się ona od samego początku w oparciu o życzliwe nastawienie do człowieka.

Postulaty formułowane w ten sposób zakładają określone wymagania niezbędne do tego, aby przyjazna AI była efektywna i aby ludzkość była chroniona przed niezamierzonymi konsekwencjami jej działań:

- życzliwość,
- utrzymywanie (konserwowanie) życzliwości,
- inteligencja,
- samodoskonalenie.

Efektem tych postulatów i proponowanych koncepcji „kart praw” robotów jest zacieranie się granicy między prawami człowieka i prawa-

mi maszyn zaopatrzonych w sztuczną inteligencję. Problem nie jest wcale banalny, i to nie tylko ze względu na pojawiające się już praktyczne rozwiązania nadające przywileje robotom, kosztem osób ludzkich. Sednem problemu jest sama koncepcja praw człowieka. Jest to w pewnym sensie koncepcja kontrowersyjna w samej swojej istocie. Można bowiem pytać – dlaczego człowiek, przez sam fakt bycia człowiekiem, z racji samego urodzenia, zostaje obdarzony jakimiś uprawnieniami? Tradycja filozoficzna i teologiczna odpowiadała dotąd dając jedyną możliwą odpowiedź; człowiek jest istotą szczególną i wyróżnioną.

Wyrazem tego przekonania była i pozostaje Powszechna Deklaracja Praw Człowieka z 1948 r., wedle której człowiekowi przysługuje przyrodzona godność, której wyrazem szczególnym jest obdarowanie rozumem i sumieniem. Znamienne jest to, że w Karcie Praw Podstawowych z 2000 r. pozostała godność, ale rozum i sumienie zniknęły. Sugeruje to wyraźnie, że rozum i sumienie, zyskały status kategorii podejrzanych. Redukcja tych kategorii spowodowała już znaczące rozcieńczenie koncepcji człowieka, czego wyrazem stało się charakterystyczne równanie człowieka ze zwierzętami. Przyjmując, że w perspektywie określanej przez roboty o sztucznej inteligencji, stanowiące podmioty praw, człowiek zaciera kolejną granicę różniącą go od świata maszyn, pojawić się może zasadne pytanie – skąd wiadomo, że człowiek ma godność, skoro nie można niczego wiążącego o nim powiedzieć?⁸

Uprzywilejowanie robotów staje się w tej perspektywie zakwestionowaniem oryginalności i odrębności człowieka.

4. ISTOTA SYNTETYCZNEGO GENOMU

Drugim nurtem badań nad sztucznym życiem (obok nurtu zwanego niekiedy „suchym” sztucznym życiem) jest nurt związanym z najogólniej ujmując manipulacjami bądź też ingerencjami w zakresie biologii molekularnej.

⁸ Por. R. Legutko, *Prawo do nieprawości*. Wprost 2005; 8(1160): 54nn.

Znany naukowiec amerykański Craig Venter, po zakończeniu prac z genomem ogłosił niedawno powrót do swojej *idée fixe* – stworzenia nieistniejącego dotąd w przyrodzie organizmu. Idea ta zakłada zbudowanie od zera całego chromosomu bakterii *Mycoplasma genitalium* (w tym organizmie cały genom jest zawarty w jednym chromosomie). W celu naznaczenia tak wytworzonego sztucznie organizmu od naturalnie powstałych, jego twórcy Smith, Venter i in. nazwali je *Mycoplasma JCVI-1.0*.⁹ Oprócz nazwy odróżnili organizm poprzez swoiste „znaki wodne” – specyficzne skręcenia nici w genomie, które określają pochodzenie chromosomu, ale nie wpływają na jego funkcje genetyczne. Wraz z tymi działaniami, zespół wprowadził też znaczące ulepszenie, które polega na zaburzeniu działania genu, który sprawiał, że *Mycoplasma genitalium* jest niebezpieczny dla ssaków.

Nietrudno przypuszczać, że naszkicowane tutaj działania wywołały szereg dyskusji i kontrowersji. Zgodnie podkreśla się, że wytworzony przez zespół biologów – genetyków „minimalny organizm” stanowi kolejny, a zarazem bardzo znaczący krok do stworzenia zupełnie sztucznej bakterii. W praktyce mogłoby to oznaczać możliwość zsyntetyzowania genomu dla określonych bakterii. Te zaś syntetyczne bakterie mogłyby posłużyć w tworzeniu biopaliw czy usuwaniu z atmosfery dwutlenku węgla. Mogłyby też być przydatne w przemyśle farmaceutycznym.

Poczynania zespołu Ventera zdają się wykraczać wszakże poza ramy samej tylko technologii czy użyteczności przemysłowej. Sugestia znacznie szerszego interpretowania osiągnięć biotechnologicznych płynie od samego Ventera, który w wywiadzie w tygodniku *Profil* wyznał, iż „uczciwy naukowiec nie może wierzyć w Boga”. Komentarz do tego wyznania dopowiadał, że nie można pogodzić bezwzględного racjonalizmu nauki z *irracjonalną, nieco magiczną wiarą w Boga*. Nie wnikając

⁹ Por. <http://www.jcvi.org/cms/research/projects/chemical-synthesis-of-the-mycoplasma-genitalium-genome/overview/> [stan z 20.09.2008].

w osobny i rozległy temat relacji rozumu i wiary, warto wszakże zwrócić uwagi na same niejasności „kreacji” nowego życia. Podstawowym pytaniem jest kwestia, czy wytworzony organizm na pewno jest sztucznym życiem, skoro powstał na bazie życia „prawdziwego”? Jest sprawą powszechnie znaną, że w laboratoriach tworzy się wiele mikroorganizmów, które w przyrodzie w tej otrzymanej wersji nie występują. W związku z powyższym jeden z polskich wybitnych genetyków stwierdził: „Nie uważam, żeby dokonanie zespołu Ventera było wielkim dokonaniem naukowym. To po prostu sukces techniczny. Po raz pierwszy udało się zsyntetyzować chemicznie bardzo długi łańcuch DNA. Syntetyzujemy DNA na co dzień: fragmenty genów lub całe geny” (prof. Piotr Węgleński z Instytutu Genetyki i Biotechnologii Uniwersytetu Warszawskiego)¹⁰.

Podstawowym problemem pozostaje zatem samo określenie istoty owego zadziałania. Jednak niejasności w tej kwestii, nie zwalniają z kontrowersji natury filozoficznej i etycznej. Z jednej strony można usłyszeć opinię następującą: „Jeśli nie wchodzi w grę posługiwanie się materiałem genetycznym człowieka, stwarzanie cierpień dla zwierząt ani produkowanie komórek, które mogą stanowić zagrożenie dla życia, to nie ma problemu etycznego. [...] Jest to po prostu ogromne naruszenie wyobraźni, pewne emocjonalne wzburzenie. Ale nie należy tego traktować jako źródła moralnych wątpliwości. Ma to natomiast wiele wspólnego z emocjami” (dr hab. Jan Hartman, Uniwersytet Jagielloński)¹¹.

Z drugiej strony pojawiają się głosy znacznie bardziej wyważone: „... dysponujemy zbyt małą wiedzą, aby w ogóle mówić, czy tworzenie takich organizmów jest bezpieczne. Na pewno trzeba być ostrożnym, bo jeśli w jakiejś kwestii nie dysponujemy prawie żadną wiedzą, a ograniczona jest znajomość nawet tych organizmów, które wyewoluowały

¹⁰ Cyt. za: *Sztuczne życie coraz bliżej?* W: <http://www.polskieradio.pl/nauka/tags/artykul36132.html> [stan z 20. 09. 2008].

¹¹ Cyt. za: *Sztuczne życie o krok. w:* http://www.dziennik.pl/nauka/article55902/Sztuczne_zycie_o_krok.html?service=print [stan z 20. 09. 2008].

naturalnie, to przewidywanie ewentualnych zachowań takich organizmów jest niezwykle trudne” (dr hab. Paweł Łuków, etyk z UW)¹².

Głosy te podprowadzają bezpośrednio pod dyskusję etyczną i sposoby jej argumentacji.

5. Dyskusja etyczna wobec AL

W dyskusji etycznej, jak wskazują przytoczone powyżej głosy argumenty mają w dużej mierze charakter hipotetyczny. Oscylują zarazem wokół zjawisk, które nie są do końca precyzyjnie nazwane i zdefiniowane. To zaś jednoznacznie utrudnia, czy wręcz uniemożliwia racjonalny dyskurs.

W tej sytuacji wydaje się jednak sprawą ważniejszą odślonięcie sposobu argumentacji zwolenników, jak i przeciwników sztucznego życia. Najogólniej mówiąc, podobnie, jak i w innych sporach bioetycznych współczesności (choćby dotyczących klonowania czy wykorzystywania komórek macierzystych) ścierają się w tym miejscu dwa typy argumentacji: deontologiczny i teleologiczny.

Pierwszy z nich, deontologiczny, bywa wpisywany zwłaszcza w tradycję judeochrześcijańską. Odwołuje się, zgodnie ze źródłosłowem do gr. *tò deón*, czyli tego, co jest (moralnie) niezbędne. Kierunek ten zdaje się wskazywać, że istnieją pewne kategorie czynów, które zawsze, niezależnie od intencji, z jaką są podejmowane oraz ich skutków, będą moralnie złe. Ten typ argumentacji jest właściwy różnym typom etyki powinności.

Drugi typ argumentacji to argumentacja teleologiczna. Także wywodzi się z tradycji greckiej, która w tym wypadku pytała o cel lub też dobro działania ludzkiego (gr. *tó tēlos* – koniec, cel). W tej perspektywie argumentacyjnej, cel stanowi *jedyne* kryterium moralnej poprawności konkretnego czynu ludzkiego.

¹² Cyt. za: Sztuczne życie coraz bliżej? W: <http://www.polskieradio.pl/nauka/tags/artyku136132.html> [stan z 20.09.2008]

Jest sprawą wręcz oczywistą, że w sporach bioetycznych naszej współczesności, argumentacja teleologiczna jest zdecydowanie bardziej popularna. Wystarczy spojrzeć na podstawowe typy dowodzenia przydatności i zasadności stosowania na przykład komórek macierzystych dla celów terapeutycznych, by o tym się przekonać. Samo sformułowanie „dla celów” wyraźnie wskazuje przesunięcie akcentu dyskusji z obszaru refleksji nad istotą zagadnienia (czym są owe komórki macierzyste i jaka jest geneza ich pochodzenia) w obszar teleologicznej użyteczności („dla celów”).

Nie powinno zatem dziwić, że w dyskusjach wokół sztucznej inteligencji dominuje wśród jej zwolenników spojrzenie poprzez pryzmat operacyjny. Pozwala on dostrzec, że badania te, a ostatecznie ich zastosowanie stanowią zespół działań mających na celu praktyczne i teoretyczne korzyści, wynikające z prowadzonych badań.

Jednym z bardziej eksponowanych argumentów przemawiających za argumentacją na rzecz sztucznej inteligencji, jest ten, iż badania nad nią wraz z odnoszonymi sukcesami, mogą znacznie poszerzyć zakres ludzkich możliwości poznawczych, a przez to przyczyniają się do rozwiązania wielu trudnych problemów. Przykładem bardziej konkretnym tych rozwiązań mogą być skuteczne operacje medyczne, niemożliwe do przeprowadzenia konwencjonalnymi metodami.

W takiej utylitarno-pragmatycznej perspektywie zostaje niejako zagubiony ideologiczny wymiar Sztucznej Inteligencji, choć, jak pokazują wypowiedzi dotyczące „mokrego” sztucznego życia, autorstwa Craiga Ventura, nie są one bez znaczenia. Prowadzone badania nad sztucznym życiem i sztuczną inteligencją wyrażają, przynajmniej niekiedy i przynajmniej pośrednio, pragnienie stworzenia artefaktu, który pewnymi sprawnościami mógłby nawet przewyższyć człowieka pod względem zdolności intelektualnych.

U podłoża tych tendencji jest między innymi swoiste „unaukowanie” koncepcji umysłu, które obejmuje faktycznie błędne pojęcie rozumienia i równoległe zbyt szerokie pojęcie umysłu. W takiej pers-

pektywie dokonuje się ograniczenie pojęcia myślenia do czynności umysłowych związanych z przetwarzaniem symboli. Zapomina się przy tym, że myślenie to nie tylko manipulacja symbolami, według reguł określających syntaktyczne związki między znakami, ale także rozumienie związków znaczeniowych i związków sensu. W ten sposób dokonuje się wyjście ku rzeczywistości pozaznakowej¹³.

Tymczasem komputer (pojęty tutaj szeroko jako synonim sztucznej inteligencji) jest urządzeniem informacyjnym, pozbawionym relacji semiotycznych i rozumienia intelektualnego. W przeciwieństwie do procesów umysłowych, które mają charakter syntaktyczny – w komputerze nie występują relacje syntaktyczne, nie ma w nim nawet znaków (jeśli się pojawiają – są znakami tylko dla programisty, a nie dla komputera)¹⁴.

Charakterystycznym u zwolenników „unaukowienia” koncepcji umysłu jest przyjęcie funkcjonalistycznej koncepcji myślenia. Proces ten sprzęga się z charakterystycznym brakiem precyzji w rozumieniu osoby ludzkiej, swoistym indyferentyzmem antropologicznym.

W konsekwencji, za funkcjonalistyczną koncepcją myślenia idzie funkcjonalistyczna koncepcja osoby ludzkiej i życia ludzkiego. Oznacza to w praktyce, że pewnym czynnikiem, bliżej nie określonym, przypisuje się wartość „linii granicznej” swoistego i arbitralnego kryterium między życiem jedynie tkankowym a życiem w pełni osobowym. Najczęściej takim kryterium jest świadomość (która może być mylona z „myśleniem”).

Innym problemem jest usytuowanie prowadzonych badań w perspektywie konieczności postępu i autokreacji. W tej perspektywie postuluje się niejednokrotnie wizję człowieka jako „Homo Optimisans Se Ipse”, „Autokreatora” i „Samostwórcę”. Człowiek miałby, wedle tej koncepcji, prawo do decydowania o radykalnym wpływaniu na ludzką

¹³ Por. G. Borawski, *Genealogia i ideologia Sztucznej Inteligencji*, w: <http://www.kognitywistyka.net/artykuly/gb-gsi.pdf> [stan z 20. 09. 2008]

¹⁴ Por. tamże.

naturę, niezależnie zresztą od długoterminowych konsekwencji (w tym miejscu myślenie teleologiczne ujawnia swoją wewnętrzną niespójność – doraźne cele nie uwzględniają celów ponaddoraźnych, jak choćby tego, że w wyniku działań manipulacyjnych ludzkość przyszłości mogłaby się rozpaść na wiele podgatunków).

Postęp i autokreacja pojawiają się tutaj w opozycji do znaczenia naturalnego porządku. O ile w perspektywie teleologicznej, ten porządek naturalny nie ma większego znaczenia, o tyle dla reprezentantów myślenia deontologicznego, wyznacza on granice akceptacji prawa człowieka do ingerowania w naturę, zwłaszcza w naturę ludzką. Trzeba przy tym nadmienić, że „natura” nie jest tutaj pojęciem wyłącznie opisującym, ale jakościowym; jest istotną kategorią filozoficzną, która wyraża pierwszą wewnętrzną zasadę kształtującą dany byt. W ten sposób można stwierdzić, że manipulacje na organizmach żywych, które nie powodują ich nadmiernego bólu, bądź cierpienia, i nie są zagrożeniem dla ludzi (poprzez np. produkcję broni biologicznej) są dozwolone. Natomiast problematycznym stają się działania na komórkach ludzkich.

Oprócz zastrzeżeń związanych z aktualnym stanem wiedzy, pojawiają się pytania wpisane w obszar wątpliwej eugeniki – prób tworzenia nadczłowieka.

Współbrzmia z nim inne kwestie dyskusyjne – czy wyniki prac nad sztucznym życiem i sztuczną inteligencją zostaną wykorzystane do celów pokojowych? Czy na przykład produkowane na zamówienie bakterie będą wykorzystane do stworzenia broni biologicznej?

Nietrudno zauważyć, że tak w dyskusji, jak i kwestiach otwartych przenikają się o oba typy argumentacji i myślenia wartościującego. Jest sprawą wciąż otwartą i wymagającą nowej refleksji filozoficznej (a także teologicznej) zdefiniowanie (redefiniowanie) życia, a w szczególności życia ludzkiego. Kwestiami otwartymi pozostaje też precyzowanie pojęć związanych z relacją świadomości, myślenia, umysłu, inteligencji. Niemniej otwarte pozostają pytania o wykorzystanie zdobyczy w zakresie tworzenia sztucznego życia tak „suchego”, jak i „mokrego”.

REFLEKSJA TEOLOGICZNA WOBEC ZAGADNIENIA „SZTUCZNEGO ŻYCIA”

MARIAN MACHINEK, MSF

Wydział Teologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

Problematyka sztucznego życia (*Artificial Life*) jest na tyle nowa, że próby zmierzenia się z nią pojawiają się w literaturze teologicznej jedynie sporadycznie. Zasadniczo jednak to nie nowość tego zagadnienia jest przyczyną braku opracowań teologicznych na temat sztucznego życia. Chodzi o bardziej zasadnicze pytanie: czy – a jeżeli tak, to w jakim wymiarze i stopniu – problematyka sztucznego życia w ogóle może wchodzić w zakres zainteresowań teologii? Poniższe rozważania będą raczej próbą postawienia właściwych pytań, niż znalezienia ostatecznych i wyczerpujących wyjaśnień i odpowiedzi. Już powierzchowny namysł nad tą problematyką wskazuje na pierwszy punkt przecięcia obydwu dziedzin: jak każde inne świadome i wolne działanie człowieka, tworzenie sztucznego życia znajdzie się w obszarze zainteresowań teologii moralnej, która próbuje dokonać oceny jej godziwości. Problematyka sztucznego życia może jednak sięgać głębiej: do poziomu refleksji z jednej strony dogmatycznej, a z drugiej fundamentalno-antropologicznej. Chodzi o to, jak fenomen sztucznego życia mógłby zostać wpisany w naukę o stworzeniu? Chodzi także o status sztucznego życia, poczynwszy od struktur wirtualnych, poprzez samodzielnie funkcjonujące jestestwa, czy to całkowicie mechaniczne, czy też powiązane ze strukturami żywymi, aż po projekt sztucznej inteligencji (*Artificial Intel-*

ligence) od ludzko-mechanicznych hybryd aż po antropoidalne maszyny. Tropem tych pytań będą podążały poniższe rozważania.

1. CZY OKREŚLENIE „SZTUCZNE ŻYCIE” JEST WŁAŚCIWE?

Ktoś po raz pierwszy skonfrontowany z pytaniem, czy można określić jako *życie* np. genetyczne algorytmy, które umożliwiają komputerową optymalizację problemów matematycznych, wzruszy zapewne ramionami i da jednoznacznie negatywną odpowiedź. Wydaje się jednak, że właśnie od tego pytania powinien się rozpocząć namysł nad tytułowym zagadnieniem. Problem pojawia się bowiem nie dopiero wraz z próbą zdefiniowania sztucznego życia, ale już wtedy, gdy pytamy o definicję życia w ogóle. Chociaż każdy potrafi w zasadzie spontanicznie odróżnić przedmioty żywe od martwych, to jednak wyczerpująca odpowiedź na pytanie o to, czym właściwie jest życie, nie jest już tak prosta. Od zarania dziejów człowiek postrzegał życie jako tajemniczą, manifestującą się w przyrodzie siłę, która nie pozwala się ogarnąć i zdefiniować umysłem, a może być jedynie intuicyjnie doświadczana¹. Fenomen życia był też od najdawniejszych czasów przedmiotem dociekań naukowych, przy czym ściśle rozróżnienie między przyrodą ożywioną i nieożywioną cechuje poszukiwania naukowe dopiero od czasów nowożytnych. We współczesnej refleksji nad zjawiskiem życia spotykają się nauki przyrodnicze i humanistyczne, interesuje ono zarówno filozofię, jak i teologię. Każda z nauk próbuje zdefiniować życie w ramach własnej metodologii, stąd mimo wielowiekowej refleksji nie istnieje ogólnie akceptowana całościowa definicja życia. Dotychczasowe poszukiwania w obszarze nauk przyrodniczych wiążą się z formą życia opartego na podłożu węglowym, jednak teoretycznie można wyobrazić sobie istnienie radykalnie innych jego form. W dyskusji nad sztucznym życiem przywoływane są zazwyczaj definicje

¹ A. Paus, *Leben. III. Religionswissenschaftlich*, [w:] *Lexikon für Theologie und Kirche*, wyd. 3, t. 6, Freiburg-Basel-Rom-Wien 1997, kol. 712.

życia charakterystyczne dla nauk przyrodniczych, bazujące na kilku zasadniczych jego cechach. Należy do nich przemiana materii, zdolność do jakiejś formy replikacji i rozwoju (ewolucji) oraz wchodzenia w relację z otoczeniem². Jak twierdzą konstruktorzy sztucznego życia, ich dzieła spełniają powyższe kryteria. Zdolność duplikacji struktur danych w ramach zdefiniowanych warunków, do jakiej zdolne są tworzone konstrukcje, byłaby formą *reprodukcji*. Można by mówić nawet o reprodukcji „seksualnej”, która polegałaby na kombinacji cech dwóch odrębnych struktur. Usunięcie danych byłoby rodzajem „sztucznej śmierci”. Struktury te posiadają, zdaniem ich konstruktorów, także inną cechę organizmów żywych, mianowicie *ewoluują*. Ewolucja dokonuje się wtedy, gdy poprzez modyfikację warunków pojawia się konieczność selekcji. Między sztucznymi istotami żywymi dokonuje się także *wymiana informacji*, a bardziej zaawansowane formy będą rzekomo zdolne do dokonywania „wolnych” wyborów.

Nieco odmienne problemy wiążą się z próbami zdefiniowania form sztucznego życia tworzonego w oparciu o mieszane biologiczno-mechaniczne podłoże. Są one określane jako „mokre” sztuczne życie w odróżnieniu od czysto mechanicznych form „suchego” sztucznego życia, do którego zalicza się nie tylko różnego typu roboty, ale także wirtualne figury, wizualizowane na ekranie komputera, a wykazujące wyżej wymienione cechy istot żywych.

Czy przedstawione racje są rzeczywiście wystarczające, by mówić o sztucznym życiu? Sztuczne jestestwa spełniają wprawdzie wyznaczone przez nauki przyrodnicze kryteria organizmów żywych, czy jednak same te kryteria rzeczywiście adekwatnie opisują i wyjaśniają

² Warto zauważyć, że zdolność do prokreacji będzie istotna przy rozpatrywaniu życia na poziomie populacji, nie będzie jednak miała żadnego znaczenia w refleksji na poziomie indywiduum, a zatem przy poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie, czy coś jest żywe, czy martwe. Zob. G. von Gunter, *Künstliches und natürliches Leben*, http://www.ifi.uzh.ch/groups/ailab/teaching/semi2000/kuenstl_und_nat_leben.pdf (17.09.2008).

fenomen życia?³ Mimo wzrastającego stopnia skomplikowania, formy określane jako sztuczne życie znacznie ustępują nawet najbardziej nawet prymitywnym żywym organizmom. Jego konstruktorzy twierdzą wprawdzie, że sceptycyzm wobec przyznaniu tworzonemu strukturom statusu istot żyjących płynie z faktu, że ludzkość nie zna do tej pory żadnych form żywych, które nie byłyby zbudowane na podłożu węglowym. Nie można jednak zapominać, że skonstruowane do tej pory formy sztucznego życia nie są niczym innym, jak tylko naśladowaniem znanych biologicznych form życia, a ich „żywołność” jest oceniana w oparciu o kryteria, odnoszące się do biologicznego życia. To właśnie pragnienie studiowania sposobu funkcjonowania istot żywych stało u początku prac nad sztucznym życiem. Mamy więc do czynienia raczej z symulacją (względnie wizualizacją) biologicznego życia, niż z nowego rodzaju „życiem” i to nawet wtedy, gdy sztuczne twory nie są prostym odzwierciedleniem struktur biologicznych, ale uległy przetworzeniu i modyfikacji. Podobieństwa pewnych cech i form funkcjonowania i zachowania nie są w stanie rozwiązać wątpliwości co do tego, czy określenie „sztuczne życie” jest w odniesieniu do nich adekwatne. Można jednak zadać sobie hipotetyczne pytanie: jakie miałyby być odniesienie człowieka do form sztucznego życia, gdyby struktury te rzeczywiście osiągnęłyby stopień skomplikowania, analogiczny do form życia biologicznego? Pytanie to zostanie szerzej omówione w trzeciej części niniejszego przedłożenia

Osobną kwestią, która będzie wymagało pogłębionej refleksji, są próby stworzenia tzw. sztucznej inteligencji. Celem jest tu nie tylko

³ Pod wpływem eksperymentów ze sztucznym życiem pojawiają się też definicje życia posługujące się wyraźnie językiem właściwym dla wytworów techniki: „Life is a property of an ensemble of units that share information coded in a physical substrate and which, in the presence of noise, manages to keep its entropy significantly lower than the maximal entropy of the ensemble, on timescales exceeding the »natural« timescale of *decay* of the (information bearing) substrate by many orders of magnitude” (Ch. Adami, *Introduction to artificial life*, New York 1998, s. 6).

stworzenie „myślących” robotów, które kontaktowałyby się z otoczeniem na tyle, by w zależności od sytuacji optymalizować swoje zachowanie poprzez logiczne rozumowanie, wnioskowanie, uczenie się, planowanie i komunikację, ale takie ich udoskonalenie, aby posiadały cechy i zdolności analogiczne do ludzkich. Przed podjęciem refleksji nad statusem tych tworów warto przyrzeć się filozoficznemu, szczególnie antropologicznemu założeniu, na których opiera się projekt tworzenia sztucznego życia, szczególnie zaś sztucznej inteligencji.

2. IDEOWY WYMIAR PRÓB STWORZENIA MASZYN ANTROPOIDALNYCH

Samo zdefiniowanie pojęcia „życie” dokonuje się zawsze w ramach określonego rozumienia rzeczywistości, a także człowieka. Sztuczne życie można postrzegać nie tylko w kategoriach narzędzia, umożliwiającego poznanie zasad funkcjonowania organizmów biologicznych, czy też w kategoriach tworzenia środków optymalizujących działanie człowieka i umożliwiających mu działanie w warunkach szkodliwych bądź miejscach niedostępnych (np. nanotechnologia). Prace nad sztucznym życiem są niewątpliwie również próbą weryfikacji określonej hipotezy o powstaniu życia. Gdyby człowiekowi udało się stworzyć sztuczne życie, wtedy hipoteza o powstawaniu żywych struktur poprzez dokonujące się w określonych warunkach procesy chemiczne, jak też hipoteza o ewolucyjnym rozwoju życia aż do powstania inteligentnych istot żywych, uzyskałyby większą wiarygodność. Mamy tu zatem do czynienia nie tyle z naukowo udowodnioną wizją świata, bezpośrednio opierającą się na wynikach badań empirycznych, ale raczej ze światopoglądem, który używa wyników tych badań jako potwierdzenia uprzednio przyjętych założeń. Ten sposób postrzegania i całościowego rozumienia rzeczywistości bywa określany jako współczesna forma ontologicznego naturalizmu. Pogląd ten bazuje na założeniu, że za realnie istniejące należy uznać jedynie to, co może zostać zbadane metodami właściwymi naukom empirycznym. Również zjawiska okre-

lane jako niematerialne czy duchowe znajdują w ramach naturalizmu wyczerpujące wyjaśnienie w procesach neurofizjologicznych. Naturalizm wiąże się zazwyczaj z materialistycznym oraz ewolucjonistycznym rozumieniem natury⁴.

Podejście naturalistyczne staje się widoczne szczególnie wtedy, gdy celem prac jest stworzenie tzw. sztucznej inteligencji. Pojęcie „sztuczna inteligencja” należy rozumieć raczej jak hasło niż jako precyzyjny opis, gdyż chodzi o projekt tworzenia sztucznych jestestw, które byłyby nie tylko zdolne do samodzielnego gromadzenia i przetwarzanie danych, uczenia się i optymalizacji swoich zachowań, ale które byłyby samoświadome oraz zdolne do poruszania się w polu odpowiedzialności, czyli wewnętrznym świecie, analogicznym do tego, który tradycyjna refleksja antropologiczna określa mianem ludzkiego ducha. Chodzi zatem o stworzenie antropoidalnych maszyn (*menschengleiche Maschinen*), sztucznych istot ludzkich, będących autonomicznymi agensami (*artificial autonomous agents*)⁵.

⁴ Zob. J. Drumm, *Naturalismus. II. Systematisch-theologisch*, [w:] *Lexikon für Theologie und Kirche*, wyd. 3, t. 7, Freiburg-Basel-Rom-Wien 1998, kol. 672-673; M. Lutz-Bachmann, *Einführung in das Schwerpunktthema: Das Problem des Naturalismus als Herausforderung für die Philosophie*, *Philosophisches Jahrbuch* 114 (2007), s. 395. Bachmann odróżnia ontologiczny (metafizyczny) naturalizm od innych jego form, np. naturalizmu metodycznego (współczesne nauki przyrodnicze są jedynym adekwatnym narzędziem poznania rzeczywistości), analitycznego (intencjonalne zjawiska ludzkiego ducha można wyczerpująco wyrazić za pomocą nieintencjonalnego języka i wyjaśnić za pomocą teorii deskryptywnych) czy etycznego (zjawisko moralności i normy moralne można wyjaśnić i uzasadnić w ramach paradygmatu ewolucyjnego).

⁵ Por. M. Wheeler, *Explaining the Evolved: Homunculi, Module and Internal Representation*, [w:] *Evolutionary Robotics*, red. P. Husbands, J.-A. Meyer, Berlin-Heidelberg 1998. Jak podkreśla P. Dietz, nie sposób porównywać osiągnięć dokonanych na przełomie XX i XXI w. z ubiegłowiecznymi projektami sztucznej inteligencji. Mimo to można zaobserwować pewne zredukowanie wygórowanych oczekiwań, co widać także w słownictwie (np. w określeniu *Computational Intelligence*). Zob. P. Dietz, *Menschengleiche Maschinen. Wahn und Wirklichkeit der künstlichen Intelligenz*, Berlin 2003, s. 218 nn.

Teologia odnosi się oczywiście krytycznie do koncepcji naturalistycznej, uważając ją za skrajnie redukcjonistyczne rozumienie człowieka. Jednak nie brakuje sceptycyzmu wobec prób stworzenia antropoidalnych maszyn w oparciu o paradygmat naturalistyczny również ze strony przedstawicieli nauk empirycznych, przy czym kwestionowana jest sama możliwość ich skonstruowania. Wątpliwości pojawiają się przede wszystkim w odniesieniu do możliwości zbudowania sztucznych struktur neuronalnych, imitujących pracę mózgu. Z racji ekstremalnej nielinearności procesów zachodzących w mózgu pojawi się problem stabilizacji systemu, który miałby go naśladować. Chip który miałby stać się ekwiwalentem jednego neuronu, musiałby być zdolny do analogowego przeliczenia 30-40 tysięcy kontaktów. Biorąc pod uwagę to, że w jednym centymetrze sześciennym kory mózgowej funkcjonuje ok. 40 tysięcy neuronów, a każdy z nich wchodzi w interakcję z 20 tysiącami innych, zamierzenie zbudowania sztucznego mózgu nie wydaje się, przynajmniej na obecnym poziomie wiedzy, wykonalne⁶.

Z punktu widzenia teologii istotne jest jednak inne zastrzeżenie, które również nie wydaje się możliwe do spełnienia. Otóż, by uznać sztucznego antropoida za równy ludzkiej osobie autonomiczny podmiot, musiałby on być zdolny do rzeczywiście wolnych aktów, tzn. takich, które w żaden sposób nie mieściłyby się w gamie zaprogramowanych przez konstruktora możliwości działania. Antropoid ów musiałby się zatem „uwolnić”, wykraczając poza zdeterminowane swoją konstrukcją możliwości działania⁷. Niektórzy zwolennicy prac nad

⁶ Por. S. Rose, *The biology of the future and the future of biology*, Perspectiv. Biol. Med. 2001; 44(4): 477-478. Por. także: *Wir benötigen den neuronalen Code. Ein monotones Faszinosum: Müssen die Ingenieure vor der Komplexität des Gehirns kapitulieren? Ein Gespräch mit Wolf Singer*, Frankfurter Allgem. Zeit. z 24 sierpnia 2000 r., s. 51.

⁷ Oczywiście również wolność, jaka cechuje istoty ludzkie nie oznacza całkowitej niezależności. Nie istnieje absolutna wolność od czynników determinujących. Jednak mimo szeregu uwarunkowań, człowiek (cieszący się zdrowiem psychicznym) jest na tyle wolny, by można było przypisać mu odpowiedzialność za jego czyny.

„ludzkimi maszynami” nie widzą powodu dla tak daleko idącego sceptycyzmu. Zadaniem konstruktora będzie, jak twierdzą, jedynie przekroczenie pewnego krytycznego poziomu skomplikowania tworzonych struktur, za którym będą one nie tylko „żyły własnym życiem”, ale dokonywały samodzielnych decyzji, których nie będzie można przewidywać⁸. Nowa jakość ma powstać zatem niejako samorzutnie, gdy nagromadzenie cech ilościowych osiągnie pewien krytyczny próg. Wtedy też, w odniesieniu do sztucznych antropoidów można będzie odnieść stwierdzenie, które stosuje się do istot ludzkich: całość jest czymś więcej niż tylko sumą pojedynczych części.

Z perspektywy naturalistycznej kwestię tę należy zatem sformułować zupełnie odwrotnie: to nie antropoidalne maszyny muszą osiągnąć poziom ludzkiego ducha, ale to ludzki duch nie jest niczym innym, jak tylko zwykłym wytworem procesów zachodzących w biologicznej maszynie – ludzkim mózgu. Świat przeżyć duchowych, w tym także iluzja wolnego działania, nie jest w gruncie rzeczy niczym innym, jak tylko efektem procesów biochemicznych i bioelektrycznej aktywności mózgu. Nawet najgłębsze osobowe doznania są po prostu projekcją wytwarzaną przez połączenia neuronalne. Również charakterystyczna dla człowieka samoświadomość⁹ pozostaje jedynie ubocznym skutkiem strategicznych procesów mózgowych. Jeżeli takie jest pochodzenie aktów duchowych, to wystarczy zbudować system, który będzie naśladował owe biochemiczne procesy, a po jego uruchomieniu będziemy

⁸ Pogląd taki bywa prezentowany w bardzo sugestywny sposób. Jeden z najbardziej wpływowych amerykańskich teoretyków nauki, Ray Kurzweil (*The Age of Spiritual Machines. When Computers Exceed Human Intelligence*, New York 1999) twierdzi, że maszyny same przekonają nas, że mają świadomość. Zob. *Die Maschinen werden und davon überzeugen, dass sie Menschen sind. Ein Gespräch mit Ray Kurzweil*, Frankfurter Allgem. Zeit. z 5 lipca 2000 r., s. 52.

⁹ Chodzi o samoświadomość która można by określić jako diachroniczną, obejmującą nie tylko chwilę obecną (jestem), ale także wspomnienia przeszłości (byłem) oraz zamierzenia odnoszące się do przyszłości (będę).

mieli do czynienia ze strukturą, która będzie miała złudzenie wolności, na tej samej zasadzie, na której takie złudzenie pojawia się w ludzkim mózgu. Jako dowód potwierdzający naturalne podłoże ludzkiej wolności przywołuje się często dokonany w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku przez Benjamina Libeta eksperyment, który miał dowieść, że akt woli prowadzący do podjęcia działania (np. ruchu ręką) zostaje poprzedzony możliwą do zarejestrowania przy pomocy EEG zmianą aktywności mózgowej (tzw. potencjałem przygotowawczym)¹⁰. Wolne decyzje byłyby zatem w rzeczywistości zdeterminowane przez procesy neuronalne. Eksperymenty Libeta, przez niego samego zresztą o wiele ostrożniej komentowane, niż przez innych badaczy, spotkały się z silną krytyką odnoszącą się do zastosowanej w eksperymencie metodologii badawczej. Szczególnie podważa się prawomocność porównywania prostych czynności, do jakich należy ruch ręki do o wiele bardziej złożonych wolnych decyzji osoby¹¹. Kwestionuje się także interpretację mierzanego potencjału przygotowawczego jako *przyczyny* samych aktów woli.

Jest oczywiste, że prezentowany przez naturalistów postulat, by teologia i filozofia odeszły od traktowania ludzkiej świadomości i wolności jako przymiotów duchowych, a zajęły się raczej studiowaniem „języka neuronów” (F. Crick) oraz by dokonać reinterpretacji etyki w świetle neurobiologii, jest ze strony teologicznej nie do przyjęcia¹². Natura-

¹⁰ B. Libet, *Haben wir einen freien Willen?*, [w:] *Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente*, red. C. Geyer, Frankfurt am Main 2004: 268-289.

¹¹ Wnioski z eksperymentów Libeta analizuje W Löffler, *Neurowissenschaften und Ethik: Was müssen wir neu (be-)denken*, Zeitschr. Med. Ethik 2006; 52: 85-87.

¹² G. Rager, *Bewusstsein und Person in Wissenschaft und Lebenswelt*, [w:] *Bewusstsein und Person*, red. G. Rager, A. Holderegger, Neurobiologie, Philosophie und Theologie im Gespräch, Freiburg-Wien 2000: 21. Zastanawiający jest jeszcze inny aspekt prac nad sztuczną inteligencją. Jest nim pogłębienie postkartezjańskiego rozziemu między sferą myślową a cielesną człowieka. Ciało (w tym wypadku mózg) bywa postrzegane już nie tylko jako biologiczna przyczyna procesów myślowych, ale jako element drugorzędny, wymienny, a nawet jako przeszkoda do dalszego rozwoju

listyczna wizja człowieczeństwa jest przykładem materialistycznej, a co za tym idzie – deterministycznej koncepcji osoby, która – jak dotąd – pozostaje jedynie nie zweryfikowaną hipotezą. Nie oznacza to jednak, że same osiągnięcia neurobiologii, są dla refleksji teologicznej bez znaczenia. Klasyczne antropologiczne pytanie o relację duszy i ciała (*Leib-Seele-Problem*) staje się coraz bardziej problemem relacji ducha i mózgu (*Geist-Gehirn-Problem*). Nauki przyrodnicze, szczególnie neurobiologia, ukazują bowiem ścisły związek uwarunkowań biologicznych i aktów osobowych. Te ostatnie mogą być modyfikowane, zaburzone czy wręcz uniemożliwione poprzez defekty czy niedorozwój sieci neuronalnych. Ludzki duch „wpisany” jest w ludzką cielesność i to w o wiele większym stopniu, niż są to gotowe przyjąć dualistyczne koncepcje proveniencji kartezjańskiej. Antropologia teologiczna musi krytycznie przemyśleć niektóre zbyt proste rozróżnienia między aktami wolnymi i świadomymi a fizjologią ludzkiego ciała. Jeżeli twierdzi się, że osoba wyraża się w ciele i poprzez ciało, to nie może to oznaczać dualizmu. Oparta na poglądach św. Tomasza z Akwinu klasyczna koncepcja osoby jako substancjalnej, cielesno-duchowej jedności może okazać się koherentna z wynikami badań empirycznych, według których struktury i procesy neuronalne są istotnie powiązane z ludzką samoświadomością i wolnym działaniem¹³. Jednak powiązanie to wcale nie musi oznaczać, że akty duchowe są po prostu wynikiem procesów biochemicznych. Co za tym idzie oczekiwanie, że pojawią się samorzutnie, gdy tylko uda się zbudować analogiczne do mózgu struktury, jest dla teologii pozbawione sensu.

W tym miejscu trzeba by właściwie zakończyć debatę nad teologicznymi reperkusjami prac nad sztuczną inteligencją. Poniższa kontynu-

gatunku ludzkiego. Por. K. Wiegerling, *Der überflüssige Leib. Utopien der Informations- und Kommunikationstechnologien*, Concilium 2002; 38: 124-133.

¹³ Por. C. Breuer, *Können wir, wie wir wollen? Oder wollen wir, was wir müssen? Anmerkungen zur Debatte um die Hirnforschung*, *Die neue Ordnung* 2005; 59: 358-359.

acja tej debaty będzie już w zasadzie formą myślowego eksperymentu, w ramach którego teolog daje się zaprosić do świata zbudowanego na logice naturalistycznej. Punktem wyjścia będzie pytanie: gdyby mimo wszystko założyć, że dojdzie kiedyś do skonstruowania antropoidalnych maszyn, z jakimi teologicznymi problemami należałoby się wtedy zmierzyć? Abstrahując, z racji rozmiarów niniejszego przedłożenia i kompetencji jego autora, od konsekwencji w zakresie teologii dogmatycznej, a szczególnie nauki o stworzeniu świata i człowieka oraz konsekwencji w zakresie chrześcijańskiej antropologii¹⁴, warto wskazać na szereg pytań o charakterze teologiczno-moralnym. Byłoby to najpierw pytanie o status moralny sztucznego życia, a szczególnie sztucznych antropoidów. Istotne byłoby także pytanie o godziwość ich wytwarzania. Należałoby także rozważyć pytanie, które towarzyszy każdej działalności człowieka, mającej wpływ na środowisko: czy człowiek jest w stanie wziąć na siebie odpowiedzialność za skutki interakcji stworzonego przez siebie sztucznego życia z naturalnym środowiskiem, zwłaszcza gdy chodzi o struktury biologiczno-mechaniczne.

3. ASPEKTY TEOLOGICZNO-MORALNE WOKÓŁ WYTWARZANIA SZTUCZNEGO ŻYCIA ORAZ MASZYN ANTROPOIDALNYCH

Najłatwiejszą wydaje się odpowiedź na postawione wyżej pytania w odniesieniu do tzw. „suchego” sztucznego życia, które w dodatku istnieje jedynie w sposób wirtualny¹⁵. Mamy tutaj bowiem do czynienia

¹⁴ W zakresie antropologii chrześcijańskiej pojawiłoby się na pewno pytanie o rozumienie duszy.

¹⁵ Warto w tym miejscu wspomnieć, że przymiotnik *virtualis* jest dziełem średniowiecznych teologów i pierwotnie wiązał się z pojęciem *virtus*. Pochodzi ono od słowa *vir* (mąż) i oznaczało to, co należy do mężczyzny, jego zalety, „cnota”. W średniowiecznym języku teologicznym używano pojęcia *virtualis* także w kontekście pojęcia *vis* (siła, władza): „wirtualna” była jakaś całość, która składa się z działających sił, bądź też pewna potencjalność, której istnienie nie jest dla każdego dostępne. Za

w zasadzie z wizualizacją programu komputerowego któremu trudno przyznać jakiś specjalny status. Gdyby – przy całej różnicy obydwu rzeczywistości – przyrównać taki sztuczny program do kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA), który jest nośnikiem informacji, niezbędnej do budowy i funkcjonowania wszystkich znanych form życia biologicznego, to należy stwierdzić, że również w tym wypadku nie można mówić o jakimś specjalnym statusie pojedynczych cząsteczek DNA, zarówno pochodzenia zwierzęcego, jak i ludzkiego¹⁶.

Na pierwszy rzut oka inaczej przedstawia się kwestia form sztucznego życia, które osiągnęłyby możliwości analogiczne do tych, jakie posiadają zwierzęta. Oczywiście również tu można by uznać, że mamy do czynienia jedynie z ludzkimi *wytworami*, które nie posiadają żadnej

pomocą pojęcia *virtualis* niektórzy teologowie średniowieczni wyjaśniali obecność Chrystusa w Eucharystii: podczas gdy w niebie jest On obecny na sposób naturalny (*modo naturali*), w wielu innych miejscach w Postaciach Eucharystycznych jest obecny poprzez swoją moc (*modo virtuali*). Używane współcześnie w języku komputerowym określenie „wirtualny” ma nieco odmienne znaczenie, chociaż pobrzmiewa w nim aspekt potencjalności. Zob. P. Roth, *Virtualis als Sprachschöpfung mittelalterlicher Theologen*, [w:] *Die Anwesenheit der Abwesenden. Theologische Annäherungen an Begriff und Phänomen von Virtualität*, red. P. Roth, S. Schreiber, S. Siemens, Augsburg 2000: 33-41.

¹⁶ Teologiczno-moralne zastrzeżenia wobec ingerencji w genetyczne dziedzictwo człowieka nie pochodzą ze swoistej „diwinizacji” DNA, ale z faktu, że informacja w nim zawarta wyznacza biologiczne ramy wolności i samostanowienia i każda ingerencja byłaby jednoznaczna z niedopuszczalną predeterminacją. Tak też należy rozumieć wypowiedź papieża Jana Pawła II dotyczącą statusu ludzkiego DNA: „Głębsza refleksja antropologiczna prowadzi nas bowiem do przekonania, że ze względu na istotową jedność ciała i ducha ludzki genom ma nie tylko wymiar biologiczny, ale jest wyposażony w godność antropologiczną, osadzoną na fundamencie duszy duchowej, która go przenika i ożywia. Dlatego niedopuszczalne są jakiegokolwiek interwencje w genom, których celem nie jest dobro osoby, rozumianej jako jedność ciała i ducha” (Jan Paweł II, *Badania nad genomem ludzkim. Przemówienie do uczestników IV Zgromadzenia Plenarnego Papieskiej Akademii* „Pro Vita”, 24 II 1998, [w:] *W trosce o życie. Wybrane dokumenty Stolicy Apostolskiej*, red. K. Szczygiel, Tarnów 1998: 297).

wsobnej wartości, poza znaczeniem użytkowym, estetycznym, czy historycznym. Gdyby jednak obstawać przy określeniu sztucznych stworów jako *życia*, można by przyznać im status analogiczny do statusu zwierząt. Pojawiają się tu jednak pewne istotne wątpliwości. Na czym opiera się status zwierząt, rozumiany jako powinność odmiennego ich traktowania, niż to, które cechuje odniesienie człowieka do świata rzeczy? Teologia chrześcijańska uznaje wprawdzie wsobną wartość przyrody, ale jednocześnie dostrzega jakościową różnicę między wartością zwierząt z jednej oraz istot ludzkich z drugiej strony. Mimo podporządkowanego statusu świata zwierząt, już samo ich istnienie w tak znacznej różnorodności form jest wartością, którą należy chronić. Poszanowanie tej wartości, którą zwykło się określać jako *bioróżnorodność*, nie prowadzi jednak, przynajmniej w kontekście etyki chrześcijańskiej, do powinności ochrony każdego osobnika, chyba, że chodzi o gatunki szczególnie zagrożone wyginięciem. Teologicznym wariantem tego argumentu jest uznanie samego istnienia zwierząt jako aktu czci Stwórcy, z czego wynika powinność poszanowania zwierząt ze strony człowieka. Powinność tę formułuje katechizm Kościoła Katolickiego, domagając się religijnego szacunku dla integralności stworzenia: „Zwierzęta są stworzeniami Bożymi [...]. Przez samo swoje istnienie błogosławią Go i oddają Mu chwałę”¹⁷. Z aspektem bioróżnorodności wiąże się także powinność respektowania przez człowieka naturalnych potrzeb zwierząt i zapewnienia także tym, które człowiek udomawia i wykorzystuje jako pokarm, warunków życia odpowiednich dla danego gatunku. Brak tych warunków bywa określany jako dręczenie zwierząt i zasługuje na moralne potępienie. Powinność ochrony świata istot żywych należy widzieć także w kontekście *dobra przyszłych pokoleń*. Etyka chrześcijańska dopuszcza możliwość korzystania przez człowieka z zasobów naturalnych, w tym również ze świata pozaludzkich istot żywych, wskazując jednak przy tym, że zachowanie bogactwa form i och-

¹⁷ *Katechizm Kościoła Katolickiego*, nr 2416.

rona środowiska jest obowiązkiem moralnym wobec przyszłych generacji¹⁸. Usiłując uzasadnić status zwierząt, należy także wskazać na aspekt, który dotyczy już nie tylko świata zwierząt jako całości, ale każdego pojedynczego osobnika. Chodzi o troskę o minimalizację bólu, jaki może być rezultatem ingerencji człowieka. Wszystkie wymienione aspekty, uzasadniające powinność szacunku dla pozaludzkich istot żywych trudno byłoby odnieść do sztucznego życia.

Znacznie bardziej skomplikowana będzie odpowiedź o status „sztucznej inteligencji”. Jak już wyżej wspomniano, problem stałby się jakościowo nowy wtedy, gdyby skonstruowane zostały sztuczne jestestwa o stopniu skomplikowania analogicznym do tego, jaki cechuje istotę ludzką. Gdyby doszło kiedyś do wyprodukowania stworzonych przez człowieka atropoidalnych maszyn, czy zasady i standardy etyczne regulujące wzajemne odniesienia ludzi powinny odnosić się także do nich? Entuzjaści tego typu projektów, jak np. amerykańscy naukowcy Marvin Minsky czy też Rodney Brooks, odpowiedzieliby na to pytanie zapewne twierdząco. Argumentacja opierałaby się zapewne o perspektywę historyczną. Zakres obowiązywania norm moralnych powiększał się wraz z rozwojem świadomości i wrażliwości człowieka. O ile na początku obejmował jedynie członków własnego klanu, pewnej grupy (ludzi wolnych w odróżnieniu od niewolników, czy też obywateli rzymskich w odróżnieniu od barbarzyńców), to wraz z rozwojem moralnym krąg ten został poszerzony na całą ludzkość, a w niektórych koncepcjach (np. u Alberta Schweitzera) objął całą ożywioną przyrodę¹⁹. Tak, jak np. status klonów, gdyby mimo zakazu istoty takie pojawiłyby się na świecie, nie odbiegałby od statusu naturalnie (bądź przez zapłodnienie *in vitro*) poczętych ludzi, tak również antropoidalne

¹⁸ Zob. *Katechizm Kościoła Katolickiego*, nr. 2415. Stąd też katechizm omawia powinność ochrony świata roślin i zwierząt w kontekście VII przykazania Dekalogu „Nie kradnij”.

¹⁹ Por. P. Dietz, *Menschengleiche Maschinen*. s. 240-245.

maszyny wykazujące cechy osobowe, trzeba by uznać na równe ludziom i chronione prawami człowieka. Można by tu na zasadzie dalszej analogii przywołać wypowiedź Roberta Spaemanna: „I gdyby we wszechświecie znalazły się inne gatunki naturalne, które są ożywione, mające czujące wnętrze i których dorosłe egzemplarze dysponują zazwyczaj racjonalnością i samowiedzą, wówczas nie tylko te, ale wszystkie egzemplarze tego gatunku musielibyśmy uznać za osoby, a zatem za osoby musielibyśmy na przykład uznać być może wszystkie delfiny”²⁰.

Wraz ze stwierdzeniem, że status humanoidalnych maszyn powinien być analogiczny do statusu osobowego ludzi, pojawia się jednak paradoksalnie nowy problem natury moralnej. Skoro bowiem oczekujemy, że efektem zabiegów technicznych będzie humanoidalna maszyna, czy wolno nam ją w ogóle tworzyć? Pytanie o skutki świadomych i wolnych działań człowieka pozostaje jednym z istotnych kryteriów oceny ich moralnej dopuszczalności, jednak w tym miejscu nie chodzi w pierwszej linii o obiekty wynikające z obaw o możliwe negatywne skutki interakcji takich struktur z istotami ludzkimi²¹. Chodzi o pytanie o adekwatne odniesienie do istot, które, by posłużyć się pojęciami kantowskimi, mają nie tylko swoją cenę (wartość przeliczalną), ale także swoją godność (nieprzeliczalną wartość wsobną). Już sam zamiar tworzenia takich jestestw musi być określony jako moralnie niedopuszczalny. Jeszcze raz należy w tym miejscu przywołać analogię do

²⁰ R. Spaemann, *Osoby. O różnicy między czymś a kimś*, tłum. J. Merecki, Warszawa 2001: 305.

²¹ Zakładając, że wcześniej czy później w realnym świecie ludzi pojawią się sztuczne jestestwa o cechach i możliwościach analogicznych do osób ludzkich, Kaspar von Gunten stawia retoryczne pytanie: „Można sobie wyobrazić, co mogłoby się stać, gdyby stworzone przez nas istoty miały podobną do naszej mentalność i kulturę”. Zawarte w tym zdaniu obawy prowadzą autora do wniosku, że skoro tylko pojawiłaby się możliwość skonstruowania takich istot, należałoby zaprzestać badań, bo w przeciwnym razie ludzkości grozi zagłada. Por. K. von Gunter, *Künstliches und natürliches Leben*, s. 10.

projektu klonowania reprodukcyjnego ludzi²². Uzasadnienie moralnej niedopuszczalności klonowania reprodukcyjnego, tzn. dążenia do stworzenia ludzi będących (prawie identycznymi) genetycznymi kopiami już istniejących istot ludzkich, bazuje na tym, że próba taka narusza biologiczne ramy decydujące o przyszłej przestrzeni wolności sklonowanej istoty. By mogła czuć się wolna w moralnym tego słowa znaczeniu, nie wolno naruszać jej prawa do naturalnego rozwoju i nieplanowanego przez nikogo kształtu wyposażenia genetycznego. „Genetyczna ruletka”, której wynikiem jest utworzenie unikalnego genotypu, może być traktowana jako przestrzeń ochronna ludzkiej godności²³. Dzięki niej genetyczna tożsamość człowieka nie jest przez nikogo zaplanowana. Obydwa te fundamentalne prawa: do naturalnego rozwoju (*Naturwüchsigkeit*) oraz do przypadkowości genetycznych uwarunkowań, w ramach których człowiek rozwija swoją duchową tożsamość, byłyby w analogiczny sposób naruszone w przypadku sztucznych struktur humanoidalnych, gdyż byłyby to z konieczności struktury całkowicie predeterminowane przez ich twórców. Pozytywna odpowiedź na pytanie o quasi-osobowy status antropoidalnych wiązałaby się ze sformułowaniem moralnego zakazu ich produkcji.

Nie sposób w tym miejscu nie nawiązać do jeszcze jednej kwestii. W odniesieniu do niektórych przedsięwzięć współczesnej nauki formułowany bywa zarzut, który wydaje się być klasycznym zarzutem teologii wobec nauk empirycznych, mianowicie zarzut „zabawy w Boga” (*playing God*). Czy w niepowstrzymanym parciu ludzkiego rozumu ku poznaniu i przekształcaniu rzeczywistości, którego przejawem jest

²² Sugestię tę zawdzięczam prof. Eberhardowi Schockenhoffowi.

²³ Wprawdzie to, że gamety rozrodcze pochodzą od konkretnej kobiety i konkretnego mężczyzny, stanowi niewątpliwie czynnik determinujący biologiczne cechy potomstwa, jednak nawet gdyby wszystkie komórki jajowe jednej kobiety zostały zapłodnione plemnikami tego samego mężczyzny, prawdopodobieństwo utworzenia dwóch takich samych genotypów jest równe zeru. Ostatecznie więc konkretny kształt wyposażenia genetycznego jest wynikiem przypadku.

także próba konstruowania sztucznych antropoidów, człowiek nie osiąga granicy, której nie powinien przekraczać, nie naruszając obszaru zakazanej dla niego wiedzy, co miałoby być obrazą Stwórcy? Oczywiście tak sformułowany, zarzut ten nie jest w stanie ostać się w ogniu krytyki. Bazuje on bowiem na infantylnym obrazie Boga, który, stworzywszy myślącego i wolnego człowieka, zaczyna mieć kłopoty ze swoim stworzeniem, gdyż ono nie chce zaakceptować wytyczonych mu granic. Stwórca formułuje wprawdzie surowy zakaz przekraczania granic, ale okazuje się bezsilny wobec prometejskich zapędów najdoskonalszego ze stworzeń. Nic dziwnego, że takie wyobrażenia spotykają się z głośnym sprzeciwem, szczególnie ze strony tych ludzi nauki, którzy – by użyć określenia Jürgena Habermasa – są „religijnie nie-muzykalni”²⁴. W głosach krytyki mocno pobrzmiewa zarzut obskurantyzmu, ograniczania postępu, blokowania ludzkiej wiedzy, a nawet przypisywanie religii winy za to, że ludzkość nie może w pełni wykorzystać potencjału umysłu. Bóg, który stracił kontrolę nad swoim stworzeniem i nie potrafi okiełznać zbyt samodzielnego człowieka – to nie jest Bóg Biblii, a co najwyżej Zeus z platońskiego dialogu *Uczta*, który nakazuje rozpołowienie hermafrodytycznego, kulistego (a więc doskonałego) człowieka, który zagraża jego boskim kompetencjom²⁵.

Mimo to zarzut „zabawy w Boga” w kontekście prac nad sztucznym życiem może być uzasadniony. Nie ulega wątpliwości, że sam projekt tworzenia sztucznego życia w formie wirtualnej czy quasi-zwierzęcej, o ile tylko zmierza do powiększenia zakresu ludzkiej wiedzy i spełnia wymogi odpowiedzialnego działania, z punktu widzenia teologii moralnej nie nastrocza większych problemów i trudno odnieść do niego powyższy zarzut. Inaczej przedstawia się kwestia tworzenia maszyn humanoidalnych. Uzurpacja prerogatyw Boga polega tu właś-

²⁴ J. Habermas, *Glauben und Wissen. Die Rede des diesjährigen Friedenspreisträgers des deutschen Buchhandels*, Frankfurter Allgemeine Zeitung, z 15 października 2001, s. 9.

²⁵ Platon, *Uczta*, 189-191.

nie na próbie określenia strukturalnych uwarunkowań działania istot, w stosunku do których oczekuje się, że będą poruszać się w przestrzeni odpowiedzialności. Można założyć, że jednym z istotnych pytań, jakie humanoidalna maszyna zadałaby swojemu ludzkiemu twórcy, byłoby pytanie: „Dlaczego stworzyłeś mnie właśnie *taką*?”. W momencie, w którym człowiek chciałby określać się (w tym wypadku sztucznych) uwarunkowań, na których miałyby się opierać wolne działania humanoidalnych maszyn, zaczęłyby odgrywać rolę, jaka w religiach świata przypisywana jest Bogu. Zasadnicza różnica polega jednak na tym, że Boga religii cechuje wszechwiedza i wszechogarniająca miłość, podczas gdy człowiek, aspirujący do roli kreatora, pozostaje ograniczonym stworzeniem, którego wewnętrzny świat, obok zdolności do heroicznego poświęcenia kryje w sobie także zdolność do skrajnego okrucieństwa i totalnej destrukcji. Tworzone przez niego dzieła byłyby z konieczności tworzone „na obraz i podobieństwo” swoich konstruktorów, z tym, że ich „stworcy” pozostaną na zawsze dalecy od doskonałości²⁶. Może więc, zanim humanoidalne maszyny zaczną zadawać nam pytania, na które nie znajdziemy zadowalającej odpowiedzi, warto zapytać o to, czy wolno i czy należy robić wszystko, co wydaje się technicznie możliwe?

²⁶ Oczywiście inaczej przedstawiałaby się kwestia zabawy w Boga, gdyby rozumieć ją w kategoriach metafizyki. W pewnym sensie można mówić tu o uprawomocnionej zabawie w Boga, przy czym nie chodzi o Boga rozumianego jako Stwórcę, ale o Boga poznającego. Metafizyk poszukuje takiego sposobu poznania który jest właściwy Bogu. W ten sposób pojmowali swoje dociekania Platon, Pseudo-Dionizy Areopagita, w czasach nowożytnych Kartezjusz, a w filozofii współczesnej H. Bergson, a nawet E. Husserl.

ISBN 978-83-7314-039-4