

„Stworzenie życia” w ujęciu biologii syntetycznej – nowe wyzwanie bioetyczne

Wprowadzenie

Dokonane w minionych kilkunastu latach postępy technologii sztucznego życia są nowym źródłem dylematów i wyzwań bioetycznych. Dołączają one do żywo już diskutowanych kwestii pokrewnych, takich jak: sztuczne zapłodnienie, wykorzystywanie embrionalnych komórek macierzystych, próby klonowania organizmu ludzkiego, cyborgizacja zmierzająca do wytworzenia tzw. post-człowieka czy nawet sztuczne przedłużanie życia. U naukowych podstaw tych technologii leżą m.in. coraz głębsze poznawanie genomów licznych organizmów, a także próby uzyskania sztucznych genomów. W 2010 roku otrzymano po raz pierwszy sztuczną komórkę bakteryjną w wyniku syntetycznych reakcji chemicznych. Sukces ten okrzyknięto jako stworzenie sztucznego życia¹, gdyż – jak głoszono – „po raz pierwszy w historii świata człowiek własnoręcznie podjął się dzieła stworzenia”. Mało dotychczas znana i teoretyczna w gruncie rzeczy kwestia sztucznego życia wyszła z zacisza laboratoryjnego, uzyskując szersze znaczenie: medyczne, ekologiczne, społeczne, polityczne, militarne etc. Wywołała ona szereg interesujących dyskusji, oświadczeń medialnych i zainicjowała nowe badania naukowe oraz refleksje filozoficzne. Niniejszy artykuł ma na celu zwrócenie uwagi bioetyków na zagadnienie syntetycznego życia i aspektów etycznych² związanych z jego badaniami. Przedstawię przegląd niektórych ważniejszych prac dotyczących problemowego tła „stworzenia życia” w ujęciu biologii syntetycznej. Podkreślę ryzyko tkwiące w możliwych zastosowaniach tej nowej dziedziny nauki dla bezpieczeństwa czło-

¹ Na przykład F.M. Cohan, *Synthetic biology: Now that we're creators, what should we create?* „Current Biology” 20 (2010), No. 16, s. R675–R677; F. Rana, *Creating Life in the Lab: How New Discoveries in Synthetic Biology Make a Case for the Creator*, Grand Rapids, MI 2011. Ze względu na ograniczone miejsce podaję jedynie przykładowe referencje literaturowe.

² Kwestia syntetycznego życia jest jeszcze nieobecna w obszernej, bo przecież 5-tomowej encyklopedii bioetyki z 2004 roku (S.G. Post ed., *Encyclopedia of Bioethics*, 3rd ed., New York 2004), choć być może już jest w zapowiadanej czwartej edycji tej encyklopedii. Inna natomiast wielotomowa encyklopedia etyki uwzględniła ten problem (M.J. Selgelid, *Synthetic life sciences*, w: H. LaFollette ed., *The International Encyclopedia of Ethics*, Vol. 8, Chichester 2013, s. 5108–5112).

wieka. Wspomnę także o powstającej od niedawna etyce biologii syntetycznej jako nowym obszarze refleksji bioetycznej nad tym tzw. sztucznym życiem.

Czym jest biologia syntetyczna?

Biologia syntetyczna³ jako nowa dziedzina interdyscyplinarna⁴ wyrosła z twórczego połączenia kilku innych nauk o życiu, takich jak: biologia molekularna, biochemia, inżynieria genetyczna, syntetyczna chemia organiczna, bioinformatyka czy tzw. sztuczne życie. Biologia syntetyczna jest przede wszystkim sztuką projektowania i konstruowania nowych systemów biologicznych, które nie istnieją w przyrodzie, oraz modyfikowania dotychczas istniejących biosystemów tak, aby zrozumieć mechanizmy leżące u ich podstaw. Konstruowanie to dokonuje się w myśl ogólnej zasady: „To, co umiem zbudować, mogę zrozumieć”⁵. Na trzech poziomach biologii syntetycznej (części, urządzenia, systemy) dominują zasady racjonalnej inżynierii⁶. W perspektywie chodzi o otrzymywanie całkowicie sztucznych organizmów żywych.

Głównym założeniem biologii syntetycznej jest rozwijanie i wykorzystywanie narzędzi inżynierskich do kontroli procesów wewnątrzkomórkowych przy użyciu części dobrze scharakteryzowanych i pełniących określone funkcje. Biologia syntetyczna opiera się na trzech podstawach, dzięki którym dane zagadnienie, niezależnie od stopnia złożoności, może być dokładnie i wieloaspektowo rozpracowane. Są nimi: „standaryzacja” – umożliwiająca ujednolicone tworzenie i opisywanie elementów biologicznych, „rozprzęganie” – polegające na przydziale specjalistom poszczególnych wycinków badań i łączeniu wyników w spójną całość, oraz „abstrahowanie” – polegające na rozpatrywaniu danego problemu na różnych stopniach złożoności⁷.

³ Termin wprowadził genetyk Wacław Szybalski w 1974 roku (S.A. Benner, Z. Yang, F. Chen, *Synthetic biology, tinkering biology, and artificial biology. What are we learning?*, „Comptes Rendus Chimie” 14 (2011), No. 4, s. 372–387; E. Łojkowska, S. Kosiedowski, Wacław Szybalski: *Lwów, Gdańsk, Madison – Life of scientist and philanthropist*, „Gene” 525 (2013), No. 2, s. 155–157). Główne czasopismo specjalistyczne tej dziedziny pt. „Systems and Synthetic Biology”, wychodzące od 2007 roku, wydaje Springer – P.K. Dhar, R. Weiss, *Enabling the new biology of the 21st century*, „Systems and Synthetic Biology” 1 (2007), No. 1, s. 1–2.

⁴ U. Krohs, M.A. Bedau, *Interdisciplinary interconnections in synthetic biology*, „Biological Theory” 8 (2013), No. 4, s. 313–317; A. Delgado, M. Porcar, *Designing de novo: interdisciplinary debates in synthetic biology*, „Systems and Synthetic Biology” 7 (2013), No. 1–2, s. 41–50; M. Gross, *What exactly is synthetic biology?*, „Current Biology” 21 (2011), No. 16, s. R611–R614.

⁵ E. Jankowska, K. Szczepaniak, D. Sabat, *Biologia syntetyczna: budowanie funkcjonalnych układów ze standaryzowanych części*, „Studia i Materiały Informatyki Stosowanej” 5 (2013), nr 10, s. 22–27.

⁶ B. Giese, S. Koenigstein, H. Wigger, J.C. Schmidt, A. von Gleich, *Rational engineering principles in synthetic biology: A framework for quantitative analysis and an initial assessment*, „Biological Theory” 8 (2013), nr 4, s. 324–333.

⁷ J.M. Lesiak, R. Stachowiak, J. Bielecki, *Biologia syntetyczna jako nowa, aplikacyjna dziedzina nauk ścisłych*, „Postępy Mikrobiologii” 49 (2010), nr 4, s. 233–237.

Duże znaczenie w biologii syntetycznej ma modelowanie dynamiki biosystemów przy pomocy metod matematycznych. Jednakże wraz ze wzrostem złożoności modelowanego układu i liczby wpływających na niego czynników zewnętrznych, wzrastają również złożoność obliczeniowa symulacji⁸ i stopień nieprzewidywalności zachowania się tego układu. Mimo to można odtwarzać podstawowe procesy wewnątrzkomórkowe (transkrypcja, translacja etc.), jak również przewidywać wiele nowych cech projektowanych biosystemów. Możliwe stały się coraz bardziej zaawansowane manipulacje zarówno składnikami organizmów, jak i syntetycznymi białkami, lipidami, kwasami nukleinowymi, które wprowadzone ponownie do organizmu funkcjonują tak dobrze jak „naturalne”. Dzięki tego rodzaju sposobom, zmodyfikowanym mikroorganizmom nadaje się niezwykle zdolności, np. produkowania złożonych substancji będących składnikami leków, pochłaniania jonów metali ciężkich ze ścieków etc.

Główne sukcesy biologii syntetycznej wiążą się z uzyskiwaniem prostych replikatorów syntetycznych⁹ oraz wypracowaniem skutecznych technik¹⁰ syntezy genów *de novo* (syntetyczna genomika¹¹), np. całego genomu wirusa polio czy bakteriofaga Φ-X174¹². Tego rodzaju sztuczny genom wprowadzony do odpowiednich komórek namnaża się, czyli produkuje nowe cząstki wirusowe. Można w ten sposób tworzyć wirusy nieistniejące w przyrodzie lub odtwarzać już prawie „wymarłe”. Na przykład odtworzono genom wirusa grypy (tzw. hiszpanki), która w latach 1918–1919 spowodowała chorobę u około 25–30% światowej populacji i zgon ponad 40 mln ludzi¹³.

Biologią syntetyczną zajmuje się na świecie wiele ośrodków naukowych i technicznych, w wiodącymi w tej dziedzinie Uniwersytetem Kalifornijskim w Berkeley i MIT¹⁴. Biologia syntetyczna ma liczne oblicza i strategie mało jeszcze

⁸ K. Friedrich, *Digital 'faces' of synthetic biology*, „Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences” 44 (2013), No. 2, s. 217–224; G. Gramelsberger, *The simulation approach in synthetic biology*, „Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences” 44 (2013), No. 2, s. 150–157.

⁹ P. Stano, G. Rampioni, P. Carrara, L. Damiano, L. Leoni, P.L. Luisi, *Semi-synthetic minimal cells as a tool for biochemical ICT*, „BioSystems” 109 (2012), No. 1, s. 24–34; P. Stano, *Synthetic biology of minimal living cells: primitive cell models and semi-synthetic cells*, „Systems and Synthetic Biology” 4 (2010), No. 3, s. 149–156.

¹⁰ Będących zresztą przedmiotem patentów – D. van Doren, S. Koenigstein, T. Reiss, *The development of synthetic biology: a patent analysis*, „Systems and Synthetic Biology” 7 (2013), No. 4, s. 209–220.

¹¹ P.K. Gupta, V. Jaiswal, *Synthetic genomics: from synthesis of prokaryotic genomes to synthesis of a fully functional eukaryotic chromosome*, „Current Science” 107 (2014), No. 12, s. 1975–1982.

¹² E. Wimmer, S. Mueller, T.M. Tumpey, J.K. Taubenberger, *Synthetic viruses: a new opportunity to understand and prevent viral disease*, „Nature Biotechnology” 27 (2009), No. 12, s. 1163–1172.

¹³ Genom tego wirusa odtworzono z zamrożonych tkanek płuc ofiar tej epidemii i uzyskano zdolne do infekcji wirusy. Są one bardzo zjadliwe – J.K. Taubenberger, *The origin and virulence of the 1918 “Spanish” influenza virus*, „Proceedings of the American Philosophical Society” 150 (2006), No. 1, s. 86–112.

¹⁴ Zob. wykazy i powiązania dotyczące licznych instytucji badawczych i autorów oraz najbardziej cytowanych prac, np. w artykule: P. Oldham, S. Hall, G. Burton, *Synthetic biology: Mapping the scientific*

wyraźne i słabo zaawansowane. Najbardziej jednak wyróżniającą cechą biologii syntetycznej jest jej bycie „syntetyczną”¹⁵.

Sztuczne życie czy syntetyczny materiał biologiczny?

Próby sztucznego stworzenia życia nie raz były marzeniem i zuchwałą pokusą dla ludzi, którzy uzurpowali sobie działania przynależne tylko samemu Bogu (homunkulus, golem, Frankenstein)¹⁶. W czasach współczesnych spełnienie tego marzenia stało się celem interdyscyplinarnej dziedziny naukowej zwanej sztucznym życiem. Termin „sztuczne życie”, który rozpowszechnił się dopiero w późnych latach osiemdziesiątych XX wieku, wywodzi się z dziedziny informatyki nazywanej sztuczną inteligencją. Celem badań nad sztucznym życiem jest wykorzystanie zasad występujących w naturalnym życiu do tworzenia innych możliwych rodzajów życia¹⁷. Początkowo badacze zajmujący się sztucznym życiem opracowywali programy komputerowe do tworzenia symulacji i innych cyfrowych konstrukcji ujmujących fenomen życia biologicznego. Zajmowano się również konstrukcją maszyn z rozwiniętą sztuczną inteligencją i ze zdolnością do samopowieliania,¹⁸ by wreszcie sięgnąć do tworzenia sztucznych protosystemów żywych¹⁹ ze składników organicznych w warunkach laboratoryjnych. W konstruowaniu syntetycznych protokomórek wykorzystuje się zarówno tzw. podejście oddolne (*bottom-up*), wychodzące od molekularnych bloków budulcowych ku bardziej złożonym biosystemom, jak i tzw. podejście odgórne (*top-down*), wychodzące od komórek żywych i stopniowo redukujące ich genom. Otrzymuje się w ten sposób trzy rodzaje protokomórek: 1. samo-zachowujące swój stan i niereplikujące się, 2. replikujące

landscape, „PLoS ONE” 7 (2012), No. 4, e34368. Rozwojem biologii syntetycznej interesuje się również polityka nauki – E. Frow, J. Calvert, *Opening up the future(s) of synthetic biology*, „Futures” 48 (2013), s. 32–43.

¹⁵ C. Malaterre, *Synthetic biology and synthetic knowledge*, „Biological Theory” 8 (2013), No. 4, s. 346–356.

¹⁶ J. Schummer, *The creation of life in cultural context: From spontaneous generation to synthetic biology*, w: M.A. Bedau, E.C. Parke (eds.), *The Ethics of Protocells: Moral and Social Implications of Creating Life in the Laboratory*, Cambridge, MA–London 2009, s. 125–142.

¹⁷ J. Riskin (ed.), *Genesis Redux: Essays in the History and Philosophy of Artificial Life*, Chicago–London 2007; J. Johnston, *The Allure of Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*, Cambridge, MA–London 2008; H. Sayama, J. Rieffel, S. Risi, R. Doursat, H. Lipson (ed.), *Artificial Life 14: Proceedings of the Fourteenth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, Cambridge, MA 2014. Dostępny w Internecie: <http://mitpress.mit.edu/books/artificial-life-14> [dostęp: 21.01.2015].

¹⁸ R.A. Freitas (Jr.), R.C. Merkle, *Kinematic Self-Replicating Machines*, Georgetown, TX 2004.

¹⁹ R.V. Solé, A. Munteanu, C. Rodriguez-Caso, J. Macía, *Synthetic protocell biology: from reproduction to computation*, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences” 362 (2007), s. 1727–1739; S. Rasmussen, M.A. Bedau, L. Chen, D. Deamer, D.C. Krakauer, N.H. Packard, P.F. Stadler (eds.), *Protocells: Bridging Nonliving and Living Matter*, Cambridge, MA, London 2008; C. Adami, D.M. Bryson, C. Ofria, R.T. Pennock (eds.), *Artificial Life 13: Proceedings of the Thirteenth International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems*, Cambridge, MA 2012.

się, ale nie ewoluujące i 3. protokomórki zdolne do rozwoju. Kolejnym etapem coraz bardziej zaawansowanych badań są próby tworzenia syntetycznego życia biochemicznego, właśnie w laboratoriach biologii syntetycznej.

Stwarzanie życia jest w biologii syntetycznej rozumiane pragmatycznie i redukcjonistycznie oraz na sposób emergentystyczny²⁰. Unikając odpowiedzi na filozoficzne w gruncie rzeczy pytanie o istotę życia, badacze dążą do zrealizowania w jakimś systemie fizycznym warunków koniecznych i wystarczających do ukazania się przejawów życia. Wystarcza im więc, by system fizyczny uważać za żywy wówczas, gdy przekształca on zewnętrzną materię lub energię w wewnętrznym procesie samo-podtrzymywania i samo-generacji²¹.

Wyjątkowo doniosłe w powyższym kontekście okazały się synteza genomu bakteryjnego i wytworzenie sztucznej bakterii, której nadano nazwę *Mycoplasma mycoides*. Co w tym wypadku zsyntetyzowano w laboratorium? Sztuczny organizm żywy czy syntetyczny materiał biologiczny? W gruncie rzeczy odtworzono jeden z bardzo ważnych wyróżników życia, jakim jest informacja genetyczna na nośniku kwasu nukleinowego. Do tego, by ta informacja stała się funkcjonalna, musi być przecież jeszcze pozostała część komórki, i to wystarczająco podobnej do komórki wyjściowej. I tak w istocie było ze wspomnianą *Mycoplasma mycoides*. Została wytworzona w wyniku syntetycznych reakcji chemicznych, tj. jej genom, liczący zaledwie 485 genów, został zsyntetyzowany chemicznie. Ta nowa prokariotyczna komórka metabolizuje i namnaża się, a więc wykazuje wspomniane przejawy życia.

Wytworzenia nowego gatunku mikroorganizmu podjął się zespół badaczy pod kierunkiem Johna Craiga Ventera. Dokonano tego w następujących etapach. Najpierw zsekwencjonowano genom jednego z najmniejszych organizmów komórkowych, tj. bakterii *Mycoplasma genitalium*²². Następnie odtworzono sekwencję nukleotydową poprzez łączenie poszczególnych zasad azotowych w nić DNA²³, a więc syntetycznie odtworzono proces, który w naturze zachodzi wewnątrz komórki żywej dzięki całemu systemowi enzymów, białek i innych rodzajów molekuł, i to w sposób genetycznie zaprogramowany. Taki materiał genetyczny kopiuje się i komórka ulega podziałowi. Otóż Venter i jego współpracownicy

²⁰ E.F. Keller, *Creating "real life"*, w: M.A. Bedau, C.E. Cleland (eds.), *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*, Cambridge–New York 2010, s. 289–294.

²¹ P.L. Luisi, *The Emergence of Life: From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge 2006, s. 26.

²² C.M. Fraser, J.D. Gocayne, O. White, M.D. Adams, R.A. Clayton, R.D. Fleischmann, C.J. Bult, A.R. Kerlavage, G. Sutton, J.M. Kelley, J.L. Fritchman, J.F. Weidman, K.V. Small, M. Sandusky, J. Fuhrmann, D. Nguyen, T.R. Utterback, D.M. Saudek, C.A. Phillips, J.M. Merrick, J.-F. Tomb, B.A. Dougherty, K.F. Bott, P.-C. Hu, T.S. Lucier, S.N. Peterson, H.O. Smith, C.A. Hutchison (III), J.C. Venter, *The minimal gene complement of Mycoplasma genitalium*, „Science” 270 (1995), No. 5235, s. 397–403.

²³ D.G. Gibson, G.A. Benders, C. Andrews-Pfannkoch, E.A. Denisova, H. Baden-Tillson, J. Zaveri, T.B. Stockwell, A. Brownley, D.W. Thomas, M.A. Algire, C. Merryman, L. Young, V.N. Noskov, J.I. Glass, J.C. Venter, C.A. Hutchison (III), H.O. Smith, *Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a Mycoplasma genitalium genome*, „Science” 319 (2008), No. 5867, s. 1215–1220.

stworzyli biosystem posiadający sztucznie zbudowany materiał genetyczny, który wprowadzili do „opakowania”, jakim była komórka wcześniej opróżniona z jej własnego DNA. Do roli „opakowania” wybrano komórkę *Mycoplasma capricola*, gdyż posiadała taki sam system rozpoznawania DNA (w pewnym sensie analogiczny do systemu zgodności tkankowej u ludzi). W efekcie powstał nowy organizm, który zaczął się namnażać w sztucznych warunkach, gdyż procesy w nim przebiegające zależały całkowicie od informacji genetycznej zawartej w sztucznym DNA. Ponadto cechy komórek potomnych były już zapisywane na sztucznym DNA. Fakty te badacze uznali za potwierdzenie istnienia funkcji życiowych nowego gatunku organizmu²⁴.

W biologii syntetycznej zatem przyjmuje się koncepcję życia jako pewnego produktu technologicznego²⁵.

W kierunku etyki biologii syntetycznej i sztucznego życia

Możliwość konstruowania i syntetyzowania genomów i tworzenia gatunków organizmów, nieistniejących wcześniej na Ziemi, a o przewidywalnych i pożądanym cechach, jest ważną zdobyczą współczesnej nauki, otwierającą niezwykle możliwości praktyczne dla rozwoju: medycyny, przemysłu, ochrony środowiska człowieka etc. Niemniej, podobnie jak z wieloma wynalazkami (takimi jak: proch, silnik spalinowy itd.), to od człowieka zależy, których cech on pożąda i w jakim celu.

Czy niektóre sztuczne wytwory biologii syntetycznej są bezpieczne dla nas? Nie sposób zignorować tego pytania, gdyż znane są już bardzo liczne naturalne, chorobotwórcze i bardzo zjadliwe wirusy i bakterie oraz toksyny. Ogromne koszty ich produkcji przecież nie zniechęcają militarystów i terrorystów do ich zbrodniczego wykorzystania. Powstawanie nowych broni biologicznych jest zapewne całkiem realne, jak również ich użycie w przyszłych wojnach.

Jakie znaczenie moralne mają zamiary badaczy rozwijających biologię syntetyczną i skutki ich wysiłków? Czy już same próby zsyntetyzowania sztucznego życia są dwuznaczne etycznie, czy dopiero tworzenie organizmów niebezpiecznych dla człowieka lub całej biosfery? Czy manipulowanie organizmami żywymi pociąga za sobą naruszanie tzw. naturalnego porządku? Czy powinna istnieć jakaś

²⁴ D.G. Gibson, J.I. Glass, C. Lartigue, V.N. Noskov, R.-Y. Chuang, M.A. Algire, G.A. Benders, M.G. Montague, L. Ma, M.M. Moodie, C. Merryman, S. Vashee, R. Krishnakumar, N. Assad-Garcia, C. Andrews-Pfannkoch, E.A. Denisova, L. Young, Z.-Q. Qi, T.H. Segall-Shapiro, C.H. Calvey, P.P. Parmar, C.A. Hutchison (III), H.O. Smith, J.C. Venter, *Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome*, „Science” 329 (2010), No. 5987, s. 52–56.

²⁵ J. Boldt, *Life as a technological product: Philosophical and ethical aspects of synthetic biology*, „Biological Theory” 8 (2013), No. 4, s. 391–401; A. Deplazes-Zemp, *The conception of life in synthetic biology*, „Science and Engineering Ethics” 18 (2012), No. 4, s. 757–774. Na temat natury życia zob. Section III. *Artificial Life and Synthetic Biology* w książce: M.A. Bedau, C.E. Cleland (eds.), *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*, Cambridge–New York 2010, s. 217–294.

nieprzekraczalna granica ingerencji w przyrodę ożywioną? Analogiczne problemy bioetyczne dotyczą również poczynañ badawczych i technologicznych w innych dziedzinach. Debaty etyczne na temat biologii syntetycznej²⁶ są coraz częściej podejmowane, mają one bowiem znaczenie nie tylko poznawcze, ale i polityczne²⁷.

Podsumowanie

Znaczenie laboratoryjnej syntezy bakterii *Mycoplasma mycoides* jest potencjalnie ogromne, być może, że na miarę – dokonanej przez Friedricha Wöhlera w 1828 roku – syntezy mocznika, która przyczyniła się do obalenia na długie lata doktryny *vis vitalis*. Współczesna synteza już otworzyła nowe i nieznane perspektywy. Jednakże nie jest to jeszcze stworzenie życia²⁸ *de novo* poprzez syntezę całkowitą, tj. wychodzącą od naturalnych pierwiastków chemicznych lub związków nieorganicznych, nie wspominając już o tzw. materii pierwszej²⁹. Zamiana genomów trochę przypomina głośną kiedyś transplantację polegającą na zamianie głów małpom, dokonaną przez neurochirurga Roberta J. White’a. Wydaje się, że problematyka etyki biologii syntetycznej i sztucznego życia jest na tyle interesująca i ważka poznawczo, iż powinna zostać szeroko i wyczerpująco przebadana i opracowana w postaci obszernej monografii, której niestety jeszcze brakuje w języku polskim, oraz spopularyzowana społecznie stosownie do swego znaczenia.

²⁶ G.E. Kaebnick, T.H. Murray (eds.), *Synthetic Biology and Morality: Artificial Life and the Bounds of Nature*, Cambridge, MA–London 2013; H.-J. Link, *Playing God and the intrinsic value of life: Moral problems for synthetic biology?*, „Science and Engineering Ethics” 19 (2013), No. 2, s. 435–448; B. Bensaude Vincent, *Ethical perspectives on synthetic biology*, „Biological Theory” 8 (2013), No. 4, s. 368–375; T. Douglas, R. Powell, J. Savulescu, *Is the creation of artificial life morally significant?*, „Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences” 44 (2013), No. 4, s. 688–696; A. Gutmann, *The ethics of synthetic biology: Guiding principles for emerging technologies*, „Hastings Center Report” 41 (2011), No. 4, s. 17–22.

²⁷ D. Stermerding, V. Rerimassie, *Ethics Debates on Synthetic Biology in the EU*, 2013 July, Report: Global Ethics in Science & Technology (GEST), Deliverable 5.1; D. Stermerding, V. Rerimassie, R. Srinivas, W. Zhang, *Ethics Debates on Synthetic Biology in the Three Regions*, 2014 February, Report: Global Ethics in Science & Technology (GEST), Deliverable 5.2.

²⁸ Kwestia rozumienia pojęcia „stworzenie życia” i teologiczny aspekt biologii syntetycznej są również podejmowane w rozważaniach: R. Rheeder, *Synthetic biology ethically evaluated: The creating God and co-creating human*, „In Die Skriflig” 48 (2014), No. 1, Art. #723 (9 pp.); P. Heavey, *The place of God in synthetic biology: how will the Catholic Church respond?*, „Bioethics” 27 (2013), No. 1, s. 36–47; P. Dabrock, *Playing God? Synthetic biology as a theological and ethical challenge*, „Systems and Synthetic Biology” 3 (2009), No. 1–4, s. 47–54.

²⁹ Na temat niektórych zagadnień filozoficznych, tkwiących w biologii syntetycznej lub stojących o jej podstaw, zob. m. A. Bedau, *Weak emergence drives the science, epistemology, and metaphysics of synthetic biology*, „Biological Theory” 8 (2013), No. 4, s. 334–45; A. Grunwald, *Responsible Nanobiotechnology: Philosophy and Ethics*, Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2012; G. Gramelsberger, T. Knuuttila, A. Gelfert, *Philosophical perspectives on synthetic biology*, „Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences” 44 (2013), No. 2, s. 119–121; inne artykuły w No. 2 (Vol. 44) tego periodyku.

Veritas *in caritate*

Księga pamiątkowa
ku czci Księdza Profesora
Andrzeja Szostka MIC

Redakcja
o. Marcin Tkaczyk
Marzena Krupa
ks. Krzysztof Jaworski

Wydawnictwo KUL
Lublin 2016