

MARIAN WNUK

*Katedra Filozofii Biologii
Wydział Filozofii KUL, Lublin*

KWANT ŻYCIA - HIPOTEZY NA TEMAT ELEMENTARNEJ JEDNOSTKI ŻYCIA

1. Uwagi wstępne. 2. Elementarna jednostka życia i minimalny organizm.
3. Minimalny genom. 4. Systemy samo-replikujące się, minimalna komórka syntetyczna, minimalny system żywy etc. 5. Uwagi końcowe.

1. UWAGI WSTĘPNE

Charakterystyczną cechą wielu prac Ks. Profesora Mieczysława Lubańskiego jest systemowo-informacyjne podejście do zarówno rzeczywistości, jak i do badań naukowych. Terminy „informacja” i „system” są dla Dostojnego Jubilata nowymi kategoriami filozoficznymi, które stanowią dobrą bazę pojęciową dla całościowego ujmowania problematyki z zakresu filozofii przyrody i filozofii przyrodoznawstwa. Wśród Jego licznych dokonań¹ są również prace poświęcone zagadnieniom antropologii systemowej, biofilozofii, ekologii i bioelektroniki. Lubański, analizując na przykład zastosowania teorii systemów w biologii oraz tematykę dotyczącą istoty materii żywej i procesów informacyjnych w biosystemach, podejmuje bioelektroniczną interpretację życia, a w szczególności kwantową teorię życia². Próbując mianowicie zestawić bioelektronikę z teorią regulonów i tzw. matematyką substancjalną, dochodzi do wniosku, że aspekty kwantowy i cybernetyczno-regulonowy

¹Zob. np. A. Latawiec, A. Lemańska, S. W. Ślaga, *Poglądy filozoficzne profesora Mieczysława Lubańskiego*, Studia Philosophiae Christianae 30(1994)2, 5-64.

²Lubański nawiązuje do prac W. Sedlaka. Zob. rozprawę na temat poglądów Sedlaka: S. Kajta, *Włodzimierza Sedlaka kwantowa teoria życia*, w: *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody*, t. 12, red. M. Lubański, S. W. Ślaga, ATK, Warszawa 1991.

stanowią komplementarne modele dające pełniejszy obraz zjawisk życiowych³.

W nawiązaniu do tego nurtu poznawczego reprezentowanego przez Jubilata chciałbym w niniejszym artykule poruszyć problematykę tzw. elementarnej jednostki życia („kwantu życia” - metafora użyta przez W. Sedlaka⁴). Problem ten ma znaczenie nie tylko dla biofilozofii⁵ czy biologii teoretycznej⁶, ale również - protobiologii⁷.

2. ELEMENTARNA JEDNOSTKA ŻYCIA I MINIMALNY ORGANIZM

Terminy, takie jak: „elementarna jednostka życia”, „biosystem elementarny”, „minimalny system żywy”, „minimalna protokomórka”, „kwant życia” itp., o znaczeniach zbliżonych lub tożsamy, pojawiły się w kontekście badań nad genezą życia i pograniczem między materią żywą a nieożywioną. Do tego pogranicza należą na przykład wirusy czy priony, których status przynależności do świata żywego nadal nie jest jednoznacznie rozstrzygnięty⁸, bowiem za elementarną jednostkę życia uważa się nadal komórkę.

W czasach przed A. van Leeuwenhoekiem (1632-1723) i jego mikroskopem ówczesny świat naukowy wypowiadał się niczym wyrocznia: „żadne żywe stworzenie nie może być mniejsze niż roztoc” (0,1-0,5 mm). Przez długi czas za najmniejsze organizmy uważano *Prokaryota* - od gigantycznych (widzialnych okiem nieuzbrojonym) bakterii siarkowych *Thiomargarita namibiensis* (o średnicy 750 μm) do *Thermodiscus sp.* (o rozmiarze 0,2 μm). Wartość 0,2 μm jest poniekąd arbitralnym dogmatem bakteriologicznym, gdyż stanowi granicę

³ M. Lubański, *Życie w ujęciu bioelektroniki i teorii regulonów*, w: *Z zagadnień filozofii przyrodzności i filozofii przyrody*, t. 13, red. M. Lubański, S. W. Ślaga, AKT, Warszawa 1991, 91-118.

⁴ W. Sedlak, *Homo electronicus*, PIW, Warszawa 1980, 59. S. Kajta, art. cyt., 200.

⁵ M. Mahner, M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Springer, Berlin 1997, 146.

⁶ Biologia teoretyczna, pretendując do nauki ścisłej, powinna opierać się na abstrakcyjnych (lub teoretycznych) modelach obejmujących elementarne biosystemy minimalne; sądzi się bowiem, że modele systemów minimalnych umożliwiają dokładne ujęcie i opis ilościowy nowych cech jakościowych, które pojawiają się w takim systemie. Zob. np. T. Ganti, *The essence of living state*, w: *Defining Life: The Central Problem in Theoretical Biology*, red. M. Rizzotti, University of Padova, Padova 1996, 103-117.

⁷ Zob. np. *Self-Production of Supramolecular Structures - From Synthetic Structures to Models of Minimal Living Systems*, red. G. R. Fleischaker, S. Colonna, P. L. Luisi, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1994; W. Ługowski, *Filozoficzne podstawy protobiologii*, Wyd. IFiS PAN, Warszawa 1995.

⁸ Zob. np. J. Lapiński, *Problem umiejscowienia prionów w obszarze pogranicza życia*, *Roczniki Filozoficzne* 51(2003)3, 303-323.

rozdzielczości mikroskopu optycznego, jak również granicę przepuszczalności filtrów laboratoryjnych, jakie były dostępne w latach 50-tych minionego już wieku. Objętość zatem komórek prokariotycznych może obejmować bardzo szeroki zakres, bo aż ponad 10 rzędów wielkości: od poniżej 0,01 μm^3 w wypadku najmniejszych - do 200.000.000 μm^3 dla największych⁹. Jednakże wraz z odkryciem nanobakterii¹⁰ istotnym stał się problem, czy istnieje wreszcie jakaś granica minimalnych rozmiarów obiektu żywego. Nanobakterie mają typową średnicę już tylko w zakresie 0,04-0,2 μm ¹¹, chociaż są i większe, na przykład hipertermofilna i anaerobowa komórka *Nanoarchaeum equitans* (ok. 0,4 μm), o objętości równej zaledwie 1% komórki *Escherichia coli*, posiada najmniejszy znany dziś genom (490 kb)¹².

Jeżeli istnieje wspomniana powyżej granica minimalnych rozmiarów ultramikroorganizmów, to czy w ogóle możliwe jest jej określenie. Próby odpowiedzi na to pytanie idą w różnych kierunkach: (a) poprzez badania mające na celu obliczenie wielkości minimalnego genomu¹³, tj. liczby genów koniecznych i wystarczają-

⁹ H. N. Schulz, B. B. Jørgensen, *Big bacteria*, *Annual Review of Microbiology* 55(2001), 105-137.

¹⁰ Zwanych również nannobakteriami, ultramikroorganizmami lub nanobami; zob. np. R. L. Folk, *SEM imaging of bacteria and nannobacteria in carbonate sediments and rocks*, *Journal of Sedimentary Petrology* 63(1993)5, 990-999; H. Huber, M. J. Hohn, K. O. Stetter, R. Rachel, *The phylum Nanoarchaeota: Present knowledge and future perspectives of a unique form of life*, *Research in Microbiology* 154(2003)3, 165-171. E. O. Kajander, I. Kuronen, K. Akerman, A. Pelttari, N. Ciftcioglu, *Nanobacteria from blood, the smallest culturable autonomously replicating agent on Earth*, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (1997), no. 3111, 420-428. V. Nanjundiah, *The smallest form of life yet?*, *Journal of Biosciences* 25(2000)1, 9-10. A. P. Sommer, A.-M. Pretorius, E. O. Kajander, U. Oron, *Biomineralization induced by stressed nanobacteria*, *Crystal Growth and Design* 4(2004)1, 45-46.

¹¹ Przyjmuje się także mniejsze rozmiary i szerszy zakres: 0,025-0,3 μm (np. R. L. Folk, art. cyt., 990-999). Jednakże wąpi się również, by struktury o tak małych rozmiarach (tj. poniżej 0,2 μm) były żywymi komórkami, uznając raczej za typowe dla nanobakterii: 0,2-0,5 μm , zob. np. J. T. Trevors, R. Psenner, *From self-assembly of life to present-day bacteria: a possible role for nanocells*, *FEMS Microbiology Reviews* 25(2001)5, 573-582. E. O. Kajander, N. Ciftcioglu, *Nanobacteria: an alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95 (1998) 14, 8274-8279.

¹² kb - tysiący par zasad. H. Huber, M. J. Hohn, K. O. Stetter, R. Rachel, art. cyt., 165-171.

¹³ M. Itaya, *An estimation of minimal genome size required for life*, *FEBS Letters* 362(1995)3, 257-260; J. Maniloff, *The minimal Cell genome: „On being the right size”*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93(1996)19, 10004-10006; A. R. Mushegian, E. V. Koonin, *A minimal gene set for cellular life derived by comparison of complete bacterial genomes*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93(1996), 10268-10273; A. Mu-

cych do kodowania syntezy niezbędnych biomolekuł i funkcji, (b) doświadczalne próby stworzenia minimalnego genomu¹⁴, samo-replikującego się systemu¹⁵ lub minimalnej komórki syntetycznej¹⁶, (c) poprzez określanie niejako *a priori* właściwości minimalnego systemu żywego w świetle rozmaitych definicji życia¹⁷.

shagian, *The minimal genome concept*, Current Opinion in Genetics and Development 9(1999)6, 709-714; M. Dassain, A. Leroy, L. Colosetti, S. Carole, J. P. Bouche, *A new essential gene of the 'minimal genome' affecting cell division*, Biochimie 81(1999)8-9, 889-895; E. V. Koonin, *How many genes can make a Cell: The minimal-gene-set concept*, Annual Review of Genomics and Human Genetics 1(2000), 99-116; S. Islas, A. Becerra, P. L. Luisi, A. Lazcano, *Comparative genomics and the gene complement of a minimal Cell*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 34(2004), 243-256.

¹⁴Na razie są to tylko marzenia, których realizacja być może dokona się w niezbyt odległej przyszłości. Może dlatego zamierzenie takie wzbudza już obawy etyczne. Zob. np. M. K. Cho, D. Magnus, A. L. Caplan, D. McGee, *Policy forum: genetics. Ethical considerations in synthesizing a minimal genome*, Science 286(1999)5447, 2087 i 2089-2090.

¹⁵J. M. Quayle, A. M. Z. Slawin, D. Philp, *A structurally simple minimal self-replicating system*, Tetrahedron Letters 43(2002)40, 7229-7233. D. H. Lee, J. R. Granja, J. A. Martinez, K. Severin, M. R. Ghadiri, *A self-replicating peptide*, Nature 382(1996)6591, 525-528. D. Sievers, T. Achilles, J. Burmeister, S. Jordan, A. Terfort, G. von Kiedrowski, *Molecular replication: from minimal to complex systems*, w: *Self-Production of Supramolecular Structures*, dz. cyt., 45-64; P. L. Luisi, F. J. Varela, *Self-replicating micelles - A chemical version of a minimal autopoietic system*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 19(1989)6, 633-644; N. Lahav, *The synthesis of primitive 'living' forms: definitions, goals, strategies and evolution synthesizers*, Origins of Life 16(1985)2, 129-149.

¹⁶E. Lozneau, M. Sandulovicu, *Minimal-cell system created in laboratory by self-organization*, Chaos, Solitons and Fractals 18(2003)2, 335-343; P. L. Luisi, *Toward the engineering of minimal living cells*, Anatomical Record 268(2002)3, 208-214; T. Oberholzer, R. Wiek, P. L. Luisi, C. K. Biebricher, *Enzymatic RNA replication in self-reproducing vesicles: An approach to a minimal cell*, Biochemical and Biophysical Research Communications 207(1995)1, 250-257; P. L. Luisi, P. Walde, T. Oberholzer, *Enzymatic RNA synthesis in self-reproducing vesicles: an approach to the construction of a minimal synthetic cell*, Berichte der Bunsen Gesellschaft für Physikalische Chemie - an International Journal of Physical Chemistry 98(1994)9, 1160-1165.

¹⁷E. Ernst, *Elementary biological units: biocomplexes and organoids*, Acta Biochimica et Biophysica Academiae Scientiarum Hungaricae 12(1977)4, 423-425; T. Gánti, *A Theory of Biochemical Supersystems and Its Application to Problems of Natural and Artificial Biogenesis*, Akadémiai. Kiadó, Budapest 1979; H. J. Morowitz, B. Heinz, D. W. Deamer, *The chemical logic of a minimum protocell*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 18(1988)3, 281-287; M. Muthukumar, *Structure and dynamics of charged macromolecules: Minimal representation of biological systems*, Prana - Journal of Physics 53(1999)1, 171-197; J. Oró, A. Lazcano, *A minimal living system and the origin of a protocell*, Advances in Space Science 4(1984)12, 167-176; J. Schneider, *A model for a non-chemical form of life: Crystalline physiology*, Origins of Life 8(1977)1, 33-38; W. Sedlak, dz. cyt., 59-68. F. J. Varela, *On defining life*, w: *Self-Production of Supramolecular Structures*, dz. cyt., 23-31; J. G. Watterson, *The pressure pixel - Unit of life?*, Biosystems 41(1997)3, 141-152; M. Wnuk, *Rola układów porfiryńowych w ewolucji życia*, w: *Z zagadnień filozofii przyrodznawstwa i filozofii przyrody*, t. 9, red. M. Lubąński, S. W. Ślaga, Warszawa 1987, 209.

3. MINIMALNY GENOM

Sekwencje genomów wielu prokariotów są już poznane, niemniej jednak funkcje licznych genów pozostają nadal nieznanne. Porównując dwa w pełni zsekwencjonowane genomy bakteryjne, *Haemophilus influenzae* (1,83 Mb, 1727 genów kodujących białka) i *Mycoplasma genitalium* (0,58 Mb, 468 genów kodujących białka i 37 genów dla RNA), określono wielkość „minimalnego genomu” jako równą od 318 do 562 kb i skonstruowano teoretycznie „minimalny zbiór genów potrzebnych dla życia komórkowego”. Dla *Mycoplasma genitalium* zbiór ten liczy zaledwie 256 genów¹⁸, czyli jest to liczba wystarczająca i niezbędna do podtrzymania istnienia tego typu komórki w najbardziej sprzyjających warunkach. Okazuje się, że wielkość tak małego zbioru może rzucić jakieś światło na problem ostatniego wspólnego przodka wszystkich królestw współczesnego świata żywego. Otóż, porównując sekwencje białkowe zakodowane przez geny tego właśnie zbioru z sekwencjami białkowymi zakodowanymi przez genom jednokomórkowego *Eukaryota* - drożdży *Saccharomyces cerevisiae* - sugerowano,¹⁹ iż ów wspólny przodek istniejącego dotąd życia mógłby posiadać genom rybonukleinowy.

Niektórzy badacze²⁰ uważają za nieprawdopodobne, aby rozmiar minimalnego genomu, tj. 318-562 kb, mógł zostać zredukowany w świetle genetyczno-molekularnego kryterium życia. Objętość komórki bakteryjnej musi być przecież na tyle duża, by pomieścić również rybosomy (o średnicy ok. 18 nm), które przekształcają informację zawartą w biopolimerze genetycznym (DNA) na informację zawartą w biopolimerze katalitycznym (białko)²¹. W świetle zatem tego kryterium ekstrapolacja od tego „minimalnego zestawu genów” powinna doprowadzić do „początków życia”.

Wspomniana powyżej wartość 490 kb dla genomu nanobakterii *Nanoarchaeum equitans* mieści się jeszcze w ustalonym dla „prawdzi-

¹⁸ Mb - milionów par zasad. A. R. Mushegian, E. V. Koonin, *A minimal gene set for cellular life derived by comparison of complete bacterial genomes*, art. cyt., 10268-10273.

¹⁹ E. V. Koonin, A. R. Mushegian, *Complete genome sequences of cellular life forms: Glimpses of theoretical evolutionary genomics*, Current Opinion in Genetics and Development 6(1996)6, 757-762.

²⁰ A. R. Mushegian, E. V. Koonin, *A minimal gene set for cellular life derived by comparison of complete bacterial genomes*, art. cyt., 10268-10273.

²¹ S. A. Benner, *How small can a microorganism be? w: Size Limits of Very Small Microorganisms. Proceedings of a Workshop*, National Academy of Science, Washington DC 2001, http://www.nap.edu/html/ssb_html/NANO/nanopanel4benner.shtml (2004-05-08).

wych" bakterii zakresie 318-562 kb; co zatem z nanobakteriami? Nie są one jakąś karłowatą formą bakterii, ale raczej nową formą życia. Mając zaledwie ok. 0,1 średnicy i 0,001 masy „zwykłych” bakterii²², wypełniają lukę pomiędzy nimi a wirusami. Uczestniczą w tworzeniu różnych minerałów glinowych i węglanów. Istnieją w różnorodnych środowiskach, np. gorących wodach mineralnych, glinach wulkanicznych, krwi ludzkiej²³; nawet ślady stwierdzone w meteorycie z Marsa - ALH84001²⁴ - odpowiadają nanobakteriom.

Kwestia minimalnego genomu dla nanobakterii pozostaje otwarta. Zapewne będzie on jeszcze mniejszy. Na taką możliwość wskazywać już mogą wyniki badań genomów wirusów. Na przykład genomy wirusów chlorelli (o wielkości 330 do 380 kb) posiadają geny mniejsze o 10-50 % od genomów bakterii²⁵. W świetle tych danych pierwotna minimalna forma życia mogłaby być jeszcze mniejsza, mianowicie taką formą mógłby być jakiś kwas nukleinowy²⁶. Do takiej właśnie możliwości nawiązuje na przykład znana hipoteza L. Orgela „życia na skałach”. Zgodnie z nią, kluczowe procesy formowania się „biopolimerów życia” mają miejsce na powierzchniach minerałów, a więc w systemie, który utrzymuje swoją inte-

²²R. L. Folk, *Nannobacteria: surely not figments, but what underheaven are they?*, Natural Science 1(1997)3, 7.

²³Np. N. Ciftcioglu, M. Björklund, E. O. Kajander, *Stone formation and calcification by nanobacteria in human body*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 3441(1998), 105-111; E. O. Kajander, I. Kuronen, K. Akerman, A. Peltari, N. Ciftcioglu, *Nanobacteria from blood, the smallest culturable autonomously replicating agent on Earth*, art. cyt., 420-428.

²⁴Np. R. L. Folk, F. L. Lynch, *Nannobacteria are alive on Earth as well as Mars*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 3111(1997), 406-419; J. W. Schopf, *Life on Mars: Tempest in a teapot? A first-hand account*, Proceedings of the American Philosophical Society 143(1999)3, 359-378; J. Kazmierczak, S. Kempe, *Modern terrestrial analogues for the carbonate globules in Martian meteorite ALH84001*, Naturwissenschaften 90(2003)4, 167-172; E. K. Gibson (Jr.), D. S. McKay, K. L. Thomas-Keptra, S. J. Wentworth, F. Westall, A. Steele, C. S. Romanek, M. S. Bell, J. Toporski, *Life on Mars: evaluation of the evidence within Martian meteorites ALH84001, Nakhla, and Shergotty*, Precambrian Research 106(2001)1-2, 15-34; D. S. McKay, E. K. Gibson (Jr.), K. L. Thomas-Keptra, H. Vali, C. S. Romanek, S. J. Clemett, X. D. F. Chillier, C. R. Maechling, R. N. Zare, *Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001*, Science 273(1996)5277, 924-930.

²⁵J. L. Van Etten, *Can lai-ge dsDNA-containing viruses provide information about the minimal genome size required to support life?*, w: *Size Limits of Very Small Microorganisms. Proceedings of a Workshop*, National Academy of Science, Washington DC 2001, http://www.nap.edu/html/ssb_html/NANO/nanopanel2vanetten.shtml (2004-05-08).

²⁶Np. L. Orgel, *Origin of life - A simplernucleic acid*, Science 290(2000)5495, 1306-1307.

gralność dzięki wiązaniu molekuł (podlegających syntezie, replikacji i mutacji) z powierzchnią mineralną. Nie istnieje w tym wypadku jakiś kompartment otaczający ów system żywy, gdyż rozmiar tego ostatniego jest wyznaczany przez rozmiar mineralnego otoczenia, które katalizuje tworzenie się RNA. Jak wiadomo szybkości syntezy i dekompozycji kwasów rybonukleinowych są istotne w procesach życiowych²⁷. Toteż odkrycie, jeszcze w latach 80-tych, katalitycznej aktywności RNA przyniosło szeroko dyskutowaną i akceptowaną obecnie koncepcję „Świata RNA”²⁸. Czy zatem rybozomy (tj. autokatalityczne cząsteczki RNA) można uznać za protoorganizmy, czy tylko - za ich modele? RNA przecież jest jednocześnie genotypem i fenotypem, bowiem informacja genetyczna zawiera się w jego sekwencjach, a z jego własności katalitycznych pochodzi fenotyp²⁹. W wypadku rybozomu nie używa się zresztą pojęcia „minimalnego genomu” lecz raczej „minimalnego rybozomu”³⁰.

W gruncie rzeczy „minimalny genom” jest jedynie konstrukcją teoretyczną, a nie czymś co można znaleźć w przyrodzie. „Minimalna komórka” z takim genomem wymagałaby bowiem „idealnego” środowiska, wolnego od nacisku selekcyjnego. Chociaż trudno jest zdefiniować to pojęcie, to jednak próby oszacowania minimalnego zbioru genów są podejmowane, o czym wspomiano wyżej. Uważa się to bowiem za fundamentalną kwestię w biologii³¹, której rozwiązanie przyczyni się do istotnego postępu na przykład inżynierii genetycznej. W szczególności umożliwi „stwarzanie” organizmów całkowicie nowych lub ułatwi modyfikację genetyczną - dotychczas istniejących³².

²⁷Np. J. P. Ferris, *Primitive life: origin, size, and signature. w: Size Limits of Very Small Microorganisms. Proceedings of a Workshop*, National Academy of Science, Washington DC 2001, http://www.nap.edu/html/ssb_html/NANO/nanopanel4ferris.shtml (2004-05-08); J. P. Ferris, *Montmorillonite catalysis of 30-50 mer oligonucleotides: Laboratory demonstration of potential steps in the origin of the RNA World*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 32(2002)4, 311-332.

²⁸*The RNA World*, red. R. F. Gesteland, J. F. Atkins, Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York 1993; J. P. Dworkin, A. Lazcano, S. L. Miller, *The roads to and from the RNA world*, Journal of Theoretical Biology 222(2003)1, 127-134.

²⁹Np. G. F. Joyce, *The antiquity of RNA-based evolution*, Nature 418(2002)6894, 214-221.

³⁰J. I. Manchester, M. Shibata, R. F. Setlik, R. L. Ornstein, R. Rein, *Applicability of PM3 to transphosphorylation reaction path: toward designing a minimal ribozyme*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 23(1993)5-6, 419-427.

³¹S. N. Peterson, C. M. Fraser, *The complexity of simplicity*, Genome Biology 2(2001)2, 2002.1-2002.7.

³²M. K. Cho, D. Magnus, A. L. Caplan, D. McGee, art. cyt., 2087 i 2089-2090.

4. SYSTEMY SAMO-REPLIKUJĄCE SIĘ, MINIMALNA KOMÓRKA SYNTETYCZNA, MINIMALNY SYSTEM ŻYWI ETC.

Nie tylko inżynieria genetyczna, ale również protobiologia jest zainteresowana „stworzeniem” organizmu, zwłaszcza - „minimalnej komórki żywej”. Próby bowiem konstruowania samo-replikujących się systemów są już od dawna podejmowane w ramach tej dziedziny wiedzy i w tym względzie nowe nadzieje można wiązać z nanotechnologią³³.

Właściwości minimalnego systemu żywego można byłoby również dedukować z rozmaitych hipotez i definicji życia. Wiele z nich jest dość spekulatywnych. Do takich właśnie zaliczyć można propozycje alternatywnych (tj. nieorganicznych) form życia jako możliwych form organizacji materii. Na przykład: (a) „życie grawitacyjne” (minimalny system byłby wielkości galaktyki)³⁴; (b) „życie na poziomie cząstek elementarnych” (obecne jakoby wewnątrz i na powierzchni gwiazd neutronowych a oparte na oddziaływaniach silnych)³⁵; (c) „życie krystaliczne” (informacja genetyczna magazynowana jest w postaci systemu pętli dyslokacji w medium krystalicznym, w którym elementarne struktury organizują się w makroskopowe, „inteligentne” organizmy; możliwe miejsca występowania: skały ziemskie i pozaziemskie oraz pył międzyplanetarny)³⁶; (d) „życie” oparte na pojedynczym pierwiastku - chodzi w tym wypadku o model kodu genetycznego opartego na izotopowych kombinacjach tylko jednego pierwiastka chemicznego (jako możliwa alternatywa dla „zwykłej” biologii heteroatomowej)³⁷.

Wymienione powyżej, te dość ekstrawaganckie idee nie wywarły jednak istotnego wpływu na dyskusję, toczoną w ramach protobiologii, wokół problemu - czym jest najprostsza możliwa struktura, którą można jeszcze zdefiniować jako jednostkę żywą? W odpowie-

³³ V. I. Maron, M. D. Nussinov, S. Santoli, *Nanotechnology and nanobiology - breakthroughs to new concepts in physics, chemistry and biology*, Nanobiology 2(1993), 189-199; S. Santoli, *Nanobiological principles and the origin of life*, Nanobiology 2(1993), 201-214; S. J. Sowerby, N. G. Holm, G. B. Petersen, *Origins of life: a route to nanotechnology*, Biosystems 61(2001)1, 69-78.

³⁴ D. Goldsmith, T. Owens, *The Search for Life in the Universe*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California 1980, 221.

³⁵ Tamże, 219.

³⁶ J. Schneider, *A model for a non-chemical form of life: crystalline physiology*, Origins of Life 8(1977)1, 33-38.

³⁷ A. A. Berezin, *Isotopic biology*, Il Nuovo Cimento 3D (1984)5, 914-916.

dzi na to pytanie zaproponowano różne koncepcje. Najbardziej znana - to koncepcja „jednostki autopoietycznej”³⁸, Jednostka ta, będąc minimalną i wystarczającą formą organizacji z atrybutem życia, zdefiniowana jest jako przestrzennie ograniczony system chemiczny, który jest zdolny do samo-utrzymywania się spowodowanego siecią reakcji, które przebiegają w obrębie jego granic. Rozmiarów przestrzennych nie określono, różne bowiem mogą być jego modele. W koncepcji tej zatem podstawowe procesy życiowe są ujmowane jako złożone systemy reakcji chemicznych.

Podobne założenia, racjonalne zresztą i usprawiedliwione empirycznie, dotyczą koncepcji chemotonu³⁹. Ujmuje ona organizm jako tzw. automat miękki, funkcjonujący dzięki cyklicznym procesom chemicznym, do których wyjaśnienia wystarcza chemia fizyczna (a w gruncie rzeczy jej działy dotyczące katalizy i kinetyki chemicznej). Chemoton jest tego rodzaju automatem - chemiczną elementarną jednostką życia. Po dodaniu do niego regulacji enzymatycznej przekształcił się w bioton, z którego następnie, po utworzeniu struktur morfologicznych, wyewoluowały komórki⁴⁰. Autor tej koncepcji - Tibor Gánti - nie określa minimalnych rozmiarów chemotonu lub biotonu.

Kolejną, najmniej może znaną, jest koncepcja „kwantu życia”⁴¹. Wychodzi ona z całkowicie innych przesłanek. Opiera się bowiem, na zresztą usprawiedliwionym teoretycznie i doświadczalnie założeniu, że istotą życia jest sprzężenie⁴² procesów chemicznych z elektronicznymi dokonujące się za pomocą fotonów (tzw. kwantowe łącze życia). Jako najmniejsza jednostka życia „kwant życia jest nośnikiem oddziaływań chemicznych i elektronicznych, zespolonych

³⁸ Np. P. L. Luisi, F. J. Varela, *Self-replicating micelles - A chemical version of a minimal autopoietic system*, Origins of Life and Evolution of the Biosphere 19(1989)6, 633-44; F. J. Varela, *On defining life*. w: *Self-Production of Supramolecular Structures*, dz. cyt., 23-31; P. L. Luisi, *The chemical implementation of autopoiesis*, w: *Self-Production of Supramolecular Structures*, dz. cyt., 179-97.

³⁹ Np. T. Gánti, *A Theory of Biochemical Supersystems and its Application to Problems of Natural and Artificial Biogenesis*, dz. cyt., 24; Tenże, *Biogenesis itself* Journal of Theoretical Biology 187(1997)4, 583-593.

⁴⁰ Tenże, *A Theory of Biochemical Supersystems and Its Application to Problems of Natural and Artificial Biogenesis*, dz. cyt., 23.

⁴¹ W. Sedlak, dz. cyt., 59-68. Tenże, *Wprowadzenie w bioelektronikę*, Wrocław 1988, 49-53.

⁴² Zob. M. Wnuk, *Włodzimierza Sedlaka idea sprzężenia chemiczno-elektronicznego w organizmach*, Roczniki Filozoficzne 39-40(1991-1992)3, 103-120.

w jedno pojęcie życia"⁴³. Również w przypadku i tej koncepcji nie został niestety określony rozmiar „kwantu życia”.

Wychodząc z bioelektroniki (tzn. hipotezy bioplazmy⁴⁴), autor niniejszego artykułu usiłował oszacować rozmiar minimalnego systemu biotycznego. Hipoteza bioplazmy jako nowego stanu materii implikuje tezę, iż w organizmach żywych istnieje plazma fizyczna sprzężona z metabolizmem. Przyjmując, że zaczerpnięte z fizyki plazmy warunki istnienia stanu plazmowego (np. dla plazmy kwantowej - w postaci nierówności: $n_0^{-1/3} \ll \lambda_{FT} \ll L$, gdzie $n_0^{-1/3}$ jest średnią odległością między cząstkami, λ_{FT} - długością Thomasa-Fermiego, L - rozmiarem liniowym plazmy) są stosowalne do układów biologicznych, można te warunki ilościowo określić. Otóż w organizmie mogą istnieć domeny plazmy klasycznej i kwantowej o rozmaitych parametrach. Oszacowanie moje opiera się na powyższym założeniu i w wypadku kwantowej plazmy elektronowej, o entropii zbliżonej do zera, okazało się, że rozmiar liniowy biosystemu zawierającego taką plazmę powinien być dużo większy od 3,88 nm (czyli $L \gg 3,88$ nm). Oznacza to, iż biostruktury o rozmiarach rzędu kilkudziesięciu nanometrów już spełniają warunek istnienia stanu plazmowego, o ile zawierają zdelokalizowane elektrony. W konsekwencji byłyby to minimalne jednostki życia⁴⁵.

5. UWAGI KOŃCOWE

Dostojny Jubilat Ks. Profesor Mieczysław Lubański zadałby prawdopodobnie pytanie: ile informacji i jakiej informacji zawiera elementarna jednostka życia? Od dawna bowiem interesował się filozofią informacji⁴⁶. Odpowiedź na to pytanie nie jest prosta, bowiem zagadnienie informacji biologicznej jest niezmiernie złożone⁴⁷. W ni-

⁴³ W. Sedlak, *Wprowadzenie w bioelektronikę*, dz. cyt., 51.

⁴⁴ Np. W. Sedlak, *Bioplazma - nowy stan materii*, w: *Bioplazma. Materiały I konferencji poświęconej bioplazmie*, red. W. Sedlak, Lublin 1976, 13-30. J. Zon, *Bioplazma oraz plazma fizyczna w układach żywych. Studium przyrodnicze i filozoficzne*, Lublin 2000.

⁴⁵ M. Wnuk, *Rola układów porfiryńowych w ewolucji życia*, art. cyt., 209.

⁴⁶ Np. M. Lubański, *Filozoficzne zagadnienia teorii informacji*, Warszawa 1975. Por. np. L. Floridi, *What is the philosophy of Information?*, *Metaphilosophy* 33(2002)1-2, 123-45. Tenże, *Open problems in the philosophy of information*, *Metaphilosophy* 35(2004)3, preprint.

⁴⁷ Zob. np. A. M. Latawiec, *Koncepcja informacji biologicznej*, w: *Z zagadnień filozofii przyrodznawstwa i filozofii przyrody*, t. 5, red. K. Kiósak, M. Lubański, S. W. Ślaga, Warszawa 1983, 151-259; A. U. Igamberdiev, *Time, reflectivity and information process-*

niejszym artykule nie udzieli się jej. Niemniej spróbuję zwrócić uwagę na niektóre idee, być może mające w nią jakiś związek.

Najprawdopodobniej elementarna jednostka życia jest nie tylko „magazynem”, ale i procesorem masy, energii i informacji. W dziedzinie na przykład elektroniki molekularnej jest czymś oczywistym, że molekuly organiczne można traktować jako procesory informacji, a kwestię fizycznych ograniczeń skali integracji i przetwarzania informacji w systemach molekularnych rozważano już dość dawno⁴⁸. Zapewne, informacja zawarta w elementarnej jednostce życia może organizować nie tylko materię korpuskularną i energię, ale również dokonywać samoorganizacji, o ile jest uhierarchizowana. Wyraża się opinię, iż w jakimkolwiek systemie należałoby bilansować: masę, energię i informację, właśnie ze względu na wzajemne przekształcanie masy i energii ($E=mc^2$) oraz energii i informacji ($1 \text{ J/K} = 10^{23}$ bitów)⁴⁹. Tom Stonier zaproponował termin „infor” na określenie hipotetycznego kwantu informacji⁵⁰. „Kwant życia” byłby zatem plazmowym procesorem fermionów, bozonów i inforów, o rozmiarach rzędu kilkudziesięciu nanometrów.

THE QUANTUM OF LIFE - HYPOTHESES ON THE ELEMENTARY UNIT OF LIFE

Summary

The problem of the elementary unit of life, also called „the quantum of life” is presented in the context of the philosophy of systems and information. Some si-

ing in living systems: a sketch for the unified information paradigm in biology, *Biosystems* 46(1998)1-2, 95-101; K. Matsuno, R. C. Paton, *Is there a biology of quantum information?*, *Biosystems* 55(2000)1-3, 39-46; E. A. Liberman, S. V. Minina, *Cell molecular computers and biological information as the foundation of nature's laws*, *Biosystems* 38(1996)2-3, 173-177.

⁴⁸ A. Chiabrera, E. Di Zitti, F. Costa, G. M. Bisio, *Physical limits of integration and information processing in molecular systems*, *Journal of Physics D: Applied Physics* 22(1989), 1571-1579.

⁴⁹ Np. T. Stonier, *Information as a basic property of the universe*, *Biosystems* 38(1996)2-3, 135-140.

⁵⁰ Tenże, *Information and the Internal Structure of the Universe: An Exploration into Information Physics*, Springer, London - New York 1990. Odnosić należy, iż do koncepcji inforów nawiązuje w swoich pracach również Ks. Profesor M. Lubański (zob. np. *Heurystyczna rola analogii*, w: *VI Ogólnopolskie Konwersatorium nt. „Sztuczna Inteligencja i Cybernetyka Rozwoju” - CIR'93 (cybernetyka - inteligencja - rozwój)*, red. J. Tchó-rzewski. Siedlce 1993, 17-22.).

gnificant works concerning nanobacteria, „minimal genome”, „self-replicating systems”, „minimal synthetic Cell”, as well as „minimal living system” have been reviewed. Special attention is paid to such important concepts as: „autopoietic unit”, „chemoton”, „the quantum of life”. The last one has been defined here as the plasma processor of fermions, bosons, and infons.