

ROCZNIKI FILOZOFICZNE
Tom XLII, zeszyt 3 - 1994

MARIAN WNUK
Lublin

MOŻLIWOŚĆ WPŁYWU
ZANIECZYSZCZEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH ŚRODOWISKA NA
MIKROPROCESORY BIOLOGICZNE

1. UWAGI WSTĘPNE

Wszystkie istoty żywe są „dostrojone” do normalnego zakresu częstotliwości ziemskiego pola magnetycznego (mikropulsacje 0-30 Hz przez 24 godz. na dobę). Za pośrednictwem rozmaitych mechanizmów odczytu¹ czerpią one ważne informacje z tych naturalnych częstotliwości, które regulują cykle biologiczne. Generowanie anormalnych pól elektromagnetycznych przez dużą część wytworów aktywności cywilizacyjnej człowieka wprowadziło do środowiska takie częstotliwości i natężenia pól, które interferują z normalnymi parametrami tych pól (ELF i VLF), wyczuwalnymi przez biostruktury. Właśnie na te anormalne częstotliwości, które są najbliższe normalnych, organizmy uwrażliwione są najbardziej².

Cywilizacja techniczna przyniosła ze sobą nie tylko znane powszechnie skażenie chemiczne środowiska, ale również radykalną zmianę tła elektromagnetycznego, i to w stopniu daleko większym niż w zakresie innych fizycznych czynników środowiska. Poziom np. promieniowania radiowego w naszym otoczeniu przewyższa 100 do 200 milionów razy poziom naturalnego promieniowania tego zakresu, wytwarzanego głównie przez Słońce. Zagrożenia ze strony tego rodzaju czynnika środowiska, którego zakres często-

¹ Czułe na te pola są na przykład komórki hipokampu i szyszynki, zawierające mikrokryształy magnetytu; również wrażliwe na nie są prądy elektryczne przepływające w mózgu i wytwarzające pola magnetyczne.

² Na przykład zaburzenia synchronizacji szybkości podziału komórkowego w całym ciele, ogólne osłabienie systemu immunologicznego, aberracje psychiczne.

tliwościowy, intensywność i zasięg ustawicznie rosną, są coraz większe a skutki ich stosunkowo mało dotychczas rozpoznane. Szczególnie słabo znane jest tzw. oddziaływanie „informacyjne” tych pól na organizmy żywe.

Niniejszy artykuł ma na celu zasygnalizowanie nowego sposobu ingerencji pól elektromagnetycznych środowiska w organizmy żywe, jakim może być wpływ „informacyjny” tych pól na niektóre układy biologiczne, a w szczególności na mikrotubule. Możliwość ta nie jest wysuwana tu bezzasadnie. Jest ona uzasadniona, zwłaszcza w kontekście koncepcji elektromagnetycznej natury życia (72-73, 77; zob. także 92) i hipotez traktujących mikrotubule komórki żywej jako naturalne mikroprocesory (w sensie przetwarzającego informacje, istotnego elementu komputera). Bioelektronika i elektronika biomolekularna mogą oferować nowe możliwości wyjaśnienia relacji organizm - środowisko elektromagnetyczne.

2. UKŁAD ŻYWY JAKO KOMPUTER

Warto tu przypomnieć parę podstawowych wiadomości o komputerach. Istotnym elementem każdego komputera jest, jak wiadomo, procesor, tzn. urządzenie przeznaczone do przetwarzania informacji, polegającego na przekształcaniu pewnych danych początkowych (wejściowych) w wyniki końcowe (wyjściowe), czyli obliczaniu odpowiednich funkcji. Procesor zatem jest urządzeniem zdolnym do wykonywania dowolnych ciągów operacji, pochodzących z ustalonego i ograniczonego zbioru operacji elementarnych. Ażeby to wykonać, procesor musi otrzymać program działania (określający sposób przetwarzania danych, zbudowany w postaci ciągu rozkazów) i dane wejściowe, a po zakończeniu obliczeń musi przekazać wyniki końcowe na zewnątrz. Oprócz procesora w skład komputera wchodzi zestaw układów do wprowadzania i wyprowadzania informacji, pamięć (w której przechowywany jest program, dane oraz wyniki cząstkowe i końcowe) a także specjalne łącza (tzw. magistrala), po których poszczególne bloki komputera mogą wymieniać informacje między sobą. Otóż elementy analogiczne do wyżej wspomnianych elementów podstawowych komputera usiłowano znaleźć w biostrukturach.

Poszukiwanie analogii pomiędzy mózgiem a komputerem owocowało niekiedy nowymi pomysłami mającymi zastosowanie w technologii komputerowej (np. (67-68)). Nie inaczej jest również w przypadku szukania analogii pomiędzy komórką żywą a tym urządzeniem (np. (39-40)).

Koncepcje traktujące komórkę żywą jako komputer pojawiły się już dość dawno, a to głównie dzięki pracom Je. A. Libermana i M. Conrada (np. (11,

18-20, 22-23, 43-48, 51-52, 89)). Chodziło w nich jednak o komputer molekularny, w którym rolę elementów pamięci miały spełniać molekuly białka (przenośniki elektronów), kanały jonowe błon oraz ATPazy (zależne od DNA i RNA). W tych pracach daleko jest jeszcze od analogii do urządzeń elektronicznych przetwarzających informacje.

Jakościowo nowa była Libermana koncepcja kwantowych komputerów molekularnych (50). Według niej w komórkach żywych pod „nadzorem” wspomnianego wyżej komputera molekularnego następuje najpierw tworzenie hiperdźwiękowego komputera kwantowego, a później sterowanie jego pracą. Z kolei system sterujący komórką żywą byłby ekstremalnym molekularnym regulatorem kwantowym (z elementami o rozmiarach molekuł), w którym energetyczna cena pojedynczej operacji zbliżona jest do wartości jednej stałej Plancka h (49). Kwanty emitowane lub absorbowane przez taki system są o długości fali rzędu rozmiarów molekuly (1-10 nm); stąd muszą to być fonony, gdyż fotony o takiej długości fali miałyby olbrzymie energie, wskutek czego niszczyłyby molekuly. Wspomnianym kosztem jednostkowej operacji molekularny komputer kwantowy różni się od zwykłego komputera molekularnego, przekształcającego molekuly-słowa DNA i RNA, gdzie ów koszt wynosiłby około $10^{13}h$. Dlatego właśnie komputer molekularny jest uznawany za prawie półmakroskopową maszynę obliczeniową.

Uwzględnienie procesów kwantowych w bioukładach, jak np. oddziaływań elektroniczno-konformacyjnych, występuje również w koncepcjach komputera molekularnego M. Conrada (21, 24). Te i inne prace z zakresu elektroniki molekularnej idą wyraźnie w kierunku zastosowań technicznych (np. (26, 69-70)). Interesujące jednakże jest to, że przy okazji prace te odkrywają bioelektroniczny aspekt funkcjonowania biostruktur. Wspomnieć tu należy przede wszystkim o neuronach ujmowanych jako mikroprocesory (58) i o ważnych elementach subkomórkowych - mikrotubulach, które są uznawane za automaty biomolekularne i nanokomputery (29-30, 71).

3. MIKROTUBULE JAKO MIKROPROCESORY

Zapotrzebowanie ze strony użytkowników elektroniki na maksymalną miniaturyzację i wydajność urządzeń przyczyniły się do podjęcia badań nad możliwością zastosowania materiałów organicznych i biologicznych do konstruowania tzw. molekularnych i biomolekularnych urządzeń elektronicznych (3, 10, 12-13, 36). Przy tej okazji, jak już wyżej wspomniano, odkryto niektóre funkcje bioelektroniczne pewnych układów wewnątrzkomór-

kowych, w szczególności cytoszkieletu. Niezależnie od roli podporowej cytoszkielet jest wewnętrzną siecią komunikacyjną komórki żywej, biorącą udział w transporcie substancji i koordynowaniu nadzwyczaj złożonych procesów, takich jak podział komórki, jej wzrost i zróżnicowanie. Cytoszkielet jest uważany za komórkowy „system nerwowy”, który jest nie tylko zaangażowany w przetwarzanie informacji na poziomie molekularnym (88), ale zdaniem P. J. Werbosa (90) może mieć w przyszłości przełomowe znaczenie w wyjaśnieniu „uczenia się” i w rozumieniu „naturalnej inteligencji”.

Jednym z istotnych elementów składowych cytoszkieletu są mikrotubule, których istnienie stwierdzono we wszystkich komórkach żywych. Są one w rzęskach, wiciach, wrzecionie mitotycznym, centriolach, kinetochorach, desmosomach i innych organellach. W obrębie neuronów mikrotubule biegną przez całą długość aksonu i dendrytów. Są tam zaangażowane w przepływ aksoplazmy i odżywcze podtrzymywanie błony neuronu, komórek glejowych i postsynaptycznych. Stwierdzono też, że depolaryzacja błony nerwu koreluje ze zwiększoną gęstością i szybkością polimeryzacji mikrotubul wewnątrz-neuronowych. Wykazano ponadto, iż główne funkcje fizjologiczne mikrotubul to: funkcje szkieletowo-podporowe komórki, ruchliwość, transport i pamięć.

Większość mikrotubul stanowi zespoły 13 podłużnych włókienek (proto-filamentów), z których każda jest szeregiem dimerów tubuliny³. Powtarzalny sztywny geometryczny podjednostek mikrotubul nadaje im specyficzną strukturę (cylindryczna lewoskrętna krata szachownicopodobna), która zdaniem S. R. Hameroffa może służyć jako programowalna matryca przełączająca, zdolna do ukierunkowanego transferu i zintegrowanego przetwarzania ładunków lub energii biochemicznej, mechanicznej lub elektromagnetycznej, a co za tym idzie, przetwarzania i magazynowania informacji.

Do montażu mikrotubul z podjednostek (tubuliny są syntetyzowane w rybosomach) konieczne są jony Mg^{2+} , zaś niskie stężenia Ca^{2+} stymulują i wzmacniają ten montaż; milimolowe koncentracje Ca^{2+} zapobiegają już jednak polimeryzacji. Energia do tego montażu pochodzi z hydrolizy GTP; proces ten dostarcza również energii do generacji wzbudzeń koherentnych, solitonów i fal polaryzacji. Mikrotubule są strukturami nadzwyczaj dynamicznymi i ze swej natury „inteligentnymi”, ponieważ montują się one,

³ Jeden dimer składa się z dwóch nieznacznie różniących się monomerów o ciężarze cząsteczkowym ok. 55 000 - tubuliny α i β - o średnicy 4 nm. Całość jest w kształcie rurki, której zewnętrzna średnica wynosi 25-30 nm, a wewnętrzna średnica wydrążenia 14-15 nm, zaś długości funkcjonalne mogą być w zakresie od setek nm do kilkunastu metrów.

nabywają ukierunkowanie i depolimeryzują się w prawidłowym miejscu i we właściwym czasie. Centrami organizacji mikrotubul są centriole.

Na uwagę zasługuje także wpływ innych jonów, np. nadmiar Zn^{2+} rozrywa mikrotubule i indukuje nienormalną polimeryzację ich składników, Li^+ poniżej 1 milimola stymuluje montaż i chroni zmontowaną mikrotubulę przed depolimeryzacją, którą można indukować np. farmakologicznie. Różne kationy ze środowiska mogą wywierać długotrwały wpływ toksyczny, np. nadmierny poziom Al^{3+} w mózgu może powodować ośpienie umysłowe, przy którym neuronalne mikrotubule stają się nienormalnie poplątane.

Mikrotubule, jak również ich poszczególne dimery, są dipolami (α -tubulina jest naładowana ujemnie i zorientowana w kierunku centrum, a (β -tubulina jest naładowana dodatnio i zorientowana na zewnątrz), a co za tym idzie, są one elektretami. Jako takie wykazują więc własności piezoelektryczne i można oczekiwać, iż są zaangażowane w przemiany fotonowo-fononowe, tj. w przekaz skwantowanych zaburzeń elektromagnetycznych i mechanicznych. Z powodu zmian momentu dipolowego i masy podjednostek mikrotubule oscylują z następującymi częstotliwościami: elektromagnetyczną $f_{EM} = 6 \times 10^{15}$ Hz i akustyczną $f_{AC} = 5 \times 10^{10}$ Hz⁴.

Zewnętrzne powierzchnie mikrotubul są otoczone ujemnie naładowaną powłoką o grubości 5-10 nm, która generuje pole elektryczne z powodu nadmiaru elektronów w tubulinie. Pole to z kolei powoduje uorganizowanie wody cytoplazmatycznej i enzymów. Zewnętrzna warstwa mikrotubul jest eksponowana natomiast na wpływ jonów z cytoplazmy, wskutek czego ulega zmianom masy i moment dipolowy jej podjednostek. W wewnętrznym kanale mikrotubuli nie stwierdzono jakiegokolwiek substancji podstawowej i prawdopodobnie, zdaniem Hameroffa, pełni on rolę falowodu elektromagnetycznego.

Mikrotubule wraz z innymi komponentami biostrukturalnymi tworzą nadrzędną strukturę, tzw. bioelektroniczny układ złączowy (przewodzący biosystem kontaktowy) (7; 8 s. 53-60), którego głównym zadaniem jest przetwarzanie (np. transdukcja piezoelektryczna, piroelektryczna) i przekaz sygnałów wewnątrzkomórkowych i międzykomórkowych (strumienie elektronów i protonów, fale wzbudzeń i polaryzacji, promieniowanie zakresu widzialnego i podczerwieni, mechanowibracje, a w szczególności solitony).

Jak z powyższego można się domyślać, właściwości strukturalne i fizyczne mikrotubul sprzyjają posiadaniu przez mikrotubule zdolności do przetwarzania

⁴ C. W. Smith, S. Best, *Electromagnetic Man*. - J. M. Dent, New York 1989 (za (40)).

informacji, której jako nośniki proponowano konformony i/lub fonony, nie wykluczając innych cząstek i kwazicząstek. Zaproponowano w tym względzie kilka modeli (28-33). Przetwarzanie sygnałów w sieci mikrotubul może dokonywać się dzięki sprzężeniu stanów konformacyjnych z nośnikami ładunku lub stanami dipolowymi i dzięki oddziaływaniom kooperatywnym z sąsiednimi stanami tubulin. Sądzi się, że takie oddziaływania wzajemne stanowią podstawę funkcjonowania tzw. automatów molekularnych (np. (29-30, 84)), w których stany konformacyjne poszczególnych podjednostek dimerów tubulinowych reprezentują „bity” informacji, znajdującej się w dynamicznych związkach z sąsiadującymi podjednostkami.

Oszacowano (29, 71) liczbę podjednostek mikrotubul w mózgu ludzkim na około 10^{14} . Mogą one zmieniać swoje stany od 10^9 do 10^{11} razy na sekundę, co w konsekwencji daje całkowitą przepustowość informacyjną mózgu od 10^{23} do 10^{25} bitów na sekundę. Jest to liczba ogromna i o wiele rzędów większa od np. liczby połączeń synaptycznych pomiędzy neuronami (rzędu 10^{13}), z których większość jest, jak wiadomo, utrzymywana w rezerwie, a funkcjonuje znikoma ich część. Należy podkreślić, że ruch nośników ładunku może być uznany za proces stojący u podstaw zarówno funkcjonowania sieci neuronów, jak i sieci mikrotubul; a z kolei ruch ten może być zmieniany (zaburzany lub korygowany) przez oddziaływanie pola elektromagnetycznego.

4. NATURALNE ŚRODOWISKO ELEKTROMAGNETYCZNE I „ŚMIECIE” ELEKTROMAGNETYCZNE – ZWIĄZEK Z PROCESAMI ŻYCIOWYMI

Naturalne środowisko elektromagnetyczne, w którym biosfera powstała i ewoluowała, już nie istnieje. Duże obszary widma elektromagnetycznego były „całkowicie spokojne” przez miliardy lat rozwoju życia (np. (17)), gdy tymczasem zaledwie w ciągu jednego tylko ostatniego stulecia nastąpiła gwałtowna zmiana środowiska elektromagnetycznego. Wszystkim ludzkim działaniom coraz częściej bowiem towarzyszą rozmaite urządzenia elektryczne i elektroniczne, skutkiem czego znajdujemy się w oceanie energii, której świat żywy nigdy dotąd nie miał okazji doświadczać. Obecnie mówi się raczej o naturalnych źródłach pól elektromagnetycznych występujących w przyrodzie i zestawia się je dla kontrastu ze źródłami sztucznymi. Zestawień tych źródeł nie ma tu potrzeby powtarzać. Wystarczy powiedzieć, że lista kategorii tych źródeł jest długa i obejmuje dziesiątki pozycji. Na ten temat, jak i w ogóle na temat oddziaływania pól elektromagnetycznych na biosystemy, istnieje już obszerna literatura (np. (4, 14, 34, 41, 54-55, 57, 61-63, 66, 81-83, 85, 95)).

Należy podkreślić, że nie widać na razie kresu narastania poziomu i zmian jakości tła elektromagnetycznego. Lawinowo bowiem przyrasta liczba zestawów komputerowych⁵, a ponadto powstają nowe rodzaje silnych źródeł, skażających elektromagnetycznie nasze środowisko, np. środki transportu poruszające się na „poduszce magnetycznej”, samochody o napędzie elektrycznym, satelity przekazujące w paśmie mikrofal energię słoneczną na Ziemię itd. Doliczyć do tego należy przyszłe „elektromagnetyczne” metody terapeutyczne w medycynie. Są już bowiem w tym zakresie interesujące propozycje (np. (8, 93)).

Ziemska aktywność elektromagnetyczna wywiera zasadniczy wpływ na organizmy żywe. Wykazano np., że u ludzi całkowicie odizolowanych od naturalnych pól elektromagnetycznych następuje zupełna desynchronizacja wielu biorytmów (np. (91)); czynnikiem synchronizującym w tym przypadku okazało się pole o bardzo małej wartości natężenia składowej elektrycznej (0,025 V/cm), pulsujące z częstotliwością 10 Hz. A właśnie ten typ pola, odgrywający, jak już wspomniano, rolę zasadniczego czynnika sterującego biorytmami, jest elementem składowym mikropulsacji ziemskiego pola elektromagnetycznego (bowiem powierzchnia Ziemi i jonosfera łącznie tworzą elektrodynamiczną wnękę rezonansową generującą mikropulsacje, których częstotliwość wynosi około 10 Hz). Z uwagi na to, że około 10-hercowa częstotliwość dominuje w EEG wielu zwierząt, istnieje więc, co należy podkreślić, ścisły związek pomiędzy istotami żywymi a środowiskiem za pośrednictwem pól elektromagnetycznych (np. (25)). Dlatego też problem skutków oddziaływania sztucznie wytwarzanej energii elektromagnetycznej jest bardzo poważny. Co więcej, wiadomo już teraz, że pierwotne skutki oddziaływania pól z zakresu ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) stwierdzić można u wszystkich form żywych.

Wiadomo również, że promieniowanie z innych przedziałów widma może powodować skutki w określonym bioukładzie, na każdym wręcz poziomie jego organizacji (począwszy od atomowego, a skończywszy na biosferze jako całości), a nie, jak dawniej sądzono, iż promieniowanie o określonej długości fali może oddziaływać na obiekty o rozmiarach porównywalnych z tą długością fali.

Zagrożenie ze strony tzw. smogu elektromagnetycznego (35) sygnalizowano już dość dawno, zwłaszcza dla organizmu żywego ujmowanego jako złożony system bioelektroniczny (74-75, 78-80), ale dopiero od niedawna pola elektromagnetyczne są traktowane jak nowy czynnik ekologiczny (56).

⁵Zob. np. na temat emisji przez monitory (86).

Obecnie podkreśla się istnienie trzech zasadniczych, chociaż niewspółmiernych, typów zagrożenia ze strony sztucznie wytwarzanych pól elektromagnetycznych:

a) zakłócanie właściwej koordynacji naszych rytmów biologicznych przez pola z zakresu ELF wibrujące z częstotliwością od 30 do 100 Hz (nawet wtedy, gdy są słabsze od pól ziemskich), co w konsekwencji prowadzi do stanu chronicznego stresu i zmniejsza odporność na choroby;

b) upośledzanie w wyniku elektroskażenia procesów wzrostowych komórek;

c) możliwość użycia broni elektromagnetycznych⁶.

Ten ostatni typ zagrożeń nie jest bynajmniej nierealny. Opublikowane, jak dotąd, badania nad wpływem pól elektromagnetycznych na układ nerwowy człowieka wskazują, iż prace nad tymi aplikacjami są już dość zaawansowane (np. (1, 15-16, 38, 63)). Za przykład niech posłuży reakcja neuronów na słabe pola ELF i pola impulsowe⁷. Jeśli tylko pole takie pulsuje zgodnie z częstotliwością fal mózgowych, to może ono zmieniać częstotliwość elektrycznych wyładowań neuronów w mózgu człowieka i małp. Odpowiednie kombinacje impulsów zwalniają lub przyspieszają tempo wydzielania lub pochłaniania jonów Ca^{2+} przez te komórki, a z kolei przepływy tych jonów wpływają na szybkość elektrycznych wyładowań neuronów. Wpływ jonów Ca^{2+} z komórek wiązany jest z trudniejszą koncentracją uwagi w przypadku wykonywania bardzo złożonych zadań, a także z zaburzeniami prawidłowego przebiegu snu; co więcej, może zmieniać funkcje mózgu w sposób trudny do przewidzenia. Okazało się, że istnieją „okna” częstotliwości pulsacji fal radiowych, przy których ma miejsce wspomniany wzrost tempa wypływu jonów wapniowych z komórek i zaburzenia przekazu impulsów nerwowych. Jedno okno przy 147 MHz, pulsujące z częstotliwością 6 do 10 Hz ($1,0 \text{ mW/cm}^2$) (9) i drugie 450 MHz, pulsujące z częstotliwością 16 Hz ($0,1-1,0 \text{ mW/cm}^2$) (5). Istnieje zatem możliwość selektywnego oddziaływania pól elektromagnetycznych na pracę mózgu, a co za tym idzie, trzeba stwier-

⁶ Na ten typ zagrożenia zwraca uwagę Robert Becker w popularnonaukowych książkach: (a) R. O. Becker, G. S e l d e n, *The Body Electric: Electromagnetism and Foundation of Life*, Quill, William Morrow, New York 1985, s. 317-326 (pozycja ta w przekładzie Józefa Zona pt. *Elektropolis*, [...] czeka już od kilku lat na wydanie); (b) R. O. B e c k e r, *Cross Currents: The Promise of Electromedicine. The Perils of Electropollution*, Jeremy P. Tarcher, Inc., Los Angeles 1990, s. 297-304. Zob. także na podobny temat: E. Meckelburg, *Geheimwaffe Psi. Psychotronik. Psi-Energien und psycho-physikalische Kriegswaffen im Ost und West*, Bern & Munchen 1984.

⁷ Pola o natężeniu porównywalnym z natężeniem pola elektrycznego wytwarzanego przez zwykłą żarówkę oddaloną o 3 metry.

dział, iż „śmiecie” elektromagnetyczne mogą w nim zainicjować nieoczekiwane i niebezpieczne zmiany.

Bada się wpływ promieniowania mikrofalowego na montowanie się zespołów makromolekuł (24), co może mieć istotny związek z montażem mikrotubul i ich funkcjonowaniem. Donoszono także o tym, że pole linii wysokiego napięcia (50 Hz, 14 kV/m) zmienia elementy cytoszkieletu w neuronach Purkiniego mózdzku królika (w którego tkankach natężenie pola jest rzędu 1 mV/cm) (2). Okazało się, że wiązanie i uwalnianie wapnia w tkance mózgowej jest wskaźnikiem oddziaływania środowiskowych pól elektromagnetycznych (1); jednym z końcowych skutków jest wpływ na mikrotubule i filamenty cytoszkieletu. O roli jonów Ca^{2+} w montażu mikrotubul wspomniano powyżej. Wydaje się ważne w tym kontekście istnienie nie tylko „okien” częstotliwości i amplitudy, ale również „okna w czasie” (2). Prawdopodobne jest więc, że za pośrednictwem zmian polaryzacji błony komórkowej zewnętrzne pola elektromagnetyczne wpływają na sieć mikrotubul i procesy mające w niej miejsce.

Jak wiadomo, pola elektromagnetyczne mogą być nośnikami bioinformacji (65) i faktycznie nimi są, jak np. w warstwach kory mózgowej (87) (zob. także holograficzne modele pamięci, np. (27)). Znana też jest bioinformacyjna funkcja naturalnych pól elektromagnetycznych (37), jak i możliwość elektromagnetycznego sterowania pewnymi procesami biologicznymi (np. (6, 64)). Tym bardziej więc groźne mogą być konsekwencje wspomnianych powyżej zagrożeń „śmieciami” elektromagnetycznymi, zwłaszcza że organizmy żywe są nie tylko układami chemicznymi, ale i urządzeniami elektronicznymi; chociaż ten sposób ich ujmowania nie jest jeszcze powszechnie zaakceptowany.

Szukanie mechanizmów oddziaływania niskoczęstotliwościowych pól elektromagnetycznych na układy żywe trwa nadal. Interesującą propozycją jest np. hipoteza rezonansu cyklotronowego jonów komórkowych (takich jak Ca^{2+} , Li^+ , Na^+ , K^+) jako bioefektu ELF (np. (53, 60)). Jest to efekt typowy dla plazmy fizycznej. Możliwe zaś pośrednictwo plazmy fizycznej, obecnej w organizmach żywych, w oddziaływaniu pól środowiskowych było również proponowane (94, 96-97). Niewykluczone więc, że bioplazma pośredniczy w recepcji pól zewnętrznych jako zwyczajnych sygnałów środowiskowych, ale również, w przypadku tej jej „części” zawartej w sieci mikrotubul, uczestniczy w przetwarzaniu informacji. Bioplazma bowiem to nie tylko zbiór nośników ładunku, ale i magazyn fotonów⁸, a te mają tu istotne znaczenie,

⁸ Zob. na temat magazynowania fotonów w układach żywych (65, s. 123-150) i inne prace F. A. Poppa, np. (93 s. 43-59 i s. 60-94).

tj. są nośnikami informacji. Zgodnie przecież z koncepcją elektromagnetycznej natury życia (72-73) - jest ono przede wszystkim falą elektromagnetyczną generowaną w środowisku półprzewodników białkowych. Czy też według tzw. definicji falowej życia - „życie jest to drgająca siatka dyfrakcyjna elektronowo-fotonowo-fononowa w ośrodku piezoelektrycznego półprzewodnika białkowego zasilana energią chemiczną procesów metabolicznych" (77, s. 480), organizm zaś „jest to układ białkowy piezoelektrycznych półprzewodników o sprzężonych funkcjach chemicznych i elektronicznych z falową koordynacją wewnętrzną, otoczony falą elektromagnetyczną emitowaną na zewnątrz" (77, s. 485).

5. UWAGI KOŃCOWE

Wydaje się prawdopodobne, że układy żywe, jako oscylatory elektromagnetyczne, mogą być wrażliwe na rezonansowe czy też informacyjne oddziaływania środowiskowych pól elektromagnetycznych, a mikrotubule mogą pośredniczyć w tych oddziaływaniach. Zapewne sprawą niedalekiej przyszłości mogą być prace, które wprost podejmą problem elektromagnetycznego sterowania przetwarzaniem przez sieć mikrotubuli sygnałów lub informacji. Spekuluje się już przecież o możliwości skonstruowania interfejsu pomiędzy mózgiem ludzkim a jakimś komputerem przyszłej generacji (59). Interfejs taki to nie tylko problem technologiczny z wykorzystaniem pogranicza fizyki, chemii, biologii, cybernetyki etc, ale i filozoficzny, bowiem geneza informacji biologicznej jest jednym z filozoficznych problemów pochodzenia życia (np. (42)). W przekonaniu autora zagadnienie elektromagnetycznego sterowania przetwarzaniem sygnałów i/lub informacji w mikrotubulach może mieć istotne znaczenie w badaniach mających na celu rekonstrukcję zarówno pochodzenia życia, jak i wczesnych etapów jego ewolucji.

LITERATURA

1. A d e y W. R., Biological effects of low energy electromagnetic fields on the central nervous system, [w:] Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. M. Grandolfo, S. M. Michaelson, A. Rindi (Eds.), Plenum Publ. Corp., New York 1983, s. 359-391.
2. A d e y W. R., The cellular microenvironment and signaling through cell membranes, [w:] (63, s. 81-106).

3. A v i r a m A. (Ed.), *Molecular Electronics - Science and Technology*, United Engineering Trustees, New York 1989.
4. B a r a ń s k i S., C z e r s k i P., *Biological Effects of Microwaves*, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg (Penn., USA) 1976.
5. B a w i n S. M., S h e p a r d A. R., A d e y W. R., Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue, „*Bioelectrochem. Bioenerg.*”, 5(1978), s. 67-76 (za (1-2)).
6. B e c k e r R. O., Electromagnetic controls over biological growth processes, „*J. Bioelectricity*”, 3(1 & 2), 1984, s. 105-118.
7. B i s t o l f i F., Bioelectronic connectional system (BCS): a therapeutic target for non ionising radiation, „*Panminerva Med.*”, 32(1990), s. 10-18.
8. B i s t o l f i F., *Biostructures and Radiation: Order Disorder*, Edizioni Minerva Medica, Torino 1991.
9. B l a c k m a n C. F., E l d e r J. A., W e i l C. M., [i n.], Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radio frequency radiation; effects of modulation frequency and field strength, *Radio Sci.*, 14(1979), s. 93 (za (1-2)).
10. C a r t e r F. L. (Ed.), *Molecular Electronic Devices*, M. Dekker, Inc., New York & Basel 1982.
11. C a r t e r F. L., The molecular device computer: Point of departure for large scale cellular automata, „*Physica D*”, 10(1984), s. 175-194.
12. C a r t e r F. L. (Ed.), *Molecular Electronic Devices II*, M. Dekker, Inc., New York & Basel 1987.
13. C a r t e r F. L., S i a t k o w s k i R. E., W o h l t j e n H. (Eds.), *Molecular Electronic Devices*, Elsevier Sci. Publ. B. V. (North-Holland), Amsterdam-New York-Oxford-Tokyo 1988.
14. C h i a b r e r a A., N i c o l i n i C., S c h w a n H. P. (Eds.), *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*, Plenum Press, New York & London 1985.
15. C h o ł o d o w J u. A., *Mózg w elektromagnetycznych polach*, Izd. „Nauka”, Moskwa 1982.
16. C h o ł o d o w J u. A., L e b i e d i e w a N. N. (red.), *Problemy elektromagnitnojj nejobiologii*, Izd. „Nauka”, Moskwa 1988.
17. C o l e F. E., G r a f E. R., *Precambrian ELF and abiogenesis*, [w:] *ELF and VLF Electromagnetic Field Effects*, M. A. Persinger (Ed.), Plenum Press, New York & London 1975, s. 243-274.
18. C o n r a d M., Information processing in molecular systems, „*BioSystems*”, 5(1), 1972, s. 1-14.
19. C o n r a d M., On design principles for a molecular computer, „*Communications of the ACM*”, 28(5), 1985, s. 464-480.
20. C o n r a d M., Neuromolecular computing: Mechanisms and architectures, [w:] *Proceedings of the 10th Ann. Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, New Orleans, Louisiana, Nov. 4-7, 1988, s. 1015-1016.
21. C o n r a d M., Quantum mechanics and molecular computing: Mutual Implications, *Int. J. Quantum Chem.: Quantum Biol. Symp.*, 15(1988), s. 287-301.
22. C o n r a d M., Self-assembly as a mechanism of molecular computing, [w:] *Proceedings of the 11th Ann. Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1989, s. 1354-1355.
23. C o n r a d M., Energy loan: A physical basis for molecular and neuromolecular computing, [w:] *Proceedings of the 12th Ann. Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Philadelphia, Pennsylvania, Nov. 1-4, 1990, s. 1776-1777.
24. C o n r a d M., Quantum molecular computing: The self-assembly model., *Int. J. Quantum Chem.: Quantum Biol. Symp.*, 19(1992), s. 125-143.

25. D i r e n f e l d L. K., The genesis of the EEG and its relation to electromagnetic radiation, „J. Bioelectricity”, 2(2&3), 1983, s. 111-121.
26. G r i t s e n k o O. V., S i d e l n i k o v D. I., S i m o n o v a A. P., R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S., Towards a biomolecular computer: 3. Information processing features of distributed biochemical systems functioning in the model of dissipative structure formation, „J. Molec. Electronics”, 7(1991), s. 155-166.
27. G r o c h o w s k i Z., Holograficzne modele pamięci, „Przeegl. Psychol.”, 28(1), 1985, s. 179-190.
28. H a m e r o f f S. R., Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology, Elsevier (North-Holland), Amsterdam 1987 (za (71)).
29. H a m e r o f f S. R., R a s m u s s e n S., Information processing in microtubules: Biomolecular automata and nanocomputers, [w:] (36, s. 243-257).
30. H a m e r o f f S. R., R a s m u s s e n S., M a n s s o n B., Molecular automata in microtubules: basic computational logic for the living state? [w:] Artificial Life, the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Vol. VI, C. Langton (Ed.), Addison-Wesley, Reading, MA, 1989, s. 521-553 (za (71)).
31. H a m e r o f f S. R., S m i t h S. A., W a t t R. C., Automaton model of dynamic organization in microtubules, Ann. N.Y. Acad. Sci., 466, 1986, s. 949-952.
32. H a m e r o f f S. R., W a t t R. C., Microtubules: Biological microprocessors? [w:] (10, s. 341-356).
33. H a m e r o f f S. R., W a t t R. C., Information processing in microtubules, „J. Theoret. Biol.”, 98(1982), s. 549-561.
34. H o ł o w n i a J., Promieniowanie elektromagnetyczne w naturze i jego znaczenie dla organizmów żywych, [w:] Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum, KUL, 20-21 XI 1987 r., W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk (red.), Red. Wyd. KUL, Lublin 1990, s. 75-87.
35. H o m m e l H., Electromagnetic smog - a damage and stress factor? „Bioelectrochem. Bioenerg.”, 17(3), 1987, s. 441-456.
36. H o n g F. (Ed.), Molecular Electronics: Biosensors and Biocomputers, Plenum Press, New York & London 1989.
37. K a z n a c z e j e w W. P., M i c h a j ł o w a Ł. P., Bioinformacjonna funkcja jestestwicznych elektromagnitnych polej, Izd. „Nauka”, Nowosibirsk 1985.
38. K h o l o d o v Y u. A., Basic problems of electromagnetic biology, [w:] (57, s. 109-116).
39. K o r u g a D., Microtubules: Possible application to computer technologies, [w:] (36, s. 231-241).
40. K o r u g a D., Neuromolecular computing, „Nanobiology”, 1(1992), s. 5-24.
41. K ö n i g H. L., Unsichtbare Umwelt. Der Mensch im Spielfeld Elektromagnetischer Kräfte, Eigenverlag Herbert L. König, München 1977.
42. K ü p p e r s B.-O., Geneza informacji biologicznej. Filozoficzne problemy powstania życia, Warszawa 1991 (tłum. z jęz. niem.: Der Ursprung biologischer Information. Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung, KG., München 1986).
43. L i b e r m a n J e. A., Molekularnaja wycislitielnaja maszina kletki (MWM), I. Obszczije soobrazenija i gipotiezy, „Biofizika”, 17(5), 1972, s. 932-943.
44. L i b e r m a n J e. A., Molekularnaja wycislitielnaja maszina kletki (MWM), IV. „Ciena diejstwija” - wieliezina, charakticizujuszczaja „trudnost” rieszenija zadaczi dla wycislitielnogo ustrojstwa, „Biofizika”, 19(1), 1974, s. 148-150.
45. L i b e r m a n J e. A., Molekularnaja wycislitielnaja maszina (MWM) kletki, V. O mechanizmie pieriekodirowanija signalow, postupojuszeczich na sinapsy, w kody MWM, „Biofizika”, 19(2), 1974, s. 361-362.

46. L i b e r m a n Je. A., Molekularna wycisłitielnaja maszina kietki, VI. Ob odnom sposobie izuczenija roli odinocznoj nierwnoj kietki i nierwnoj sieti w rabotie mozga, „Biofizika”, 19(6), 1974, s. 1101-1102.
47. L i b e r m a n Je. A., Molekularnaja wycisłitielnaja maszina kietki, VII. Biofizika kietki i realisticzeskaja ili informacionnaja fizika (I), „Biofizika”, 20(3), 1975, s. 432-435.
48. L i b e r m a n Je. A., Molekularnaja wycisłitielnaja maszina kietki (MWM), VIII. Wozmożnaja konstrukcija molekularnoj pamiaty w biologiczeskich membranach i princip minimalnych zatrat swobodnoj energii na zapis' informacii, „Biofizika”, 20(4), 1975, s. 624-627.
49. L i b e r m a n Je. A., Predielnyj molekularnyj kwantowyj regulator, „Biofizyka”, 28(1), 1983, s. 183-185.
50. L i b e r m a n Je. A., Molekularnyje kwantowyje komp'jutieri, „Biofizika”, 34(5), 1989, s. 913-925.
51. L i b e r m a n Je. A., M i n i n a S. W., Szklowski N. Je., Depolarizacija membrany neyronow pod dejstwijem cikliczeskogo 3', 5'-adienozinmonofosfata i jeje wozmożnaja roi w rabotie molekularnoj wycisłitielnaj masziny (MWM) nejrona, „Biofizika”, 23(2), 1978, s. 305-311.
52. L i b e r m a n Je. A., S z k ł o w s k i j N. Je., Molekularnaja wycisłitielnaja maszina kietki (MWM), III. O wozmożnoj konstrukcii „idealnogo” wycisłitielnogo ustrojstwa w židkoj miembranie, „Biofizika”, 18(6), 1973, s. 1121.
53. L i b o f f A. R., Cyclotron resonance in membrane transport, [w:] (14, s. 281-296).
54. L i n J. C. (Ed.), Interactions of Electromagnetic Waves with Biological Systems, Plenum Press, New York 1988.
55. M a r i n o A. A. (Ed.), Modern Bioelectricity, M. Dekker, New York & Basel 1988.
56. M a r k o v M. S., Electromagnetic fields - A new ecological factor, [w:] (57, s. 135-140).
57. M a r k o v M., Blank M. (Eds.), Electromagnetic Fields and Biomembranes, Plenum Press, New York & London 1988.
58. M a t s u m o t o G., I i j i m a T., Neurons as microprocessors with a kind of memory function, [w:] (36, s. 213-222).
59. M c A k e a r J. H., W e h r u n g J. M., The biochip: now, 2,000 A.D., and beyond, [w:] (12, s. 623-633).
60. M c L e o d B. R., L i b o f f A. R., Dynamic characteristics of membrane ions in multifield configurations of low-frequency electromagnetic radiation, „Bioelectromagnetics”, 7(1986), s. 177-189.
61. M i k o ł a j c z y k H., Działanie pól i promieniowania elektromagnetycznego na obiekty biologiczne, [w:] Biospektroskopia, t. 5, J. Twardowski (red.), Warszawa 1990, s. 153-234.
62. N o r d e n s t r ö m B. E. W., Link between external electromagnetic field and biological matter, „Intern. J. Environmental Studies”, 41(1992), s. 233-250.
63. O c o n n o r M. E., L o v e l y R. H. (Eds.), Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function, A. R. Liss, Inc., New York 1988.
64. P i l l a A. A., S c h m u k l e r R. E., K a u f m a n J. J., R e i n G., Electro magnetic modulation of biological processes: Consideration of cell-waveform interactions, [w:] (14, s. 423-435).
65. P o p p F. A., B e c k e r G., K ö n i g H. L., P e s c h k a W. (Eds.), Electro magnetic Bio-Information, Urban & Schwarzenberg, Miinchen-Wien-Baltimore 1979.
66. P r e s m a n A. S., Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda, Warszawa 1971 (tłum. z jęz. ros.: Elektromagnitnyje pola i žiwaja priroda, Izd. „Nauka”, Moskwa 1968).

67. R a k o v i ć D., K o r u g a D., D j a k o v i ć D., M a r t i n o v i ć Ž., D e s i m i r o v i ć V., M i n i ć D., Ultralowfrequency „optical” biocomputers: Biophysical arguments, [w:] (36, s. 397-405).
68. R a k o v i ć D., K o r u g a D., M a r t i n o v i ć Ž., Stanojević G., On ; biophysical structure brain-like biocomputers, [w:] Proc. 2nd Int. Conf. Mol. Electr. & Biocomp., Kluwer Publ., 11-15 Sept. 1989, Moscow (preprint).
69. R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S., Towards a biomolecular computer: 2. Information-processing and computing devices based on biochemical non-linear dynamic systems, „J. Molec. Electronics”, 7(1991), s. 115-125.
70. R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S., S a n d l e r Yu. M., Towards a biomolecular computer: 1. Ways, means, objectives, „J. Molec. Electronics”, 7(1991), s. 105-114.
71. R a s m u s s e n S., K a r a m p u r w a l a H., V a i d y a n a t h R., J e n s e n K. S., H a m e r o f f S., Computational connectionism within neurons: A model of cytoskeletal automata subserving neural networks, „Physica D”, 42(1990), s. 428-449.
72. S e d l a k W., ABC elektromagnetycznej teorii życia, „Kosmos A”, 18(1969), s. 165-174.
73. S e d l a k W., Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia, „Roczn. Filoz.”, 18 z. 3, 1970, s. 101-126.
74. S e d l a k W., Biofizyczne aspekty ekologii, „Wiadomości Ekologiczne”, 16(1), 1970, s. 43-53.
75. S e d l a k W., Ochrona środowiska człowieka w zakresie niejonizującego promieniowania, „Wiadomości Ekologiczne”, 19(3), 1973, s. 223-237.
76. S e d l a k W., Piezoelektryczność związków organicznych i kwantowo-akustyczne podstawy informacji biologicznej, „Roczn. Filoz.”, 25, z. 3, 1977, s. 149-170.
77. S c d l a k W., Zarys biologii falowej, [w:] W. S e d l a k, Bioelektronika. 1967-1977, Warszawa 1979, s. 469-492.
78. S e d l a k W., Wpływ degradacji elektromagnetycznego środowiska geofizycznego na organizm ludzki, [w:] II Konferencja Naukowa nt. „Kryzys ekologiczny środowiska zagrożeniem zdrowia i sprawności fizycznej”, Kraków 26-27 kwietnia 1980 r., „Zeszyty Naukowe AWF”, 22, 1980, s. 128-130.
79. S e d l a k W., Problemy planetarnej ochrony elektromagnetycznego środowiska w odniesieniu do populacji ludzkiej, [w:] Studia i Materiały Monograficzne. Pola elektromagnetyczne, Instytut Medycyny Pracy, Łódź, 4(8), 1981, s. 55-65.
80. S e d l a k W., Stresujący czynnik elektromagnetycznego środowiska urbanistycznego, „Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Naukowego”, 18(2/4), 1981, s. 41-48.
81. S i d i a k i n W. G., Wlijanije globalnych ekologicznych czynników na nierwnuju sistiemu, Izd. „Naukowa Dumka”, Kijew 1986.
82. S i d i a k i n W. G., T i e m u r ' j a n c N. A., M a k i e j e w W. B., W ł a d i - m i r s k i j B. M., Kosmiczeskaja ekologija, Izd. „Naukowa Dumka”, Kijew 1985.
83. S i e r d i u k A. M., Wzaimodiejstwije organizma s elektromagnitnymi polami kak s faktorom okružajuszczej sfiery, Izd. „Naukowa Dumka”, Kijew 1977.
84. S m i t h S. A., W a t t R. C., H a m e r o f f S. R., Cellular automata in cytoskeletal lattices, „Physica D”, 10(1984), s. 168-174.
85. T e n f o r d e T. S., K a u n e W. T., Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans, „Health Physics”, 53(6), 1987, s. 585-606.
86. T o f a n i S., D'A morę G., Extremely-low-frequency and very-low-frequency magnetic fields emitted by video display units, „Bioelectromagnetics”, 12(1991), s. 35-45.
87. T r i f f e t T., G r e e n H. S., Information transfer by electromagnetic waves in cortex layers, „J. theoret. Biol.”, 131(1988), s. 199-221.

88. V a s s i l e v P., K a n a z I r s k a M., The role of cytoskeleton in the mechanisms of electric effects and information transfer in cellular systems, „Medical Hypotheses”, 16(1985), s. 93-96.
89. W a j n c w a j g M. I., L i b e r m a n J e. A., Molekularna wycislieniowa maszyna, II. Formalnoje opisanije (sistemi operatorow), „Biofizika” 18(5), 1973, s. 939-941.
90. W e r b o s P. J., The cytoskeleton: Why it may be crucial to human learning and to neurocontrol, „Nanobiology”, 1(1992), s. 75-95.
91. W e v e r R., Einfluß schwacher elektromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen, „Naturwissenschaften”, 55(1), 1968, s. 29-32 (za 2).
92. W n u k M., Z o n J., Wkład Włodzimierza Sedlaka w powstawanie bioelektroniki, „Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Naukowego”, 23(3-4), 1986, s. 88-103.
93. W o l k o w s k i Z. W., (Ed.), Proceedings of International Symposium on Wave Therapeutics. Interaction of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems, Versailles, May 19-20, 1979, Paris 1983.
94. W o l k o w s k i Z. W., S e d l a k W., Z o n J., J o d k o w s k a G., Mechanisme plasmique de la reception du rayonnement electromagnetique a basse frequence par les systemes vivants, [w:] (93, s. 139-158).
95. Z o n J., Wpływ naturalnego środowiska elektromagnetycznego na człowieka, „Roczn. Filoz.”, 29, z. 3, 1976, s. 89-100.
96. Z o n J. R., Physical plasma in biological solids: a possible mechanism for resonant interactions between low intensity microwaves and biological systems, „Physiol. Chem. Phys.”, 11(6), 1979, s. 501-506.
97. Z o n J., S z e j k a J., Plazmowy mechanizm recepcji statycznych i wolnozmiennych pól magnetycznych przez organizmy, [w:] Bioelektronika. Materiały II Konferencji nt. bioplazmy, KUL, 18 XII 1985 r., W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk (red.), Red. Wyd. KUL, Lublin 1988, s. 71-85.

THE POSSIBILITY OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL ELECTROMAGNETIC POLLUTION ON BIOLOGICAL MICROPROCESSORS

S u m m a r y

The discussion on the possible influence of environmental electromagnetic pollution on biological microprocessors is undertaken in the context of bioelectronics, especially in connection with the electromagnetic theory of life. First, concepts and hypotheses of living systems as molecular computers, quantum molecular computers, biomolecular automata, etc, have been reviewed. Second, microtubules as microprocessors have been discussed. Third, some data on the natural and artificial electromagnetic environment have been referred in regard to their connection with living processes. Here, attention is paid to the attempts at linking information processing in microtubules with the external weak electromagnetic fields. Finally, bioplasma as a possible mechanism for resonant interactions between electromagnetic fields and biological systems is emphasized. It is also suggested that research on the control and processing of signals and/or information in microtubules may be essential for the studies on the origins of life.