

## „TOPOGRAFIA” BADAŃ W DZIEDZINIE BIOELEKTRONIKI

### 1. Uwagi wstępne

Niniejsze opracowanie nie jest pierwszym, jakie poświęcono omówieniu struktury i osiągnięć bioelektroniki. Pierwsze prace o takim charakterze przedstawiono już bowiem przed ponad dziesięciu laty (4, 35, 44, 56). W trzech pierwszych spośród nich bioelektronikę starano się przedstawić jako dziedzinę, co prawda bardzo młodą, ale posiadającą dobrze określony przedmiot, zadania i metody, a więc w zasadzie należącą do grupy uznanych dziedzin nauki. W ostatnim z wymienionych opracowań – na przykładzie hipotez o elektrostatyce, bioplazmie, polu biologicznym i tzw. elektromagnetycznej teorii życia – wyeksponowano z jednej strony hipotetyczność, z drugiej natomiast heurystyczną użyteczność tej dziedziny.

Termin „*topografia*” ma tutaj oczywiście znaczenie przenośne. Jest on jednak na tyle adekwatny w odniesieniu do aspektów bioelektroniki, jakie zostaną poniżej krótko scharakteryzowane, że w kolejnych fragmentach niniejszego tekstu jako hasła wywoławcze pojawiać się będą elementy występujące w jego określeniu.

Słownikowa definicja tego pojęcia odnosi się zarówno do pewnych charakterystycznych elementów rzeczywistości (wymiar przedmiotowy), jak i do badań, których przedmiotem są te elementy (wymiar metapredmiotowy). Jeśli chodzi o ten pierwszy wymiar definicji, to przez „*topografię*” rozumie się *zespół cech zewnętrznych terenu, którego naistotniejszymi elementami są: jego rzeźba, sytuacja wodna, rodzaj użytków, drogi i zabudowania*. W drugim znaczeniu pod pojęciem „*topografii*” kryje się *dział geodezji zajmujący się wykonywaniem pomiarów szczegółów sytuacyjnych i rzeźby terenu w celu przygotowania jego map*. Przedmiotowe, a więc odnoszące się do rzeczywistości, określenie tego pojęcia, posłuży tu jako swoisty rodzaj siatki

wyznaczającej wyróżnione punkty widzenia, z których wypadnie tu scharakteryzować podstawowe wymiary bioelektroniki.

Dwa najbliższe fragmenty opracowania odnoszą się do bioelektroniki jako całości. Pierwszy z nich ma za cel przedstawienie istotnych wymiarów bioelektroniki, a więc jej przedmiotu, metod i celu badań. Drugi natomiast sytuuje bioelektronikę wśród innych dyscyplin przyrodoznawstwa. Wskazano tu, że najwłaściwsze podejście do bioelektroniki to traktowanie jej pod względem wymagań, jakie powinna spełniać tak, „jak każdą inną” dyscyplinę. Choć ze względu na tradycję rozwoju przyrodoznawstwa stanowisko to nie jest wcale oryginalne, to jednak ze względu na opublikowane prace na temat bioelektroniki nie jest ono jak dotąd typowe.

Następny fragment dotyczy formalnej struktury bioelektroniki. Wyróżniono w niej paradygmat, teorie, prawa i fakty jednostkowe. Ostatnia, najbardziej rozbudowana część opracowania odnosi się natomiast do pominiętych wcześniej aspektów charakteryzujących bioelektronikę, takich jak: źródła inspiracji, finansowanie badań, środki przenoszenia, wymiany i utrwalania wyników badań oraz instytucje, których działalność ma istotny wpływ na rozwój bioelektroniki.

## **2. Główny punkt obserwacji – określenie bioelektroniki**

Zasadnicze znaczenie dla całości naszkicowanego poniżej obrazu sytuacji ma podjęcie próby określenia podstawowych wymiarów bioelektroniki, a więc wskazanie materialnego i formalnego przedmiotu jej zainteresowania, celu oraz metod, jakie są wykorzystywane na jej terenie.

Zdaniem autora, dziedzinę tę można uznać za pewien fragment badań, które mogą być prowadzone nad:

- normalnie funkcjonującymi układami żywymi na różnych poziomach organizacji życia (począwszy od molekuł i ich agregatów, skończywszy na biosferze jako całości),
- ich składnikami:
  - izolowanymi w obrębie całościowych struktur wyższego rzędu<sup>1</sup>,
  - izolowanymi i odseperowanymi od żywych układów,

---

<sup>1</sup> Do tej kategorii należałyby wszystkie doświadczenia, w których bada się określoną podjednostkę w obrębie całościowego układu, jednak eliminuje się lub redukuje do minimum wpływ określonych czynników zakłócających przebieg badanego zjawiska, jak na przykład ma to miejsce w przypadku blokowania kanałów jonowych przy pomocy tetrodotoksyny lub sakso-toniny.

- rekonstruowanymi<sup>2</sup>,
- biomimetycznymi<sup>3</sup>, wreszcie na
- układach hybrydowych elektroniczno–biologicznych<sup>4</sup>,

przy wykorzystaniu aparatury pojęciowej oraz metod empirycznych i teoretycznych, spośród których najbardziej istotną rolę odgrywają te, które są specyficzne dla elektroniki fizycznej i technicznej<sup>5</sup>. Celem tych badań jest, z jednej strony, stwierdzenie czy we wspomnianych wyżej jednostkach da się zidentyfikować zjawiska lub właściwości, których opis mieści się w obszarze kompetencji poznawczych wspomnianych wyżej dziedzin – i jeśli takie własności istotnie zostaną wykryte i dokładniej scharakteryzowane – wskazanie jaką rolę życiową mogłyby one spełniać bezpośrednio lub pośrednio. Z drugiej strony – bioelektronika stawia sobie za cel nie tylko identyfikację i wskazywanie możliwości zaangażowania w przebieg rozmaitych procesów życiowych czynników o naturze elektronicznej oddziałujących wewnątrz układów żywych, lecz również tych, które – wskutek „sprzężenia” poprzez elektroniczne właściwości biostruktur – oddziałują na układ żywy z jego otoczenia. Czynniki te należy brać pod uwagę jako inicjujące, znacząco wpływające lub współkodyfikujące warunki do normalnego (a w pewnych sytuacjach zaburzonego) przebiegu zjawisk życiowych na różnych poziomach organizacji świata żywego.

Pierwszą grupę wspomnianych celów najskuteczniej mogą realizować badacze, których podstawowe kompetencje mieszczą się w obszarze elektroniki fizycznej lub technicznej; natomiast cele wspomniane w drugiej kolejności – ci<sup>6</sup>, którzy są także dostatecznie rozeznani w naukach biologicznych, medycynie lub rolnictwie. Trzeba jednak podkreślić, że realizacja za-

---

<sup>2</sup> Tzn. uprzednio rozdzielonymi na jednostki niższego rzędu, a później ponownie odtworzonymi z tych jednostek.

<sup>3</sup> Naśladującymi pod względem materiałowym, strukturalnym lub funkcjonalnym układy żywe.

<sup>4</sup> Takich, gdzie układ elektroniczny spełnia lub wspomaga spełnianie specyficznych funkcji układu żywego.

<sup>5</sup> Pod pojęciem elektroniki fizycznej należy rozumieć ten dział fizyki, którego przedmiotem jest zachowanie się elektronów i innych niejonowych nośników ładunku, w różnych ośrodkach a także generowanie przez te cząstki pól lub skutki oddziaływania na te cząstki różnych pól fizycznych. Zakres elektroniki fizycznej krzyżuje się więc w znacznej mierze z elektrodynamiką klasyczną i kwantową. Z kolei elektronika techniczna, czerpiąc istotne teoretyczne i metodyczne elementy z elektroniki fizycznej, zajmuje się wyszukiwaniem i tworzeniem materiałów oraz układów zaspokajających konkretne potrzeby człowieka. Nie można też zapomnieć o bardzo interesujących subdyscyplinach elektroniki fizycznej i technicznej, których przedmiotem są sprzężone własności i oddziaływania. Przykładem może tu być optoelektronika, której niektóre problemy można uznać za mieszczące się w obrębie optobioelektroniki (p. np. streszczenie referatu J. Sławińskiego zamieszczone w niniejszych materiałach).

<sup>6</sup> Ta kwalifikacja odnosi się nie tyle do pojedynczych badaczy, ile raczej do zespołów badawczych.

dań postawionych przed badaniami prowadzonymi przez elektroników jest warunkiem niezbędnym dla pełnej realizacji badań biomedycznych i rolniczych. Z kolei badania tych dwu ostatnio wyliczonych grup dopełniają te, które się ściśle mieszczą w obszarze objętym horyzontem elektroniki i inżynierii elektronicznej oraz otwierają przed oczyma badaczy zajmujących się zjawiskami życiowymi obraz nowych, często głębszych zależności, niż te, które dotychczas dostrzegano. Jak już zaznaczono, badań biomedycznych i rolniczych nie można prowadzić w izolacji czy też przy braku badań nad własnościami elektronicznymi bioukładów i zjawisk elektronicznych zachodzących w ich obrębie. Jeśli jednak ma to miejsce, to uzyskane w badaniach empirycznych nawet bardzo wiarygodne wyniki można uznać co najwyżej za faktografię biologiczną wysokiej klasy. W takiej postaci nie kwalifikują się one jeszcze w pełni do miana badań bioelektronicznych.

Z kolei badania teoretyczne prowadzone przy wykorzystaniu metod i koncepcji biologii (w oderwaniu od danych uzyskanych w wyniku badań nad elektronicznymi własnościami biomateriału), w lepszym wypadku, można zaliczyć do zbioru idei zaczątkowych biologii (jej bazy filozoficzno–przyrodniczej), w gorszym – do spekulacji. W ten sposób, niejako naturalnie, pojawia się pytanie o odniesienie bioelektroniki do innych dziedzin badań. Odpowiedź na to pytanie stanowi pierwszy element rozważań ściśle wiążących się z tytułem niniejszego opracowania.

### **3. Element scjentografii – położenie bioelektroniki w obszarze nauk przyrodniczych**

W prowadzonych tu rozważaniach istotne znaczenie ma pewien fragment wycinka badań o charakterze pogranicznym pomiędzy fizyką i biologią. Jest nim biofizyka, w jej ramach nauka o bioelektryczności i dopiero w obrębie tej ostatniej subdyscypliny omawiana tutaj bioelektronika. Wbrew dość rozpowszechnionym opiniom nie jest ta ostatnio wspomniana dziedzina jakimś oryginalnym typem „superbiofizyki” (jak to czasami deklarowano w związku z uwagami na temat roli bioplazmy w organizmach), nie jest też obszarem dociekań „oddanych w pacht” badaczom zjawisk paranormalnych. Jeśli bowiem brać pod uwagę jej ściśle powiązanie z konkretnymi działami fizyki, to należy ją stawiać w równym rzędzie z innymi subdyscyplinami biofizyki, takimi na przykład, jak: biomechanika, biotermodynamika czy też fizyczne badania nad występowaniem i rolą życiową jonowych nośników ładunku w biostrukturach.

Jak już wspomniano, dziedzinę bezpośrednio nadrzędną w stosunku do bioelektroniki stanowi nauka o bioelektryczności, mająca za przedmiot wszystkie własności elektryczne i magnetyczne organizmów, które się bada ze względu na możliwą ich rolę w procesach życiowych. Prócz bioelektroniki wchodzi w jej zakres także badania zaliczane do bioelektromagnetyki, bioelektrochemii i magnetobiologii. Biofizyka, która jest nadrzędną dziedziną w stosunku do ostatnio wymienionych, wykorzystuje zasób pojęć, metody, ustalone prawidłowości i paradygmaty fizyki oraz biologii w celu ujawnienia powiązań istniejących pomiędzy dobrze znanymi właściwościami obiektów świata nieożywionego a tymi, które w postaci daleko bardziej złożonych zależności współkonstytuują procesy istotne dla życia biologicznego. Bioelektronika, wraz z innymi subdyscyplinami biofizyki realizuje zadania tej dziedziny na specyficznym dla siebie obszarze zjawisk i właściwości układów, tych mianowicie, które wiążą się z elektrycznością, magnetyzmem, polami elektrycznymi, magnetycznymi i elektromagnetycznymi w organizmach oraz ich otoczeniu.

#### **4. Rzeźba terenu – zasadnicze elementy struktury pojęciowej bioelektroniki**

W strukturze każdej wykształconej dziedziny nauki dają się wyróżnić następujące elementy: leżący u jej podstaw paradygmat, czyli wzorzec stawiania problemów i ich rozwiązywania, teorie, czyli spójne ze sobą zbiory podstawowych pojęć i zespołów zdań ogólnych, ujmujących zachodzenie określonych prawidłowości (praw), zdania opisujące zaobserwowane zjawiska lub fakty jednostkowe oraz hipotezy, które są zdaniami „aspirującymi” do kategorii adekwatnie opisujących jakąś prawidłowość lub nowy fakt jednostkowy. Należy zatem zapytać czy w bioelektronice o tej postaci, w jakiej jest ona obecnie, można zidentyfikować elementy, które należą do wspomnianych wyżej kategorii. Gdyby tak było, usprawiedliwiłoby to w pełni mówienie o bioelektronice jako ukształtowanej już dyscyplinie naukowej.

Bioelektronika w tym stanie, w jakim się obecnie znajduje, w dalszym ciągu musi być niestety uznawana za subdyscyplinę biofizyki dopiero się kształtującą, wobec której trudno stosować takie wymagania, jak na przykład w odniesieniu do bioelektrochemii, nad której statusem *nota bene* w dalszym ciągu trwają dyskusje (25). Mimo to, warto tu wspomnieć o tych istotnych elementach, które często bardziej na sposób projektujący, niż podsumowujący, tworzą (czy też zdają się tworzyć) szkielet bioelektroniki.

#### 4.1. Paradygmat i punkty wyjścia do badań bioelektronicznych

Sformułowanie fundamentalnego dla bioelektroniki pytania, wyznaczającego treść i zakres innych stawianych na jej gruncie pytań, mogłoby mieć następującą postać: *Czy organizm lub przynajmniej niektóre jego spełniające znaczącą rolę biologiczną składniki można traktować jako specyficznego typu układy, w których – prócz rozbudwanej sieci oddziaływań energetycznych, regulacyjnych i informacyjnych, zachodzących przy udziale nośników o naturze mechanicznej, termicznej, grawitacyjnej czy też chemicznej – występują i odgrywają znaczącą rolę takie własności i zjawiska, jakie są przedmiotem zainteresowania fizyki zjawisk, w których zasadniczą rolę odgrywają zjawiska elektronowe oraz takie, które spełniają istotną rolę w skonstruowanych urządzeniach współczesnej elektroniki.* Krótko mówiąc stawia się tu pytanie<sup>7</sup> o występowanie w układach żywych własności i zjawisk, których opis leży w obszarze kompetencji elektroniki fizycznej lub technicznej, o zakres ich przejawiania się w rozmaitych typach biostruktur, o zaangażowanie w funkcje organizmów, wreszcie o stopień ich ważności dla utrzymywania się i niezakończonego przebiegu procesów konstytuujących życie biologiczne.

W sytuacji, kiedy przeprowadzono już znaczną liczbę badań mających na celu stwierdzenie interesujących z punktu widzenia elektroniki materiałowej własności biostruktur, uzyskanych z nich ekstraktów (18, 21, 30–31, 42, 50, 57), układów modelujących biostruktury (24) i bioukładów rekonstruowanych trudno utrzymać, że badania bioelektroniczne zawieszono w pustce wyników doświadczalnych. Jak widać, wyników tych jest dość dużo i świadczą one co najmniej o podążaniu poszukiwań w niezbyt jasno uświadomianym sobie przez wielu badaczy kierunku, który w istocie jest zbieżny z kierunkiem wyznaczanym przez wspomniany powyżej wzorzec stawiania pytań. Zgromadzono także zauważalną liczbę wyników badań biomedycznych, które dobrze pasują do paradygmatu bioelektroniki. Co więcej, z tym specyficznym dla bioelektroniki punktem widzenia (i powiąza-

---

<sup>7</sup> Pomijam w tej chwili wyraźnie widoczną w wielu dotychczasowych pracach W. Sedlaka manifestację przeświadczenia, że tak być musi, gdyż nie można sobie wyobrazić, ażeby procesy chemiczne (a w tym wypadku biochemiczne) przebiegały w zupełnej izolacji, niezależnie, od procesów elektronowych np. przebudowy zewnętrznych orbitali elektronowych i towarzyszących temu w niektórych wypadkach aktów emisji lub absorpcji energii (kwanty światła lub kwanty drgań sieci krystalicznej). Procesy bioelektroniczne polegałyby tutaj na pochłanianiu lub wydzielaniu porcji energii, przemieszczaniu jej tzw. *elektronów niezwiązanych* w obrębie pojedynczych molekuł (np. karotenoidów) lub ich skupisk. Zjawiska te nie byłyby „bezpośrednio sprzężone” z reakcjami chemicznymi w układach żywych, jednak fakt ich zachodzenia miałby istotne znaczenie dla przebiegu tych reakcji (np. zmiana reaktywności, będąca skutkiem zmiany konformacji, której pierwotną przyczyną byłoby przemieszczenie się elektronu).

nym z nim sposobem stawiania pytań) korespondują też próby zidentyfikowania w bioukładach elementów układów znanych z elektroniki stosowanej (np. 10–11, 16, 54). Można zatem zauważyć, że szczegółowa procedura stawiania pytań i metod znajdowania odpowiedzi, jakkolwiek uwarunkowane ścisłym powiązaniem z tym samym paradygmatem, mogą być różne i to na trzy przynajmniej sposoby. W istocie bowiem zależy to będzie od punktu wyjścia obranego lub zastanego przez osoby czy też zespoły podejmujące badania.

Po pierwsze, punkt wyjścia charakterystyczny dla czystej biofizyki (w tym wypadku fizyki zjawisk elektronowych w bioukładach i biomateriałach) narzuca wykorzystywanie do badań nad biostrukturami metod, teorii i pojęć fizyki związanych z właściwościami materiałów zawierających swobodne elektrony. Metody te oczywiście muszą być zaadaptowane do specyficznego typu materiału biologicznego, jaki jest przedmiotem badania. Jako przykład badań kierowanych taką właśnie ideą można podać uwieńczone powodzeniem próby wykazania, że przepływowi elektronów przez biomateriał nie towarzyszy transport masy (co wyklucza zaangażowanie prądu jonowego) czy też wykazywanie charakterystycznego dla półprzewodników i dielektryków charakteru zmian przewodnictwa elektrycznego wskutek zmian temperatury. Kolejny krok, po uwieńczonych pozytywnymi wynikami badaniach tego typu, stanowi zazwyczaj podejmowanie uwzględniających wykrytą własność prób tłumaczenia mechanizmów różnych procesów życiowych. Przykładem może tu być transport energii wzdłuż molekuł białkowych, który mógłby się dokonywać dzięki powstawaniu i propagacji w nich tzw. solitonów lub też elektrosolitonów (12 s. 82).

Po drugie, dla biomedycznego punktu wyjścia w stosunku do badań bioelektronicznych typowe jest szukanie i opisywanie takich powiązań czynników wewnątrzorganizmalnych (lub zależności pomiędzy stanami organizmu a wywołującymi je lub współkształtującymi czynnikami otoczenia), które dochodzą do skutku dzięki bezpośredniemu lub pośredniemu zaangażowaniu tych własności biostruktur lub czynników otoczenia, które są natury elektrycznej, magnetycznej lub elektromagnetycznej. Kolejny krok po spełnieniu tak postawionego podstawowego zadania badawczego stanowią pytania o rolę, jaką ustalone własności i zależności odgrywają obecnie w podjednostkach organizmów, czy też w całych organizmach, w ich zbiorowiskach o różnej randze taksonomicznej. Można brać także pod uwagę ich rolę w ewolucji życia (55) lub u zarania jego historii.

Po trzecie, z wizją organizmu żywego jako specyficznego układu, w którym własności elektroniczne odrywają znaczącą rolę doskonale korespondują próby podejmowane z czysto „inżynierskiego” stanowiska. Chodzi tu mianowicie o wykazanie, że przyroda żywa wykorzystuje rozmaite elementy funkcjonalnie, materiałowo lub strukturalnie w zasadzie identyczne z tymi, jakie zna inżynieria elektroniczna (np. ścieżki przewodnictwa elektronowe-

go, prostowanie lub wzmacnianie prądu, gromadzenie ładunków w niektórych elementach układu, itp.), co jest jak gdyby „negatywem” podejścia charakterystycznego dla bioniki elektronicznej. W tym wypadku następny etap badań bioelektronicznych jest podobny, jak w przypadku podejścia typowego dla elektroniki fizycznej<sup>8</sup>.

Nie można jednak powiedzieć, że wszystkie te bardziej wyspecyfikowane kroki procedury badawczej, mieszczące się w ramach przytoczonego powyżej paradygmatu są równouprawnione. Podstawowe znaczenie ma tu strategia badawcza „nabudowana” na elektronice fizycznej. Ona sama może bowiem być wystarczająca do zrealizowania wielu istotnych zadań stawianych przed bioelektroniką, gdyż zawiera niezbędny składnik teoretyczny zapożyczony z fizyki. Dzięki temu badania bioelektroniczne z nią spójne pozwalają na dokonywanie przewidywań i szczegółowe dyskusowanie mechanizmów różnych zjawisk biologicznych. Badania biomedyczne pozabawione dopełnienia przez dane tego typu mogą w najlepszym wypadku tworzyć bardzo interesującą i ważną z praktycznego punktu widzenia kazuistykę. Wreszcie badania z ostatnio wymienionej grupy implikują niejako występowanie zjawisk i własności, do których identyfikacji i opisu najbardziej odpowiedni jest aparat pojęciowy i metodyka elektroniki fizycznej.

## 4.2. Teorie

Nie można jeszcze powiedzieć, że w obrębie bioelektroniki funkcjonują teorie (czy nawet tylko jedna teoria), rozumiane jako specyficzne dla tej dziedziny logicznie spójne zespoły twierdzeń ogólnych, wyrażające prawdziwości i współzależności występowania cech, spójnych z nimi zdań szczegółowych i hipotez ściśle nawiązujących do badań doświadczalnych. Nie można też, niestety, do tak rozumianych teorii zaliczyć tzw. *elektromagnetycznej teorii życia* czy też *teorii bioplazmy*. Na obecnym etapie ich rozwoju pozostają one w dalszym ciągu hipotezami ogólnymi (56), których zasadności powinno się dowieść poprzez przekształcenie ich najpierw do postaci zbioru twierdzeń logicznie spójnych i wystarczająco dobrze opartych na danych obserwacyjnych, a później – poddanie ich procedurze testowania empirycznego. Taką próbą sprecyzowania teorii bioplazmy i jej zbliżenia do testowania niedawno podjęto (59).

---

<sup>8</sup> Stwierdzanie jednak, że układ żywy jest diodą lub tranzystorem obdarzonym zdolnością życia jest albo nierozwiniętą do końca sugestią heurystyczną, albo uproszczeniem, na jakie trudno się zgodzić.



### 4.3. Prawa

W pierwszej kolejności warto zwrócić uwagę na odpowiednio zmodyfikowane zależności fizyki (elektroniki) ciała stałego, które byłyby o tyle specyficzne dla bioelektroniki, o ile opisywałyby ruch nośników ładunku w bardzo specyficznym ośrodku, jaki stanowi materiał tworzący struktury żywe. Ich forma musi na pewno być bardzo złożona, gdyż powinny one uwzględniać wielość różnorodnych uwarunkowań, jak: anizotropowość i niejednorodność ośrodka, działanie mechanizmów homeostatycznych, czynników sterujących i zaburzających sterowanie, zależne od struktury organizmu i jego pozycji taksonomicznej zróżnicowanie materiałowe, strukturalne i funkcjonalne oraz bardzo złożoną sieć uzależnień od czynników otoczenia. Wszystko to powoduje, że te równania wyrażające prawa specyficzne dla bioelektroniki, mając postać bardzo złożoną, odnosiłyby się do stosunkowo mało licznych klas obiektów. Tak więc prócz współczynników występujących w prawach elektroniki fizycznej, opisujących zachowanie układów bardzo niejednorodnych, ograniczonych rozmiarowo, anizotropowych, istotną rolę odgrywałyby także te, które pozwalają uwzględnić ważne charakterystyki przestrzenne rozpatrywanej biostruktury, pozycję taksonomiczną całego organizmu, charakter i siłę powiązania z otoczeniem, czy też jego naturalną periodykę zmian cech i funkcji. Nic więc dziwnego, że tego typu praw nie udało się jeszcze ustalić, a gdyby się to nawet stało, posługiwanie się nimi byłoby bardzo trudne.

Uwzględnienie faktów powszechności występowania, na przykład, własności piroelektrycznych materiałów budulcowych organizmów (27) pozwalałoby na sformułowanie wypowiedzi opisującej występowanie prawidłowości o charakterze prawa bioelektroniki skonstruowanej według następującego schematu:

Każda zmiana temperatury o  $dT$  w zakresie temperatur ( $T_2 - T_1$ ) lub deformacja mechaniczna typu  $D_m$ , zachodząca w części organizmu  $C_o$ , o wieku  $W$ , należącego do gatunku  $G$ , w porze roku  $P_r$  i porze dnia  $P_d$  wywołuje zawsze skutek fizjologiczny  $S_f$  o natężeniu  $N$ , który realizuje się wskutek wywoływania zmiany polaryzacji elektrycznej  $dP$ .

Zdanie powyższe należy traktować jedynie jako ilustrację (z całą pewnością i tak nie uwzględniającą jeszcze innych ważnych okoliczności) ogólnej formy, jaką mogłyby mieć przyczynowe prawa bioelektroniki. Wskazywałyby one na powiązanie pomiędzy czynnikami oddziałującymi na układ oraz istotnymi okolicznościami a odpowiedzią układu żywego, dokonującą się za pośrednictwem tych jego własności, które czynią go przetwornikiem bodźców rozmaitej natury w bodźce elektryczne lub elektromagnetyczne i *vice versa*.

#### 4.4. Fakty jednostkowe bioelektroniki

Niemalý zbiór obserwacji jednostkowych udało się zebrać na terenie biometeorologii i różnych działów medycyny. W tej pierwszej dziedzinie dane te odnoszą się do stwierdzenia dużego uwrażliwienia organizmów na generowane w rezultacie różnych procesów w atmosferze sygnały elektromagnetyczne, stałe i wolnozmiennie pola elektryczne oraz magnetyczne (13, 19, 38, 41, 48, 51).

Liczne dane obserwacyjne i doświadczalne mające istotne znaczenie dla bioelektroniki zgromadzono również w obszarze tych fragmentów nauk medycznych, które wiążą się z opisywaniem skutków oddziaływania fal elektromagnetycznych na stanowiskach pracy (radiostacje, radiowe i telewizyjne urządzenia retransmisyjne, radar, itp.) czy też w miejscach zamieszkania znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie takich obiektów. Wiele z tych prac przeprowadzono w związku z koniecznością ustalenia norm dopuszczalnego jeszcze poziomu napromieniowania (49).

Duży wkład w tworzenie bazy faktograficznej dla bioelektroniki wnoszą również opisy prób uzyskiwania skutków terapeutycznych wywoływanych przy wykorzystaniu niejonizującego promieniowania elektromagnetycznego, statycznych i wolnozmiennych pól elektrycznych lub magnetycznych czy też ultradźwięków. Na szczególną uwagę zasługują tu prace nad stanami elektretowym i ciekłokrystalicznym oraz piezo-, piro- i ferroelektrycznością biomateriałów. Przytaczanie w tym miejscu większej liczby klas tych danych obserwacyjnych nie wydaje się jednak konieczne. Wystarczy bowiem tylko tu wspomnieć, że w pracach twórcy i głównego propagatora tzw. „polskiej bioelektroniki” można znaleźć bardzo bogaty ich rejestr. Można też skorzystać z wielu opracowań przeglądowych (9, 15, 18, 20–22, 26–27, 31–32, 37, 42, 43, 50, 57).

Fakt zachodzenia wspomnianych wcześniej oddziaływań staje się dopiero wtedy wytłumaczalny, jeśli przyjmie się tezę, że struktury żywe cechują się zdolnością do odbierania (często nadzwyczaj subtelnych) bodźców różnej natury – podobnie jak ma to miejsce w przypadku bardzo złożonych, lecz niedostatecznie zabezpieczonych przed zakłóceniami urządzeń elektronicznych. Tę właśnie istotną rolę spełniają wzmiankowane wyżej paradygmat i teoria.

Aby zaproponować pewien syntetyczny obraz sytuacji faktograficznej w bioelektronice, obraz, który miałby zastąpić zaledwie „poszufladkowane” według kryteriów fizycznych lub biomedycznych dane doświadczalne, wydaje się, że warto posłużyć się tutaj analogią. Polegałaby ona na przyrównaniu bioelektroniki do żywej komórki, która wraz z innymi podobnymi do niej współtworzy tkankę badań biofizycznych. Organelle tej komórki to wspomniane powyżej grupy faktów fizycznych i biomedycznych. Wszystkie

one scalane są w jedną sensowną, funkcjonalną poznawczo całość przez paradygmat bioelektroniki.

Niestety, jak już zauważono, taka funkcjonalna całość poznawcza jest w tej chwili bardziej ideą, niż rzeczywistością. Głównym powodem tego jest okoliczność, że większość tych faktów została faktycznie uzyskanych w rezultacie poszukiwań nakierowanych na inne, niż stawiane przez bioelektronikę, cele poznawcze. Często miały one charakter praktyczny. Skutkiem tej niejednorodności „faktury” danych, metodyki, która doprowadziła do uzyskania określonych grup wyników oraz zróżnicowania poziomu dokładności opisu są rozległe luki poznawcze, które dopiero wtedy wyraźnie widać, kiedy rozpatruje się je z punktu widzenia potrzeb poznawczych bioelektroniki.

Nierzadko bezpośrednim motywem podjęcia badań nad własnościami elektronicznymi biomateriałów była chęć znalezienia substancji potrzebnych do wytwarzania modułów elektronicznych, które można by wytwarzać tanio, bez powodowania dużych szkód chemicznych w środowisku. Ten sam w zasadzie motyw można przypisać badaczom, którzy podjęli badania wspomnianych własności na zasadzie *„zbadajmy wykorzystując opanowane przez nas metody i dostępny nam sprzęt wszystkie materiały, do których mamy dostęp. Może któryś z nich, nawet całkiem nieoczekiwanie, ujawni poszukiwane przez nas własność”*. Tak więc motywacja taka, bynajmniej zresztą nie licująca z metodami heurystycznymi współcześnie prowadzonych badań, nie pokrywała się z tą, jaka powinna była przyświecać podjęciu badań bioelektronicznych. Stąd nic dziwnego, że stosunkowo liczne dane doświadczalne, włączone jako fragmenty „obcego białka” do „komórki” bioelektroniki, mogą czasem sprawiać wrażenie „molekularnego” przeszczepu, który się nie przyjmie. Wykluczyć tego teraz nie podobna. Można jednak oczekiwać, iż samoobrona immunologiczna opisywanego tu układu poznawczego będzie jeszcze na tyle niezdecydowana, że wiele takich inkluzji, jakkolwiek nie w pełni jeszcze funkcji dopasowanych do „ustroju” bioelektroniki, przynajmniej przez czas wystarczający do jej konsolidacji będzie tolerowane, a część bezpośrednio stanie się jego w pełni wartościowym składnikiem.

## **5. Sytuacja hydrograficzna – dopływ idei i środków materialnych**

Obydwa te czynniki, jakkolwiek zupełnie różnej natury, są istotne dla postępu w badaniach w każdej z dyscyplin nauki. Jeśli jednak pewien zakres problemów badawczych i sposobów szukania nowych faktów nie jest jeszcze uznany za ustaloną już dyscyplinę – a to właśnie ma miejsce w

przypadku tutaj rozpatrywanym – wtedy oba te tory dopływu należy traktować jako mające zasadnicze znaczenie: w pierwszej kolejności dla przetrwania tej dyscypliny, w drugiej – dla jej skryształizowania, względnego usamodzielnienia się i przyspieszenia jej rozwoju.

### **5.1. Inspiracja i dopływ „kapitału poznawczego” z innych dyscyplin przyrodoznawstwa**

Prawie cały kapitał poznawczy, który jest w tej chwili w posiadaniu bioelektroniki, pochodzi od rozmaitych działów wspomnianych już wcześniej dwu dziedzin nadrzędnych. Od fizyki pochodzą podstawowe pojęcia, metodyka badań, prawa, a nawet cieszący się na jej terenie ogromną popularnością i legitymujący się olbrzymimi zasługami w poznawaniu życia schemat wyjaśniania redukcjonistyczno–mechanicystycznego<sup>9</sup>.

Z biologii z kolei pochodzi opis i wiedza na temat wielu uwarunkowań układów żywych i zjawisk życiowych, których dotąd fizyka nie potrafiła dostarczyć. Z tą dziedziną bioelektronika dzieli także swe zasadnicze pytanie: *co to jest życie i jakie zespoły procesów stanowią warunki konieczne i wystarczające dla jego istnienia i rozwoju?* Z biologii również wywodzi się jak na razie w szerszym zakresie uwzględniana przez Sedlaka zasada metodologiczna całościowego objaśniania życia.

Znaczny wpływ na bioelektronikę wywierają również dziedziny będące zorientowanymi na praktykę odroślami fizyki i biologii. Są nimi elektronika techniczna, medycyna i rolnictwo. Elektronika techniczna, jakkolwiek stawia sobie inne niż bioelektronika cele, podsuwa niejako pytania, na których znajdowanie odpowiedzi okazuje się przy okazji także zyskiem dla bioelektroniki. O tym typie zysku poznawczego wspomniano już wcześniej. Stawiane przez elektronikę techniczną zasadnicze pytania tej kategorii można sformułować następująco:

- czy składniki biostruktur lub materiały z nich uzyskane posiadają właściwości, które kwalifikują je jako użyteczne dla elektroniki i czy jako takie funkcjonują one w organizmach?
- czy mogą one funkcjonować w organizmach jak układy znane w elektronice technicznej?

Przykładem publikacji, które odpowiadają na pytania z pierwszej grupy, jakkolwiek nie zawierają pytania tego sformułowanego w sposób jawny, są prace (18, 21–22, 31, 37, 42), natomiast opracowania (10–11, 16, 28, 36) są ilustracją badań nakierowanych na znalezienie odpowiedzi na pytania mieszczące się w drugim z tych ogólnie sformułowanych pytań. Ponadto

---

<sup>9</sup> Nie znaczy to jednak, że jest to jedyny sposób gwarantujący pełne poznanie życia. Należy tu zwrócić uwagę na możliwość stosowania ujęć holistycznych (Urbański).

drugie pytanie może mieścić się dokładnie w obszarze bioelektroniki, jeśli odniesione zostanie do funkcji spełnianych w organizmie. Medycyna, stawiając sobie za cel utrzymanie i przywracanie zdrowia ludziom, zwraca uwagę na fakty jego uzależnienia także od czynników zewnętrznych i wewnętrznych mających naturę elektryczną, magnetyczną i elektromagnetyczną (13, 19, 38, 41, 49, 51). Na dalszym planie jej zainteresowania znajdują się oddziaływania czynników o innej naturze, lecz takich, które dochodzą do skutku w organizmie za pośrednictwem elektronicznych właściwości (być może także funkcji) jego składników (2). To samo w zasadzie można powiedzieć o rolnictwie, choć oczywiście nie ogranicza się ono do medycyny zwierząt i roślin (weterynarii i pielęgnacji roślin).

## **5.2. Dopytywanie idei z obszaru pozaprzyrodniczego**

Jest objawem dużego nieporozumienia lub niezrozumienia, jeśli ktoś utrzymuje, że istnieją podpadające pod kompetencje nauk przyrodniczych obszary wiedzy o rzeczywistości, które nie są uwikłane w kontekst filozoficzny, kontekst wartościowania, „nachylenia” w stronę jakiegoś światopoglądu albo też zaspokajania konkretnego zapotrzebowania społecznego. Te obszary poznania nie są też w żaden sposób chronione przed tym, by stale lub sporadycznie stykać się z problemami podejmowanymi przez tzw. „paranaukę”, zwłaszcza wtedy, gdy inicjatywa wychodzi od paranaukowców. Odnosi się to zarówno do bardzo zaawansowanych działów fizyki, jak też do pączkujących dopiero dyscyplin.

Pomimo niewykonalności programu pełnej izolacji, dziedziny dopiero zawiązujące się powinny być chronione przed zbyt silnym kontaktem z filozofią, a przede wszystkim z obcymi im pojęciowo i metodycznie działami paranauki, gdyż z jednej strony problemy tych nieokrzesanych jeszcze dziedzin mogą posłużyć jako źródło „świeżej krwi” do toczonych od stuleci dyskusji filozoficznych (a przez to swoista problematyka nowej dyscypliny może ulec wyjąłowieniu), z drugiej – mieszanie metod i języka nauk przyrodniczych z tymi, jakie są używane w obszarze paranauk może prowadzić do tworzenia bezpłodnych poznawczo (a w praktyce nawet niebezpiecznych) mieszańców zarówno pojęciowych, jak i metodycznych. Nie oznacza to jednak, że „pożywką” dla kształtującej się bioelektroniki nie mogą być rzetelnie ustalone fakty zachodzenia oddziaływań pomiędzy organizmami a ich otoczeniem, umieszczane dotąd poza obszarem ustabilizowanej nauki.

W celu uniknięcia pośredniego narażenia na wspomniane wyżej wpływy wyjąłwiające lub zwyradniające, bioelektronika powinna bardzo ostrożnie (jeśli w ogóle) nawiązywać zwłaszcza do badań fizycznych stanowiących awangardę, gdyż właśnie one, z natury rzeczy, znajdują się w najbliższej

styczności ze wspomnianym pozanaukowym otoczeniem. Bioelektronika na obecnym, dopiero przecież początkowym, etapie swego rozwoju powinna korzystać raczej z dobrze sprawdzonych już metod poznawania rzeczywistości, z metodycznego (ale nie ontologicznego!) redukcjonizmu, który tyle już razy okazał się owocny dla postępu poznania świata organizmów żywych.

Czy chce się to dostrzegać czy nie, bioelektronika już znalazła się w zauważalnym kontekście idei filozoficznych oraz pod wpływem określonych sektorów paranauki, co – jak się zdaje – przyniosło jej wątpliwej wartości zysk jako dyscyplinie z zakresu przyrodoznawstwa. Jeśli chodzi o filozofię, można się tu dopatrzeć bardzo bliskich odpowiedniości, na przykład, pomiędzy przekonaniem starożytnych Stoików o istnieniu i istotnej roli w Kosmosie oraz w organizmach subtelnego stanu materii – *pneumy* (swoistej mieszanki ognia i powietrza) a cechami bioplazmy opisywanymi przez Sedlaka. Niezbyt daleko od takiego poglądu leżałoby również przekonanie R.O. Beckera o istnieniu w organizmach gazu swobodnych elektronów, spełniających rolę nadrzędnego analogowego układu regulacji i kontroli procesów życiowych (np. 1–2). Z kolei mocne powiązanie tez formułowanych w oparciu o twierdzenia bioelektroniki z dyskusjami o istotnym znaczeniu światopoglądowym mają uwagi Sedlaka o potencjalnej nieśmiertelności fali elektromagnetycznej niosącej pełną informację o układzie żywym (34, 45).

Bardziej na popularyzację, niż na właściwą recepcję bioelektroniki mają również znaczny wpływ rozmaite działy paranauki, zwłaszcza usiłowania podejmowane w zakresie radiestezji, telepatii czy tzw. bioenergoterapii. Bardzo dobrze bowiem koreluje z nimi głoszona przez Sedlaka teza o elektromagnetycznej naturze fundamentalnych procesów życiowych i ze stwierdzanymi na terenie tych nauk oddziaływaniach pomiędzy samymi organizmami lub pomiędzy organizmami i ich abiotycznym otoczeniem. Bezpośrednim zwyrodnieniem bioelektroniki do dociekań paranaukowych zagraża jednak uznanie tezy, że przynajmniej niektóre oddziaływania na układy żywe mogą zachodzić za pośrednictwem czynników nieznanymi współczesnemu przyrodoznawstwu (z których pewne, jak już wspomniano, mogą być prądomocnie dyskutowane na terenie awangardowych jego działów), szczególnie bez udziału promieniowania elektromagnetycznego. Skoro tak się rzeczy mają, jest sprawą istotną dla rozwoju bioelektroniki znalezienie odpowiedniego *modus vivendi* pomiędzy bioelektroniką a dociekaniem poza przyrodniczymi. Przy takiej okazji, jak obecna, pomijanie milczeniem tego aspektu sytuacji byłoby niewłaściwe.

### **5.3. Dopyływ środków materialnych**

Można wyróżnić trzy podstawowe źródła wspierania materialnego badań naukowych, w tym także takich, które mają bezpośredni związek z

bioelektroniką. Pierwsze z nich, to budżet państw, który jest rozdzielany według ważności potrzeb materialnych, strategicznych i prestiżowych oraz w zależności od „siły przebicia” poszczególnych badaczy lub administratorów nauki. Zdecydowana większość funduszy pochodzących z tego źródła rozkłada się na prowadzenie badań podstawowych oraz stosowanych. Badania podstawowe za swój zasadniczy cel mają postęp ludzkiego poznania, który dopiero pośrednio oddziałuje na rozwój badań o znaczeniu praktycznym. Obydwa te obszary wnoszą wkład w poziom życia materialnego oraz oddziałują na kulturę duchową i prestiż państwa prowadzącego badania. Wyników znacznej części prac o dużym znaczeniu dla postępu wiedzy które uznaje się za mające istotne znaczenie dla tzw. obronności państwa nie ogłasza się, przynajmniej do tego momentu, dopóki nie stanie się wiadome, iż strona rywalizująca uzyskała rezultaty porównywalne lub lepsze.

Uwaga powyższa ma ścisły związek z badaniami, które można zaliczyć do bioelektroniki. Okazuje się bowiem, że np. W USA większość prac podstawowych i stosowanych w dziedzinie badań nad bioelektrycznością i bioelektromagnetyką finansowana jest przez instytucje wojskowe (wojska lądowe, marynarka i siły powietrzne). Duży udział w finansowaniu badań z tego zakresu mają też agencje związane z gospodarką zasobami i wykorzystywaniem energii oraz z ochroną środowiska. Niewielki stosunkowo fragment tego „tortu” przeznaczają się dla instytucji powołanych do istnienia w celu wspierania rozwoju badań biomedycznych (29).

Jak już wcześniej wspomniano badania, którym można przypisać charakter bioelektroniczny, stanowią nieznaczną część grupy badań poświęconych bioelektryczności. Odnoszą się one do poznawania właściwości elektronicznych materiałów pochodzenia biologicznego, możliwości realizowania się rozmaitych zjawisk kwantowych w biostrukturach oraz reakcje organizmów na rozmaite oddziaływania fizyczne, głównie promieniowanie z zakresu mikrofal i pól skrajnie niskich częstotliwości. Ze względu na użyteczność wiedzy zgromadzonej w wyniku takich badań w sytuacji ewentualnego konfliktu zbrojnego rozpatruje się także sposoby taktycznego użycia tego typu środków. Miałyby one zaburzać stan równowagi biologicznej i funkcje psychiczne populacji ludzkiej znajdującej się na określonych terenach (3 s. 367 n.).

Drugą kategorię źródeł, skąd pochodzą fundusze na badania o znaczeniu istotnym dla bioelektroniki, stanowią firmy i korporacje przemysłowe. Jakkolwiek ich podstawowym celem działania jest produkcja dóbr i ekspansja gospodarcza (która w ostatnich dziesięcioleciach dokonuje się przy decydującym udziale w zasadzie powszechnie dostępnej wiedzy naukowej), to jednak warunkiem niezbędnym do autentycznego sukcesu jest samodzielne prowadzenie badań o charakterze podstawowym oraz śledzenie postępu tych badań w skali całego świata. Główną „masę” stanowią tu jednak

badania stosowane i rozwojowe (tj. pełniące rolę łącznika pomiędzy podstawowymi a stosowanymi).

W tej dziedzinie organizmy żywe i ich własności elektroniczne są interesujące z dwu przyczyn. Pierwszą stanowi możliwość wykorzystania naturalnych materiałów biologicznych jako taniego i w zasadzie nie wpływającego szkodliwie na środowisko (w trakcie wytwarzania) źródła materiału użytecznego w elektronice technicznej. Drugim powodem finansowania takich badań jest uzyskanie możliwie pełnej informacji, w jaki sposób przyroda wytwarza te materiały i stosuje do spełniania bardzo bogatych zespołów zadań, często trudnych do pogodzenia ze sobą. Tak więc instytucje przemysłowe finansują badania bioelektroniczne raczej pośrednio: organizmy żywe interesują je o tyle, o ile stanowią one potencjalne źródło surowca i są układami, które mogą „podpowiedzieć” w jaki sposób można poradzić sobie z różnymi trudnościami układowymi czy funkcjonalnymi. W rezultacie tego osoby zatrudnione w jednostkach badawczych i rozwojowych przemysłu przejawiające zainteresowanie „elektroniką w obrębie organizmów” mogą wносить wkład w badania bioelektroniczne jedynie przy okazji, amatorsko niejako, nie zaś w wyniku prac w ramach programu badań bioelektronicznych realizowanego przez zatrudniającą ich instytucję.

Do podobnej kategorii można również zaliczyć finansowanie prac nad rozwojem aparatury biomedycznej. Tutaj środki przeznaczane są na znajdowanie sposobów skutecznej diagnozy i terapii. Prace na tym polu w zasadzie przystają do wizji organizmu wyznaczanej przez biochemię, biologię molekularną i elektrochemię, a więc wizję w dużym stopniu pomijającą jego wymiar elektroniczny. Więcej nawet, można powiedzieć, że wprowadzanie i szybkie upowszechnianie wielu technik medycznych dokonuje się dzięki ignorowaniu, przynajmniej w początkowej fazie, zagrożenia stwarzanego przez działanie uboczne aparatury (np. wspomaganą komputerowo tomografia NMR, gdzie czynnikiem zagrożenia są nadzwyczaj silne pola magnetyczne).

Trzecim, bardzo rozproszonym źródłem finansowania badań bioelektronicznych są środki prywatne poszczególnych badaczy–amatorów i niewielkich zazwyczaj stowarzyszeń społeczno–naukowych. Pominąwszy niewielkie sumy przeznaczane na konkretne cele poznawcze, najbardziej hojnie ofiarowywanym środkiem wspierania bioelektroniki jest jak dotąd czas wypoczynku uprawiających ją amatorsko badaczy. Środki, które mogłyby być inwestowane dla dobra tej osoby i jej najbliższego otoczenia, przeznaczane są zakup literatury oraz sprzętu do prostych zazwyczaj eksperymentów. Pomimo tego wielkiego rozproszenia i relatywnego ubóstwa środków materialnych, wyniki tych amatorskich przedsięwzięć przedostają się czasami na łamy krajowych czy nawet mających zasięg międzynarodowy czasopism naukowych.



## 5.4. Drogi komunikacji

Najważniejszą rolę w kształtowaniu oblicza i sposobu rozwoju każdej dyscypliny odgrywają czasopisma naukowe ogłaszające wyniki oryginalnych prac doświadczalnych i teoretycznych (w tym także koncepcyjnych) oraz prace wtórne w postaci przeglądów, recenzji, listów informujących lub polemicznych. W następnej dopiero kolejności należy wspomnieć o monografiach poszczególnych zagadnień, podręcznikach, biuletynach towarzystw naukowych. Na końcu wypada wreszcie wymienić literaturę i inne przenoszące informację media, służące popularyzacji określonych dyscyplin badawczych.

Nie można jednak zapominać o tym, że komunikacja idei i ich warościenie nie dokonuje się wyłącznie dzięki słowu pisanemu. Wielką rolę odgrywają w tym bowiem kontakty osobiste, do których dochodzi podczas konferencji, sympozjów, warsztatów, itp. spotkań badaczy i organizatorów nauki. Tam właśnie najbardziej wartkim i szerokim strumieniem przepływają wyniki badań, nowe pomysły, ich oceny i prognozy, których niewielki wycinek obejmują publikowane materiały tych spotkań.

Należy więc postawić pytanie jak wspomniane wyżej podstawowe drogi komunikacji funkcjonują w obszarze bioelektroniki? Brak podręcznika tej dziedziny łatwo można usprawiedliwić stwierdzeniem, że nie od podręcznika zaczyna się istnienie jakiejś dziedziny (47, s. 9) Fakt dostępności takiego opracowania, spełniającego rolę „masowego” propagatora wiedzy stanowiącej podstawowy zrąb teoretyczny i obserwacyjny bioelektroniki, byłby objawem uzyskania zadowalającego poziomu rozwoju przez tę dyscyplinę. Zdaniem autora nie mogą spełnić tej roli opublikowane niedawno opracowania Sedlaka opatrzone bardzo zachęcającymi tytułami (46–47). W tej chwili rolę zastępników podręcznika bioelektroniki spełniają nieliczne zresztą obcojęzyczne prace zbiorowe (15, 32), które w poszczególnych rozdziałach zawierają przeglądy podsumowujące aktualny stan wiedzy o różnych właściwościach elektronicznych materiałów biologicznych. Można odnieść wrażenie, iż istnieje jeszcze sporo nieporozumień i koncepcyjnych niezbieżności, które są przyczyną spadku tempa przyrastania wiedzy w tych dziedzinach od co najmniej 10 lat (60).

Ogłoszono też pewną liczbę monografii poświęconym niektórym właściwościom biostruktur ważnym z punktu widzenia bioelektroniki, o czym już wcześniej wspomniano, oraz pewnym skutkom oddziaływań na organizmy żywe różnych czynników, które można wyjaśniać w obrębie paradygmatu bioelektroniki (13, 19, 38, 41, 48–49, 51). Warto tu jednak zauważyć, że prawie wszystkie prace oryginalne bardzo rzetelnie przedstawiają opisy warunków doświadczalnych, użyty materiał (którym najczęściej są ekstrakty z biostruktur) i wyniki, natomiast uwagi odnoszące się do roli biologicznej stwierdzonych własności oraz na temat ich „wplecienia” w bardzo skompli-

kowane przecież mechanizmy zjawisk życiowych są bardzo ogólne lub skrajnie mgliste, -a często nawet się o tej kwestii zupełnie nie wspomina.

Dopiero od niedawna ukazują się dwa czasopisma: *Bioelectromagnetics* oraz *Journal of Bioelectricity*, których profil zainteresowania w sporym zakresie pokrywa się z fragmentem badań bioelektronicznych, jakim jest stwierdzanie oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizmy żywe i szukania ich uwarunkowania w elektronicznych właściwościach ich części składowych. Trzeba tu jednak zauważyć, że pierwsze z tych czasopism, będące organem *The Bioelectromagnetics Society* jest dobrze „umocowane” w ustabilizowanym nurcie badań biofizycznych. Jest to skutkiem okoliczności, iż w zespole redakcyjnym tego czasopisma zasiadają wybitni badacze o niekwestionowanym dorobku, którzy nieskorzy są do akceptowania do publikacji doniesień, gdzie autorzy zbytnio odbiegają od uznanego zespołu podstawowych mechanizmów oddziaływania promieniowania z materiałami niebiologicznymi. Drugie z kolei czasopismo, będące organem *The International Society of Bioelectricity*, jest bardziej otwarte na nowe ujęcia i fakty. Ma jednak ono ma profil ogólniejszy, niż bioelektronika (tj. szukanie wszelkich powiązań pomiędzy elektrycznością i życiem) oraz jest skłonne przypisywać większą wagę specyfice biologicznej. Zamieszcza więc ono stosunkowo niewiele prac, które można by ściśle wiązać z bioelektroniką. Większość publikacji, które można zakwalifikować jako mające charakter bioelektroniczny było i jest ogłaszane w rozmaitych renomowanych czasopismach biofizycznych (np. *Biophysical Journal*, *Biofizika*, *Journal of Biological Physics*, *Physiological Chemistry and Physics*<sup>10</sup>) teoretycznych (np. *Journal of Theoretical Biology*, *International Journal of Quantum Chemistry: Quantum Biology Symposium*; *Roczniki Filozoficzne*, z. 3), medycznych (*Proceedings of the International Institution of Electrical and Electronics Engineers. Biomedical Engineering (Proc. IEEE BME)*; *IEEE Transactions in Biomedical Engineering*), technicznych (np. *Elektronnaja Obrabotka Materialow*) czy też czysto fizycznych (np. *Physical Letters A*, *Ferroelectrics*). Do dzisiaj nie istnieje jeszcze żadne czasopismo poświęcone ściśle bioelektronice.

Zauważalną rolę odgrywają prace popularyzujące bioelektronikę. Można nawet odnieść wrażenie, że postęp rzeczywistych badań nie nadąża tu za popularyzacją (czasami nawet wulgaryzacją) bioelektroniki. Ta droga komunikacji, ma niestety jedynie pośredni wpływ na rozwój bioelektroniki. Daje ona bowiem pewien dopływ osób zainteresowanych bioelektroniką, lecz wobec braku rzetelnych opracowań, stanowiących teoretyczne i doświadczalne podstawy bioelektroniki, oraz skrajnie krytycznego nastawienia wielu wpływowych badaczy, ludzie ci albo przestają interesować się tą dziedziną na rzecz inych, albo są wchłaniani przez paranaukę.

---

<sup>10</sup> Obecnie: *Physiological Chemistry and Physics and Medical NMR*.

Obraz dróg komunikacji w bioelektronice nie byłby pełny, gdyby nie wspomnieć o różnej rangi spotkaniach, które jej poświęcono. Bez przesady można powiedzieć, że jeśli chodzi o liczbę tych imprez, to Polska odgrywa przodującą rolę. Włącznie z niniejszym odbyło się sześć ogólnokrajowych sympozjów poświęconych bioelektronice<sup>11</sup> oraz dwa poświęcone problematyce bioplazmy<sup>12</sup>.

Pozostawiając czytelnikom ocenę trafności doboru problematyki i wartości naukowej poszczególnych prezentacji w ramach tych spotkań, można powiedzieć, że bioelektronika w Polsce istnieje przynajmniej nominalnie. Niestety, autorowi niniejszego opracowania nie jest znany fakt odbycia się poważniejszego spotkania naukowego, które odbywałoby się pod szyldem bioelektroniki poza Polską, jakkolwiek odbyło się wiele międzynarodowych spotkań, których problematykę można zakwalifikować do tej dziedziny (14, 33, 40).

Podsumowując uwagi poświęcone temu aspektowi bioelektroniki trzeba stwierdzić, że swoista dla bioelektroniki sieć dróg komunikacji idei i wyników w bioelektronice jest słabo rozbudowana, często sprawia wrażenie chaotyczności i, co najważniejsze, drogi te są najczęściej odgałęzieniami autostrad komunikacyjnych wyników uzyskanych na polu biofizyki, fizyki i medycyny. Nic więc dziwnego, że od czasu do czasu dochodzi do kolizji, w których najczęściej poszkodowanymi są jadący po nowo budowanych drogach.

## 5.5. Zabudowa

W świetle tego, co powiedziano wyżej, nie będzie chyba poczytane za objaw próżności stwierdzenie, że Katedra Biologii Teoretycznej tej Uczelni jest jedynym ośrodkiem, który za cel swej działalności stawiał i stawia sobie

---

<sup>11</sup> 1 SYMPOZJUM: Bioelektronika. I Krajowe Sympozjum, 14–15 maja 1975 Lublin; Organizator: Katedra Biologii Teoretycznej KUL i Towarzystwo Naukowe KUL (5).

2 SYMPOZJUM: Polska Bioelektronika 1967–1977. Konfrontacje. 22–23 października 1977, Warszawa; Organizator: Komisja Nauki Stow. PAX (39).

3 SYMPOZJUM: Perspektywy Badawcze Bioelektroniki. 26–28 października 1979, Ojrzeń; Organizator: Komisja Nauki Stow. PAX (6).

4 SYMPOZJUM: Potrzeba Syntezy we Współczesnej Biologii, 7–9 października 1983; Organizator: Studium Bioelektroniki przy Kom. Nauki Stow. PAX ( materiały zebrane, lecz dotąd nieopublikowane)

5 SYMPOZJUM: Bioelektronika – humanistyka, 22–24 października 1987, Halin (materiały zebrane, lecz dotąd nieopublikowane)

<sup>12</sup> 1 Krajowa konferencja poświęcona bioplazmie, 9 maja, Lublin 1973; Organizatorzy: Katedra Biologii Teoretycznej KUL i Koło Naukowe Studentów Filozofii Przyrody KUL (7).

2 Krajowa konferencja na temat bioplazmy, 18 grudnia 1985, Lublin; Organizator: Katedra Biologii Teoretycznej KUL (8).

systematyczne wnoszenie wkładu w rozwój bioelektroniki. Ze względu na szczupłość zasobów osobowych i materialnych, nie mógł on jednak być taki, na jaki dziedzina ta zasługuje, i jakiego niewątpliwie się doczeka. Jest to jedyna jak dotąd katedra na wyższych uczelniach w Polsce, która jest instytucjonalną jednostką ściśle powiązaną z bioelektroniką.

Nie istnieje jak dotąd żadne *towarzystwo bioelektroniczne*, zakotwiczone, w skali naszego Kraju, choćby nawet w obrębie *Polskiego Towarzystwa Biofizycznego*, które – nawiasem mówiąc – niechętnie nastawione jest do tego, co przedstawiane jest w Polsce jako bioelektronika. W 1979 r. podczas sympozjum bioelektroniki w Ojrzeńcu został powołany *Komitet bioelektroniki*, w którego skład weszli: prof. W. Sedlak, prof. A. Piekara i dr S. Grabiec. Dla zainteresowanych uprawianiem bioelektroniki nie dał on widocznego znaku swego istnienia poza krótkim momentem, kiedy właśnie został powołany do istnienia a uczestnicy sympozjum nie rozjechali się jeszcze do domów. Nie ogłoszono też na żadnym z następnych sympozjów bioelektroniki, że *Komitet* przestał w jakimś momencie istnieć<sup>13</sup>.

Mimo tej trudnej sytuacji ukształtowała się w miarę stabilna grupa osób, które spotykają się regularnie, (już od ponad dziesięciu lat) na seminariach poświęconych bioelektronice. Wokół Katedry Biologii Teoretycznej KUL i wspomnianej grupy, w której rolę ideowego *leadera* spełnia W. Sedlak, skupia się też niewielka grupa osób zatrudnionych w innych ośrodkach naukowych oraz osób nie zajmujących się zawodowo nauką, które dzięki dobrej woli i poświęceniu własnych środków wspomagają rozwijanie bioelektroniki. Parokrotnie wykazały one docenienia godną odwagę cywilną nie kryjąc swych związków z tą grupą, i to nawet wtedy, kiedy tzw. „Polska bioelektronika” spotykała się z surową, często zbyt surową, oceną ferowaną przez przedstawicieli oficjalnych instytucji naukowych.

Tab. 1. Zawiera krótkie zestawienie nazwisk badaczy, problematyki i lokalizacji zagranicznych ośrodków, które, zdaniem autora, są bezpośrednio powiązane z bioelektroniką. Niezbyt precyzyjne wyróżnienie bioelektroniki z dziedziny badań nad bioelektrycznością prowadzić może do włączenia w jej obręb problemów, które nie tylko przez zajmujących się nimi badaczy, ale również w świetle przedstawionych tutaj rozważań, nie należą do bioelektroniki *sensu stricto* (58). Trudność ta ujawniła się bardzo wyraźnie w jednym z wcześniej cytowanych opracowań (35).

---

<sup>13</sup> *Komitet* nie był organizatorem żadnego z sympozjów bioelektroniki. Dla autora nie jest też jasne czy *Studium Bioelektroniki* jest emanacją *Komitetu*, jego następcą, czy też czymś jeszcze innym.

Tab. 1. Główne zagraniczne ośrodki naukowe, gdzie prowadzone są badania wnoszące istotny wkład do bioelektroniki

Badane właściwości biomateriałów i podejmowane problemy	Badacze i ośrodki
Przewodnictwo elektronowe	R. Pethig; T.J. Lewis (Bangor, W. Brytania); S. Larsson (Lund, Szwecja); E. G. Petrow (Kijów, ZSRR); J. S. Ishay, T. (B.) Shimony (Tel-Aviv, Izrael)
Piezoelektryczność	E. Fukada (Wako, Saitma, Japonia)
Piroelektryczność	H. Athenstaedt (Kolonja, RFN); S. Lang (Beer-Sheva, Izrael)
Ferroelektryczność	L. A. Bresniew, Puszczino, ZSRR); R. Leuchtag (Houston, Teksas, USA)
Stan elektretowy	S. Mascarenhas (São Carlos, Brazylia); E. T. Kulin (Mińsk, ZSRR)
Stan plazmowy w organizmach	W. S. Iniuszyn, (Alma-Ata, ZSRR)
Struktury cytoszkieletowe jako mikroprocesory	S. R. Hameroff, (Tucson, Arizona, USA)
Komórka jako maszyna cyfrowa i komputery biomolekularne	M. Wolkenstein, (Moskwa, ZSRR); M. Conrad, (Detroit, Michigan, USA); S. Amari (Japonia) F. L. Carter, (Arlington, Virginia, USA)
Oddziaływanie elektromagnetycznej składowej środowiska	R. O. Becker (Lowville, New York, USA); A. A. Marino (Shreveport, Louisiana, USA); H. L. König (Monachium, RFN); A. P. Dubrow (Moskwa, ZSRR)

## 6. Uwagi końcowe

Z przedstawionych wyżej uwag wynika, że bioelektronika jest dyscypliną, którą należy umieszczać w obszarze przyrodoznawstwa i której pełniejszy kształt dopiero zaczyna się zarysowywać. Potrzeba jeszcze wiele wysiłku, by stały się szerzej znane jej specyficzne zadania poznawcze i specyficzny aspekt, w jakim stara się ona ujmować fenomen życia. Dobrze się stanie, jeśli przedstawiony powyżej zarys pociągnie za sobą pogłębione prace metadyscyplinarne, które doprowadzą do opracowania pełnego obrazu tej dziedziny, która w przekonaniu autora ma wielkie szanse stania się jedną z ważnych dziedzin nauki początku przyszłego stulecia.

# LITERATURA

1. Becker R. O., Some observations indicating the possibility of longitudinal charge-carrier flow in the peripheral nerves, *Biol. Prot. Synth.*, 1, 31–37, 1962.
2. Becker R. O., The direct current control system. A link between environment and organism, *New York State J. Med.*, 62, 1169–1176, 1962.
3. Becker R. O., Selden G., *Elektropolis. Elektromagnetyzm i podstawy życia*, (tł. z ang.), Pelikan, Warszawa 1990.
4. Biedulski Cz., Rys historyczny bioelektroniki. ss. 9–14, W: [5]
5. Bioelektronika. Materiały I Krajowego Sympozjum. W. Sedlak (red.), 14–15 maja 1975, KUL, Lublin, Wyd. TN KUL, Lublin 1979.
6. Bioelektronika. Konferencja w Ojrzeńcu, 26–28 października 1979, *Zeszyty Naukowe Stow. PAX*, nr 3 (29), 1980.
7. Bioplazma. Materiały z I Konferencji poświęconej bioplazmie, W. Sedlak (red.), Red. Wyd. KUL, Lublin 1977.
8. Bioplazma, Materiały II Krajowej Konferencji nt. bioplazmy, W. Sedlak, J. Zon, M. Wnuk (red.), Red. Wyd. KUL, Lublin 1988.
9. Bulanda W., Własności piezoelektryczne tkanek, *Zagad. Biofiz. Współcz.*, 11, 27–73, 1986.
10. Callahan P. S., Picket-fence interferometer of the antenna of the *Noctuidae* and *Pyralidea* Mothes, *Appl. Optics*, 24, 2217–2220, 1985.
11. Cope F. W., Electron-phonon (trapped photon) coupling and infrared coaxial transmission line theory of energy transport in mitochondria and nerve, *Bull. Math. Biol.*, 35, 627–644, 1973.
12. Dawydow A. S., *Solitony w molekularnych systemach*, Naukowa Dumka, Kijew 1986.
13. Dubrov A. P., *The Geomagnetic Field and Life. Geomagnetobiology*, Plenum Press, New York 1978.
14. Electrically mediated growth mechanisms in living systems, Liboff A. R., Rinaldi R. A. (eds), *Ann. NY Acad. Sci.*, 238, 1974.
15. *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials*, Lipinski B. (ed.), Dekker, New York 1982.
16. Fong P., Ferroelectricity of RNA and brain memory, *Bull. Georgia Acad. Sci.*, 30, 13–23, 1972.
17. Frey A. H., Evolution and results of biological research with low-intensity nonionizing radiation, ss. 786–837, W: [32]
18. Fukada E., Piezoelectric properties of biological polymers, *Quart. Rev. Biophys.*, 16, 59–87, 1983.
19. Gniewyszew M. N., Ol' A. I., Wlijanie sołnecznoy aktiwnosti na biosferu, Nauka, Moskwa 1983.
20. Gorywoda H., Piezoelektryczność kolagenu i jej rola w organizmach żywych, *Praca magisterska*, Kat. Biol. Teoret. KUL, Lublin 1988.
21. Gutman F., Lyons L. E., *Organic Semiconductors*, Wiley, New York 1967.
22. Hawkings R. I., April E. W., Liquid crystals in living tissues, *Adv. Liq. Cryst.*, 6, 243–264, 1983.
23. Janowski T., Pola elektryczne człowieka i zwierząt oraz ich egzo- i endogenne zależności, [p. *Niniejsze nateriaty*]
24. Kisielew W. F., O wozmożnych adsorpcjonnych analogowych systemach modilirujusz-czych processy w żywom organizmie, *Dokł. AN SSSR*, 213, 1291–1292, 1973.
25. Koryta J., What is bioelectrochemistry? *Electrochim. Acta*, 29, 1291–1292, 1984.
26. Kulin E. T., *Bioelektretnyj efekt*, Nauka i Technika, Minsk 1980.

27. Lang S. B., Bioelectric pyroelectricity, ss. 243–280, W: [32].
28. Liberman E. E., Molekularnaja wycislielielnaja maszyna kletki: VIII. Wozmoznaja konstrukcja molekularnoj pamjati w biologiczeskich membranach i princip minimalnych zatrat swobodnoj energii na zapis informacji, Biofizika, 20, 624–627, 1975.
29. Marino A. A., President's letter, Newsletter of the ISB, 1, 3, 1987.
30. Mascarenhas, S., Bioelectrets: Electrets in biomaterials and biopolymers, W: Electrets, G.M. Sessler (ed.), Springer, Berlin 1980, 321–346.
31. Meier H., Organic Semiconductors. Dark- and Photoconductivity of Organic Solids, Verlag Chemie, Weinheim 1974.
32. Modern Bioelectricity, Marino A. A., (ed), Dekker, New York 1988.
33. Nowe mikrofizyczne problemy biologii a higiena zwierzat, Międzynarodowe Kollokwium Naukowe, 1 – 3 czerwca 1987, Zakład Zoohigieny AR w Krakowie; Zesz. Nauk. Akad. Roln. w Krakowie, 223, Sesja Naukowa nr 20, T. Janowski (red.), 1988.
34. Nowiński C., Bioelektronika i filozofia, Studia Filozof., nr 10 (155), 103–110, 1978.
35. Pankowska T., Bioelektronika w Polsce, ss. 15–22, W: [5]
36. Pant H.C. Rosenberg B., The semiconducting diode behaviour of bimolecular lipid membranes, J. Bioenerg., 2, 163–266, 1971.
37. Pethig R., Dielectric and Electronic Properties of Biological Materials, Wiley, New York 1979.
38. Presman A. S., Pola elektromagnetyczne i żywa przyroda, (tłum. z ros.), PWN, Warszawa 1971.
39. Polska bioelektronika 1967 – 1977, ss. 31–159 W: Zeszyty Naukowe Stow. PAX, Nr 3 (20), 1978. [niepełne wydanie materiałów]
40. Popp F. A., Becker G., König H. L., Peschka W., Electromagnetic Bio-information, Proceedings of the Symposium, Marburg September 5, 1977, Urban & Schwarzenberg, München 1979.
41. Reiter R., Meteorologie und Elektrizität der Atmosphäre, Geest & Portig, Leipzig 1960.
42. Rosenberg B., Semiconductive and photoconductive properties of bimolecular lipid membranes, Disc. Faraday Soc., 51, 190–201, 1971.
43. Sadowska E., Występowanie i rola ciekłych kryształów w biostrukturach, *Praca magisterska*, Kat. Biol. Teoret. KUL, Lublin 1988.
44. Sedlak W., Metabolizm–bioelektronika–plazma biologiczna, ss. 23–31, W: [5]
45. Sedlak W., Życie jest światłem. Bioelektronika i możliwości nowej antropologii, Studia Filozof., 10 (155), 91–101, 1978.
46. Sedlak W., Wykłady o bioelektronice, Almapress, Warszawa 1987.
47. Sedlak W., Wprowadzenie w bioelektronikę, Ossolineum, Warszawa 1988.
48. Sidjakin W. G., Temurjanc N. A., Makajew, W. B., Władimirskij B. G. Kosmiczeskaja ekologia, Naukowa Dumka, Kijew 1985.
49. Szmigielski S., Bielec M., Lipski S., Sokolska G., Immunologic and cancer-related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields, ss. 861–925, W: [32]
50. Tien H. Ti., Biology and semiconduction, ss. 847–903, W: Solid State Chemistry and Physics, P. F. Weller (ed.). Dekker, New York 1973.
51. Tromp S., Medical Biometeorology, Elsevier, Amsterdam 1963.
52. Urbański M., Nieprzechodność redukcji a bioelektronika, ss.133–139, W: Perspektywy bioelektroniki, J. Zon, M. Wnuk (red.), Red. Wyd. KUL, Lublin 1984.
53. Urbański M., Kwantowe wzbudzenia kolektywne w układach żywych, ss. 21–39, W: [8]
54. Wei L. Y., Electric dipole theory of chemical synaptic transmission, Biophys. J., 8, 396–414, 1968.
55. Wnuk M., Rola układów porfirynowych w ewolucji życia, Seria: Z Zagadnień Filozofii Przyrodoznawstwa i Filozofii Przyrody, T.9, M. Lubański, Sz. Ślaga (red.), ATK, Warszawa 1987.

56. Woźniak Z., Metodologiczna charakterystyka bioelektroniki, ss.55–68, W: [5].
57. Zimmerman R. L., Piezoelectricity of biological materials, J. Bioelectricity, 1, 265–287, 1982.
58. Zon J. Nadzieje i trudności polskiej bioelektroniki, Więź, nr 2 (238), 137–140, 1978.
59. Zon J., Plazma elektronowa w błonach biologicznych, Red. Wyd. KUL, Lublin 1986.
60. Zon J. R., Bioelectronics: A background area for biomicroelectronics in the science of bioelectricity, Roczn. Filoz., 35, z.3, (*w druku*)

## **'TOPOGRAPHY' OF RESEARCH IN THE AREA OF BIOELECTRONICS**

(Summary)

In the first paragraph the subject, methods, aims, as well as some typical problems of bioelectronics are presented. It is defined as a branch of biophysics, based on the conceptual and methodological basis of both physical and technological electronics', dealing not only with structures at various levels of biological organization, but also with extracts from them, biomimetic materials and units, as well as hybrid biological–electronic systems. Its preliminary, yet crucial, aim is the detection of electronic properties and phenomena in biostructures. The elucidation of the role played by these properties and phenomena in biological systems as well as in the coupling between organisms and their environment should be regarded as the principal aim of bioelectronic studies. In this connection, an abbreviated definition of bioelectronics may also be proposed. Namely, it is a discipline dealing with the role of electronic properties and phenomena (including those of classical and quantum electrodynamics) in life processes.

In the second one, the localization of this discipline in the realm of natural sciences is sketched. It is regarded as a part of the science of bioelectricity, which itself to a great extent should be considered to be a branch of biophysics. Next paragraph of the work is devoted to making a brief overview of basic structural units of this area of this relatively new area of investigation, i.e.: its paradigm, theories, laws, and the factual sentences.

The first two fragments of the fourth paragraph consist of the description and discussion of the sources of inspiration for bioelectronic studies, as well as the methods used in investigation. Some remarks are also made with the reference to the dangers resulting from the admixing the concepts or methodology from parascience to bioelectronic studies. The other three points of this paragraph deal with the sources of financing of bioelectronic investigation, the channels of communication of ideas and results, and, finally, with the institutional context in which the discipline is currently being developed.