

B. Nosol, G. Guziński

ODDZIAŁYWANIE ZEWNĘTRZNEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO
NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI NA MEMBRANĘ BIOLOGICZNĄ
W PROCESIE TRANSPORTU JONÓW

W pracy zaproponowano biofizyczny model wpływu zewnętrznych pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości na transport jonów przez błonę biologiczną. Zmiana tego transportu prowadzi w konsekwencji do często obserwowanych zmian akumulacji jonów w komórkach i tkankach badanego materiału biologicznego, eksponowanego w polu elektromagnetycznym.

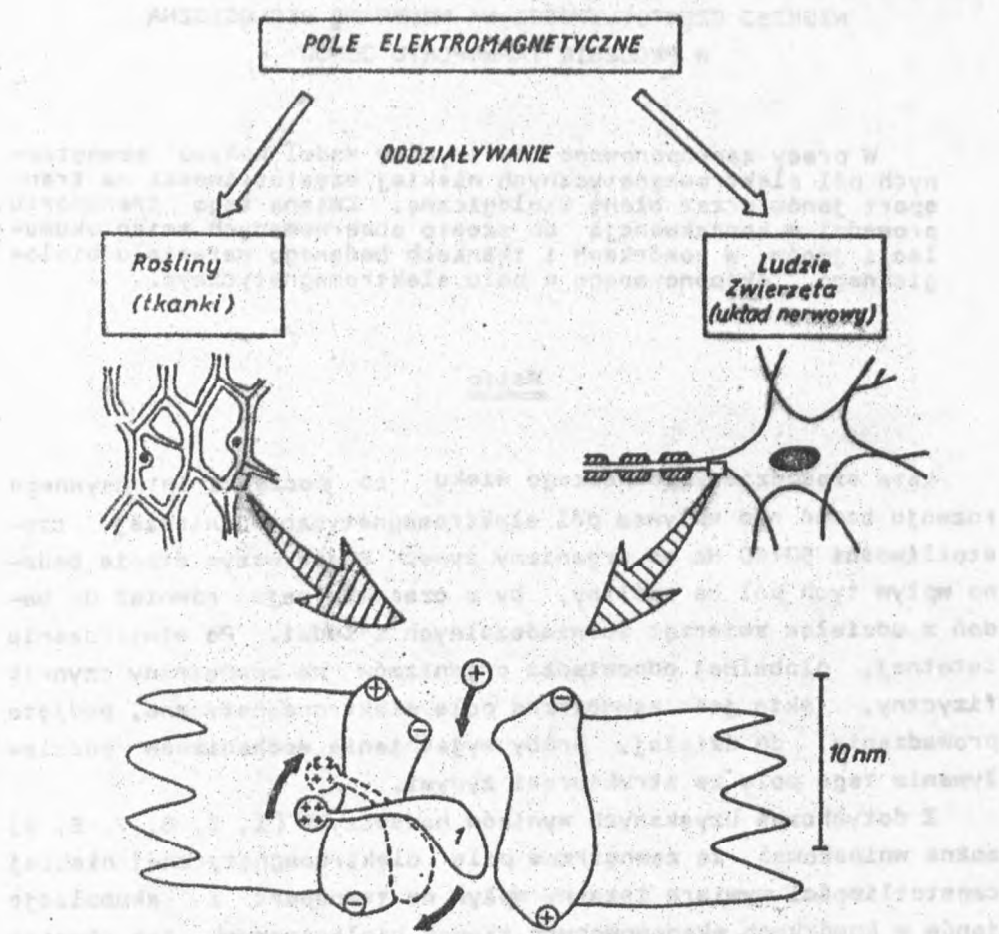
Wstęp

Lata sześćdziesiąte naszego wieku to początki intensywnego rozwoju badań nad wpływem pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości 50-60 Hz na organizmy żywe. W pierwszym etapie badano wpływ tych pól na rośliny, by z czasem przejść również do badań z udziałem zwierząt doświadczalnych i ludzi. Po stwierdzeniu istotnej, globalnej odpowiedzi organizmów na zewnętrzny czynnik fizyczny, jakim jest zewnętrzne pole elektromagnetyczne, podjęto prowadzenie, do dzisiaj, próby wyjaśnienia mechanizmów oddziaływania tego pola ze strukturami żywymi.

Z dotychczas uzyskanych wyników badawczych [1, 5, 6, 7, 8, 9] można wnioskować, że zewnętrzne pole elektromagnetycznej niskiej częstotliwości wywiera istotny wpływ na transport i akumulację jonów w komórkach eksponowanych tkanek biologicznych, jak również na zjawiska elektryczne w organizmach, związane z potencjałami bioelektrycznymi. M u r r [5, 6, 7] badając wpływ pól elektromagnetycznych o częstotliwości 60 Hz na wzrost fasoli

stwierdził, że pola o natężeniu od 0 do 60 kV/m wpływają na wzrost akumulacji podstawowych pierwiastków mineralnych w badanych roślinach, uzewnętrzniający się wzrostem ich suchej masy. Badania z udziałem tkanek z kultur in vitro potwierdziły zaobserwowane przez Murra zmiany [9].

Adey, Bawin, Blackman wykazali wzrost strumienia transportu jonów $^{45}\text{Ca}^{2+}$ w tkance mózgu kota eksponowanego



Rys. 1. Schemat kanału membranowego z hipotetycznym czujnikiem pola(1)

Scheme of membrane channel with hypothetical field-sensor(1)

w polu elektromagnetycznym o częstotliwości od 6 do 20 Hz [1, 3].

Pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i natężeniu 30 kV/m [2] już po upływie kilku milisekund powoduje utratę selektywności błon komórek nerwowych i mięśniowych kultywowanych *in vitro*, prowadząc w konsekwencji do obniżenia ich pobudliwości. Zaobserwowane oddziaływanie pozwoliło postulować istnienie tzw. czujnika pola (field-sensora) w błonie komórkowej [2] odpowiedzialnego za zmiany przepuszczalności kanałów membrany biologicznej dla elektrogenicznych jonów K^+ , Na^+ (rys. 1). Zewnętrzne pole elektromagnetyczne modulując stabilne pole elektromagnetyczne membrany biologicznej może poprzez hipotetyczny czujnik pola otwierać lub blokować kanały transportowe wewnętrznej membrany.

Celem niniejszej pracy jest próba stworzenia modelu oddziaływania pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości na błonę biologiczną w procesie transportu jonów.

Model oddziaływania pola z membraną

Rozważmy pojedynczy kanał membranowy, w którym znajduje się czujnik pola (rys. 1) przyjmujący różne konformacje pod wpływem zewnętrznego pola elektromagnetycznego, zwiększające lub hamujące transport jonów przez membranę.

Stan konformacyjny czujnika pola opisujemy funkcją $K(t)$, która zależała od natężenia zewnętrznego pola modulującego o częstotliwości w . Stan konformacyjny czujnika przy braku zewnętrznego pola oznaczamy przez K_0 (w tym przypadku membrana wykazuje własne, stabilne drgania podstawowe).

Postulujemy równanie opisujące zmianę konformacji czujnika pola w postaci:

$$\frac{dK(t)}{dt} = p \frac{K(t)}{K_0} \left[K_0 - \frac{\lambda(w)}{\lambda_m} K(t - \tau) \right] \quad (1)$$

gdzie: p - prawdopodobieństwo trafienia jonu w kanał bez zewnętrznego pola elektromagnetycznego (stosunek gęstości jonów w roztworze zewnętrznym do gęstości kanałów);

$\lambda(w)$ - natężenie zewnętrznego pola elektromagnetycznego o częstotliwości w ;

$\lambda_{(m)}$ - natężenie nasycenia (maksymalne natężenie zewnętrznego efektywnego pola);

τ - czas relaksacji.

Wyrażenie (1) z opóźnianym argumentem opisuje zmianę konformacji czujnika pola zachodzącą z pewnym opóźnieniem τ w stosunku do poprzedniego stanu (otwarcie $\rightarrow \tau \rightarrow$ zamknięcie).

Czas relaksacji τ można oszacować z równania na efekt asymetrii jonu [4]

$$\tau = 30,8 \cdot 10^{-8} \frac{|z|r^2}{\Lambda kT} \quad (2)$$

Przewodnictwo równoważnikowe Λ określamy z zależności [4]

$$\Lambda = \Lambda_0 \left[\frac{82,4}{(\sum \tau)^{\frac{1}{2}}_n} + \frac{8,20 \cdot 10^5}{(\sum \tau)^2} \Lambda_0 \right] \sqrt{C} \quad (3)$$

gdzie: Λ_0 - przewodnictwo graniczne (Λ dla $C \rightarrow 0$).

Z obliczeń (podstawiając 2 i 3 do 1) dla pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz, dla czasu $\tau \sim 10^{-8}$ s, temperatury otoczenia 25°C i dla stężeń jonów pierwiastków mineralnych w otoczeniu, można oszacować zmianę transportu jonów przez membranę biologiczną. Jako miarę procentowej zmiany transportu stosujemy wartość S

$$S = \frac{\langle K_w \rangle}{\langle K_o \rangle} \quad (4)$$

Uwagi końcowe

Przedstawiony model wpływu zewnętrznych pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości na zmiany transportu jonów (poprzez modulację jej pola wewnętrznego) przez membranę biologiczną, pozwala przy pełnej bazie danych doświadczalnych w przybliżeniu oszacować procentową zmianę transportu. Zmiany w transporcie jonów prowadzą w konsekwencji do często doświadczalnie stwierdzanych zmian ich akumulacji w ekeponowanych tkankach [5, 6, 7, 8, 9].

LITERATURA

- [1] Adey W. R., Bawin S. M., Lawrence A. F., Bioelektromagnetics 3, (1982).
- [2] Antoni H., Tagung der Forschungsstelle für Elektropathologie, Freiburg (RFN), Heft 10, 1980.
- [3] Blackman C. E., Bioelectromagnetics 1 (1980).
- [4] Bursa S., Chemia fizyczna, Warszawa (1972).
- [5] Murr L. E., Nature 200, (1963).
- [6] Murr L. E., Nature 206, (1965).
- [7] Murr L. E., Nature 207, (1965).
- [8] Nosol B., Sixth School on Biophysics of Membrane Transport, School Proceedings, Part II, Poland, May, 1981.
- [9] Nosol B., Szuba M., Acta Univ. Lodz, Folia biochimica et biophysica 3, (w druku).

Instytut Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej

B. Nosol, G. Guziński

EFFECT OF EXTERNAL LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD
ON A BIOLOGICAL MEMBRANE IN THE PROCESS OF ION TRANSPORT

A biophysical model is put forward for the effect of external low-frequency electromagnetic field on ion transport across a biological membrane. Consequences of such transport changes include the often observed changes of ion accumulation in cells and tissues of examined biological materials exposed to electromagnetic fields.