

JACEK WĄSIK

Instytut Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, w Częstochowie

Interpretacja zjawisk zachodzących w profilach membranowych dla 1-membranowej komórki osmotyczno-dyfuzyjnej

1. Wstęp

Jak wiadomo, wpływ grawitacji lub jej brak powoduje określone konsekwencje w organizmach żywych. Powszechne ciążenie wymusiło w procesach adaptacji i ewolucji człowieka powstanie podukładów, które będą mogły przeciwstawić się jego działaniu. W związku z tym wytworzyły się struktury anty-grawitacyjne, tj. tkanka mięśniowa, kostna, układ krążenia płynów. Jeśli pole grawitacyjne przestanie działać, musi dojść do zaburzeń w strukturach anty-grawitacyjnych. Podłożem owych zaburzeń mogą być zmiany, jakie zachodzą w procesach transportu membranowego przez błony biologiczne.

Komórki doznają grawitacji bezpośrednio poprzez oddziaływanie na organelle komórkowe i molekuły pełniące rolę grawireceptorów oraz pośrednio poprzez prowokowanie zmian fizykochemicznych w środowisku komórki. W związku z tym uważa się, że mikrogravitacja może powodować na granicy styku komórka-roztwór zmiany potencjału i stężenia, prowadzące do formowania się wokół komórek stacjonarnych błonek, tak zwanych warstw granicznych.

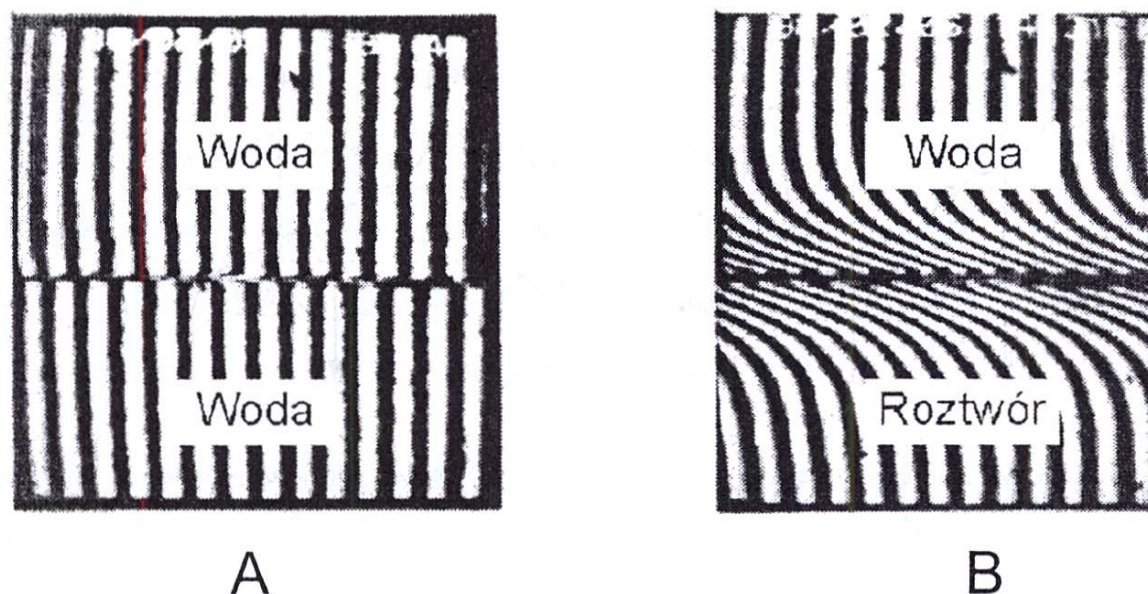
Membranę stanowi warstwa substancji będąca przegrodą, rozdzielającą dwa ośrodki i ograniczającą transport masy, energii i pędu. Ów transport między ośrodkami może zachodzić z szybkością zależną od właściwości membrany i ośrodków. Generalnie transport membranowy można podzielić na transport bierny, który odbywa się w sposób samorzutny, oraz transport aktywny, wymagający nakładu energii z metabolicznych reakcji chemicznych. Bierny transport membranowy może zachodzić pod wpływem różnych bodźców ter-

modynamicznych, takich jak na przykład gradienty: ciśnienia osmotycznego, ciśnienia hydrostatycznego, temperatury itp. W związku z tym rozróżnia się między innymi takie procesy biernego transportu, jak dyfuzja, osmoza, filtracja czy odwrócona osmoza. Zjawiska te zachodzą w sposób nie zaburzony, jeśli roztwory rozdzielane przez membranę są jednorodne (równomiernie mieszane za pomocą zewnętrznych mieszadeł). Zapewnienie owej jednorodności wymaga zatem pewnego nakładu energii. W przeciwnym razie membrana wraz z roztworami, w wyniku dyfuzji i osmozy, ulega polaryzacji stężeniowej. Owa polaryzacja polega na wytworzeniu po obydwu stronach membrany rozdzielającej dwa nie mieszane mechanicznie roztwory stężeniowych warstw granicznych, czyli obszarów roztworu bezpośrednio przylegających do powierzchni membrany i posiadających właściwości pseudomembran [1–9]. Ciecz w obszarze warstwy granicznej nie zmienia położenia i sąsiaduje z obszarem laminarnego ruchu, w którym konwekcja swobodna nie powoduje istotnego mieszania roztworu [1]. Grubość tej warstwy zależy między innymi od: rodzaju membrany i stosowanych roztworów, mieszania konwekcyjnego, którego przyczyną może być gradient gęstości, szybkości mechanicznego mieszania roztworów oraz geometrii i orientacji membrany wraz z komorą pomiarową zawierającą roztwór, względem wektora grawitacji [7–9]. Wzrost szybkości mieszania roztworów zmniejsza grubość tej warstwy, jednakże nawet przy dużych szybkościach ścinania nie dochodzi do całkowitego wyeliminowania warstwy granicznej [4]. Konsekwencją tworzenia się owych warstw jest znaczna redukcja transportu membranowego. Bezpośrednio obserwowanymi efektami tworzenia się stężeniowych warstw granicznych różnych w różnych konfiguracjach układu *I*-membranowego są: zakrzywianie prążków interferencyjnych na interferogramach Macha-Zendera obrazujących obszary przymembranowe [8, 9], zmniejszanie się wartości strumieni: objętościowego (J_v) i substancji rozpuszczonej (J_s) [8] oraz dyfuzyjnego potencjału membranowego [9].

2. Interferogramy

Bardzo użyteczne dla poznania mechanizmów zarówno transportu w *I*-membranowej, jak i 2-membranowej, komórce dyfuzyjno-osmotycznej są badania przy pomocy zmodyfikowanego przez Dworeckiego [10, 11] interferometru Macha-Zehndera. Ta metoda pozwala badać profile stężeniowe w obszarach przymembranowych. Jeśli roztwory rozdzielane przez membranę są jednorodne (równomiernie mieszane), to prążki interferencyjne są równoległe do siebie i jednocześnie prostopadłe do powierzchni membrany. Z kolei w przypadku gdy roztwory nie są mieszane mechanicznie, owe prążki w obszarach przy-

membranowych ulegają zakrzywieniu. Owe zakrzywienie świadczy o kreacji stężeniowych warstw granicznych.



Rys. 1. Przykładowe interferogramy. W obu przypadkach zastosowano membranę Bio-process. A — interferogram testowy (bez warstw granicznych). Oba przedziały wypełnione wodą. B — interferogram z warstwami granicznymi (wykonany po upływie około 20 min od momentu napełnienia) górny przedział napełniony wodą, dolny wodnym roztworem glukozy o stężeniu 0,05 mol/l

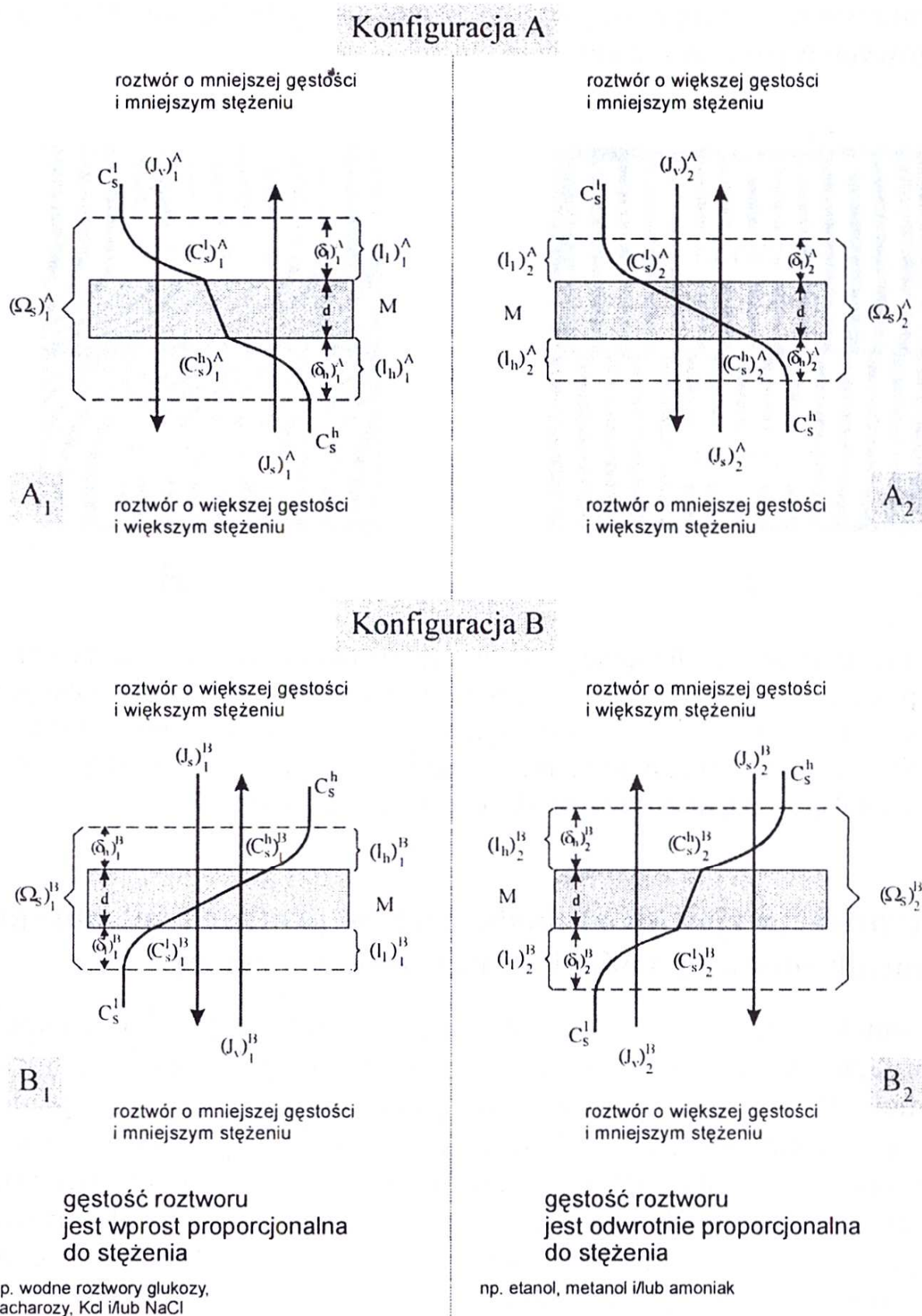
3. Interpretacja zjawisk zachodzących w profilach membranowych dla 1-membranowej komórki osmotyczno-dyfuzyjnej

Rysunek 2 przedstawia schematyczną interpretację zjawisk zachodzących w profilach membranowych dla 1-membranowej komórki osmotyczno-dyfuzyjnej. Widzimy na nim membranę zorientowaną w płaszczyźnie horyzontalnej w konfiguracjach A i B. W tym układzie symetryczna i obojętna elektrycznie membrana (M) rozdziela dwie jednakowe i dostatecznie duże objętości rozcieńczonych roztworów tej samej substancji nieelektrolitycznej, w których nie zachodzą reakcje chemiczne. Ponadto zakładamy, że procesy transportu membranowego są izotermiczne.

W chwili początkowej roztwory są jednorodne, a ich stężenia wynoszą: C_s^l i C_s^h , przy czym $C_s^h > C_s^l$. Po czasie $t > 0$ w wyniku dyfuzji i osmozy po obydwu stronach każdej z membran zaczynają się formować tzw. stężeniowe warstwy graniczne.

Konfiguracja A odpowiada sytuacji, w której roztwór o mniejszym stężeniu znajduje się nad membraną, a o większym stężeniu pod membraną.

Konfiguracja B odpowiada sytuacji, w której roztwór o większym stężeniu znajduje się nad membraną, a o mniejszym stężeniu pod membraną.



Rys. 1. Graficzna ilustracja konfiguracji A i B /-membranowej komórki dyfuzyjno-osmotycznej oraz profili stężeniowych A_1 , A_2 , B_1 i B_2 (stabilnych A_1 i B_2 oraz niestabilnych A_2 i B_1). (M — membrana; d — grubość membrany; $(l_1)_1^A$, $(l_h)_1^A$, $(l_1)_2^A$, $(l_h)_2^A$, $(l_1)_1^B$, $(l_h)_1^B$, $(l_1)_2^B$, $(l_h)_2^B$ — warstwy graniczne; $(\delta_1)_1^A$,

$(\delta_h)_1^A, (\delta_l)_2^A, (\delta_h)_2^A, (\delta_l)_1^B, (\delta_h)_1^B, (\delta_l)_2^B, (\delta_h)_2^B$ — grubości warstw granicznych; C_s^l, C_s^h — globalne stężenia roztworów; $(C_s^l)_1^A, (C_s^h)_1^A, (C_s^l)_2^A, (C_s^h)_2^A, (C_s^l)_1^B, (C_s^h)_1^B, (C_s^l)_2^B, (C_s^h)_2^B$ — lokalne stężenia roztworów na granicach membrana-warstwy graniczne; $(J_v)_1^A, (J_v)_2^A, (J_v)_1^B, (J_v)_2^B$ — strumienie objętościowe; $(J_s)_1^A, (J_s)_2^A, (J_s)_1^B, (J_s)_2^B$ — strumienie dyfuzyjne substancji rozpuszczonej; $(\Omega_s)_1^A, (\Omega_s)_2^A, (\Omega_s)_1^B, (\Omega_s)_2^B$ — współczynniki przepuszczalności dyfuzyjnej kompleksu: warstwa graniczna-membrana-warstwa graniczna) [12]

Profile stężeniowe A_1 i B_1 są to profile, w których gęstość roztworu jest wprost proporcjonalna do stężenia. Odnosi się to do substancji powodujących wzrost gęstości roztworu np. do wodnych roztworów glukozy, sacharozy, KCl, czy NaCl. Profile stężeniowe A_2 i B_2 są to profile, w których gęstość roztworu jest odwrotnie proporcjonalna do stężenia. Odnosi się to do substancji powodujących zmniejszenie gęstości roztworu np. etanol, metanol, amoniak.

W konfiguracji A_2 i B_1 proces formowania się tych warstw jest zakończony z chwilą osiągnięcia przez komórkę osmotyczno-dyfuzyjną stanu stacjonarnego i pojawienia się procesów konwekcji swobodnej. Grubość warstw $(l_l^A)_2, (l_h^A)_2, (l_l^B)_1, (l_h^B)_1$ ma wartość stałą równą odpowiednio $(\delta_l)_2^A, (\delta_h)_2^A, (\delta_l)_1^B, (\delta_h)_1^B$ gdyż wzrost grubości jest ograniczany przez konwekcję swobodną. W związku z tym stężenie na granicy membrana-roztwór rośnie od wartości C_s^l do wartości $(C_s^l)_2^A$ (w konfiguracji A_2) lub do wartości $(C_s^l)_1^B$ (w konfiguracji B_1), natomiast stężenie C_s^h maleje do wartości $(C_s^h)_2^A$ (w konfiguracji A_2) lub do wartości $(C_s^h)_1^B$ ($s=1,2$), przy czym $(C_s^l)_1^A > (C_s^l)_1^B, (C_s^h)_1^A < (C_s^h)_1^B, (C_s^l)_2^A < (C_s^l)_1^B$ oraz $(C_s^h)_2^A > (C_s^h)_1^B$. Wartość zmodyfikowanego strumienia objętościowego w konfiguracji A_2 wynosi $(J_v)_2^A$, a zmodyfikowanego strumienia dyfuzyjnego substancji rozpuszczonej — $(J_s)_2^A$. W konfiguracji B_1 wartość zmodyfikowanego strumienia objętościowego wynosi $(J_v)_1^B$, a zmodyfikowanego strumienia dyfuzyjnego substancji rozpuszczonej — $(J_s)_1^B$.

W konfiguracjach A_1 i B_2 , w związku z brakiem konwekcji swobodnej w otoczeniu membrany, proces formowania się stężeniowych warstw granicznych kończy się dopiero w stanie równowagi termodynamicznej, ponieważ

grubość tych warstw ciągle rośnie. Jest to uzasadnione odwróconym gradientem gęstości roztworów. Jednak, zgodnie z kryterium Nernsta, jeśli w stanie stacjonarnym wartość stężenia na granicy membrana-roztwór przyjmie wartości $(C_s^l)_1^A$ i $(C_s^h)_1^A$ (w konfiguracji A_1) oraz $(C_s^l)_2^B$ i $(C_s^h)_2^B$ (w konfiguracji B_2), przy czym $(C_s^l)_1^A > C_s^l$, $(C_s^h)_1^A < C_s^h$, $(C_s^l)_2^B > C_s^l$ oraz $(C_s^h)_2^B < C_s^h$, to grubości warstw $(l_1^A)_1$, $(l_h^A)_1$, $(l_1^B)_2$, $(l_h^B)_2$ osiągną wartości $(\delta_l)_1^A$, $(\delta_h)_1^A$, $(\delta_l)_2^B$ oraz $(\delta_h)_2^B$.

Wartość zmodyfikowanego strumienia objętościowego w konfiguracji A_1 wynosi $(J_v)_1^A$, a zmodyfikowanego strumienia dyfuzyjnego substancji rozpuszczonej — $(J_s)_1^A$. W konfiguracji B_2 wartość zmodyfikowanego strumienia objętościowego wynosi $(J_v)_2^B$, a zmodyfikowanego strumienia dyfuzyjnego substancji rozpuszczonej — $(J_s)_2^B$.

Współczynniki przepuszczalności dyfuzyjnej kompleksu: warstwa graniczna/membrana/ warstwa graniczna ($l_l/M/l_h$) oznaczmy odpowiednio przez $(\Omega_s)_1^A$, (w konfiguracji A_1), $(\Omega_s)_2^A$ (w konfiguracji A_2), $(\Omega_s)_1^B$ (w konfiguracji B_1) oraz $(\Omega_s)_2^B$ (w konfiguracji B_2). Dla roztworów binarnych wartość współczynnika zależy tylko od konfiguracji układu I -membranowego, przy czym w konfiguracji stabilnej (A_1 , B_1) jest mniejsza od wartości tego współczynnika w konfiguracji niestabilnej (A_2 , B_1). Jeśli roztwory są dobrze mieszane mechanicznie to $(C_s^l)_1^i = (C_s^l)_2^i = C_s^l$, $(C_s^h)_1^i = (C_s^h)_2^i = C_s^h$, $(J_v)_1^i = (J_v)_2^i = J_v$, $(J_s)_1^i = (J_s)_2^i = J_s$, $(\delta_l)_1^i = (\delta_l)_2^i = (\delta_h)_1^i = (\delta_h)_2^i \cong 0$ oraz $(\Omega_s)_1^i = (\Omega_s)_2^i = \omega_s$ ($i=A, B$).

Dla przypadku przedstawionego na rysunku 1 równanie Van't Hoffa możemy zapisać w następującej postaci

$$\Delta\Pi_s^o = RT(C_s^h - C_s^l) \quad (1)$$

$$\Delta\Pi_s^i = RT[(C_s^h)_r^i - (C_s^l)_r^i] \quad (2)$$

gdzie: $\Delta\Pi$ — różnica ciśnień osmotycznych, RT — iloczyn stałej gazowej i temperatury termodynamicznej; C_s^h , C_s^l , $(C_s^h)_r^i$, $(C_s^l)_r^i$ — odpowiednio globalne i lokalne stężenia roztworów w stanie stacjonarnym; indeks $i=A, B$ odnosi się odpowiednio do konfiguracji A oraz B ; $s=1, 2, \dots, n$; $r=1, 2$. W stanie stacjonarnym: $J_v^o = \text{const.}$, $J_v^i = \text{const.}$, $J_s^o = \text{const.}$ oraz $J_s^i = \text{const.}$

Bibliografia

- [1] P.H. Barry, J.M. Diamond, *Effects of Unstirred Layers on Membrane Phenomena*, „Physiol. Rev.” 64 (1984) 763–872.
- [2] A.B.R. Thompson, J.M. Dietchy, *Derivation of the equations that describe the effects of unstirred water layer on the kinetic parameters of active transport processes in the intestine*, „J. Theoret. Biol.” 64 (1977) 277–294.
- [3] B. Havstein, *Kinetics of formation of a flow-inhibiting boundary layer in liquid-solid filtration*, „Chem. Eng. J.” 35 (1987) 123–136.
- [4] T.J. Pedley, *Calculation of unstirred layer thickness in membrane transport experiments: a survey*, „Quart. Rev. Biophys.” 16 (1983) 115–150.
- [5] C. Nigon, J. Phalipon, C. Favre-Bonvin, B. Maïsterrena, *Theoretical analysis of active transport through a reversed bienzyme porous membrane. I. Transport of a negatively charged, small, hydrophilic molecule*, „J. Membrane Sci.” 144 (1998) 223–236.
- [6] C. Nigon, P. Michalon, B. Perrin, B. Maïsterrena, *Theoretical analysis of active transport through a reversed bienzyme porous membrane. II. Transport of an uncharged, small, hydrophilic molecule*, „J. Membrane Sci.” 144 (1998) 237–250.
- [7] A. Ślęzak, K. Dworecki, J.E. Anderson, *Gravitational effects on transmembrane flux: the Rayleigh-Taylor convective instability*, „J. Membrane Sci.” 23 (1985) 71–81.
- [8] A. Ślęzak, *Irreversible thermodynamic model equations of the transport across a horizontally mounted membrane*, „Biophys. Chem.” 34 (1989) 91–102.
- [9] A. Ślęzak, *A model equations for the gravielectric effect in electrochemical cells*, „Biophys. Chem.” 38 (1990) 189–199.
- [10] K. Dworecki, *Interferometric Investigations of Near-Membrane Diffusion Layers*, „J. Biol. Phys.” 21 (1995) 37–49.
- [11] K. Dworecki, S. Wąsik, *The investigation of time-dependent solute transport through horizontally situated membrane: the effect of configuration membrane syste*, „J. Biol. Phys.” 23 (1997) 181–195.
- [12] A. Ślęzak, J. Wąsik, W. Gołda, J. Jasik-Ślęzak, *Ciśnieniowy efekt grawiosmotyczny dla płaskiej membrany polimerowej i trójskładnikowych roztworów nieelektrolitów*, „Polimery w Medycynie” 28 (1998) 23–37.
- [13] W. Nernst, *Therie der Reaktionsgeschwindiglect in heterogenon Systemen*, „Z. Phys. Chem.” 47 (1904) 52–63.

JACEK WAŚIK

**Interpretation of Phenomena Occurring in Membrane Profiles
for 1-Membrane Osmotic-Diffusive Cell**

Summary

Biophysical effect of Earth gravitation on live cells is discussed in the paper and formation of border layers near the membrane are discussed. Interferogrammes that present formation of border layers are shown. Interpretation of phenomena taking place in membrane profiles for 1-membrane osmotic and diffusive cell participating in profiles and an electrically neutral membrane dividing two identical and of sufficiently large volume solutions of the same electrolytic substances, in which chemical reactions do not occur and the membrane transport processes are isothermal.