



Termodynamika systemów otwartych - informacja (2)

Bogdan Walkowiak

*Zakład Biofizyki
Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Łódzka*

Potencjały i bodźce termodynamiczne

- *Potencjał termodynamiczny - jest to funkcja termodynamiczna której zmiana w procesie odwracalnym jest równa całkowanej pracy wykonanej przez układ.*
- *Bodźce termodynamiczne (siły termodynamiczne) - definiowane są jako różnice potencjałów termodynamicznych oddziałujących układów.*

Bodźce termodynamiczne

Bodziec termodynamiczny

Przeptyw

Gradient temperatury

(dT/dL)

ciepło

Gradient ciśnienia

(dP/dL)

gaz lub ciecz

Gradient stężenia

(dC/dL)

substancji

Gradient potencjału
elektrycznego

(dV/dL)

prąd elektryczny

Prawo Ficka (dyfuzja)

$$dn/dt = -DS (dC/dL)$$

Prawo Fouriera (przewodnictwo cieplne)

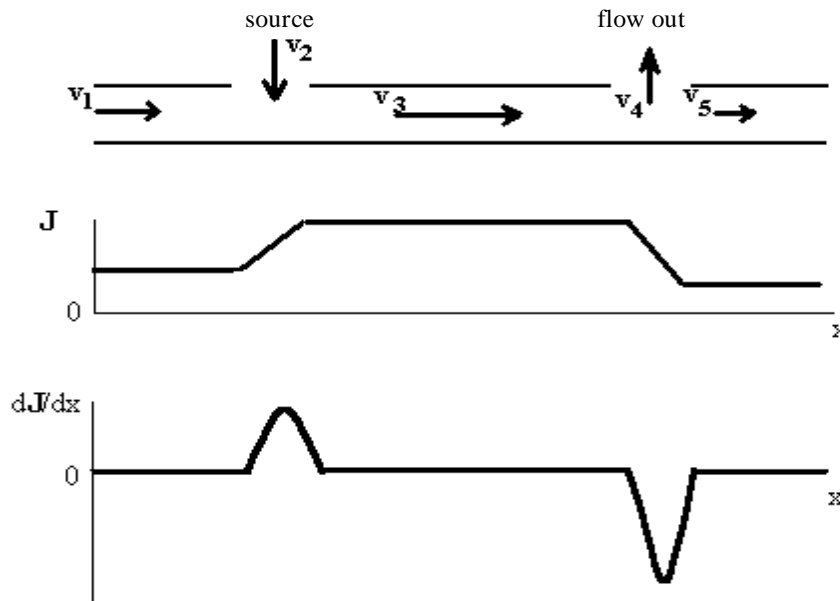
$$dQ/dt = -IS (dT/dL)$$

Prawo Ohma (przewodnictwo elektryczne)

$$dq/dt = -gS (dV/dL)$$

Transport Substancji (1)

Strumień masy - ilość substancji przechodzących w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię ustawioną prostopadle do kierunku przepływu



$J = c v$
(stężenie pomnożone przez prędkość)

Pochodna strumienia ma dwa ekstrema:

W obecności źródła (dopływ):

$$dJ/dx > 0$$

W obecności odbiornika (wyptyw):

$$dJ/dx < 0$$

Transport Substancji (2)

Termodynamiczne procesy sprzężone

Prędkość przepływu zależy od bodźców termodynamicznych (sił termodynamicznych) powodujących przepływ:

$$v = w X \quad \text{gdzie } w \text{ jest współczynnikiem proporcjonalności}$$

więc:

$$J = c w X$$

lub:

$$J = L X \quad \text{gdzie } L \text{ jest współczynnikiem sprzężenia (współczynnik fenomenologiczny)}$$

Ogólnie dla przepływu wielu substancji:

$$J_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} X_j$$

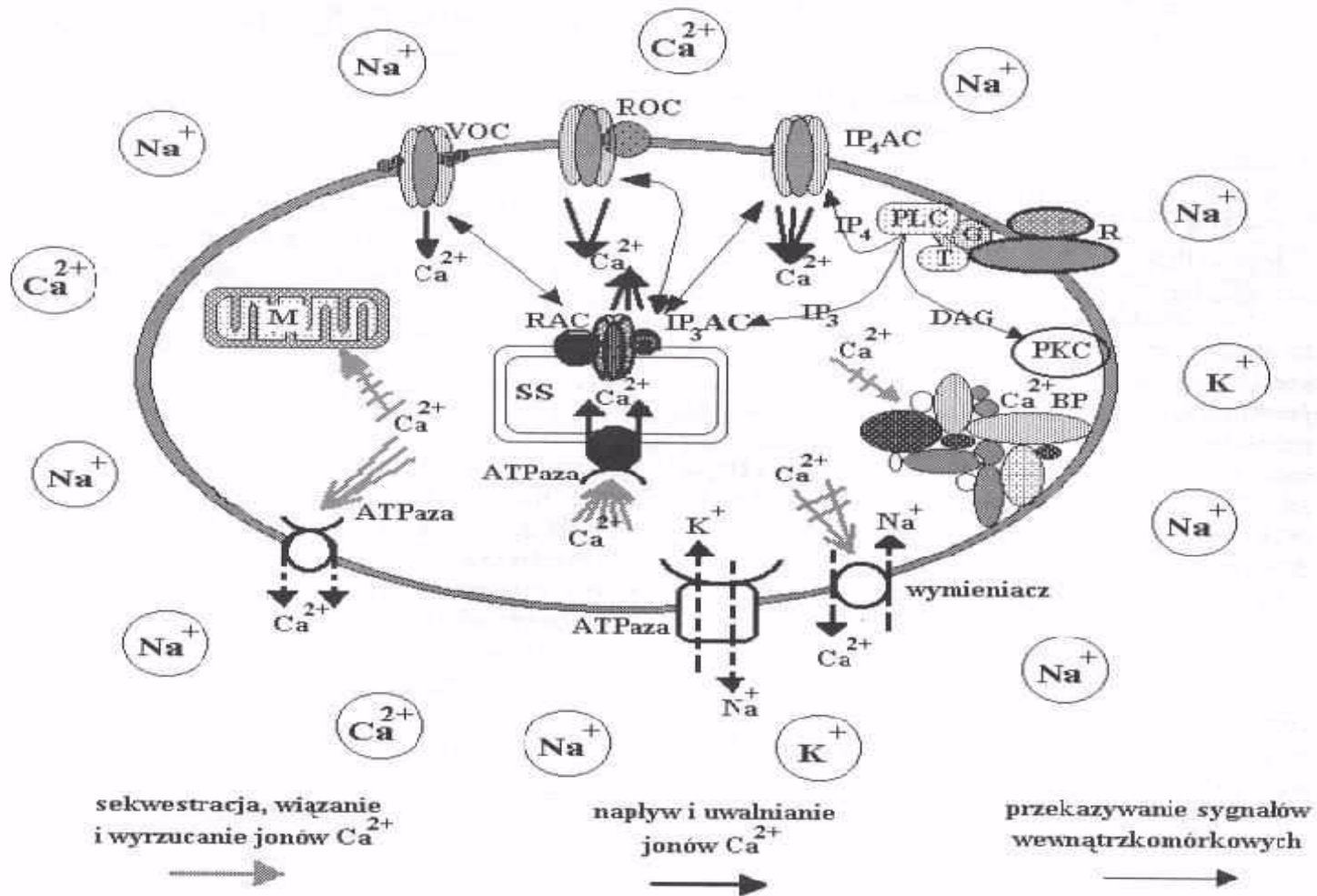
Transport Substancji (3)

Ostatnie równanie może być zapisane w postaci jawnej:

$$\begin{aligned} J_1 &= L_{11}X_1 + L_{12}X_2 + \dots + L_{1n}X_n \\ J_2 &= L_{21}X_1 + L_{22}X_2 + \dots + L_{2n}X_n \\ &\vdots \\ J_n &= L_{n1}X_1 + L_{n2}X_2 + \dots + L_{nn}X_n \end{aligned}$$

Strumień J_m jest sprzężony z bodźcem (siłą) X_n tylko wtedy, gdy wartość L_{nm} od zera.

Transport Substancji (przykład sprzężenia)



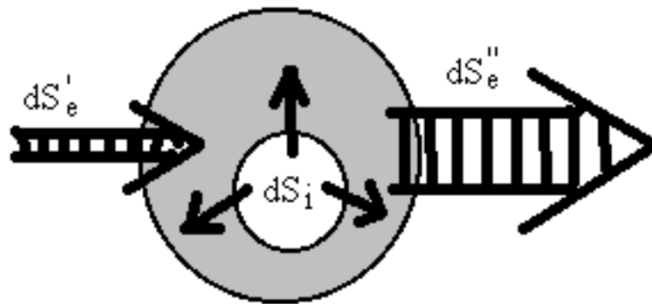
Transport Substancji (przykład sprzężenia)

$$J_{Na} = L_{11}(K^+/Na^+ ATPaza) + L_{12}(\text{grad-dyf } Na^+) + L_{13}(Ca^{2+}/Na^+ \text{ exch})$$

$$J_{Ca} = L_{21}(Ca^{2+} ATPaza) + L_{22}(\text{grad-dyf } Ca^{2+}) + L_{23}(Ca^{2+}/Na^+ \text{ exch})$$

Napędzany przez pompę K^+/Na^+ ($K^+/Na^+ ATPase$) gradient stężenia jonów Na^+ generuje bodziec dla sprzężonego transportu jonów $Na^+ - Ca^{2+}$.

II zasada termodynamiki w żywych organizmach



Entropia metabolizmu

Entropia wymiany

W fazie wzrostu organizmu

Dla organizmów dojrzałych

Dla ekosystemu

dS_i

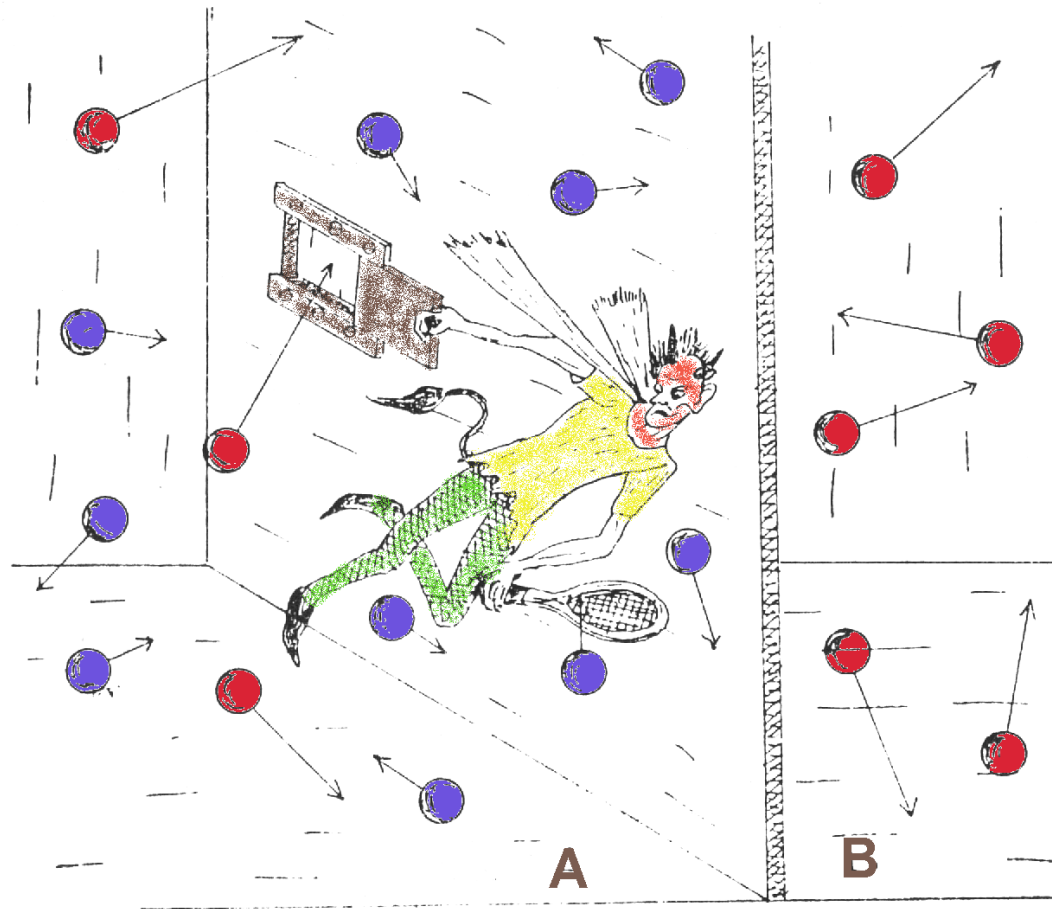
$$dS_e = (dS_e' - dS_e'') < 0$$

$$dS_i / dt < dS_e / dt$$

$$dS_i / dt = dS_e / dt$$

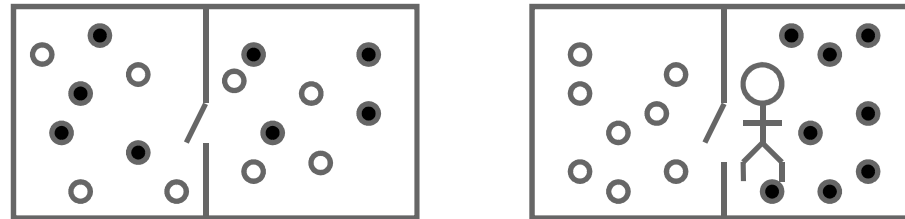
$$dS_{ekos} = dS_{env} + dS_{org} > 0$$

Demon Maxwella



Unknown author of the graphics

Demon Maxwella



Wzrost uporządkowania układu jest związany z obniżeniem entropii

Informacja może być zamieniona w entropię i odwrotnie

Zwiększając zawartość informacji w układzie możemy obniżyć entropię układu, ale entropia otoczenia musi wzrosnąć.

Ujemna entropia nazywana jest informacją

Informacja

Prawdopodobieństwo matematyczne:

$$P = \frac{\text{liczba zdarzeń sprzyjających}}{\text{liczba wszystkich zdarzeń}}$$

Informacja I jest funkcją prawdopodobieństwa P

$$I = f(P)$$

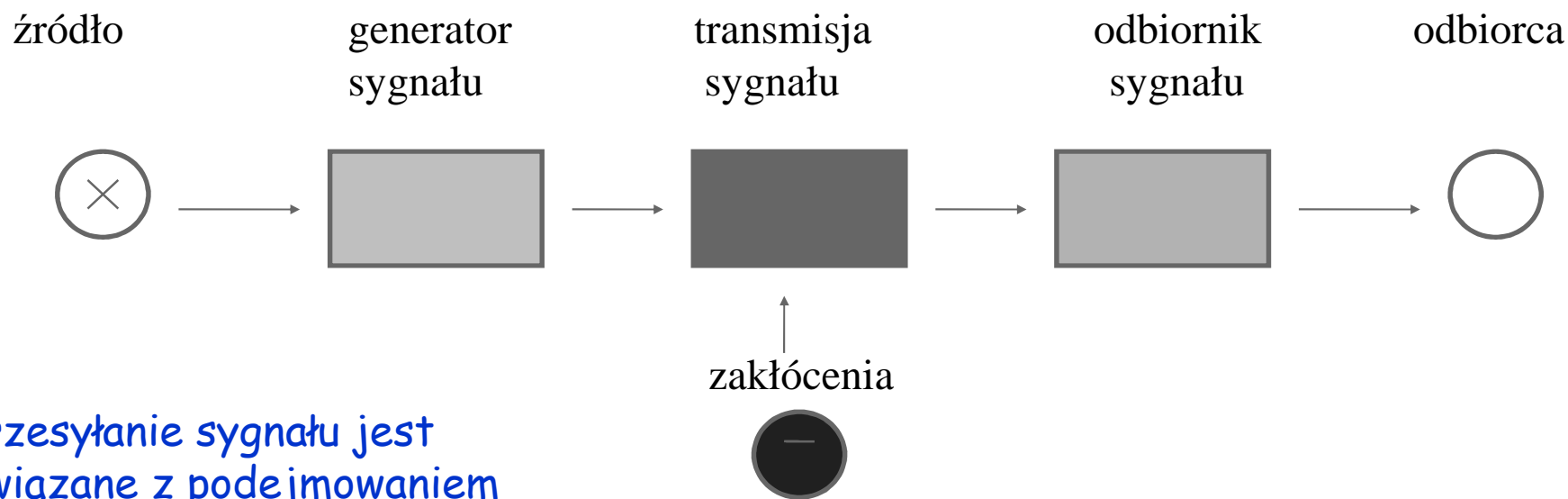
Musi być spełniony warunek:

$$I = I + I = f(P_1) + f(P_2) = f(P_1 P_2)$$

To znaczy:

$$I = K \ln P \text{ (in bits } K = -1/\ln 2) \text{ lub } I = k \ln P \text{ (cal/K)}$$

Przeptyw informacji

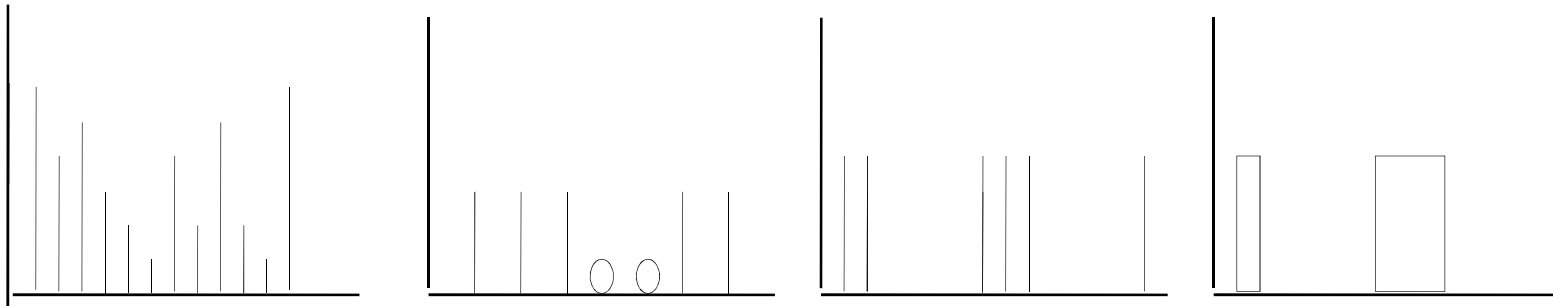


Przesyłanie sygnału jest związane z podejmowaniem decyzji (eliminacja stanu niepewności)

Prędkość transmisji sygnału:

- *modem 2400 bitów/s - 100 Gbitów/s*
- *czytanie 45 bitów/s*
- *pisanie 16 bitów/s*
- *liczenie 3 bitów/s*

Kodowanie informacji



Modulacja
amplitudowa

kod binarny

modulacja
częstotliwościowa

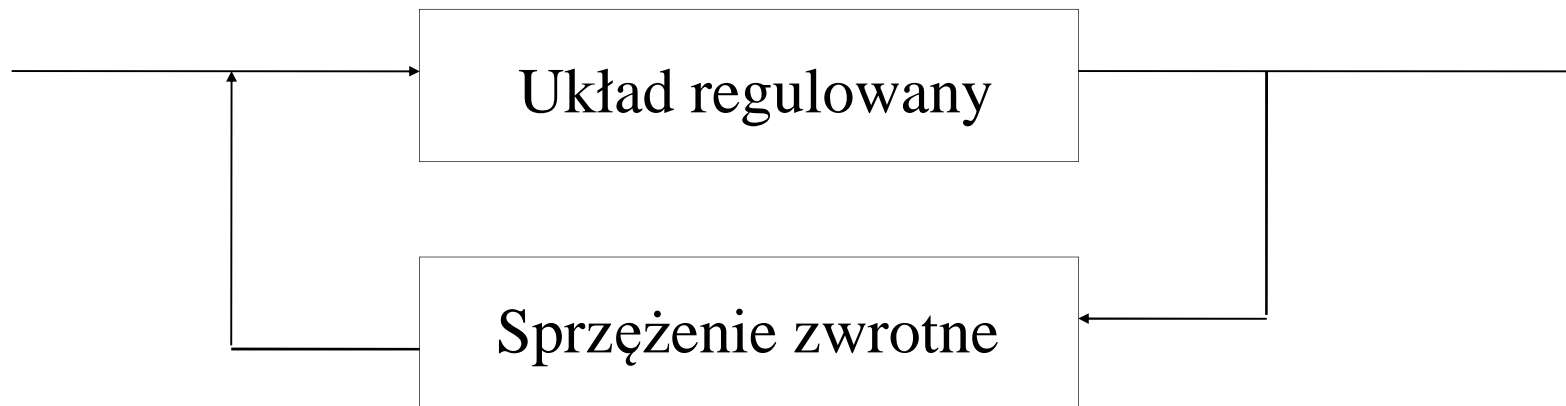
kod przedziałów

Istnieje wielka różnorodność kodowania informacji.

Korespondencja dyplomatyczna jest kodowana, siły zbrojne także muszą kodować przesyłaną informację. Przykładowo system ENIGMA był używany przez Niemców w czasie II Wojny Światowej. System ten został złamany przez polskich matematyków-kryptologów.

Prosto mówiąc każda rozmowa używa kodowania dla przekazania informacji w wybranym języku.

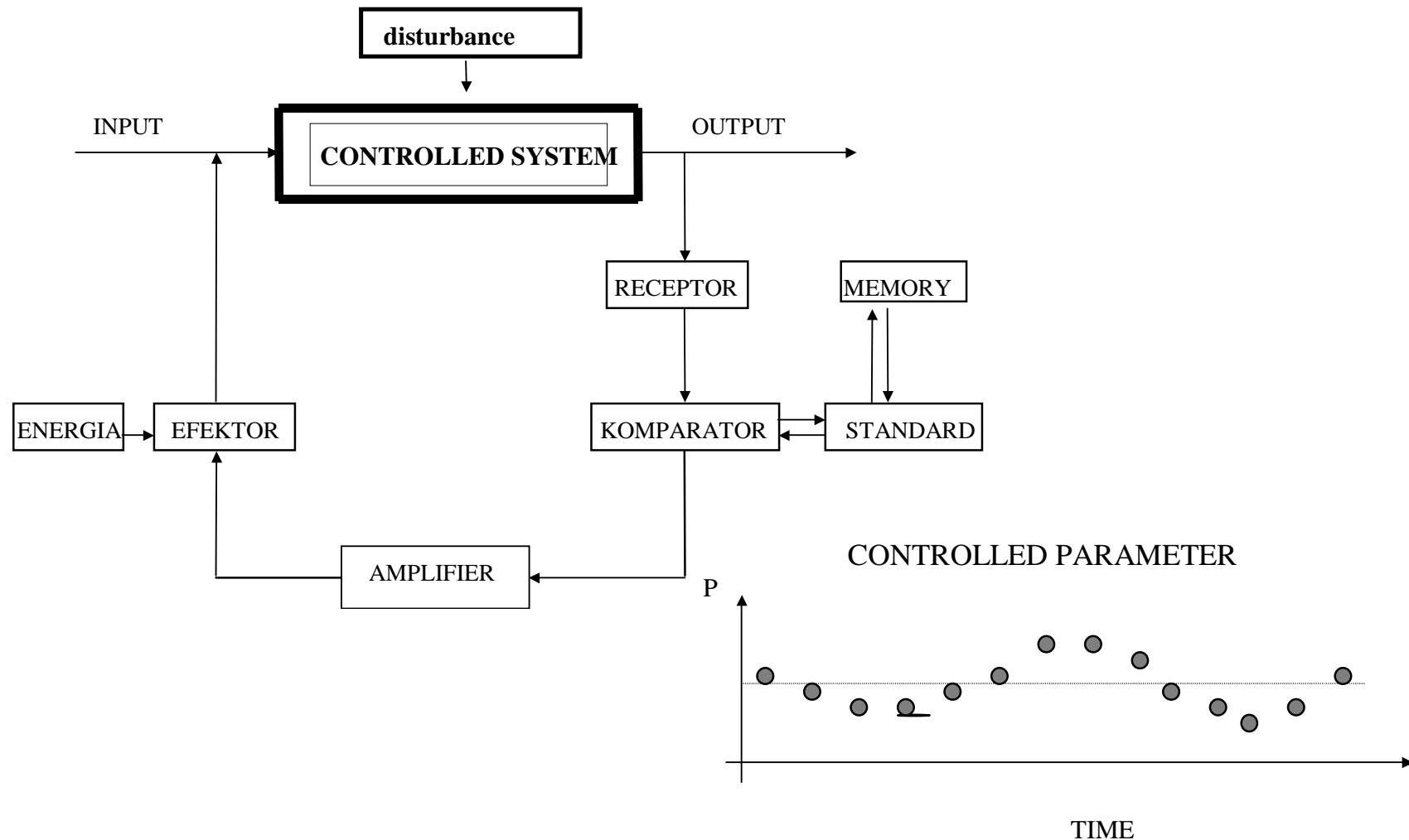
Kontrola przepływu informacji



SPRZĘŻENIE ZWROTNE

- *dodatnie sprzężenie zwrotne - łańcuch reakcji prowadzący do zniszczenia układu (rozpad jąder uranu w bombie atomowej, krzepnięcie krwi, sprzężenie głośnik-mikrofon)*
- *ujemne sprzężenie zwrotne - kontrola i stabilizacja układu (termostat, WC- zbiornik wody, hemostaza krwi (tromboza i fibrynoliza))*

Układ z ujemnym sprzężeniem zwrotnym



Rola płytek krwi w procesie trombozy



Unknown author of the graphics

Rząd reakcji

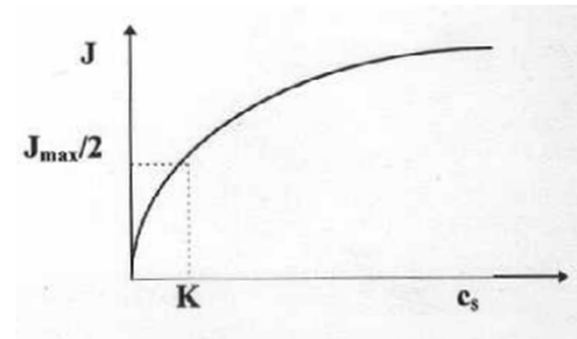
Prawdopodobieństwo zajścia reakcji jest proporcjonalne do stężenia substancji i stałej szybkości reakcji



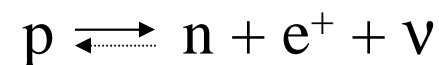
$$J_c = k_1 AB - k_{-1} C$$



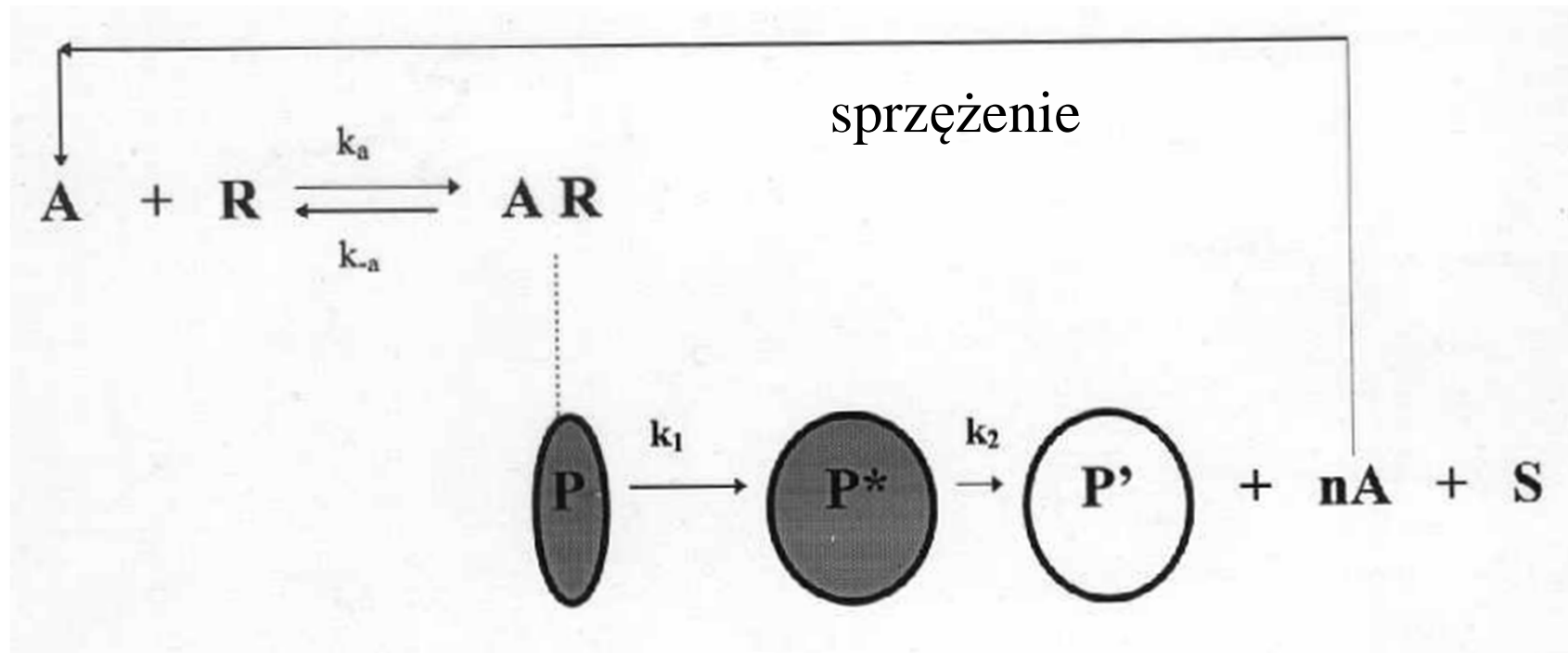
$$J = (J_{\max} c_s) / (K + c_s)$$



Przykład reakcji rzędu trzeciego



Przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego (1)



$$\frac{dN^*(t)}{dt} = K N(t) A(t)$$

Przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego (2)

$$A(t) = n N^*(t) + A_0 - n_1 N^*(t); \quad W = n - n_1$$

$$A(t) = W N^*(t) + A_0; \quad N_0 = N(t) + N^*(t)$$

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = K (N_0 - N^*(t)) (W N^*(t) + A_0); \quad N^*(0) = 0$$

$$N^*(t) = N_0 \frac{A_0 (\exp(K(W N_0 + A_0) t) - 1)}{W N_0 + A_0 \exp(K(W N_0 + A_0) t)}$$

Przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego ⁽³⁾

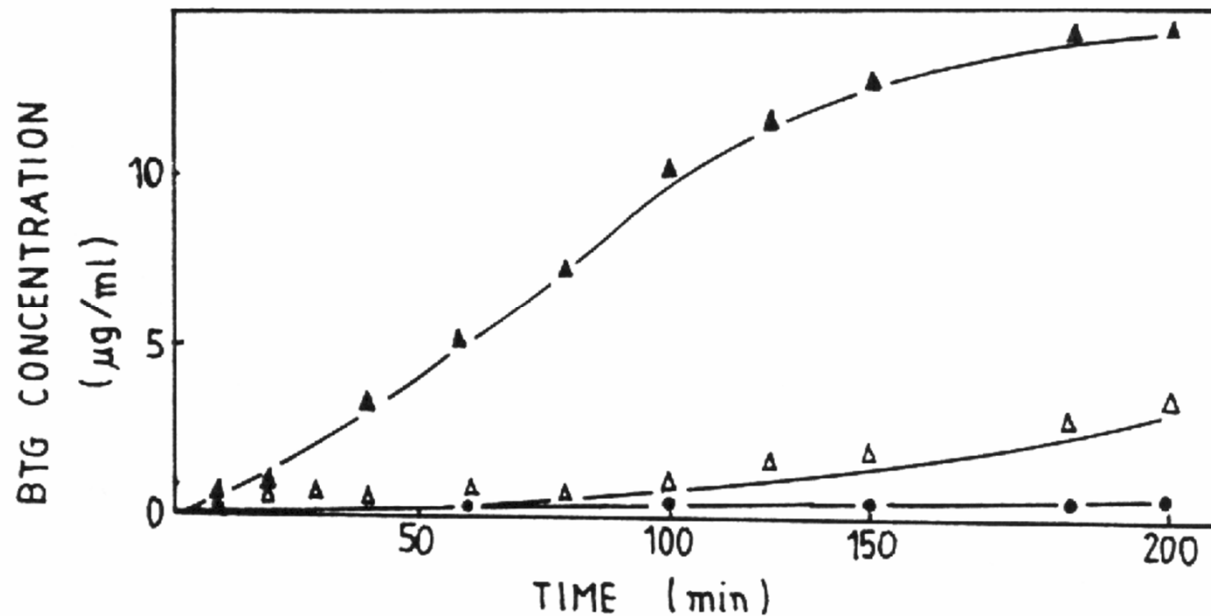
$$1. \quad A_0 = 0 \quad \Longrightarrow \quad N^*(t) = 0$$

$$2. \quad A_0 \gg W N_0 \quad \Longrightarrow \quad N^*(t) = N_0 (1 - \exp(-K A_0 t))$$

$$3. \quad W N_0 / A_0 > 1 \quad \Longrightarrow \quad t_p = \frac{\ln (W N_0 / A_0)}{K (W N_0 + A_0)}$$

Przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego (4)

$$S(t) = S_{\max} \frac{A_0 (\exp(K(W N_0 + A_0) t) - 1)}{W N_0 + A_0 \exp(K(W N_0 + A_0) t)} ; \quad S_{\max} \sim N_0$$



Przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego (5)

TABLE 1

Concentrations of BTG in supernates of platelets washed by different techniques, before and after incubation at 37° C. Amount of BTG is expressed in $\mu\text{g/ml}$.

Method of washing	Incubation time (h)	BTG	
		Before incubation	After incubation
1. Centrifugation (2×10^9 per ml)	5	3.7	18.7
2. Gel filtration (1.8×10^9 per ml)	12	1.8	15.4
3. Centrifugation + apyrase (2×10^9 per ml)	12	0.02	0.12

Walkowiak B, Cierniewski CS. Kinetics of β -thromboglobulin release from α -granules of blood platelets activated by ADP. *Thrombosis Research* 46, 727-736, 1987.