KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

BIOPHYSICS

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”

Lecture 5

POTENTIALS (5)

Bogdan Walkowiak

Department of Biophysics
Institute of Materials Science and Engineering
Technical University of Lodz

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Chemical Potential

Gibbs' formula in the differential form

$$\mathbf{dU = TdS + dW} \qquad (dU = dQ + dW; \quad dS = dQ/T)$$

various kind of work:

- volumetric work $dW_v = - p\, dV$
- mechanical work $dW_m = F\, dl$
- electric work $dW_e = \varphi\, dq$
- chemical work $dW_c = \mu\, dn$ μ – chemical potential

generally the work is given by the formula:

$$\mathbf{dW = d\,W_v + dW_m + dW_e + dW_c = - p\, dV + F\, dl + \varphi\, dq + \mu dn}$$

Gibbs' formula can be rewritten to:

$$\mathbf{dU = TdS - p\, dV + F\, dl + \varphi\, dq + \mu\, dn}$$

Chemical Potential

Let assume: $dS = 0;\ dV = 0;\ dl = 0;\ dq = 0$

then: $dU = \mu\, dn$

or generally:

$$\mathbf{dU = \sum_{i=1}^{m} \mu_i\, dn_i}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Chemical Potential

When system is doing the work (-dW) a chemical potential is diminishing (-dμ)

$$-d\mu = pdV$$

The equation of state for ideal gass is given by the formula:

$$pV = nRT \qquad R=8.31 \text{ J/mol deg} - \text{the universal constant}$$

for isothermal process (dT = 0) valid is the equality:

$$p\,dV = -\,V\,dp$$

then:

$$-d\mu = -\,V\,dp; \qquad \text{and} \qquad V = nRT/p$$

$$d\mu = nRT\,dp/p$$

$$\int d\mu = nRT \int dp/p$$

$$\mu = nRT \ln p \Big|_1^2 + W$$

Chemical Potential

$$\mu = nRT\,(\ln p_2 - \ln p_1) + \mu^o$$

$$\mu = +\,\mu^o + nRT \ln p_2 \qquad \text{for} \quad p_1 = 1$$

since $p = nRT/V$ **and** $n/V = c$

thus

$$\boxed{\mu = +\,\mu^o + nRT \ln c}$$

Electrochemical Potential

Electric charge of n mols of ions is described by the equation:

$$q = z\, n\, F$$

and change in the charge amount:

$$dq = z\, F\, dn$$

or for several types of ions:

$$dq = F \sum_{i=1}^{m} z_i\, dn_i$$

the Gibbs' formula will be expressed as:

$$dU = TdS - p\, dV + F\, dl + \varphi\, F \sum_{i=1}^{m} z_i\, dn_i + \sum_{i=1}^{m} \mu_i\, dn_i$$

Electrochemical Potential

Elements of the sum can be ordered:

$$\varphi F \sum_{i=1}^{m} z_i \, dn_i + \sum_{i=1}^{m} \mu_i \, dn_i = \sum_{i=1}^{m} dn_i \, (\mu_i - z_i F\varphi)$$

$$\mu_i^e = \mu_i + z_i F\varphi$$

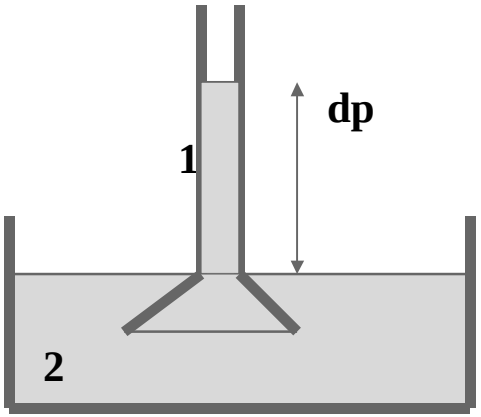
$$\boxed{\mu_i^e = \mu_i^{eo} + RT \ln c_i + z_i F\varphi}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Osmotic Pressure



subsystem 1: $\mu_1 = \mu^o_1 + RT \ln c_1$

subsystem 2: $\mu_2 = \mu^o_2 + RT \ln c_2$

$\mu_1 = \mu_2$

$$\mu^o_1 + RT \ln c_1 = \mu^o_2 + RT \ln c_2$$

$$RT \ln c_1/c_2 = \mu^o_2 - \mu^o_1$$

$$\mu^o_2 - \mu^o_1 = V\,dp$$

$$dp = (RT/V) \ln c_1/c_2$$

$$\Pi = (RT/V) \ln c_1/c_2$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Osmotic Pressure

If the subsystem 2 contains pure solvent then $c_2 = 1$, and:

$$\Pi = (RT/V) \ln c_1$$

for low concentrations of solutions true is dependence:

$$\Pi = RTc_1$$

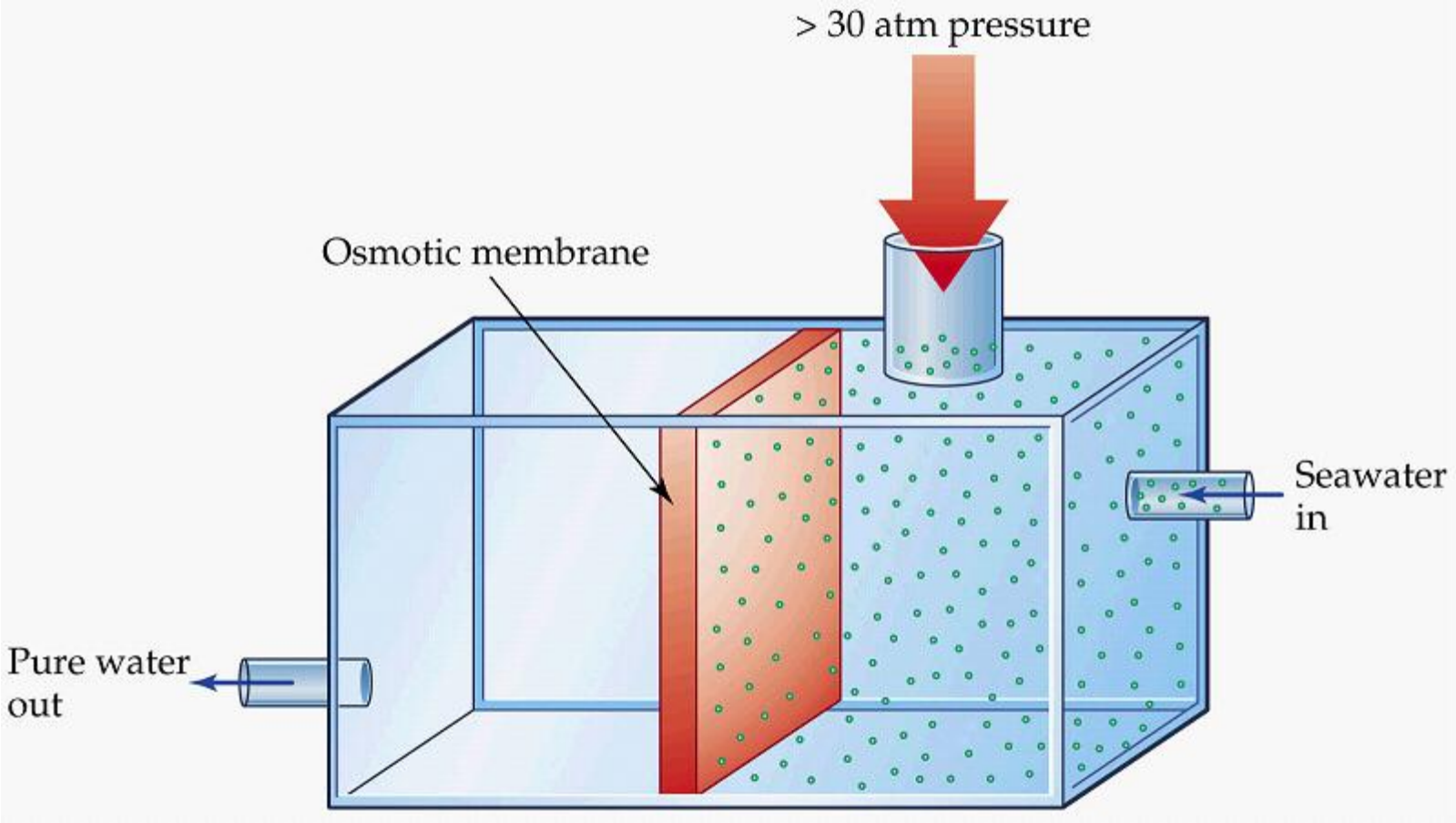
Van't Hoff' formula

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Osmotic Pressure



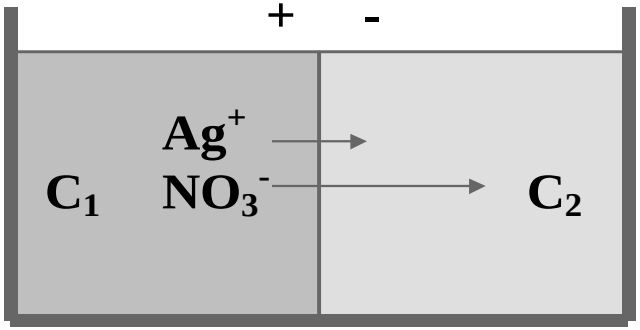
Source: INTERNET

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Diffusive (Contact) Potential



$$J_d = L_d\, d\mu + L_{de}\, dV$$

$$J_e = L_{ed}\, d\mu + L_e\, dV$$

For equilibrium exchange $J_e = 0$, and then:

$$dV = - d\mu\, L_{ed}/L_e$$

and assuming that $d\mu = 0$, one can write:

$$L_{ed}/L_e = J_d/J_e$$

$$J_d = c\,(v^- - v^+) \quad ; \quad J_e = z\,F\,c\,(v^- + v^+)$$

Diffusive (Contact) Potential

$$dV = \frac{v^+ - v^-}{v^+ + v^-} \cdot \frac{1}{zF} d\mu; \qquad u = v/E \text{ - mobility}$$

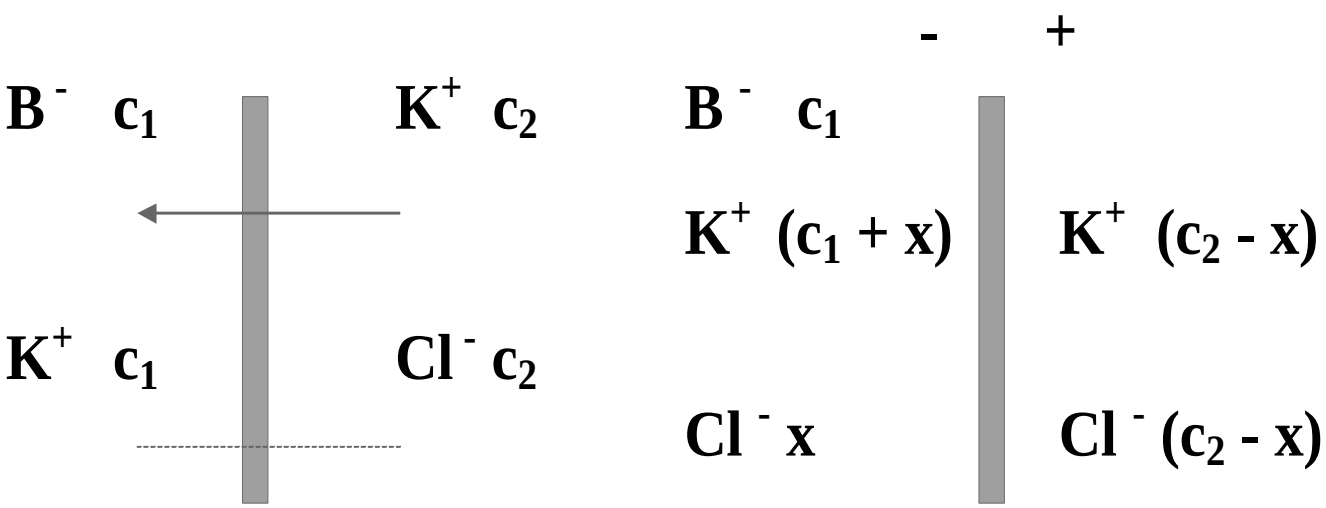
$$dV = \frac{u^+ - u^-}{u^+ + u^-} \cdot \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_1}{c_2}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Donnan's Equilibrium



Starting state **Equilibrium state**

$$d\mu^e = 0$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Donnan's Equilibrium

$$x\,(c_1 + x) = (c_2 - x)\,(c_2 - x)$$

$$x\,/(\,c_2 - x) = (c_2 - x)\,/\,(c_1 + x)$$

$$[Cl_1^-]\,/\,[Cl_2^-] \;=\; [K_2^+]\,/\,[K_1^+]$$

$$dV \;=\; (RT/F)\,\ln\,([Cl_1^-]\,/\,[Cl_2^-]) \;=\; (RT/F)\,\ln\,([K_2^+]\,/\,[K_1^+])$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Membrane Potential

INTERIOR	EXTERIOR	c_I / c_E	E (mV)
Na^+ 9.2 mM	Na^+ 120 mM	13:1	+ 67
K^+ 140 mM	K^+ 2.5 mM	1:56	- 102
Cl^- 4.0 mM	Cl^- 120 mM	30:1	- 86

Nerst's equation (membrane potential)

$$dV = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_z}{c_w}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Membrane Potential

Goldman's equation (with permeability coefficients)

$$dV = \frac{RT}{zF} \ln \frac{P_K [K_I^+] + P_{Na} [Na_I^+] + P_{Cl} [Cl_E^-]}{P_K [K_E^+] + P_{Na} [Na_E^+] + P_{Cl} [Cl_I^-]}$$

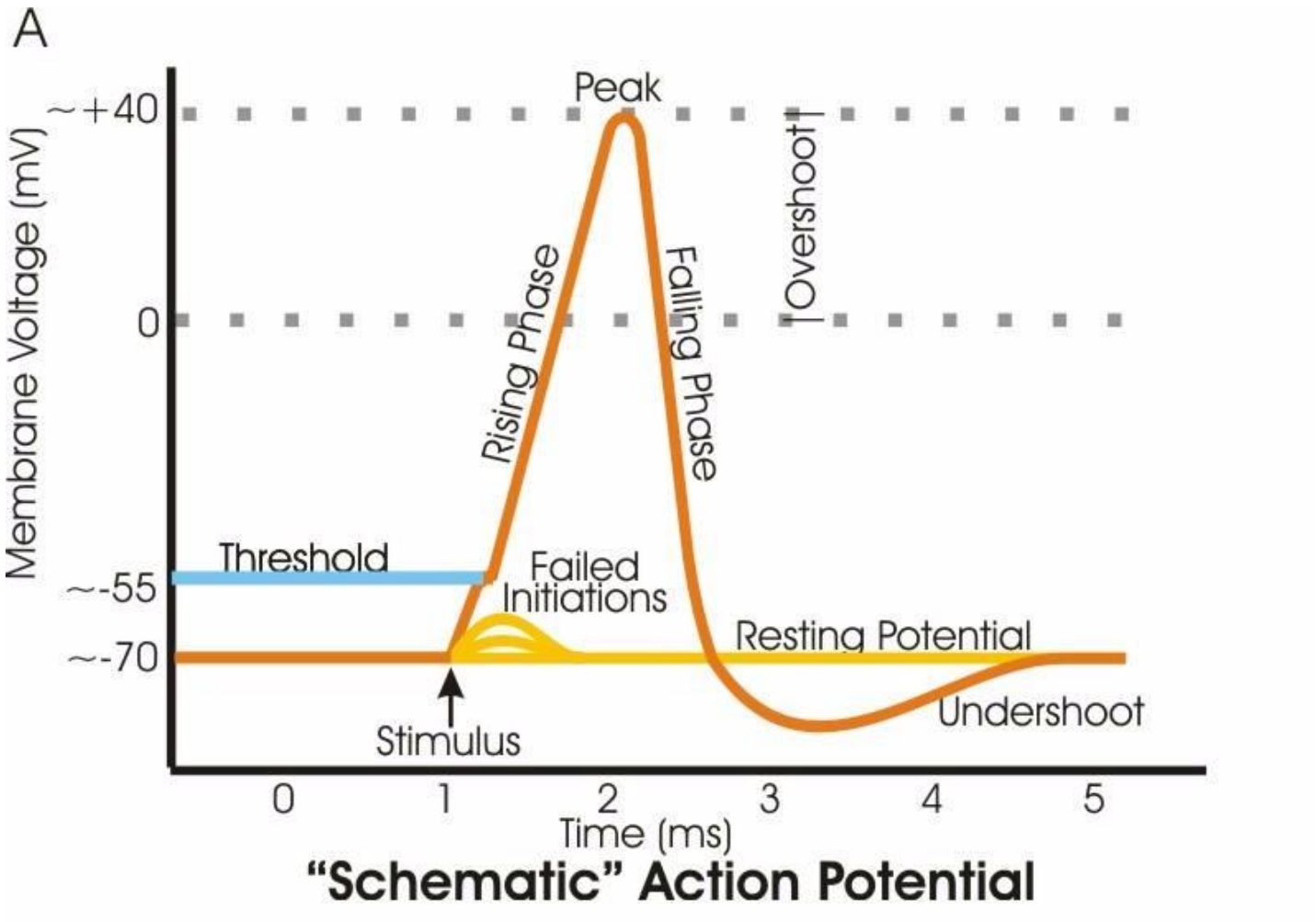
For premeability coefficients $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.05$, and concentrations as on previous transparency, the calculated membrane potential is about - 90 mV

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

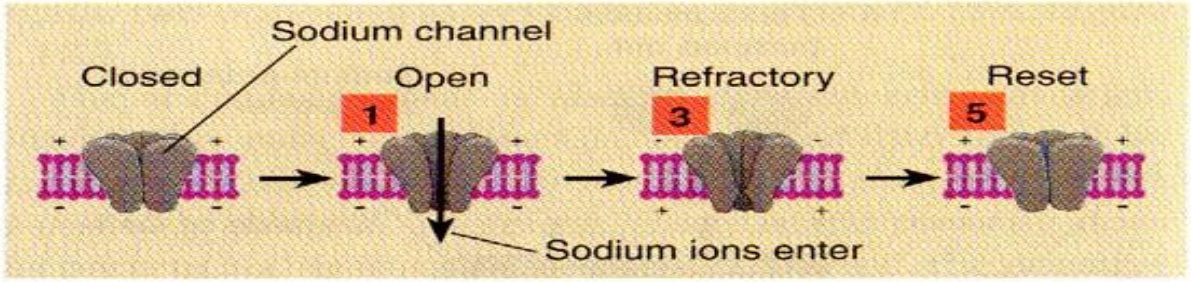
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

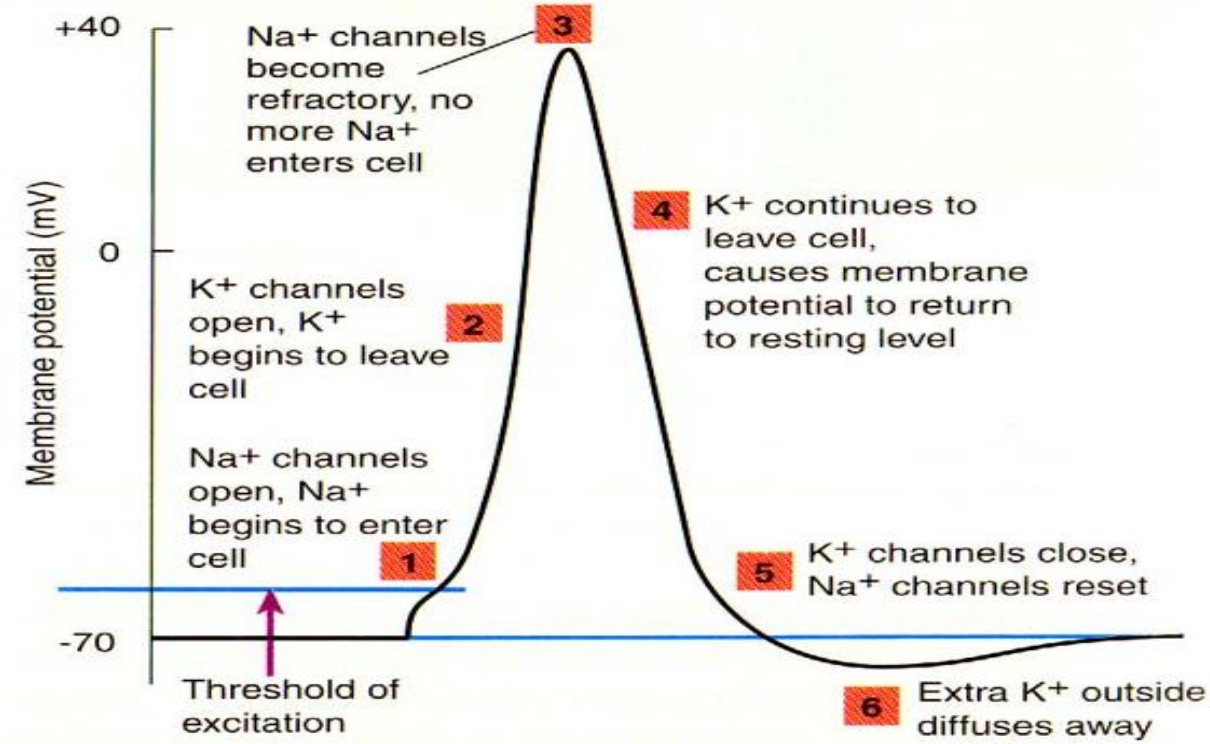
Action Potential



Source: INTERNET

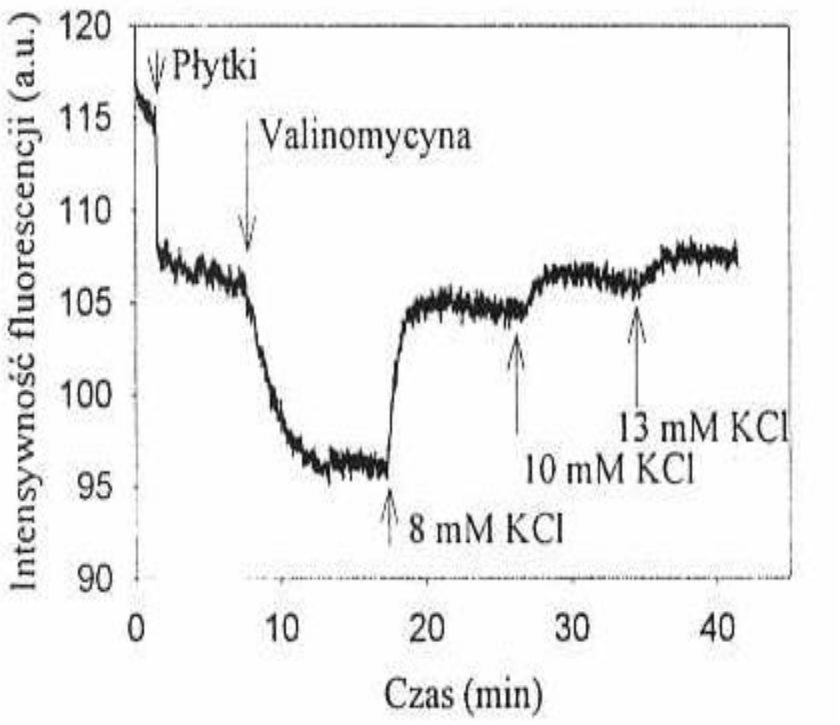
Action Potential

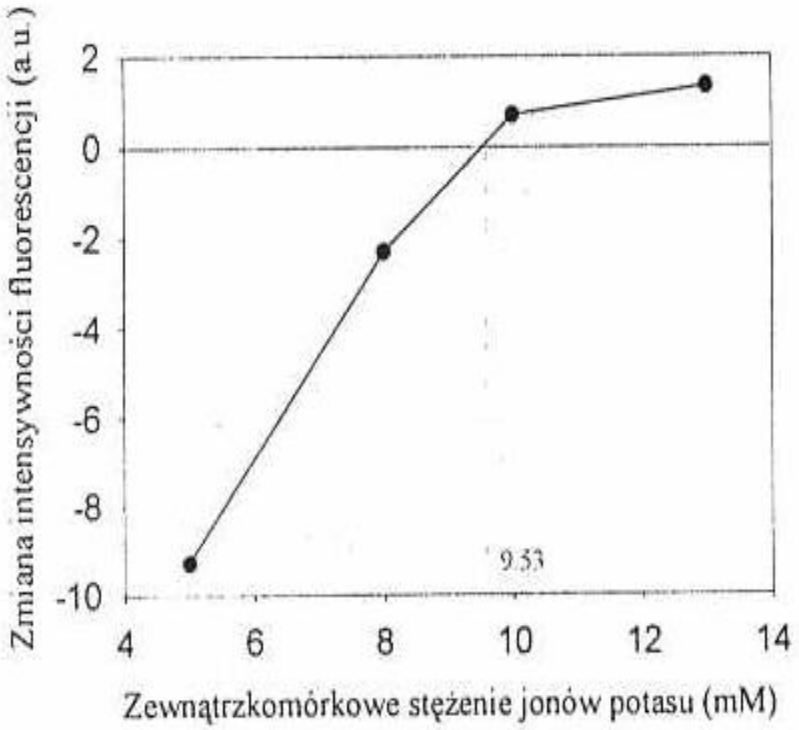




Source: INTERNET

Measure of Membrane Potential



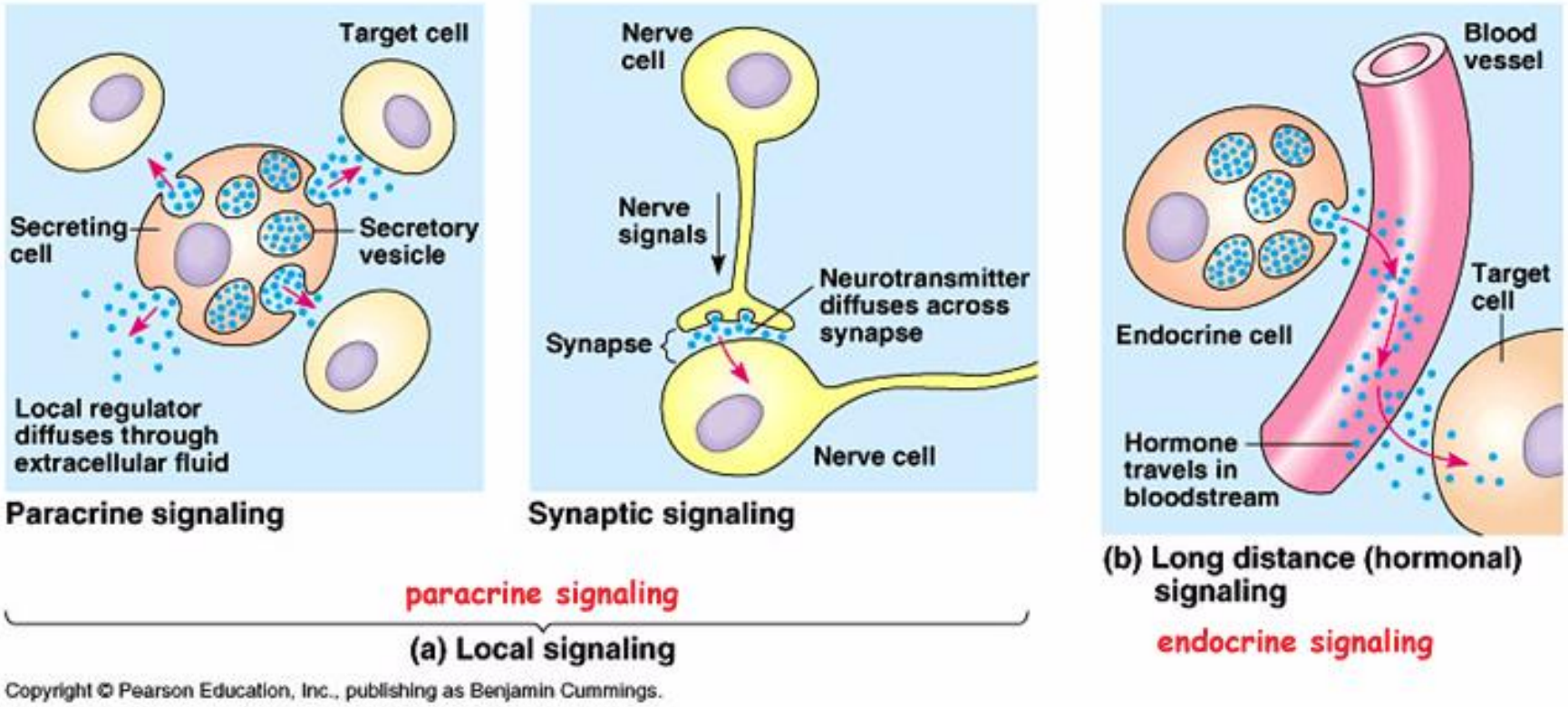


KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

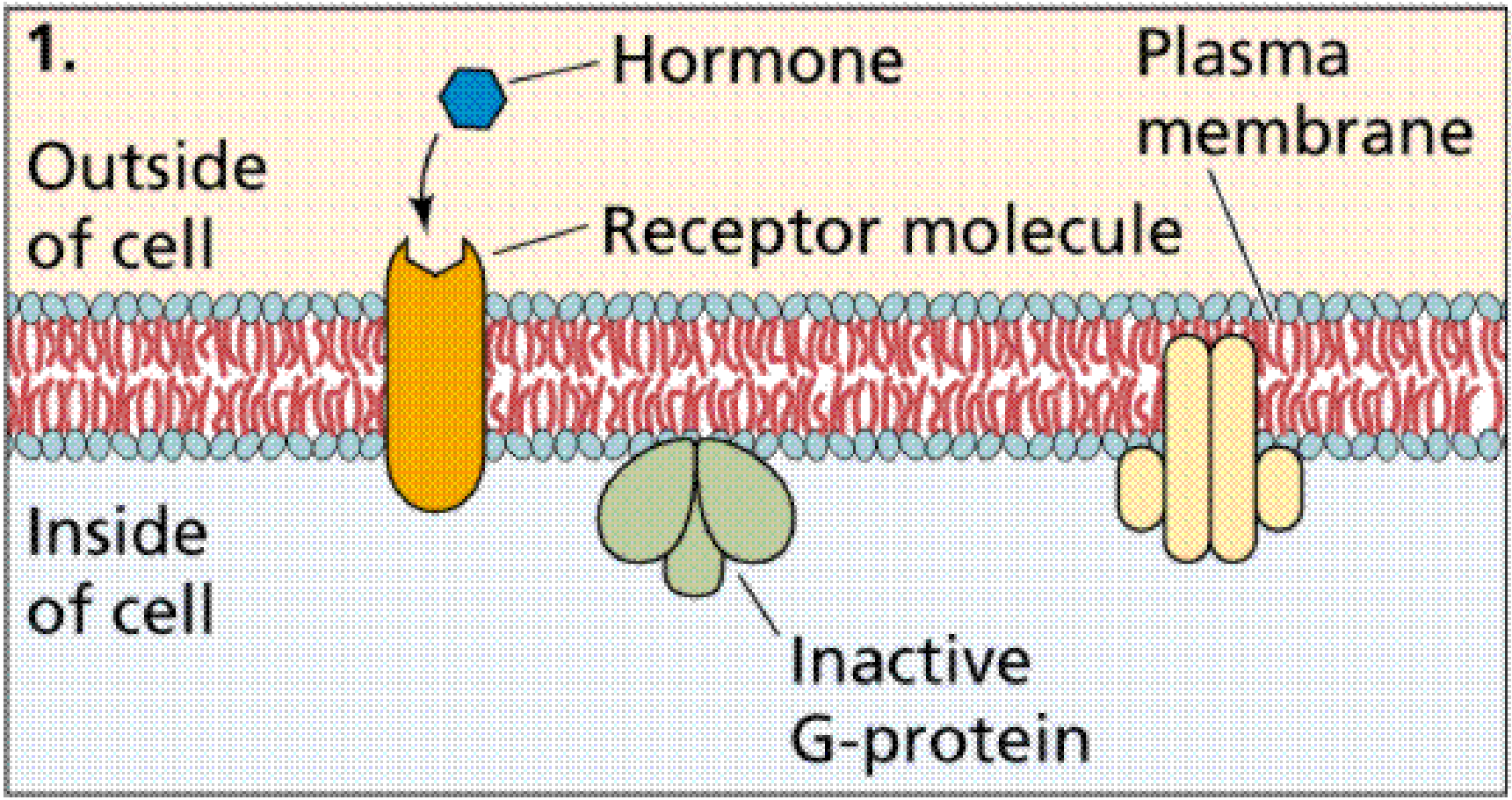
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Cellular Signalling

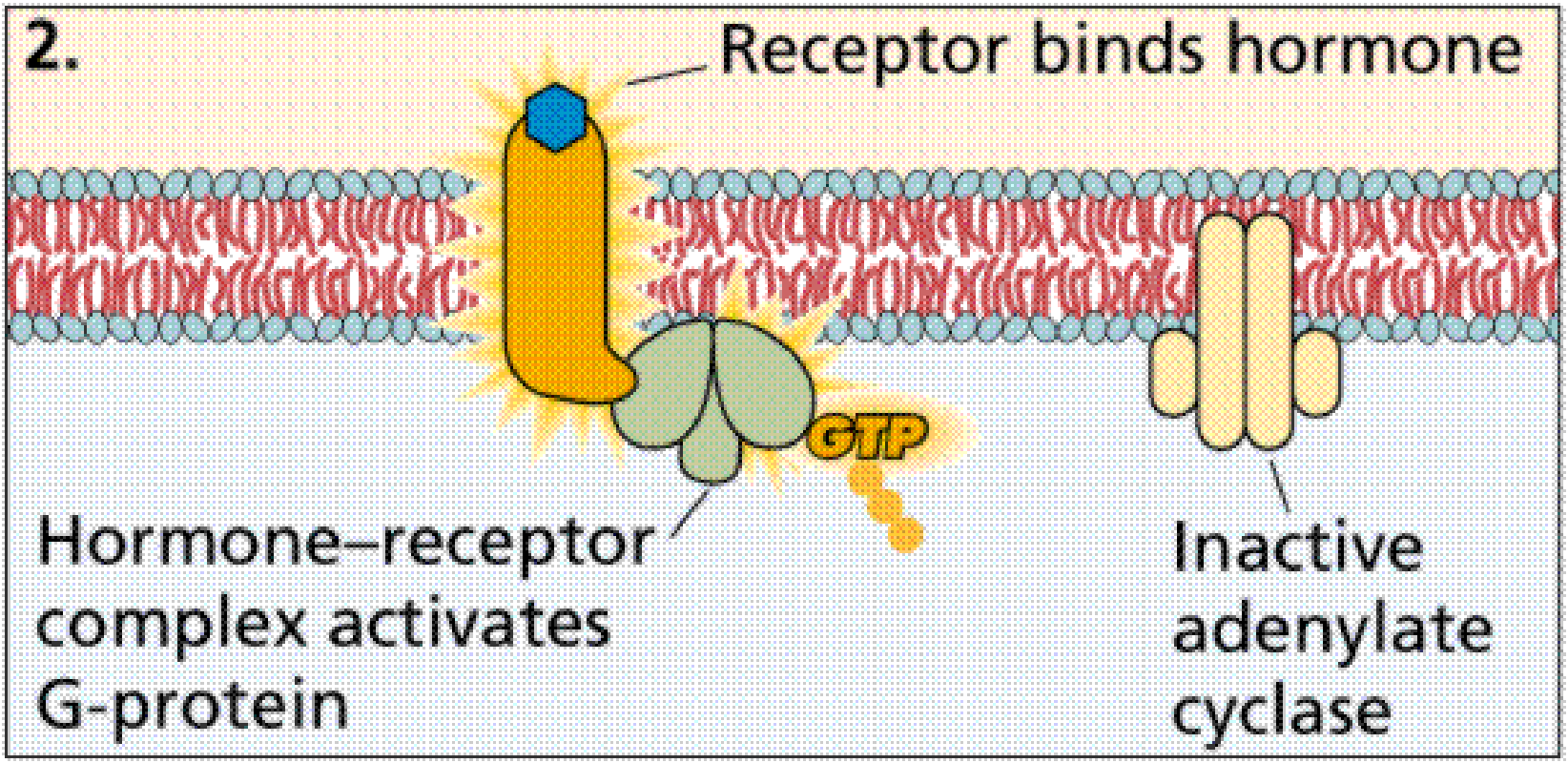


Transmembrane Signalling



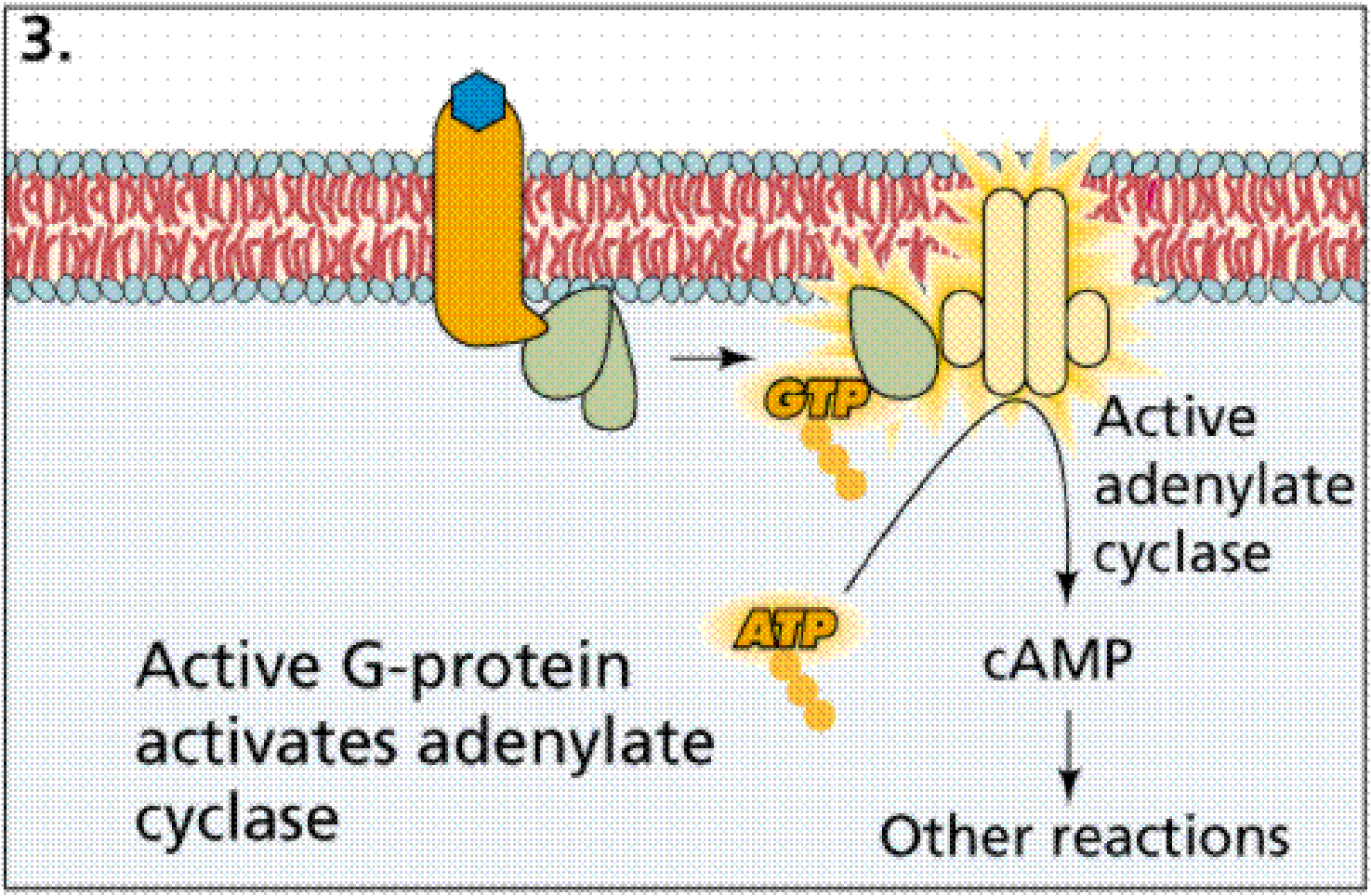
Source: INTERNET

Transmembrane Signalling



Source: INTERNET

Intracellular Signalling



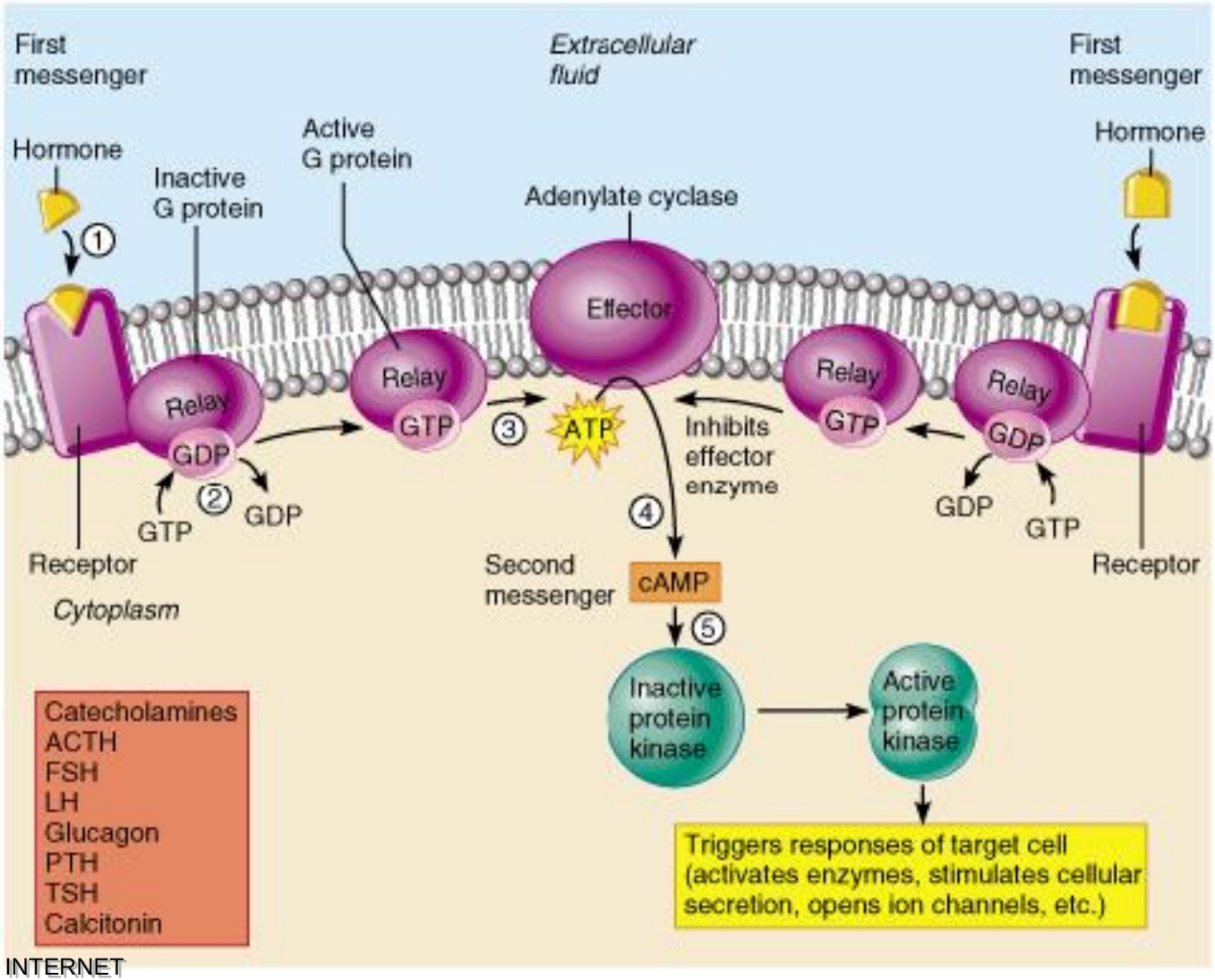
Source: INTERNET

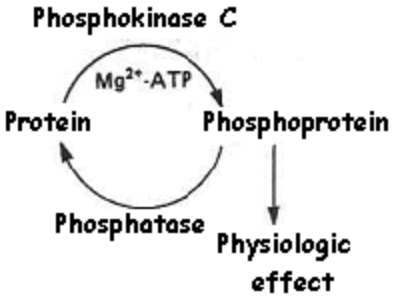
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

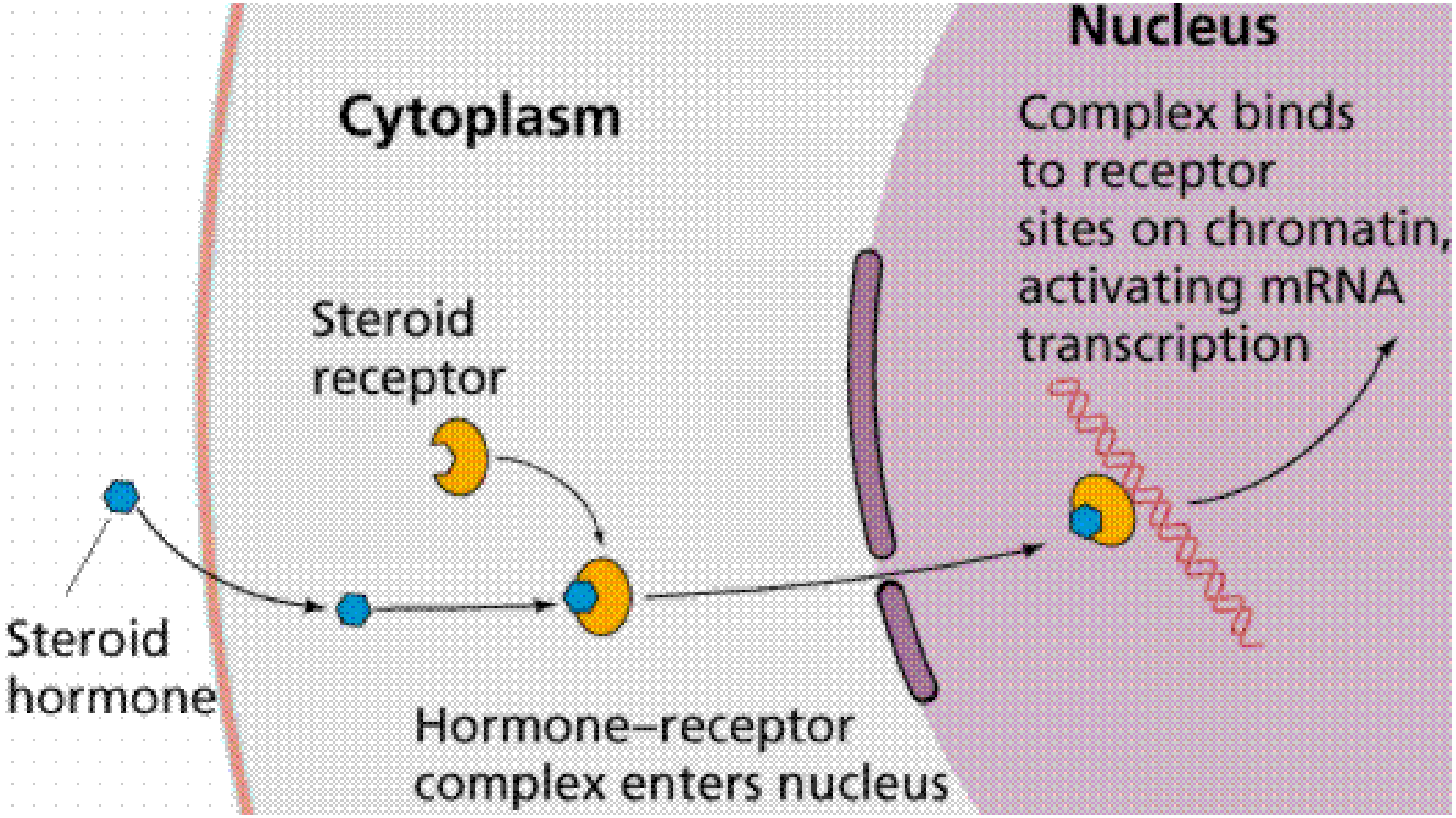
Intracellular Signalling





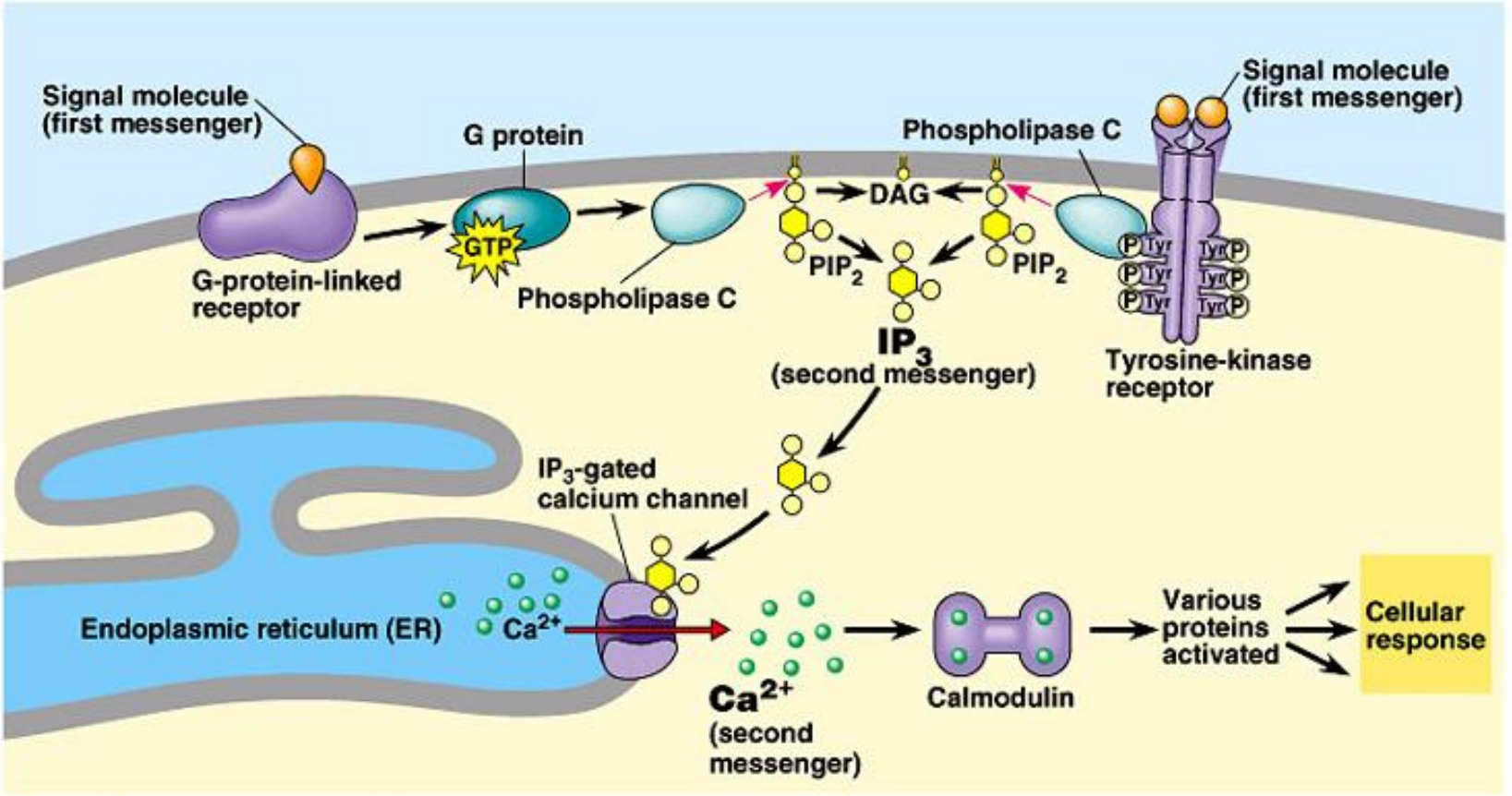
Source: INTERNET

Intracellular Signalling

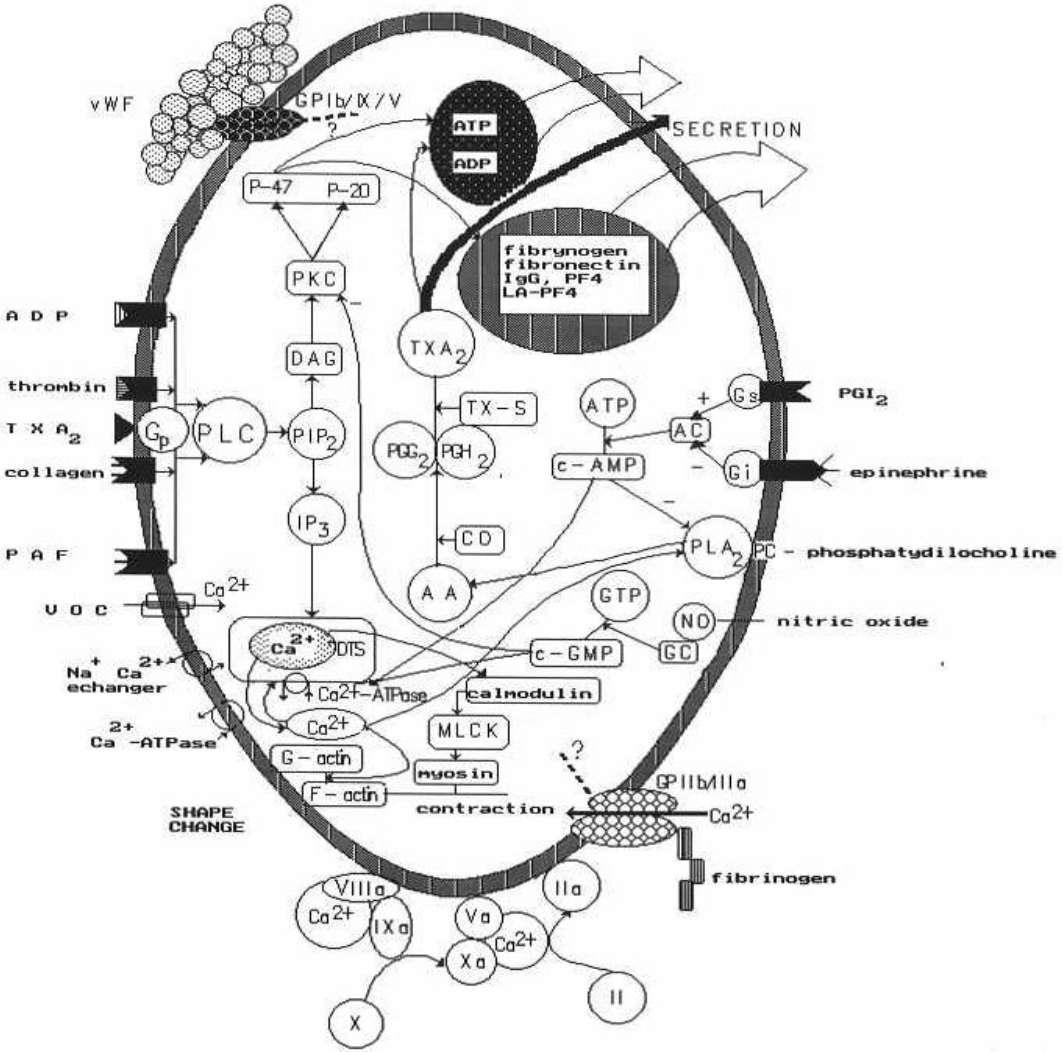


Source: INTERNET

Calcium Signalling



Intracellular Signalling



AC – adenylate cyclase
DAG – diacylglycertol
PKC – protein kinase C
PG – prostaglandins
PLC – phospholipase C
AA – arachidonic acid
CO – cyclooxygenase
TXA_2 – thromboxane A_2

GC – guanylate cyclase
PIP_2 – phosphatidylinositolbiphosphate
IP_3 – inositoltriphosphate
DTS – dense tubular system
PLA_2 – phospholipase A_2
TX-S – thromboxane synthetase
MLCK – myosin light-chain kinase
G_p, G_s, G_i – GTP binding proteins

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

BIOPHYSICS

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych”