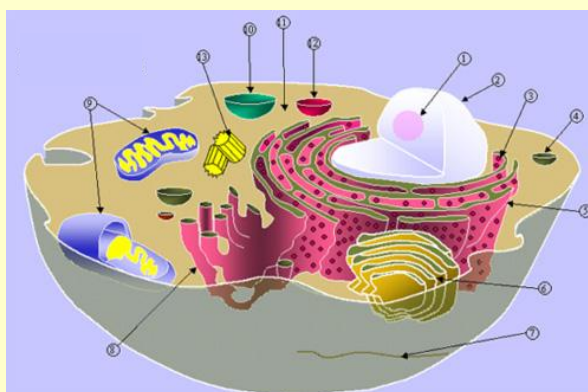


Transzportfolyamatok a biológiai rendszerekben

Transzportfolyamatok a sejt nyugalmi állapotában

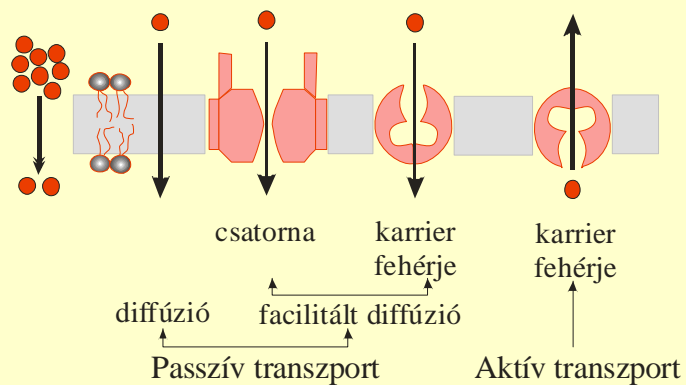
A sejtben az anyagtranszport számára az oldattól eltérő körülmények találhatók.



- A citoplazmán belül is helyről helyre változik összetétel, viszkozitás.
- A sejtet/sejtorganellumokat **membránok** - lipid kettős réteg - határolják.

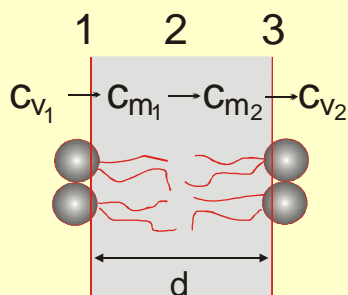
A membránon keresztül történő anyagtranszport csoportosítása

A csoportosítás alapja: **ergiafelhasználás**
molekuláris mechanizmus



Molekulák diffúziója membránon keresztül

Diffúzió a lipid kettős rétegen keresztül



A koncentráció a membránon belül egyenletesen változik

Fick I.

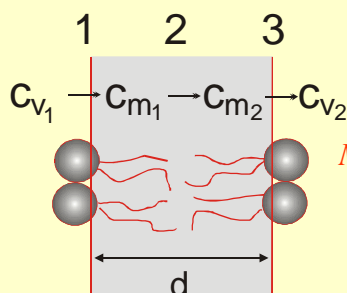
$$J_m = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

$$D_m \ll D$$

$$J_m = -D_m \frac{c_{m2} - c_{m1}}{d}$$

Molekulák diffúziója membránon keresztül

Diffúzió a lipid kettős rétegen keresztül



$$J_m = -D_m \frac{C_{m_2} - C_{m_1}}{d}$$

$$J_m = -p_m (C_{m_2} - C_{m_1})$$

Membrán permeabilitási állandó [ms^{-1}]



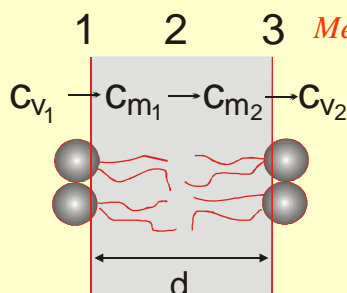
nem mérhet

$$\frac{C_{m_1}}{C_{v_1}} = \frac{C_{m_2}}{C_{v_2}} = K$$

$$C_{m_1} = KC_{v_1}$$

Molekulák diffúziója membránon keresztül

Diffúzió a lipid kettős rétegen keresztül



$$J_m = -p_m (C_{m_2} - C_{m_1})$$

Membrán permeabilitási állandó [ms^{-1}]



nem mérhet

$$\frac{C_{m_1}}{C_{v_1}} = \frac{C_{m_2}}{C_{v_2}} = K$$

$$C_{m_1} = KC_{v_1}$$

$$J_m = -p_m K (C_{v_2} - C_{v_1})$$

$$J_m = -p (C_{v_2} - C_{v_1})$$

$$J_m = -p(C_{v2} - C_{v1})$$

Permeabilitási állandó [ms^{-1}]

Értékét befolyásolja:

- diffúziós állandó a membránban
- membrán vastagsága
- megoszlási hányados a vizes és lipid fázis között

Permeabilitás és polaritás összefüggése

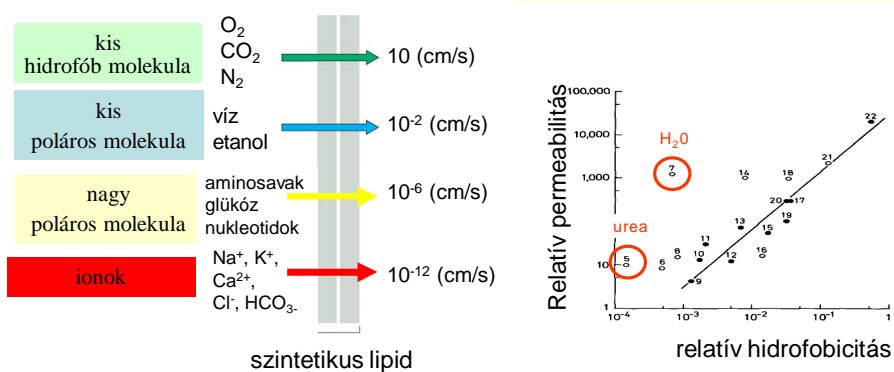
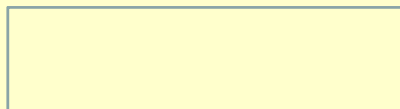


Figure 12-2 Essential Cell Biology, 2/e. (© 2004 Garland Science)

Ionok diffúziója membránon keresztül



kémiai potenciál
és
elektromos potenciál
együttesen

$$J_k = -D_k \left(\frac{\Delta c_k}{\Delta x} + c_k \frac{z_k F}{RT} \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right)$$

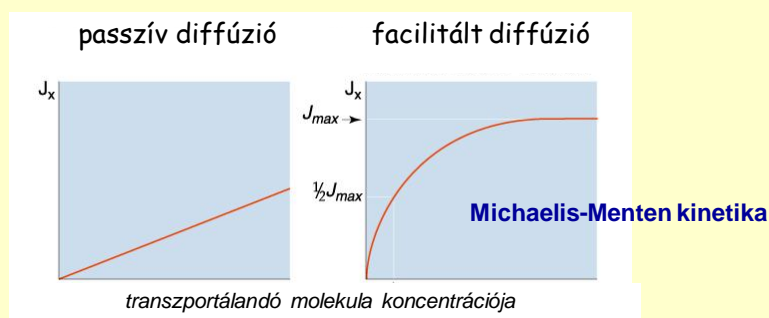
k-dik ion anyagáram-sűrűsége

Megfigyelés: számos esetben, habár a transzport nem energiafüggő, a kémiai/elektrokémiai potenciálnak megfelelően folyik, **anyagáram-sűrűsége és sebessége is mégsem írható le passzív diffúzióként a Fick törvénnyel.**

Facilitált diffúzió membránon keresztül

Fehérje természetű közvetítő s szelektív diffúziós útvonalak

- passzív diffúziónál nagyobb sebesség
- szelektív
- telíthető
- szelektíven gátolható



Aktív transzport membránon keresztül

-a transzport a kémiai/elektrokémiai **potenciáleséssel szemben**

folyik,

-energiafügg

-ATP-vel működő transzporterek

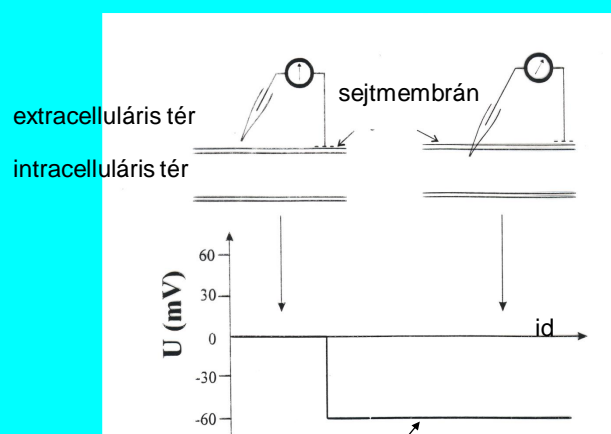
-fényvel működő transzporterek

-csatolt transzporterek

Elektrofiziológiai jelenségek és a transzportfolyamatok kapcsolata

Tapasztalat 1:

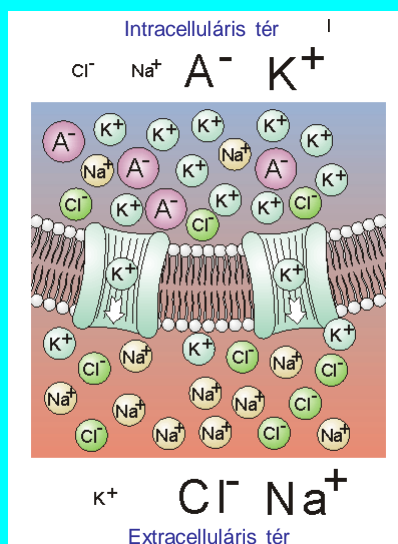
A sejtmembrán két oldala között elektromos potenciálkülönbség van



nyugalmi potenciál ~ 60 ó 90 mV

Tapasztalat 2:

A sejtmembrán két oldalának sajátos az ionösszetétele



Tapasztalat 2 (folyt.):

A sejtmembrán két oldalán egyenlően az ionok eloszlása

Szövet	$C_{\text{Intracelluláris}}$ (mmol/l)			$C_{\text{Extracelluláris}}$ (mmol/l)		
	$[Na^+]_i$	$[K^+]_i$	$[Cl^-]_i$	$[Na^+]_e$	$[K^+]_e$	$[Cl^-]_e$
Tintahal óriásaxon	72	345	61	455	10	540
békaizom	20	139	3,8	120	2,5	120
patkányizom	12	180	3,8	150	4,5	110

Lehetséges magyarázatok - modell 1

Nyugalomban nem változik az ioneloszlás



vagyis nem folyik transzport



Tételezzük fel, (1) hogy **egyensúlyban** van a rendszer

vagyis

az **elektrokémiai potenciál** egyenlő a membrán két oldalán

$$\mu_{e,i}^{II} - \mu_{e,i}^I = 0$$

$$\mu_{e,i}^{II} - \mu_{e,i}^I = 0$$



$$\mu_0 + RT \ln c_i^I + zF \varphi_i^I = \mu_0 + RT \ln c_i^{II} + zF \varphi_i^{II}$$

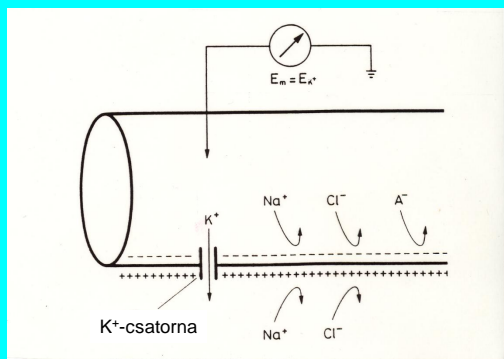


egyensúlyi
potenciál

$$\rightarrow \varphi_i^I - \varphi_i^{II} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i^I}{c_i^{II}}$$

Nernst-egyenlet

Tételezzük fel, (2) hogy K^+ -ra nézve korlátlanul permeábilis a membrán
(3) hogy Na^+ teljesen immobilis



Donnan modell ó egyensúlyi modell

- az elektrokémiai potenciál egyenlő a membrán két oldalán
- a membrán csak a K^+ -ra (és Cl^- -ra) nézve átjárható
- a sejt és környezete termodinamikailag zárt rendszer



egyensúlyi potenciál \equiv nyugalmi potenciál

$$\varphi_e - \varphi_i = -\frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e}$$

$$\varphi_e - \varphi_i = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e}$$

Ellenőrizzük!

Szövet	Nyugalmi potenciál (mV)	
	számított	mért
Tintahal óriásaxon	<i>91</i>	62
békaizom	<i>103</i>	92
patkányizom	<i>92,9</i>	92

A többi ionféleségre is kiszámítva az egyensúlyi potenciált

potenciál (mV)	tintahal óriásaxon	békaizom
$U_{mért}$	-62	-92
U_{0K^+}	-91	-103
U_{0Na^+}	+47	+46
U_{0Cl^-}	-56	-88



Nem kapunk jó egyezést

Finomítsuk:

Lehetséges magyarázatok - modell 2

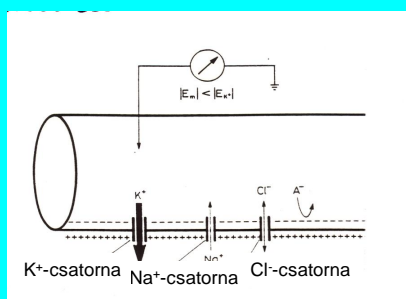
Tételezzük fel: nincs egyensúly



vagyis folyik transzport

Vegyük tekintetbe a membrán valós permeabilitását

a membrán nemcsak a K^+ -ra nézve átjárható,



de az egyes ionokra nézve a permeabilitás különböző lehet

az egyes ionok fluxusa $\neq 0$

az ered fluxus $= 0$

Transzportmodell

az ered fluxus = 0

$$\Sigma J = J_{K^+} + J_{Na^+} + J_{Cl^-} = 0$$

$$J_k = -D_k \left(\frac{\Delta c_k}{\Delta x} + c_k \frac{z_k F}{RT} \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right)$$

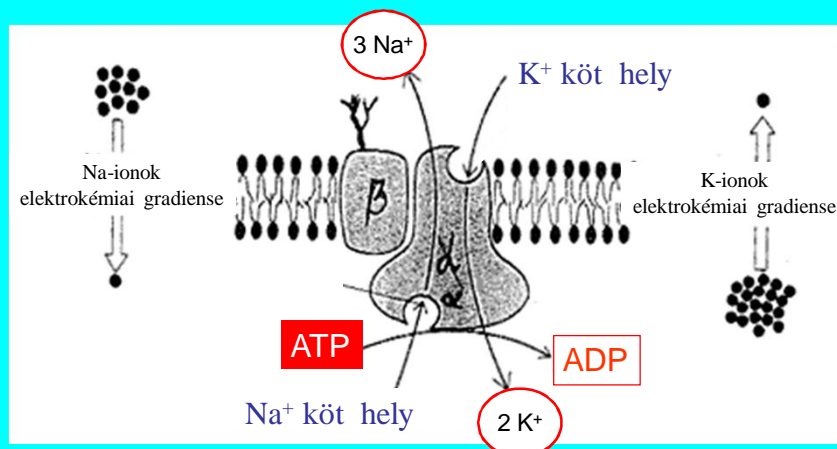
$$\varphi_e - \varphi_i = -\frac{RT}{F} \ln \frac{\Sigma p_k^+ c_{ke}^+ + \Sigma p_k^- c_{ki}^-}{\Sigma p_k^+ c_{ki}^+ + \Sigma p_k^- c_{ke}^-}$$

Goldman ó Hodgkin ó Katz egyenlet

Nátrium - kálium pumpa

antiporter

Ioneloszlás fenntartása aktív transzporttal

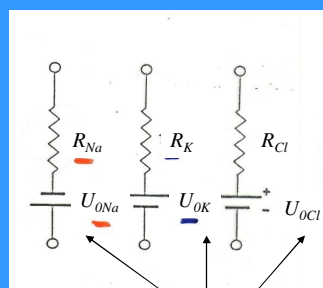
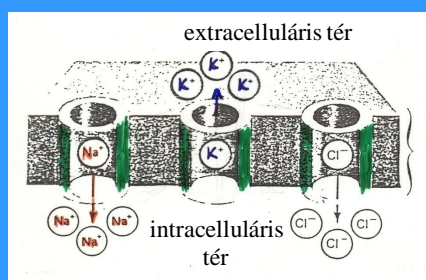


Sejtek energiafelhasználásának kb. harmada fordítódik erre

Ellenőrizzük!

	tintahal óriás axon	békaizom
$U_{\text{mért}}$	-62	-92
U_{GHK}	-61,3	-89,2
$U_{0\text{Na}^+}$	+47	+46
$U_{0\text{K}^+}$	-91	-103
$U_{0\text{Cl}^-}$	-56	-88

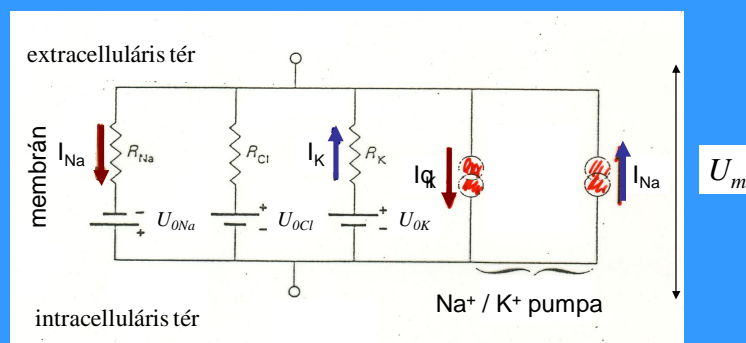
A sejtmembrán elektromos modellje



az adott ion egyensúlyi
potenciálja

Az ionszelektív csatornák
ellenállással és feszültségforással modellezhetők

Az állandó ionkoncentráció fenntartásához szükséges
a Na^+ és K^+ pumpa működése



Ohm-törvény alapján:

$$I_j = 1/R_j (U_m - U_{0j})$$

A nyugalmi potenciál értelmezése az elektromos modell alapján

$$I_j = 1/R_j (U_m - U_{0j})$$

U_{0j} ó Nernst egyenlet alapján számolható

Tudjuk, hogy

$$\sum I_j = I_{\text{ion}} = 0$$

$$\sum I_j = I_{Na} + I_K + I_{Cl} = 0$$

behelyettesítve:

$$g_K (U_m - U_{0K}) + g_{Na} (U_m - U_{0Na}) = 0$$

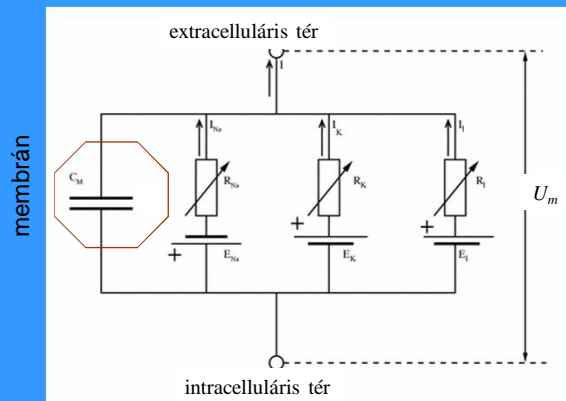
U_m -et kifejezve

$$U_m = \frac{(U_{0K} \cdot g_K) + (U_{0Na} \cdot g_{Na})}{g_K + g_{Na}}$$

Próbaszámítás:

$$U_m = \frac{(-100 \times 5) + (50 \times 1)}{5 + 1} = -75 \text{ [mV]}$$

A sejtmembrán kondenzátorként viselkedik



$$I_m = I_{ion} + I_c$$

Kapacitása: $\sim 10^{-6} \text{ F/cm}^2$ \longrightarrow ~ 5000 pár töltés/ $1 \mu\text{m}^2$

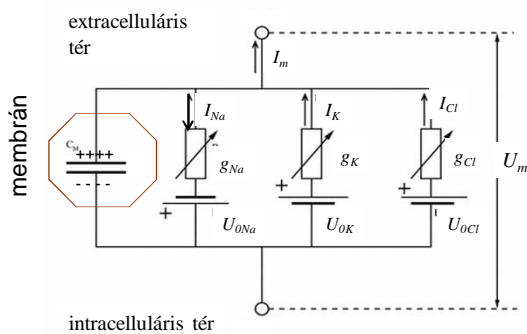
A sejtmembrán elektromos tulajdonságai

elektromotoros er

ellenállás

kapacitás

A sejtmembrán elektromos modellje:



elektromotoros er
vezet képesség
kapacitás

$$I_m = I_{ion} + I_c$$

Konduktív áram

Kapacitív áram

Változik, ha a csatorna
vezet képessége potenciálfügg

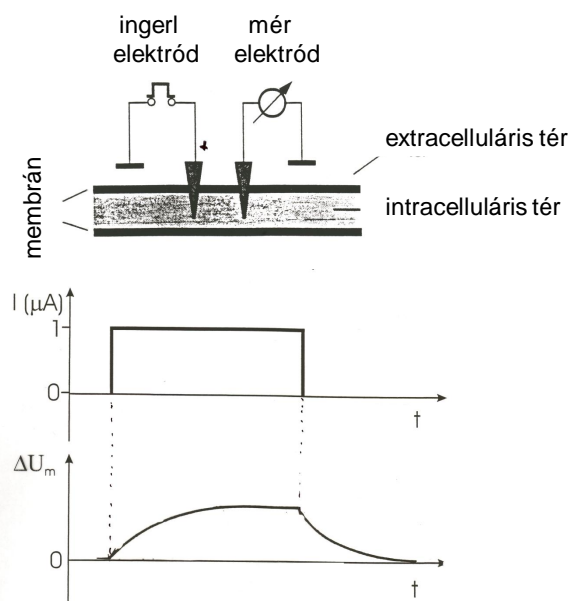
$$I_c = C_m \frac{\Delta U_m}{\Delta t}$$

A nyugalmi potenciál megváltozása

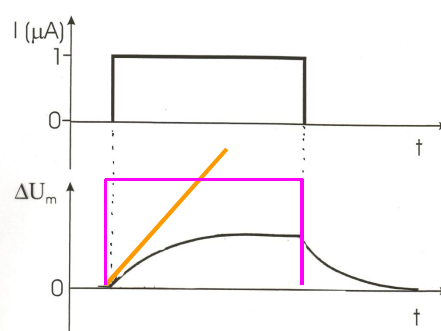
1. A membrán őpasszívó elektromos tulajdonságai

Kísérlet

Áramirány :
pozitív töltések
áramlásának
iránya.



Miért éppen így?

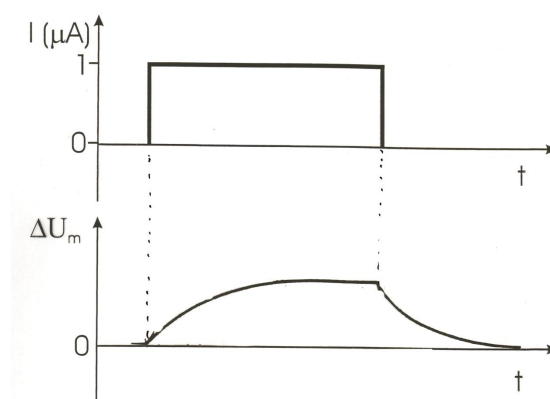


Nem így
Nem így

Miért éppen így?

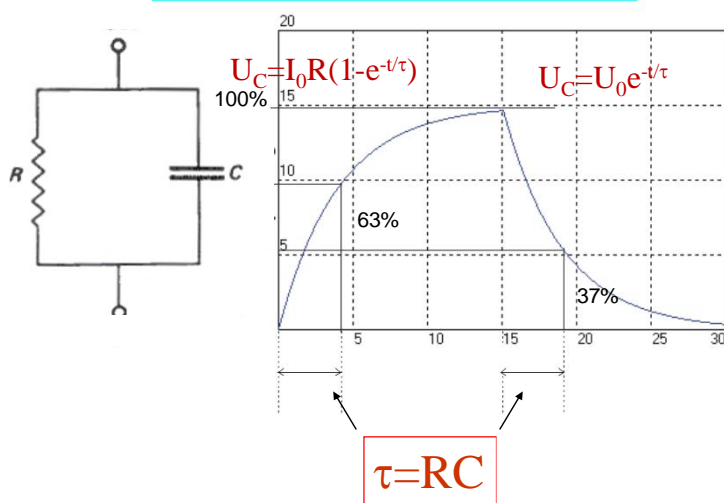
A membrán elektromos tulajdonságai miatt:

- ellenállás
- kapacitás

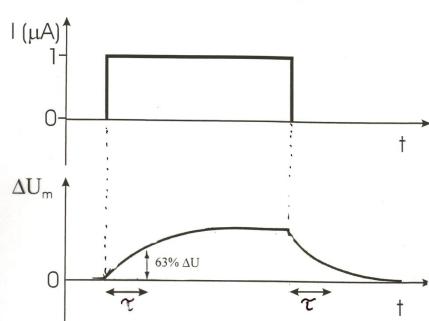
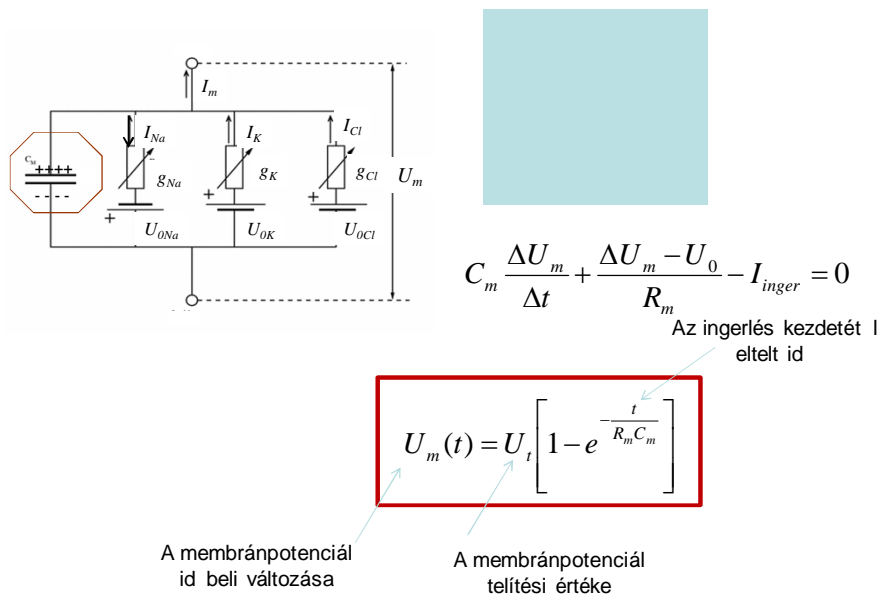


Hol is láttam már ehhez hasonlót?

Párhuzamos RC-kör töltése és kisütése



Összevetése az elektromos modellel:



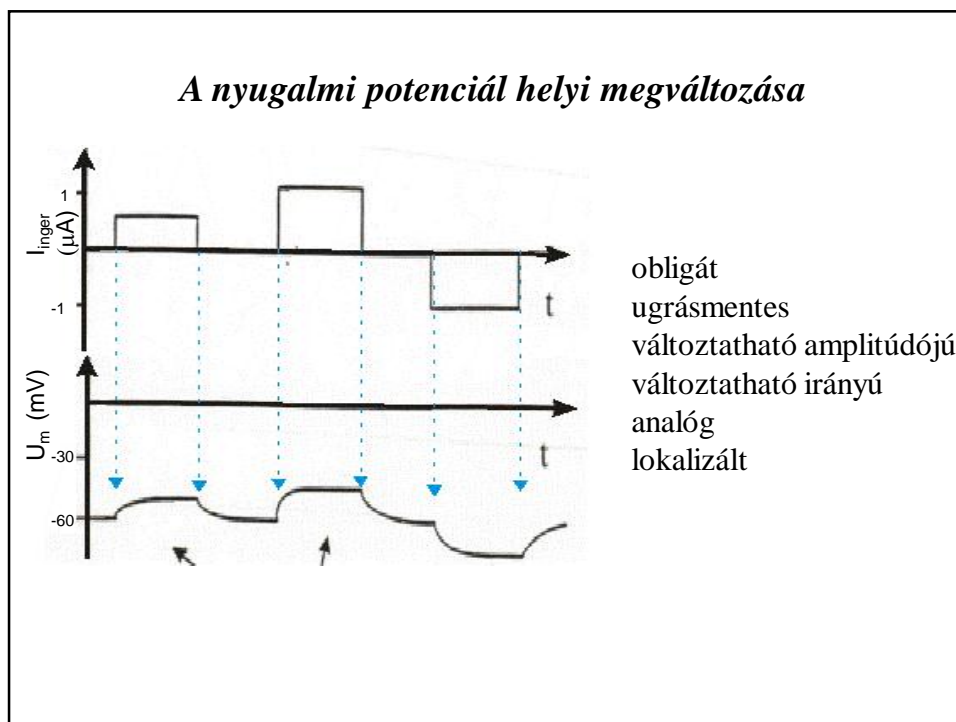
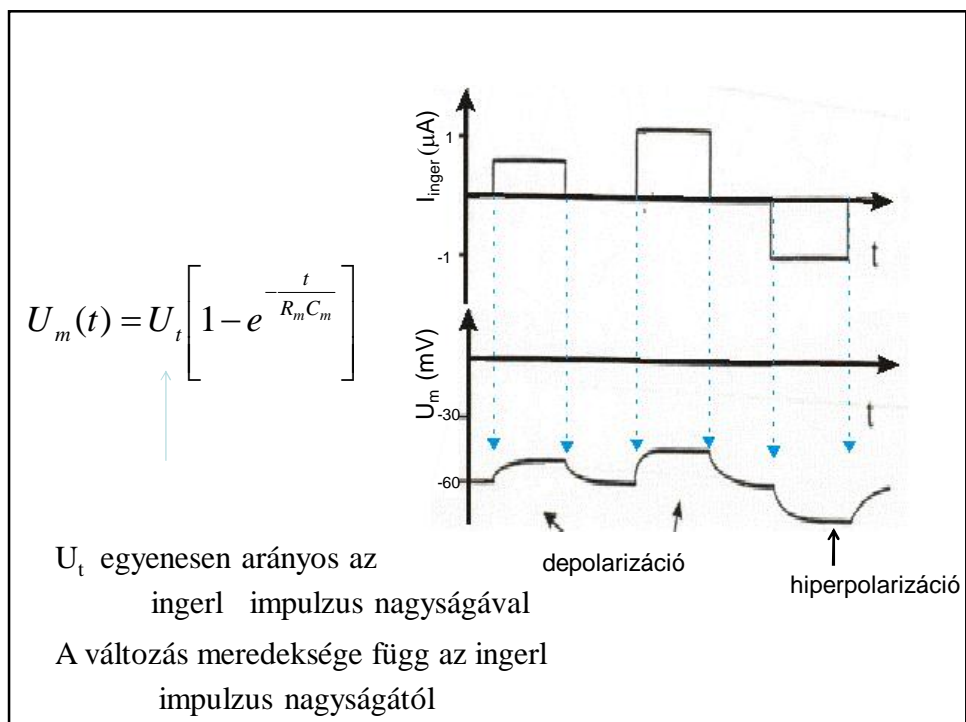
a membrán kapacitása

a membrán keresztirányú ellenállása

$$\tau = C_m R_m$$

τ a membrán id állandója:

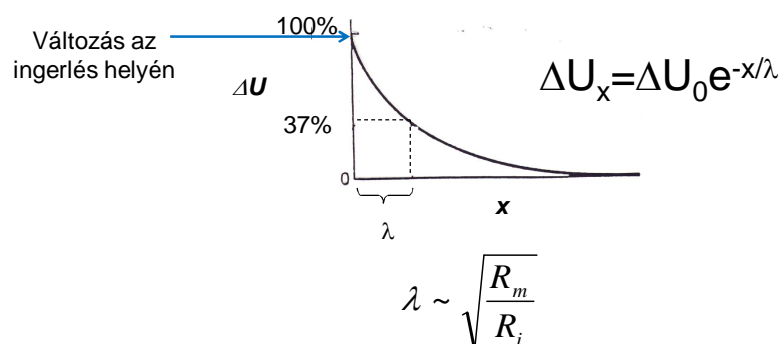
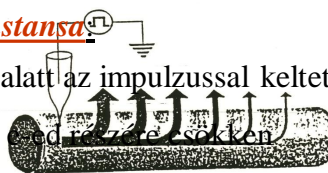
- az az id , ami alatt az impulzussal keltett feszültségváltozás
- eléri a telítési érték 63%-át vagy
- az ingerlés megszűnte után e-ed részére csökken



A nyugalmi potenciál helyi megváltozása az ingerlés helyét l távolodva

λ a membrán térkonstanst

az a távolság, amely alatt az impulzussal keltett feszültségváltozás maximális értékének



A nyugalmi potenciál helyi megváltozása

- kísérletileg áramimpulzusokkal
- adekvát ingerekkel
- posztzinaptikus membránon neurotranszmitterekkel
 - serkent - depolarizáló
 - gátló - hiperpolarizáló

***A nyugalmi potenciál helyi megváltozásának
jelentése***

ingerületvezetés

érzékelés - receptorm kódés

jelátadás