

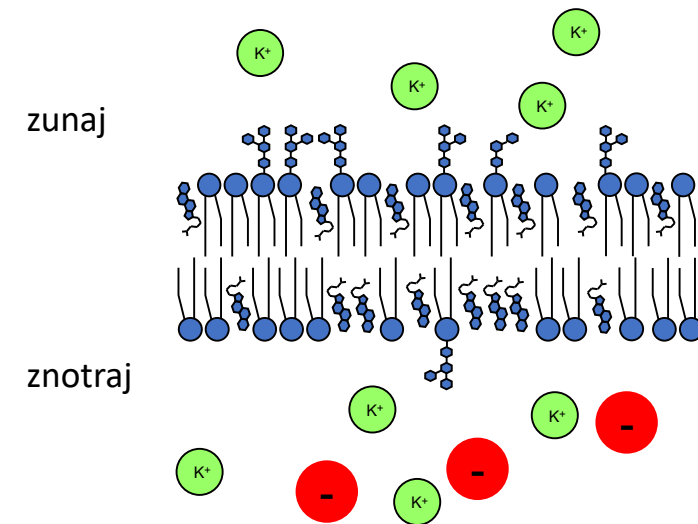
Membranski potencial

Membrana določa mejo celice

- Celica očitno zelo natančno uravnava koncentracije posameznih ionov

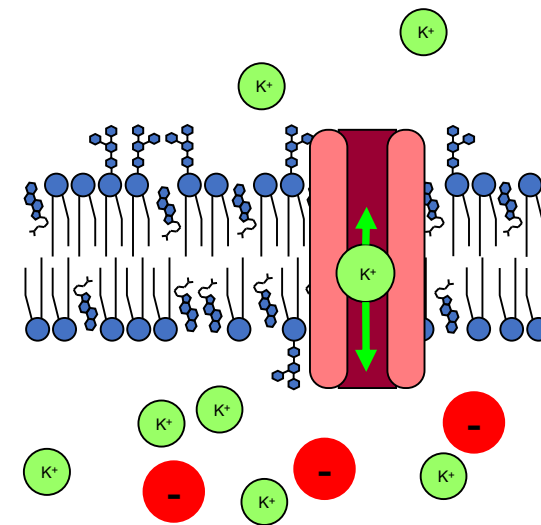
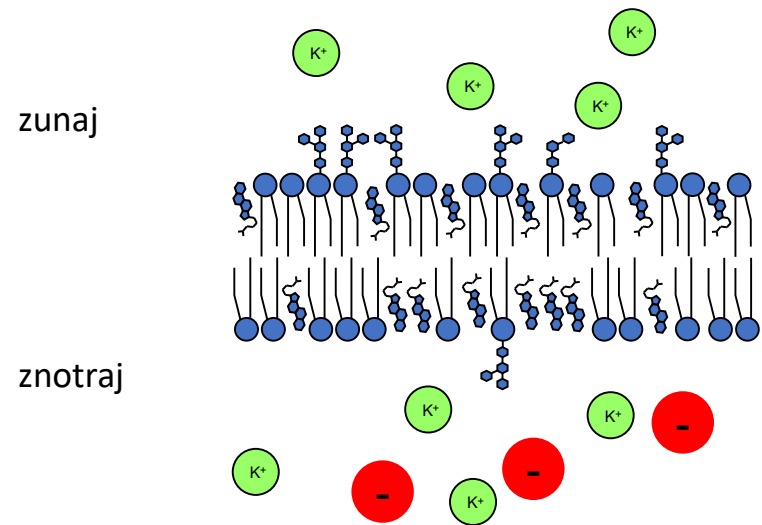
Component	Intracellular concentration [mM]	Extracellular concentration [mM]
Na ⁺	5–15	145
K ⁺	140	5
Mg ²⁺	0.5	1–2
Ca ²⁺	10 ⁻⁴	1–2
H ⁺	7·10 ⁻⁴ (pH 7.2)	4·10 ⁻⁵ (pH 7.4)
Cl ⁻	5–15	110

- Celica je polna (predvsem negativno) nabitih proteinov, ki ne morejo prosto prehajati membrane.



Membrana določa prepustnost snovi

- Tudi majhni ioni ne morejo skozi hidrofobni del lipidne membrane.
- Specifični ionski kanal močno poveča prepustnost določene vrste ionov

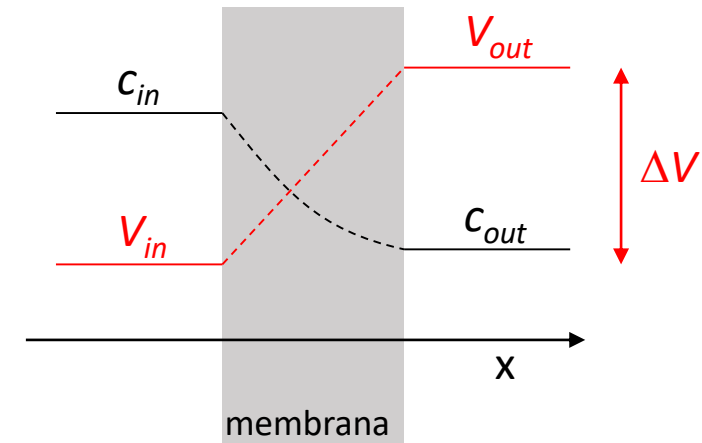


Negativni potencial potegne katione na notranjo stran membrane, dokler difuzija (osmoza) ne uravnovesi električnega privlaka. Pasivni transport!

Razlika v koncentracijah – membranski potencial

V **ravnovesju** preko membrane ni toka, kemijski potencial ionov je na obeh straneh enak!

$$kT \ln(c_{in}) + eV_{in} = kT \ln(c_{out}) + eV_{out}$$



Nernstov **membranski potencial** ($\Delta V = V_{in} - V_{out}$):

$$\Delta V = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{c_{out}}{c_{in}} \right)$$

c ... koncentracija ionov znotraj/zunaj celice
 e ... naboj ionov (ze_0)
 V ... električni potencial znotraj/zunaj celice

V: Kakšno razmerje koncentracij ustvari el. potencial -70 mV (mirovni potencial nevrona)?

A celična membrana ni v ravnovesju ...

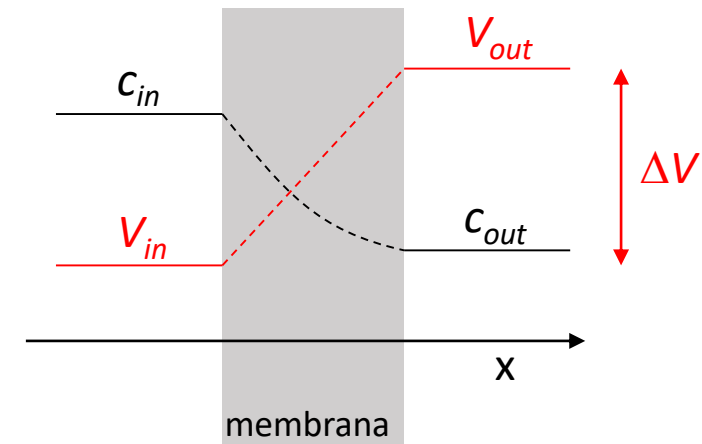
Tok ionov preko membrane (Nernst-Planckova enačba):

Tok ionov = osmotski tok + električni tok

$$j = \underbrace{-D \nabla c}_{\text{gradient koncentracije}} - \underbrace{\mu_e c \nabla V}_{\text{koncentracija x gradient električnega potenciala}}$$

Ker se tako potencial kot koncentracija preko membrane po globini spreminjata, tok raje izrazimo s potencialno razliko in robnima koncentracijama, ki jih lahko merimo:

$$j = -\mu_e \frac{e \Delta V}{d} \frac{\left(c_{in} e^{\frac{e \Delta V}{kT}} - c_{out} \right)}{\left(e^{\frac{e \Delta V}{kT}} - 1 \right)}$$



$\nabla c = \frac{dc}{dx}$... gradient (odvod, naklon) koncentracije po kraju

D ... difuzijski koeficient

$\mu_e = eD/kT$... el. gibljivost

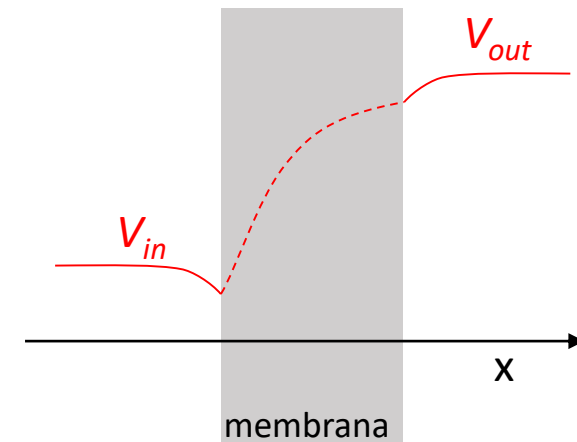
d ... debelina membrane

Ko so okrog membrane različni ioni

- V **nespremenljivem stanju**, ko se vsi tokovi uravnotežijo in je skupni tok $\sum j_i = 0$, se vzpostavi **difuzijski potencial** (Goldman-Hodgkin-Katz):
- **Membranski potencial določa ion z največjo prepustnostjo!**
- **Za spremembo potenciala** ni potrebna sprememba koncentracij – **zadošča odpiranje/zapiranje ionskih kanalčkov!**
- Preko selektivno prepustne membrane se ustvari gradienti koncentracij različnih ionov (Donnanovo ravnovesje).
- Naboji membranskih molekul (fosfatidilserin, etanolamin, glikozilirani lipidi, proteini, ...) dodatno spremenijo potencial na površini membrane

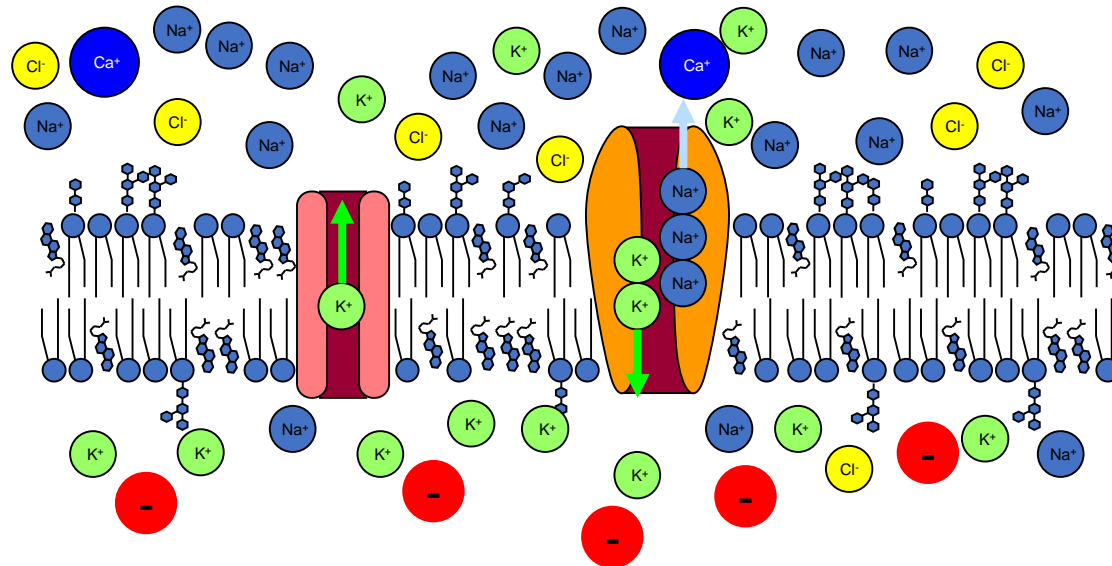
$$\Delta V = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{\sum_{i+} P_i c_{i,out}^+ + \sum_{i-} P_i c_{i,in}^-}{\sum_{i+} P_i c_{i,in}^+ + \sum_{i-} P_i c_{i,out}^-} \right)$$

$P = D/d$... prepustnost



Gradiente koncentracij ionov vzdržujejo črpalke

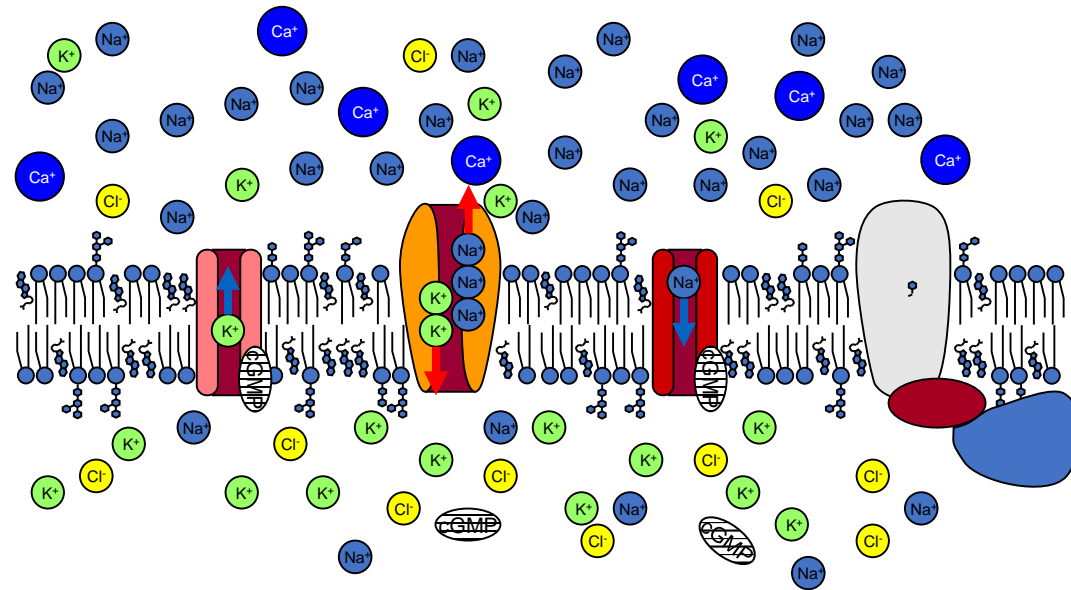
- Z vloženo energijo (ATP) ionske črpalke z aktivnim transportom vzdržujejo gradiente koncentracij, ki poganjajo pasivne tokove skozi kanale.



- Gradiente koncentracij prečrpanih ionov lahko celice izkoristijo za prenos drugih snovi (kotransporterji) in signalov (akcijski potencial, vdor kalcija idr).

Ionsko ravnovesje na membrani senzorske celice

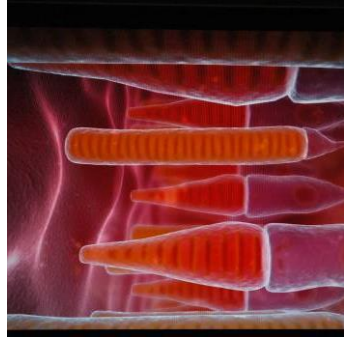
Tekmujejo pasivna difuzija, aktivni transport ionov ter regulacija!



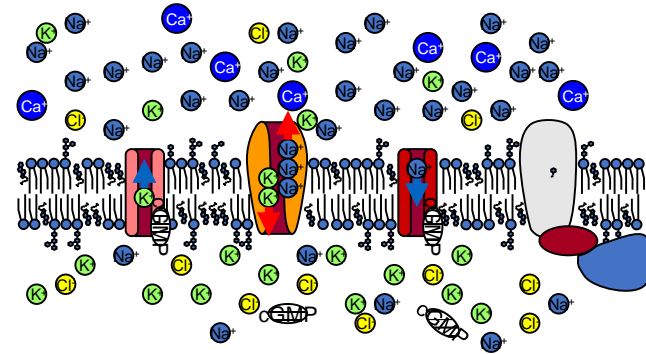
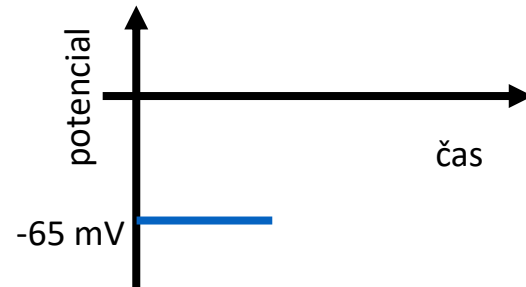
Prepustnost kanalov je odvisna od

- potenciala, ki je odvisen od koncentracij ionov na obeh straneh membrane,
- in koncentracije signalnih prenašalcev (cGMP), ki jo lahko spreminjajo encimi, vezani na različne senzorje

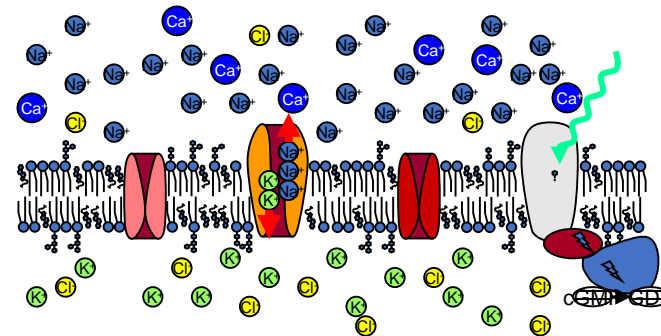
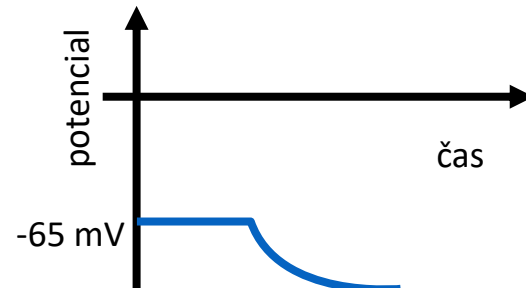
Membranski potencial je osnova za detekcijo



- Membrana senzorja v temi



- Membrana senzorja ob osvetlitvi

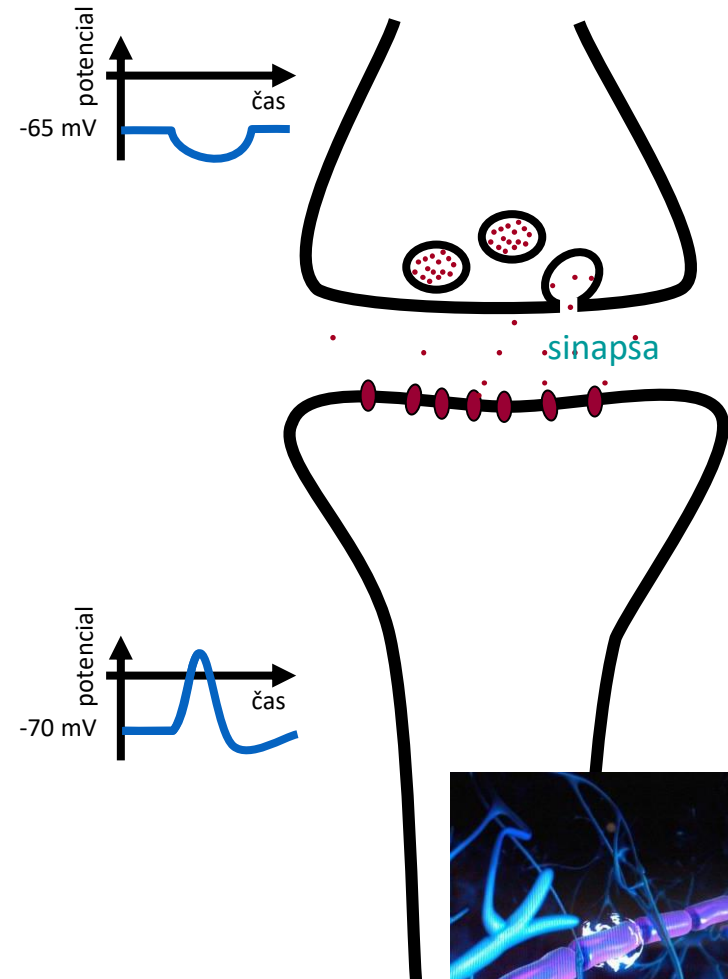
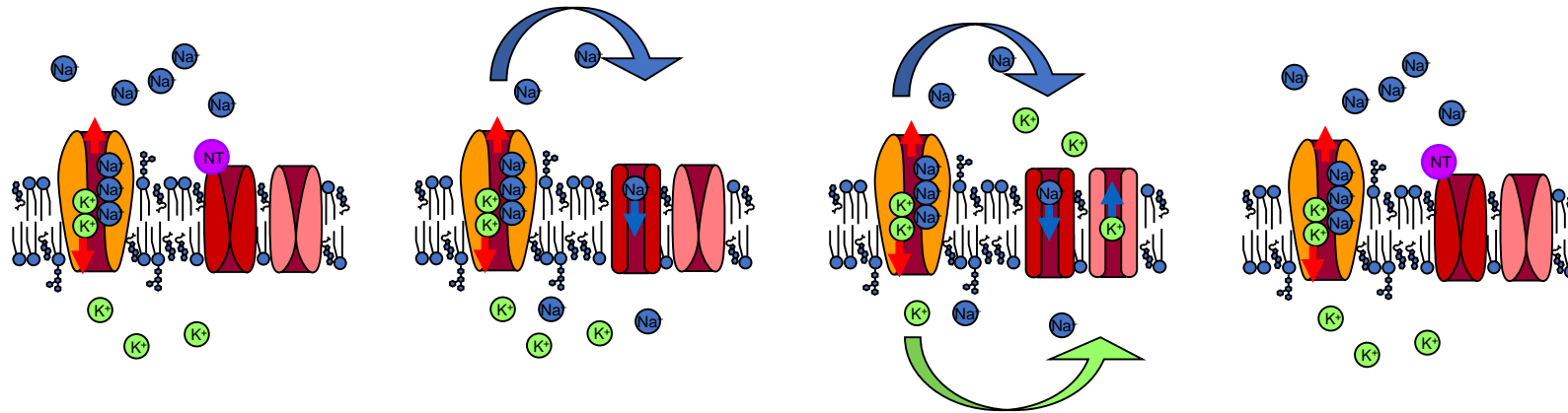


Absorpcija fotona → konformacijska sprememba antene (retinala) → konformacijska sprememba fotoproteina (opsina) in signalnega proteina (transducina) → aktivacija encima (fosfodiesteraze) → znižanje cGMP → zapiranje Na^+ kanalčkov → hiperpolarizacija membranskega potenciala → zapiranje Ca^{++} kanačkov → blokiranje izločanja signalnih prenašalcev → aktivacija bipolarnih celic

Membranski potencial prenaša signal po nevronih

Začne se s sproščanjem signalnih prenašalcev preko sinapse.

Sledi odpiranje Na^+ in K^+ kanalčkov, membranski potencial zaniha.



Večja intenziteta dražljaja se signalizira z bolj pogostimi pulzi
→ občutljivost na več velikostnih razredov intenzitete