

prenos signala od očesa do mišice

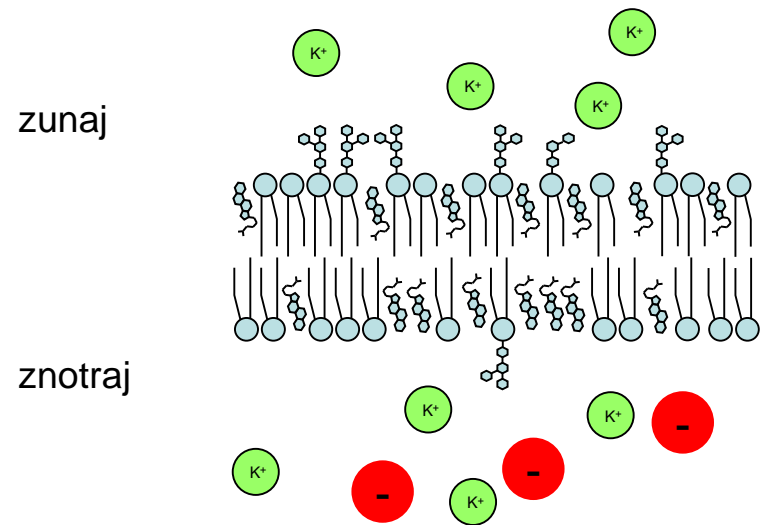


## Membranski potencial

# Membrana določa mejo celice

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

- Celica zelo natančno kontrolira 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                              |
| $H^+$     | $7 \cdot 10^{-4}$ (pH 7.2)       | $4 \cdot 10^{-5}$ (pH 7.4)       |
| $Cl^-$    | 5–15                             | 110                              |

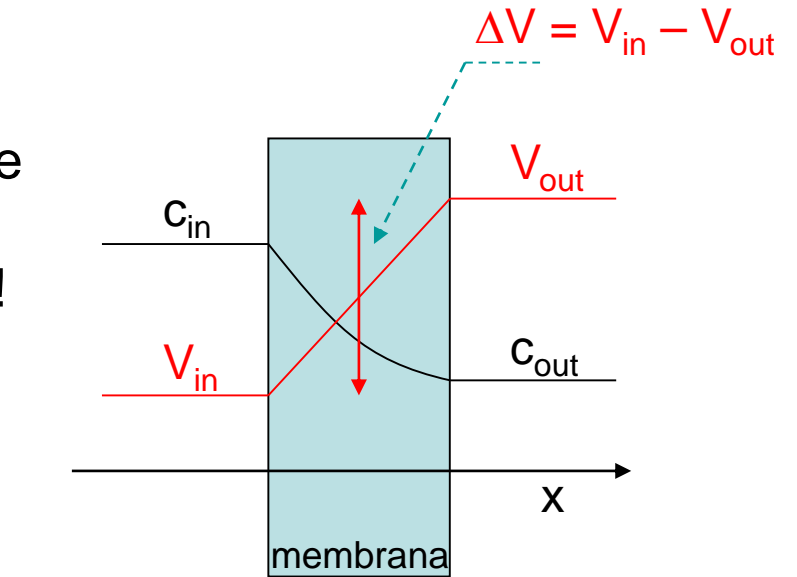
# Membrana ločuje

Zaradi hidrofobnosti skozi membrano težko prehajajo polarne molekule in ioni. V **ravnovesju** skozi membrano ni toka, kemijski potencial ionov je na obeh straneh membrane enak!

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

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

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



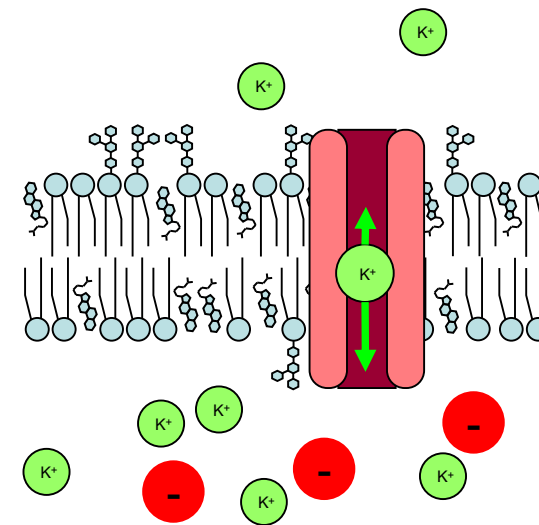
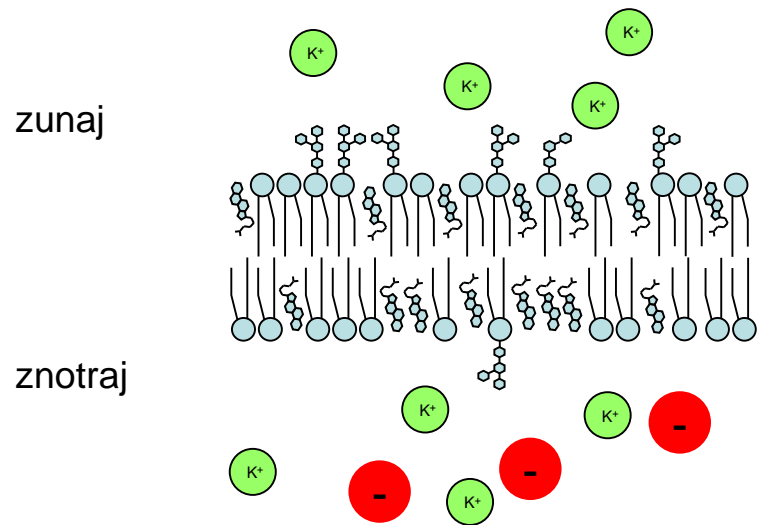
$c$  ... koncentracija ionov znotraj/zunaj celice  
 $e$  ... naboj ionov ( $ze_0$ )  
 $V$  ... električni potencial znotraj/zunaj celice

100 mV potenciala pomeni 55x različni koncentraciji!

# Ioni se razporejajo preko membrane

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

- Specifični ionski kanal močno poveča prej majhno prepustnost določene vrste ionov



Negativni potencial potegne katione na notranjo stran membrane, dokler difuzija ne uravnovesi električnega privlaka.

Pasivni transport !

# Preko celične membrane ioni tečejo

## Nernst-Planckova enačba:

Tok ionov = osmotski tok + električni tok

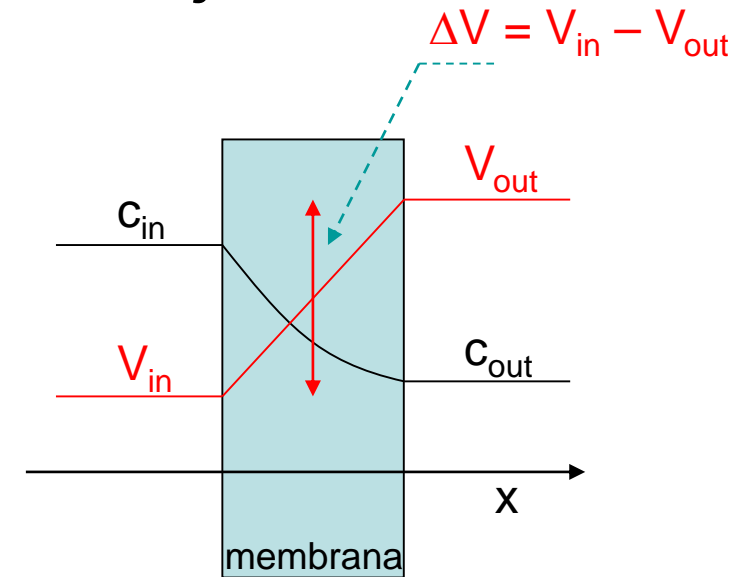
$$j = -D \nabla c - w e c \nabla V$$

gradient  
koncentracije

koncentracija x gradient  
električnega potenciala

Ker se tako potencial kot koncentracija z globino spreminjata, konstanten tok raje izrazimo s potencialno razliko in robnima koncentracijama:

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



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

$D$  ... difuzijski koeficient  
 $w = D/kT$  ... gibljivost  
 $d$  ... debelina membrane

# Ko so okrog membrane različni ioni

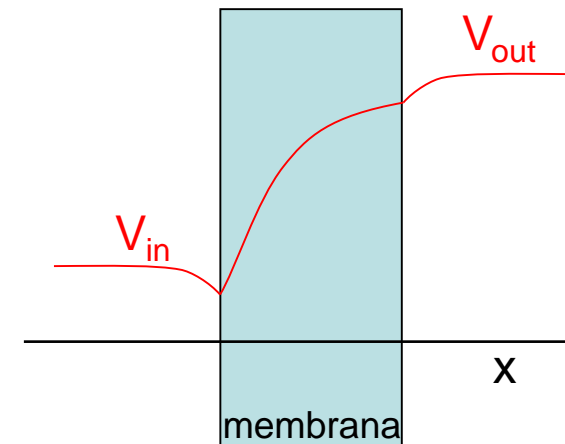
- Velja za vse ione skupaj in za vsako vrsto ionov posebej (**pasivni transport**):
- V **nespremenljivem stanju**, ko se vsi tokovi uravnesajo in je skupni tok  $j = 0$ , se vzpostavi **difuzijski potencial** (Goldman-Hodgkin-Katz):

$$j = \sum_i j_i$$

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

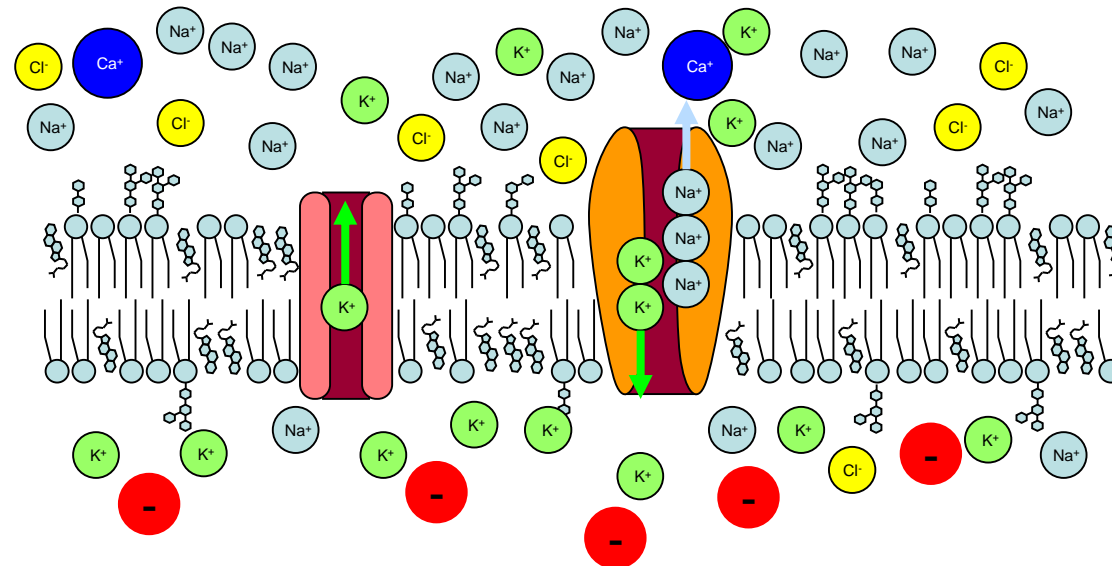
- **Donnanovo ravnovesje:**  
Preko selektivno prepustne membrane se ustvarijo gradienti koncentracij različnih ionov!
- Naboji membranskih molekul (fosfatidilserin, etanolamin, glikozilirani lipidi, proteini, ...) dodatno spremenijo potencial na površini membrane

$P = D/d$  ... prepustnost



# Gradiente koncentracij ionov vzdržujejo črpalke

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

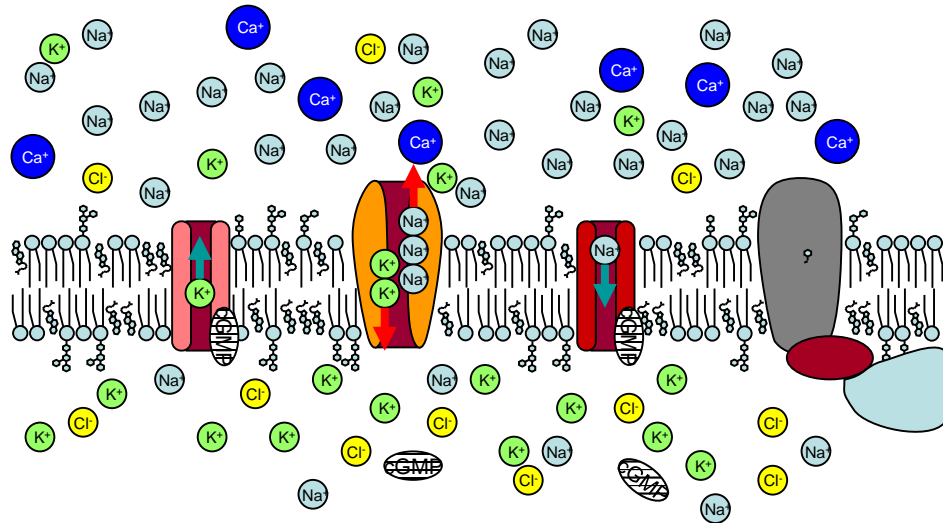


Aktivni transport !

- 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

- kjer tekmujejo pasivna difuzija, aktivni transport ionov ter regulacija!

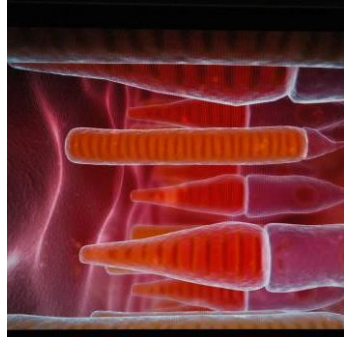


Prepustnost kanalov je odvisna od

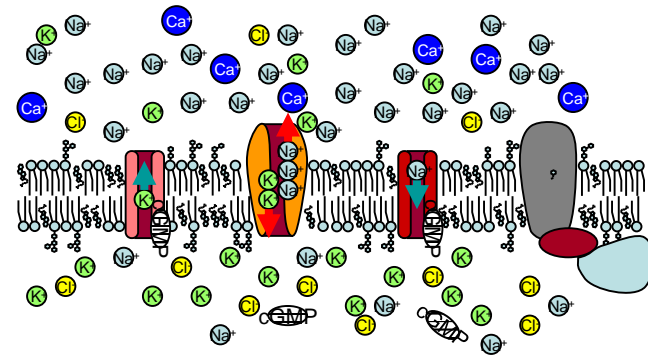
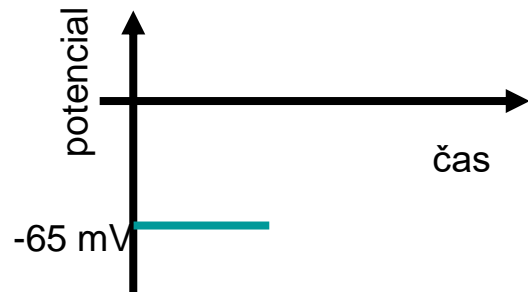
- potenciala, ki je odvisen od koncentracij ionov na obeh straneh membrane, in
- koncentracije signalnih prenašalcev kot je cGMP, ki jo lahko spreminjajo encimi, vezani na različne senzorje



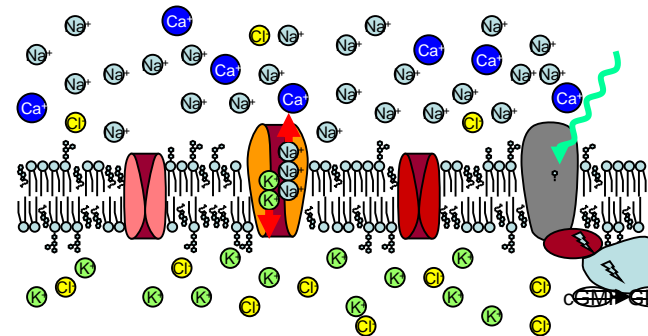
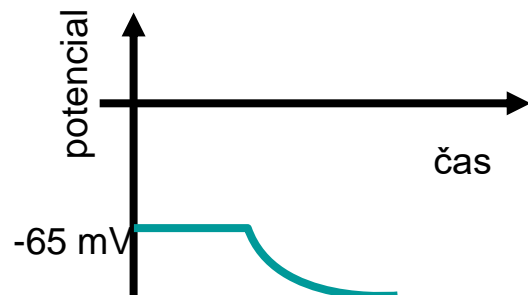
# Membranski potencial je osnova za detekcijo



- 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<sup>+</sup> kanalčkov → hiperpolarizacija membranskega potenciala → zapiranje Ca<sup>++</sup> kanačkov → blokiranje izločanja signalnih prenašalcev → aktivacija bipolarnih celic

# Membranski potencial prenaša signal po nevronih

Začne se s sproščanjem signalnih prenašalcev preko sinapse.

Sledi odpiranje  $\text{Na}^+$  in  $\text{K}^+$  kanalčkov, membranski potencial zaniha.

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

