

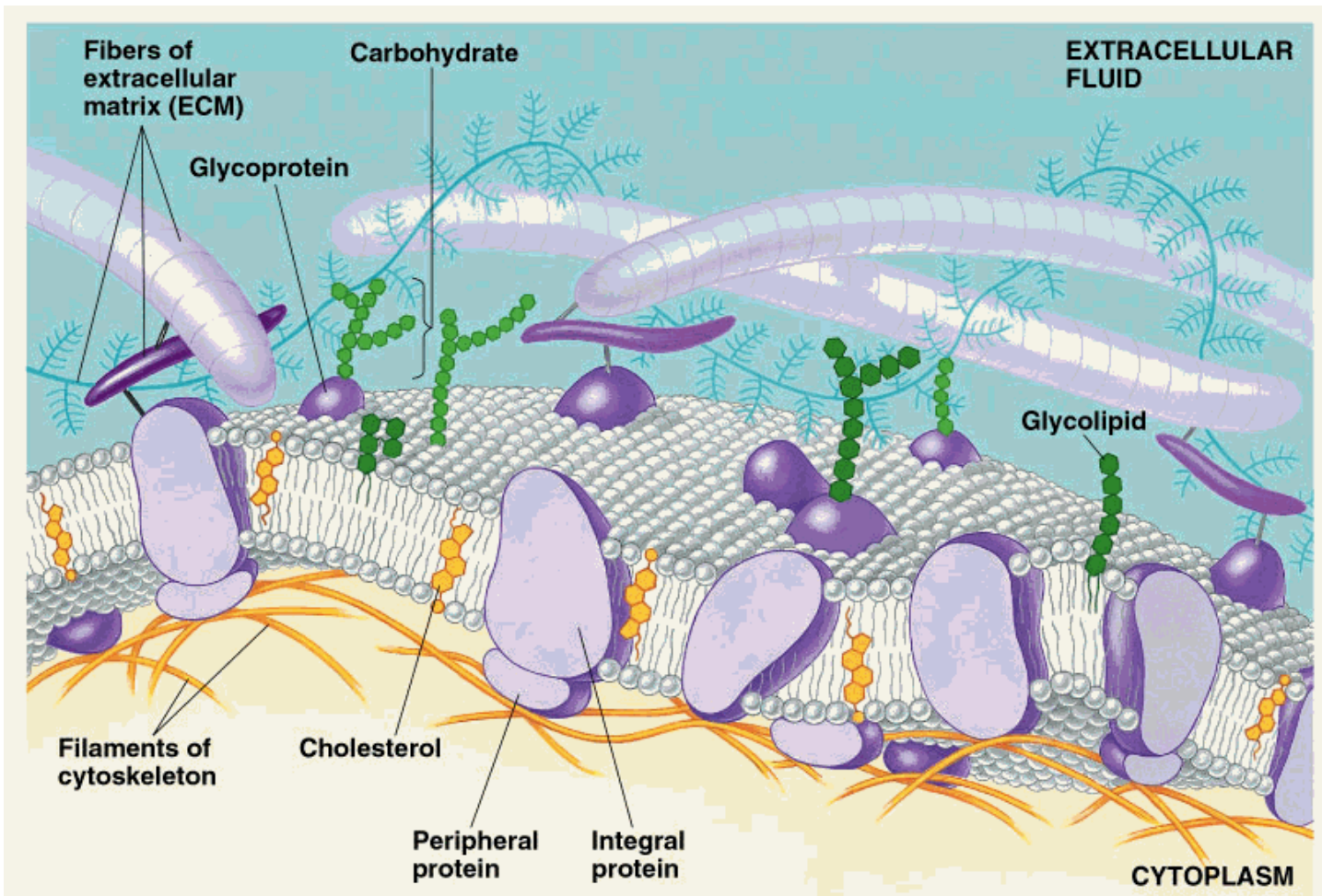
# Biološke membrane in transport

Model tekočega mozaika, asimetričnost, omogočeno lateralno gibanje lipidov in proteinov , oligosahardine verige lipidov in proteinov na zunanji strani

Sestava in struktura membrane

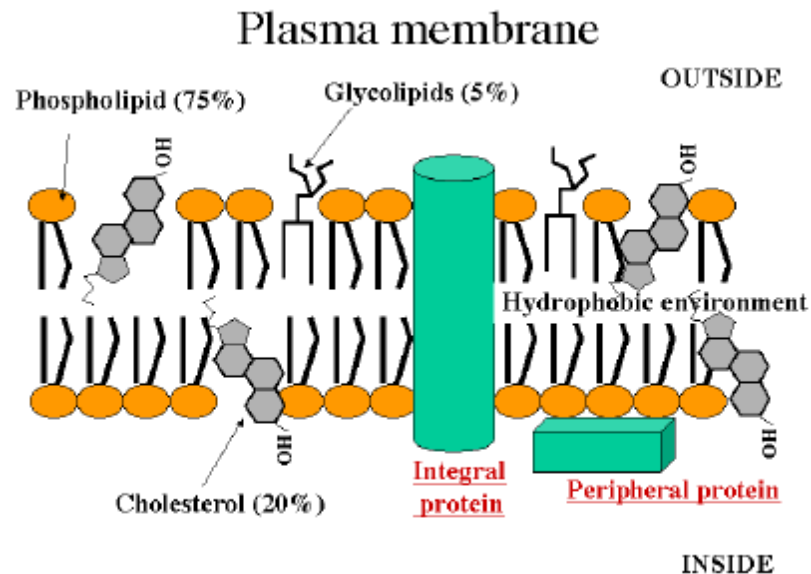
Dinamika membrane

Transport čez membrano – transmembranski proteini



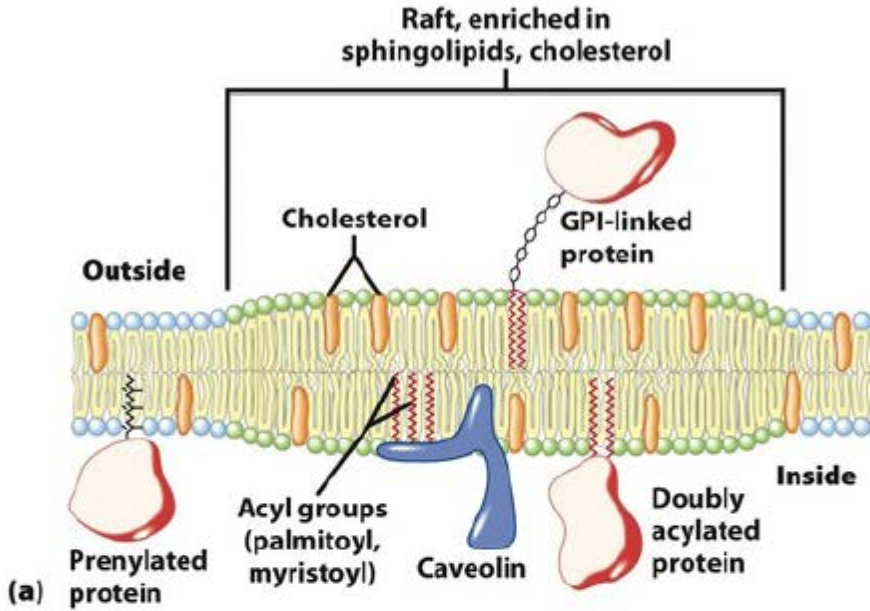
## Vsako kraljestvo, vrsta, tkivo, tip celic in organel ima v membranah značilen set lipidov in proteinov

Plazemska membrana	<b>proteini</b>	fosfolipidi	steroli	vrsta sterola
Člov. mielin. ovojnica	<b>30</b>	30	19	holesterol
Mišja jetra	<b>45</b>	27	25	holesterol
List koruze	<b>47</b>	26	7	stigmasterol
Kvasovka	<b>52</b>	7	4	ergosterol
Paramecij (protist)	<b>56</b>	40	4	sitosterol
<i>E. Coli</i>	<b>75</b>	25	0	/

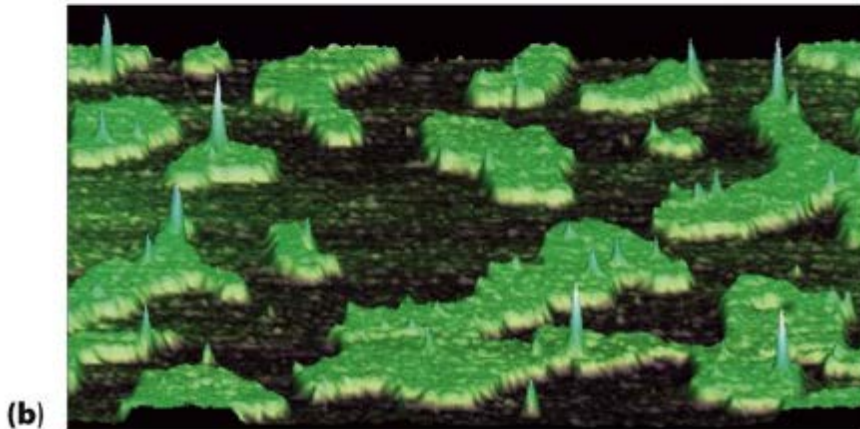
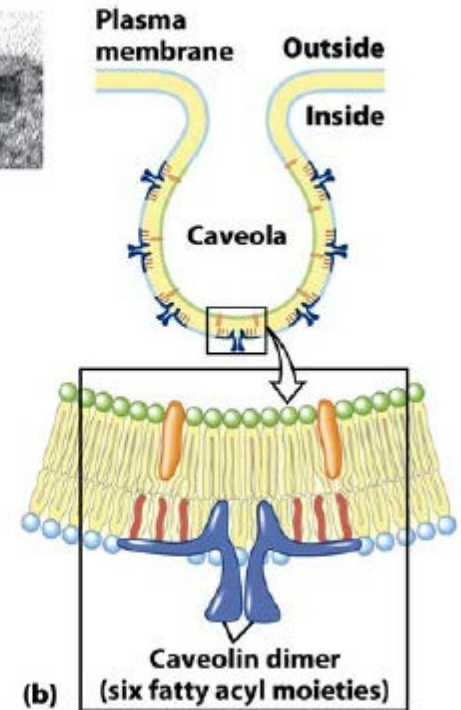


Lipidni rafti (splavi) so s proteini bogate mikrodomene membran

Kaveole so lipidni rafti s proteinom kaveolinom

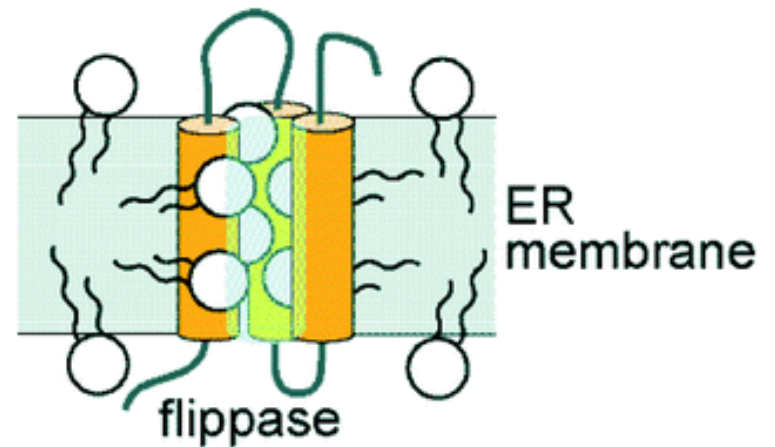
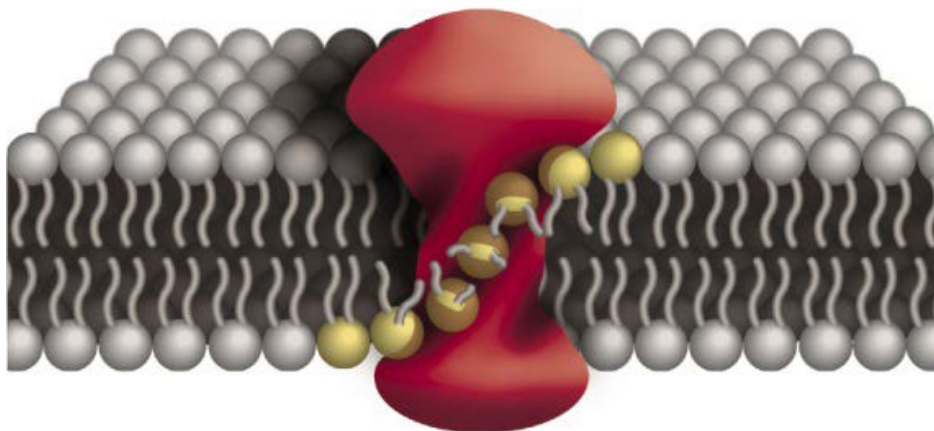
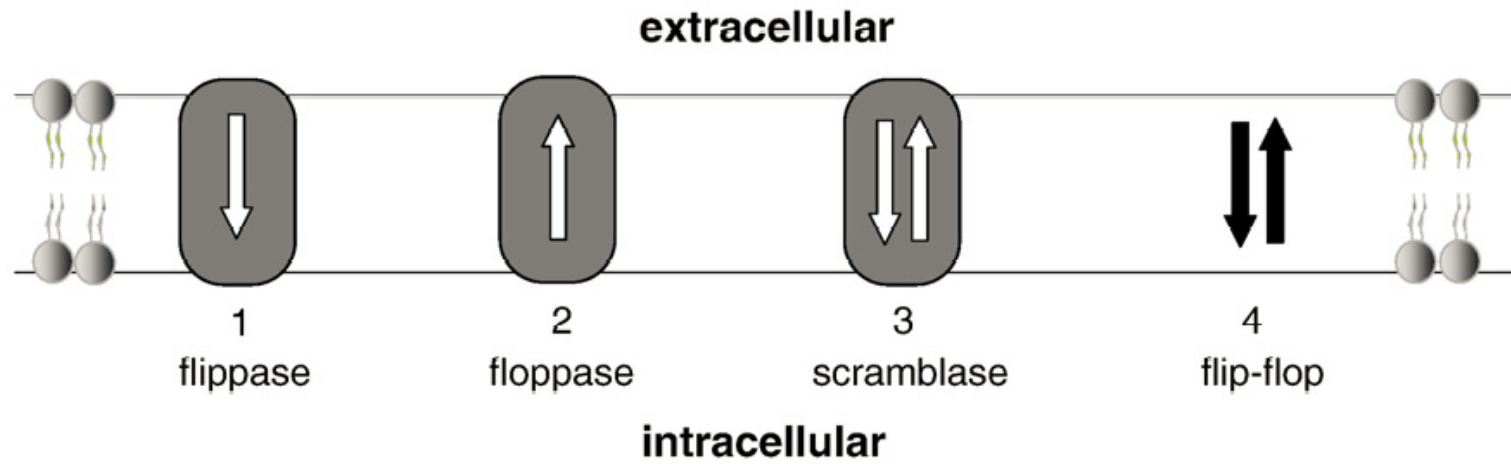


(a)



(b)

# Dinamika membran: flipaza, flopaza in skramblaza omogočajo prehod lipidov z ene strani membrane na drugo

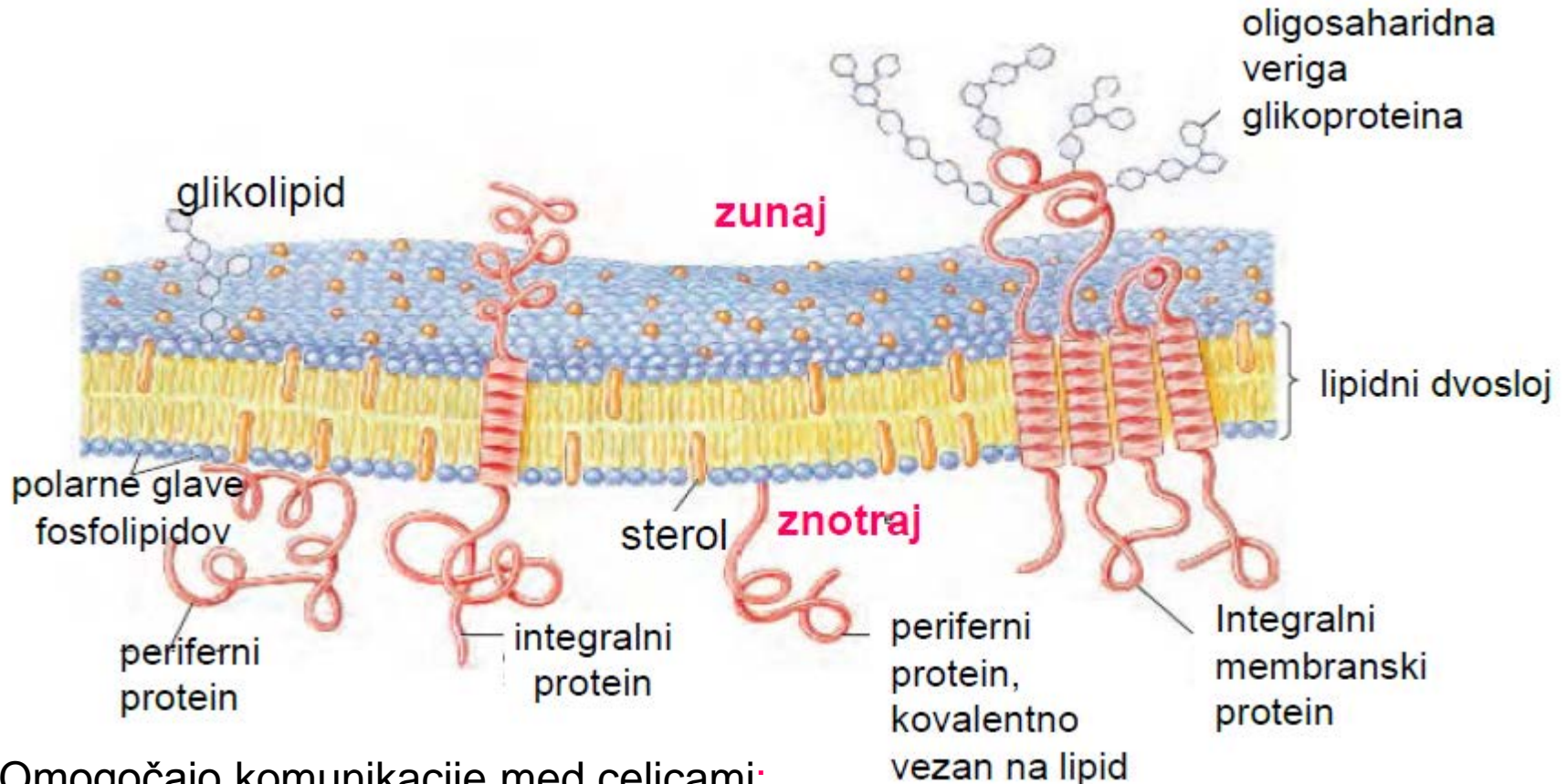


# Membranski proteini

**Integralni** (lahko jih odstranimo le z detergenti)

**Periferni** (pridruženi membrani preko elektrostatskih interakcij)

**Amfitropični** (so lahko v membrani ali pa v citosolu)

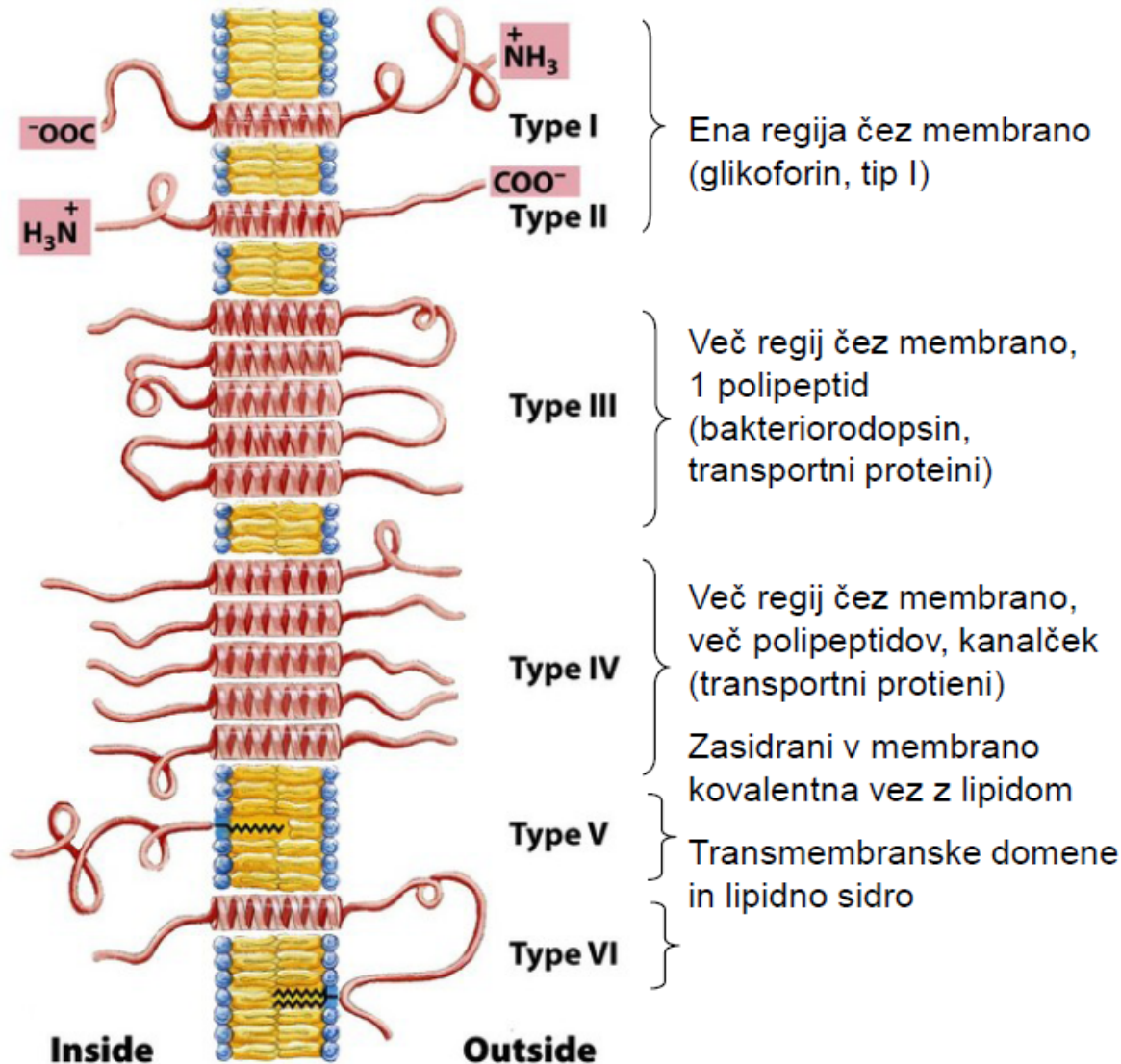


Omogočajo komunikacije med celicami:

- skozi celično membrano prenašajo organske molekule in ione
- receptorji na celični površini zaznajo signale in sprožijo specifične poti v celici
- skrbijo za stik med celicami
- encimi

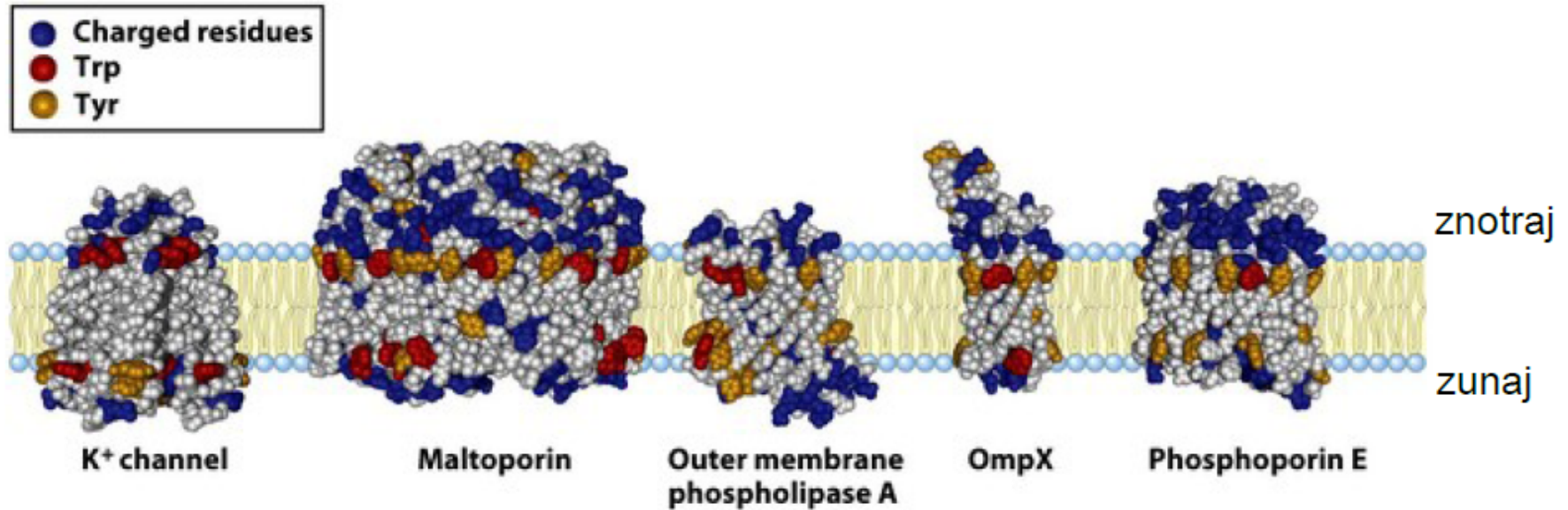
# Vrste integralnih membranskih proteinov

Transmembranske regije so alfa vijačnica ali beta sodček; hidrofobne interakcije z membranskimi lipidi



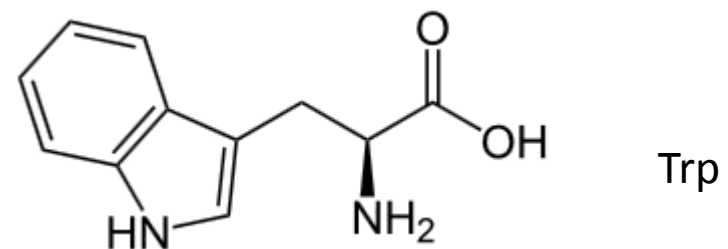
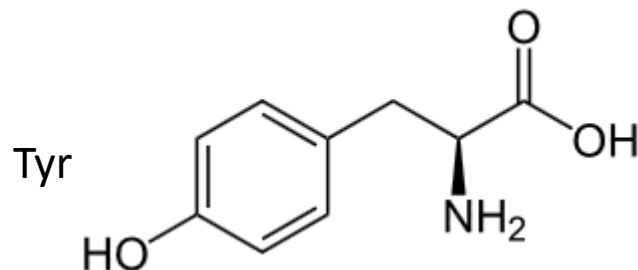
Važna je orientacija!

# Na stiku med lipidi in vodo sta v membranskih proteinih Trp in Tyr



- Stranske verige Trp in Tyr vstopajo v interakcije tako z lipidi centralnega dela membrane, kot tudi z vodno fazo na obeh straneh membrane.

- Pravilo "pozitivne notranjosti" - na notanji (citoplazemski) strani prevladujejo bazične aminokisline Arg, His, Lys.

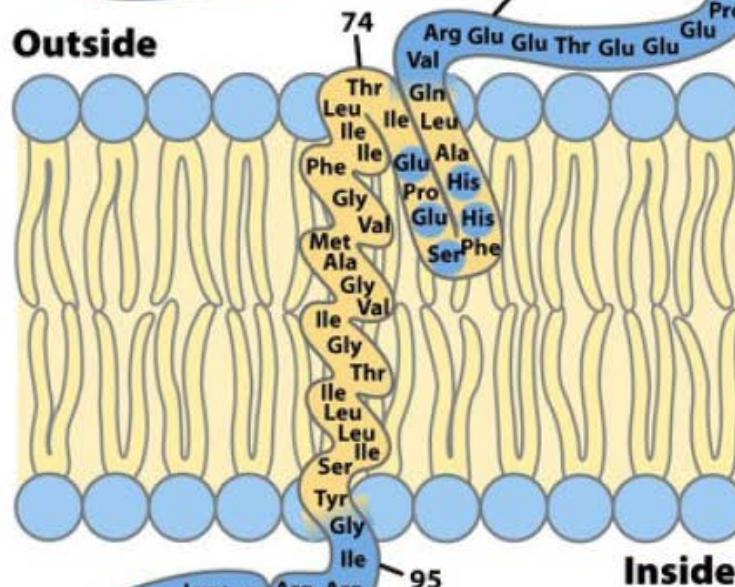


# Transmembranski protein tipa I – glikoforin v membrani eritrocita

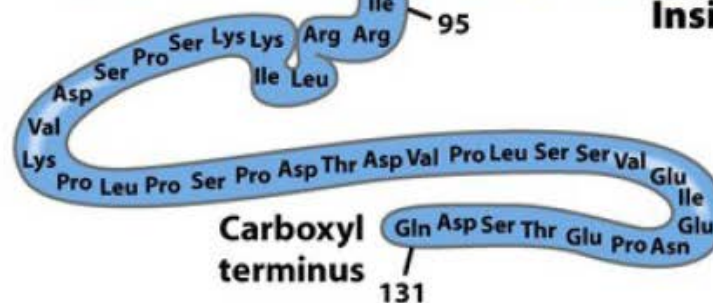
Polarne AK



Nepolarne AK



Polarne AK

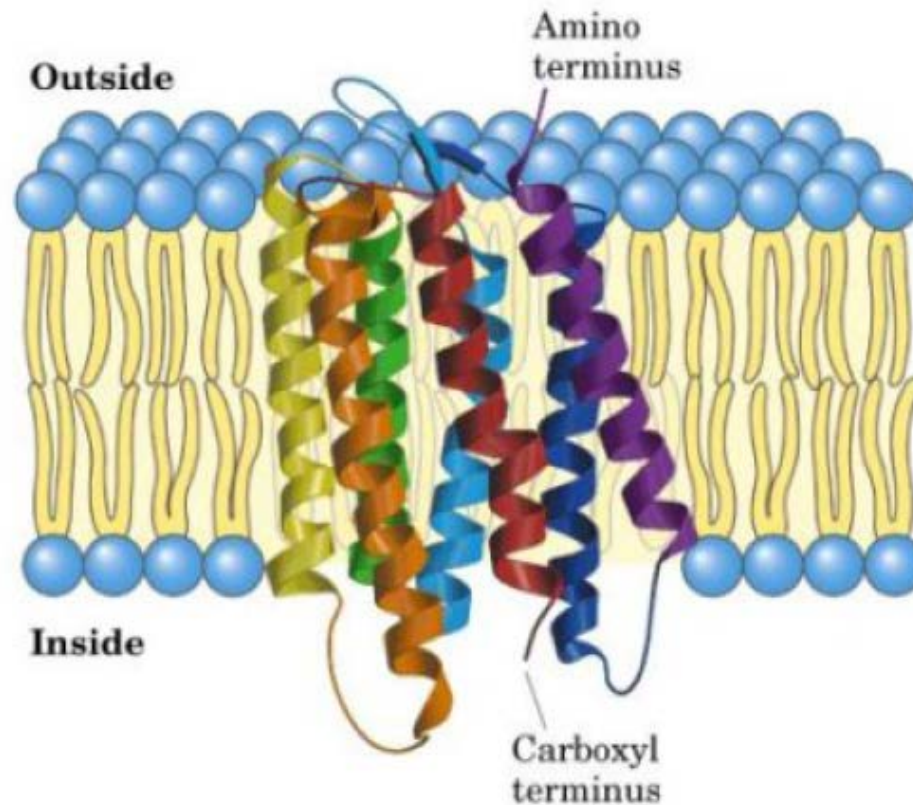


Medcelično prepoznavanje

- **Tetrasaharid:**
- 2 Sialični kislini
- Galaktoza
- N-acetil galaktozamin

19 – 23 AK v  $\alpha$ -vijačnici prebada membrano.

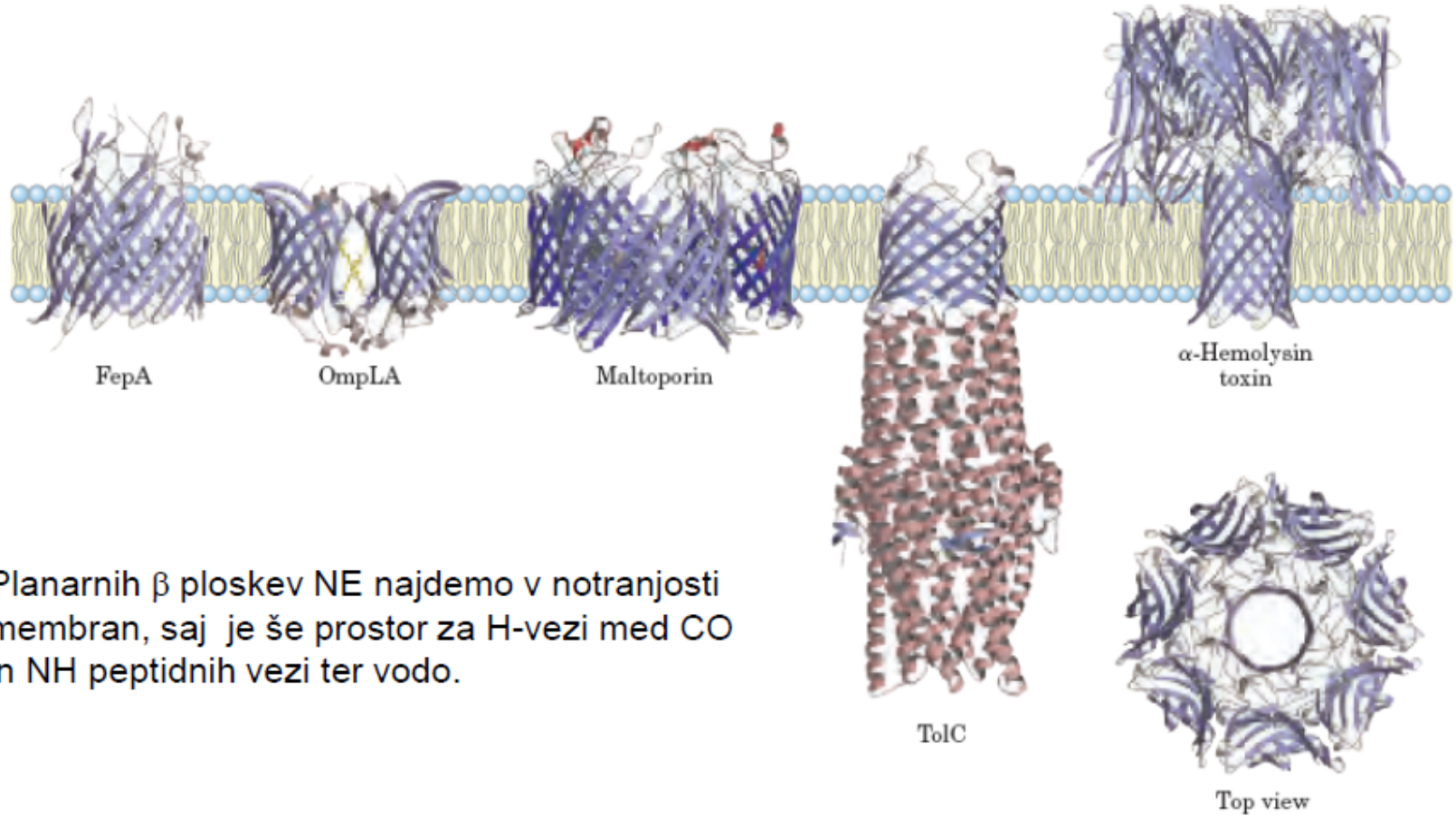
# Transmembranski protein tipa III – bakteriorodopsina



Bakteriorodopsin izhaja iz bakterije *H. Salinarum*; soroden človeškemu rodopsinu

7 zelo hidrofobnih alfa-vijačnic;  
Polipeptidna veriga 7-krat prečka membrano (7 transmembranskih domen)

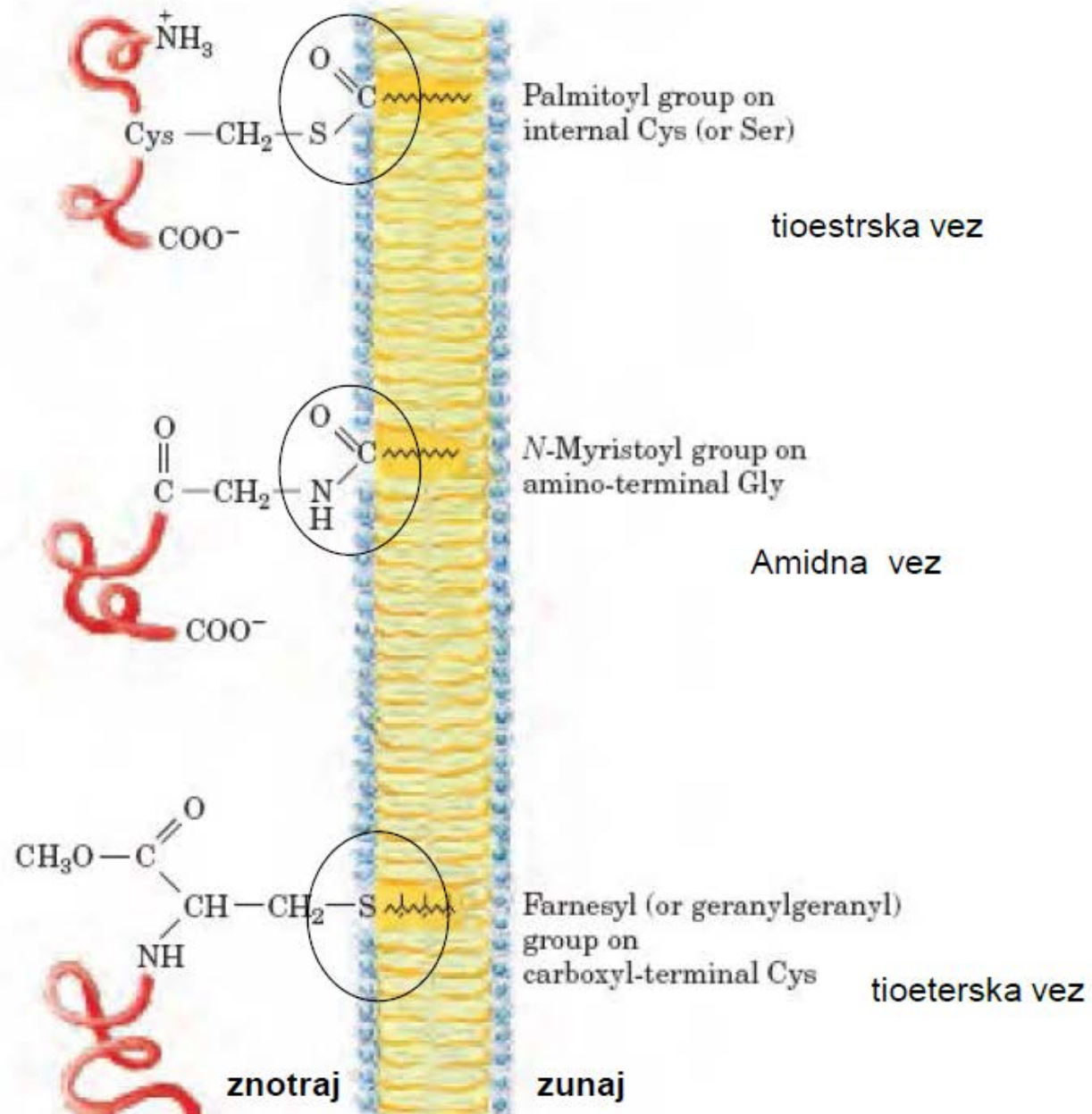
# Bakterijski transmembranski proteini s strukturo “ $\beta$ sodčka” (tip IV)



Planarnih  $\beta$  ploskev NE najdemo v notranjosti membran, saj je še prostor za H-vezi med CO in NH peptidnih vezi ter vodo.

$\beta$  sodčki - 20 ali več transmembranskih segmentov z  $\beta$  verigami v obliki cilindra – vzpostavljeno je maksimalno število vodikovih vezi med CO in NH peptidnih ostankov, prostora za vodikove vezi z vodo ni – podobna stabilnost kot  $\alpha$ -vijačnica.

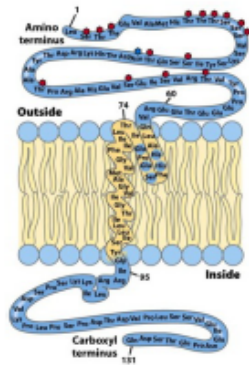
# Membranski proteini tipa V, VI so preko lipidov zasidrani v membrano



# Topolgijo membranskega proteina lahko razberemo iz zaporedja AK

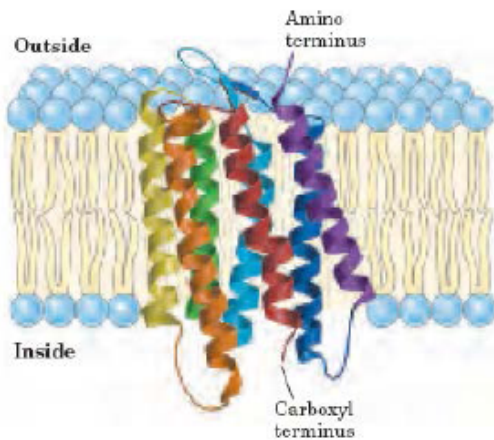
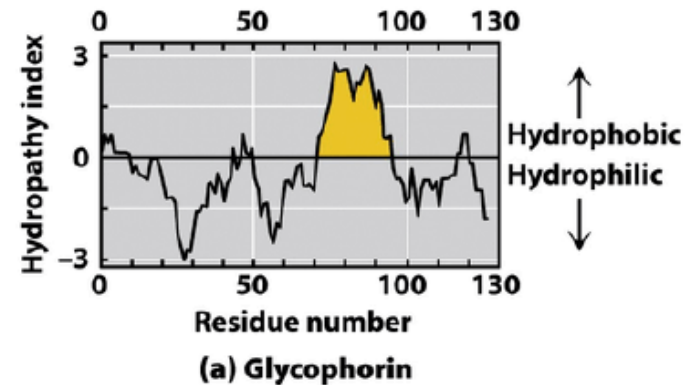
- Eksperimentalno so bile določene spremembe prostih entalpij pri premikanju stranskih verig AK iz nepolarnega topila v vodo – relativna polarnost AK;  $\Delta G$  pri prehodu se izrazi kot indeks hidrofobnosti.
- Določanje števila predvidenih transmembranskih regij z *in silico* z diagramom hidrofobnosti.

glikoforin

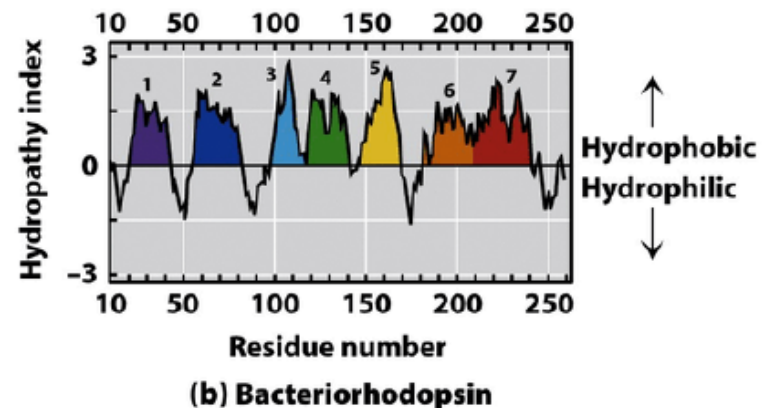


$\Delta G < 0$  – polarne AK

$\Delta G > 0$  – nepolarne AK



Bakteriorodopsin.



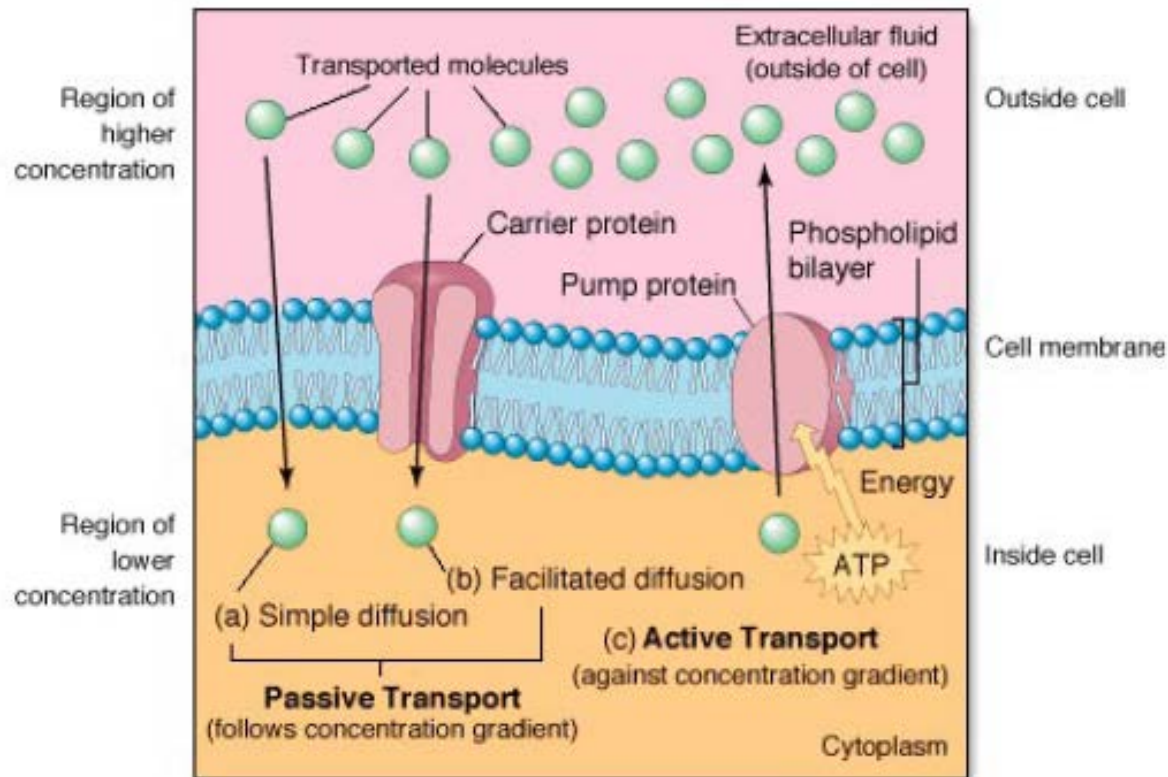
# Sestava in dinamika membran – povzetek

- Membrane organizmov, tkiv, celic, organel, imajo različno sestavo lipidov in proteinov
- Periferni membranski proteini so z elektrostatskimi silami in H-vezmi šibko povezani z membrano
- Integralni proteini so močno povezani z membrano prek hidrofobnih interakcij
- Lipidi v membrani so lahko v tekočem urejenem ali neurejenem stanju (tekoči mozaik)
- Lipidi in proteini se v membrani lahko premikajo lateralno.
- Flip-flop difuzija prek membrane je redka in počasna. Pospešijo jo flipaze, flopaze (ob hidrolizi ATP) in skramblaze (brez kemične energije)
- Lipidni rafti so domene membran, bogate s sfingolipidi, holesterolom in proteini.

# Transport preko bioloških membran

(zakonitosti predstavljene na 12. predavanju, 16. 3. 2012)

- Vsaka celica mora pridobiti iz okolice sestavine za sintezo biomolekul in za proizvodnjo energije in mora oddati v okolico stranske produkte presnove.
- Le redke snovi lahko prosto prehajajo lipidni dvosloj membrane.
- Polarne snovi in ioni pri prehodu čez membrano praviloma potrebujejo membranske proteine.



## Termodinamske zakonitosti transporta čez membrano

Prosta entalpija snovi, ki se prenaša čez membrano, je odvisna od koncentracijskega gradienta

$$\Delta G_t = RT \ln \frac{C_2}{C_1}$$

Snov se premika spontano ( $\Delta G_t < 0$ ) iz predela z višjo koncentracijo v predel z nižjo koncentracijo.

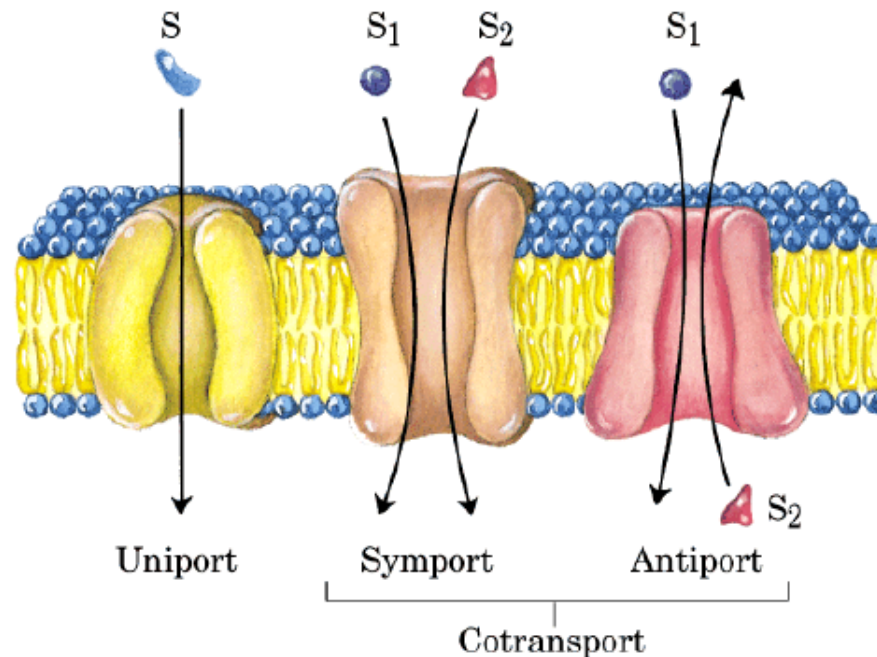
Ravnotežje  $\Delta G = 0$  je doseženo , ko je  $C_1 = C_2$

Premikanje vzdolž koncentracijskega gradienta je posledica **2. zakona termodinamike** – molekule se spontano razporedijo čimbolj naključno, entropija se poveča.

# VRSTE TRANSPORTA PO SMERI IN ENERGIJI

**Pasivni transport:** v smeri koncentracijskega gradienta (od večje k manjši koncentraciji) in brez uporabe energije. Lahko je s prenašalci ali brez. Običajno prenos ene molekule (uniport)

**Aktivni transport:** proti smeri koncentracijskega gradienta (od manjše k večji koncentraciji) in z uporabo energije. Vedno s prenašalci – lahko je primarni ali sekundarni. Lahko je uniport ali kotransport,



## VRSTE TRANSPORTA

### Pasivni transport

(v smeri koncentracijskega gradienta:  $C_1 \rightarrow C_2$  ;  $C_1 > C_2$ )

1. Preprosta difuzija
2. Olajšana difuzija
3. Ionski kanali
4. Ionofori

### Aktivni transport

(proti smeri koncentracijskega gradienta:  $C_2 \rightarrow C_1$  ;  $C_1 > C_2$ )

5. Primarni aktivni transport
6. Sekundarni aktivni transport = kotransport

Preprosta difuzija (samo nepolarne snovi v smeri koncentracijskega gradienta)

Olajšana difuzija (v smeri koncentracijskega gradienta)

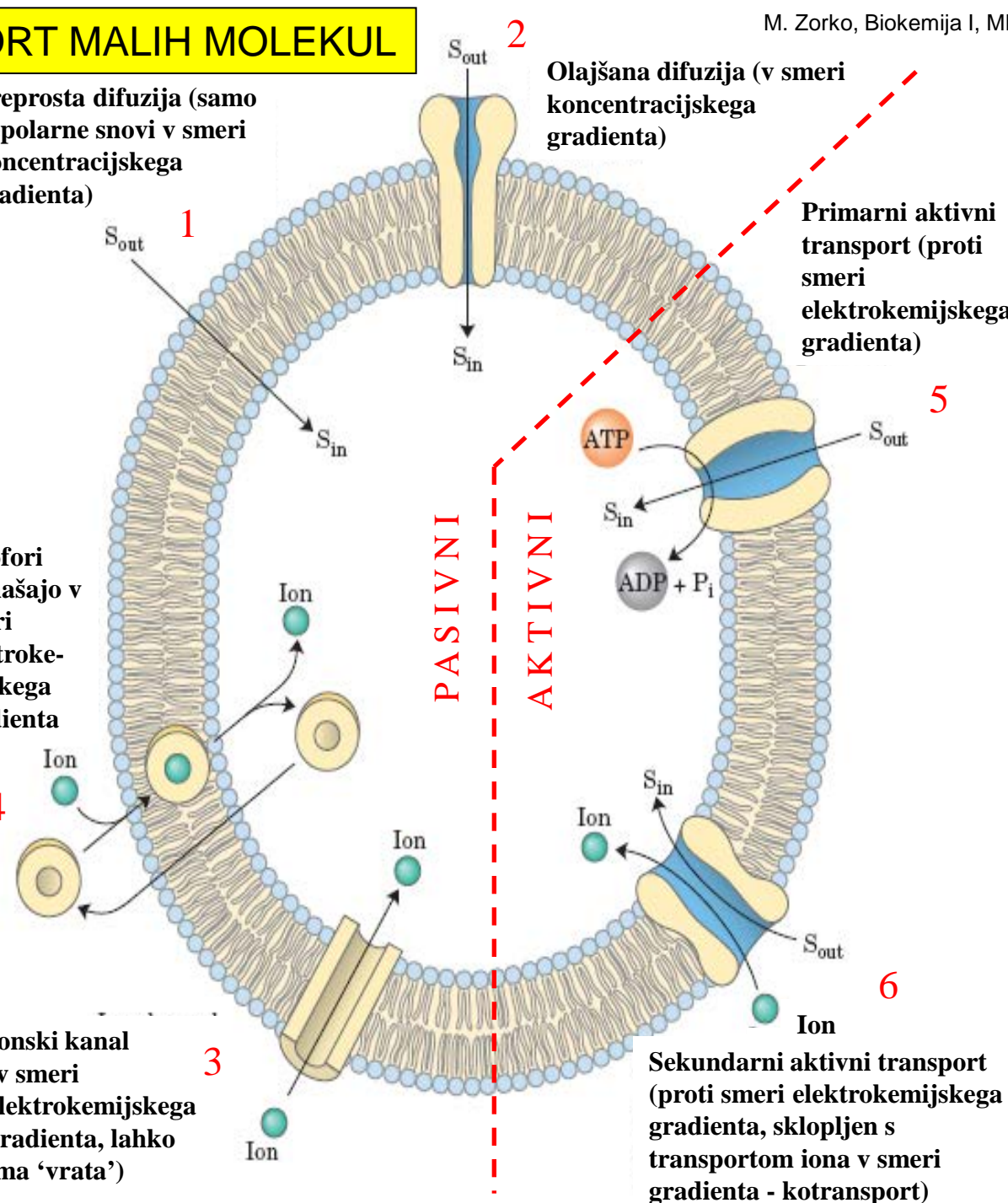
Primarni aktivni transport (proti smeri elektrokemijskega gradienta)

Ionofori prenašajo v smeri elektrokemijskega gradienta

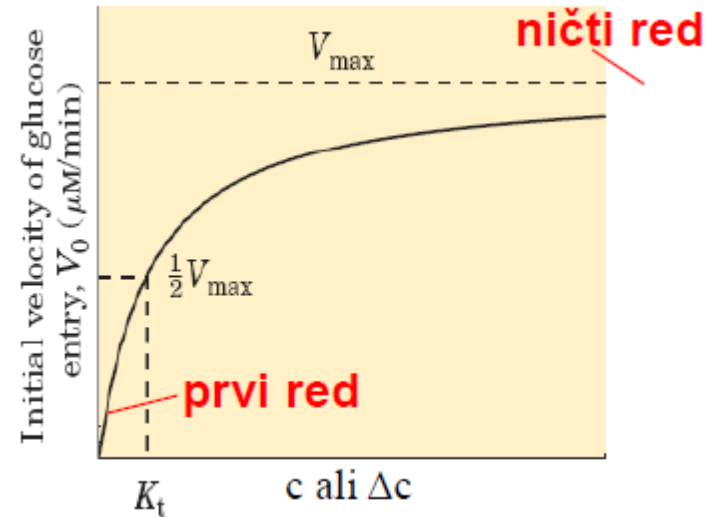
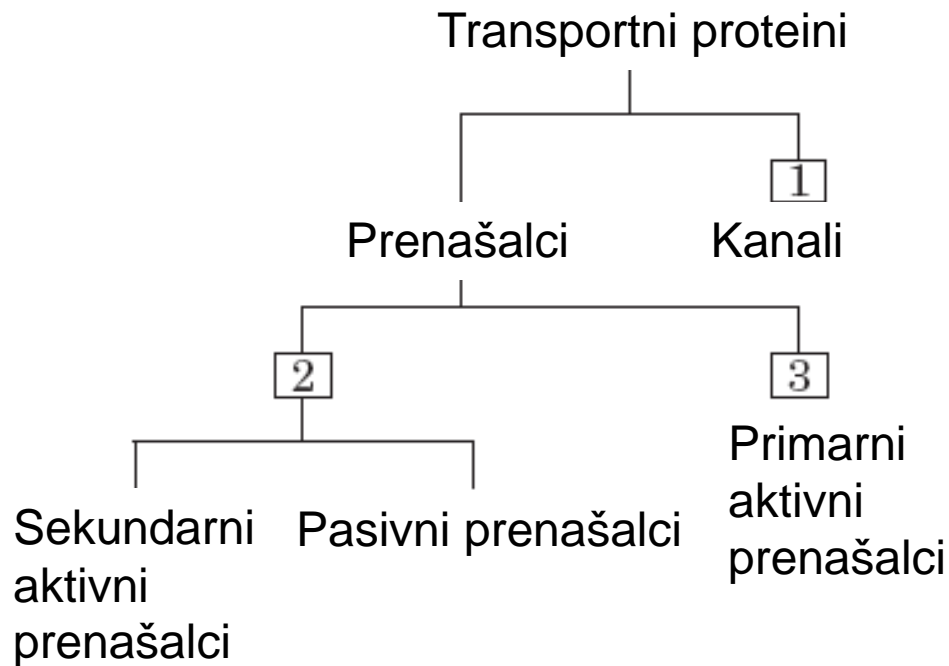
PASIVNI  
AKTIVNI

Ionski kanal (v smeri elektrokemijskega gradienta, lahko ima 'vrata')

Sekundarni aktivni transport (proti smeri elektrokemijskega gradienta, sklopljen s transportom iona v smeri gradienta - kotransport)



# Vrste prenašalcev čez membrano

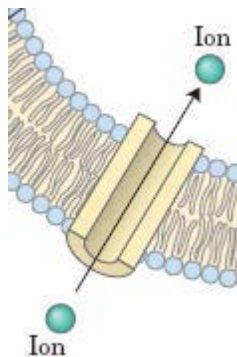


- Prenašalec ima določeno kapaciteto in se nasiči s prenašano molekulo.
- Ko so vsi prenašalci nasičeni, je dosežena maksimalna hitrost prenosa in povečanje koncentracijske razlike ne vpliva več (nični red)!

# Lastnosti transportnih proteinov: kanalčki in prenašalci

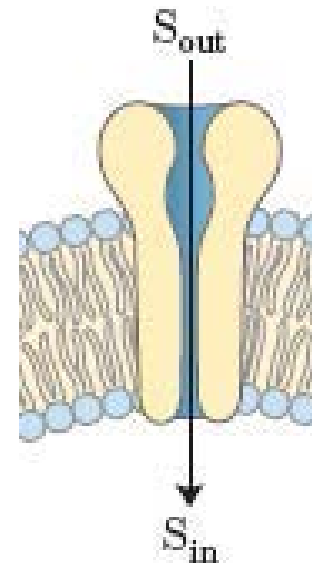
## Kanalčki

- Niso stereospecifični
- Visoka hitrost transporta ( $10^8$  ionov/s)
- Ne pride do nasičenja
- Multimerni proteini (pogosto iz ene vrste podenot)
- Odpiranje kanalčkov je uravnavano
  - z ligandom
  - z napetostjo

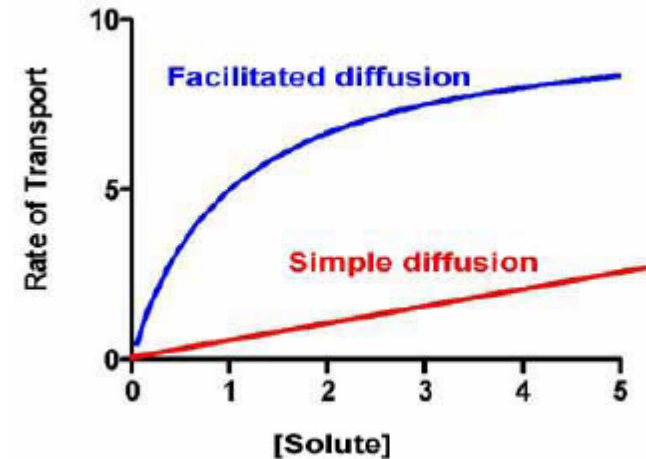
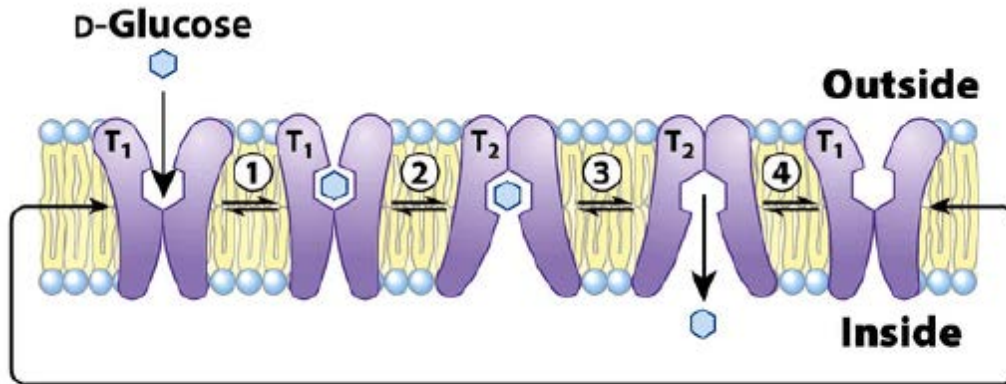


## Prenašalci

- Stereospecifična vezava substrata
- Visoka hitrost transporta
- Pride do nasičenja
- Monomerni proteini

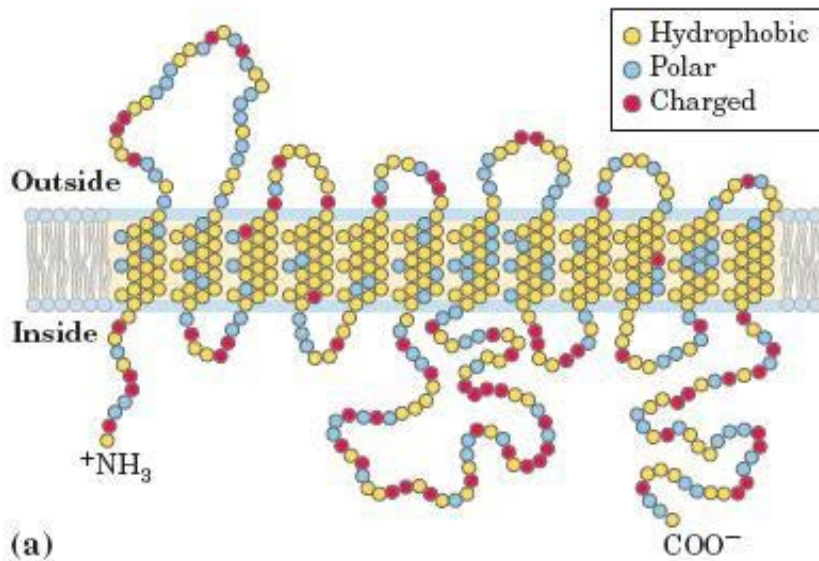


# Prenos glukoze v eritrocitu – olajšana difuzija čez GLUT1

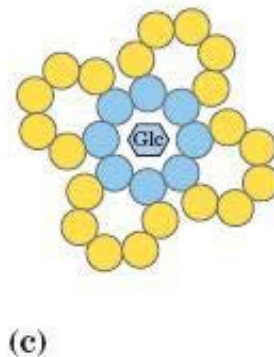
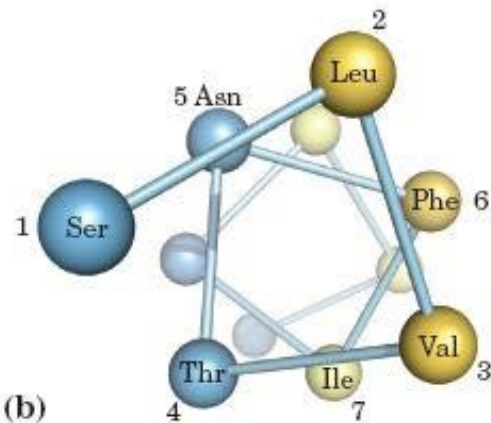


- Transporterji glukoze so prisotni v različnih tkivih (GLUT1, GLUT2, etc.)
- Pospešijo prenos glukoze (olajšana difuzija) vzdolž c gradienta do 50 000 x
- Eritrociti so odvisni od stalne dobave glukoze iz krvne plazme, glukozo uporabljajo kot vir energije za glikolizo.

# Predvidena struktura prenašalca GLUT1



—Ser—Leu—Val—Thr—Asn—Phe—Ile—



12 transmembranskih alfa vijačnic

Razporeditev polarnih in nepolarnih aminokislin na površini vijačnice. Če se 4 amfipatične vijačnice orientirajo tako, da so polarne AK v sredini, dobimo kanalček polarnih AK, ki lahko tvojih H-vezi z glukozo in ji olajšajo prehod.

Število heliksov, ki tvorijo poro ni povsem razjasnjeno, zdi se, da jih je šest.

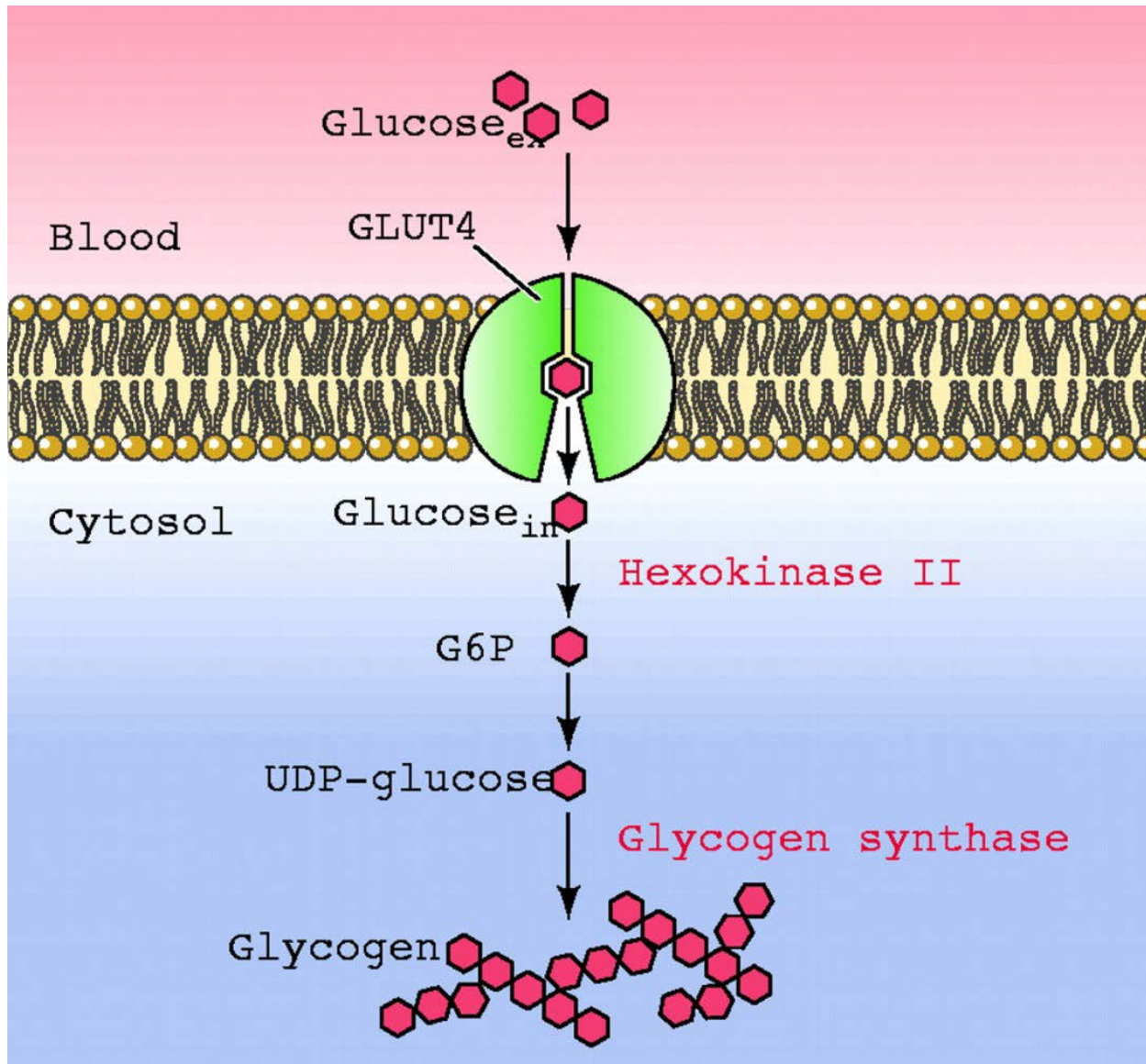
## Človeški genom zapisuje različne prenašalce glukoze GLUT

**TABLE 11-3**    **Glucose Transporters in the Human Genome**

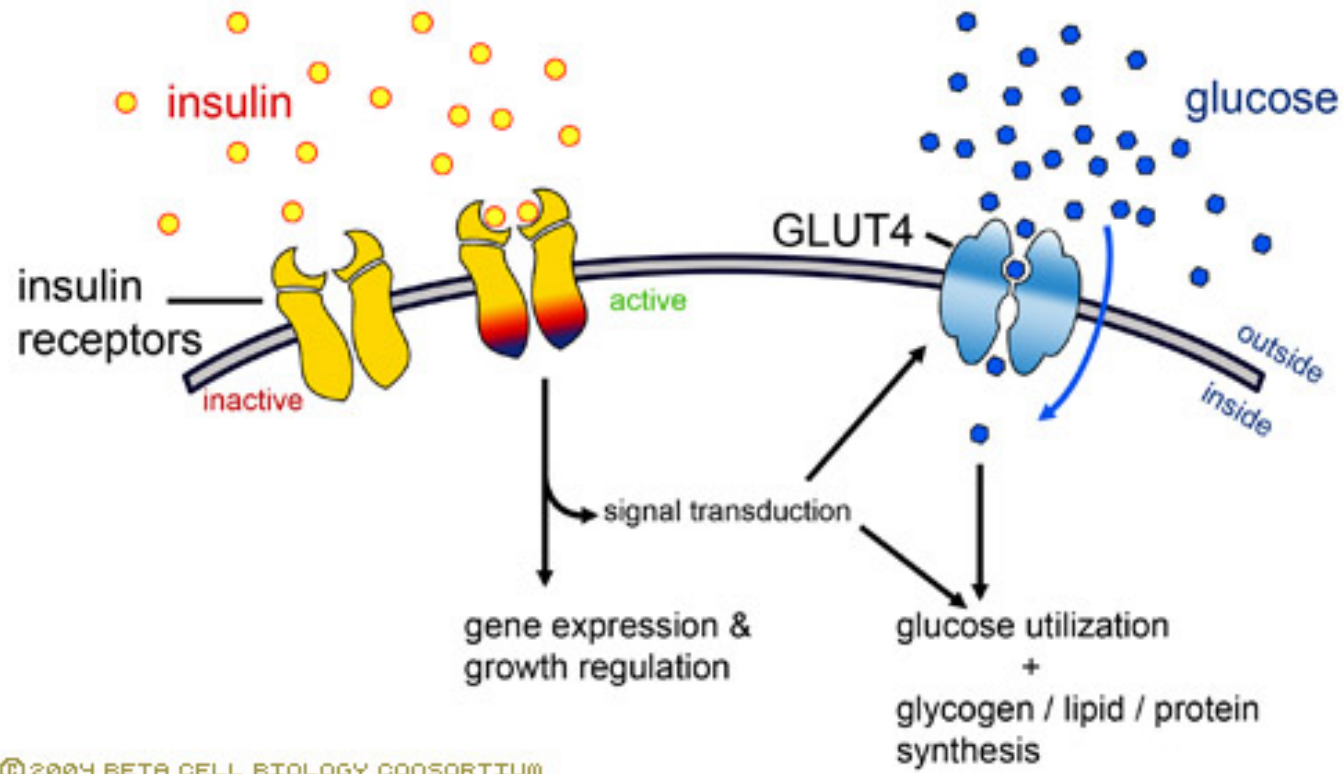
Transporter	Tissue(s) where expressed	Gene	Role*
GLUT1	Ubiquitous	<i>SLC2A1</i>	Basal glucose uptake
GLUT2	Liver, pancreatic islets, intestine	<i>SLC2A2</i>	In liver, removal of excess glucose from blood; in pancreas, regulation of insulin release
GLUT3	Brain (neuronal)	<i>SLC2A3</i>	Basal glucose uptake
GLUT4	Muscle, fat, heart	<i>SLC2A4</i>	Activity increased by insulin
GLUT5	Intestine, testis, kidney, sperm	<i>SLC2A5</i>	Primarily fructose transport
GLUT6	Spleen, leukocytes, brain	<i>SLC2A6</i>	Possibly no transporter function
GLUT7	Liver microsomes	<i>SLC2A7</i>	—
GLUT8	Testis, blastocyst, brain	<i>SLC2A8</i>	—
GLUT9	Liver, kidney	<i>SLC2A9</i>	—
GLUT10	Liver, pancreas	<i>SLC2A10</i>	—
GLUT11	Heart, skeletal muscle	<i>SLC2A11</i>	—
GLUT12	Skeletal muscle, adipose, small intestine	<i>SLC2A12</i>	—

\*Dash indicates role uncertain.

# Prenašalec GLUT4 je občutljiv na insulin – privzem glukoze v mišice za sintezo glikogena



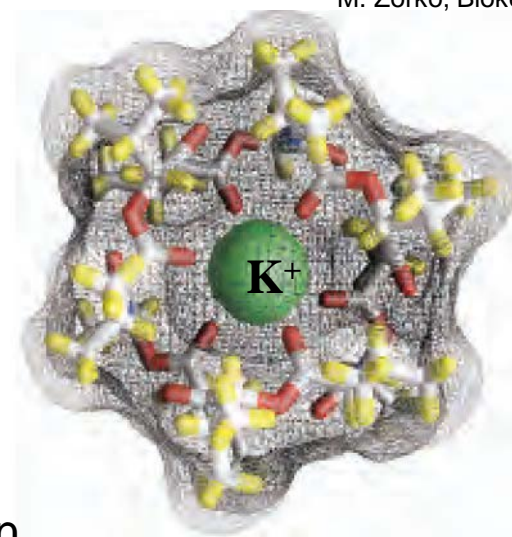
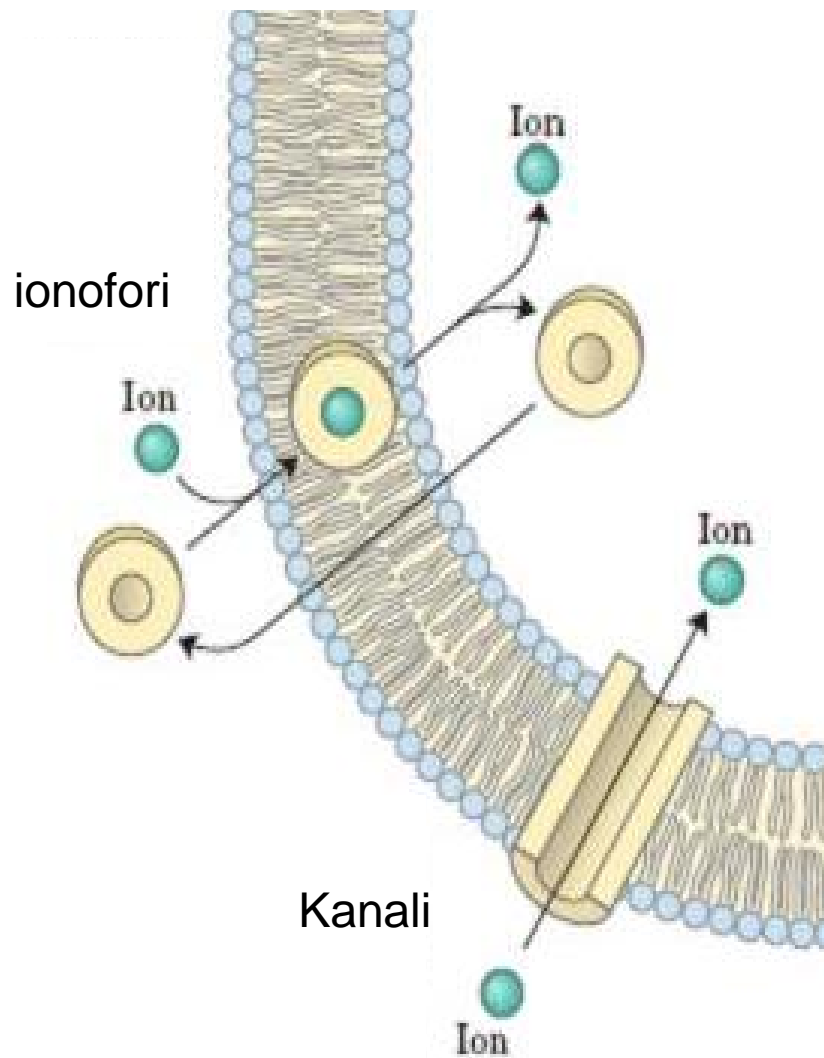
## Insulinski receptor in GLUT4



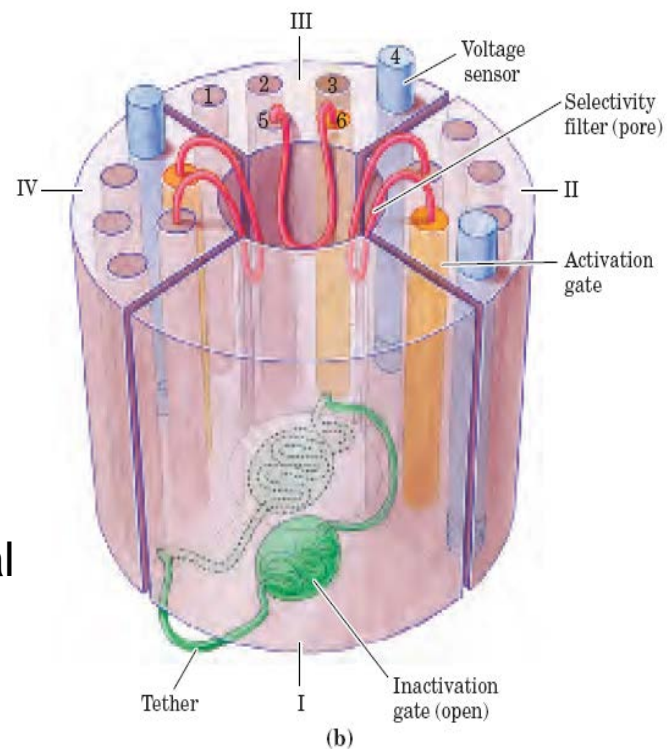
Z insulinom posredovani privzem glukoze: insulin se veže na insulinski receptor. To sproži kaskado prenosa signala, ki poveča število GLUT4 receptorjev na membranah in omogoči hiter prenos glukoze v celico.

Mladostni diabetes tipa I – ni sprožanja insulina, zato ni prenosa glukoze v celico.

Enako delujejo tudi ionofori (in kanali).

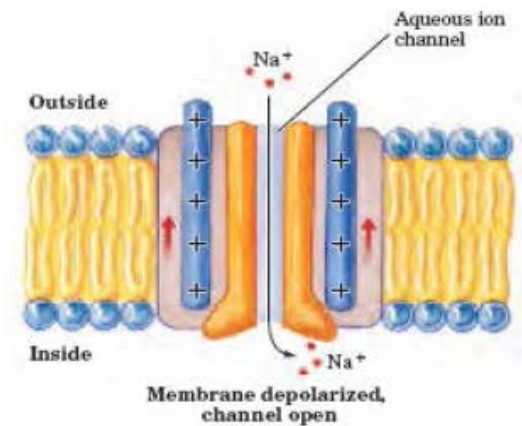
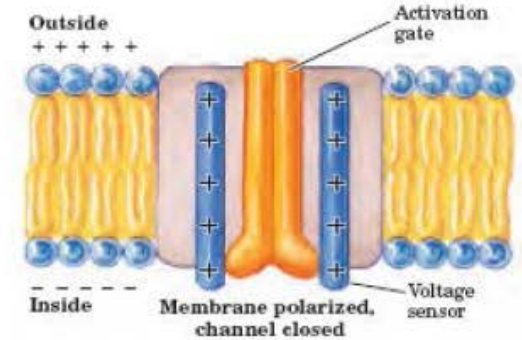
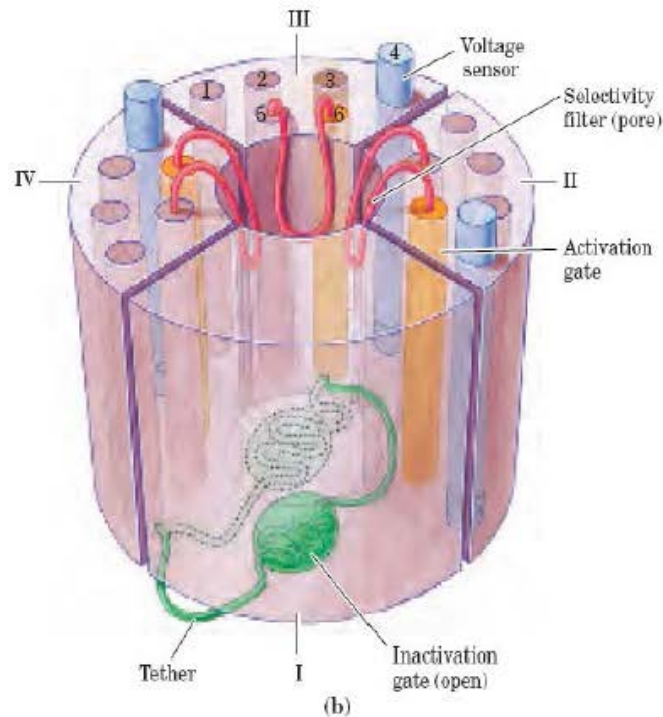
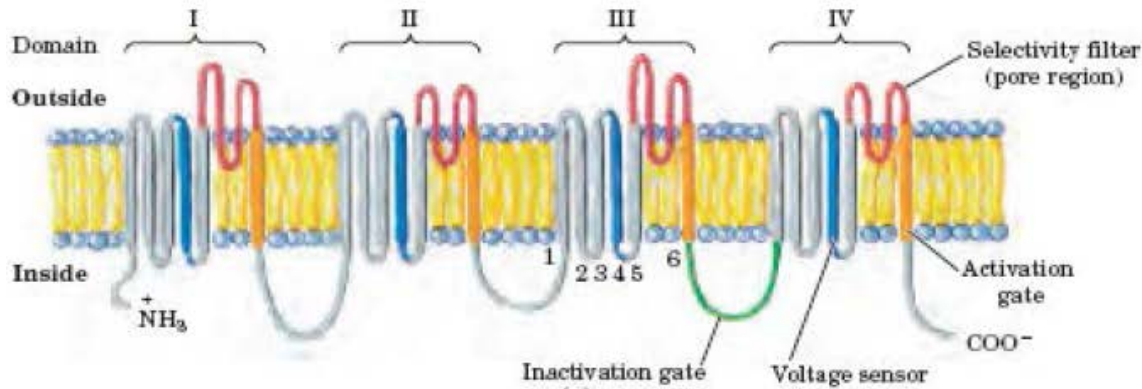


Ionofor  
valinomycin



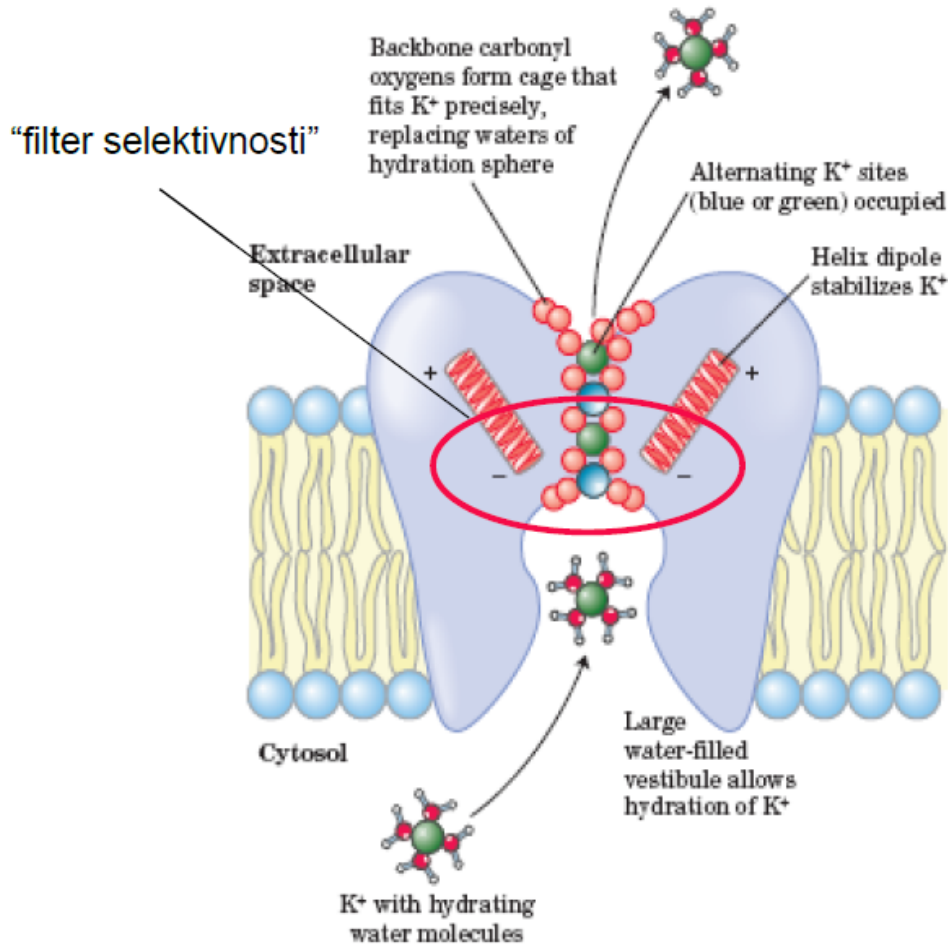
Na<sup>+</sup> kanal

# Na<sup>+</sup> kanalček nevrona je uravnavan s transmembransko napetostjo

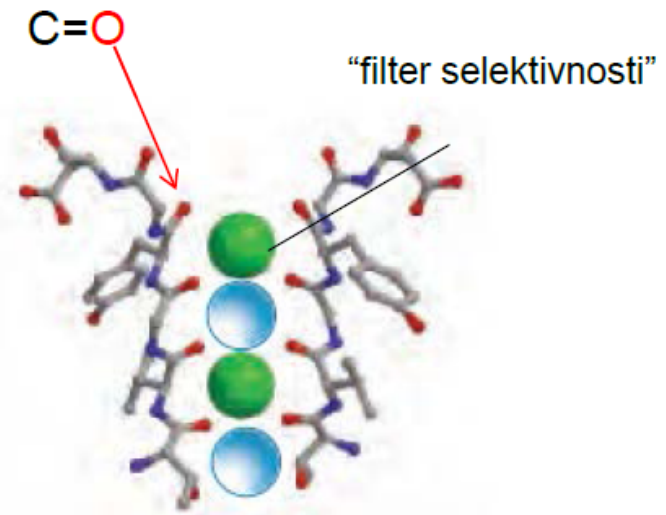


Mehanizem odpiranja kanalčka kot odgovor na znižanje napetosti

# K<sup>+</sup> kanalček je selektiven za ione



Selektivnost: hidratiran Na<sup>+</sup> je prevelik, „sleče“ pa se nerad. K<sup>+</sup> se rad sleče, ker karbonilni kisiki v lumnu kanalčka zamenjajo kisike vode v hidratacijskem plašču. Slečen je ravno prav velik za prehod.

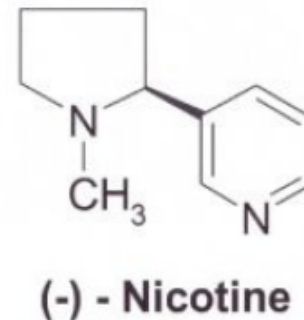
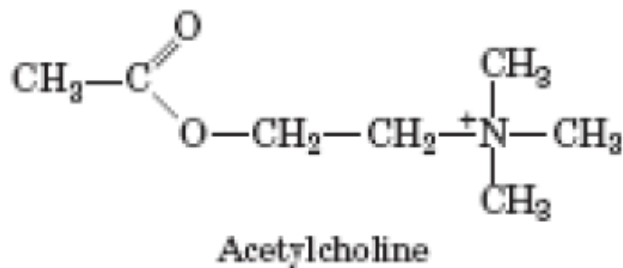


Radij K<sup>+</sup> - 1,33Å  
Radij Na<sup>+</sup> - 0,95 Å  
Prehod K<sup>+</sup> skozi poro 10<sup>8</sup> ionov/s  
(10.000x hitrejši kot Na<sup>+</sup>)

Obstajajo tudi z napetostjo kontrolirani kalijevi kanalčki.

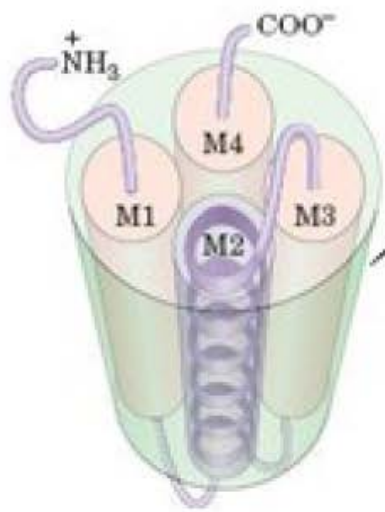
# Nikotinski/acetilholinski receptor – ionski kanalček, ki deluje pod vplivom liganda

- Bistvena komponenta električnega signala od motoričnega nevrona do mišičnega vlakna (v živčno-mišični sinapsi)
- Ligand – acetiholin (ACh) in nikotin
- Vezava ACh na receptor povzroči konformacijsko spremembo receptorja → odpre se ionski kanalček
- Kationi prehajajo v notranjost celice → depolarizacija membrane
- Ionski kanalček je prepusten za  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  in  $\text{K}^+$
- $\text{Na}^+$  prehaja v smeri nižje konc. ( $2 \times 10^{-7}$  ionov/s)

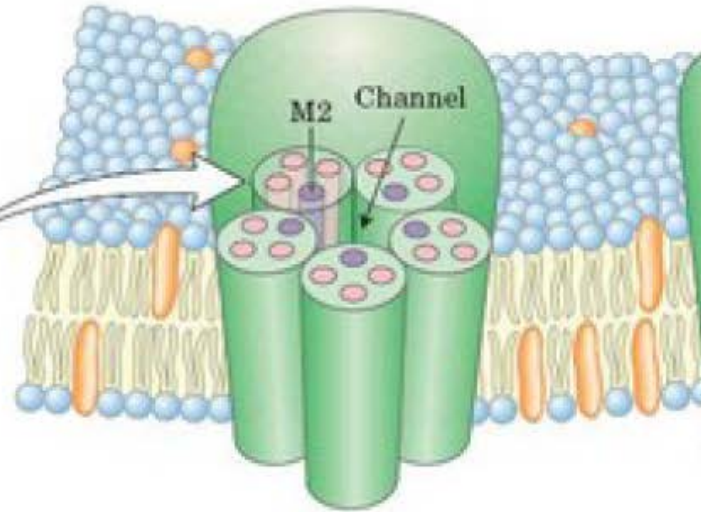


# Acetylcholine receptor

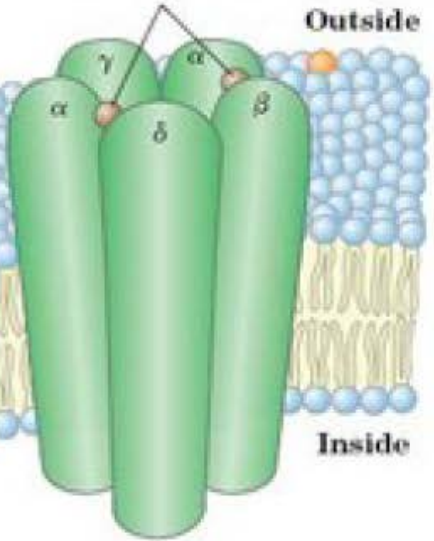
(a) Subunit folds into four transmembrane  $\alpha$  helices



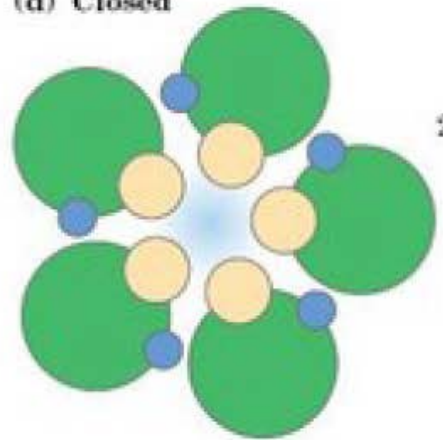
(b) M2 amphipathic helices surround channel



(c) Acetylcholine binding sites



(d) Closed

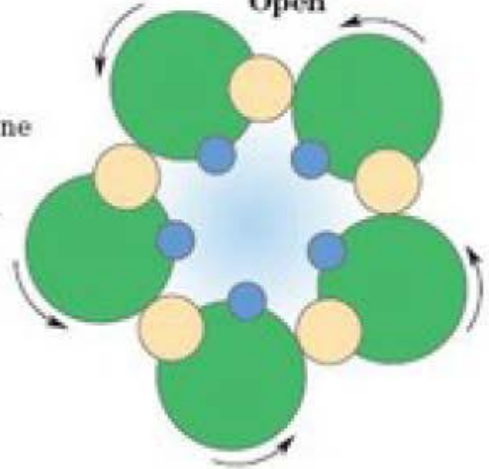


Bulky, hydrophobic Leu side chains of M2 helices close the channel.

2 Acetylcholine



Open



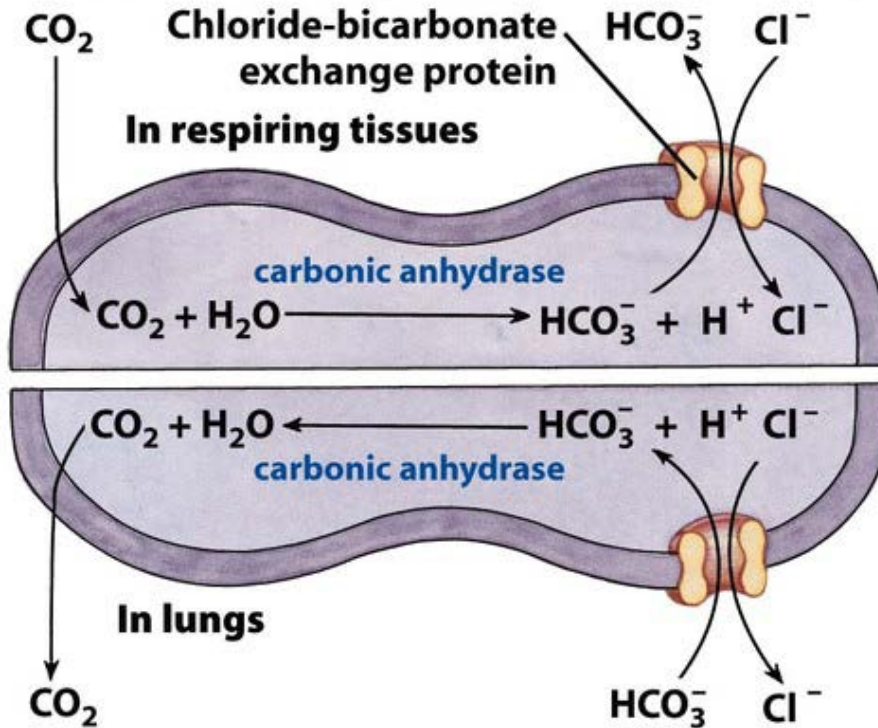
Binding of two acetylcholine molecules causes twisting of the M2 helices.

M2 helices now have smaller, polar residues lining the channel.

# Prenašalec klorida in bikarbonata- anionski izmenjevalni protein, pasivni transport

Carbon dioxide produced by catabolism enters erythrocyte.

Bicarbonate dissolves in blood plasma.



Carbon dioxide leaves erythrocyte and is exhaled.

Bicarbonate enters erythrocyte from blood plasma.

Elektro-nevtralni prenos.

Kottransporter – antiport.

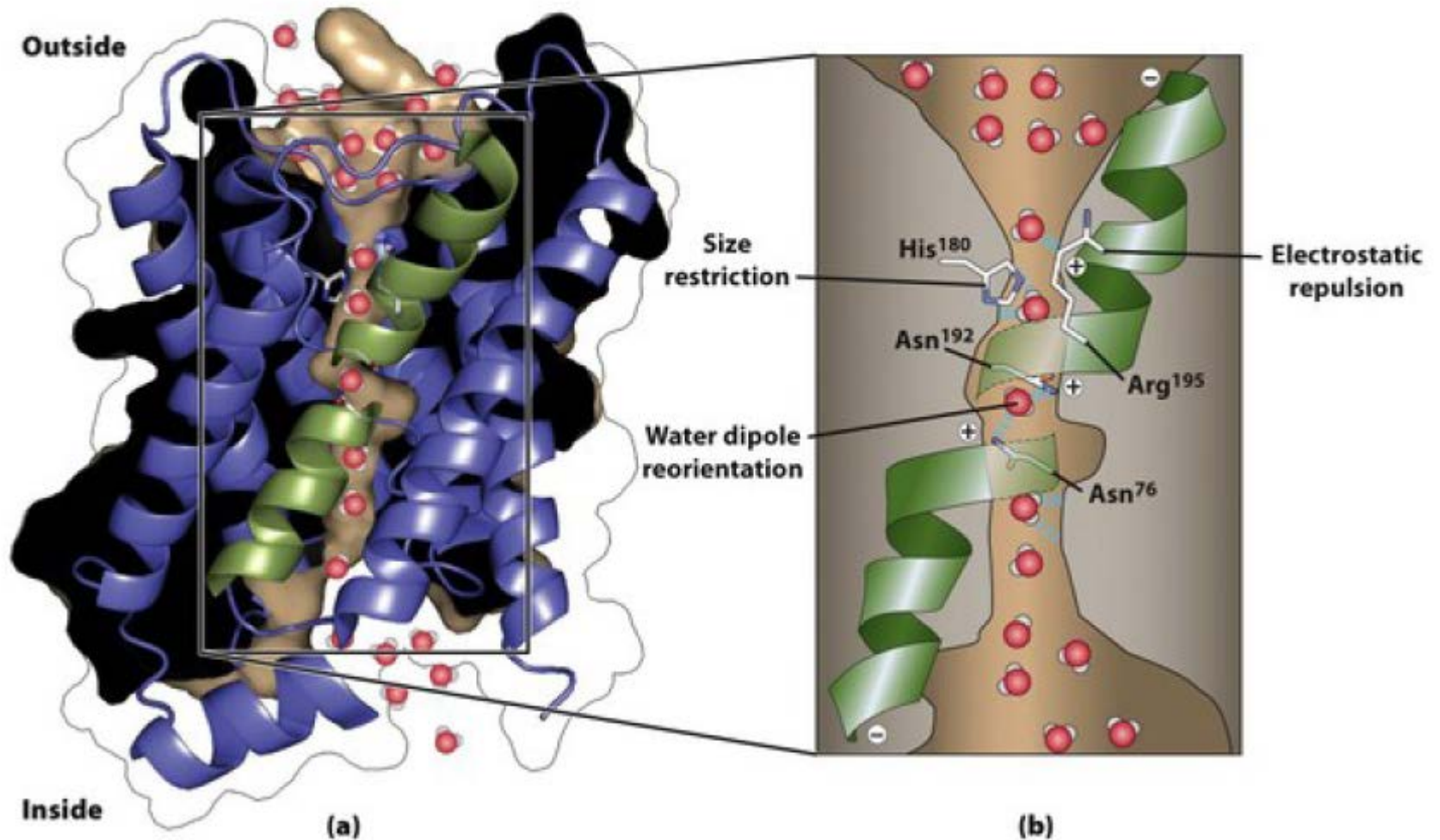
Milijonkrat poveča hitrost prenosa bikarbonatnih ionov, poveča kapaciteto eritrocita za prenašanje CO<sub>2</sub>

Prenos CO<sub>2</sub> iz tkiv v pljuča in ledvica

15-20% s Hb	80-85% kot bikarbonatni pufrski sistem
	In kot raztopljen CO <sub>2</sub>

# KANALČKI

## Prenos vode z akvaporinom

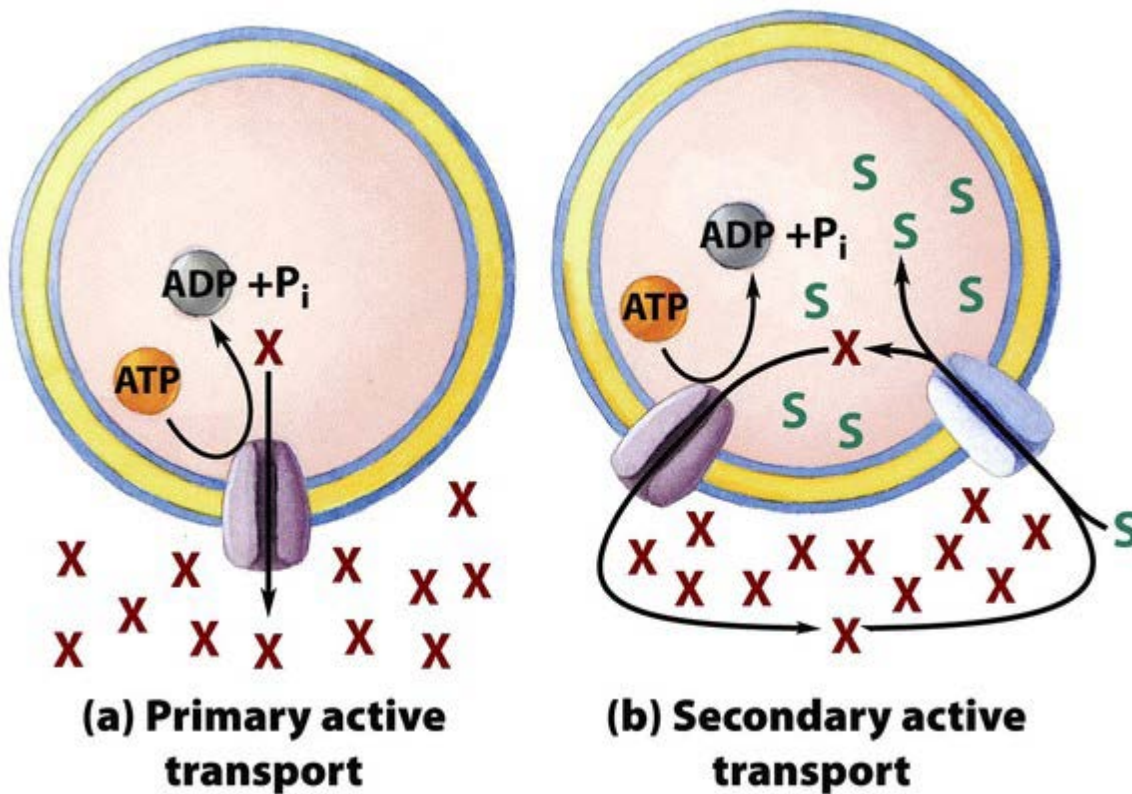


Hitrost prenosa do  $10^9 \text{ s}^{-1}$  kar je več kot hitrost encimsko kataliziranih reakcij.

# Akvaporini pri sesalcih

<b>TABLE 11–5 Permeability Characteristics and Predominant Distribution of Known Mammalian Aquaporins</b>			
<b>Aquaporin</b>	<b>Permeant (permeability)</b>	<b>Tissue distribution</b>	<b>Subcellular distribution*</b>
AQP-0	Water (low)	Lens	Plasma membrane
AQP-1	Water (high)	Erythrocyte, kidney, lung, vascular endothelium, brain, eye	Plasma membrane
AQP-2	Water (high)	Kidney, vas deferens	Apical plasma membrane, intracellular vesicles
AQP-3	Water (high), glycerol (high), urea (moderate)	Kidney, skin, lung, eye, colon	Basolateral plasma membrane
AQP-4	Water (high)	Brain, muscle, kidney, lung, stomach, small intestine	Basolateral plasma membrane
AQP-5	Water (high)	Salivary gland, lacrimal gland, sweat gland, lung, cornea	Apical plasma membrane
AQP-6	Water (low), anions ( $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ )	Kidney	Intracellular vesicles
AQP-7	Water (high), glycerol (high), urea (high), arsenite	Adipose tissue, kidney, testis	Plasma membrane
AQP-8 <sup>†</sup>	Water (high)	Testis, kidney, liver, pancreas, small intestine, colon	Plasma membrane, intracellular vesicles
AQP-9	Water (low), glycerol (high), urea (high), arsenite	Liver, leukocyte, brain, testis	Plasma membrane
AQP-10	Water (low), glycerol (high), urea (high)	Small intestine	Intracellular vesicles

# Aktivni transport topljencev proti koncentracijskemu gradientu



$$\Delta G_t = RT \ln \frac{C_2}{C_1}$$

Če je razlika v koncentraciji 10-kratna, za prenos 1 mola snovi potrebujemo 5,7 kJ

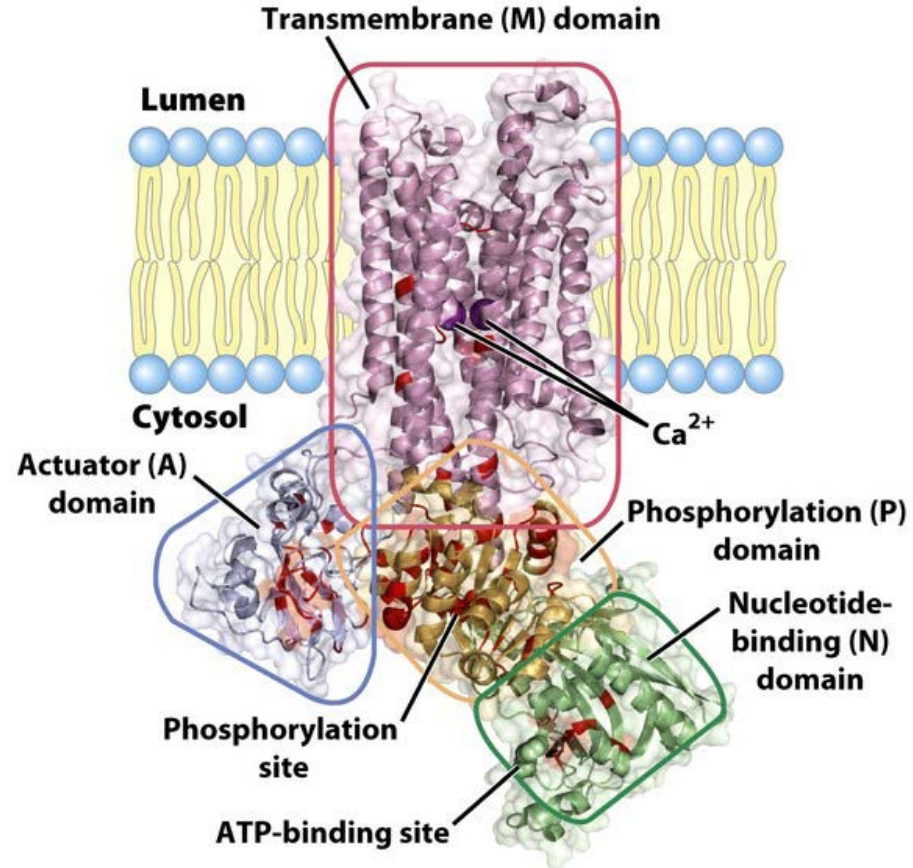
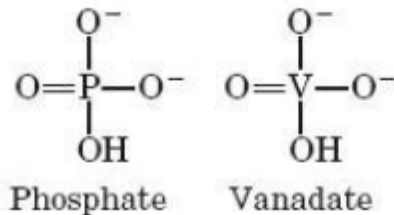
**Primarni:** prenos topljenca je direktno vezan na hidrolizo ATP.

**Sekundarni:** zaradi primarnega aktivnega prenosa je že vzpostavljen gradient X (pogosto natrijevi ioni). X lahko spontano potujejo v smeri elektrokemijskega gradienta.

Gibanje X vzdolž gradienta daje dovolj energije, da se skupaj z njimi PROTI elektrokemijskemu gradientu premikajo ioni S.

## P-vrsta ATPaz – skupina aktivnih prenašalcev

- 70 pri človeku
- imajo Asp ostanek, ki se fosforilira
- Imajo 8 – 10 transmembranskih domen
- Vse inhibira vanadat, analog fosfata
- Ca<sup>+2</sup> črpalka je uniporter
- K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ATP-aza je antiporter
- Črpalka protonov in K<sup>+</sup> v želodcu

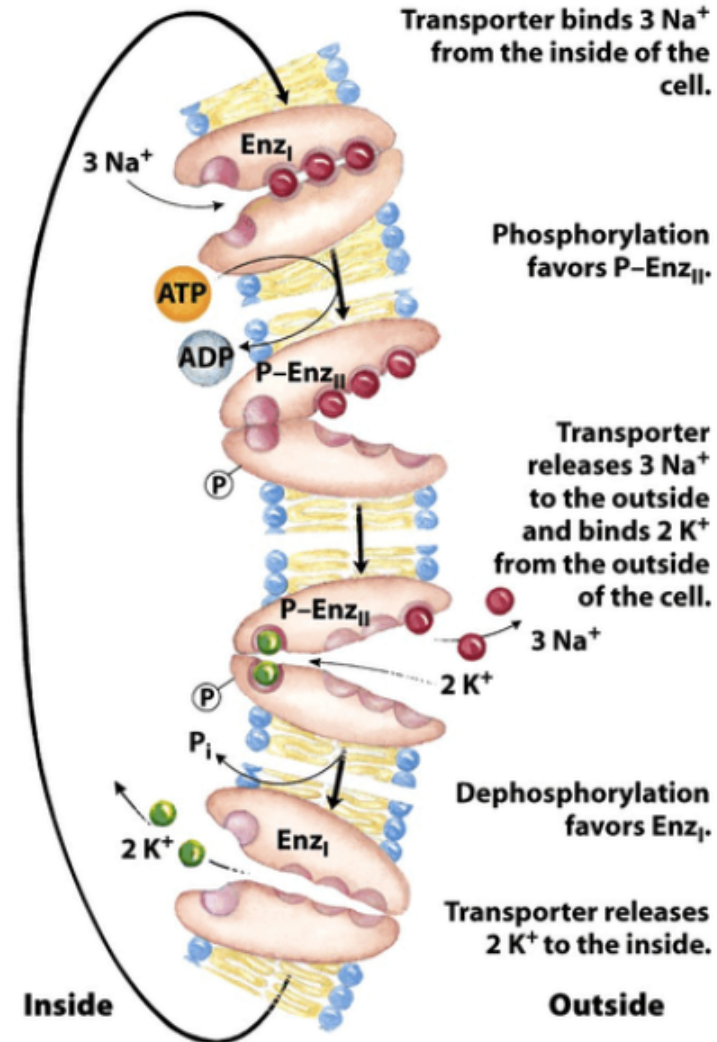
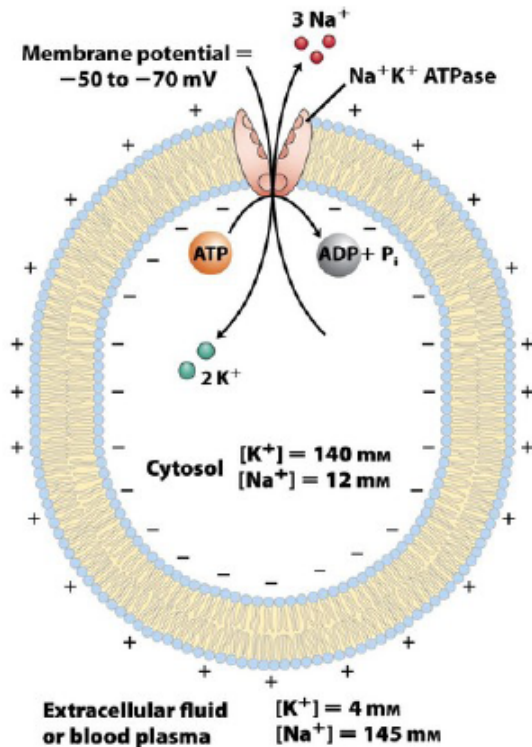


Črpalka kalcijevih ionov sarkoplazemskega retikuluma: SERCA

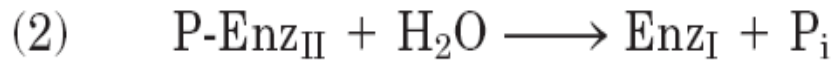
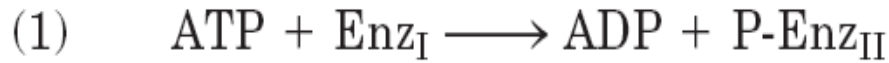
- Vzdržuje nizko koncentracijo kalcija v citoplazmi vseh celic.
- Vzdržuje visoko koncentracijo kalcija v lumnu ER – v miocitu lumen SER
- Sproščanje SER kalcija vzpodbudi krčenje mišic
- Velika konformacijska sprememba ob hidrolizi ATP, kar prenese 2 Ca iona

# $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ATP-aza

- Anti**port obeh kationov proti elektrokemijskemu gradientu
- Vzdržuje znotrajcelično koncentracijo Na in K ionov, vzdržuje membranski potencial
- Potencial vzdolž plazemske membrane je nujen za prenos živčnih impulzov
- Gradient Na ionov pomaga pri sekundarnem aktivnem transportu številnih snovi

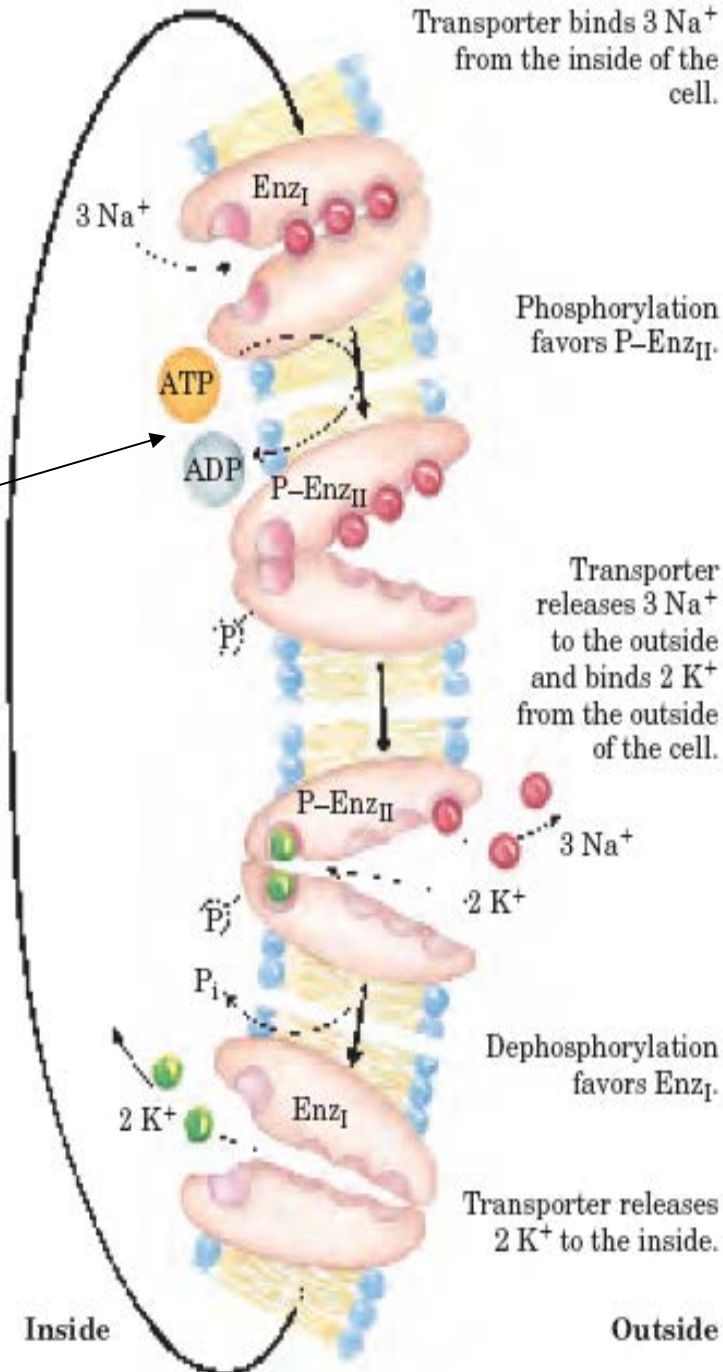


K/Na-ATPaza prenaša 3 Na<sup>+</sup> ven in 2K<sup>+</sup> v celico. Ustvari se transmembranski potencial – 50 do – 70 mV (znotraj negativen), ki se spontano podira, če prenašalec ne dela, zaradi počasne difuzije ionov nazaj (v smeri gradienta)



Energijo zagotavlja hidroliza ATP. Ta reakcija se sklopi s prenašalnim encimom in omogoča njegovo konformacijsko spremembo (Enz<sub>I</sub> je v drugačni konformaciji (3D strukturi) kot P-Enz<sub>II</sub>)

Telo v mirovanju porabi 25 % ali več energije le za vzdrževanje transmembranskega potenciala.



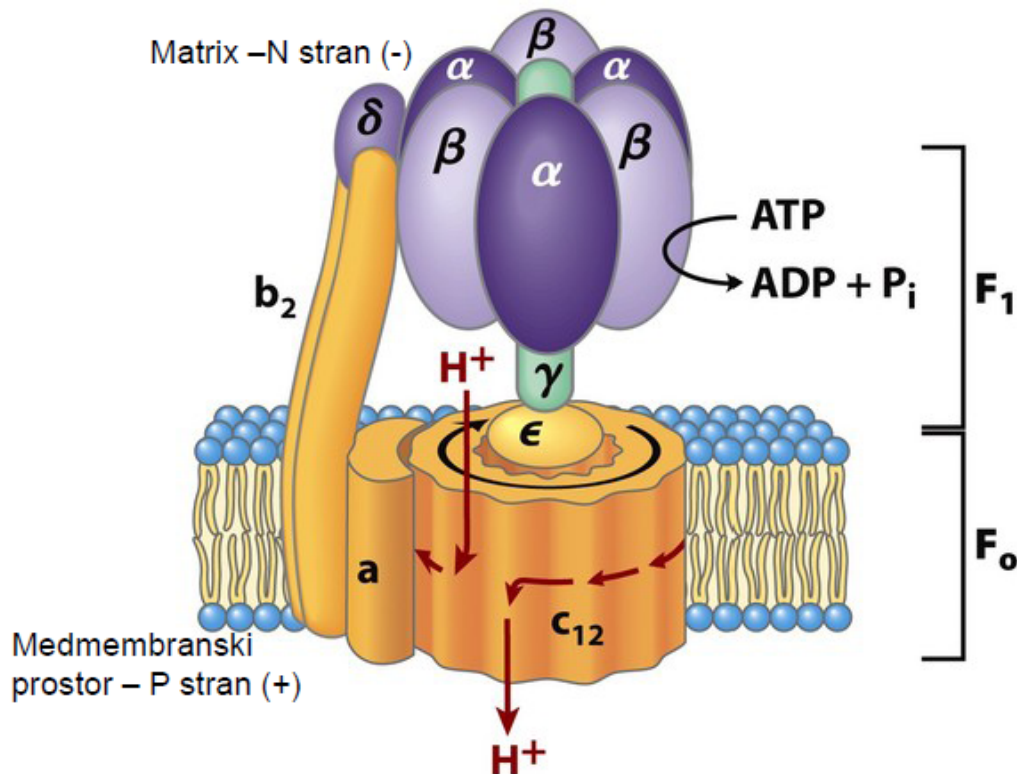
# FoF1 ATPaza/ATP sintaza

-Je reverzibilna, z ATP povezana črpalka

-Črpa protone proti koncentracijskemu gradientu

-Protonski gradient daje dovolj energije da obrne reakcijo – sintetizira se ATP – od tod ime ATP sintaza!

-Sinteza ATP je osnova oksidativne fosforilacije v notranji mitohondrijski membrani. Prenos elektronov v dihalni verigi je sklopljen z oksidativno fosforilacijo – izvor kemično vezane energije ATP po presnovi (katabolizmu)



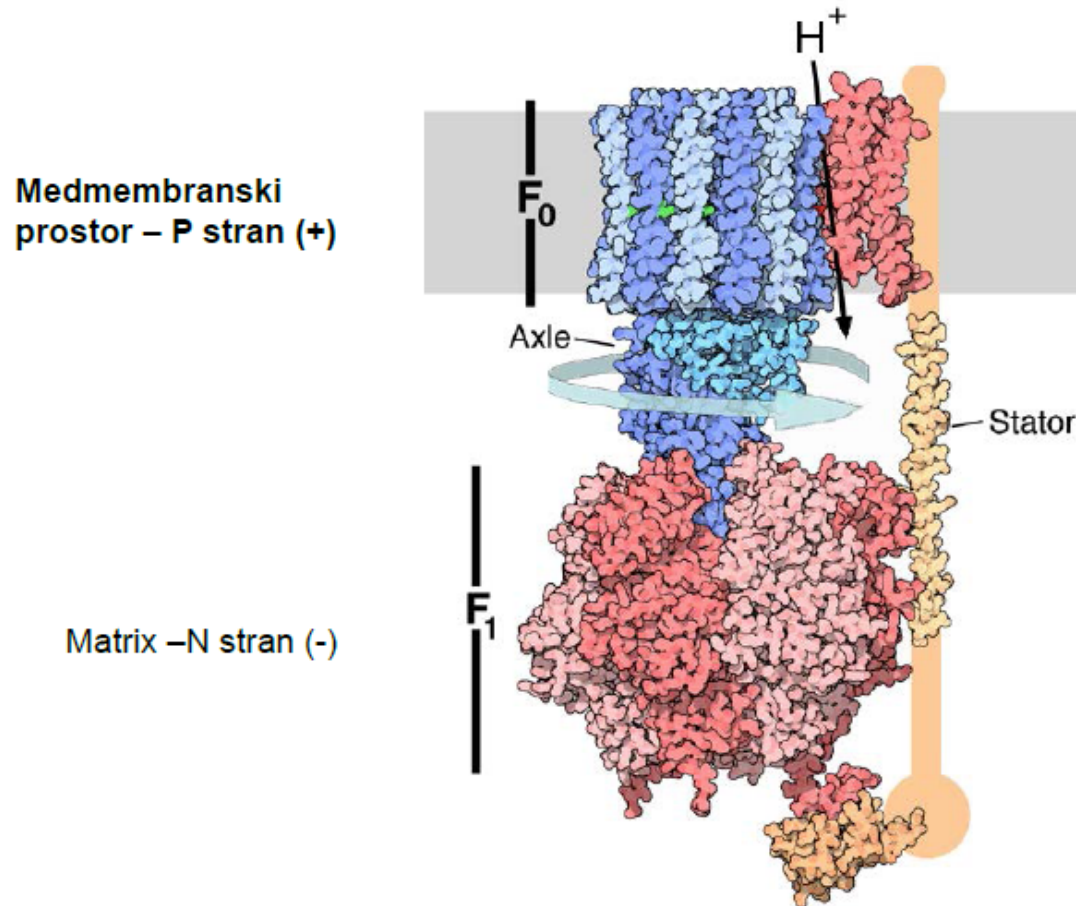
F<sub>o</sub> je transmembranski kanal, skozi katerega se prečrpajo 4 protoni za ceno hidrolize 1 molekule ATP na podenoti F<sub>1</sub>.

F<sub>o</sub> se vrti glede na F<sub>1</sub> v eno ali drugo smer – to odloča o sintezi ali hidrolizi ATP.

# Proces sinteze/hidrolize ATP je na FoF1 ATPazi/ATP sintazi reverzibilen

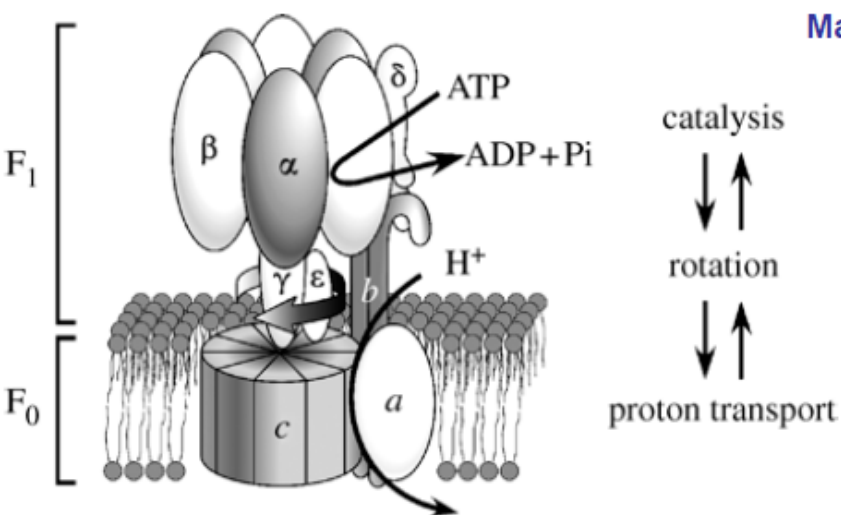
Energija protonskega gradienta se uporablja za sintezo ATP, toda enako verjetno je, da se hidroliza ATP porablja za črpanje protonov proti c gradientu v zunajmitohondrijski prostor (hidroliza 1 ATP zadošča za prenos ~ 4 protonov).

- Če F<sub>0</sub> podenota ni pritrjena na membrano, se dogaja le ATPazna aktivnost, ki je bila prva odkrita aktivnost tega kompleksa.



# Protonska ATP sintaza tipa F je vrtljivi 2-delni nano-motor

Motor  $F_0$  poganjajo “električne” sile. Predstavlja membransko protonsko turbino, ki se povezuje z motorjem  $F_1$  na “kemični” pogon.



Matrix –N stran (-)

catalysis

↓ ↑

rotation

↓ ↑

proton transport

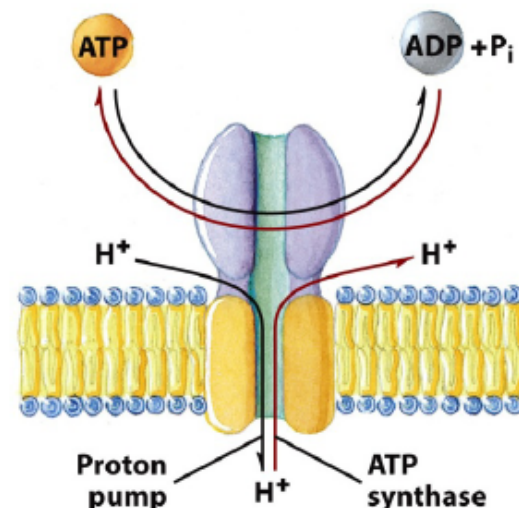


Figure 11-40  
Lehninger Principles of Biochemistry, 7th Edition  
© 2008, W. H. Freeman and Company

Lehninger, 2008

Medmembranski  
prostor – P stran (+)

**Vrtljive protonske in natrijeve ATPaze so reverzibilni molekularni motorji, ki povezujejo prenos ionov čez membrane z ATP sintezo ali ATP hidrolizo.**

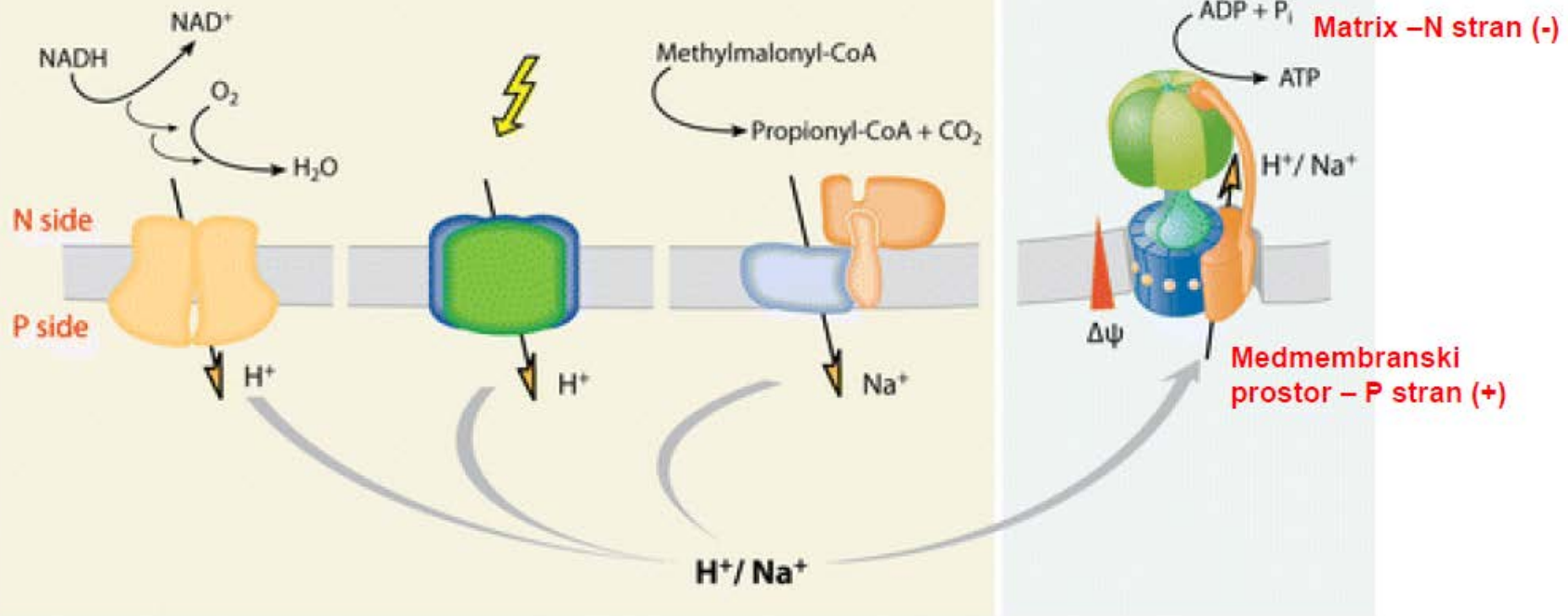
# Protonski gradient omogoča sintezo ATP

Respiration  
in mitochondria  
and many bacteria

Photosynthetic reactions  
in chloroplasts and  
phototrophic bacteria

Decarboxylation  
reactions in some  
anaerobic bacteria

ATP synthesis by F-type  
ATP synthases in almost  
all organisms



# ABC prenašalci uporabljajo ATP za prenos cele vrst molekul

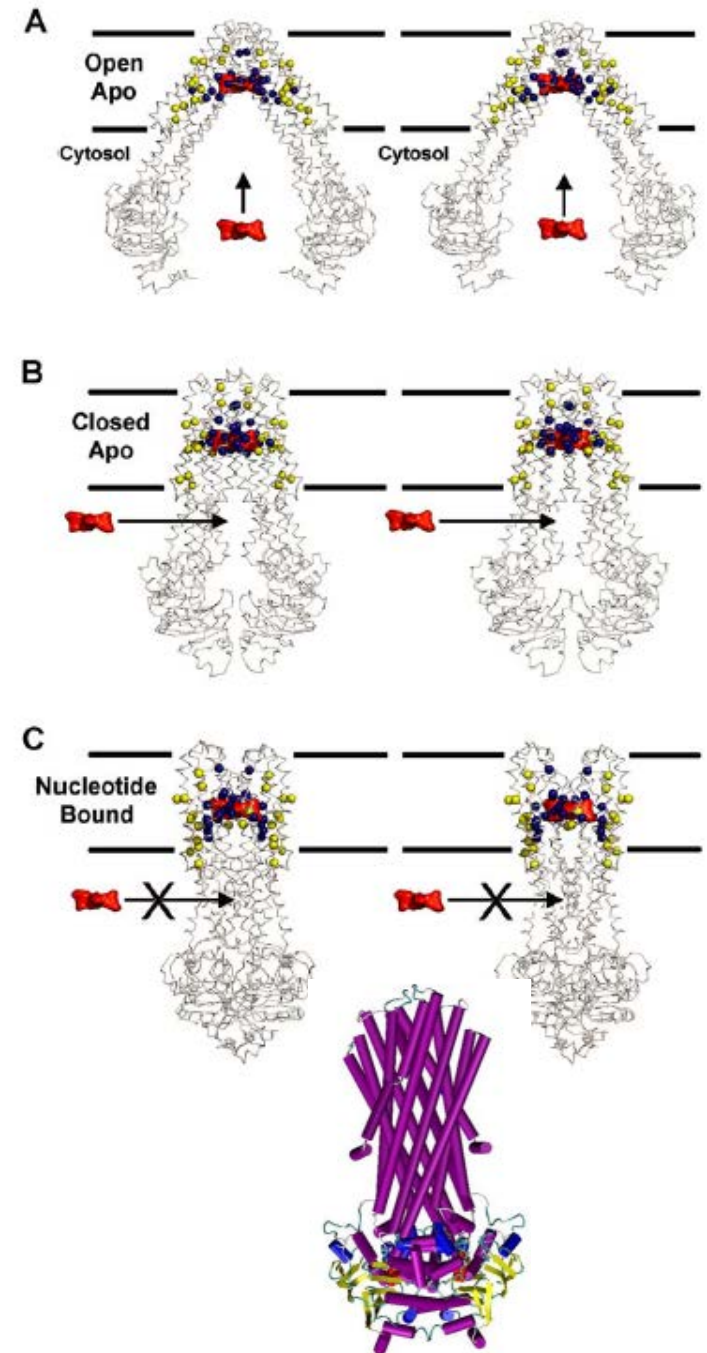
3 skupine: importerji (evkarionti nimajo), eksporterji in taki, ki niso transporterji (popravljanje DNA, RNA).

ABC transporterji (ATP Binding Cassette transporters) – velika družina črpalk, črpajo iz celic: aminokislino, peptide, proteine, kovinske ione, lipide, žolčne kisline, sterole, hidrofobne spojine (polutante, droge, zdravila)

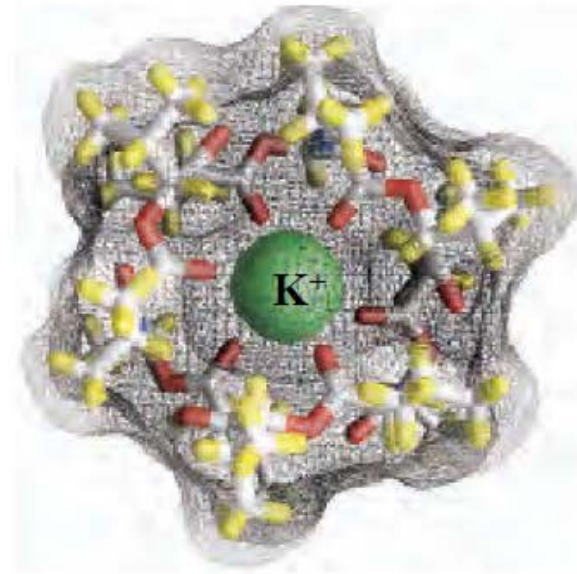
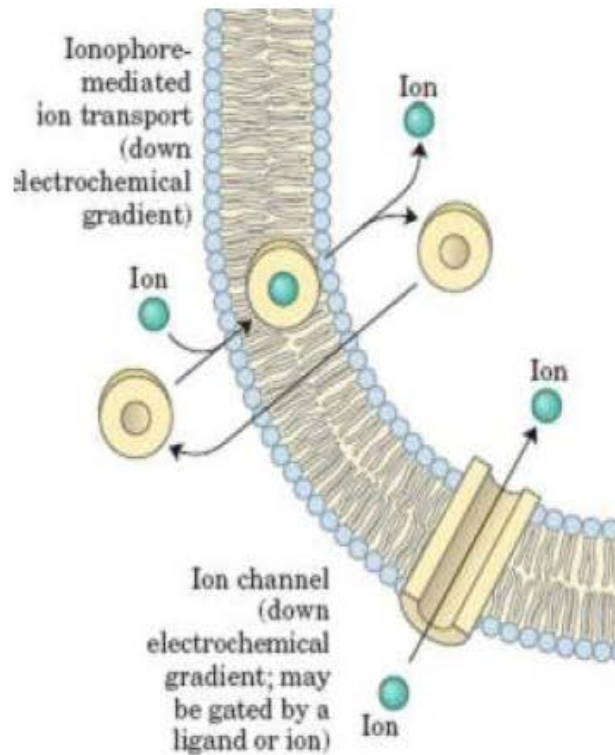
Znane mutacije v genu za ABC transporterje pri človeku – dedne bolezni (anemije, odpoved ledvic, cistična fibroza)

Pri človeku najbolj znan MDR1 (multi drug transporter) odgovoren za rezistenco nekaterih tumorjev na kemoterapevtska zdravila (adriamicin...)

ABC transporterji v bakterijah (*Streptococcus aureus*...) odgovorni za rezistenco bakterij – ciljano iščejo zdravila za inhibicijo bakterijskih ABC transporterjev



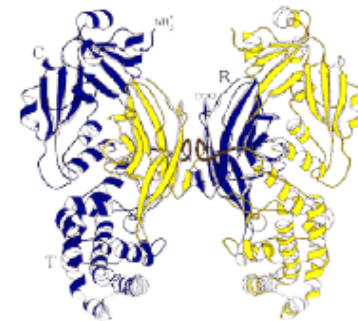
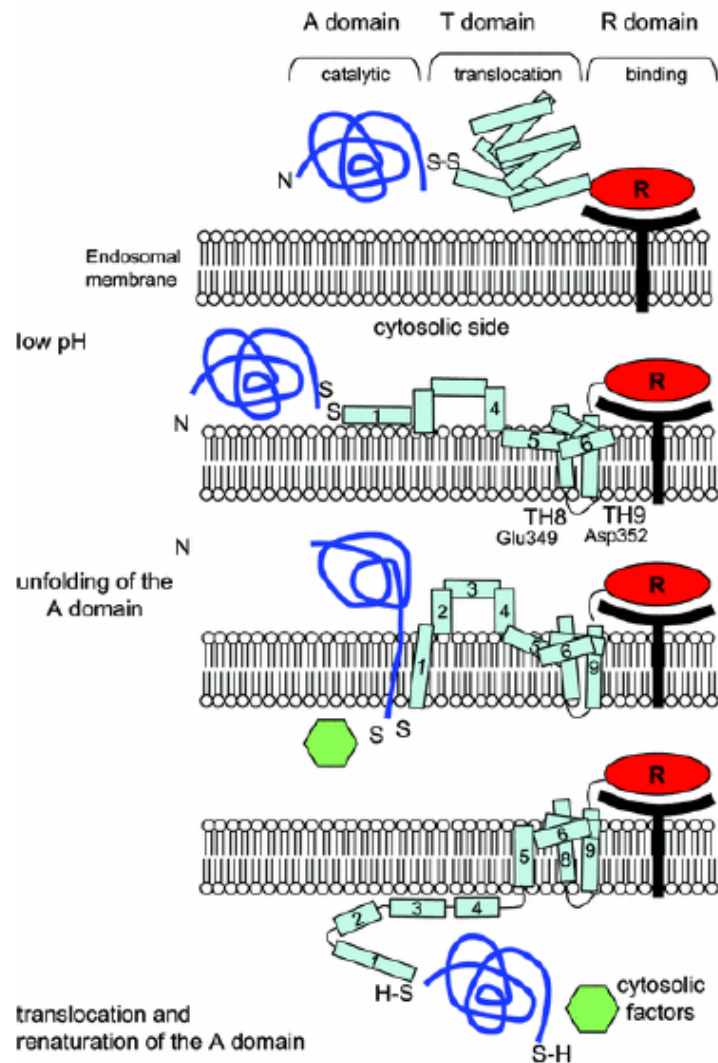
# Ionofori preprečijo aktivni transport, ker porušijo elektrokemijski gradient vzdolž membrane



Ionofor valinomicin je antibiotik. Prenaša kalijeve ione čez bakterijsko membrano in poruši gradient.

# Toksini, ki tovrijo pore – gram pozitivna bakterija *Diphtheria*

Translocation of single chain toxins,  
the case of diphtheria toxin

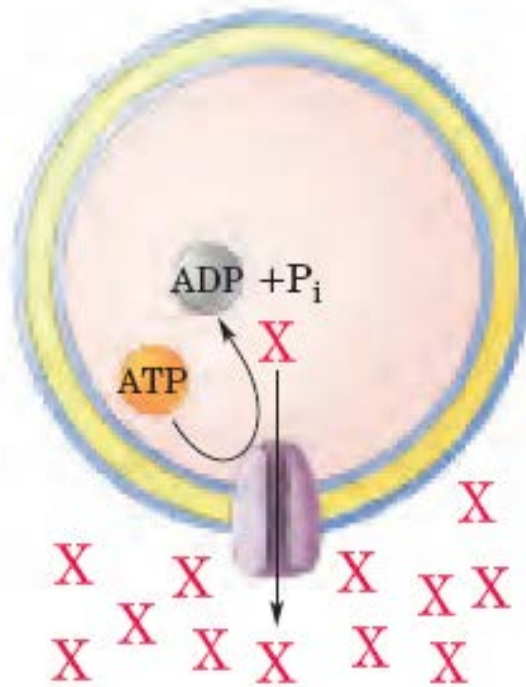


Toksin *Diphtherie* inhibira translacijo

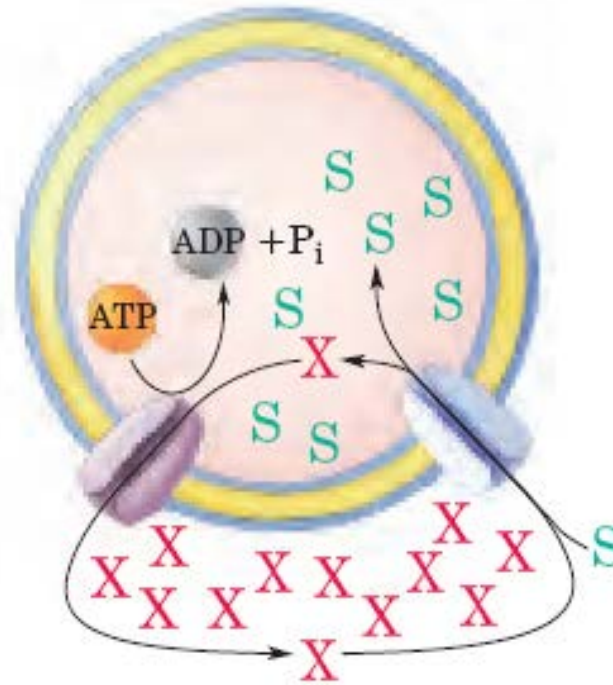


Proteoliza po okužbi  
s toksinom te bakterije

## PRIMARNI IN SEKUNDARNI AKTIVNI TRANSPORT



(a) Primary active transport



(b) Secondary active transport

‘Aktivno’ prenašanje **X** iz celice proti koncentracijskemu gradientu

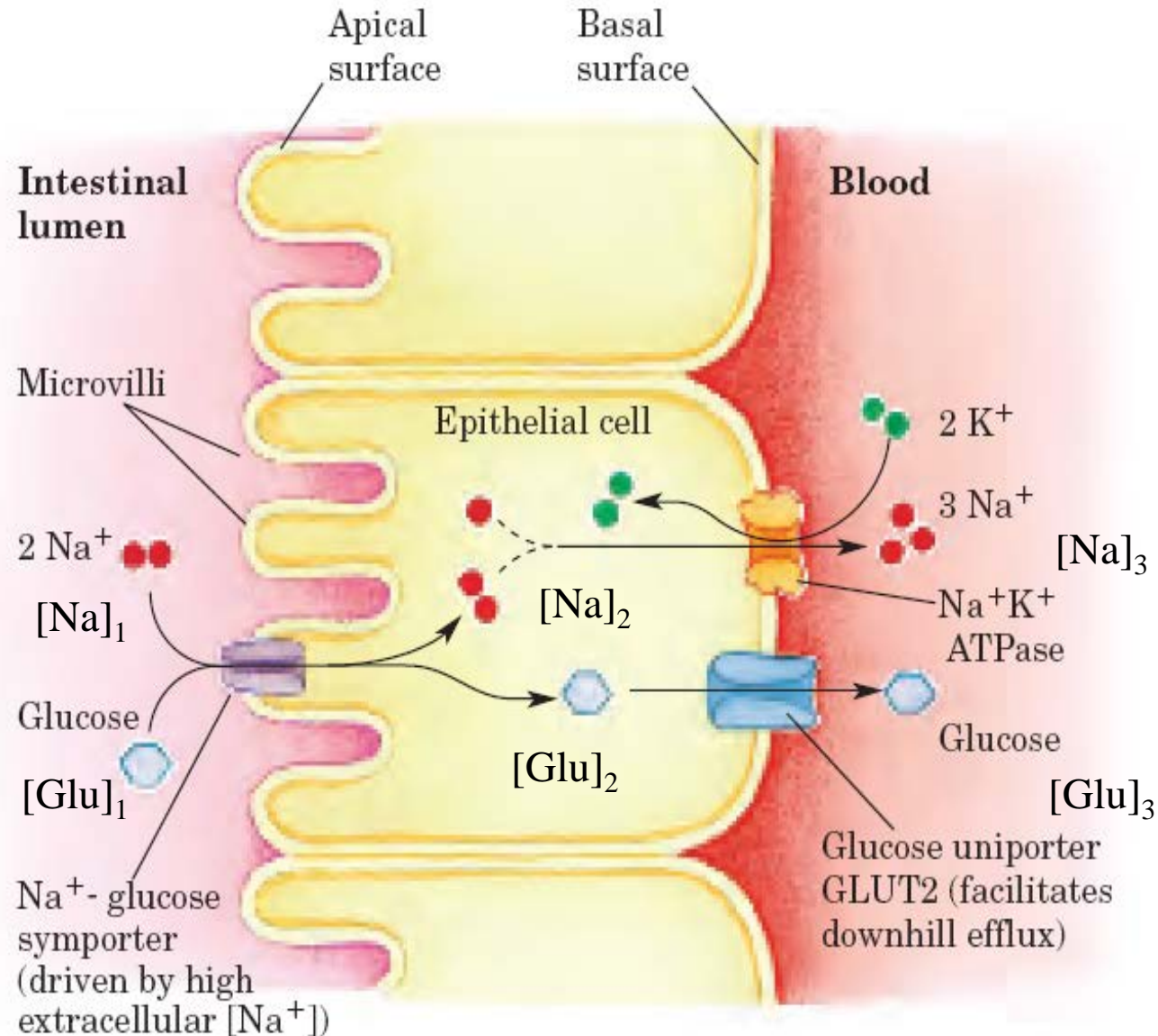
‘Aktivno’ prenašanje **X** iz celice proti koncentracijskemu gradientu in ‘pasivno’ vračanje **X** nazaj v celico skupaj s **S**, ki se tam koncentrira.

# KOTRANSPORT GLUKOZE Z $\text{Na}^+$ IONI

Vir energije za cel proces je ATP

$$[\text{Na}]_1 > [\text{Na}]_2 < [\text{Na}]_3$$

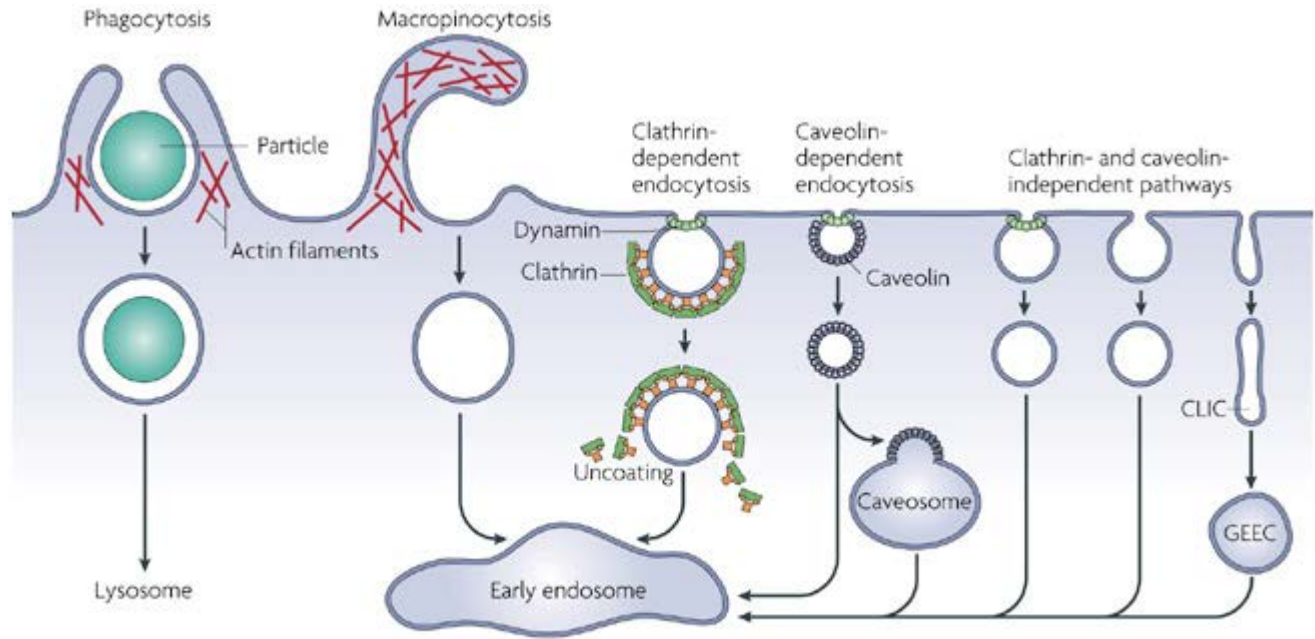
$$[\text{Glu}]_1 < [\text{Glu}]_2 > [\text{Glu}]_3$$



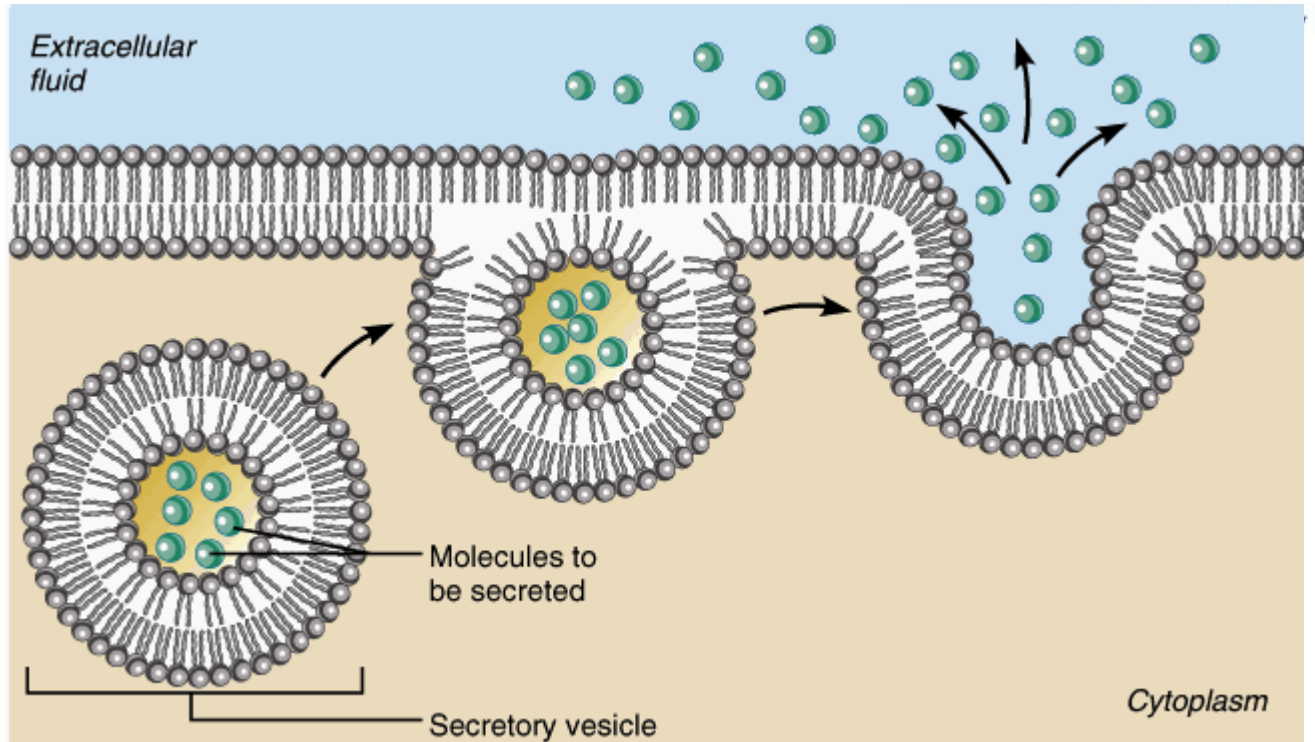
# TRANSPORT VELIKIH MOLEKUL

## ENDOCITOZA

Koncentracijski gradient ni pomemben! Energija se porablja za tvorbo vezikla (ukrivljenje membrane – hidroliza ATP in pomembna vloga proteinov). Prenašajo se velike molekule.



## EKSOCITOZA

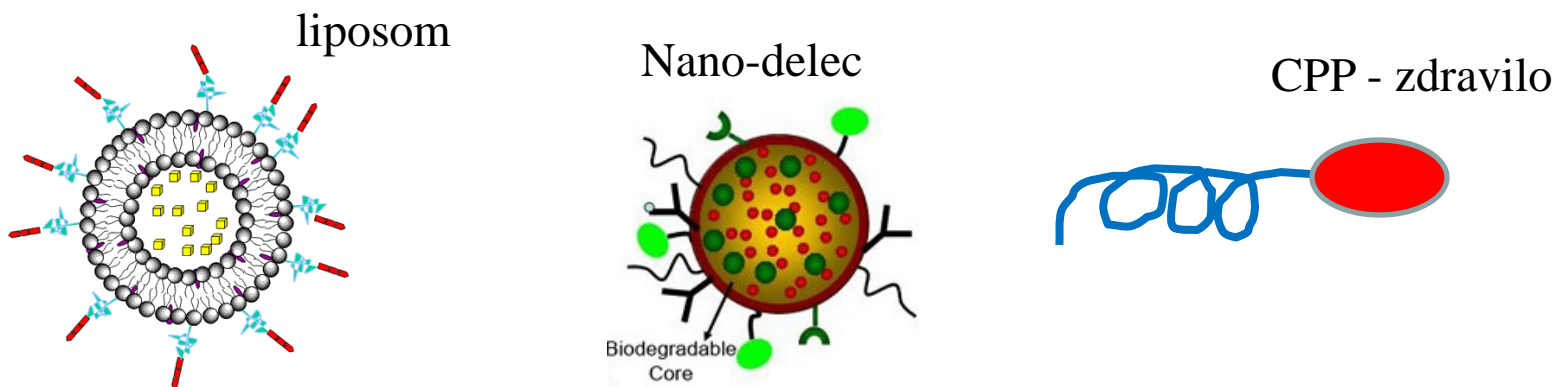


# PRENOS SNOVI PREKO MEMBRANE – MEDICINSKI ASPEKT

dva primera:

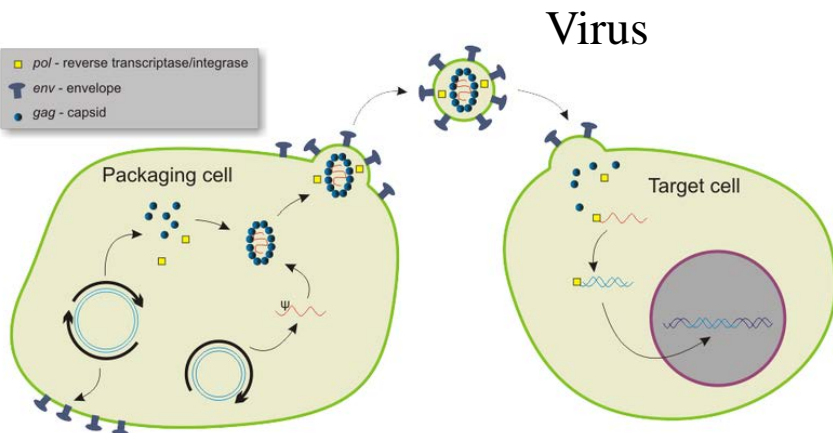
## 1. Prenos zdravilnih učinkovin v celico:

Nekatere učinkovine ne morejo prehajati membrane in jim je potrebno pomagati:

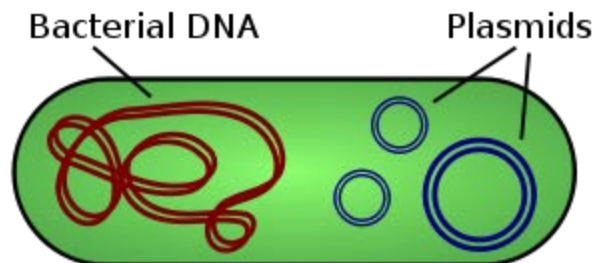


## 2. Prenos DNA in RNA v jedro celice za genske manipulacije:

Endocitotski vstop v celico



Plazmid vstopa čez pore



CPP siRNA

