

LIPIDI, BIOLOŠKE MEMBRANE IN TRANSPORT

Velika predavalnica IJS, 3. 4. 2014

Lipidi - splošno

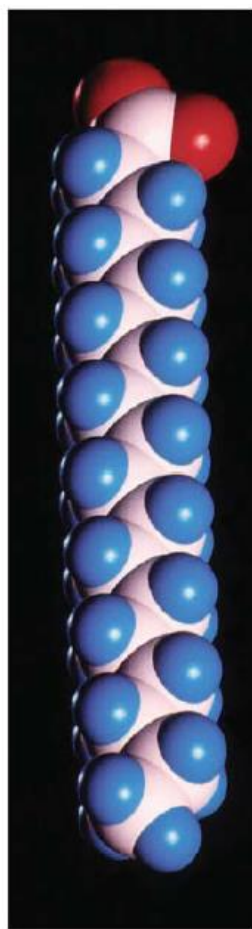
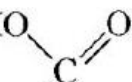
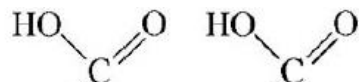
- V to skupino uvrščamo molekule, ki so bolj **topne v nepolarnih topilih** kot v vodi.
- So zelo raznolike molekule; opravljajo zelo raznolike vloge.
- Vsebujejo **C** in **H** ter **O, N, P**.
- Najpogostejše so vezi C–C in C=C ter estrske, fosfoestrske in amidne.
- Vloge lipidov:
 - Imajo pomembno vlogo v **energijskem metabolizmu**.
 - Pri večini organizmov so za shranjevanje energije najpomembnejši nepolarni lipidi – **maščobe**.
 - Polarni lipidi so pomembne sestavine **bioloških membran**.
 - Holesterol je pomemben gradnik **bioloških membran** in prekurzor mnogih **hormonov**.
 - Lipidi so tudi **pigmenti, encimski kofaktorji, hormoni, signalne molekule** in **prenašalci elektronov**.

Maščobne kisline (MK)

- So molekule, ki vsebujejo polarno karboksilno skupino **–COOH** vezano na **nerazvejano alifatsko verigo**.
- MK imajo dvojno naravo: imajo polaren in nepolaren konec → so **amfilne** molekule.

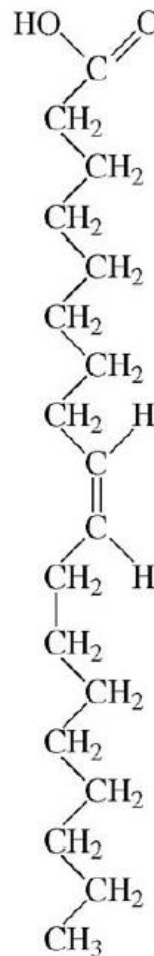
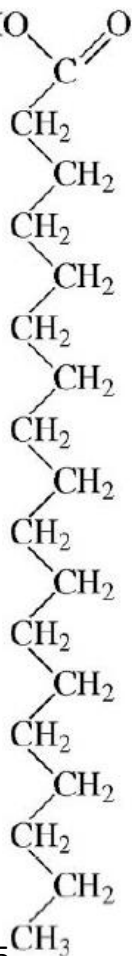
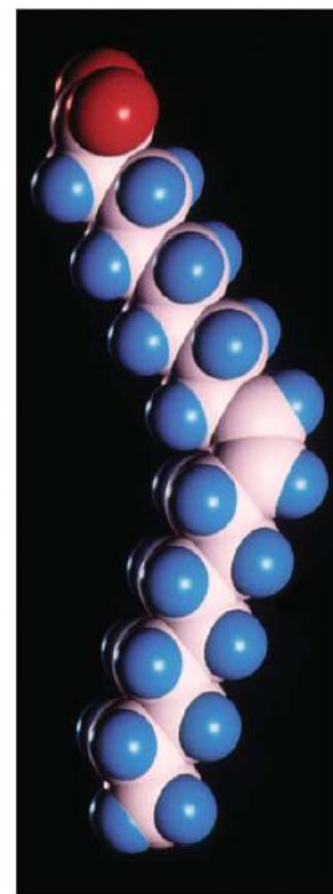
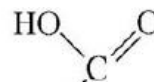
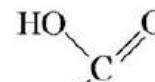
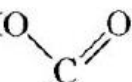
polaren konec

karboksilna skupina



nepolaren konec

ogljikovodikova veriga

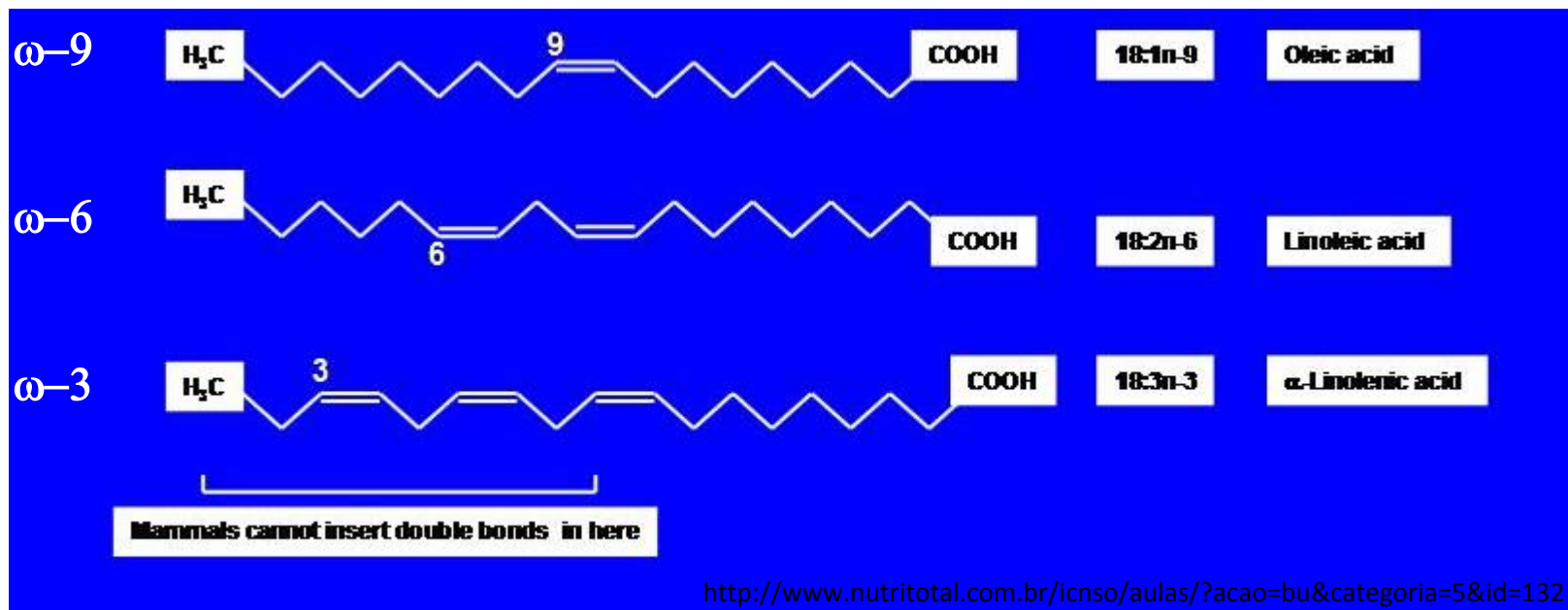


Glavne strukturne značilnosti naravnih maščobnih kislin

1. Večina maščobnih kislin ima sodo število ogljikovih atomov.
2. Ogljikovodikova veriga je praviloma nerazvejana.
3. Večina vezi ogljik-ogljik je enojna, kislina pa lahko vsebuje tudi eno, dve ali več dvojnih vezi.
4. Konfiguracija ob dvojni vezi je skoraj vedno *cis*.
5. Mononenasičene maščobne kisline imajo dvojno vez običajno med ogljikoma 9 in 10.
6. Če je prisotna več kot ena dvojna vez, te niso konjugirane, ampak so ločene z metilensko skupino.

Boyer, Temelji biokemije, Študentska založba, Ljubljana, 2005

- Pri dinenasičenih MK je druga dvojna vez najpogosteje med C 12 in C 13.
- MK z dvema ali več dvojnimi vezmi so **polinenasičene**.



Najpogostejše naravne MK

- Število C-atomov je od 4 (surovo maslo) do 36 (MK v možganih); najpogosteje 16 in 18 C-atomov.

št. ogljikov ^a	trivialno ime	sistematsko ime	okrajšan simbol ^b	struktura ^c
12	lavrinska kislina	<i>n</i> -dodekanojska kislina	12:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH
14	miristinska kislina	<i>n</i> -tetradekanojska kislina	14:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH
16	palmitinska kislina	<i>n</i> -heksadekanojska kislina	16:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH
16	palmitoleinska kislina	<i>n</i> -heksadecenojska kislina	16:1 ^{Δ9}	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
18	stearinska kislina	<i>n</i> -oktadekanojska kislina	18:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH
18	oleinska kislina	<i>n</i> -oktadecenojska kislina	18:1 ^{Δ9}	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
18	linolna kislina	9,12-oktadekadienojska kislina	18:2 ^{Δ9,12}	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
18	linolenska kislina	9,12,15-oktadekatrienojska kislina	18:3 ^{Δ9,12,15}	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
20	arahidonska kislina	5,8,11,14-eikozanotetraenojska kislina	20:4 ^{Δ5,8,11,14}	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₃ COOH
20	EPA	5,8,11,14,17-eikozanopentaenojska kislina	20:5 ^{Δ5,8,11,14,17}	
22	DHA	dokozaheksaenojska kislina	22:6 ^{Δ4,7,10,13,16,19}	

^a Vse imajo sodo število ogljikov.

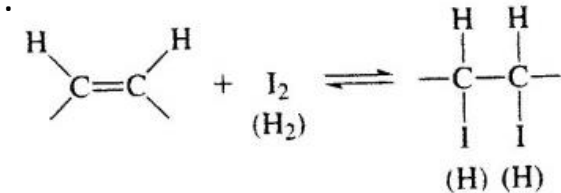
^b Označuje številko ogljikovega atoma in položaj dvojne vezi.

^c Vse dvojne vezi so *cis*.

Fizikalne in kemijske lastnosti MK

- **Fizikalne lastnosti** lahko napovemo iz poznavanja strukture:
 - Dobro topne v organskih topilih (alkoholi, heksan in dietileter).
 - Slabo topne v vodi; topnost pada z dolžino verige.
 - Nasičene MK z ≥ 10 C-atomi so pri sobni T **podobne voskom**.
 - Vse nasičene MK z < 10 -C atomi in vse nenasičene MK so pri sobni T **oljnate tekočine**.

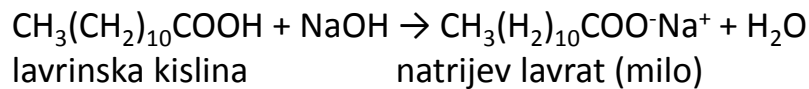
- **Reaktivnost** ogljikovodikove verige MK je odvisna od stopnje nasičenosti:
 - Nasičene MK so precej nereaktivne.
 - Nenasičene MK imajo reaktivnost značilno za molekule z dvojnimi vezmi med C-atomi.
 - Za določanje št. dvojnih vezi v MK uporabimo reakcijo adicije joda.



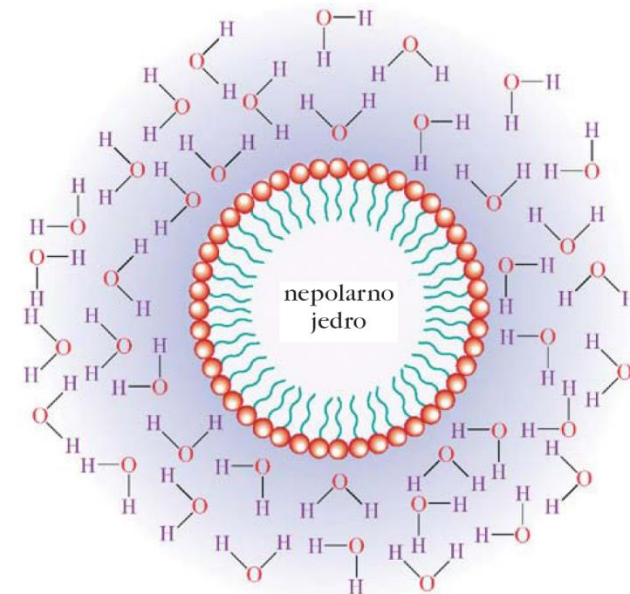
- Za proizvodnjo trdnih maščob iz olj (npt. margarine) uporabljamo proces **hidrogeniranja**.
- Dvojno vez lahko napade tudi kisik – proces **avtooksidacije** (nastanejo kompleksni produkti rumene barve in neprijetnega vonja).

Fizikalne in kemijske lastnosti MK

- Fizikalne lastnosti lahko napovemo iz poznavanja strukture:
 - MK z daljšimi verigami so topne v razredčenih vodnih raztopinah NaOH in KOH, saj nastanejo Na^+ in K^+ soli kislin ali **mila**:



- Amfifilne molekule se v vodi združujejo v nadmolekulske strukture – **micele**.



micel natrijevega stearata

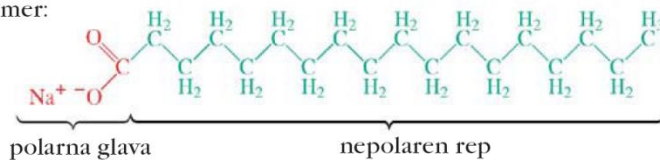
- V fizioloških razmerah so MK v **disociirani obliki** (pKa med 4 in 5).
- Imena** soli MK imajo končnico **-at** (miristat, oleat).

legenda: polarna glava



nepolaren rep

primer:

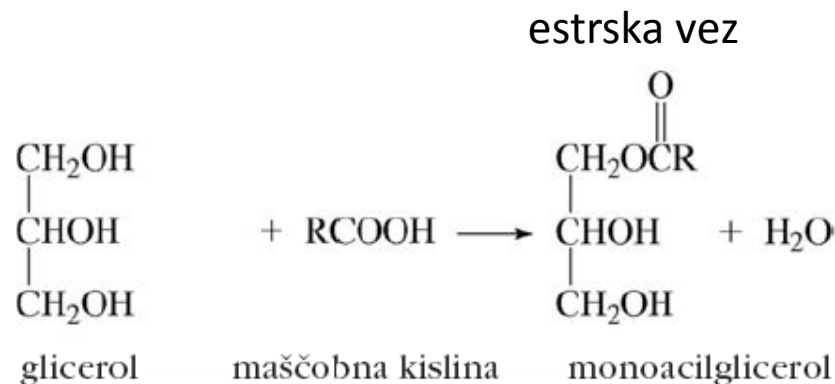


amfifilna spojina

Triacilgliceroli (TG)

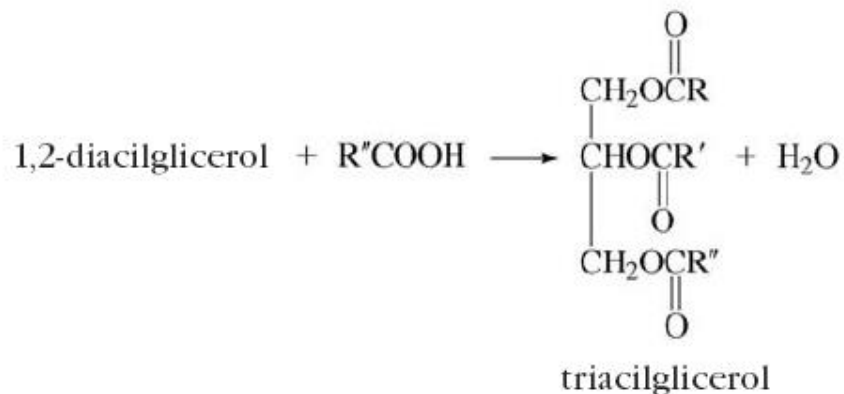
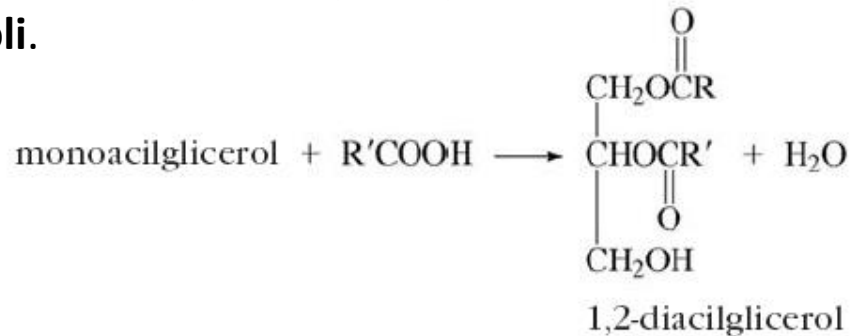
- MK v obliki **triacilglicerolov** shranjujemo v maščobnih celicah.
- Ko potrebujemo energijo se z MK z **encimsko-katalizirano hidrolizo** sprostijo TG.
- MK se v krvi vežejo na **serumske albumine**.
- MK se v srčni in skeletni mišici oksidirajo do CO_2 in H_2O pri čemer se sprosti veliko energije.
- Pri popolni oksidaciji 1 g MK se sprosti dvakrat toliko energije kot pri popolni oksidaciji 1 g ogljikovih hidratov.

- TG so **nepolarne, hidrofobne** molekule.
- Zgraba TG: **glicerol + MK**



Triacilgliceroli (TG)

- Proces dodajanja MK poteče postopoma. Nastanejo **monoacilgliceroli** in **diacilgliceroli**.



- **Enostavni TG** so v naravi redki – imajo 3 enake MK.
- Pogostejši so **mešani TG** z dvema ali tremi različnimi MK.

Triacilgliceroli (TG)

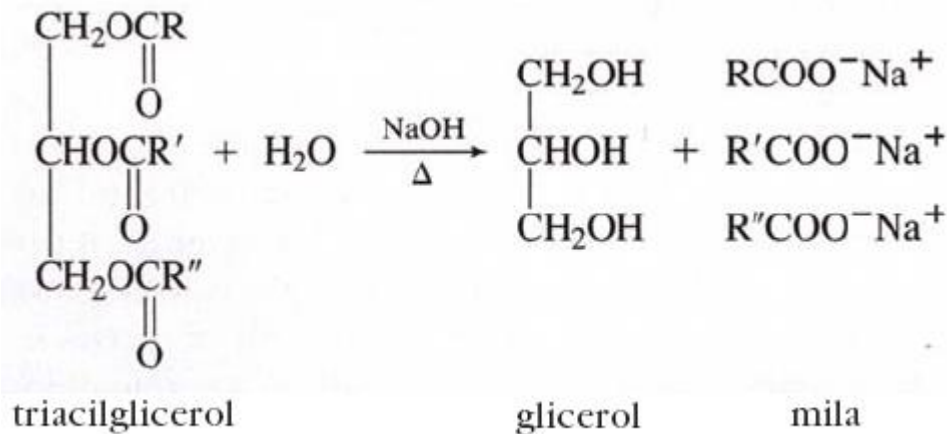
- TG izoliramo iz rastlinskega in živalskega tkiva z uporabo organskih topil (npr. kloroform-metanol, heksan-izopropanol).
- TG iz živalskega tkiva so **maščobe**; pri sobni T so trdne, vsebujejo pretežno nasičene MK.
- TG iz semen so **olja**; vsebujejo pretežno nenasičene MK. Olja so bistra, brezbarvna in skoraj brez vonja.

izvor	maščobne kisline ³				
	nasičene				nenasičene
	C ₄ -C ₁₄	C ₁₄	C ₁₆	C ₁₈	C ₁₈ +C ₁₈
repično olje	-	-	5	1	94
oljčno olje	2	2	13	3	80
maslo	10	11	29	10	40
loj	2	2	29	21	46
kokosovo olje	60	18	11	2	8
koruzno olje	-	2	10	3	85
palmovo olje	-	2	40	6	52
olje muškatalega oreška	7	90	3	-	-

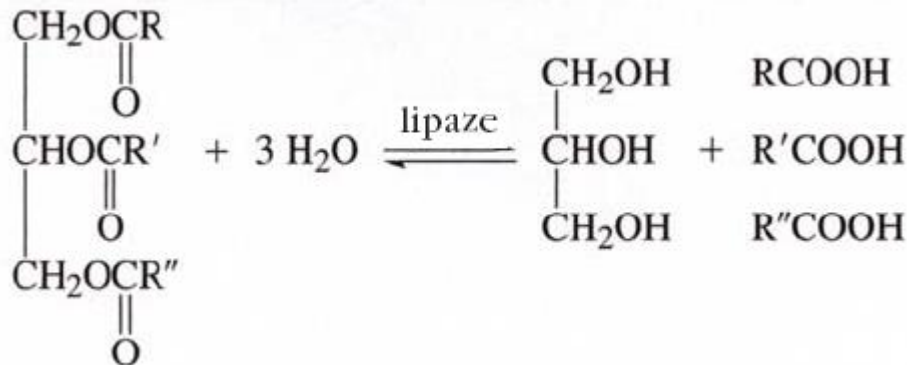
³ Številke predstavljajo odstotek posamezne maščobne kisline.

Triacilgliceroli (TG)

- TG imajo dve vrsti reaktivnih mest: **estrške vezi** in **dvojne vezi**.
- V procesu **umiljenja (saponifikacija)** estrske vezi razpadejo pri hidrolizi, ki jo katalizira NaOH in nastanejo mila.

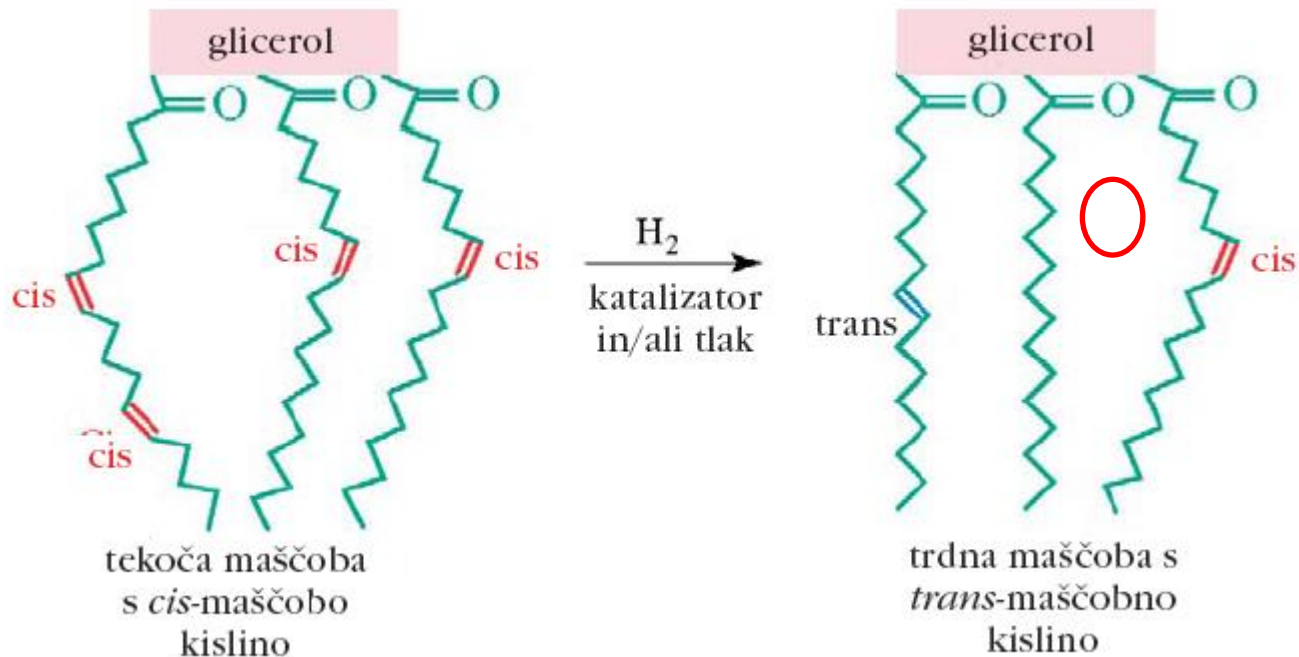


- Hidrolizo TG katalizirajo **lipaze**, ki so v prebavilih in maščobnih celicah (adipocitih), kjer sproščajo MK za potrebe energijskega metabolizma.



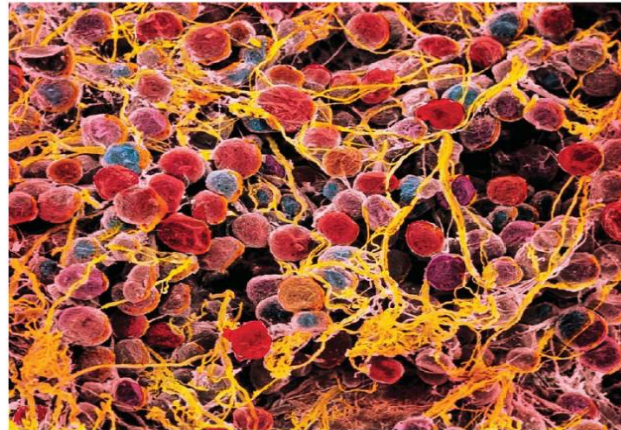
Triacilgliceroli (TG)

- S halogenom ali kisikom lahko reagirajo tudi dvojne vezi v nenasičenih MK.
- Margarino pripravimo z delnim **hidrogeniranjem** tekočih rastlinskih olj → nekatere dvojne vezi se tako pretvorijo v enojne, olje pa v mazavo trdno snov.
- Hidrogeniranje pogosto vodi v nastanek *trans* oblike → **trans MK** lahko povzročajo povišanje koncentracije holesterola v krvi.
- Hidrogeniranje rastlinskih olj:

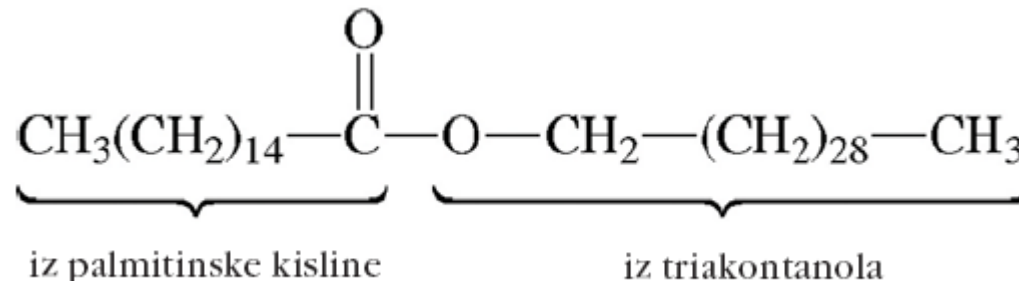


Biološka vloga triacilglicerolov

- So **vir energije** in **toplotna izolacija** organizmov.
- V obliki oljnih kapljic so shranjeni v citosolu rastlinskih in živalskih celic.
- **Adipociti** so živalske celice, specializirane za shranjevanje maščob.
- Encimi **lipaze** sproščajo MK iz TG.

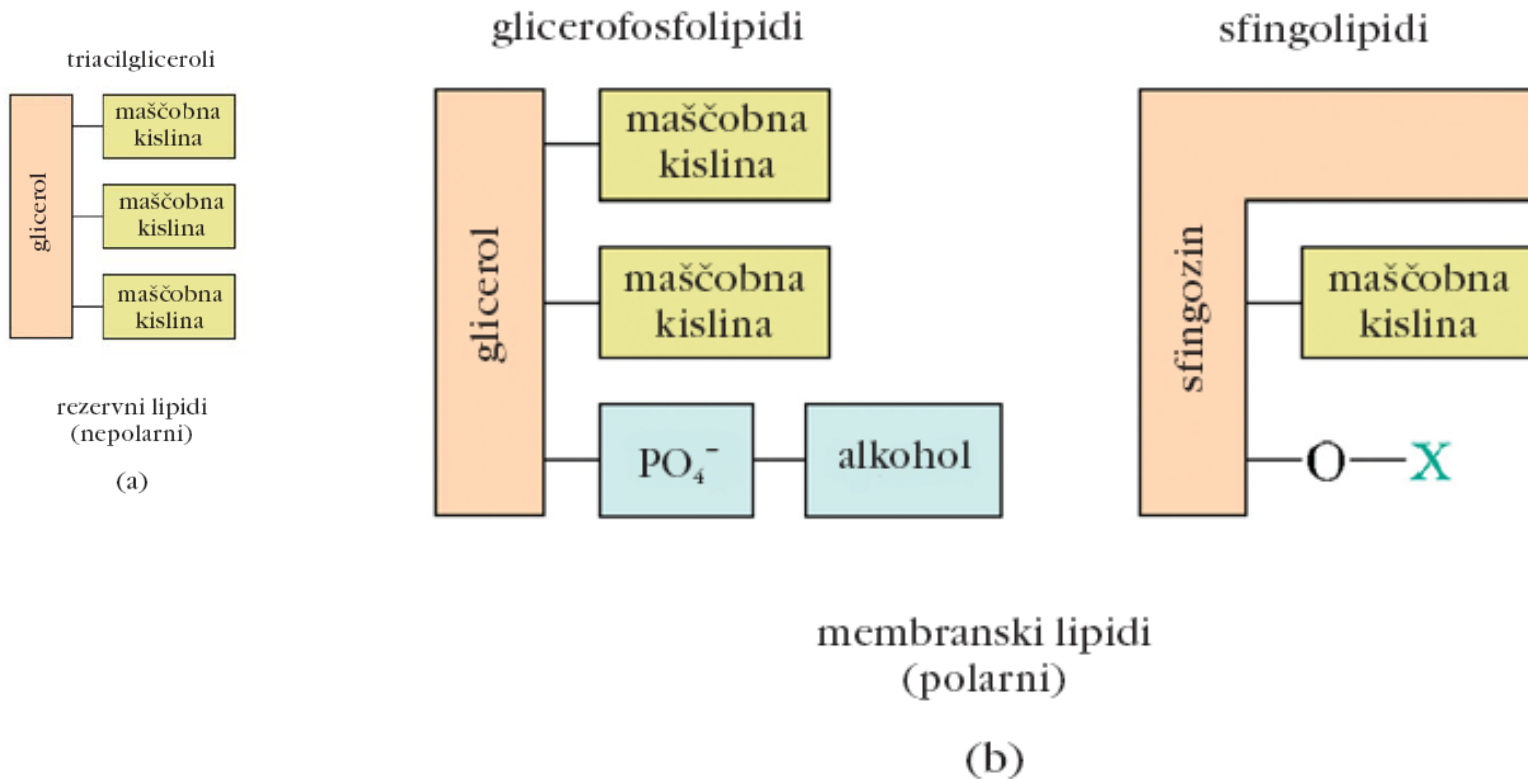


- TG so v kemijskem smislu podobni nepolarni lipidi – **voski**; služijo kot zaščitna prevleka rastlinskih listov, za oljenje kože, vodo odbijajoča snov na perju vodnih pritic.
- Čebelji vosek:



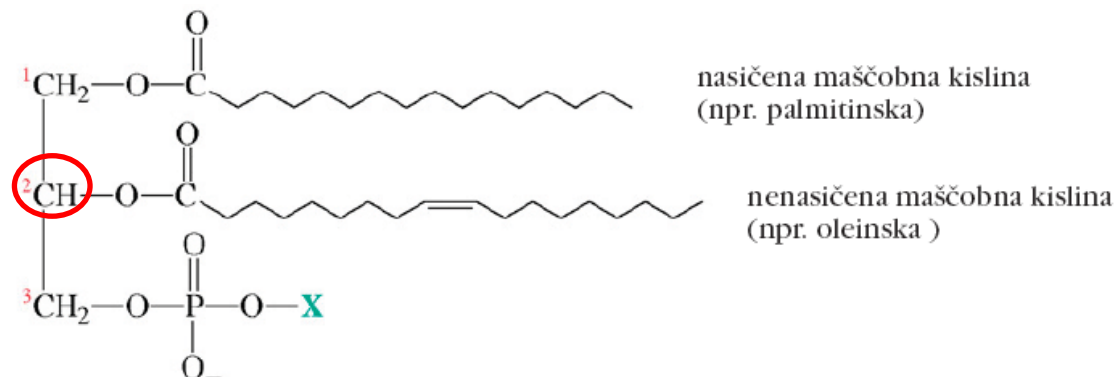
Polarni lipidi

- Po kemijski strukturi so podobni TG.
- Se ne uskladiščijo kot TG.
- Biološka vloga: **gradniki bioloških membran.**
- Poznamo dve skupini: **glicerofosfolipide (fosfogliceride)** in **sfingolipide.**
- Strukturna značilnost: **polarna glava** in **nepolaren rep.**



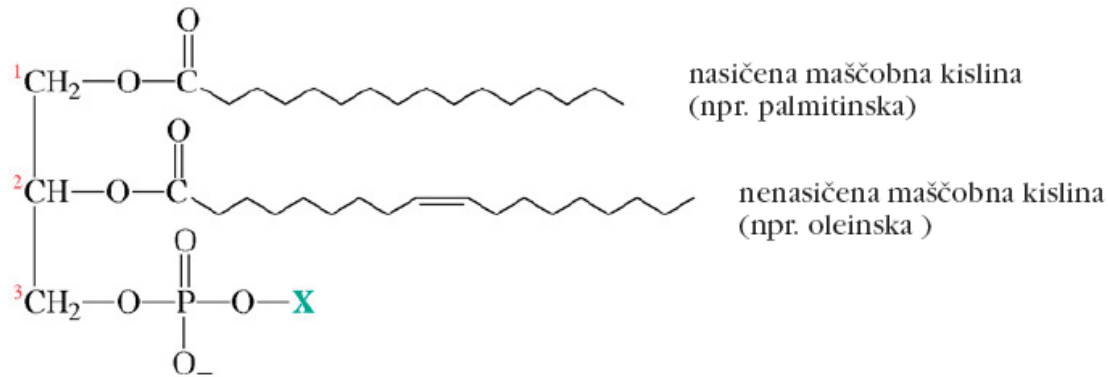
Polarni lipidi – glicerofosfolipidi

- Izhodna molekula je **1,2-diacilglicerol-3-fosfat** ali **fosfatidna kislina**.



- Na glicerol se vežejo MK, ki so večinoma
 - s 16 in 18 C atomi,
 - lahko nasičene ali nenasičene,
 - nasičene MK prevladujejo na 1. mestu,
 - nenasičene MK prevladujejo na 2. mestu,
 - tretja –OH je zaestrena s fosforjevo (V) kislino,
 - fosforjeva (V) kislina je triprotična kislina, kar vodi v nastanek mono-, di- ali triestrov,
 - fosforjeva (V) kislina je zaestrena še z enim alkoholom.

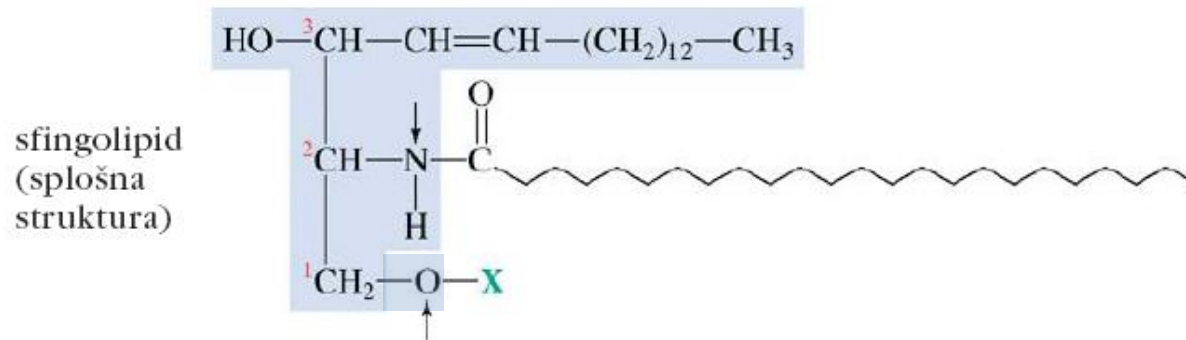
- Aminske ali druge funkcionalne skupine alkoholov so pri fiziološkem pH ionizirane.
- Vsi glicerofosfolipidi, z izjemo fosfatidiletanolamina in fosfatidilholina, imajo pri fiziološkem pH neto negativni naboj.



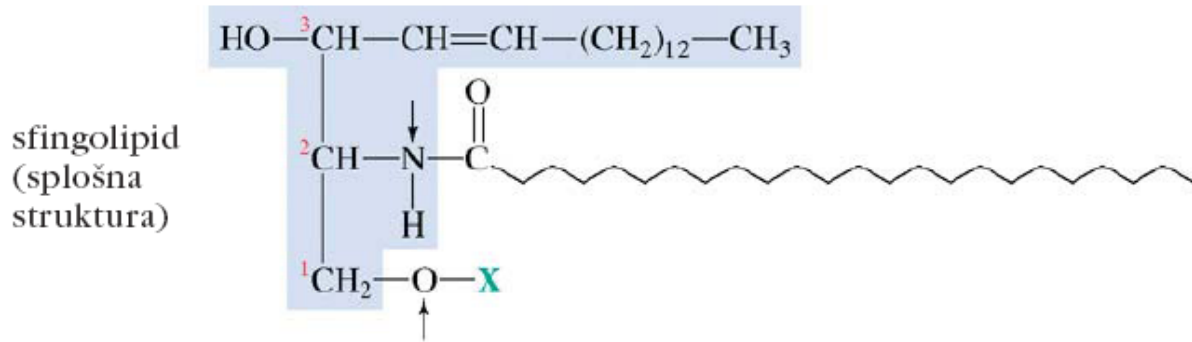
X	struktura X	ime glicerofosfolipida
(a) vodik	—H	fosfatidna kislina
(b) etanolamin	—CH ₂ —CH ₂ —NH ₃ ⁺	fosfatidiletanolamin
(c) holin	—CH ₂ —CH ₂ —N ⁺ (CH ₃) ₃	fosfatidilholin
(d) serin	—CH ₂ —CH(NH ₃ ⁺)—COO ⁻	fosfatidilserin
(e) inozitol		fosfatidilinozitol

Polarni lipidi – sfingolipidi

- Glicerol je zamenjan z molekulo aminoalkohola **sfingozina**.



- Sfingozin:
 - 18 C atomov,
 - dve funkcionalni skupini: aminska in hidroksilna
- Sfingolipidi so: **ceramidi**, **sfingomielini** in **glikosfingolipidi**.
 - Ceramidi: aminska skupina na C2 se z amidno vezjo poveže z MK.
 - Sfingomielini: aminska skupina na C2 se z amidno vezjo poveže z MK in hidroksilna skupina sfingozina se zaestri s fosfoholinsko enoto.
 - Glikosfingolipidi: aminska skupina na C2 se z amidno vezjo poveže z MK in monosaharidi z glikozidno vezjo na C1 –OH skupino sfingozina. Ogljikovi hidrati so običajno glukoza, galaktoza in N-acetilgalaktozamin ali pa kompleksni sladkorji.

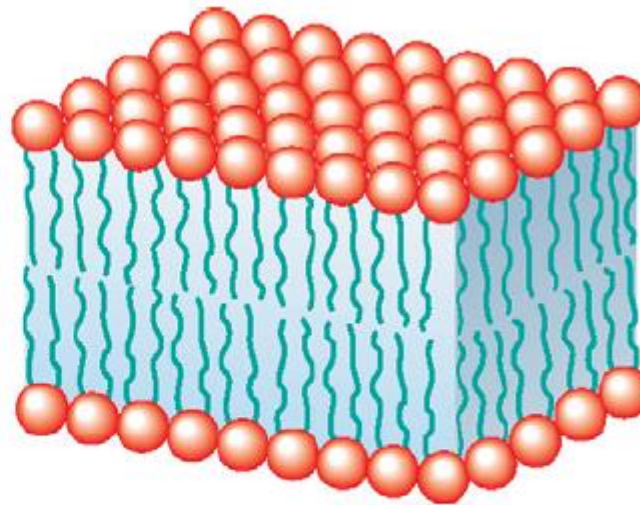
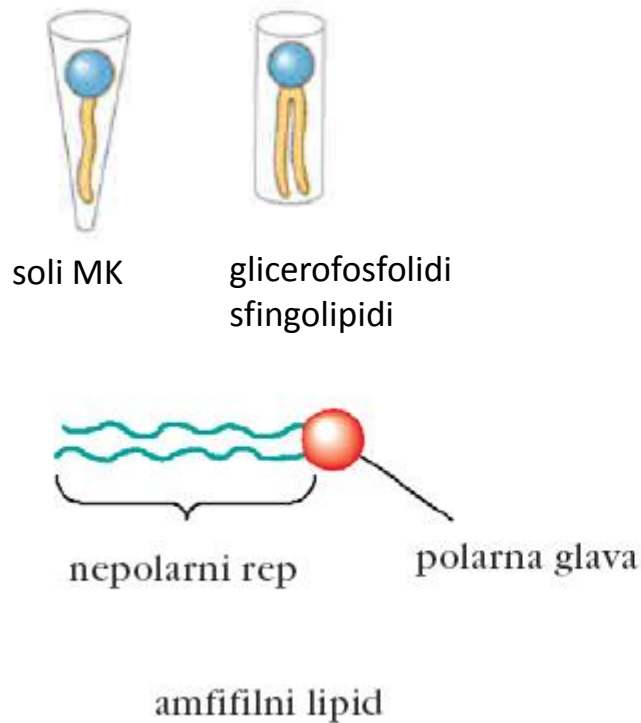


X	struktura X	ime glicerofosfolipida
(b) vodik	—H	ceramid
(c) fosfoholin		sfingomielin
(d) glukoza		glukožilcerebrozid
(e) kompleksni oligosaharidi		gangliozyd

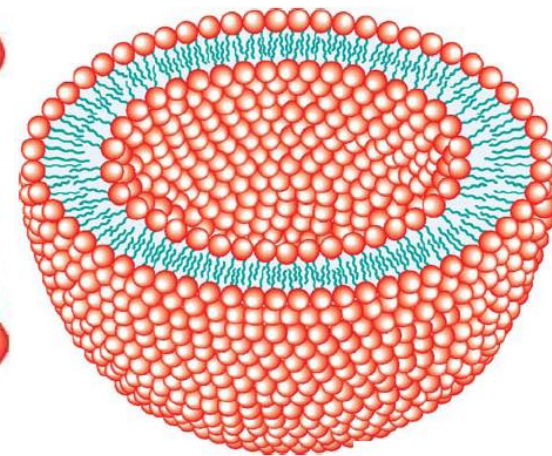
glikosfingolipidi

Polarni lipidi

- Glicerofosfolipidi in sfingolipidi se zaradi steričnih razmer ne morejo organizirati v micle.
- Združujejo se v **dvosloj**: dve plasti polarnih lipidov, ki se povežejo s hidrofobnimi interakcijami in izrinejo vodo.



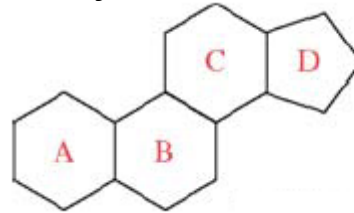
lipidni dvosloj



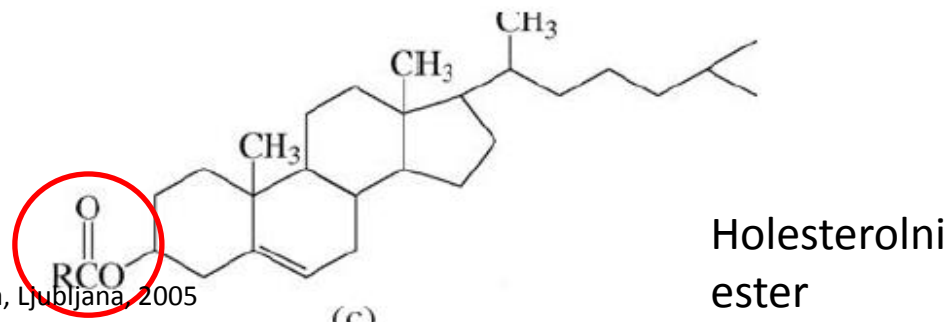
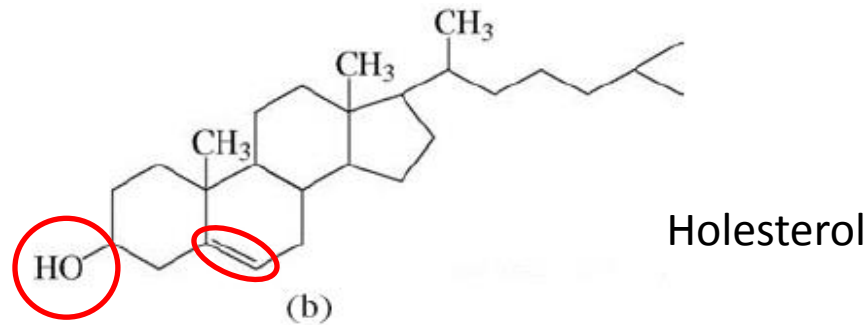
vezikel

Steroidi

- Prisotni so v živalskih in rastlinskih tkivih.
- Imajo **sistem kondenziranih obročev**: trije šestčlenski obroči (A, B, C) in en petčlenski (D).

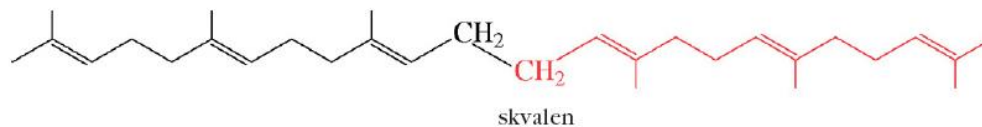
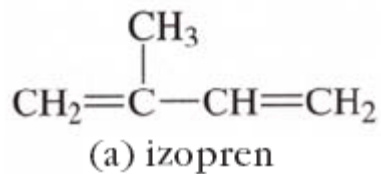


- Razlikujejo se po številu in položajih dvojnih vezi, stranski verigi ter številu in vrsti funkcionalnih skupin.
- **Holesterol** je najbolj poznan steroid: hidroksilna skupina na obroču A, dvojna vez na odroču B in na več mestih vezane verige ogljikovodikov.

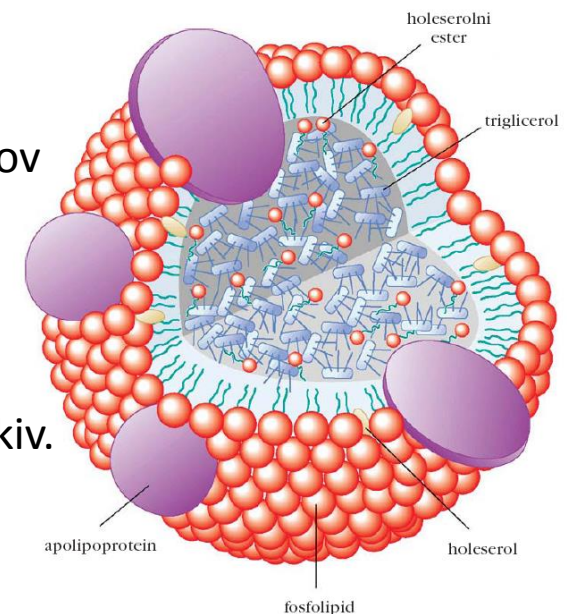


Steroidi - holesterol

- Holesterol je **amfifilna molekula**: polarna glava (-OH skupina) in hidrofobno področje (kondenzirani obroči in ogljikovodikovi repi).
- Kemijsko najbolj reaktivna je -OH skupina – v fizioloških razmerah je navadno zaestrena z maščobno kislino.
- Holesterol se sintetizira iz molekule **izoprena** (2-metil-1,3-butadien), ki ima 5 C atomov preko geranil- in farenzilpirofosfata ter skvalena.



- Holesterol je sestavni del bioloških membran.
- Holesterol je prekursor pri biosintezi steroidnih hormonov in žolčnih kislin.
- Veliko holesterola in njegovih estrov je v plazemskih **lipoproteinskih** delcih, ki služijo prenosu do perifernih tkiv.



Steroidi - holesterol

- Holesterol se prenaša kot prosta ali zaestrena molekula.

lipoprotein	gostota (g/ml)	premer (Å)	sestava (utežni odstotki)			
			protein	holesterol ^a	fosfolipidi	triacilgliceroli
hilomikroni	< 0,95	800-5000	2	4	9	85
zelo majhne gostote (VLDL)	0,95-1,006	300-800	10	20	20	50
majhne gostote (LDL)	1,006-1,063	180-280	25	45	20	10
velike gostote (HDL)	1,063-1,2	50-120	55	17	24	4

^a prost holesterol in holesterolni estri

- Hilomikroni:** so kapljice maščob obdane s plastjo proteinov. Sestavijo se v črevesju iz lipidov iz hrane, se absorbirajo in preko limfe izločijo v kri. Prenesejo se do perifernih tkiv. Lipoprotein-lipaza sprosti MK iz TG. Ostanki hilomikronov se prenesejo v jetra.
- VLDL:** sintetizirajo se v jetrih iz TG, holesterola, holesterolnih estrov, fosfolipidov in apolipoproteinov. Prenasajo lipide do maščevja in drugih perifernih tkiv za skladiščenje ali kot gorivo. Po sporščanju MK iz njih nastanejo LDL.
- LDL:** so v krvi nastali iz VLDL in so glavni prenašalci holesterola v krvi. Slednjega prenasajo iz jeter, kjer se je sintetiziral, do perifernih tkiv.
- HDL:** HDL se sintetizirajo v jetrih in vsebujejo le malo lipidov. Nato potujejo po krvi in iz perifernih tkiv zberejo prebitni holesterol. Holesterol prenasajo v nasprotni smeri kot LDL – od perifernih tkiv do jeter (obratni prenos holesterola).

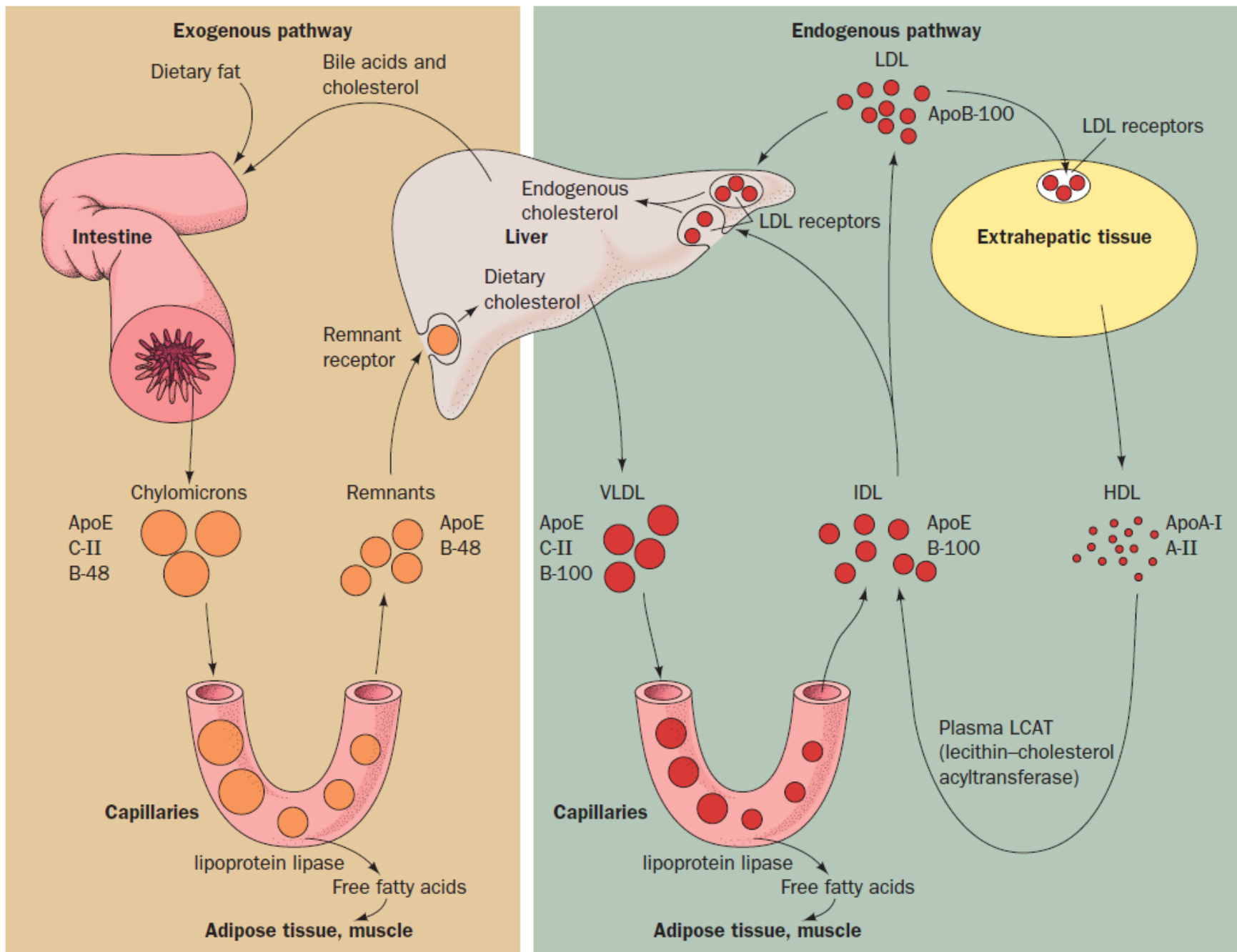
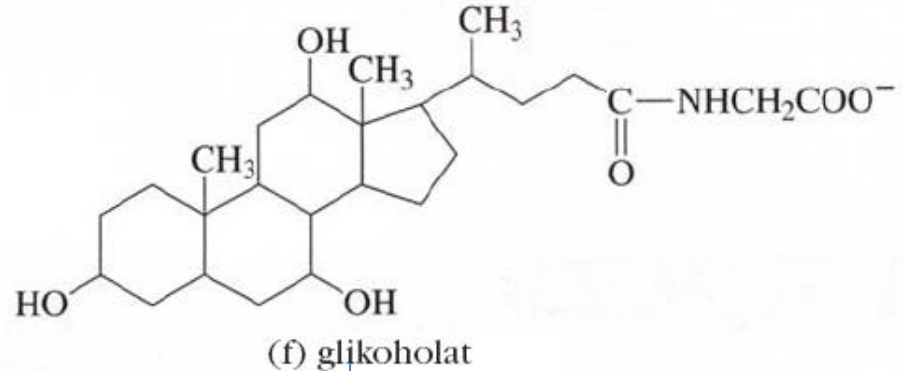
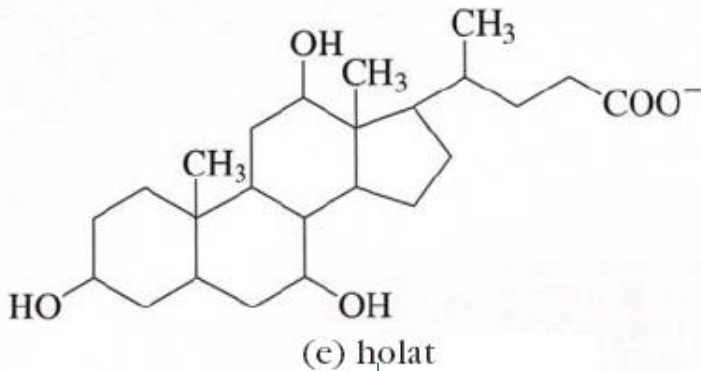
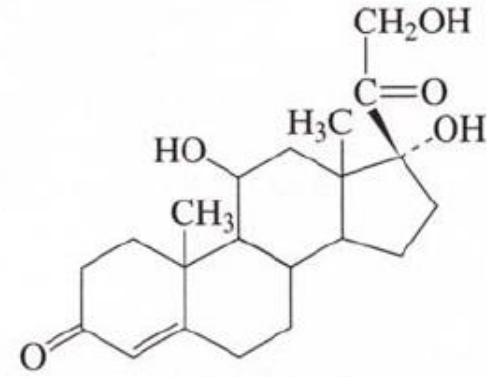
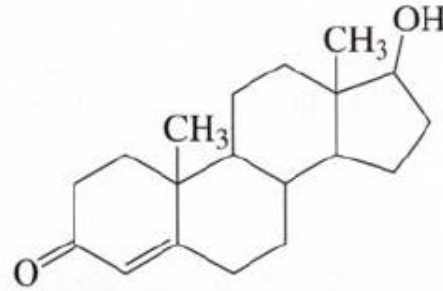
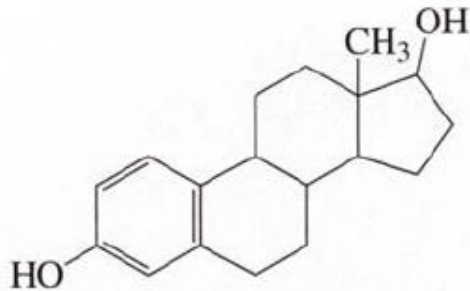
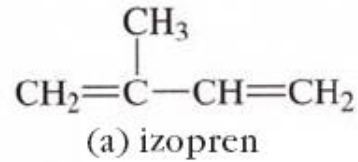


Fig. 12-86, Voet, Biochemistry, 4ed, 2011

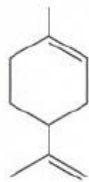
Steroidni hormoni, kortizol in žolčne kisline



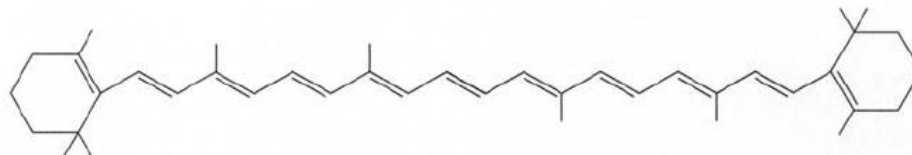
Soli žolčnih kislin se skladiščijo v žolčniku in se izločajo v črevesje. Pomagajo pri emulgiranju, razgradnji in absorpciji zaužitih mačob.

Terpeni

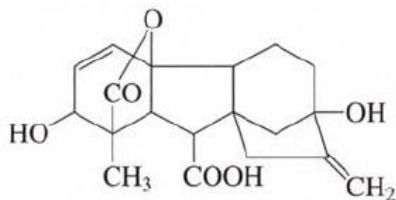
- So spojine, ki nastanejo iz **izoprena**.
- Prisotni so v rastlinah in živalih.
- Nekateri terpeni dajejo rastlinam značilno barvo in vonj.
- Pomembni terpeni:



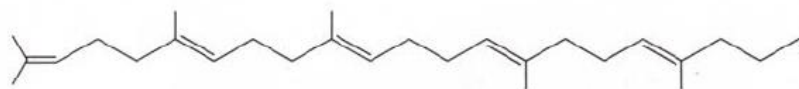
(a) limonen



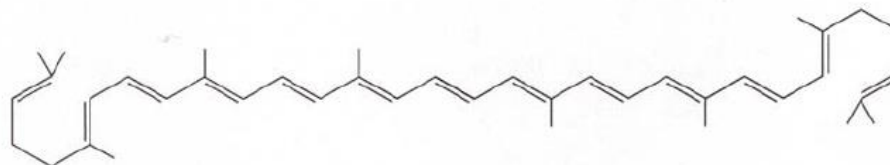
(b) β -karoten



(c) giberelinska kislina



(d) skvalen



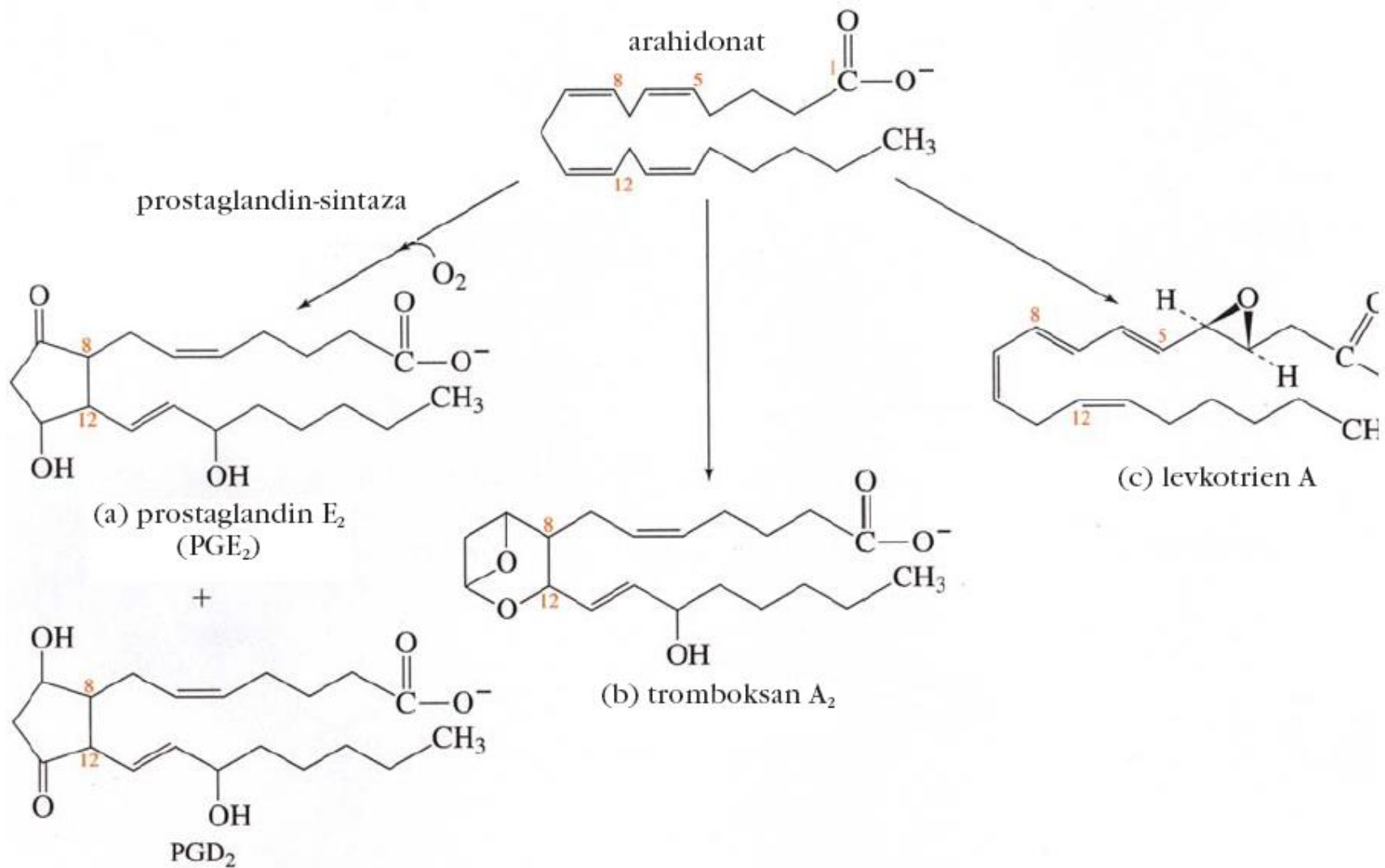
(e) likopen

Eikozanoidi

- Sintetizirajo se iz **arahidonske** kisline, ki ima **20** atomov.
- Imajo hormonom podobno aktivnost, ki je lokalna (parakrina) – delujejo na celico v kateri se sintetizirajo in na bližnje celice.
- Prisotni v zelo majhnih celičnih koncentracijah.
- Biološki učinki: vpliv na reproduktivne funkcije, uravnavajo strjevanje krvi in krvni tlak, ob poškodbah in boleznih povzročajo vnetje, povišano temperaturo in bolečino, uravnavajo temperaturo ter cirkadiani ritem.

- Poznamo: **prostaglandine**, **tromboksane** in **levkotriene**.
- Prostaglandini: uravnavajo cirkadiani ritem, povzročajo povišano T, vnetje in bolečino, krčenje gladke muskulature.
- Tromboksani: verjetno olajšajo nastanek krvnih strdkov.
- Levkotrieni: krčenje gladkih mišic (pljuča).

Eikozanoidi



Lipidotopni vitamini

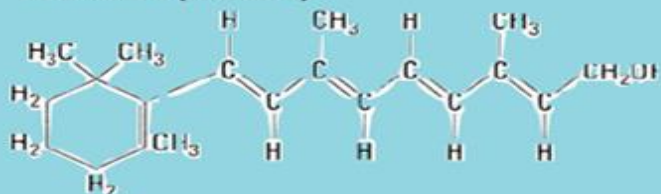
- So derivati izoprena.

vitamin	splošno ime	kemijske značilnosti	biološka vloga
A	retinol	terpen z 20 ogljiki	absorpcija svetlobe
D	več oblik, ena je D ₃ -holekalciferol	nastane iz holesterola s pomočjo UV-svetlobe	regulacija metabolizma kalcija in fosforja
E	α -tokoferol	aromatski obroč z dolgo ogljikovodikovo verigo	antioksidant, preprečuje oksidativno poškodbo celičnih membran
K	vitamin K	biciklični sistem z dolgo verigo ogljikovodikov	regulira strjevanje krvi, nastajanje kosti

lipidotopni vitamini

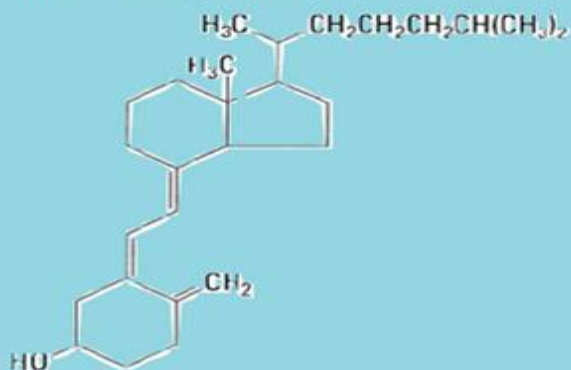
trans-retinol (vitamin A)

nočna slepota, drugi učinki



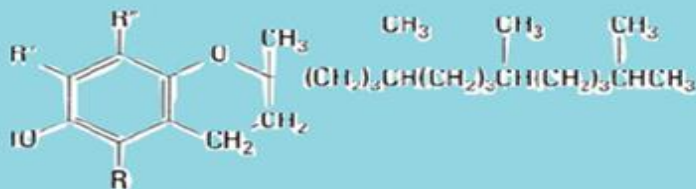
holekalciferol (vitamin D)

rahitis

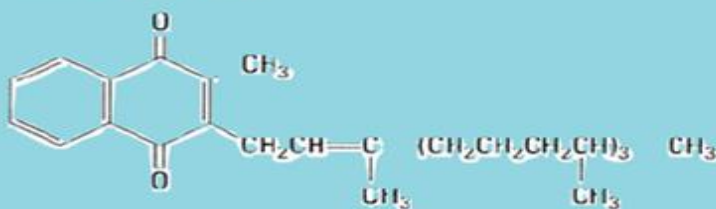


tokoferol (vitamin E)

pri podganah:
težave pri razmnoževanju in druge nepravilnosti;
pri ljudeh: ni razjasnjeno

(več različic, R, R', R'' = H ali CH₃)filokinon (vitamin K₁)

nepravilnosti pri strjevanju krvi

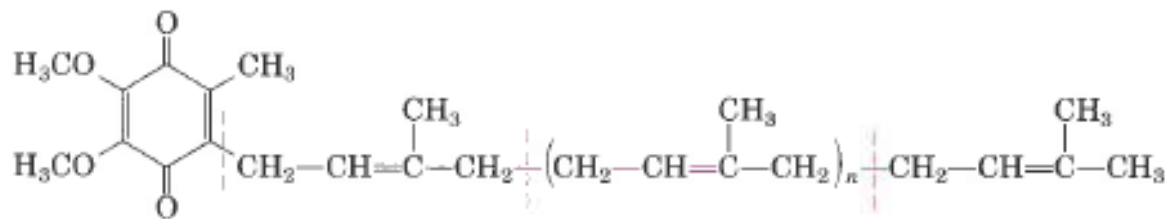


* Naštete strani se nanašajo na strani v tej knjigi.

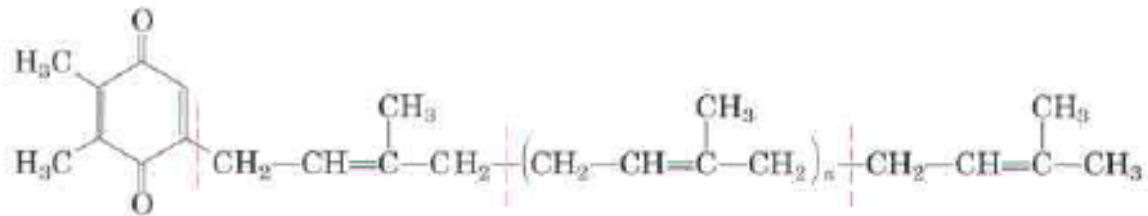
Prenašalci elektronov

- Sodelujejo pri oksidoredukcijskih reakcijah v energijskem metabolizmu.

ubikinon
(koencim Q)

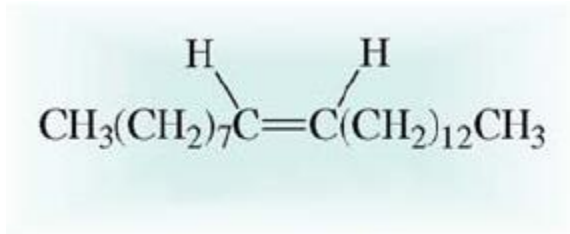


plastokinon



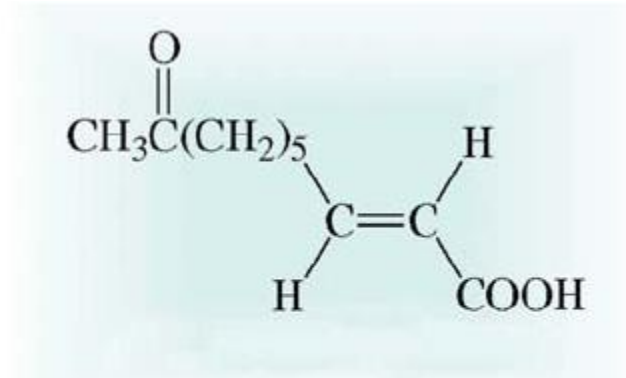
Feromoni

- So snovi, ki vplivajo na vedenje drugih organizmov iste vrste.



(a) muskalur

muha

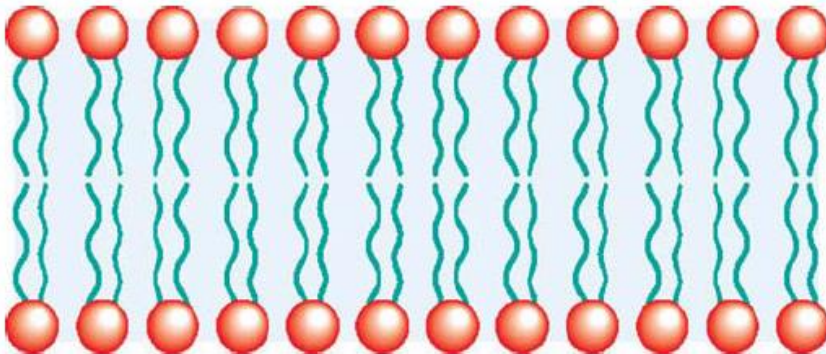


(c) 9-keto-*trans*-2-decenojska kislina

čebelja matica

Biološke membrane

- So zaščitna plast okrog celic - **plazemska membrana** in celičnih organelov.
- **Sestavljene so iz polarnih lipidov, proteinov in ogljikovih hidratov.**
- So **selektivno prepustne** pregrade, ki prepuščajo nekatere molekule, drugih pa ne.
- Preko membrane lahko prehajajo majhne, nepolarne molekule (CO_2 in ogljikovodiki).
- Proteinski kanali, prenašalci, črpalke in pore v membrani uravnavajo selektivni pretok molekul in ionov.
- Omogočajo organizacijo in lokalno porazdelitev biokemijskih procesov.
- Proteinski receptorji omogočajo sporazumevanje z okolico.
- Nekatere membrane vsebujejo sisteme proteinskih kompleksov za prenos energije (mitohondrij, kloroplast).



Osnovno strukturno ogrodje membran – **lipidni dvosloj.**

Amfifilni lipidi.

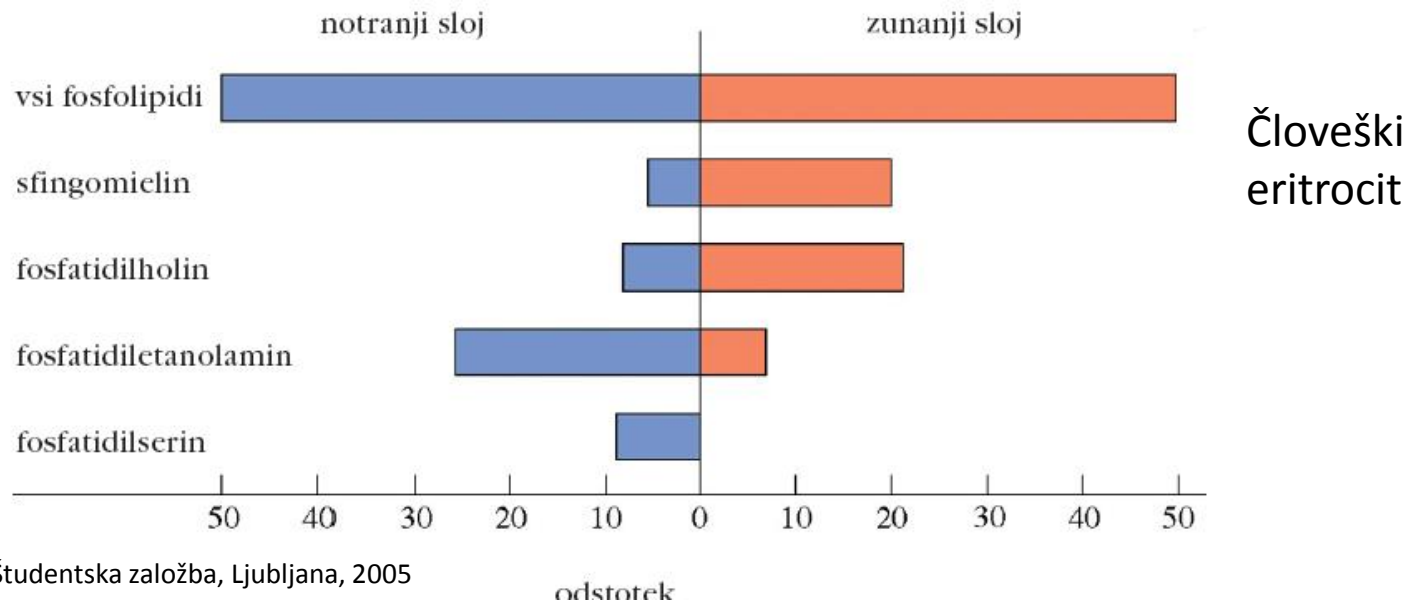
Biološke membrane

- Razmerje med proteini in lipidi se giblje od 80:20 do 20:80.

izvor membrane	utežni odstotki ^a	
	lipidi	proteini
mielin	80	18
mišja jetra	52	45
človeški eritrociti	43	49
koruzni listi	45	47
mitohondriji (zunanja)	48	52
mitohondriji (notranja)	24	76
<i>Escherichia coli</i>	25	75

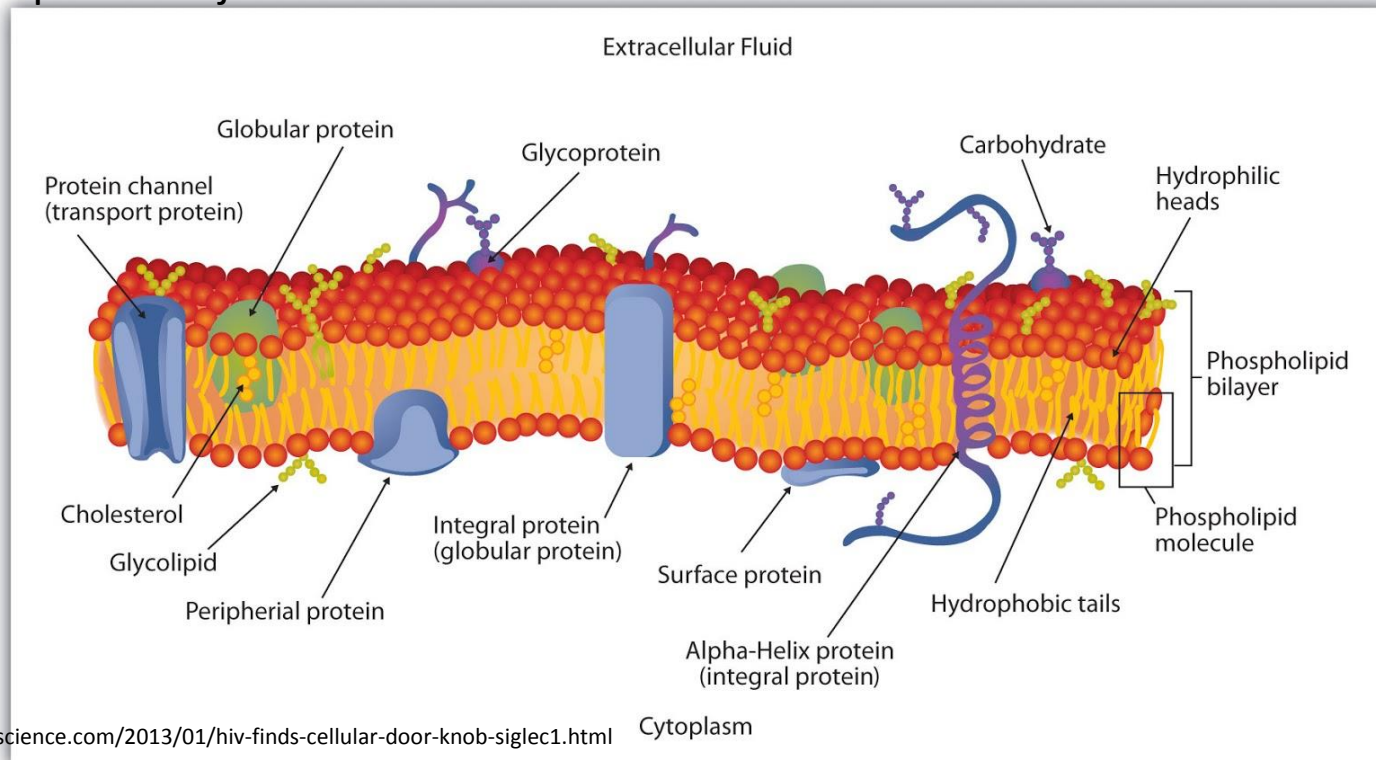
^aČe je skupna vrednost manj kot 100 %, pripada manjkajoči del ogljikovim hidratom.

- Porazdelitev lipidov v zunanji in notranji plasti ni naključna in je asimetrična.



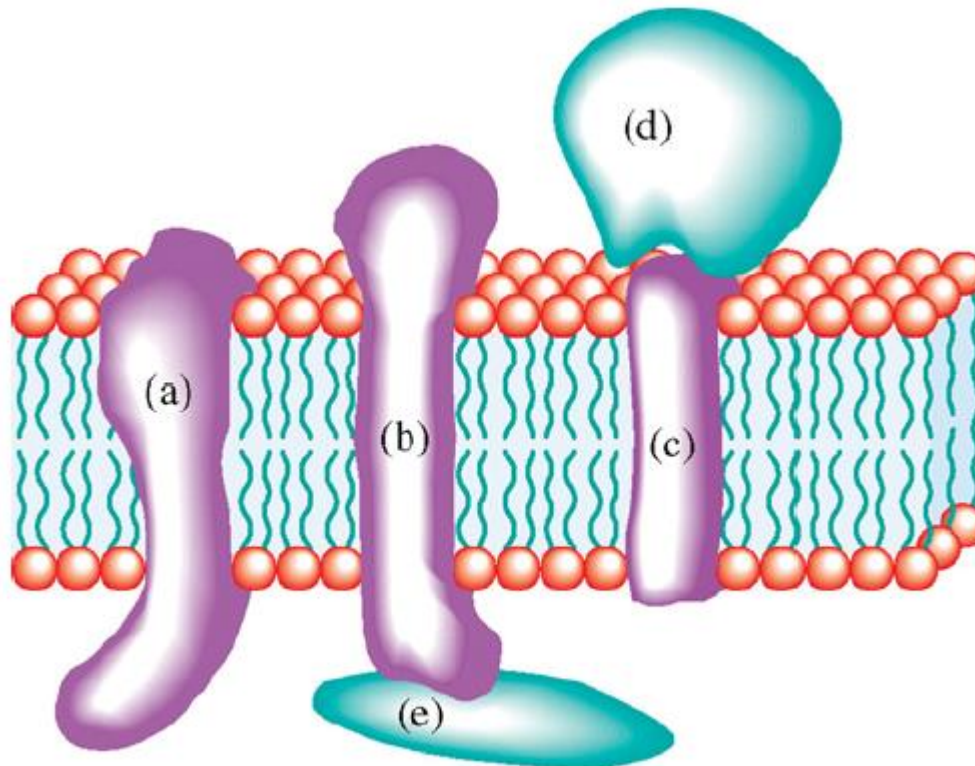
Biološke membrane

- **Holesterol** pomembno vpliva na lastnosti membran.
- Vsebnost niha med 3 % v mitohondrijski in 38 % v plazemski membrani.
- Holesterol je toga in bolj negibljiva molekula, zato zmanjša fluidnost membran.
- **Ogljikovi hidrati** so kovalentno vezani na lipide – **glikolipidi** in proteinske molekule – **glikoproteini**.
- Vsebnost ogljikovih hidratov je navadno < 5%; imajo pomembno vlogo npr. pri prepoznavanju celic.



Biološke membrane

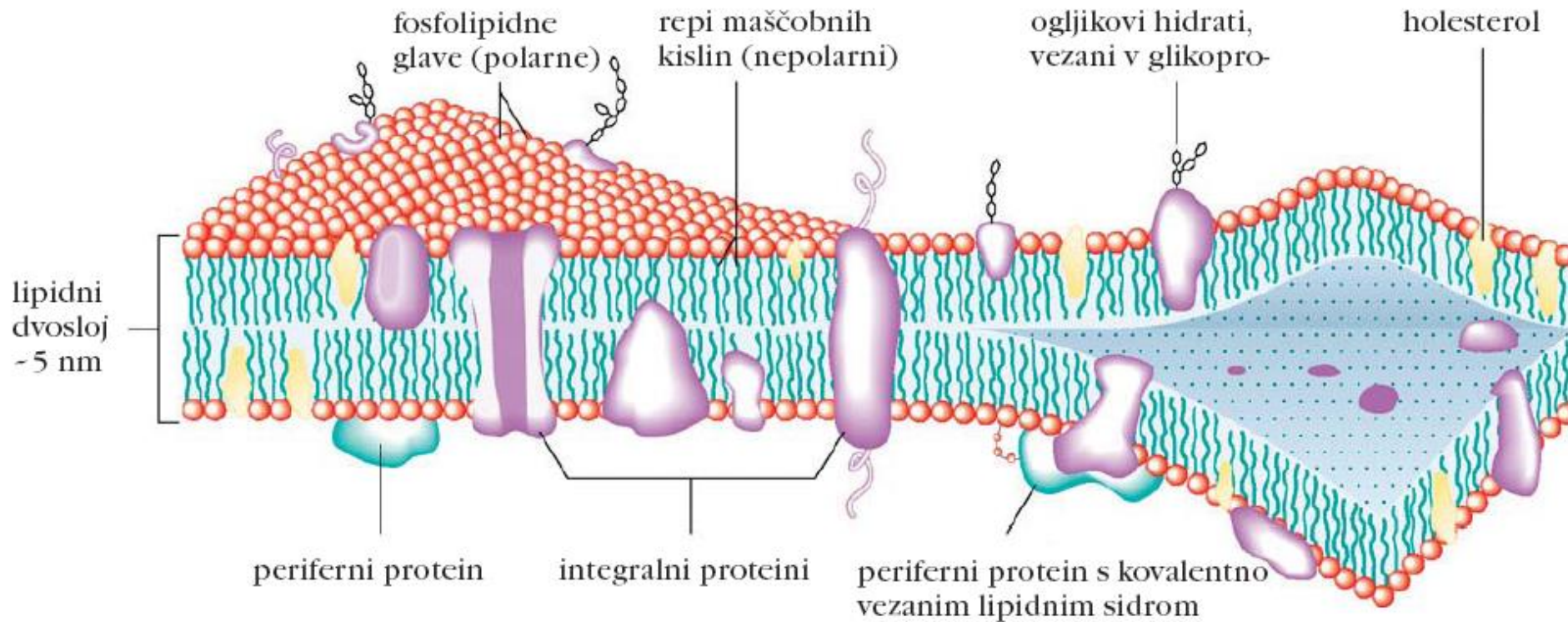
- **Proteini** so odgovorni za dinamično aktivnost celičnih membran.
- Imajo različne vloge: encimi, receptorski proteini, transportni proteini...
- Dve skupini membranskih proteinov:
 - **Integralni proteini** (a, b, c): zasidrani v membrani, hidrofobne interakcije z lipidi.
 - **Periferni proteini** (e, d): na membrano vezani z nekovalentnimi, ionskimi in H-vezmi.



Biološke membrane

- Model, ki najbolje opiše organiziranost in dinamiko bioloških membran, je **model tekočega mozaika**.
- Proteini prosto plavajo v in na dvosloju.
- Membrane so **fluidne**. Premike lipidov katalizirajo flipaze, flopaze in skramblaze.

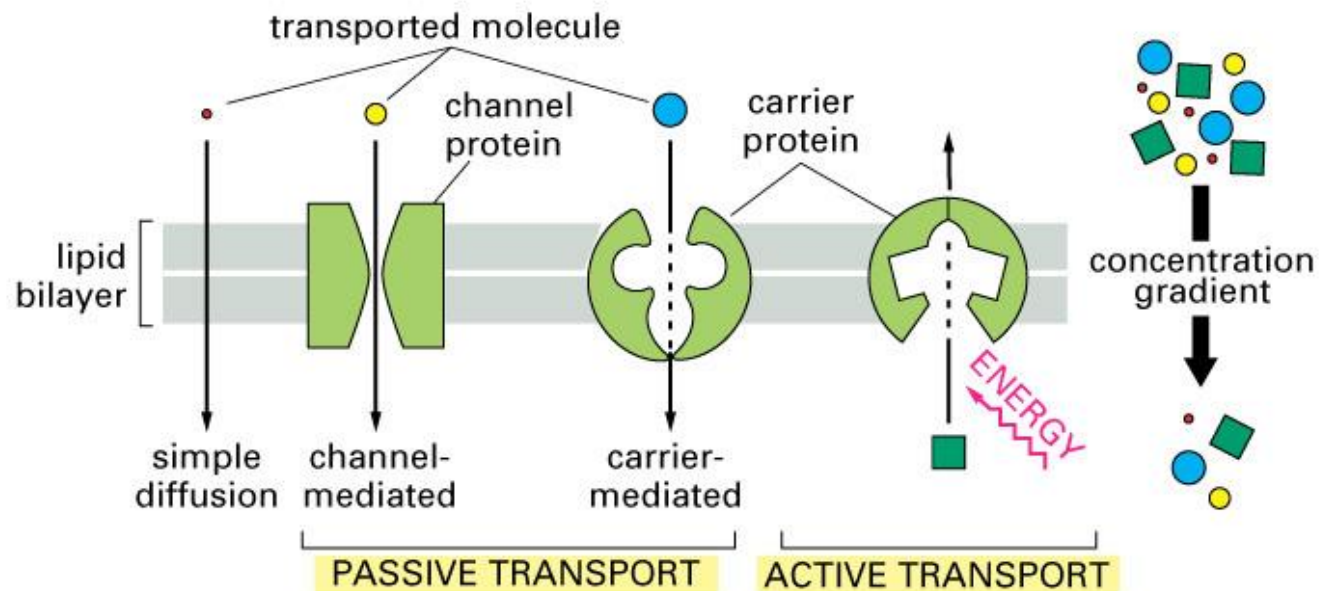
zunanja površina



notranja površina

Transport preko membrane

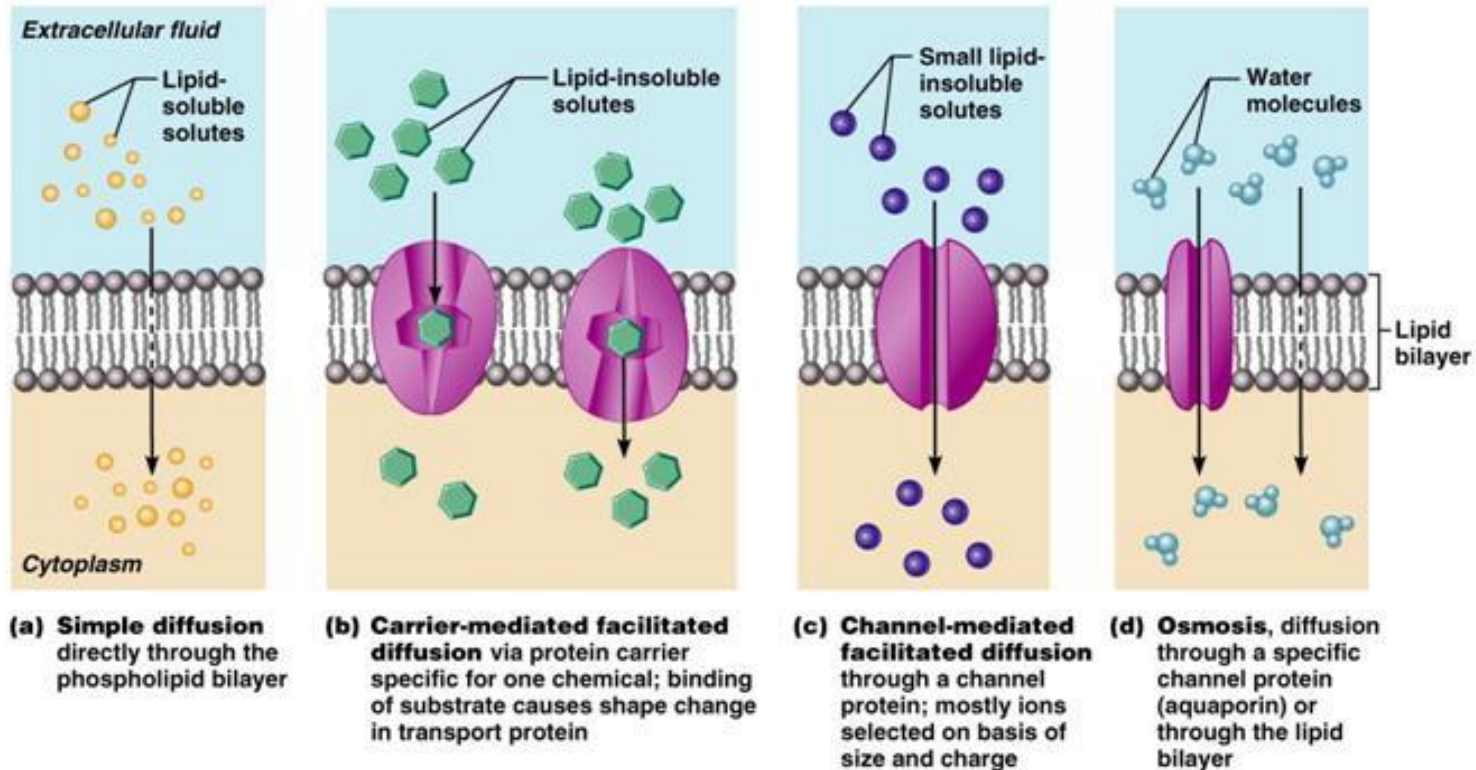
- Pretok molekul skozi plazemsko membrano regulirajo integralni proteini.
- **Pasivni transport** – v smeri koncentracijskega gradienta.
- **Aktivni transport** – proti smeri koncentracijskega gradienta, potrebuje energijo (ATP, svetloba).



Enostavna difuzija **Olajšana difuzija**

Pasivni transport

- Z **enostavno difuzijo** skozi membrane prehajajo maščobne kisline in plini CO_2 , N_2 , O_2 in CH_4 .
- Z **olajšano difuzijo** preko **kanalčkov** in **prenašalcev (permeaze)** prehajajo majhne polarne molekule (voda, sladkorji, aminokisline).
 - Voda prehaja s pomočjo membranskih proteinov **akvaporinov**.



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Pasivni transport

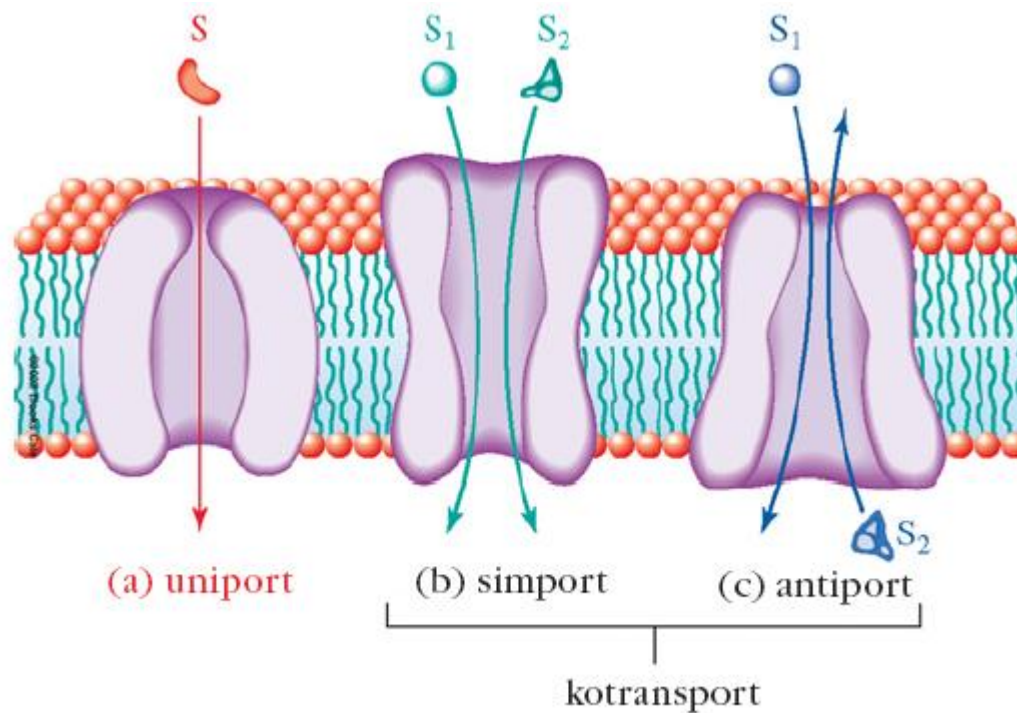
- Poznamo tri vrste/načine membranskega transporta:

a) **Uniport**: prenos ene vrste molekul topljenca

b) **Simport**: prenos dveh vrst molekul topljenca v isto smer

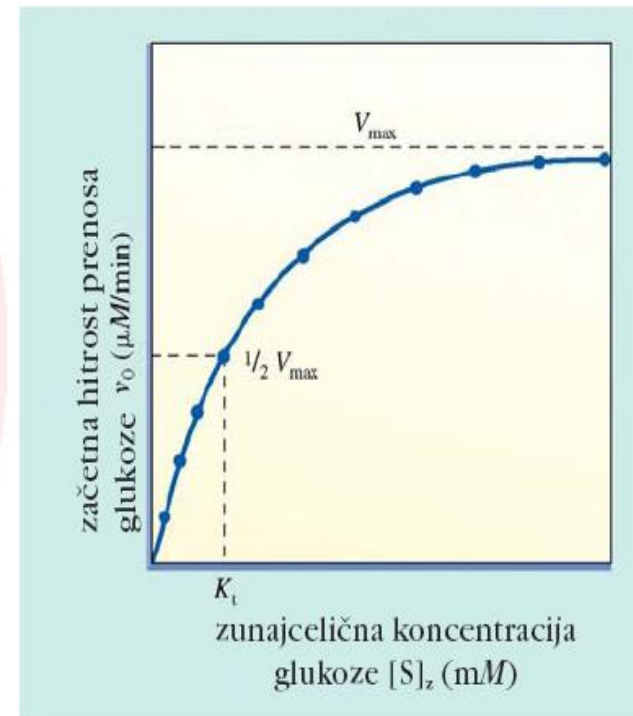
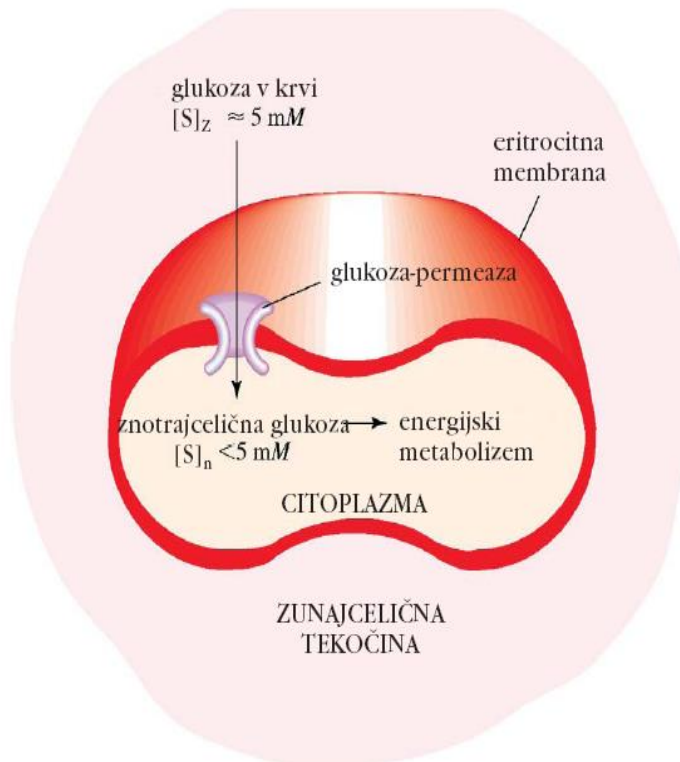
c) **Antiport**: prenos dveh vrst topljenca v nasprotno smer

} **kotransport**



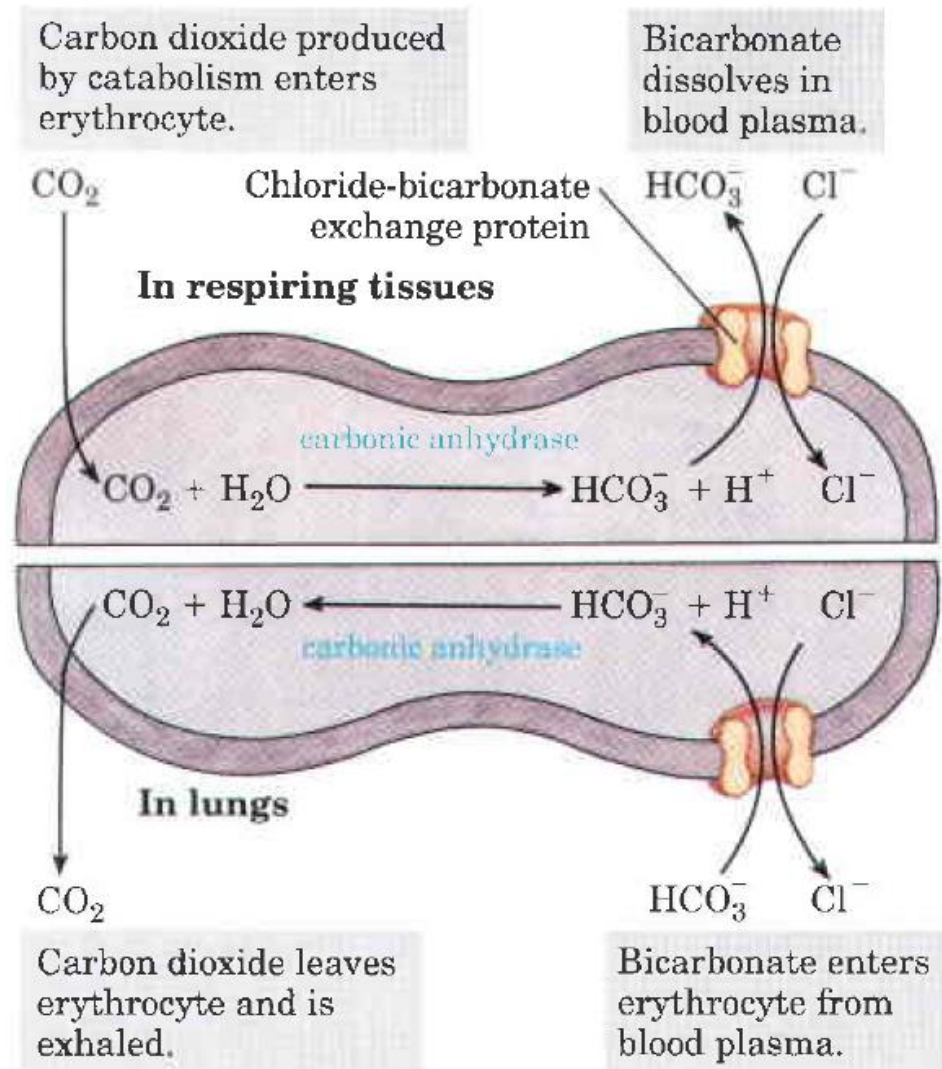
Pasivni transport

- Eritrociti: glavno metabolično gorivo je glukoza, ki v celico prehaja z olajšano difuzijo s pomočjo uniporterja: protein **glukoza-permeaza**.
- Permeaza deluje podobno kot encimi:
 - Pri višji konc. glukoze dosežemo V_{\max} in jo lahko določimo.
 - Je specifična.
 - Analogi glukoze kompetitivno inhibirajo transport.



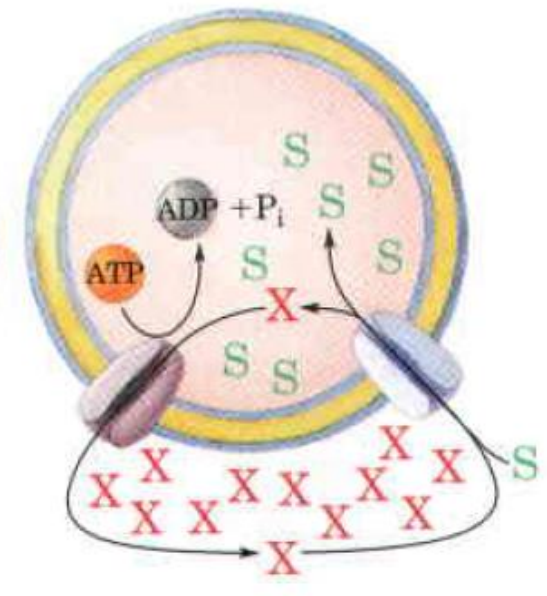
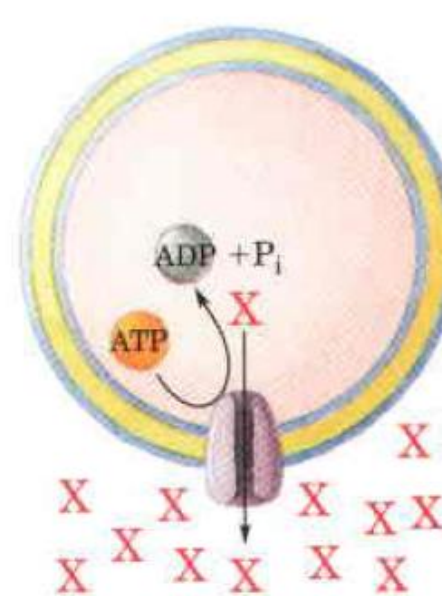
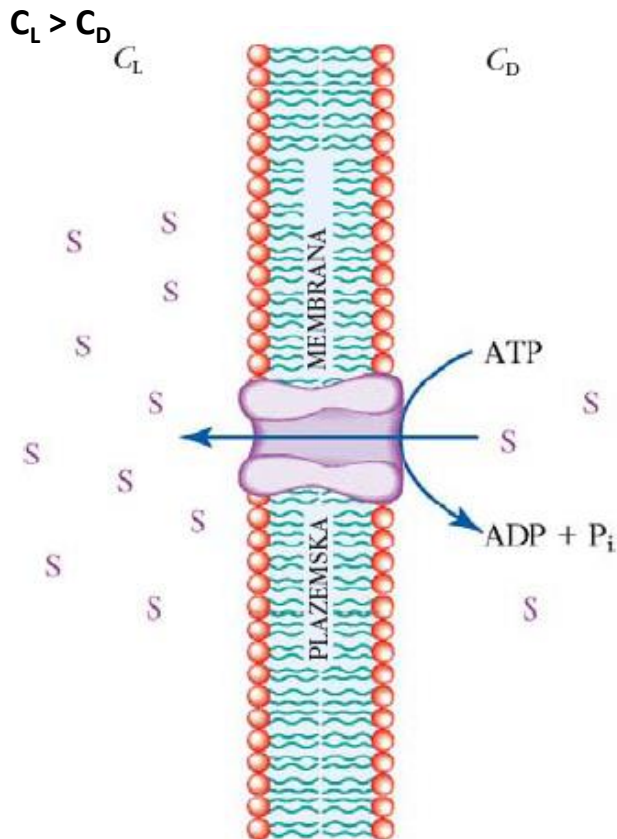
Pasivni transport

- $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ antiport in pretvorba s karbonsko-anhidrazo.



Aktivni transport

- Prenos molekul, navadno ionov, **proti koncentracijskemu gradientu** ob **porabi energije** (ATP, svetloba).
- Prenašalce imenujemo (ionske) **črpalke (ATPaze)**.
- Poznamo: - **primarni aktivni transport** sklopljen s hidrolizo ATP in
- **sekundarni aktivni transport**, kjer je prenos molekule proti gradientu sklopljen s prenosom druge molekule v smeri gradienta.

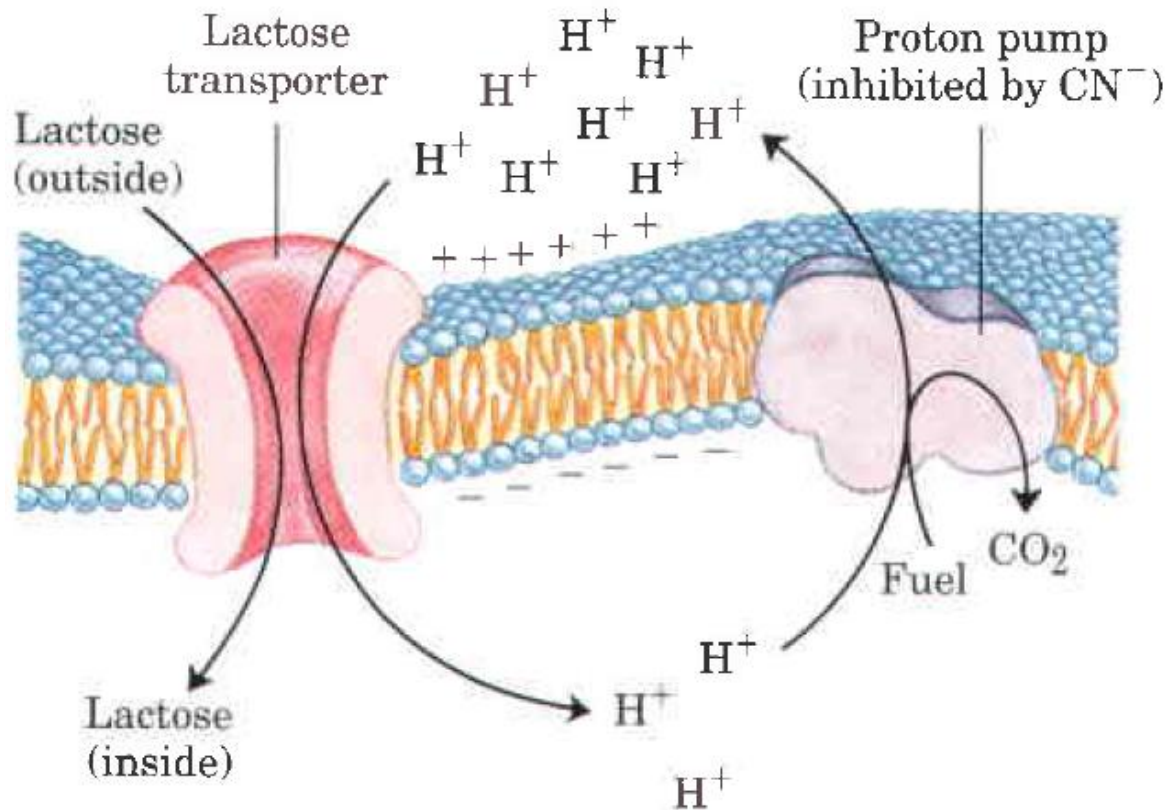


Aktivni transport

Primeri:

- Na^+/K^+ ATPaza,
- laktoza/ H^+ simport,
- K^+/H^+ antiport,
- Ca^{2+} črpalka.

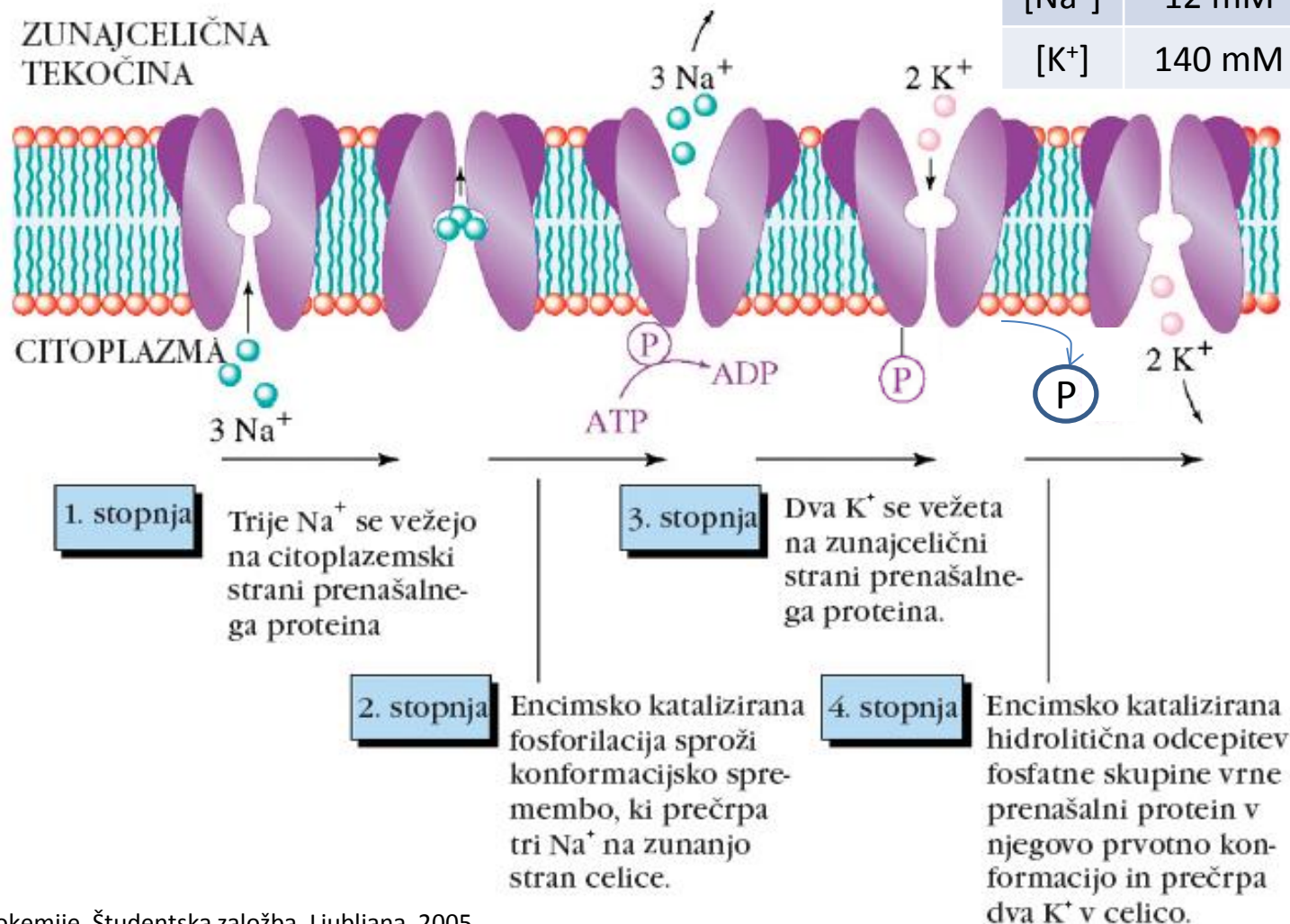
kotransport laktoze in protonov



Aktivni transport

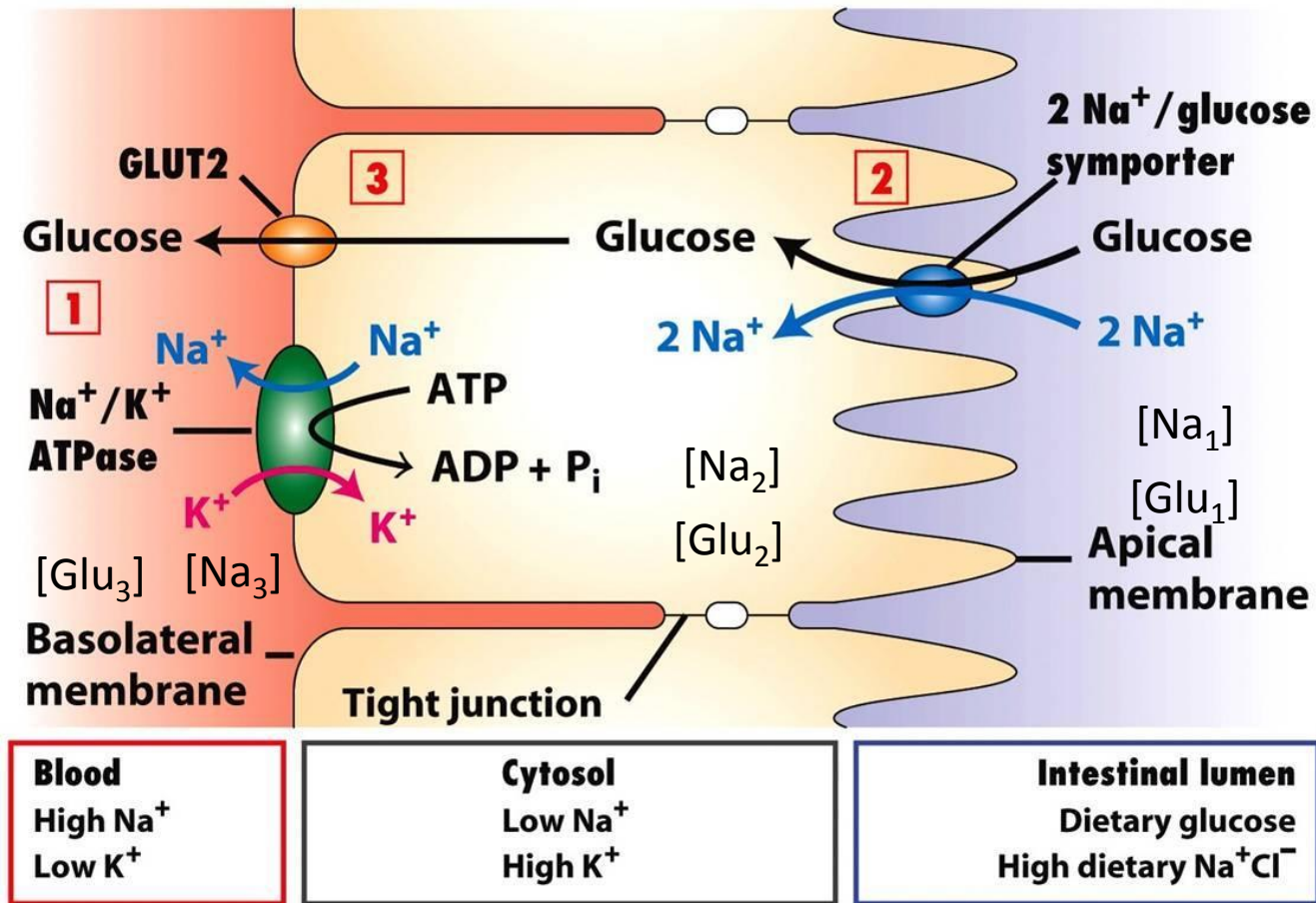
- Antiport: **Na⁺/K⁺ ATPaza** vzdržuje ionski gradient Na⁺ in K⁺ med citosolom in zunajceličnim prostorom.
- Mehanizem delovanja **Na⁺/K⁺ ATPaze**:

	Znotraj	Zunaj
[Na ⁺]	12 mM	145 mM
[K ⁺]	140 mM	4 mM



Aktivni in pasivni transport

- Obe obliki transporta pogosto delujeta koordinirano.
- Primer: prenos glukoze iz črevesja v kri preko črevesnega epitelija.



$$[Na_1] > [Na_2] < [Na_3]$$

$$[Glu_1] < [Glu_2] > [Glu_3]$$