Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

DISAHARIDI

Prijediplomski studij

Primijenjena kemija

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

Studeni, 2026.

KARAKTERISTIKE DISAHARIDA

- sastoje se od dvije jedinice monosaharida međusobno povezanih *O*-glikozidnom vezom
- njihove karakteristike ovise o vrsti povezanih monosaharida kao i vrsti *O*-glikozidne veze
- kristalinične tvari, topljive u vodi

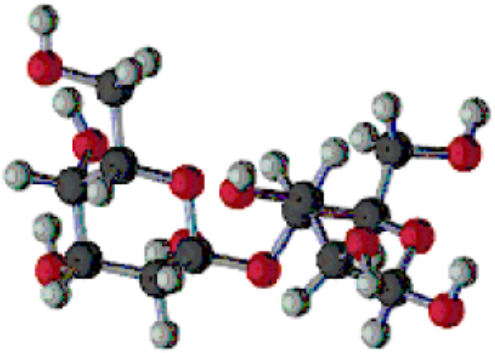
Dijele se u dvije grupe:

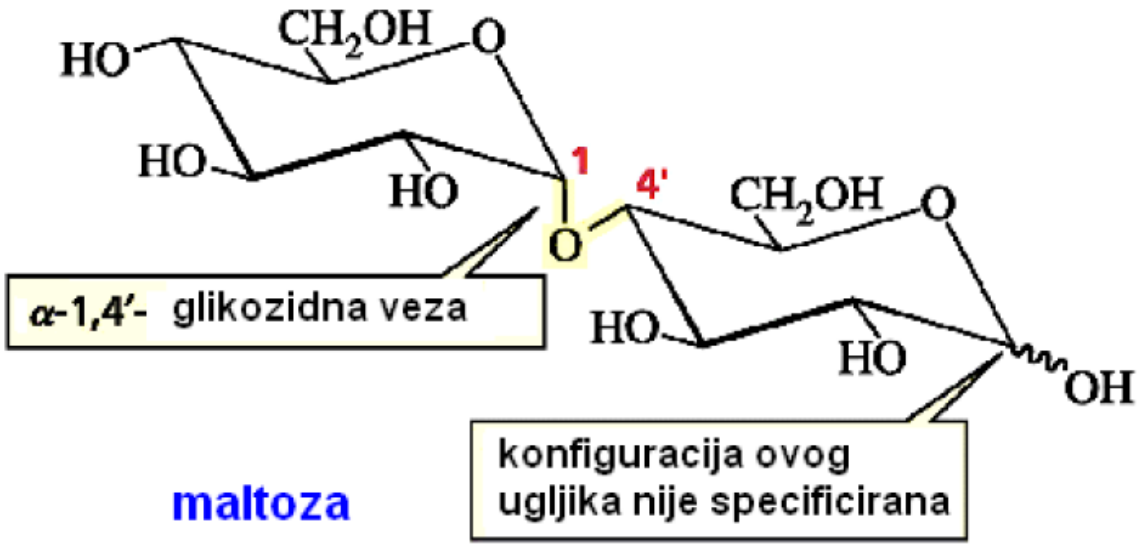
- **reducirajući disaharidi – glikozidna veza se uspostavlja između anomerne (poluacetalne) grupe jednog i OH skupine drugog monosaharida**
- **nereducirajući disaharidi - glikozidna veza se uspostavlja između anomernih (poluacetalnih) grupa oba monosaharida**

REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **maltoza – sastavljena je od dvije molekule α-D-glukoze vezane α-1,4 glikozidnom vezom**
- **nastajem djelovanjem biljnih amilaza na škrob**
- **slatkog okusa, dobro topljiva u vodi, djelovanjem kvaščevih gljivica vrenjem daje alkohol (proizvodnja piva)**



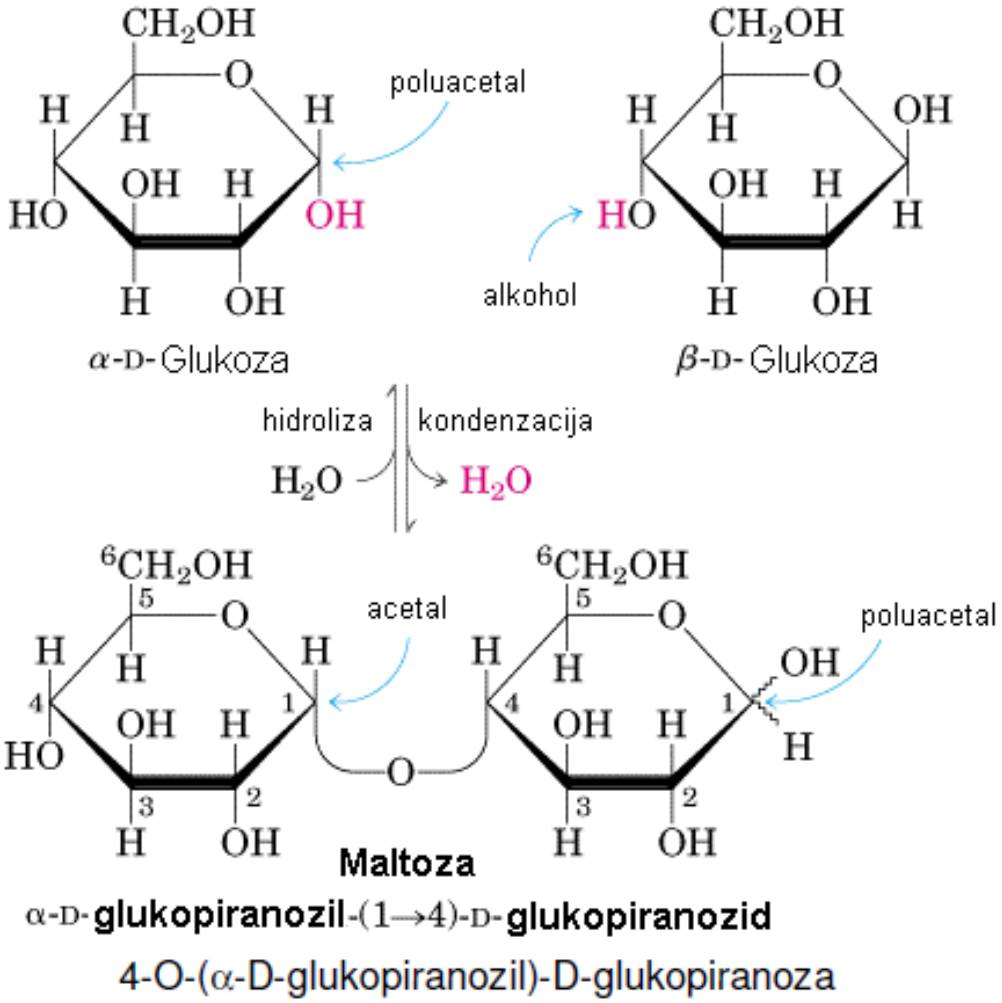




maltoza

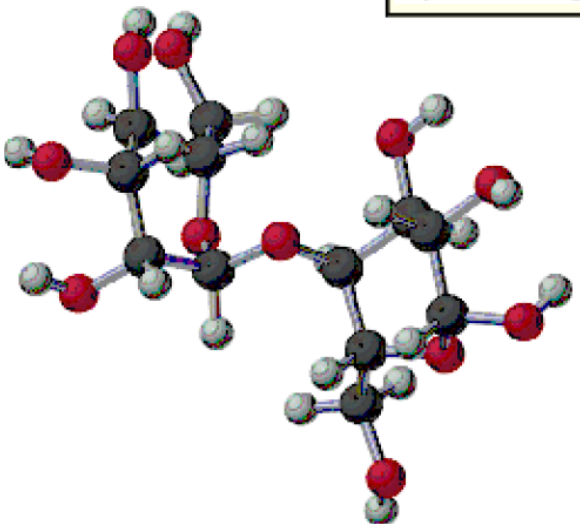
REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

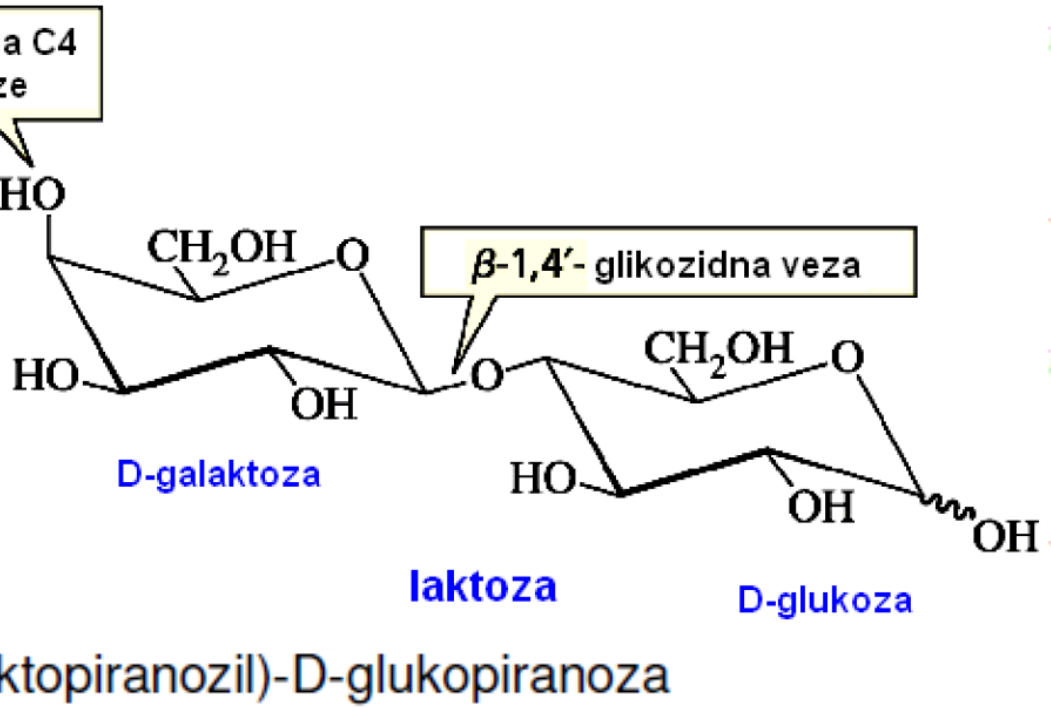
- **maltoza – reducirajući šećer**



REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **laktoza – sastavljena je od jedne molekule D-galaktoze i jedne molekule D-glukoze vezanih β-1,4 glikozidnom vezom**

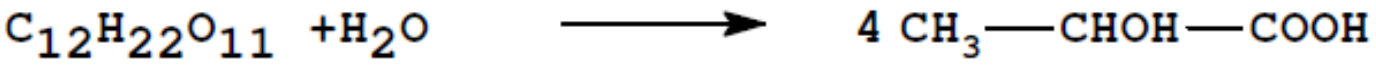


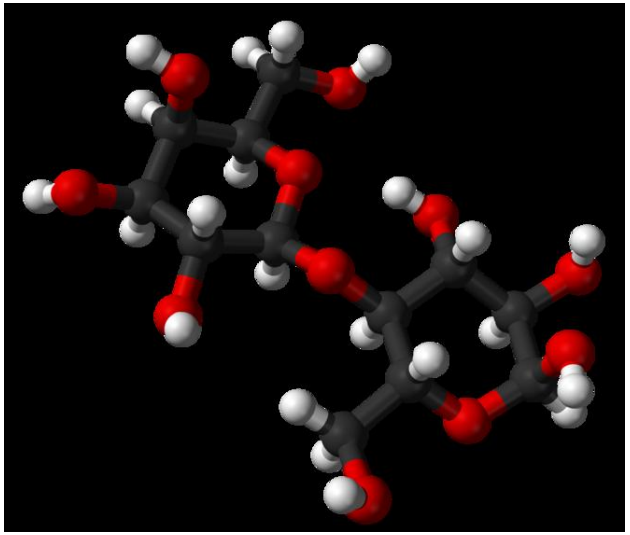


4-O-(β–D-galaktopiranozil)-D-glukopiranoza

REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **laktoza – nalazimo je u majčinom mllijeku (6-7%) i kravljem mlijeku (4-5%)**
- **naziva se još mliječnim šećerom, a djelovanjem bakterija mliječnokiselinskog vrenja prelazi u mliječnu kiselinu – dolazi do kvarenja mlijeka**
- **djelovanjem čistih kultura mliječnokiselinskog vrenja nastaju mliječni proizvodi**



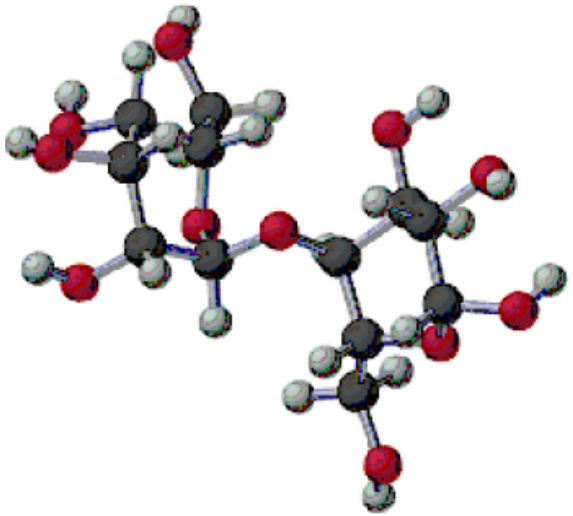


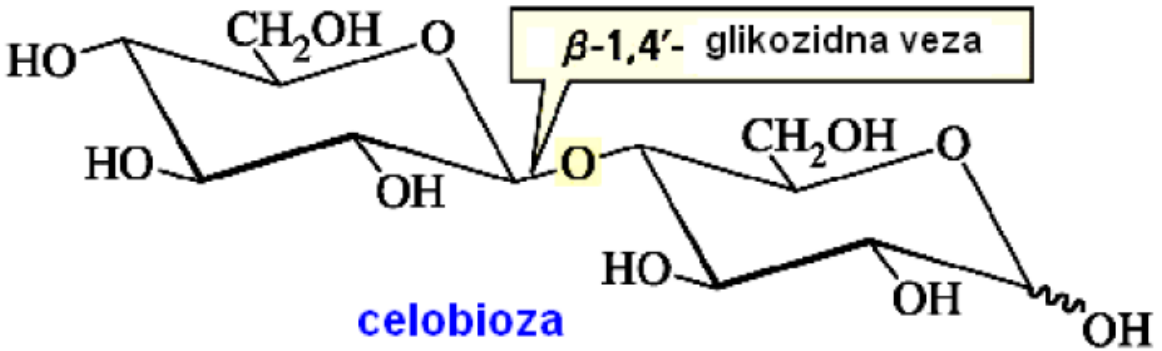


- **dobiva se iz sirutke**
- **u tijelu nastaje u mliječnim žlijezdama**
- **u proizvodnji hrane za djecu i dijabetičare**

REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **celobioza - sastavljena je od dvije molekule β-D-glukoze vezanih β-1,4 glikozidnom vezom**
- **disaharidna jedinica celuloze**
- **nastaje djelovanjem enzima celulaze na celulozu**

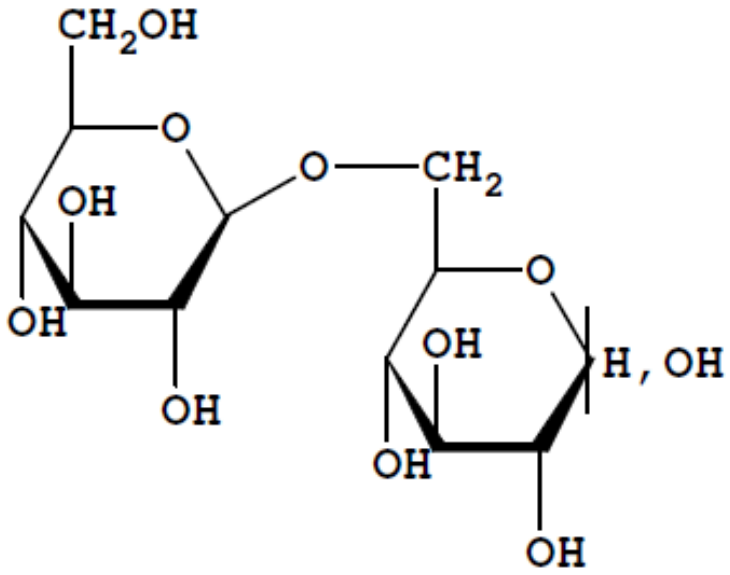




4-O-(β-D-glukopiranozil)-D-glukopiranoza

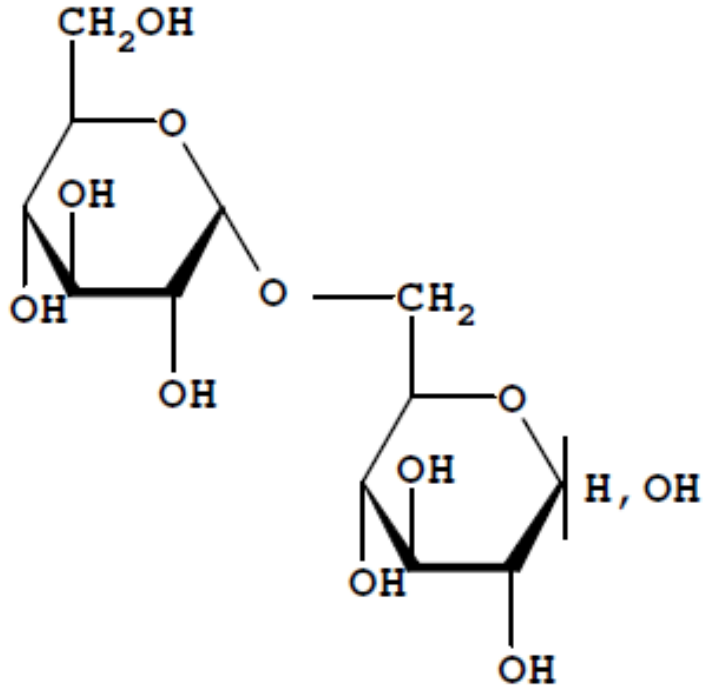
REDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **genciobioza**
- **izomaltoza – iz amilopektina**



genciobioza (β–1,6)

6-O-(β-D-glukopiranozil)-D-glukopiranoza



izomaltoza (α–1,6)

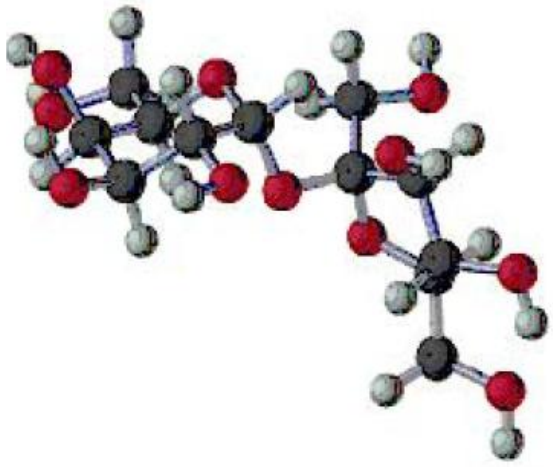
6-O-(a-D-glukopiranozil)-D-glukopiranoza

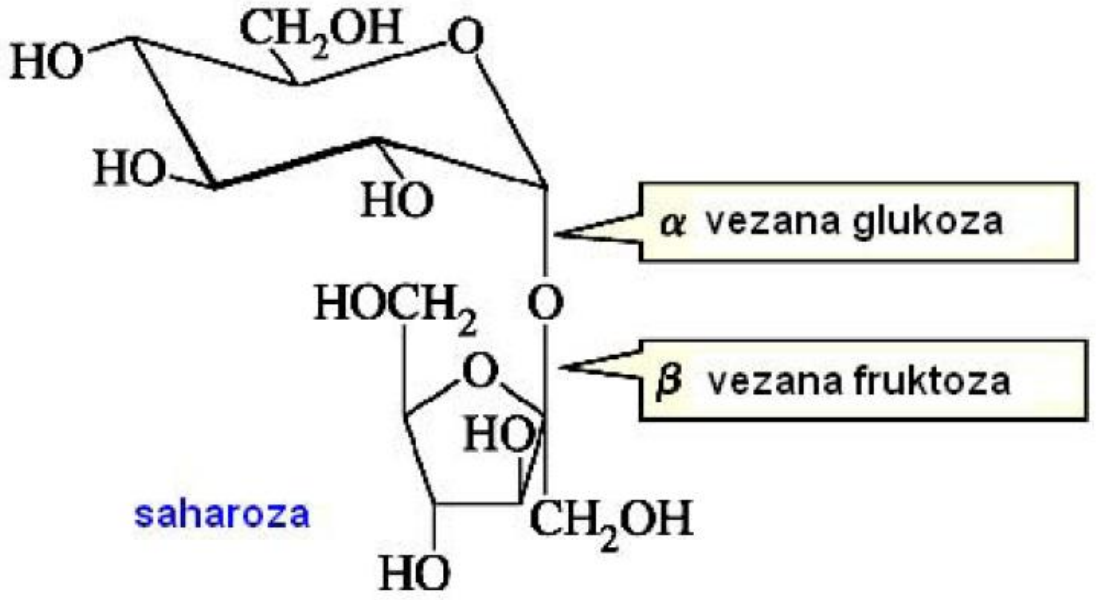
NEREDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **saharoza – obični stolni šećer**
- **sastavljena je od jedne molekule α-D-glukoze i jedne molekule β-D-fruktoze vezanih α-1,2 glikozidnom vezom**









β-D-fruktofuranozil-a-D-glukopiranozid

NEREDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **saharoza – najzastupljeniji ugljikohidrat u prirodi**
- **relativna slatkoća je 100**
- **najčešće korišten zaslađivač**
- **dobiva se iz šećerne repe, šećerne trske, javora i šećerne palme**
- **nalazi se u voću i povrću ali u manjim glukoze i fruktoze**
- **godišnje se proizvede 10^8 tona**
- **kristalinična tvar, lako topljiva u vodi**
- **hidrolizom daje ravnotežnu smjesu i fruktoze – invertni šećer**





saharoza $[\alpha]^T_D = +66.5^o$,
invertni šećer $[\alpha]^T_D = -19.8^o$,
(fruktoza $[\alpha]^T_D = -93^o$, glukoza $[\alpha]^T_D = +52.5^o$)

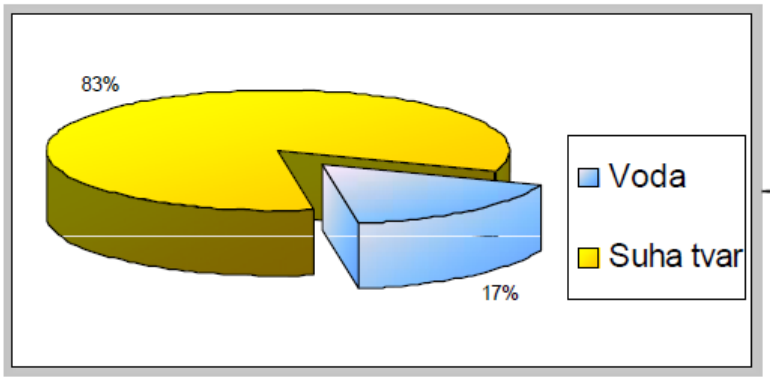
MED

- **sladak, gust i viskozan proizvod**
- **pomoću enzima invertaze, pčele prevode saharozu u invertni šećer (smjesa glukoze i fruktoze)**

Prosječan kemijski sastav meda:



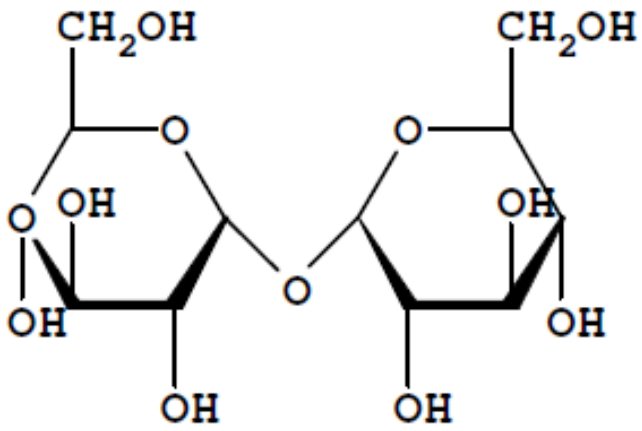




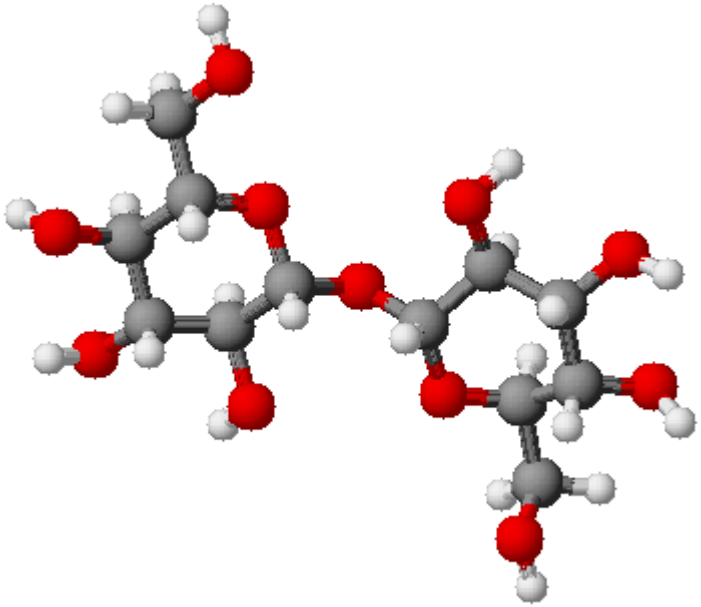
Fruktoza	38 %
Glukoza	34 %
Maltoza	7 %
Saharoza	6 %
Smole	5%
Dekstrin	2 %
Viši šećeri	2 %
Kiselost	1,2 %
Pepeo	0,2 %
Dušične tvari	0,1 %
Ostalo	3 %

NEREDUCIRAJUĆI DISAHARIDI

- **trehaloza - sastavljena je od dvije molekule α-D-glukoze vezanih α-1,1'- glikozidnom vezom**
- **45% slatkoće glukoze – prehrambena industrija**
- **prirodni produkt, stabilniji od saharoze**



trehaloza
α-D-glukopiranozil-a-D-glukopiranozid

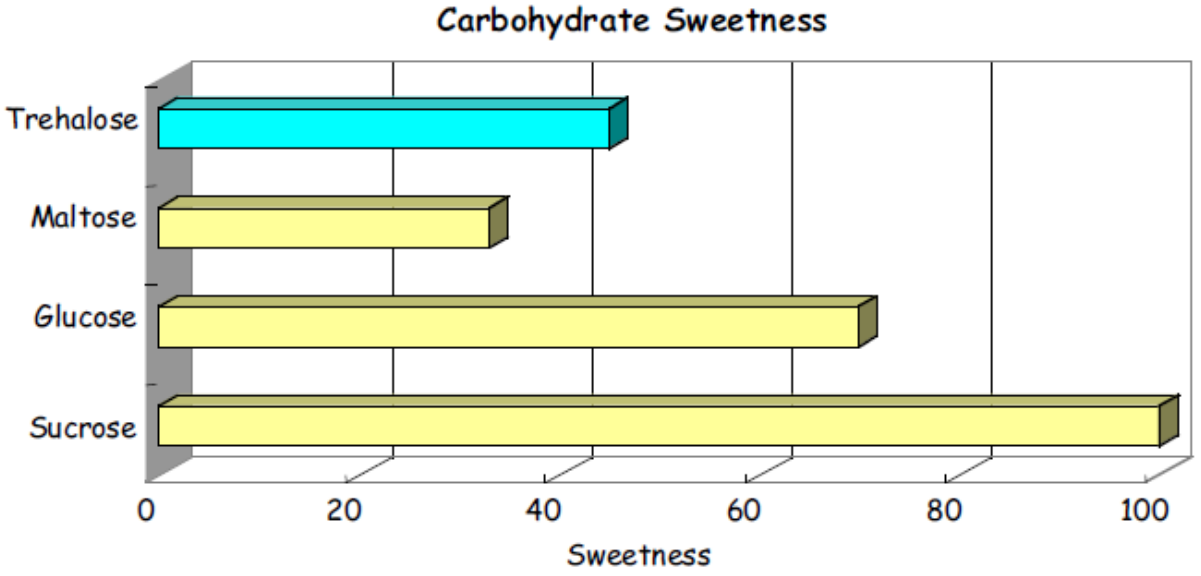


RELATIVNA SLATKOĆA

- **razlike u strukturi – različita fizikalna, kemijska i fiziološka svojstva (hranidbena slatkoća)**

relativna slatkoća različitih ugljikohidrata:

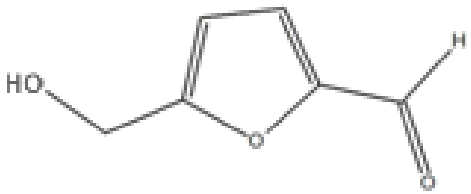
saharoza	100
glukoza	74
fruktoza	174
laktoza	16
maltoza	32
galaktoza	32



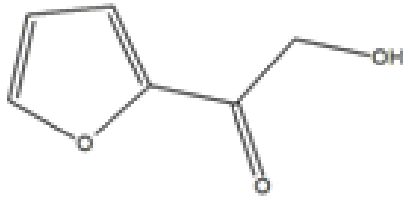
KARAMELIZACIJA

- **karamel – taljenjem ugljikohidrata na 160°C**
- **početna faza odvija se na nižim temperaturama kada nastaju aromatski aldehidi i dikarbonilni spojevi – svijetla boja**

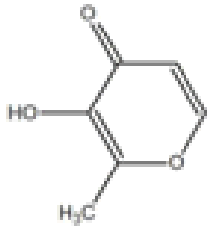




5- hydroxyméthyl-furfural (5-HMF)

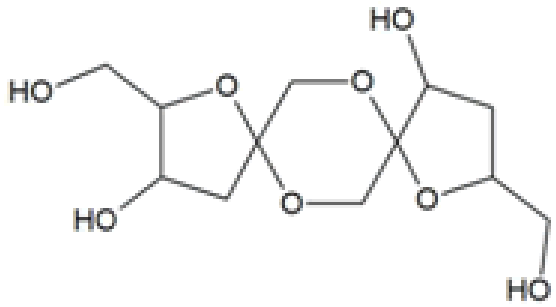


2(-2-hydroxyacétyl)-furane



Maltol

daju specifičnu aromu karamelu



- **druga faza je polimerizacija u kojoj nastaje anhidrid fruktoze – 70%**
- **karakteristična smeđa boja**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

OLIGOSAHARIDI

Prijediplomski studij

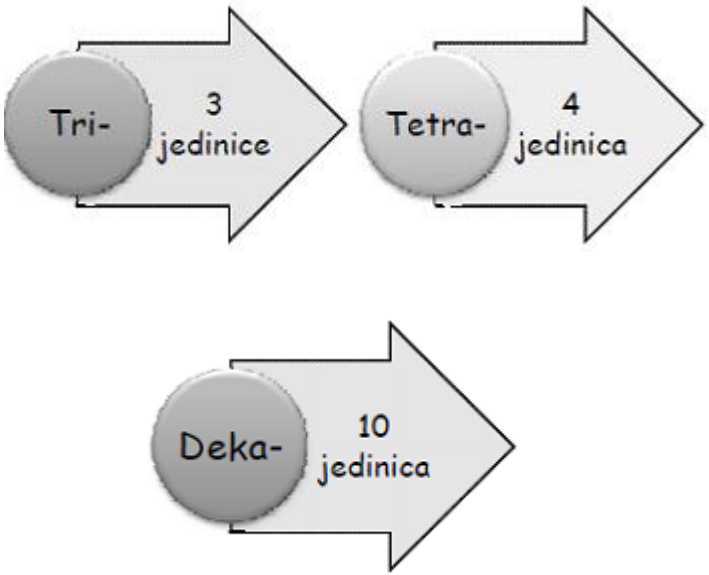
Primijenjena kemija

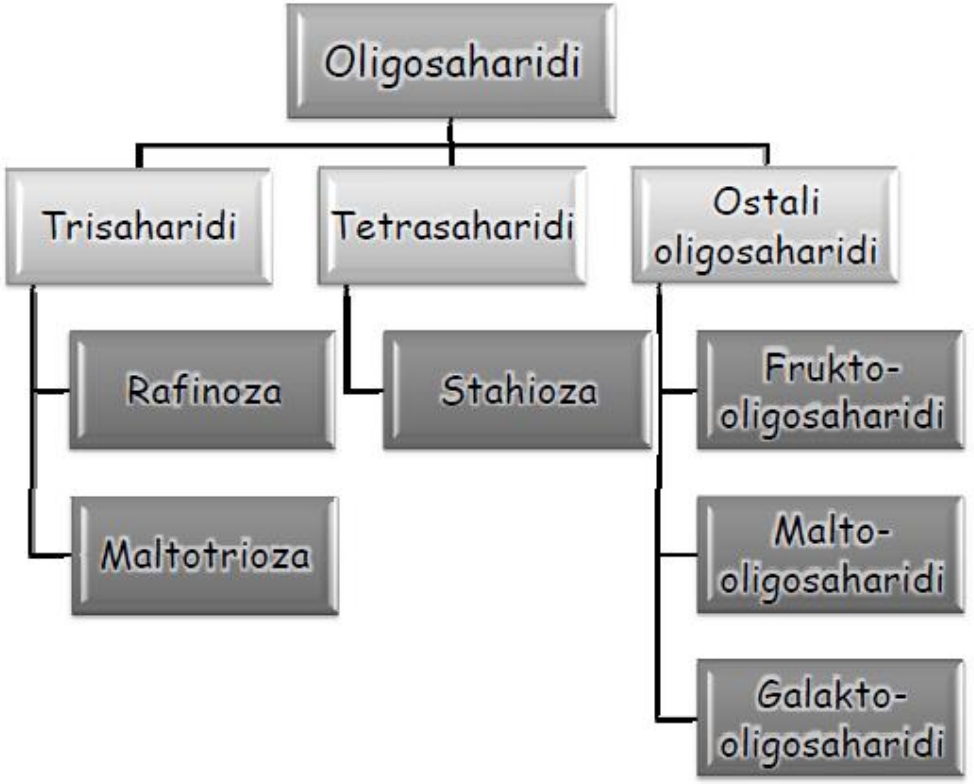
Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

Studeni, 2026.

STRUKTURA OLIGOSAHARIDA

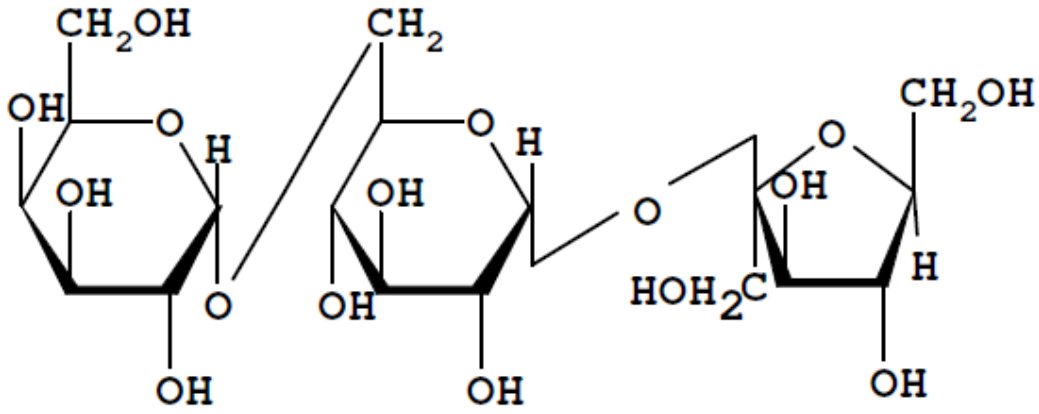
- u strukturi sadrže nekoliko monosaharidnih jedinica međusobno povezanih glikozidnom vezom (3-10)
- često su sastavni dijelovi antibiotika, prehrambena industrija





STRUKTURA OLIGOSAHARIDA

- **rafinoza – trisaharid sastavljen od saharoze vezane na galaktozu α-1,6 glikozidnom vezom**
- **23% slatkoće saharoze**
- **najbogatiji izvor su sjemenke pamuka i sok eukaliptusa, a nalazi se i u nekim mahunarkama (grah, grašak, prokulice)**

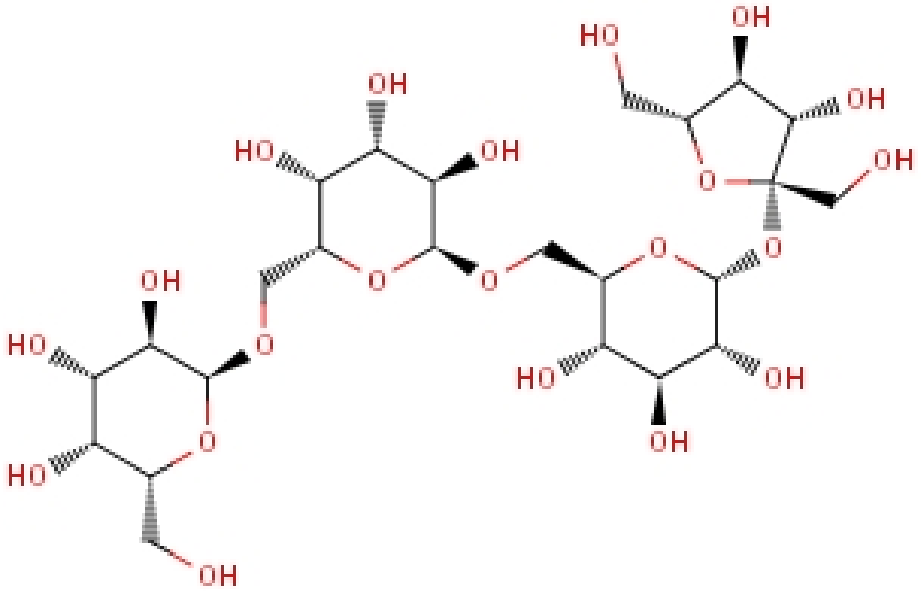


rafinoza

α-D-galaktopiranozil-(1-6)-α-D-glukopiranozil-(1-2)-β- D-fruktofuranozid

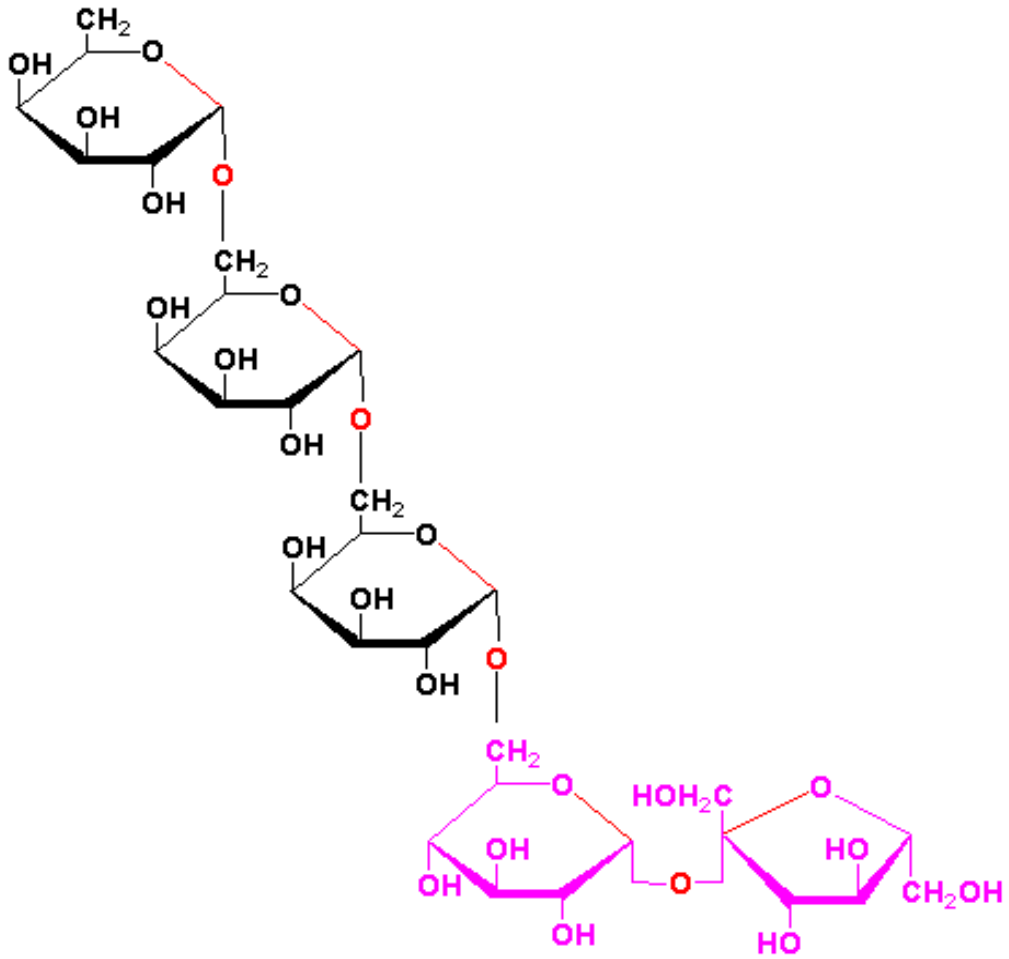
STRUKTURA OLIGOSAHARIDA

- **stahioza – tetrasaharid sastavljen od dvije molekule galaktoze, jedne molekule glukoze i jedne molekule fruktoze vezanih α-1,6 i α-1,β-2 glikozidnim vezama (rafinoza + galaktoza)**
- **nije u potpunosti probavljiva u ljudskom organizmu**



STRUKTURA OLIGOSAHARIDI

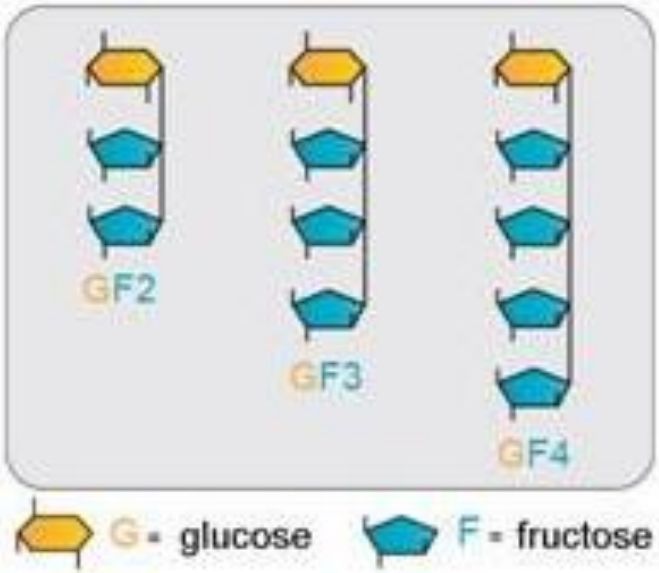
- **verbaskoza – pentasaharid koji je sastavljen od tri jedinice galaktoze vezanih na saharozu**



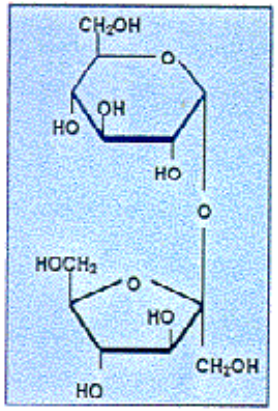
FRUKTOLIGOSAHARIDI

- **FOS – najčešći su kratkolančani**
- **u prirodi su najzastupljeniji u luku, bijelom luku i cikoriji**
- **unos u organizam iznosi oko 1 g dnevno**
- **u prehrambenoj industriji**

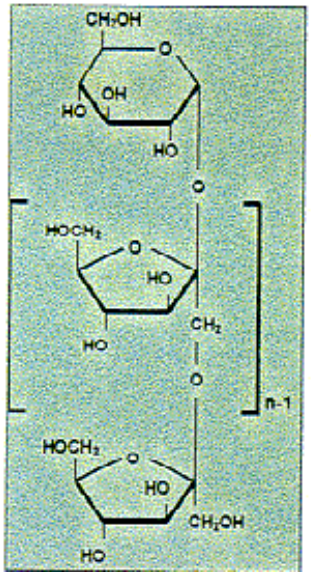
Linearni polimeri glukozil α(1→2)(fruktozil)$_n$ß(2→1)fruktoze sa stupnjem polimerizacije od 1-5



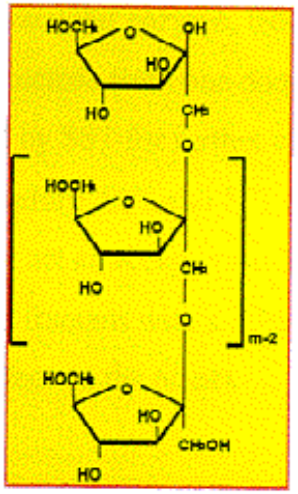
[GF]



[GF_n]

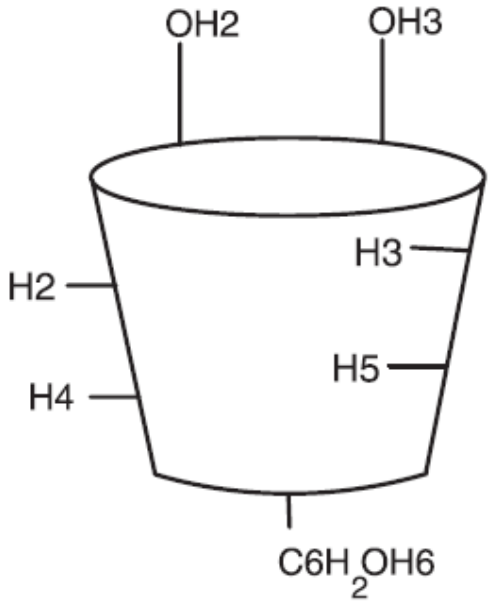


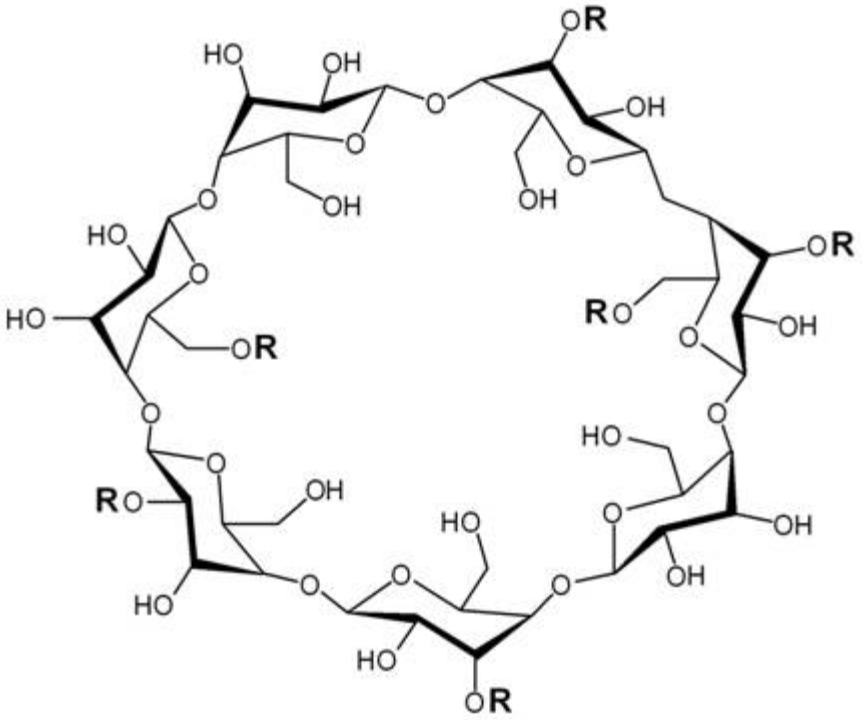
[F_m]



CIKLODEKSTRINI

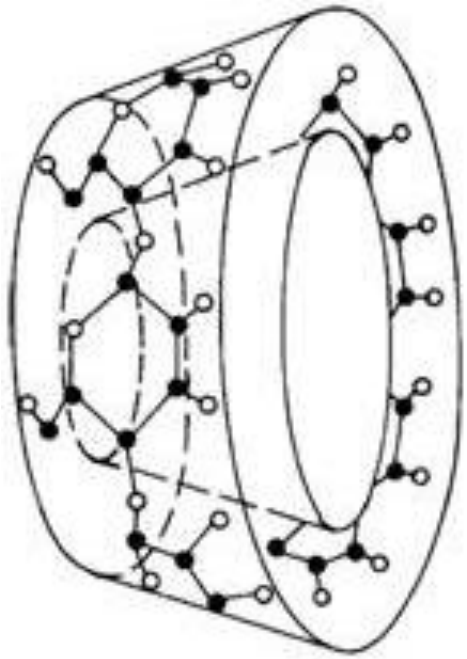
- **posebna, specifična grupa oligosaharida koji sadrže 6, 7 ili 8 molekula glukoze međusobno povezanih α-1,4 glikozidnom vezom tvoreći makrocikličke prstene**
- **1902. Franz Schardinger**

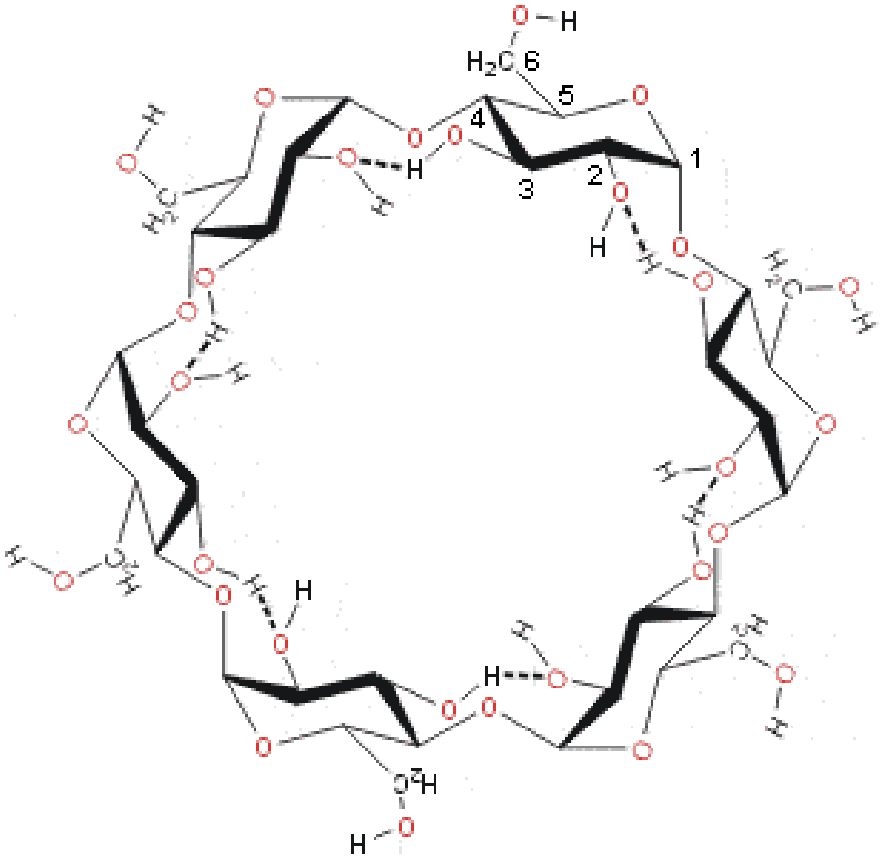




CIKLODEKSTRINI

- **makrociklički prsten – lipofilni unutarnji dio (OH skupine) i hidrofilni vanjski dio (topljivost)**

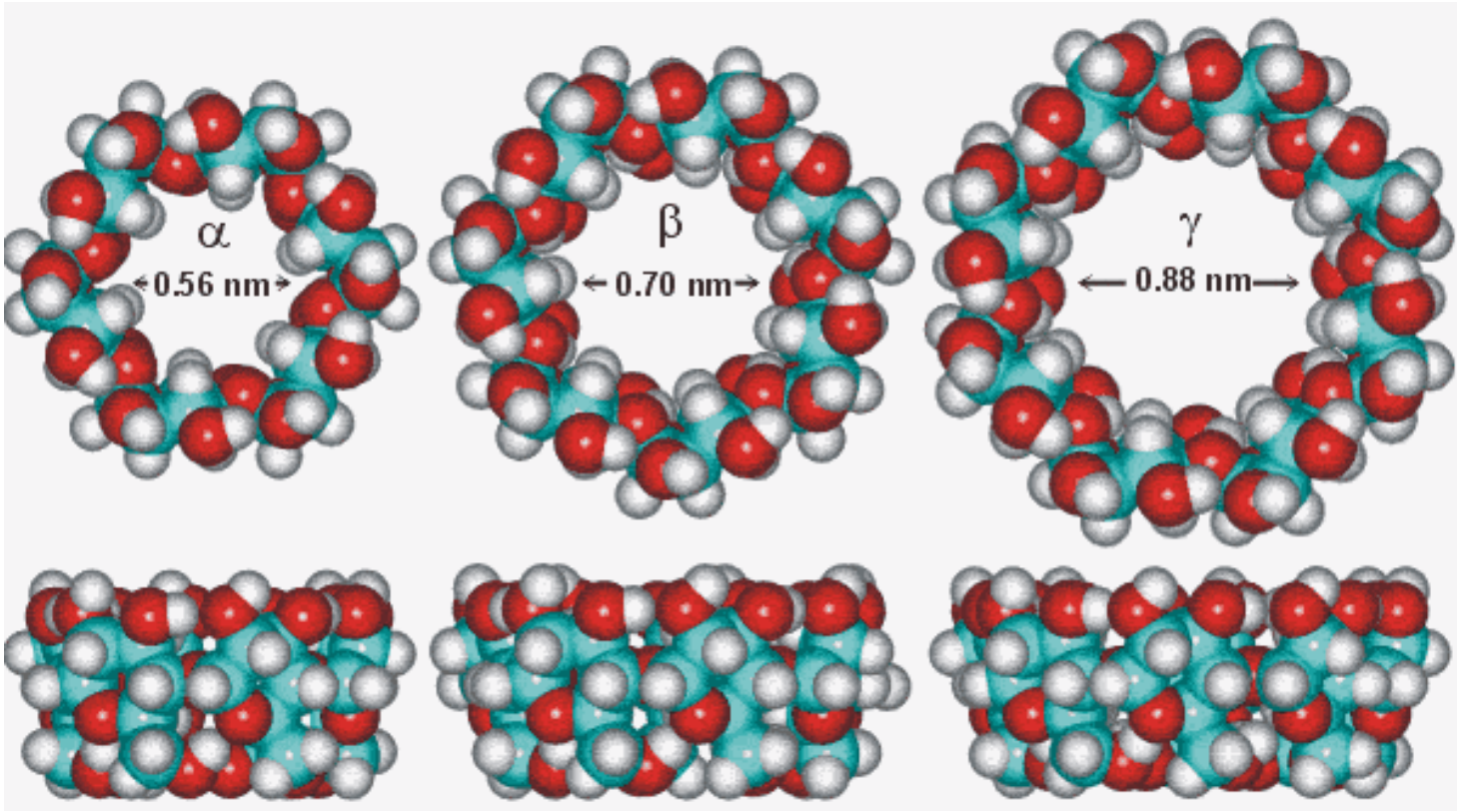




CIKLODEKSTRINI

- α (sadrže 6 monosaharidnih jedinica),
  β (sadrže 7 monosaharidnih jedinica)
  i γ (sadrže 8 monosaharidnih jedinica)

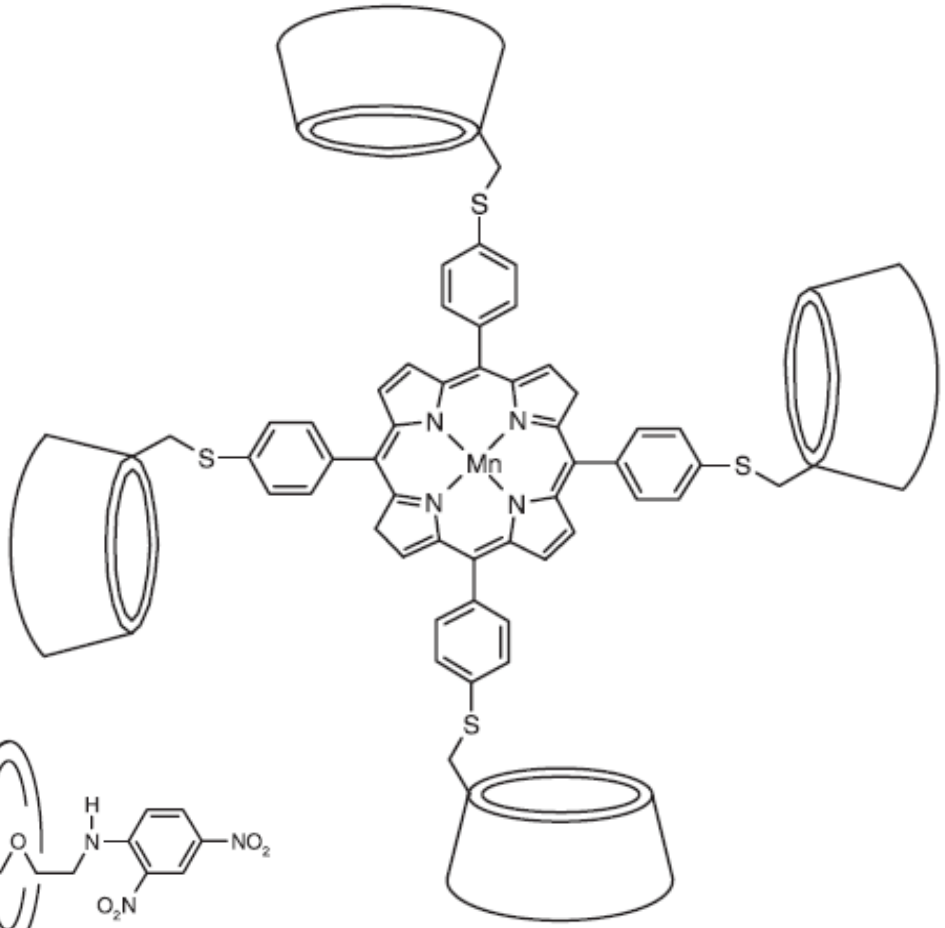
α-dekstrini - 0.6nm
β-dekstrini - 0.75-0.8nm
γ-dekstrini -0.95-1.0nm

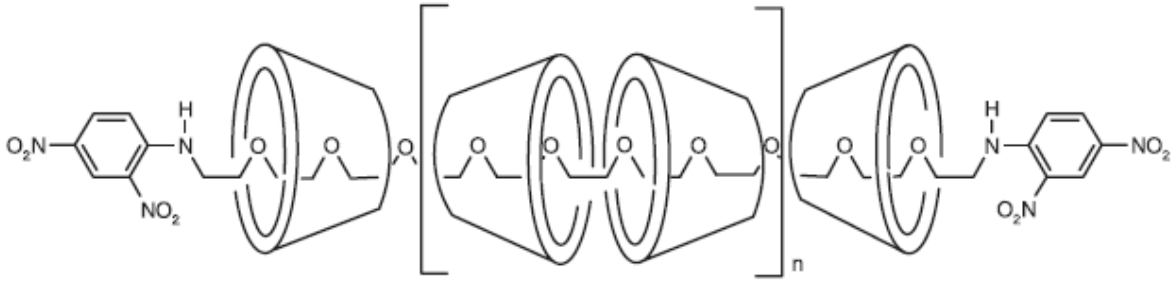


CIKLODEKSTRINI

- **priređeni su mnogi derivati s boljim karakteristikama kompleksiranja – primjena u boljoj distribuciji lijekova**
- **farmaceutska industrija, zaštita okoliša**







Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

POLISAHARIDI

Prijediplomski studij

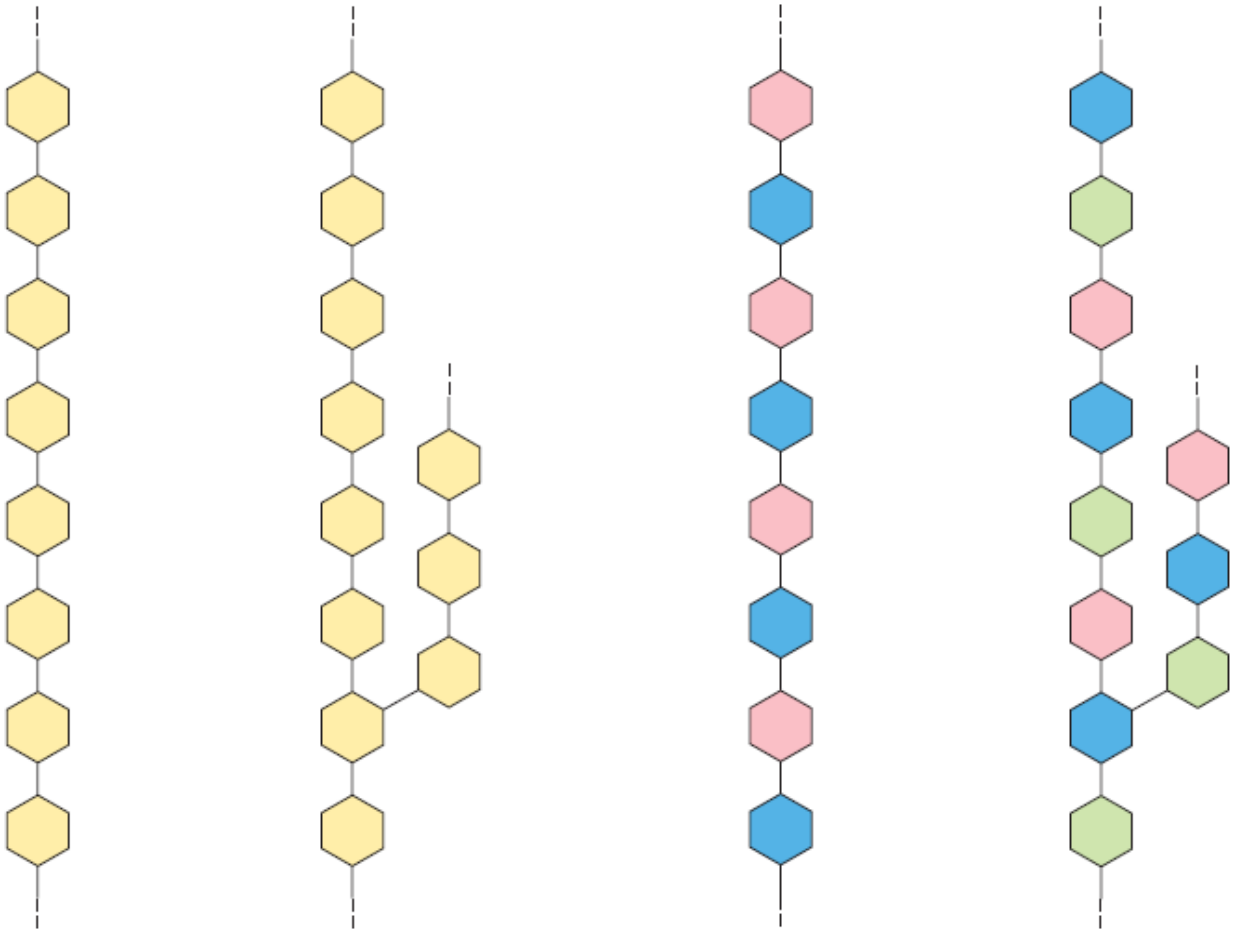
Primijenjena kemija

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

Studeni, 2026.

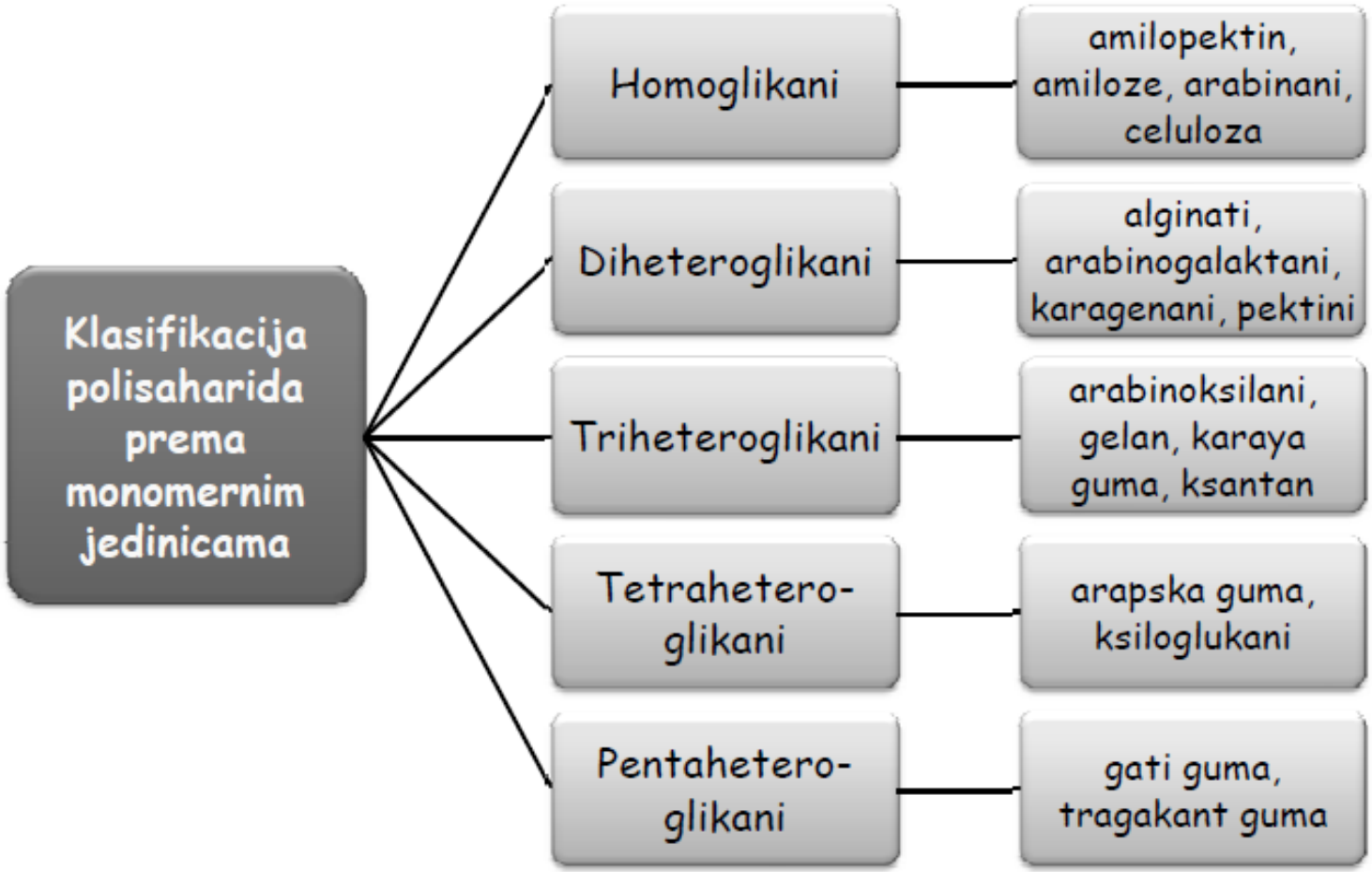
STRUKTURA POLISAHARIDA

- **homopolisaharidi i heteropolisaharidi**



STRUKTURA POLISAHARIDA

- **homopolisaharidi i heteropolisaharidi**



POLISAHARIDI

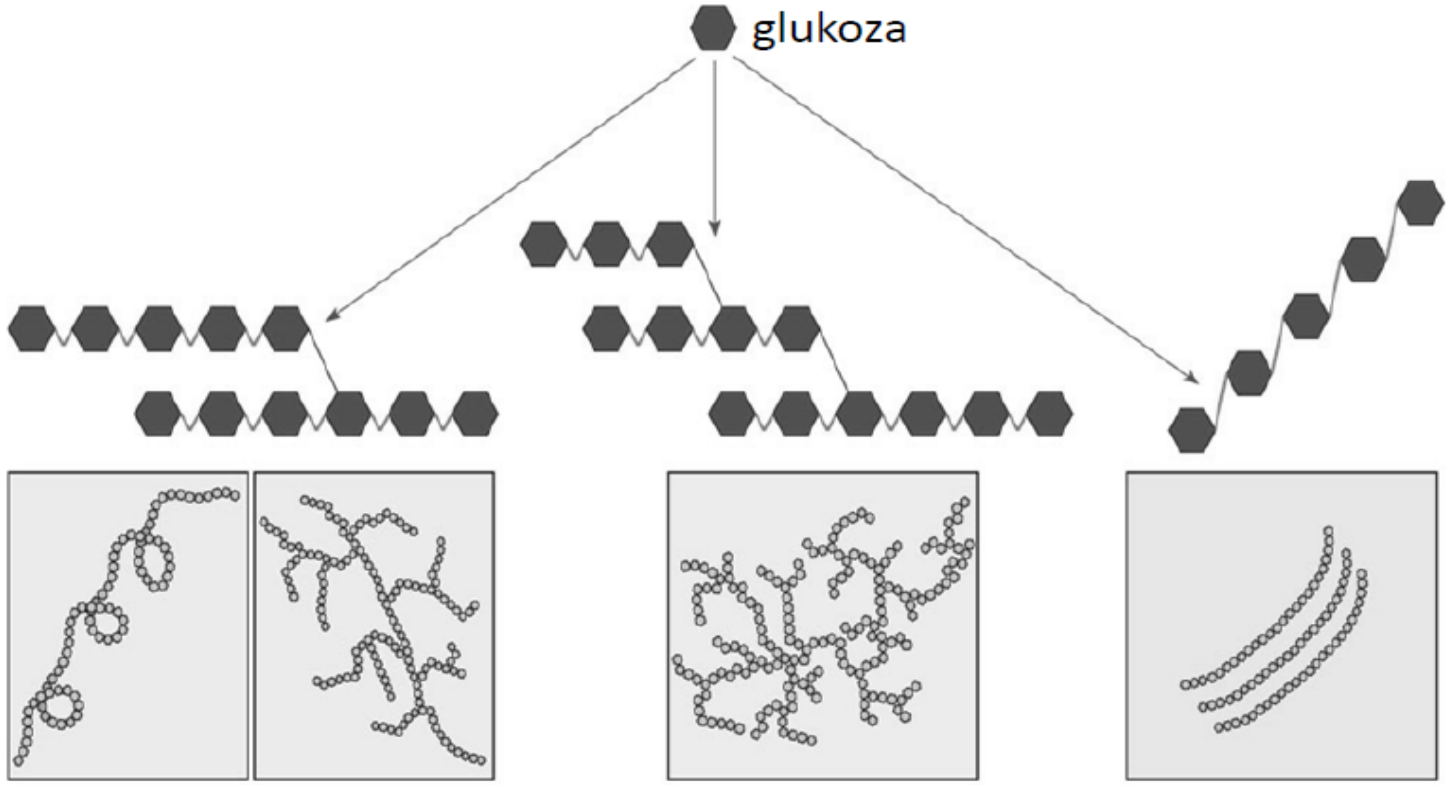
- polimeri monosaharida povezanih α ili β-glikozidnom vezom visoke molekularne mase (n > 10, Mr > 200 000)
- linearno ili razgranato raspoređene monosaharidne jedinice
- broj jedinica monosaharida u strukturi polisaharida određuje njegov stupanj polimerizacije (DP)
- najveće molekule polisasharida imaju DP 7 000 – 15 000 kao npr. celuloza, a većina ih ima DP 200 – 3 000
- nazivaju se i glikani, nisu slatkog okusa, nisu topljivi u vodi

Dijele se u tri osnovne skupine:

- strukturni - mehanička stabilnost stanice, organa i organizama
- koji vežu vodu – hidratizirani, sprječavaju isušivanje stanica i tkiva
- skladišni – pohranjuju energiju

POLISAHARIDI

- **glukoza je gradivna jedinica najvažnijih polisaharida**



NAJVAŽNIJI POLISAHARIDI

TABLE 7–2 Structures and Roles of Some Polysaccharides

Polymer	*Type**	*Repeating unit†*	*Size (number of monosaccharide units)*	*Roles/significance*
Starch				Energy storage: in plants
Amylose	Homo-	(α1→4)Glc, linear	50–5,000	
Amylopectin	Homo-	(α1→4)Glc, with (α1→6)Glc branches every 24–30 residues	Up to 10^6	
Glycogen	Homo-	(α1→4)Glc, with (α1→6)Glc branches every 8–12 residues	Up to 50,000	Energy storage: in bacteria and animal cells
Cellulose	Homo-	(β1→4)Glc	Up to 15,000	Structural: in plants, gives rigidity and strength to cell walls
Chitin	Homo-	(β1→4)GlcNAc	Very large	Structural: in insects, spiders, crustaceans, gives rigidity and strength to exoskeletons
Dextran	Homo-	(α1→6)Glc, with (α1→3) branches	Wide range	Structural: in bacteria, extracellular adhesive
Peptidoglycan	Hetero-; peptides attached	4)Mur2Ac(β1→4) GlcNAc(β1	Very large	Structural: in bacteria, gives rigidity and strength to cell envelope
Agarose	Hetero-	3)D-Gal(β1→4)3,6-anhydro-L-Gal(α1	1,000	Structural: in algae, cell wall material
Hyaluronate (a glycosamino-glycan)	Hetero-; acidic	4)GlcA(β1→3) GlcNAc(β1	Up to 100,000	Structural: in vertebrates, extracellular matrix of skin and connective tissue; viscosity and lubrication in joints

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

HOMOPOLISAHARIDI

Preddiplomski studij

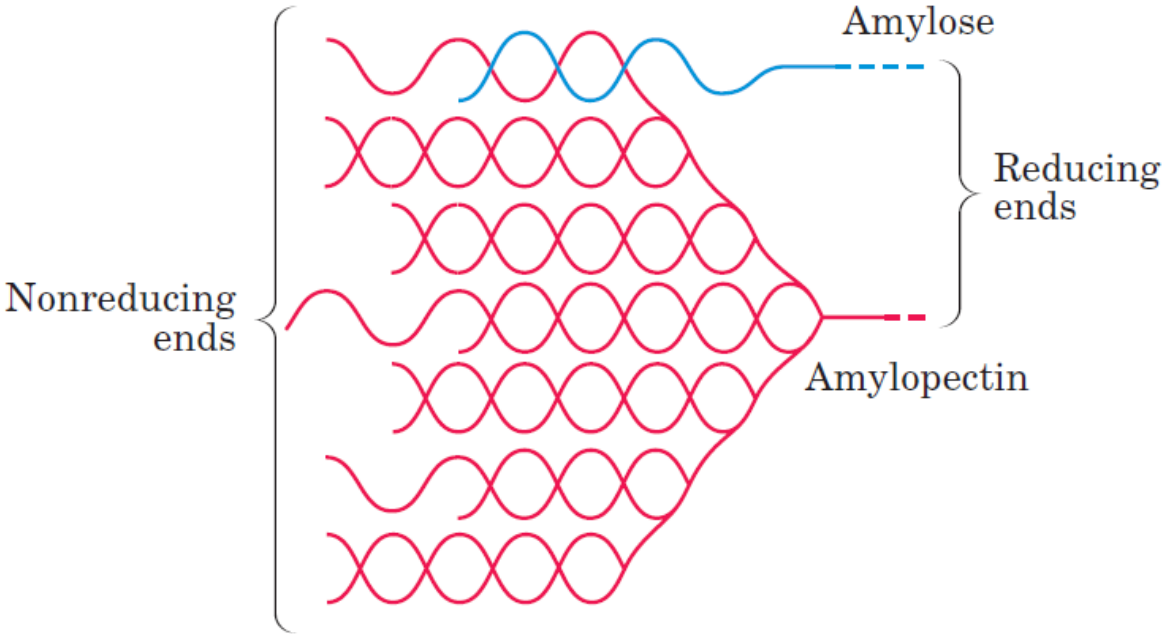
Primijenjena kemija

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

Studeni, 2024.

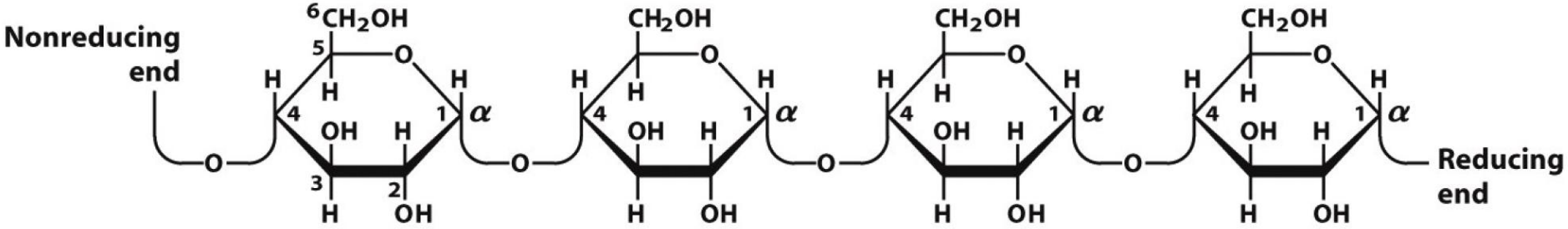
ŠKROB

- homopolisaharid koji se nakuplja u biljkama kao rezervni materijal, a životinje ga koriste uglavnom kao hranu
- sastoji se od polisaharida amiloze i amilopektina
- u granulama škroba amilopektinski lanci tvore dvostruke uzvojnice, a u nju su upleteni lanci amiloze
- sadrži 10-20% amiloze i 80-90% amilopektina

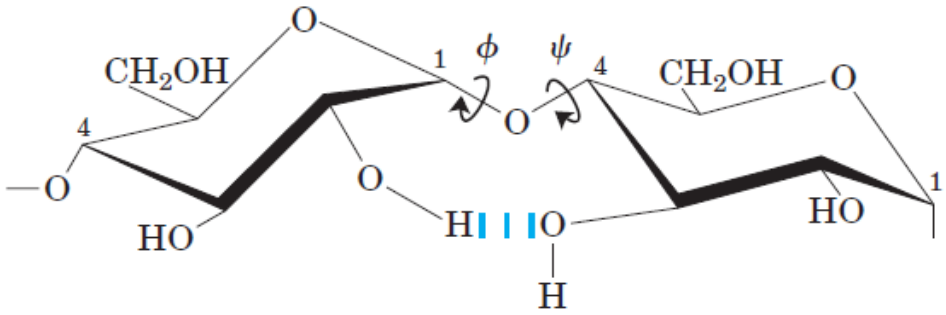


AMILOZA

- **amiloza – linearan polisaharid koji se sastoji od molekula glukoze povezanih α-1,4 glikozidnom vezom**
- **broj jedinica glukoze varira od 100 do 1 600**



Amylose



AMILOZA

- **amiloza – u najstabilnijoj konformaciji lanci su zakrivljeni**
- **konformacijska α-1,4 glikozidna veza uzrokuje stvaranje uzvojnice koja je dodatno stabilizirana vodikovim vezama**
- **struktura potvrđena rendgenskom difrakcijom**

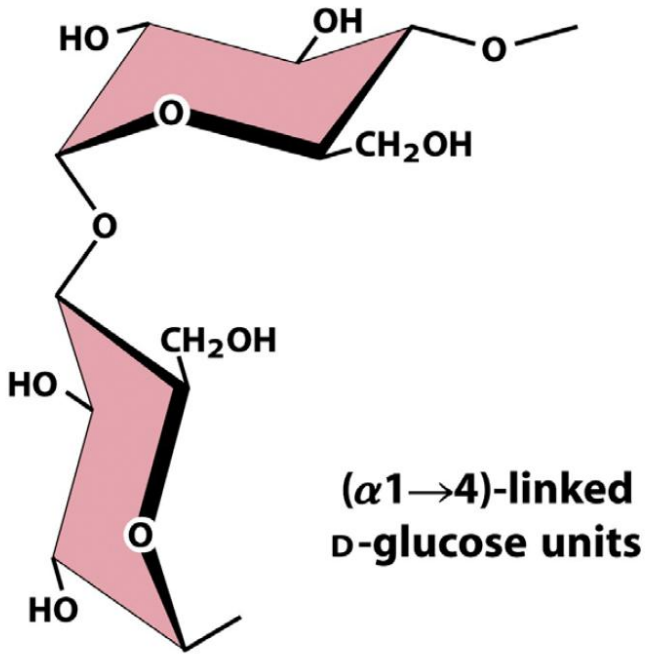


Figure 7-20a
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

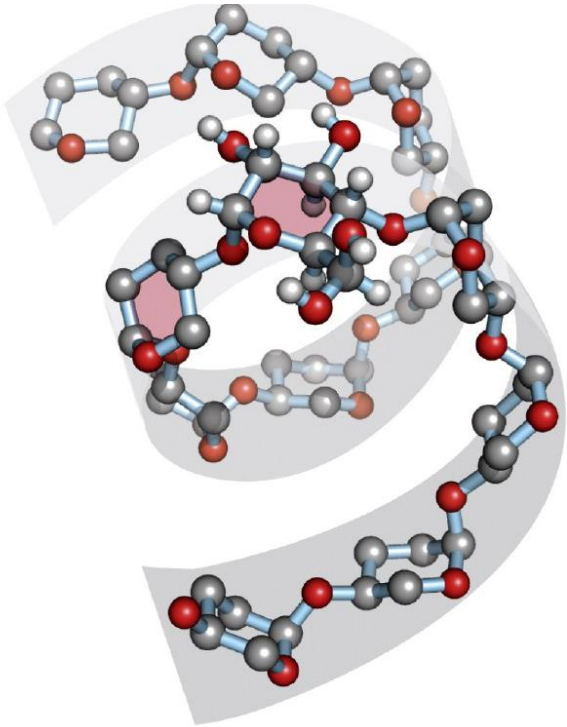


Figure 7-20b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

AMILOPEKTIN

- **amilopektin – u strukturi ima razgranate lance**
- **Mr do 200 × 10^6 g/mol**
- **izgrađen od 10 000 – 20 000 ostataka glukoze**
- **molekule glukoze vežu se α-1,4 glikozidnom vezom, a grane koje se javljaju nakon 24 - 30 molekula glukoze povezuju se s osnovnim lancem α-1,6 glikozidnom vezom**
- **i bočni lanci se granaju**
- **hidrolizom daje glukozu**

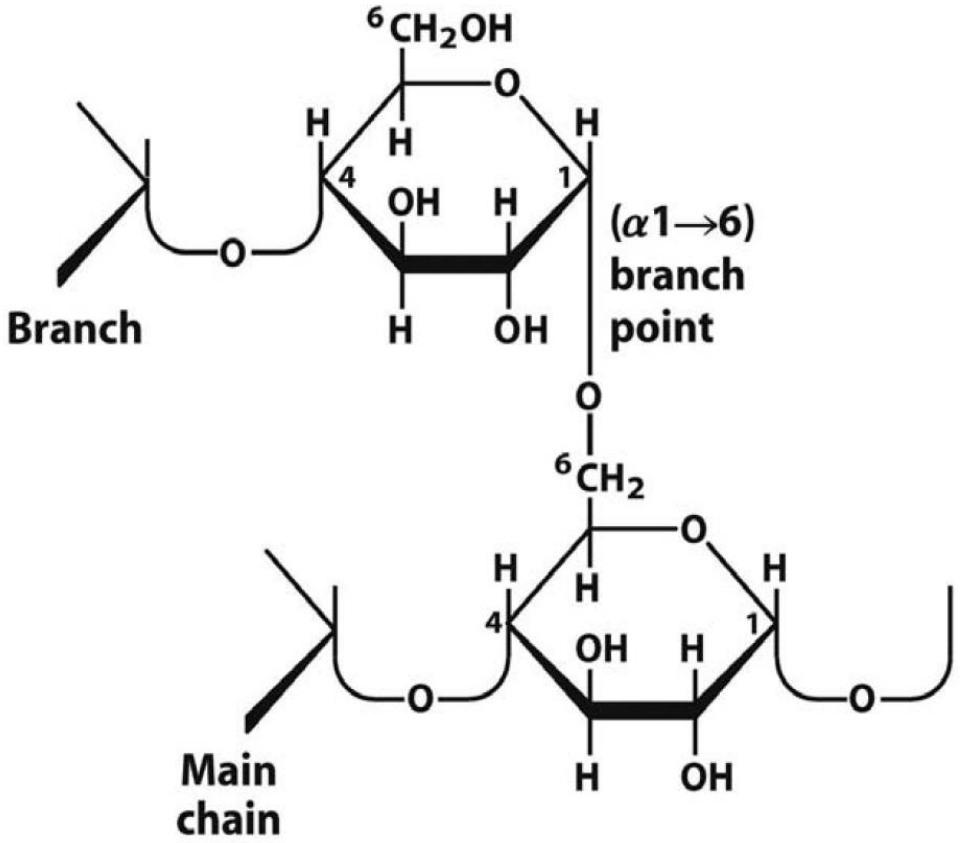
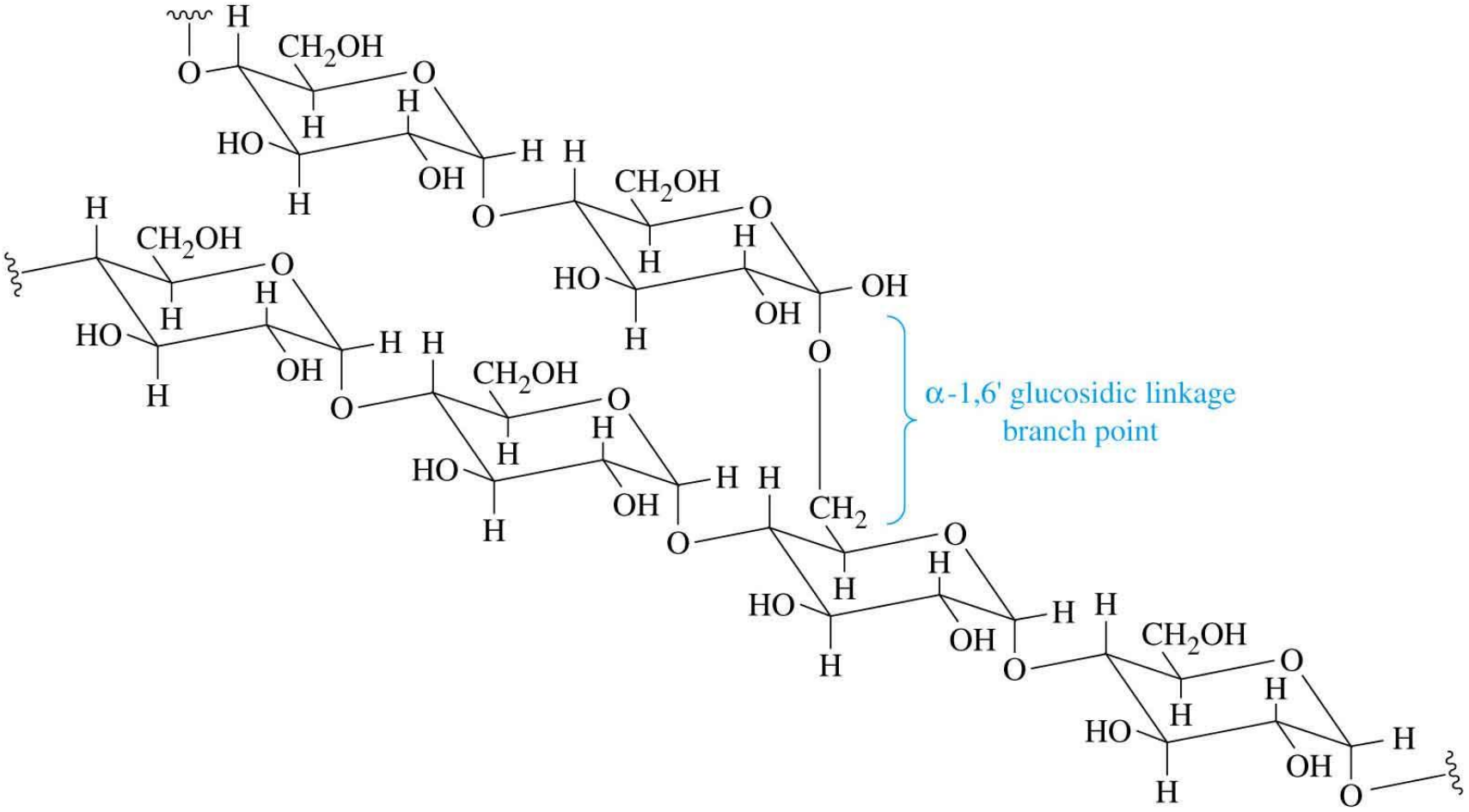


Figure 7-14b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

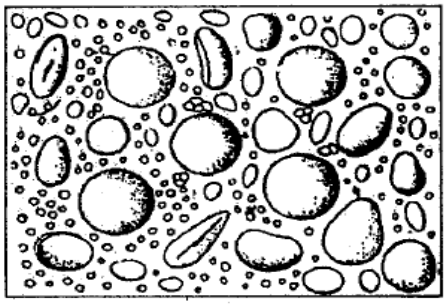
AMILOPEKTIN

- **razgranati netopljivi dio škroba**

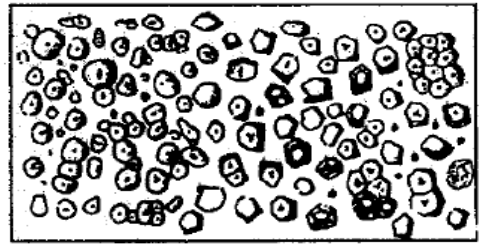


GRANULE ŠKROBA

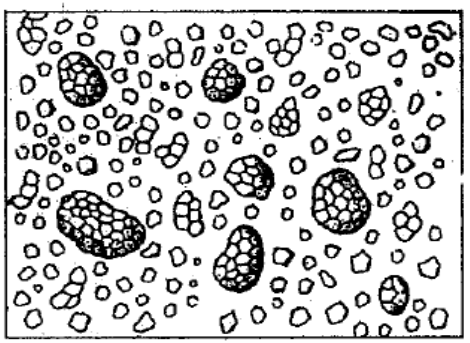
- **granule škroba ili škrobna zrnca – veliki agregati molekula škroba duljine 2-10 mm različitog oblika**



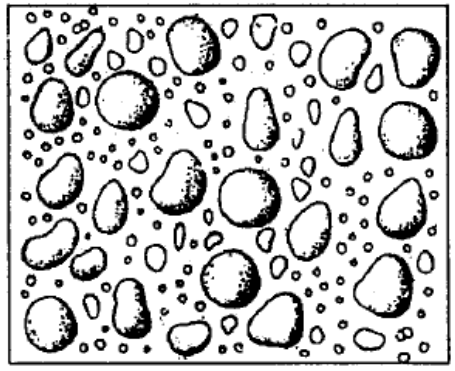
pšenični škrob



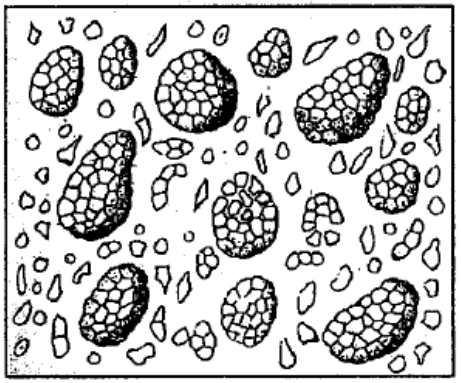
kukuruzni škrob



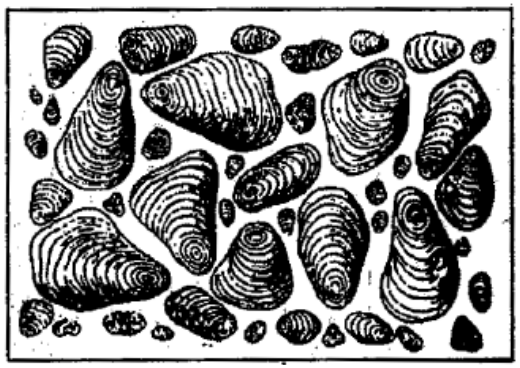
škrob iz riže



ječmeni škrob



zobni škrob

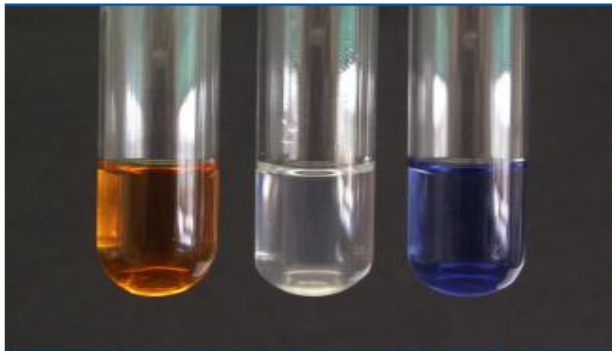


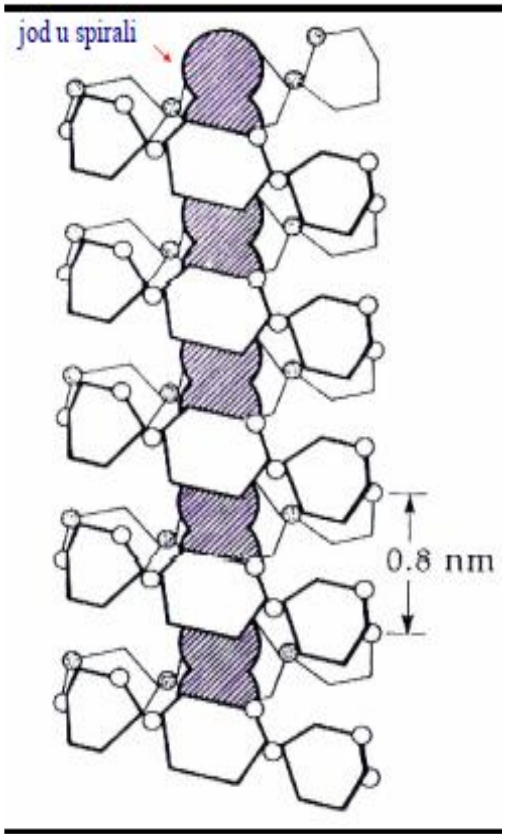
krumpirov škrob

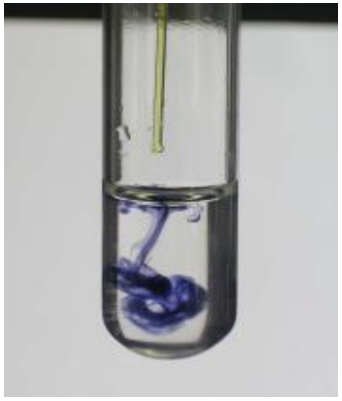
REAKCIJA ŠKROBA S JODOM

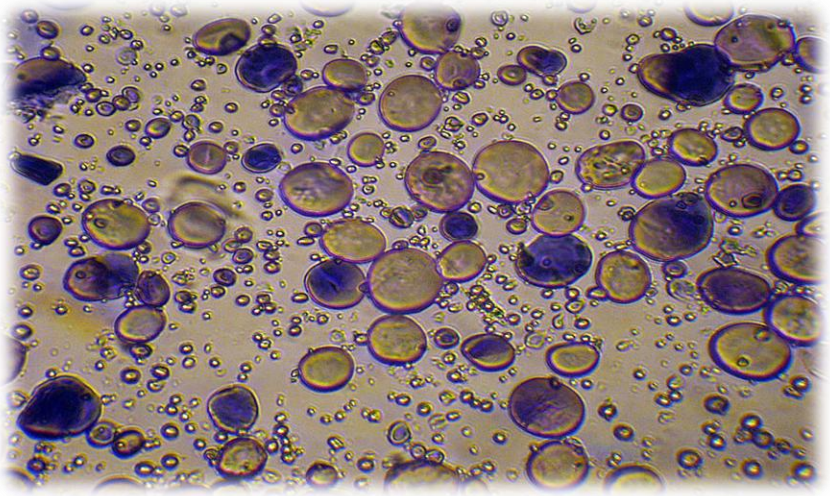
- **škrob u reakciji s Lugolovom otopinom (jod u otopini kalij-jodida) daje plavo-ljubičasto obojenje**





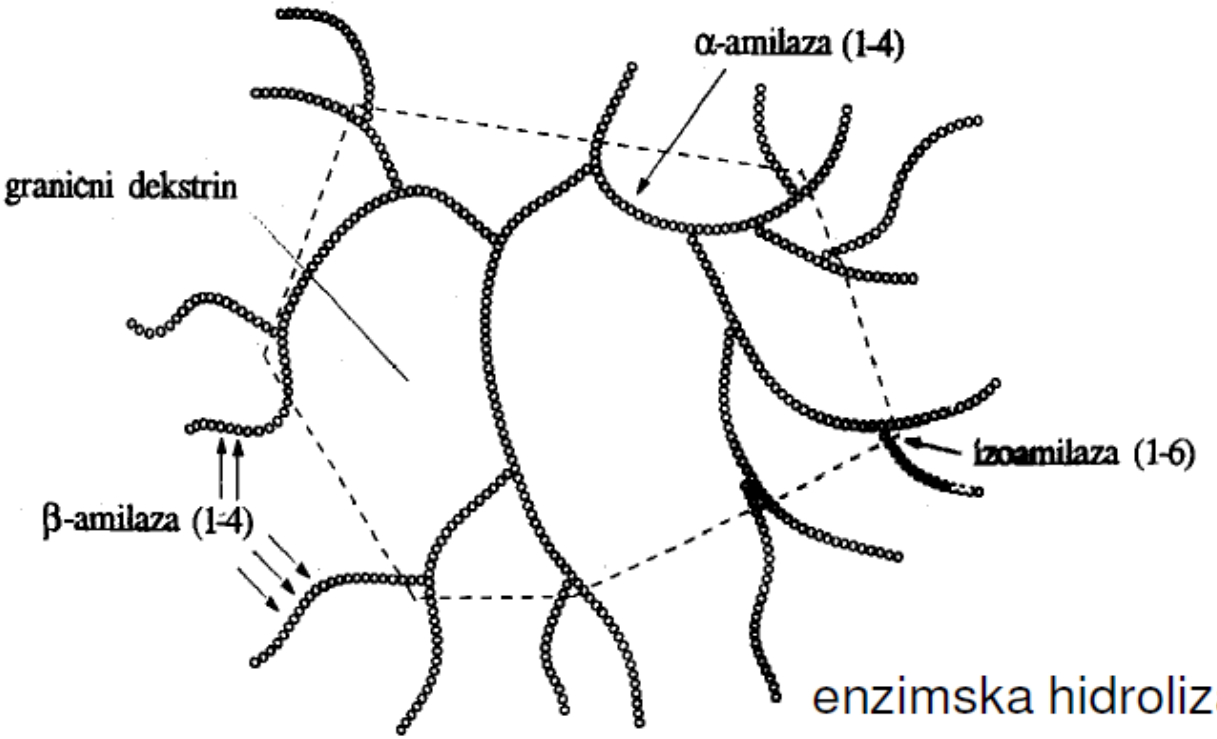






ENZIMSKA HIDROLIZA ŠKROBA

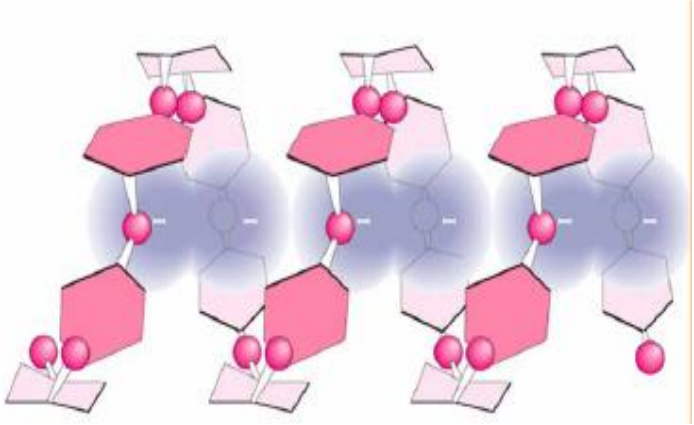
- β-amilaza – cijepa α-1,4 glikozidnu vezu do mjesta račvanja – nastaju granični dekstrini
- α-amilaza – hidrolizira α-1,4 glikozidne veze u unutrašnjosti
- izoamilaza – hidrolizira α-1,6 glikozidne veze

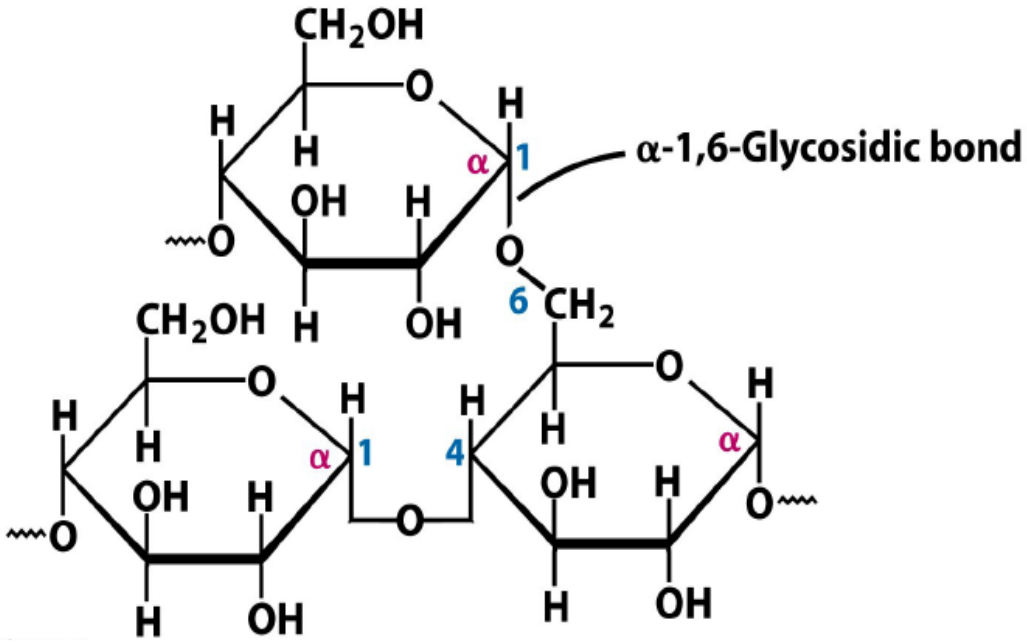


enzimska hidroliza amilopektina

GLIKOGEN

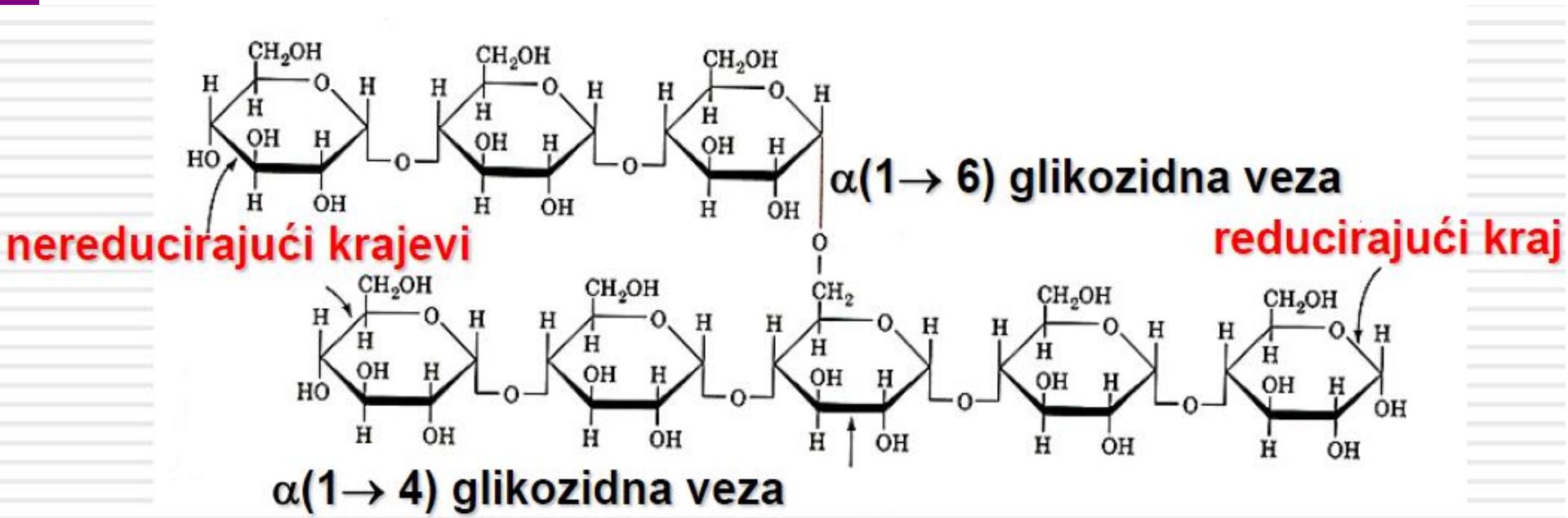
- **glikogen – rezerva energije kod životinja i ljudi**
- **najviše ga je sadržano u jetri do 10% i 1-2% u mišićima**
- **u odnosu na škrob razlikuje se po broju veza**
- **pobočni lanci vežu se α-1,6 glikozidnom vezom na svakih 8-12 jedinica glukoze**
- **naziva se životinjskim škrobom**
- **u obliku granula**
- **vrlo razgranati UH**





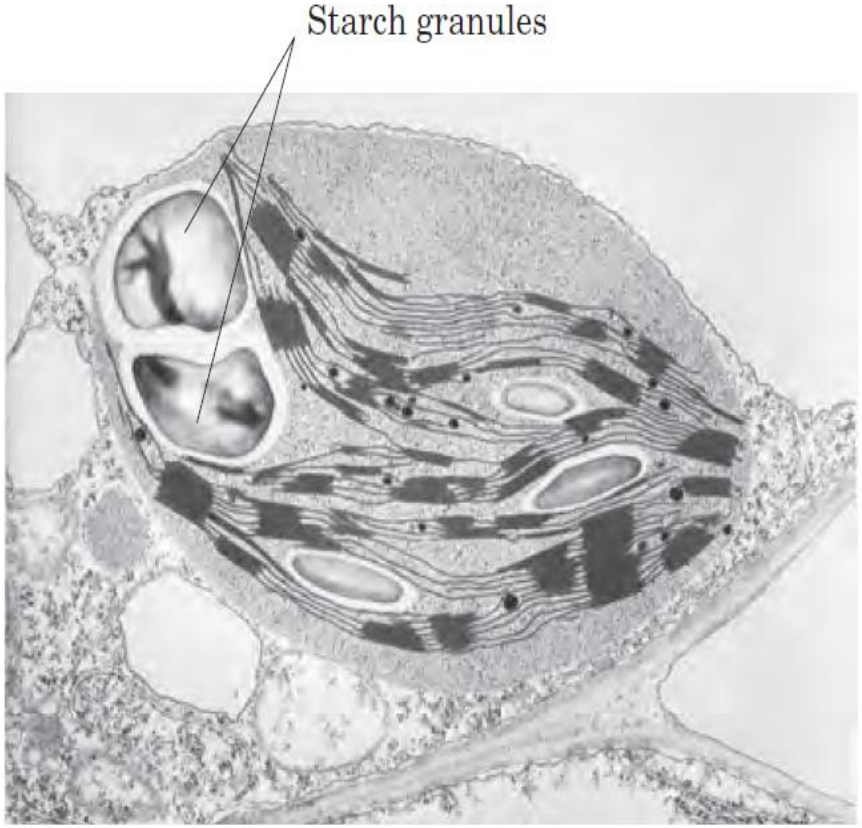
GLIKOGEN

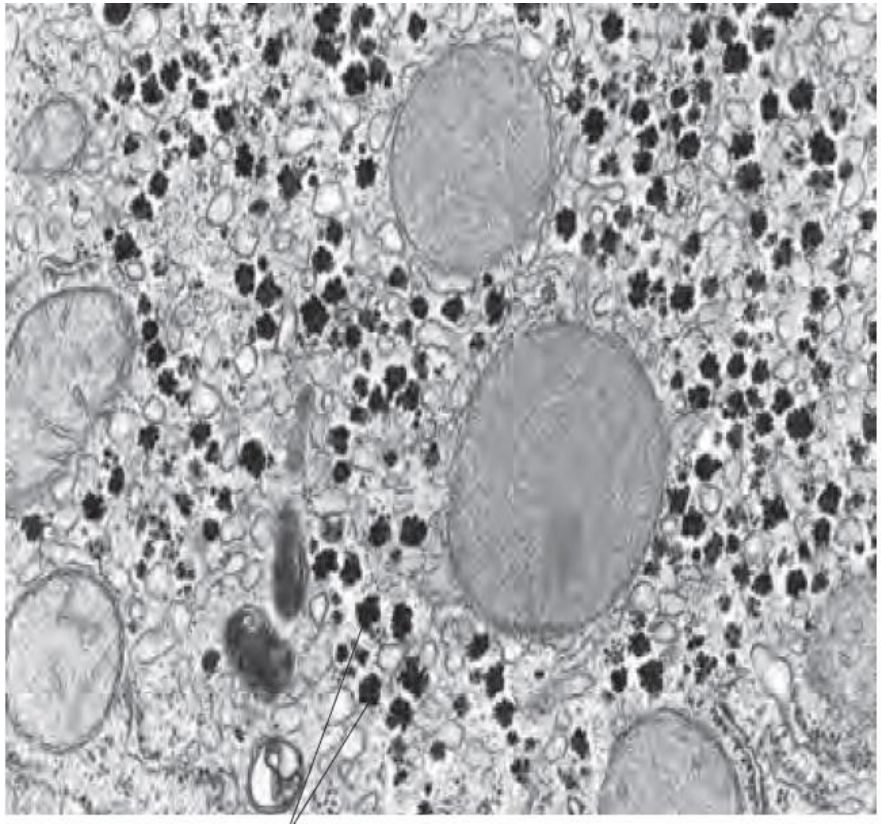
- razgranati polimer glukoze
- pobočni lanci vežu se α-1,6 glikozidnom vezom na svakih 8-12 jedinica glukoze
- mnoge funkcionalne grupe dostupne su za interakciju s različitim enzimima



GRANULE ŠKROBA I GLIKOGENA

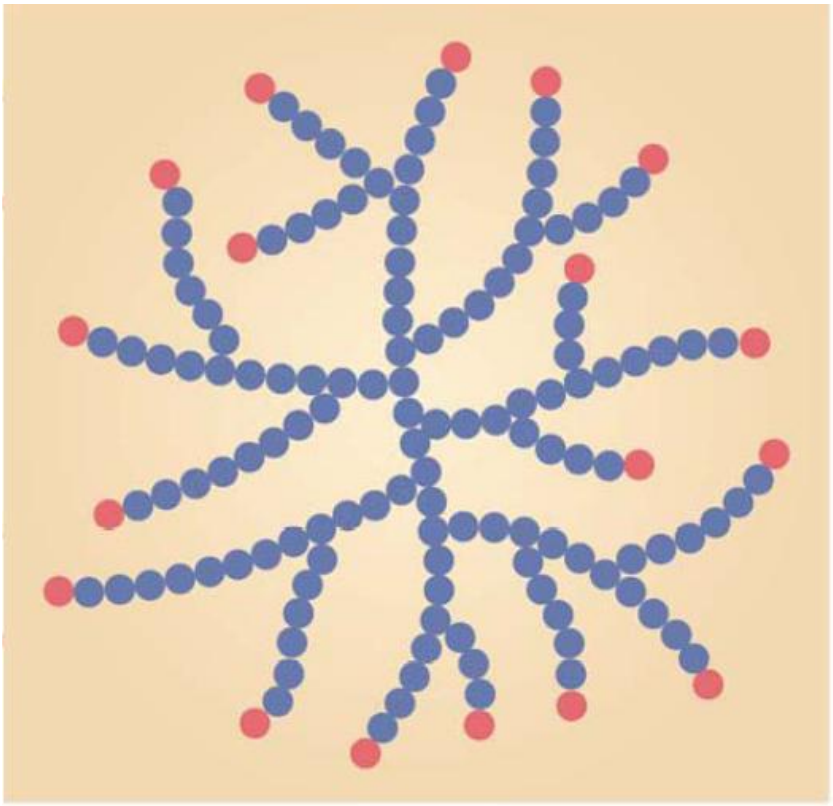
- velike granule škroba u kloroplastu nastale iz glukoze koja nastaje u procesu fotosinteze
- granule glikogena formirane u citosolu



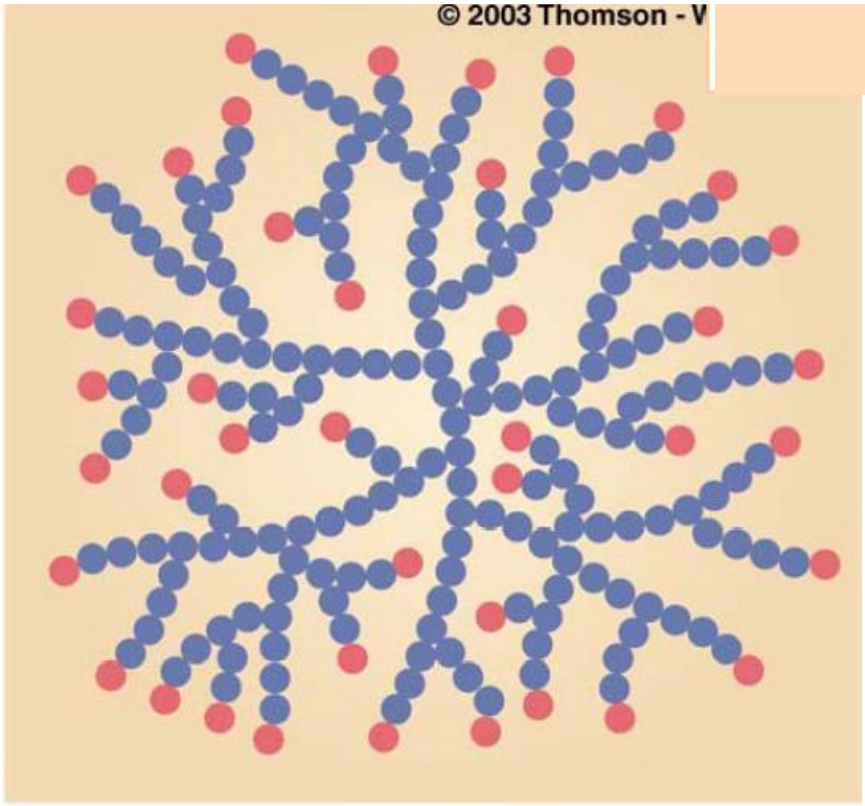


GRANULE ŠKROBA I GLIKOGENA

- **veze u granuli amilopektina i glikogena**



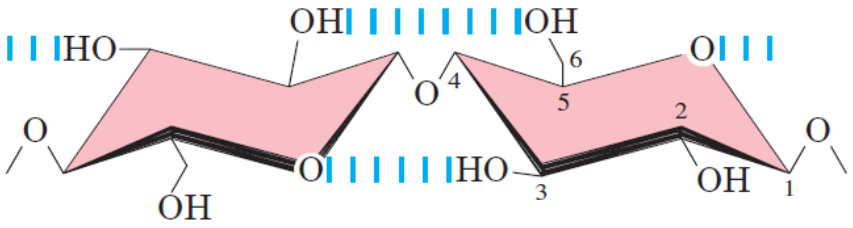
Amylopectin



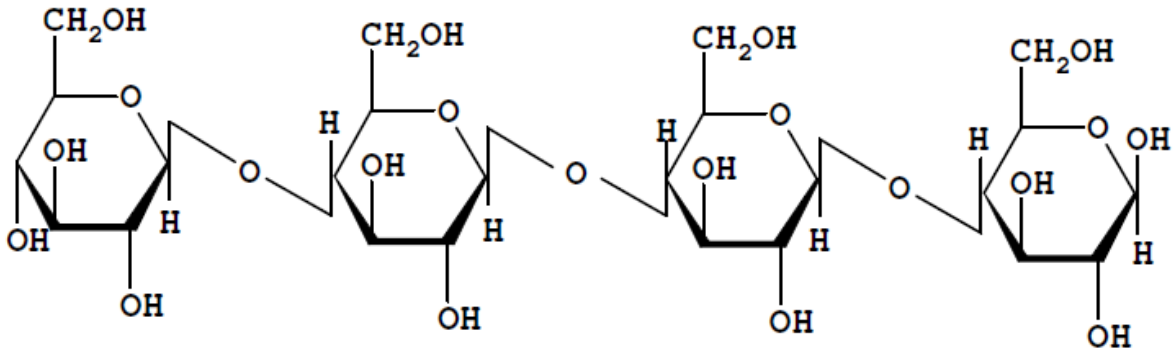
Glycogen

CELULOZA

- glavni polisaharid u biljkama, jedan od najrasprostranjenijih ugljikohidrata na Zemlji, za održavanje strukture biljaka
- biljke godišnje proizvedu 1 tonu celuloze
- glavni je sastojak drveta i papira, pamuk je čista celuloza (98%)
- svake godine se preradi 10^{12} tona celuloze
- linearni polimeri molekula glukoze povezanih β-1,4 glikozidnom vezom što omogućava formiranje ravnih dugačkih lanaca



(β1→4)-linked D-glucose units

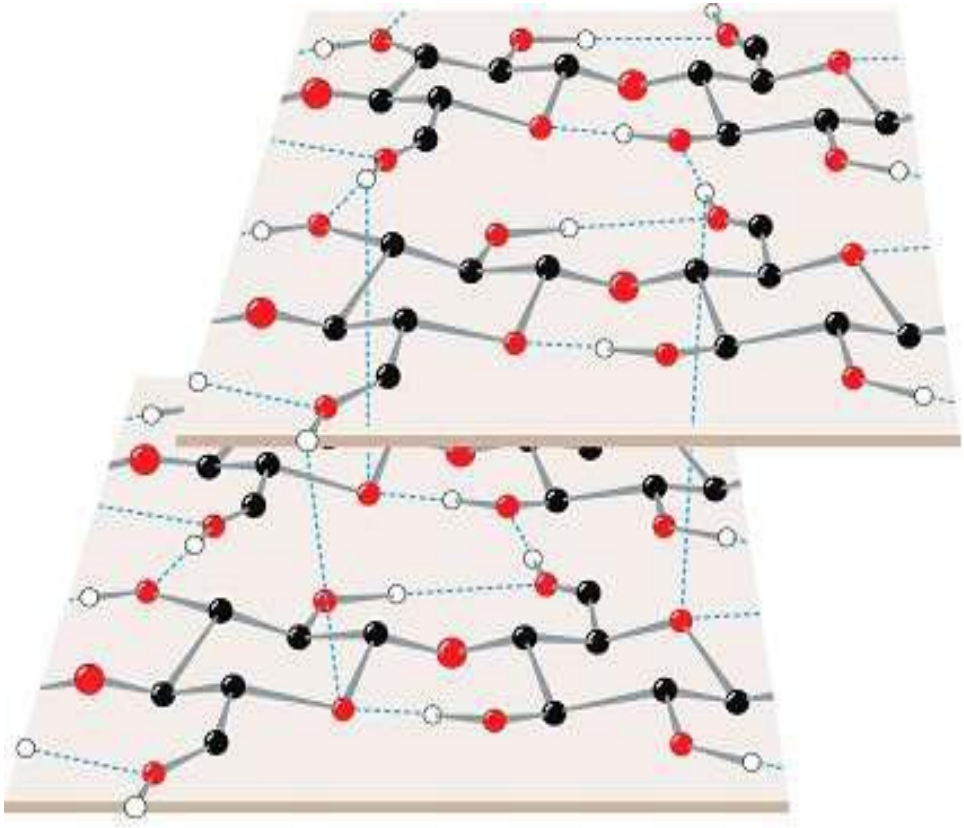


celuloza

STRUKTURA CELULOZE

- **ravni lanci celuloze tvore vodikove veze između lanaca pa nastaju celulozna vlakna**

vlakno celuloze sadrži do 40 lanaca celuloze



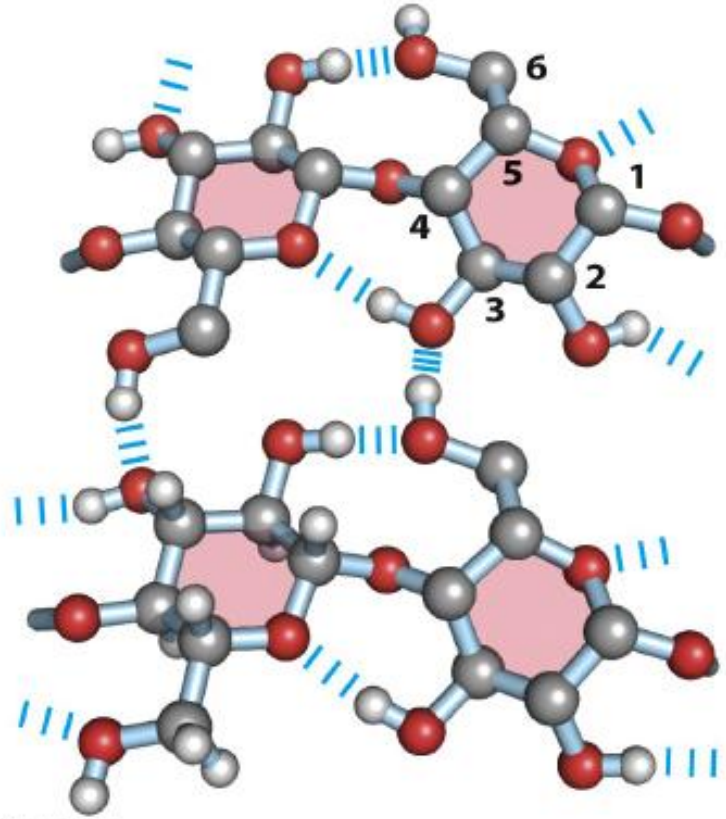
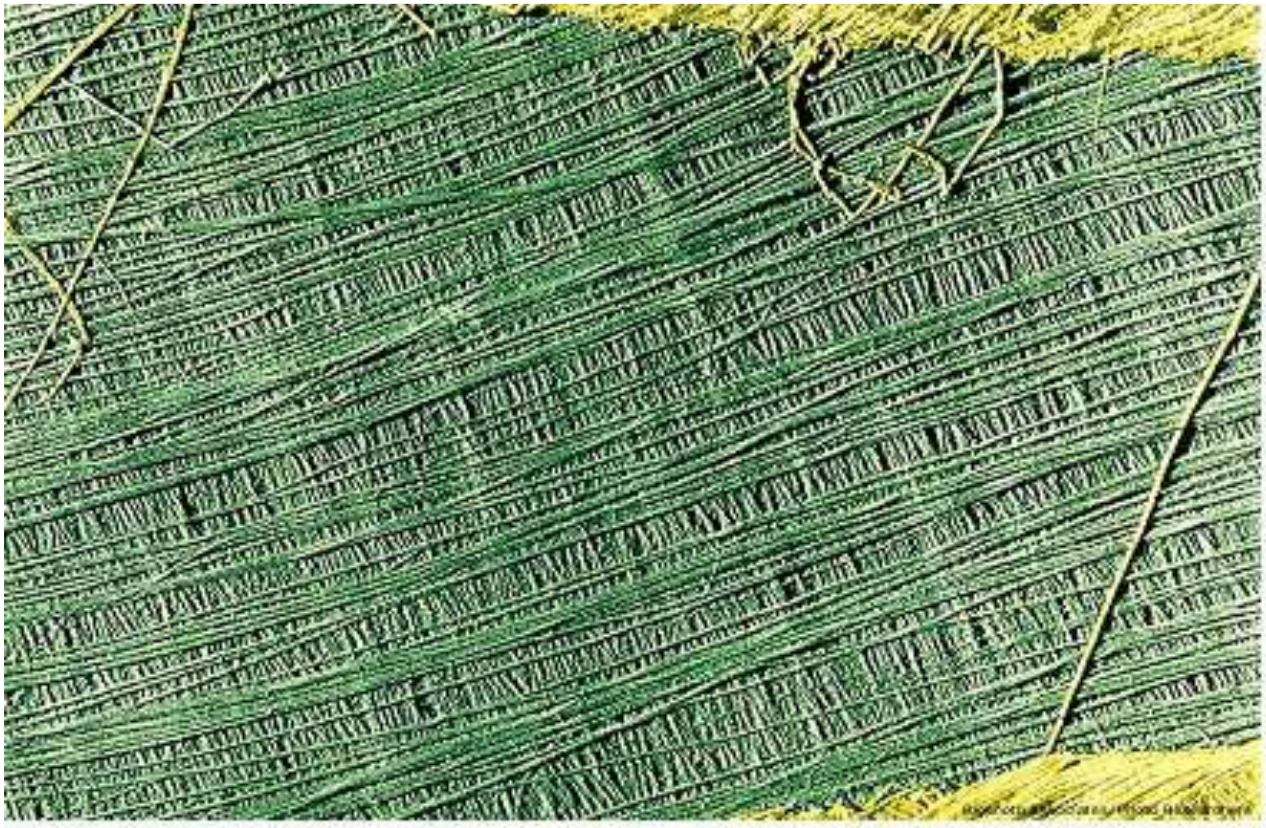


Figure 7-15b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

STRUKTURA CELULOZE

- **vlakna celuloze snimljena elektronskim mikroskopom (alga *Chaetomorpha melagonium*)**



UPOTREBA CELULOZE

- sadržaj celuloze: suho lišće (10%), drvo (50%), pamuk (98%)
- ovisi o obliku i duljini izoliranih vlakana
- lan, juta i konoplja – 20 do 350 cm; pamuk 1,5 do 5,5 cm; drvo 0,2 do 5 mm
- duža vlakna za izradu tekstilnih materijala a kraća za papir
- za dobivanje glukoze hidrolizom (enzim celulaza), otapanjem u otopini $Cu(NH_3)_4(OH)_2$ nastaje viskoza i celofan, celulozni esteri – acetat i nitrat (tkanine, fotografski filmovi); celulozni eteri – zgušnjivači u prehrambenoj industriji



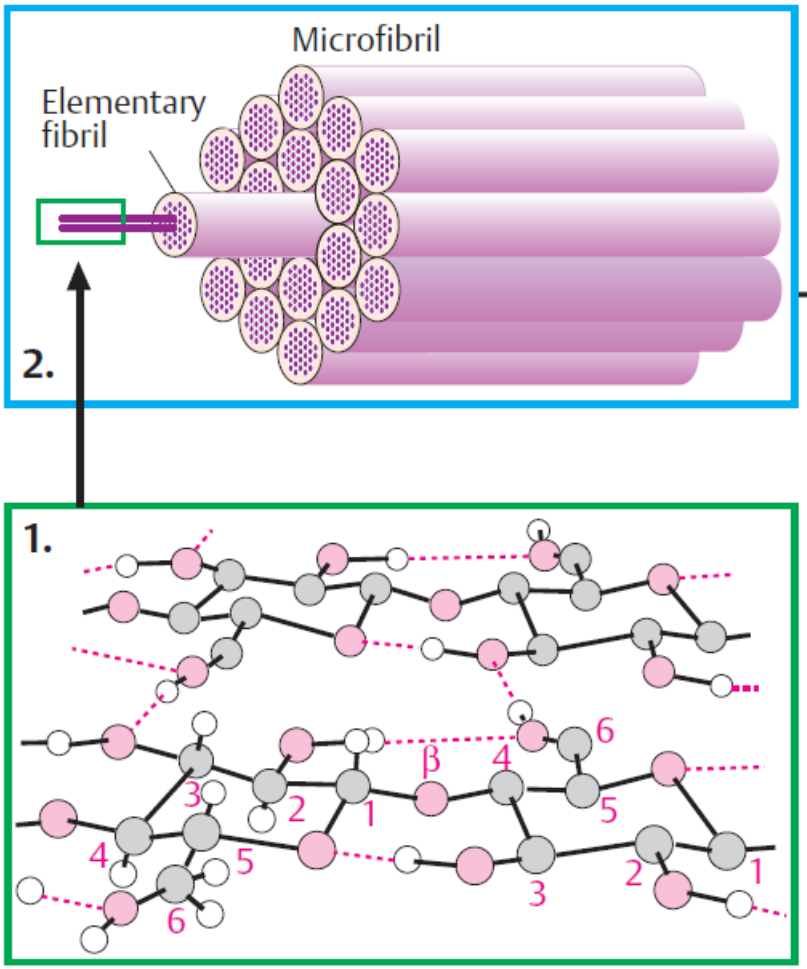




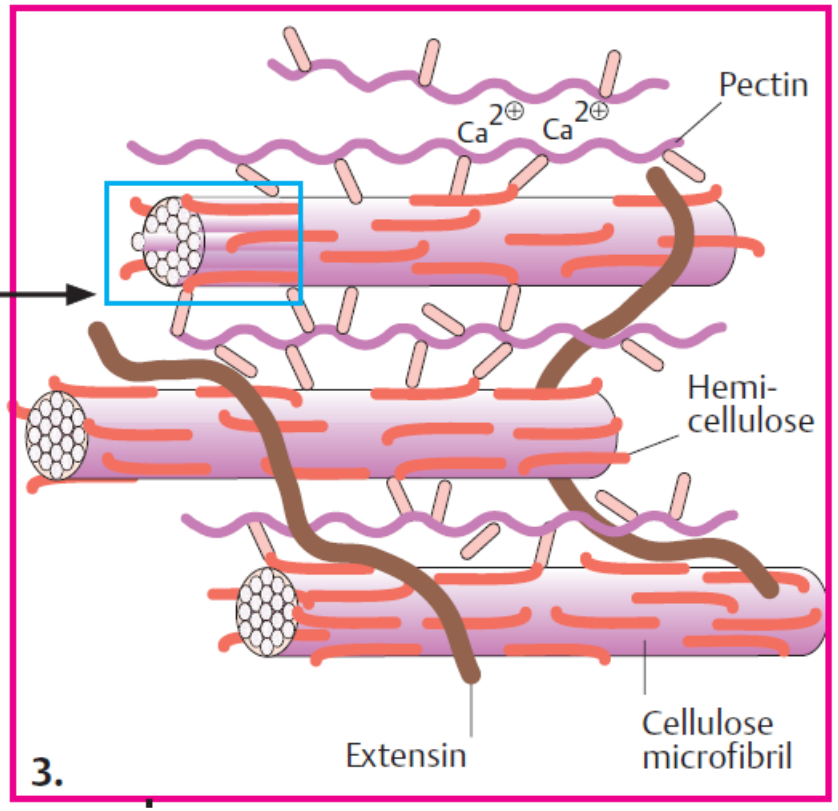


CELULOZA

50-100 molekula celuloze tvori osnovno tkivo promjera 4 mm, a 20 ih tvori mikrofibril



lanci celuloze povezani vodikovim vezama



mikrofibrile su temelj skeleta stanične stijenka kod stanica mladih biljaka

CELULOZA

- **razgradnja celuloze šumskim gljivama – sadrže enzim celulazu koja razgrađuje β-1,4 glikozidnu vezu u celulozi pa im je drvo izvor glukoze za metaboličke procese**



HITIN

- u skeletima i oklopima rakova, školjki, insekata
- linearni polisaharid izgrađen od jedinica *N*-acetilglukozamina povezanih β-1,4 glikozidnom vezom
- OH skupina na C2 položaju celuloze zamijenjena je *N*-acetilnom



Figure 7-17b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

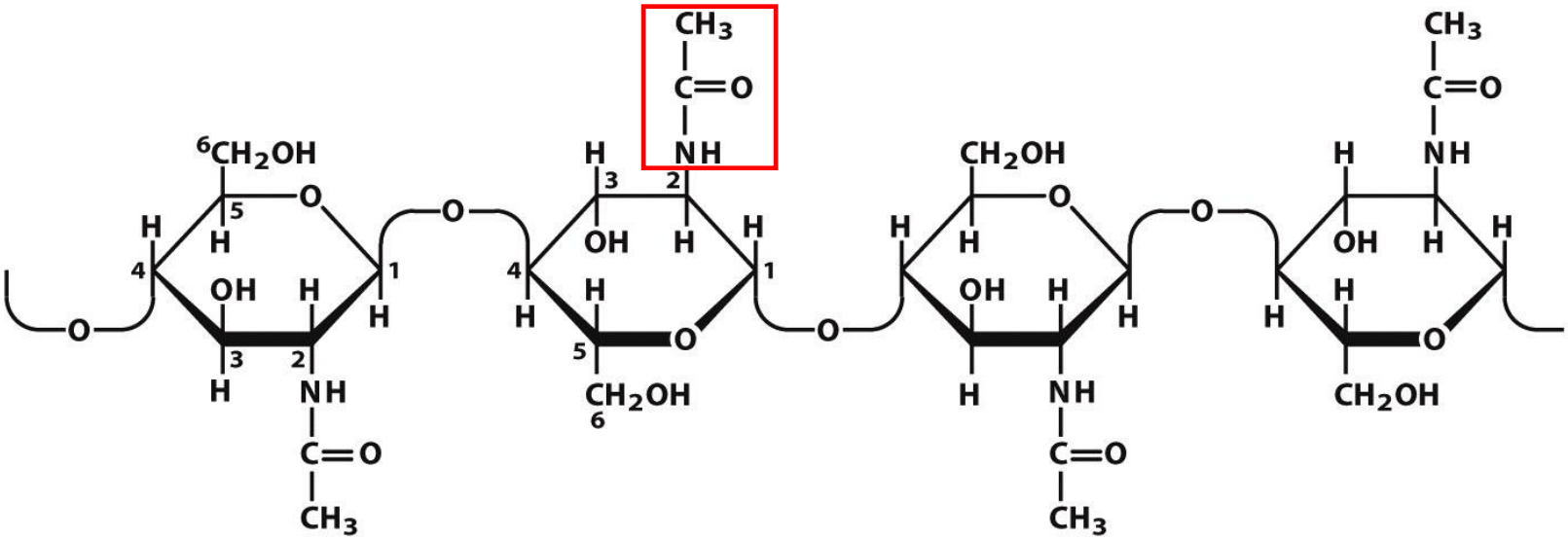
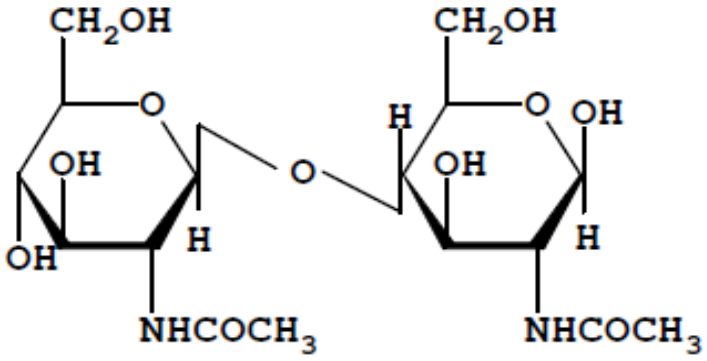


Figure 7-17a
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

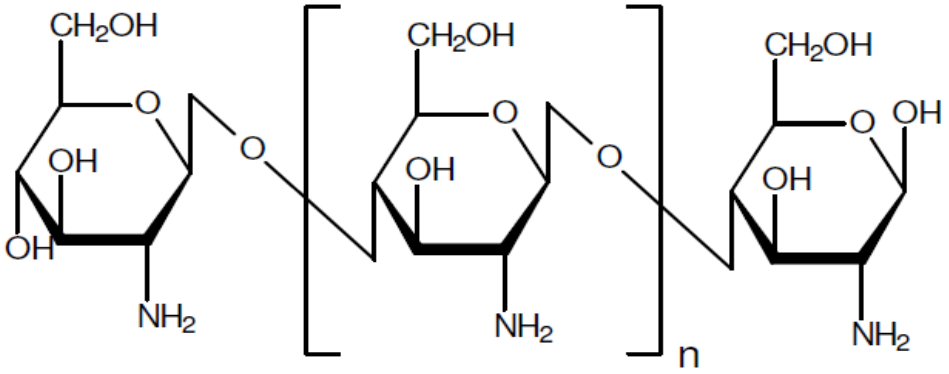
HITIN

- osnovni disaharid koji se ponavlja je hitobioza
- nalazimo ga i u gljivama, drugi najzastupljeniji polisaharid





hitobioza



hitozan

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

HETEROPOLISAHARIDI

Preddiplomski studij

Primijenjena kemija

Prof. dr. sc. Marijana Hranjec

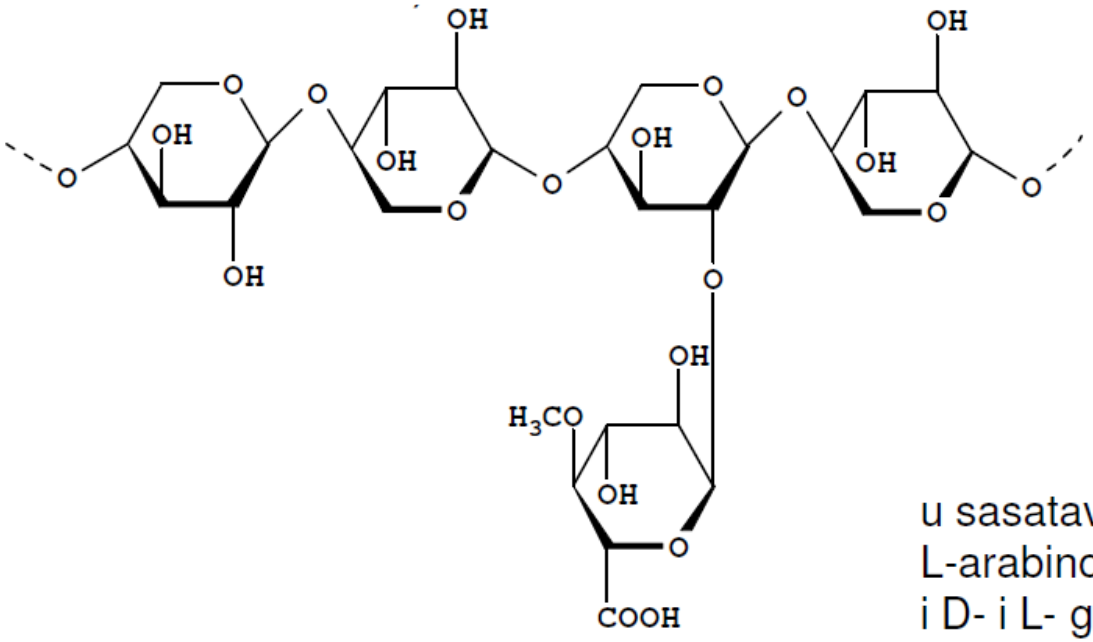
Studeni, 2025.

STRUKTURA HETEROPOLISAHARIDA

- **izgrađeni od više tipova monosaharidnih jedinica**

POLUCELULOZE

- **ksilani, glukomanani, galaktani**
- **ksilani – sastoji se iz ostataka D-ksilopiranoze povezanih β-1,4 glikozidnom vezom, te bočno vezanih ostataka galakturonske kiseline preko OH skupina**



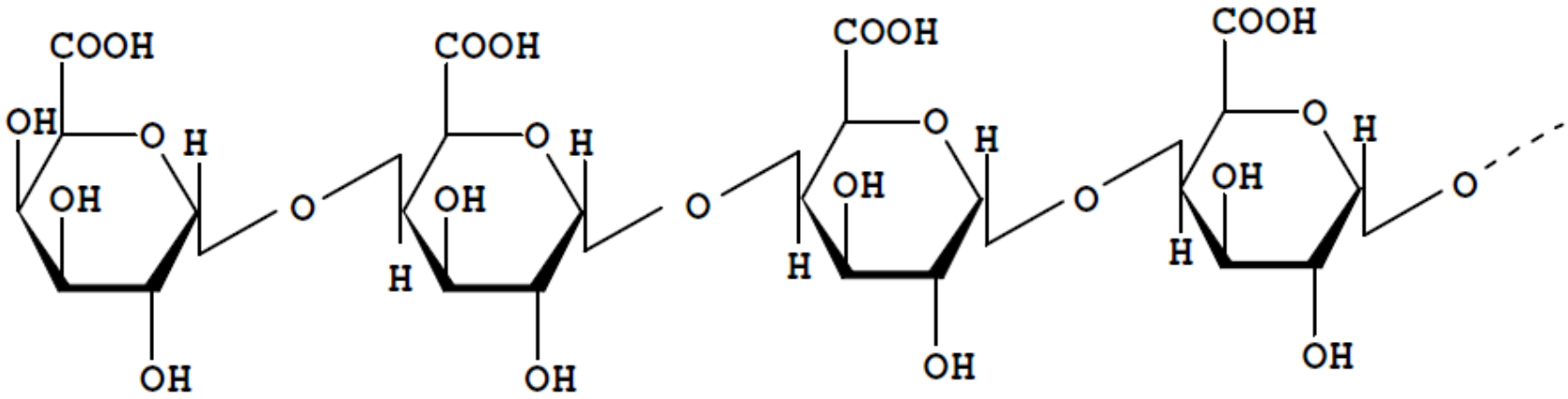
u sasatav ksilana ulaze i
L-arabinofuranoza (araboksilani)
i D- i L- galaktoza

PEKTIN

- glavne komponente su galakturonska kiselina i metanol
- nalazi se u plodovima voća (jabuka, kruška, limun, šljiva)
- u prisustvu šećera i razrijeđenih kiselina prelaze u žele
- sudjeluju u izgradnji stanične stjenke kod biljaka
- dva tipa pektina: pektinska i pektininska kiselina

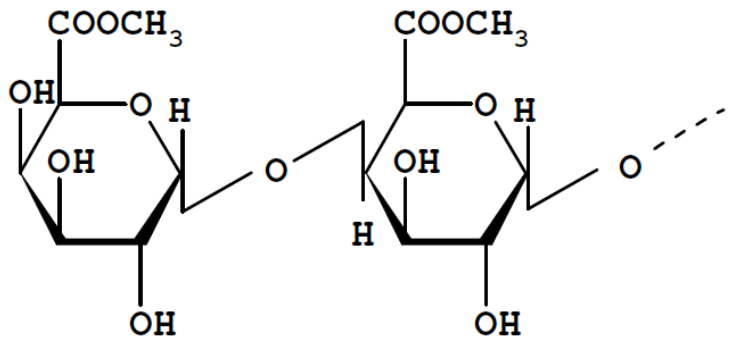
PEKTINSKA KISELINA

- sastoji se od ostataka D-galakturonske kiseline



PEKTIN

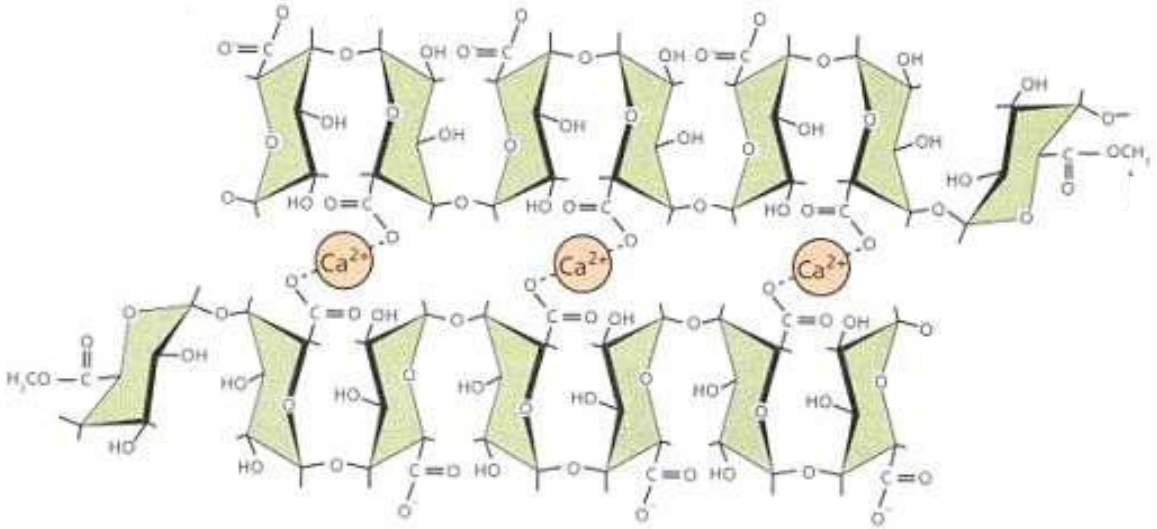
PEKTININSKA KISELINA - metilirana pektinska kiselina



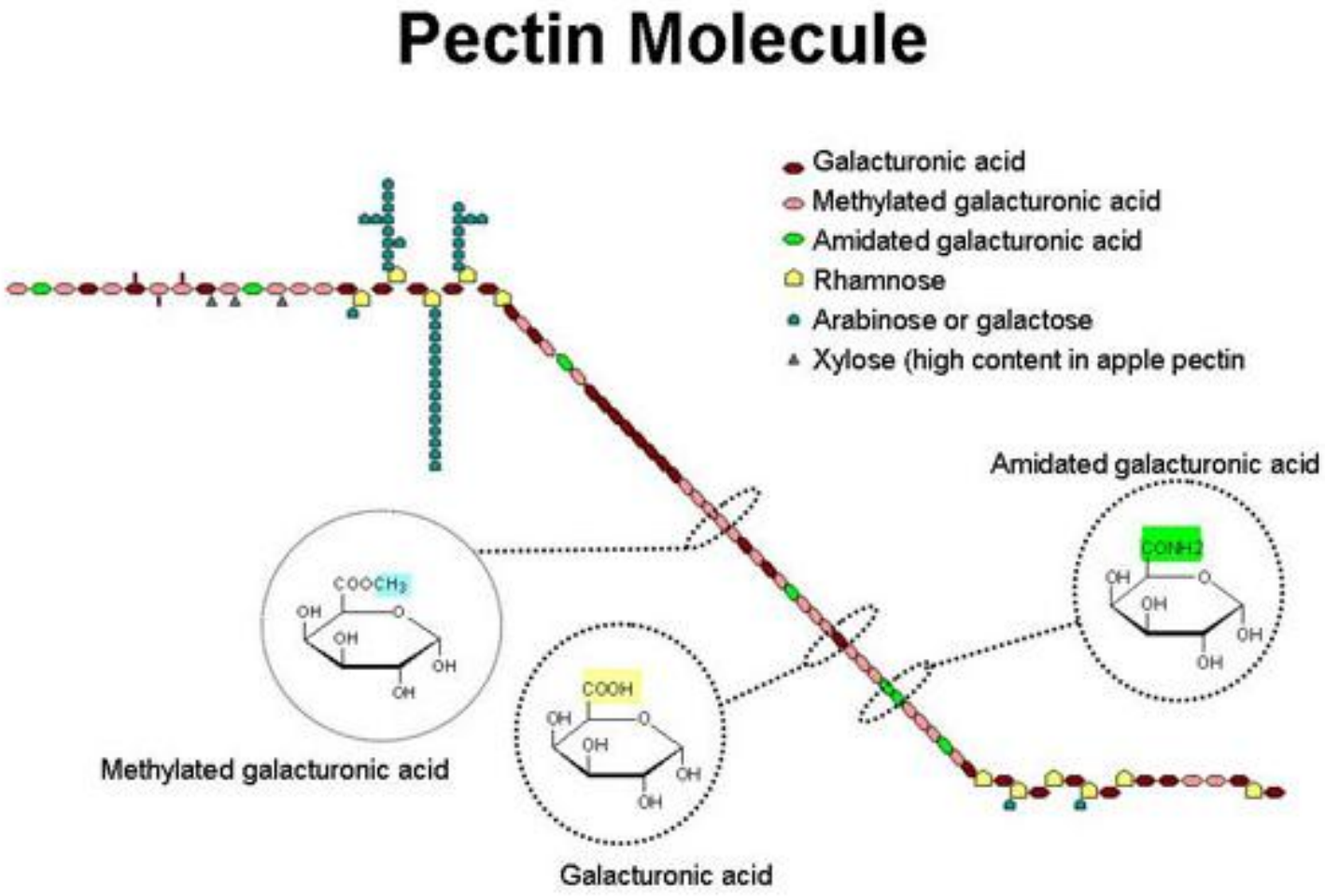




- lanci pektina tvore umrežene strukture nastajanjem soli, anhidrida ili estera

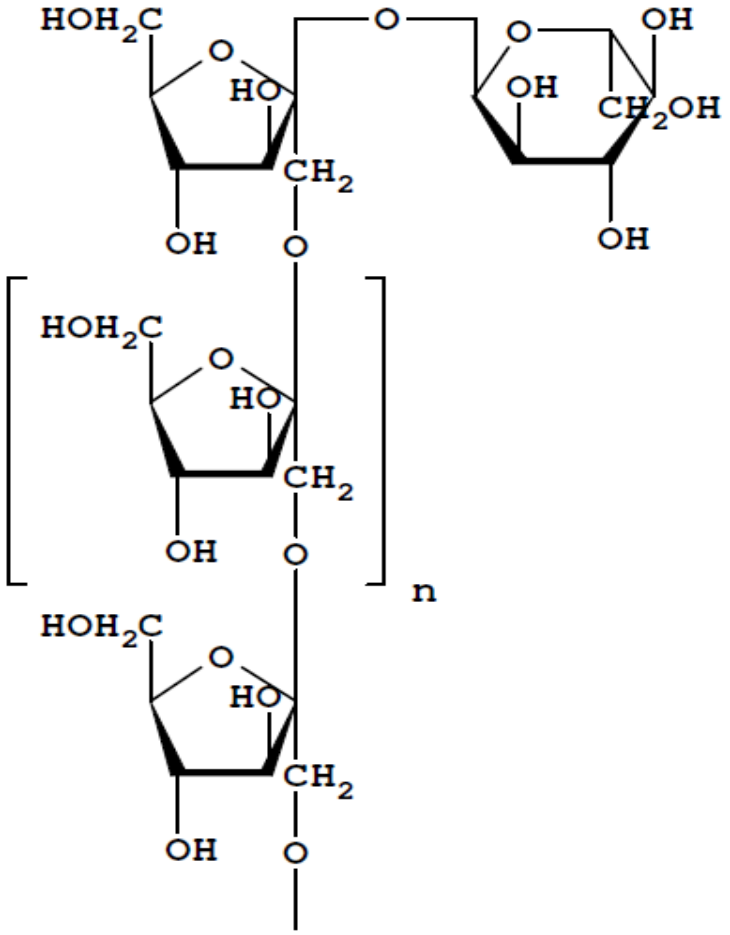


STRUKTURA PEKTINA



INULIN

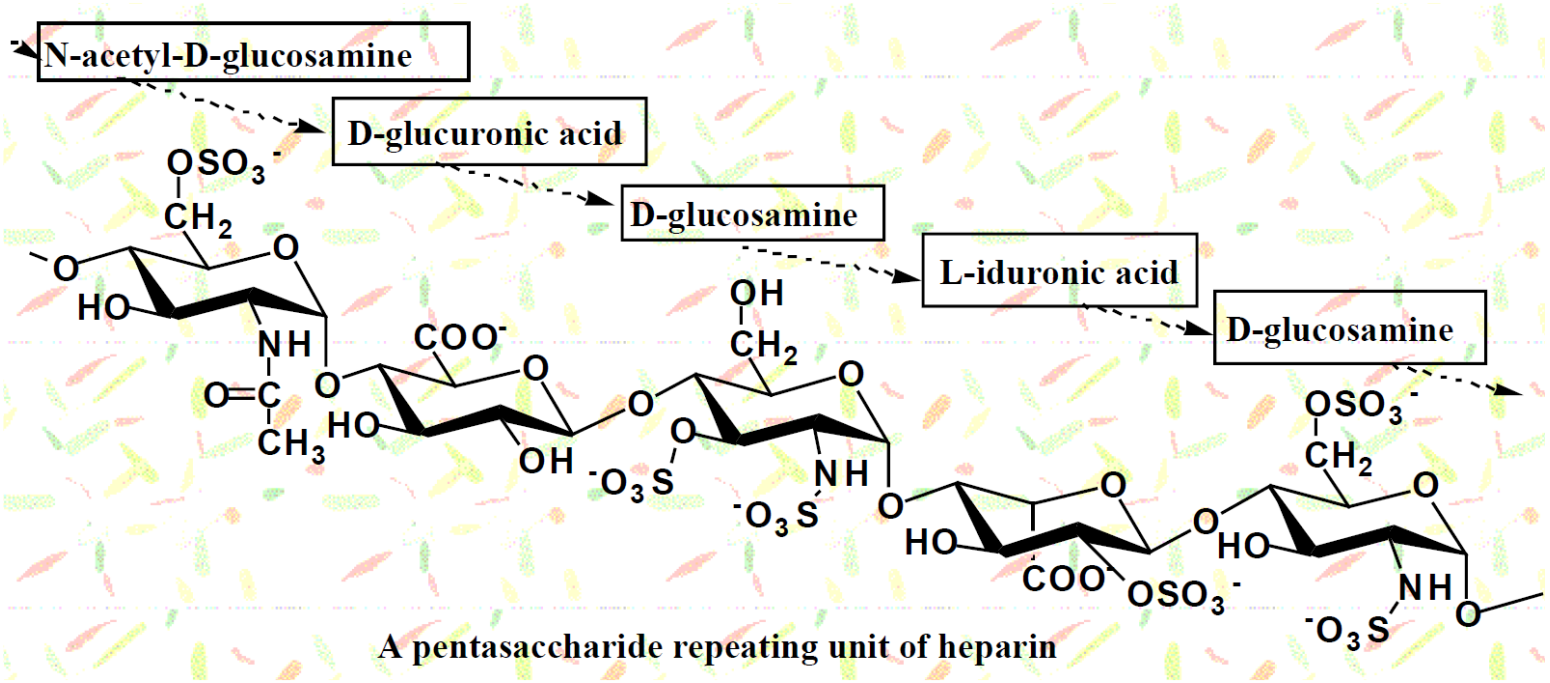
- linearni heteropolisaharid sastavljen od 32-34 ostataka D-fruktofuranoze povezanih β-1,2 glikozidnom vezom
- linearni niz se završava nereducirajućim ostatkom glukoze koja je na zadnju D-fruktofuranozu vezana α-1,2 glikozidnom vezom
- spada u grupu dijetalnih vlakana
- bijeli prašak bez okusa i mirisa, topljiv u toploj vodi
- fruktani – polisaharidi fruktoze



inulin

HEPARIN

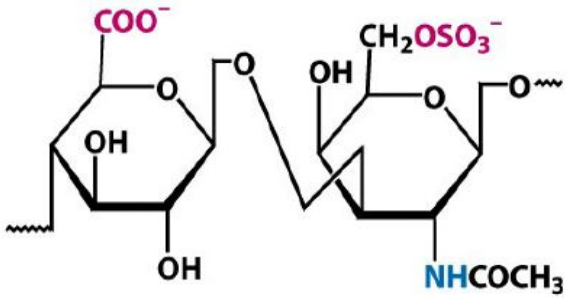
- heteropolisaharid jetre sastavljen od ostataka D-glukoronske kiseline i D-glukozamina na koje su vezani ostatci sumporne kiseline na karboksilnu skupinu i amino skupinu
- prirodni antikoagulans krvi, smanjuje kolesterol u krvi i snizuje krvni tlak
- natrijeva sol heparina koristi se pri transfuziji krvi



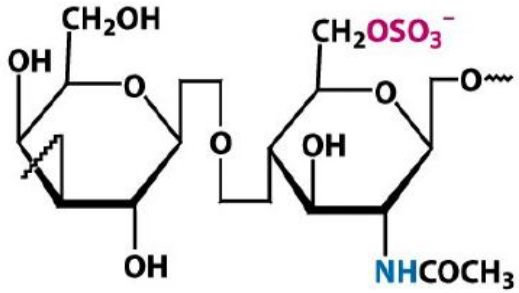
A pentasaccharide repeating unit of heparin

GLIKOZAMINOGLIKANI

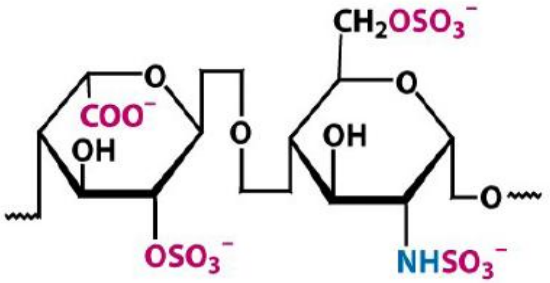
- **anionski polisaharidni lanci koji su izgrađeni od ponavljajućih disaharidnih jedinica**



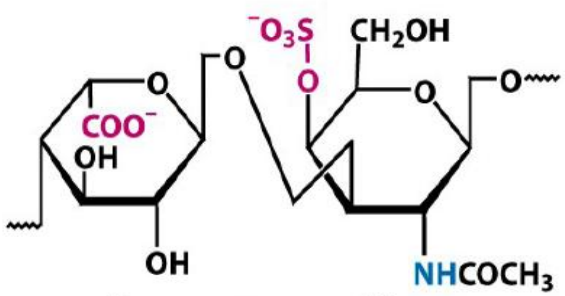
Chondroitin 6-sulfate



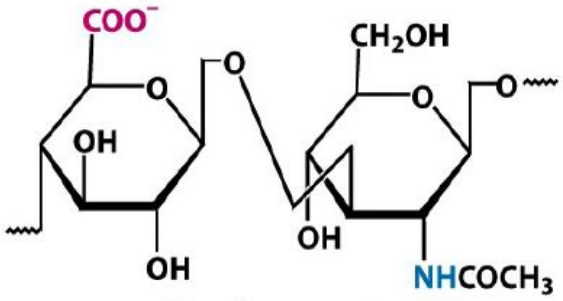
Keratan sulfate



Heparin



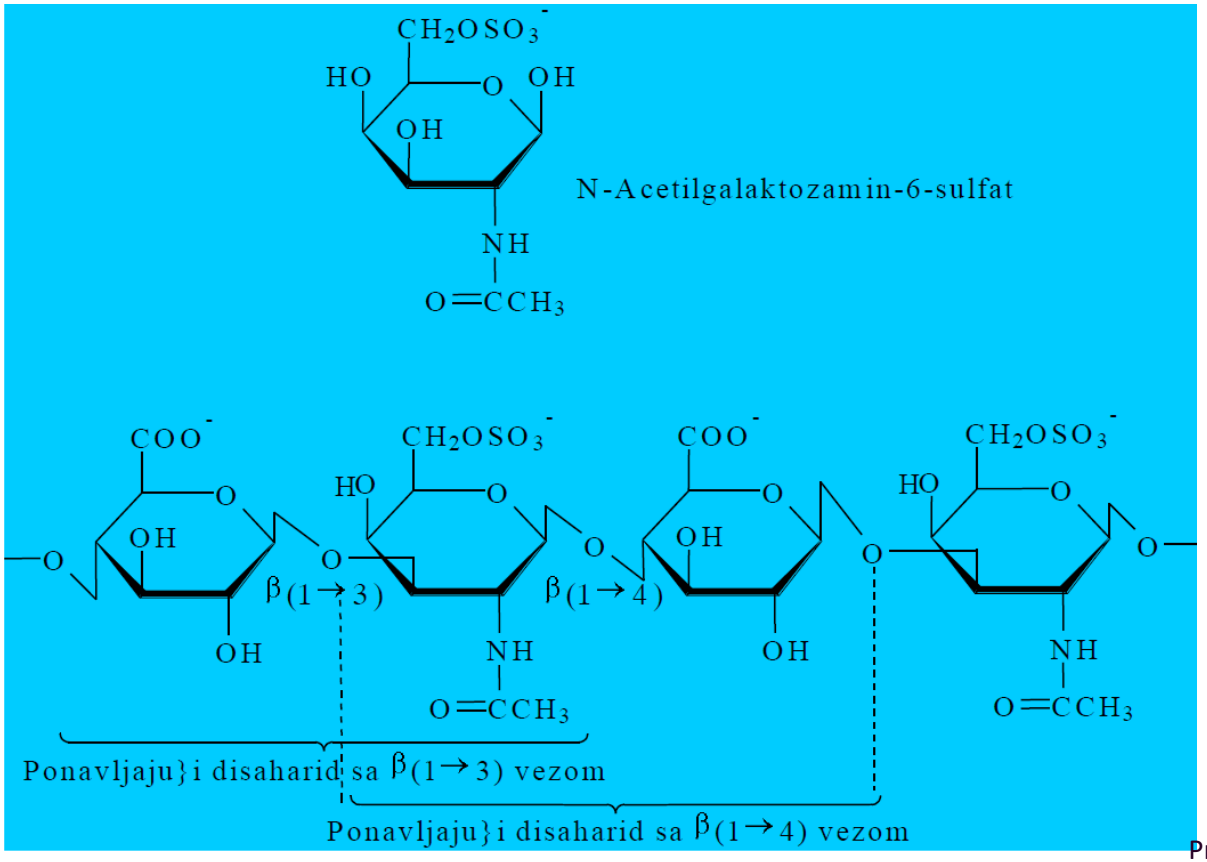
Dermatan sulfate



Hyaluronate

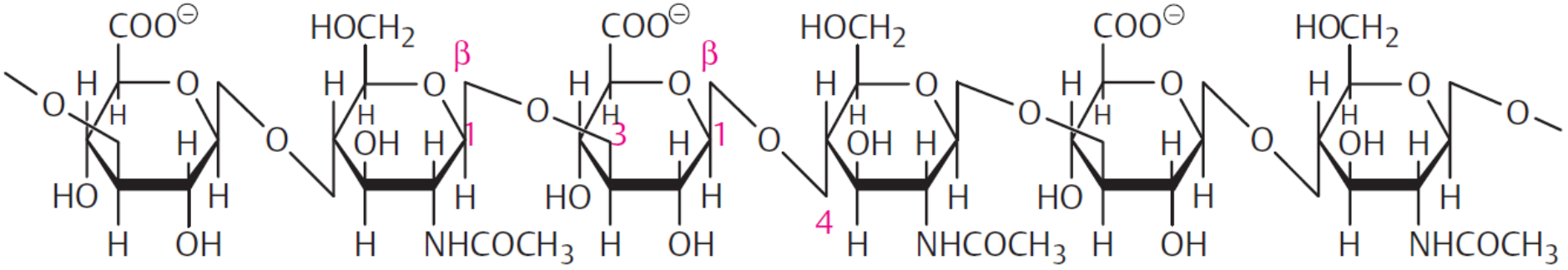
HONDROITINSULFAT

- sastojak je vezivnog tkiva
- naizmjenično se izmjenjuju β-1,3 i β-1,4 glikozidne veze između ponavljajućih jedinica glukoronske kiseline i *N*-acetil-β-D-galaktozamin-6-sulfata

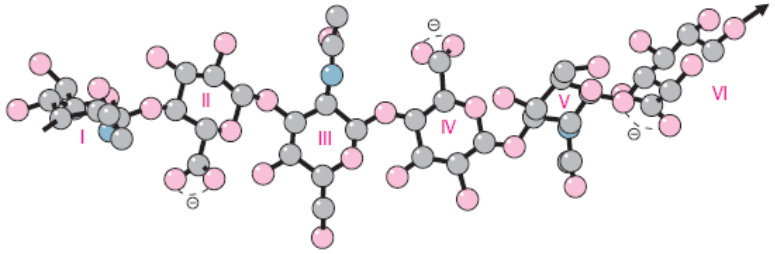


HIJALURONSKA KISELINA

- sastojak je staklaste mase očiju, pupčane vrpce
- spaja vezivna tkiva u organizmu
- ponavljajuće jedinice su dva derivata glukoze: glukoronska kiselina i *N*-acetilglukozamin povezani β-1,3 i β-1,4 vezom
- hidratacija funkcionalnih grupa omogućava vezanje vode



[→3)-β-D-GlcNAc-(1 →4)-β-D-GlcUA-(1 →4]$_n$



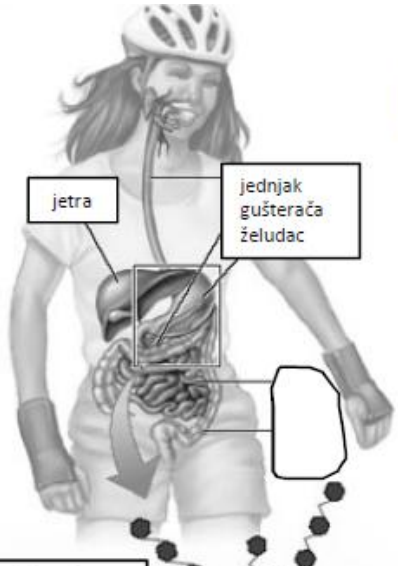
BILJNE SMOLE I GUME

- nedovoljno definirani heteropolisaharidi
- u strukturi mogu sadržavati pentoze i heksoze kao i njihove oksidacijske produkte (aldonske kiseline)
- karboksilne skupine često su neutralizirane Ca ili Mg ionima
- gume su topljive u vodi dok su smole slabo topljive pri čemu stvaraju viskozne otopine
- biljne smole su rezerva ugljikohidrata u biljci, zadržavaju vode



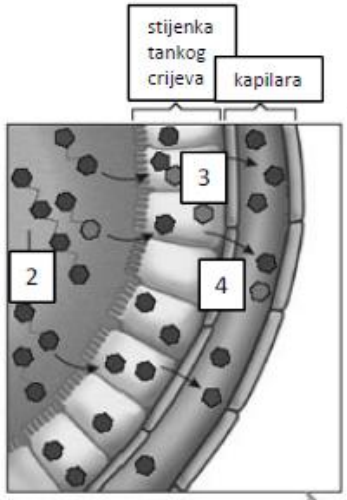


Probava i apsorpcija ugljikohidrata kod čovjeka



1 Celuloza, škrob, monosaharidi i disaharidi ulaze u želudac i potom u tanko crijevo. Dio škroba se djelomično razgrađuje u ustima amilazom iz sline.

6 Celuloza i nerazgrađeni škrob odlaze u debelo crijevo.



2 Enzimi iz gušterače razgrađuju većinu škroba na disaharide.

3 Enzimi na površini stijenke tankog crijeva kidaju disaharide na monosaharide.

4 Monosaharidi ulaze u krv i putuju do jetre.

5 U jetri se galaktoza i fruktoza pretvaraju u glukozu.

