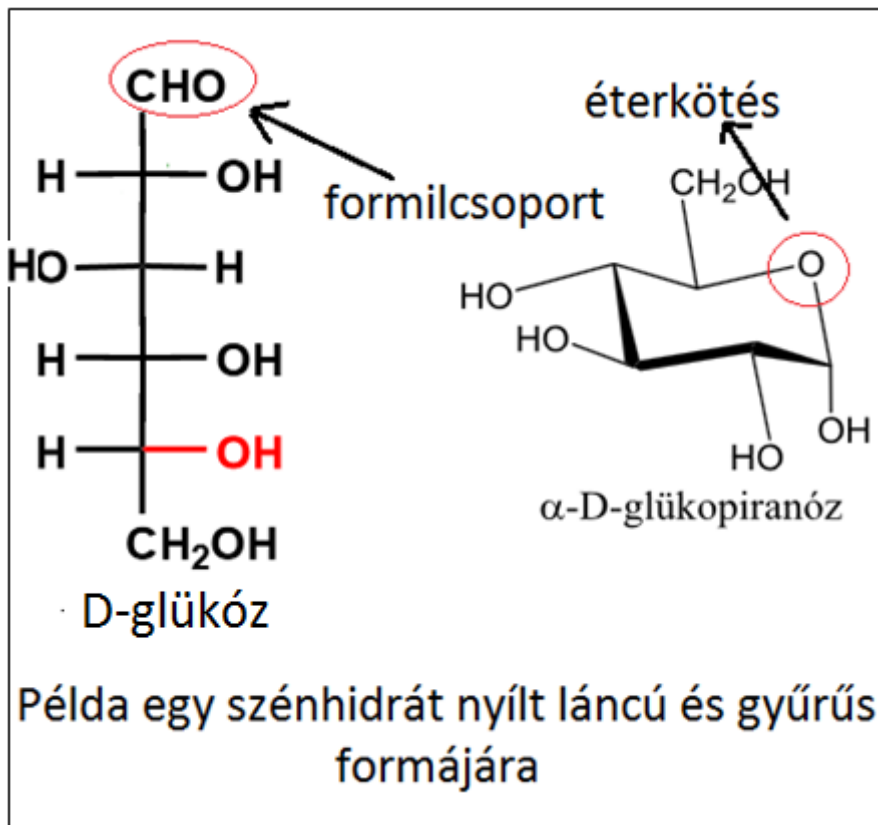


## Szénhidrátok (56. fejezet)

**A szénhidrátok** az aminosavakhoz hasonlóan **kiemelkedő biológiai szereppel rendelkeznek**. A **vázát** adják többek között olyan létfontosságú és csodálatos óriásmolekuláknak, mint például a **DNS és RNS**. Azonban nem csak molekuláris építőelemként szolgálnak, hanem például **szervezetünk számára energiaforrásként**.

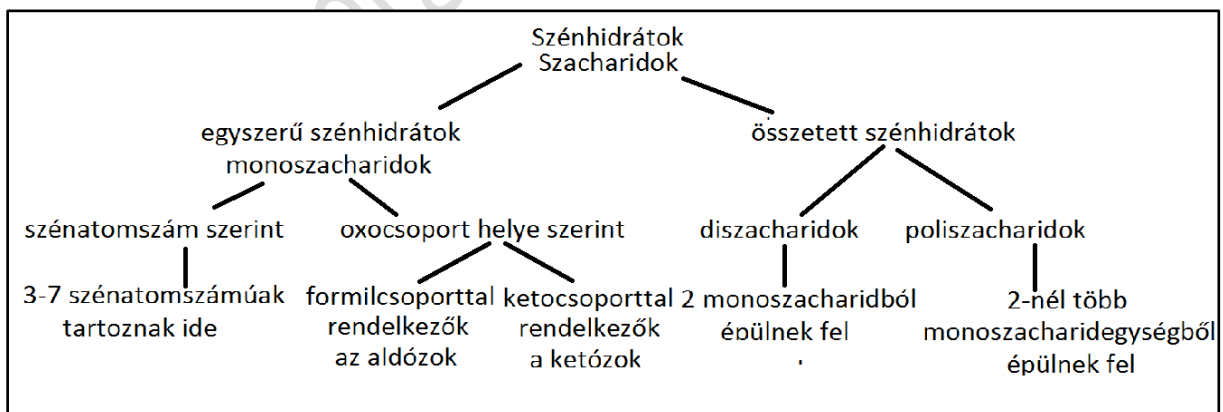
Az emberek már nagyon régóta ismerik őket. Pontos összetételüket és szerkezetüket egészen a múlt századig homály fedte. Régebben azt gondolták, hogy ők a szén hidrátjai, a  $C_n(H_2O)_m$  általános összegképlettel jellemezték, innen is ered az elnevezésük. A modern tudomány nagyléptékű fejlődése során különböző analitikai és szerkezetkutatói (*NMR, IR spektroszkópia, röntgen diffrakció*) módszerekkel azonban a tudósok bebizonyították, hogy a szénhidrátok valójában nem a szén hidrátjai. A mai tudomány szacharidoknak nevezi őket.

Molekulaszerkezetükre általános definíciót nem lehet mondani, ugyanis előfordulnak nyílt és gyűrűs formában is, melyeket más-más funkciós csoport jellemez. **A nyílt láncú** alakban lévő **cukrokra lehet azt mondani, hogy olyan polihidroxil vegyületek**, vagyis polialkoholok (többértékű alkoholok), **melyek molekuláiban megtalálható láncközi vagy láncvégi oxocsoport is**. A **gyűrűs formában** is vannak hidroxilcsoportok, azonban **oxocsoport helyett éterkötés található a molekulákban**.



## Csoportosításuk

A szénhidrátok csoportosítását a következő ábra foglalja össze:



## Egyszerű szénhidrátok

### Az aldózok szerkezete

Az **egyszerű szénhidrátok**, más néven monoszacharidok, **3-7 szénatomból álló polihidroxiil vegyületek, melyek molekuláiban oxocsoport is fellelhető**. Az oxocsoport elhelyezkedése szerint beszélhetünk **formilcsoportot és láncközi oxocsoportot tartalmazó monoszacharidokról**.

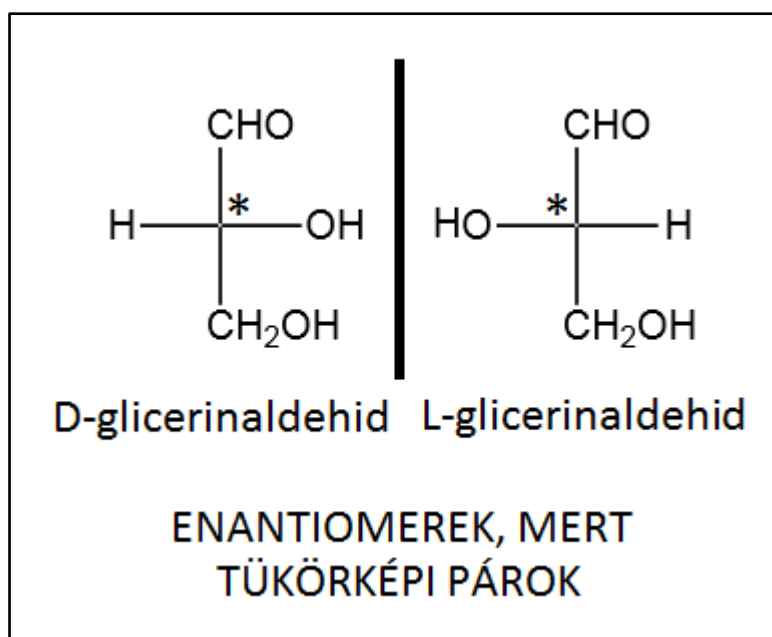
A **formilcsoportot tartalmazó monoszacharidokat gyűjtőnéven aldózoknak** nevezzük. **Szénatomszám szerint az aldózok** lehetnek:

- 3 szénatomszámúak, ők az **aldotriózok**
- 4 szénatomszámúak, ők az **aldotetrózok**
- **5 szénatomszámúak, ők az aldopentózok**
- **6 szénatomszámúak, ők az aldohexózok**
- 7 szénatomszámúak, ők az **aldoheptózok**

A **legegyszerűbb aldóz** a három szénatommal rendelkező **glicerin aldehid**. **Kiralitáscentrummal rendelkezik**, a középső szénatomja királis. A szacharidokra jellemző, hogy királis vegyületek. Az aldózok esetében a **glicerin aldehid kivételével az összes többi több, mint egy kiralitáscentrummal rendelkezik**:

- aldotriózoknak egy kiralitáscentrumuk van
- aldotetrózoknak két kiralitáscentrumuk van
- aldopentózoknak három kiralitáscentrumuk van
- aldohexózoknak négy kiralitáscentrumuk van
- aldoheptózoknak öt kiralitáscentrumuk van

A királis szénatomok jelenléte befolyásolja az egyes aldózok tulajdonságait. Ahol kiralitáscentrum fedezhető fel, ott muszáj optikai sztereoisomériáról beszélni. A formilcsoporttól legtávolabbi királis szénatom relatív konfigurációja szerint beszélhetünk D és L aldózokról. Azok a D relatív konfigurációval rendelkező aldózok, melyek esetében a formilcsoporttól legtávolabbi szénatomon lévő OH-csoport jobbra áll, L relatív konfigurációval rendelkezők esetében pedig balra:

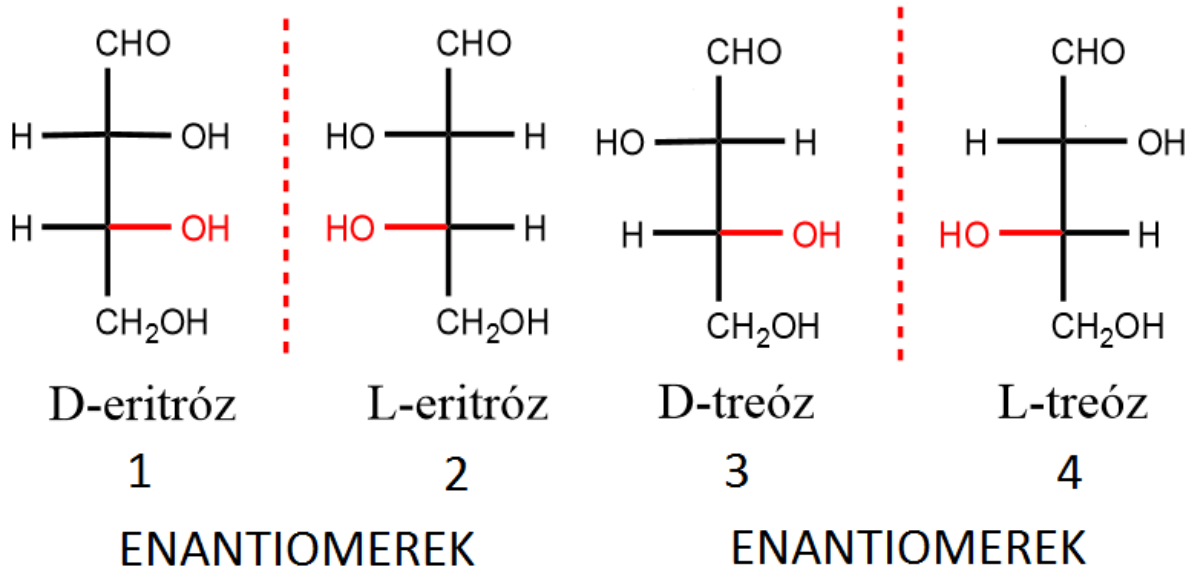


Vajon miért is fontos az abszolút konfigurációról beszélni? A természet úgy döntött, hogy az élőlények számára csakis a D relatív konfigurációval rendelkező szacharidok között vannak létfontosságú szénhidrátok. Ezek azok a monoszacharidok, akiknek az utolsó előtti szénatomjának a konfigurációja megegyezik a D-glicerinaldehid kiralitáscentrumáéval (azaz amelyek esetén az utolsó előtti szénatomon a jobb oldalon van az OH csoport). Ugyanazon monoszacharid L és a D konfigurációja egymás tükörképi párjai, vagyis enantiomerpárok. A glicerinaldehid esetében csakis két sztereoisomer létezik, melyek egyben enantiomer párok.

Érdeemes feltenni a kérdést, hogy a több kiralitáscentrummal rendelkező molekulák esetében hány sztereoisomer található. A sztereoisomerek száma a következő képlettel megadható:  $2^n$  (ahol n a kiralitáscentrumok száma). Például az aldohexózok esetében egy

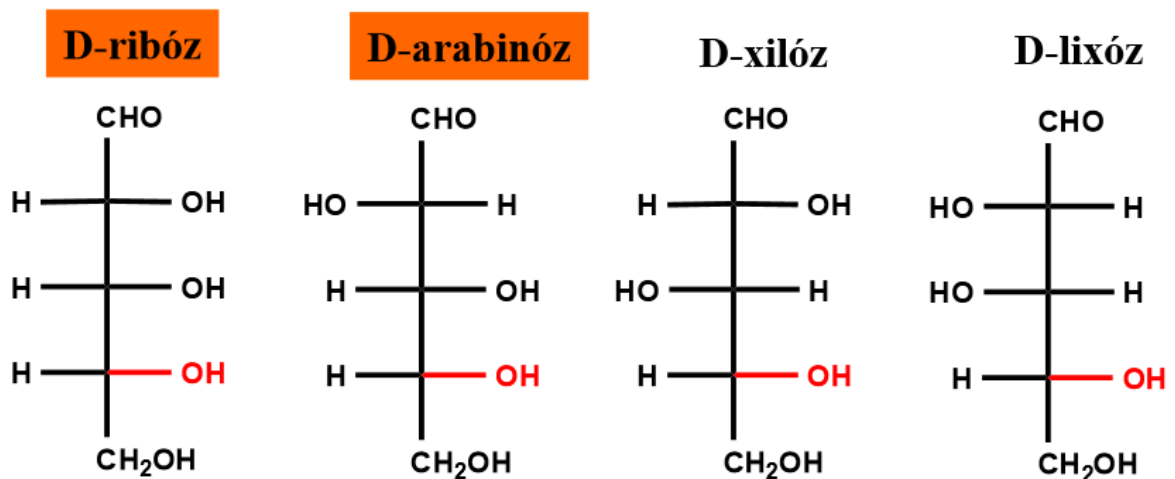
molekulában 4 kiralitáscentrum fedezhető fel, ez azt jelenti, hogy összesen  $2^4=16$  sztereoizomer létezik.

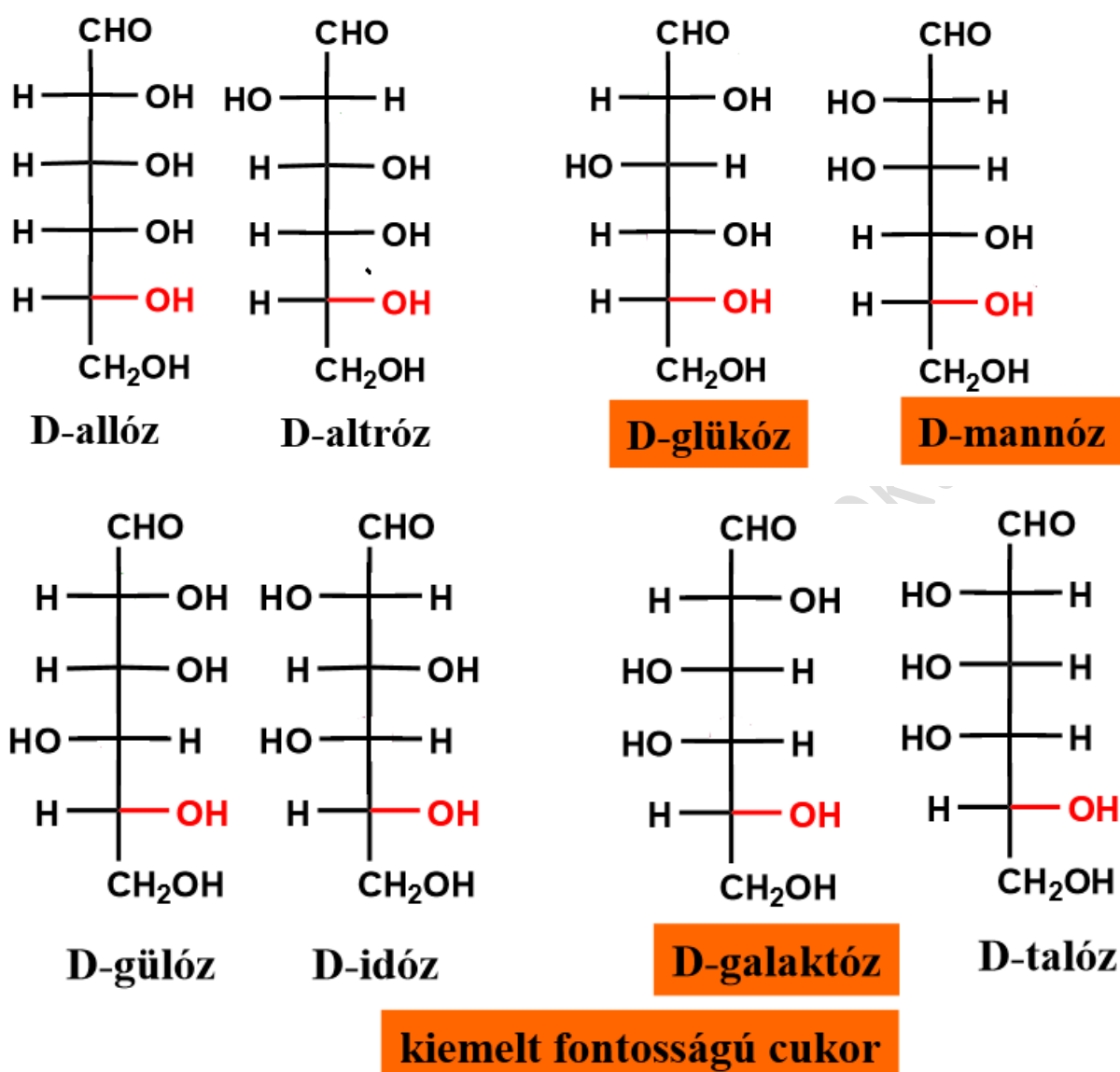
Mi a helyzet azonban azokkal a sztereoizomerekkel, melyek egymásnak nem tükörképi párjai, de mégsem egyeznek meg? Őket nevezzük **diasztereomereknek**.



1-3, 1-4, 2-3 és 2-4 azonban diasztereomerek, mivel nem tükörképi párjai egymásnak

**Legnagyobb biológiai jelentőséggel** az aldózok közül az **aldopentózok** és **aldohexózok rendelkeznek**. Jobban mondva közülük néhány. A következő ábrákon megtalálhatjuk az összes D-aldopentózt, illetve D-aldohexózt, kiemelve a biológiai jelentőséggel bírót. A biológiai jelentőséggel bírót illendő fejből is tudni lerajzolni.





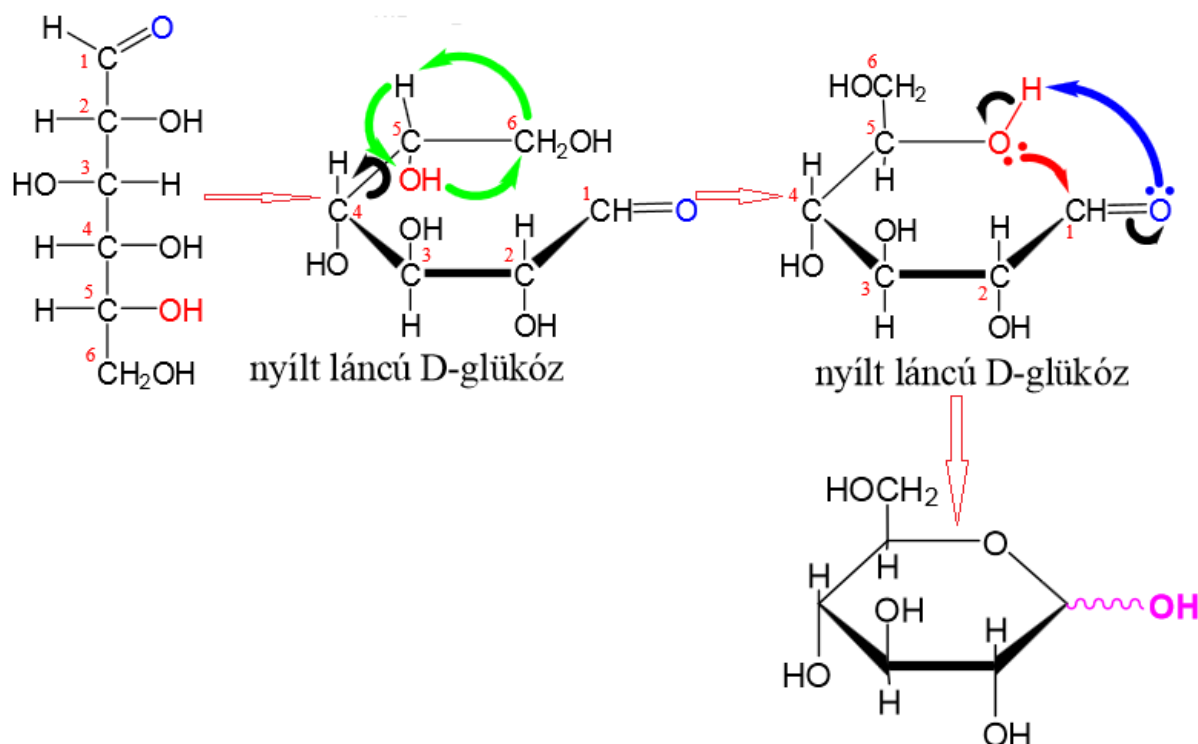
A fenti monoszacharidok L sztereoizomerjeit úgy kaphatjuk meg, ha mindegyiket tükrözzük.

### Gyűrűs forma kialakulása az aldózok esetében

A természetben nyílt formában csak nagyon kis százalékban fordulnak elő a monoszacharidok. A gyűrűs forma a preferált, ezért a nyílt láncúak gyűrűvé záródnak. Gyűrűvé záródáskor éterkötés alakul ki, a formilcsoport eltűnik.

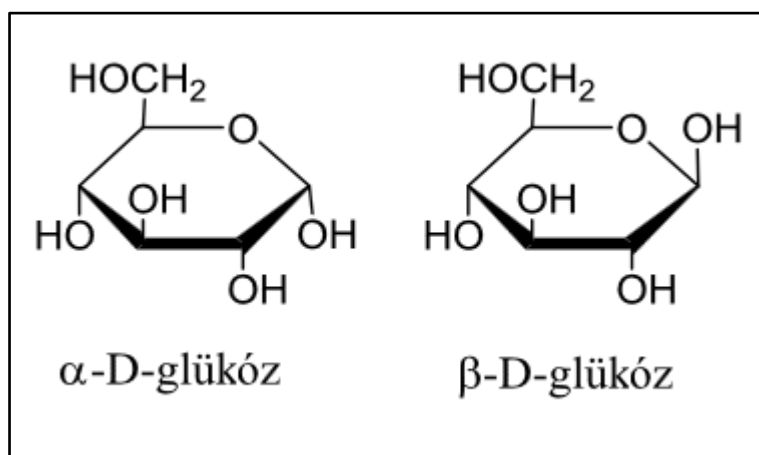
Az **aldohexózok**, vagyis a hat szénatommal rendelkező aldózok esetében a gyűrűs szerkezet éterkötése az ötödik szénatomon lévő hidroxilcsoport és az első szénatom (a

formilcsoport szénatomja) **között alakul ki**. Gyűrűvé záródáskor az oxocsoport proton felvétele által hidroxilcsoporttá alakul. Az oxocsoport azt a protont veszi át, amelyet az ötödik szénatomon lévő hidroxilcsoport elhagy annak érdekében, hogy kialakíthasson éterkötést. A mechanizmus (nem kell tudni ilyen pontosan lerajzolni) a D-glükóz példáján a következőképpen néz ki:



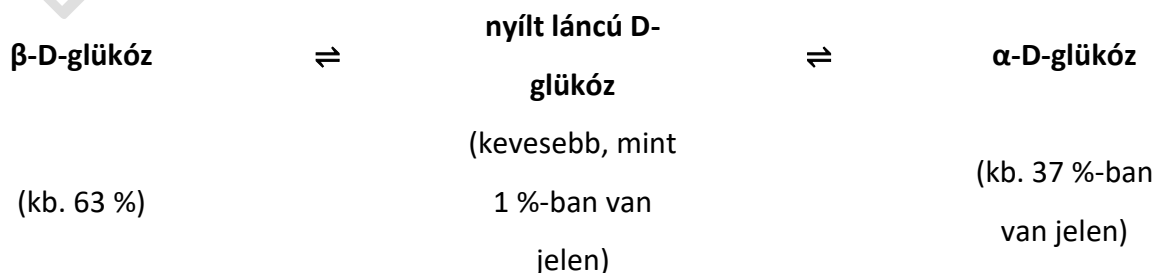
Az ábrán rózsaszínnel jelölt hidroxilcsoportot **glikozidos hidroxilcsoportnak** nevezzük. A **glikozidos hidroxilcsoport a formilcsoport oxigénjéből keletkezett**. A glikozidos hidroxilcsoportot nem véletlenül jelöltem hullámos vonallal, **ugyanis gyűrűvé záródáskor egy újabb kiralitáscentrum keletkezik (tehát a gyűrűs molekulának eggyel több királis szénatomja van, mint a nyílt láncú molekulának!!!!)**. Az új kiralitáscentrum miatt kétféle gyűrűs vegyület keletkezhet (melyek egymásnak diasztereomerjei). **Attól függően, hogy a glikozidos hidroxilcsoport hogyan helyezkedik el a térben, beszélhetünk  $\alpha$ - és  $\beta$ -D-glükózzól (anomereknek is nevezzük a szénhidrátok alfa és béta sztereoiszomerjeit)**. Az, hogy egy monoszacharid  $\alpha$  vagy  $\beta$ , függ a glikozidos hidroxilcsoport és az éterkötésben részt vevő másik szénatomon lévő  $\text{CH}_2\text{OH}$  egymáshoz viszonyított térhelyzetétől:

- Akkor beszélünk  $\alpha$  szacharidokról, ha a glikozidos hidroxilcsoport és az 5. szénatomon lévő  $\text{CH}_2\text{OH}$  csoportok a molekula síkjának ellentétes térfelein helyezkednek el.
- Akkor beszélünk  $\beta$  szacharidokról, ha a glikozidos hidroxilcsoport és az 5. szénatomon lévő  $\text{CH}_2\text{OH}$  csoportok a molekula síkjának azonos térfelein helyezkednek el.



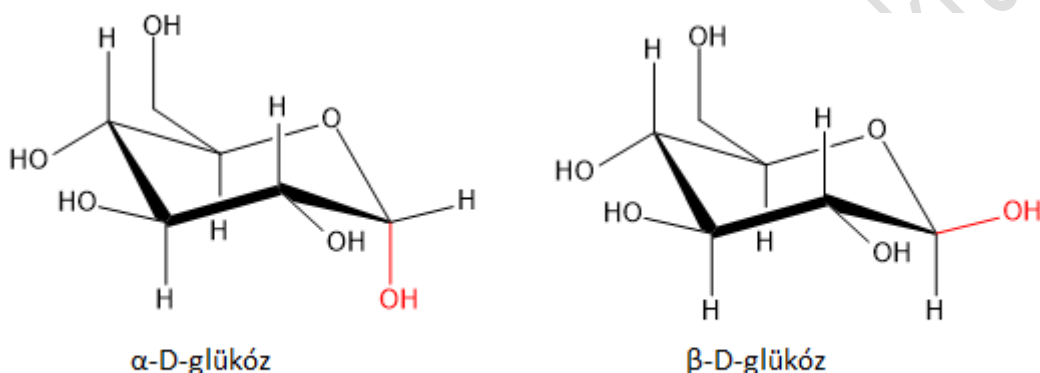
Ismételjük át újra! Nyílt láncú formában egy adott monoszacharidnak D és L sztereoisomerjét különböztetjük meg, Ezek egymásnak mindig enantiomer párjai. Azonban a természet úgy alakította, hogy ezek a monoszacharidok szeretnek gyűrűvé záródni. Itt jön be az  $\alpha$  és  $\beta$  jelölés, mely arra szolgál, hogy jelezzük: az adott monoszacharid esetében gyűrűvé záródáskor a glikozidos hidroxilcsoport és az ötödik szénatomon lévő  $\text{CH}_2\text{OH}$  csoport egymáshoz viszonyítva milyen térállásban helyezkednek el. Ha azonos térfelen, akkor  $\beta$ , ha különbözőn, akkor  $\alpha$ .

Vizes oldatban a nyílt és gyűrűs formák egyaránt megtalálhatóak, ugyanis egymásba képesek alakulni. Nézzük a D-glükóz példáján:





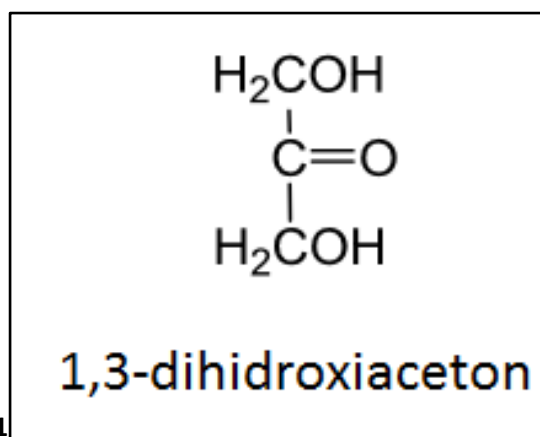
Kiegészítés: Látható, hogy a  **$\beta$ -glükóz** némileg stabilabb, mint az  **$\alpha$  izomer** (az izomer elnevezés mellett anomernak is nevezik az alfa és béta formát), ennek oka, hogy a  **$\beta$  helyzetben távolabb tudnak elhelyezkedni egymástól a nagy térigényű hidroxilcsoportjai**, mint az  $\alpha$  esetben. A nagy térigényű csoportok ekvatoriális helyzetben (a molekula síkjával párhuzamosan) igyekeznek elhelyezkedni, ez a  **$\beta$ -glükóznál minden hidroxilcsoportra teljesül**, azonban az  **$\alpha$ -glükóz glikozidos hidroxilcsoportja axiális** (a molekula síkjára merőleges) helyzetű, ami nagy térigényű csoportnál energetikailag kevésbé kedvező.



### A ketózok szerkezete

A monoszacharidok másik nagy csoportját a **ketózok** alkotják. Az aldózokkal megegyezőn **ők is tartalmazzák a molekuláikban oxocsoportot, azonban láncközit**. Családfájuk hasonló: a 3-7 szénatomszám közöttieket tekintjük a monoszacharidjaiknak. Természetesen náluk is beszélünk sztereoizomériáról és ennek megfelelően az aldózokhoz hasonlóan L és D ketózekről. Ennek értelmében az ő esetükben beszélhetünk:

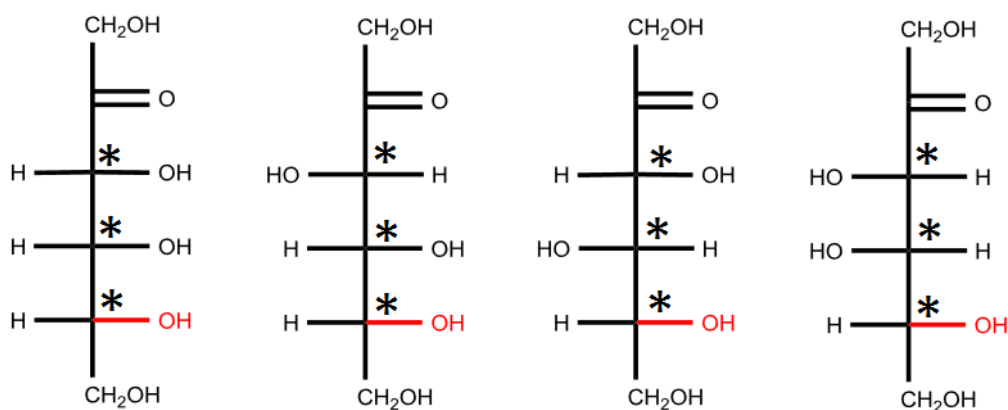
- ketotriózokról, melyek molekuláiban három szénatom található meg
- ketotetrózokról, melyek molekuláiban négy szénatom található meg
- ketopentózokról, melyek molekuláiban öt szénatom található meg



- ketohexózokról, melyek molekuláiban hat szénatom található meg
- ketoheptózokról, melyek molekuláiban hét szénatom található meg

Legegyszerűbb képviselőjük az **1,3-dihidroxiaceton**. Ez a molekula még nem rendelkezik kiralitáscentrummal, vagyis **nem királis**, nem lép fel optikai sztereoizoméria.

A ketotriózok és ketotetrózok esetében nem kérdéses az, hogy hol található a molekulában az oxocsoport, azonban az ötödik szénatomtól kezdve már több, nem ekvivalens lehetőség adódik a láncközi oxocsoport helyét illetően. **A ketózek esetében az oxocsoport mindig második szénatomon helyezkedik el:**



**D-psikóz**

**D-fruktóz**

**D-szorbóz**

**D-tagatóz**

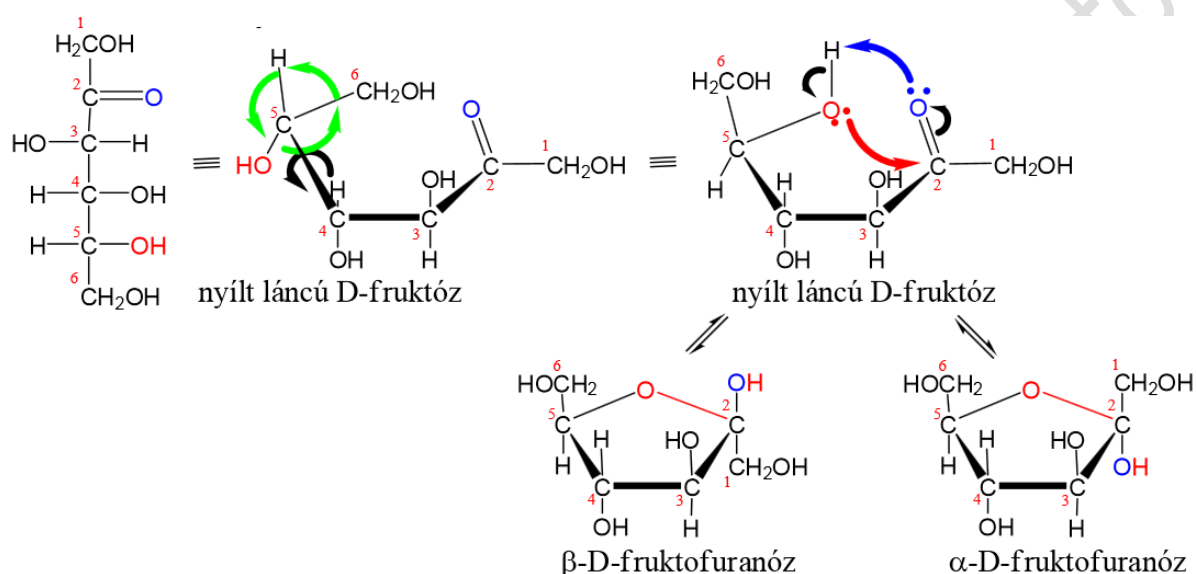
### Ketohexózok képviselői

A ketózek esetében az aldózokhoz képest eggyel kevesebb kiralitáscentrum figyelhető meg. Ezt a láncközi oxocsoportnak köszönhetik:

- kiralitáscentrumok száma a ketotriózok esetében: 0
- kiralitáscentrumok száma a ketotetrózok esetében: 1
- kiralitáscentrumok száma a ketopentózok esetében: 2
- kiralitáscentrumok száma a ketohexózok esetében: 3
- kiralitáscentrumok száma a ketoheptózok esetében: 4

### D-fruktóz gyűrűvé záródása

Az aldohexózokhoz hasonlóan a **keto**hexózok is gyűrűvé záródnak. Az ő **esetükben** azonban nem hat, hanem csak **öt atomból álló gyűrű képződik**. A gyűrűzáródás során az oxocsoportból hidroxilcsoport keletkezik (ő lesz a jól ismert glikozidos OH), miközben az ötödik szénatomon lévő hidroxilcsoport proton leadása után éterkötéssé alakul (ilyen pontosan nem kell lerajzolni):



### A monoszacharidok elnevezése

A monoszacharidok elnevezésénél **legtöbb esetben a triviális neveiket használjuk**, mint például glükóz, fruktóz, galaktóz stb. Nyílt láncú monoszacharidok esetében azonban a triviális név megadása nem elég, meg kell mondanunk azt is, hogy az adott szacharid melyik sztereoizomerjéről van szó. Ez lehet L vagy D, és kötőjellel írjuk a szacharid neve elé, például D-glükóz. A gyűrűvé záródott monoszacharidok esetében azonban a sztereoizomer megadása is kevés. Itt még azt is jelezni kell, hogy  $\alpha$  vagy  $\beta$  izomerekről van-e szó, például  $\alpha$ -D-glükóz. Mindegyik szacharid neve **-óz**-ra végződik.

A monoszacharidoknak természetesen nem csak triviális neveik vannak, hanem az eddig megszokott módon is elnevezhetők. Első lépésként be kell számozni a szénláncot. Mindig arról a végről kezdünk el számolni, amelyen a formilcsoport van, vagy amelyikhez a láncközi oxocsoport közelebb található.

Ily módon, ha példának vesszük a glükóz nyílt láncú D sztereoizomerjét, a molekula nem triviális neve: **2,3,4,5,6-pentahidroxihexanal**. Pentahidroxil, mivel öt darab hidroxil csoportot tartalmaz, hexanal, mivel hat szénatomszámmal rendelkező aldehid az alapszénlánc. Ez a név azonban nem tökéletes, hiszen nem tartalmazza, hogy melyik sztereoizomerről van szó. A 2,3,4,5,6-pentahidroxihexanal esetén 16 különböző sztereoizomer figyelhető.

### **A monoszacharidok redukáló képessége**

Az aldehideknél megtanultuk, hogy azok a vegyületek, melyek formilcsoporttal rendelkeznek, redukáló hatásúak, vagyis egyaránt adják az ezüsttükör és a Fehling-próbát. Ezt végiggondolva belátható, hogy az **aldózok** tartoznak a **redukáló cukrok** közé. Az összes aldóz adja az ezüsttükör és Fehling próbát. És itt jön egy csavar. A fentiek értelmében a **ketózoknak nem kellene adni** az ezüsttükör illetve Fehling próbát, **azonban mégis adják**. Hogyan lehetséges ez? Mind a két próba lúgos közegben megy végbe. A **lúgos közegnek köszönhetően a ketózok aldózzokká izomerizálódnak** (alakulnak) és így már lesz bennük formil csoport, tehát emiatt adják a két próbát.

### **A fontosabb monoszacharidok fizikai tulajdonságai**

Triózok		
<b>összegképlet</b>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>
<b>tudományos név</b>	2,3-dihidroxiopropanal	1,3-dihydroxiaceton
<b>triviális név</b>	gliceraldehid	-
<b>csoportosítás</b>	aldotrióz	ketotrióz
<b>főbb fizikai tulajdonságok</b>	szirupszerű folyadék	szilárd anyag
<b>redukál</b>	igen	nem
<b>szerepe</b>	Közbülső termék szénhidrátszintézisnél és lebomlásnál	D-gliceraldehid szintézisénél és lebontásánál jelenik meg
<b>vízoldhatóság</b>	kitűnő	kitűnő

<b>Pentózek</b>		
<b>összegképlet</b>	$C_5H_{10}O_5$	$C_5H_{10}O_4$
<b>tudományos név</b>	2,3,4,5-tetrahidroxipentanal	3,4,5-trihidroxipentanal
<b>triviális név</b>	ribóz	dezoxiribóz
<b>csoportosítás</b>	aldopentóz	aldopentóz
<b>főbb fizikai tulajdonságok</b>	színtelen, szilárd anyag, édes ízű	színtelen, vízben jól oldódó szilárd anyag
<b>redukál</b>	igen	igen
<b>szerepe</b>	Ribonukleinsavak (RNS) építőeleme (D-ribóz)	dezoxi-ribonukleinsavak (DNS) építőeleme (2-dezoxi-D-ribóz)
<b>vízoldhatóság</b>	kiváló	kiváló
<b>legstabilabb formája</b>	$\beta$ -D-ribóz	2-dezoxi- $\beta$ -D-ribóz

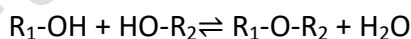
<b>Hexózek</b>		
<b>összegképlet</b>	$C_6H_{12}O_6$	$C_6H_{12}O_6$
<b>tudományos név</b>	2,3,4,5,6-pentahidroxihexanal	1,3,4,5,6-pentahidroxihexán-2-on
<b>triviális név</b>	glükóz (szőlőcukor)	fruktóz (gyümölcscukor)
<b>csoportosítás</b>	aldohexóz	ketohexóz
<b>főbb fizikai tulajdonságok</b>	fehér, szilárd anyag, édes ízű	fehér, szilárd anyag, édes ízű
<b>redukál</b>	igen	igen (izomerizálódik)
<b>szerepe</b>	di- és poliszacharidok fontos építőköve, szabad állapotban az édesebb gyümölcsökben megtalálható. A vérben is megtalálható, felelős a vércukorszintért	di- és poliszacharidok fontos építőköve, szabad állapotban egyes gyümölcsökben (pl. alma) megtalálható
<b>vízoldhatóság</b>	kiváló	kiváló
<b>legstabilabb formája</b>	$\beta$ -D-glükóz	$\beta$ -D-fruktóz

Hexózok		
összegképlet	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
tudományos név	2,3,4,5,6- pentahidroxihexanal	2,3,4,5,6- pentahidroxihexanal
triviális név	mannóz	galaktóz
csoportosítás	aldohexóz	aldohexóz
redukál	igen	igen
szerepe	egyes diszacharidok építőeleme	egyes diszacharidok építőeleme
vízoldhatóság	közepes	közepes

## Összetett szénhidrátok

### Diszacharidok

A **diszacharidok** molekulái két monoszacharidból épülnek fel. Formálisan két monoszacharid vízkilépés melletti összekapcsolódásával jönnek létre:



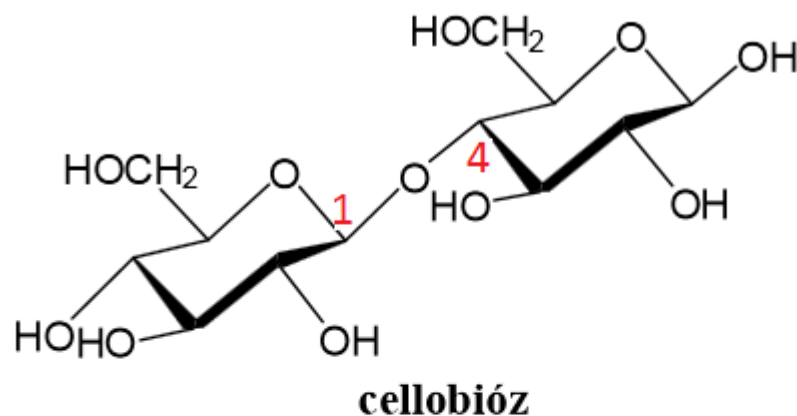
Jól látható, hogy két monoszacharid éterkötés révén kapcsolódik össze. Ezt az éterkötést **glikozidkötésnek** nevezzük. Azért nevezzük így, mert amikor a két monoszacharid összekapcsolódik, akkor az egyik vagy esetleg mind a kettő a glikozidos hidroxilcsoportjával kapcsolódik a másikhoz.

Aszerint, hogy redukáló vagy nem redukáló tulajdonságúak, a diszacharidok között megkülönböztetünk:

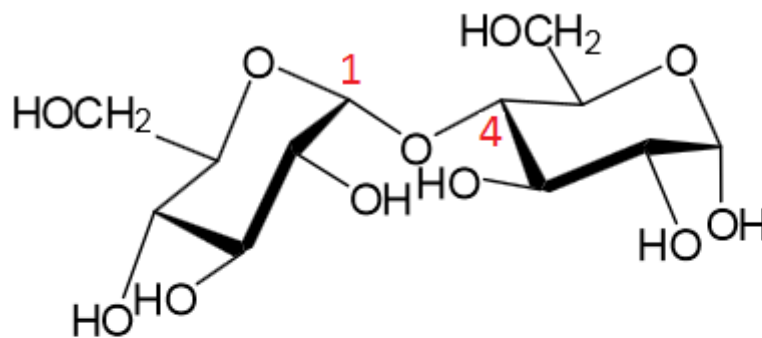
- redukáló diszacharidokat
- nem redukáló diszacharidokat

### Redukáló diszacharidok

A fontosabb redukáló diszacharidok közé a **cellobióz**, **maltóz** és **laktóz** tartozik. Ezeket a redukáló diszacharidokat az jellemzi, hogy az őket alkotó monoszacharidok közül **csak az egyik adja bele a glikozidos hidroxilcsoportját a glikozidkötés kialakításába**. Redukálni pont emiatt képesek. A két monoszacharid közül az egyiknek a gyűrűje képes felnyílni, mivel a glikozidos hidroxilcsoport vissza tud alakulni formilcsoporttá.

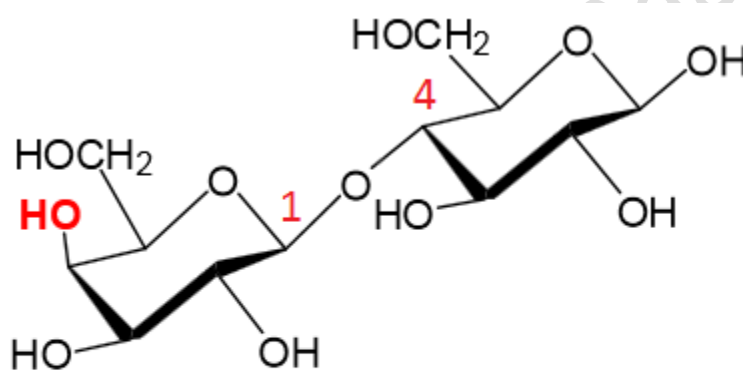


A cellobióz két  $\beta$ -D-glükóz molekulából épül fel. A kötés módja 1-4, ami azt jelenti, hogy a glikozidkötés kialakításában az egyik molekula az első szénatomján lévő glikozidos hidroxilcsoportja, valamint a másik molekula negyedik szénatomján lévő hidroxilcsoportja vesz részt. A molekula alakja elnyúlt



**maltóz**

A maltóz két  $\alpha$ -D-glükóz molekulából épül fel.  
A kötés jellege itt is 1-4. A molekula alakja hajlott



**laktóz**

A laktóz egy  $\beta$ -D-galaktózból és egy  $\beta$ -D-glükózból épül fel. A kötés jellege itt is 1-4.

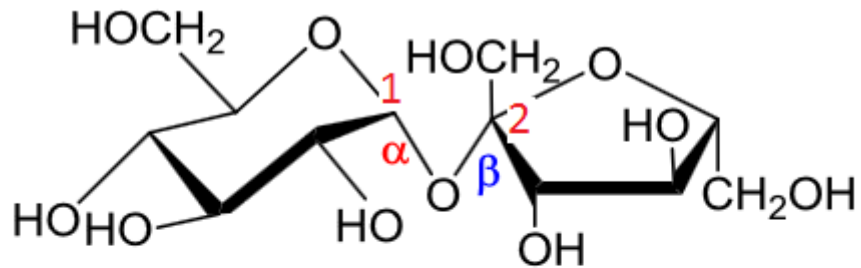
A redukáló diszacharidok természetesen adják az ezüstitűkőr és Fehling próbát.

### **Fontosabb nem redukáló diszacharidok**

A legfontosabb nem redukáló diszacharid a szacharóz. A nem redukáló diszacharidokra jellemző, hogy nem adják az ezüstitűkőr és a Fehling-próbát. Ez a következőképpen lehetséges. A diszacharidot alkotó monoszacharidok a glikozidkötést a



glikozidos hidroxilcsoportjaikon keresztül alakítják ki. Ily módon egyik monoszacharid gyűrűje sem képes felnyílni, vagyis a redukáló tulajdonsághoz szükséges formilcsoport nincs jelen.



**szacharóz**

A szacharóz egy  $\alpha$ -D-glükózból és egy  $\beta$ -D-fruktózból épül fel. A kötés jellege 1-2. A molekula alakja megtört.

A szacharózt híg savval főzve alkotóelemeire hidrolizál és ily módon már redukáló hatásúvá válik, mivel egyik termékként  $\alpha$ -D-glükóz keletkezik.

Fontosabb diszacharidok összefoglalása				
név	cellobióz	maltóz	laktóz	szacharóz
triviális név	-	malátacukor	tejcukor	répacukor vagy nádcukor
építőelemeik	két $\beta$ -D-glükóz	két $\alpha$ -D-glükóz	$\beta$ -D-glükóz és $\beta$ -D-galaktóz	$\alpha$ -D-glükóz és $\beta$ -D-fruktóz
összegképlet	$C_{12}H_{22}O_{11}$			
glikozidkötés	1-4			1-2
jellege				
redukál	igen			nem
fontosabb tulajdonságok	Fehér színű, édes ízű szilárd anyagok. Vízben jól oldódnak			
jelentőség	cellulóz építőeleme	gyermektápszer készítésénél használják édesítőszerként	Tápanyag csecsemőknek	tápanyagforrás, édesítésre használják
előfordulás	cellulóz hidrolízisének egyik köztterméke	keményítő hidrolízisének egyik köztterméke	emlősök tejében	cukorrépában és cukornádban

## Poliszacharidok

A poliszacharid molekulák több száz, ezer, akár tízezer monoszacharid-egységből épülnek fel, melyek glikozidkötés révén kapcsolódnak egymáshoz. Mondhatni olyan polimerek, melyek monomerjei monoszacharid molekulák.

Ezek a poliszacharidok fontos szerepet töltenek be az élő szervezetben. Szolgálhatnak vázanyagként vagy tartalék-tápanyagként. Ezek a mono- és diszacharidokkal ellentétben nem édes ízűek, rosszul vagy egyáltalán nem oldódnak vízben. Híg savval főzve kisebb egységekre bonthatóak szét, melyeket oligoszacharidoknak nevezünk. Az

oligoszacharidok monomerszám szerint a diszacharidok és poliszacharidok közé esnek, 8-10 monomeregységből épülnek fel. A poliszacharidokból képződött **oligoszacharidok is tovább hidrolizálnak savas főzés hatására elsőnek di-, majd monoszacharidra.**

A poliszacharidok **nem redukáló tulajdonságúak.** Általánosan a  $(C_6H_{10}O_5)_n$  összegképlettel szokás őket leírni, ez azonban nem pontos. Pontosan a  $H-(C_6H_{10}O_5)_n-OH$  összegképlettel definiálhatóak, mivel az utolsó monomer már nem alakít ki vízkilépéssel járó glikozidkötést, ezért a valóságban n monomer esetén csak n-1 db víz lép ki.

Kiemelkedő szerepet tölt be a poliszacharidok között a **keményítő és cellulóz.**

### Cellulóz

A cellulóz **szálas, rostos anyag.** A **növényi rostok vázanyagát alkotja, többek között a fának és a gyapotnak is.** Általánosan a  $(C_6H_{10}O_5)_n$  összegképlettel lehet megadni, ahol  $n=3000-10000$ .  **$\beta$ -D-glükóz egységekből épül fel, melyekben a glikozidkötés kötésiránya 1-4.** Híg savval főzve hidrolizál, a hidrolízis termékei között fellelhető a  $\beta$ -D-glükóz mellett a cellobióz.

A cellulózmolekula alakja **szálas.** A molekulákban lévő hidroxilcsoportok közül számos képes molekulán belüli hidrogénkötések kialakítására. Ezek a **hidrogénkötések rögzítik a cellulóz szálas szerkezetét.**

**Azok a hidroxil csoportok, amelyek nem vesznek részt hidrogénkötésben, összekapcsolják a cellulózsálakat, és rostokat alkotnak.** Ennek köszönheti a cellulóz szálas, rostokba rendeződött szerkezetét.

A cellulóz szálas, rostos szerkezete révén alkalmas többek között **papír, műanyag és műszálak készítésére.** A lőgyapotot is cellulózból készítik (nitrálják a cellulózt).

### Keményítő

A keményítő **nem egyetlen, jól definiált összetételű molekulából álló vegyületet jelent, hanem legnagyobb részét  $\alpha$ -1,4 kötéssel felépült poliszacharidok keverékét.** A keményítő a **növényi sejtekben különböző alakú és felépítésű, fehér, szilárd szemcsék formájában rakódik le.** Általánosan a  $(C_6H_{10}O_5)_n$  összegképlettel lehet megadni, ahol  $n$ =több

száz. A keményítő  **$\alpha$ -D-glükóz monomerekből épül fel. Hideg vízben nem oldódik, melegítés hatására nyálkás, opálos oldatot: kolloid oldatot képez.**

A természetes keményítőszemcsék két különböző típusú keményítőből épülnek fel:

- **amilóz**
- **amilopektin**

Az **amilóz csavarmentes, hélix szerkezetű. A csavar egy menete 6-7 glükózegységből épül fel, melyek között a glikozidkötés iránya 1-4.** A hélix-szerkezetet annak köszönheti, hogy minden glikozidkötésnél megtörik a molekula. A hélixben a csavarmenetek között **hidrogénkötés** alakul ki. **A keményítőmolekulák között nem tud kialakulni hidrogénkötés, emiatt szemcsés, és nem rostos szerkezetű a keményítő.** A hélix csavarjai **balmenetűek**, belül üreges.

**A keményítőt jódval ki lehet mutatni. Ez annak köszönhető, hogy a hélixben lévő üres térrészbe a jódmolekulák pont beleférnek. A Lugol-oldat ( $KI+I_2$ ) barna színű, azonban ha keményítő oldatba csepegtetjük, akkor az oldat megkékül.** A színváltozásnak az az oka, hogy a Lugol-oldatban lévő jód beférkőzik a keményítő hélixébe. Ennek köszönhetően torzul az elektronszerkezete, más hullámhosszúságú fényt képes elnyelni, mint eredetileg.

**Az amilopektin a keményítőszemcsék felületén található poliszacharid. Ő is  $\alpha$ -D-glükóz monomerekből épül fel, azonban a glikozidkötés iránya nem csak 1-4, hanem esetenként 1-6.** Alakja emiatt elágazó, hálózatos szerkezetű, helyenként rövidebb hélixszerkezetekkel.

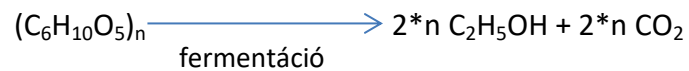
A keményítő fontos tartalék-tápanyag az élő szervezetnek. Fő alkotóeleme továbbá a lisztnek. Használatos:

- **gyógyszeriparban (tablettakészítés)**
- **szesziparban (finomszesz gyártása)**
- **édességipar (krumplicukor)**

### **A keményítő lebontása**

A keményítő a cellulózhoz hasonlóan híg savval főzve először maltózra (malátacukorra), majd glükózra (szőlőcukorra) bontható.

A keményítőtől fermentáció útján etil-alkohol is előállítható. A fermentáció során az anyagokat biológiai úton (pl. enzimek segítségével) bontjuk le és állítunk elő új anyagot. A folyamat a következő:



Köztitermékként maltóz és szőlőcukor is keletkezik a folyamat során.

#### **Előfordulása**

- burgonya és egyéb gumós növények
- magvak
- rizs
- kukorica