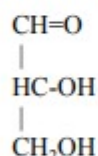


## Budowa i właściwości sacharydów

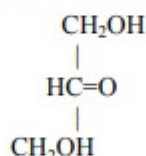
### . Struktura sacharydów

Sacharydy (inaczej cukry) są to polihydroksyaldehydy i polihydroksyketony oraz niektóre ich pochodne (aminosacharydy, deoksosacharydy, kwasy uronowe). Nazwa sacharydy wywodzi się od sacharozy, sacharydu powszechnie używanego w celach spożywczych i zwanego potocznie cukrem. Tradycyjnym wzorem ogólnym cukrów jest  $C_nH_{2n}O_n$ , choć wiele sacharydów tego wzoru nie spełnia. W literaturze cukry znane są też pod nazwą węglowodanów, jednak ta nazwa nie jest zalecana, ponieważ wzór sumarycznych nie wszystkich cukrów odpowiada wielokrotności ugrupowania C(HOH).

Rozróżniane są dwie podstawowe grupy cukrów: **aldozy**, będące homologami aldehydu glicerynowego oraz **ketozy**, które są homologami dihydroksyacetonu.

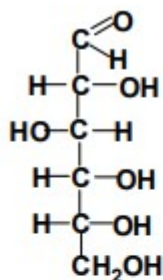


Aldehyd D-glicerynowy

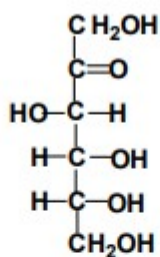


Dihydroksyaceton

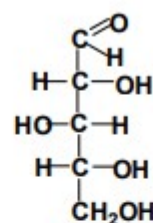
W zależności od liczby atomów węgla w cząsteczce, cukry dzielą się na triozy (3 atomy C), tetrozy (4 atomy C), pentozy (5 atomów C), heksozy (6 atomów C), heptozy (7 atomów C) i oktozy (8 atomów C), np:



D-glukoza  
aldoheksoza



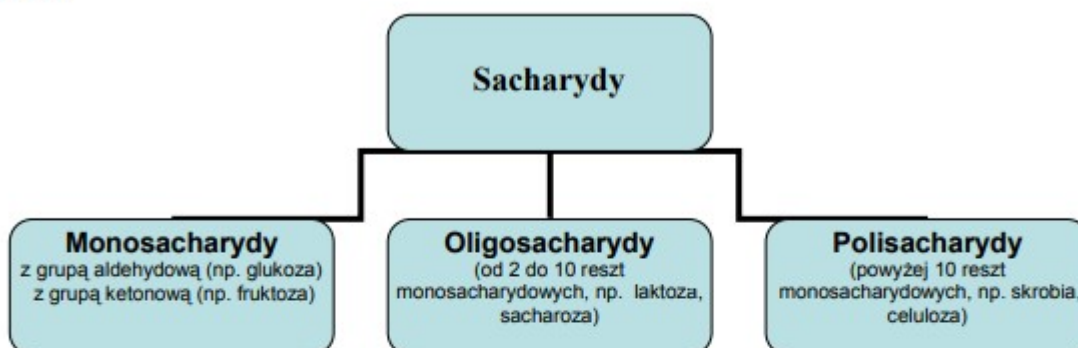
D-fruktoza  
ketoheksoza



D-ksyloza  
aldopentoza

Łatwo zauważyć, że nazwa cukru składa się z liczebnika podającego liczbę atomów węgla i charakterystycznej dla cukrów końcówki – oza. Monosacharydy charakteryzują się obecnością w cząsteczce asymetrycznych atomów węgla (połączonych z 4 różnymi grupami chemicznymi), zwanych centrami stereogenicznymi. Obecność asymetrycznych atomów węgla stwarza możliwość występowania licznych izomerów optycznych i przestrzennych.

Inny podział sacharydów na tzw. cukry proste (monosacharydy) i cukry złożone (oligosacharydy i polisacharydy) związany jest ich zdolnością do kondensacji (polimeryzacji) (Rys. 1).

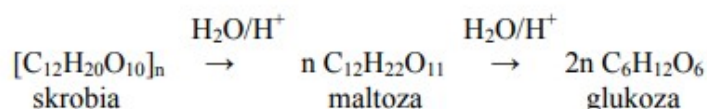


Rys. 1. Podział sacharydów ze względu na ich budowę chemiczną.

**Cukrami prostymi** nazywane są sacharydy, które nie ulegają hydrolizie; należy do nich m.in. aldehyd glicerynowy, ryboza, glukoza, oraz wiele innych. Jeżeli cząsteczka cukru składa się z dwóch lub więcej reszt monosacharydów, to zaliczany jest on do **cukrów złożonych**, a ich hydroliza prowadzi do otrzymania cukrów prostych. Cukry złożone, zawierające od 2 do 10 reszt monosacharydowych, nazywane są oligosacharydami, natomiast cukry powyżej 10 reszt - polisacharydami. Składnikami cukrów złożonych może być około 50 obojętnych i kwaśnych monosacharydów oraz podobna ilość aminocukrów. Polisacharydy mogą być liniowe lub rozgałęzione, utworzone z jednego rodzaju monosacharydu (homopolisacharydy) lub z różnych jednostek cukrowych (heteropolisacharydy). Jednostki monosacharydowe mogą występować w formie pierścienia sześciocząłowego (piranozowego) lub pięciocząłowego (furanozowego), łączyć się wiązaniem  $\alpha$ - lub  $\beta$ -glikozydowym. Dodatkowo do reszt cukrowych mogą być przyłączone podstawniki niecukrowe, np. grupy acylowe, alkilowe, siarczanowe, fosforanowe czy cykliczne acetale.

W przyrodzie sacharydy występują zarówno w postaci wolnej, jak i związanej z peptydami (proteoglikany), proteinami (glikoproteiny) oraz lipidami (glikolipidy).

Z uwagi na znaczenie żywieniowe bardziej szczegółowo zostanie opisana budowa skrobi. Składa się ona z jednostek glukozylowych połączonych wiązaniami 1,4- $\alpha$ -glikozydowymi z tym, że łańcuchy zawierają także pewną liczbę odgałęzień. W wyniku częściowej hydrolizy skrobi powstaje maltoza (disacharyd), hydroliza całkowita prowadzi wyłącznie do D-glukozy:

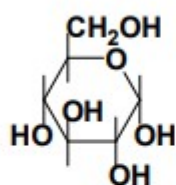


## Właściwości fizykochemiczne sacharydów

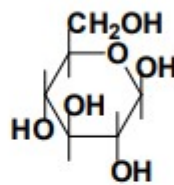
Monosacharydy i oligosacharydy są słodkie, rozpuszczalne w wodzie, łatwo krystalizują i mają określoną masę cząsteczkową. W przeciwieństwie do nich polisacharydy nie mają smaku słodkiego, są mniej lub wcale nierozpuszczalne w wodzie i są zróżnicowane pod względem masy cząsteczkowej. Wszystkie cukry są nietłoczne i rozpadają się przed osiągnięciem temperatury wrzenia. Krystalizują z roztworów opornie (wyjątkiem jest sacharoza) i mają tendencję do tworzenia gęstych, syropowatych cieczy, zwłaszcza jeśli nie są czyste. Monosacharydy zawierają asymetryczne atomy węgla i dlatego są związkami optycznie czynnymi; wodne roztwory sacharydów wykazują zdolność skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego.

Przy omawianiu właściwości chemicznych cukrów należy uwzględniać zarówno ich budowę pierścieniową jak i łańcuchową. Tworzenie pierścieni heterocyklicznych jest wynikiem wewnątrzcząsteczkowej addycji grupy hydroksylowej do grupy aldehydowej lub ketonowej z utworzeniem wiązania półacetalowego (hemiacetalowego). Z powodu płaskiej budowy grupy aldehydowej i ketonowej tworzenie wiązania półacetalowego prowadzi do

powstania dwóch izomerów, nazywanych anomerami  $\alpha$  i  $\beta$ . Anomer  $\alpha$  (monosacharydu z szeregu konfiguracyjnego D) posiada półacetalową grupę hydroksylową pod powierzchnią pierścienia we wzorze Hawortha, anomer  $\beta$  nad powierzchnią np. dla D-glukozy



anomer  $\alpha$



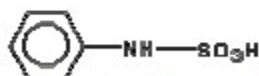
anomer  $\beta$

Drobna ilość form łańcuchowych w równowadze z pierścieniowymi wystarcza, aby cukry ulegały typowym reakcjom związków karbonylowych. Niekiedy reakcje te przebiegają inaczej niż w przypadku prostych aldehydów i ketonów, ponieważ obecność grup OH stwarza możliwości dalszych przemian. Wzory pierścieniowe są niezbędne przy opisie reakcji grup hydroksylowych w cukrach.

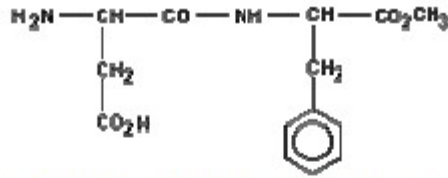
Tabela 1. Względna słodkość (RS) 10% wodnych roztworów różnych związków (sacharoza = 1,0)  
(Zdzisław E. Sikorski, *Chemia Żywności*, WNT, Warszawa, 2002).

Związek	RS
Sacharoza	1,00
β-D-fruktopiranoza	1,80
Cukier inwertowany	1,30
α-D-glukopiranoza	0,70
β-D-glukopiranoza	0,80
α-D-mannopiranoza	0,30
β-D-mannopiranoza	Gorzka
D-galaktopiranoza	0,32
Maltoza	0,32
α-D-Laktoza	0,20
β-D-Laktoza	0,30
D-Galaktosacharoza	Bez smaku
Rafinoza	0,01
Stachinoza	0,10
Ksylitol	0,85-1,2
Mannitol	0,40
Sorbitol	0,60
Miód	0,97
Melasa	0,74
Sacharyna	200-700
Cyklaminiany	30-140
Aspartam	200
Neohesperydyno dihydrochalon	2000

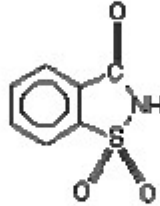
W Polsce w użyciu są następujące naturalne, sacharydowe środki słodzące: D-glukoza, D-fruktoza, laktoza, sacharoza, maltoza, syropy skrobiowe, ekstrakty słodowe, alkohole cukrowe, miód i syrop klonowy. Dostępne są także inne, niesacharydowe środki słodzące, takie jak np.



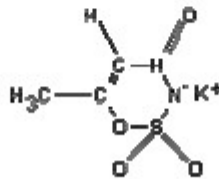
kwas *N*-cykloheksyloaminosulfonowy (30 razy słodszy od sacharozy)



Aspartam (200 razy słodszy od sacharozy)



Sacharyna (300 razy słodsza od sacharozy)



Acesulfam (200 razy słodszy od sacharozy)

Sacharydy wykorzystuje się również do produkcji barwników żywności. W wyniku tzw. palenia cukru, w temp. 200-240°C przez kilka godzin, powstaje brunatny produkt zwany karmelem. Karmel, do celów barwiących, otrzymuje się przez palenie cukru w niższej temp. 130-200°C wobec amoniaku (powstaje tzw. karmel amoniakalny lub inaczej brunatny barwnik). Ponieważ zawiera on w sobie niewielkie ilości neurotoksycznego związku - 4(5)-metyloimidazolu – dąży się do wyeliminowania karmelu amoniakalnego z produkcji lub usiłuje się wprowadzić ograniczenia na codzienne spożycie produktów barwionych karmelem. Karmel używany jako dodatek do żywności podlega standaryzacji; dopuszcza się stosowanie 10 typów karmeli, które różnią się sposobem produkcji, przede wszystkim rodzajem zastosowanego katalizatora.

Sacharydy, a zwłaszcza sacharoza, są środkami konserwującymi marmolady, soki, konfitury, galaretki, kisiele i budynie.

## Sacharydy występujące w żywności

W produktach spożywczych zidentyfikowano ponad 100 rodzajów cukrów. D-Glukoza i D-fruktoza znajduje się głównie w miodzie, owocach i warzywach, laktoza (dimer D-glukozy i D-galaktozy) w mleku ssaków, sacharoza w burakach cukrowych i trzcinie cukrowej, a skrobia w ziarnie zbóż, w przetworach zbożowych oraz w ziemniakach.

Sacharydy zaliczane są do grupy składników energetycznych i występują głównie w produktach pochodzenia roślinnego (Tabela 2).

Tabela 2. Zawartość sacharydów w wybranych produktach spożywczych (Malecka M. *Wybrane metody analizy żywności*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań, 2003).

Rodzaj produktu	Łączna zawartość sacharydów [%]
Wieprzowina, wołowina	0,0
Ser gouda tłusty	0,1
Ogórek	2,9
Ser twarogowy tłusty	3,5
Pomidor	3,6
Mleko spożywcze, 2% tłuszczu	4,9
Marchew	8,7
Pomarańcza	11,3
Brzoskwinia	11,9
Jabłko	12,1
Banan	23,5
Chleb	56,2
Ziarno pszenicy	70,5
Ziarno żyta	74,2
Kasza jęczmienna, pęczak	74,9

Ich najbogatszym źródłem są: mąka, kasze, pieczywo, suche nasiona roślin strączkowych, czyli groch i fasola oraz ziemniaki. Zawierają one 20-70% sacharydów w postaci skrobi. Najbardziej skoncentrowanym źródłem węglowodanów jest cukier. Do grupy produktów węglowodanowych zalicza się ponadto błonnik. Rozpowszechniony w przyrodzie jako materiał budulcowy i podporowy roślin jest ważnym składnikiem pożywienia, chociaż ustrój człowieka nie trawi go i nie przyswaja. Zawartość węglowodanów w pożywieniu jest konieczna do prawidłowego przetwarzania tłuszczów, lecz ich nadmiar prowadzi do otyłości.

## Funkcje sacharydów

Sacharydy spełniają w organizmie wiele ważnych funkcji:

- o są głównym, najtańszym i najłatwiej dostępnym źródłem energii, służącej przede wszystkim do utrzymywania stałej ciepłoty ciała, pracy narządów wewnętrznych oraz do wykonywania pracy fizycznej (z 1 g węglowodanów wyzwala się 4 kcal energii); glukoza jest prawie wyłącznym źródłem energii dla mózgu;
- o są materiałem budulcowym elementów strukturalnych komórek lub substancji biologicznie czynnych, np. rybozy; biorą udział w budowie błon komórkowych;
- o pozwalają na oszczędną gospodarkę białkami i lipidami;
- o odgrywają znaczną rolę w gospodarce wodnej i mineralnej, zmniejszając wydalanie tych składników;
- o niektóre sacharydy (zawarte w błonniku pokarmowym), choć nie są przez organizm człowieka trawione i przyswajane, odgrywają istotną rolę w regulowaniu procesów zachodzących w przewodzie pokarmowym, m.in. wpływają na perystaltykę przewodu pokarmowego, stymulują wzrost i rozwój „dobrych” bakterii (bakterii kwasu mlekowego). Błonnik pokarmowy obniża także poziom cholesterolu we krwi, reguluje metabolizm cukrów oraz pozwala na dłużej zachować uczucie sytości po posiłku.

### Zapotrzebowanie:

Sacharydy powinny dostarczać 55-60% wartości energetycznej dziennej racji pokarmowej dorosłego człowieka. Dzienny poziom zalecanego spożycia węglowodanów dla różnych grup ludności podano w Tabeli 3.

Tabela 3. Dzienny poziom zalecanego spożycia węglowodanów dla różnych grup ludności (Szczygiel A. i inni: *Normy żywienia IŻŻ*, zaktualizowane w 1980 r. *Żyw. Człow. i Metab.*, 10, 2, 143, 1983.)

Grupy ludności	Węglowodany	
	Ogółem [g]	[%] energii z sacharydów
Dzieci 1-3 lat	165	51
Dzieci 4-6 lat	235	55
Dzieci 7-9 lat	290	55
Chłopcy 10-12 lat	370	57
Dziewczęta 10-12 lat	320	56
Młodzież męska 13-15 lat	420-470	56-57
Młodzież męska 16-20 lat	450-545	56-59
Młodzież żeńska 13-15 lat	365-400	56-57
Młodzież żeńska 16-20 lat	355-390	57-58
Mężczyźni 21-64 lat praca lekka	345-385	58-59
Mężczyźni 21-64 lat praca umiarkowana	400-480	57-60
Mężczyźni 21-64 lat praca ciężka	500-600	57-60

Mężczyźni 21-64 lat praca bardzo ciężka	575-605	57-60
Kobiety 21-59 lat praca lekka	300-335	57-58
Kobiety 21-59 lat praca umiarkowana	330-405	55-58
Kobiety 21-59 lat praca ciężka	400-460	55-57
Kobiety ciężarne (II połowa ciąży)	400	57
Kobiety karmiące	490	58
Mężczyźni 65-75 lat	335	58
Mężczyźni powyżej 75 lat	315	60
Kobiety 60-75 lat	320	58
Kobiety powyżej 75 lat	300	60