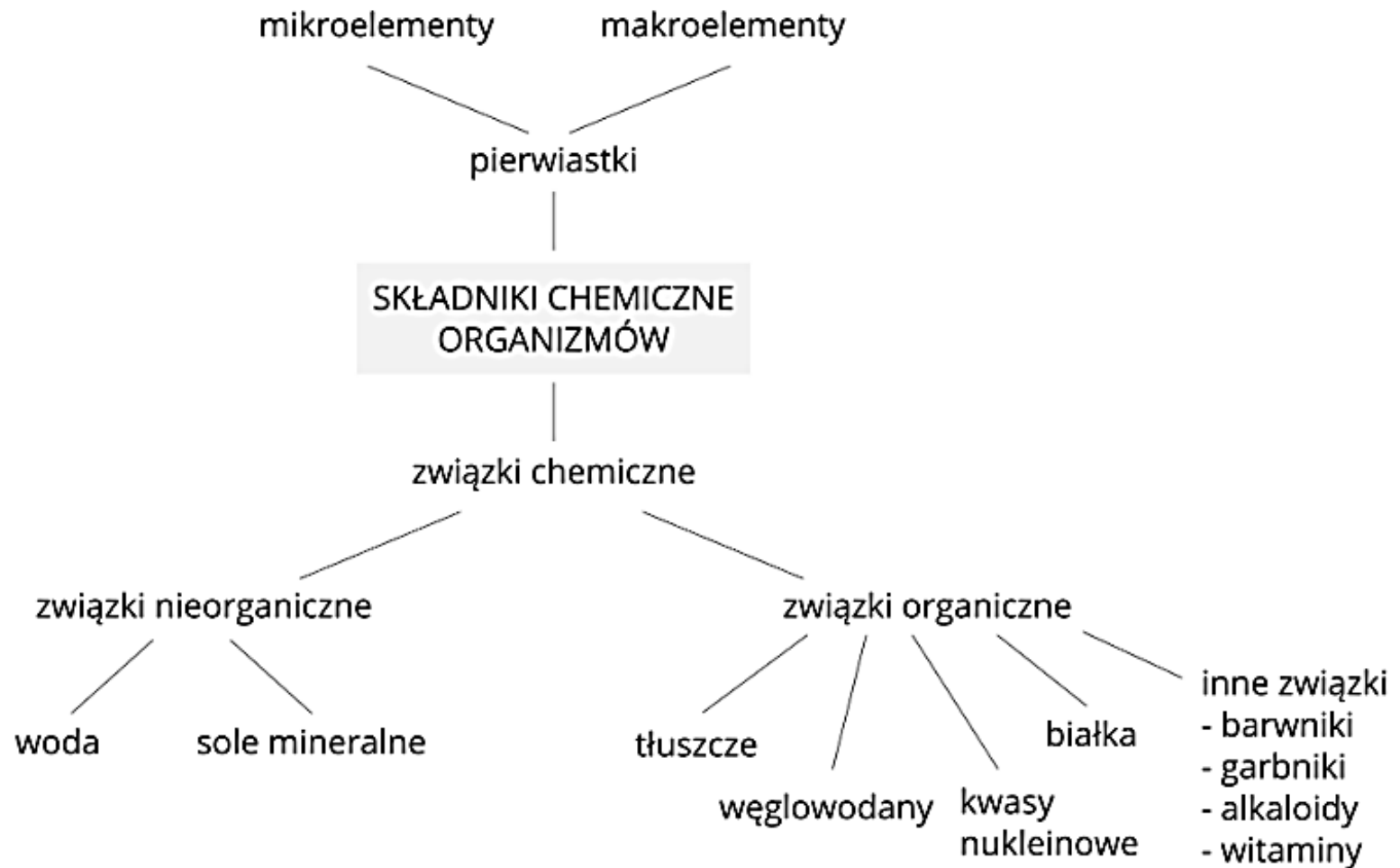


BIOCHEMIA – podstawowe pojęcia

WĘGLOWODANY – budowa i metabolizm

dr hab. Grażyna Wilczek

CHEMICZNA BUDOWA ORGANIZMÓW



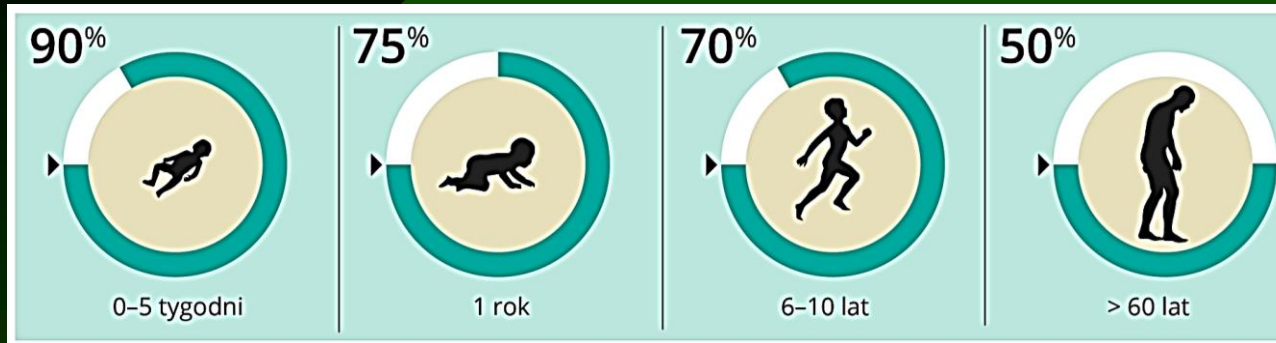
SKŁAD CHEMICZNY [%]

Zawartość wody w organizmie

Wiek (lata)	Mężczyzna	Kobieta
Niemowlę	65%	65%
1-9	62%	62%
10-16	59%	57%
17-39	61%	51%
40-59	55%	47%
60+	52%	46%

Zaadaptowane z: I.S. Edelman i J. Leibman. Anatomy of body water and electrolytes, *Am J Med* 27(2): 256-277, 1959.

WODA



70% masy ciała człowieka

PRZYCHÓD		ROZCHÓD	
	ml		ml
Z pożywieniem stałym	1000	Z powietrzem wydychanym	550
Z napojami	1500	Z potem	600
Jako woda metaboliczna	300	Z moczem i kałem	1650
	2800		2800

PIERWIASTKI

GRUPY

OKRESY

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Ra	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xn
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac															



Pierwiastki występujące w dużych ilościach



Przypuszczalnie niezbędne mikroelementy



Niezbędne makroelementy



Niezbędne mikroelementy

SKŁADNIKI MINERALNE

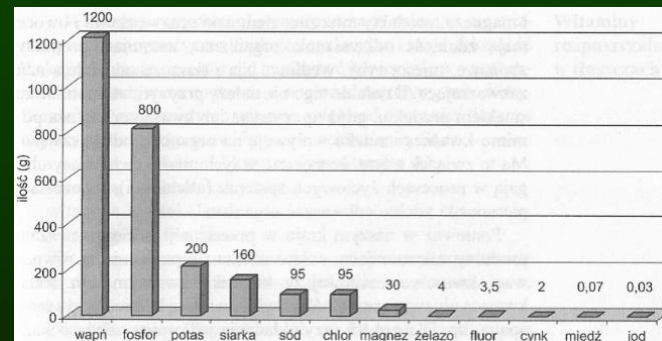
- To pierwiastki, które pozostają po spaleniu tkanek w postaci popiołu
- Stanowią 4% masy ciała dorosłego człowieka

Makroelementy

- Zapotrzebowanie przekracza 100 mg/osobę/dzień
- Ca, P, Mg, K, S, Na, Cl

Mikroelementy

- Zapotrzebowanie poniżej 100 mg/osobę/dzień
- Fe, Zn, Cu, Mn, F, J, Se, Cr



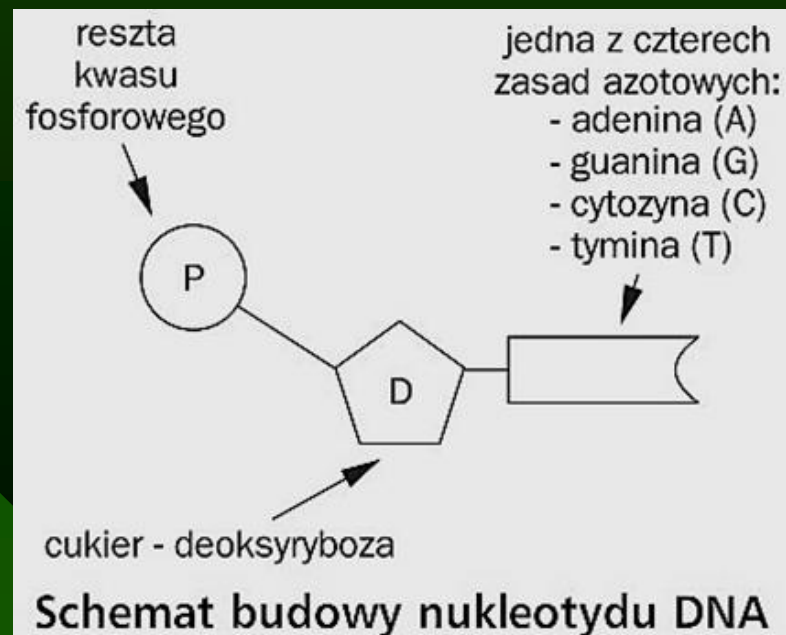
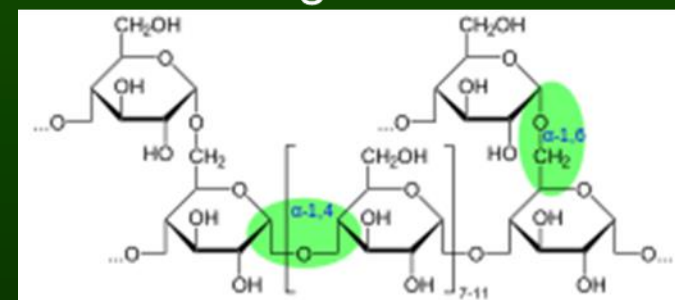
Zawartość makroelementów i wybranych mikroelementów w organizmie dorosłego człowieka

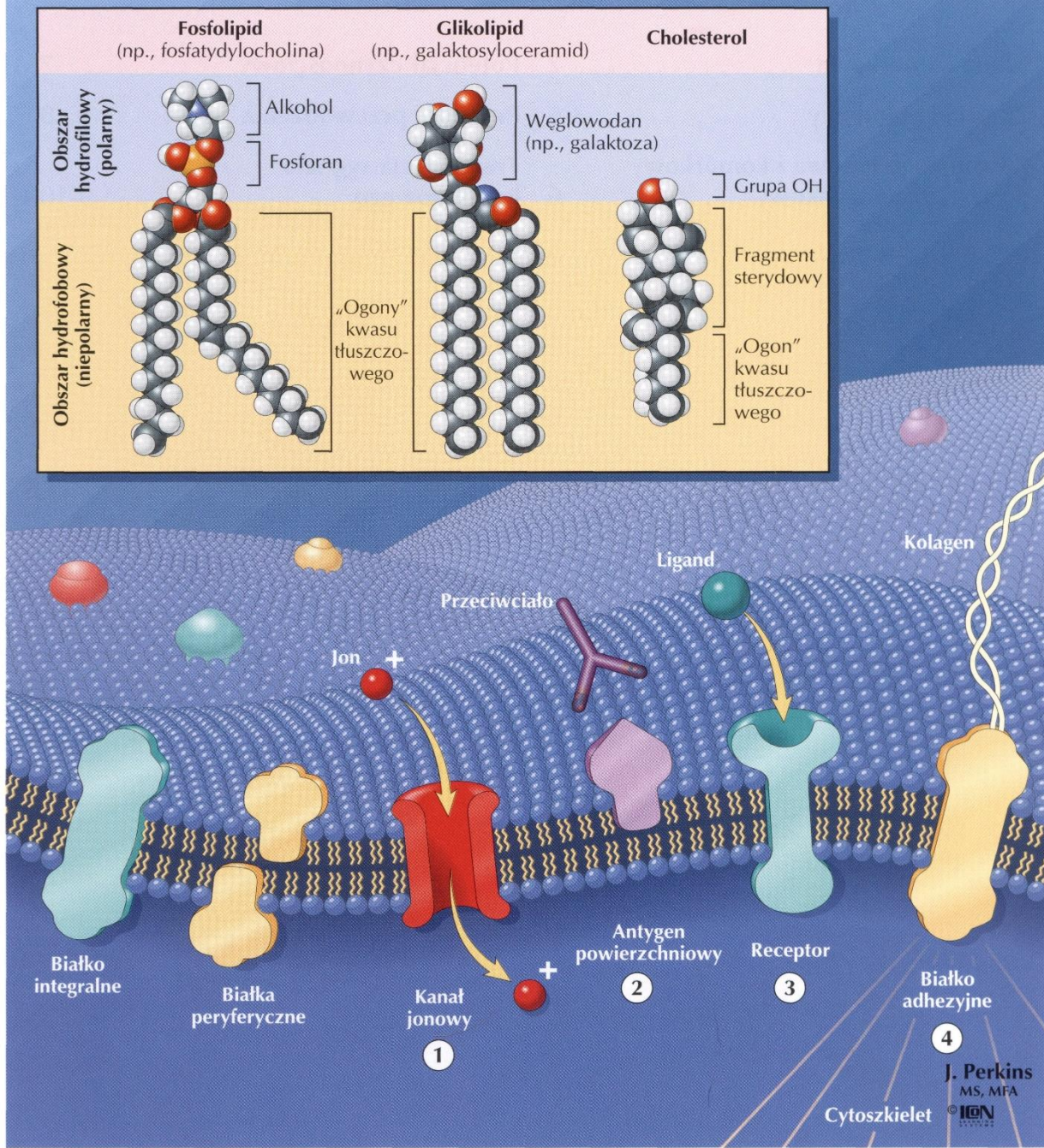
Biodostępność: pierwiastki jednowartościowe np. Na, K, Cl, J, F, (zwykle w postaci soli) łatwo się wchłaniają i wydalają. Pozostałe lepiej przyswajane z pokarmów pochodzenia zwierzęcego w formie organicznej (Fe z Hb i mioglobiny; P jako kazeina i fosfolipidy; S jako aminokwasy siarkowe).

WĘGLOWODANY – funkcje

- Substraty energetyczne
- Wytwarzanie substancji strukturalnych i biologicznie czynnych (kwasy nukleinowe, mukopolisacharydy)
- Kontrola łaknienia (glikogen, glukoza)
- Regulacja procesów przebiegających w jelitach (błonnik)

Glikogen





Glikolipidy –

- **asymetryczność** błony komórkowej,
- **stabilizują** błonę komórkową,
- są **receptorami** dla niektórych hormonów peptydowych i toksyn bakteryjnych,
- **określają grupy krwi** (ABO)

glikolipidy - markery komórkowe niektórych specyficznych komórek (rozpoznawane przez białka komplementarne lub węglowodany pochodzące z innej komórki)

w razie konieczności służą one również jako źródło energii komórki.

PODZIAŁ WĘGLOWODANÓW



n – liczba cząsteczek
monosacharydów

WĘGLOWODANY



PRZYSWAJALNE

*Cukry proste, skrobia,
glikogen, sacharoza,
maltoza, laktoza*



BŁONNIK POKARMOWY



BŁONNIK ROZPUSZCZALNY

*Stachioza; Rafinoza
Pektyny; Hemicelulozy*



BŁONNIK NIEROZPUSZCZALNY

Celuloza



SKROBIA OPORNA

Częściowo przyswajalne

Nie poddają się działaniu enzymów trawiennych

MONOSACHARYDY

C3; Aldehyd
fosfoglicerynowy

C4; Erytroza

C5; Ryboza

C5; Ksyloza

C5; Arabinoza

C6; Glukoza

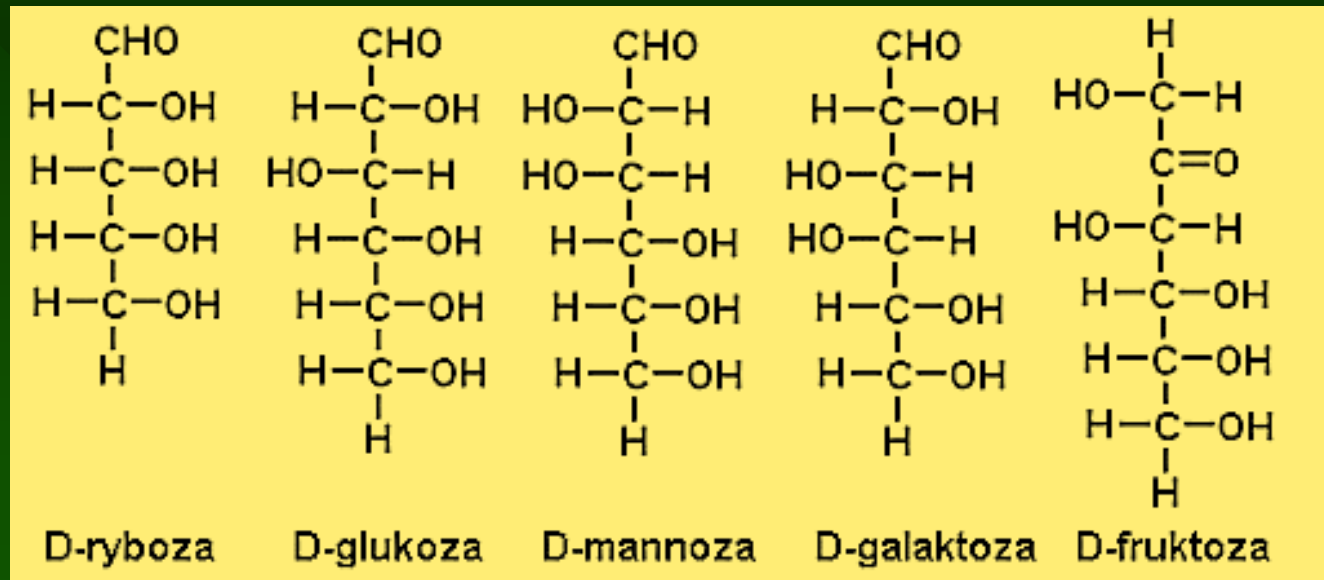
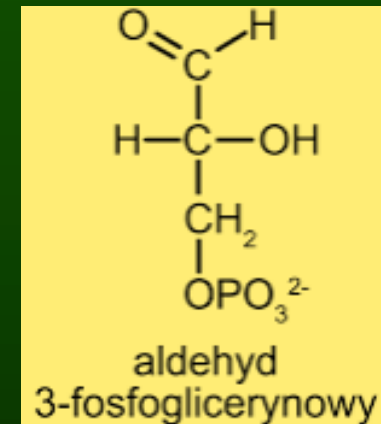
C6; Fruktoza

C6; Galaktoza

C6; Mannoza

C7; Septoza

n=3-7



MONOSACHARYDY - NOMENKLATURA

Monosacharydy zawierające w swej cząsteczce grupę:

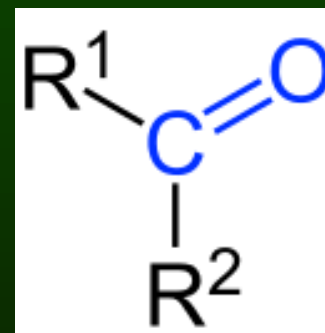
➤ **aldehydową** - aldozy, **ketonową** - ketozy

Nazwę monosacharydu tworzy się dodając do greckiego liczebnika odpowiadającego ilości atomów węgla końcówkę

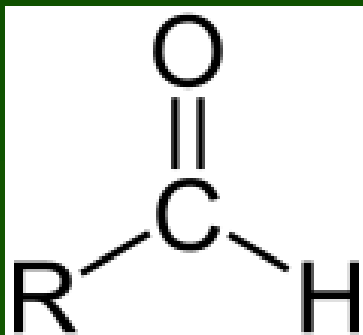
– **oza** - dla aldoz

– **uloza** - dla ketoz

	Aldozy	Ketozy
Triozy	aldehyd glicerynowy	dihydroksyaceton
Tetrozy	erytroza	erytruloza
Pentozy	ryboza	rybuloza
Heksozy	glukoza	fruktoza



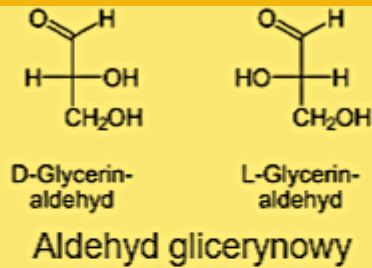
grupa ketonowa - grupa karbonylowa (C = O)
połączona z atomem węgla



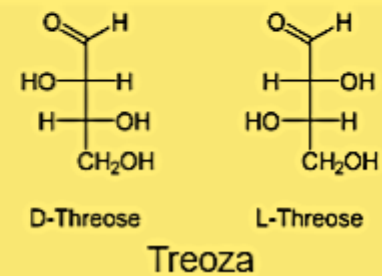
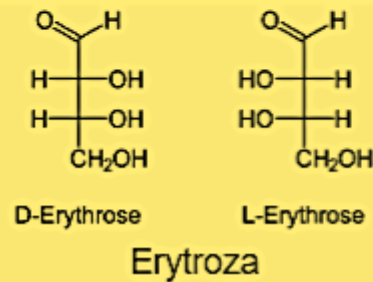
Grupa aldehydowa – jednowartościowa grupa funkcyjna o wzorze -CHO, zbudowana z grupy karbonylowej, której atom węgla jest bezpośrednio związany z atomem wodoru. Grupa ta jest charakterystyczną grupą aldehydów i aldoz.

ALDOZY - przykłady

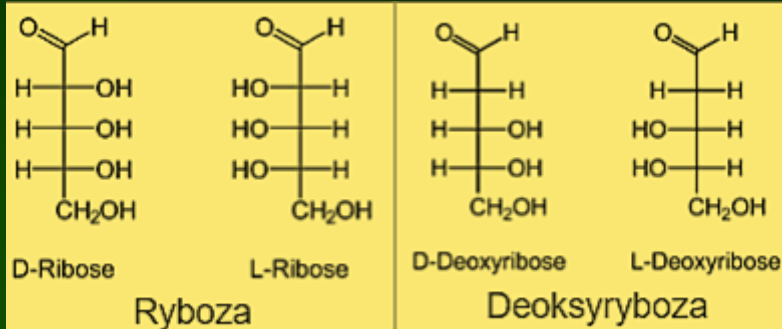
TRIOZY



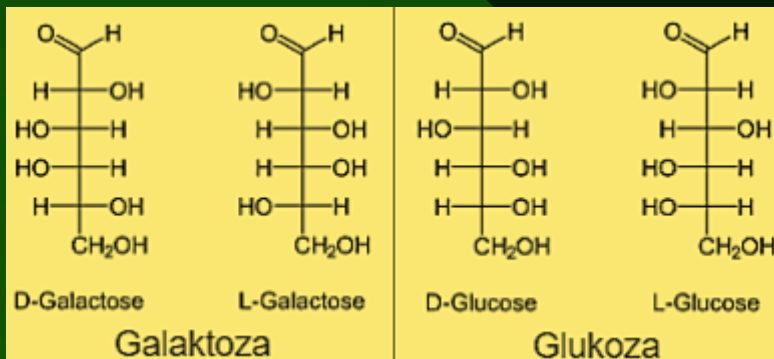
TETROZY



PENTOZY

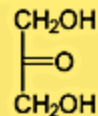


HEKSOZY



KETOZY - przykłady

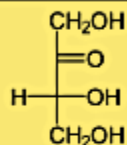
Triozy
(ketotriozy)



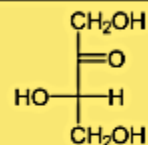
Dihydroxy-
acetone

Dihydroksyaceton

Tetrozy
(ketotetrozy)



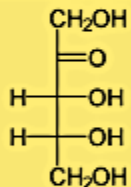
D-Erythrulose



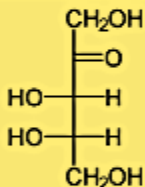
L-Erythrulose

Erytruloza

Pentozy
(ketopentozy)

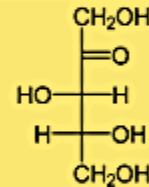


D-Ribulose

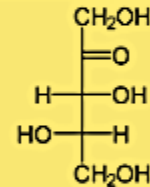


L-Ribulose

Rybuloza



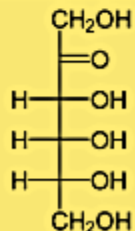
D-Xylulose



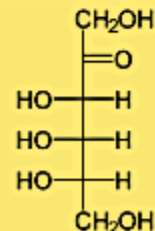
L-Xylulose

Ksyluloza

Heksozy
(ketoheksozy)

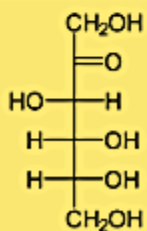


D-Psicose

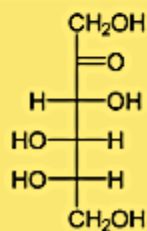


L-Psicose

Psikoza

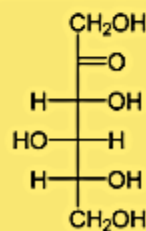


D-Fructose

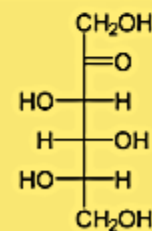


L-Fructose

Fruktoza

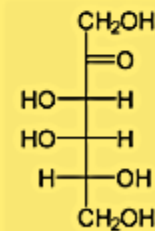


D-Sorbose

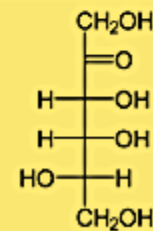


L-Sorbose

Sorboza



D-Tagatose



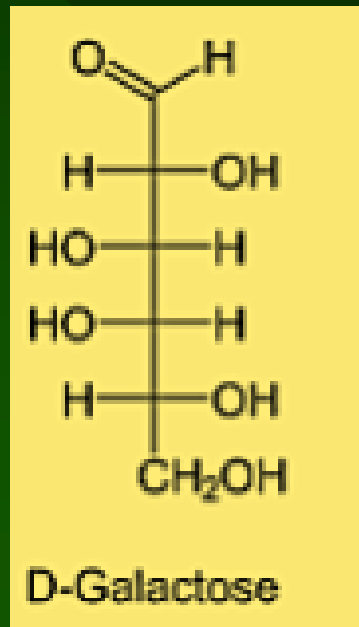
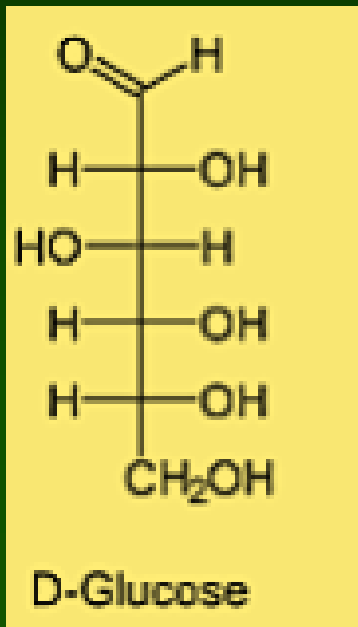
L-Tagatose

Tagatoza

IZOMERIA MONOSACHARYDÓW

Izomeria

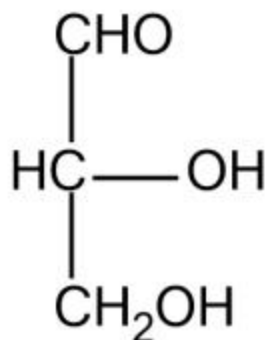
istnienie różnic budowie cząsteczek
o takim samym składzie atomowym



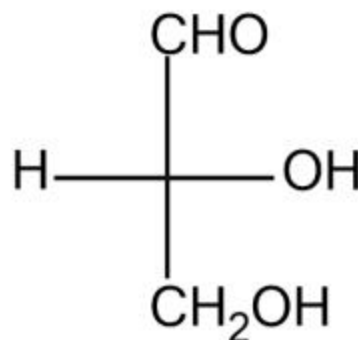
Różnią się
położeniem grupy –
OH w pozycji C⁴

ENANCJOMERIA – forma izomerii polegająca na występowaniu pewnych związków w dwóch postaciach, z których jedna jest **zwierciadlanym odbiciem drugiej** (formy D - częste i L - rzadkie)

Wzorcem konfiguracyjnym cukrów jest aldehyd glicerynowy

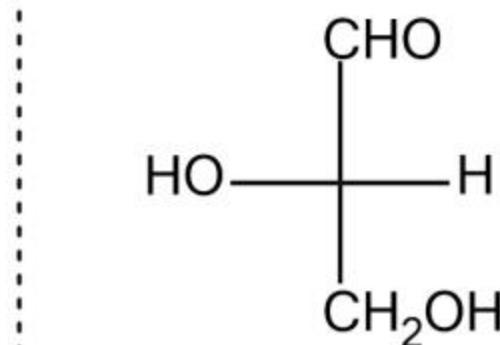


aldehyd glicerynowy
(2,3-dihydroksypropanal)



aldehyd D-glicerynowy

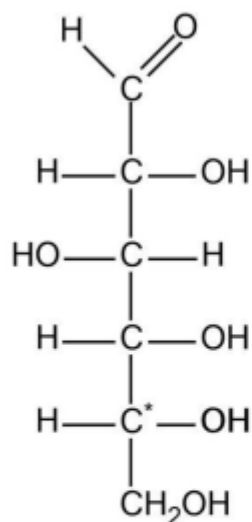
lustro



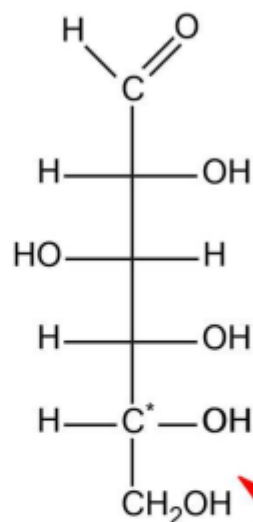
aldehyd L-glicerynowy

Wszystkie cukry, występujące naturalnie w przyrodzie, są cukrami, które należą do szeregu **D-monosacharydów**. Aby przyporządkować cząsteczce cukru odpowiednią konfigurację D lub L, należy określić konfigurację absolutną przy ostatnim asymetrycznym atomie w cząsteczce cukru.

Ostatni asymetryczny atom węgla w cząsteczce cukru to tzw. atom odniesienia, względem którego określa się konfigurację całej cząsteczki cukru. **Jeżeli podstawnik, grupa, jest po stronie prawej, to mamy izomer D, jeżeli po lewej – izomer L.**

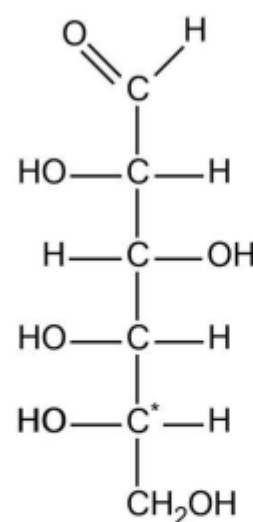


D-glukoza

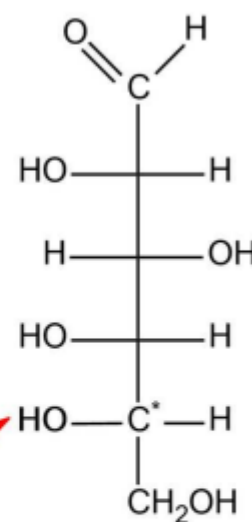


podstawnik przy ostatnim
asymetrycznym atomie
węgla jest po prawej stronie

lustro



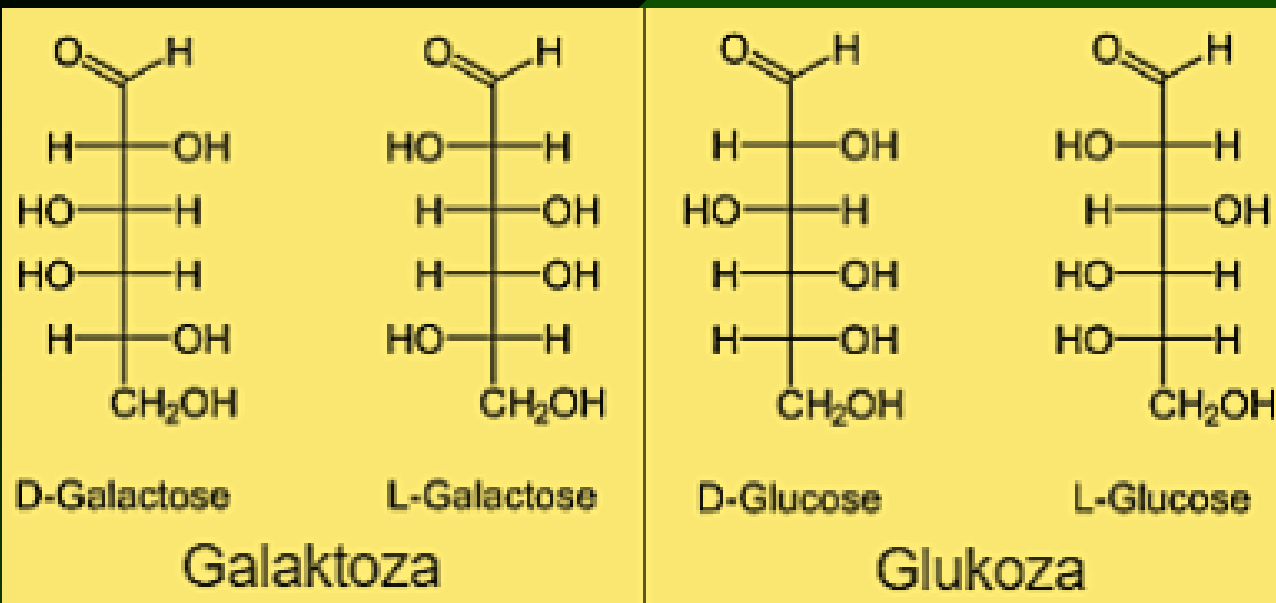
L-glukoza



podstawnik przy ostatnim
asymetrycznym atomie
węgla jest po lewej stronie

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

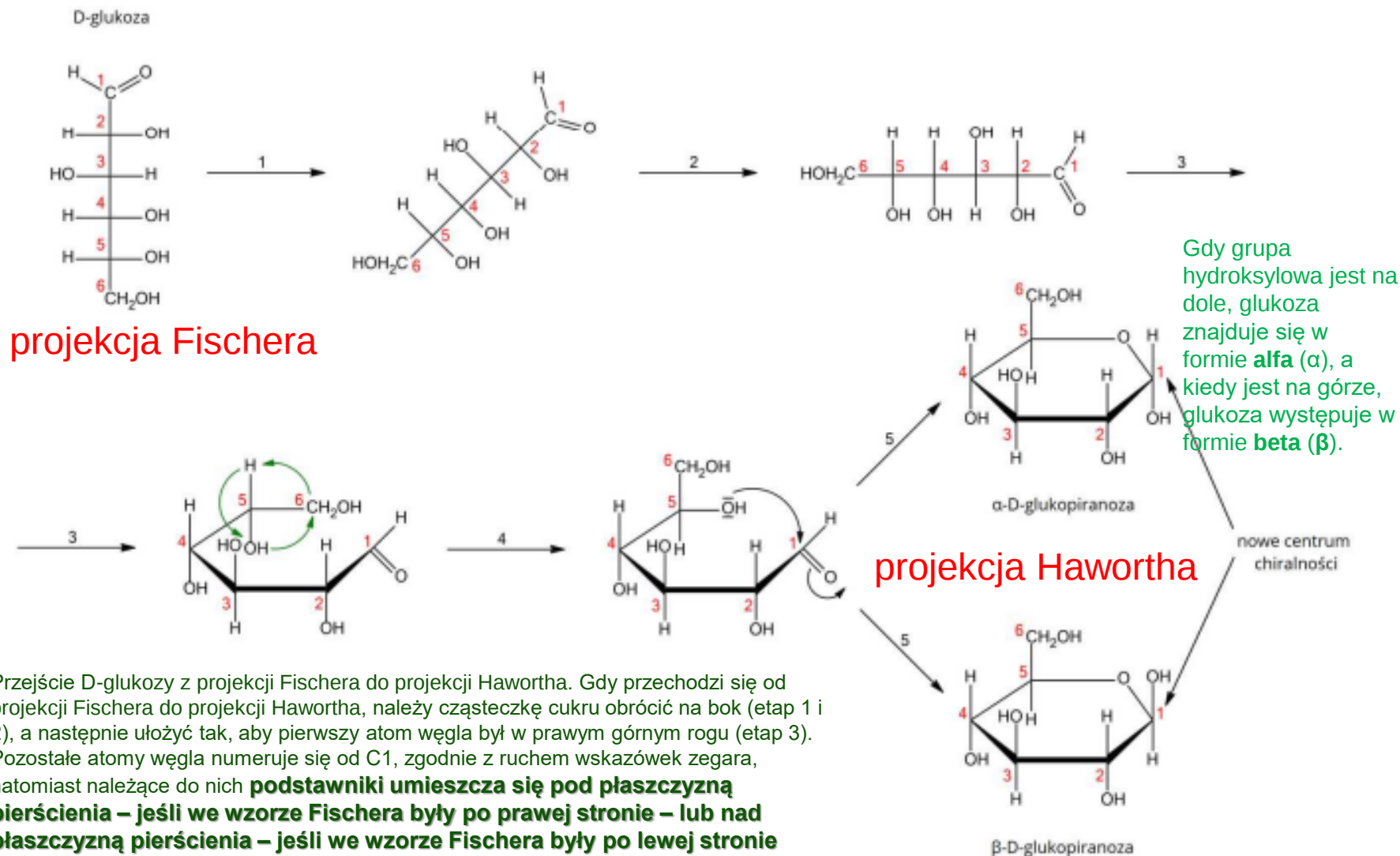
Asymetryczny atom - atom pierwiastka wielowartościowego związany w cząsteczce związku chemicznego z różnymi podstawnikami; najczęściej jest to atom węgla w cząsteczce związku organicznego, ale także atom azotu, arsenu, fosforu, siarki, krzemu; w jednej cząsteczce może być kilka asymetrycznych atomów



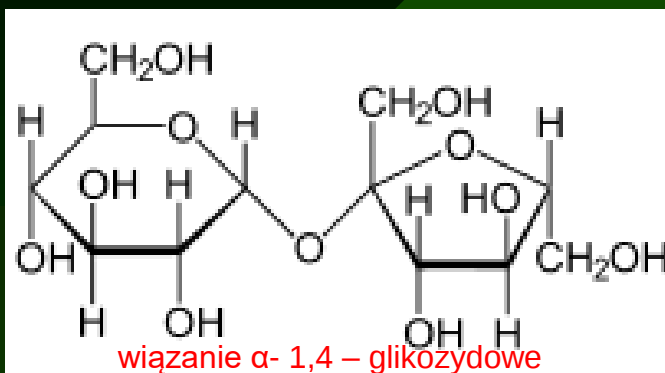
Różnią się położeniem podstawników przy węglach asymetrycznych

Jeżeli związek da się przekształcić do jednego z izomerów aldehydu glicerynowego, to związek ten zaliczamy do szeregu konfiguracyjnego D lub L, w zależności od tego, do którego izomeru przekształcił się

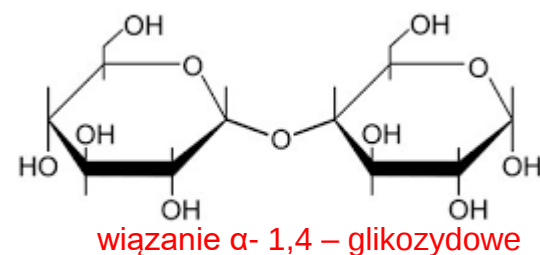
Sposób rysowania wzorów taflowych Hawortha na podstawie wzorów Fischera przedstawia poniższy schemat:



DISACHARYDY

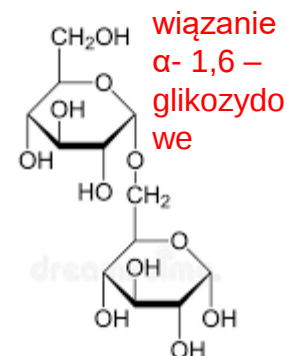


sacharoza

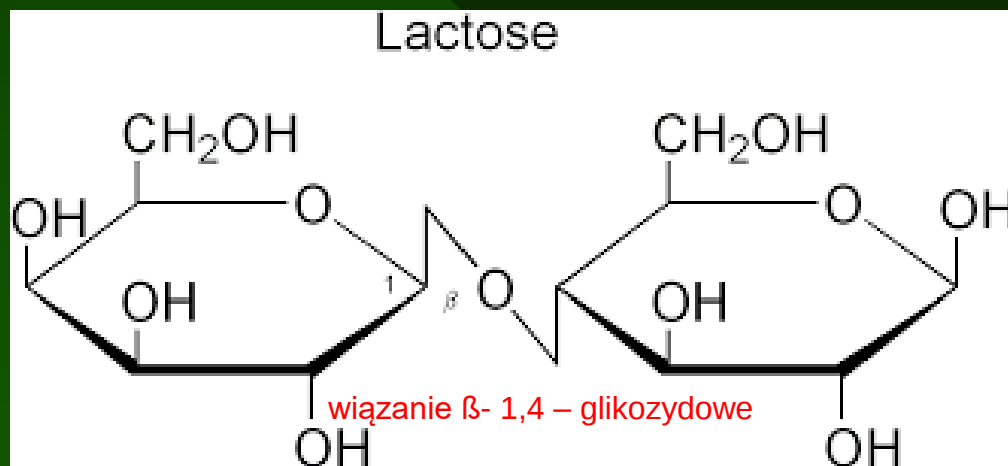
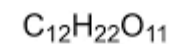


Maltoza

Maltoza i izomaltoza –
Produkty hydrolizy skrobi
pokarmowej

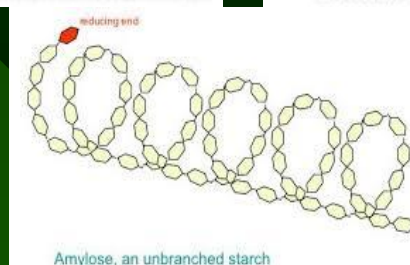
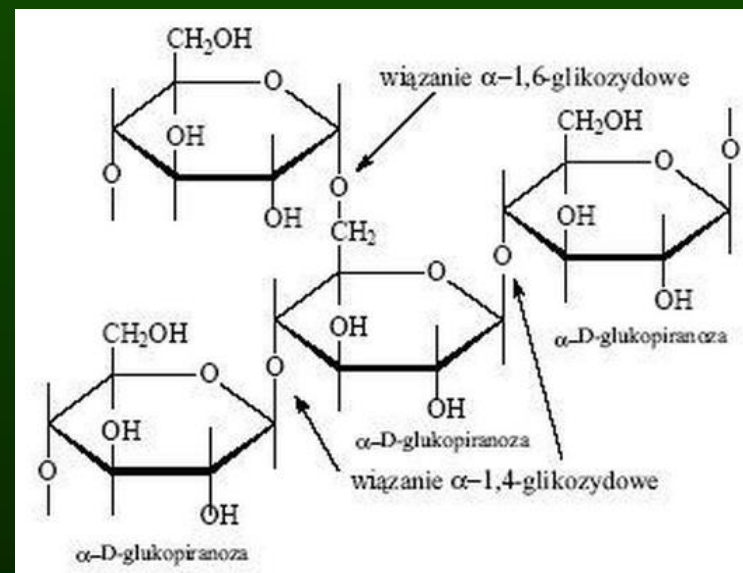
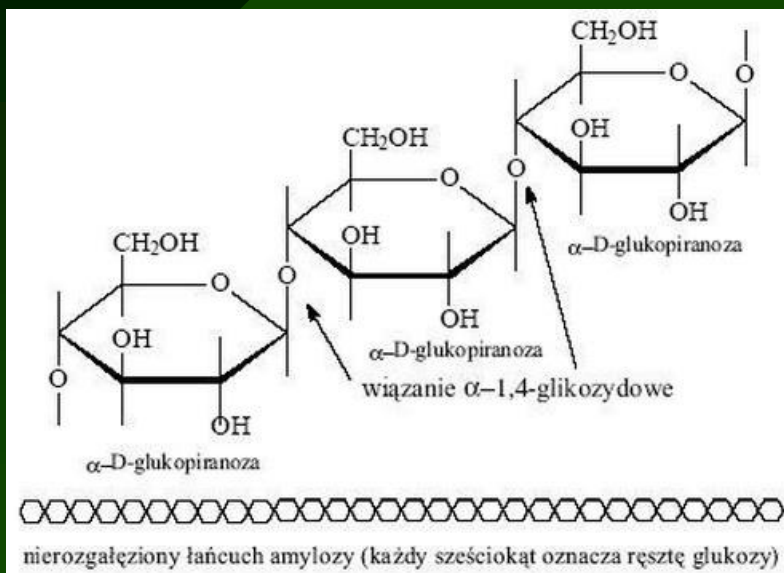


Isomaltose

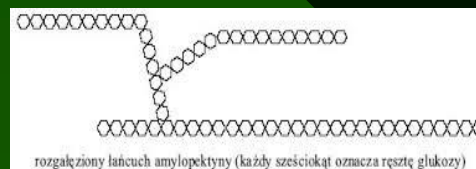


POLISACHARYDY

SKROBIA



10–35% ogólnej masy skrobi



65–90%

Próba jodowa

Zabarwienie skrobi pod wpływem jodu spowodowane jest **adsorpcją jodu na cząsteczce polisacharydu**. Adsorpcja ma charakter kanałowy, tzn. cząsteczki jodu wchodzi do kanału utworzonego przez spiralnie skręcone łańcuchy skrobi. Cząsteczki jodu w obrębie spirali skrobi tworzą prosty łańcuch, wzdłuż którego mogą przemieszczać się elektrony, co powoduje pochłanianie światła przez cały kompleks.

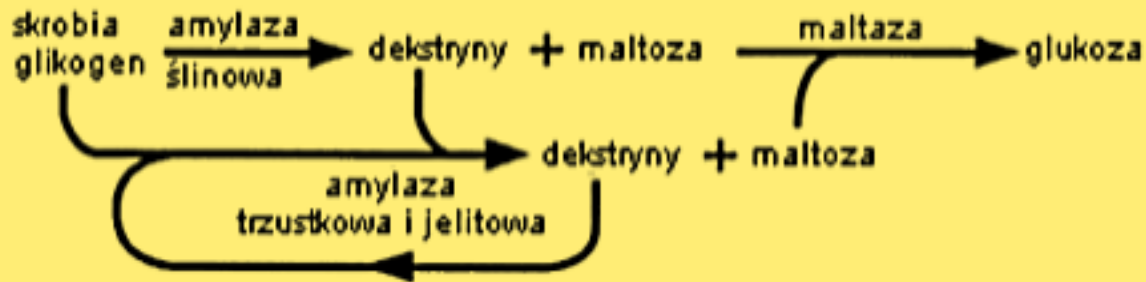
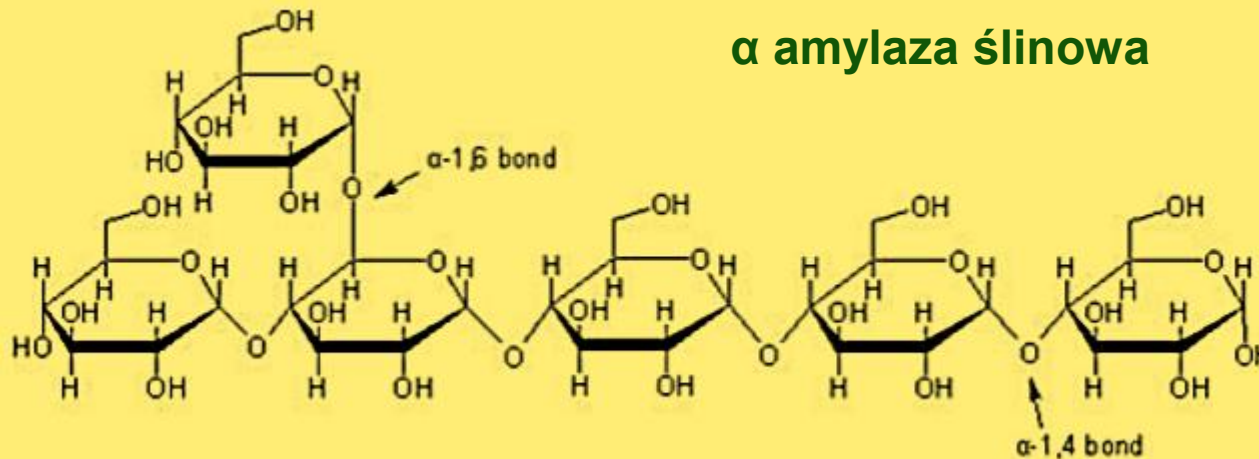
Barwa zależy od długości łańcucha. Amyloza daje zabarwienie niebieskie, amylopektyna fioletowoczerwone. W obecności zasad zabarwienie nie powstaje, gdyż jod reaguje z jonem wodorotlenowym.



Ziarna skrobi wybarwione płynem Lugola w komórce banana, <http://www.bio-forum.pl/messages/3280/87084.html>

TRAWIENIE

α amylaza ślinowa



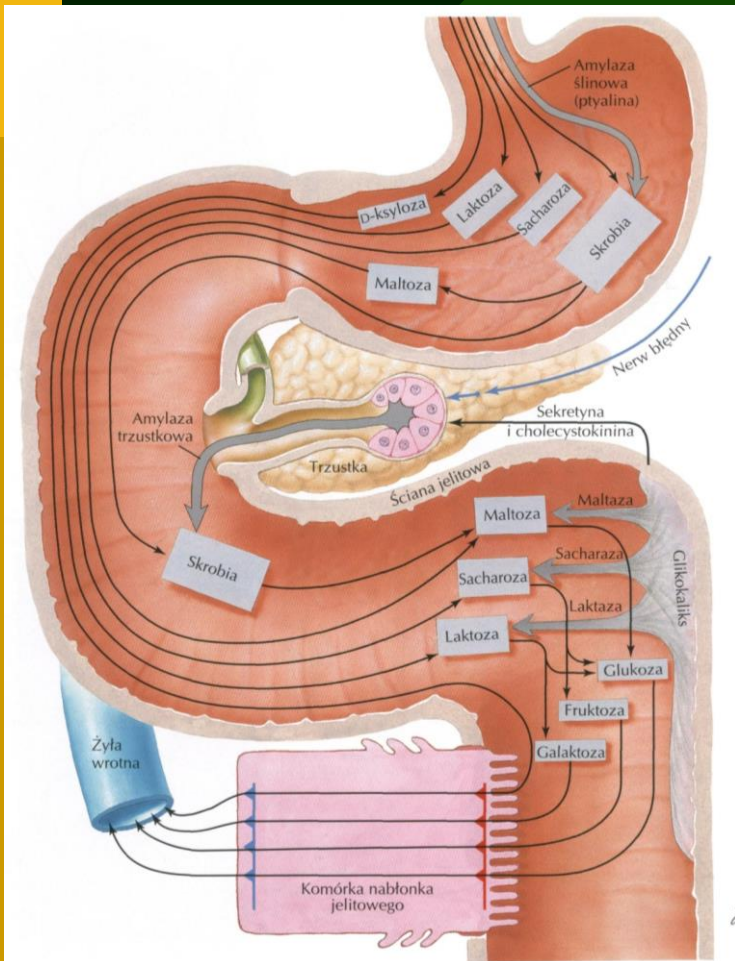
- amylodekstryny (barwiące się z I_2 na niebiesko)
- erytrodekstryny (barwiące się z I_2 na czerwono)
- achrodekstryny (niebarwiące się z I_2)

TRAWIENIE CUKRÓW

Ślina - α amylaza ślinowa

Sok trzustkowy - α amylaza trzustkowa

Część jelitowa i na powierzchni rąbka prążkowanego enterocytów (maltaza, sacharaza, laktaza)



Enzym	Substrat	Sposób działania
α-Amylaza ślinowa	Skrobia, glikogen	Atakuje wiązania α -1,4 glikozydowe od wewnątrz łańcucha
α-Amylaza trzustkowa	Skrobia, glikogen	Atakuje wiązania α -1,4 glikozydowe od zewnątrz łańcucha
Glukozydaza amylopektynowa	Skrobia, dekstryny	Atakuje wiązania α -1,6 glikozydowe wielocukrów
Oligo 1,6-glukozydaza	oligosacharydy	Odczepia boczne łańcuchy glukozy
Sacharaza	sacharoza	Rozkłada na glukozę i fruktozę
Maltaza	maltoza	Rozkłada na 2 cząst. glukozy
Laktaza	laktoza	Rozkłada na glukozę i galaktozę

WĘGLOWODANY



PRZYSWAJALNE

*Cukry proste, skrobia,
glikogen, sacharoza,
maltoza, laktoza*



BŁONNIK POKARMOWY



BŁONNIK ROZPUSZCZALNY

*Stachioza; Rafinoza
Pektyny; Hemicelulozy*



BŁONNIK NIEROZPUSZCZALNY

Celuloza



SKROBIA OPORNA

Częściowo przyswajalne

Nie poddają się działaniu enzymów trawiennych

SKROBIA OPORNA

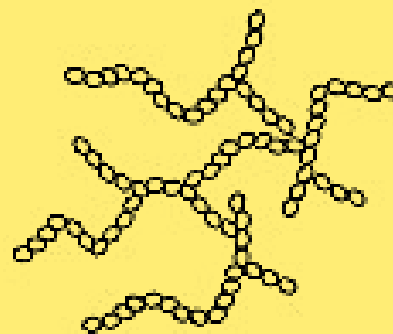
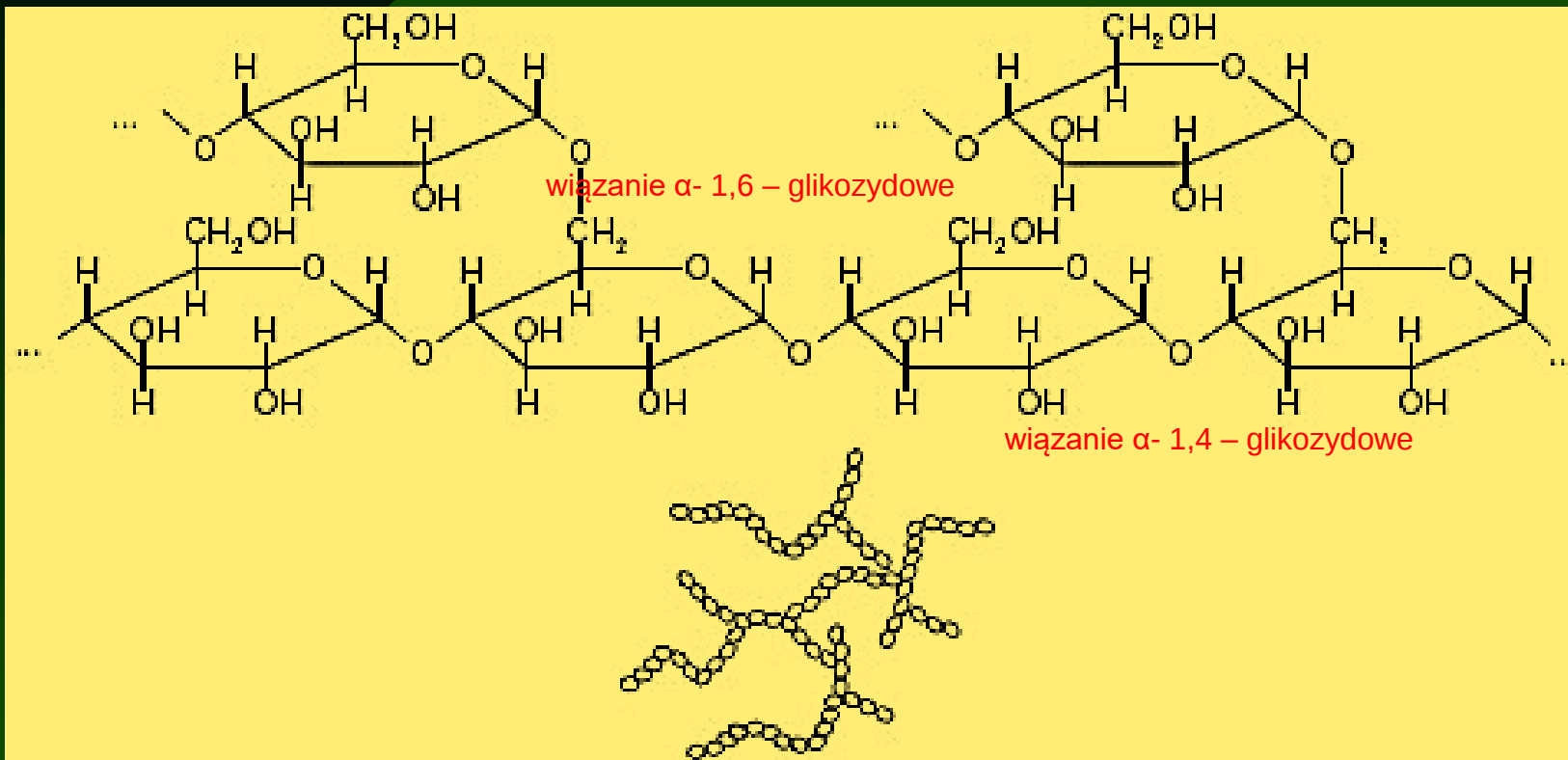
- zaliczana do błonnika pokarmowego, nie ma zdolności kleikowania, **nie poddaje się działaniu enzymów trawiennych**
- RS1 – fizycznie niedostępna; skrobia zawarta w nieuszkodzonych komórkach roślinnych, np. **całych ziarnach zbóż**. Jest nietrawiona w przewodzie pokarmowym
- RS2 – **ziarna skrobi surowej** (nieskleikowanej) występujące w niektórych roślinach, np. surowych ziemniakach, niedojrzałych bananach, nasionach roślin strączkowych
- RS3 – **skrobia zretrogradowana**, która powstaje w produktach spożywczych poddanych obróbce cieplnej, a następnie schłodzonych. RS3 znajduje się w schłodzonych ziemniakach, ryżu, makaronie, płatkach zbożowych i chlebie
- RS4 – **skrobia zmodyfikowana chemicznie lub fizycznie.**

Skrobia oporna (SO) występuje naturalnie w niektórych produktach spożywczych:

Np.

- **nasiona strączkowe, głównie fasola (8 g w połowie szklanki),**
 - **zielone banany (6 g na owoc),**
 - **otręby pszenne (do 5 g w połowie szklanki),**
 - **schłodzone ziemniaki (4 g w połowie szklanki),**
 - **schłodzony brązowy ryż (3 g w połowie szklanki),**
 - **kukurydza (2 g w połowie szklanki),**
 - **chleb razowy (1-2 g w 3 kromkach).**
- Zalecana dawka dziennego spożycia SO wynosi co najmniej 20 g dziennie, nie powinna jednak przekraczać 60 g.**

GLIKOGEN



- Zbudowany podobnie do amylopektyny, ale bardziej rozgałęziony
- Zapasowy materiał energetyczny (mięśnie; 400g, wątroba; 100g)

CUKRY REDUKUJĄCE

Cukry redukujące **zawierają zawsze wolne grupy aldehydowe lub ketonowe** i należą do nich wszystkie cukry proste oraz oligosacharydy, które posiadają wolną grupę aldehydową lub ketonową

WŁAŚCIWOŚCI OKSYDOREDUKCYJNE CUKRÓW

Należą do nich wszystkie monosacharydy (glukoza, fruktoza, galaktoza, ryboza, arabinoza, ksyloza) oraz niektóre disacharydy (z wyjątkiem sacharozy), czyli np. **laktoza, maltoza**

**Amyloza i sacharoza to
przykłady cukrów
nieredukujących.**

Redukcja grupy aldehydowej lub ketonowej
zamienia ją w grupę alkoholową

Glukoza
Fruktoza  Sorbitol

Mannoza  Mannitol

Galaktoza  Galaktytol

Redukcja grupy -OH  deoksycukry

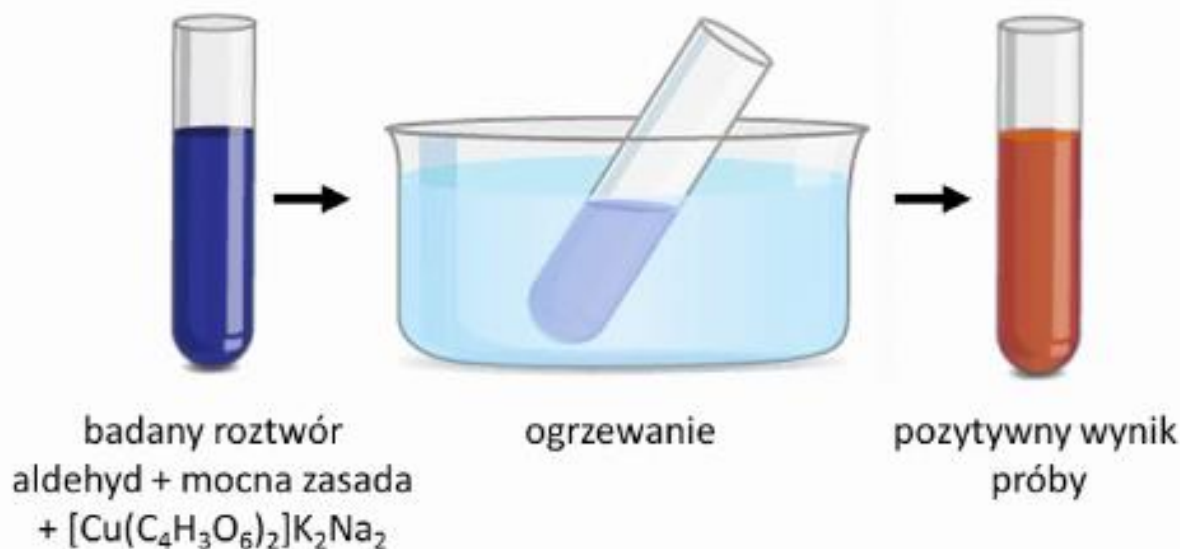
Cukry redukujące reagują pozytywnie z odczynnikami Fehlinga, Benedicta i Tollensa

Cukry takie podczas ogrzewania w środowisku zasadowym tworzą silnie redukujące produkty.

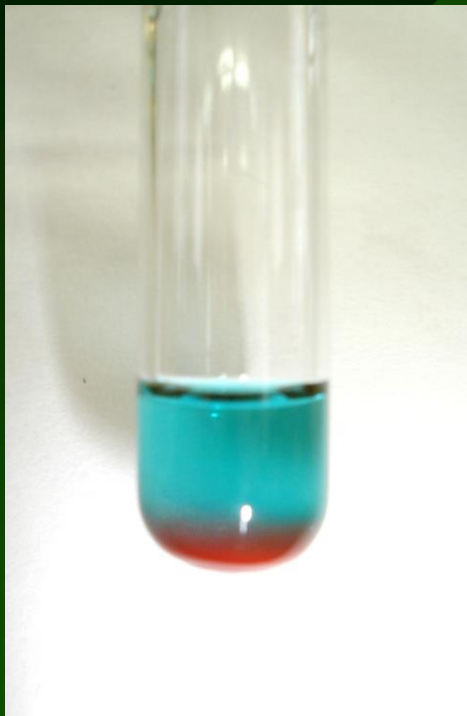
Właściwości redukujące cukrów

W większości prób redukcyjnych wykorzystuje się redukcję jonów miedzi (II) do jonów miedzi (I). W środowisku zasadowym cukry ulegają także izomeryzacji i degradacji.

Próba Fehlinga polega na ogrzewaniu mieszaniny badanej substancji oraz ciemnoniebieskiego klarownego roztworu związku kompleksowego dwuwinienu miedzi (II). Reakcja przebiega w zasadowym środowisku. Jeżeli badany roztwór zawiera **aldehyd**, ulega on **utlenieniu** do **kwasu karboksylowego**, natomiast uwolnione z kompleksu **jony miedzi (II)** redukują się do **miedzi (I)** obecnej w **ceglastoczerwonym tlenku miedzi (I)**.



Próba Benedicta



Odczynnik Benedicta -ciemnoniebieski cytrynianowy kompleks miedzi(II) dodaje się do badanego roztworu i doprowadza do wrzenia. Duże stężenie cukrów redukujących lub aldehydu powoduje powstanie czerwonego osadu tlenku miedzi (I)

Próba Tollensa

Podczas pozytywnej próby Tollensa powstaje srebro metaliczne, osadzające się w postaci lustrzanej powłoki na szklanej powierzchni naczynia reakcyjnego.



Odczynnik Tollensa otrzymuje się, dodając wody amoniakalnej do roztworu azotanu srebra.

do roztworu azotanu srebra dodaje się kilka kropli stężonego wodorotlenku sodu, a następnie roztwór amoniaku.

Po dodaniu np. glukozy i podgrzaniu na ściankach naczynia pojawia się srebro.

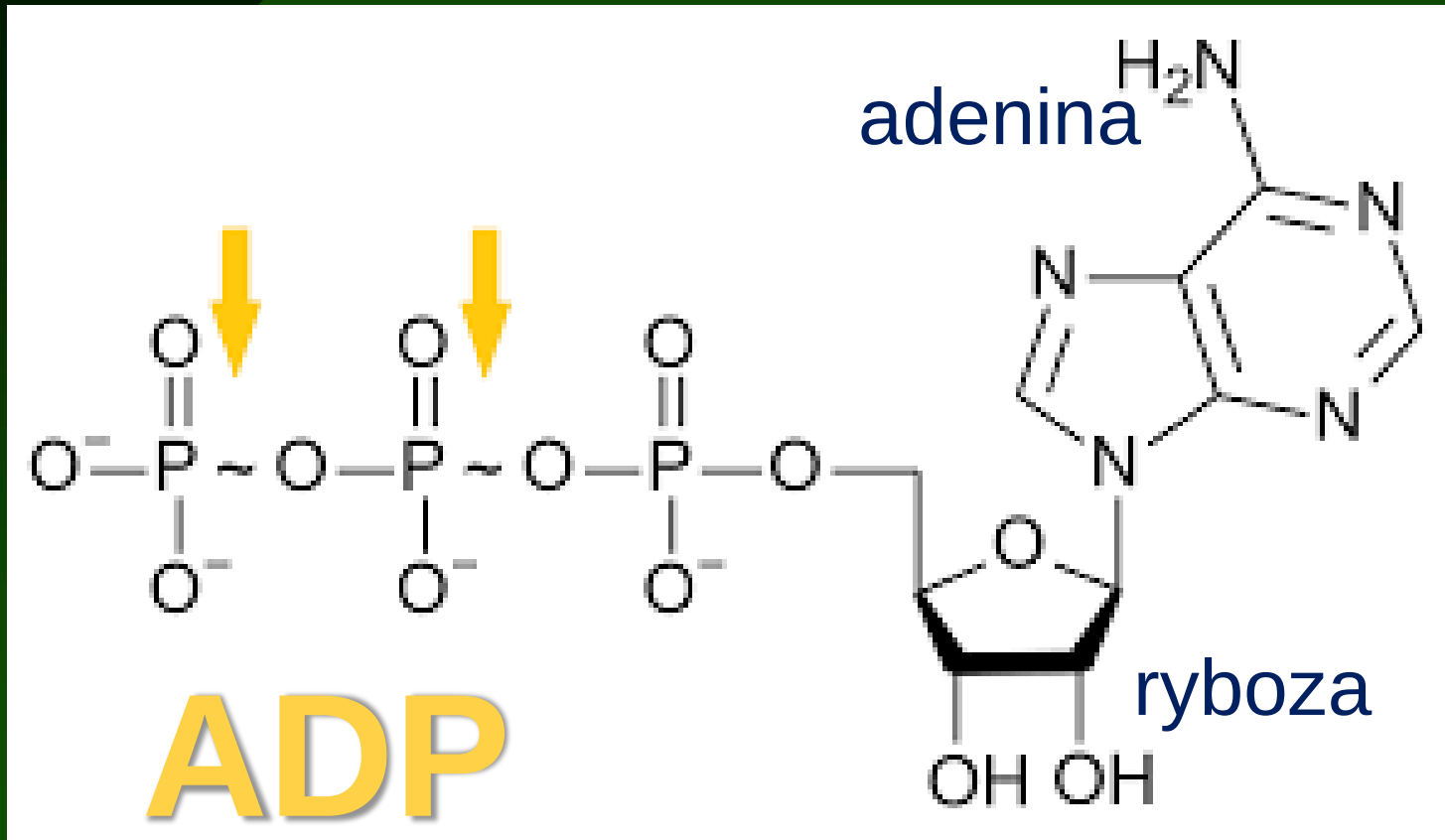
Całokształt reakcji chemicznych i związanych z nimi przemian energii zachodzących w żywych komórkach, stanowiący podstawę wszelkich zjawisk biologicznych.

Procesy te pozwalają komórce na wzrost i rozmnażanie, zarządzanie swoją strukturą wewnętrzną oraz odpowiadanie na bodźce zewnętrzne.

Tworzone są:

- **ATP** – konieczny do procesów wymagających energii
- **NADH** Dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy (NADH – forma zredukowana, NAD^+ – forma utleniona) – przenoszący dwa elektrony o dużym potencjale, dostarcza energii redukcyjnej podczas biosyntezy składników komórkowych z prekursorów o wyższym stopniu utlenienia
- **Prekursory makrocząsteczek**

ATP



AMP

REAKCJE KATABOLICZNE - ogół reakcji chemicznych prowadzących do rozpadu złożonych związków chemicznych na prostsze cząsteczki, przebiegające z uwolnieniem energii.

REAKCJE ANABOLICZNE - ogół reakcji chemicznych prowadzących do syntezy złożonych związków chemicznych z prostszych cząsteczek, przebiegające z wykorzystaniem energii.

Często procesy metaboliczne dzieli się na anaboliczne (wzrostowe) i kataboliczne (związane z rozkładem i zanikaniem materii organicznej).

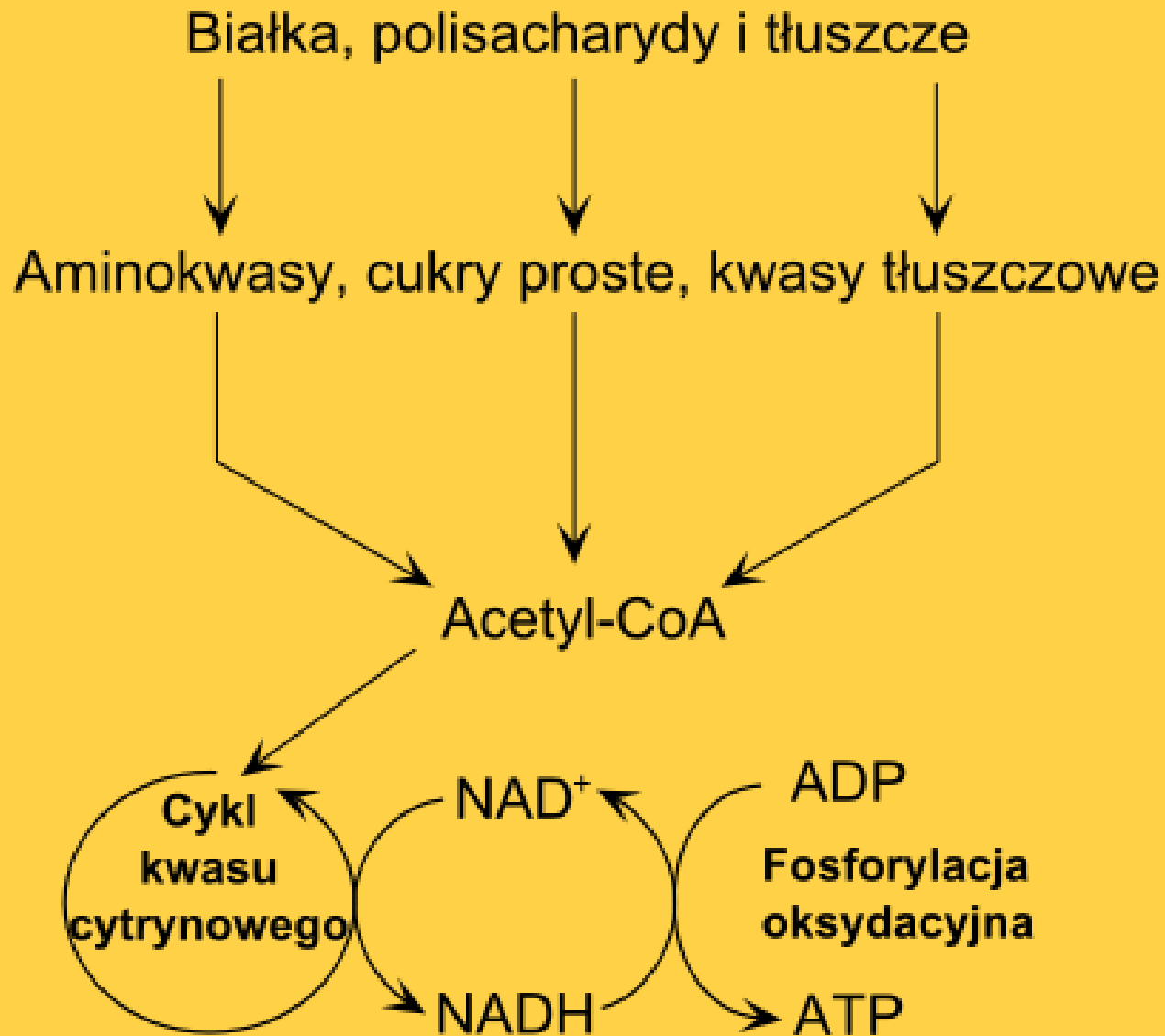
MECHANIZMY REGULUJĄCE PROCESY METABOLICZNE

- regulacja ilości niektórych enzymów
- kontrola aktywności katalitycznej niektórych enzymów (np. inhibicja na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego)
- kompartmentacja (np. utlenianie kwasów tłuszczowych przebiega w mitochondriach, a ich synteza w cytozolu)
- kontrola ładunkiem energetycznym (miara ilości wysokoenergetycznych fosforanów w komórce)

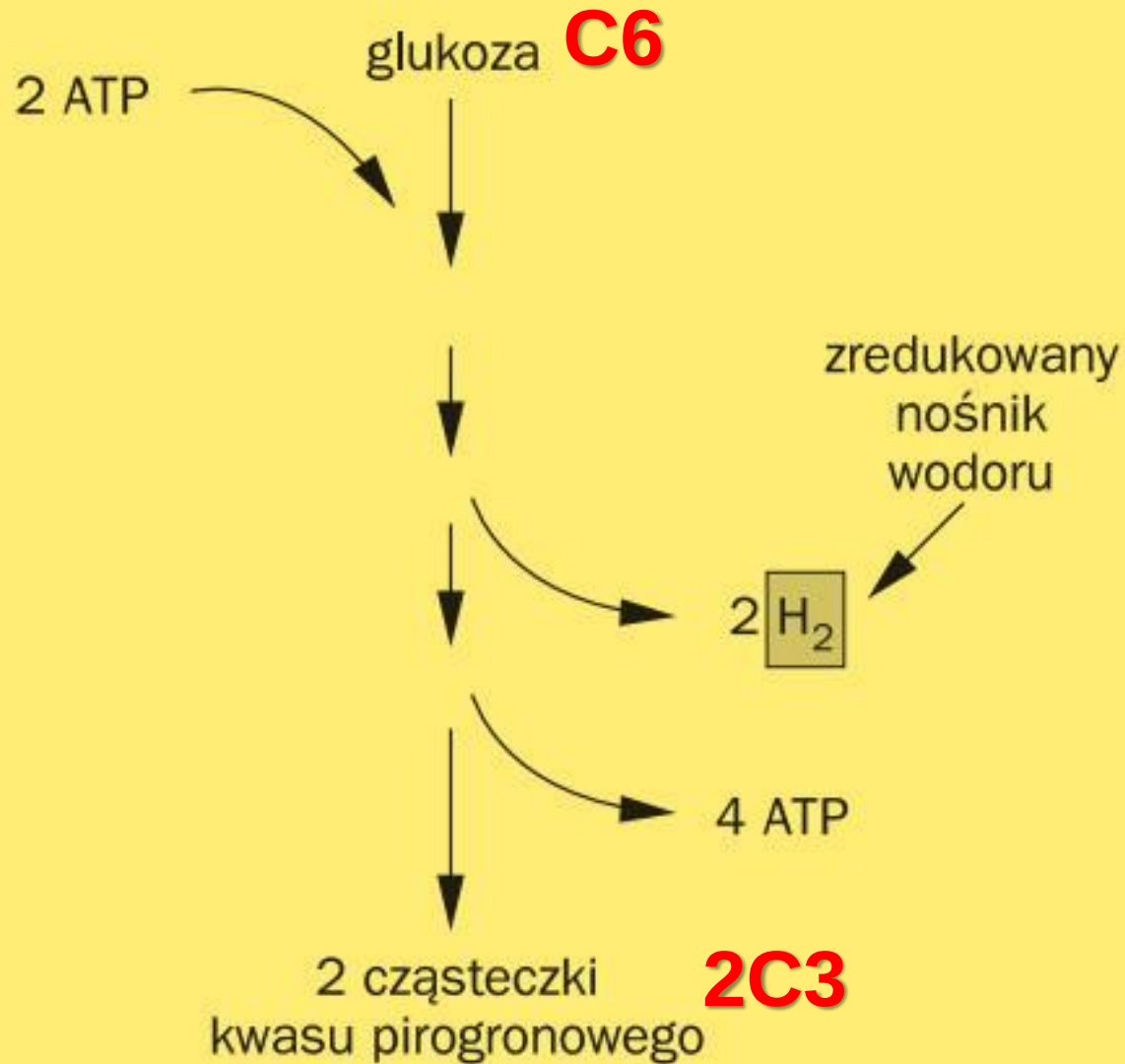
$$AEC = \frac{[ATP] + \frac{1}{2}[ADP]}{[ATP] + [ADP] + [AMP]}$$

AEC większości komórek waha się od 0,800 do 0,950

Procesy kataboliczne

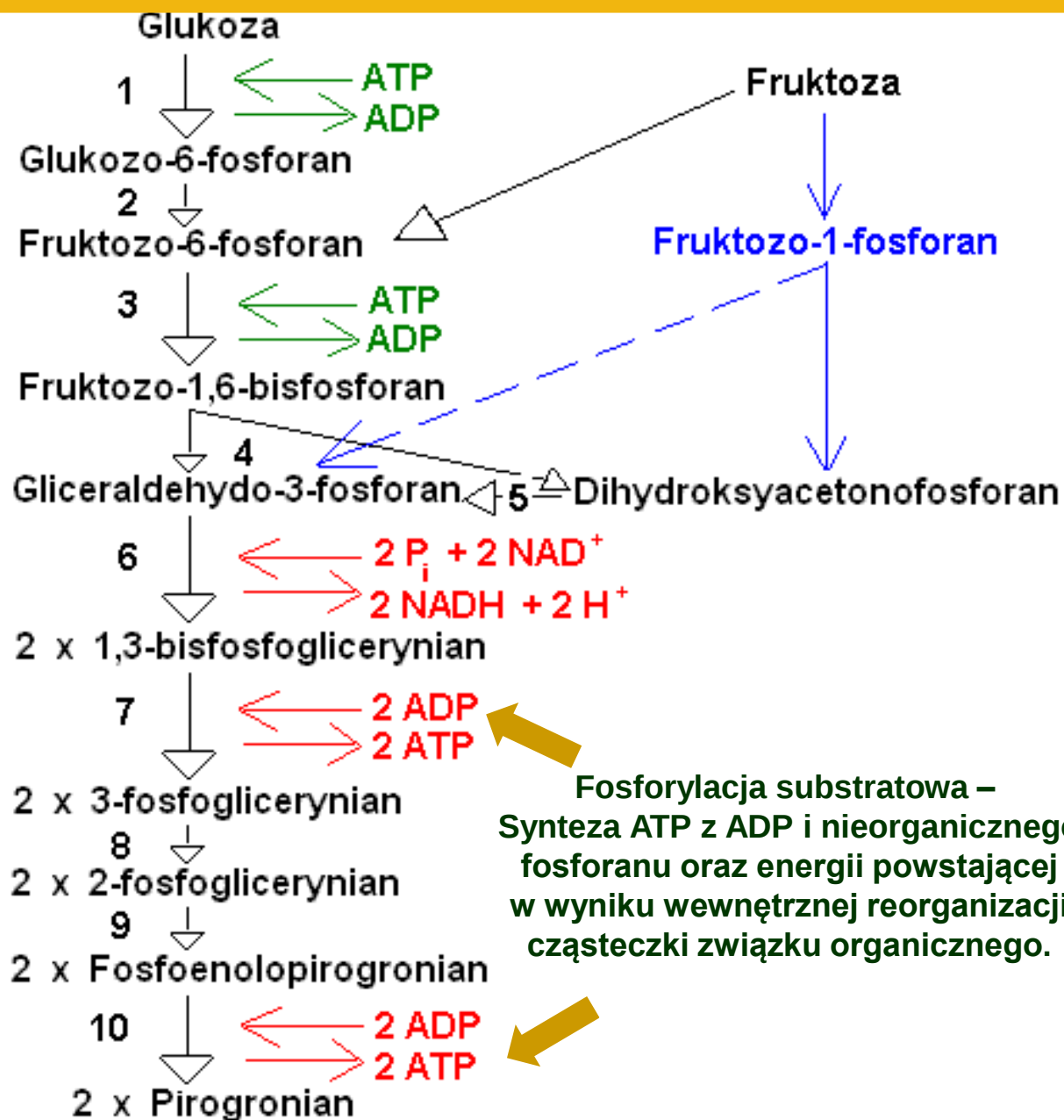


GLIKOLIZA



Schemat przebiegu glikolizy

GLIKOLIZA



ZYSK ENERGETYCZNY

6 ATP

LOSY PIROGRONIANU

PIROGRONIAN



Oksydacyjna
dekarboksylacja



Fermentacja



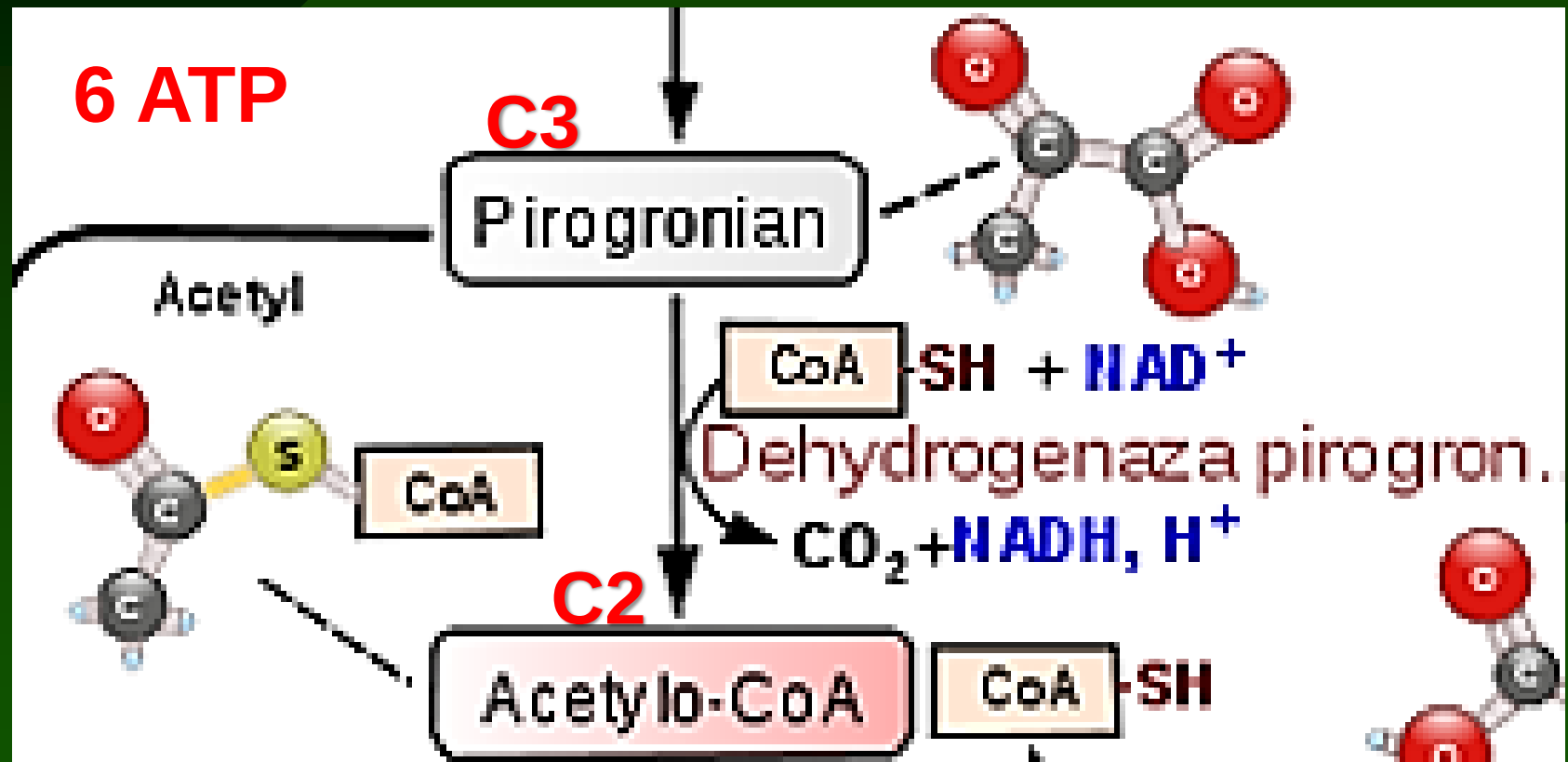
Transaminacja



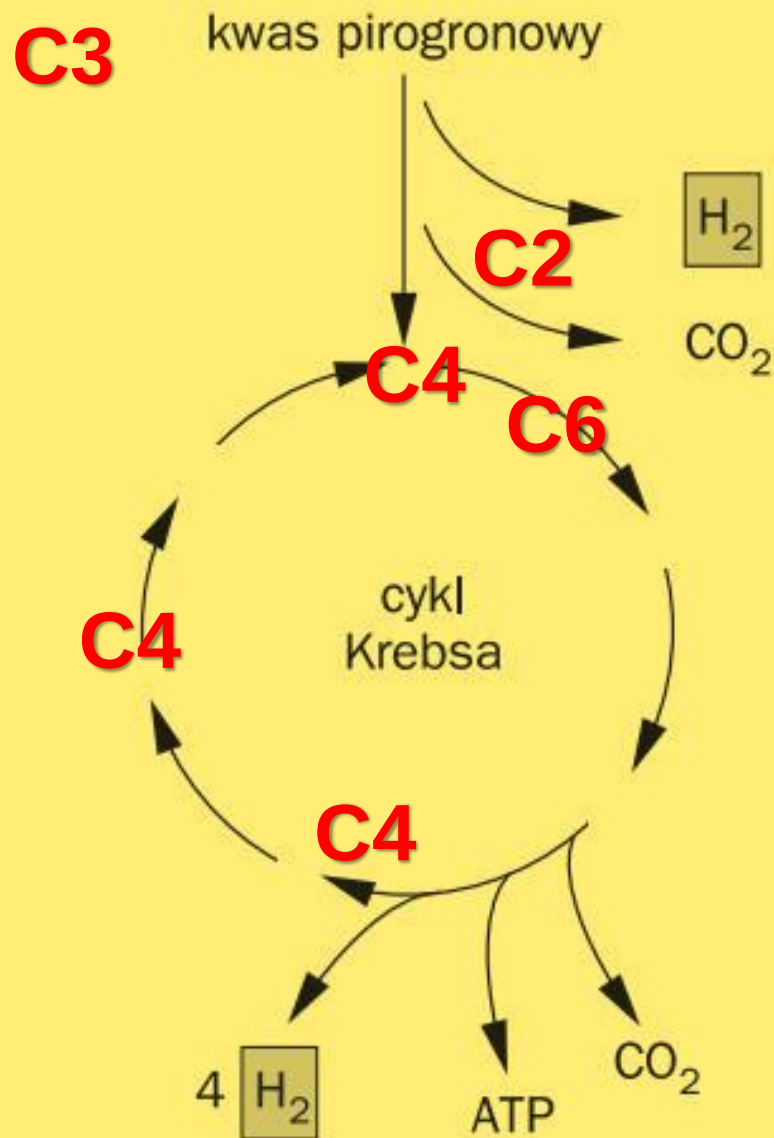
Glukoneogeneza

1. α -aminokwas + pirogronian $\rightarrow$ α -ketokwas + alanina (katalizator: (AlAT)
aminotransferaza alaninowa)

Oksydacyjna dekarboksylacja

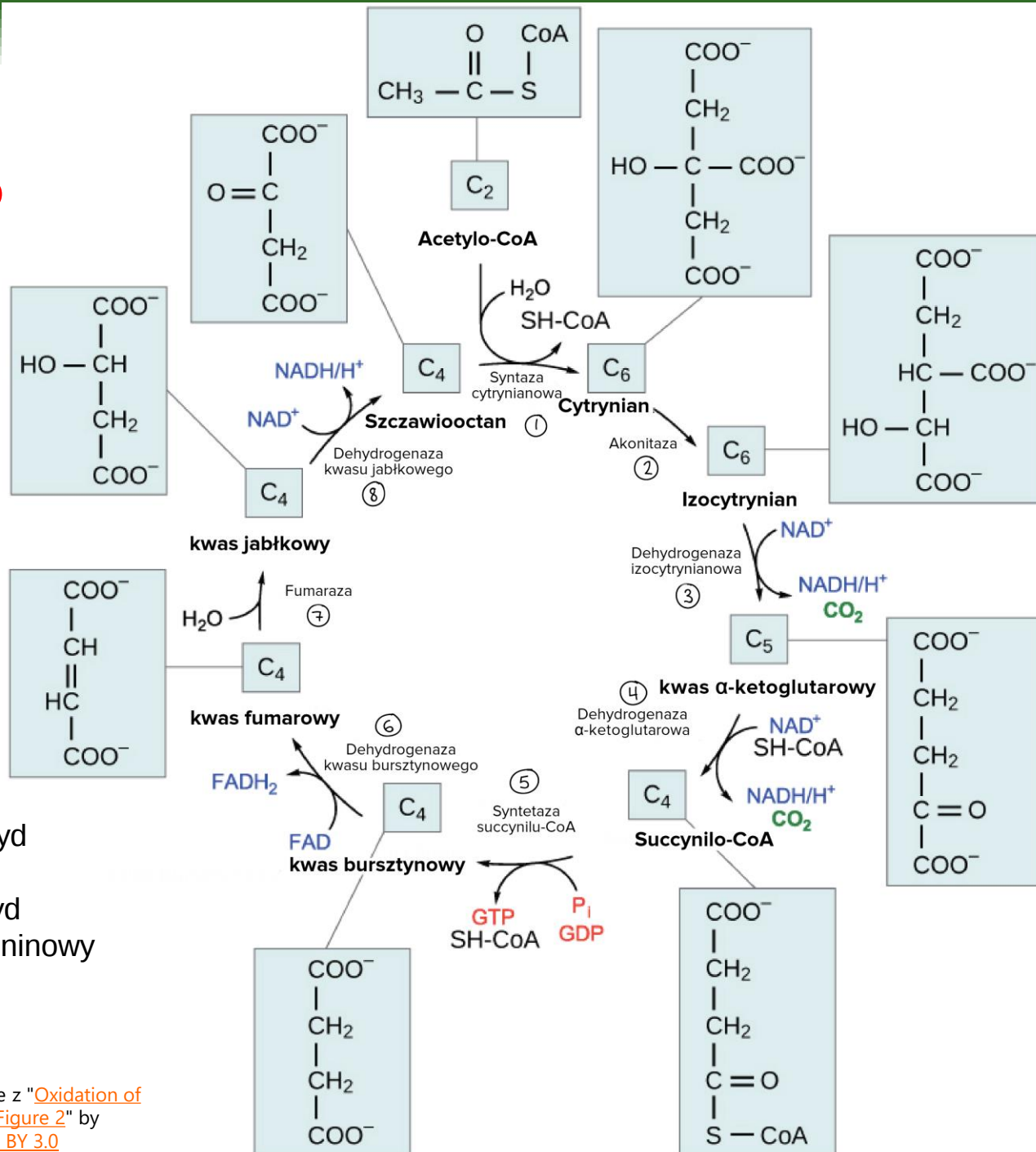


Cykl Krebsa



Schemat przemian w cyklu Krebsa

12 ATP /24 ATP



FADH₂ - dinukleotyd
flawinoadeninowy
NADH - dinukleotyd
nikotynoamidoadeninowy

Źródło obrazu: zmodyfikowane z "Oxidation of pyruvate and citric acid cycle: Figure 2" by OpenStax College, Biology, CC BY 3.0

Łańcuch oddechowy

Fosforylacja oksydacyjna – synteza ATP kosztem energii wyzwolanej w czasie transportu atomów wodoru i elektronów na tlen.

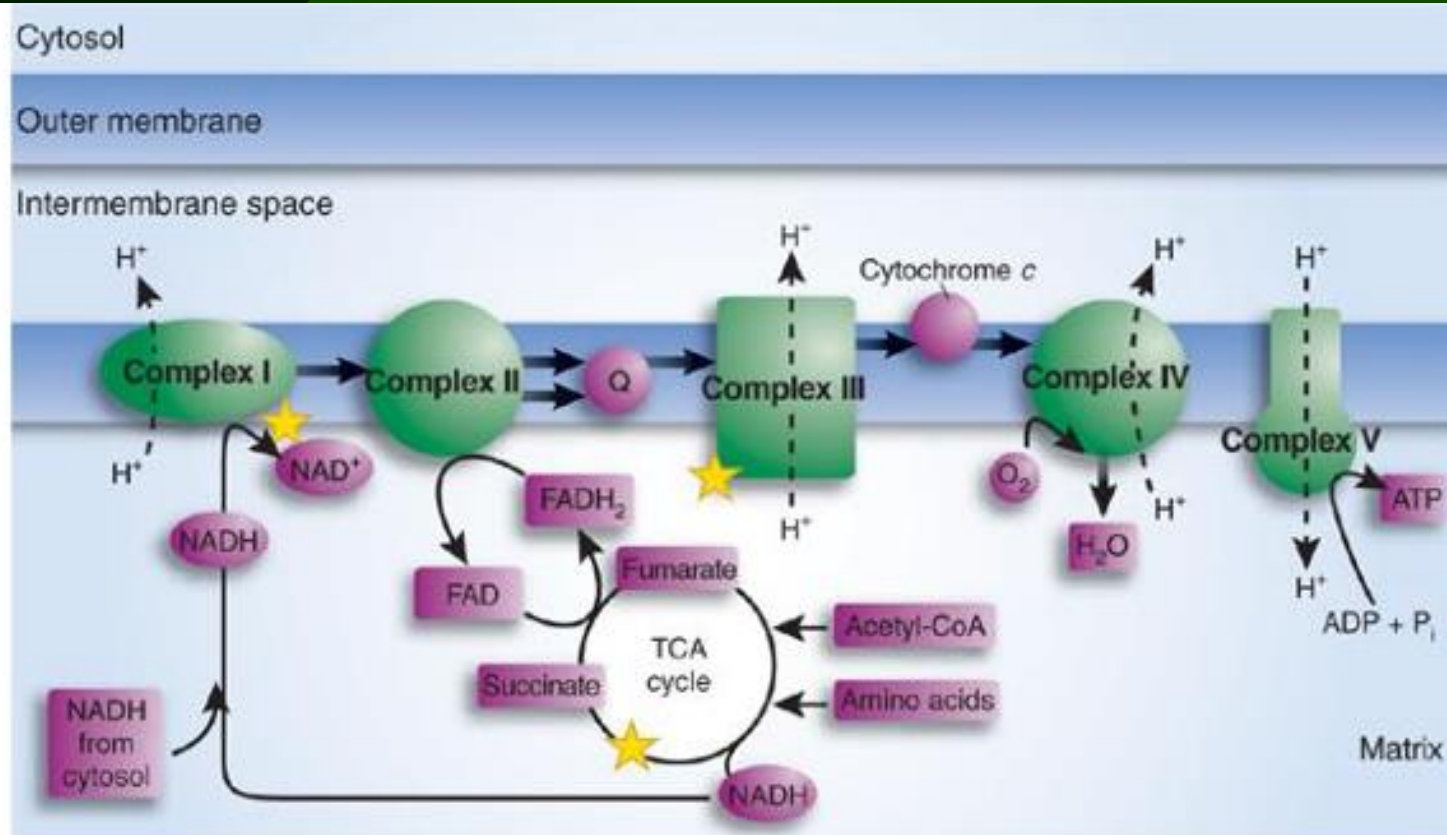
NAD

FAD

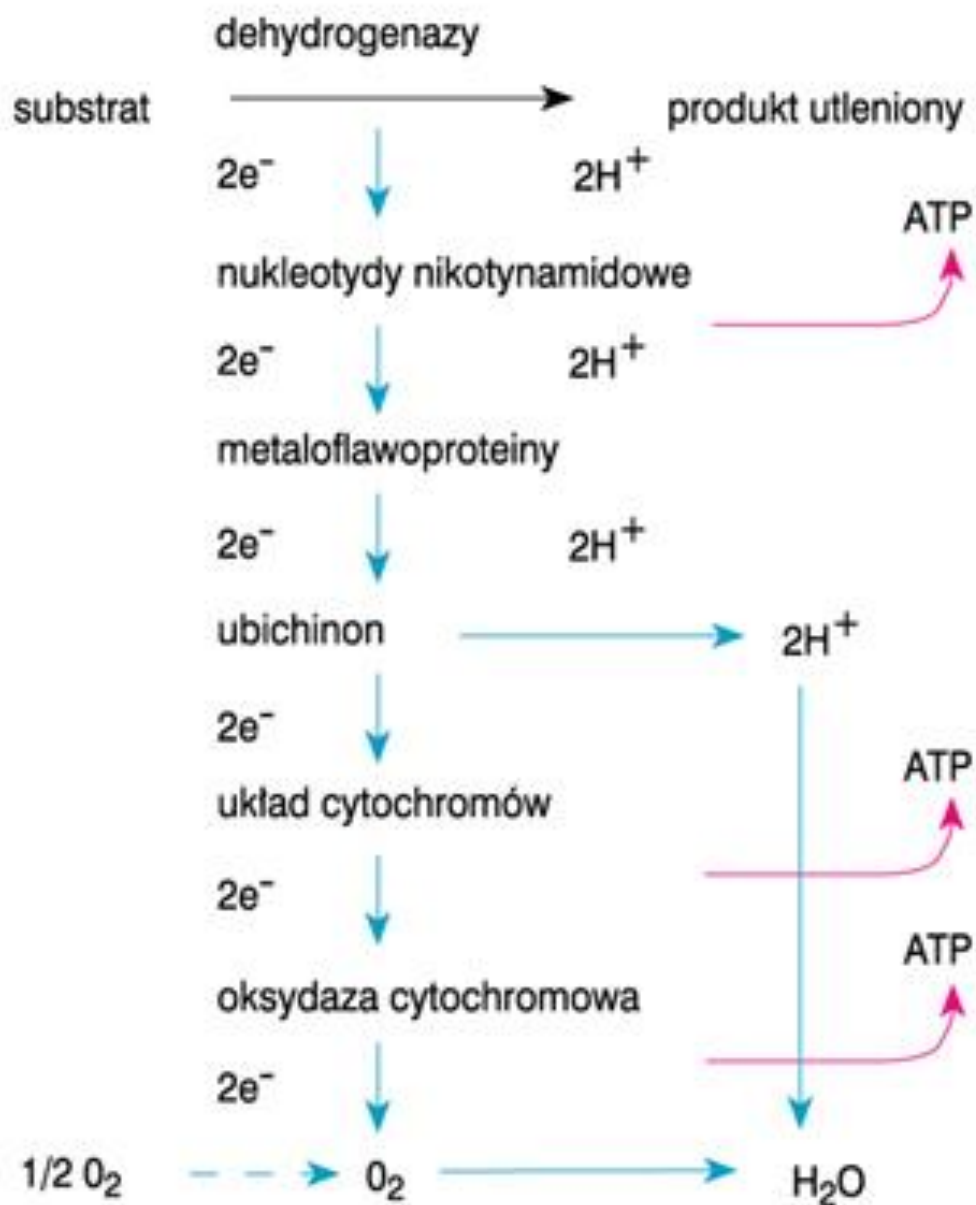
chinon

cytochromy

oksydaza cytochromowa



Mitochondrialny łańcuch transportu elektronów Kompleks I – dehydrogenaza NADH
Kompleks II - dehydrogenaza bursztynianowa Kompleks III – kompleks cytochromów bc_1
Kompleks IV – **oksydaza cytochromowa**

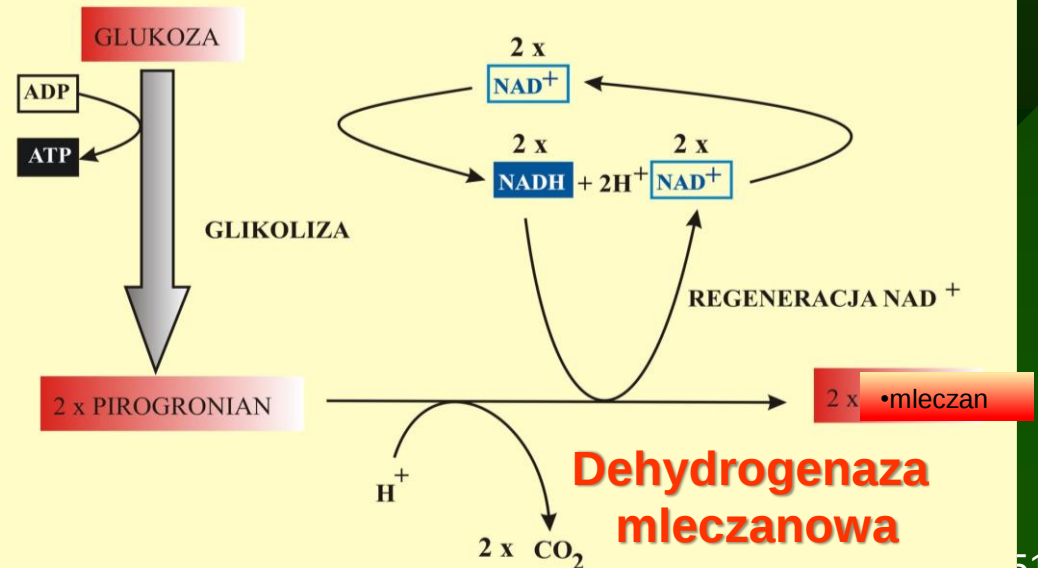
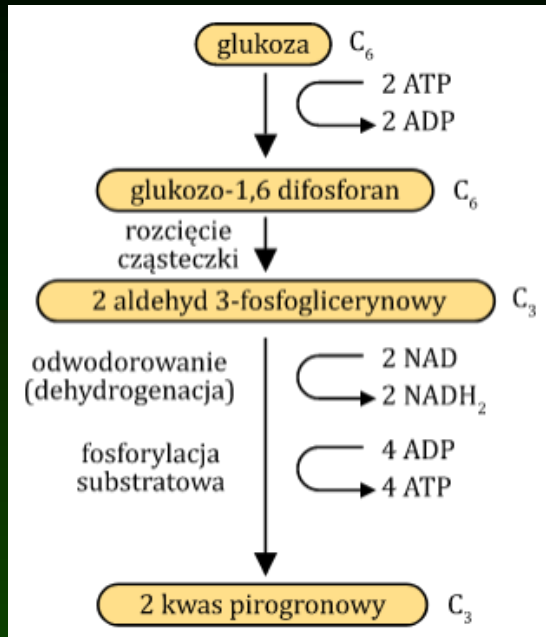


Oddychanie beztlenowe

FERMENTACJA MLEKOWA

ZYSK ENERGETYCZNY

2 ATP



Porównanie oddychania tlenowego i beztlenowego

ZYSK ENERGETYCZNY ?

MIEJSCE ?