

## LIPIDY (TŁUSZCZOWCE)

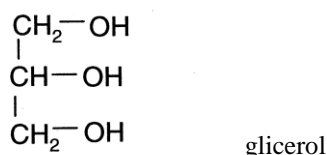
Ze względu na budowę tłuszczowce dzielimy na:

- tłuszcze proste (tłuszcze właściwe i woski)
- lipidy (należą do nich tłuszcze złożone i pochodne lipidowe)

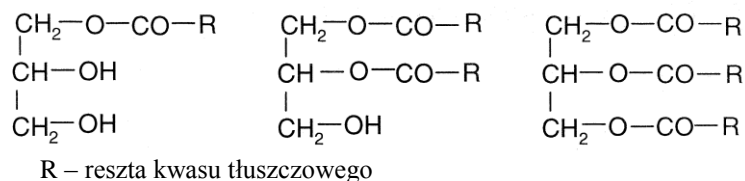
### I. TŁUSZCZE WŁAŚCIWE

#### 1. Chemiczna budowa tłuszczów właściwych

Tłuszcze właściwe są to estry alkoholu trihydroksylowego - glicerolu i różnych kwasów tłuszczowych.

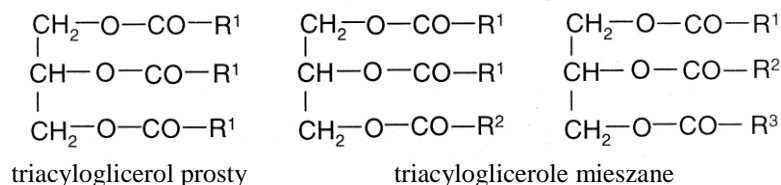


W cząsteczce glicerolu mogą być zestryfikowane kwasem tłuszczowym jedna, dwie lub trzy grupy hydroksylowe i z tego powodu rozróżnia się monoacyloglicerole, diacyloglicerole i triacyloglicerole:



Wszystkie tłuszcze naturalne są triacyloglicerolami. Syntetyczne mono- i diacyloglicerole są niekiedy stosowane jako emulgatory.

Każda cząsteczka triacyloglicerolu może zawierać trzy identyczne lub trzy różne reszty kwasu tłuszczowego i stosownie do tego rozróżnia się triacyloglicerole proste i mieszane:



Tłuszcze naturalne należą zwykle do triglicerydów mieszanych kwasów tłuszczowych.

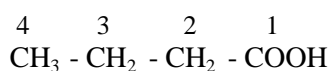
W zależności od rozmieszczenia trzech reszt kwasowych w cząsteczce triglicerydu mogą istnieć trzy jego izomery. Wielka różnorodność kwasów tłuszczowych oraz wspomniana izomeria położenia reszt kwasowych warunkują istniejącą w przyrodzie wielką różnorodność tłuszczów.

Tłuszcze naturalne w stanie czystym nie mają smaku ani zapachu. Ewentualny smak lub zapach tłuszczu naturalnego pochodzi od domieszek lub produktów częściowego rozkładu. Ciężar właściwy

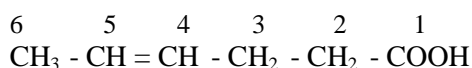
tłuszczów wynosi od 0,910 do 0,996 g/cm<sup>3</sup>, są one zatem lżejsze od wody. Łatwo rozpuszczają się w eterze, benzenie, disiarczku węgla, ciekłych chlorowcoparafinach, np. w chloroformie, tetrachloru węgla, trichloroetylenie.

## 2. Kwasy tłuszczowe

Kwasy tłuszczowe są monokarboksyłowymi, alifatycznymi kwasami o prostym łańcuchu i parzystej liczbie atomów węgla w cząsteczce. Najczęściej zawierają od 4 do 26 atomów węgla. W zależności od długości łańcucha można wyróżnić: kwasy krótkołańcuchowe (do 6 atomów węgla), średniołańcuchowe i długołańcuchowe, zawierające co najmniej 12 atomów węgla. Kwasy tłuszczowe dzieli się także ze względu na występowanie wiązań podwójnych w cząsteczce na nasycone i nienasycone. Nazwy kwasów tłuszczowych tworzy się od węglowodoru o takiej samej liczbie atomów, dodając końcówkę -owy, na przykład kwas butanowy:

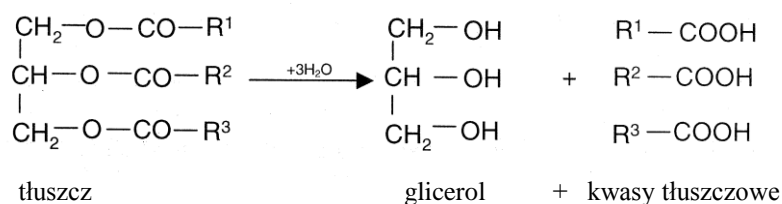


W przypadku kwasów nienasyconych w nazwie dodaje się numer atomu węgla, przy którym występuje wiązanie podwójne, licząc od grupy karboksylowej, na przykład kwas 4-heksenowy:



Oprócz nazw systematycznych powszechni stosowane są nazwy zwyczajowe kwasów tłuszczowych, na przykład kwas butanowy nosi również nazwę kwasu masłowego, ze względu na jego występowanie w tłuszczu mleka. Często też można spotkać nomenklaturę skrótową w postaci liczb rozdzielonych dwukropkiem, na przykład 18:3 lub C18:3. Pierwsza liczba oznacza liczbę atomów węgla, druga liczbę wiązań podwójnych.

Skład kwasów tłuszczowych w tłuszczach właściwych można łatwo ustalić przez hydrolizę:



### 2.1. Kwasy tłuszczowe nasycone

Kwasy tłuszczowe nasycone mają skład chemiczny wyrażony ogólnym wzorem:



Kwasy tłuszczowe nasycone zawierające mniej niż 10 atomów węgla są cieczeniami, a kwas o 10 atomach węgla, czyli kwas kaprynowy, jest półstały. Kwasy zawierające więcej niż 10 atomów węgla są ciałami stałymi. Temperatura topnienia kwasów o parzystej liczbie atomów węgla jest tym wyższa, im dłuższy jest łańcuch węglowy kwasu.

Najważniejsze nasycone kwasy tłuszczowe to:

kwas n-masłowy $C_3H_7COOH$ ,	C4:0
kwas n-kapronowy $C_5H_{11}COOH$ ,	C6:0
kwas n-kaprylowy $C_7H_{15}COOH$ ,	C8:0
kwas n-kaprynowy $C_9H_{19}COOH$ ,	C10:0
kwas n-laurylowy $C_{11}H_{23}COOH$ ,	C12:0
kwas n-mirystynowy $C_{13}H_{27}COOH$ ,	C14:0
kwas n-palmitynowy $C_{15}H_{31}COOH$ ,	C16:0
kwas n-stearynowy $C_{17}H_{35}COOH$ ,	C18:0
kwas arachidowy $C_{19}H_{39}COOH$ ,	C20:0

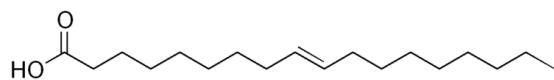
Niższe kwasy tłuszczowe aż do kwasu kaprynowego wykazują nieprzyjemną woń i to one są źródłem nieprzyjemnego zapachu zjełczałych tłuszczów. Kwasy tłuszczowe są lotne z parą wodną tym łatwiej, im mniejsza jest ich cząsteczka.

Nasycone kwasy tłuszczowe są w warunkach laboratoryjnych mało reaktywne i odporne na działanie czynników utleniających, ale w warunkach przemiany materii w organizmach żywych z łatwością ulegają degradacji i utlenieniu.

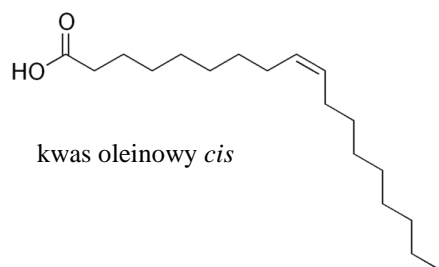
## 2.2. Kwasy tłuszczowe nienasycone (jedno- i wielonienasycone)

Nienasycone kwasy tłuszczowe zawierają w cząsteczce jedno lub więcej wiązań podwójnych typu etylenowego  $-CH=CH-$ .

Temperatury topnienia kwasów nienasyconych są niższe niż temperatury topnienia kwasów nasyconych o tej samej liczbie atomów węgla, i to tym niższe, im więcej w ich cząsteczkach znajduje się wiązań podwójnych. Tłuszcze zawierające dużą ilość kwasów tłuszczowych nienasyconych mają płynną konsystencję i nazywa się je olejami. Nienasycone kwasy tłuszczowe wchodzące w skład tłuszczów mają od 1 do 6 wiązań podwójnych. Obecność wiązania podwójnego w cząsteczce stwarza możliwość izomerii *cis* i *trans* oraz izomerii położenia wiązania. Naturalne lipidy zawierają kwasy tłuszczowe w konfiguracji *cis*, tzn. reszty kwasów tłuszczowych są rozmieszczone po tej samej stronie wiązania podwójnego. Powoduje to zgięcie łańcucha w miejscu tego wiązania. w izomerach *trans* reszty te znajdują się po przeciwnych stronach wiązania nienasyconego.



kwas oleinowy *trans*



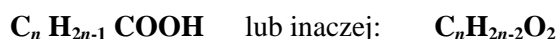
kwas oleinowy *cis*

Izomery *trans* powstają pod wpływem działania różnych czynników fizycznych lub chemicznych, m.in. podczas procesów modyfikacji tłuszczów w przemyśle spożywczym. Przykładem jest reakcja katalitycznego uwodornienia olejów roślinnych, podczas której zachodzi również konwersja izomerów *cis* w *trans*. W warunkach naturalnych izomery *trans* powstają w żołądku przeżuwaczy w reakcji enzymatycznej.

Właściwości chemiczne kwasów nienasyconych wynikają z obecności wiązań podwójnych. Przyłączają one np. chlorowce lub wodór (reakcje addycji), dając w wyniku tego odpowiednie kwasy nasycone lub ich pochodne chlorowcowe. Reakcje przyłączenia chlorowca lub innych podstawników do podwójnych wiązań kwasów nienasyconych wykorzystuje się w praktyce analitycznej do charakteryzowania tłuszczów, np. do oznaczania liczby jodowej, liczby rodanowej.

### 2.2.1. Jednonienasycone kwasy tłuszczowe

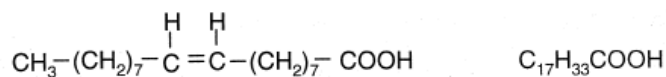
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe zawierają w cząsteczce jedno wiązanie podwójne, niekiedy są one nazywane kwasami monoenowymi. Ich skład odpowiada wzorowi ogólnemu:



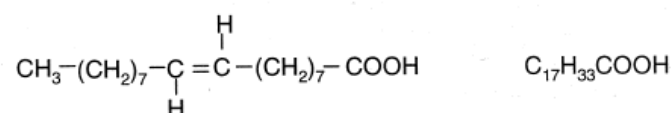
Najważniejszym i najczęściej w naturalnych tłuszczach występującym kwasem monoenowym jest kwas oleinowy. W tłuszczach występuje także jego izomer geometryczny - kwas elaidynowy - będący odmianą *trans* kwasu oleinowego (*cis*) oraz trzy izomery strukturalne: kwas petroselinowy, kwas izooleinowy i kwas wakcenowy, różniące się położeniem wiązania podwójnego w cząsteczce.

Przykłady jednonienasyconych kwasów tłuszczowych:

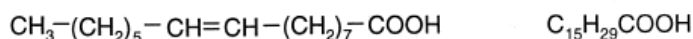
kwas *cis*-heptadeceno-8-karboksylowy-1, kwas oleinowy:



kwas *trans* heptadeceno-8-karboksylowy-1, kwas elaidynowy:

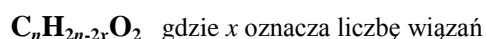


kwas pentadeceno-8-karboksylowy-1, kwas palmitoleinowy:



### 2.2.2. Kwasy tłuszczowe wielonienasycone

Kwasy tłuszczowe wielonienasycone (polienowe) mogą zawierać w cząsteczce od 2 do 6 wiązań podwójnych. Ogólny wzór tych kwasów można przedstawić następująco:



Wiązania podwójne rozmieszczone są w charakterystyczny sposób tworząc układ izolowany, czyli nie sprzężony (-CH=CH-CH<sub>2</sub>-CH=CH-), tzn. wiązania podwójne w łańcuchu węglowym są

oddzielone grupą metylową. Ma to duże znaczenie w procesie utleniania kwasów tłuszczowych, ponieważ grupa metylowa występująca pomiędzy wiązaniami podwójnymi wykazuje szczególną reaktywność w stosunku do tlenu.

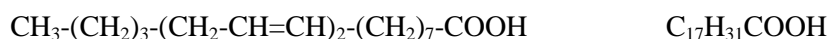
Kwasy tłuszczowe zawierające wiązania podwójne w układzie sprzężonym znacznie rzadziej występują w naturalnych tłuszczach. Izomery *cis/trans* sprzężonych dienów kwasu linolowego powstające w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy i występujące w niewielkiej ilości w tłuszczu mleka wykazują korzystne działanie biologiczne.

kwas heptadekadieno-8,10-karboksylowy-1, sprzężony kwas linolowy:



Kwasy wielonienasycone o wiązaniach izolowanych występują w większości tłuszczów naturalnych. Najbardziej rozpowszechnione są kwasy dienowe (posiadające dwa wiązania podwójne), szczególnie kwas linolowy (C18:2, 9c,12c), którego bogatym źródłem są oleje roślinne.

kwas heptadekadieno-8,11-karboksylowy-1, kwas linolowy:



Spośród kwasów trienowych (trzy wiązania podwójne) największe znaczenie ma kwas  $\alpha$ -linolenowy (C18:3, 9c,12c,15c). Jego zawartość jest duża tylko w nielicznych tłuszczach, między innymi w oleju lnianym (do 60%).

kwas heptadekatrieno-8,11,14-karboksylowy-1, kwas linolenowy:



Do kwasów tetraenowych (4 wiązania podwójne) o dużej aktywności biologicznej należy kwas arachidonowy (C20:4, *all-cis*, 5,8,11,14), który występuje w tłuszczach zwierzęcych i wchodzi w skład fosfolipidów błon. Inne kwasy polienowe, takie jak eikozapentaenowy (EPA) i dokozaheksaenowy (DHA) występują w większej ilości w niektórych tłuszczach rybich.

kwas arachidonowy:



kwas eikozapentaenowy (5 wiązań podwójnych):



kwas dokozaheksaenowy (6 wiązań podwójnych):



Wymienione kwasy polienowe stanowią szczególną grupę kwasów tłuszczowych, są to niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT). W grupie tej wyróżnia się rodziny n-3 i n-6, w zależności od miejsca występowania pierwszego wiązania podwójnego w łańcuchu. Do rodziny n-3 zalicza się

kwasy  $\alpha$ -linolenowy, EPA i DHA. Do rodziny n-6 należą kwasy linolowy,  $\gamma$ -linolenowy i arachidonowy. Kwasy linolowy i  $\alpha$ -linolenowy muszą być dostarczane w diecie, gdyż organizm ludzki nie potrafi ich syntetyzować.

### 3. Chemiczne właściwości tłuszczów

Niektóre z chemicznych właściwości tłuszczów są uzależnione od ich składu. Dotyczy to przede wszystkim reakcji związanych z obecnością wiązań podwójnych, jak np. uwodornianie i utlenianie tłuszczów. Pozostałe reakcje dotyczą głównie wiązania estrowego cząsteczek tłuszczu.

#### 3.1. Reakcja hydrolizy tłuszczów

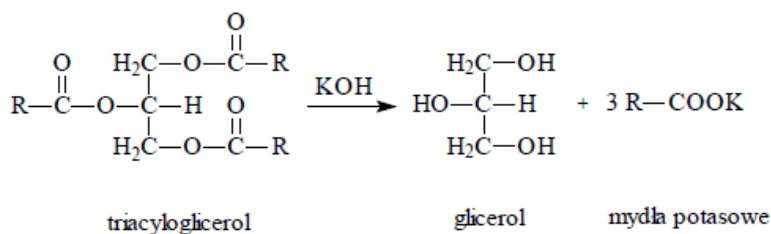
Hydrolityczny rozkład tłuszczów zachodzi naturalnie pod wpływem zawartej w tłuszczu wody i z udziałem enzymów zwanych lipazami triacyloglicerolowymi. Zwiększenie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych pogarsza jakość sensoryczną lipidów.

Reakcja hydrolizy jest jedną z ważnych metod chemicznej przeróbki tłuszczów. Często jest nazywana reakcją zmydlenia tłuszczów. W wyniku reakcji hydrolizy tłuszczów otrzymuje się glicerol i kwasy tłuszczowe.

Reakcja zmydlenia może być prowadzona:

- w środowisku alkalicznym,
- w środowisku kwaśnym,
- wodą w obecności katalizatora,
- wodą bez katalizatora,
- metodą enzymatyczną.

Zmydlenie tłuszczów w środowisku alkalicznym polega na ogrzewaniu tłuszczów w roztworze wodorotlenku sodowego lub potasowego. Produktami tej reakcji są sole sodowe lub potasowe kwasów tłuszczowych, zwane mydłami oraz glicerol. Tworzące się mydło emulguje tłuszcz w wodzie i powiększając w ten sposób powierzchnię ich zetknięcia się, przyspiesza przebieg procesu.



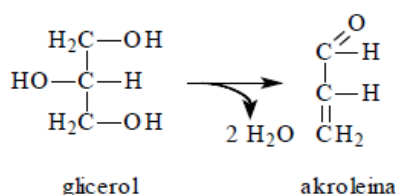
Zmydlenie tłuszczów w środowisku kwaśnym polega na katalitycznym działaniu jonów wodorowych w procesie hydrolizy. Reakcje prowadzi się, ogrzewając tłuszcz z rozcieńczonym kwasem siarkowym do temperatury powyżej 100°C w naczyniu zamkniętym. Produktami reakcji są wolne kwasy tłuszczowe i glicerol.

Zmydlenie tłuszczów wodą w obecności katalizatorów polega na ogrzewaniu tłuszczu z wodą, z dodatkiem tlenku cynku (ZnO) lub tlenku magnezu (MgO) jako katalizatora, do temperatury powyżej 100°C w autoklawie. W metodzie tej uzyskuje się czyste kwasy tłuszczowe tworzące górną warstwę nad wodnym roztworem glicerolu.

Zmydlenie tłuszczów wodą bez katalizatora opiera się na zasadzie, że pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze rozpuszczalność kwasów w wodzie jest znacznie większa.

Zmydlenie tłuszczów metodą enzymatyczną przebiega pod działaniem enzymów z grupy lipaz w temperaturze 30-40°C, dając w wyniku wolne kwasy tłuszczowe i czysty glicerol. Enzymy do tego celu uzyskuje się z nasion rącznika, w których znajdują się one w większych ilościach.

Glicerol powstający w reakcji hydrolizy acylogliceroli można wykryć za pomocą reakcji dehydratacji glicerolu, która prowadzi do powstania nienasyconego aldehydu - akroleiny o nieprzyjemnym zapachu. Reakcja zachodzi w obecności czynników wiążących wodę (np. KHSO<sub>4</sub>):



Akroleina jako aldehyd wykazuje właściwości redukujące, dlatego można ją wykryć w reakcji z odczynnikiem Tollensa (amoniakalny roztwór azotanu srebra). Pary akroleiny redukują jony Ag<sup>+</sup> → Ag<sup>0</sup>, obecne w bibule nasączonej odczynnikiem Tollensa, dlatego bibuła przybiera kolor brunatny, aż do czarnego, zależnie od stężenia akroleiny.

### 3.2. Utlenianie nienasyconych kwasów tłuszczowych

Utlenianie kwasów tłuszczowych zawierających wiązania podwójne to złożone przemiany prowadzące do rozerwania tego wiązania. Utlenianie może być katalizowane przez enzym lipooksygenazę, albo może być inicjowane przez wysoce reaktywne czynniki chemiczne i fizyczne prowadzące do wzbudzenia kwasu tłuszczowego lub tlenu. Tłuszcze naturalne ulegają utlenianiu fotosensybilizowanemu lub w procesie autooksydacji. Autooksydacja jest rodnikową reakcją łańcuchową przebiegającą kilkietapowo. W pierwszym etapie – indukcji (inicjacji) w wyniku pochłaniania tlenu powstają rodniki alkilowe (R•). Do zapoczątkowania reakcji konieczna jest obecność inicjatora zdolnego do oderwania protonu z cząsteczki kwasu tłuszczowego i utworzenia wolnego rodnika. W żywności powstają one zwykle pod wpływem energii cieplnej, promieniowania i jonów metali. W kolejnym etapie, zwanym propagacją, rodniki alkilowe reagują dalej z tlenem, tworząc rodniki nadtlenkowe (ROO•). Powstałe rodniki nadtlenkowe reagują z cząsteczką nienasyconego kwasu tłuszczowego tworząc wodoronadtlenek lipidowy (ROOH) i nowy rodnik lipidowy. Następnie dochodzi do powstania epoksydów i pochodnych hydroksylowych. Wodoronadtlenki ulegają rozpadowi dając wolne rodniki zdolne do inicjacji procesu autooksydacji

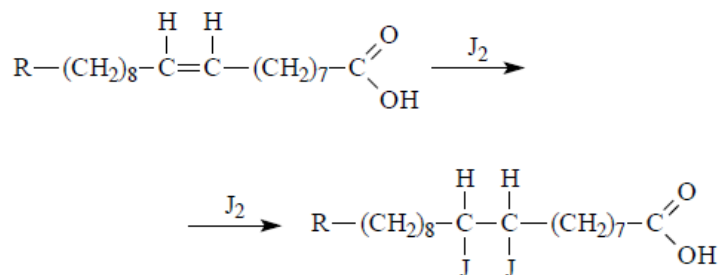
oraz wtórne produkty autooksydacji: aldehydy, ketony węglowodory, estry. Powoduje to w rezultacie powstawanie specyficznego smaku i zapachu zjełczałego tłuszczu.

W procesie autooksydacji dochodzi do sprzęgania się wiązań podwójnych: w powstających w etapie propagacji wodoronadtlenkach lipidów niemal natychmiast dochodzi do konwersji wiązań podwójnych izolowanych w wiązania sprzężone, dlatego oznaczanie zawartości sprzężonych dienów i trienów jest wykorzystywane do oceny stabilności oksydacyjnej tłuszczu.

### 3.3. Wsysanie wiązań podwójnych w kwasach tłuszczowych

Obecność wiązania podwójnego, zawierającego prócz wiązania  $\sigma$  również dość słabe wiązanie  $\pi$  powoduje, że nienasycone kwasy tłuszczowe łatwo wchodzą w reakcje prowadzące do wysycenia podwójnego wiązania. Reakcje charakterystyczne służące do wrywania wiązań podwójnych to: reakcja z chlorowcami, np.  $\text{Br}_2$  lub  $\text{J}_2$  oraz reakcja z nadmanganianem potasu.

W reakcji z chlorowcami następuje przyłączenie do podwójnego wiązania atomów chlorowca, na przykład w reakcji Hübla:

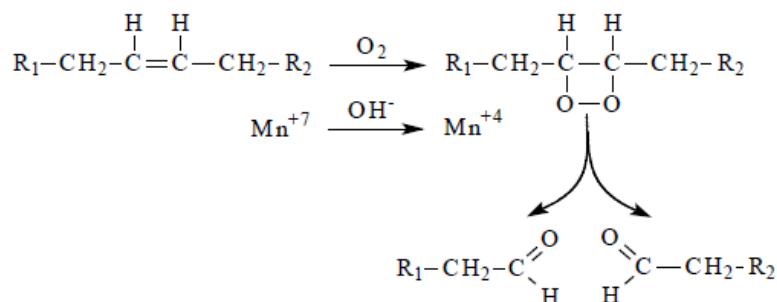


gdzie:

R – reszta łańcucha węglowodorowego kwasu tłuszczowego.

Wykrywanie wiązań podwójnych metodą Hübla opiera się na tym, że roztwór jodu ma brunatne zabarwienie, natomiast po addycji jodu do wiązań podwójnych (w obecności katalizatora reakcji  $\text{HgCl}_2$ ) następuje odbarwienie roztworu, gdyż jod cząsteczkowy przechodzi w bezbarwny jon jodkowy, związany organicznie.

Addycja tlenu do wiązań podwójnych nienasyconych kwasów tłuszczowych sprawia, że fioletowo zabarwiony roztwór nadmanganianu potasu odbarwia się, przechodząc w roztwór brązowy z powodu pojawienia się jonów  $\text{Mn}^{+4}$ .



gdzie:

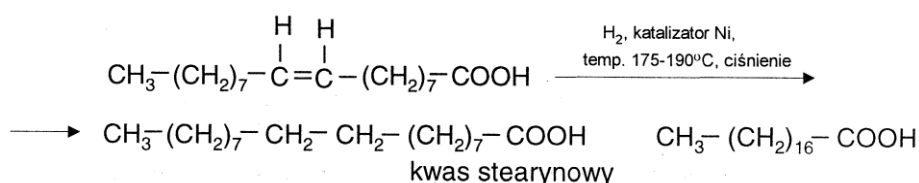
$\text{R}_1, \text{R}_2$  – reszta łańcucha węglowodorowego kwasu tłuszczowego.



Utlenianie nadmanganianem potasu wiązanie podwójne kwasu tłuszczowego ulega rozbiciu tylko w podwyższonej temperaturze i produktami są dwie cząsteczki aldehydów, a  $Mn^{+7}$  w środowisku zasadowym redukuje się do  $Mn^{+4}$  (brunatny osad  $MnO_2$ ). Ta sama reakcja przeprowadzona na zimno dostarcza diolu, na przykład kwasu 9,10-dihydrostearynowego.

### 3.4. Reakcja uwodorniania tłuszczów

Podczas działania wodoru na tłuszcz, zawierający kwasy nienasycone, następuje przyłączenie wodoru do wiązań podwójnych i reszty kwasów nienasyconych zawarte w tłuszczu ulegają przemianom w reszty kwasów nasyconych:



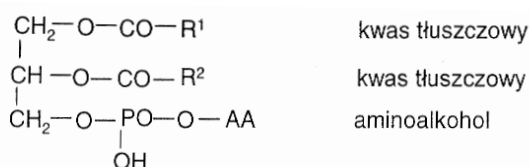
W wyniku wysycenia wiązań podwójnych tłuszcze półstałe i oleje przekształcają się w tłuszcze stałe. Proces uwodorniania olejów jest stosowany w przemyśle do tzw. utwardzania tłuszczów.

## II. LIPOIDY

Lipoidami są połączenia o różnej budowie chemicznej, towarzyszące tłuszczom naturalnym. Należą do nich tłuszcze złożone i pochodne lipidowe. Tłuszcze złożone obejmują fosfolipidy i glikolipidy, natomiast do pochodnych lipidowych zalicza się sterole oraz witaminy rozpuszczalne w tłuszczach.

### 1. Fosfolipidy

Fosfolipidami nazywa się lipidy zawierające kwas fosforowy związany estrowo. Najważniejszymi fosfolipidami są estry glicerolu, w których dwie grupy hydroksylowe zestryfikowane są kwasami tłuszczowymi, a trzecia grupa hydroksylowa zestryfikowana jest kwasem fosforowym, który z kolei zestryfikowany jest aminoalkoholem (AA):



W zależności od rodzaju aminoalkoholu lub innych składników fosfolipidy dzielą się na:

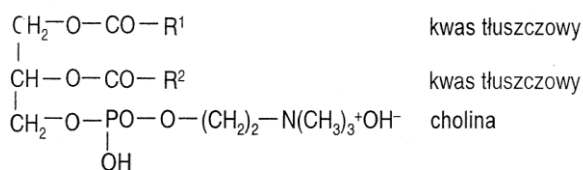
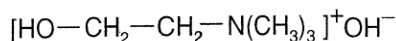
- cholinofosfatydy, czyli lecytyny, zawierające cholinę,
- kolaminofosfatydy, czyli kefaliny, zawierające kolaminę,

- serynofosfatydy, czyli serynokefaliny, zawierające serynę,
- sfingofosfatydy, czyli sfingomieliny, zawierające sfingozyne.

Fosfolipidy wchodzą w skład wszystkich komórek organizmu. Dużo fosfolipidów (do 50% suchej masy) występuje w tkance nerwowej i w mózgu. W roślinach fosfolipidy występują głównie w nasionach, korzeniach i podziemnych tkankach zapasowych. Fosfolipidy występują również w komórkach drożdży, grzybów i bakterii.

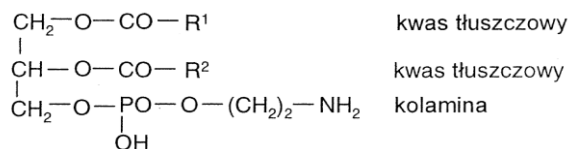
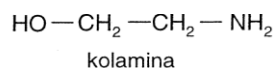
Do najważniejszych fosfolipidów należą:

a) Lecytyny. Występującym w lecytinach aminoalkoholem jest cholina:



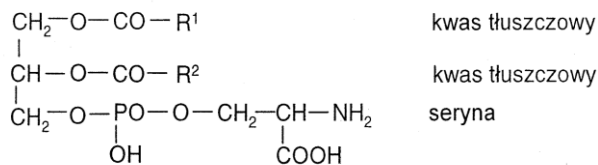
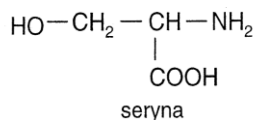
lecytyna

b) Kolaminofosfatydy - kefaliny. W kefalinach występuje aminoalkohol kolamina, czyli aminoetanol albo etanoloamina:



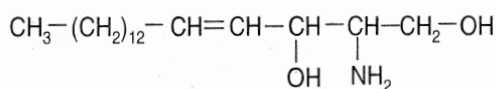
kefalina

c) Serynofosfatydy - serynokefaliny. W serynokefalinach funkcję aminoalkoholu spełnia hydroksyaminokwas - seryna:



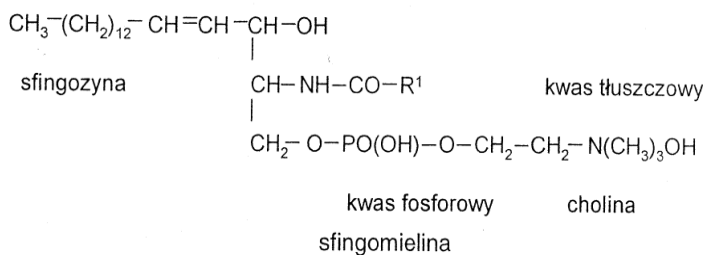
serynokefalina

d) Sfingofosfatydy - sfingomieliny. W sfingomielinach funkcję glicerolu spełnia aminoalkohol dwuhydroksylowy - sfingozyne:

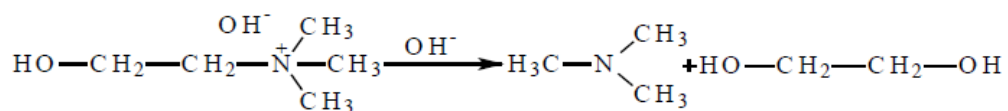


sfingozyne

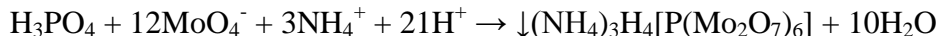
W sfingomielinie kwas tłuszczowy nie jest związany ze sfingozyną estrowo, lecz acyluje jej grupę aminową. Aminoalkoholem w sfingomielinach jest cholina:



Cholinę – aminoalkohol obecny w lecytynie można wykryć w reakcji hydrolizy lecytyny w środowisku silnie zasadowym, w którym cholina ulega rozpadowi do glikolu etylenowego i trimetyloaminy – związku o zapachu solanki śledziowej.

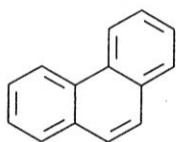


Po przeprowadzeniu hydrolizy fosfolipidów można wykryć obecny w tych związkach kwas fosforowy w reakcji z molibdenianem amonu w środowisku stężonego kwasu azotowego(V), w której powstaje w podwyższonej temperaturze żółty osad fosfomolibdenianu amonu:

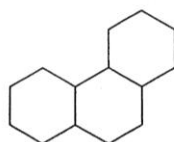


## 2. Sterole

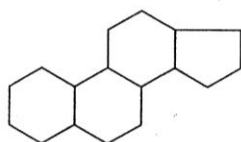
Sterole są pochodnymi homologów cyklopentanoperhydrofenantrenu:



fenantren



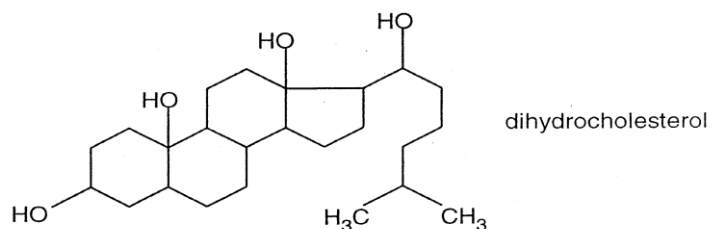
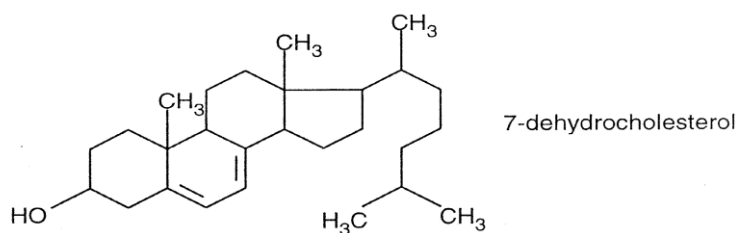
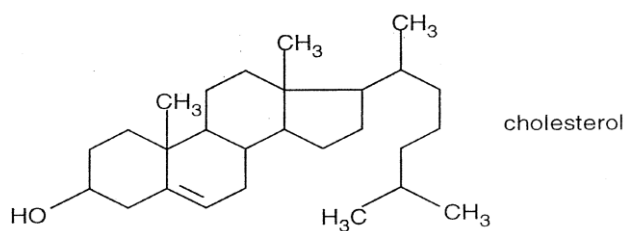
perhydrofenantren



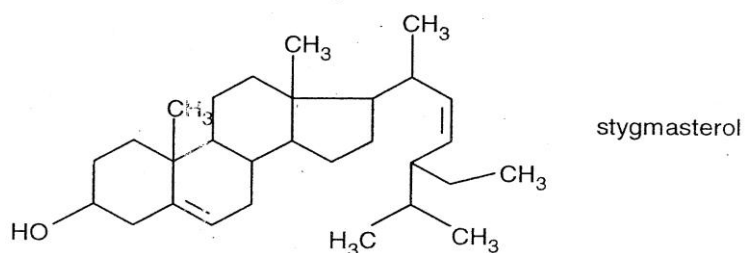
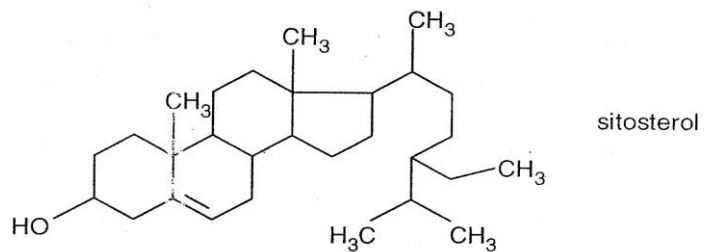
cyklopentanoperhydrofenantren

- sterole zwierzęce - zoosterole,
- sterole roślinne - fitosterole,
- sterole grzybów i pleśni - fungisterole lub mykosterole.

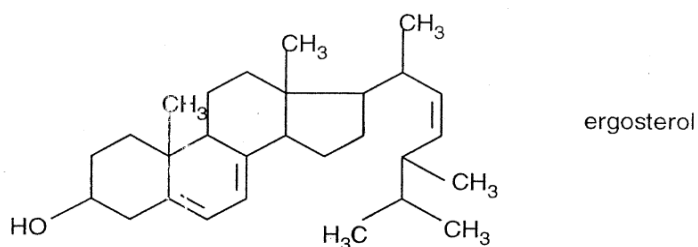
a) Zoosterole. Do najważniejszych zoosteroli należą: cholesterol, dehydrocholesterol, dihydrocholesterol.



b) Fitosterole



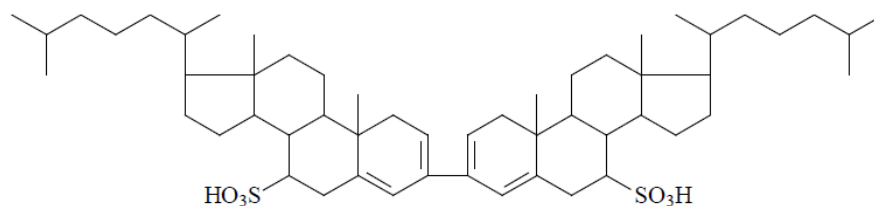
c) Fungisterole i mykosterole często są zaliczane do fitosteroli. Najważniejszym przedstawicielem tej grupy jest ergosterol:



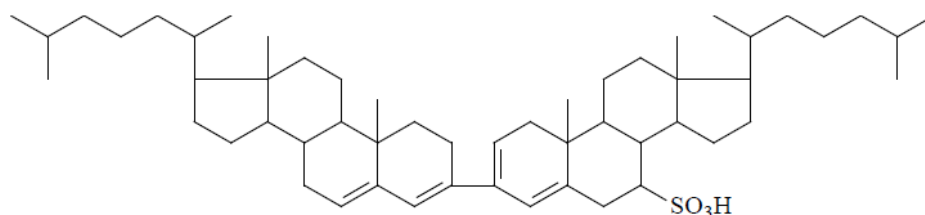
Oprócz steroli w roślinach i organizmach zwierzęcych występują także inne pochodne zawierające układ cyklopentanoperhydrofenantrenowy, zwane steroidami. Do steroidów należą m.in. witaminy D, kwasy żółciowe, hormony płciowe oraz hormony kory nadnercza. Steryny mogą przekształcać się w steroidy.

Do wykrywania steroli wykorzystuje się reakcje ich odwadniania, obecność śladów wody uniemożliwia przebieg reakcji.

Sterole (zawierające wiązanie podwójne) można wykryć w reakcji Salkowskiego, w której - w przypadku cholesterolu - pod wpływem stężonego kwasu siarkowego powstaje kwas disulfonowy bicholestadienu o barwie czerwonej:



W odczynie Liebermanna-Burcharda w obecności kwasu siarkowego i bezwodnika kwasu octowego powstaje z cholesterolu zielono zabarwiony kwas monosulfonowy bicholestadienu:



#### Opracowano na podstawie:

Ban-Oganowska H. i in.: „Ćwiczenia laboratoryjne z biochemii i chemii żywności”, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2006.

Śmiechowska M i Przybyłowski P.: „Chemia żywności z elementami biochemii”, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2004.

Żak I.: „Praktikum z chemii medycznej”, Wydawnictwo Śląskiej Akademii Medycznej, Katowice 2001.

Filipiak M. „Podstawy biochemii dla towaroznawców”, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2009.