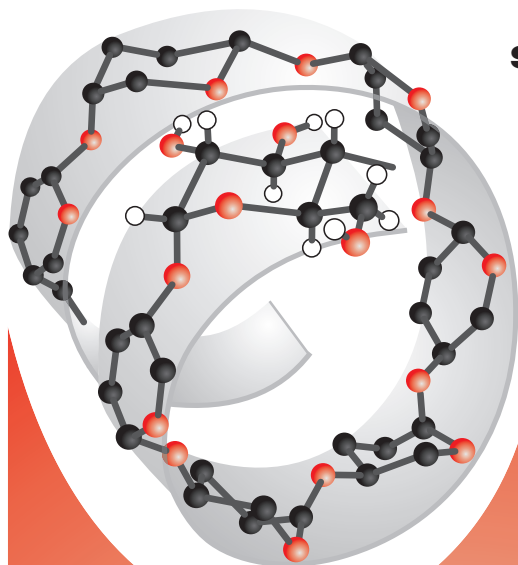


# Chémia

**pre 3. ročník gymnázia  
so štvorročným štúdiom**

**a 7. ročník gymnázia  
s osemročným štúdiom**



Jarmila Kmeťová  
Marek Skoršepa  
Mária Vydrová

Vydavateľstvo Matice slovenskej  
2011

**Chémia pre 3. ročník gymnázia  
so štvorročným štúdiom  
a 7. ročník gymnázia  
s osemročným štúdiom**

Jarmila Kmeřová  
Marek Skoršepa  
Mária Vydrová

## **Chémia pre 3. ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom**

Schválilo Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky pod č. 2011-12737/35620:5-919 zo dňa 26. septembra 2011 ako učebnicu chémie pre 3. ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom. Schvaľovacia doložka má platnosť 5 rokov.

© Autori:

doc. RNDr. Jarmila Kmeťová, PhD.

RNDr. Marek Skoršepa, PhD.

RNDr. Mária Vydrová

Lektorovali:

doc. RNDr. Katarína Mikušová, PhD. (kapitoly 1 – 7, 9 – 12)

doc. MUDr. Tibor Baška, PhD. (kapitola 8)

RNDr. Bernarda Luptáková

PaedDr. Danka Micháľková

RNDr. Svetozár Štefeček

Zostavovateľ: doc. RNDr. Jarmila Kmeťová, PhD.

Manažérka projektu: Mgr. Janka Smiešková

Jazyková úprava: Júlia Schwandnerová

Grafická úprava: Mgr. Erich Kmeť

Obrazový materiál: autori, Fotolia, Isifa

Vydalo Vydavateľstvo Matice slovenskej, s. r. o.

Mudroňova 1, 036 52 Martin, Slovensko

info@vydavatel.sk

**www.vydavatel.sk**

© Vydavateľstvo Matice slovenskej, s. r. o., 2011

Všetky práva vyhradené.

Toto dielo ani žiadnu jeho časť nemožno reprodukovat' bez súhlasu majiteľa práv.

Prvé vydanie, 2011

Vytlačila Neografia, a. s., Martin

ISBN 978-80-8115-042-5

# Obsah

ÚVOD	5
<b>1 ÚVOD DO ŠTÚDIA BIOCHÉMIE</b>	<b>7</b>
1.1 Chemické zloženie živých organizmov ( <i>Skoršepa, M.</i> )	7
1.2 Heterocyklické zlúčeniny v živej prírode ( <i>Vydrová, M.</i> )	9
1.2.1 Päťčlánkové aromatické heterocyklické zlúčeniny a ich najvýznamnejšie deriváty	10
1.2.2 Šesťčlánkové aromatické heterocyklické zlúčeniny a ich najvýznamnejšie deriváty	11
<b>2 LIPIDY A BIOLOGICKÉ MEMBRÁNY (<i>Kmeťová, J.</i>)</b>	<b>13</b>
2.1 Štruktúra a vlastnosti jednoduchých lipidov	13
2.1.1 <i>Acyglyceroly</i>	14
2.1.2 <i>Vosky</i>	16
2.2 Štruktúra a vlastnosti zložených lipidov	17
2.2.1 <i>Fosfolipidy</i>	17
2.2.2 <i>Glykolipidy</i>	17
2.2.3 <i>Biologické membrány</i>	17
2.3 Štruktúra a vlastnosti izoprenoidných lipidov	18
2.3.1 <i>Terpény</i>	18
2.3.2 <i>Steroidy</i>	19
2.3.2.1 <i>Cholesterol</i>	19
<b>3 SACHARIDY (<i>Kmeťová, J.</i>)</b>	<b>23</b>
3.1 Štruktúra a vlastnosti monosacharidov	23
3.1.1 <i>Chemické vlastnosti monosacharidov</i>	26
3.1.2 <i>Biologicky významné monosacharidy</i>	27
3.2 Zložené sacharidy	28
3.2.1 <i>Disacharidy</i>	28
3.2.2 <i>Polysacharidy</i>	29
<b>4 BIELKOVINY (<i>Skoršepa, M.</i>)</b>	<b>34</b>
4.1 Aminokyseliny – základné stavebné zložky bielkovín	34
4.2 Peptidová väzba	36
4.3 Štruktúra bielkovín	37
4.4 Prehľad bielkovín	41
<b>5 NUKLEOVÉ KYSELINY (<i>Skoršepa, M.</i>)</b>	<b>46</b>
5.1 Zloženie nukleových kyselín	46
5.2 Štruktúra nukleových kyselín	49
5.3 Význam a funkcia nukleových kyselín	50
<b>6 ENZÝMY (<i>Skoršepa, M.</i>)</b>	<b>54</b>
6.1 Zloženie a štruktúra enzýmov	54
6.2 Špecifita enzýmovej katalýzy	55
6.3 Mechanizmus enzýmových reakcií	56
6.4 Faktory ovplyvňujúce proces enzýmovej katalýzy	58
6.5 Aktivácia a inhibícia enzýmov	59
6.5.1 <i>Aktivácia enzýmov</i>	59
6.5.2 <i>Inhibícia enzýmov</i>	59
6.5.3 <i>Alosterická regulácia činnosti enzýmov</i>	60
6.6 Tráviace enzýmy	61
<b>7 VITAMÍNY (<i>Kmeťová, J.</i>)</b>	<b>63</b>
<b>8 KVALITA ŽIVOTA A ZDRAVIE (<i>Vydrová, M.</i>)</b>	<b>66</b>
8.1 Alkaloidy	66
8.1.1 <i>Spoločné vlastnosti alkaloidov</i>	66

8.1.2 Ópiové alkaloidy (opiáty)	67
8.1.3 Tropánové alkaloidy	67
8.1.4 Námefové alkaloidy	68
8.1.5 Ďalšie alkaloidy	68
8.2 Liečivá a lieky	71
8.2.1 Liečivo	71
8.2.2 Liek	72
8.2.3 Používanie liečivých rastlín	73
8.2.4 Antibiotiká	73
8.3 Psychoaktívne návykové látky (drogy)	75
8.3.1 Droga	76
8.3.1.1 Legálne drogy	76
8.3.1.2 Nelegálne drogy	76
8.3.2 Drogová závislosť	76
8.4 Biologická hodnota stravy, výživa	77
8.4.1 Vyvážená strava	78
8.4.2 Princípy zdravej výživy	78
8.4.3 Probiotiká a prebiotiká	81
8.4.4 Aditívne látky v potravinách	81
8.4.5 Vegetariánske stravovanie	82
8.4.6 Obezita	82
8.4.7 Poruchy príjmu potravy	84
8.4.8 Geneticky modifikované potraviny	84
<b>9 ÚVOD DO LÁTKOVÉHO METABOLIZMU (Skoršepa, M.)</b>	<b>88</b>
9.1 Význam oxidačno-redukčných dejov v metabolizme	88
9.2 Názvy kyselín používané v biochémií	89
9.3 Energetický charakter biochemických reakcií	90
9.4 Makroergické zlúčeniny	90
<b>10 KATABOLIZMUS BIOCHEMICKY VÝZNAMNÝCH LÁTKO (Skoršepa, M.)</b>	<b>92</b>
10.1 Katabolizmus sacharidov	92
10.1.1 Glykolýza	92
10.1.2 Možnosti spracovania pyruvátu	94
10.1.2.1 Mliečne kvasenie	95
10.1.2.2 Alkoholové kvasenie	95
10.1.2.3 Aeróbne spracovanie pyruvátu	96
10.2 Citrátový cyklus	96
10.3 Dýchací reťazec, aeróbna tvorba ATP	98
10.4 Katabolizmus lipidov	102
10.5 Katabolizmus bielkovín a aminokyselín	105
10.6 Katabolizmus nukleových kyselín	105
<b>11 BIOSYNTÉZA BIOCHEMICKY VÝZNAMNÝCH LÁTKO (Skoršepa, M.)</b>	<b>106</b>
11.1 Biosyntéza sacharidov	106
11.1.1 Fotosyntéza	106
11.1.1.1 Svetelná (primárna) fáza fotosyntézy	107
11.1.1.2 Tmavá (sekundárna) fáza fotosyntézy	109
11.2 Biosyntéza lipidov a mastných kyselín	110
11.3 Biosyntéza nukleových kyselín	110
11.4 Biosyntéza bielkovín – proteosyntéza	111
11.4.1 Transkripcia	111
11.4.2 Translácia	111
<b>12 SPRÁVNE ODPOVEDE</b>	<b>117</b>
Literatúra	120

# ÚVOD

Milí študenti,

otvárate ďalšiu z učebníc chémie. Jej obsahom je vedný odbor chémie – biochémia. Každý z vedných odborov má svoje zvláštnosti, čo sa prejaví aj v spracovaní učebných textov. Snahou autorov bolo, aby učebný text v tejto učebnici bol pre vás zrozumiteľný a zaujímavý.

Výber a spracovanie chemických poznatkov v tejto učebnici zodpovedá obsahu vzdelávania pre štvorročné a osemročné gymnáziá. Text je rozdelený do dvoch základných častí. Prvá časť je venovaná štruktúre a vlastnostiam biochemicky významných molekúl – biomolekúl. Obsahuje aj kapitolu zameranú na témy, týkajúce sa kvality života a výživy, ktoré integrujú poznatky z predchádzajúcich kapitol v prepojení s každodenným životom. Druhá časť učebnice (kap. 9, 10 a 11) sa zaoberá vybranými biochemickými dejmi. Sú v nej vysvetlené najdôležitejšie rozkladné a biosyntetické procesy. Hoci táto časť nie je priamo vymedzená pedagogickými dokumentmi ako základné učivo, zámerom autorov je doplniť ňou poznatky o biomolekulách a vo vybraných biochemických procesoch ukázať, ako v organizmoch vznikajú a akým zmenám podliehajú. Táto časť je určená predovšetkým študentom, ktorí majú záujem o hlbšie poznanie zákonitostí biochémie, budúcim maturantom z chémie, prípadne študentom plánujúcim pokračovať v štúdiu chémie na vysokej škole. Umožní lepšie porozumieť vzťahom medzi štruktúrou, vlastnosťami a významom chemických látok, nachádzajúcich sa v živej prírode.

Učebný text je typograficky rozlíšený. Okrem základného textu je v učebnici uvádzaný aj rozširujúci učebný text, ktorý je označený piktogramom a od základného textu sa odlišuje farbou písma. Príklady vzorcov a chemických reakcií vhodne dopĺňajú učebný text, s cieľom poukázať na rozmanitosť či štruktúru látok a dejov, prebiehajúcich v živých organizmoch.

V závere každej kapitoly sa nachádza kľúčové učivo, ktoré je zhrnutím najdôležitejších poznatkov z danej témy. Súčasťou kapitol sú tiež úlohy, ktorých riešenie vám poskytne spätnú väzbu o tom, do akej miery ste učivo, obsiahnuté v učebnom texte, pochopili a nastolené problémy dokázali riešiť. Správne riešenie všetkých úloh uvádzame na konci učebnice.

Keďže chémia patrí medzi experimentálne vedy, neoddeliteľnou súčasťou učebných textov sú školské pokusy. O vhodnosti ich zaradenia do výučby rozhodne váš učiteľ. Mnohé z nich svojim obsahom spĺňajú podmienky na možnosť ich realizácie ako žiacky pokus, niektoré sú svojim obsahom a náročnosťou vhodnejšie pre demonštráciu učiteľom. Pokusy v učebnici, vhodné pre prácu žiaka, môžu byť predmetom hodín základného typu alebo laboratórnych cvičení, ktoré nie sú vymedzené v učebnici ako samostatná časť.

Na konci učebnice je uvedený zoznam chemikálií, používaných pri pokusoch, spolu so symbolom, ktorý kategorizuje chemikáliu podľa platnej legislatívy o chemických látkach. Názvoslovie uvádzaných chemických zlúčenín je v súlade s odporúčaním pravidiel komisie pre názvoslovie IUPAC.

Milí študenti, veríme, že s predkladanou učebnicou sa vám bude dobre pracovať a že vám pomôže lepšie pochopiť poznatky z biochémie, ktoré sa pretavia do vašich vedomostí. Taktiež sme presvedčení, že učebnica prispeje ku skvalitneniu a zefektívneniu výučby chémie.

Autori

## Vysvetlivky



definícia



pokus



rozširujúce učivo



klúčové učivo



otázky a úlohy

## Farby atómov v použitých modeloch štruktúr



atóm uhlíka



atóm kyslíka



atóm dusíka



atóm vodíka



bočný reťazec aminokyseliny

# 1 ÚVOD DO ŠTÚDIA BIOCHÉMIE

**Biochémia** je vedný odbor, ktorý sa zaoberá skúmaním molekulovej úrovne živých organizmov.

Je **hraničným odborom**, pretože predmet jej skúmania sa nachádza na rozhraní biológie a chémie.

Biochémia hľadá odpovede na niekoľko okruhov otázok. Najdôležitejšie z nich sú:

1. **Aké je zloženie živej hmoty?** Zaoberá sa štúdiom štruktúry a vlastností molekúl, ktoré sú súčasťou živých organizmov – **biomolekúl**. Študuje tiež vzťahy medzi ich štruktúrou a funkciou.
2. **Akými chemickými reakciami v organizmoch látky vznikajú a ako sa premieňajú a rozkladajú?** Biochémia skúma chemické deje, prebiehajúce v živých organizmoch. Hlavným cieľom týchto dejov je získanie energie z okolitého prostredia, potrebnej na fungovanie živých systémov a výstavba ich vlastných biomolekúl, dôležitých pre rast, vývin a rozmnožovanie.

## 1.1 Chemické zloženie živých organizmov

V živej aj neživej prírode sú zastúpené viac-menej tie isté prvky. Rozdiel je však v ich množstve a vzájomnom pomere. Kým v neživej prírode sú najviac zastúpené prvky kyslík, kremík, hliník, železo a vápnik, viac ako 98 % živej hmoty tvoria kyslík, uhlík, vodík a dusík.

Aj keď sa jednotlivé organizmy od seba odlišujú, ich chemické zloženie je v podstate rovnaké. Prvky, ktoré sú nevyhnutne potrebné na stavbu a životnú činnosť organizmov, označujeme ako **biogénne prvky**. Rozlišujeme 2 skupiny biogénnych prvkov (tab. 1.1):

1. **Makroprvky** (makroelementy), z ktorých každý tvorí viac ako 0,005 % z celkovej hmotnosti organizmu. Najdôležitejšími makroprvkami sú **C, H, O, N, P** a **S**. Označujú sa ako **základné biogénne prvky**.
2. **Mikroprvky** (mikroelementy), ktoré sa v organizmoch vyskytujú len v stopových množstvách (menej ako 0,005 %). V organizmoch však plnia rozličné funkcie a sú pre jeho existenciu nevyhnutné.

Tab. 1.1 Rozdelenie biogénnych prvkov

MAKROPRVKY	MIKROPRVKY
<b>C</b>	Cu
<b>H</b>	Zn
<b>O</b>	Mn
<b>N</b>	I
<b>P</b>	Co
<b>S</b>	Mo
	B
Ca	F
Mg	Br
Na	Se
Cl	As
K	Si
Fe	Li
	Al
	Ti
	V

Väčšina prvkov sa v živých sústavách nachádza vo forme anorganických a organických zlúčenín. Zastúpenie najdôležitejších z nich v ľudskom organizme uvádza graf na obr. 1.1.

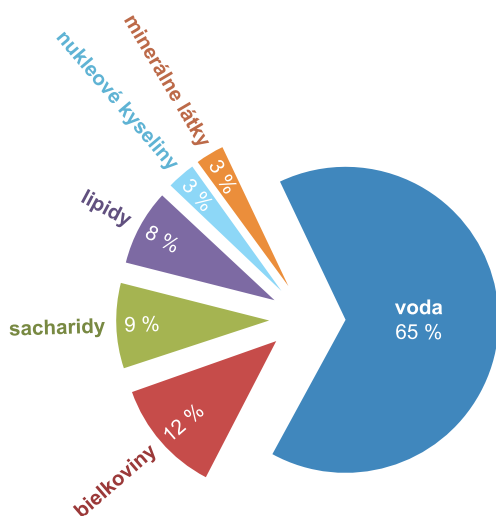
Najjednoduchšie anorganické zlúčeniny, a to **voda**, **oxid uhličitý** a **amoniak** (príp. molekulový dusík), sú zároveň základnými látkami, z ktorých organizmy syntetizujú organické zlúčeniny.



**Voda** je najdôležitejšou anorganickou zlúčeninou v živých sústavách. V živej prírode je vôbec najviac zastúpenou látkou. Rôzne organizmy sa obsahom vody líšia. Dospelý ľudský organizmus obsahuje okolo 65 % vody, zatiaľ čo napríklad myš 67 %, pstruh 84 %, dážďovka 88 % alebo črievička až 90 %. Obsah vody v organizme závisí aj od stupňa ontogenetického vývinu jedinca, napr. telo novorodenca obsahuje, na rozdiel od dospelého človeka, až okolo 80 % vody.

Voda plní v organizmoch rôzne funkcie. Najdôležitejšie z nich sú tieto:

- Vytvára prostredie, v ktorom prebiehajú všetky fyzikálne a chemické deje. Vo vode prebiehajú všetky životné pochody, a teda aj premena látok a energie.
- Rozpúšťa a ionizuje anorganické a aj mnohé organické zlúčeniny.
- Umožňuje transport látok v organizme.
- Je dôležitou zložkou bunkových štruktúr. Preto časť vody zostáva viazaná aj po voľnom vysušení biologického materiálu.
- Priamo sa zúčastňuje na mnohých biochemických reakciách, alebo vzniká ako vedľajší produkt.
- Zúčastňuje sa aj na tepelnej regulácii organizmu, pretože má veľkú hmotnostnú tepelnú kapacitu.



Obr. 1.1 Relatívne zastúpenie najvýznamnejších skupín látok v ľudskom tele

**Oxid uhličitý** je základnou východiskovou látkou pri syntéze sacharidov (fotosyntéze). Zároveň je konečným produktom rozkladu organických zlúčenín. Oxid uhličitý má centrálné postavenie v kolobehu uhlíka v prírode.

**Amoniak** je východiskovou látkou biosyntézy a konečným produktom rozkladu dusíkatých organických látok. Autotrofné organizmy využívajú amoniak na syntézu aminokyselín (a z nich bielkovín) a nukleových kyselín.

Organické látky, ktoré sú produktom živých organizmov, sa zúčastňujú na ich stavbe a životných pochodoch, sa zvyknú označovať ako **prírodné látky**.

Najvýznamnejšími prírodnými látkami sú **lipidy, sacharidy, bielkoviny** a **nukleové kyseliny**. V organizmoch vykonávajú rozličné funkcie, ktorými sa vzájomne dopĺňajú. Prírodné látky sa od seba odlišujú svojou štruktúrou. Niektoré sú pomerne jednoduché, iné sú zložité a majú charakter **makromolekúl** – veľkých molekúl, skladajúcich sa z niekoľkých desiatok až niekoľkých tisícov stavebných jednotiek. Z prírodných látok makromolekuly tvoria bielkoviny, polysacharidy a nukleové kyseliny. Tieto látky niekedy nazývame aj **biomakromolekuly**.

Základné skupiny prírodných látok sú obsahom nasledujúcich kapitol tejto učebnice.

## 1.2 Heterocyklické zlúčeniny v živej prírode

Heterocyklické zlúčeniny (heterocykly), prírodné aj syntetické, sú veľkou a veľmi dôležitou skupinou organických látok.

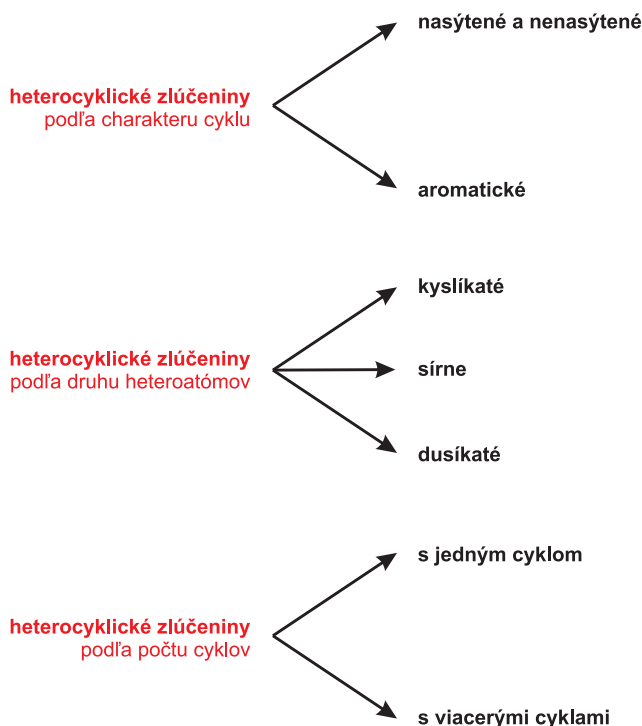
**Mnohé z nich nájdeme v živej hmote** (napríklad furanózy v štruktúrach sacharidov, dusíkaté bázy v štruktúrach nukleových kyselín, alkaloidy, vitamíny skupiny B). **Iné sú známe ako liečivá, farbivá, pesticídy** (agrochemikálie na ničenie nežiaducich rastlinných a živočíšnych organizmov). K pesticídom patria najmä **herbicídy** (prípravky ničiace buriny), **fungicídy** (prípravky ničiace škodlivé huby a plesne), **insekticídy** (prípravky ničiace škodlivý hmyz).

Deriváty heterocyklických zlúčenín sa vyskytujú v prírode aj ako súčasť prírodných **farbív**, napríklad chlorofylu (zelené listové farbivo), hemoglobínu (červené krvné farbivo), myoglobínu (červené svalové farbivo), bilirubínu (žlté farbivo).

Heterocyklické zlúčeniny majú v systéme organických zlúčenín zvláštne postavenie – na rozdiel od „tradičných“ derivátov sa nevyznačujú rovnakou funkčnou skupinou, **ich spoločným znakom je prítomnosť jedného alebo viacerých heteroatómov** (gr. *heteros* = iný, odlišný) v cyklickom reťazci zlúčeniny.

Heterocyklické zlúčeniny sa vzájomne líšia napríklad:

- **počtom atómov tvoriacich cyklus** – najmenší počet atómov v cykle je tri, najstabilnejšie sú päťčlánkové a šesťčlánkové cykly,
- **charakterom väzieb medzi členmi cyklu,**
- **druhom a počtom heteroatómov** – zlúčeniny s jedným, resp. viacerými heteroatómami.



Obr. 1.2 Rozdelenie heterocyklických zlúčenín

Najvýznamnejšie heterocyklické zlúčeniny sú:

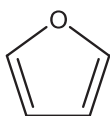
- päťčlánkové heterocykly s jedným alebo dvoma heteroatómami,
- šesťčlánkové heterocykly s jedným alebo dvoma heteroatómami.

V názvosloví heterocyklických zlúčenín sa často uprednostňujú triviálne názvy pred komplikovaným systémovým názvoslovím.

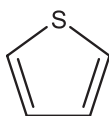
**Vlastnosti heterocyklických zlúčenín sú okrem veľkosti a charakteru cyklu ovplyvnené aj vlastnosťami prítomného heteroatómu** – napr. heterocykly obsahujúce dusík majú niektoré vlastnosti amínov.

### 1.2.1 Päťčlánkové aromatické heterocyklické zlúčeniny a ich najvýznamnejšie deriváty

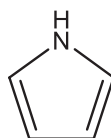
Základnými predstaviteľmi aromatických päťčlánkových heterocyklov sú:



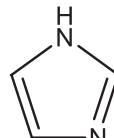
furán



tiofén



pyrol



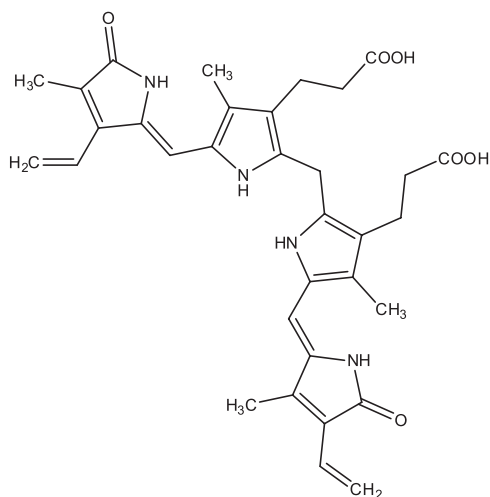
imidazol

**Pyrol** je stavebnou zložkou prírodných, biologicky významných látok – tetrapyrolových farbív. Štyri pyrolové jadrá v nich môžu byť usporiadané cyklicky alebo do otvoreného systému (obr. 1.3, obr. 1.4), súčasťou tetrapyrolovej štruktúry môže byť komplexne viazaný kov. Biologicky najvýznamnejšie látky s tetrapyrolovou štruktúrou sú uvedené v tabuľke 1.2.

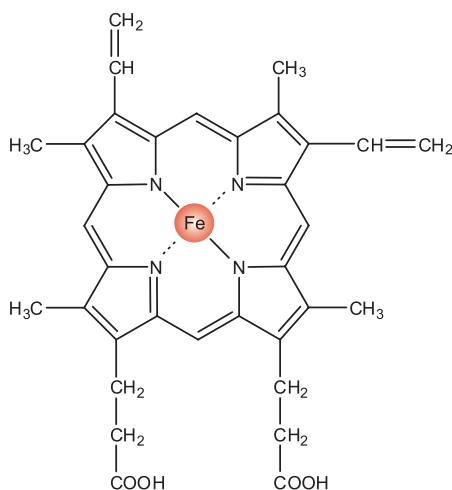
Tab. 1.2 Biologicky významné látky s tetrapyrolovou štruktúrou

Biologicky významná látka	Usporiadanie pyrolových jadier	Kov	Funkcia
hemoglobín <sup>1</sup>	cyklické	železo	červené krvné farbivo – prenos kyslíka z pľúc do tkanív
myoglobín <sup>1</sup>	cyklické	železo	červené svalové farbivo – viaže kyslík v kostrovom a srdcovom svalu, vzniká tak zásoba kyslíka pre prácu svalu
bilirubín	otvorený systém	neobsahuje	žlté farbivo – vzniká rozpadom červených krviniek, spôsobuje žltú farbu žlče, moču, ale napr. aj modrín
chlorofyl	cyklické	horčík	zelené listové farbivo, nevyhnutný pre fotosyntézu
kobalamín	cyklické	kobalt	vitamín B <sub>12</sub> , nevyhnutný pre tvorbu nukleových kyselín, delenie buniek

<sup>1</sup> Tetrapyrolovú štruktúru má len hém, ktorý je základom molekúl hemoglobínu a myoglobínu.



Obr. 1.3 Molekula bilirubínu s otvoreným systémom pyrolových jadier



Obr. 1.4 Molekula hému (súčasť hemoglobínu) s cyklickým usporiadaním pyrolových jadier

**Hemoglobín (Hb)** sa nachádza v červených krvinkách (erythrocytoch), je červeným farbivom krvi. Železo, ktoré hemoglobín obsahuje, je nutné pre prenos kyslíka z pľúc do tkanív a dostatočné oxysličovanie tkanív, s ktorým spájame fyzickú a psychickú výkonnosť organizmu. Nedostatok železa sa prejavuje **chudokrvnosťou** (anémiou). **Príznakmi anémie** sú hlavne dlhodobá únava, bledosť (sliznice, nechťových lôžok), studené ruky a nohy, slabosť, poruchy koncentrácie. Nedostatok železa negatívne ovplyvňuje aj pamäť a schopnosť učiť sa. Diagnózu anémie a jej príčiny určí lekár na základe výsledkov krvných testov. V prípade, že je anémia spôsobená nedostatkom železa, liečba spočíva v jeho dodaní do organizmu zvonku, niekedy v injekčnej forme.

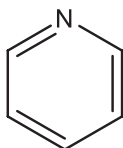
**Potravinovými zdrojmi železa** sú najmä červené mäso (hovädzie, vnútornosti, plody mora – sardinky), zelená listová zelenina, paradajky, strukoviny, sušené ovocie (marhule, slivky). Tradičným prírodným liečivom na anémiu je čerstvá šťava z červenej repy.

Získať železo z mäsa je ľahšie ako z rastlinných produktov, preto je potrebné, aby vegetáriani (hlavne deti a ženy v plodnom veku) konzumovali dostatok potravy s vyšším obsahom železa, a tak predchádzali vzniku anémie z nedostatku železa.

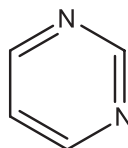
**Imidazol** (aromatický päťčlankový heterocyklus s dvoma heteroatómami) sa nachádza napr. v štruktúrach aminokyseliny histidínu, vitamínu H a histamínu. **Histamín** je látka, ktorá sa vyskytuje v ľudskom organizme, vo veľkom množstve sa uvoľňuje pri **alergických reakciách**. Počas alergickej reakcie histamín spôsobuje napr. začervenanie (koža, oči, nos, sliznice), opuchy, vznik vyrážok, svrbenie, slzenie, kýchanie, problémy s dýchaním. Účinky histamínu sa zmiernujú liečbou **antihistaminikami**.

## 1.2.2 Šesťčlankové aromatické heterocyklické zlúčeniny a ich najvýznamnejšie deriváty

**Pyridín** (aromatický šesťčlankový heterocyklus s jedným heteroatómom) má **štruktúru najviac podobnú benzénu**, preto je najstabilnejšou z heterocyklických zlúčenín. Derivátom pyridínu je napríklad **pyridoxín – vitamín B<sub>6</sub>**.

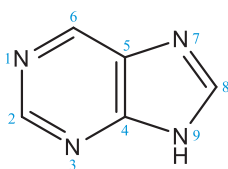


pyridín



pyrimidín

**Pyrimidín** (aromatický šesťčlánkový heterocyklus s dvoma heteroatómami) je zlúčeninou, od ktorej odvodzujeme **pyrimidínové dusikaté bázy cytozín (C), tymín (T) a uracil (U)**. Pyrimidínové dusikaté bázy sa vyskytujú v nukleových kyselinách (kap. 5). Derivátom pyrimidínu je aj **kyselina barbiturová**, ktorá je základnou látkou pre skupinu barbiturátov. **Barbituráty** (deriváty kyseliny barbiturovej) tvoria veľkú skupinu liekov, tlmiacich činnosť centrálnej nervovej sústavy, ich užívanie je však spojené s veľkým rizikom vzniku závislosti (kap. 8.2). Nebezpečná až smrteľná môže byť ich kombinácia s inými liekmi, drogami a alkoholom.



purín

**Purín** je základnou látkou, podľa ktorej je pomenovaná celá skupina jeho biochemicky významných derivátov – nazývajú sa **puríny**. **Synteticky pripravené analógy purínových nukleotidov** sa používajú v lekárske, napríklad pri liečbe nádorových ochorení ako súčasť chemoterapie, iné pri liečbe vírusových ochorení (herpes, HIV, hepatitída B). Od purínu odvodzujeme **purínové dusikaté bázy adenín (A) a guanín (G)**, ktoré sa vyskytujú v nukleových kyselinách (kap. 5). Bohatým zdrojom purínových látok je hlavne mäso, káva, čaj, čokoláda, ryby.

Nepotrebné puríny zdravý organizmus oxiduje na pomerne málo rozpustnú **kyselinu močovú**, ktorú vylúči močom. Pri bolestivom ochorení s názvom **dna** (tzv. choroba kráľov) sa tvorí nadmerné množstvo kyseliny močovej, ktorá sa vo forme kryštálikov jej sodnej soli ukladá v obličkách a drobných kĺboch rúk a nôh. Pri reumatizme sa vykryštalizovaná kyselina močová ukladá v kĺboch a vo svaloch, pri ochorení obličiek môže vytvárať obličkové a močové kamene – ihličkovité uráty.

## KLÚČOVÉ UČIVO

- Biochémia je hraničným vedným odborom, ktorý skúma molekulovú úroveň živých organizmov.
- Prvky, podieľajúce sa na stavbe a životnej činnosti organizmov, nazývame biogénne prvky. Základnými biogénnymi prvkami sú uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor a siera.
- Organické látky, ktoré sa zúčastňujú na stavbe a životných pochodoch organizmov, sa nazývajú prírodné látky. Najdôležitejšie z nich sú lipidy, sacharidy, bielkoviny a nukleové kyseliny.
- Heterocyklické zlúčeniny sú cyklické organické zlúčeniny s najmenej jedným heteroatómom, ktorý je súčasťou cyklu. Najčastejšie sa vyskytujúcimi heteroatómami sú atómy kyslíka, síry a dusíka.
- Vlastnosti heterocyklických zlúčenín sú okrem veľkosti a charakteru cyklu ovplyvnené aj vlastnosťami prítomného heteroatómu.
- Heterocyklické zlúčeniny nájdeme v živej hmote, iné sú známe ako liečivá, farbivá, pesticídy, sú súčasťou prevažnej väčšiny farmaceutických prípravkov.

## 2 LIPIDY A BIOLOGICKÉ MEMBRÁNY

**Lipidy** (gr. *lípos* = tuk) sú heterogénnou skupinou prírodných organických látok. Ich spoločnou vlastnosťou je ich nerozpustnosť vo vode, dobre sa rozpúšťajú v organických rozpúšťadlách, ako napríklad benzén, chloroform alebo éter.

### Biologický význam a funkcia lipidov

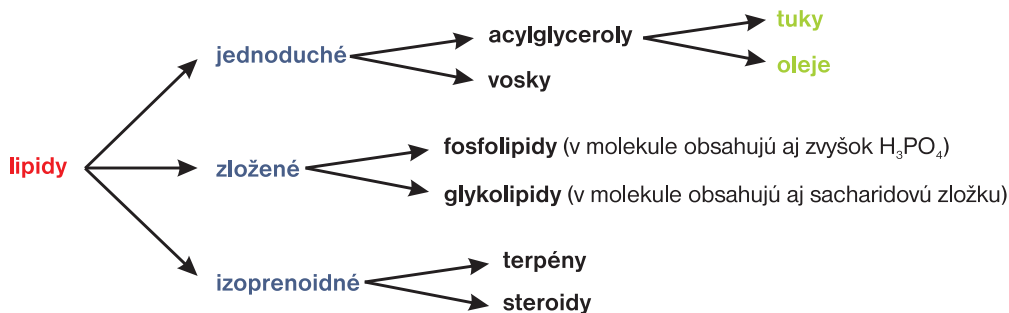
V organizme majú lipidy niekoľko významných funkcií:

- sú **stavebnými zložkami** biologických membrán,
- sú najefektívnejšou **zásobárňou energie**,
- majú **ochrannú funkciu** – obaľujú niektoré orgány, čím ich chránia pred mechanickým poškodením,
- plnia **funkciu tepelnej izolácie**,
- majú **hydrofóbné vlastnosti** – v organizme vytvárajú prostredie, v ktorom sa rozpúšťajú biologicky významné nepolárne látky ako vitamíny, hormóny, liečivá atď.,
- majú **rôzne špecifické funkcie**, medzi lipidy zaraďujeme niektoré hormóny, vitamíny, pigmenty, kofaktory enzýmov.

### POKUS

#### Dôkaz hydrofóbných vlastností lipidov

Do dvoch skúmaviek nalejeme po 1 cm<sup>3</sup> rastlinného oleja. Do prvej skúmavky pridáme 2 cm<sup>3</sup> vody a do druhej 2 cm<sup>3</sup> benzínu. Obsah v oboch skúmavkách opatrne pretrepeme a pozorujeme.



Obr. 2.1 Rozdelenie lipidov

### 2.1 Štruktúra a vlastnosti jednoduchých lipidov

Základnými stavebnými zložkami jednoduchých lipidov sú alkoholy a vyššie karboxylové kyseliny. Podľa alkoholovej zložky sa jednoduché lipidy delia na acylglyceroly a vosky.

Vyššie karboxylové kyseliny nazývame **mastné kyseliny**. Ich molekuly obsahujú väčšinou párny počet atómov uhlíka a nerozvetvený priamy reťazec. Môžu byť nasýtené alebo nenasýtené (tab. 2.1).

Tab. 2.1 Vzorce a názvy najznámejších mastných kyselín

Vzorec kyseliny	Názov kyseliny
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	kyselina palmitová
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	kyselina stearová
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	kyselina olejová
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	kyselina linolová
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	kyselina linolénová

Nenasýtené mastné kyseliny, ktoré obsahujú vo svojej molekule viac ako jednu dvojitú väzbu, sú pre človeka esenciálne (organizmus ich nedokáže syntetizovať, preto ich musí prijímať v potrave).

Čím je obsah nenasýtených mastných kyselín v lipidoch väčší, tým je ich biologická hodnota väčšia

## POKUS

### Dôkaz dvojitých väzieb v lipidoch manganistanom draselným

Do skúmavky nalejeme 0,5 cm<sup>3</sup> slnečnicového oleja, 1 cm<sup>3</sup> roztoku KMnO<sub>4</sub> (c = 0,01 mol·dm<sup>-3</sup>) a pridáme 1 kvapku koncentrovanej H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Obsah skúmavky opatrne premiešame a pozorujeme zmenu sfarbenia. Pridaním oxidačného činidla (KMnO<sub>4</sub>) dôjde v kyslom prostredí k zániku dvojitej väzby (adícii vodíka) a k redukcii manganistanu. Rovnaký postup zopakujeme aj s olivovým olejom, prípadne inými druhmi olejov. Podľa intenzity sfarbenia zmesi porovnáme stupeň nenasýtenosti olejov.

## 2.1.1 Acylglyceroly

Acylglyceroly vznikajú esterifikáciou -OH skupín glycerolu. Podľa počtu esterifikovaných hydroxylových skupín glycerolu rozlišujeme mono-, di- a tri-acylglyceroly. Keď sa na esterifikácii zúčastňuje jeden druh mastnej kyseliny, vznikajú jednoduché acylglyceroly. Ak sa zúčastňujú rôzne druhy mastných kyselín, vznikajú zmiešané acylglyceroly.

Acylglyceroly sú **estery vyšších karboxylových kyselín a trojsýtného alkoholu glycerolu**.

Podľa druhu vyššej karboxylovej kyseliny sa acylglyceroly delia na tuky a oleje.

V molekulách **tukov** prevládajú **nasýtené** mastné kyseliny, predovšetkým kyselina palmitová a stearová. Pri izbovej teplote sú **tuhé**. **Oleje** obsahujú vo svojich molekulách predovšetkým **nenasýtené** mastné kyseliny, napríklad kyselinu olejovú a linolovú. Pri izbovej teplote sú **kvapalné**.

Podľa pôvodu rozlišujeme acylglyceroly **rastlinné** (slnečnicový, makový, sezamový, tekvicový olej) a **živočišne** (bravčová masť, maslo, loj, rybí tuk).

V acylglyceroloch rastlín a rýb je vyšší obsah nenasýtených mastných kyselín, pri bežnej izbovej teplote sú kvapalné. Výnimkou je napríklad kakaové maslo, ktoré je tuhým rastlinným tukom.

V acylglyceroloch živočišneho pôvodu prevládajú nasýtené mastné kyseliny, pri bežnej izbovej teplote majú tuhé skupenstvo.

Najčastejším spôsobom získavania rastlinných olejov je lisovanie semien alebo extrakcia vhodným organickým rozpúšťadlom. Pre uchovanie biologickej hodnoty je vhodnejšie lisovanie za studena ako lisovanie pri zvýšenej teplote. Rastlinné oleje patria k perspektívnym obnoviteľným zdrojom uhlíkatých zlúčenín. Z repkového oleja sa už dnes vyrába bionafta. Živočišne tuky sa získavajú aj vyškvarovaním.

## Vlastnosti a význam tukov

Prírodné tuky sú vždy zmesou rôznych acylglycerolov. Tuky, ktoré neobsahujú prímese, sú bezfarebné látky bez chuti a zápachu. Tuky, vystavené vzdušnému kyslíku účinkom baktérii, veľmi ľahko podliehajú oxidácii, pri ktorej sa reťazec mastnej kyseliny štiepi na aldehydy, ketóny a nižšie karboxylové kyseliny. Prejaví sa to ich žltnutím a neprijemným zápachom. Tuky pritom strácajú svoju biologickú hodnotu a znehodnocované sú aj látky, ktoré sú v nich rozpustené.

Z biologického hľadiska majú tuky pre organizmus vysokú energetickú hodnotu. Ich oxidáciou sa získa takmer dvojnásobné množstvo energie ako pri oxidácii sacharidov (kap. 10.4). Nadmerný príjem lipidov, podobne ako aj nadmerný príjem sacharidov, prispieva k vzniku **obezity** (kap. 8.4.6).

Ľudský tuk obsahuje vo svojich molekulách predovšetkým kyselinu palmitovú, stearovú a olejovú, v malom množstve kyselinu linolovú a linolénovú. V ľudskom tukovom tkanive sa nachádza aj malé množstvo acylcholesterolov, fosfolipidov, vitamínov a farbív.

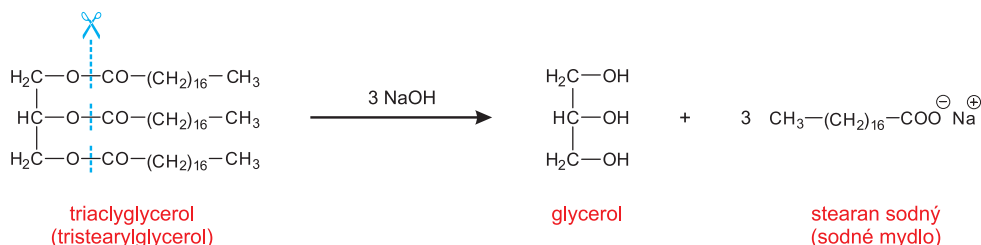
## Stužovanie tukov

Z olejov je možné pripraviť tuhé tuky požadovaných vlastností, ako napríklad vyššia odolnosť proti žltnutiu či zníženiu nepriemného zápachu. Tento dej sa nazýva **stužovanie tukov**. Stužené tuky sú podstatne stálejšie ako pôvodné oleje. V každodennom živote sa s nimi bežne stretávame v podobe tuhých pokrmových tukov nazývaných margaríny. Technologický postup prípravy stužených tukov, založený na katalytickej hydrogenácii, je dnes nahrádzaný modernejšími postupmi – tzv. interesterifikácia, ktorou sa výrazne znižuje podiel trans-mastných kyselín v konečnom produkte.

## Hydrolyza acylglycerolov, zmydelňovanie

Tak ako iné estery, aj acylglyceroly je možné hydrolyticky štiepiť na glycerol a mastné kyseliny. Hydrolyza sa môže uskutočniť pôsobením minerálnych kyselín, alkalických hydroxidov alebo v organizme pôsobením enzýmov nazývaných **lipázy**.

Pri **alkalickej hydrolyze** vznikajú soli karboxylových kyselín, známe pod názvom **mydlá** (sodné alebo draselné soli mastných kyselín). Preto sa alkalická hydrolyza mastných kyselín nazýva **zmydelňovanie (saponifikácia)**.



Obr. 2.2 Alkalická hydrolyza acylglycerolov – zmydelňovanie

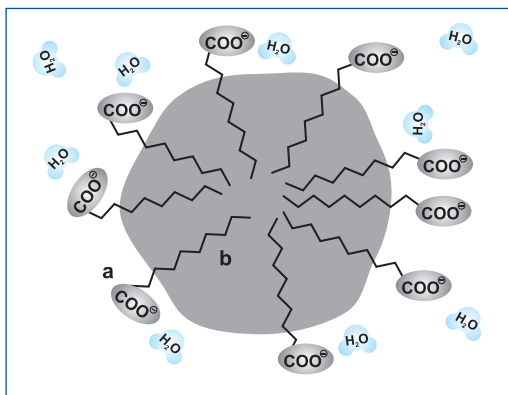
Sodné mydlá sú tuhé a používajú sa ako čistiace alebo pracie prostriedky. Draselné mydlá sú mazľavé a používajú sa na prípravu dezinfekčných prostriedkov (napr. ajatín, septonex a pod.).

## POKUS

### Alkalická hydrolyza acylglycerolov, príprava mydla

V malej kadičke zmiešame asi 1 cm<sup>3</sup> stolového oleja s 5 cm<sup>3</sup> NaOH (c = 7 mol·dm<sup>-3</sup>) a niekoľkými kvapkami etanolu (φ = 0,96). Zmes za stáleho miešania opatrne zahrievame 15 – 20 min. Ochladením zmesi sa vytvoria dve vrstvy. Vrchná vrstva je tuhé mydlo, spodnú vrstvu tvorí glycerol a NaOH.





Čistiaca schopnosť mydiel vyplýva zo vzájomného vzťahu nepolárnych látok k nepolárnym (hydrofóbnym) a polárnym látok k polárnym (hydrofilným). Nepolárny uhľovodíkový reťazec mastnej kyseliny sa orientuje smerom k nepolárnej mastnej nečistote (prací účinok), kým polárna karboxylová skupina smeruje do vodnej fázy a tým umožní rozptýlenie mastnej látky (napr. nečistoty) do polárneho prostredia (emulgácia).

Obr. 2.3 Orientácia molekúl mydla na rozhraní mastnej nečistoty a vody

(a) polárna karboxylová skupina,  
(b) nepolárny uhľovodíkový reťazec mastnej kyseliny.

## POKUS

### Emulgačná schopnosť mydla

V skúmavke pretrepeme niekoľko kvapiek oleja s vodou a vzniknutú emulziu necháme odstáť. Po chvíli sa v skúmavke vytvoria dve vrstvy. Do sústavy v skúmavke pridáme malé množstvo mydlového roztoku a zmes pretrepeme. Vznikne jemná emulzia, v ktorej sa ani po dlhšom čase neoddelia dve vrstvy.

## 2.1.2 Vosky

Vosky tvoria významnú skupinu jednoduchých lipidov. Sú to tuhé nepolárne a chemicky stabilné látky, omnoho odolnejšie voči hydrolyze ako acylglyceroly.

Vosky sú **estery vyšších karboxylových kyselín a vyšších jednosýtnych alkoholov.**

Najčastejšími vyššími jednosýtnymi alkoholmi sú napríklad cetylalkohol  $C_{16}H_{33}OH$ , stearylalkohol  $C_{18}H_{37}OH$  alebo myricylalkohol  $C_{30}H_{61}OH$ .

Vosky sa vyskytujú v rastlinných aj živočíšnych organizmoch. Ich funkcia súvisí predovšetkým s ich schopnosťou odpudzovať vodu. Tvoria ochranný povlak niektorých orgánov, čím chránia rastliny pred vysychaním (obr. 2.4). V telách živočíchov sú obsiahnuté predovšetkým vo vlasoch, vlne a kožušine. Slúžia tiež ako stavebné látky, včelie plásty. Zo živočíšnych voskov sa v každodennom živote používajú najmä včelí vosk a lanolín (vosk z ovčej vlny), a to pri príprave kozmetických výrobkov a vo veľkej miere vo farmaceutickom priemysle.



Obr. 2.4 Vosky tvoria na povrchu listov nepriepustnú vrstvičku

## 2.2 Štruktúra a vlastnosti zložených lipidov

Zložené lipidy sa od jednoduchých odlišujú tým, že okrem mastných kyselín a alkoholov obsahujú vo svojich molekulách ďalšiu zložku. Predstavujú veľmi významnú skupinu látok, pretože sú základnou stavebnou zložkou **biologických membrán**. Molekuly zložených lipidov majú hydrofóbnu (nepolárnu) aj hydrofilnú (polárnu) časť, sú amfifilné.

### 2.2.1 Fosfolipidy

Fosfolipidy obsahujú vo svojich molekulách okrem mastnej kyseliny a alkoholu (glycerol alebo sfingozín) aj estericky viazanú kyselinu trihydrogenfosforečnú. Obsahujú aj ďalšie zložky, napríklad aminokyselinu serín alebo aminoalkoholy etanolamín a cholín. Príkladom fosfolipidu je *lecitín* (obr. 2.5).

Fosfolipidy odvodené od glycerolu nazývame *glycerofosfolipidy*, fosfolipidy odvodené od sfingozínu nazývame *sfingolipidy*.

Potravinovým zdrojom fosfolipidov sú pečeň, obličky, mozog a pod. Vysoký obsah fosfolipidov je v plodoch sóje.

### 2.2.2 Glykolipidy

Molekuly glykolipidov obsahujú okrem mastnej kyseliny a alkoholu aj sacharidovú zložku, najčastejšie glukózu alebo galaktózu. Poruchy odbúravania glykolipidov v organizme môžu spôsobovať ochorenia nervovej sústavy.

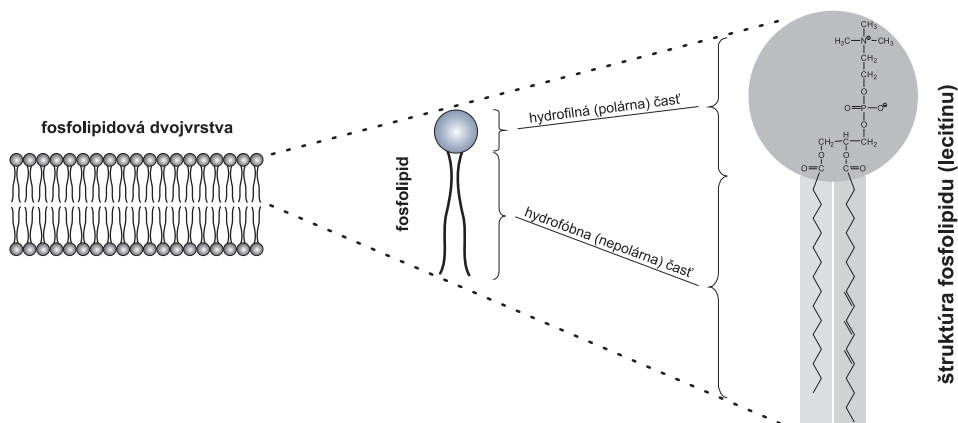
### 2.2.3 Biologické membrány

Základnými stavebnými zložkami bunkových membrán sú lipidy a bielkoviny. Z lipidov sú to predovšetkým fosfolipidy, ale aj glykolipidy a steroly (časť 2.3.2). Lipidové a bielkovinové zloženie membrán sa líši v závislosti od relatívneho zastúpenia lipidu a bielkoviny, ako aj od prítomnosti určitého druhu lipidu a bielkoviny.

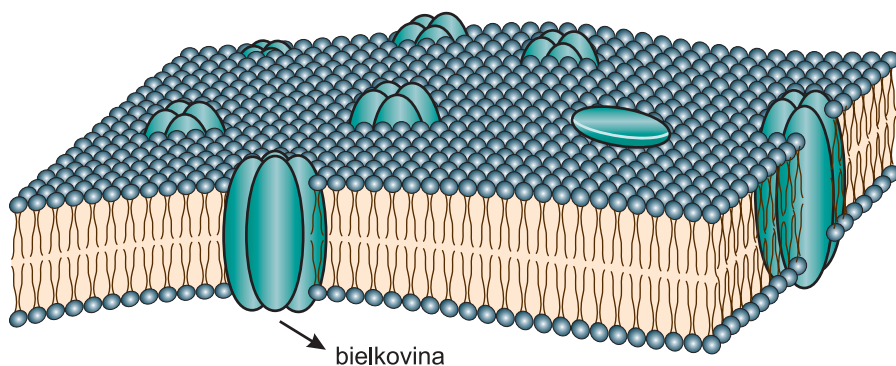
Biologické membrány sú súčasťou každej bunky. Plnia rôzne funkcie, ako napríklad:

- ohraničujú bunky a oddeľujú ich od okolia,
- zabezpečujú heterogénnosť prostredia v bunke, oddeľujú vnútrobunkový priestor na organely,
- zabezpečujú zložité metabolické pochody, metabolické kontakty,
- zabezpečujú komunikáciu medzi bunkou a okolím.

Základnou **štruktúrnou zložkou** biologických membrán sú **fosfolipidové dvojvrstvy** (obr. 2.5). Ich vytvorenie umožňuje prítomnosť hydrofilnej (polárnej) a hydrofóbnej (nepolárnej) časti molekuly. Podstatou vzniku fosfolipidovej dvojvrstvy vo vodnom prostredí sú hydrofóbne interakcie, teda schopnosť nepolárnych uhlíkových reťazcov mastných kyselín orientovať sa navzájom k sebe a odpudzovať molekuly vody. Tvoria tzv. hydrofóbne vnútro. Hydrofilné (polárne) časti prostredníctvom vodíkových väzieb a elektrostatických interakcií interagujú s vodou a nachádzajú sa tak na povrchu dvojvrstvy. Základnou **funkčnou zložkou** biologických membrán sú **bielkoviny**.



Obr. 2.5 Fosfolipidová dvojvrstva



Obr. 2.6 Biologická membrána

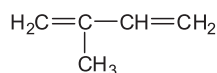
## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



### 2.3 Štruktúra a vlastnosti izoprenoidných lipidov

Izoprenoidy sú prírodné zlúčeniny lipidovej povahy, vznikajúce v rastlinných a živočíšnych organizmoch, ako aj v mikroorganizmoch. Ich štruktúrnou jednotkou je izoprén (2-metyl-buta-1,3-dién). Medzi izoprenoidy patria terpény a steroidy.



izoprén

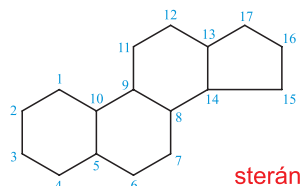
#### 2.3.1 Terpény

Terpény sa nachádzajú predovšetkým v rastlinách. Ich molekuly obsahujú dve a viac (až polyterpény) izoprénových jednotiek. Sú podstatnou zložkou rastlinných silíc (éterických olejov), živíc a balzamov. Sú dôležitými látkami pre vznik karotenoidov, spôsobujúcich sfarbenie koreňov, plodov a listov rastlín (*β-karotén* v mrkve, *lykopen* v paradajkách atď.).

Medzi terpény patria napríklad *limonén* – hlavná zložka citrusových éterických olejov, *mentol* – zložka silice mäty piepornej a *vitamín A*. Z polyterpénov je to napríklad *prírodný kaučuk* – latex a jeho stereoisomér *gutaperča*.

## 2.3.2 Steroidy

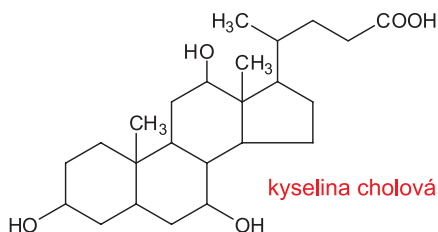
Steroidy tvoria najdôležitejšiu a najrozšírenejšiu skupinu izoprenoidov. Zvyčajne sú fyziologicky veľmi účinné. Ich základnou štruktúrnou jednotkou je tetracyklický uhľovodík sterán. Podľa výskytu, fyziologického účinku a aj štruktúry delíme steroidy na steroly, žľožové kyseliny a steroidné hormóny.



**Steroly** sa vyskytujú v živočíchoch (zoosteroly), rastinách (fytosteroly) a hubách (mykosteroly). Najrozšírenejším zoosterolom je *cholesterol* (kap. 2.3.2.1). Štruktúru blízku cholesterolu má *ergosterol*, nachádzajúci sa v kvasniciach. Pôsobením UV žiarenia sa premieňa na ergokalciferol – vitamín D<sub>2</sub>.

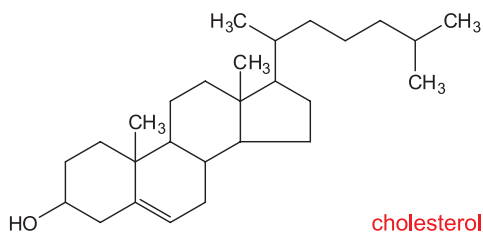
**Žľožové kyseliny** sú hlavnou súčasťou žľče, tvoria sa v pečeni. Vďaka svojim emulgačným vlastnostiam sa zúčastňujú na trávení a vstrebávaní tukov v organizme. Najznámejšou žľožovou kyselinou je *kyselina cholová* a *kyselina deoxycholová*.

**Steroidné hormóny** predstavujú skupinu *pohlavných hormónov* (testosterón, estrogény, gestagény atď.) a *hormónov kôry nadobličiek* (kortikoidy).



### 2.3.2.1 Cholesterol

Cholesterol sa nachádza v živočíšnych tkanivách voľný alebo estericky viazaný s vyššou karboxylovou kyselinou. Zúčastňuje sa na tvorbe plazmatickej membrány živočíchov a moduluje jej tekutosť a priepustnosť. Je východiskovou látkou pre biosyntézu ďalších dôležitých látok steroidnej povahy – žľožových kyselín a steroidných hormónov.



Organizmus dospelého človeka obsahuje až 100 g cholesterolu, časť prijíma potravou a časť si sám syntetizuje v pečeni.

Napriek tomu, že cholesterol je pre organizmus nevyhnutný, jeho množstvo v krvi je prísne regulované. Sledovanie množstva cholesterolu v krvi človeka má mimoriadny význam, pretože sa patologicky ukladá v stenách ciev a vyvoláva ich kôrnatenie, aterosklerózu. Taktiež je pôvodcom vzniku niektorých typov žľožových kameňov. Podobne ako vysoká hladina cukru v krvi, aj zvýšená hladina cholesterolu patrí k veľmi závažným ochoreniam, pretože neboli a v mladšom veku sa nijako výrazne neprejavuje. Cholesterol spolu s fajčením a vysokým krvným tlakom patrí do skupiny najzávažnejších rizikových faktorov ochorenia srdca a ciev človeka.

V organizme sa cholesterol vo forme esterov cholesterolu transportuje pomocou lipoproteínových častíc (kap. 4). Je hlavnou zložkou HDL (*High Density Lipoprotein*) a LDL (*Low Density Lipoprotein*) lipoproteínov, ktorých funkciou je prenos lipidov krvou. HDL viazaný cholesterol sa bežne označuje ako tzv. „dobrý cholesterol“, pretože tieto častice zabezpečujú prenos cholesterolu z tkanív do pečene. Naopak LDL častice prenášajú cholesterol z pečene do tkanív. Jeho nadmerný prísun je však škodlivý, a preto sa LDL viazaný cholesterol niekedy označuje ako tzv. „zlý cholesterol“. Hladina celkového cholesterolu v krvi sa vypočíta z množstiev LDL a HDL cholesterolov.

Hladina LDL-cholesterolu je presnejším indikátorom ochorenia vencovitých tepien ako hladina celkového cholesterolu. Vyššia hladina HDL-cholesterolu v krvi je znakom dobrej schopnosti vylúčiť nadbytočný cholesterol z organizmu. Hodnoty hladín celkového cholesterolu v krvi uvádza tabuľka 2.2.

Tab. 2.2 Hodnoty látkovej koncentrácie celkového cholesterolu v krvi

Hladina	mmol·dm <sup>-3</sup>
Odporúčaná	do 5,00
Zvýšená	5,01 – 6,50
Riziková	nad 6,50

Zvýšená hladina lipidov vrátane triacylglycerolov (triglyceridov) a cholesterolu v krvi sa nazýva **hyperlipidémia**. Zvýšená hladina cholesterolu v krvi sa nazýva **hypercholesterolémia**.

Ľudia so zvýšenou hladinou cholesterolu by mali venovať väčšiu pozornosť stravovacím návykom, upraviť svoju životosprávu a životný štýl, dodržiavať pitný režim, viac času venovať pohybu a vyhýbať sa stresu. Prednosť by mali dávať kvalitným rastlinným tukom a olejom, ktoré obsahujú vysoký podiel omega 3 a omega 6<sup>1</sup> mastných kyselín, priaznivo pôsobiacich na srdcovocievny systém a znižujúcich hladinu LDL-cholesterolu v krvi. Medzi ďalšie zásady „*nízkocholesterolovej diéty*“ patrí dostatočný príjem ovocia, zeleniny, surového cesnaku, potravín bohatých na vlákniny, strukovín a **lecitínu**. Potrebné je vyhýbať sa nadmernému soleniu jedál a konzumácii potravín s vysokým obsahom nasýtených tukov (predovšetkým tuky živočíšneho pôvodu – masť, maslo, mäso, údeniny, tučné syry, plnotučné mlieko), konzumácii vyprážaných jedál. Ak nepomáha úprava jedálneho lístka a zmena životného štýlu, najúčinnjším liečivom na znižovanie hladín celkového a LDL-cholesterolu sú **statíny**, ktoré blokujú jeho tvorbu v pečeni.

Tab. 2.3 Obsah celkových lipidov a cholesterolu vo vybraných potravinách

Potravina/100 g jedlého podielu	Lipidy/g	Cholesterol/g	CSI*	Potravina/100 g jedlého podielu	Lipidy/g	Cholesterol/g	CSI*
Bravčové stehno	14,1	0,07	8,2	Slepačie vajce	11,7	0,438	25,5
Hovädzie stehno	7,7	0,12	9,4	Majonéza	86,0	0,075	31,0
Kuracie mäso	9,3	0,057	5,9	Mlieko plnotučné	3,4	0,006	2,4
Bravčová pečeň	4,8	0,34	18,4	Mlieko polotučné	2,0	0,005	1,6
Bravčová klobása	25,9	0,06	12,4	Maslo čerstvé	82,6	0,12	50,6
Malokarpatská saláma	51,4	0,119	24,6	Šľahačka	33,7	0,109	23,8
Šunka dusená	10,0	0,052	5,1	Tvarohový termix	12,1	0,018	16,3
Údená slanina	91,6	0,068	35,7	Tvaroh polotučný	5,1	0,017	3,9
Bravčová masť	99,5	0,09	48,7	Ementál (45 % tuku)	29,7	0,092	22,6
Pstruh	4,2	0,222	11,7	Perla	84,1	< 0,001	81,9
Losos	11,3	0,07	5,2	Lístkové cesto	28,8	0,034	2,3
Treska obyčajná	0,4	0,043	2,3	Grahamový rožok	4,9	0,003	3,8
Tuniak obyčajný	8,4	0,038	3,6	Vianočka	9,3	0,005	12,6

\* CSI „*Cholesterol/saturated fat index*“ uľahčuje výber potravín, ktoré majú nízky obsah cholesterolu, ako aj nasýtených tukov. Čím nižšia je hodnota CSI, tým je potravina „*zdravšia*“.

Cholesterol a iné parametre bezplatne odmerajú aj v poradniach zdravia pri jednotlivých regionálnych úradoch verejného zdravotníctva ([www.uvzsr.sk](http://www.uvzsr.sk)). Priemerné hladiny cholesterolu stúpajú u mužov aj u žien s vekom. U mužov dosahujú najvyššie hodnoty vo veku 45 – 64 rokov, u žien takmer o 10 rokov neskôr, čo súvisí s nástupom menopauzy, keď sa skončí estrogénová (ženský pohlavný hormón) ochrana.

1 Označenie omega 3 a omega 6 mastných kyselín súvisí s polohou prvej dvojitej väzby v reťazi, počítanej v smere od posledného atómu uhlíka (omega uhlík) k prvému atómu uhlíka (funkčná karboxylová skupina). Pri omega 3 mastných kyselinách (napr. kyselina linolénová) vychádza prvá dvojitá väzba z tretieho atómu uhlíka, kým pri omega 6 mastných kyselinách (napr. kyselina linolová) zo šiesteho atómu uhlíka.

## KLÚČOVÉ UČIVO



- Lipidy sú prírodné organické látky, vo vode nerozpustné.
- Kritériom biologickej hodnoty lipidov je obsah nenasýtených mastných kyselín v ich molekulách.
- Lipidy sú stavebnými zložkami biologických membrán, sú najefektívnejšou zásobárnou energie, majú ochrannú funkciu a plnia funkciu tepelnej izolácie a ďalšie špecifické funkcie. Vytvárajú prostredie, v ktorom sa rozpúšťajú biologicky významné nepolárne látky.
- Lipidy sa delia na jednoduché, zložené a izoprenoidné. Medzi jednoduché lipidy sa zaraďujú acylglyceroly a vosky, medzi zložené lipidy patria fosfolipidy (obsahujú  $H_3PO_4$ ) a glykolipidy (obsahujú sacharid). Do skupiny izoprenoidných lipidov patria terpény a steroidy.
- Acylglyceroly sú estery vyšších karboxylových kyselín a trojsýtného alkoholu glycerolu. Podľa druhu vyššej karboxylovej kyseliny sa delia na tuky a oleje.
- Mydlá sú sodné alebo draselné soli mastných kyselín. Vznikajú alkalickou hydrolyzou acylglycerolov, nazývanou zmydelňovanie.
- Vosky sú estery vyšších karboxylových kyselín a vyšších jednosýtnych alkoholov.
- Základnou štruktúrnou zložkou biologických membrán sú fosfolipidové dvojvrstvy. Základnou funkčnou zložkou biologických membrán sú bielkoviny.
- Najvýznamnejším steroidom je cholesterol. Jeho koncentrácia v krvi človeka je prísne sledovaným údajom. V súčasnosti je odporúčaná hodnota koncentrácie celkového cholesterolu v krvi  $5,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .
- Cholesterol spolu s fajčením a vysokým krvným tlakom patrí do skupiny najzávažnejších rizikových faktorov ochorení srdca a ciev človeka.
- Ľudia so zvýšenou hladinou cholesterolu by mali venovať väčšiu pozornosť stravovacím návykom, upraviť životosprávu a životný štýl, dodržiavať pitný režim, viac času venovať pohybu a vyhýbať sa stresu.

## OTÁZKY A ÚLOHY



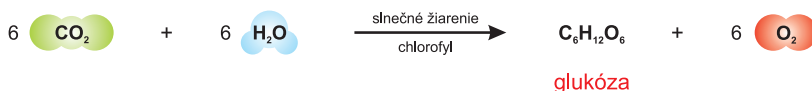
1. Vysvetlite, prečo sa tuky rozpúšťajú v organických rozpúšťadlách, zatiaľ čo vo vode sú nerozpustné.
2. Medzi lipidy patria:
  - a) deriváty vyšších mastných kyselín,
  - b) estery karboxylových kyselín a etanolu,
  - c) estery vyšších mastných kyselín a alkoholov,
  - d) aldehydy vyšších mastných kyselín a glycerolu.
3. Vyberte, ktoré tvrdenia o jednoduchých lipidoch sú správne:
  - a) plnia funkciu tepelnej izolácie organizmu,
  - b) majú hydrofilné vlastnosti,
  - c) sú významnou súčasťou biologických membrán,
  - d) vo svojich molekulách majú viazaný sacharid.

4. Mydlá vznikajú:
  - a) chemickou reakciou hydroxidu sodného s glycerolom,
  - b) katalytickou hydrogenáciou,
  - c) alkalickou hydrolyzou acylglycerolov,
  - d) chemickou reakciou hydroxidu sodného s mastnou kyselinou.
5. Medzi esenciálne mastné kyseliny patrí:
  - a) kyselina palmitová,
  - b) kyselina linolová,
  - c) kyselina chlorovodíková,
  - d) kyselina olejová.
6. Zo skupiny látok vyberte tie, ktoré patria medzi zložené lipidy: sfingozín, glykolipidy, glycerol, kyselina stearová, fosfolipidy.
7. Kritériom biologickej hodnoty lipidov je obsah:
  - a) esterov vyšších mastných kyselín a glycerolu,
  - b) nenasýtených mastných kyselín,
  - c) kyseliny olejovej,
  - d) nasýtených mastných kyselín.
8. Prečo majú rastlinné oleje pre človeka väčšiu biologickú hodnotu ako živočíšne?
9. Stuzovanie nenasýtených tukov sa uskutočňuje:
  - a) oxidáciou,
  - b) katalytickou hydrogenáciou,
  - c) esterifikáciou,
  - d) katalytickou polymerizáciou.
10. Vysvetlite podstatu žltnutia tukov.
11. Medzi vosky patrí zlúčenina, ktorá obsahuje:
  - a) glycerol a mastné kyseliny,
  - b) cetylalkohol a kyselinu palmitovú,
  - c) stearyl a kyselinu maslovú,
  - d) glycerol, mastné kyseliny a  $H_3PO_4$ .
12. Vysvetlite význam zložených lipidov v bunke.
13. Ako sa nazývajú enzýmy, ktoré hydrolyticky štiepia lipidy?
14. Čo môže zapríčiniť zvýšenú hladinu cholesterolu v krvi?
15. Uved'te potraviny, ktorým by sa mal vyhýbať človek so zvýšenou hladinou celkového cholesterolu v krvi.
16. Aký význam majú omega-3- a omega-6- mastné kyseliny v prevencii hyperlipidémie?
17. Ovplyvňuje nadmerný príjem tukov obezitu? Ak áno, ako tomu možno predchádzať?
18. Vymenujte základné funkcie biologických membrán.

### 3 SACHARIDY

Sacharidy sú najrozšírenejšie prírodné organické látky. Sú súčasťou všetkých rastlinných a živočíšnych buniek, v ktorých plnia rôzne funkcie. Ich zastúpenie v tele človeka je 0,5 g/100 g organizmu, v tele rastliny 16 g/100 g organizmu.

Zelené rastliny dokážu sacharidy syntetizovať zo vzdušného oxidu uhličitého a vody účinkom slnečného žiarenia. Tento zložitý proces – **fotosyntéza** (kap. 11.1.1) – je podmienený prítomnosťou zeleného listového farbiva – chlorofylu. Možno ho vyjadriť jednoduchou chemickou rovnicou:



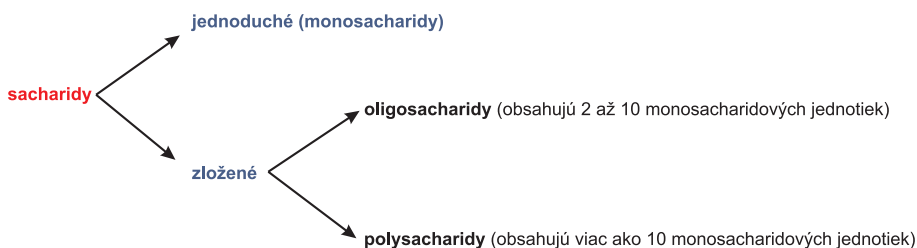
Zivočíšne organizmy prijímajú sacharidy v prevažnej miere z potravy. Ak potrava neobsahuje dostatočné množstvo sacharidov, organizmus využíva na ich syntézu aminokyseliny (z bielkovín) alebo glycerol (z tukov). Tento biochemický dej sa nazýva **glukoneogenéza** (kap. 11.1).

### Biologický význam a funkcie sacharidov

V organizme majú sacharidy niekoľko významných funkcií:

- sú jedným z hlavných **zdrojov energie** organizmov (potravinový reťazec) a zdrojom uhlíka pre heterotrofné organizmy,
- sú dôležitou **zásobárňou energie** všetkých organizmov (škrob, glykogén), podieľajú sa tiež na prenose energie medzi vnútornými orgánmi, napríklad medzi pečeňou a mozgom,
- sú **stavebnými zložkami** buniek, tkanív a pletív (celulóza),
- sú **štruktúrnymi zložkami** molekúl niektorých bielkovín (glykoproteíny), niektorých lipidov (glykolipidy) a všetkých nukleových kyselín (D-ribóza a 2-deoxy-D-ribóza),
- sú **súčasťou metabolicky aktívnych nízkomolekulových látok** bunky (niektoré vitamíny, nukleotidy, koenzýmy atď.).

### Rozdelenie sacharidov



Obr. 3.1 Rozdelenie sacharidov

### 3.1 Štruktúra a vlastnosti monosacharidov

Monosacharidy sú kryštalické látky bielej farby, dobre rozpustné vo vode. Niektoré z nich majú sladkú chuť. Spolu s niektorými oligosacharidmi, predovšetkým disacharidmi, sa nazývajú cukry. Z chemického hľadiska sú monosacharidy aldehydy alebo ketóny viacsýtnych alkoholov, preto ich možno nazvať hydroxyaldehydy alebo hydroxyketóny.



**Podľa funkčnej skupiny, ktorú monosacharid vo svojej molekule obsahuje, rozdeľujeme monosacharidy na**

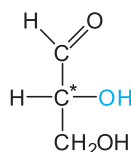
- **aldózy** – okrem hydroxylových skupín obsahujú aj aldehydovú skupinu –CHO,
- **ketózy** – okrem hydroxylových skupín obsahujú aj ketónovú skupinu –CO.

**Podľa počtu atómov uhlíka v molekule rozdeľujeme monosacharidy na:**

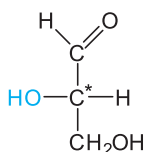
- triózy, tetrózy, pentózy, hexózy, heptózy, októzy a nonózy.

Najjednoduchšími monosacharidmi sú glycerinaldehyd a dihydroxyacetón, ktoré sa v živých organizmoch nachádzajú vo fosforylovej forme. Glycerinaldehyd je aldotrióza a dihydroxyacetón je ketotrióza.

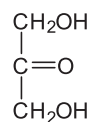
Ak porovnáme štruktúru molekuly glycerinaldehydu s dihydroxyacetónom, zistíme, že molekula glycerinaldehydu má vo svojej štruktúre na atóme uhlíka č. 2 naviazané **štyri rôzne substituenty**. Takýto atóm uhlíka **C\*** sa nazýva **chirálny** (asymetrický). Glycerinaldehyd je teda chirálna zlúčenina a existujú dva jej stereoizoméry, nazývané **enantioméry**. Tento druh izomézie sa nazýva **optická izomézie**. Ako vidieť zo vzorcov D- a L-glycerinaldehydu, oba enantioméry sú si navzájom zrkadlovými obrazmi. D-glycerinaldehyd má vo vzorci –OH skupinu na chirálnom uhlíku, umiestnenú vpravo (lat. *dexter* = pravý), L-glycerinaldehyd vľavo (lat. *laevus* = ľavý).



D-glycerinaldehyd



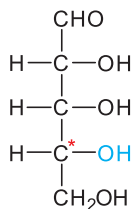
L-glycerinaldehyd



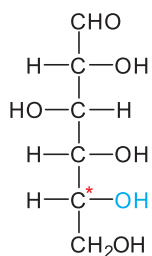
dihydroxyacetón

Sacharidy, s výnimkou dihydroxyacetónu, obsahujú vo svojej molekule aspoň jeden chirálny atóm uhlíka. Od D-glycerinaldehydu sa odvodzujú rady D- a od L-glycerinaldehydu rady L- sacharidov. Pri určovaní D- alebo L- radu sa zohľadňuje poloha –OH skupiny na poslednom chirálnom atóme uhlíka (označený červenou \*) v susedstve skupiny –CH<sub>2</sub>OH a porovnáva sa s konfiguráciou molekuly glycerinaldehydu (pozri vzorce nižšie).

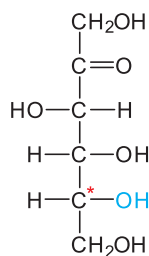
V prírode výrazne prevláda výskyt D- sacharidov. Najdôležitejšie z nich sú pentózy (napríklad D-ribóza) a hexózy (napríklad D-glukóza, D-fruktóza, D-galaktóza).



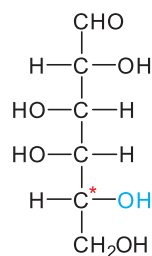
D-ribóza



D-glukóza



D-fruktóza



D-galaktóza

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Počet možných konfiguračných izomérov pre danú chirálnu molekulu je daný číslom  $2^n$ , kde  $n$  je vo všeobecnosti počet chirálnych centier, v prípade sacharidov počet chirálnych atómov uhlíka. Napríklad aldotriózy môžu tvoriť len dva izoméry ( $2^1$ ), aldohexózy šesťnásť izomérov ( $2^4$ ), pričom polovica z nich sú D-enantioméry a polovica L-enantioméry. Ketózy pri rovnakom počte atómov uhlíka v molekule majú o jeden chirálny atóm uhlíka menej ako aldózy, a preto tvoria menší počet izomérov. Kethexózy tvoria napríklad len osem izomérov ( $2^3$ ).

Z chemického hľadiska sú obidve konfigurácie enantiomérov rovnocenné. Niektoré ich fyzikálne vlastnosti sú však odlišné, príkladom je otáčavosť roviny polarizovaného svetla. D- a L-enantioméry sú opticky aktívne, otáčajú túto rovinu o rovnaký uhol, ale do opačného smeru. Preto sa nazývajú aj **optické antipódy**. Zmes takýchto antipódov v pomere 1 : 1 je opticky neaktívna a nazýva sa **racemická zmes – racemát**.

## POKUS

## Dôkaz sacharidov – Molischova reakcia

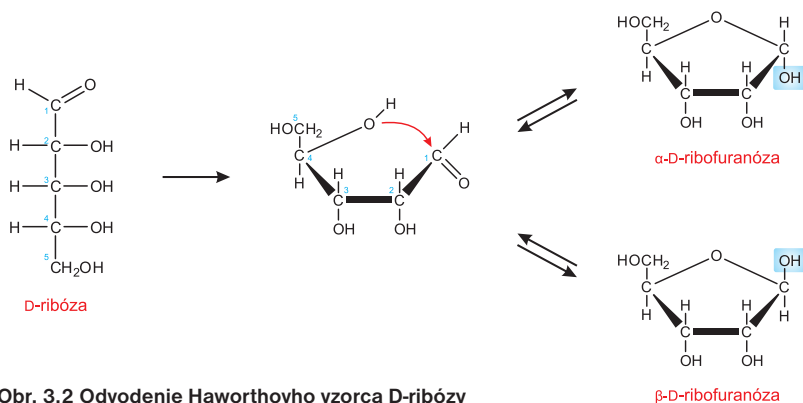
K 2 cm<sup>3</sup> roztoku glukózy alebo iného sacharidu pridáme 4 kvapky Molischovho činidla ( $\omega = 0,10$  roztok 1-naftolu v 96 % etanole) a zmes podvrstíme rovnakým objemom koncentrovanej kyseliny sírovej. Jemným premiešaním zmesi sa na rozhraní vrstiev vytvorí červenofialový až modrofialový prstenec.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

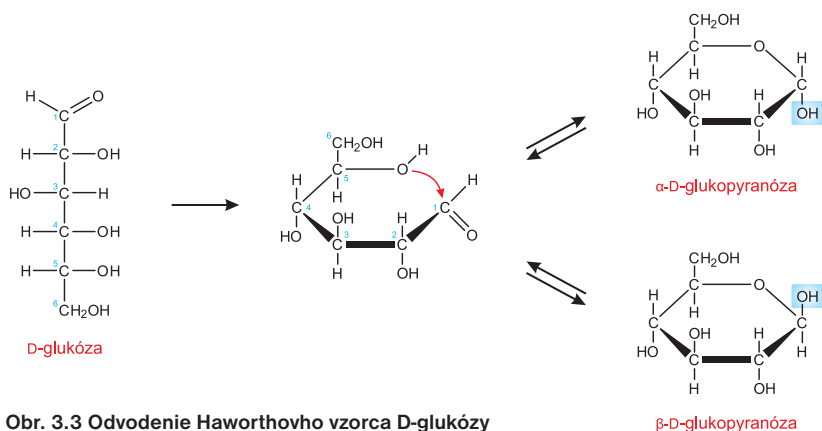
++



Acyklické (Fischerove) vzorce nevystihujú presne štruktúru a vlastnosti monosacharidov. Napríklad glukóza neposkytuje všetky reakcie aldehydov, prípadne pozitívny sa stávajú až po dlhšom čase. Vysvetlením je to, že molekuly monosacharidov nie sú lineárne, ale cyklické. Aldehydová (ketónová) skupina na prvom (druhom) atóme uhlíka sa priblíži k hydroxylovej skupine, naviazanej väčšinou na poslednom chirálnom uhlíku tej istej molekuly, a zreaguje s ňou za vzniku vnútornej (intramolekulovej) poloacetálovej (poloketálovej) väzby. Vznikajú 5- alebo 6-článkové cyklické štruktúry s atómom kyslíka v cykle. Päťčlánkové cyklické štruktúry sacharidov sa nazývajú furanózy a šesťčlánkové cyklické sacharidy pyranózy (obr. 3.2, 3.3). Vzorce cyklickej štruktúry sa nazývajú Haworthove vzorce.



Obr. 3.2 Odvodenie Haworthovho vzorca D-ribózy



V cyklických štruktúrach D- sacharidov sa  $-\text{CH}_2\text{OH}$  skupina nachádza nad rovinou cyklu, v cyklických formách L- sacharidov pod rovinou cyklu.

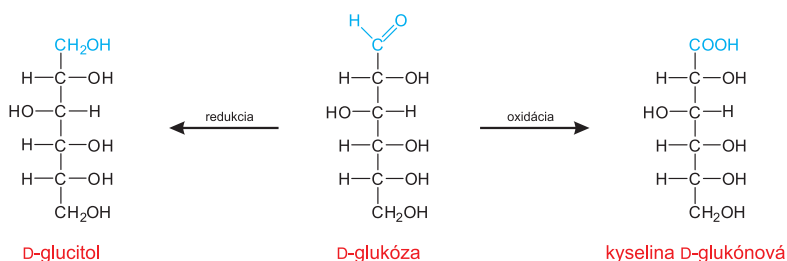
Ak sa poloacetálová hydroxylová skupina nachádza na opačnej strane voči rovine cyklu ako  $-\text{CH}_2\text{OH}$  skupina na poslednom chirálnom uhlíku, príslušná cyklická forma sa označuje  **$\alpha$ -anomér**. Ak sa poloacetálová hydroxylová skupina nachádza na rovnakej strane voči rovine cyklu ako  $-\text{CH}_2\text{OH}$  skupina na poslednom chirálnom uhlíku, cyklická forma sa označuje  **$\beta$ -anomér**.

Na základe vyššie uvedených definícií možno konštatovať, že: v rade D-sacharidov je  $\alpha$ - poloacetálová hydroxylová skupina umiestnená vždy pod rovinou cyklu,  $\beta$ -poloacetálová hydroxylová skupina vždy nad rovinou cyklu. V rade L-sacharidov je to opačne.

### 3.1.1 Chemické vlastnosti monosacharidov

Reaktivita monosacharidov je spôsobená prítomnosťou niekoľkých funkčných skupín. Z chemických reakcií sú významné oxidácie a redukcie monosacharidov, predovšetkým z dôvodu prítomnosti aldehydovej skupiny v molekule aldóz.

Miernou oxidáciou aldóz sa táto aldehydová skupina oxiduje na karboxylovú skupinu a vznikajú **aldónové kyseliny**. Najznámejšou z nich je kyselina **D-glukónová**, ktorá vzniká oxidáciou D-glukózy. Redukciou aldehydovej skupiny vznikajú sacharidové alkoholy. Mnohé z nich sa používajú ako náhradné sladidlá. Napríklad D-glucitol (sorbit), ktorý vzniká redukciou D-glukózy.



## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Okrem oxidácie aldehydovej skupiny v molekule monosacharidov sa môže oxidovať primárna alkoholová skupina (na poslednom atóme uhlíka v reťazci) za zachovania aldehydovej skupiny. Vznikajú **urónové kyseliny**. V prípade oxidácie tejto alkoholovej skupiny v molekule D-glukózy vzniká kyselina **D-glukurónová**. Ak dôjde k oxidácii aldehydovej aj primárnej alkoholovej skupiny, vznikajú dikarboxylové **aldárové kyseliny**. V prípade takejto oxidácie D-glukózy vzniká kyselina **D-glukárová**. Kyseliny vznikajúce oxidáciou funkčných skupín sacharidov sa nazývajú aj **cukrové kyseliny**. Sú stavebnými jednotkami niektorých polysacharidov a podieľajú sa aj na niektorých detoxikačných dejoch.

Medzi významné deriváty monosacharidov patria aminosacharidy a estery monosacharidov. Aminosacharidy vznikajú nahradením jednej hydroxylovej skupiny v molekule monosacharidu aminosovú skupinou. Medzi najvýznamnejšie patrí D-glukozamin, nachádzajúci sa v chrupkách atď. Estery monosacharidov vznikajú reakciou monosacharidov s kyselinami, biologicky najvýznamnejšie sú estery kyseliny trihydrogenfosforečnej. Významným derivátom sacharidov je kyselina **L-askorbová**, známa pod názvom **vitamín C**.

### 3.1.2 Biologicky významné monosacharidy

**D-glukóza** je v bežnom živote známa aj pod názvom hrozňový či škrobový cukor. Je jedným z najvýznamnejších a najrozšírenejších sacharidov. Nachádza sa v ovoci, v mede. Je základným sacharidom živočíšnych organizmov, v bunke sa vyskytuje prevažne vo forme esteru s kyselinou trihydrogenfosforečnou. Viazaná glukóza sa nachádza v mnohých disacharidoch a polysacharidoch.

Glukóza je stálou súčasťou krvi, jej hladina v nej sa nazýva **glykémia**. Látková koncentrácia glukózy v krvnej plazme je regulovaná hormonálne, jej normálna hodnota je v intervale  $4,4 - 5,6 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Poruchy hladiny glukózy v krvi sú príčinou ochorenia **cukrovka** (diabetes). Diabetici majú hladinu glukózy v krvi zvýšenú, nazýva sa to **hyperglykémia**. Pokles hladiny glukózy v krvi na polovicu môže spôsobiť mozgovú disfunkciu, pri ešte väčšom poklese hrozí upadnutie do kómy, až nezvratné poškodenie a nakoniec smrť. Glukóza je ľahko stráviteľná, v medicíne sa jej roztok používa ako umelá výživa. Pacientom sa podáva vo forme infúzií priamo do žily (intravenózne). Zahriatím glukózy vzniká tmavohnedý karamel, ktorý sa v potravinárskom priemysle používa ako hnedé farbivo.

**Alkoholovým kvasením** roztoku glukózy účinkom kvasiniek za neprítomnosti kyslíka (fermentáciou) vzniká etanol a oxid uhličitý (kap. 10.1.2.2). Tento proces je súčasťou výroby vína či piva.



**Mliečnym kvasením** (siláž, kyslá kapusta) sa účinkom príslušných baktérií glukóza mení na kyselinu mliečnu (kap. 10.1.2.1).

Technicky sa glukóza vyrába hydrolýzou škrobu. Je významnou východiskovou látkou pre výrobu mnohých organických zlúčenín, napríklad etanolu, vitamínu C, kyseliny mliečnej, kyseliny citrónovej, ale aj niektorých antibiotík. Tieto výroby sa uskutočňujú pomocou mikroorganizmov a patria tak medzi **biotechnológie**.

**D-fruktóza**, tzv. ovocný cukor, sa spolu s glukózou nachádza v ovoci a mede. Je to najsladší sacharid. Je súčasťou disacharidu sacharóza (kap. 3.2.1). S D-glukózou v pomere 1 : 1 tvorí podstatu medu.

#### Hlavné zložky medu:

- 30 – 38 % fruktóza
- 26 – 33 % glukóza
- 1 – 10 % sacharóza a iné sacharidy
- 17 – 20 % voda

#### Ďalšie významné zložky medu:

- **minerály**  
(draslík, železo, meď, vápnik, fosfor, horčík, zinok atď.)
- **organické kyseliny**  
(jablčná, vínna, citrónová, octová, glukónová)
- **aminokyseliny**
- **vitamíny**
- **enzýmy, hormóny, aromatické látky atď.**



Obr. 3.4 Med

**D-galaktóza** je zložkou významného disacharidu laktózy (kap. 3.2.1), nachádzajúceho sa v mlieku. Je súčasťou niektorých lipidov, polysacharidov a oligosacharidových reťazcov glykoproteínov (kap. 4.4).

### POKUS

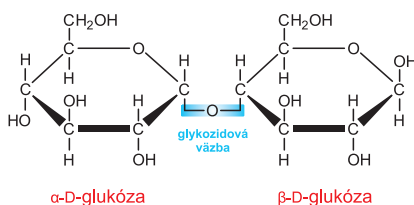
#### Rozlíšenie aldóz a ketóz – Selivanovova reakcia

K 0,5 cm<sup>3</sup> roztokov glukózy ( $w = 0,01$ ) a fruktózy ( $w = 0,01$ ) pridáme 2 cm<sup>3</sup> Selivanovovho činidla ( $w = 0,0005$ , roztok rezorcinolu v 25 %-tnej HCl). Skúmavky zahrejeme vo vriacom vodnom kúpeli a sledujeme čas, kedy sa reakčná zmes sfarbí do červena. Kým pri ketózach prebehne reakcia okamžite, reakcia s aldózami je pomalšia.

## 3.2 Zložené sacharidy

**Zložené sacharidy sa skladajú z dvoch a viacerých molekúl monosacharidov vzájomne viazaných glykozidovou väzbou.**

V závislosti od počtu monosacharidových jednotiek ich rozdeľujeme na oligosacharidy, tvorené 2 až 10 monosacharidovými jednotkami, a polysacharidy, tvorené viac ako 10 monosacharidovými jednotkami (obr. 3.1). Z oligosacharidov sú najvýznamnejšie **disacharidy**, tvorené 2 molekulami monosacharidov viazaných glykozidovou väzbou.



### 3.2.1 Disacharidy

Najvýznamnejšími disacharidmi, a zároveň aj oligosacharidmi, sú sacharóza, laktóza a maltóza.

**Sacharóza**, tzv. repný, trstinový cukor, sa nachádza najmä v cukrovej trstine (cukrovník) a cukrovej repe. Je to bezfarebná kryštalická látka sladkej chuti, dobre rozpustná vo vode. Zahrievaním hneď sa mení na karamel. Je najbežnejším sladidlom potravín nielen v domácnosti, ale aj v potravinárskom priemysle. Vo zvýšenej miere sa nachádza v sladených nápojoch, cukrovinkách a pod. Nadmerná konzumácia práve takéhoto druhu potravín je príčinou dnes stále častejšie sa vyskytujúcich zdravotných problémov súčasnej populácie, napríklad zubného kazu a obezity.

**Sacharóza je tvorená molekulou D-glukózy a molekulou D-fruktózy.** Hydrolyzou sacharózy kyselinami alebo enzýmami možno získať glukózu a fruktózu ako voľné monosacharidy. Enzymová hydrolyza sacharózy prebieha v tráviacom ústrojenstve včiel a jej výsledkom je med.

Tab. 3.1 Orientačný obsah sacharidov vo vybraných nápojoch a potravinách

Nápoj alebo potravina	Obsah sacharidov (hlavne sacharózy)
Coca-Cola	10 g/100 cm <sup>3</sup>
nápoj TANG	4 g/100 cm <sup>3</sup>
víno	2,5 g/100 cm <sup>3</sup>
ovocný smotanový jogurt	14 g/100 g
biely jogurt	8 g/100 g
Miláčik vanilkový	18,75 g/100 g
tyčinka Müsli	68 g/100 g
tyčinka Fit Müsli	73 g/100 g

**Laktóza**, tzv. mliečny cukor, je významnou súčasťou mlieka cicavcov a dôležitý pri výžive mláďat. Materské mlieko obsahuje 6 – 7 % laktózy, kravské 4 – 5 %. Laktóza sa podieľa na celkovej chuti mlieka. Organizmus mnohých ľudí v dospelosti nedokáže tráviť laktózu (*laktózová intolerancia*).

Laktóza je tvorená molekulou D-glukózy a molekulou D-galaktózy.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



**Maltóza**, tzv. sladový cukor, vzniká enzýmovou hydrolyzou škrobu. Maltóza je tvorená dvomi molekulami D-glukózy. V naklíčenom sladovníckom jačmeni sa nachádza enzým maltáza, ktorý štiepi maltózu na glukózu a tá môže ďalej kvasiť. Na tomto princípe je založená výroba piva.

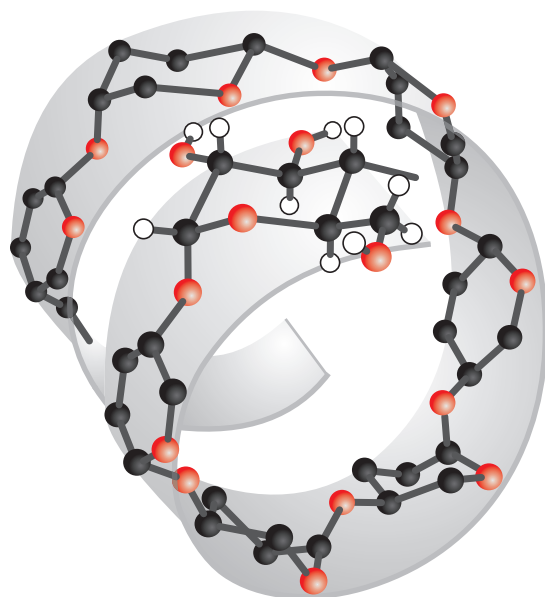
### 3.2.2 Polysacharidy

Polysacharidy sú najrozšírenejšími sacharidmi v prírode. Vznikajú spojením veľkého počtu (niekoľko desiatok až tisícov) monosacharidových jednotiek. Tvoria rozdielne dlhé a rôzne vetvené reťazce. Sú to vysokomolekulové látky. V dôsledku veľkej hodnoty relatívnej molekulovej hmotnosti sú vo vode nerozpustné, zvyčajne len napučávajú. Nemajú sladkú chuť.

Niektoré polysacharidy plnia v organizmoch **stavebnú funkciu**, iné sú významnou **zásobárňou energie a organického uhlíka**. Hydrolyzou vznikajú z polysacharidov oligo- až monosacharidy. Polysacharidy, ktorých hydrolyzou vzniká výlučne D-glukóza, sa nazývajú D-glukány. Najvýznamnejšími polysacharidmi sú škrob, glykogén a celulóza.

**Škrob** je najvýznamnejší **zásobný polysacharid rastlín**. Ukladá sa v rôznych rastlinných orgánoch. Škrob nie je jednotná látka, je zložený z dvoch samostatných polysacharidov: z **amylózy** (tvorí asi 30 % škrobu) a **amylopektínu**. Tieto polysacharidy sú si svojou štruktúrou podobné, sú tvorené len glukózovými monosacharidovými jednotkami. Amylóza má štruktúru jednoduchej závitnice (obr. 3.5), zatiaľ čo štruktúra amylopektínu je zložitejšia, sieťovito rozvetvená závitnica. Amylóza je vo vode rozpustná, amylopektín sa vo vode nerozpúšťa.

Škrob je základnou zložkou výživy mnohých živočíchov. Hlavným zdrojom škrobu sú zemiakové hľuzy a obilniny. Hydrolyzou alebo zahrievaním na vyššiu teplotu sa škrob rozkladá na *dextríny* – polysacharidy s nižšou hodnotou relatívnej molekulovej hmotnosti. Ďalšou hydrolyzou vzniká disacharid maltóza a nakoniec monosacharid D-glukóza. Tento mechanizmus je aj podstatou trávenia škrobu, ktoré sa začína už v ústnej dutine.

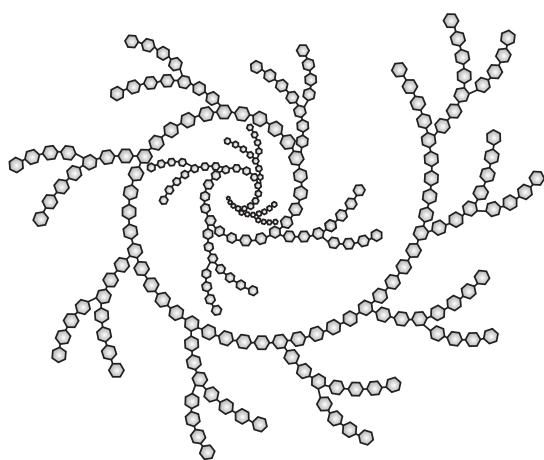


Obr. 3.5 Priestorová štruktúra amyľózy

## POKUS

### Dôkaz prítomnosti škrobu

K 2 cm<sup>3</sup> škrobového mazu pridáme niekoľko kvapiek roztoku jódu v jodide draselnom (Lugolov roztok) alebo pár kvapiek jódovej tinktúry (roztok jódu v etanole). Vznik intenzívneho modrého sfarbenia je dôkazom prítomnosti škrobu. Vzniknutú reakčnú zmes povaríme a pozorujeme odfarbenie reakčnej zmesi. Pri opätovnom ochladení roztok opäť zmodrie.



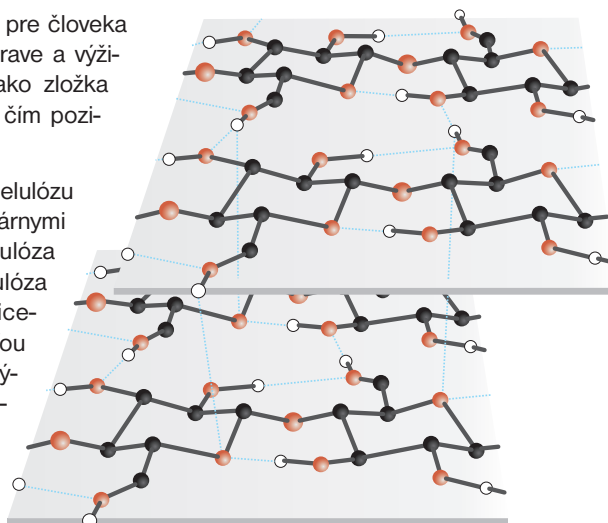
Obr. 3.6 Rozvetvená štruktúra glykogénu

**Glykogén** je najvýznamnejší **zásobný polysacharid živočíchov**, teda aj človeka. Nazýva sa aj „*živočíšny škrob*“. Jeho štruktúra je tvorená len glukózovými monosacharidovými jednotkami a je veľmi podobná štruktúre amylopektínu, ale ešte viac rozvetvená (obr. 3.6). Ukladá sa v pečeni a vo svaloch, v prípade potreby (hladovania organizmu) sa z neho uvoľňuje enzymatickým štiepením monosacharid D-glukóza, ktorá je krvou transportovaná k ostatným bunkám organizmu. Rýchlu mobilizáciu molekúl D-glukózy umožňuje práve rozvetvená štruktúra glykogénu.

**Celulóza** je oproti škrobu a glykogénu, ktoré sú zásobnými polysacharidmi, najvýznamnejší **stavebný sacharid** rastlín. Podobne ako škrob a glykogén, aj celulóza sa skladá z toho istého monosacharidu – glukózy, má však odlišné usporiadanie a priestorovú štruktúru (obr. 3.7).

Celulóza je vo vode nerozpustná, pre človeka nestráviteľná. Napriek tomu má v potrave a výžive človeka svoje významné miesto ako zložka vlákniny. Podporuje peristaltiku čriev, čím pozitívne ovplyvňuje trávenie.

Rastlinné pletivá obsahujú celulózu v podobe vlákien, ktoré sú tvorené lineárnymi reťazcami. V prírode sa vyskytuje celulóza vo veľmi čistej forme ako bavlna. Celulóza je spolu s ďalšími látkami (lignín, hemiceľulóza, živice) veľmi dôležitou súčasťou drevnej hmoty. Surová celulóza, nazývaná buničina, je surovinou pre papierský a textilný priemysel. Celulóza v sebe ukrýva viac ako polovicu všetkého organického uhlíka prítomného v biosfére.



**Obr. 3.7** Priestorová štruktúra celulózy  
Vláknitá štruktúra je stabilizovaná pomocou vodíkových väzieb.

## KLÚČOVÉ UČIVO

- Sacharidy sú najrozšírenejšie prírodné organické látky. Sú trvalou súčasťou všetkých rastlinných a živočíšnych buniek.
- Sacharidy slúžia ako zásobárne a zdroje energie, plnia stavebnú funkciu a sú štruktúrnymi zložkami molekúl niektorých látok.
- Sacharidy sa rozdeľujú na jednoduché (monosacharidy) a zložené (oligosacharidy a polysacharidy).
- Medzi monosacharidy patria aldózy (s aldehydovou skupinou) a ketózy (s ketónovou skupinou).
- K najznámejším monosacharidom patria glukóza a fruktóza.
- Zložené sacharidy sa skladajú z dvoch a viacerých molekúl monosacharidov vzájomne viazaných glykozidovou väzbou.
- Z oligosacharidov sú najvýznamnejšie disacharidy, predovšetkým sacharóza a laktóza.
- Polysacharidy sú najrozšírenejšími sacharidmi v prírode. Slúžia predovšetkým ako zásobárň energie (škrob, glykogén) a stavebný materiál (celulóza).





- Vyberte správne tvrdenia:

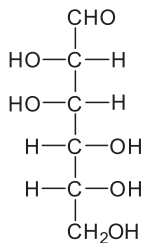
  - sacharidy sa nazývajú aj cukry,
  - sacharidy sú súčasťou nukleových kyselín,
  - všetky sacharidy majú sladkú chuť,
  - monosacharidy a oligosacharidy sú dobre rozpustné vo vode,
  - všetky sacharidy majú v molekule aspoň jeden chirálny atóm uhlíka,
  - z chemickej stránky sú sacharidy deriváty karboxylových kyselín.
- Napište štruktúrny vzorec dihydroxyacetónu.
- O sacharidoch platí, že:

  - podľa polohy -OH skupiny na poslednom chirálnom uhlíku v susedstve s -CH<sub>2</sub>OH skupinou sa rozlišujú D- a L- enantioméry sacharidov,
  - sú súčasťou rastlinných a živočíšnych tel,
  - sa rozdeľujú na monosacharidy a oligosacharidy,
  - sú najrozšírenejšie prírodné organické látky,
  - sú to hydroxyaldehydy a hydroxyketóny,
  - sú pre človeka významné len ako zdroj energie.
- Produktmi hydrolyzy sacharózy sú:

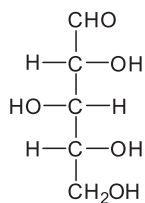
  - glukóza a voda,
  - 2 molekuly glukózy,
  - glukóza a fruktóza,
  - glukóza a galaktóza.
- Medzi polysacharidy nepatrí:

  - glykogén,
  - amylóza,
  - celulóza,
  - maltóza.
- Napište Fischerov vzorec 2-deoxy-D-ribózy.
- Napište Fischerov vzorec L-ribózy.
- Napište Fischerov vzorec L-glukózy.
- Glykogén je:

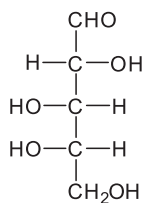
  - najvýznamnejší monosacharid,
  - polysacharid vznikajúci syntézou glukózy a fruktózy,
  - zásobný sacharid živočíchov,
  - pre človeka významný enzým.
- Podľa vzorcov sacharidov uveďte v ich názve, či ide o D-, alebo L- enantiomér.



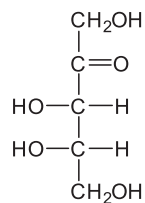
...-manóza



...-xylóza



...-arabinóza



...-ribulóza

11. Vznik modrého sfarbenia pri reakcii s jódom poskytuje:
- celulóza,
  - škrob,
  - glukóza,
  - sacharóza.
12. Vytvorte správne dvojice:
- |              |                   |
|--------------|-------------------|
| A) glukóza   | 1) ovocný cukor   |
| B) sacharóza | 2) mliečny cukor  |
| C) fruktóza  | 3) hroznový cukor |
| D) laktóza   | 4) sladový cukor  |
| E) maltóza   | 5) repný cukor    |
13. Doplňte vetu: Etanol vzniká ..... kvasením glukózy.
14. Bežným sladidlom, používaným v domácnostiach, je:
- laktóza,
  - sacharóza,
  - glukóza,
  - fruktóza.
15. Počas fotosyntézy vzniká:
- len glukóza,
  - glukóza a kyslík,
  - glukóza a oxid uhličitý,
  - kyslík a voda.
16. Trávenie sacharidov začína v ľudskom tele v:
- žalúdku,
  - ústnej dutine,
  - pažeráku,
  - tenkom čreve.
17. Nadmerné požívanie sacharózy je hrozbou predovšetkým pre vznik:
- plynatosti,
  - zubného kazu,
  - celulitidy,
  - obezity.
18. Podľa pokynov učiteľa chémie vyhľadajte v odbornej literatúre alebo na internetových portáloch informácie o význame sacharidov vo výžive človeka, ako aj hodnoty obsahu sacharidov vo vybraných potravinách, glykemický index potravín.  
Svoju pozornosť sústreďte na portál:
- európskej únie o verejnom zdraví:  
[http://ec.europa.eu/health-eu/my\\_lifestyle/nutrition/index\\_sk.htm](http://ec.europa.eu/health-eu/my_lifestyle/nutrition/index_sk.htm)
  - sprievodcu v oblastiach bezpečnosti a akosti potravín, zdravia, výživy, vyváženej stravy a zdravého životného štýlu (The European Food Information Council):  
<http://www.eufic.org/>

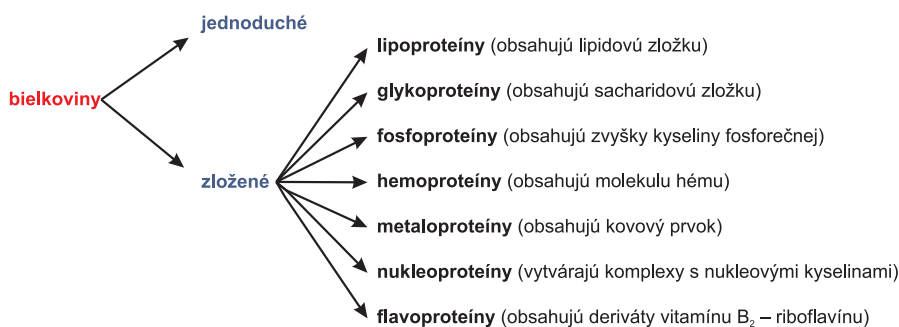
## 4 BIELKOVINY

Bielkoviny (proteíny) sú biomakromolekulové látky, skladajúce sa z **aminokyselín**. V živočíšnom organizme (teda aj v organizme človeka) tvoria bielkoviny viac ako 80 % zo všetkých prítomných organických látok. Rastlinný organizmus obsahuje bielkovín menej, má vyššie zastúpenie polysacharidov.

**Bielkoviny sú základnými stavebnými zložkami živých organizmov.** V organizmoch plnia rôzne významné funkcie, napríklad:

- **štruktúrnu** (napr. kolagén, keratín, fibroín),
- **katalytickú** (v podobe enzýmov katalyzujú biochemické procesy),
- **transportnú** (napr. hemoglobín a myoglobín, prenášajúce kyslík),
- **obrannú** (napr. imunoglobulíny),
- **zásobnú** (napr. ovalbumín vo vaječnom bielku),
- **pohybovú** (napr. aktín a myozín, podieľajúce sa na sťahu svaloviny),
- **regulačnú** (hormóny, napr. inzulín).

Podľa štruktúry rozdeľujeme bielkoviny na **jednoduché**, na ktorých štruktúre sa podieľajú len aminokyseliny, a **zložené**, ktoré vo svojej molekule obsahujú aj ďalšiu, nebielkovinovú (neaminokyselinovú) zložku – tzv. **prostetickú skupinu**. Podľa nebielkovinovej zložky rozlišujeme niekoľko skupín zložených bielkovín (obr. 4.1).



Obr. 4.1 Rozdelenie bielkovín

### 4.1 Aminokyseliny – základné stavebné zložky bielkovín

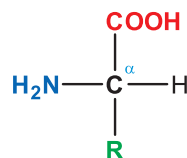
Aminokyseliny sú deriváty karboxylových kyselín, ktoré vo svojej molekule obsahujú aspoň jednu **aminoskupinu**  $-\text{NH}_2$  (prolín obsahuje sekundárnu aminoskupinu, pozri tab. 4.1). Môžeme ich odvodiť nahradením jedného atómu vodíka v uhľovodíkovom reťazci karboxylovej kyseliny aminoskupinou, pričom pôvodná funkčná karboxylová skupina zostáva nezmenená. Aminokyseliny sú teda substitučnými derivátmi karboxylových kyselín. Aj keď dnes poznáme obrovské množstvo rôznych aminokyselín (niekoľko stoviek), v bielkovinách sa pravidelne vyskytuje len 20 z nich. Nazývame ich **proteinogénne aminokyseliny**<sup>1</sup> (tab. 4.1).

Proteinogénne aminokyseliny sa okrem toho, že vo svojej molekule obsahujú 2 výrazne odlišné funkčné skupiny: **kyslú karboxylovú skupinu** ( $-\text{COOH}$ ) a **zásaditú aminoskupinu** ( $-\text{NH}_2$ ), vyznačujú aj ďalšími spoločnými štruktúrnymi črtami:

- sú to tzv.  **$\alpha$ -aminokyseliny** – ich aminoskupina je naviazaná vždy v **polohe  $\alpha$**  (na atóme uhlíka č. 2),
- všetky sú chirálne (s výnimkou glycínu), s chirálnym centrom na  $\alpha$ -uhlíku, pričom majú **L-konfiguráciu**.

1 V biochémi sa pre aminokyseliny zvyčajne používajú triviálne názvy. Od anglických triviálnych názvov aminokyselín sú odvodené ich trojháskové skratky (tab 4.1).

Jednotlivé proteinogénne aminokyseliny sa od seba odlišujú rozdielnymi skupinami **-R** v ich molekule (tab. 4.1). Tieto skupiny nazývame **bočné reťazce**.



Obr. 4.2 Všeobecný vzorec aminokyseliny

Z hľadiska významu pre výživu človeka rozlišujeme proteinogénne aminokyseliny:

- **neesenciálne** – také, ktoré si organizmus dokáže syntetizovať z iných látok,
- **esenciálne** – také, ktoré organizmus nedokáže syntetizovať, a preto ich musí hotové prijímať v potrave (v tab. 4.1 sú označené značkou ♥). Zdrojom esenciálnych aminokyselín sú najmä živočíšne potraviny (mlieko, mäso, vajcia). Bielkoviny rastlinného pôvodu často neobsahujú dostatok niektorých esenciálnych aminokyselín<sup>2</sup>.

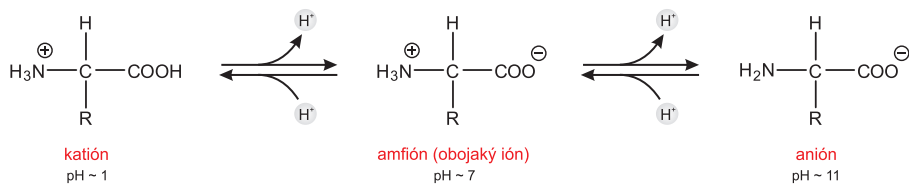
Tab. 4.1 Proteinogénne aminokyseliny

nepolárne					
glycín (Gly)	alanín (Ala)	valín♥ (Val)	leucín♥ (Leu)	izoleucín♥ (Ile)	
metionín♥ (Met)	prolín (Pro)	fenylalanín♥ (Phe)	tryptofán♥ (Trp)		
polárne					
serín (Ser)	treonín♥ (Thr)	tyrozín (Tyr)	cysteín (Cys)	asparagín (Asn)	glutamín (Gln)
kyslé			zásadité		
kyselina asparágová (Asp)	kyselina glutámová (Glu)	lyzín♥ (Lys)	arginín♥ (Arg)	histidín♥ (His)	

<sup>2</sup> Arginín sa zvyčajne považuje za esenciálnu aminokyselinu, hoci ho ľudský organizmus dokáže syntetizovať. Jeho prevažná časť je však spotrebovaná v metabolickvej dráhe, ktorá je súčasťou rozkladu aminokyselín (tzv. močovínový cyklus). Preto musí byť arginín v dostatočnom množstve prítomný v potrave (najmä počas rastu detí).



Keďže aminokyseliny obsahujú minimálne 2 funkčné skupiny, ktoré sú schopné disociovať, môžu sa v roztoku vyskytovať v troch formách: vo forme aniónu, kationu a amfiónu (tzv. obojakého iónu).

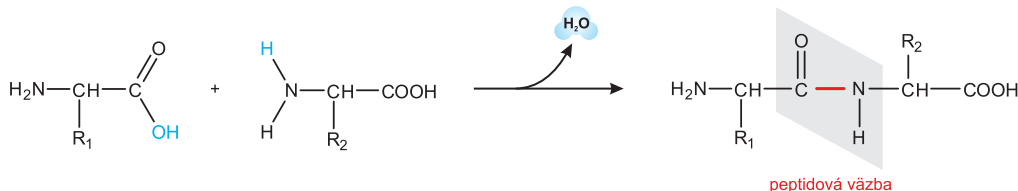


Ako je zrejmé z predchádzajúcej schémy, to, ktorá forma práve prevláda, závisí od pH roztoku, v ktorom sa aminokyselina nachádza. V *zásaditom prostredí* sa aminokyselina správa ako **kyselina** (odštiepuje protón, čím vytvára **anión**), v *kyslom prostredí* sa správa ako **zásada** (prijíma protón, čím vytvára **kation**). Pri určitej hodnote pH sú obe funkčné skupiny aminokyseliny elektricky nabité a aminokyselina vytvára tzv. **obojaký ión – amfión**. Hodnota pH roztoku, pri ktorej je počet kladných a záporných nábojov v molekule aminokyseliny rovnaký (teda výsledný elektrický náboj je nulový), sa nazýva **izoelektrický bod (pI)**. Pri izoelektrickom bode je aminokyselina nepohyblivá vo vonkajšom elektrickom poli a je tiež najmenej rozpustná vo vode.

## 4.2 Peptidová väzba

Jednou z najvýznamnejších charakteristík proteinogénnych aminokyselín je ich schopnosť navzájom sa zlučovať. Podstatou tohto zlučovania je reakcia  $\alpha$ -aminoskupiny ( $-\text{NH}_2$ ) jednej aminokyseliny s karboxylovou skupinou ( $-\text{COOH}$ ) inej aminokyseliny. Navzájom sa pritom môžu viazať rovnaké alebo rozdielne aminokyseliny.

Väzba, ktorou sú v proteínoch jednotlivé aminokyselinové zvyšky spojené, sa nazýva **peptidová väzba** ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ). Atómy okolo peptidovej väzby (C, O, N a H) sú umiestnené v jednej rovine (obr. 4.3).



**Obr. 4.3 Vznik peptidovej väzby.** Ide len o formálny zápis reakcie, v skutočnosti v živých organizmoch peptidová väzba vzniká v procese proteosyntézy (kap. 11.4). Šedou plôškou sú vyznačené atómy umiestnené v jednej rovine.

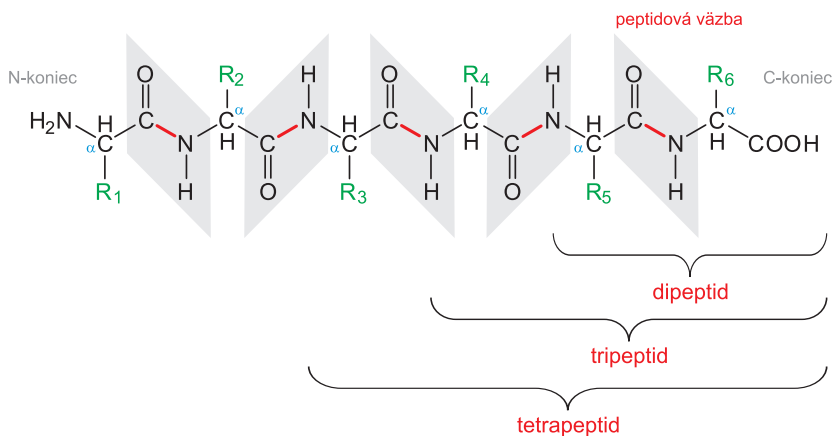
Spojením aminokyselinových zvyškov peptidovou väzbou vznikajú **peptidy**.

Podľa počtu aminokyselinových zvyškov rozlišujeme:

- **oligopeptidy** – zložené z 2 až 10 aminokyselinových zvyškov, napr. dipeptidy, tripeptidy, tetrapeptidy atď.,
- **polypeptidy** – zložené z 11 až 100 aminokyselinových zvyškov,
- **bielkoviny** – zložené z viac ako 100 aminokyselinových zvyškov.

**Základom štruktúry bielkovín je polypeptidový reťazec, ktorý je tvorený zvyškami aminokyselín.**

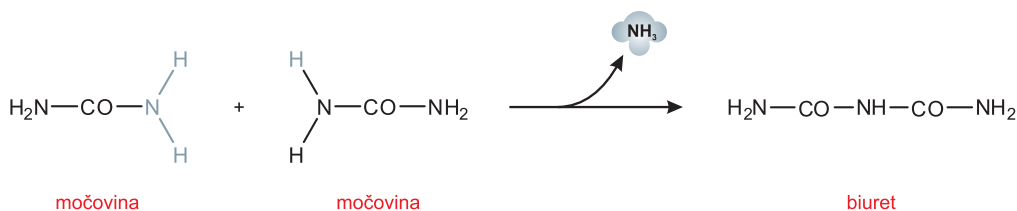
Striedaním atómov  $\alpha$ -uhlíka a peptidových väzieb v polypeptidovom reťazci vzniká tzv. „poly-peptidová kostra“, na ktorú sú viazané bočné reťazce aminokyselinových zvyškov (obr. 4.4).



**Obr. 4.4 Peptidy.** Koniec reťazca s voľnou  $\text{-NH}_2$  skupinou sa nazýva *N-koniec* (píšeme ho vľavo), koniec s voľnou  $\text{-COOH}$  skupinou sa nazýva *C-koniec* (píšeme ho vpravo).

Prítomnosť peptidovej väzby v molekule je možné dokázať tzv. **biuretovou reakciou**. Látky, ktoré peptidovú väzbu obsahujú (teda aj bielkoviny), reagujú v alkalickom prostredí s meďou za vzniku fialového sfarbenia.

Pomenovanie tejto reakcie je odvodené od zlúčeniny biuretu, ktorý tiež obsahuje peptidovú väzbu, a teda reaguje rovnako. Biuret vzniká zahrievaním močoviny:



## POKUS

### Dôkaz peptidovej väzby biuretovou reakciou

K 1 cm<sup>3</sup> roztoku bielkoviny (napr. roztoku vaječného bielka) pridáme 1 cm<sup>3</sup> roztoku NaOH ( $w = 0,1$ ) a po kvapkách pridávame roztok CuSO<sub>4</sub> ( $w = 0,01$ ). Na porovnanie uskutočnime v druhej skúmavke slepý pokus, kde namiesto roztoku bielkoviny použijeme destilovanú vodu. Pozorujeme vznik ružového až fialového sfarbenia (nie zrazeniny!). Pozor, pri nadbytku CuSO<sub>4</sub> sa vyzráža modrý Cu(OH)<sub>2</sub>!

## 4.3 Štruktúra bielkovín

Napriek tomu, že počet aminokyselín, ktoré sa vyskytujú v živých organizmoch, je pomerne malý (len dvadsať), ich kombináciou môže vzniknúť obrovské množstvo rôznych bielkovín s rôznymi funkciami. Bielkoviny môžu svoju biologickú funkciu plniť len v určitej špecifickej štruktúre. Tá je daná jednak samotným aminokyselinovým zložením bielkoviny, jednak poradím aminokyselinových zvyškov v jej polypeptidovom reťazci, ale aj priestorovým rozložením jednotlivých atómov molekuly bielkoviny.

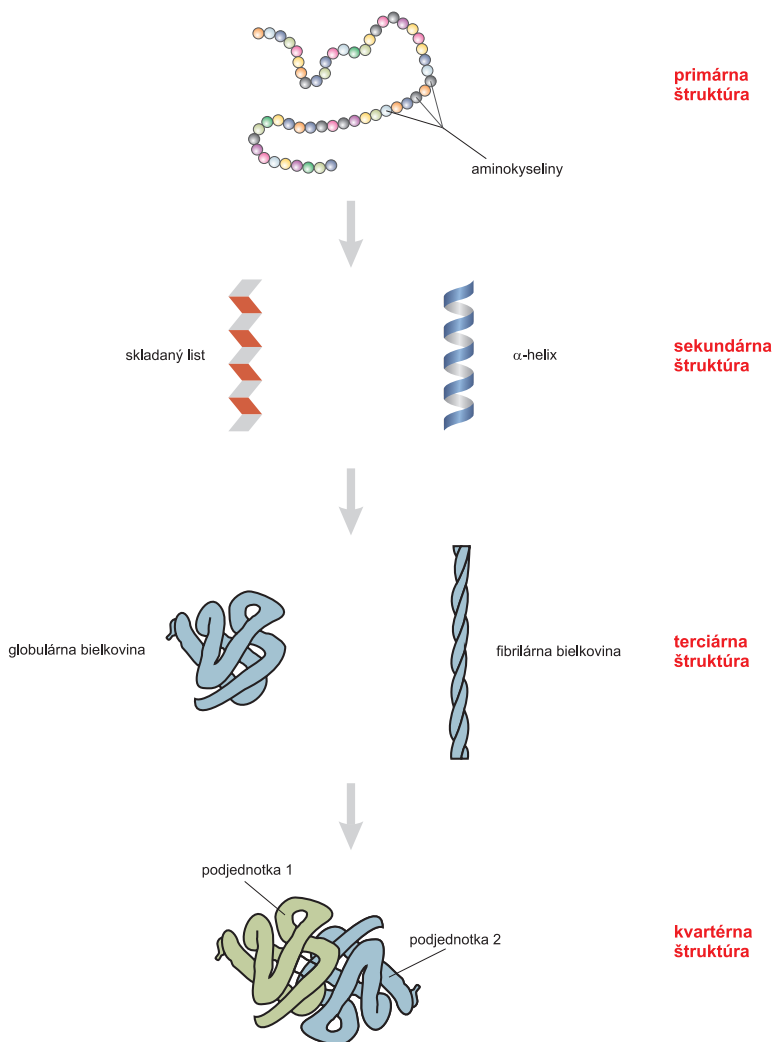
Vlastnosti bielkovín sú ovplyvnené ich priestorovou štruktúrou.

Rozlišujeme štyri úrovne štruktúry bielkovín: **primárnu, sekundárnu, terciárnu a kvartérnu** (obr. 4.5).

**Primárna štruktúra** bielkovín je daná poradím (sekvenciou) aminokyselinových zvyškov v ich polypeptidovom reťazci.

Toto poradie zodpovedá genetickej informácii o postupnosti aminokyselín v danej bielkovine zakódovanej v príslušnom úseku molekuly DNA. Hoci samotná primárna štruktúra nepodáva informáciu o usporiadaní bielkoviny v priestore, poradie aminokyselinových zvyškov ovplyvňuje aj vyššie stupne organizácie molekuly bielkoviny, jej sekundárnu, terciárnu aj kvartérnu štruktúru.

**Vyššie úrovne štruktúry bielkovín podávajú informáciu o trojrozmernom usporiadaní molekuly bielkoviny.**



Obr. 4.5 Úrovne štruktúry bielkovín

**Sekundárna štruktúra** bielkovín udáva usporiadanie polypeptidovej kostry v priestore.

Najbežnejšie formy sekundárnych štruktúr bielkovín sú:

- pravotočivá závitnica –  $\alpha$ -helix (obr. 4.6),
- štruktúra tzv. skladaného listu –  $\beta$ -štruktúra (obr. 4.7).

Stabilizácia oboch typov štruktúr v priestore je zabezpečená prostredníctvom **vodíkových väzieb**, vznikajúcich medzi polárnymi funkčnými skupinami (**NH** a **O=C**) peptidových väzieb polypeptidových reťazcov. Bočné reťazce aminokyselín sa v prípade  $\alpha$ -helixu orientujú smerom von zo závitnice, v prípade  $\beta$ -štruktúry spravidla striedavo nad a pod rovinu skladaného listu.

**Terciárna štruktúra** bielkovín vyjadruje vzájomné usporiadanie všetkých atómov molekuly v priestore.

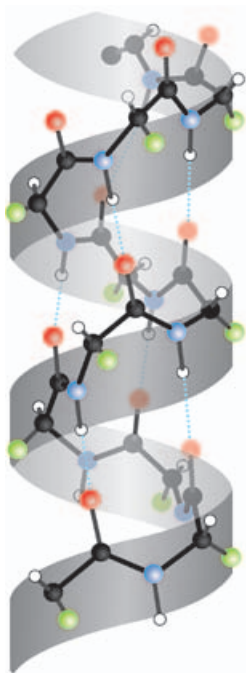
Terciárna štruktúra dáva molekule bielkoviny definitívny priestorový tvar, ktorý môže byť:

- fibrilárny (vláknitý),
- globulárny (tvar klobka).

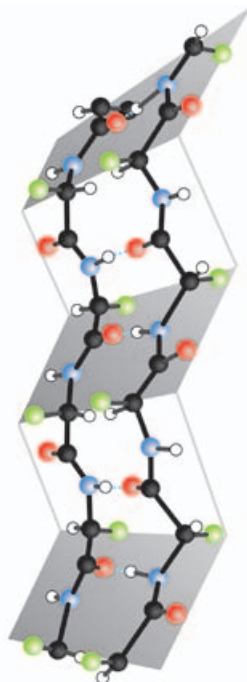
**Fibrilárne bielkoviny** (skleroproteíny) majú jednoduchšiu priestorovú štruktúru, s polypeptidovými reťazcami zvyčajne usporiadanými v jednom smere. Tieto bielkoviny bývajú vo vode nerozpustné a majú väčšinou stavebnú funkciu. Typickými príkladmi fibrilárnych proteínov sú kolagén a keratín.

**Globulárne bielkoviny** (sféropoteíny) majú štruktúru veľmi zložitú. Tvoria ju kompaktné molekuly guľovitého (sféroidného) tvaru, pričom na povrchu ich molekuly sú umiestnené prevažne polárne skupiny a nepolárne reťazce sú ukryté vo vnútri bielkovinovej štruktúry. Z tohto usporiadania je zrejmé, že väčšina sféropoteínov je rozpustná vo vode.

Osobitnou, ale veľmi významnou skupinou bielkovín sú **membránové bielkoviny**, ktoré sú zabudované do dvojvrstvy membránových lipidov a tvoria tak dôležitú časť biologických membrán (kap. 2.2.3).



Obr. 4.6  $\alpha$ -helix

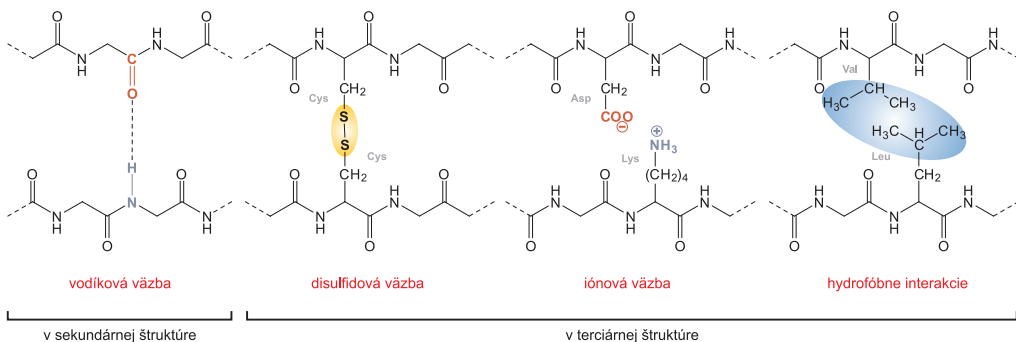


Obr. 4.7  $\beta$ -štruktúra





Pri vzniku terciárnej štruktúry proteínov sa uplatňujú **rôzne typy nekovalentných (slabých) interakcií**, ako sú vodíkové väzby, iónové väzby a hydrofóbne interakcie, **medzi bočnými reťazcami aminokyselín viazaných v polypeptide**. Jediným prípadom kovalentnej väzby je disulfidová väzba, ktorá vzniká medzi dvomi zvyškami siriwej aminokyseliny cysteín (obr. 4.8).



Obr. 4.8 Typy interakcií v priestorových štruktúrach bielkovín

Niektoré bielkoviny sú tvorené viacerými polypeptidovými reťazcami – **podjednotkami**, pričom každý z nich sa vyznačuje svojou terciárnou štruktúrou (obr. 4.5).

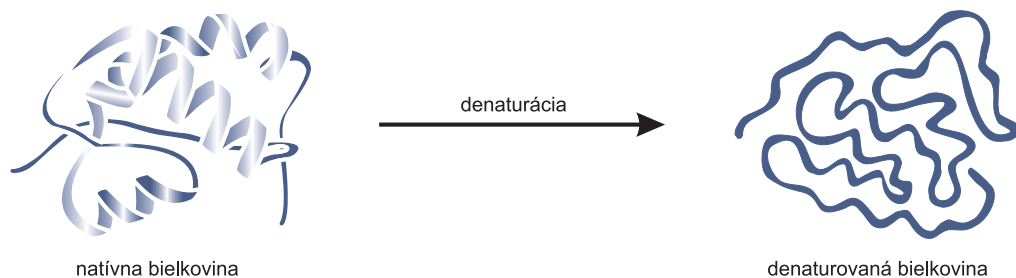
Vzájomný priestorový vzťah medzi podjednotkami týchto bielkovín vyjadruje **kvartérna štruktúra**.

Kvartérna štruktúra je najvyššou úrovňou štruktúry bielkovín. Vzájomné spojenie jednotlivých podjednotiek je väčšinou zabezpečené rovnakými typmi slabých interakcií ako v terciárnej štruktúre. Podjednotky pritom môžu ľahko disociovateľ, ale aj opätovne sa spájať do príslušnej kvartérnej štruktúry. Kvartérnu štruktúru majú mnohé významné bielkoviny, napr. imunoglobulíny, enzýmy, hemoglobín.

### Denaturácia bielkovín

Polypeptidový reťazec bielkoviny môže v priestore nadobúdať rozličné usporiadanie. Len v určitom konkrétnom priestorovom usporiadaní (priestorovej štruktúre) však môže bielkovina vykonávať svoju biochemickú funkciu v organizme. Stav, keď bielkovina nadobúda práve takúto priestorovú štruktúru, nazývame **natívnym stavom** (natívnou štruktúrou) bielkoviny. Natívne usporiadanie bielkoviny (jej sekundárna a terciárna štruktúra) sa môže vplyvom vonkajších podmienok zmeniť. Keď sa poruší pôvodné priestorové usporiadanie bielkoviny, jej polypeptidový reťazec sa čiastočne rozvinie a bielkovina tým stráca svoju biologickú aktivitu. Vtedy hovoríme o **denaturácii** bielkoviny.

Podstatou denaturácie bielkovín je porušenie slabých interakcií, ktoré udržiavali pôvodnú priestorovú štruktúru molekuly, pričom primárna štruktúra ostáva zachovaná (obr. 4.9).



Obr. 4.9 Denaturácia bielkovín

K denaturácii bielkovín môže dôjsť napr. teplom, zmenou pH (účinkom silných kyselín a zásad), pôsobením ťažkých kovov a pod.

#### Rozlišujeme denaturáciu:

- **vratnú** (reverzibilnú), keď vrátením podmienok získame opäť natívnu štruktúru (napr. pôsobením rôznych solí),
- **nevratnú** (ireverzibilnú), keď sa štruktúra bielkoviny poruší natoľko, že ani opätovným vrátením podmienok nie je možné znovu získať jej pôvodný natívny stav (napr. denaturácia vysokou teplotou alebo výraznou zmenou pH).

Denaturácia má veľký praktický význam napr. pri uchovávaní a spracovávaní potravín. Varom denaturované bielkoviny sú ľahšie stráviteľné, pričom ich výživová hodnota ostáva zachovaná.

## 4.4 Prehľad bielkovín

### Príklady fibrilárnych bielkovín:

**Kolagén** sa nachádza najmä v tých častiach tela, ktoré vyžadujú veľkú pevnosť (kosti, zuby, chrupavky, šľachy, steny ciev a pod.). Jeho pevnosť (najmä v ťahu) vyplýva z usporiadania polypeptidových vlákien, ktoré pripomína lano (obr. 4.10). Varením kolagénu v mierne zásaditom prostredí (denaturáciou) sa získava glej, prípadne želatína. Na správnu syntézu kolagénu je nevyhnutný dostatočný príjem vitamínu C (kap. 7).



Obr. 4.10 Štruktúra kolagénu je tvorená tromi navzájom prepletenými polypeptidovými reťazcami

**Keratin** je fibrilárna bielkovina, nachádzajúca sa najmä v koži a tzv. kožných derivátoch – nechtoch, vlasoch, perí, rohovine, šupinách, pazúroch, rohoch<sup>3</sup> a pod.

Pevnosť keratínu dodáva veľké množstvo disulfidových väzieb, vytvorených medzi zvyškami cysteínu. Disulfidové väzby udržiavajú aj tvar vlasov. Možno ich redukčne štípať a potom na takto upravených vlasoch vytvoriť kučery s použitím oxidačného činidla, ktoré obnoví porušené väzby v novej, „kučeravej“ konformácii. Tieto procesy sa využívajú pri úprave vlasov, tzv. trvalou onduláciou.

**Elastín** je bielkovina s elastickými vlastnosťami podobnými gume. Je súčasťou elastického spojivového tkaniva prítomného v pľúcach, stenách veľkých ciev (napr. aorta) a elastických väzoch v krku.

### Príklady globulárnych bielkovín:

**Albumíny** sú bielkoviny rozpustné vo vode. Nachádzajú sa v mlieku, krvnom sére, vaječnom bielku a pod. Pre organizmus sú dobrým zdrojom aminokyselín.

**Globulíny** nie sú rozpustné v čistej vode (na rozdiel od albumínov), ale rozpúšťajú sa v zriedených roztokoch solí. Možno ich izolovať z mlieka, vaječného bielka, krvného séra, svalového tkaniva, pečene a pod. Krvné globulíny možno rozdeliť na niekoľko frakcií. V  $\gamma$ -globulínovej frakcii krvného séra sa nachádzajú tzv. **protilátky** – bielkoviny zúčastňujúce sa na imunologických reakciách.

<sup>3</sup> Pozor, nie v parohoch, ktoré nie sú derivátom kože, ale kostným derivátom.

## POKUS

### Zrážanie bielkovín síranom amónnym (oddelenie albumínov a globulínov vaječného bielka)

Vaječný bielok rozmiešame s vodou v pomere 1 : 20. Do 5 cm<sup>3</sup> takto pripraveného roztoku bielkovín pridáme rovnaký objem nasýteného roztoku (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a dobre premiešame. Získame tým polovične nasýtený roztok (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ktorým sa vyzrážajú globulíny. Oddelíme ich filtráciou. V roztoku zostanú albumíny, ktoré vyzrážame tak, že do neho pridávame kryštalický (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> až do nasýtenia. Vyzrážané albumíny opäť oddelíme filtráciou. So zvýšeným filtrátom môžeme uskutočniť biuretovú reakciu na prítomnosť bielkovín, mala by byť negatívna.

Oddelené albumíny môžeme za stáleho pretrepávania opäť rozpustiť vo vode (4 – 5 cm<sup>3</sup>). Ak po následnom prefiltrovaní urobíme s filtrátom biuretovú reakciu, bude pozitívna.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Globulárnu štruktúru majú aj ďalšie bielkoviny krvnej plazmy, ktoré majú význam pri zrážaní krvi (tzv. faktory zrážania krvi), napr. **fibrinogén** (rozpustná bielkovina, z ktorej sa pri zrážaní krvi tvorí nerozpustný fibrín s vláknitou štruktúrou) a **trombín** (iniciuje premenu **fibrinogénu** na fibrín).

Z hľadiska rozpustnosti sú atypickými globulárnymi proteínmi dva typy bielkovín, ktoré sa nachádzajú v obilninách – **prolamíny** a **glutelíny**. Keďže nie sú rozpustné vo vode, ich zmes je možné získať vymytím škrobových zŕn z múky vodou ako tzv. lepok (glutén), ktorý je základnou látkou na prípravu cesta. Neschopnosť spracovávať túto skupinu bielkovín z potravy je podstatou ochorenia nazývaného **celiakia**, ktoré sa terapeuticky rieši tzv. bezlepkovou diétou.

Príklady zložených (koniugovaných) bielkovín:

**Lipoproteíny** predstavujú makromolekulové komplexy špeciálnych bielkovín a rôznych množstiev fosfolipidov, cholesterolu, esterov cholesterolu a triacylglycerolov. Majú význam pri transporte lipidov v krvnom obehu. V súčasnosti sa študujú krvné lipoproteíny najmä vo vzťahu k srdcovocievny ochoreniam (kap. 2.2.3.1).

**Glykoproteíny** obsahujú ako nebielkovinovú zložku zvyčajne oligosacharidový reťazec. Príkladom glykoproteínov sú mucíny, ktoré sa nachádzajú najmä v slinách a v žalúdku, kde chránia stenu žalúdka pred pôsobením enzýmov.

**Fosfoproteíny** sú prítomné najmä v mlieku a vaječnom bielku. Sú významným zdrojom fosforu pre syntézu nukleových kyselín. Z tejto skupiny bielkovín je napr. **kazeín** – proteín mlieka aj zdrojom vápnika.

Zo zložených bielkovín, obsahujúcich hém (kap. 1.2.1) – **hemoproteínov**, sú významné prenášače kyslíka: **hemoglobín** (prenášajúci kyslík krvou z pľúc do tkanív) a **myoglobín** (prenášajúci kyslík v tkanivách<sup>4</sup>). Medzi hemoproteíny patria aj **cytochrómy**, podieľajúce sa napr. na procesoch prebiehajúcich v dýchacom reťazci (kap. 10.3) a fotosyntéze (kap. 11.1.1).

Mnohé bielkoviny obsahujú vo svojej molekule kovový prvok – **metaloproteíny**. Patria sem napr. **ferritin** (zásobáreň železa v tkanivách, obsahuje až 20 % železa), **transferín** (sprostredkujúci transport železa v organizme), ale predovšetkým mnohé enzýmy – **metaloenzýmy** (kap. 6), ktoré vo svojom aktívnom mieste často obsahujú kationy rôznych kovov (napr. Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Se<sup>4+</sup> a pod.).

Niektoré proteíny vytvárajú komplexy s nukleovými kyselinami (kap. 5). Nazývajú sa **nukleoproteíny**. V eukaryotických organizmoch sa s DNA viažu napr. špecializované bielkoviny históny, ktoré sú súčasťou chromozómu.

4 Myoglobín má aj zásobnú funkciu (zásobáreň kyslíka v tkanivách), je však najvýraznejšia pri vodných cicavcoch (napr. veľryby, delfíny, tulene), ktoré majú v tkanivách asi desaťnásobne vyššiu koncentráciu myoglobínu v porovnaní so suchozemskými živočíchmi.

**Flavoproteíny**, obsahujúce deriváty vitamínu B<sub>2</sub> (riboflavín, kap. 7), sa v organizmoch zúčastňujú na mnohých metabolických dejoch. Spolu s cytochrómami sú napríklad dôležité v oxidačných procesoch prebiehajúcich v dýchanom reťazci (kap. 10.3) a fotosyntéze (kap. 11.1.1).

### KLÚČOVÉ UČIVO



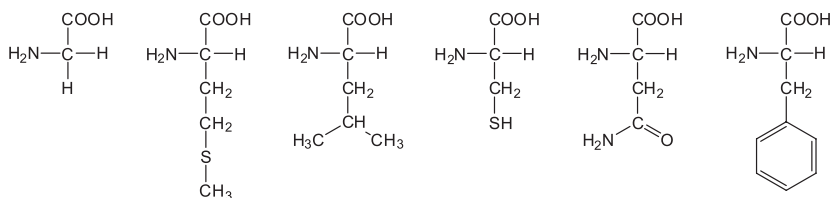
- Bielkoviny (proteíny) sú biomakromolekulové látky, skladajúce sa z aminokyselín.
- Bielkoviny majú v organizmoch rôzne funkcie: stavebnú, transportnú, ochrannú, zásobnú, katalytickú a regulačnú.
- Základom štruktúry bielkovín je polypeptidový reťazec, ktorý je tvorený zvyškami aminokyselín.
- Proteinogénne aminokyseliny sú  $\alpha$ -L-aminokyselinami.
- Aminokyselinové zvyšky sú v proteínoch navzájom spojené peptidovou väzbou.
- Rozlišujeme 4 úrovne štruktúry bielkovín: primárnu, sekundárnu, terciárnu a kvartérnu.
- Vlastnosti a funkcia bielkovín sú dané ich priestorovou štruktúrou.
- Denaturácia je jav, pri ktorom sa pod vplyvom vonkajších podmienok zmení pôvodné priestorové usporiadanie polypeptidového reťazca bielkoviny. Bielkovina tým stráca svoju biologickú aktivitu.

### OTÁZKY A ÚLOHY



1. Prečo glycin nie je opticky aktívnu aminokyselinou?
2. Medzi polárne aminokyseliny patrí:
  - a) tyrozín,
  - b) fenylalanín,
  - c) valín,
  - d) serín.
3. Medzi nepolárne aminokyseliny patrí:
  - a) valín,
  - b) glycín,
  - c) alanín,
  - d) tyrozín.
4. Z nasledujúcich skupín vyberte trojicu, v ktorej každá z aminokyselín obsahuje v bočnom reťazci viazaný atóm dusika:
  - a) histidín, arginín, tyrozín,
  - b) leucín, serín, valín,
  - c) metionín, arginín, glycín,
  - d) arginín, histidín, lyzín.
5. Napište vzorce všetkých proteinogénnych aminokyselín obsahujúcich síru.
6. Napište vzorec tetrapeptidu Gly-Ala-Ser-Cys.
7. Aminokyseliny patria medzi:
  - a) alkoholy,
  - b) funkčné deriváty karboxylových kyselín,
  - c) substitučné deriváty karboxylových kyselín,
  - d) karbonylové zlúčeniny.

8. Napíšte vzorce všetkých tripeptidov, ktoré môžu vzniknúť kombináciou týchto aminokyselín: Ala, Ser, Gln. Každú z aminokyselín možno v jednom tripeptide použiť len raz.
9. Dve funkčné karboxylové skupiny vo svojej molekule obsahuje:
- arginín,
  - kyselina glutámová,
  - tryptofán,
  - kyselina asparágová.
10. Primárna štruktúra bielkovín je:
- vytvorená kovalentnými väzbami,
  - daná poradím aminokyselín v peptidovom reťazci,
  - vytvorená peptidovými väzbami,
  - vytvorená iónovými väzbami.
11. Sekundárne štruktúry bielkovín sú stabilizované:
- disulfidovými väzbami,
  - vodíkovými väzbami,
  - iónovými väzbami,
  - van der Waalsovými silami.
12. Vysvetlite pojem „esenciálne aminokyseliny“.
13. V uvedených vzorcoch aminokyselín hviezdíčkou vyznačte chirálny atóm uhlíka:



14. Vysvetlite, prečo prolín nemôže v sekundárnych štruktúrach bielkovín vytvárať toľko vodíkových väzieb ako ostatné proteínogénne aminokyseliny.
15. Vyberte správnu možnosť. Denaturácia bielkovín je proces, pri ktorom:
- bielkovina stráca svoju biologickú aktivitu,
  - sa štípe polypeptidový reťazec bielkoviny,
  - bielkovina získava svoje natívne usporiadanie,
  - sa porušuje pôvodné priestorové usporiadanie bielkovín.
16. V odbornej literatúre vyhľadajte a k uvedeným funkciám doplňte konkrétne príklady prírodných peptidov:
- antibiotiká: .....
  - prírodné jedy: .....
  - hormóny: .....
  - umelé sladidlá: .....
17. Stavebnú funkciu má
- hemoglobín,
  - trombín,
  - kolagén,
  - keratín.

18. K uvedenej charakteristike doplňte zodpovedajúce názvy významných bielkovín:
- súčasť kostí, chrupaviek, zubov atď.,  
.....
  - tvorí nerozpustnú sieťovitú štruktúru pri zrážaní krvi, vzniká z globulárneho fibrinogénu,  
.....
  - prenáša kyslík v tkanivách,  
.....
  - je štruktúrnou súčasťou vlasov, chlupov, srsti, nechtov a pod.  
.....
19. Bielkovina, ktorá sprostredkúva transport železa v organizme, sa nazýva:
- myoglobín,
  - transferín,
  - feritín,
  - hemoglobín.
20. Priradením aminokyseliny k vhodnému typu bočného reťazca vytvorte správne dvojice:
- |                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| A) serín       | 1) zásaditý                     |
| B) leucín      | 2) obsahuje síru                |
| C) cysteín     | 3) nepolárny aromatický         |
| D) fenylalanín | 4) obsahuje hydroxylovú skupinu |
| E) lyzín       | 5) nepolárny alifatický         |
21. Podľa pokynov učiteľa chémie vyhľadajte v odbornej literatúre alebo na internetových portáloch informácie o význame bielkovín vo výžive človeka, ako aj hodnoty obsahu bielkovín vo vybraných potravinách.
- Svoju pozornosť sústreďte na portál:
- európskej únie o verejnom zdraví:  
[http://ec.europa.eu/health-eu/my\\_lifestyle/nutrition/index\\_sk.htm](http://ec.europa.eu/health-eu/my_lifestyle/nutrition/index_sk.htm)
  - sprievodcu v oblastiach bezpečnosti a akosti potravín, zdravia, výživy, vyváženej stravy a zdravého životného štýlu (The European Food Information Council):  
<http://www.eufic.org/>

# 5 NUKLEOVÉ KYSELINY

Nukleové kyseliny sú základnou zložkou živej hmoty. Sú to biomakromolekulové látky, ktoré majú primárny význam pre všetky organizmy, pretože sú zodpovedné za uchovávanie a prenos genetickej informácie.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++

### Niečo z histórie nukleových kyselín

Nukleové kyseliny boli prvýkrát identifikované v roku 1869 v jadrách buniek hnisu, teda v jadrách bielych krviniek, švajčiarskym chemikom Friedrichom Miescherom. Odtiaľ pochádza aj ich názov (lat. *nucleus* = jadro). Miescher túto novoobjavenú látku pomenoval termínom *nuklein*. Až neskôr, v roku 1889, keď sa zistilo, že látka má vlastnosti kyseliny, ju Miescherov žiak Richard Altmann premenoval na *nukleovú kyselinu*.

Už v čase objavu nukleových kyselín sa zistilo, že majú pomerne vysoký obsah fosforu. Ich konkrétne zložky však identifikoval až roku 1929 americký biochemik Phoebus Levene.

Priestorová štruktúra nukleových kyselín (najprv len DNA) bola zistená začiatkom roku 1953 **Jamesom Watsonom a Francisom Crickom**, za čo im bola spolu s Mauriceom Wilkinsom v roku 1962 udelená Nobelova cena v oblasti fyziológie a medicíny. Objav štruktúry DNA sa dnes právom v biológii považuje za najväčší objav dvadsiateho storočia.



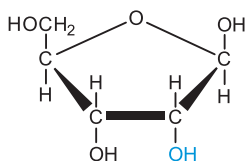
Obr. 5.1 James Watson a Francis Crick so svojim modelom DNA

Podľa chemického zloženia rozlišujeme dva typy nukleových kyselín: **ribonukleové kyseliny (RNA) a deoxyribonukleové kyseliny (DNA)**<sup>1</sup>.

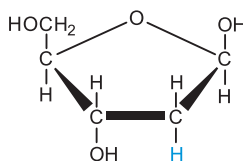
## 5.1 Zloženie nukleových kyselín

Nukleové kyseliny obsahujú tri základné zložky: **sacharidovú zložku, dusíkatú bázu a zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej  $H_3PO_4$** .

Sacharidovou zložkou je monosacharid **ribóza** alebo jej derivát **deoxyribóza**. Podľa toho rozlišujeme už spomínané 2 typy nukleových kyselín: RNA a DNA.



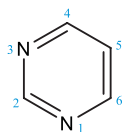
D-ribóza



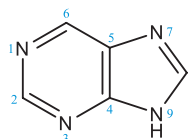
2-deoxy-D-ribóza

Dusíkaté bázy, ktoré sa nachádzajú v nukleových kyselinách, sú derivátmi dvoch heterocyklických zlúčenín: pyrimidínu a purínu (kap. 1.2.2).

<sup>1</sup> Skratky RNA a DNA sú odvodené od anglických výrazov: *ribonucleic acid* a *deoxyribonucleic acid*.

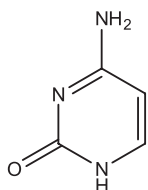
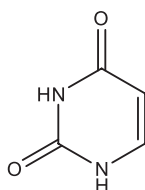
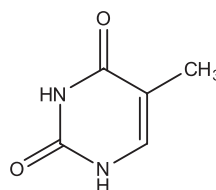
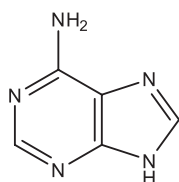
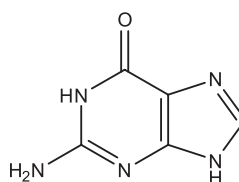


pyrimidín



purín

Podľa toho sa rozlišujú pyrimidínové a purínové dusíkaté bázy. Z pyrimidínových báz sa v nukleových kyselinách vyskytujú **uracil (U)**, **cytozín (C)** a **tymín (T)**. Z purínových báz **adenín (A)** a **guanín (G)**.


 cytozín  
(C)

 uracil  
(U)

 tymín  
(T)

 adenín  
(A)

 guanín  
(G)

**Purínové bázy sú prítomné vo všetkých nukleových kyselinách (RNA aj DNA)**, zastúpenie pyrimidínových báz je u oboch typov nukleových kyselín rozdielne. **V DNA sa nachádzajú len cytozín a tymín, v RNA cytozín a uracil** (tab. 5.1).

Spojením všetkých troch zložiek nukleových kyselín vznikne **nukleotid** (obr. 5.2).

**Nukleotid** je základnou stavebnou zložkou nukleových kyselín.

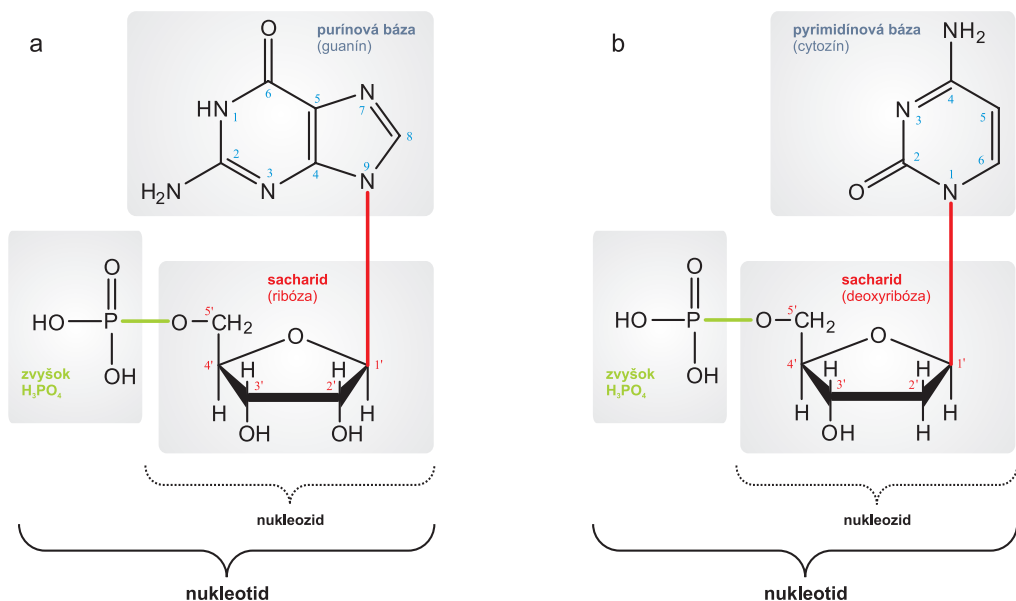
Každý nukleotid obsahuje sacharidovú zložku (ribózu alebo deoxyribózu), jednu z dusíkatých báz a zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej.

Chemickým spojením jednotlivých nukleotidov vznikajú **polynukleotidové reťazce** makromolekúl nukleových kyselín.

Tab. 5.1 Zložky nukleových kyselín

		DNA	RNA
sacharidová zložka		deoxyribóza	ribóza
dusíkaté bázy	purínové	adenín (A) guanín (G)	adenín (A) guanín (G)
	pyrimidínové	cytozín (C) tymín (T)	cytozín (C) uracil (U)
zvyšok H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>			





**Obr. 5.2** Príklad štruktúry ribonukleotidu a deoxyribonukleotidu. (a) nukleotid RNA obsahujúci ribózu, purínovú bázu a zvyšok  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , (b) nukleotid DNA obsahujúci deoxyribózu, pyrimidinovú bázu a zvyšok  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Červenou čiarou je vyznačená N-glykozidová väzba, zelenou čiarou je vyznačená esterová väzba.

## POKUS

### Hydrolyzá RNA a dôkaz purínových báz

Do kuželovej banky nasypeme asi 10 g kvasníc (zdroj RNA) a pridáme 10  $\text{cm}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $c = 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Zmes zahrejeme do varu a povaríme ešte 2 – 3 minúty. Potom zmes ochladíme, zneutralizujeme pridaním 10  $\text{cm}^3$  roztoku NaOH ( $c = 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) a nakoniec prefiltrujeme. Z filtrátu do skúmavky odoberieme 1 – 2  $\text{cm}^3$ , pridáme 1  $\text{cm}^3$   $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $w = 0,25$ ) a 10 kvapiek  $\text{AgNO}_3$  ( $c = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Vznikne biela vložkovitá zrazenina strieborných solí purínových báz.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Dusíkatá báza sa v nukleotide prostredníctvom atómu dusíka viaže na prvý atóm uhlíka sacharidu (obr. 5.2). Sacharid sa zároveň viaže svojím piatym atómom uhlíka esterovou väzbou na kyselinu trihydrogenfosforečnú. Podľa druhu dusíkatých báz, ktoré sa v nukleotide nachádzajú, rozoznávame **adenínové, guanínové, cytozínové, uracilové a tymínové nukleotidy**. Podľa sacharidovej zložky rozoznávame ribonukleotidy (adenínové, guanínové, cytozínové atď.) a deoxyribonukleotidy.

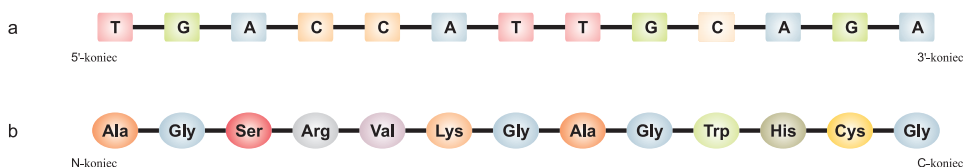
Odštiepením kyseliny trihydrogenfosforečnej z nukleotidu vznikne **nukleozid** (obr. 5.2). Je tvorený len dvomi zložkami: sacharidovou zložkou a dusíkatou bázou. Názvy nukleozidov sú, podobne ako v prípade nukleotidov, odvodené od príslušných dusíkatých báz. Jednotlivé nukleozidy majú tieto názvy: **adenozín, guanozín, cytidín, uridín a tymidín**.

Nukleotidy sú v polynukleotidovom reťazci vzájomne viazané **esterovou väzbou**, ktorá sa vytvára medzi zvyškom  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (viazaným na sacharid v pozícii 5') jedného nukleotidu a hydroxylovou skupinou naviazanou na tretí atóm uhlíka (3') sacharidu iného nukleotidu (obr. 5.2). Tak sa vytvára reťazec s definovaným smerom ( $5' \rightarrow 3'$ ). Pri zápise poradia nukleotidov je vľavo uvedený nukleotid s voľnou 5' skupinou, na pravej strane nukleotid s voľnou 3' skupinou (obr. 5.3, 5.5).

## 5.2 Štruktúra nukleových kyselín

Podobne ako pri bielkovinách, aj v prípade nukleových kyselín môžeme hovoriť o niekoľkých úrovniach ich štruktúry – primárnej, sekundárnej a terciárnej.

**Primárna štruktúra nukleových kyselín je daná poradím nukleotidov v polynukleotidovom reťazci.**

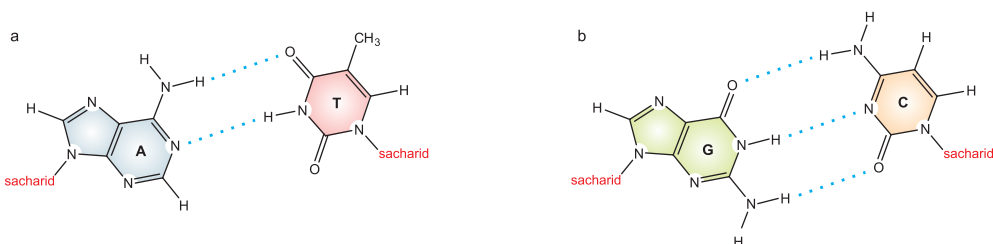


**Obr. 5.3 Porovnanie primárnych štruktúr nukleových kyselín a bielkovín**

(a) reťazec nukleovej kyseliny tvorený nukleotidmi, (b) reťazec bielkoviny tvorený aminokyselinami  
*Všimnite si podobnosť medzi primárnou štruktúrou nukleových kyselín a primárnou štruktúrou bielkovín. V oboch prípadoch je primárna štruktúra daná poradím ich základných stavebných zložiek, v nukleových kyselinách poradím nukleotidov, v bielkovinách poradím aminokyselín. Vždy pritom záleží, v ktorom smere sa reťazec „číta“, pretože konce týchto makromolekúl nie sú rovnocenné.*

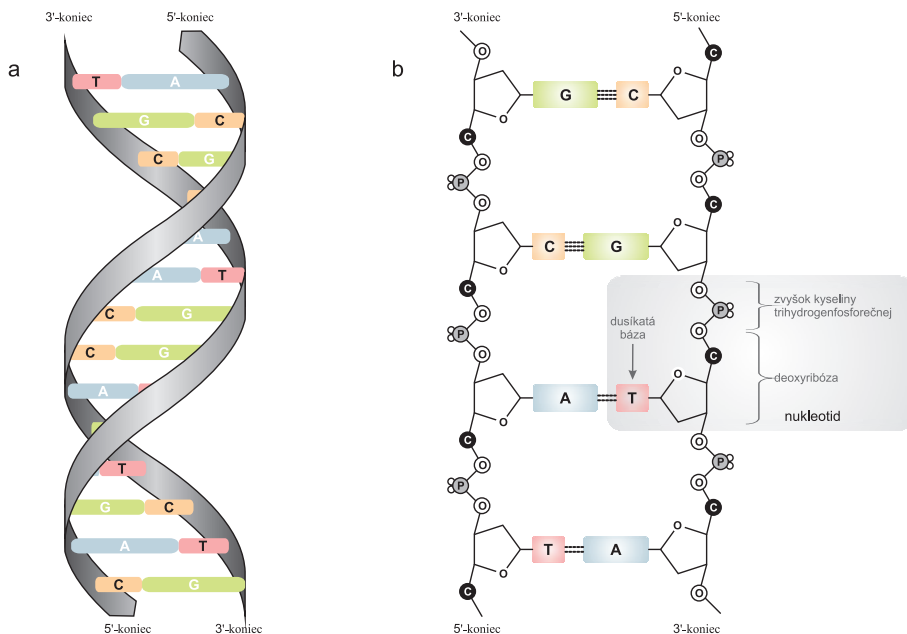
Primárna štruktúra však nevystihuje skutočnú priestorovú orientáciu polynukleotidového reťazca. Makromolekuly DNA aj RNA majú charakteristické trojrozmerné usporiadanie, ktoré vyjadruje ich sekundárna a terciárna štruktúra.

**Sekundárna štruktúra DNA** je veľmi pravidelná. DNA v priestore nadobúda tvar **dvojitej pravotočivej závitnice – tzv. dvojzávitnice**, ktorá je tvorená dvomi proti sebe vedenými polynukleotidovými reťazcami (vlákna, obr. 5.5). Obe vlákna sú navzájom viazané prostredníctvom vodíkových väzieb medzi určitými dusíkatými bázami. Toto spojenie však nie je náhodné, ale riadi sa princípom **komplementarity (doplnkovosti, nezameniteľnosti) dusíkatých báz**. Znamená to, že určitá dusíkatá báza sa môže vodíkovými väzbami viazať (párovať) len s jedným konkrétnym typom inej dusíkatej bázy. Keďže na štruktúre DNA sa podieľajú len 4 rôzne typy dusíkatých báz, môžu tu vzniknúť len 2 rôzne dvojice – tzv. komplementárne páry. Platí, že adenín môže vytvoriť komplementárny pár len s tymínom, kým guanín môže vytvoriť pár len s cytozínom (obr. 5.4). Adenín je teda komplementárnou bázou k tymínu (a opačne, tymín k adenínu) a guanín zase komplementárnou bázou k cytozínu (a opačne).



**Obr. 5.4 Komplementárne páry dusíkatých báz**

(a) adenín a tymín sú viazané dvomi vodíkovými väzbami, (b) guanín a cytozín sú viazané tromi vodíkovými väzbami  
*V oboch komplementárnych pároch je jedna z dusíkatých báz purínovou bázou a druhá pyrimidínovou bázou.*



**Obr. 5.5 Štruktúra DNA**

(a) dvojzávitnicová sekundárna štruktúra DNA, (b) dve protismerné vlákna DNA spojené vodíkovými väzbami medzi komplementárnymi dusíkatými bázami (na obrázku je zvýraznený jeden z nukleotidov s označenými zložkami)

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



**Sekundárna štruktúra RNA** nemá také pravidelné črty ako sekundárna štruktúra DNA. Vyplyva to jednak z rozdielnej funkcie RNA v porovnaní s DNA, jednak z funkčných a štruktúrnych odlišností medzi jednotlivými typmi RNA. Molekula RNA je na rozdiel od DNA väčšinou tvorená len jedným vláknom. U niektorých druhov RNA má toto vlákno len charakter jednoduchého (nezdvojeného) reťazca, u iných typov nachádzame okrem jednoduchých častí aj zdvojené časti reťazca vo forme dvojzávitnice. Keďže je však RNA jednvláknová, obe vetvy dvojzávitnice sú tvorené dvomi rozdielnymi časťami toho istého vlákna. Zdvojenie vzniká vzájomným priblížením a spojením nukleotidov, ktoré obsahujú komplementárne dusíkaté bázy (obr. 5.7).

Komplementárne spojenie G-C v RNA je rovnaké ako u DNA. Komplementárny pár A-T však v RNA neexistuje, pretože tymín sa v RNA nenachádza. Namiesto tymínu je v RNA komplementárnou bázou k adenínu uracil. V RNA sa teda stretávame s komplementárnym párom A-U.

## 5.3 Význam a funkcia nukleových kyselín

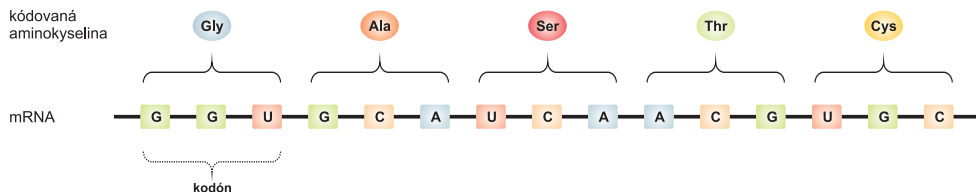
Každý druh nukleovej kyseliny má svoje špecifické biologické funkcie.

**Deoxyribonukleová kyselina** je nositeľkou základnej genetickej informácie bunky, ktorá je uložená v poradí jej nukleotidov, teda v jej primárnej štruktúre. Podľa tejto informácie sú v bunke syntetizované bielkoviny. Inými slovami, poradie nukleotidov v štruktúre DNA priamo súvisí s poradím aminokyselín v štruktúre syntetizovaných bielkovín. V eukaryotických bunkách sa DNA nachádza v jadre, mitochondriách a chloroplastoch. Nachádza sa tiež v bunkách baktérií a v niektorých vírusoch<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Výnimkou sú RNA-vírusy, v ktorých je primárnym genetickým materiálom RNA (napr. vírus chrípky, HIV atď).

Molekuly RNA sa v bunke tvoria prepisom poradia nukleotidov určitých úsekov DNA. Rozlišujeme tri základné typy RNA so špecifickými funkciami:

**Mediátorová RNA (mRNA)**<sup>3</sup> obsahuje prepis informácie určitého úseku molekuly DNA o primárnej štruktúre (poradí aminokyselín) bielkovín, ktoré sa podľa nej budú syntetizovať. Je teda matricou pre syntézu bielkovín. Úlohou mRNA je tiež preniesť túto informáciu z bunkového jadra (kde je uložená DNA) do cytoplazmy, kde prebieha samotná syntéza bielkovín. Každá aminokyselina je v štruktúre mRNA určená osobitnou trojicou (tzv. tripletom) nukleotidov, ktoré nazývame **kodón** (obr. 5.6).



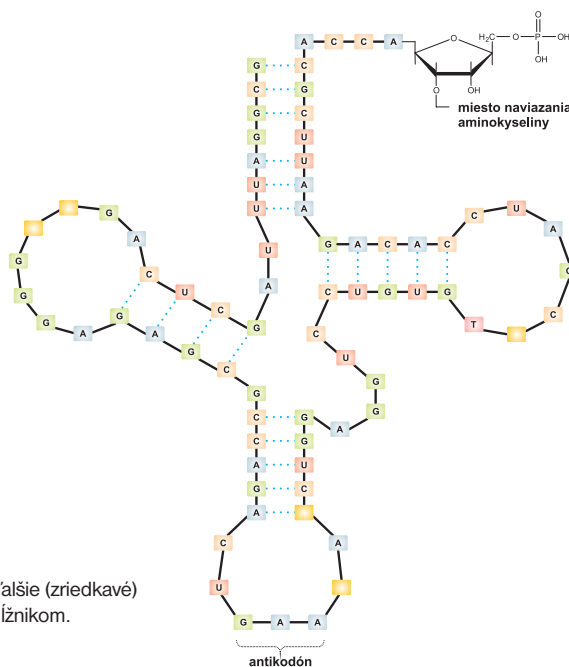
**Obr. 5.6** Príklad časti mRNA kódujúcej úsek polypeptidového reťazca s poradím aminokyselín glycín – alanín – serín – treonín – cysteín

Na uvedenom príklade mRNA vidíme, že triplet nukleotidov s bázami guanín – guanín – uracil (GGU) kóduje aminokyselinu glycín atď.

**Ribozómová RNA (rRNA)** je hlavným stavebným materiálom ribozómov – bunkových štruktúr, na ktorých prebieha syntéza bielkovín. Okrem toho rRNA katalyzuje tvorbu peptidovej väzby, teda má aj funkciu enzýmu (kap. 6).

**Transferová RNA (tRNA)** prenáša na ribozómy jednotlivé aminokyseliny, z ktorých sú tu syntetizované bielkoviny (podľa informácie prepísanej do mRNA). Pre každú aminokyselinu existuje špecifický typ tRNA. Transferové ribonukleové kyseliny nesú na jednom svojom konci naviazanú príslušnú aminokyselinu a opačným koncom sa v ribozóme viažu na kodón mRNA. Trojica nukleotidov tRNA, ktoré sú komplementárne ku kodónu, sa nazýva **antikodón** (obr. 5.7).

Štruktúru nukleotidu má aj ďalšia významná látka – **adenozintrifosfát (kyselina adenozintrifosforečná, ATP)**. Obsahuje dusíkatú bázu adenín a sacharid ribózu, na ktorú sú za sebou viazané až tri zvyšky kyseliny trihydrogenfosforečnej. ATP má nesmierny význam, pretože je hlavným prenášačom energie vo väčšine procesov prebiehajúcich v živých organizmoch. Táto sa získava štiepením na energiu bohatých chemických väzieb – **makroergických väzieb**. V molekule ATP sa nachádzajú dve makroergické väzby. Viac o ATP a jeho význame v biochemických procesoch nájdete v kapitole 9.4.



**Obr. 5.7** Príklad štruktúry tRNA

Pozn.: v štruktúre tRNA sa nachádzajú aj niektoré ďalšie (zriedkavé) nukleotidy, ktoré sú vyznačené prázdny žltým obdĺžnikom.

3 Mediátorová RNA je niekedy označovaná aj ako informátorová alebo informačná RNA. Písmeno „m“ v skratke mRNA je odvodené od anglického výrazu *messenger RNA* (angl. *messenger* = posol).

## KLÚČOVÉ UČIVO

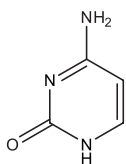


- Nukleové kyseliny sú biomakromolekulové látky, ktoré majú význam pri uchovávaní a prenose genetickej informácie.
- Základnou stavebnou jednotkou nukleových kyselín sú nukleotidy. Každý nukleotid obsahuje 3 zložky: sacharidovú zložku (ribózu alebo deoxyribózu), purínovú alebo pyrimidínovú dusíkatú bázu a zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej.
- V nukleových kyselinách sa vyskytujú 2 druhy purínových báz (adenín a guanín) a 3 druhy pyrimidínových báz (cytozín, uracil a tymín).
- Podľa sacharidovej zložky rozlišujeme dva základné typy nukleových kyselín: deoxyribonukleové kyseliny (DNA) a ribonukleové kyseliny (RNA).
- Primárna štruktúra nukleových kyselín je daná poradím jednotlivých nukleotidov v polynukleotidovom reťazci.
- Sekundárna štruktúra DNA je dvojlátková a má tvar pravotočivej závitnice. Nazýva sa dvojjávitnica.
- DNA je nositeľkou základnej genetickej informácie bunky. Nachádza sa v jadre, mitochondriách a chloroplastoch eukaryotických buniek, bunkách baktérií a v niektorých vírusoch.
- Podľa funkcie rozlišujeme tri základné typy RNA: mediátorovú RNA (mRNA), ribozómovú RNA (rRNA) a transferovú RNA (tRNA).

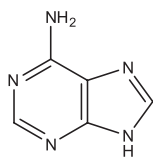
## OTÁZKY A ÚLOHY



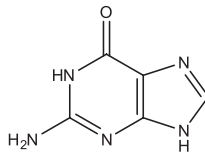
1. Zložky nukleotidu sú:
  - a) dusíkatá báza, disacharid, zvyšok kyseliny sírovej,
  - b) aminokyselina, monosacharid, zvyšok kyseliny uhličitej,
  - c) aminokyselina, polysacharid, zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej,
  - d) dusíkatá báza, monosacharid, zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej.
2. K nasledujúcim vzorcom dusíkatých báz napíšte ich názvy:



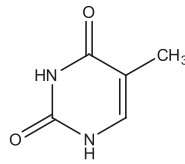
a).....



b).....



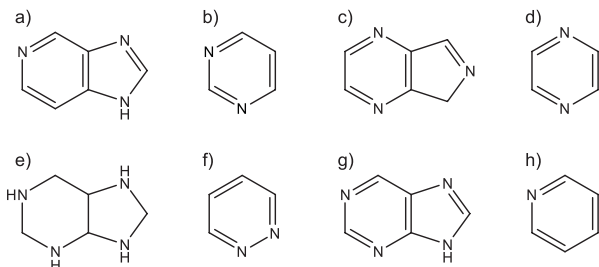
c).....



d).....

3. Pyrimidínovú štruktúru nemá:
  - a) pyrol,
  - b) uracil,
  - c) tymín,
  - d) adenín.
4. V DNA sa vyskytuje:
  - a) tymín,
  - b) ribóza,
  - c) uracil,
  - d) adenín.

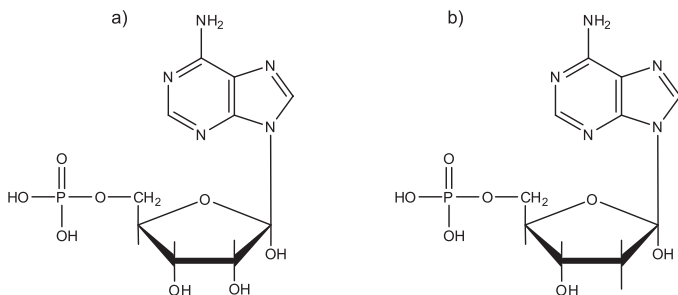
5. Z nasledujúcich vzorcov vyberte správne vzorce pyrimidínu a purínu:



6. V RNA sa nikdy nevyskytuje:

- cytozín,
- guanín,
- deoxyribóza,
- zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej.

7. Rozhodnite, ktorý z uvedených nukleotidov je súčasťou DNA a ktorý súčasťou RNA:



8. Aký tvar vytvára molekula DNA v priestore?

9. Primárna štruktúra DNA je:

- daná poradím jednotlivých nukleotidov v polynukleotidovom reťazci,
- tvorená vodíkovými väzbami,
- daná poradím aminokyselín,
- je rovnaká vo všetkých molekulách DNA.

10. Vysvetlite, čo znamená komplementarita (doplnkovosť) dusíkatých báz v molekulách nukleových kyselín.

11. Komplementárne dusíkaté bázy sú navzájom spojené

- disulfidovými väzbami,
- glykozidovými väzbami,
- vodíkovými väzbami,
- van der Waalsovými silami.

12. Vymenujte všetky komplementárne páry vyskytujúce sa v DNA a tiež všetky komplementárne páry vyskytujúce sa v RNA.

13. Aká bude primárna štruktúra vlákna DNA, ak poradie nukleotidov druhého (komplementárneho) vlákna je: ATCGGCCACGGTT.

14. Ktoré bunkové organely, okrem bunkového jadra, obsahujú DNA?

- mitochondria,
- endoplazmatické retikulum,
- Golgiho aparát,
- chloroplast.

## 6 ENZÝMY

V bunkách neustále prebieha obrovské množstvo biochemických reakcií, pri ktorých dochádza k premene východiskových látok – **substrátov** na produkty. V porovnaní s mnohými chemickými dejmi, uskutočňovanými v neživej prírode, sú bunkové procesy realizované pri pomerne miernej teplote a tlaku, takmer neutrálnom pH<sup>1</sup> a vo vodnom prostredí. Pri takýchto podmienkach **väčšina biochemických dejov prebieha len za prítomnosti molekúl špeciálnych katalyzátorov**, ktoré sa nazývajú **enzýmy**.

**Enzýmy sú biokatalyzátory, ktoré v živých organizmoch urýchľujú premenu určitých látok na produkty.**

Enzýmy sa líšia od bežných chemických katalyzátorov v niekoľkých bodoch:

- Rýchlosti enzýmovo katalyzovaných reakcií sú zvyčajne niekoľkonásobne vyššie ako rýchlosti reakcií prebiehajúcich za prítomnosti chemických katalyzátorov. V porovnaní s reakciami bez katalyzátorov prebiehajú enzýmové reakcie 10<sup>6</sup> – 10<sup>12</sup>-krát rýchlejšie.
- Biochemické reakcie katalyzované enzýmami prebiehajú pri fyziologicky prijateľných teplotách (väčšinou do 50 °C), konštantnom tlaku, bez objemových zmien a v takmer neutrálnom prostredí<sup>2</sup>.
- Enzýmy sú omnoho špecifickejšie k substrátom (východiskovým látkam).
- Počas enzýmovo katalyzovaných reakcií zvyčajne nevznikajú vedľajšie produkty.
- Enzýmové reakcie môžu byť regulované (napr. alosterická regulácia, kap. 6.5.3).

### 6.1 Zloženie a štruktúra enzýmov

**Enzýmy sú látky bielkovinovej povahy**<sup>3</sup>. Môžu mať jednoduchú štruktúru, alebo sa skladajú z viacerých podjednotiek. Na základe chemického zloženia rozlišujeme enzýmy jednozložkové alebo dvojsložkové. **Jednozložkové enzýmy** sú tvorené len bielkovinou. Väčšina enzýmov však patrí medzi **dvojsložkové enzýmy**, pretože pre svoju katalytickú činnosť vyžadujú aj prítomnosť ďalšej, nebielkovinovej zložky, ktorá sa nazýva **kofaktor**<sup>4</sup>.

Bielkovinovú časť dvojsložkových enzýmov nazývame **apoenzým**. Apoenzým v spojení s kofaktorom tvorí funkčnú formu enzýmu, ktorú niekedy nazývame holoenzým.



Apoenzým bez kofaktorovej časti je zvyčajne enzýmovo neaktívny.

Kofaktor môže mať anorganický alebo organický charakter. Medzi najčastejšie anorganické kofaktory patria katióny kovov (napr. Zn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cu<sup>+</sup>). Enzýmy, ktoré ako nebielkovinovú zložku obsahujú kovový katión, nazývame **metaloenzýmy**.

Ak je nebielkovinovou zložkou enzýmu organická molekula, nazývame ju **koenzým**.

**Koenzým je nebielkovinová zložka enzýmu organického charakteru, ktorá je slabo viazaná s bielkovinovou časťou enzýmu (apoenzýmom) a môže sa od nej ľahko oddeliť. Mnohé koenzýmy sú derivátmi vitamínov (kap. 7).**

<sup>1</sup> Fyziologické pH má hodnotu 7,4.

<sup>2</sup> Výnimkou sú niektoré enzýmy tráviacej sústavy stavovcov, ktoré fungujú len v kyslom (pepsin) alebo zásaditom (trypsin) prostredí (kap. 6.6).

<sup>3</sup> Katalytickú funkciu má aj ribozomálna RNA, nazývaná ribozým (kap. 5.3).

<sup>4</sup> Kofaktor je vo všeobecnosti akákoľvek látka, ktorá v spojení alebo spolupôsobení s inou látkou zosilňuje jej účinok.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++

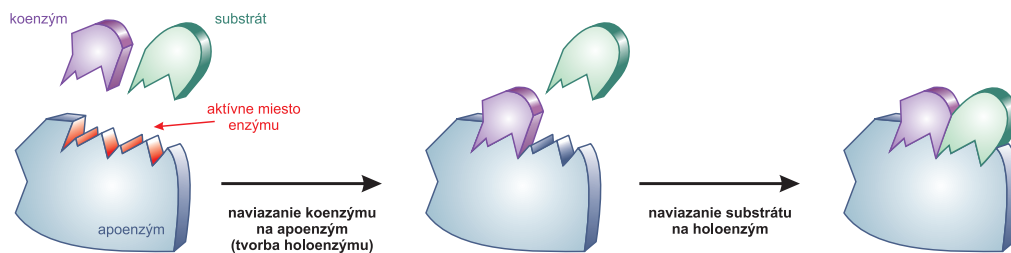


Keďže koenzýmy sú len slabó viazané s apoenzýmom, môžu sa v bunke vyskytovať aj voľné, prípadne sa naviazať na iný apoenzým.

Okrem koenzýmov poznáme aj také organické kofaktory, ktoré sú pevne (kovalentne) viazané s apoenzýmovou časťou enzýmu. Nazývame ich **prostetické skupiny**.

## Aktívne miesto enzýmu

Miesto na povrchu enzýmu, na ktoré sa počas katalytického procesu viažu substráty (a koenzýmy), sa nazýva **aktívne miesto** enzýmu (obr. 6.1). Aktívne miesto má zvyčajne tvar malej dutiny a do istej miery odráža štruktúru substrátu. Nachádzajú sa v ňom dôležité funkčné skupiny, ktoré sú rozmiestnené tak, aby zabezpečili účinné spojenie enzýmu so substrátom a tiež skupiny, ktoré zabezpečujú samotný katalytický účinok. Najčastejšie sú to aminoskupiny ( $-\text{NH}_2$ ), karboxylové skupiny ( $-\text{COOH}$ ), hydroxylové skupiny ( $-\text{OH}$ ) a tiolové skupiny ( $-\text{SH}$ ), ktoré sú súčasťou bočných reťazcov aminokyselín polypeptidového vlákna enzýmu. Molekuly, ktoré sa od substrátu odlišujú tvarom alebo rozmiestnením funkčných skupín, sa do aktívneho miesta enzýmu nemôžu viazať.



Obr. 6.1 Naviazanie substrátu a koenzýmu do aktívneho miesta enzýmu

Väzba substrátu s enzýmom v jeho aktívnom mieste je vo väčšine prípadov len slabá. Najčastejšie je sprostredkovaná vodíkovými väzbami, van der Waalsovými silami alebo elektrostatickými silami medzi opačne nabitými časťami substrátu a aktívneho miesta enzýmu.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Spôsob interakcie enzýmu so substrátom sa snažia vysvetliť dve hypotézy. **Hypotéza zámku a kľúča** (r. 1894) predpokladá, že aktívne miesto enzýmu je nemenné a presne odráža štruktúru substrátu. Substrát teda zapadne do enzýmu ako kľúč do zámky. Novšia **hypotéza indukovaného prispôsobenia** (r. 1959) vychádza z predstavy, že aktívne miesto enzýmu sa definitívne prispôbobi substrátu až po jeho naviazaní. Pred naviazaním substrátu má teda aktívne miesto mierne odlišnú priestorovú štruktúru. Táto hypotéza sa dnes považuje za správnu a bola potvrdená aj experimentálnou analýzou.

## 6.2 Špecifita enzýmovej katalýzy

Jednou z charakteristických vlastností enzýmov je ich **špecifický katalytický účinok**.



Každý enzým je orientovaný len na určitý substrát a tiež len na určitý druh premeny tohto substrátu. Podľa toho rozlišujeme dve stránky enzýmovej špecificity (špecificity):

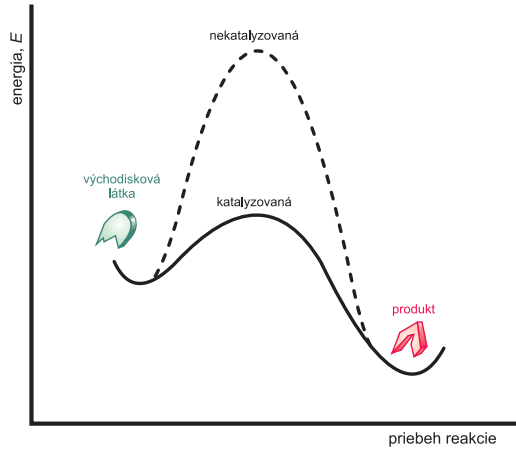
1. **Substrátová špecificita** znamená, že enzým katalyzuje biochemickú premenu len určitého konkrétneho substrátu (teda nie akéhokoľvek substrátu). Niektoré enzýmy sú prísne špecifické, t. j. katalyzujú len reakciu jednej zlúčeniny, napr. glukokináza (katalyzuje len premenu glukózy). Iné katalyzujú premenu celej skupiny štruktúrne podobných látok, napr. hexokináza (katalyzuje okrem premeny glukózy aj premenu ostatných hexóz). Za substrátovú špecificitu enzýmu je zodpovedná jeho bielkovinová časť – apoenzým.
2. **Špecificita účinku** zabezpečuje, že enzým katalyzuje len určitý konkrétny typ reakcie s daným substrátom (napr. len hydroxyláciu), a teda nie akýkoľvek typ reakcie. Špecificitu účinku enzýmu zvyčajne zabezpečuje jeho koenzýmová časť.

**Dôležitou vlastnosťou enzýmov je, že na rozdiel od ostatných katalyzátorov (anorganických a organických) reakcie nielen urýchľujú, ale aj regulujú.**

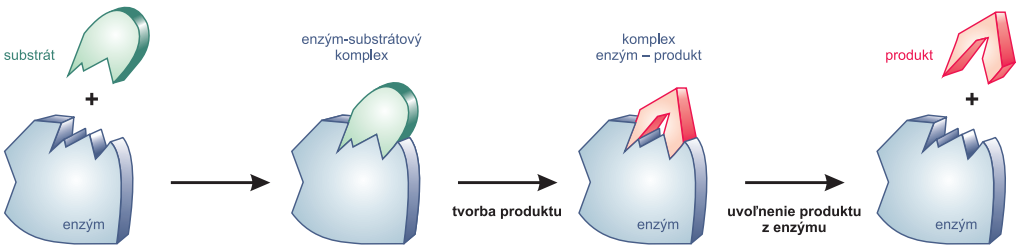
### 6.3 Mechanizmus enzýmových reakcií

Podstatou účinku všetkých katalyzátorov, teda aj enzýmov, je **zníženie aktivačnej energie** potrebnej na uskutočnenie reakcie (obr. 6.2). Aktivačná energia ( $E_A$ ) je minimálna energia, ktorú musia mať častice, aby po ich zrážke došlo k chemickej reakcii. Keďže pri katalyzovaných reakciách je aktivačná energia nižšia, prebiehajú rýchlejšie ako nekatalyzované reakcie.

V prípade enzýmami katalyzovaných reakcií však nejde o priamu premenu substrátov na produkty. Vzájomným naviazaním enzýmu so substrátom vznikne najprv tzv. **enzým-substrátový komplex**, v ktorom prebehne vlastná chemická reakcia a vznikne **komplex enzým – produkt**. Po uskutočnení reakcie sa komplex rýchlo rozpadne a z aktívneho miesta enzýmu sa uvoľnia produkty reakcie (obr. 6.3).



Obr. 6.2 Porovnanie priebehu nekatalyzovanej a katalyzovanej reakcie



Obr. 6.3 Schéma priebehu enzýmom katalyzovanej reakcie

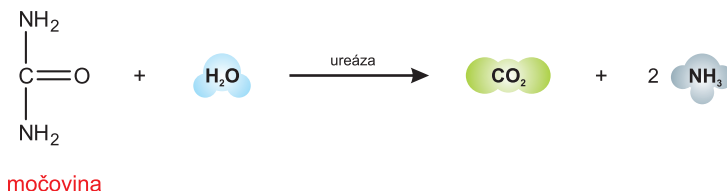
Produkt jednej reakcie môže byť zároveň substrátom ďalšej, enzýmom katalyzovanej biochemickej reakcie. Takýmto spôsobom dochádza k postupnej premene určitých látok až na konečné produkty. Vznikajúce látky môžu byť v porovnaní s východiskovými látkami jednoduchšie alebo zložitejšie.

Enzýmy si svoje katalytické účinky zachovávajú aj po ich uvoľnení (izolovaní) z buniek. Pri vhodných podmienkach je teda možné tie isté enzýmové reakcie uskutočniť aj mimo ich pôvodného bunkového prostredia, napr. v skúmavke (*in vitro*).

## POKUS

### Dôkaz katalytického účinku ureázy zo sójovej múčky

Enzým ureáza, ktorý sa nachádza v sójovej múčke, katalyzuje rozklad močoviny na oxid uhličitý a amoniak.



K 2 – 3 cm<sup>3</sup> roztoku močoviny ( $w = 0,02$ ) v skúmavke pomaly a za stáleho miešania pridáme asi 0,5 g sójovej múčky (zdroj ureázy). O niekoľko minút začne unikať amoniak, ktorý spoznáme podľa jeho charakteristického zápachu. Vzniknuté zásadité reakčné prostredie možno dokázať pridaním 1 – 2 kvapiek roztoku fenolftaleínu, ktorý sa sfarbí na ružovofialovo.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++

### Názvoslovie a rozdelenie enzýmov

V minulosti boli enzýmy pomenované podľa ich výskytu alebo funkcie v organizme (napr. pepsín, ptyalín, trypsin a pod.). Neskôr, s pribúdajúcim počtom objavených enzýmov, sa ich názvy začali tvoriť pridaním koncovky **-áza** ku koreňu slova, odvodeného od názvu substrátu enzymovej reakcie (napr. amyláza, sacharáza, maltáza). Od roku 1961 sa v odbornej praxi používa **systematické názvoslovie enzýmov**, ktoré odráža nielen názov substrátu, ale aj typ reakcie, ktorej substrát podlieha (napr. laktát-dehydrogenáza, aspartát-aminotransferáza, prolyl-hydroxyláza).

V súčasnosti sa enzýmy rozdeľujú do 6 základných tried:

1. **Oxidoreduktázy** – katalyzujú oxidačno-redukčné procesy.
2. **Transferázy** – katalyzujú prenos (transfer) atómových skupín alebo celých molekúl z jedného substrátu na iný.
3. **Hydrolázy** – katalyzujú hydrolytické štiepenie rôznych väzieb.
4. **Lyázy** – katalyzujú adičné a eliminačné reakcie alebo štiepenie väzieb C-C, C-O a C-N inak ako hydrolýzou alebo oxidáciou.
5. **Izomerázy** – katalyzujú izomerizačné reakcie, teda zmeny v rámci toho istého substrátu,
6. **Ligázy** – katalyzujú zlúčenie (syntézu) dvoch molekúl.

Triedy sa ďalej rozdeľujú na podtriedy a tie na skupiny, v ktorých je každému enzýmu priradené poradové číslo. Každý enzým má tak špeciálny kód, ktorý ho jednoznačne zaraďuje v systéme klasifikácie enzýmov.

## 6.4 Faktory ovplyvňujúce proces enzýmovej katalýzy

Rýchlosť enzýmových reakcií nie je vždy rovnaká, ale značne závisí od podmienok, za ktorých prebiehajú. Na rýchlosť enzýmových reakcií vplyvajú mnohé faktory. Medzi najvýznamnejšie z nich patria:

- koncentrácia substrátu,
- koncentrácia enzýmu,
- teplota,
- hodnota pH,
- prítomnosť aktivátorov a inhibítorov.

### Vplyv koncentrácie substrátu

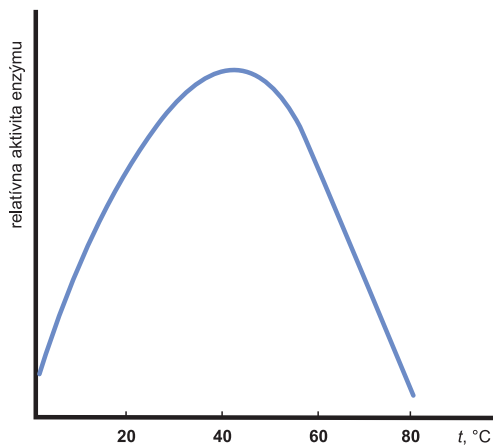
Rýchlosť enzýmovej reakcie vzrastá so zvyšujúcou sa koncentráciou substrátu dovtedy, kým je v prostredí prítomné dostatočné množstvo enzýmu. Keď sa obsadia aktívne miesta všetkých molekúl enzýmu, rýchlosť enzýmovej reakcie so zvyšujúcou sa koncentráciou substrátu už ďalej nerastie.

### Vplyv koncentrácie enzýmu

Rýchlosť enzýmovej reakcie vzrastá priamo úmerne s množstvom enzýmu. V reakčnom prostredí však musí byť prítomné aj dostatočné množstvo substrátu.

### Vplyv teploty

Keďže enzýmy sú látky bielkovinovej povahy, voči teplote sú veľmi citlivé. Vo všeobecnosti možno povedať, že aktivita enzýmov vzrastá s teplotou v rozmedzí od 10 do 40 °C<sup>5</sup>. Pri vyšších teplotách sa rýchlosť enzýmových reakcií prudko znižuje, pretože dochádza k denaturácii bielkovinovej štruktúry enzýmu. Aktivita enzýmov je malá aj pri veľmi nízkych teplotách a pod teplotou 0 °C sa prakticky úplne zastavuje (obr. 6.4). Táto skutočnosť sa využíva napr. pri skladovaní potravín v chladničkách a mrazničkách.



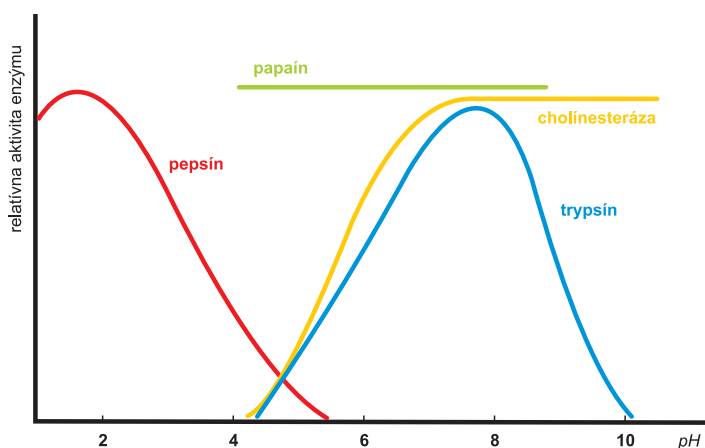
Obr. 6.4 Graf závislosti aktivity enzýmu od teploty

### Vplyv pH

Väčšina enzýmov je veľmi citlivá na zmeny pH. Súvisí to, podobne ako u teploty, s bielkovinovou štruktúrou molekuly enzýmov. Extrémne hodnoty pH totiž spôsobujú jej denaturáciu. Enzýmy sú spravidla aktívne len v pomerne úzkom rozmedzí hodnôt pH. Väčšina enzýmov je najaktívnejšia

<sup>5</sup> Enzýmy niektorých organizmov sú aktívne aj pri extrémne vysokých teplotách. Napr. DNA-polymeráza (enzým podieľajúci sa na syntéze DNA) baktérie *Thermus aquaticus*, ktorá žije v horúčich prameňoch, je odolná voči teplotám až do 95 °C.

v neutrálnom prostredí, pretože hodnota pH v bunkách (tzv. fyziologické pH) je 7,4. Niektoré enzýmy však vyžadujú iné hodnoty pH, napr. tráviaci enzým pepsín je najaktívnejší v kyslom prostredí (okolo  $\text{pH} = 2$ ). Hodnota pH, pri ktorej je rýchlosť danej enzýmovej reakcie maximálna, sa nazýva **pH optimum**.



Obr. 6.5 Graf závislosti aktivity niektorých enzýmov od hodnoty pH

## 6.5 Aktivácia a inhibícia enzýmov

Na aktivitu enzýmov a tým aj na rýchlosť enzýmových reakcií, v bunkovom prostredí vplyvajú aj mnohé nízkomolekulové látky alebo ióny. Tie môžu aktivitu enzýmov buď zvyšovať – hovoríme o **aktivácii enzýmov**, alebo znižovať – **inhibícia enzýmov**.

### 6.5.1 Aktivácia enzýmov

Látky zvyšujúce katalytickú účinnosť enzýmov nazývame **aktivátory**. Sú to najmä katióny niektorých kovov, napr.  $\text{Mg}^{2+}$ .

#### ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++

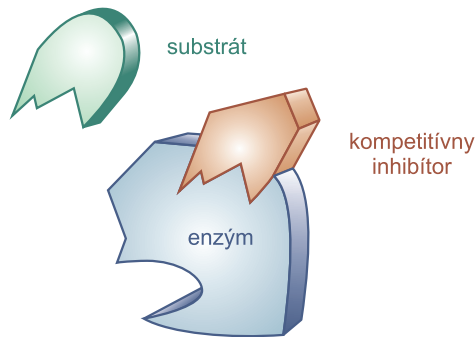


Aktivácia enzýmov sa môže uskutočniť aj iným spôsobom. Mnohé enzýmy sú bunkami produkované v neúčinnnej forme, ktorú nazývame **proenzým** (alebo zymogén). Predtým, ako enzým začne plniť svoju fyziologickú funkciu, sa z tejto neaktívnej formy musí odštiepiť časť jeho polypeptidového reťazca (zvyčajne brániaca naviazaniu substrátu na aktívne miesto enzýmu), čím sa enzým premení na aktívnu formu. Týmto spôsobom sú aktivované aj mnohé tráviace enzýmy, napr. pepsín a trypsin (kap. 6.6). Ak by boli tieto enzýmy produkované priamo v ich účinnej forme, spôsobili by rozklad buniek, ktoré ich tvoria. Preto sa v skutočnosti aktivujú až na mieste, kde vykonávajú svoju fyziologickú funkciu, teda v žalúdku (pepsín z neúčinnného pepsinogénu) a v tenkom čreve (trypsin z neúčinnného trypsinogénu).

### 6.5.2 Inhibícia enzýmov

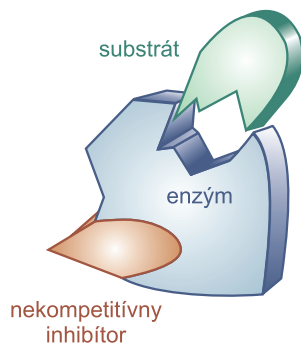
Látky znižujúce katalytickú účinnosť enzýmov nazývame **inhibitory**. Inhibitory sa zvyčajne viažu na enzým takým spôsobom, ktorý negatívne ovplyvňuje väzbu substrátu na enzým alebo jeho premenu na produkt. Podľa mechanizmu účinku inhibítora rozlišujeme tieto typy inhibície:

1. Pri **kompetitívnej (konkurenčnej) inhibícii** sa inhibítor viaže priamo do aktívneho miesta enzýmu, čím zabraňuje naviazaniu substrátu. Kompetitívne inhibítory sú zvyčajne štruktúrne veľmi podobné molekulám substrátu, a preto im „konkurujú“ (kompetujú) v naviazaní do aktívneho miesta enzýmu (obr. 6.6).



Obr. 6.6 Kompetitívna inhibícia

2. Pri **nekompetitívnej (nekonkurenčnej) inhibícii** sa inhibítor neviaže do aktívneho miesta enzýmu, teda nekonkuruje substrátu. Viaže sa na enzým mimo jeho aktívneho miesta, čím vyvoláva štruktúrne zmeny molekuly enzýmu (aj jeho aktívneho miesta), ktoré sťažujú naviazanie substrátu alebo jeho premenu na produkt. Nekompetitívne inhibítory sú zvyčajne štruktúrne odlišné od molekuly substrátu (obr. 6.7).



Obr. 6.7 Nekompetitívna inhibícia

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO



### 6.5.3 Alosterická regulácia činnosti enzýmov

Enzýmy sú často aktivované alebo inhibované naviazaním iónu alebo malej molekuly mimo aktívneho miesta. Enzým tým zmení konformáciu celej svojej molekuly. Keďže táto zmena sa prejaví aj v priestorovej štruktúre aktívneho miesta, ovplyvní to naviazanie substrátu na enzým buď pozitívne (v prípade aktivácie), alebo negatívne (v prípade inhibície). Tento typ zmeny aktivity enzýmu sa nazýva **alosterická aktivácia a inhibícia**. Časť molekuly enzýmu, kde sa aktivátor alebo inhibítor viaže, označujeme ako **alosterické miesto**.

Alosterické aktivátory a inhibítory si bunka tvorí sama a podľa potreby ich používa. Zvyčajne sú to niektoré z medziproduktov na seba nadväzujúcich biochemických reakcií. Bunka tak prirodzenou cestou reguluje činnosť enzýmov a tým aj vlastný metabolizmus. Preto v tomto prípade hovoríme aj o **alosterickej regulácii** enzýmovej aktivity.

## 6.6 Tráviace enzýmy

Bunky organizmov produkujú obrovské množstvo enzýmov, ktoré sa podieľajú na rozličných procesoch. Niektoré z nich katalyzujú reakcie vo vnútri buniek, iné enzýmy bunky opúšťajú a svoju funkciu vykonávajú mimo buniek, v ktorých boli syntetizované. K takýmto enzýmom zaraďujeme aj **tráviace enzýmy**, ktoré sa podieľajú na spracovaní potravy prijatej ľudským organizmom. Medzi najvýznamnejšie z nich patria amyláza, pepsín, trypsín a lipázy.

**Amyláza** hydrolyticky štiepi škrob na jednoduchšie sacharidy. Je produkovaná slinnými žľazami a podžalúdkovou žľazou (pankreasom). Rozlišujeme 3 typy amylázy, z ktorých najvýznamnejšia je  $\alpha$ -amyláza nachádzajúca sa v slinách, niekedy označovaná ako ptyalín.

### POKUS

#### Štiepenie škrobu slinnou $\alpha$ -amylázou

Pripravíme roztok slinnej amylázy tak, že si postupne vypláchneme ústa asi 30 cm<sup>3</sup> destilovanej vody a roztok vypustíme do kadičky. Do malej banky odmeriame 5 cm<sup>3</sup> škrobového mazu, 20 cm<sup>3</sup> roztoku slinnej amylázy a 10 cm<sup>3</sup> destilovanej vody. Banku umiestnime do vodného kúpeľa, ktorý udržíme na teplote okolo 35 °C. Potom v trojminútových intervaloch pipetou odoberáme z reakčnej zmesi vzorku (1 cm<sup>3</sup>), s ktorou uskutočnime skúšku na dôkaz škrobu (kap. 3.2.2). Zaznamenáme, za aký čas už v reakčnej zmesi nie je prítomný škrob.

**Pepsín** je hydrolytický enzým, ktorý vzniká v bunkách žalúdočnej sliznice. Jeho úlohou je štiepiť dlhé reťazce proteínov na kratšie peptidy. Podieľa sa teda na štiepení peptidových väzieb bielkovín.

**Trypsín**, rovnako ako pepsín, hydrolyticky štiepi peptidové väzby. Je však produkovaný pankreasom, ktorý odvádza svoje tráviace enzýmy do tenkého čreva. Preto trypsín, na rozdiel od pepsinu, zabezpečuje štiepenie reťazcov bielkovín v tenkom čreve.

**Lipázy** zabezpečujú štiepenie lipidov. Okrem tráviacej sústavy sú však lipázy produkované aj v ďalších živočíšnych tkanivách, a tiež aj v bunkách rastlín, baktérii a húb.

Aj mnohé pracie prostriedky obsahujú enzýmy, ktoré fungujú podobne ako tráviace enzýmy. Ich úlohou je rozložiť organické nečistoty, napr. škvrny od potravín, krvi a pod. Účinok týchto enzýmov sa však značne znižuje pri vyšších teplotách, pretože pri nich (ako pri všetkých bielkovinách) dochádza k denaturácii ich štruktúry (kap. 4.3).

### KLÚČOVÉ UČIVO

- Počas biochemických reakcií katalyzovaných enzýmami sa substráty (východiskové látky) menia na produkty.
- Enzýmy majú spravidla bielkovinovú štruktúru. Niektoré z nich okrem bielkovinovej zložky (apoenzým) obsahujú aj nebielkovinovú zložku (kofaktor). Ak je nebielkovinovou zložkou organická molekula, ktorá je slabo viazaná s apoenzýmovou časťou, nazývame ju koenzým.
- Väzbové miesto na povrchu molekuly enzýmu, na ktoré sa viažu substráty a kofaktory, sa nazýva aktívne miesto.
- Katalytický účinok enzýmov je založený na znížení aktivačnej energie, potrebnej na uskutočnenie reakcie.
- Enzýmom katalyzovaná premena substrátu na produkt sa neuskutočňuje priamo, ale cez enzým-substrátový komplex, v ktorom prebehne vlastná chemická reakcia.

- Dôležitou vlastnosťou enzýmov je ich špecifický katalytický účinok.
- Rýchlosť enzýmových reakcií ovplyvňujú mnohé faktory. Najvýznamnejšie z nich sú koncentrácia substrátu a enzýmu, teplota, pH prostredia a prítomnosť aktivátorov a inhibítorov.

## OTÁZKY A ÚLOHY



- Enzýmy sú:
  - sacharidy,
  - lipidy,
  - bielkoviny,
  - deoxyribonukleové kyseliny.
- Doplňte chýbajúce pojmy:  
Enzýmová reakcia prebieha v relatívne malej oblasti enzýmu, ktorá sa nazýva ..... Táto oblasť obsahuje presne rozmiestnené funkčné skupiny pochádzajúce z bočných reťazcov zvyškov ..... Pri enzýmovej reakcii sa substráty naväzujú do ..... enzýmu. V prípade dvojzložkových enzýmov sa do ich ..... miesta naväzuje aj ich nebielkovinová zložka, tzv. ....
- Prečo enzýmové reakcie prebiehajú rýchlejšie ako reakcie nekatalyzované?
- Koenzým je:
  - bielkovinová časť enzýmu,
  - nebielkovinová anorganická časť enzýmu,
  - nebielkovinová organická časť enzýmu, slabo viazaná s jeho bielkovinovou časťou,
  - nebielkovinová organická časť enzýmu, pevne viazaná s jeho bielkovinovou časťou.
- Vysvetlite rozdiel medzi pojmami kofaktor a koenzým.
- K uvedeným pojmom priradte ich správne vysvetlenie:
 

A) špecifita účinku	1) enzým katalyzuje len premenu určitého substrátu
B) substrátová špecifita	2) enzým katalyzuje len určitý typ reakcie
- Prečo sa pri teplotách vyšších ako 40 °C rýchlosť enzýmových reakcií prudko znižuje?
- Pri kompetitívnej inhibícii
  - sa inhibítor viaže na enzým mimo jeho aktívneho miesta,
  - sa inhibítor neviaže na enzým,
  - sa inhibítor nevratne viaže na enzým,
  - sa inhibítor viaže do aktívneho miesta enzýmu.
- K tráviacim enzýmom nepatrí
  - amylóza,
  - amyláza,
  - amylopektín,
  - trypsin.
- K uvedeným názvom enzýmov priradte ich funkcie:
 

A) trypsin	1) štiepi bielkoviny na kratšie peptidy v žalúdku
B) lipáza	2) štiepi acylglyceroly na masné kyseliny a glycerol
C) amyláza	3) štiepi bielkoviny na kratšie peptidy v tenkom čreve
D) ureáza	4) štiepi škrob na jednoduchšie sacharidy
E) pepsin	5) rozkladá močovinu na CO <sub>2</sub> a NH <sub>3</sub> .

## 7 VITAMÍNY

**Vitamíny sú organické zlúčeniny, ktoré sú potrebné v stopových množstvách pre rast a biologické funkcie organizmu.**

Mikroorganizmy a rastliny sú schopné vitamíny syntetizovať z jednoduchých zlúčenín. Vyššie organizmy túto schopnosť nemajú, **vitamíny** musia prijímať potravou, **sú pre ne esenciálne**. Potreba vitamínov je rôzna pri rôznych organizmoch.

Vitamíny plnia v organizmoch funkciu koenzýmov či regulačných faktorov. Mnohé z nich sú významnými antioxidantmi. **Antioxidanty** zabraňujú zachytávaním voľných radikálov samovoľnej oxidácii potravín, polymérov, pohonných látok či kozmetických prípravkov, čím prispievajú k zachovaniu ich pôvodných fyzikálnych a chemických vlastností.

Niektoré vitamíny môžu v organizme vznikáť z **provitamínov** získaných z potraviny. Typickým príkladom je vitamín A, ktorý vzniká štiepením  $\beta$ -karoténu.

Znížený alebo zvýšený obsah vitamínov v organizme, spôsobený prijímaním nevyváženej potravy, môže viesť k vzniku funkčných porúch organizmu. Relatívny nedostatok vitamínov spôsobuje vznik **hypovitaminózy**, zvýšený obsah vitamínov **hypervitaminózy**. Absolútny nedostatok niektorého z vitamínov vedie k vzniku **avitaminózy**.

Vitamíny sa označujú veľkými písmenami abecedy. Používajú sa aj názvy odvodené od ich chemickej štruktúry. Vitamín C je z chemickej stránky kyselina L-askorbová.

Vitamíny sa rozdeľujú podľa rozpustnosti na dve skupiny, a to vitamíny rozpustné v tukoch a vitamíny rozpustné vo vode. Ich prehľad je uvedený v tabuľke 7.1.

**Vitamíny rozpustné vo vode** sa nachádzajú vo vodnom prostredí vo vnútri bunky. Mnohé z nich tu plnia funkciu koenzýmov (tab. 7.2). **Vitamíny rozpustné v tukoch** sú hydrofóbne.

Tab. 7.1 Prehľad niektorých vitamínov rozpustných vo vode a v tukoch

Vitamín	Biologický význam	Porucha z nedostatku	Potravinový zdroj
<b>VITAMÍNY ROZPUSTNÉ VO VODE</b>			
<b>vitamín C</b> kys. L-askorbová	tvorba červených krviniek, syntéza kolagénu, <b>antioxidant</b>	skorbut – zápal a krvácanie ďasien (súvisiaci s defektnou syntézou kolagénu), chudokrvnosť (anémia), zníženie imunity, svalová únava	ovocie, surová zelenina, šípky, čierne ríbezle, goji, kyslá kapusta
<b>vitamín B<sub>1</sub></b> tiamín	správna funkcia srdca, svalov, nervového a tráviaceho systému	nervové poruchy, depresie, podráždenosť, únava, kŕčové bolesti svalov – beri-beri	obilniny, cereálne výrobky, droždie, strukoviny, orechy, pečeň, zelenina
<b>vitamín B<sub>2</sub></b> riboflavín	tvorba červených krviniek, uvoľňovanie energie zo sacharidov, prenos vodíka v dýchacom reťazci	poruchy látkovej premeny, poruchy osobnosti, zápaly slizníc (pery, ústa, koža)	droždie, mlieko, mäso, vlašské orechy, špenát, brokolica, sója, cereálne výrobky
<b>vitamín B<sub>3</sub></b> <b>niacín</b> kyselina nikotínová	významná súčasť biochemických procesov, podporuje činnosť tráviaceho ústrojenstva	nervové poruchy, poruchy látkovej premeny, ochorenia kože (pelagra – drsná koža), zápaly ústnej dutiny, jazyka, bolesti hlavy, poruchy spánku	mäso, mlieko, pečeň, droždie, obilniny, zeler
<b>vitamín B<sub>5</sub></b> kyselina pantoténová	významná súčasť biochemických procesov, syntéza hormónov a cholesterolu	poruchy látkovej premeny, zápaly tráviaceho traktu, podráždenosť, ochorenia kože	mäso, vaječný žĺtok, droždie, strukoviny, pečeň, droždie, karfiol, brokolica, slnečnicové semená, huby



<b>vitamín B<sub>6</sub></b> pyridoxín	metabolizmus červených krviniek, významná súčasť biochemických procesov	poruchy látkovej premeny, nervového systému, imunity, rastu, spánku, poškodenia pokožky, anémia	mäso, mlieko, strukoviny, cesnak, špenát, karfiol, kel, zemiaky, banány
<b>vitamín B<sub>12</sub></b> kobalamín	tvorba červených krviniek, činnosť centrálného nervového systému, rast a vývin organizmu	degenerácia nervov a kostnej drene, anémia, poruchy metabolizmu sacharidov, ochorenia kože	mäso, mlieko, pečeň, vaječný žĺtok, losos, krevety
<b>kyselina listová</b> folacín	tvorba červených krviniek, rast a reprodukcia buniek, prevencia vzniku srdcových a mozgových porúch	poruchy krvotvorby – anémia, gastrointestinálne poruchy	listová zelenina, mäso, pečeň, vaječný žĺtok, droždie, obilné klíčky, orechy
<b>vitamín H</b> biotín	účasť na metabolizme mastných kyselín a aminokyselín, je produkovaný žalúdočnými mikroorganizmami	depresie, malátnosť, podráždenosť, ochorenia kože (šupinatenie), anorexia, vypadávanie vlasov	droždie, huby, včelia materská kašička, strukoviny, karfiol, sója, orechy

#### VITAMÍNY ROZPUSTNÉ V TUKOCH

<b>vitamín A</b> retinol	rast a vývoj epitelových buniek, vývoj sietnice a rohovky, činnosť imunitného systému, metabolizmus lipidov, antioxidant	šeroslepota, ochorenia kože, poškodenie funkcie buniek sliznic telových orgánov, náchylnosti k infekcii	vitamín A – mliečny a rybí tuk, vaječný žĺtok, pečeň, β-karotén – mrkva, špenát, marhule, kel
<b>vitamíny D</b> kalciferoly	regulácia metabolizmu P a Ca, činnosť imunitného systému, vplyv na kostné osteoblasty	krivica, zväčšenie kĺbov, svalová slabosť, vypadávanie zubov, nervové poruchy, poruchy spánku	rybí tuk, mlieko, maslo, mliečne výrobky, pečeň, droždie
<b>vitamíny E</b> tokoferoly	činnosť imunitného systému, zvyšuje detoxikačné schopnosti pečene, chráni bunky a tkanivá pred peroxidatívnym poškodením a spomaľuje degeneráciu organizmu, antioxidant	porucha nervového systému, svalov, anémia, sterilita, poruchy vstrebávania tukov, znížená zrážanlivosť krvi	rastlinné oleje, obilné klíčky, strukoviny, slnečnicové semená, mandle, olivy
<b>vitamíny K</b> fylochinóny	významný pri zrážaní krvi	znížená zrážanlivosť krvi	listová zelenina, hrach, droždie, rastlinné oleje, pečeň

Tab. 7.2 Vzťah vitamínov a koenzýmov

Vitamín	Koenzým	Reakcia
tiamín	tiamindifosfát – TPP	prenos aldehydov
riboflavín	flavínadenín-dinukleotid – FAD	prenos H
niacín, kyselina nikotínová	nikotinamid-adenín-dinukleotid – NAD	prenos H
kyselina pantoténová	koenzým A – CoA	prenos acylu
pyridoxín	pyridoxal-5-fosfát – PALP	prenos –NH <sub>2</sub>
kobalamín	metylkobalamín	prenos metylových skupín
kyselina listová	tetrahydrofolát	prenos jednouhlíkatých zlúčenín
biotín	biocytín	prenos –COOH

**KLÚČOVÉ UČIVO**

- Vitamíny sú organické zlúčeniny, ktoré sú potrebné v stopových množstvách pre rast a biologické funkcie organizmu.
- Niektoré vitamíny vznikajú v organizme z provitamínov.
- Mnohé z vitamínov sú významnými antioxidantmi, predovšetkým vitamín C, A a E.
- Antioxidanty sú látky, ktorých molekuly zabraňujú voľnej oxidácii.
- Vitamíny sa delia na vitamíny rozpustné vo vode (C, tiamín, riboflavin, niacín, kyselina pantoténová, pyridoxín, kyselina listová, biotín) a vitamíny rozpustné v tukoch (A, D, E, K).

**OTÁZKY A ÚLOHY**

1. Uveďte, podľa čoho sa rozdeľujú vitamíny.
2. Vitamíny sú esenciálne látky pre:
  - a) mikroorganizmy,
  - b) človeka,
  - c) rastliny,
  - d) živočíchy.
3. Do metabolizmu sa vitamíny alebo ich aktivované formy môžu zapojiť ako:
  - a) apoenzýmy,
  - b) koenzýmy,
  - c) enzýmy,
  - d) katalyzátory.
4. Charakterizujte ochorenie skorbut. V rôznych informačných zdrojoch nájdite o tomto ochorení viac informácií. Kto týmto ochorením predovšetkým trpel?
5. Zo skupiny vitamínov vyberte tie, ktoré sú rozpustné v tukoch: C, A, B<sub>2</sub>, riboflavin, kalciferoly, kyselina listová.
6. Vznik šeroslepoty je dôsledok hypovitaminózy vitamínu .....
7. Priradením vitamínu k vhodnému názvu vytvorte správne dvojice:
 

A) vitamín H	1) kyselina askorbová
B) vitamíny D	2) retinol
C) vitamíny E	3) tiamín
D) vitamín C	4) pyridoxín
E) vitamín A	5) biotín
F) vitamín B <sub>1</sub>	6) kalciferoly
G) vitamín B <sub>6</sub>	7) tokoferoly
8. Vymenujte vitamíny, ktorých nedostatok v organizme môže spôsobiť:
  - a) anémiu,
  - b) poruchy látkovej výmeny,
  - c) ochorenia kože,
  - d) depresie a podráždenosť.
9. Vyberte správne tvrdenia o vitamínoch:
  - a) nepatria medzi esenciálne látky,
  - b) niektoré sú významnými antioxidantmi,
  - c) niektoré sú hydrofilné,
  - d) niektoré plnia významnú funkciu v oxidačno-redukčných dejoch v organizme.

## 8 KVALITA ŽIVOTA A ZDRAVIE

Poznatky z chémie, ktoré ste počas doterajšieho štúdia tohto predmetu mali možnosť získať, plnia svoju úlohu vtedy, keď ich dokážete aplikovať v situáciách bežného života.

Vedomosti a zručnosti z chémie vám pomôžu ľahšie sa orientovať napr. v oblasti stravovania, prevencie a liečby ochorení, bytovej chémie, kozmetiky, pri pestovaní rastlín, chove domácich zvierat. Korigujú správanie sa ľudí, napríklad v kontakte s látkami, ktorých užívanie je spojené s rizikom ohrozenia zdravia a života, uľahčujú rozhodovanie sa pri nákupoch výrobkov, ktoré propaguje agresívna reklama, ale aj v mnohých iných životných situáciách.

Poznatky zo všetkých oblastí chémie umožňujú ľuďom dodržiavať zásady zdravého životného štýlu, zásady tvorby a ochrany životného prostredia a tým zlepšovať kvalitu života.

### 8.1 Alkaloidy

Alkaloidy sú látky, ktorých účinky na ľudský organizmus boli známe už oddávna (Inkovia už pred 4000 rokmi poznali rastlinu kokainovník, s ópium obchodovali Feničania, nádoby s elixíromi zabudnutia na báze ópia sa našli v egyptských pyramídach). V súčasnosti sa počet známych alkaloidov odhaduje na 6 000.

**Alkaloidy sú dusíkaté organické látky zásaditej povahy, ktoré už v malých množstvách majú výrazný biologický účinok na organizmus.**

Atóm dusíka je spravidla viazaný v cykle, preto alkaloidy považujeme za deriváty heterocyklických zlúčenín, napr. pyrolu, pyridínu (kap. 1.2) a pod.

Alkaloidy sú veľkou skupinou zlúčenín so značne zložitou chemickou štruktúrou. Vzhľadom na zložitosť chemickej štruktúry ich zaraďujeme do skupín spravidla podľa ich pôvodu (napr. námeľové alkaloidy).

Vznikajú v malom množstve v mladých častiach rastlín (najmä z čeľade makovitých, iskerníkovitých, ľulkovitých, ľaliovitých) a niektorých hubách ako produkt metabolizmu aminokyselín.

**Obsah alkaloidov v rastline** nie je konštantný, je ovplyvnený

- **vegetačnou fázou rastliny** (nezrelý mak obsahuje vyše 20 alkaloidov),
- kvalitou **prostredia**, v ktorom je rastlina pestovaná, hlavne kvalitou pôdy, prístupom svetla, vlhkosťou a teplotou okolia (ópium pochádzajúce z rôznych častí sveta má rozdielnu kvalitu aj cenu).

**V rastlinách sa často vyskytuje súčasne niekoľko rozličných alkaloidov**, napr. v kôre chininovníka je vyše 20 rôznych alkaloidov.

#### 8.1.1 Spoločné vlastnosti alkaloidov

**Najvýznamnejšie spoločné vlastnosti alkaloidov sú:**

- v dôsledku svojej zásaditej povahy sú v pôvodnom materiáli viazané na rôzne karboxylové kyseliny (napr. octovú, šťaveľovú, vinnu, citrónovú),
- všetky sú tuhé, kryštalické, opticky aktívne, málo rozpustné vo vode (vo vode sa dobre rozpúšťajú len vo forme solí),
- majú horkú chuť,
- majú farmakologické účinky na živočíchov (jedy, psychoaktívne látky, lieky), ktoré sú podľa dávkovania buď blahodarné, alebo ohrozujúce. Opakované užitie môže vyvolať drogovú závislosť, väčšie množstvo (často len niekoľko miligramov) spôsobuje celkovú otravu a smrť,
- pre hroziace nebezpečenstvo predávkovania alebo návyku je manipulácia s väčšinou z nich prísne kontrolovaná, podlieha špeciálnej evidencii. Pre prácu s nimi platia legislatívne normy o omamných látkach, zneužívanie prístupu k týmto látkam sa trestá podľa trestného zákona.

### 8.1.2 Ópiové alkaloidy (opiáty)

Mnoho alkaloidov tejto skupiny (tzv. ópiové deriváty) sa pripravuje synteticky, resp. polosynteticky, iné sa izolujú z vysušenej mliečnej šťavy, získanej narezaním nezrelých makovic maku siateho.

Surová zmes týchto alkaloidov sa nazýva **ópium**, obsahuje viacero alkaloidov. Podľa ópia je nazvaná celá skupina **opiátov** – látok, ktoré **tlmia bolesť a sú obzvlášť návykové**. V priebehu vývoja tolerancie na drogu zo skupiny opiátov sa postupne zvyšujú dávky, ktoré neskôr predstavujú aj rádovo vyššie dávky v porovnaní s experimentujúcimi prvoužívateľmi. Prinášajú veľké riziko akútneho smrteľného predávkovania, ako aj veľmi silnú fyzickú závislosť (pri náhlom vysadení drogy u závislého toxikomana môžu abstinenčné príznaky predstavovať vážne ohrozenie života).

Ópium aj drogy z neho izolované (hlavne morfín a heroín) spôsobujú vznik letargických stavov slasného zabudnutia. Po krátkodobej eufórii sa dostavuje ťažký depresívny stav a pocit úzkosti (pri heroíne aj riziko náhlej smrti). V prípade rozvinutej závislosti (morfínizmus, heroinizmus) postupne dochádza k strate fyzickej výkonnosti, záchvatom úzkosti, strate vôle, ťažkým poruchám pamäti.

Najvýznamnejšími predstaviteľmi opiátov sú **morfín a jeho deriváty**:

**Morfín** – hlavný alkaloid ópia. V lekárstve sa používa na stíšenie bolesti, pôsobí tlmivo na centrálnu nervovú sústavu. Spôsobuje ospalosť, zúženie zreníc. Pre mimoriadne veľké nebezpečenstvo návyku (morfínizmus) podlieha manipulácia s morfiénom aj jeho derivátmi evidencii.

Derivátom morfiínu je **heroín** (dietylmorfín) – má silnejšie účinky ako morfín. Aplikácia heroínu je spojená s mimoriadnym nebezpečenstvom nechceného predávkovania (pretože koncentrácia zakúpenej drogy je často neznáma), významné je aj nebezpečenstvo spojené s používaním spoločných ihiel (hepatitída B aj C, šírenie HIV infekcie). Súčasťou abstinenčných príznakov sú aj záchvaty nekontrolovateľnej agresie, namierené voči okoliu, ale aj proti sebe. Neodporúča sa zostávať osamote s človekom drogo závislým od heroínu.

**Papaverín** – dôležité spazmolytikum (látka uvoľňujúca kŕče), používané v lekárstve.

**Kodeín** – liek na stíšenie kašľa, priemyselne sa vyrába z morfiínu. Má slabšie narkotické účinky ako morfín.

### 8.1.3 Tropánové alkaloidy



Obr. 8.2 Lullkovec zlomocný

Izolujú sa hlavne z rastlín čeľade ľuľkovitých (ľuľkovec zlomocný, blen čierny, durman obyčajný).

**Atropín** – alkaloid izolovaný z ľuľkovca zlomocného, používa sa v očné lekárstve, pretože rozširuje zrenice. Protikŕčové (spazmolytické) účinky atropínu sa uplatňujú v lekárstve na tíšenie bolesti pri obličkových alebo žlčníkových kolikách.

**Kokain** – alkaloid z listov juhoamerického kríka kokainovníka (koka). Je to návyková látka, najčastejším spôsobom jej aplikácie je vdychovanie drogy v prášku cez nosové dierky, pretože takto sa



Obr. 8.1 Nezrelé makovice maku siateho

kokaín prostredníctvom dráhy čuchového nervu dostáva veľmi rýchlo priamo do mozgu. Zvyšuje tepovú frekvenciu srdca a krvný tlak, čo už pri prvom podaní môže viesť k srdcovému zlyhaniu, rozvoju infarktu, krvácaniu do mozgu. V súvislosti s tehotenstvom vedie k poruchám zásobovania plodu krvou a v ich dôsledku k vývojovým poruchám plodu.

Na dosiahnutie euforizujúceho účinku sa dávky kokaínu musia zvyšovať. Vyššie dávky spôsobujú trvalý nepokoj, poruchy spánku, precitlivosť hlavne na akustické podnety, tras, prederavenie nosovej priehradky. K rizikám užívania kokaínu patria tiež psychické poruchy s prejavmi depresie a porúch osobnosti (kokainizmus), ktoré bez odbornej pomoci často končia samovraždou.

Najnebezpečnejšou formou kokaínu je **krak** (hydrochlorid kokaínu). Nebezpečenstvo tejto drogy spočíva v možnosti závažnej akútnej intoxikácie, ktorá najmä v kombinácii s inými drogami pomerne často vedie k srdcovej nevoľnosti, zlyhaniu v dôsledku úplného vyčerpania organizmu a dehydratácie (intoxikovaný nepocíti únavu, hlad ani smäd).

### 8.1.4 Námeľové alkaloidy

Alkaloidy tejto skupiny sú obsiahnuté v námeli (produkt kyjaničky purpurovej, tzv. ražnej hubky, ktorá parazituje predovšetkým na raži).

Základnou látkou týchto alkaloidov je kyselina lysergová a jej deriváty.

**LSD** (synteticky pripravený dietylamid kyseliny lysergovej) – najsilnejšia psychotropná látka zo skupiny halucinogénov, vyvoláva silnú psychickú závislosť. Užívateľ LSD má počas divokých halucinácií optické ilúzie, nerozoznáva realitu od vízie, vidí veci, ktoré vôbec neexistujú. Časté sú zážitky opustenia vlastného tela a paranoidné stavy. Ovplyvnenie drogou je možné aj **dodatočne po dlhom čase od užitia drogy**, vzniká tzv. „**flashback**“ – spätný záblesk, ktorý často vedie k úrazu, autonehode, samovražde a pod. (napr. človek nevníma zákrutu, prekážku na ceste, vyjde na v skutočnosti neexistujúci balkón).



Obr. 8.3 Kyjanička purpurová (ražná hubka)

### 8.1.5 Ďalšie alkaloidy

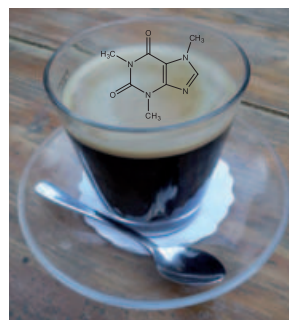
**Chinín** – izoluje sa z kôry chininovníka. Je účinný proti malárii, znižuje horúčku. Má veľmi horkú chuť.

**Kurare** – šípový jed juhoamerických Indiánov, je to extrémne jedovatý alkaloid. Spôsobuje ochrnutie zakončení motorických nervov vo svaloch, dochádza k úplnému ochrnutiu dýchacieho svalstva pri plnom vedomí.

**Kofeín** sa nachádza v mnohých rastlinách, v čajovníku, kávových a kakaových bôboch, guarane, je prídavaný do nealkoholických nápojov, liekov proti bolesti. Nemení osobnosť a charakter človeka, **patrí medzi legálne drogy**.

Kofeín sa u dospelých vstrebáva pomerne rýchlo, u detí oveľa pomalšie. **V bežných dávkach** (50 – 100 mg, teda asi jedna šálka kávy) zlepšuje vnímanie, odstraňuje pocit únavy, ospalosť, stimuluje srdcovú činnosť, povzbudzuje centrálnu nervovú sústavu, je močopudný, vedie k uvoľneniu priedušiek a zrýchľuje metabolizmus.

**Veľké dávky kofeínu** môžu spôsobiť nespavosť, nervozitu, podráždenosť, úzkostné stavy, triašku a búšenie srdca. Znášanlivosť kofeínu je individuálna. Ľudia s chronickým ochorením srdca a vredovou chorobou žalúdka by mali pitie kávy konzultovať s lekárom. Konzumácia do 300 mg kofeínu (t. j. 3 – 6 šálok kávy) denne nemá na väčšinu dospelaj populácie nepriaznivé účinky.



Obr. 8.4 Šálka kávy obsahuje cca 50 – 100 mg kofeínu

**Obsah kofeínu v káve môžeme ovplyvniť výberom druhu kávy** (arabica ho obsahuje 2 – 3-krát menej ako lacnejšia robusta), ako aj **spôsobom jej prípravy**. **Obsah kofeínu v čaji môžeme ovplyvniť výberom druhu čaju a dĺžkou času vylúhovania**. Obsah kofeínu v bežných nápojoch a iných potravinách uvádza tab. 8.1

Tab. 8.1 Obsah kofeínu v bežných nápojoch a pochutinách

Káva a iné nápoje (šálka s obsahom 170 cm <sup>3</sup> )	Množstvo kofeínu mg	Káva a iné nápoje (šálka s obsahom 170 cm <sup>3</sup> )	Množstvo kofeínu mg
Obyčajná káva	120 – 150	Čierny čaj	50 – 60
Filtrovaná káva	80 – 110	Zelený čaj	30 – 40
Instantná káva	60 – 70	Kakao	10 – 30
Káva bez kofeínu	3 – 10	Čokoládové mlieko	10 – 15
Espresso (šálka s obsahom 30 cm <sup>3</sup> )	75	Kakaový prášok (1 g)	40 – 50
Káva s mliekom	70	Čokoláda	5 – 10
Cappuccino	70	Koly (330 cm <sup>3</sup> )	30 – 65
Káva s likérom	80	Energetický nápoj RED BULL, 250 cm <sup>3</sup>	80

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Najviac kofeínu obsahuje čierny čaj, najmenej kofeínu obsahuje zelený čaj, bez kofeínu je väčšina bylinkových čajov, medzi ktoré patrí aj rooibos. Dôležitý je aj čas trvania vylúhovania, napríklad po piatich minútach sa z čierneho čaju uvoľní 40 – 100 mg kofeínu, po trojminútovom lúhovaní len 20 – 40 mg.



Obr. 8.5 Čaje s rozličným obsahom kofeínu (zľava: zelený čaj, bylinkový čaj, čierny čaj)

**Teobromín** – alkaloid nachádzajúci sa v kakaových bôboch, listoch čaju, používa sa ako močopudný prostriedok (diuretikum). V lekárstve sa používa ako súčasť liekov proti kašľu. **Patrí medzi legálne drogy.**

Z kakaových bôbov sa vyrába **kakaové maslo a kakaový prášok (kakao)**, ktoré sú surovinami pre výrobu **čokolády**. Podľa obsahu kakaá poznáme bielu čokoládu (neobsahuje kakao, len kakaové maslo), mliečnu, tmavú, horkú a trpkú (obsahuje až 90 % kakaá). Za kvalitnú čokoládu považujeme čokoládu s obsahom najmenej 70 % kakaá.



Obr. 8.6 Čokoláda obsahuje aj alkaloid teobromín

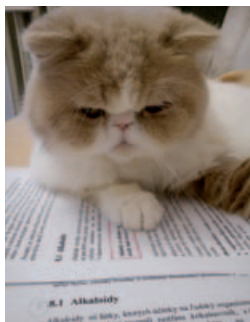
Veľký obsah kakaá v čokoláde podmieňuje nielen jej tmavú farbu, ale aj **obsah flavonoidov, ktoré sú známe ako antioxidanty.**

Kakao a čokoláda majú na ľudský organizmus povzbudzujúce účinky, chránia srdce a cievy, v mozgu pomáhajú uvoľňovať **endorfiny** – tzv. hormóny dobrej nálady.

Čokoláda je v dôsledku obsahu tuku a cukrov vhodným zdrojom tzv. rýchlej energie v situácii, keď organizmus vyčerpá energetické zásoby. Túto jej vlastnosť využívajú napr. športovci pri horolezectve a vytrvalostných športoch.

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Čokoláda je obľúbenou pochútkou pre ľudí, pre zvieratá je to **veľmi nebezpečná látka**. Teobromín v čokoláde môže otráviť, ba dokonca aj zabiť psov, mačky, škrečky, králiky, potkanov. Na túto otravu neexistuje protilátka, preto je nutné **zabrániť zvieratú v konzumácii potravín, ktoré obsahujú teobromín**.

Obr. 8.7 Domáce zvieratko je potenciálnou obeťou otravy čokoládou

**Teofylín** je hlavným alkaloidom čaju. Používa sa napr. v medicíne na liečbu prieduškovej astmy.

**Nikotín** – alkaloid tabakového listu, je veľmi účinný na ničenie rastlinných škodcov. Neovplyvňuje osobnosť ani charakter človeka, **patrí medzi legálne drogy (v SR je legálnou drogou až od 18 rokov veku užívateľa)**.

Nikotín zvyšuje aktivitu mozgu a tráviaceho traktu, zrýchľuje činnosť srdca, má karcinogénny účinok, zapríčiňuje zúženie ciev. **Najčastejšou aplikáciou nikotínu** je inhalácia dymu pri **fajčení tabakových listov**. Nikotín je tou **zložkou tabaku, ktorá pri opakovanom použití spôsobuje vznik silnej závislosti (tabakizmus), hlavnej príčiny dlhodobého fajčiarskeho návyku a ťažkostí pri odvykaní**. Fajčenie tabaku je okrem závislosti na nikotíne spojené aj s inými ohrozeniami zdravia fajčiarov a ľudí v ich okolí.

Škodlivý vplyv tabakového dymu je spôsobený **zložkami tabakového dymu**, ktorých je približne 4 000 (napríklad **zložky dechtu, oxid uhoľnatý**). Tieto látky sú najnebezpečnejšie z hľadiska ohrozenia zdravia fajčením, pretože:

- dráždia oči a dýchací systém,
- majú mutagénny účinok (ovplyvňujú genetickú informáciu v DNA),
- majú karcinogénny účinok (spôsobujú rakovinu), cigaretový dym je v zozname karcinogénov zaradený do IA triedy – najvyššia nebezpečnosť,
- oxid uhoľnatý CO v cigaretovom dyme sa 200-krát silnejšie ako kyslík viaže na krvné farbivo hemoglobín, čím sa zhoršuje okysličovanie tkanív.

### Ochorenia vznikajúce v dôsledku fajčenia:

- **nádorové ochorenia** – predovšetkým rakovina pier, jazyka, močového mechúra, pľúcne nádory (90 % pľúcnych nádorov je spôsobených fajčením),
- **kardiovaskulárne choroby** – fajčenie zvyšuje hladinu cholesterolu, zvyšuje tlak krvi a záťaž srdcového svalu, spôsobuje aterosklerózu a tým urýchľuje rozvoj ischemickej choroby srdca. Fajčiari majú takmer 6-krát častejšie mozgové krvácania ako nefajčiari,
- **nenádorové ochorenia dýchacieho a iných systémov** – chronické ochorenia dýchacích ciest, vredová choroba žalúdka a dvanástnika.

Odborníci upozorňujú, že **každých 10 sekúnd na svete zomrie človek na ochorenia súvisiace s fajčením, či už aktívnym, alebo pasívnym**. Dôležité je uvedomiť si, že **fajčenie nie je zlozvyk. U fajčiara ide o fyzickú a psychickú závislosť na nikotíne**.

## Pasívne fajčenie

Ak sa nefajčiar zdržuje vo fajčení zadynenej a zle vetranej miestnosti, pôsobí tabakový dym aj na neho. Hovoríme o **pasívnom fajčení, pri ktorom je organizmus vystavený takým istým rizikám ako pri aktívnom fajčení**. Najviac ohrozenými pasívnymi fajčiarmi sú deti rodičov – fajčiarov.

### Vplyv fajčenia na priebeh tehotenstva a dojčenie dieťaťa

Výskumné údaje dokazujú, že na priebeh tehotenstva vplyvajú hlavne dve zložky tabakového dymu:

**oxid uhoľnatý CO (zhoršuje oksylíčovanie krvi)** a **nikotín (zužuje cievy)** – ich spoločné pôsobenie vedie k zúženiu ciev zásobujúcich placentu, **vyvíjajúci sa plod dostáva málo kyslíka, potrebného pre vývoj životne dôležitých orgánov**. Placentou však do krvi plodu prechádzajú aj ďalšie toxické látky obsiahnuté v tabakovom dyme.

U fajčiarok (aj pasívnych!) sa vyskytujú **spontánne potraty** o 50 % častejšie ako u nefajčiarok. Deti narodené matkám – fajčiarkam majú **nižšiu pôrodnú hmotnosť** oproti deťom narodeným nefajčiacim matkám v priemere o 200 g (hendikep pre budúci vývoj dieťaťa), častejšie sa vyskytujú **vrodené chyby novorodencov**.

Pri dojčení **nikotín prechádza do materského mlieka**. U detí matiek – fajčiarok sa zistil zvýšený sklon k ochoreniu na **prieduškovú astmu** a trojnásobne vyššie riziko **syndrómu náhleho úmrtia dojčiat** (tento syndróm je spôsobený nedostatočným dozretím mozgových štruktúr počas tehotenstva, dieťa potom v prvých mesiacoch po narodení nevie zvládnuť niektoré náročné situácie, čoho výsledkom je jeho neočakávaná smrť).



Obr. 8.8 Cigareta obsahuje cca 8 – 9 mg nikotínu

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



### Fajčenie vodnej fajky

S rozvojom turistického ruchu sa v Európe rozšírila obľúba fajčenia vodnej fajky. Do vodných fajok sa často používajú **ovocné tabaky**, namiešané z ovocnej melasy, medu a čerstvých tabakových listov, ich ovocné vône vyvolávajú v konzumentoch **zdanie o ich neškodnosti. Ide však o inhalovanie tabakového dymu rovnako ako pri fajčení cigariet**. Pri spoločnom používaní vodnej fajky nie je zanedbateľné ani **riziko prenosu baktérií a ochorení** (napr. žltáčka) cez náustky a hadice. V SR sa na tabaky do vodných fajok vzťahuje zákon o ochrane nefajčiarov, rovnako ako na ostatné tabakové výrobky.

## 8.2 Liečivá a lieky

### 8.2.1 Liečivo

**Liečivo je zložka lieku, ktorá má schopnosť cielene pôsobiť na organizmus. Liečivá sú nositeľmi liečebných, diagnostických a preventívnych účinkov liekov.**

Liečivá sa získavajú z rastlín alebo zo živočíchov (napr. z hadieho jedu, chrupaviek alebo krvi živočicha), niektoré liečivá majú ľudský pôvod (napr. liečivá vyrobené z ľudskej krvi alebo plazmy). Najviac liečiv v súčasnosti je syntetických, vyrába ich farmaceutický priemysel.



Liečivá sa používajú nielen na liečenie ochorení, ale aj na ovplyvňovanie fungovania organizmu (napr. účinná látka v antikoncepčných tabletkách).

V bežnom živote sa najčastejšie používame tieto skupiny liečiv:

- analgetiká (zmiernujú bolesť),
- anestetiká (zncitlivujú, pôsobia celkovo alebo lokálne),
- antibiotiká (ničia baktérie),
- antihistaminiká (pôsobia proti alergickej reakcii),
- antipyretiká (znižujú teplotu),
- antireumatiká (pôsobia proti reume),
- psychofarmaká (ovplyvňujú psychiku) vrátane **hypnotík** (tlmia CNS) a **sedatív** (upokojujú).

## 8.2.2 Liek

**Liek je výrobok obsahujúci jedno alebo viacero liečiv a pomocných látok upravených do vhodnej aplikačnej formy lieku.**

Lieky na vnútorné aj vonkajšie použitie sa vyrábajú vo viacerých **liekových formách**:

- lieky **na vnútorné použitie** v tuhej forme (napr. tablety, dražé, želatínové kapsuly, čapíky), ale aj v tekutej forme (napr. kvapky, roztoky, sirupy, infúzne roztoky),
- lieky **na vonkajšie použitie**: masti, krémy, roztoky.

Liek sa môže vyrábať v rôznych liekových formách, **rôzny je aj obsah liečiv v jednej dávke lieku** (údaj o hmotnosti liečiva v jednej tablete, uvedený na príbalovom letáku lieku, je dôležitou informáciou nielen pre lekára, ale aj pre užívateľa lieku).



Obr. 8.9 Rozličné tekuté a tuhé formy liekov



**Exspirácia je čas vyznačený výrobcom na prípravku, po jeho uplynutí sa prípravok nesmie ďalej používať** (hrozí riziko straty účinku, rozkladu účinnej látky, pri rozklade môžu vzniknúť toxické produkty).

Obr. 8.10 Obal lieku s údajmi o liekovej forme, obsahu liečiva a expiračnej dobe

## Účinky lieku

Všetky lieky majú okrem hlavného (požadovaného, očakávaného) účinku aj vedľajšie (sprievodné) účinky. U väčšiny liekov sú vedľajšie účinky nežiaduce a škodlivé. Zvýšenú opatrnosť si vyžaduje užívanie liekov, ktoré sú návykové. Nadmerné užívanie liekov, predovšetkým antibiotík, oslabuje imunitný systém.

Všetky lieky používané v praxi musia prejsť **predklinickým** (na zvieratách) a **klinickým** (na pacientoch zaradených v klinickej štúdii – dobrovoľníkoch) **skúšaním**. V procese skúšania sa vedecky overuje účinnosť, bezpečnosť a kvalita lieku. V SR sa v praxi môžu používať len lieky schválené a registrované Štátnym ústavom na kontrolu liečiv.

## Originálny liek a generikum

**Liek, na výrobu ktorého sa použilo novoobjavené liečivo, sa nazýva originálny liek.** Takéto liečivo i liek sú spravidla chránené patentom, patentová ochrana trvá 25 rokov. Originálny liek vyrába len jeden výrobca, v cene lieku sú zahrnuté aj náklady na výskum a vývoj lieku, preto sú tieto lieky pomerne drahé.

**Generický liek (generikum) obsahuje liečivá, ktoré nie sú chránené patentom.** Ide o liečivá, ktorých patent už stratil platnosť alebo vôbec neboli chránené patentom. Z hľadiska účinnosti sú generické lieky rovnako účinné ako originálne lieky. Sú však oveľa lacnejšie, pretože do ich ceny sa nezapočítavajú náklady na výskum a vývoj lieku. Podiel generických liekov na trhu v SR v súčasnosti tvorí asi 70 %.

### 8.2.3 Používanie liečivých rastlín

Liečivé rastliny sú prírodným zdrojom liečiv, ktoré sa používajú na domáce liečenie menej závažných ochorení, na doplnkovú liečbu, alebo sú súčasťou komerčne vyrábaných liekov.

Okrem liekov s obsahom výťažkov z liečivých rastlín na tento účel často používame aj samotné liečivé rastliny, ktoré získavame priamym zberom v prírode. Liečivé rastliny zbierame len v lokalitách, v ktorých nedochádza k ich kontaminácii, dbáme na dodržanie správneho postupu pri ich sušení a skladovaní. Pri užívaní dodržiavame správny postup pri príprave liečivého prípravku a odporúčané dávkovanie (hrozí riziko predávkovania), pri závažnejších ochoreniach konzultujeme ich používanie s lekárom. **Niektoré z liečivých rastlín sú jedovaté!**

Úpravou čerstvých bylín (napr. sušením a rezaním) sa z nich získava tzv. **liečivá droga**, ktorá je surovinou na prípravu liečivých čajov, obkladov, kúpeľov a pod.

Postup pri získavaní liečivej drogy z rastliny volíme podľa toho, ktorú časť rastliny je potrebné použiť. Z rastlinných častí sa najčastejšie používajú tieto: koreň (radix), kôra (cortex), vňať (herba), púčik (gemma), kvet (flos), list (folium), plod (fructus).

Najbežnejším postupom na získavanie liečiv z rastlín je **extrakcia**.

**Rozpúšťadlom** je najčastejšie voda, ale v závislosti od druhu extrahovaných látok sa používajú aj iné rozpúšťadlá, napr.

- 60 % vodný roztok etanolu (príprava tinktúr),
- rastlinné oleje (príprava liečivých olejov),
- roztopená bravčová masť (príprava liečivých masťí),
- vodný roztok cukru (príprava liečivých sirupov).



Obr. 8.11 Plúcnik lekársky

### 8.2.4 Antibiotiká

Objav antibiotík je považovaný za revolúciu v medicíne, za ktorú si objaviteľ ich účinku vyslúžil Nobelovu cenu (prvé antibiotikum - penicilín objavil Alexander Fleming v hube *Penicillium notatum* v roku 1928). Od čias svojho objavenia antibiotiká prechádzajú neustálym vývojom.

**Antibiotiká sú liečivá prirodzene produkované mikroorganizmami. Ich úlohou je inhibovať rast iných mikroorganizmov, prípadne ich priamo ničiť.**

V súčasnosti sa ako antibiotiká označujú aj chemoterapeutiká – zlúčeniny s antimikrobiálnym účinkom, ktoré sa získavajú synteticky.

Antibiotikum musí byť látka maximálne toxická pre mikroorganizmy a minimálne toxická pre organizmy cicavcov a človeka. Ich správnym a včasným použitím možno predísť závažným, aj život ohrozujúcim komplikáciám bakteriálnych infekcií (napr. reumatickej horúčke a následnej endokarditíde po bežnej streptokokovej náказe).

## ROZŠIRUJÚCE UČIVO

++



Významným pokrokom v antibiotickej liečbe v súčasnosti je CRP vyšetrenie – lekár z kvapky krvi z prsta v priebehu pár minút dokáže určiť hladinu tzv. C-reaktívneho proteínu. Jeho prítomnosť je veľmi citlivým ukazovateľom zápalu a práve podľa jeho hladiny sa ordinujú alebo neordinujú antibiotiká. Týmto vyšetrením je možné zistiť aj to, či užívané antibiotiká zaberajú a nie je potrebné ich zmeniť.

Podľa výsledkov pôsobenia na mikroorganizmy je **účinnosť každého antibiotika**

1. **baktericídny** – priamo usmrčuje baktériu, alebo
2. **bakteriostatický** – spomaľuje a zastavuje rast mikróbov.

Základným cieľom pôsobenia antibiotík je blokovanie základných fyziologických procesov, ktoré prebiehajú v baktériách (syntéza DNA a RNA, proteosyntéza, syntéza bunkovej steny baktérii, syntéza kyseliny listovej a pod.).

Antibiotiká sú **účinné na ochorenia spôsobené baktériami. Antibiotická liečba vírusových ochorení (napr. chrípky) je neúčinná a nesprávna.**

Bez antibiotík sa nezaobídeme napríklad pri akútnych infekčných ochoreniach, medzi ktoré patria angína, zápal pľúc, zápal močových ciest, zápal stredného ucha a podobne.

Antibiotiká majú ako všetky liečivá aj **nežiaduce účinky**. Prejavujú sa spravidla vznikom alergií (vyrážky, bolesti kĺbov, opuchy, sťažené dýchanie), hnačkami, zvracaním. Pri nesprávnom používaní pôsobia toxicky na pečeň, obličky, nervový systém, krvotvorné tkanivo.

**Opakovaná liečba antibiotikami narúša rovnováhu imunitného systému. Mnohé, hlavne širokospektrálne antibiotiká, likvidujú nielen choroboplodné zárodky, ale aj človeku priateľské baktérie, ktoré náš organizmus potrebuje (tzv. prirodzenú mikroflóru).**

Pri liečbe antibiotikami platia tieto zásady:

- **o užívaní antibiotík rozhoduje iba lekár,**
- **predpísanú dávku antibiotík treba vždy dobrať** (neznižovať dávky), **neskracovať čas užívania** (antibiotiká nevysadiť ani po ústupe príznakov ochorenia) inak choroboplodné baktérie prežijú a stanú sa voči lieku odolnými (vzniká **rezistencia**),
- **každé antibiotikum má presný mechanizmus účinku** – ak ho pri užívaní antibiotík nerespektujeme, oslabíme účinok liečiva,
- **ak zabudneme užiť tabletu, je potrebné užiť ju hneď, ako si spomenieme**, nasledujúcu dávku užijeme v bežne stanovenom čase,
- **antibiotiká penicilínového radu sa nesmú kombinovať s alkoholom,**
- **neprejedat' sa**, pretože antibiotiká zaťažujú tráviacu sústavu. Jeme menšie porcie a častejšie, vhodná je šetrnejšia strava,
- antibiotiká **zapíjame vodou alebo slabým čajom**, nevhodné nápoje sú mlieko (znižuje účinok lieku), džúsy (obsahujú kyseliny), minerálne vody (minerálne látky môžu ovplyvniť vstrebávanie liečiva),
- **počas liečby antibiotikami (ak nie sú zakázané kyslé produkty) a po jej ukončení je vhodné jesť potraviny obsahujúce „priateľské baktérie“ probiotiká** (kap. 8.4.3) **na obnovu črevnej mikroflóry**: bioaktívne jogurty, netermizovanú bryndzu, kyslú kapustu. Probiotiká sa predávajú aj vo výživových doplnkoch. Probiotiká zabezpečia, že sa zaťažená črevná mikroflóra dá do poriadku,

- ak počas užívania antibiotík (hlavne širokospektrálnych) vzniknú **gynekologické problémy**, je potrebné požiadať gynekológa o antimykotickú liečbu, prípadne čapíky alebo tampóny obsahujúce *Laktobacillus* na obnovenie vaginálnej mikroflóry.

#### Podobné účinky ako antibiotiká majú niektoré prírodné zdroje liečiv, napr.

- **cesnak** – cesnaková šťava dokáže zabíjať či spomaliť rozmnožovanie viac ako 20 druhov baktérií a 60 druhov plesní,
- **propolis** – zabraňuje rastu rôznych druhov baktérií a plesní. Alergici ho môžu užívať až po konzultácii s alergológom,
- **Echinacea purpurová** – podporuje imunitu, má mnohé protizápalové, protiplesňové, antibakteriálne a dokonca antivírusové účinky,
- **škorica** – najmä škoricový olej má protizápalové, protivírusové aj antibakteriálne účinky.



Obr. 8.12 Echinacea purpurová

### 8.3 Psychoaktívne návykové látky (drogy)

Psychoaktívne návykové látky (drogy), ktoré ovplyvňujú centrálnu nervovú sústavu a dokážu meniť ľudské vedomie, sú záležitosťou starou ako ľudstvo samo. Už v dávných kultúrach nájdeme dôkazy o užívaní látok, pomocou ktorých sa ľudia chceli priblížiť k bohom. Drogy boli obvykle súčasťou nejakého rituálu, boli podávané skúseným kňazom alebo šamanom a ich užitiu predchádzala príprava. V priebehu storočí sa však zmenili okolnosti užívania drog, v dnešnej dobe sa k drogám môže dostať prakticky každý. Kontrola, ktorá by zabránila zneužívaniu drog a vzniku závislosti od nich, v súčasnosti neexistuje.

**Zneužívanie návykových látok je v súčasnosti celosvetovým spoločenským problémom**, pretože toxikoman nemôže získať peniaze na drogy poctivou cestou a je odkázaný na **kriminalitu**. Spoločnosť okrem ekonomických nákladov, spojených s následkami užívania drog (liečba ochorení v súvislosti so zneužívaním drog vrátane alkoholu, ekonomická strata hrubého domáceho produktu, spôsobená úrazmi, práceneschopnosťou, invalidizáciou, predčasnými úmrtiami), ohrozuje tiež rizikové sexuálne správanie sa toxikomanov a zvýšené riziko prenosu vírusu AIDS, vírusové hepatitídy B aj hepatitídy C, ale napr. aj dopravné nehody spôsobené pod vplyvom návykových látok.

**Ochrana spoločnosti** pred následkom zneužívania drog je založená na:

- **zvyšovanie informovanosti a vzdelávaní** o nebezpečenstve drogovej závislosti, škodlivosti návykových látok a následkoch ich zneužívania s cieľom zmeny postojov k legálnym aj nelegálnym drogám, o možnostiach odbornej pomoci pri odvykaní. Súčasťou prevencie je aj získavanie sociálnych zručností, predovšetkým asertivity a sociálnej rezistencie (zručnosti odolať ponúkanej droge),
- **liečenie závislostí, znižovanie rizika prenosu infekcií, podpore abstinujúcich toxikomanov** – tzv. centrá pomoci, ambulatná aj ústavná odvykacia liečba, programy výmeny použitých ihliel, ale aj komunity a podporné programy pre abstinujúcich narkomanov,
- **represii** – výroba, prechovávanie a šírenie návykových látok sú trestné a posudzujú sa podľa trestných zákonov.

**Trestný zákon SR** definuje návykové látky ako látky, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú psychiku človeka alebo jeho

- **ovládacie schopnosti,**
- **rozpoznávacie schopnosti,**
- **sociálne správanie.**

### 8.3.1 Droga

**Droga je akákoľvek látka, ktorá je po vstupe do živého organizmu schopná pozmeniť jednu alebo viac jeho funkcií. Pôsobí priamo na centrálny nervový systém, môže mať priznané postavenie lieku.**

Rozlišujeme **legálne a nelegálne drogy**.

#### 8.3.1.1 Legálne drogy

**Legálne drogy** sú spoločensky tolerované, bežne prístupné, dostať ich kúpiť v obchode, pritom aj na ne môže vzniknúť intenzívna závislosť.

Závislým sa môže stať človek aj od **gamblingu** (patologické hráčstvo) a tiež **od látok, ktoré predpíše lekár, resp. ktoré možno dostať v lekárni**. Ide hlavne o lieky zo skupiny analgetík, hypnotík a sedatív.

**Legálnymi drogami sú napríklad:** alkohol, nikotín, niektoré lieky (analgetiká, hypnotiká, sedatíva a pod.), kofeín.

**Tieto drogy sú v SR legálne až od 18 rokov veku užívateľa!**

#### 8.3.1.2 Nelegálne drogy

**Nelegálne drogy sú látky, manipulácia s ktorými je v rozpore s legislatívou o návykových látkach. Legislatíva zakazuje ich výrobu, distribúciu, skladovanie a predaj.**

**Nelegálnymi drogami sú napríklad:**

- halucinogény – napr. LSD, šalvia divotvorná,
- konopné drogy – napr. marihuana,
- opiáty – napr. ópium, heroín,
- stimulanciá – napr. kokaíny, amfetamíny, pervitín,
- tanečné drogy – napr. extáza.



Obr. 8.13 LSD – tabletová a prášková forma

### 8.3.2 Drogová závislosť

Droga sa začlení do biochemických procesov v organizme, ktorý prítomnosti drogy prispôsobí svoje fungovanie. Postupne vzniká tolerancia, návyk na drogu, závislosť. Závislosť od drogy je charakterizovaná **tendenciou zvyšovania dávky drogy, psychickou a často aj fyzickou závislosťou na účinkoch drogy**. Ide o vážne ochorenie, považuje sa za chronické ochorenie centrálnej nervovej sústavy.

Dlhodobé užívanie drog spôsobuje aj tzv. **nešpecifické následky** na zdraví konzumenta, napr. decht z tabaku ničí pľúca, srdce a pod.

**Príznaky závislosti od účinku drog** sa prejavujú najmä

- nepotlačiteľnou túžbou po droge,
- správaním sa, ktoré je zamerané výhradne na získanie drogy,
- nezaujmom o všetko, čo s drogou nesúvisí,
- abstinenčným príznakom, t. j. telo protestuje, pokiaľ nedostane to, na čo si zvyklo,
- nutnosťou neustále zvyšovať dávky drogy, aby bol dosiahnutý rovnaký účinok.

### K vzniku závislosti vedie kombinácia viacerých faktorov:

Jedným z nich sú **dedičné predpoklady**. Gény však nemôžu človeka predurčiť k vzniku závislosti alebo ho pred ňou ochrániť. Gény prispievajú k vytvoreniu určitého typu osobnosti a vývoju takých vlastností, ktoré zvyšujú riziko, že človek bude mať problémy s drogami.

Ďalším faktorom je **vplyv prostredia**, v ktorom sa jedinec pohybuje. Prostredie je často zdrojom psychických problémov, napríklad nedostatočného sebavedomia, útekom pred problémami, bezradnosťou nad vlastným životom, tlakom partie a pod.

**Nebezpečenstvo drogovej závislosti** spočíva v tom, že:

- vedie k dlhodobému užívaniu, ktoré prináša poškodenie organizmu vrátane nešpecifických účinkov na zdravie,
- drogovu závislý si neprípúšťa nebezpečenstvo závislosti („má to pod kontrolou“),
- len málokedy sa podarí skončiť s drogou samému, bez problémov a navždy.

**Zneužívanie návykových látok má na človeka deštruktívny účinok v každom období jeho života, obdobie rastu a dospievania je však najnevhodnejším časom na experimentovanie s návykovými látkami.** Spôsobuje okrem iných negatívnych účinkov zreteľné zaostávanie v oblasti vzdelávania, citového dozrievania, sebakontroly, sociálnych zručností a pod. Časté sú úrazy mladých ľudí pod vplyvom drog, najmä alkoholu. Organizmus detí a dospievajúcich je vystavený rýchlejšiemu nástupu závislosti a častejším recidívam ako u dospelých.



Obr. 8.14 Konopa siata – surovina na výrobu marihuany



Obr. 8.15 Kokain v práškovej forme



Obr. 8.16 Extáza v tabletovej forme

### Abstinenčné príznaky (abstinenčný syndróm)

**Abstinenčné príznaky vznikajú po obmedzení alebo vysadení drogy.**

Abstinenčné príznaky sa líšia pri jednotlivých látkach. Spoločné pre ne však je, že môžu odradiť ľudí od snahy prestať s užívaním drog. V niektorých prípadoch je možné zvoliť vhodnú liečbu, ktorá zmierni nepríjemný **odvykací stav** (známa je náhradná nikotínová liečba v prípade odvykania od nikotínu alebo substitučná liečba metadonom v prípade závislosti od opiátov).

**Abstinenčné príznaky môžu byť fyzické alebo psychické.** Najčastejšie sa vyskytujú tieto: bolesti, kŕče, zvracanie, hnačka, potenie, zimomravosť, trasenie, zrýchlená činnosť srdca, poruchy spánku, zmätenosť, halucinácie a iné.

## 8.4 Biologická hodnota stravy, výživa

**Potrava musí človeku prinášať:**

- energiu na tvorbu tepla, na životné pochody a správne fungovanie organizmu,
- látky na stavbu nových a na náhradu opotrebovaných tkanív.

V potrave sa nachádzajú anorganické aj organické chemické látky, ktoré nazývame živiny.

## Potreba živín pre organizmus človeka je individuálna.

Jej množstvo a kvalita sú ovplyvnené vekom, pohlavím, výškou a hmotnosťou tela, stupňom fyzického zaťaženia, klimatickými pomermi, v ktorých jedinec žije, a inými podmienkami, ako je napríklad tehotenstvo, dojčenie alebo choroba.

**Žiadna potravinová skupina neobsahuje súčasne všetky potrebné živiny v správnom zložení, preto potrebujeme mať všestrannú výživu.**

## Správna výživa je základným predpokladom zdravého vývoja človeka a hlavnou podmienkou prevencie i liečby najvýznamnejších ochorení, ktoré postihujú veľké skupiny obyvateľstva.

Sú to najmä choroby srdca a ciev, pohybovej sústavy, žľáz a žilových ciest, vznik cukrovky či zhubných nádorov. Vážnym spoločenským problémom sa v súčasnosti stáva obezita dospelých aj detí, ktorá je dôsledkom veľkej spotreby cukrov a tukov, malej spotreby zeleniny a ovocia a nedostatkom pohybu. Vedomosti o správnom zložení potravy a zdravom životnom štýle nadobúdajú v 21. storočí mimoriadnu dôležitosť.

### 8.4.1 Vyvážená strava

Základným predpokladom správneho stravovania je vytvorenie rovnováhy medzi energetickým príjmom a energetickou spotrebou organizmu – vtedy hovoríme o **vyváženej strave**.

**Strava sa považuje za vyváženú, ak je v nej dodržaný odporúčaný pomer živín:**

**bielkoviny : tuky : sacharidy**  
**10 až 15 % : 30 % : 55 až 60 %**  
**1 : 2 : 4**

V praxi nemôžeme túto vyváženosť dosiahnuť počas každého dňa. Dôležité je, aby bola zachovaná počas dlhšieho časového úseku.

### 8.4.2 Princípy zdravej výživy

Tieto základné pravidlá zdravej výživy niekedy označujeme ako **princípy 3, 5, 7**.

#### Princíp 3 – tri kľúčové slová: pestrosť, striednosť, vyváženosť

**Pestrosť** – znamená konzumovať rôzne obilniny a produkty z nich, rôzne druhy ovocia, zeleniny, rôzne potraviny z mliečnej a mäsovej skupiny. Pestrá strava obsahuje rôzne makroživiny (bielkoviny, sacharidy, tuky) aj mikroživiny (vitamíny, minerálne látky vrátane stopových prvkov).

**Striednosť** – týka sa množstva prijímanej potravy.

**Vyváženosť** – týka sa odporúčaného pomeru v prijíme živín (bielkoviny : tuky : sacharidy = 1 : 2 : 4).

#### Princíp 5 – päť potravinových skupín potravinovej pyramídy

Predstavuje ho päť základných potravinových skupín, z ktorých je zložená potravinová pyramída: obilniny a produkty z nich, zelenina, ovocie, mliečne produkty a mäsové produkty.

#### Potravinová pyramída

Neustále prepočítavanie pomeru živín je v bežných domácich podmienkach pomerne nepraktický postup. Odborníci na výživu preto navrhli zjednodušený model vyváženej stravy, tzv. **potra-**

**vinovú pyramídu**, ktorá názorne zobrazuje skladbu, odporúčané množstvá aj pomer druhu potravín v správne zostavenom jedálničku. Model potravinovej pyramídy sa pružne prispôsobuje rozvoju poznatkov o správnej výžive, na jeho základe sa formulujú aktuálne výživové odporúčania pre obyvateľstvo jednotlivých krajín (pozri odporúčané denné dávky potravín, resp. živín, ktoré sú uvedené na obaloch potravín a výživových doplnkov).

### Prízemie pyramídy

**Tvoria ho potraviny, ktoré majú mať najväčšie zastúpenie v jedálnom lístku:** obilniny, pekárenské výrobky – najlepšie celozrnné výrobky a pečivo, prírodná nelúpaná hnedá ryža, zemiaky v šupke, celozrnné cestoviny.

**Odporúčaná denná dávka = 4 – 6 porcií denne** (ženy 4 porcie, muži 6 porcií).

**Jedna porcia** zodpovedá 30 g obilnín. Tomuto množstvu zodpovedá približne 150 – 200 cm<sup>3</sup> ovsených vločiek, 125 g varenej ryže alebo varených obilnín, krajec chleba alebo jeden celozrnný rožok (60 g).

#### 1. poschodie

Prvé poschodie tvoria **zelenina a ovocie**, pričom zelenina kvôli väčšiemu obsahu vlákniny a menšiemu obsahu cukru je zastúpená vo väčšom množstve ako ovocie.

**Odporúčaná denná dávka: zelenina 4 – 5 porcií** (ženy 4 porcie, muži 5 porcií), **ovocie 3 – 4 porcie** (ženy 3 porcie, muži 4 porcie), **dohromady aspoň 0,5 kg denne**.

Jedna porcia zeleniny zodpovedá jednému kusu zeleniny – paradajka, paprika, väčšia mrkva, 100 g čerstvej listovej zeleniny, 125 g varenej zeleniny, 250 – 300 cm<sup>3</sup> neriedenej zeleninovej šťavy.

**Jedna porcia ovocia** zodpovedá jednému kusu ovocia (100 g) – jablko, hruška, banán, jednej šálke (150 – 200 cm<sup>3</sup>) drobného ovocia, 250 – 300 cm<sup>3</sup> neriedenej ovocnej šťavy.

#### 2. poschodie

**Tvoria ho potraviny bohaté na bielkoviny:**

##### a) mlieko a mliečne výrobky

**Odporúčaná denná dávka: 3 porcie denne** (ženy aj muži). Jedna porcia zodpovedá 250 – 300 cm<sup>3</sup> mlieka, 150 – 200 cm<sup>3</sup> jogurtu, 55 g syra.

##### b) hydina, ryby, vajcia, strukoviny, chudé mäso, orechy

**Odporúčaná denná dávka: 1 – 3 porcie.** Jedna porcia zodpovedá 80 g mäsa (po kuchynskej úprave), 150 – 200 cm<sup>3</sup> varených strukovín, 1 vajce. Ryba by mala byť na jedálnom lístku aspoň 1x týždenne, strukoviny aspoň 1x týždenne.

#### 3. poschodie

Najvyššie poschodie potravinovej pyramídy tvoria **oleje, tuky, sladidlá, soľ** – odporúča sa ich **striedma konzumácia**.

Potravinová pyramída je určená zdravým dospelým ľuďom s normálnou hmotnosťou. Ľuďom s vyšším výdajom energie, tehotným ženám, seniorom a rastúcim deťom sa dávky prispôbia. Dôležitý je správny pomer živín a aby to, čo má tvoriť základ nášho stravovania, nebolo na vrchole pyramídy.

**Namiesto experimentov s rozličnými diétami je lepšie, keď siahneme hneď po zdravej výžive – je to výživový štýl, ktorý zaisťuje prísun všetkých živín v dostatočnom množstve a štruktúre.**



Obr. 8.17 Potravinová pyramída



## Princíp 7 – sedem nutričných pravidiel, ako správne vyberať a pripravovať potraviny

### 1. pravidlo: Konzumovať pestrú stravu.



Obr. 8.18 Jedlo s pestrú kombináciou živín – obsahuje rôzne druhy zeleniny a chudé mäso

2. pravidlo: **Udržiavať si telesnú hmotnosť.** Zabezpečiť rovnováhu energetického príjmu a výdaja. Príjem energie potravou je optimálny vtedy, keď sa hmotnosť udržuje v normálnom rozsahu, t. j. keď BMI (kap. 8.4.6) je v rozpätí 20 – 25 kg·m<sup>-2</sup>. Stravovať sa 5-krát denne.

3. pravidlo: **Vyberať si stravu s nízkym obsahom tuku, nasýtených tukov a cholesterolu.** Znížiť príjem nasýtených mastných kyselín (obsiahnutých v živočišných tukoch) na maximálne 10 % energie. V dospelosti výrazne obmedziť príjem cholesterolu najmä vo vnútornostiach, masle, bravčovej masti. Konzumovať mäso a mäsové výrobky bez viditeľného tuku, nízko-tučné mlieko a mliečne výrobky s nižším obsahom tuku ako 1,5 % a syry s obsahom tuku do 30 %. Prospešný je príjem rybieho tuku (konzumácia rýb, najmä morských). Dobrým zdrojom nenasýtených vyšších karboxylových kyselín sú rastlinné oleje (slnečnicový, repkový) a najmä olivový olej.



Obr. 8.19 Morská ryba (losos)



Obr. 8.20 Nádoby s rozličnými druhmi olivového oleja

4. pravidlo: **Zvoliť si stravu s hojným zastúpením zeleniny.**

5. pravidlo: **Cukry konzumovať striedmo.** Podiel sacharidov má pozostávať predovšetkým z **polysacharidov** s vlákninou. Polysacharidy sú obsiahnuté v obilninách, ovocí, zelenine, zemiakoch, strukovinách.



Obr. 8.21 Rôzne druhy strukovín – zdroj polysacharidov

6. pravidlo: **Soľ a sodík prijímať striedmo.** Priemerná spotreba soli je asi 10 – 12 g/deň, skutočná potreba tvorí menej ako 1,25 g/deň (soľ zaraďujeme medzi pochutiny, nie je potravinou). Obmedzenie je zvlášť dôležité pri hypertenzii, opuchoch a pri srdcovej, pečenej a obličkovej nedostatočnosti. Odporúča sa jedlá počas kuchynského spracovania soliť minimálne a dochucovať až pred jedením a výrazne obmedziť konzumovanie konzervovaných, údených a solených potravín. **Dôležitý je aj výber nápojov – uprednostňujeme vodu, ovocné a bylinkové čaje, minerálne vody s nízkym obsahom sodíka (do 200 mg/l).**

7. pravidlo: **Dodržiavať zodpovedajúci pitný režim.** Dospelý človek má prijať denne 2 – 3 litre vody (do tohto množstva nie je započítaná voda, ktorá je súčasťou jedál). V lete sa potreba vody zvyšuje v závislosti od fyzickej záťaže a podmienok prostredia. Je potrebné obmedzovať pitie kolových a presladených nápojov.

### 8.4.3 Probiotiká a prebiotiká

Probiotiká, najčastejšie baktérie mliečného kvasenia, podporujú zdravie. **Znižujú obsah cholesterolu v krvi**, podieľajú sa na **prevencii obezity**, **znižujú riziko vzniku onkologických ochorení**.

Mechanizmus fungovania probiotík:

- probiotiká umožňujú lepšie **vstrebávanie živín z prijatej potravy do organizmu** a zabraňujú vstrebávaniu toxínov nachádzajúcich sa v strave, čím **pozitívne ovplyvňujú imunitný systém človeka**,
- **produkujú v črevách vitamín K a vitamíny skupiny B** (B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> a B<sub>12</sub>),
- produkujú látky, ktoré znižujú pH čreva. Tým vzniká mierne kyslé prostredie, v ktorom sa nedarí patogénnym baktériám. Probiotiká neumožnia, aby sa škodlivé mikroorganizmy množili a tým  **pomáhajú liečiť vnútorné zápal**,
- **produkujú množstvo enzýmov** a zvyšujú využiteľnosť mastných kyselín a vápnika.



Obr. 8.22 Kyslomliečny výrobok s obsahom probiotík

Najčastejším a najznámejším prirodzeným prostredím pre probiotiká sú **kyslomliečne výrobky** – jogurty, zakysanky, žinčica, bryndza. V jednom grame tradičnej (netermizovanej) slovenskej bryndze je cca 1 miliarda mliečnych baktérií.

Probiotiká sa dajú kúpiť aj vo výživových doplnkoch (obr. 8.23).

**Prebiotiká sú látky, ktoré podporujú rast a životaschopnosť probiotík.** Najdôležitejšími prebiotikami sú hlavne nestráviteľné polysacharidy, napríklad niektoré zložky vlákniny, celulóza.

Dostatok vlákniny umožňuje probiotikám lepšie fungovať. Preto je dôležité okrem probiotík jesť aj dostatočné množstvo zeleniny a ovocia. Vlákninu obsahujú napríklad aj celozrnné pekárenské výrobky.



Obr. 8.23 Probiotiká vo forme tabliet (výživový doplnok)



Obr. 8.24 Celozrnný pekárenský výrobok – zdroj vlákniny

### 8.4.4 Aditívne látky v potravinách

Väčšina spotrebiteľov v súčasnosti uprednostňuje pri nákupe potraviny, ktoré sú trvanlivé, majú peknú farbu, príjemnú chuť, znížený obsah tukov, zvýšený obsah vitamínov a pod. Toto spotrebiteľské správanie motivuje výrobcov potravín k používaniu prídavných látok, tzv. aditív („éčok“), ktorých úlohou je „vylepšiť“ vlastnosti pôvodnej potraviny. Aditívami môžu byť **prirodné látky** (napr. cviklový extrakt sa používa ako farbivo), niektoré sa vyrábajú **priemyselne** (napr. zvýrazňovač chuti glutaman sodný).

Výrobca je povinný **prítomnosť aditív v potravině vyznačiť na obale pomocou tzv. E-kódov alebo chemickým názvom, u každého aditíva musí byť vyznačený účel použitia**, tzv. kategória prídavnej látky (napr. regulátor kyslosti E 330). V prípade, že niektoré z aditív, prítomných v potravině, patrí medzi alergény, výrobca musí túto skutočnosť tiež uviesť na obale výrobku. Zoznam aditív usporiadaných podľa E-kódov nájdeme v prípade potreby na internete.

Z veľkého množstva aditív uvádzame napríklad:

- **farbivá** – používajú sa prírodné (napríklad karotény, chlorofyly, extrakt z papriky, farbivá získané z húb, karamel), ale aj syntetické (napríklad E 104 chinolínová žltá),
- **látky upravujúce textúru výrobku** – protihrudkujúce látky, zahusťovadlá a želirujúce látky, napríklad škrob, celulóza, pektín, ktoré sú súčasne aj zdrojom vlákniny,
- **emulgátory** – uľahčujú vznik emulzie (napríklad sójový lecitín),
- **antioxidanty** – zabraňujú reakcii zložiek potravině s voľnými radikálmi (napríklad vitamín E),
- **konzervačné látky** – spomaľujú činnosť mikroorganizmov, predlžujú trvanlivosť výrobku (napríklad organické kyseliny benzoová, sorbová, oxid siričitý),
- **látky upravujúce chuť** – sladidlá, regulátory kyslosti, zvýrazňovače chuti (napr. kyselina citrónová, glutaman sodný).

**Aditíva nesmú znižovať výživovú hodnotu potravině a v danom množstve zdravotne ohrozovať zdravého spotrebiteľa.**

Údaje o zložení potravinárskych výrobkov, uvedené na obaloch, sú veľmi dôležitou informáciou napríklad pre alergikov, tehotné ženy a pod. Pri stravovaní malých detí je potrebné venovať mimoriadnu pozornosť obsahu aditív v potravinách, pri príprave stravy pre dieťa používať potraviny bez aditív alebo s takými aditívami, ktoré sú pre citlivý detský organizmus neškodné.

#### 8.4.5 Vegetariánske stravovanie

**Je to výživový systém založený na konzumácii obilnín, zeleniny, ovocia, strukovín, semienok a oreškov pri súčasnom obmedzení alebo vylúčení červeného mäsa, rýb a hydiny zo stravy.**

Aj v rámci vegetariánskej stravy existujú alternatívy. Niektoré zahŕňajú mliečne produkty a vajcia (laktoovovegetariánska strava), zatiaľ čo striktná vegetariánska strava nepovoľuje konzumovať žiadne produkty pochádzajúce zo zvierat (vegánska strava).

Vegetariánmi sa ľudia stávajú z rôznych dôvodov: niektorí si ho zvolili z náboženských a duchovných dôvodov, iní nekonzumujú mäso kvôli zlepšeniu svojho zdravotného stavu, pre niektorých je rozhodujúce presvedčenie, že človek nie je mäsožravec a mäso konzumuje iba z núdze, resp. sú presvedčení, že nemajú právo zabíjať a konzumovať zvieratá.

Podľa názorov odborníkov na výživu závisí pokrytie výživových potrieb u vegetariánov v prvom rade od typu vegetariánskeho stravovania. **Dobre plánované laktoovovegetariánske stravovanie nemusí prinášať výživové problémy. Pochybnosti však existujú v prípade špeciálnych požiadaviek v období rastu, tehotenstva, dojčenia a pri rekonvalescencii. V týchto špeciálnych situáciách sa prejavuje nedostatočnosť príjmu vápnika, železa, zinku a nedostatok vitamínov B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub> a D, problematické je zabezpečenie vyváženosti príjmu esenciálnych aminokyselín (je potrebný dodatok obilnín a strukovín).**

#### 8.4.6 Obezita

**Prejavuje sa ako nadbytok tukového tkaniva v organizme, spôsobený tým, že príjem energie je dlhodobo väčší ako jej výdaj.**

Obezita sa dnes považuje za závažné ochorenie.



Obr. 8.25 Človek smeruje k obezite

Okrem väčšieho energetického príjmu sa na vzniku obezity podieľajú aj iné faktory, napríklad dedičnosť, psychologické faktory, spôsob výživy v detstve.

**Na diagnostikovanie a hodnotenie stupňa obezity sa používa index telesnej hmotnosti – Body Mass Index (BMI), ktorý môžeme vypočítať podľa vzťahu:**

**BMI = hmotnosť (v kg)/druhá mocnina výšky (v m<sup>2</sup>)**

BMI 20 – 24,9 – normálna hmotnosť

BMI 25 – 30 – nadhmotnosť

BMI 30 – 35 – I. stupeň obezity

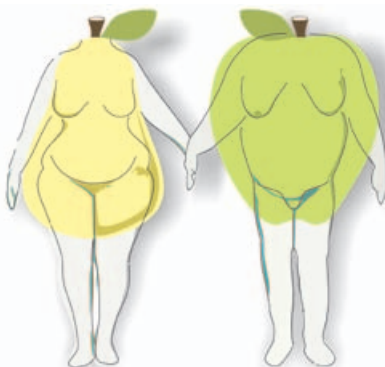
BMI 35 – 40 – II. stupeň obezity

BMI nad 40 – III. stupeň obezity (tzv. morbidna obezita)

Veľká hodnota BMI nemusí byť vždy spôsobená nadbytočným tukom, môže ju mať napríklad kulturista, ktorý má väčšiu hmotnosť svalovej hmoty ako bežná populácia.

### Druhy obezity

Podľa miesta, na ktorom človek najviac priberá, rozlišujeme **dva základné druhy obezity: typ hruška a typ jablko.**



Obr. 8.26 Obezita – typ hruška a typ jablko

Ak je tuk umiestnený hlavne na stehnách, čo je typické u žien, nazýva sa **gynoidný typ** ukladania tuku. Niekedy sa to označuje ako hruškovitá postava.

Druhý druh obezity sa nazýva **androidný**, pretože je častý u mužov. Tuk sa ukladá predovšetkým v oblasti brucha, hlavne v oblasti pupka. Človek s androidnou obezitou tvarom postavy pripomína guľu alebo jablko.

**Obezita typu jablko je nebezpečnejšia ako obezita typu hruška.**

Tuk sa ukladá najmä v brušnej dutine, pokrýva aj vnútorné orgány a spôsobuje väčšie riziko kardiovaskulárnych alebo metabolických ochorení, pretože je spojený so zmenami metabolizmu lipidov a glukózy.

Množstvo tuku v okolí vnútorných orgánov (tzv. viscerálneho tuku) sa vyjadruje pomocou tzv. **WHR indexu** (Waist to Hip Ratio), **ktorý vypočítame ako pomer obvodu pása a obvodu bokov**. Normálne hodnoty sú u žien 0,83 a u mužov 0,96. Zvýšené riziko nastáva pri hodnote WHR väčšej ako 0,85 u žien a väčšej ako 1,00 u mužov.

**V prípade nadhmotnosti a hroziacej obezity je potrebné urobiť zmeny v životospráve, skôr ako začnú zdravotné problémy.** Odborníci odporúčajú postup:

- **takmer úplne vylúčiť:** sladkosti, údeniny, vyprážené pokrmy, tvrdý alkohol a likéry, živočíšny tuk (koža z kurčiat, bôčik, slanina), malinovky, pivo, biele pečivo, biely chlieb, vianočky, koláče, zákusky, bagety, mastnejšie mäso, mäsové konzervy, maslo,
- **obmedziť, ale nevynechávať:** orechy, tuk, chudé mäso, vajcia, syry, zemiaky, ryža a iné prílohy, celozrnný chlieb, ovocie, müsli, kompóty, lekvár,
- **uprednostňovať v strave:** ryby sladkovodné a hlavne morské (aj masné), kuracie mäso bez kože, mliečne výrobky polotučné aj zakysané, jogurty, tvaroh, tofu, sóju, fazuľu, šošovicu, a iné strukoviny,
- **pred každým jedlom a vždy, keď je „na niečo chuť“, zjesť porciu zeleniny,**
- **dodržiavať pitný režim:** čistá voda 2 až 3 litre denne, v lete a pri fyzickej záťaži aj viac,
- okrem zmeny stravovacích návykov je nevyhnutná aj zmena **pohybového režimu**, pohyb spôsobuje zrýchlenie spaľovania živín, okrem toho sa prostredníctvom nárastu svalovej hmoty zväčšuje pokojový metabolizmus (svalová hmota spotrebúva energiu aj v pokoji).

**Obezita a problémy s ňou spojené patria do rúk lekára.**

#### 8.4.7 Poruchy príjmu potravy

K poruchám príjmu potravy patria najmä poruchy vstrebávania niektorých látok a intolerancie niektorej zo zložiek potravy, napríklad bielkoviny kravského mlieka. Intoleranciou gluténu sa vyznačuje ochorenie celiakia (kap. 4.4).

K najrozšírenejším formám psychogénnych porúch príjmu potravy patria: **mentálna anorexia (MA)**, **mentálna bulímia (MB)** a **záchvatovité prejedanie sa (Binge Eating Disorder, BED)**. Ide o **duševné ochorenia**, ktorými trpia hlavne mladé dievčatá (na mentálnu anorexiu trpí v súčasnosti v SR cca 1 %, na bulímiu cca 2 – 15 % mladých dievčat), vyskytujú sa však aj pri starších ročníkoch a mužoch.

Poruchu príjmu potravy **diagnostikuje vždy odborník** – lekár, psychiater, prípadne psychológ. **Porucha príjmu potravy neustúpi bez liečby**, preto je nutné presvedčiť postihnutého, aby prijal odbornú pomoc. Rozhodujúcu úlohu pri pomoci postihnutému dievčaťu majú často spolužiačci, priatelia, učitelia a pod., ktorí ako prví zaznamenajú zmeny v jeho správaní sa, v stravovacích návykoch a signalizujú potrebu liečby.

#### 8.4.8 Geneticky modifikované potraviny

Genetická modifikácia (zaoberá sa ňou génové inžinierstvo) je jednou z najnovších metód zavádzania nových znakov do mikroorganizmov, rastlín alebo živočíchov. V 70. rokoch 20. storočia molekulárni biológovia úspešne previedli živočíšny gén do baktérie, čím sa začala éra genetických modifikácií.

**Cieľom genetických modifikácií je prenášať medzi druhmi vybrané gény tak, aby výsledný produkt mal lepšie vlastnosti ako predošlý** (napr. lepšia odolnosť voči škodcom, mrazuvzdornosť a pod.).

**Geneticky modifikovaný organizmus (GMO) je organizmus, v ktorom boli zmenené gény prenosom cudzieho génu do jeho DNA**, následkom čoho je produkcia geneticky zmenených bielkovín. Takto produkované bielkoviny sú súčasťou geneticky modifikovaných plodín.

Najbežnejšími GMO sú odrody geneticky modifikovanej kukurice, sóje, repky olejnej a bavlny.

Prvou geneticky modifikovanou rastlinou na trhu bol rajčiak Flavr Savr so zvýšenou schopnosťou prepravovať a skladovať plody tejto odrody v zrelom stave. Zároveň mal zvýšený obsah pektínu, čo je výhodné pri výrobe pretlakov a kečupov. Genetickými modifikáciami ryže sa podarilo dosiahnuť, že ryža obsahuje provitámín A a feritín – biologicky dostupnú formu železa (v rozvojových krajinách majú takmer 4 miliardy ľudí nedostatok železa a veľké množstvo detí trpí nedostatkom vitamínu A).

**Uplatnenie tejto technológie** (zatiaľ hlavne v poľnohospodárstve, potravinárstve a farmaceutickom priemysle) **je prísne regulované**. Skôr ako môže byť akýkoľvek geneticky modifikovaný organizmus (GMO) alebo produkt umiestnený na trhu EÚ, musí prejsť **systemom schvaľovania**, v ktorom sa starostlivo zhodnotí jeho bezpečnosť pre ľudí, zvieratá a životné prostredie.



Obr. 8.27 Kukurica je jednou z najčastejšie geneticky modifikovaných plodín

Potraviny alebo ich zložky, vrátane prídavných látok, vyrobené z geneticky modifikovaných surovín, **musia mať v označení výrobku informáciu pre spotrebiteľa, že výrobok obsahuje geneticky modifikované organizmy**.

**Používanie technológie genetických modifikácií prináša so sebou celý rad otázok, na ktoré v súčasnosti ešte nepoznáme odpoveď**. Do diskusie o prednostiach a rizikách GMO prispievajú vedci, producenti potravín, obchodníci, politici, aktivisti mimovládnych organizácií. Zástancovia používania tejto technológie zdôrazňujú napr. perspektívnu možnosť odstránenia hladu na celom svete, zvýšenie kvality života človeka a zlepšenie jeho zdravia. Odporcovia argumentujú napr. tým, že technológia genetických modifikácií nie je dostatočne vyskúšaná, spôsobí premiešanie biologických druhov, naruší rovnováhu v prírode.

## KLÚČOVÉ UČIVO

- Alkaloidy sú dusíkaté organické látky zásaditej povahy, ktoré majú už v malých množstvách výrazný biologický účinok na organizmus.
- Liečivo je zložka lieku, ktorá má schopnosť cielene pôsobiť na organizmus. Liečivá sú nositeľmi liečebných a preventívnych účinkov liekov.

- Liek je výrobok, ktorý obsahuje jedno alebo viacero liečiv a pomocných látok upravených do vhodnej aplikačnej formy lieku.
  - Antibiotiká sú liečivá, prirodzene produkované mikroorganizmami alebo získavané synteticky, sú účinné na ochorenia spôsobené baktériami.
- Návykové látky (drogy) sú definované ako látky, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú psychiku človeka alebo jeho
  - ovládacie schopnosti,
  - rozpoznávacie schopnosti,
  - sociálne správanie.
- Rozlišujeme legálne a nelegálne drogy. Legálne drogy sú spoločensky tolerované (napr. alkohol, nikotín, niektoré lieky, kofeín). Nelegálne drogy sú látky, manipulácia s ktorými je v rozpore s legislatívou o návykových látkach.
- Drogová závislosť je definovaná neodolateľným želaním, nutkaním alebo potrebou pokračovať v užívaní drogy a získať drogu akýmikoľvek prostriedkami, tendenciou zvyšovania dávky drogy, psychickou a často aj fyzickou závislosťou na jej účinkoch.
- Abstinenčné príznaky vznikajú po obmedzení alebo vysadení drogy.
- Potrava musí človeku prinášať:
  - energiu na tvorbu tepla, na životné pochody a správne fungovanie organizmu,
  - látky na stavbu nových a náhradu opotrebovaných tkanív.
- Strava sa považuje za vyváženú, ak je v nej dodržaný odporúčaný pomer živín:
 

bielkoviny : tuky : sacharidy  
 10 až 15 % : 30 % : 55 až 60 %, t. j.  
 1 : 2 : 4
- Princípy zdravej výživy:
  - Princíp 3 – tri kľúčové slová: pestrosť, striedmosť, vyváženosť,
  - Princíp 5 – päť potravinových skupín potravinovej pyramídy,
  - Princíp 7 – sedem nutričných pravidiel, ako správne vyberať a pripravovať potraviny.
- Obezita sa prejavuje ako nadbytok tukového tkaniva v organizme spôsobený tým, že príjem energie je dlhodobo väčší ako jej výdaj.
- Na diagnostikovanie a hodnotenie obezity sa používa index telesnej hmotnosti – Body Mass Index (BMI), ktorý môžeme vypočítať podľa vzťahu
 

$BMI = \text{hmotnosť (v kg)} / \text{druhá mocnina výšky (v m}^2\text{)}$

BMI 20 – 24,9 – normálna hmotnosť  
 BMI 25 – 30 – nadhmotnosť  
 BMI 30 – 35 – I. stupeň obezity  
 BMI 35 – 40 – II. stupeň obezity  
 BMI nad 40 – III. stupeň obezity (tzv. morbidna obezita)
- Množstvo tuku umiestneného v okolí vnútorných orgánov charakterizuje WHR index, ktorý vypočítame ako pomer obvodu pása a obvodu bokov. Normálne hodnoty WHR indexu sú 0,83 pre ženy a 0,96 pre mužov.
- Geneticky modifikovaný organizmus (GMO) je organizmus, v ktorom boli zmenené gény prenosom cudzieho génu do jeho DNA, následkom čoho je produkcia geneticky zmenených bielkovín. Takto produkované bielkoviny sú súčasťou geneticky modifikovaných plodín.

## OTÁZKY A ÚLOHY



1. Antihistaminiká sú liečivá, ktoré zmierňujú účinok histamínu počas alergickej reakcie organizmu. Za pomoci informačných zdrojov zistite, ktorý z druhov alergie sa na Slovensku vyskytuje najčastejšie!
2. Zistite, aké legislatívne opatrenia platia v Slovenskej republike na obmedzenie negatívneho vplyvu fajčenia na ľudský organizmus v oblastiach:
  - a) reklamy,
  - b) informovanosti obyvateľstva o nebezpečenstve používania tabaku a tabakových výrobkov,
  - c) ochrany nefajčiarov.

Posúďte, či tieto opatrenia zodpovedajú potrebám súčasnej slovenskej spoločnosti. Ak si myslíte, že nezodpovedajú, aké korekcie by ste navrhli?
3. Za pomoci informačných zdrojov vypracujte prehľad o spôsoboch, ktorými sa spoločnosť bráni pred nebezpečnými dôsledkami zneužívania drog v oblasti:
  - a) prevencie,
  - b) liečby závislosti a znižovania rizika prenosu infekcií,
  - c) pomoci abstínujúcim toxikomanom,
  - d) represie.
4. Lekár vám predpísal denne jednu dávku lieku XY, ktorý obsahuje 50 mg liečiva v jednej tablete. Lekárnik vám vydal balenie lieku XY, ktoré obsahuje 25 mg liečiva v jednej tablete. Aké dávkovanie vám určí lekárnik pri užívaní tabliet, aby liek dosiahol potrebný terapeutický účinok?
5. Na tégliku s jogurtom sú uvedené tieto údaje (platia pre 100 g výrobku):
 

Bielkoviny 3,6 g  
Sacharidy 15,0 g  
Tuky 2,7 g

Zistite, či tento výrobok spĺňa podmienku správneho pomeru základných živín!
6. Vypočítajte svoj index telesnej hmotnosti BMI, zmerajte svoj obvod pása a bokov a vypočítajte svoju hodnotu WHR indexu. Na základe zistených hodnôt posúďte, či je vaša hmotnosť primeraná.
7. Nutričné pravidlo č. 6 obsahuje údaj o skutočnej dennej potrebe soli (1,25 g/deň). Vypočítajte, na koľko dní pokryje skutočnú potrebu človeka jedno balenie soli (1 kg).
8. Fruitariánstvo je jedným zo smerov vegetariánskeho spôsobu výživy. Fruitariáni konzumujú čerstvé ovocie ako jediný zdroj potravy. Posúďte vhodnosť fruitariánskeho spôsobu výživy z hľadiska princípov zdravej výživy.
9. Zistite adresu poradne zdravia (v regionálnom úrade verejného zdravotníctva), ktorá je najbližšie k vášmu bydlisku. Aké služby občanom poskytuje? Ktoré z nich sú bezplatné?



## 9 ÚVOD DO LÁTKOVÉHO METABOLIZMU

Medzi organizmom a prostredím, v ktorom žije, prebieha neustála výmena látok a energie. Na to, aby organizmus mohol existovať, musí z okolitého prostredia prijímať potrebné látky. Tie potom premieňa na jemu vlastné látky, alebo ich rozkladá a získava energiu potrebnú na zabezpečenie dôležitých životných pochodov. Nepotrebné látky sa z organizmu vylúčia do vonkajšieho prostredia.

Súbor všetkých biochemických procesov prebiehajúcich v živých organizmoch označujeme ako **látkový metabolizmus**.

Jednotlivé biochemické reakcie látkového metabolizmu na seba bezprostredne nadväzujú. Produkt jednej reakcie sa stáva východiskovou látkou (substrátom) reakcie nasledujúcej. Takto sa utvárajú rôzne dlhé **metabolické dráhy**.

Metabolické dráhy môžu mať rozdielny charakter. Rozlišujú sa dva hlavné typy metabolických dráh:

1. **katabolické** (rozkladné, disimilačné), pri ktorých sa zložitejšie molekuly rozkladajú na jednoduchšie za súčasného uvoľnenia energie. Takto sa napr. mastné kyseliny rozkladajú až na oxid uhličitý. Pri katabolických reakciách väčšinou dochádza k oxidácii substrátu,
2. **anabolické** (skladné, syntetické, asimilačné), pri ktorých z jednoduchých látok vznikajú látky zložitejšie. Takto sa napríklad z oxidu uhličitého a vody syntetizujú sacharidy. Väčšina týchto procesov má charakter redukcie substrátu a na ich priebeh je potrebné dodávať energiu.

Niektoré metabolické dráhy majú katabolický aj anabolický charakter, nazývame ich **amfibolické**. Typickou amfibolickou dráhou je citrátový cyklus (kap. 10.2).

### 9.1 Význam oxidačno-redukčných dejov v metabolizme

Medzi najdôležitejšie reakcie, prebiehajúce v živých sústavách, patria oxidačno-redukčné (redoxné) reakcie. Bunka ich využíva na získavanie energie a tvorbu energeticky bohatých látok. Podstata oxidačno-redukčných dejov, prebiehajúcich v živých organizmoch, je rovnaká ako v neživej prírode. Sú spojené s odovzďaním (oxidácia) a prijímaním (redukcia) elektrónov. V biochémií oxidácia spravidla znamená **dehydrogenáciu** substrátu a redukcia **hydrogenáciu** substrátu, pretože sa pri týchto procesoch často prenáša aj vodík.

Oxidácia (dehydrogenácia) látok v živých sústavách môže prebiehať za prítomnosti kyslíka (**aeróbne**) alebo bez neho (**anaeróbne**).

Na uskutočnenie oxidačno-redukčných dejov sú potrebné oxidačné a redukčné činidlá. Ich funkciu v organizme vykonávajú koenzýmy, ktoré sa viažu na aktívne miesta príslušných enzýmov (oxidoreduktáz). Najvýznamnejšími koenzýmami, ktoré sa zúčastňujú na redoxných reakciách, sú **nikotínamidadenindinukleotid (NAD)**, **nikotínamidadenindinukleotidfosfát (NADP)** a **flavínadenindinukleotid (FAD)**. Tieto koenzýmy sa vyskytujú v dvoch formách: oxidovanej a redukovanej. Oxidované formy slúžia ako oxidačné činidlá (oxidovadlá), ich redukované formy zase ako redukčné činidlá (redukovadlá). Prehľad oxidovaných a redukovaných foriem spomínaných koenzýmov je uvedený v tabuľke 9.1.

**Tab. 9.1 Oxidované a redukované formy najvýznamnejších koenzýmov oxidoreduktáz**

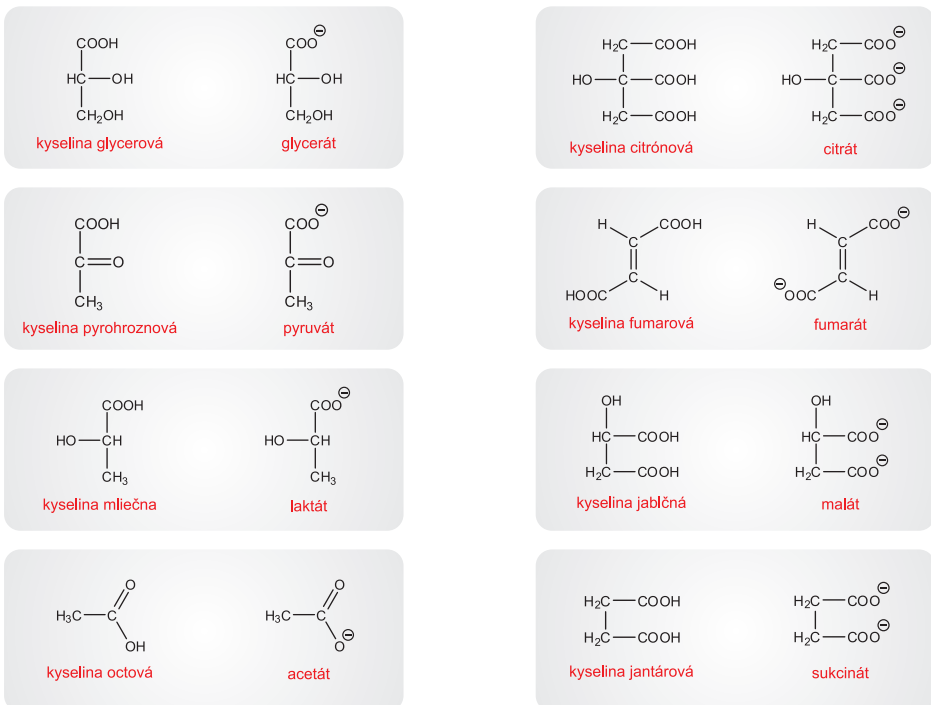
koenzým	oxidovaná forma	redukovaná forma
nikotínamidadeníninukleotid (NAD)	NAD <sup>+</sup>	NADH + H <sup>+</sup>
nikotínamidadeníninukleotidfosfát (NADP)	NADP <sup>+</sup>	NADPH + H <sup>+</sup>
flavínadeníninukleotid (FAD)	FAD	FADH <sub>2</sub>

V oxidačných procesoch (katabolických reakciách) sa ako oxidačné činidlá uplatňujú najmä **NAD<sup>+</sup>** a **FAD**. V redukčných procesoch (anabolických reakciách) sa zase ako redukčné činidlo uplatňuje hlavne **NADPH**.

Ďalšie informácie o týchto oxidačno-redukčných koenzýmoch sú obsahom kapitoly 10.3.

## 9.2 Názvy kyselín používané v biochémií

V biochémií často používame špeciálne názvy karboxylových kyselín. Napríklad namiesto kyseliny octovej používame názov **acetát**, namiesto kyseliny citrónovej **citrát** a pod. Sú to názvy aniónových foriem týchto kyselín. Dôvod týchto názvov je jednoduchý. Vo fyziologickom prostredí sa karboxylová skupina nevyskytuje v protonizovanom stave (—COOH), ale v disociovanom (deprotonizovanom) stave (**—COO<sup>⊖</sup>**). Karboxylové kyseliny sa teda v živých organizmoch vyskytujú vo forme svojich solí.


**Obr. 9.1 Prehľad štruktúr a názvov niektorých karboxylových kyselín a ich disociovaných foriem**

Hoci sa v biochémií stretávame najmä s organickými kyselinami, rovnaký princíp platí aj pre anorganické kyseliny, vyskytujúce sa v živých sústavách. Preto napríklad používame názov **fosfát** namiesto kyselina trihydrogenfosforečná (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) a pod.

## 9.3 Energetický charakter biochemických reakcií

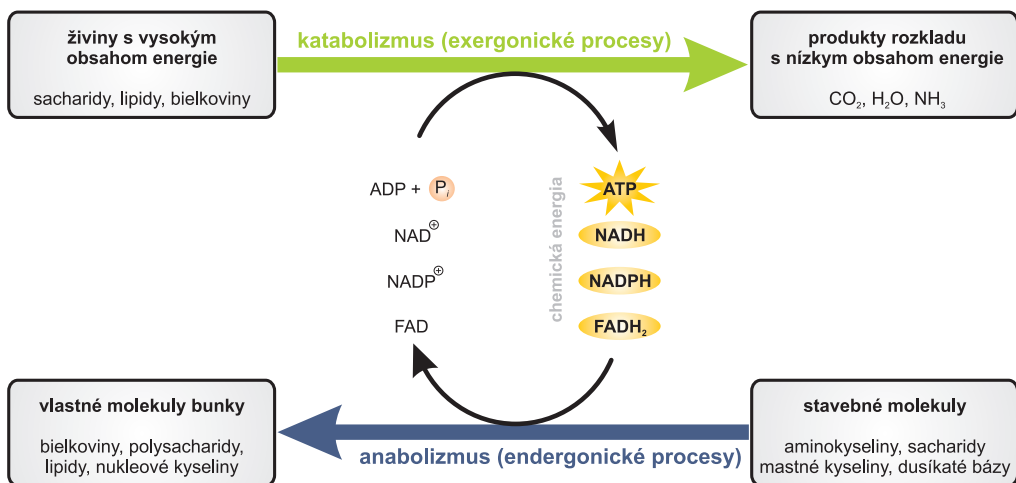
Pri chemických reakciách, prebiehajúcich v neživých aj živých sústavách, dochádza okrem vzájomnej premeny látok aj k energetickým zmenám. Všetky biochemické procesy majú aj energetický efekt. Energia v priebehu metabolických procesov nevzniká ani nezaniká, len sa premieňa z jednej formy na inú. Rovnako ako ostatné prírodné procesy, aj energetická stránka látkového metabolizmu podlieha zákonom termodynamiky.

Z energetického hľadiska rozlišujeme dva typy reakcií:

1. **exergonické**, pri ktorých sa energia uvoľňuje, pretože obsah voľnej energie východiskových látok je vyšší ako obsah voľnej energie produktov,
2. **endergonické**, na ktorých uskutočnenie je potrebné energiu dodávať, pretože vznikajúce produkty majú vyšší obsah voľnej energie ako východiskové látky.

Z predchádzajúcej kapitoly vieme, že pri katabolických reakciách sa energia uvoľňuje. Z energetického pohľadu sú teda exergonické. Naopak, anabolické reakcie sú reakciami endergonickými.

Dôležitým znakom biochemických reakcií je, že na seba energeticky nadväzujú. Znamená to, že **energiu uvoľnenú pri exergonickom procese** (napr. pri rozklade látok) **organizmus využije na endergonický proces** (napr. na syntézu látok, obr. 9.2).



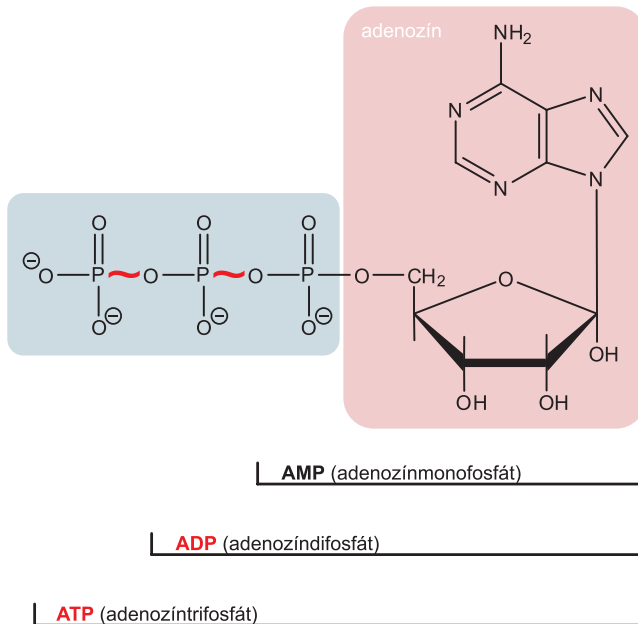
Obr. 9.2 Energetický vzťah medzi katabolickými a anabolickými dráhami

## 9.4 Makroergické zlúčeniny

Prenos energie medzi exergonickými a endergonickými procesmi neprebíha priamo, ale prostredníctvom tzv. **makroergických zlúčenín**. Makroergické zlúčeniny vo svojej molekule obsahujú jednu alebo viac chemických väzieb, ktorých rozpadom sa naraz uvoľní veľké množstvo energie. Tieto väzby nazývame **makroergickými väzbami**.

Makroergickými zlúčeninami sú zvyčajne estery kyseliny trihydrogenfosforečnej alebo niektoré zlúčeniny síry – tioestery (napr. acetylkoenzým A). Najvýznamnejšou makroergickou zlúčeninou je **adenozíntrifosfát (ATP)**, niekedy nazývaný aj **kyselina adenozíntrifosforečná** (kap. 5.3), ktorý má centrálné postavenie v energetickom metabolizme bunky. ATP sa tvorí z **adenozíndifosfátu (ADP)**

procesom označovaným ako **fosforylácia**, t. j. naviazanie fosfoskupiny (zvyšku kyseliny trihydrogenfosforečnej). Základom štruktúry oboch zlúčenín je adenzín – nukleozid, skladajúci sa z dusíkatej bázy adenínu a sacharidu ribózy. Na adenzín sú naviazané dva (ADP) alebo tri (ATP) zvyšky kyseliny trihydrogenfosforečnej. Ak je vo vzorci zlúčeniny potrebné zvýrazniť jej makroergickú väzbu, vyznačí sa pomocou vlnovky ~. Vzorce fosforečných esterov sa zase často zjednodušujú nahradením plného zápisu zvyšku kyseliny trihydrogenfosforečnej symbolom  $\text{P}$ . Ak ide o voľnú (neviazanú) disociovanú formu kyseliny trihydrogenfosforečnej, používa sa symbol  $\text{P}_i$  alebo  $\text{P}_i$ , kde index  $i$  je skratkou anglického *inorganic* – anorganický. V našej učebnici budeme na tento účel používať symboly  $\text{P}$  a  $\text{P}_i$ .



### Obr. 9.3 Štruktúra ATP, ADP a AMP

ATP má 2 makroergické väzby, zatiaľ čo ADP má len jednu. ADP je teda tiež makroergickou zlúčeninou. AMP nemá žiadnu makroergickú väzbu. Štiepením jednej makroergickej väzby ATP alebo ADP sa uvoľní energia  $30,5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Makroergické väzby sú znázornené červenou vlnkou.

Funkciu a postavenie ATP v energetickom metabolizme bunky možno zjednodušene vysvetliť takto:

Energia uvoľnená pri exergonických procesoch sa najprv použije na syntézu ATP (prípadne inej makroergickej zlúčeniny). Endergonické procesy sú „poháňané“ energiou, ktorá sa uvoľní pri rozpade makroergickej väzby ATP. Takýmto spôsobom je zabezpečené prepojenie medzi exergonickými a endergonickými dejmi prostredníctvom univerzálnej zlúčeniny – ATP (obr. 9.2).

# 10 KATABOLIZMUS BIOCHEMICKY VÝZNAMNÝCH LÁTKO

## 10.1 Katabolizmus sacharidov

Sacharidy sú základnými zložkami živých sústav. Primárne vznikajú v zelených rastlinách v procese fotosyntézy (kap. 11.1.1). Živočíchy ich prijímajú v potrave, ktorá obsahuje hlavne polysacharidy (škrob, celulóza) a disacharidy (sacharóza). Na to, aby mohli byť polysacharidy a disacharidy ďalej organizmom využité, musia sa v tráviacej sústave najprv rozložiť na monosacharidy. Tie slúžia predovšetkým ako zdroj energie, ale majú aj iné funkcie.

Kľúčovú úlohu v metabolizme sacharidov má glukóza.

### 10.1.1 Glykolýza

Glukóza je dôležitým zdrojom energie pre väčšinu organizmov. Pre niektoré bunky a tkanivá je dokonca výhradným zdrojom energie (červené krvinky, mozog). K uvoľneniu tejto energie dochádza sústavou oxidačných procesov, ktoré prebiehajú za aeróbnych alebo anaeróbnych podmienok.

Prvá časť rozkladu glukózy je spoločná takmer pre všetky organizmy. Nevyžaduje prítomnosť kyslíka, môže teda prebiehať za anaeróbnych podmienok. Nazýva sa **glykolýza**.

Všetky reakcie glykolýzy prebiehajú v cytoplazme bunky. Vysvetlime si teraz podrobnejšie priebeh tejto dôležitej metabolickej dráhy. Čísla v texte zodpovedajú jednotlivým reakciám glykolýzy, uvedenej na obr. 10.1.

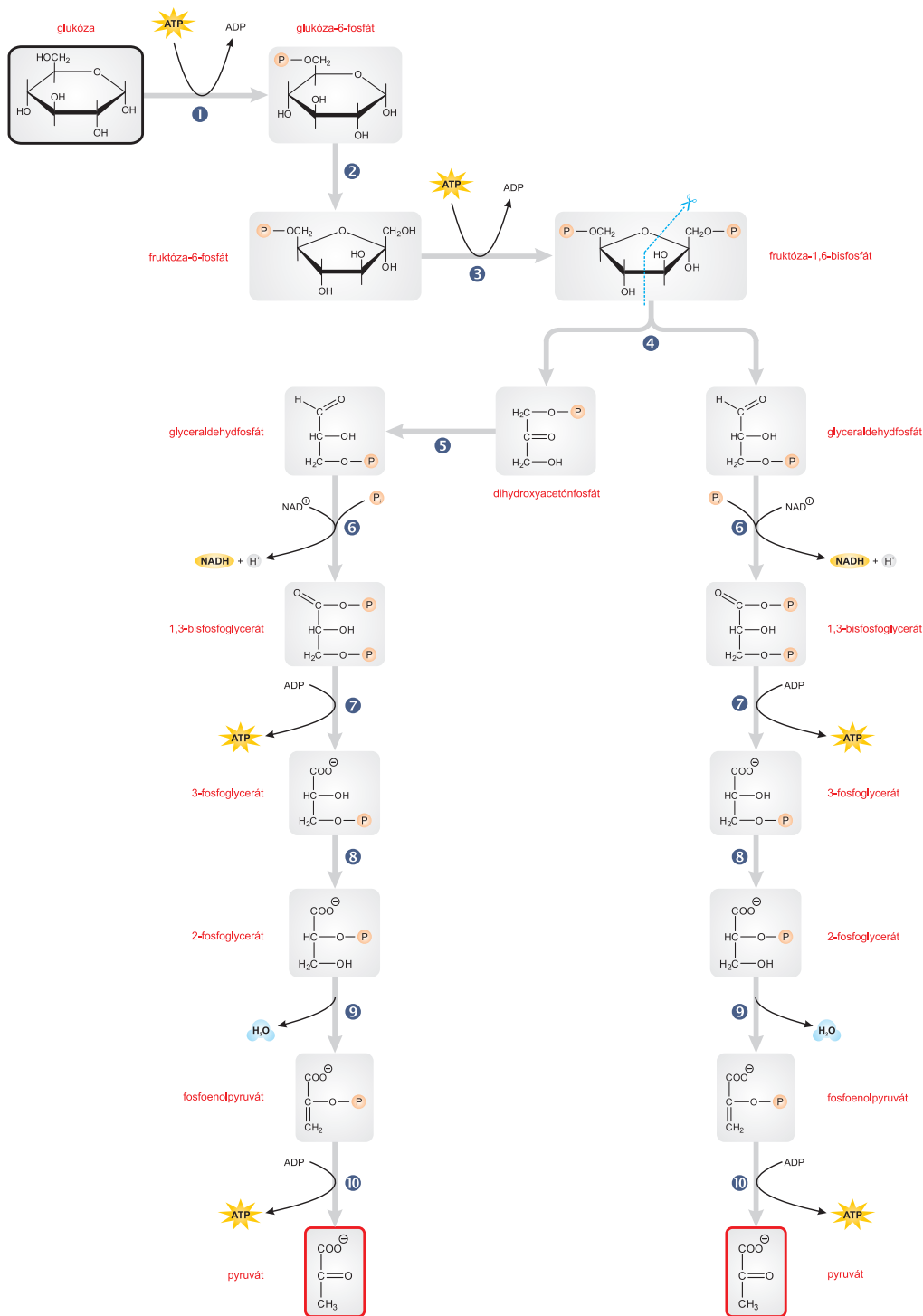
Molekula glukózy sa na začiatku metabolickej dráhy musí aktivovať naviazaním zvyšku kyseliny trihydrogenfosforečnej (fosfátu) na atóm uhlíka glukózy č. 6. Vznikne tak medziprodukt, ktorý nazývame glukóza-6-fosfát (1). Fosfát pochádza z molekuly ATP, z ktorej pritom vznikne ADP. Pre ďalší priebeh glykolýzy je nutné uskutočniť premenu glukóza-6-fosfátu na jeho izomér – fruktóza-6-fosfát (2). Ten v nasledujúcom kroku naviaže ďalší zvyšok kyseliny trihydrogenfosforečnej, tentoraz na prvý atóm uhlíka fruktózy (3). Pri tejto reakcii dochádza k spotrebe druhej molekuly ATP.

Obe spotrebované molekuly ATP predstavujú nutný „vklad“ energie na začiatku glykolýzy. Pri nasledujúcich reakciách sa však už bude energia uvoľňovať.

Fruktóza 1,6-bisfosfát sa rozštiepi na 2 molekuly najjednoduchších sacharidov s tromi atómami uhlíka – dihydroxyacetónfosfát a glyceraldehydfosfát (4). Dihydroxyacetónfosfát sa tiež zmení na glyceraldehydfosfát (5), takže v tejto fáze glykolýzy sa z počiatočnej molekuly glukózy získali 2 molekuly glyceraldehydfosfátu. Každá z nich je oxidovaná za vzniku kyseliny 1,3-bisfosfoglycerovej (1,3-bisfosfoglycerátu) (6). Oxidovadlom v tejto reakcii je koenzým NAD<sup>+</sup>.

Premena 1,3-bisfosfoglycerátu na 3-fosfoglycerát je prvou reakciou glykolýzy, pri ktorej vzniká ATP (7). Nasleduje premena tohto medziproduktu na jeho izomér 2-fosfoglycerát (8), z ktorého sa dehydratáciou (odštiepením vody) vytvorí predposledný medziprodukt glykolýzy fosfoenolpyruvát (9). Poslednou reakciou tejto metabolickej dráhy je premena fosfoenolpyruvátu na pyruvát (kyselinu pyrohroznovú), pričom sa znovu uvoľní energia vo forme ATP (10).

Výsledkom glykolýzy je rozloženie molekuly glukózy na dve molekuly pyruvátu, pričom sa získajú 2 molekuly ATP a 2 molekuly redukovaného koenzýmu NADH.



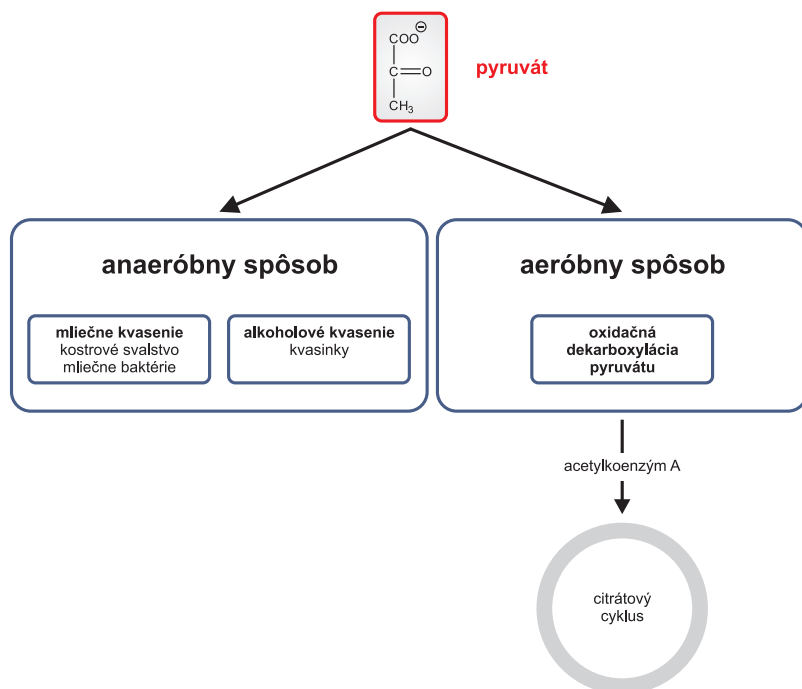
**Obr. 10.1 Schéma glykolýzy**  
 Čísła jednotlivých reakcií zodpovedajú vysvetleniu v texte.

Všimnite si, že aj keď v prvej polovici glykolýzy bolo na jej priebeh potrebné vložiť 2 molekuly ATP, v druhej časti tejto metabolickej dráhy bunka získava 4 molekuly ATP. **Celková energetická bilancia premeny 1 molekuly glukózy na 2 molekuly pyruvátu predstavuje zisk 2 ATP** (pozri nasledujúce zhrnutie).

ATP potrebné na začiatku glykolýzy		-2 ATP
zisk ATP v glykolýze	4 ATP	+ 4 ATP
	spolu:	<b>2 ATP</b>

## 10.1.2 Možnosti spracovania pyruvátu

Pyruvát je síce koncovým produktom glykolýzy, nie je však konečným produktom rozkladu glukózy. Ďalšie spracovanie pyruvátu je pri rôznych organizmoch, resp. tkanivách vyriešené odlišným spôsobom. Existujú dva základné spôsoby spracovania pyruvátu v závislosti od toho, či prebiehajú za účasti kyslíka, alebo bez neho.

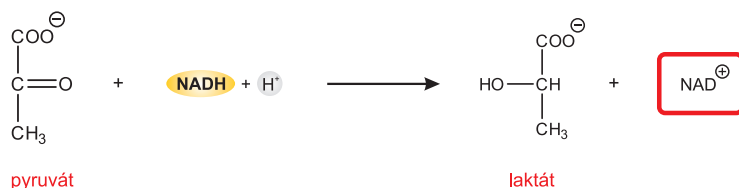


Keďže glykolýza je rozkladným (oxidačným) procesom, jej priebeh vyžaduje prítomnosť oxidovadla vo forme koenzýmu  $\text{NAD}^+$ . Množstvo  $\text{NAD}^+$  je však v bunke obmedzené a pri glykolýze sa rýchlo vyčerpá. Preto pri aeróbnom aj anaeróbnom spôsobe spracovania pyruvátu musí byť zabezpečená opätovná regenerácia  $\text{NAD}^+$  z jeho redukovanej formy  $\text{NADH}$ , ktorá vzniká počas glykolýzy.

Spoločným znakom aeróbného aj anaeróbného spracovania pyruvátu je, že na spätnú oxidáciu  $\text{NADH}$  na  $\text{NAD}^+$  sa použije látka, ktorá sa pritom redukuje. Pri mliečnom kvasení je touto látkou samotný pyruvát, ktorý sa redukuje na laktát, pri alkoholovom kvasení je to acetaldehyd, ktorý sa redukuje na etanol. Pri aeróbnej regenerácii  $\text{NAD}^+$  je touto látkou molekula kyslíka, ktorá sa redukuje na vodu. Ako vysvetlíme neskôr, pri aeróbnej regenerácii tohto koenzýmu sa získa navyše ďalšia energia vo forme ATP.

### 10.1.2.1 Mliečne kvasenie

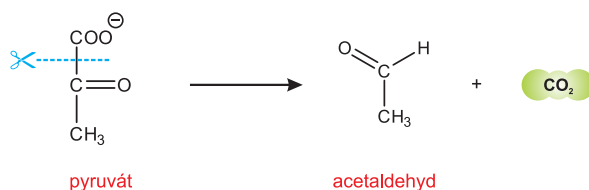
Pri živočíchoch sa s anaeróbnym spôsobom získavania energie stretávame len v kostrovom svalstve. Počas intenzívnej svalovej práce totiž krv nestačí zásobovať svaly dostatočným množstvom kyslíka, hovoríme, že svaly pracujú na tzv. kyslíkový dlh. Rýchlo vznikajúci NADH však nemôže byť spätne oxidovaný na  $\text{NAD}^+$  kyslíkom. Preto sa v tomto prípade na oxidáciu NADH použije samotný pyruvát a ako ďalší produkt tohto procesu vznikne **laktát** (kyselina mliečna):



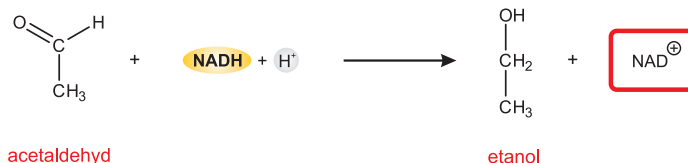
Schopnosť uskutočňovať mliečne kvasenie majú aj mnohé skupiny mikroorganizmov, tzv. mliečne baktérie. Niektoré z nich sa využívajú v potravinárskom priemysle, napr. na výrobu kyslých mliečnych nápojov a jogurtov. S procesom mliečného kvasenia sa stretávame aj pri kvasení kapusty.

### 10.1.2.2 Alkoholové kvasenie

Pri kvasinkách sa vyvinul iný mechanizmus anaeróbného spracovania pyruvátu, ktorého konečným produktom je etanol. Alkoholové kvasenie preto niekedy nazývame aj etanolovým kvasením. Tento dej prebieha v dvoch krokoch. Najprv sa odštiepi karboxylová skupina pyruvátu vo forme oxidu uhličitého za vzniku **acetaldehydu**:



Acetaldehyd sa potom redukuje na **etanol**, čím zároveň dochádza k regenerácii  $\text{NAD}^+$ :



Anaeróbne procesy spracovania pyruvátu, alkoholové aj mliečne kvasenie, už bunke neprinášajú žiadny ďalší energetický zisk.

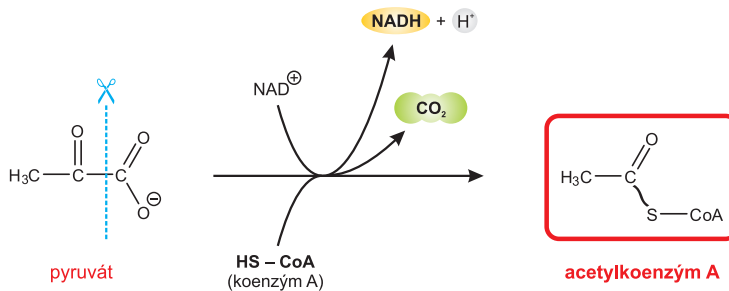
**Celková energia, ktorú bunka získa pri úplnom spracovaní 1 molekuly glukózy bez prístupu kyslíka, sa rovná len 2 molekulám ATP pochádzajúcim z glykolýzy.**

Toto množstvo predstavuje len približne 2 % z celkovej energie, ktorú možno získať úplnou oxidáciou glukózy až na  $\text{CO}_2$ . V nasledujúcich kapitolách si ukážeme, že aeróbne spracovanie pyruvátu je energeticky oveľa výhodnejšie ako anaeróbne.



### 10.1.2.3 Aeróbne spracovanie pyruvátu

Pri aeróbných organizmoch prechádza pyruvát vzniknutý v glykolýze do mitochondrií, kde je oxidovaný na **acetylkoenzým A**. Keďže sa pri tomto oxidačnom deji z pyruvátu odštiepuje jeho karboxylová skupina vo forme  $\text{CO}_2$ , nazývame ho **oxidačnou dekarboxyláciou pyruvátu**:



Ako vidíme, pri tomto procese ešte k regenerácii  $\text{NAD}^+$  nedochádza. Práve naopak,  $\text{NAD}^+$  sa tu redukuje, podobne ako v glykolýze. Aeróbne organizmy však na opätovnú regeneráciu  $\text{NADH}$  na  $\text{NAD}^+$  využívajú kyslík, ktorý anaeróbne organizmy k dispozícii nemajú. Elektróny  $\text{NADH}$ , získané pri oxidačných procesoch, sa tak prenesú až na molekulu kyslíka, ktorá sa tým zredukuje na molekulu vody. To sa uskutoční až v transporte elektrónov v tzv. dýchacom reťazci (kap. 10.3) Existencia tohto mechanizmu umožňuje regenerovať aj väčšie množstvo  $\text{NADH}$  na  $\text{NAD}^+$ . Preto si bunka môže „dovoliť“ ďalej oxidovať nielen pyruvát, ale aj produkt jeho oxidačnej dekarboxylácie – **acetylkoenzým A**.

**Väčšina vzniknutého acetylkoenzýmu A ďalej prechádza do citrátového cyklu, kde sa oxiduje až na  $\text{CO}_2$ .** Oxidačná dekarboxylácia pyruvátu je teda spravidla spojená s citrátovým cyklom a dýchacím reťazcom (obr. 10.6).

S priebehom obidvoch dejov sa oboznámime v nasledujúcich kapitolách.

## 10.2 Citrátový cyklus

Citrátový cyklus predstavuje najvýznamnejšiu metabolickú dráhu, pomocou ktorej bunky oxidáciou látok získavajú veľké množstvo energie. Pri eukaryotických organizmoch prebieha v mitochondriách. Názov cyklu je odvodený od citrátu (kyseliny citrónovej), ktorý v ňom vzniká. Podľa prvých dvoch medziproduktov cyklu, obsahujúcich tri funkčné karboxylové skupiny, sa táto metabolická dráha niekedy nazýva aj **cyklom trikarboxylových kyselín**.

*Môžeme sa stretnúť aj s pomenovaním **Krebsov cyklus**, odvodeným od mena jeho objaviteľa Hansa Adolfa Krebsa. Za objav tejto metabolickej dráhy mu bola roku 1953 udelená Nobelova cena.*



Obr. 10.2 Hans Adolf Krebs objavil citrátový cyklus roku 1937

**Citrátový cyklus má centrálné postavenie v metabolizme bunky.** Je spoločnou metabolickou dráhou rozkladu všetkých živín – sacharidov, lipidov, bielkovín (obr. 10.3).

**Základnou katabolickou úlohou citrátového cyklu je rozložiť acetylkoenzým A, vznikajúci v iných katabolických dráhach (glykolýza,  $\beta$ -oxidácia, rozklad aminokyselín), až na oxid uhličitý a získať pri tom redukované koenzýmy (NADH a  $FADH_2$ ).**

Do citrátového cyklu prichádzajú molekuly **acetylkoenzýmu A**, pochádzajúce z rôznych rozkladných metabolických dráh, t. j. nielen z rozkladu sacharidov, ale aj lipidov (presnejšie mastných kyselín) a aminokyselín. Na začiatku citrátového cyklu acetylový zvyšok uvoľnený z acetylkoenzýmu A kondenzuje s **oxalacetátom** (kyselinou oxalocetovou) za vzniku trikarboxylovej kyseliny – **citrátu** (kyseliny citrónovej) (1). Tá sa potom mení na jej izomér – izocitrát (kyselinu izocitrónovú), (2) líšiaci sa od citrátu len polohou  $-OH$  skupiny.

V dvoch nasledujúcich krokoch sa postupne odštiepia dve karboxylové skupiny vo forme dvoch molekúl oxidu uhličitého. Prvá molekula  $CO_2$  vznikne odštiepením karboxylovej skupiny z izocitrátu (3). Zo vzniknutého 2-oxoglutarátu (kyseliny 2-oxoglutarovej) sa potom odštiepi druhá molekula  $CO_2$  (4). Obe reakcie majú oxidačný charakter, teda vyžadujú prítomnosť oxidovadla, ktorým je oxidovaný koenzým  $NAD^+$ . V každej z týchto reakcií teda vznikne po jednom redukovanom koenzýme NADH.

Pri posledných dvoch spomínaných reakciách vzniká konečný produkt rozkladu organických látok – **oxid uhličitý**. Môžeme teda povedať, že **v tejto fáze cyklu sa dvojhlíková molekula acetylkoenzýmu A rozložila na 2 molekuly oxidu uhličitého**.

Ďalšie reakcie slúžia na obnovenie počiatočnej zlúčeniny citrátového cyklu – oxalacetátu.

Premena sukcinylkoenzýmu A na sukcinát (kyselinu jantárovú) (5) je jedinou reakciou citrátového cyklu, pri ktorej vzniká ATP, aj keď nie priamo, ale prostredníctvom GTP (guanozíntrifosfát!). Nasledujúce časti cyklu majú pomerne jednoduchý princíp. Ich cieľom je postupnou oxidáciou pripraviť zo sukcinátu oxalacetát. Sukcinát sa najprv dehydrogenuje na fumarát (kyselinu fumarovú) (6). Je to náročnejšia oxidačná reakcia, pri ktorej vzniká dvojitá väzba. Preto je tu nutné použiť silnejšie oxidovadlo – koenzým FAD. Ďalším krokom je adícia vody na vzniknutú dvojitú väzbu, pričom vzniká malát (kyselina jablčná) (7). V poslednej fáze sa  $-OH$  skupina malátu oxiduje na oxoskupinu oxalacetátu (8). Oxidovadlom je v tejto reakcii koenzým  $NAD^+$ .

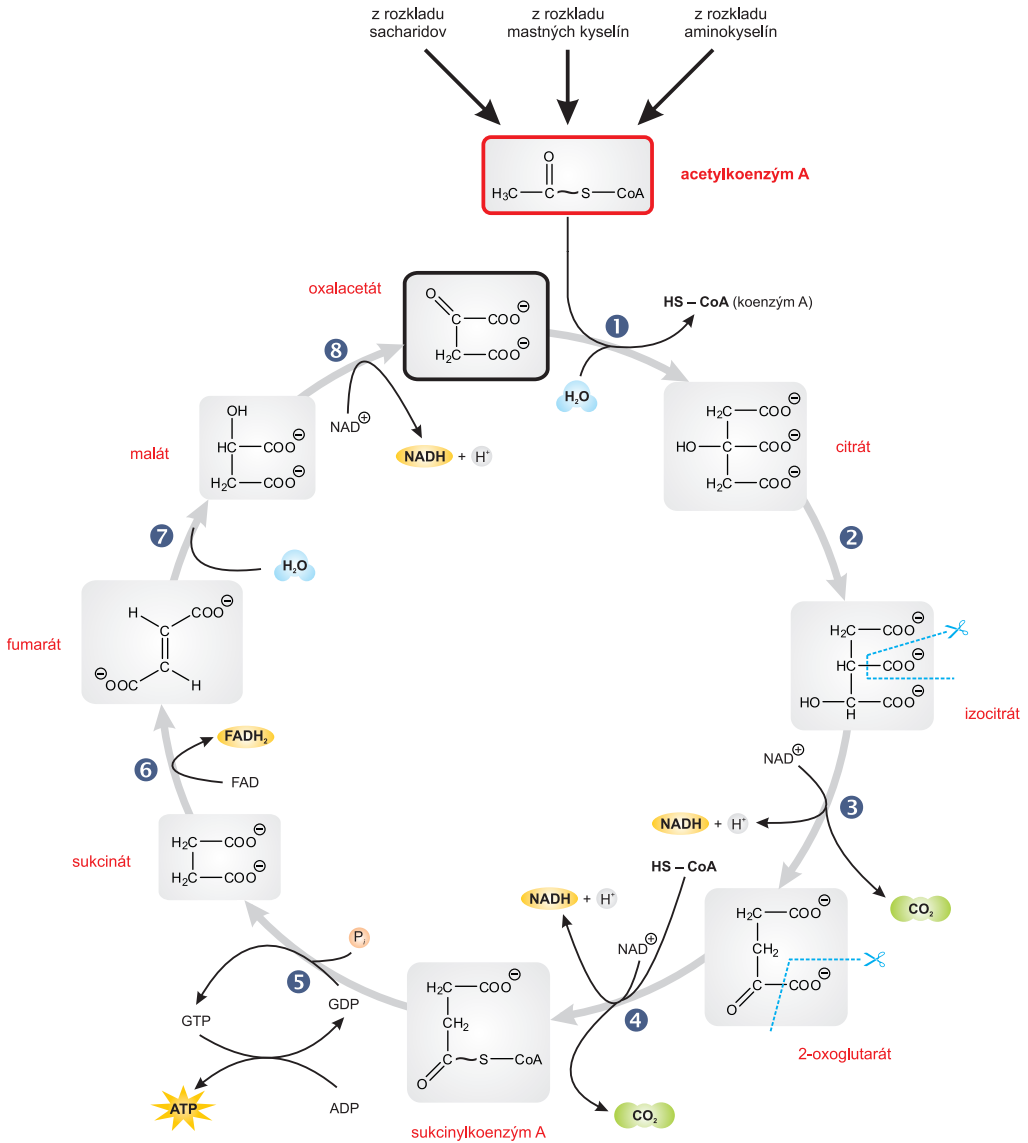
Vznikom oxalacetátu sa celý cyklus uzavrie a metabolická dráha sa môže opakovať s ďalšou molekulou acetylkoenzýmu A.

*Oxidácia každej molekuly acetylkoenzýmu A poskytne bunke určité množstvo energie. Urobme teda energetickú bilanciu jedného cyklického procesu:*

*V každom cykle vznikne 1 molekula ATP, 1 molekula redukovaného koenzýmu  $FADH_2$  a 3 molekuly redukovaného koenzýmu NADH. V nasledujúcej kapitole (kap. 10.3) si ukážeme, že opätovnou regeneráciou 1 molekuly  $FADH_2$  v dýchacom reťazci môže vzniknúť 1,5 ATP, regeneráciou 1 molekuly NADH dokonca 2,5 ATP. Úplnou oxidáciou 1 molekuly acetylkoenzýmu A možno teda v citrátovom cykle získať celkovo 10 ATP (pozri nasledujúci výpočet).*

ATP priamo v citrátovom cykle (cez GTP)	1 ATP	+ 1 ATP
regenerácia 1 molekuly $FADH_2$ v dýchacom reťazci	1 x 1,5 ATP	+ 1,5 ATP
regenerácia 3 molekúl NADH v dýchacom reťazci	3 x 2,5 ATP	+ 7,5 ATP
	spolu:	<b>10 ATP</b>

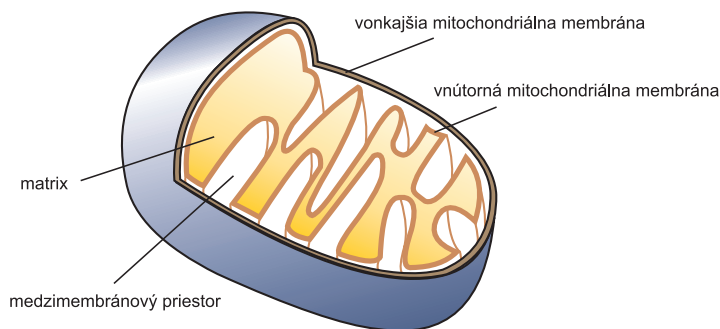
1 Guanozíntrifosfát (GTP) je látka so štruktúrou podobnou ATP, namiesto adenínu však obsahuje dusíkatú bázu guanín.



Obr. 10.3 Schéma citrátového cyklu

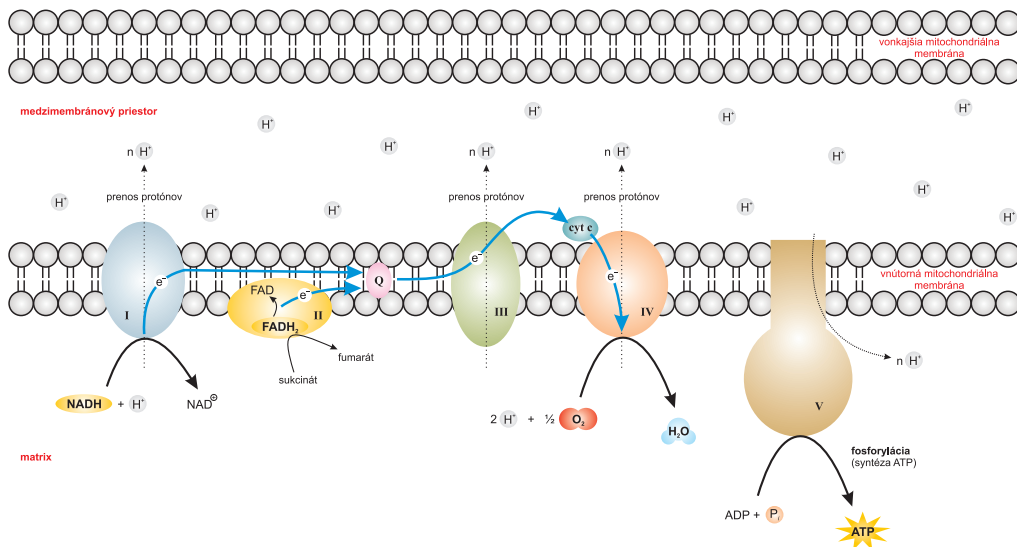
## 10.3 Dýchací reťazec, aeróbná tvorba ATP

Procesy dýchacieho reťazca prebiehajú v mitochondriách, presnejšie na ich vnútornej membráne (obr. 10.4).



Obr. 10.4 Prierez mitochondriou

Živé organizmy získavajú energiu prostredníctvom katabolických dejov, ktoré majú väčšinou charakter oxidácie. Rozkladajúce sa substráty (glukóza, mastné kyseliny atď.) pri týchto dejoch odovzdávajú elektróny oxidačným činidlám (oxidácia = odovzdávanie elektrónov). Ako už vieme, oxidačnými činidlami sú v živých organizmoch oxidované koenzýmy, najmä  $\text{NAD}^+$  a  $\text{FAD}$ . Prijatím elektrónov od substrátov sa tieto koenzýmy redukujú na  $\text{NADH}$  a  $\text{FADH}_2$ . Aby ich bolo možné opäť použiť v oxidačných procesoch, musia sa regenerovať (opätovne oxidovať) tak, že prijaté elektróny odovzdajú inému (silnejšiemu) oxidovadlu. Týmto oxidovadlom je v dýchacom reťazci voľný kyslík. Redukované koenzýmy však neodovzdávajú svoje elektróny kyslíku priamo, ale postupne, prostredníctvom niekoľkých veľkých bielkovinových komplexov a ďalších menších prenášačov (koenzým Q a cytochróm c). Molekula kyslíka sa prenesenými elektrónmi redukuje na kyslíkový anión, ktorý sa zlučuje s kationmi vodíka na molekulu vody (obr. 10.5). **Existencia dýchacieho reťazca je dôvodom, prečo aeróbne organizmy dýchajú kyslík.**

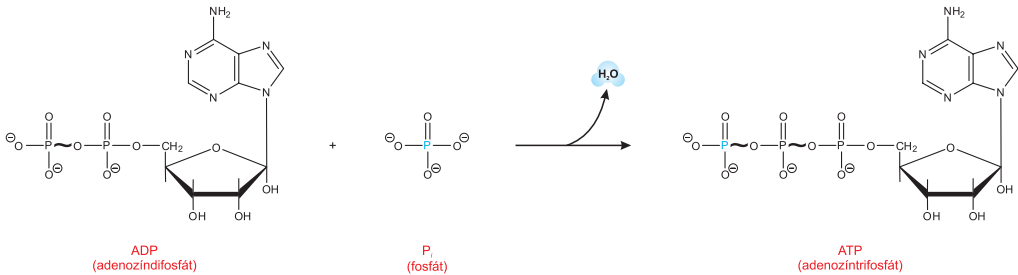


Obr. 10.5 Schéma procesov dýchacieho reťazca

I, II, III, IV – komplexy prenosu elektrónov, Q – koenzým Q, cyt c – cytochróm c  
V – komplex tvorby ATP

Pri postupnom prenose elektrónov v dýchacom reťazci sa zároveň jednosmerne prenášajú kationy vodíka (protóny) cez vnútornú membránu mitochondrií. Rozdielna koncentrácia protónov

na oboch stranách membrány znamená vznik tzv. **protónového** (koncentračného) **gradientu**. Ten je základom elektrochemického koncentračného článku, ktorého energiu bunka využíva na syntézu ATP z ADP a kyseliny trihydrogenfosforečnej (anorganického fosfátu). Tento proces nazývame **oxidačná fosforylácia**:



Keďže sa prenos elektrónov z redukovaných koenzýmov na kyslík uskutočňuje postupne, energia, ktorá tomuto prenosu zodpovedá, sa môže tiež uvoľňovať postupne, ako riadený proces. Ak by sa totiž uvoľnilo väčšie množstvo energie naraz, bunka by ju nevedela využiť efektívne (na tvorbu ATP), ale časť z nej by sa uvoľnila napr. vo forme tepla.

Energia, uvoľnená pri prenose elektrónov z oboch rozdielnych redukovaných koenzýmov na kyslík, nie je rovnaká.

**Energia, uvoľnená pri postupnom prenose elektrónov z koenzýmu FADH<sub>2</sub> na kyslík, umožní tvorbu 1,5 ATP.<sup>2</sup>**

**Energia, uvoľnená pri postupnom prenose elektrónov z koenzýmu NADH na kyslík, umožní tvorbu 2,5 ATP.<sup>2</sup>**

*Aeróbná oxidácia glukózy, až na CO<sub>2</sub>, poskytuje bunke oveľa väčšie množstvo energie ako oxidácia anaeróbná. Keďže už poznáme všetky procesy aeróbného rozkladu glukózy, ukážme si, koľko molekúl ATP je možné v nich získať:*

*Oxidáciou 1 molekuly glukózy v glykolýze získame 2 molekuly ATP. Okrem toho je glykolýza zdrojom aj 2 molekúl redukovaného koenzýmu NADH. Ich opätovnou regeneráciou na NAD<sup>+</sup> v dýchacom reťazci sa získa ďalších 5 molekúl ATP.*

*Konečnými produktmi glykolýzy sú 2 molekuly pyruvátu. Obe sa v procese oxidačnej dekarboxylácie oxidujú na 2 molekuly acetylkoenzýmu A za vzniku 2 molekúl redukovaného koenzýmu NADH. Ich regenerácia v dýchacom reťazci znamená pre bunku zisk ďalších 5 ATP.*

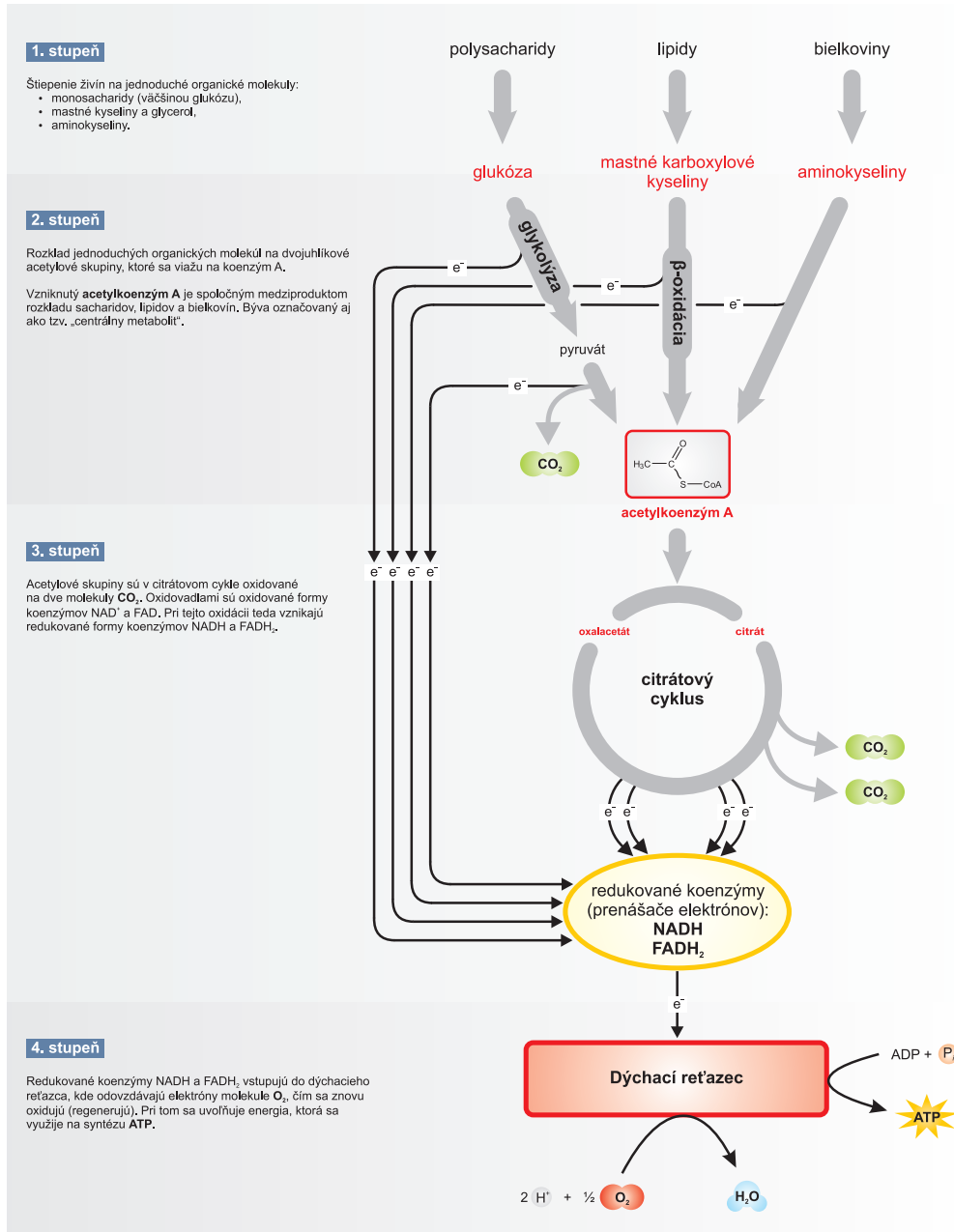
*Z predchádzajúcej kapitoly vieme, že 1 citrátový cyklus (oxidácia 1 molekuly acetylkoenzýmu A) poskytuje bunke energiu vo forme 10 ATP. Keďže oxidáciou glukózy vznikajú 2 molekuly acetylkoenzýmu A, citrátový cyklus musí prebehnúť dvakrát, a teda poskytne 20 ATP. **Celkovo je aeróbnou oxidáciou 1 molekuly glukózy možné získať energiu vo forme 32 ATP** (pozri nasledujúce zhrnutie výpočtu).*

<i>priamy zisk ATP v glykolýze</i>		<b>+ 2 ATP</b>
<i>regenerácia 2 molekúl NADH z glykolýzy v dýchacom reťazci</i>	<i>2 x 2,5 ATP</i>	<b>+ 5 ATP</b>
<i>regenerácia 2 molekúl NADH z oxidačnej dekarboxylácie pyruvátu v dýchacom reťazci</i>	<i>2 x 2,5 ATP</i>	<b>+ 5 ATP</b>
<i>oxidácia 2 molekúl acetylkoenzýmu A v citrátovom cykle</i>	<i>2 x 10 ATP</i>	<b>+ 20 ATP</b>
	<i>spolu:</i>	<b>32 ATP</b>

*32 molekúl ATP predstavuje takmer 35 % z celkového množstva energie, ktorú možno získať úplným rozkladom glukózy na CO<sub>2</sub>. V porovnaní s anaeróbnou oxidáciou glukózy (2 %) je toto množstvo asi sedemnásťnásobne vyššie. To je dôkazom, že **aeróbný spôsob získavania energie je oveľa efektívnejší ako anaeróbný.***

<sup>2</sup> V staršej literatúre sa uvádzajú tieto hodnoty: zisk z regenerácie FADH<sub>2</sub> = 2 ATP, zisk z regenerácie NADH = 3 ATP. Tieto hodnoty sú však podľa najnovších výskumov už prekonané.

Postavenie dýchacieho reťazca v najvýznamnejších katabolických procesoch bunky je zobrazené na obr. 10.6.



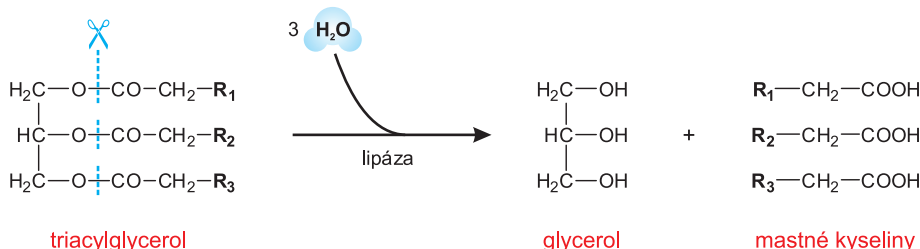
Obr. 10.6 Schéma aeróbného rozkladu látok v organizme

## 10.4 Katabolizmus lipidov

Lipidy sa vyskytujú vo všetkých druhoch organizmov. Živočíchy ich vo významnom množstve prijímajú v potrave. Napríklad v potrave človeka sú zastúpené asi 20 až 40 %. Dôležitou funkciou lipidov (fosfolipidov a glykolipidov) je ich nezastupiteľná účasť na stavbe bunkových štruktúr, najmä biologických membrán. Niektoré skupiny lipidov (triacylglyceroly) však pre bunky predstavujú aj významný zdroj energie.

Z energetického hľadiska sú lipidy efektívnejším zdrojom energie ako sacharidy. Oxidáciou 1 g tuku je možné získať okolo 38 kJ energie, pričom oxidáciou rovnakého množstva sacharidov len asi 17 kJ, teda približne polovicu. V porovnaní so sacharidmi sú lipidy vhodnejšie aj na dlhodobé skladovanie energie. Neviažu totiž takmer žiadnu vodu (sú hydrofóbné), zatiaľ čo zásobné sacharidy majú pomerne vysoký obsah vody (sú hydrofilné). Napríklad zásobný polysacharid živočíchov – glykogen viaže na každý gram sacharidovej hmoty až 2 g vody.

Triacylglyceroly ako zdroj energie nie sú bunkami využívané priamo, ale až po rozložení na ich jednotlivé zložky, glycerol a masné kyseliny. Lipidy sa hydrolyticky štiepia pôsobením enzýmov, ktoré nazývame **lipázy**. Najprv sa pri tom rozštiepia esterové väzby na koncových atómoch uhlíka glycerolu a až potom sa štiepi väzba na strednom atóme uhlíka.



Obr. 10.7 Hydrolytické štiepenie triacylglycerolov lipázami

V bunkách existujú špeciálne metabolické dráhy, ktorými sa uvoľnené masné kyseliny a glycerol oxidujú až na oxid uhličitý a vodu, pričom sa uvoľňuje energia.

Masné kyseliny sa štiepia metabolickou dráhou, ktorá sa nazýva  **$\beta$ -oxidácia** (obr. 10.8).

Názov  $\beta$ -oxidácie je odvodený od toho, že k oxidácii karboxylovej kyseliny dochádza na jej  $\beta$ -uhlíku – na atóme uhlíka č. 3.

Molekuly vyšších karboxylových kyselín sa pred vstupom do  $\beta$ -oxidácie musia najprv aktivovať. Znamená to, že sa naviažu na molekulu koenzýmu A. Vznikne tak tzv. **acylkoenzým A**. Pri aktivácii sa spotrebuje energia dvoch makroergických väzieb molekuly ATP.

*Neprehliadnite rozdiel medzi acylkoenzýmom A a acetylkoenzýmom A. **Acyl** je zvyšok akejkoľvek karboxylovej kyseliny, ktorý získame odstránením hydroxyly (-OH) z jej funkčnej karboxylovej skupiny. Acyly rôznych karboxylových kyselín majú svoje špecifické pomenovania, napr. acyl kyseliny octovej sa nazýva **acetyl**, acyl kyseliny propiónovej (propánovej) **propionyl** atď.*

Samotná  $\beta$ -oxidácia začína dehydrogenáciou (oxidáciou) acylkoenzýmu A, ktorej výsledkom je vznik dvojitej väzby medzi druhým ( $\alpha$ ) a tretím ( $\beta$ ) atómom uhlíka (1). Oxidovadlom v tejto reakcii je koenzým FAD.

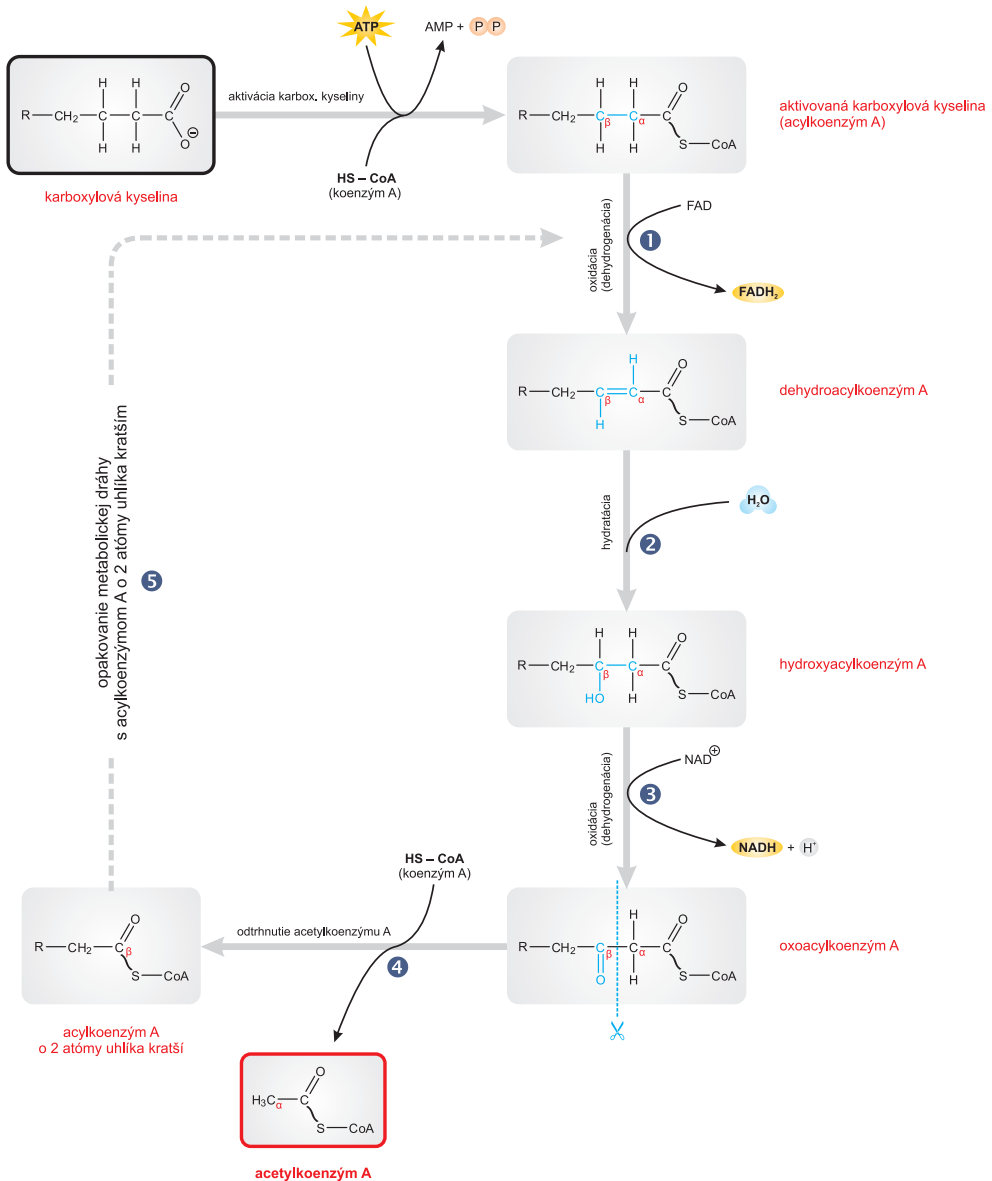
Ďalším krokom je adícia vody na vzniknutú dvojitú väzbu, pričom sa vytvorí hydroxyacylkoenzým A s -OH skupinou naviazanou na  $\beta$ -uhlík (2).

Nasledujúcou reakciou sa uskutoční oxidácia tejto hydroxylovej skupiny na oxoskupinu (3). Na túto oxidáciu sa ako oxidovadlo použije koenzým  $\text{NAD}^+$ .

Všimnite si rovnaký princíp prvých troch reakcií  $\beta$ -oxidácie a záverečných reakcií citrátového cyklu (reakcie 6 – 8 na obr. 10.3).

Zo vzniknutej oxozlúčeniny sa pôsobením ďalšej molekuly koenzýmu A odštiepi dvojuhlíkový zvyšok vo forme **acetylkoenzýmu A** (4). Z pôvodnej karboxylovej kyseliny tak zostane zvyšok, tiež acyl, ktorý má však reťazec o 2 atómy uhlíka kratší ako pôvodná masťná kyselina.

Skrátený acyl masťnej kyseliny znovu vstupuje na začiatok  $\beta$ -oxidácie (5) a metabolizuje sa rovnakým postupom. Jeho výsledkom je skrátenie reťazca karboxylovej kyseliny o ďalšie 2 atómy uhlíka, ktoré sa na konci metabolickej dráhy znovu odštiepia vo forme acetylkoenzýmu A. Celý proces sa takto opakuje až do úplného rozkladu pôvodnej karboxylovej kyseliny.



Obr. 10.8 Schéma  $\beta$ -oxidácie masťných kyselín (Lynenova špirála)



## Konečným produktom $\beta$ -oxidácie sú molekuly acetylkoenzýmu A.

Ich počet, samozrejme, závisí od dĺžky reťazca pôvodnej mastnej kyseliny.

## Molekuly acetylkoenzýmu A, vzniknuté v $\beta$ -oxidácii, ďalej môžu vstúpiť do citrátového cyklu, kde sa rozložia (oxidujú) až na oxid uhličitý.

V procese  $\beta$ -oxidácie nevzniká žiadna molekula ATP priamo. Vznikajú tu však redukované koenzýmy  $\text{FADH}_2$  a  $\text{NADH}$ , ktoré sa opäť regenerujú na oxidované formy prostredníctvom dýchacieho reťazca (kap. 10.3), pričom sa uvoľňuje energia vo forme ATP.

$\beta$ -oxidácia v spojení s citrátovým cyklom a dýchacím reťazcom poskytuje bunke pomerne veľké množstvo energie. Môžeme si to ukázať na príklade oxidácie kyseliny stearovej ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$ ):

Na aktiváciu kyseliny stearovej je potrebné dodať energiu 1 molekuly ATP. Situácia je však o niečo komplikovanejšia. Keďže sa tu ATP neštiepi na ADP, ale až na AMP, celková strata energie pri aktivácii je v skutočnosti rovná dvom molekulám ATP.

Kyselina stearová obsahuje 18 atómov uhlíka. Jej postupným rozkladom vznikne 9 molekúl acetylkoenzýmu A. Musí teda prebehnúť 8 cyklov  $\beta$ -oxidácie. V každom cykle vznikne po jednej molekule  $\text{FADH}_2$  a  $\text{NADH}$ . Ako vieme z kapitoly 10.3, v dýchacom reťazci opätovnou regeneráciou  $\text{FADH}_2$  môže vzniknúť 1,5 ATP, zatiaľ čo regeneráciou  $\text{NADH}$  dokonca 2,5 ATP. Z uvedeného vyplýva, že **úplnou oxidáciou jednej molekuly kyseliny stearovej možno získať 120 ATP** (pozri nasledujúci výpočet).

aktivácia molekuly kyseliny stearovej		-2 ATP
oxidácia 9 molekúl acetylkoenzýmu A v citrátovom cykle	9 x 10 ATP	+ 90 ATP
regenerácia 8 molekúl $\text{FADH}_2$ v dýchacom reťazci	8 x 1,5 ATP	+ 12 ATP
regenerácia 8 molekúl $\text{NADH}$ v dýchacom reťazci	8 x 2,5 ATP	+ 20 ATP
	celkom:	<b>120 ATP</b>

$\beta$ -oxidácia mastných karboxylových kyselín je predovšetkým zdrojom energie. Má však aj iný význam. Regeneráciou redukovaných koenzýmov, vznikajúcich počas oxidácie mastných kyselín, sa uvoľňuje pomerne veľké množstvo vody, ktorá je vedľajším produktom tohto procesu (kap. 10.3). Niektorým živočíchom to umožňuje prežiť aj v extrémnych podmienkach (obr. 10.9).



Obr. 10.9 Ťava získava vodu a energiu, potrebnú počas dlhého obdobia hladu a sucha, aeróbnou oxidáciou tukových zásob v hrbe

## 10.5 Katabolizmus bielkovín a aminokyselín

Bielkoviny, na rozdiel od sacharidov a lipidov, nie je možné ukladať do zásoby, a preto podliehajú neustálemu rozkladu a syntéze.

Bielkoviny prijímané v potrave sa rozkladajú v tráviacej sústave hydrolytickými enzýmami nazývanými **proteázami** na ich základné stavebné zložky – aminokyseliny. Z nich sa potom syntetizujú nové, telu vlastné bielkoviny, ako aj ostatné dusikaté látky (puríny, pyrimidíny a pod.). Nadbytočné aminokyseliny sú organizmom zvyčajne využité ako zdroj energie alebo ako substrát na syntézu sacharidov.

Keďže poznáme 20 rozdielnych proteinogénnych aminokyselín, je zrejmé, že každá z nich má svoju vlastnú rozkladnú metabolickú dráhu. Spoločným princípom ich rozkladu je však odstránenie aminoskupín, pričom vznikajú 2-oxokyseliny. Tie sú potom metabolizované na rôzne medziprodukty (napr. pyruvát, acetylkoenzým A, oxalacetát, fumarát) a zapájané do iných metabolických dráh. Dusík, pochádzajúci z rozkladu aminokyselín, je zo živočíšneho organizmu vylučovaný.

Rozdielne skupiny živočíchov vylučujú dusík, pochádzajúci z rozkladu aminokyselín, vo forme rôznych zlúčenín. Pri vodných živočichochoch je to amoniak, pri vtákochoch a plazoch kyselina močová (presnejšie jej soľ) a pri cicavcoch vrátane človeka močovina.

## 10.6 Katabolizmus nukleových kyselín

Nukleové kyseliny, vzhľadom na ich funkcie v organizme, nepredstavujú pre bunky významný zdroj energie, pretože ich množstvo v bunkách je veľmi malé. Z hľadiska katabolizmu je vhodné rozlišovať medzi nukleovými kyselinami, ktoré sú do organizmu prijaté potravou (teda nie sú telu vlastné), a nukleovými kyselinami, ktoré si vytvára samotný organizmus.

Potravou prijaté nukleové kyseliny sa, podobne ako aj ostatné prijaté látky, rozkladajú v procese trávenia na svoje základné stavebné zložky. Tie sú ďalej postupne štiepené v samostatných metabolických dráhach. Niektoré zo vzniknutých medziproduktov (napr. fosforečný ester ribózy) sa zapájajú do metabolizmu sacharidov.

Z nukleových kyselín, ktoré si vytvára samotný organizmus, sa za normálnych okolností rozkladá len RNA. Tá totiž podlieha neustálemu obnovovaniu sa, a preto jej rozklad prebieha rovnako intenzívne ako jej syntéza.

DNA predstavuje základný genetický materiál, a preto sa v živých bunkách rozkladá len výnimočne, napríklad pri dozrievaní tzv. bezjadrových buniek<sup>3</sup>.

K úplnému rozkladu vlastnej DNA dochádza za normálnych okolností len v mŕtvych bunkách.

<sup>3</sup> Bezjadrovými bunkami sú ľudské červené krvinky (erytrocyty), ktoré sice vznikajú ako jadrové bunky, ale počas dozrievania jadro strácajú. Dospelé červené krvinky už jadro neobsahujú.

# 11 BIOSYNTÉZA BIOCHEMICKY VÝZNAMNÝCH LÁTKOK

## 11.1 Biosyntéza sacharidov

Všetky organizmy potrebujú na svoju existenciu sacharidy. Hoci ich dokážu produkovať rastliny aj živočích, spôsob ich syntézy je v oboch skupinách organizmov rozdielny. **Autotrofné organizmy**, medzi ktoré zaraďujeme aj zelené rastliny, tvoria sacharidy z jednoduchých anorganických zlúčenín – oxidu uhličitého a vody. Tento zložitý proces, pri ktorom je využívaná energia slnečného žiarenia, sa nazýva **fotosyntéza**. **Heterotrofné organizmy** (všetky živočích) nevedia využívať energiu slnečného žiarenia a ani anorganické formy uhlíka ( $\text{CO}_2$ ). Preto tvoria sacharidy z iných organických látok, napr. z pyruvátu, laktátu, glycerolu a medziproduktov citrátového cyklu. Tento dej nazývame **glukoneogenéza** (gr. *neo* = nový, *genesis* = tvorba).

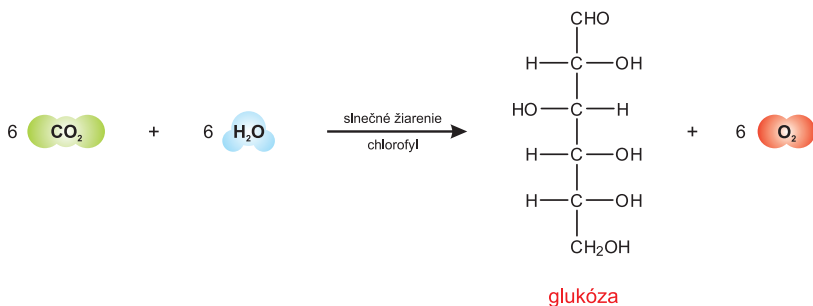
### 11.1.1 Fotosyntéza

Fotosyntéza je jedným z najdôležitejších procesov prebiehajúcich v živej prírode. Je jednak primárnym zdrojom sacharidov pre organizmy, jednak zdrojom kyslíka, ktorý je nevyhnutným predpokladom pre život všetkých aeróbných organizmov vrátane človeka. Schopnosť fotosyntézy majú len vyššie rastliny, zelené a hnedé riasy a niektoré jednobunkové sinice a zelené baktérie.

Fotosyntéza je súbor biochemických reakcií, pri ktorom sa zachytáva energia slnečného žiarenia. Tá sa potom využíva na syntézu sacharidov z jednoduchých anorganických zlúčenín ( $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Z fyzikálneho hľadiska je fotosyntéza procesom, pri ktorom sa premieňa energia slnečného žiarenia na energiu chemickú. Z chemického hľadiska ide o redukciu  $\text{CO}_2$  – látky s nízkym obsahom energie na organické molekuly s vysokým obsahom energie.

Aj keď je fotosyntéza veľmi zložitým súborom mnohých biochemických dejov, môžeme ju vyjadriť jednoduchou sumárnou chemickou rovnicou:



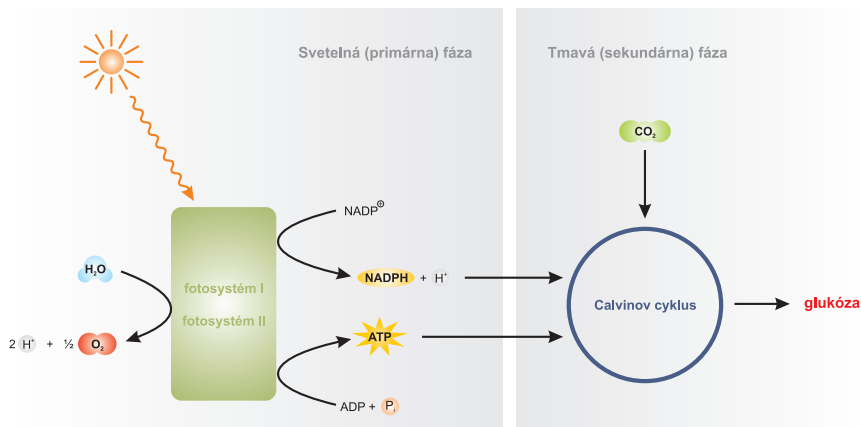
Pri niektorých druhoch organizmov môžeme pozorovať aj premenu chemickej energie na svetelnú. Tento proces nazývame **bioluminiscencia** (svetielkovanie). Je typický pre niektoré druhy mikroorganizmov, koralov, medúz a hmyzu (obr. 11.1).

Obr. 11.1 Svetluška svätovánska, ľudovo nazývaná „svätovánska muška“

Fotosyntéza prebieha v dvoch fázach, ktoré na seba nadväzujú:

1. svetelná (primárna) fáza,
2. tmavá (sekundárna) fáza.

Vzájomné prepojenie oboch fáz fotosyntézy je znázornené na obr. 11.2.



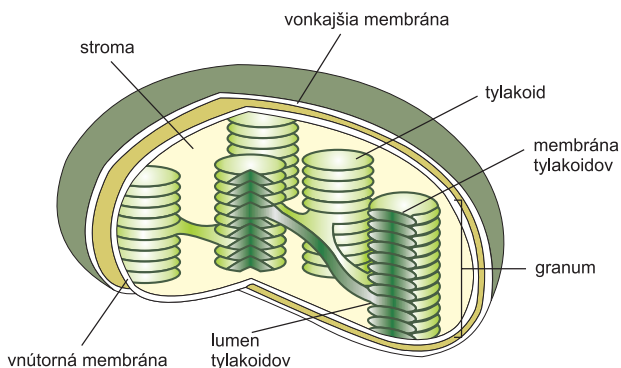
Obr. 11.2 Vzájomné prepojenie svetelnej a tmavej fázy fotosyntézy

### 11.1.1.1 Svetelná (primárna) fáza fotosyntézy

**V svetelnej fáze dochádza k absorpcii (pohlteniu) svetelnej energie a jej premene na energiu chemickú.** Táto energia sa využije na syntézu ATP (zdroj chemickej energie) a NADPH (redukčné činidlo), ktoré sú nevyhnutné pre tmavú fázu fotosyntézy.

Svetelná fáza fotosyntézy prebieha len za priamej účasti svetelného žiarenia. Uskutočňuje sa v špeciálnych bunkových organelách – **chloroplastoch** (obr. 11.3), prítomných v rastlinách. V chloroplastoch sa nachádzajú tzv. fotosyntetické farbivá, ktoré sa podieľajú na zachytení svetelného žiarenia a jeho premene. Najvýznamnejšie z nich sú **chlorofyly**.

Chlorofyly sú zelené farbivá, ktoré v centre svojej molekuly obsahujú kation horčíka. V zelených rastlinách sa nachádzajú dva druhy chlorofylu – **chlorofyl a** a **chlorofyl b**, ktoré sa od seba štruktúrne líšia len jednou funkčnou skupinou (pozri obr. 11.4). Okrem chlorofylov sa na zachytení svetelnej energie podieľajú aj ďalšie farbivá – **karotenoidy**. Tie však majú len pomocnú funkciu, preto ich niekedy označujeme ako pomocné fotosyntetické farbivá.



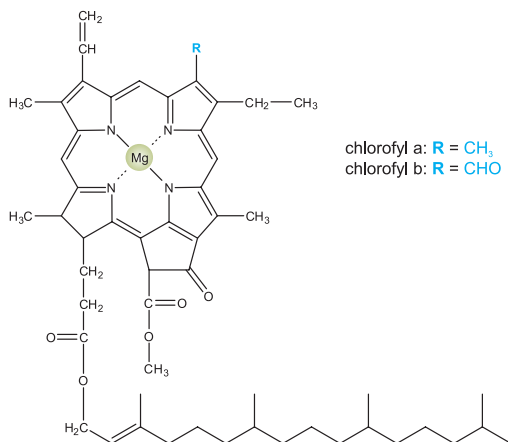
Obr. 11.3 Prierez chloroplastom

Svetelná fáza fotosyntézy prebieha za účasti dvoch **fotosystémov** (fotosystém I a fotosystém II). Ich štruktúra je veľmi komplikovaná, keďže okrem už spomínaných fotosyntetických farbív obsahujú aj molekuly bielkovín. Obedva fotosystémy sa navzájom svojim zložením mierne odlišujú, čo spôsobuje, že každý z nich je účinný v inej oblasti žiarenia. Vzájomné prepojenie fotosystémov a zároveň princíp svetelnej fázy fotosyntézy znázorňuje schéma na obr. 11.5.

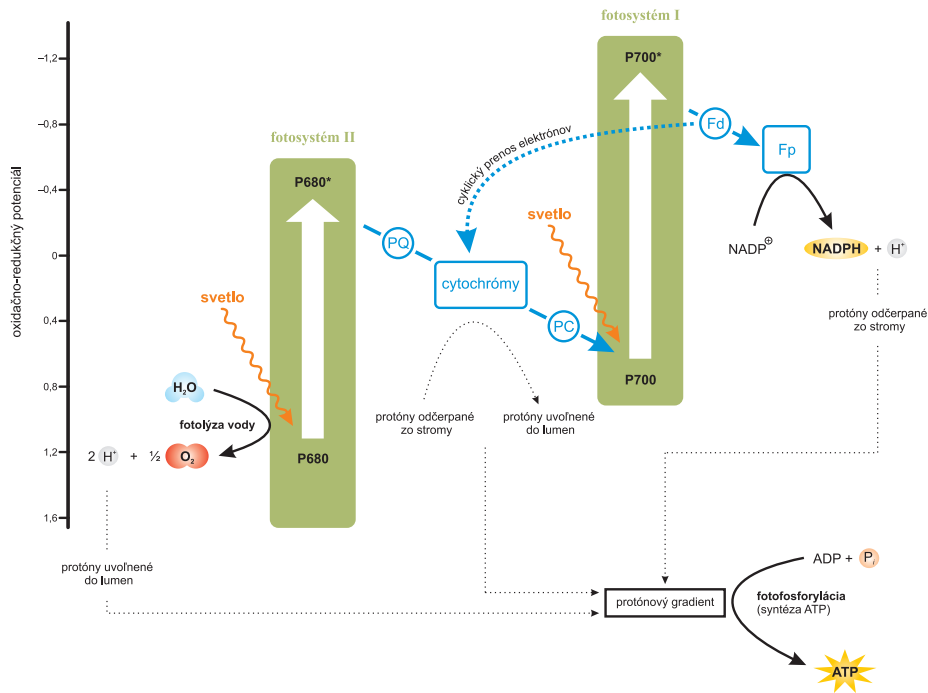
**Fotosystém I** obsahuje vo svojom reakčnom centre molekulu špeciálneho chlorofylu s maximálnou absorpciou svetla s vlnovou dĺžkou 700 nm. Preto ju zvyčajne označujeme ako **P700** (P je skratkou slova *pigment*, teda farbivo). Keď molekula P700 pohltí svetlo, prejde do excitovaneho stavu a zároveň sa výrazne zníži jej oxidačno-redukčný potenciál (**P700\***). Tým sa z nej stane redukovaadlo, ktoré ľahko uvoľní jeden elektrón. Uvoľnený elektrón je postupne transportovaný reťazcom bielkovinových prenášačov (ferredoxín – Fd, flavoprotein – Fp) až na koenzým **NADP<sup>+</sup>**, ktorý sa ním redukuje na **NADPH**. Na túto redukciu sú v skutočnosti potrebné 2 elektróny, preto vždy vychádzame z excitácie dvoch molekúl P700.

**Redukovaný koenzým NADPH je jedným z konečných produktov svetelnej fázy fotosyntézy**, ktorý sa neskôr využije v tmavej fáze.

Je dôležité uvedomiť si, že pôvodná molekula P700 stratila jeden elektrón. Aby sa opäť vrátila do základného stavu, musí si chýbajúci elektrón doplniť z iného zdroja. Týmto zdrojom je fotosystém II.



Obr. 11.4 Štruktúra chlorofylu



Obr. 11.5 Schéma priebehu svetelnej (primárnej) fázy fotosyntézy  
PQ – plastochinón, PC – plastocyanín, Fd – ferredoxín, Fp – flavoprotein

**Fotosystém II** obsahuje v reakčnom centre takisto molekulu špeciálneho chlorofylu. Jej maximálna absorpcia je však pri vlnovej dĺžke 680 nm. Preto ju v tomto prípade označujeme skratkou **P680**. Podobne ako vo fotosystéme I, aj tu sa ožiarením a následnou excitáciou molekuly P680 uvoľní jeden elektrón, ktorý je transportovaný niekoľkými prenášačmi (plastochinónom – PQ, cytochrómami a plastocyanínom – PC) až na molekulu P700. Molekula P700 si tak doplní chýbajúci elektrón. Aj tu uvažujeme o excitácii dvoch molekúl P680, teda o uvoľnení 2 elektrónov.

Doplnenie chýbajúceho elektrónu P700 z fotosystému II však nie je jediným cieľom procesu. Pri transporte elektrónov z fotosystému II na fotosystém I dochádza zároveň k prenosu protónov (katiónov vodíka) zo stromy chloroplastov do vnútra tylakoidov. Na membráne tylakoidov sa pritom vytvorí **protónový gradient**, ktorý slúži na syntézu ATP. Tvorba ATP prebieha v chloroplastoch, podobne ako v dýchacom reťazi v aeróbných organizmoch (kap. 10.3). Keďže pri fotosyntéze je prenos elektrónov, pri ktorom vzniká ATP, vyvolaný svetlom, nazýva sa tento dej produkcie ATP **fotofosforylácia**. **ATP je druhým konečným produktom svetelnej fázy fotosyntézy.**

Vráťme sa však ešte k molekule P680, ktorej chýba jeden elektrón poskytnutý fotosystému I. Chýbajúci elektrón si doplní rozkladom molekuly vody. Oxidovaná forma molekuly P680 je totiž veľmi silným oxidovadlom, dokonca silnejším ako samotný kyslík. To jej v spolupráci s bielkovinovými zložkami fotosystému II umožňuje oxidovať atóm kyslíka v molekule vody na molekulový kyslík. Tento proces nazývame **fotolýza vody**:



Rozklad vody umožní doplniť chýbajúci elektrón v molekule P680 a uvoľnené protóny ( $\text{H}^+$ ) a elektróny sa využijú pri redukcii  $\text{NADP}^+$  fotosystémom I.

Elektróny z fotolýzy vody, postupne prenášané cez fotosystém II a fotosystém I až na  $\text{NADP}^+$ , sa nevracajú na miesto, z ktorého boli uvoľnené, ide preto o necyklický dej – **necyklický prenos elektrónov**.

Ďalšia možnosť tvorby ATP existuje pri **cyklickom prenose elektrónov**. Elektrón uvoľnený molekulou P700 sa pri ňom cez feredoxín – Fd, cytochrómy a plastocyanín – PC vracia naspäť na molekulu P700. Na obr. 11.5 je časť tohto procesu vyznačená modrou prerušovanou čiarou. ATP je jediným produktom cyklickej fotofosforylácie. Keďže pri nej nie sú elektróny z fotosystému I prenášané na  $\text{NADP}^+$ , nevzniká ani jeho redukovaná forma – NADPH. Rovnako pri cyklickom prenose elektrónov nie je produkovaný ani kyslík, pretože sa na ňom vôbec nezúčastňuje fotosystém II.

### 11.1.1.2 Tmavá (sekundárna) fáza fotosyntézy

Tmavá fáza fotosyntézy si priamo nevyžaduje svetelnú energiu. Vyžaduje však prítomnosť  $\text{CO}_2$  a tiež produkty vzniknuté počas svetelnej fázy: NADPH a ATP.

**V tmavej fáze dochádza k biosyntéze sacharidov (glukózy) z oxidu uhličitého, pričom sa využíva NADPH ako redukovaadlo a ATP ako zdroj energie.**

Biosyntéza sacharidov sa môže uskutočňovať niekoľkými metabolickými cestami. Väčšina rastlín využíva na tento účel metabolickú dráhu, nazývanú po svojom objaviteľovi – **Calvinov cyklus**, v ktorej je tzv. primárnym akceptorom  $\text{CO}_2$  ribulóza-1,5-bisfosfát. Naviazaním  $\text{CO}_2$  najprv vzniká trojuhlíkatá zlúčenina 3-fosfoglycerát (pri tzv.  $\text{C}_3$ -rastlinách), ktorá sa postupne, niekoľkými reakciami, **cez glyceraldehyd-3-fosfát (najjednoduchší sacharid)** mení až na **glukózu**. Niektoré tropické a subtropické rastliny tvoria ako prvý produkt viazania  $\text{CO}_2$  štvoruhlíkatú zlúčeninu oxalacetát ( $\text{C}_4$ -rastliny), pričom primárnym akceptorom  $\text{CO}_2$  je fosfoenolpyruvát. Žiadnou z týchto metabolických dráh sa však nebudeme zaoberať podrobnejšie.

## 11.2 Biosyntéza lipidov a mastných kyselín

Bunky dokážu lipidy nielen rozkladať, ale aj syntetizovať. Na syntézu lipidov sú potrebné ich jednotlivé zložky: mastné kyseliny, alkoholová zložka a pri zložených lipidoch aj ďalšie zložky.

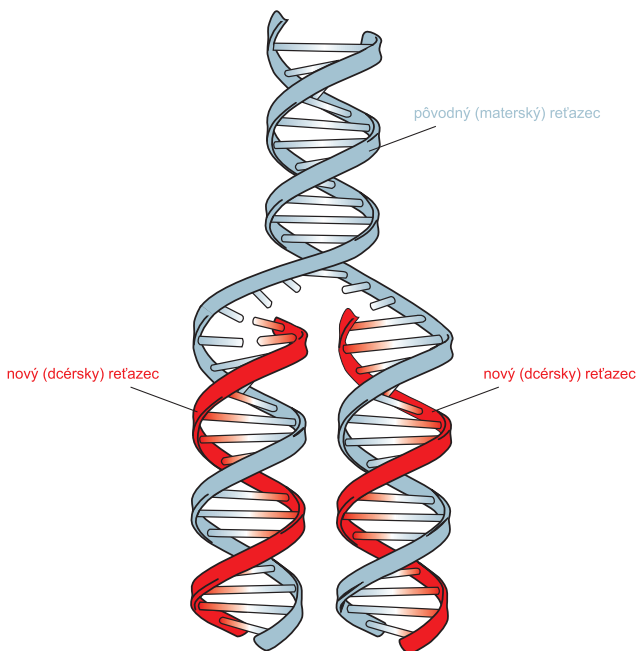
Biosyntéza mastných kyselín prebieha podobne ako  $\beta$ -oxidácia, len v opačnom smere. Zjednodušene možno povedať, že syntéza mastných kyselín je vlastne obrátenou  $\beta$ -oxidáciou. Nie sú to však vzájomne protichodné deje. Obidva procesy využívajú iné enzýmy a sú tiež fyzicky od seba oddelené. Kým  $\beta$ -oxidácia prebieha v mitochondriách, biosyntéza mastných kyselín prebieha v cytoplazme. **Východiskovou látkou pre syntézu mastných kyselín je acetylkoenzým A.** Keďže ide o anabolický proces, vyžaduje si prísun dostatku energie a taktiež redukovaných koenzýmov, ktoré tu majú funkciu redukovadiel.

## 11.3 Biosyntéza nukleových kyselín

Nukleové kyseliny sú syntetizované z ich základných stavebných jednotiek – nukleotidov. Ako však vieme, nukleotidy nie sú jednoduché molekuly, sú zložené z ešte jednoduchších zložiek. Organizmy väčšinou vedia všetky tieto zložky syntetizovať. Nemusia ich teda prijímať v potrave, ako napr. esenciálne aminokyseliny, potrebné na syntézu bielkovín. Biosyntéze jednotlivých dusíkatých báz a ostatných zložiek nukleových kyselín sa nebudeme venovať podrobnejšie, sústredíme sa len na vysvetlenie syntézy polynukleotidových reťazcov nukleových kyselín z hotových nukleotidov.

Keďže rozlišujeme dva základné typy nukleových kyselín, ktoré sa od seba líšia funkciou aj štruktúrou, musíme uvažovať o ich biosyntéze osobitne. Syntézy oboch nukleových kyselín prebiehajú pri eukaryotických organizmoch v bunkovom jadre, ako aj v mitochondriách a chloroplastoch.

**Syntéza DNA** je bezprostredne spojená s prenosom genetickej informácie. Na to, aby sa mohla genetická informácia pri bunkovom delení preniesť z materských buniek do buniek dcérskych, musí sa najprv zdvojnásobiť (zdvojiť). Z jednej pôvodnej (materskej) molekuly DNA teda musia vzniknúť 2 nové (dcérske) molekuly. To sa uskutočňuje v procese, ktorý nazývame **replikácia** (niekedy reduplikácia, t. j. zdvojenie). Jej princíp je pomerne jednoduchý. Najprv sa prerušia vodíkové väzby medzi obidvomi polynukleotidovými reťazcami molekuly DNA a obidve vlákna sa tým od seba oddelia. Každé z uvoľnených vlákien potom slúži ako matrica pri syntéze nového vlákna DNA pôsobením enzýmu DNA-polymeráza. Nové vlákno vzniká postupným dopĺňaním nukleotidov podľa princípu komplementarity dusíkatých báz



**Obr. 11.6 Schéma replikácie**

Vzniknutá molekula DNA sa skladá z jedného pôvodného vlákna (matrice z materskej DNA) a jedného nového vlákna DNA.

vzhľadom na matricu (vlákno z materskej DNA). Nukleotidy sú potom vzájomne pospájané fosfodiesterovými väzbami, čím vznikne súvislý polynukleotidový reťazec.

**Syntéza RNA** sa nazýva **transkripcia** (t. j. prepis). Molekuly RNA sú pri nej syntetizované, podobne ako pri replikácii, podľa princípu komplementarity dusíkatých báz. Informácia o štruktúre RNA je uložená v poradí nukleotidov DNA. Preto je matricou pre syntézu RNA vždy jedno z vlákien DNA. Na rozdiel od replikácie, pri ktorej sa zdvojuje celá molekula DNA, sa pri transkripcii prepisuje do štruktúry RNA len určitá konkrétna časť reťazca DNA. Možno teda zjednodušene povedať, že molekuly RNA sú kópiami určitých úsekov DNA. Syntéza mediátorovej RNA (mRNA) je súčasťou procesu proteosyntézy (kap. 11.4).

## 11.4 Biosyntéza bielkovín – proteosyntéza

Bielkoviny (proteíny) sú syntetizované v procese, ktorý nazývame **proteosyntéza**. Je to zložitý dej, ktorý prebieha v dvoch fázach:

1. transkripcia (prepis),
2. translácia (preklad).

### 11.4.1 Transkripcia

Základnými stavebnými jednotkami bielkovín sú aminokyseliny. Ich poradie v polypeptidovom reťazci bielkovín nie je náhodné, ale určuje ho sled nukleotidov primárnej štruktúry DNA. DNA obsahuje informáciu o poradí aminokyselín pre každú syntetizovanú bielkovinu.

Kým DNA sa nachádza v bunkovom jadre, syntéza bielkovín prebieha na ribozómoch nachádzajúcich sa v cytoplazme. Pred zahájením vlastnej syntézy bielkovín sa musí najprv genetická informácia o štruktúre danej bielkoviny z jadra bunky preniesť do cytoplazmy. Neprechádza sem však samotná DNA, ale len kópia jej potrebného úseku vo forme mediátorovej RNA (mRNA).

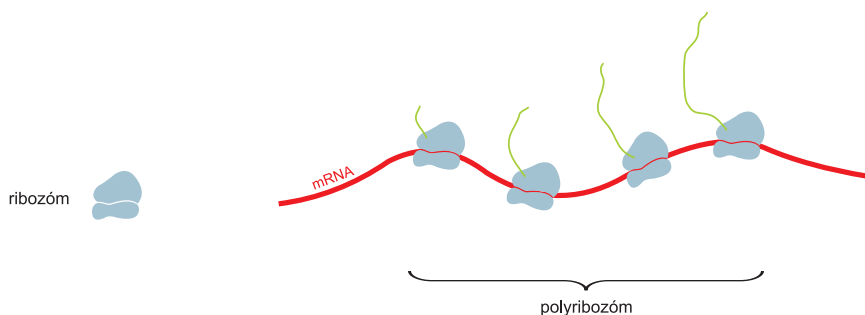
Úlohou transkripcie je prepísať genetickú informáciu o primárnej štruktúre konkrétnej bielkoviny, zakódovanú v molekule DNA, do poradia nukleotidov mediátorovej ribonukleovej kyseliny (mRNA).

Informácia o štruktúre bielkoviny, ktorá sa bude syntetizovať sa teda najprv prepíše (preto prepis, transkripcia) do primárnej štruktúry mRNA. Princíp transkripcie nie je zložitý a v mnohom pripomína mechanizmus replikácie DNA (kap. 11.3). Časť DNA, ktorá sa prepisuje, sa najprv prerušením vodíkových väzieb medzi dusíkatými bázami rozpletie, čím sa obidve vlákna DNA od seba oddialia. Na jednom z rozpletených vlákien začína prepis jeho štruktúry do štruktúry mRNA. Vlákno DNA je matricou pre syntézu nového reťazca mRNA. Nukleotidy mRNA sa postupne pripájajú podľa princípu komplementarity dusíkatých báz. Znamená to, že oproti adenínu vo vlákne DNA stojí uracil v mRNA, a podobne, oproti guanínu stojí cytozín. Obidve vlákna DNA sa po ukončení transkripcie opäť k sebe približia a navzájom spoja do pôvodnej formy.

### 11.4.2 Translácia

Vytvorená mRNA opustí jadro a v cytoplazme sa pripojí k jednému alebo viacerým ribozómom (obr. 11.7). Útvár, ktorý vznikne naviazaním viacerých ribozómov na jednu vláknitú molekulu mRNA, nazývame **polyribozóm** (častejšie polyzóm). Na ribozómoch prebieha druhá fáza proteosyntézy – translácia.





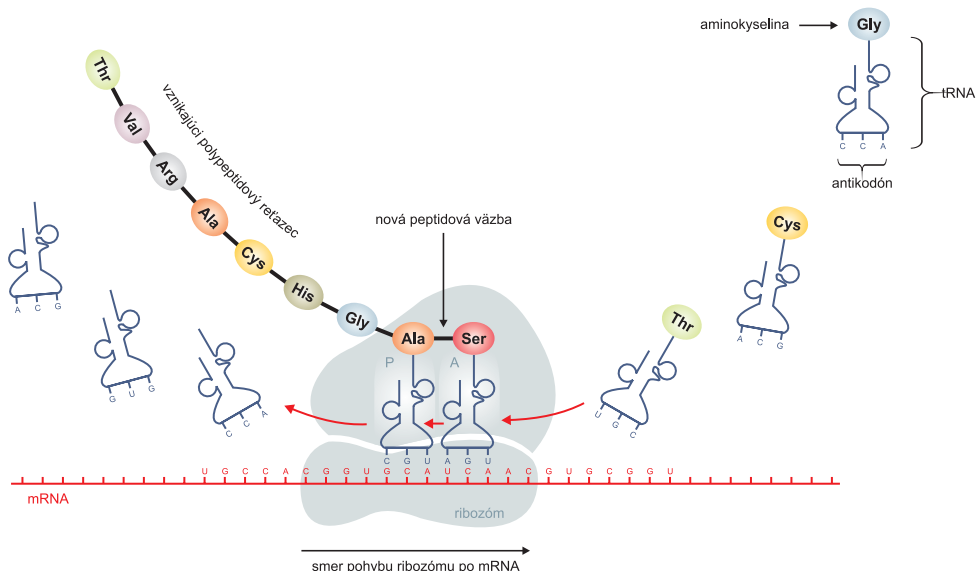
**Obr. 11.7 Ribozóm a polyribozóm**  
Zelenou farbou sú vyznačené vznikajúce refazce bielkovín.

Pri translácii dochádza k prekladu poradia nukleotidov molekuly mRNA do poradia aminokyselín novovznikajúceho polypeptidového reťazca.

Inými slovami, pri translácii je syntetizovaný nový polypeptidový reťazec bielkoviny podľa informácie uloženej v poradí nukleotidov mRNA vzniknutej transkripciou.

Zaujímavou otázkou je, prečo sú jednotlivé aminokyseliny určené práve trojicou (tripletom) nukleotidov. Vieme, že v proteínoch sa nachádza dvadsať rôznych aminokyselín. RNA (a tiež DNA) má ale k dispozícii len štyri rôzne nukleotidy. Je teda zrejmé, že každá aminokyselina musí byť určená kombináciou viacerých nukleotidov. Keďže ani dvojica nukleotidov nestačí na vytvorenie dvadsiatich rôznych kombinácií ( $4^2 = 16$ ), organizmy využívajú na kódovanie aminokyselín trojicu nukleotidov. Vedcom sa postupne podarilo odhaliť kodóny pre všetky proteinogénne aminokyseliny. Dokonca sa zistilo, že **genetický kód je univerzálny**, t. j., že rôzne organizmy spravidla kódujú tie isté aminokyseliny tými istými kodónmi.

Väčšina aminokyselín je kódovaná viacerými tripletmi (kodónmi) – znamená to, že **genetický kód je degenerovaný**. Degenerácia kódu znižuje negatívny vplyv mutácií na výslednú štruktúru syntetizovanej bielkoviny. Ak poznáme kodón, poznáme aj ním kódovanú aminokyselinu. Z degenerácie genetického kódu však vyplýva, že ak poznáme aminokyselinu, nemusíme poznať jednoznačný kodón, ktorý ju kóduje.

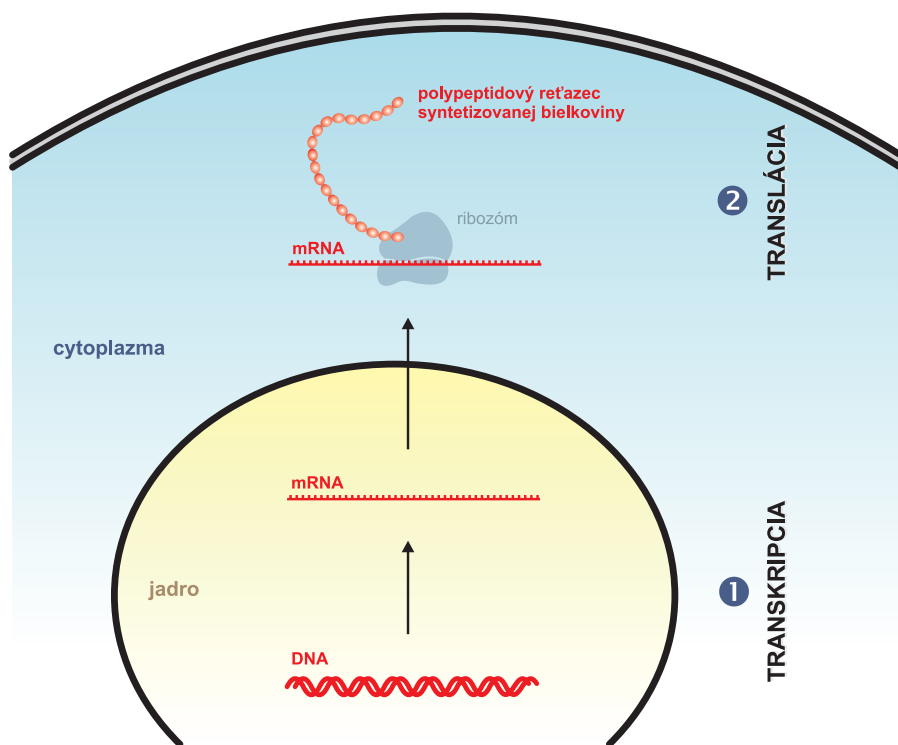


**Obr. 11.8 Translácia**  
Aminokyseliny „nečítajú“ informáciu mRNA priamo, ale prostredníctvom svojich tRNA. Každá aminokyselina je kódovaná trojicou (tripletom) nukleotidov – kodónom.

Polypeptidový reťazec bielkoviny je postupne syntetizovaný pripájaním jednotlivých aminokyselín. Aminokyseliny však neprichádzajú na ribozómy voľné, ale sú viazané na príslušné transferové ribonukleové kyseliny (tRNA). Pre každú aminokyselinu existuje osobitná tRNA. Transferová ribonukleová kyselina, nesúca príslušnú aminokyselinu, sa v ribozóme prostredníctvom svojho antikodónu viaže na kodón mRNA (obr. 11.8).

Na ribozóme sú 2 väzbové miesta označované písmenami P a A. Vo väzbovom mieste P sa nachádza posledná pripojená aminokyselina vznikajúceho bielkovinového reťazca, kým do väzbového miesta A prichádza nasledujúca aminokyselina naviazaná na svoju tRNA. Takto sa vedľa seba dostanú dve susedné aminokyseliny, medzi ktorými sa vytvorí peptidová väzba (obr. 11.8). Opakovaním uvedeného mechanizmu sa postupne vytvorí celý polypeptidový reťazec príslušnej bielkoviny.

*Rýchlosť naväzovania jednotlivých aminokyselín je pomerne vysoká. Zistilo sa, že za jednu sekundu sa postupne naviaže asi 20 aminokyselín. V priebehu jednej minúty môže takto vzniknúť polypeptidový reťazec, tvorený až 1 200 aminokyselinovými zvyškami.*



**Obr. 11.9 Celková schéma proteosyntézy prebiehajúcej v bunke**

Proteosyntéza začína transkripciou (1) v bunkovom jadre a pokračuje procesom translácie (2) prebiehajúcim v cytoplazme.

Hoci sa bielkoviny syntetizujú podľa genetickej informácie pôvodne uložené v DNA, v skutočnosti sa na ribozómoch priamo syntetizujú podľa informácie mRNA, ktorá je kópiou prepísaného (transkribovaného) úseku DNA.



1. Aký je vzájomný vzťah medzi biochemickými reakciami a metabolickými dráhami?
2. Aký je vzťah oxidačno-redukčných procesov k anabolickým a katabolickým procesom?
3. Ako nazývame reakcie, pri ktorých sa uvoľňuje energia?
4. Rozhodnite, ktorý z výrokov charakterizuje anabolické a ktorý katabolické metabolické dráhy:
  - a) majú charakter redukcie,
  - b) majú rozkladný charakter,
  - c) majú charakter oxidácie,
  - d) energia sa pri nich spotrebúva,
  - e) sú exergonické,
  - f) majú syntetický charakter,
  - g) sú endergonické,
  - h) energia sa pri nich uvoľňuje.
5. Molekula ATP je:
  - a) polysacharid,
  - b) lipid,
  - c) nukleotid,
  - d) aminokyselina.
6. Molekula ATP obsahuje:
  - a) jednu makroergickú väzbu,
  - b) dve makroergické väzby,
  - c) tri makroergické väzby,
  - d) štyri makroergické väzby.
7. Molekula ADP obsahuje:
  - a) jednu makroergickú väzbu,
  - b) dve makroergické väzby,
  - c) tri makroergické väzby,
  - d) žiadnu makroergickú väzbu.
8. Vyžaduje glykolýza prítomnosť kyslíka? V ktorej časti bunky prebieha táto metabolická dráha?
9. Koľko molekúl ATP sa spotrebuje na začiatku procesu glykolýzy na 1 molekulu glukózy?
10. Pri rozštiepení fruktóza-1-6-bisfosfátu v priebehu glykolýzy vzniknú:
  - a) 2 molekuly pyruvátu,
  - b) 2 molekuly navzájom izomérnych trióz,
  - c) 1 molekula glyceraldehydfosfátu a 1 molekula dihydroxyacetónfosfátu,
  - d) 2 molekuly ATP.
11. Konečným produktom glykolýzy je:
  - a) kyselina pyrohroznová,
  - b) oxid uhličitý,
  - c) acetylkoenzým A,
  - d) pyruvát.
12. Vysvetlite, čo je dôvodom redukcie pyruvátu na laktát pri mliečnom kvasení?
13. Konečnými produktmi alkoholového kvasenia sú:
  - a) etanol a voda,
  - b)  $C_2H_5OH$  a  $CO_2$ ,
  - c) metanol a oxid uhličitý,
  - d) etanol a acetaldehyd.

14. V ktorej časti bunky prebieha aeróbne spracovanie pyruvátu?
15. Ktoré látky vznikajú pri oxidačnej dekarboxylácii pyruvátu?
16. Aké je postavenie citrátového cyklu v metabolizme bunky?
17. Citrátový cyklus prebieha:
- v cytoplazme,
  - na ribozómoch,
  - v mitochondriách,
  - v chloroplastoch.
18. Do citrátového cyklu vstupuje molekula:
- pyruvátu,
  - laktátu,
  - acetylkoenzýmu A,
  - acylkoenzýmu A.
19. Ktorá látka je konečným produktom citrátového cyklu?
20. Ktorá zo zlúčenín nie je súčasťou citrátového cyklu?
- fumarát,
  - kyselina jantárová,
  - pyruvát,
  - kyselina jablčná.
21. Koľkokrát prebehne citrátový cyklus pri rozklade 1 molekuly glukózy?
22. Vysvetlite úlohu kyslíka v dýchanom reťazci.
23. Procesy dýchacieho reťazca prebiehajú:
- na jadrovej membráne,
  - na cytoplazmatickej membráne,
  - na vnútornej mitochondriálnej membráne,
  - na vonkajšej mitochondriálnej membráne.
24. Vysvetlite princíp a význam oxidačnej fosforylácie.
25. Aké látkové množstvo ATP môže vzniknúť z energie uvoľnenej pri regenerácii 1 mólu  $\text{FADH}_2$  v dýchanom reťazci? Aké látkové množstvo ATP môže vzniknúť pri regenerácii 1 mólu  $\text{NADH}$ ?
26. Aké látky sú produktom regenerácie koenzýmov  $\text{FADH}_2$  a  $\text{NADH}$  v dýchanom reťazci?
27. Vysvetlením jednotlivých čiastkových procesov dokážte, že úplnou aeróbnou oxidáciou 1 molekuly glukózy môže vzniknúť až 32 molekúl ATP.
28. Zorad'te v správnom poradí vzájomne nadväzujúce procesy:
- dýchací reťazec

glykolýza

citrátový cyklus

oxidačná dekarboxylácia pyruvátu
29. Akým spôsobom sa ľudský organizmus zbavuje konečných produktov biologickej oxidácie glukózy?
30. Hydrolyzou triacylglycerolov účinkom lipáz vzniká:
- glyceraldehyd a dihydroxyacetón,
  - glycerol a steroly,
  - glyceraldehyd a vyššie karboxylové kyseliny,
  - glycerol a vyššie karboxylové kyseliny.
31. Aký je rozdiel medzi acylkoenzýmom A a acetylkoenzýmom A?
32. Konečným produktom  $\beta$ -oxidácie je:
- mastná kyselina,
  - acetylkoenzým A,

- c) glycerol,
- d) voda.

33. Vypočítajte, aké množstvo ATP je možné získať úplnou oxidáciou kyseliny palmitovej až na  $\text{CO}_2$ .

34. Farbivo nevyhnutné pre priebeh fotosyntézy sa nazýva:

- a) bilirubín,
- b) chlorofyl,
- c) hemoglobín,
- d)  $\beta$ -karotén.

35. Porovnajte štruktúru hému a chlorofylu. Čo majú spoločné? V čom sa odlišujú?

36. Kyslík, vznikajúci v priebehu svetelnej fázy fotosyntézy, pochádza:

- a) z rozkladu  $\text{H}_2\text{O}$ ,
- b) z rozkladu  $\text{CO}_2$ ,
- c) z rozkladu chlorofylu,
- d) z rozkladu aminokyselín.

37. Ktorá látka je východiskovou zlúčeninou pri syntéze mastných kyselín?

38. Ktorú látku označujeme ako „centrálny metabolit“?

39. V ktorej časti bunky prebieha transkripcia a čo je jej produktom?

40. Vysvetlite vzájomný vzťah procesov transkripcie a translácie.

41. Aká bude primárna štruktúra mRNA, ktorá vznikne prepisom reťazca DNA s týmito poradím nukleotidov: GACTTCTAGGGCT?

42. Ribozómy majú význam:

- a) v procese transkripcie,
- b) v procese fotosyntézy,
- c) v procese translácie,
- d) v procese replikácie.

43. Vysvetlite pojem polyribosóm.

44. V ktorej časti bunky prebieha translácia?

45. Doplňte chýbajúce slová:

Genetická informácia DNA sa v bunkovom jadre prepisuje do poradia nukleotidov v .....  
Genetická informácia z ..... je potom prekladaná do poradia .....  
v syntetizovanej bielkovine. Kým prepis genetickej informácie prebieha v bunkovom .....,  
proces translácie prebieha na ..... nachádzajúcich sa v cytoplazme.

46. V ktorej časti bunky prebieha syntéza DNA a v ktorej syntéza RNA?

47. Nukleové kyseliny sú syntetizované:

- a) z nukleozidov,
- b) z dusíkatých báz,
- c) z aminokyselín,
- d) z nukleotidov.

48. Vysvetlite biologický význam syntézy DNA.

49. Doplňte chýbajúce časti navzájom komplementárnych reťazcov molekuly DNA:

A	G	C	...	...	...	T	...	...	G	T	A
...	...	...	G	G	C	...	A	T	...	...	...

50. Vysvetlite princíp procesu replikácie.

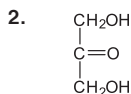
# 12 SPRÁVNE ODPOVEDE

## 2 LIPIDY A BIOLOGICKÉ MEMBRÁNY

1. Lipidy majú hydrofóbný charakter, sú vo vode nerozpustné. Dobré sa rozpúšťajú v organických rozpúšťadlách. 2. c. 3. a. 4. c, d. 5. b. 6. Glykolipidy, fosfolipidy. 7. b. 8. Lebo majú vyšší obsah nenasýtených mastných kyselín. 9. b. 10. Žltnutie tukov je výsledkom oxidácie vzdušným kyslíkom na dvojitých väzbách nenasýtených mastných kyselín za pôsobenia baktérií, najmä v teplom a vlhkom prostredí. 11. b. 12. Sú súčasťou biologických membrán, umožňujú ich plnohodnotnú činnosť. 13. Lipázy. 14. Zlá životospráva, nesprávny životný štýl, nadmerný príjem potravín s vysokým obsahom cholesterolu, nasýtených tukov, stres, nedostatok pohybu. 15. Tuky živočíšneho pôvodu – maslo, tučné syry, plnotučné mlieko, vyprázané jedlá a pod. 16. Priaznivo pôsobia na srdcovo-cievny systém, znižujú hladinu LDL cholesterolu v krvi. 17. Áno, ovplyvňuje. Obmedzí príjem jednoduchých lipidov. 18. Ohraničujú bunky a oddeľujú ich od okolia, zabezpečujú heterogénnosť prostredia v bunke, oddeľujú vnútrobunkový priestor na organely, zabezpečujú zložité metabolické pochody, metabolické kontakty, zabezpečujú komunikáciu medzi bunkou a okolím.

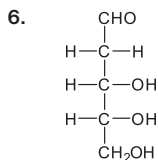
## 3 SACHARIDY

1. b, d.

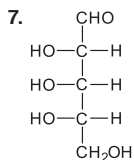


dihydroxyacetón

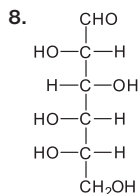
3. a, b, d, e. 4. c. 5. d.



2-deoxy-D-ribóza



L-ribóza

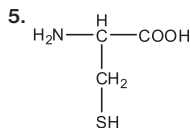


L-glukóza

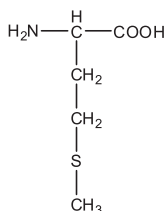
9. c. 10. D-manóza, D-xylóza, L-arabínóza, L-ribulóza. 11. b. 12. A3, B5, C1, D2, E4. 13. Alkoholovým. 14. b. 15. b. 16. b. 17. b, d.

## 4 BIELKOVINY

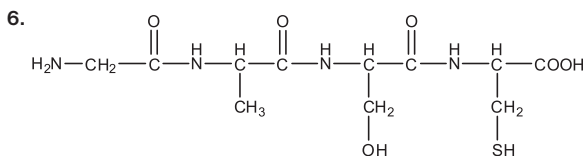
1. Lebo neobsahuje chirálny atóm uhlíka. 2. a, d. 3. a, b, c. 4. d.



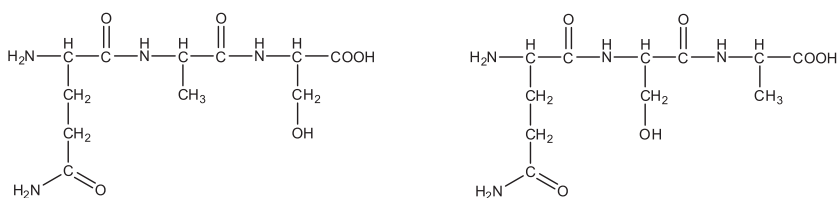
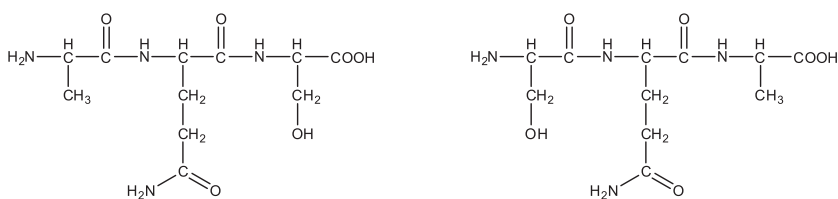
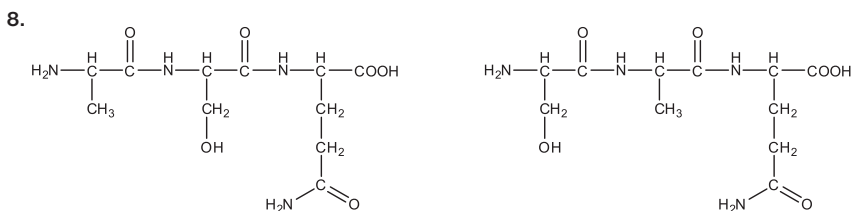
cysteín



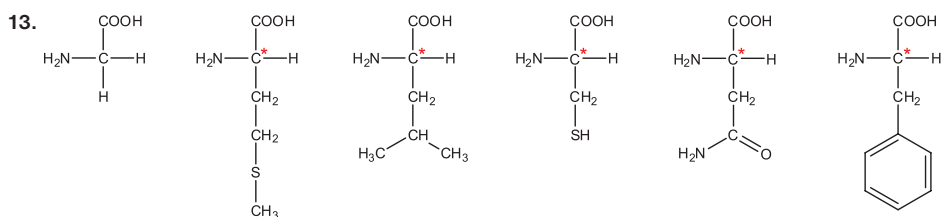
metionín



7. c.



9. b, d. 10. a, b, c. 11. b. 12. Esenciálne aminokyseliny sú také, ktoré organizmus nedokáže syntetizovať, a preto ich musí prijímať v potrave.



14. Prolín, ako jediná z proteinogénnych aminokyselín, po zapojení do polypeptidového reťazca neobsahuje na aminokypine voľný atóm vodíka, ktorý by sa mohol využiť na tvorbu vodíkovej väzby. 15. a, d. 17. c, d. 18. a) kolagén, b) fibrín, c) myoglobín, d) keratín 19. b. 20. A4, B5, C2, D3, E1.

## 5 NUKLEOVÉ KYSELINY

1. d. 2. a) cytozín, b) adenín c) guanín, d) tymín. 3. a, d. 4. a, d. 5. pyrimidín b, purín g. 6. c. 7. a) súčasť RNA, b) súčasť DNA. 8. DNA v priestore vytvára dvojité závitníc. 9. a. 10. Komplementarita dusíkatých báz znamená, že určitá dusíkatá báza sa môže vodíkovými väzbami viazať (párovať) len s jedným konkrétnym typom inej dusíkatej bázy, napr. cytozín len s guanínom a pod. 11. c. 12. DNA: A-T, C-G, RNA: A-U, C-G. 13. TAGCCGGTGCCAA. 14. a, d.

## 6 ENZÝMY

1. c. 2. Aktívne miesto, aminokyselín, aktívneho miesta enzýmu, aktívneho miesta, kofaktor. 3. Enzýmami katalyzované reakcie prebiehajú rýchlejšie preto, lebo majú v porovnaní s nekatalyzovanými reakciami nižšie hodnoty aktivačnej energie. 4. c. 5. Kofaktor je akákoľvek (organická alebo anorganická) nebielkovinová zložka enzýmu. Koenzým je nebielkovinová zložka enzýmu organického charakteru, ktorá je slabo viazaná s bielkovinovou časťou enzýmu. 6. A2, B1. 7. Pretože bielkovinová časť enzýmu pri vyšších teplotách denaturuje. 8. d. 9. a, c. 10. A3, B2, C4, D5, E1.

## 7 VITAMÍNY

1. Podľa ich rozpustnosti vo vode a v tukoch. 2. b, d. 3. b. 5. A, kalciferoly. 6. A. 7. A5, B6, C7, D1, E2, F3, G4. 8. Napríklad: a) C, B<sub>12</sub>, kyselina listová, E, b) B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, E, c) B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, E, d) B<sub>1</sub>, B<sub>5</sub>, H, D. 9. b, c, d.

## 8 KVALITA ŽIVOTA A ZDRAVIE

4. Na dosiahnutie rovnakého terapeutického účinku je potrebné v každej dávke užívať dvojnásobný počet tabliet s polovičným obsahom liečiva oproti pôvodne predpísanému.

5. Vyvážená strava má pomer živín:

bielkoviny : tuky : sacharidy	1	:	2	:	4
jogurt má pomer živín	3,6 g	:	2,7 g	:	15 g

Jogurt nespĺňa podmienku správneho pomeru základných živín.

7. 1 kg soli zodpovedá skutočnej potrebe človeka na 800 dní.

## KAPITOLY 9 – 11

1. Vzájomne nadväzujúce biochemické reakcie vytvárajú metabolické dráhy. 2. Katabolické procesy majú zvyčajne charakter oxidácie, anabolické procesy majú zvyčajne charakter redukcie. 3. Exergonické reakcie. 4. Anabolické: a, d, f, g, katabolické: b, c, e, h. 5. c. 6. b. 7. a. 8. Nevyžaduje, v cytoplazme. 9. 2 molekuly ATP. 10. b, c. 11. a, d. 12. Dôvodom je opätovné získanie koenzýmu NAD<sup>+</sup>, ktorý je nevyhnutný na oxidačné procesy. 13. b. 14. V mitochondriách. 15. CO<sub>2</sub> a acetylkoenzým A. 16. Citrátový cyklus má centrálné postavenie v metabolizme bunky, pretože sa v ňom stretávajú medziprodukty pochádzajúce z rôznych metabolických dráh. 17. c. 18. c. 19. CO<sub>2</sub>. 20. c. 21. Dvakrát. 22. Kyslík je konečným akceptorom elektrónov v dýchacom reťazci. 23. c. 24. Oxidačná fosforylácia je proces tvorby ATP prenosom fosfátovej skupiny na molekulu ADP. Pri procese sa využije energia uvoľnená postupným prenosom elektrónov na molekulu kyslíka. 25. 1,5 mólu ATP pri regenerácii FADH<sub>2</sub>, 2,5 mólu ATP pri regenerácii NADH. 26. FAD a NAD<sup>+</sup>. 27. Vysvetlenie je uvedené na str. 100. 28. Glykolyza – oxidačná dekarboxylácia pyruvátu – citrátový cyklus – dýchací reťazec. 29. Dýchaním (vydychuje CO<sub>2</sub>). 30. d. 31. Acylkoenzým A vznikne naviazaním zvyšku akejkoľvek karboxylovej kyseliny (acylu) na koenzým A. Acetylkoenzým A vznikne naviazaním zvyšku kyseliny octovej (acetylu) na koenzým A. 32. b. 33. 106 ATP. 34. b. 35. Molekula hému aj molekula chlorofylu majú spoločnú základnú štruktúru tvorenú štyrmi cyklicky usporiadanými molekulami pyrrolu (tetrapyrrol). Odlišujú sa centrálnym atómom, ktorým je v héme atóm železa, kým v chlorofyle atóm horčíka. 36. a. 37. Acetylkoenzým A. 38. Acetylkoenzým A. 39. V jadre, molekula RNA. 40. Pri transkripcii DNA vzniká molekula mRNA, ktorá v procese translácie kóduje poradie aminokyselín syntetizovaného reťazca bielkoviny. 41. CUGAAGAUCCCGA. 42. c. 43. Polyribosóm vznikne, ak sa na tej istej molekule mRNA naraz pohybuje niekoľko ribosómov, na ktorých sa uskutočňuje proces translácie. 44. Translácia prebieha na ribosómoch, ktoré sa nachádzajú v cytoplazme. 45. mRNA, mRNA, aminokyselín, jadre, ribosómoch. 46. Oba procesy prebiehajú v bunkovom jadre, prípadne v mitochondriách a chloroplastoch. 47. d. 48. Syntéza DNA umožňuje zdvojenie genetického materiálu pred samotným delením bunky. Tým sa zabezpečí prenos rovnakého genetického materiálu z materskej bunky do dcérskych buniek.

49. A G C C C G T I A G T A  
I C G G G C A A T C A I

50. Pri replikácii sa najprv obe vlákna DNA od seba oddelia. Každé z vlákien potom slúži ako matrica, podľa ktorej sa na princípe komplementarity syntetizuje nové vlákno DNA. Z pôvodnej „materskej“ molekuly DNA tak vzniknú dve identické „dcérske“ molekuly DNA.



## Literatúra

1. ALBERTS, B. et al.: *Molecular biology of the cell*. 4th ed., New York : Garland Science, 2002. 1616 s. ISBN 0-8153-4072-9.
2. BERGENDI, L., ČÁRSKY, J.: *Lekárska chémia a biochémia I*. Bratislava : Palaestra, 1991. 414 s.
3. CAMPBELL, M. K., FARRELL, S. O.: *Biochemistry*. 6th ed., Belmont (USA) : Thomson Brooks/Cole, 2009. 832 s. ISBN-13 978-0-495-39041-1.
4. ČÁRSKY, J. et al.: *Chémia pre 3. ročník gymnázia*. Bratislava : SPN, 1994. 242 s. ISBN 80-08-02327-9.
5. ČERVINKA, O. et al.: *Chemie organických sloučenin II*. Praha : SNTL, 1987. 1052 s.
6. DLOUHÁ, R.: *Výživa - přehled základní problematiky*. Praha : Karolinum, 1998. 215 s. ISBN 80-7184-757-7.
7. DLUGOŠ, B., KOLMAN, P.: *Antibiotiká, rozdelenie, indikácie, komplikácie* [online]. [cit. 2011-02-22]. Dostupné na internete: < <http://www.medinfo.sk/?s=heslo&id=677>>.
8. DOSTÁL, J.: *Lékařská chemie II (Bioorganická chemie)*. Brno : Masarykova univerzita, 2009. 166 s. ISBN 978-80-210-3789-2.
9. DUNDR, M., KLÍMOVÁ, H.: *Znáte přírodní látky a biochemii (Pracovní sešit pro studenty všech typů středních škol)*. Praha : Prospektrum, 1998. 60 s. ISBN 80-7175-003-4.
10. ELIÁŠ, P., BOHÁČ, J., REICHRTOVÁ, E.: Geneticky modifikované organizmy a biologická bezpečnosť. In: *Životné prostredie* [online], roč. 2003, č. 2 [cit. 2011-02-22]. Dostupné na internete: < <http://www.uke.sav.sk/zp/2003/zp2/stlpcek.htm>>.
11. GARRET, R. H., GRISHAM, C. M.: *Biochemistry*. 4th ed., Boston (USA) : Brooks/Cole, Cengage Learning, 2010. 1184 s. ISBN-13 978-0-495-11464-2.
12. HOGENBUCHOVÁ, R.: *Narkománia u mladistvých* [online]. [cit. 2011-02-21]. Dostupné na internete: <<http://www.infodrogy.sk/ActiveWeb/d/drugInfo/>>.
13. KERESTEŠ, J. et al.: *Biotechnológie, výživa a zdravie*. Považská Bystrica : Eminent, 2009. 528 s.
14. KLOUDA, P.: *Základy biochemie*. 2. vyd., Ostrava : nakladatelství Pavel Klouda, 2005. 144 s. ISBN 80-86369-11-0.
15. KODÍČEK, M.: *Biochemické pojmy (výkladový slovník)*. Praha : VŠChT, 2004. 171 s. ISBN 80-7080-551-X.
16. KOLÁŘ, K., KODÍČEK, M., POSPÍŠIL, J.: *Chemie II pro gymnázia (organická a biochemie)*. Praha : SPN, 2005. 128 s. ISBN 80-7235-283-0.
17. KOTLÍK, B., RŮŽIČKOVÁ, K.: *Chemie II v kostce*. Praha : Fragment, 2001. 192 s., ISBN 80-7200-342-9.
18. MAREČEK, A., HONZA, J.: *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 2005. 250 s. ISBN 80-7182-057-1.
19. MIKUŠOVÁ, K., KOLLÁROVÁ, M.: *Princípy biochemie v schémach a v příkladoch*. Univerzita Komenského : Bratislava. 2005. 164 s. ISBN 80-223-1987-2.
20. MORAVANSKÝ, N., NOVOMESKÝ, F.: *Nelegálne drogy* [online]. [cit. 2011-02-21]. Dostupné na internete: <<http://www.infodrogy.sk/ActiveWeb/d/drugInfo/>>.
21. MURRAY, R.K.: *Harperova biochemie*. 23. vyd. (4. české vyd.), H&H, 1998. 873 s. ISBN 80-7319-013-3.
22. REDHAMMER, R.: *Fajčenie a ženy* [online]. [cit. 2011-02-22]. Dostupné na internete: <<http://www.medinfo.sk/?s=heslo&id=677>>.
23. SIEKEL, P.: Geneticky upravené potraviny. In *Životné prostredie* [online], roč. 2003, č. 2 [cit. 2011-02-22]. Dostupné na internete: <<http://www.uke.sav.sk/zp/2003/zp2/siekel.htm>>.
24. SKORŠEPA, M., VACULČÍKOVÁ, D., CEJPEK, K.: *Biochemické experimentálne metódy*. Banská Bystrica : FPV UMB, 2008. 203 s. ISBN 978-80-8083-870-5.
25. ŠÍPAL, Z. et al.: *Biochemie*. Praha : SPN, 1992. 480 s. ISBN 80-04-21736-2.
26. ŠKÁRKA, B., FERENČÍK, M.: *Biochémia*. 3. vyd., Bratislava : Alfa, 1992. 848 s. ISBN 80-05-01076-1.
27. VACÍK, J.: *Přehled středoškolské chemie*. Praha : SPN, 1999. 363 s. ISBN 80-7235-108-7.
28. VOET, D., VOETOVÁ, J. G.: *Biochemie*. Praha : Victoria Publishing, 1995. 1352 s. ISBN 80-8560-44-9.
29. ZÁHRADNÍK, P., KOLLÁROVÁ, M.: *Přehled chemie 2*. Bratislava : SPN, 2002. 322 s. ISBN 80-08-03349-5.
30. ZÁHRADNÍK, P., LISÁ, V., TÓTHOVÁ, A.: *Organická chémia II*. Bratislava : SPN - Mladé letá, 2009. 125 s. ISBN 978-80-10-01639-6.
31. ZACHAROVÁ, Z.: *Tautoméria a protonácia derivátov purínu*. Brno : Přírodovědecká fakulta Masarykověj univerzity, 2007. 24 s. Diplomová práce.
32. ZITTLAU, J.: *Ako sa liečiť vhodnou stravou*. Brno : Computer Press, 2010. 224 s. ISBN 978-80-251-1907-5.

## Zoznam chemických látok a nebezpečných chemických látok, používaných v pokusoch zaradených v učebnom texte v tejto učebnici

CHEMICKÁ LÁTKA	SYMBOL	R-VETA	S-VETA
amoniak – roztok	C, N	R 34-50	S (1/2-)26-36/37/39-45-61
benzín	F, X n, T	R 11-20/21-40	S 9-16-23
dusičnan strieborný	C, N	R 34-50/53	S (1/2-)26-45-60-61
etanol	F	R 11	S (2-)7-16
fenolftaleín		R 36/37/38	S 26-36
fruktóza			
glukóza			
hydroxid sodný*	C	R 35	S (1/2-)26-37/39-45
jodid draselný		R 61-42/43-36/38	S 45-26-36/37/39
jód	X n, N	R 20/21-50	S (2-)23-25-61
kyselina chlorovodíková*	C	R 34-37	
kyselina sírová*	C	R 35	S (1/2-)26-30-45
manganistan draselný	O, X n, N	R 8-22-50/53	S (2-)60-61
močovina		R 40-36/37/38	S 26-36-22
α-naftol, 1-naftol	X n, X i	R 21/22-37/38-41	S (2-)22-26-37/39
pentahydrát síranu meďnatého	X n	R 22-36/38	S (2-)22
rezorcínol	X n, X i, N	R 22-36/38-50	S (2-)26-61
síran amónny	X i	R 36/37/38	S (2-)24/25-26-36/37/39-46
síran meďnatý	X n, N	R 22-36/38-50/53	S (2-)22-60-61
škrobový maz			

### Legenda:

\* zmenou koncentrácie týchto látok sa ich nebezpečné vlastnosti menia, majú zadávané preto aj koncentračné limity (Výnos MH SR č. 2/2002 a č. 2/2005 na vykonanie zákona č. 163/2001 Z. z. o chemických látkach a chemických prípravkoch).

O – oxidujúce látky a prípravky

F – veľmi horľavé látky a prípravky

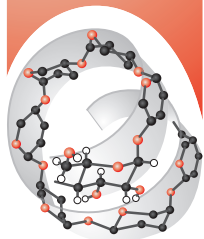
T – jedovaté látky a prípravky

Xn – škodlivé látky a prípravky

Xi – dráždivé látky a prípravky

C – žieravé látky a prípravky

N – látky a prípravky nebezpečné pre životné prostredie



# Chémia

**pre 3. ročník gymnázia  
so štvorročným štúdiom**

**a 7. ročník gymnázia  
s osemročným štúdiom**

ISBN 978-80-8115-042-5



Publikácia bola hradená z finančných prostriedkov Ministerstva školstva,  
vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.