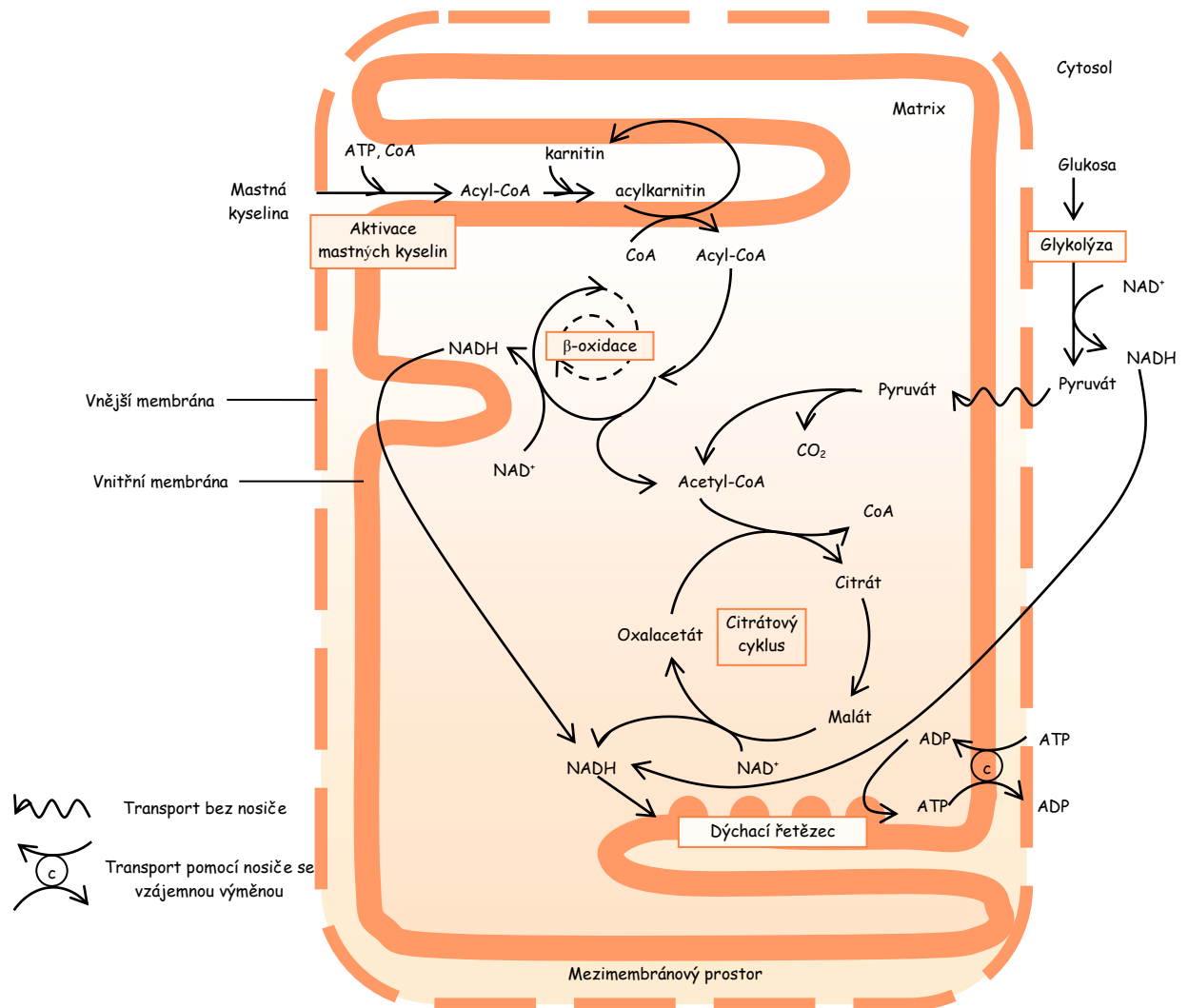


# Biochemické procesy kolem nás i v nás



**Milada Teplá**

KUDCH, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy,  
Praha 2008

## Seznam použitých zkratk (v abecedním pořadí)

A	Adenin
ADH	Alkoholdehydrogenasa
ADP	Adenosindifosfát
AMP	Adenosinmonofosfát
ATP	Adenosintrifosfát
BM	Bazální metabolismus
C	Cytosin
CAM	Crassulacean Acid Metabolism (metabolismus kyselin u tučnolistých)
CoA	Koenzym A
CoQ	Ubichinon (koenzym Q)
CoQH <sup>+</sup>	Ubisemichinon
CoQH <sub>2</sub>	Ubichinol
CTP	Cytidintrifosfát
cyt	Cytochrom
dAMP	Deoxyadenosinmonofosfát
dATP	Deoxyadenosintrifosfát
dCMP	Deoxycytidinmonofosfát
dCTP	Deoxycytidintrifosfát
dGMP	Deoxyguanosinmonofosfát
dGTP	Deoxyguanosintrifosfát
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
dTMP	Deoxythymidinmonofosfát
dTTP	Deoxythymidintrifosfát
ER	Endoplasmatické retikulum
FAD	Oxidovaný flavinadenindinukleotid
FADH <sub>2</sub>	Redukovaný flavinadenindinukleotid
Fd	Ferredoxin
FMN	Oxidovaný flavinmononukleotid
FMNH <sub>2</sub>	Redukovaný flavinmononukleotid
G	Guanin
GA	Golgiho aparát
GTP	Guanosintrifosfát
HDL	Lipoproteinová částice o vysoké hustotě (high density lipoprotein)
hnRNA	Heterogenní jaderná ribonukleová kyselina
IDL	Intermediální lipoproteinová částice (intermediate density lipoprotein)
LDH	Laktátdehydrogenasa
LDL	Lipoproteinová částice o nízké hustotě (low density lipoprotein)
mRNA	Mediatorová ribonukleová kyselina
NA	Nukleová kyselina
NAD <sup>+</sup>	Oxidovaný nikotinamidadenindinukleotid
NADH	Redukovaný nikotinamidadenindinukleotid
NADP <sup>+</sup>	Oxidovaný nikotinamidadenindinukleotidfosfát
NADPH	Redukovaný nikotinamidadenindinukleotidfosfát
NTP	Nukleosidtrifosfát
P (P <sub>i</sub> )	Anorganický fosfát (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )
P <sub>680</sub>	Pigment reakčního centra fotosystému II
P <sub>700</sub>	Pigment reakčního centra fotosystému I

pC	Plastocyanin
PCR	Polymerase chain reaction
PP <sub>i</sub>	Anorganický difosfát (P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>4-</sup> )
pQ	Plastochinon
pre-mRNA	Primární transkript
PS	Fotosystém
RNA	Ribonukleová kyselina
rRNA	Ribosomální ribonukleová kyselina
RuBisCo	Rubilosabisfosfátkarboxylasa
SSB	Svírací protein (single-strand binding protein)
T	Thymin
tRNA	Transferová ribonukleová kyselina
U	Uracil
UTP	Uridintrifosfát
vit.	Vitamin
VLDL	Lipoproteinová částice o velmi nízké hustotě (very low density lipoprotein)

# Obsah

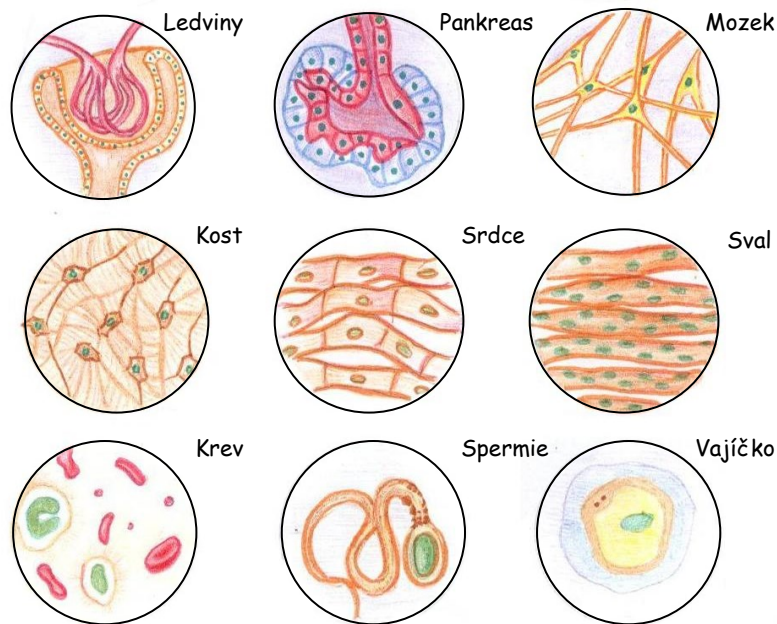
<b>1</b>	<b>BUŇKA (ANEŽ CO BY MĚL VĚDĚT UČITEL BIOCHEMIE O BUŇCE).....</b>	<b>5</b>
1.1	PROKARYOTNÍ A EUKARYOTNÍ BUŇKA .....	5
1.2	TRANSPORT LÁTEK PŘES PLASMATICKOU MEMBRÁNU.....	12
<b>2</b>	<b>NUKLEOVÉ KYSELINY A SYNTÉZA BÍLKOVIN .....</b>	<b>16</b>
2.1	STRUKTURA DNA A RNA .....	16
2.2	CHROMOSOM.....	20
2.3	GENETICKÁ INFORMACE .....	21
2.4	REPLIKACE DNA.....	22
2.5	TRANSKRIPCE .....	27
2.6	TRANSLACE .....	29
<b>3</b>	<b>TRÁVENÍ A PŘÍRODNÍ LÁTKY .....</b>	<b>33</b>
3.1	SOUČÁSTI POTRAVY .....	33
3.2	ROZLIŠENÍ ORGANISMŮ .....	34
3.3	ENZYMY .....	35
3.4	SACHARIDY .....	36
3.5	LIPIDY .....	42
3.5.1	<i>Jednoduché lipidy</i> .....	43
3.5.2	<i>Složené lipidy</i> <sup>(28)</sup> .....	44
3.5.3	<i>Odvozené lipidy</i> .....	45
3.6	BÍLKOVINY .....	46
3.7	VITAMINY A MINERÁLNÍ LÁTKY .....	49
3.8	TRÁVICÍ SOUSTAVA .....	52
<b>4</b>	<b>METABOLISMUS .....</b>	<b>57</b>
4.1	ZÁKLADNÍ POJMY .....	57
4.2	METABOLISMUS SACHARIDŮ .....	61
4.3	METABOLISMUS TRIACYLGLYCEROLŮ.....	65
4.4	METABOLISMUS BÍLKOVIN .....	69
4.5	CYKLUS KYSELINY CITRONOVÉ .....	73
4.6	VZTAHY MEZI METABOLISMY .....	74
4.7	RESPIRACE.....	74
4.8	LOKALIZACE METABOLICKÝCH POCHODŮ V BUŇCE.....	78
<b>5</b>	<b>FOTOSYNTÉZA .....</b>	<b>80</b>
5.1	LOKALIZACE FOTOSYNTETICKÝCH DĚJŮ V BUŇCE, STRUKTURA CHLOROPLASTU .....	80
5.2	PRIMÁRNÍ DĚJ FOTOSYNTÉZY .....	81
5.3	SEKUNDÁRNÍ DĚJ FOTOSYNTÉZY .....	85
5.4	SUMÁRNÍ ROVNICE FOTOSYNTÉZY .....	86
<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>87</b>

# 1 Buňka (aneb co by měl vědět učitel biochemie o buňce)

## 1.1 Prokaryotní a eukaryotní buňka

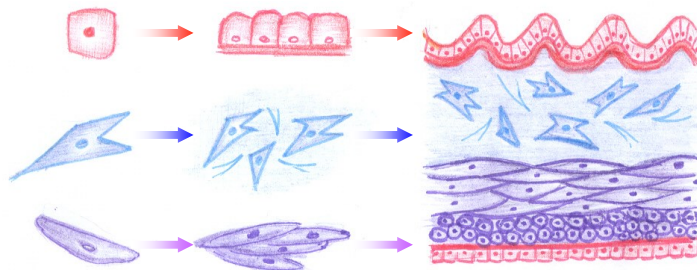
### Co je základní stavební jednotka živé hmoty?

Základní a zároveň nejmenší jednotkou živé hmoty jsou **buňky**.



Obr. 1. Různé typy buněk

Vyšší organismy, jako jsme my sami, jsou společenstvími buněk odvozených růstem a dělením od jedné základní buňky. Spojováním jednotlivých buněk vznikají tkáně, spojováním tkání pak orgány, orgánové systémy a nakonec celý organismus.



Obr. 2. Tvorba tkání

### Jaké schopnosti má buňka?

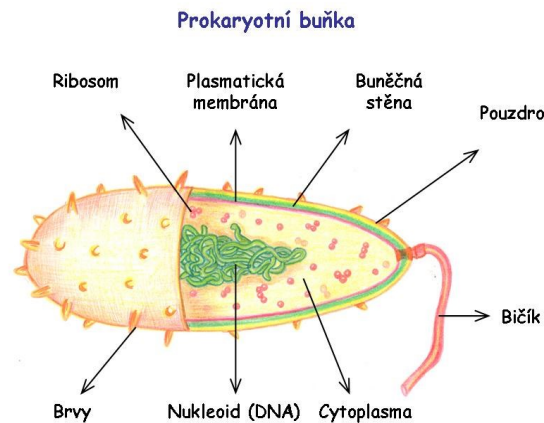
Buňka dovede získávat vše, co potřebuje ke své vlastní funkci, a na druhé straně má schopnost vyrábět jiné látky, jež ke svému životu potřebuje organismus. Buňka je zároveň nejmenší známý útvar schopný samostatného života a rozmnožování.

### Které druhy buněk známe?

Existují dva druhy buněk lišící se velikostí, rozmnožováním, stavbou i fyziologií (tj. výživou a metabolismem). Ty organismy, jejichž buňky obsahují jádro, se nazývají **eukaryotní** (z řeckých slov eu = opravdu a karyon = jádro). Organismy, jejichž buňky jádro neobsahují, se nazývají **prokaryotní** (pro = před).

### Jaké jsou typické znaky prokaryotní buňky?

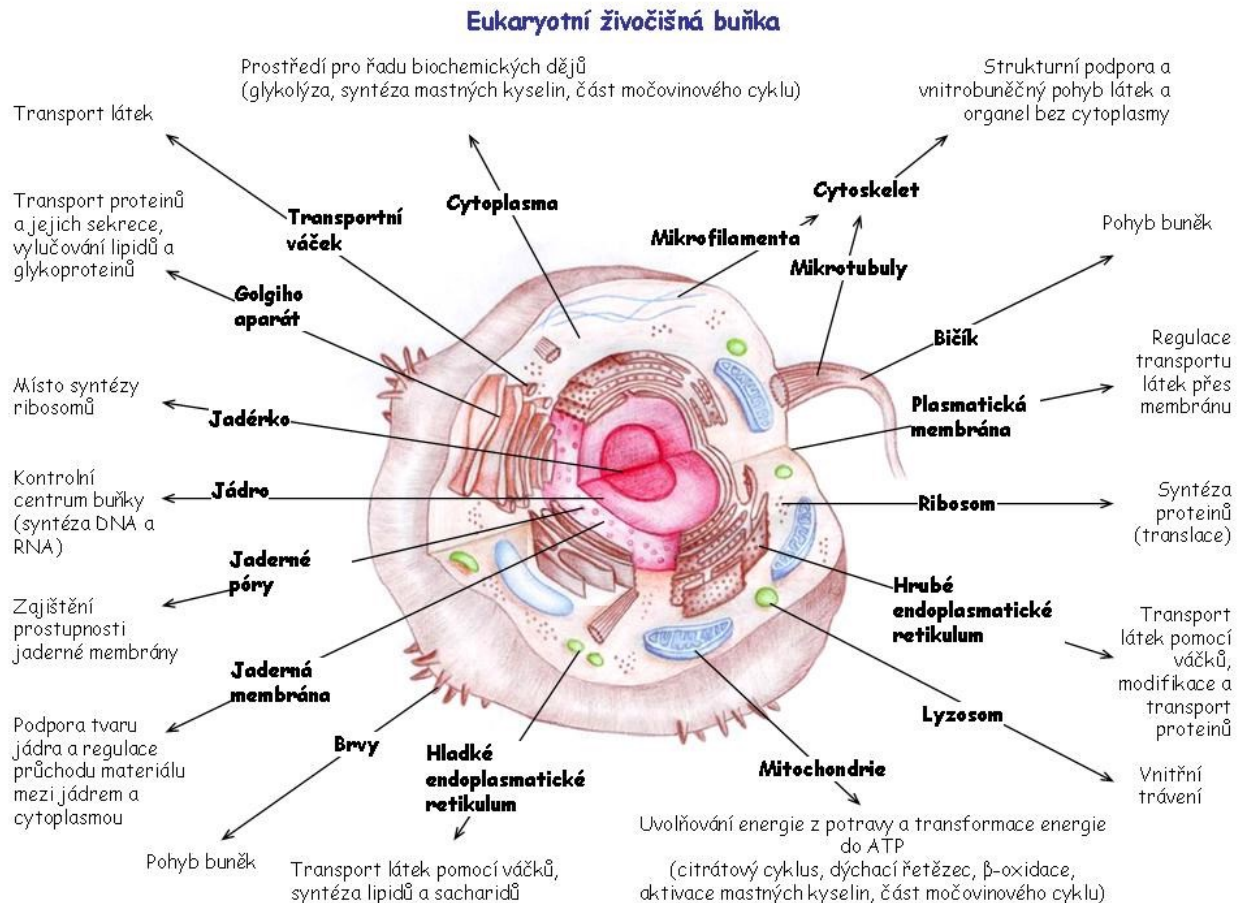
**Prokaryotní buňka** obsahuje minimální množství membrán. Nikdy nevytváří mnohobuněčný organismus, nanejvýš kolonie. U prokaryotních buněk dochází k rychlé výměně látek. Rychlost metabolických dějů je mnohem vyšší než u eukaryotních buněk, což je umožněno tím, že vnitřní prostor není dělen membránami. Prokaryotní buňka se zpravidla rozmnožuje dělením. Tyto organismy mají místo pravého jádra stočenou dvoušroubovici DNA (deoxyribonukleová kyselina – viz kap. 2) na bílkovinném nosiči. Tato stočená dvoušroubovice se nazývá jaderná hmota (**nukleoid**), jež je jediným chromosomem (viz dále). Prokaryotní buňka neobsahuje mitochondrie, chloroplasty ani endoplasmatické retikulum a má oproti eukaryotní buňce rozdílný charakter ribosomu.



Obr. 3. Prokaryotní buňka

### Jaké jsou typické znaky eukaryotní buňky?

Eukaryotní buňky jsou mnohem větší než prokaryotní a mají také dokonaleji vyvinuté a komplikovanější vnitřní uspořádání. Jsou to typické buňky, které se nacházejí v lidském těle. Na rozdíl od prokaryotních buněk mají **pravé jádro**, jež je ohraničeno jadernou membránou (viz dále).



Obr. 4. Eukaryotní živočišná buňka

### Co jsou organely?

Organely jsou nitrobuněčné struktury, jejichž pomocí mohou eukaryotní buňky provádět řadu specifických funkcí. Organely také zajišťují koordinaci chemických procesů v buňce. Jsou obvykle uloženy v **cytoplasmě** (viz dále), která vyplňuje vnitřní prostor buňky kolem jádra.

### Z jakých složek se skládá eukaryotní živočišná buňka?

Mezi základní složky eukaryotní živočišné buňky patří plasmatická membrána, cytoplasma, cytoskelet a organely jako jsou centrální jádro, jadérko, mitochondrie, ribosomy, endoplasmatické retikulum, Golgiho aparát, lyzosity, peroxisomy a centrioly.

**Centrální jádro (nucleus, karvon)** je největší a nejvýznamnější organelou buňky lidského těla. Obsahuje velmi dlouhé polymery molekul DNA, které kódují genetické určení organismu (viz kap. 2). Tyto obrovské molekuly lze pozorovat jako **chromosomy**. Každá buňka lidského těla (kromě pohlavních) obsahuje ve svém jádře 46 chromosomů (tj. 23 párů), pohlavní buňky obsahují pouze 23 nepárovaných chromosomů.

Jádro má dvě funkce, genetickou a metabolickou. Genetickou funkcí rozumíme např. **tvorbu vlastních složek** nebo **replikaci**, kdy dochází k přenosu genetických informací z mateřské buňky na dceřinou (viz kap. 2.4). Metabolickou funkcí rozumíme např. **syntézu RNA** (ribonukleová kyselina – viz kap. 2.1), některých **enzymů**, **ATP** (adenosin trifosfát – viz dále) aj. Vnitřek jádra je vyplněn sítí bílkovinných vláken – tzv. **jadernou plasmou (karyoplasmu)**, někdy též **jaderná šťáva**.

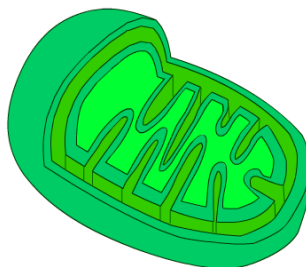
**Jadérko (nucleolus)** se nachází uvnitř jádra v karyoplasmě. Jeho funkce souvisí s metabolickými funkcemi jádra, podílí se také na **syntéze některých bílkovin**. V jadérku **vznikají ribosomy**, což jsou kulovité útvary potřebné pro syntézu bílkovin (viz níže).

Jádro je ohraničeno **jadernou membránou (karyolemou)**, což je dvojvrstevná blána oddělující jaderný obsah od cytoplasmy. Součástí této membrány jsou submikroskopické otvůrky – tzv. **jaderné póry**, které zajišťují prostupnost jaderné membrány. Těmito póry jsou mezi karyoplasmou a cytoplasmou aktivně přenášeny nízkomolekulární i makromolekulární látky.

**Mitochondrie** jsou specifické organely, jejichž membrána je tvořena ze dvou vrstev. Vnější je hladká, vnitřní tvoří záhyby do vnitřního prostoru mitochondrie. Jedná se o generátory chemické energie pro buňku. V mitochondriích dochází k **oxidaci molekul potravy** (např. sacharidů a mastných kyselin), během níž dochází k **uvolňování chemické energie** vázané v makroergických sloučeninách, např. v **ATP** (viz dále). Protože mitochondrie při své činnosti spotřebovává kyslík a uvolňuje oxid uhličitý, je celý proces nazýván **buněčné dýchání** (viz kap. 4). Organismy, které mohou tímto způsobem kyslík využít, se nazývají **aerobní**. Organismy, které dokáží žít bez přítomnosti vzdušného kyslíku, se nazývají **anaerobní** a postrádají mitochondrie. Volný kyslík je pro většinu anaerobních organismů toxický.

Vnitřek mitochondrie se nazývá **matrix**.

Mitochondrie se chovají uvnitř buněk jako samostatné malé buňky. Na rozdíl od ostatních organel se také mohou reprodukovat, neboť obsahují svou vlastní DNA.



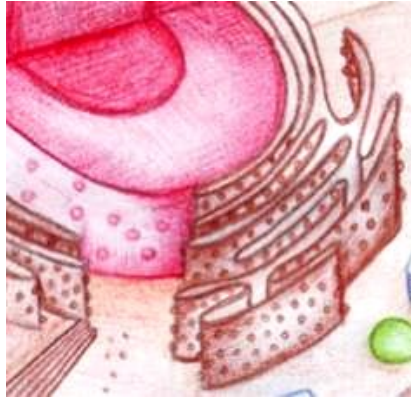
*Obr. 5. Mitochondrie*

Další důležitou organelou jsou **ribosomy**. Jedná se o malé, nepatrné kulovité útvary uvnitř buňky. Buď jsou vázané na endoplasmatickém retikulu nebo se vyskytují volně v cytoplasmě. Ribosomy jsou tvořeny z velké a malé podjednotky, které se skládají z RNA a bílkovin. Hlavní funkcí ribosomů je **tvorba bílkovin**, které vznikají z aminokyselinových řetězců (viz kap. 2.6).

**Endoplasmatické retikulum (ER)** je systém měchýřků a kanálků. Pomocí elektronového mikroskopu byly odhaleny dvě odlišné formy endoplasmatického retikula – **drsne** a **hladké**. Drsné endoplasmatické retikulum má drsný povrch, k němuž zvnějšku přiléhají ribosomy. Na povrchu drsného endoplasmatického retikula jsou **syntetizované bílkoviny**.

Hladké endoplasmatické retikulum se skládá především z jemných dutých trubiček a nemá ribosomy. Hlavní činností hladkého endoplasmatického retikula je **syntéza lipidů a sacharidů**.





*Obr. 6. Hrubé endoplasmatické retikulum*

**Golgiho aparát (GA, Golgiho komplex)** je tvořen membránami, které vytvářejí soustavu diskovitých měchýřků. Okraje měchýřků přecházejí v nepravidelnou síť váčků a trubiček. V Golgiho aparátu dochází k **úpravě produktů z endoplasmatického retikula**, které jsou přenášeny pomocí měchýřků. Upravené produkty jsou uvolňovány do cytoplasmy.



*Obr. 7. Golgiho aparát*

Golgiho aparát zajišťuje vylučování odpadních látek – tzv. **exocytosu** (viz kap. 1.2). Opak exocytosu je tzv. **endocytosa**, během níž dochází k transportu živin z vnějšku do cytoplasmy (viz kap. 1.2).

Odškrabáním váčků z Golgiho aparátu vznikají samostatné organely – lyzosity a peroxisomy.

**Lyzosity** jsou malé nepravidelné organely obsahující hydrolytické enzymy. Lyzosity jsou odpovědné za **odbourávání látek** (trávicí procesy) uvnitř buňky.

**Peroxisomy** jsou malé membránou ohraničené váčky, které zajišťují **detoxikaci** čili **odbourávání alkoholu** a ostatních toxických látek ohrožujících buněčnou existenci (např. peroxid vodíku).

### **Cytoskelet**

**Cytoskelet** je soustava vláknitých bílkovinných útvarů, která má **opěrnou** a **pohybovou funkci**. Cytoskelet je přítomný pouze v eukaryotní buňce.

Existují tři typy cytoskeletárních útvarů: **mikrotubuly**, **mikrofilamenta** a **intermediální filamenta**.

### Mikrotubuly a mikrofilamenta (aktinová filamenta)

Mikrotubuly a mikrofilamenta mají některé společné vlastnosti. Celkově se jedná o dynamické útvary, které na jednom tzv. **plus konci** narůstají a na opačném tzv. **minus konci** se rozpadají.

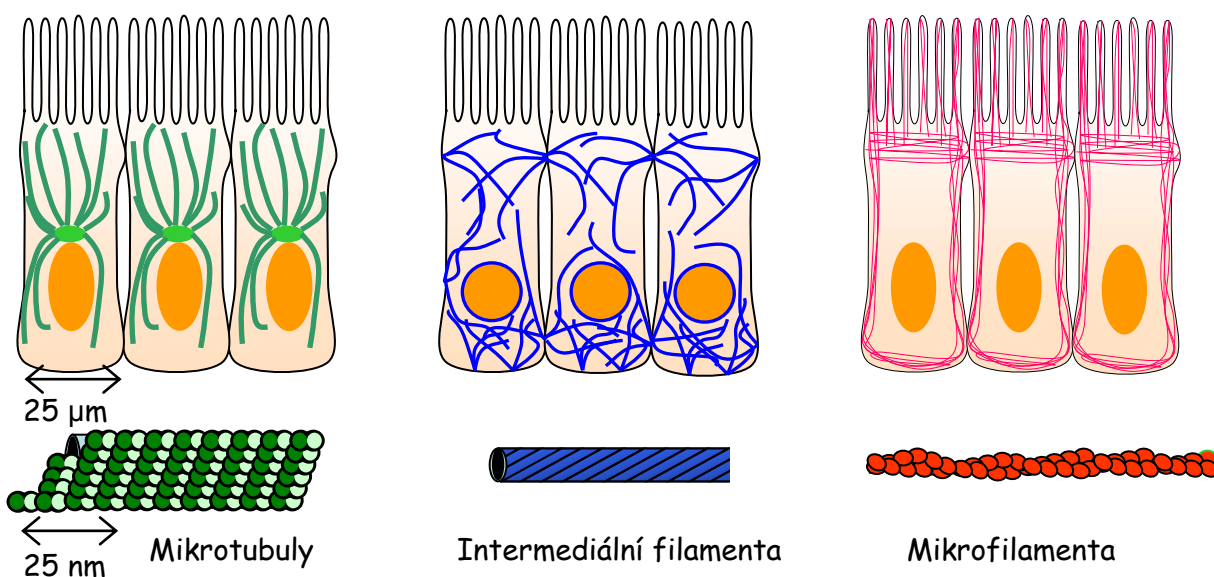
Obě struktury zajišťují **pohyb organel** pomocí tzv. **molekulárních motorů**. Jedná se o bílkoviny vázající se na mikrotubuly (kynesiny a dyneiny) nebo na aktinová vlákna mikrofilament (myosiny). S využitím energie z ATP se tyto molekulární motory mohou pohybovat určitým směrem podél vlákna a přenášet tak drobné částičky, např. membránové váčky.

Mikrotubuly jsou dlouhé duté trubice, které jsou tvořené proteinem tubulinem, který se skládá ze dvou podjednotek  $\alpha$  a  $\beta$ . V živočišných buňkách mikrotubuly vycházejí z organizačního centra z tzv. centrosomu, jenž se nalézá poblíž jádra. V centrosomu mají mikrotubuly své minus konce, plus konce směřují k periferii buňky. Hlavní funkcí mikrotubulů je určování pozice membránových buněčných organel a řízení transportu uvnitř buňky.

Mikrofilamenta (někdy též **aktinová filamenta**) jsou šroubovitě polymery proteinu aktinu. Mikrofilamenta jsou důležitá pro buněčný pohyb uskutečňovaný prostřednictvím buněčného povrchu např. při fagocytose (viz kap. 1.2).

### Intermediální filamenta

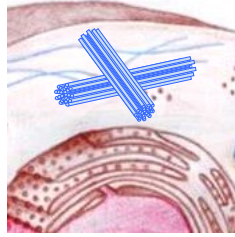
Intermediální filamenta (někdy též **střední filamenta**) jsou tvořena vláknitými molekulami bílkovin. Jejich hlavní funkcí je zajištění pevnosti buněk. Jsou nejpevnějšími a nejodolnějšími ze všech tří typů cytoskeletárních struktur. Mezi intermediální filamenta patří např. keratinová filamenta (ve vlasech) nebo neurofilamenta (v nervových buňkách).



Obr. 8. Cytoskelet

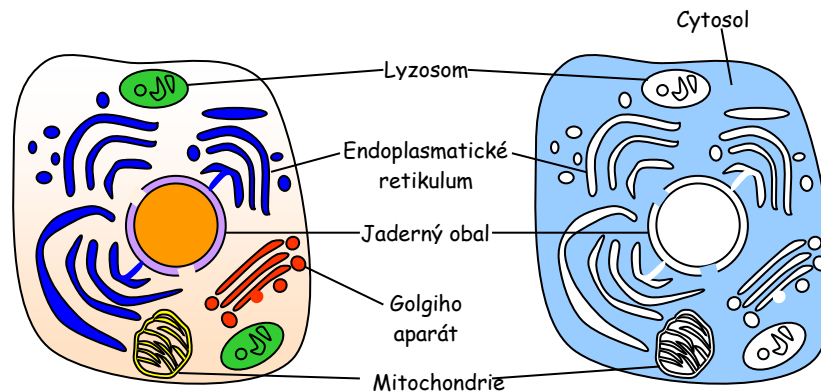
### Centrioly

Jedná se o krátké válcovité útvary tvořené devíti trojicemi mikrotubulů. V živočišných buňkách se nacházejí v blízkosti jádra v oblasti centrosomu. Každá centriola je tvořena dvěma na sebe kolnými válečky. Centrioly jsou nezbytné v procesu **buněčného dělení**.



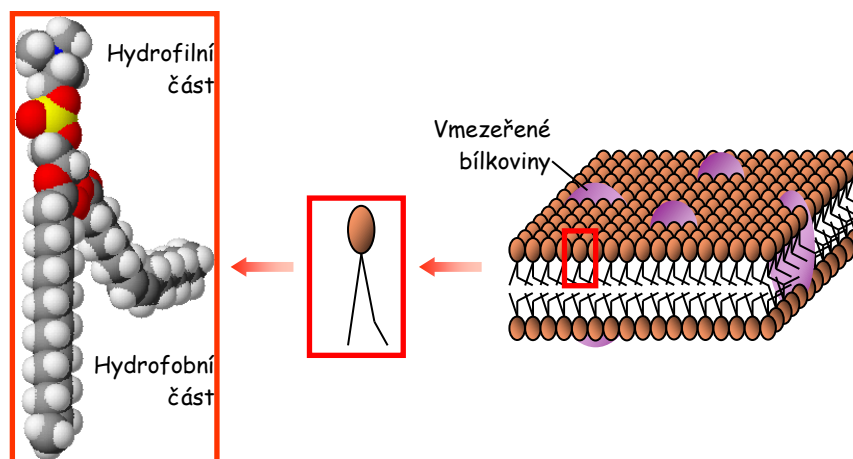
Obr. 9. Centrioly

**Cytoplasma** je tekutá látka nacházející se okolo jádra, která vyplňuje zbytek buňky. Cytoplasma je místem mnoha životně důležitých buněčných aktivit (viz kap. 4.8). Čirá cytoplasma mezi organelami se nazývá **cytosol**.



Obr. 10. Cytosol

Všechny buňky lidského těla jsou ohraničeny **plasmatickými membránami**. Základ plasmatické membrány tvoří **dvojitá vrstva složená z fosfolipidů**. Fosfolipidy jsou svými hydrofobními částmi molekul (zbytky mastných kyselin) přivráceny k sobě a hydrofilními částmi (zbytky kyseliny fosforečné) směřují od sebe. Mezi fosfolipidy jsou vmezeřeny bílkoviny. Biomembrány eukaryotních buněk obvykle obsahují steroid **cholesterol** (viz kap. 3.5).



Obr. 11. Stavba buněčné membrány

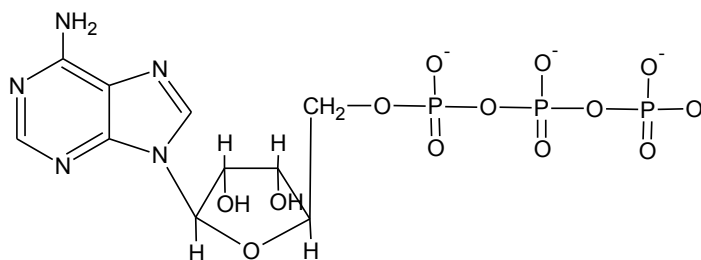
## Jakým způsobem získávají buňky energii a k čemu ji využívají?

Každý živý organismus potřebuje neustále energii. Eukaryotní buňky získávají energii štěpením živin v buněčných mitochondriích.

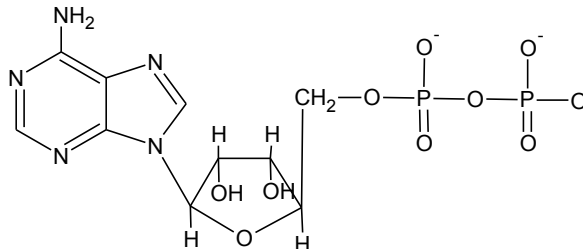
Energii buňka potřebuje pro řadu procesů, jako je syntéza bílkovin, odstraňování odpadních látek, rozmnožování, pohyb buněčných komponent i pro ostatní buněčné aktivity.

Energie uvolněná při štěpení živin není okamžitě využívána k dalším biochemickým procesům. Ukládá se do struktury tzv. **makroergických sloučenin**. V případě potřeby se tyto makroergické sloučeniny rozpadají za současného uvolnění energie.

Nejvýznamnější takovou sloučeninou je chemická látka **adenosintrifosfát (ATP)**, která ve své struktuře obsahuje tři fosfátové skupiny. Vznik vazby mezi těmito fosfátovými skupinami je energeticky velmi náročný proces, proto se molekula ATP velice snadno rozpadá za vzniku molekuly **adenosindifosfátu (ADP)**, která obsahuje pouze dvě fosfátové skupiny. Při tomto procesu se uvolňuje specifické kvantum energie, jenž buňka potřebuje pro svou činnost. Proto nemůže dojít k uvolnění přebytečné energie, a tím i ke spalování či zahřívání buňky (viz též kap. 4.1).



*Adenosintrifosfát (ATP)*

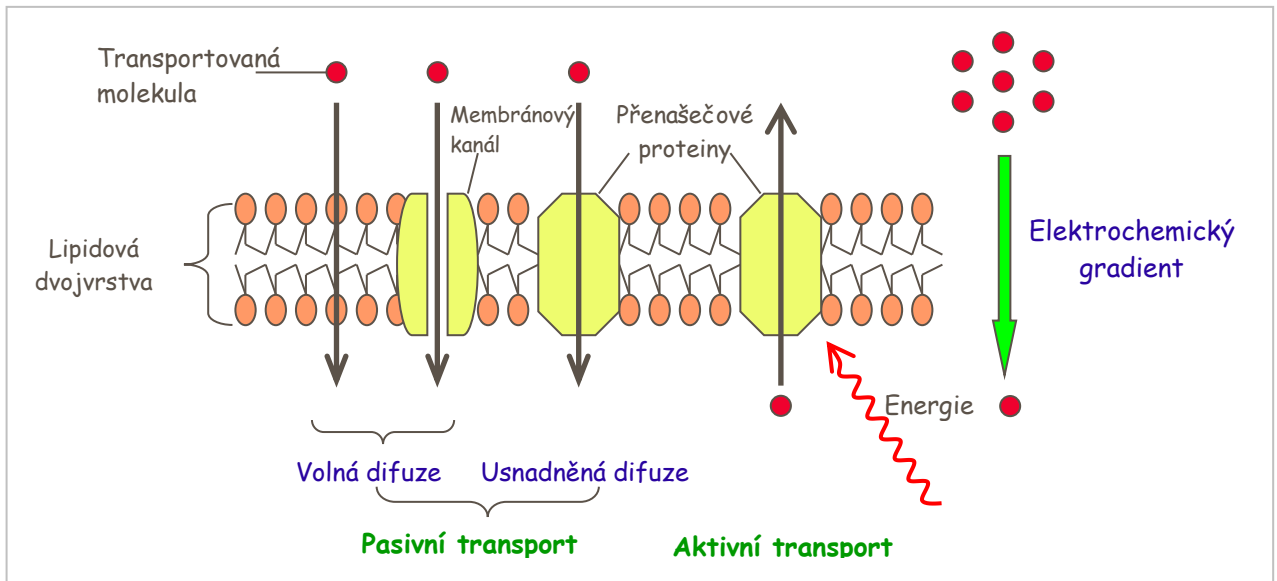


*Adenosindifosfát (ADP)*

## **1.2 Transport látek přes plasmatickou membránu**

### Jakým způsobem dochází k transportu látek přes plasmatickou membránu?

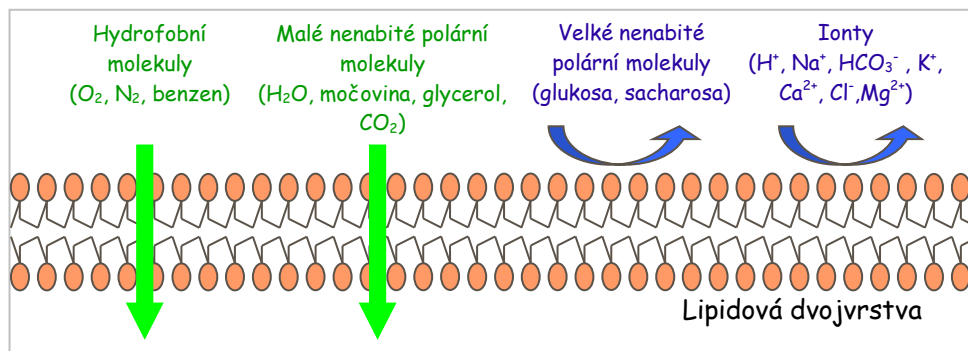
Látky prochází přes plasmatickou membránu buď po koncentračním gradientu bez spotřeby energie, poté se jedná o **pasivní transport** (viz dále volná difuze či usnadněná difuze) anebo proti koncentračnímu gradientu za spotřeby energie, v tomto případě mluvíme o **aktivním transportu**.



Obr. 12. Přenos přes plasmatickou membránu

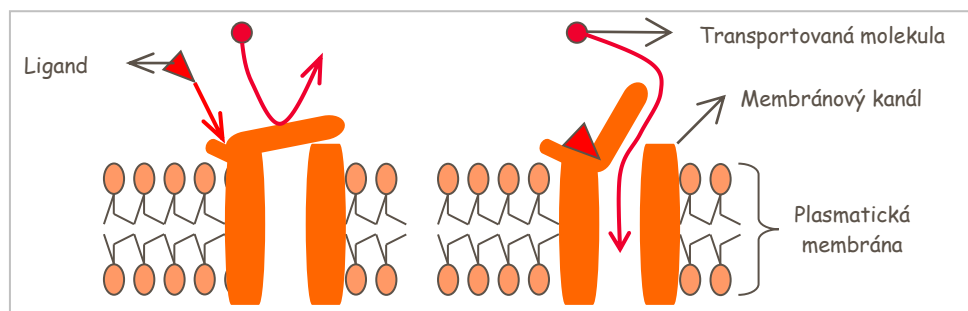
Látky procházejí plasmatickou membránou buď bez pomoci membránových proteinů (volná difuze) anebo s jejich pomocí.

**Volnou difuzí** procházejí biomembránami látky o malé molekulové hmotnosti. Jsou to např. plyny a molekuly hydrofobního charakteru.



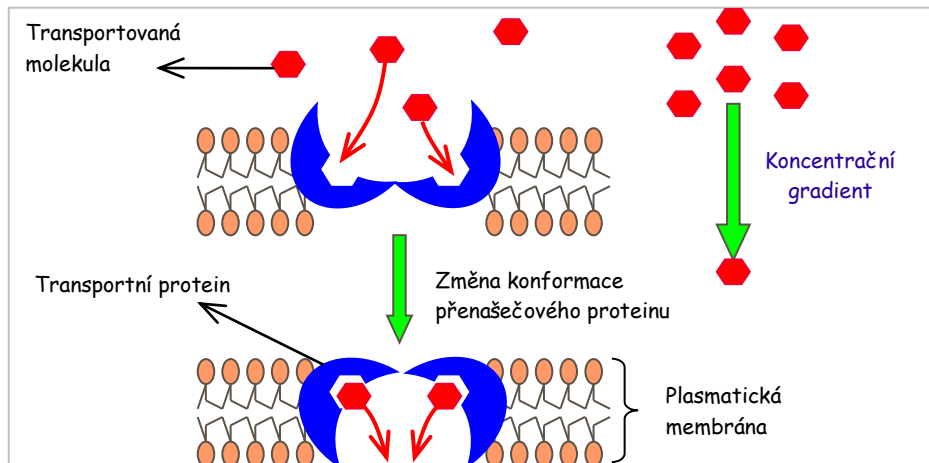
Obr. 13. Volná difuze

**Membránové proteiny** mohou být buď membránové kanály či přenašečové proteiny (viz dále přenašečový transport). Membránové kanály usnadňují látce proudit oběma směry (ven i dovnitř buňky), přenašečové proteiny váží přenášené látky, kdy pomocí konformačních změn přesunou látku na druhou stranu.



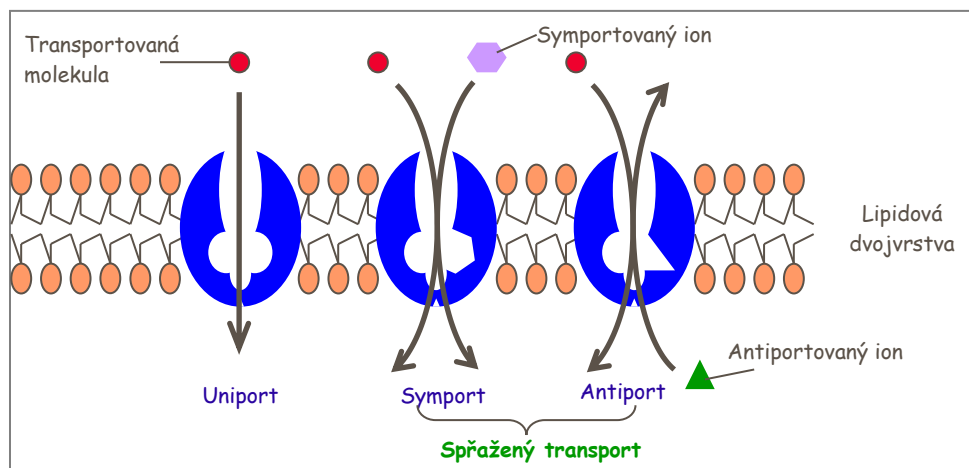
Obr. 14. Uzavřený a otevřený membránový kanál

Tok částic membránovým kanálem může být regulován specifickým signálem nebo ligandem (např. neurotransmiterem), který změní konformaci proteinů tvořících membránový kanál.



Obr. 15. Přenašečový protein

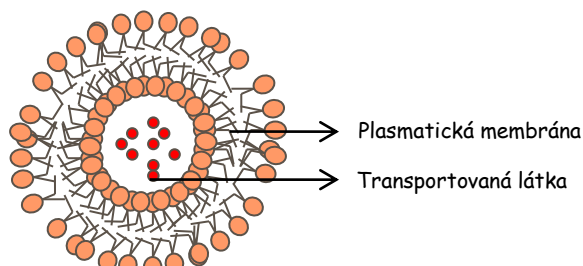
**Přenašečový transport** může být buď pasivní (probíhá bez dodání energie) nebo aktivní (závisí na dodání energie). Dále se přenašečový transport dělí na **uniport** (přenos jedné molekuly), **symport** (přenos je spojen s jinou molekulou procházející týmž směrem) a **antiport** (spojeno s jinou molekulou procházející opačným směrem).



Obr. 16. Uniport, symport a antiport

Mezi důležité přenašečové transporty patří ATPasa, která využívá jako zdroj energie ATP.

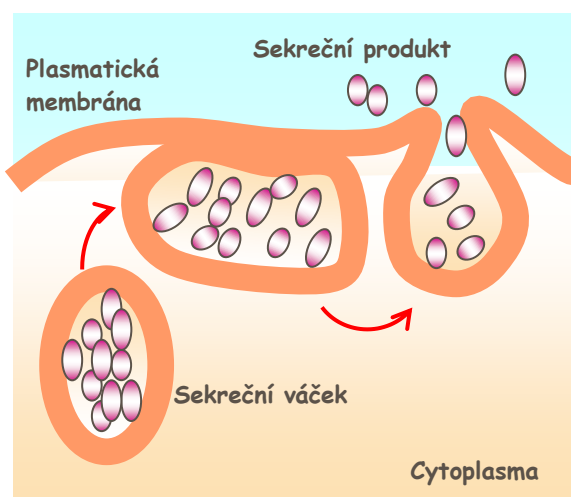
Zcela jiným mechanismem dochází k tzv. **cytose**. Během cytose je transportovaná látka obalena plasmatickou membránou pocházející z ER nebo GA za vzniku **cytotického váčku**.



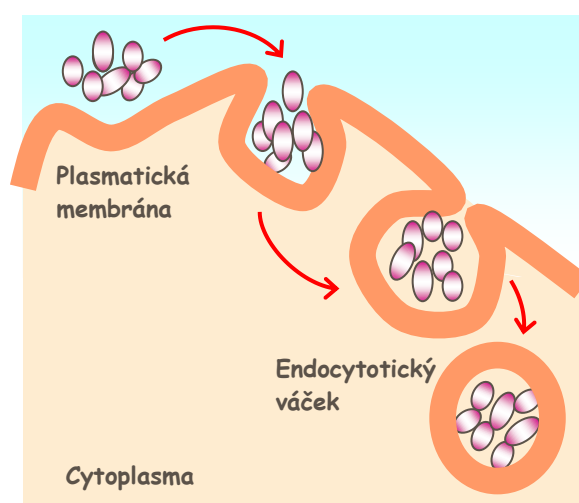
Obr. 17. Cytotický váček

Jestliže je váček transportován z vnitřku buňky do jejího okolí, jedná se o **exocytosu** (sekrece). Kolem odpadní látky se vytvoří **exocytotický** (sekreční) **váček**, který putuje k plasmatické membráně. Sekreční váček splyne s plasmatickou membránou a uvolní jeho obsah do okolí buňky.

Opakem exocytosy je tzv. **endocytosa**, během níž dochází k transportu živin z okolí buňky do cytoplasmy. Při endocytose se nejprve kolem živin vytvoří membránový záhyb. Tento záhyb se zaškrtní a oddělí za vzniku **endocytotického váčku**, v němž se transportují živiny do nitra buňky. Jsou-li endocytosou přijímány látky rozpuštěné, mluvíme o **pinocytose** („buněčné pití“). Jsou-li přijímány pevné částičky, poté hovoříme o **fagocytose** („buněčné požívání“). V těle savců fagocytují např. některé bílé krvinky (makrofágy), které „požívají“ bakterie.



Obr. 18. Exocytosa



Obr. 19. Endocytosa

## 2 Nukleové kyseliny a syntéza bílkovin

### 2.1 Struktura DNA a RNA

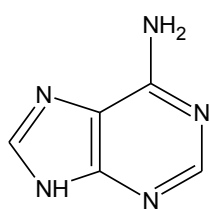
Existují dva typy nukleových kyselin (NA, z anglických slov *nucleic acid*): **deoxyribonukleová (DNA)** a **ribonukleová (RNA)**.

DNA je lokalizována v buněčném jádře, RNA v cytoplasmě.

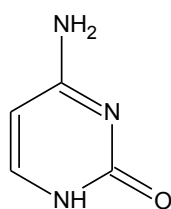
#### Jaká je primární struktura DNA a RNA?

DNA a RNA jsou tvořeny z **nukleotidů**. Nukleotidy se skládají:

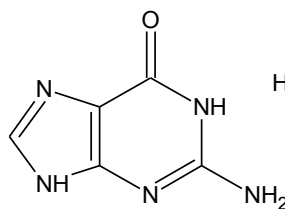
- z dusíkaté heterocyklické báze (z **adeninu**, **cytosinu**, **guaninu**, **thyminu** a **uracilu**);
- z pentosy (z **deoxyribosy** v DNA, z **ribosy** v RNA);
- ze zbytku kyseliny fosforečné.



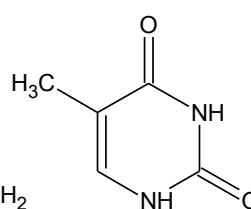
Adenin



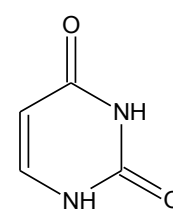
Cytosin



Guanin

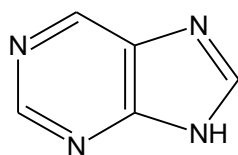


Thymin

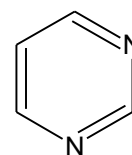


Uracil

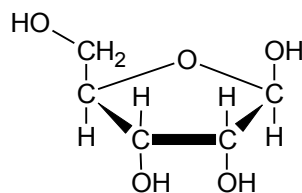
Adenin a guanin patří mezi deriváty purinu; thymin, cytosin a uracil patří mezi pyrimidinové deriváty. Thymin, adenin, guanin a cytosin jsou složky DNA, kdežto RNA tvoří adenin, guanin, cytosin a uracil;



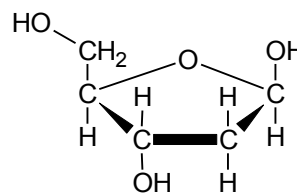
Purin



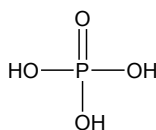
Pyrimidin



D-Ribosa



2-deoxy-D-ribosa

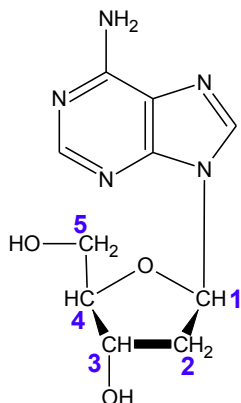


Kyselina fosforečná (ve vodných roztocích ve formě iontu – viz kap. 4.1)

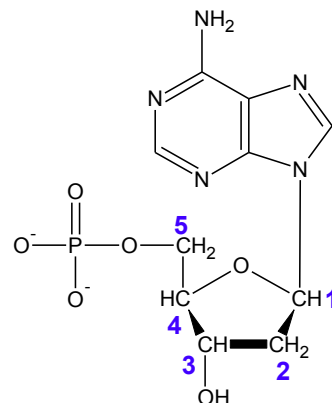


### Jaký je rozdíl mezi nukleotidem a nukleosidem?

**Nukleosid** se skládá pouze z dusíkaté báze a pentosy.



*Nukleosid (pentosa + báze)*

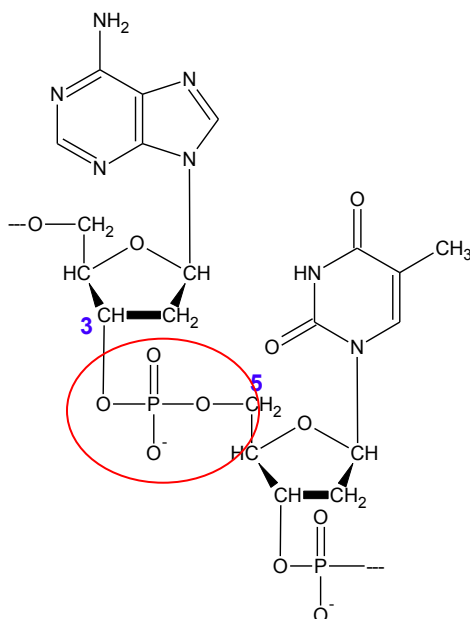


*Nukleotid (pentosa + báze + zbytek od kyseliny fosforečné)*

V uvedených vzorcích jsou uhlíky pentosy modře očíslovány (viz dále).

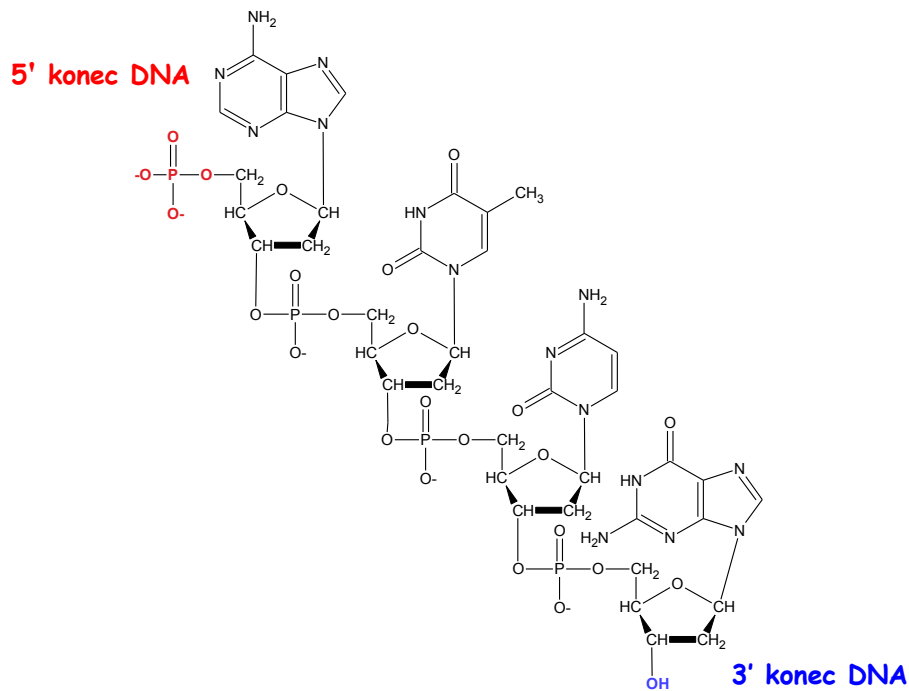
### Jak jsou jednotlivé nukleotidy mezi sebou vázány?

Mezi fosfátovou skupinou na 5. uhlíku pentosy prvního nukleotidu a hydroxylovou skupinou na 3. uhlíku pentosy druhého nukleotidu vzniká tzv. **fosfodiesterová vazba**.



*Obr. 20. Fosfodiesterová vazba*

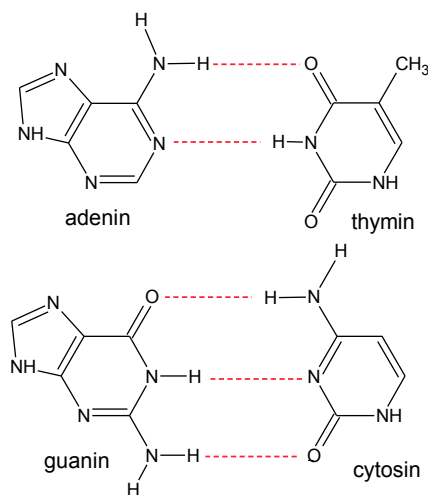
Na jednom konci DNA je hydroxylová skupina -OH pentosy (**3' konec**). Na druhém konci DNA je fosfátová skupina od zbytku kyseliny fosforečné (**5' konec**).  
Na povrchu je NA velmi silně záporně nabitá.



Obr. 21. Úsek řetězce DNA

### Co je komplementarita bází?

Dusíkaté báze se mohou mezi sebou pomocí vodíkových vazeb párovat. To, které báze se budou mezi sebou párovat, není dáno náhodně. Je to dáno jejich **komplementaritou**, tj. adenin se páruje buď s thyminem (v DNA) nebo s uracilem (v RNA), guanin s cytosinem a naopak. Toto komplementární párování bází umožňuje párům bází zaujmout energeticky nejvýhodnější konformaci v rámci **dvoušroubovice**.

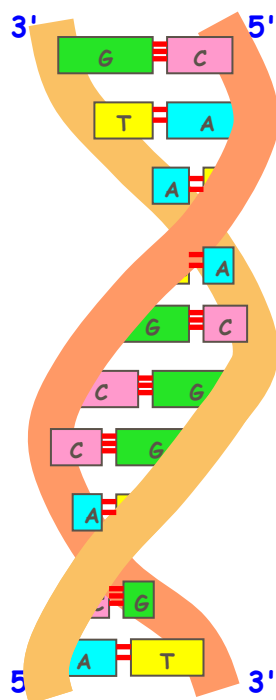


Obr. 22. Párování bází

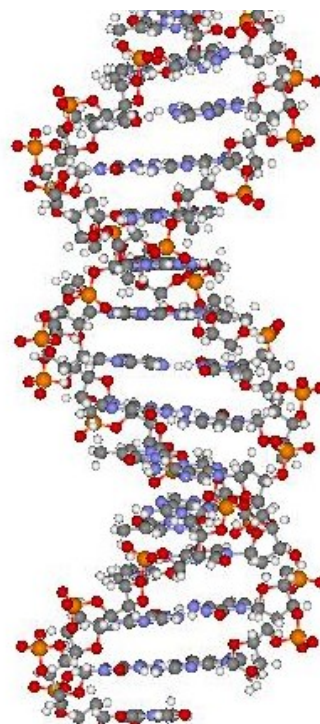
### Jaká je sekundární struktura DNA?

DNA je stočena do **pravotočivé dvoušroubovice**, která je stočena ze dvou komplementárních vláken DNA.

Řetězce v dvoušroubovici DNA jsou vůči sobě **antiparalelní**, tzn. že polarita jednoho řetězce je opačná k polaritě druhého řetězce DNA.



Obr. 23. Polarita pravotočivé dvoušroubovice



Obr. 24. Počítačový model DNA

Vodíkové vazby a tato zdvojená šroubovice přispívají k co největší stabilizaci molekuly DNA.

#### Typy DNA:

**B DNA** (nejčastější) – jedná se o pravotočivou dvoušroubovici mající zhruba 10 bází na závit; báze tvořící pár leží vždy v jedné rovině; dvoušroubovice DNA má na svém povrchu dva typy žlábků (malý a velký);

**A DNA** – opět se jedná o pravotočivou dvoušroubovici; má 11 párů bází na závit;

**Z DNA** – jedná se o levotočivou dvoušroubovici; vytváří se, pokud se ve šroubovici objeví pravidelné opakování bází adeninu a thyminu;

**cirkulární DNA** (kruhová DNA) – prokaryotní DNA i DNA semiautonomních organel (např. mitochondrií) jsou kruhové.

#### Jaká je sekundární struktura RNA?

RNA je složena pouze z jednoho různě stočeného vlákna. Pokud se blízko sebe ocitnou dva komplementární úseky vlákna RNA, mohou se mezi bázemi vytvořit vodíkové vazby.

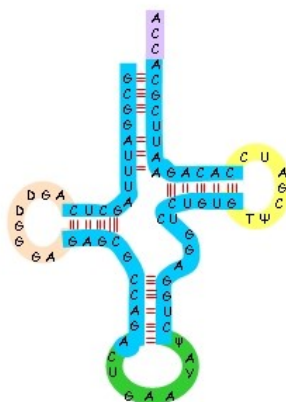
#### Typy RNA:

**mRNA** (informační, mediatorová) – vzniká přepisem genů kódujících aminokyselinovou sekvenci proteinů a její základní funkcí je řídit vznik proteinu;

**rRNA** (ribosomální) – tvoří jádro ribosomů, na kterých je mRNA překládána do proteinu;

**tRNA** (transferová) – vybírá správné aminokyseliny a umísťuje je do správného místa na ribosomu, aby mohly být začleněny do rostoucího aminokyselinového řetězce.

rRNA a tRNA vznikají přepisem genů nekódujících aminokyselinovou sekvencí proteinu a jedná se o tzv. neinformační RNA.



Obr. 25. Molekula tRNA

## 2.2 Chromosom

### Jakou podobu zaujímá molekula DNA v lidském buňce?

DNA každého organismu kóduje veškerou RNA a proteiny, které jsou potřebné pro vznik jeho buněk.

Jádro typické lidské buňky má průměr přibližně 5-8  $\mu\text{m}$  a obsahuje DNA o délce asi 2 metry,<sup>(1)</sup> proto v eukaryotních buňkách jsou enormně dlouhé molekuly DNA asociovány se specifickými proteiny a sbaleny do **chromosomů**. U eukaryotních organismů je DNA v jádře rozdělena mezi sadu různých chromosomů. Každý chromosom se skládá z jedné molekuly DNA a komplexu bílkovin – **histonů**, které jsou navázané na DNA, aby umožnily svinutí DNA do kompaktnější struktury. Komplex DNA a proteinů se nazývá **chromatin**.

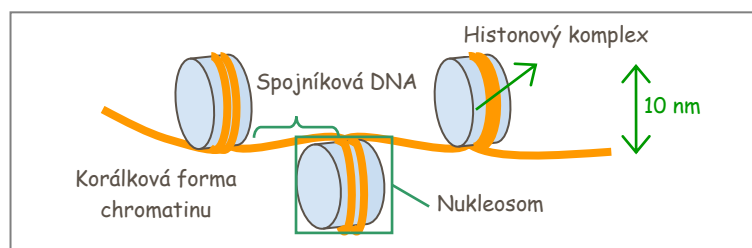
Chromosomy se vyskytují v kondenzovaném stavu (sbaleném) jen v malé části buněčného cyklu, a to v době buněčného dělení (jedná se o tzv. **mitotické chromosomy**). Jinak jsou obvykle chromosomy značně rozvolněné a vypadají jako jedna dlouhá, tenká, vzájemně propletená vlákna (tzv. **interfázové chromosomy**).

Před každým dělením buňky se každý chromosom musí samostatně zreplikovat (viz kap. 2.4) a jeho kopie musí být rozděleny do obou dceřiných buněk.

V mitotických chromosomech se nachází již zreplikovaná DNA a transkripce (viz kap. 2.5) je během mitosy zastavena.

### Jaká je struktura interfázového chromosomu?

Zjistilo se, že DNA je obtočena okolo histonového komplexu. Kolem histonového komplexu, jenž je tvořen 8 monomery histonů a má tvar nízkého válce o průměru 8 nm, je molekula DNA obtočena necelými dvěma závity - vzniká tak **10 nm vlákno**. Komplex histonů a dvouřetězcové DNA, která ho obtáčí, se nazývá **nukleosom**.



Obr. 26. 10 nm vlákno

Jednotlivé nukleosomy spolu souvisejí kratšími úseky DNA. Histony jsou malé proteiny s vysokým obsahem kladně nabitých aminokyselin (lysin a arginin). Tyto pozitivní náboje umožňují pevné navázání histonů na negativně nabitou molekulu DNA (viz kap. 2.1).

### **Jaká je struktura mitotického chromosomu?**

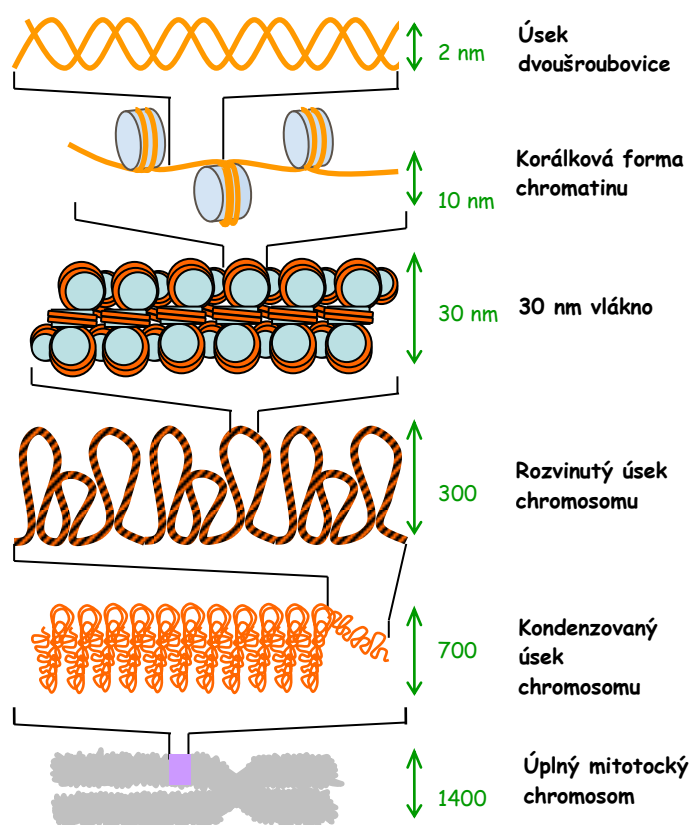
Před vstupem do mitózy (jedno ze stádií buněčného dělení) dochází k postupnému sbalování chromatinu. Chromatin se dále stáčí za vzniku tzv. **solenoidu**. Na jeden závit solenoidu připadá přibližně 6 nukleosomů. Vzniká tak **30 nm vlákno**.

30 nm vlákno je dále organizováno do smyček připojených k centrální ose – tzv. lešení (**scaffold**), které je bílkovinné povahy (nehistonové proteiny).

Jak se stávají chromosomy kompaktnější (vznikají tzv. **mitotické chromosomy**), transkripce je zablokována, neboť RNA-polymerasa (viz kap. 2.5) a ostatní proteiny nutné pro transkripci se nemohou vázat na DNA. Proto v mitotické fázi jsou již všechny chromosomy zreplikovány (viz kap. 2.4).

Solenoid se dále stáčí až na **chromatidu**. Mitotický chromosom je složený ze dvou dceřinných chromatid.

Molekula DNA je stočena do chromatid pouze během jaderného dělení (v mitóze).



Obr. 27. Struktura mitotického chromosomu

## **2.3 Genetická informace**

### **Co je nositelem genetické informace?**

Při buněčném dělení dochází k přenosu dědičné informace z mateřské buňky do dceřinné. Tato informace je v každé buňce uložena v podobě **genů** (nositelů genetické informace), což jsou úseky řetězce molekuly DNA, ve kterých je zakódována kompletní informace o určitém polypeptidovém řetězci (bílkovině). Molekula DNA je pro každého

člověka univerzální (s výjimkou jednovaječných dvojčat). Najdeme ji v každé buňce lidského těla. DNA např. určuje jakou barvu očí či vlasů bude mít ten který člověk. Způsobuje to právě ten strukturální gen, jenž je zmíněným úsekem DNA zodpovídající za barvu očí, vlasů popř. za jiné vlastnosti.

Kompletní soubor genetické informace uložené v DNA se nazývá **genom**.

Informace kódovaná ve struktuře DNA je dána pořadím nukleotidů v řetězci (lineární sekvence nukleotidů v DNA je překládána pomocí genetického kódu do lineární sekvence aminokyselin – viz kap. 2.5 a 2.6).

## 2.4 Replikace DNA

### K čemu dochází během procesu replikace DNA?

Před každým dělením buňky se každý chromosom musí samostatně **zreplikovat** a jeho kopie musí být rozděleny do obou dceřinných buněk. Při tomto procesu dochází k přenosu dědičné informace z mateřské buňky do dceřinné. Oba řetězce DNA obsahují navzájem komplementární sekvence nukleotidů, proto oba mohou sloužit jako **templát** (matrice, předloha) pro syntézu nového komplementárního řetězce.

Replikace DNA je **semikonzervativní**, protože výsledkem replikace jsou dvě dceřinné dvoušroubovice, z nichž každá má jedno vlákno původní (mateřské) a jedno nově nasyntetizované.

### Jak začíná replikace?

Celý proces replikace začínají **iniciační proteiny**, které se vážou na DNA a rozvíjejí její dvoušroubovicovou strukturu přerušováním vodíkových vazeb. Místům, kde je struktura dvoušroubovice nejdříve narušena, se říká **replikační počátky** a jsou určeny speciální nukleotidovou sekvencí.

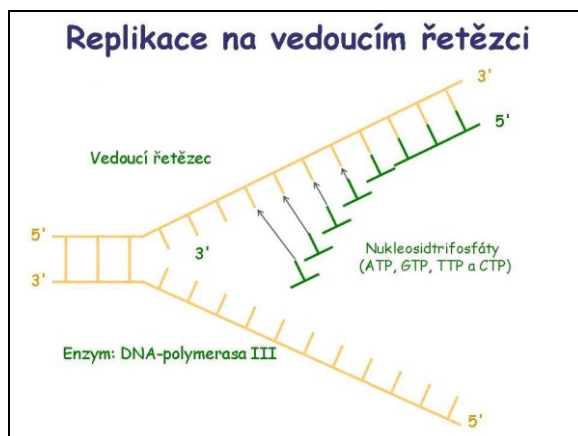
Bakteriální genom, který je obvykle tvořen jednou kruhovou DNA o délce několika milionů bází má jediný replikační počátek. Lidský genom, který má přibližně  $3 \times 10^9$  nukleotidů má zhruba 10 000 takovýchto počátků.<sup>(1)</sup> Jejich velký počet umožňuje lidské buňce zreplikovat veškerou DNA během relativně krátké doby.

### Co jsou replikační vidličky?

Pro začátky replikace jsou typické útvary ve tvaru písmena Y, které se nazývají **replikační vidličky**. V replikačních vidličkách jsou navázány proteiny replikačního aparátu (viz dále), které se pohybují ve směru replikace a rozvíjejí dvoušroubovicovou strukturu za současné syntézy nového řetězce. V jednom replikačním počátku se vytvoří dvě replikační vidličky, které se pohybují směrem od sebe, proto je tato replikace nazývána **obousměrná**.

### Jakou funkci má enzym DNA-polymerasa?

Nejdůležitějším replikačním enzymem je **DNA-polymerasa** (viz tab. 1), která syntetizuje nové vlákno DNA podle původního řetězce. Tento enzym katalyzuje připojování nukleotidů na 3' konec rostoucího řetězce DNA za vzniku fosfodiesterové vazby mezi hydroxylovou skupinou na 3. uhlíku pentosy rostoucího řetězce a fosfátovou skupinou na 5. uhlíku pentosy přidávaného nukleotidu. **DNA je syntetizována ve směru 5' → 3'** (tzn., že narůstá na 3' konci).

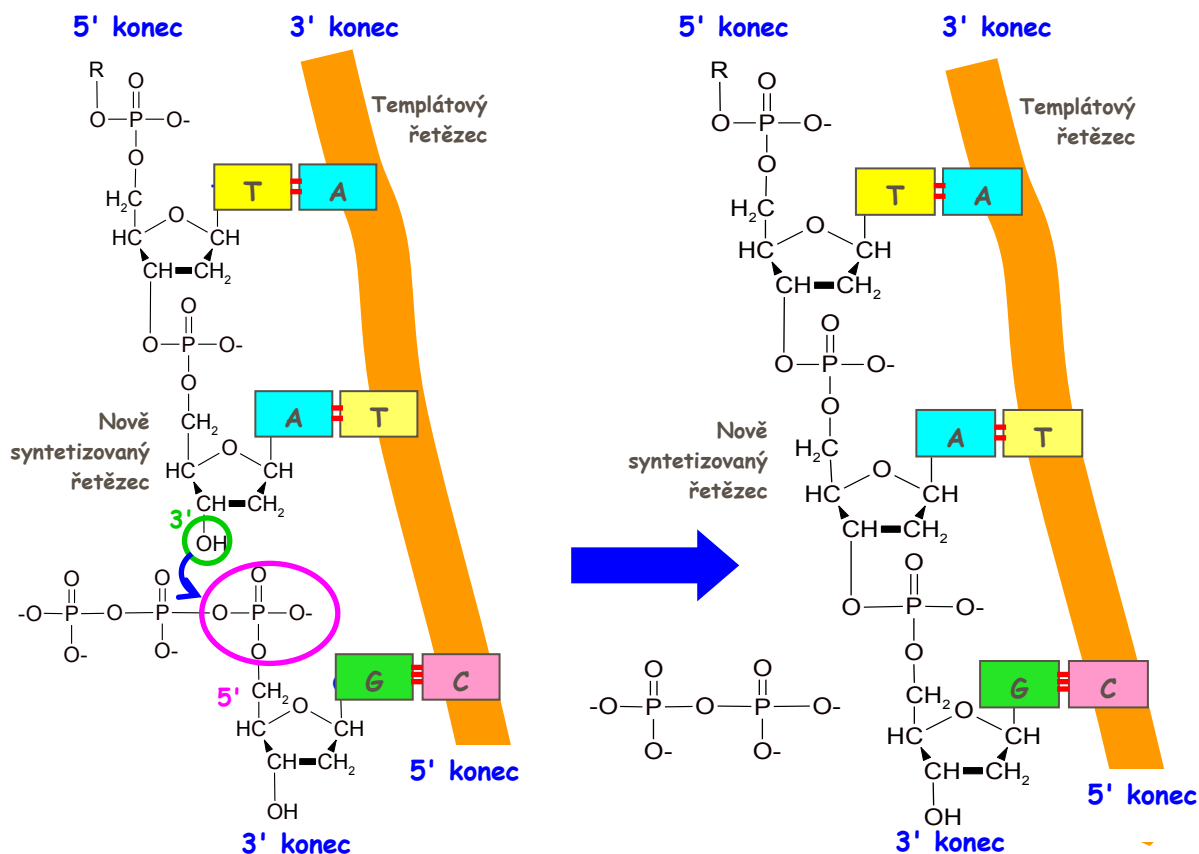


Obr. 28. Replikace na vedoucím řetězci

Tab. 1. Funkce enzymu DNA-polymerasy I resp. III

DNA-polymerasa I	vyplňuje vzniklé mezery v řetězci DNA
	opravovač chyb v párování bází v DNA ( $3' \rightarrow 5'$ exonukleasová aktivita, hydrolyzuje DNA od 3' konce); viz korektorská schopnost DNA-polymerasy
	odbourává primery ( $5' \rightarrow 3'$ exonukleasová aktivita, hydrolyzuje DNA od 5' konce)
DNA-polymerasa II	funkce není zcela objasněna, předpokládá se, že je funkčně podobná DNA-polymerase I <sup>(23)</sup>
DNA-polymerasa III	<b>syntetizuje DNA</b>
	opravovač chyb v párování bází v DNA ( $3' \rightarrow 5'$ exonukleasová aktivita, hydrolyzuje DNA od 3' konce); viz korektorská schopnost DNA-polymerasy

Nukleotidy vstupují do reakce jako **energeticky bohaté deoxynukleosidtrifosfáty** (dATP, dTTP, dGTP a dCTP) a dodávají energii polymerizační reakci. Energie uvolněná hydrolyzou jedné fosfodiesterové vazby v deoxynukleosidtrifosfátu je dostatečná pro kondenzační reakci, při které se váže deoxynukleotidový monomer (dAMP, dTMP, dGMP a dCMP) do nově syntetizovaného řetězce za současného uvolnění difosfátu. DNA-polymerasa se neodděluje od DNA po každém přidání nukleotidu, ale zůstává navázána na DNA a během polymerace se podél ní pohybuje.



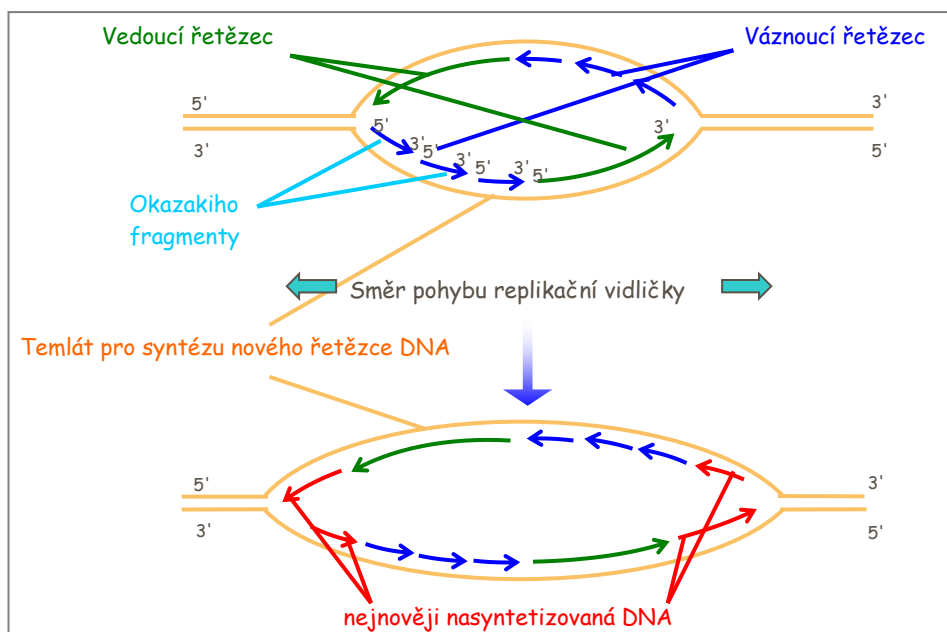
Obr. 29. a 30. Vznik fosfodiesterové vazby

### Proč jsou replikační vidličky asymetrické?

DNA-polymerasa je schopna syntetizovat nové vlákno pouze prodlužováním 3' konce DNA. V replikační vidličce nastává problém, protože původní dvoušroubovice se skládá ze dvou antiparalelních řetězců (je asymetrická). Jeden nový řetězec je v replikační vidličce syntetizován podle templátu ve směru 3' → 5'. (Vzniká 5' → 3' řetězec). Druhý nový řetězec je v replikační vidličce syntetizován podle templátu ve směru 5' → 3'. Avšak neexistuje DNA-polymerasa, která by dokázala prodlužovat 5' konec DNA. Tudíž v tomto směru roste **diskontinuálně** tzn., že jsou ve směru 5' → 3' syntetizovány krátké úseky DNA (tzv. **Okazakiho fragmenty**), které jsou následně spojovány v kontinuální řetězec.

Řetězec, který je tvořen kontinuálně, se nazývá **vedoucí řetězec**. Řetězec, který je tvořen diskontinuálně, se nazývá **opožd'ující se** nebo též **vážnucí řetězec**.

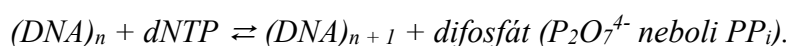




Obr. 31. Asymetričnost replikační vidličky

### Co znamená korektorská schopnost DNA-polymerasy?

DNA-polymerasa katalyzuje reakci:



DNA-polymerasa je schopna hydrolyzovat DNA od 3' konce ( $3' \rightarrow 5'$  exonukleasová aktivita). Připojí-li se chybný nukleotid, vznikne nestabilní produkt (nukleotid se chybně páruje s nukleotidem v templátu), čímž dojde k posunutí rovnováhy ve směru výchozích látek. Proto DNA-polymerasa je velice přesně párující enzym, který udělá průměrně jednu chybu na  $10^7$  zreplikovaných párů bází. Proto taky DNA-polymerasa neumí začít syntetizovat nové vlákno (neboť přidává další nukleotid po kontrole správného párování předcházejících bází).

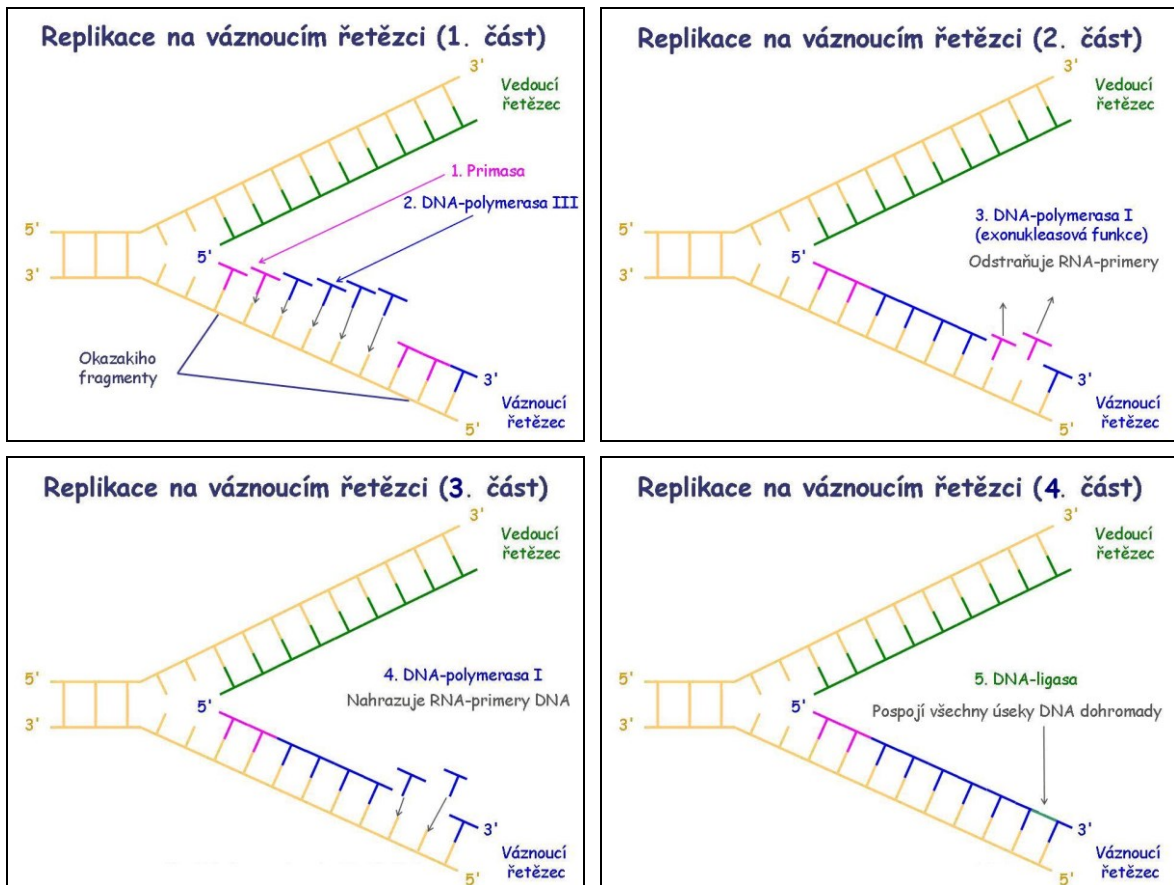
### Jaká je funkce enzymu primasy?

Protože DNA-polymerasa neumí začít syntetizovat nové vlákno, musí existovat jiný enzym, který by dokázal spojit dva volné nukleotidy a začal syntetizovat nové vlákno podle jednořetězcové DNA. Tento enzym se nazývá **primasa**. Primasa ale nesyntetizuje DNA, ale krátké úseky RNA mající cca 10 nukleotidů. Tyto úseky se párují na základě komplementarity s templátovým řetězcem a poskytují 3' konec pro DNA-polymerasu. Slouží tedy jako **primery** pro syntézu DNA. Při syntéze vedoucího řetězce je třeba pouze jeden RNA-primer. Syntéza opožděujícího se řetězce je však diskontinuální a vyžaduje neustále tvorbu RNA-primerů.

### Jak vzniká souvislé vlákno DNA z Okazakiho fragmentů?

Opožděující řetězec je tvořen mnoha oddělenými úseky DNA tzv. **Okazakiho fragmenty**. Na vytvoření souvislého vlákna DNA z Okazakiho fragmentů jsou třeba tyto enzymy: **DNA-polymerasa I** – odstraňuje RNA-primery (exonukleasová funkce) a nahrazuje RNA-primery DNA a **DNA-ligasa** – pospojuje všechny úseky dohromady.

Primasa nemá schopnost provádět korekce, proto v primerech vzniká mnoho chyb. Primery jsou však určeny k degradaci a DNA-polymerasa I má obdobně jako replikační DNA-polymerasa III korektorskou schopnost, proto replikační aparát zajišťuje přesnost kopírování templátu.



Obr. 32-35. Replikace na váznoucím řetězci

Nejprve enzym primasa nasyntetizuje krátký úsek RNA (tzv. RNA-primer, na obrázku znázorněno fialově). Poté enzym DNA-polymerasa III nahradí primasu a začne syntetizovat nové vlákno DNA napojením na nasyntetizovaný RNA-primer. Vzniká tzv. Okazakiho fragment (viz 1. část). V momentě, kdy již není volné místo pro pokračování syntézy DNA, nasedá enzym DNA-polymerasa I, která odstraňuje RNA-primery (viz 2. část) a nahrazuje je vláknem DNA (viz 3. část). Nakonec enzym DNA-ligasa spojí všechny úseky DNA (resp. Okazakiho fragmenty) dohromady (viz 4. část).

### Jaká je funkce replikačního aparátu?

Replikace DNA vyžaduje spolupráci několika druhů enzymů. Replikační aparát umožňuje vznik a posun replikační vidličky a syntézu nové DNA.

Hlavní složky replikačního aparátu:

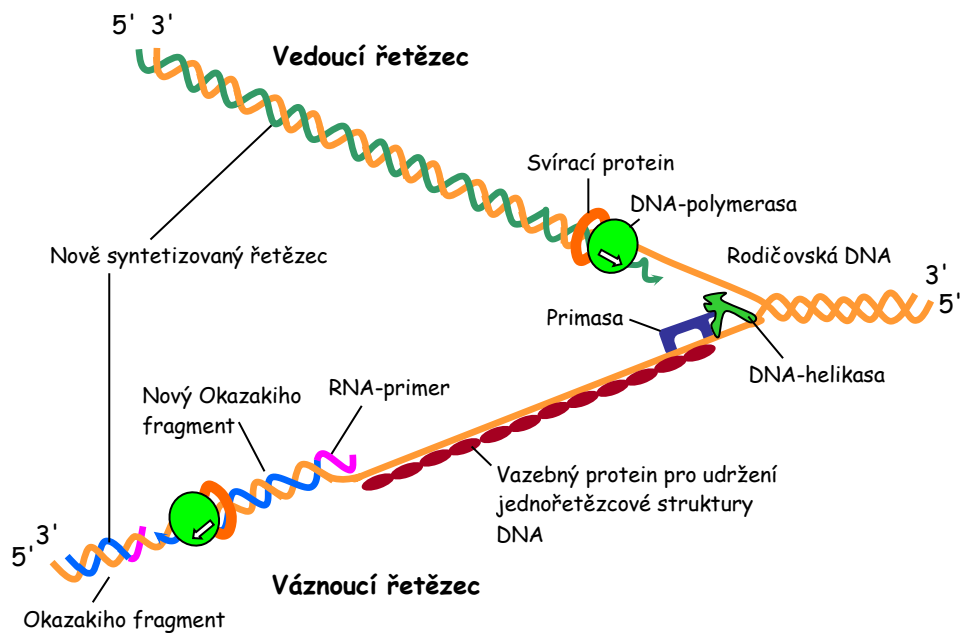
**DNA-polymerasa** (viz výše);

**primasa** (viz výše);

**helikasa** – využívá energii z hydrolýzy ATP k pohybu podél DNA a současněmu rozvíjení dvoušroubovicové struktury;

**SSB-proteiny** (single-strand binding proteins) – ochraňují jednořetězcovou DNA uvolněnou helikasou před znovuspárováním;

**svírací protein** (sliding clamp) – pevně váže DNA-polymerasu na templát. Má tvar prstence, který obemyká DNA a pohybuje se podél ní i s navázanou DNA-polymerasou ve směru replikace.



Obr. 36. Replikační aparát

Takto popsaný průběh procesu replikace probíhá u prokaryotních organismů. U eukaryotních organismů probíhá obdobným způsobem. U eukaryotních organismů existuje 5 druhů DNA-polymeras:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  a  $\epsilon$ .

## 2.5 Transkripce

### K čemu dochází během procesu transkripce?

Jestliže buňka potřebuje nějaký konkrétní protein, je nukleotidová sekvence v patřičné oblasti dlouhé molekuly DNA v chromosomu nejprve zkopírována do **mRNA** (mediatorová, informační RNA). Tato RNA je přímo využívána jako **templát** (předloha, matrice) pro tvorbu proteinů. Genetická informace je tedy předávána z DNA do RNA procesem zvaným transkripce a následně z RNA do proteinu procesem zvaným translace.

Prvním krokem pro uplatnění genetické informace v buňce je přepsání části nukleotidové sekvence DNA – genu – do nukleotidové sekvence RNA. Tento proces se nazývá **transkripce** a je v mnoha krocích podobný replikaci DNA. Přepis celého genu označujeme jako **expresi** (vyjádření) **genu**.

Veškerá RNA v buňce vzniká transkripcí.

### Jak začíná transkripce?

**Transkripce** začíná rozvolňováním krátkého úseku dvoušroubovice DNA, jeden z řetězců pak slouží jako templát pro syntézu RNA. Ribonukleotidová sekvence RNA je určena komplementárním párováním bází. Jestliže se volný ribonukleotid páruje s deoxyribonukleotidem v templátové DNA, je tento ribonukleotid kovalentně připojen fosfodiesterovou vazbou k rostoucímu řetězci RNA v enzymově katalyzované reakci.

U eukaryotních organismů nejprve musí dojít ke vzniku poměrně složitého transkripčního iniciačního komplexu za přítomnosti několika transkripčních faktorů (= regulační proteiny).

### Co vzniká během transkripce a proč je RNA jednovláknová?

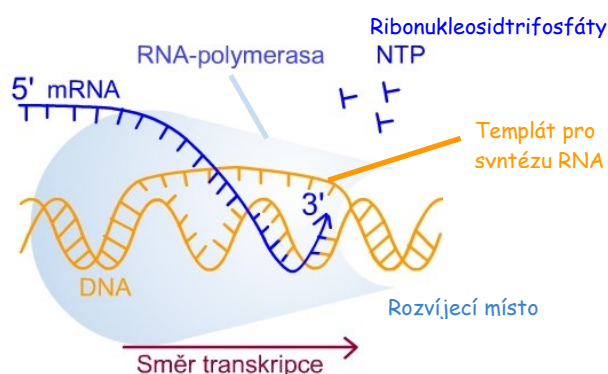
Řetězec RNA vznikající transkripcí se nazývá **transkript**. Transkript je prodlužován a má stejnou sekvenci jako vlákno DNA, které je komplementární k templátovému řetězci DNA. RNA nezůstává spojena s templátovou DNA vodíkovými vazbami. Místo toho dochází za místem, kde byl přidán ribonukleotid, k obnově dvoušroubovicové struktury DNA a vytěsnění vlákna RNA. Proto jsou molekuly RNA jednovláknové.

Vzhledem k tomu, že dochází k přepisu pouze malé části DNA, jsou molekuly RNA mnohem kratší (cca několik 1000 ribonukleotidů).

### Jaká je funkce enzymu RNA-polymerasy?

Enzymy, které přepisují DNA do RNA, se nazývají **RNA-polymerasy**. Katalyzují vznik fosfodiesterové vazby, která spojuje jednotlivé ribonukleotidy a vytváří tak cukr-fosfátovou kostru RNA. RNA-polymerasa se pohybuje krok po kroku po DNA, rozvíjí její dvoušroubovicovou strukturu a uvolňuje tak vlákno pro komplementární párování s volnými ribonukleotidy. RNA je syntetizována ve směru 5' → 3'. Pro její syntézu je využívána energie vznikající hydrolýzou ribonukleosidtrifosfátu (ATP, UTP, GTP a CTP) – viz kap. 2.4.

U prokaryotních organismů existuje pouze jeden typ RNA-polymerasy, u eukaryotních organismů existují tři typy RNA-polymeras: I, II a III.



Obr. 37. Transkripce a RNA-polymerasa

### Proč transkripce není tak přesná jako replikace?

RNA-polymerasa **postrádá korektorskou schopnost**, tzn., že před přidáním dalšího ribonukleotidu do řetězce RNA nekontroluje, zda se předcházející ribonukleotid správně páruje, a proto může RNA-polymerasa začít syntetizovat nový RNA řetězec bez potřeby primeru.

Transkripce (1 chyba na  $10^4$  nukleotidů) není a ani nemusí být tak přesná jako replikace (1 chyba na  $10^7$  nukleotidů), protože RNA není určena k trvalému uchování genetické informace v buňkách.

### Co jsou posttranskripční úpravy?

U eukaryotních organismů je DNA uzavřena v jádře, ale ribosomy se nacházejí v cytoplasmě. mRNA musí být transportována z jádra do cytoplasmy malými jadernými póry. Před opuštěním z jádra však mRNA podléhá **posttranskripčním úpravám**.

Transkripcí vzniká nejprve **primární transkript** (pre-mRNA) neboli **heterogenní jaderná RNA** (hnRNA), která se dále upravuje. Upravená mRNA je transportována do cytoplasmy a tam překládána na proteiny (translace).

U prokaryotních organismů se vzniklá mRNA posttranskripčně neupravuje, slouží ihned jako matrice pro tvorbu proteinu.

### Co jsou exony a introny?

Eukaryotní DNA obsahuje kromě kódujících sekvencí (tzv. **exony**) i nekódující sekvence (tzv. **introny**). Celá DNA včetně intronů je transkribována do mRNA (přesněji do Pre-mRNA). Introny jsou odstraňovány enzymy a exony jsou spojeny dohromady. Tento krok se nazývá sestřih (anglicky splicing).

## 2.6 Translace

Jakmile vznikne funkční mRNA, informace v ní obsažená může být ihned použita pro syntézu proteinu. Genetická informace je předávána z mRNA do proteinu procesem zvaným **translace**.

### Jak je zpráva o pořadí aminokyselin v peptidovém řetězci zakódována v řetězci DNA?

Pořadí aminokyselin je v peptidovém řetězci kódováno pomocí **tripletů (kodonů)** nukleotidů. Dohromady lze vytvořit 64 ( $4^3$ ) kombinací trojic nukleotidů. Z toho plyne, že některé aminokyseliny přísluší i několika tripletům, ale naopak jednomu tripletu přísluší nanejvýš jedna aminokyselina. Triplety UAA, UAG, UGA nekódují žádnou aminokyselinu, jedná se o tzv. **terminační kodony (stop kodony)**, které signalizují konec kódující sekvence. Kodon AUG slouží jako tzv. **iniciační kodon** (signalizuje začátek translace) a také jako kodon, ke kterému je přiřazen methionin.

Pravidla, kterými se řídí prostřednictvím mRNA přenos z nukleotidové sekvence DNA do aminokyselinové sekvence, jsou definována jako **genetický kód**. V genetickém kódu platí konvence, že 5' konec nukleotidové sekvence mRNA je vždy zapisován vlevo! Genetický kód je univerzální pro všechny dnes žijící organismy.

V principu může být mRNA překládána ve všech třech čtecích rámcích podle toho, u kterého nukleotidu translace začne, avšak jen v jednom čtecím rámci vzniká požadovaný protein.

Tab. 2. Genetický kód

		Druhý nukleotid					
		U	C	A	G		
První nukleotid	U	UUU fenyalanin	UCU serin	UAU tyrosin	UGU cystein	U	Třetí nukleotid
		UUC fenyalanin	UCC serin	UAC tyrosin	UGC cystein	C	
		UUA leucin	UCA serin	UAA stop kodon	UGA stop kodon	A	
		UUG leucin	UCG serin	UAG stop kodon	UGG tryptofan	G	
	C	CUU leucin	CCU prolin	CAU histidin	CGU arginin	U	
		CUC leucin	CCC prolin	CAC histidin	CGC arginin	C	
		CUA leucin	CCA prolin	CAA glutamin	CGA arginin	A	
		CUG leucin	CCG prolin	CAG glutamin	CGG arginin	G	
	A	AUU isoleucin	ACU threonin	AAU asparagin	AGU serin	U	
		AUC isoleucin	ACC threonin	AAC asparagin	AGC serin	C	
		AUA isoleucin	ACA threonin	AAA lysin	AGA arginin	A	
		AUG methionin	ACG threonin	AAG lysin	AGG arginin	G	
	G	GUU valin	GCU alanin	GAU kyselina asparagová	GGU glycin	U	
		GUC valin	GCC alanin	GAC kyselina asparagová	GGC glycin	C	
		GUA valin	GCA alanin	GAA kyselina glutamová	GGA glycin	A	
		GUG valin	GCG alanin	GAG kyselina glutamová	GGG glycin	G	

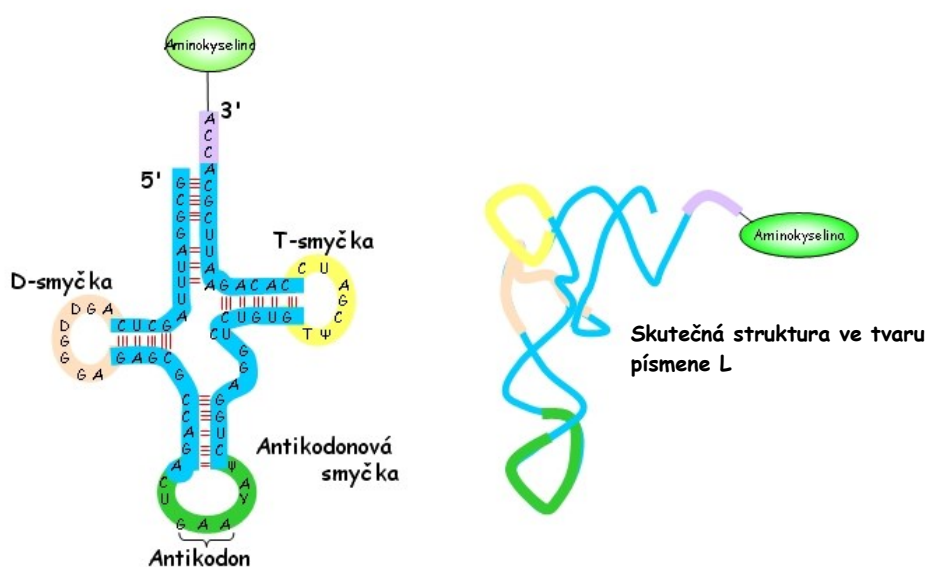
### Jaká je struktura tRNA a jaká je její funkce během translace?

Kodony v mRNA nerozpoznávají přímo aminokyseliny, které specifikují. Translace mRNA do proteinu závisí na **tRNA** (transferová RNA), která je schopna jednou částí molekuly rozpoznat a spárovat se s kodonem v mRNA a jinou částí vázat aminokyselinu.

Všechny molekuly tRNA jsou přibližně 80 nukleotidů dlouhé. Jejich struktura připomíná jetelový lístek, který podléhá ještě dalšímu sbalení a vytváří konečnou strukturu ve tvaru písmene L.

Jedna z částí tRNA se nazývá **antikodon**, což jsou tři nukleotidy komplementární ke kodonu v mRNA. Další důležitou oblastí je 3' konec, na který je esterovou vazbou navázána příslušná aminokyselina. Esterová vazba vzniká mezi karboxylovou skupinou aminokyseliny a hydroxylovou skupinou na 2. či 3. uhlíku pentosy na 3' konci tRNA.

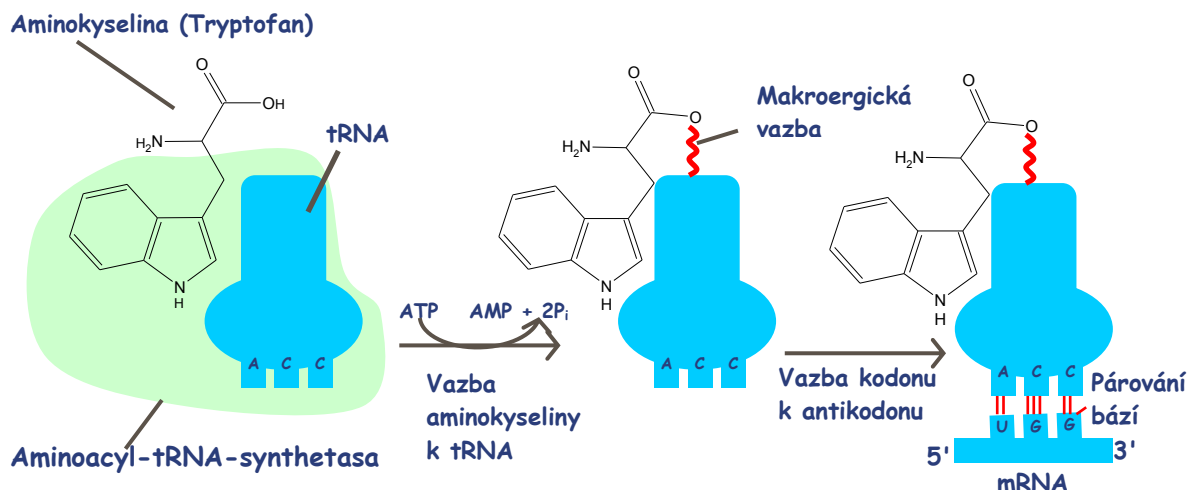
Pro některé aminokyseliny existuje i více tRNA, na které se mohou vázat. Některým tRNA umožňuje jejich struktura vázat se na více kodonů.



Obr. 38. tRNA

### Jaká je funkce enzymu aminoacyl-tRNA-synthetasy?

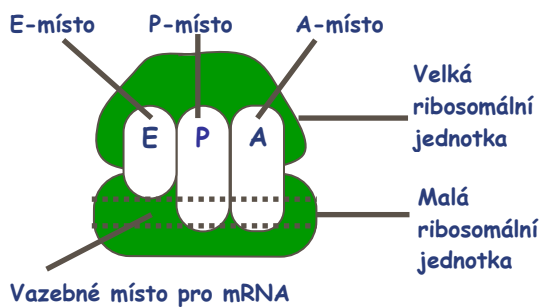
Rozpoznání a připojení správné aminokyseliny je funkcí enzymů nazývaných **aminoacyl-tRNA-synthetasy**. Každá buňka má 20 různých synthetas, pro každou aminokyselinu jednu. Specifické nukleotidy v obou ramenech, antikodonovém i vázajícím aminokyselinu, umožňují rozpoznání každé tRNA vlastní aminoacyl-tRNA-synthetasou. Reakce katalyzovaná aminoacyl-tRNA-synthetasou vyžaduje dodání energie hydrolyzou ATP. Při této reakci vzniká vysokoenergetická vazba mezi tRNA a aminokyselinou. Tato energie je později využita pro tvorbu kovalentní vazby mezi rostoucím polypeptidovým řetězcem a nově navázanou aminokyselinou.



Obr. 39. Aminoacyl-tRNA-synthetasa

### Jak probíhá iniciace translace?

Translace probíhá na **ribosomu** (viz. kap. 1). Proces začíná na iniciačním kodonu AUG a pro iniciaci je třeba **iniciační tRNA**, která má na sobě vázaný methionin (u prokaryotních organismů formyl-methionin). U eukaryotních organismů je iniciační tRNA s navázaným methioninem připojená k **malé ribosomální jednotce** za asistence několika proteinů tzv. iniciačních faktorů. Po navázání iniciační tRNA se malá podjednotka váže na 5' konec mRNA a začne se pohybovat podél mRNA ve směru 5' → 3' a hledat první kodon AUG, který je rozpoznán antikodonem iniciační tRNA. Jakmile ho nalezne, odpoutá se od malé ribosomální podjednotky několik iniciačních faktorů, což umožní připojení **velké ribosomální podjednotky**. Protože se iniciační tRNA váže rovnou do **P-místa** na ribosomu, může prodlužování řetězce (elongace) ihned začít navázáním druhé tRNA s aminokyselinou do **A-místa** na ribosomu.



Obr. 40. Struktura ribosomu

### Jak probíhá elongace translace?

Ribosom se pohybuje podél mRNA, překládá nukleotidovou sekvenci do aminokyselinové za použití tRNA a po dosyntetizování proteinu se obě podjednotky ribosomu opět oddělí.

Ribosom obsahuje čtyři vazebná místa pro molekuly RNA: jedno pro mRNA a tři pro tRNA (**E-místo**, **A-místo**, **P-místo**). Při proteosyntéze je neustále opakován tříkrokový cyklus:

v prvním kroku je aminoacyl-tRNA navázána do A-místa;

ve druhém kroku vzniká nová peptidová vazba mezi přicházející aminokyselinou a prodlužujícím se peptidovým řetězcem;

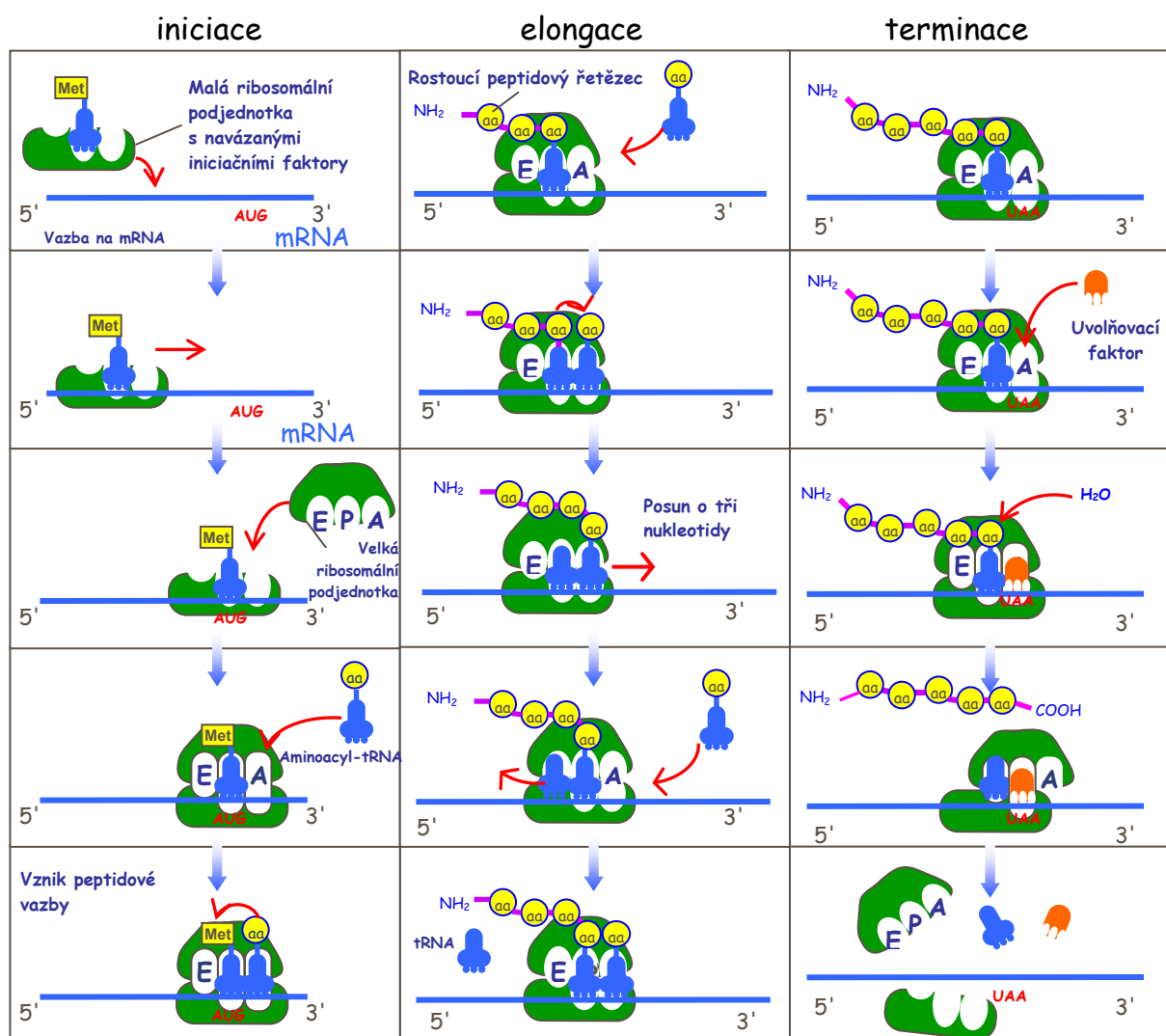
ve třetím kroku se ribosom posune o 3 nukleotidy podél mRNA, čímž se uvolní tRNA bez navázané aminokyseliny z E-místa a tRNA z A-místa se přenesou do P-místa; do volného A-místa se může okamžitě vázat další tRNA s připojenou aminokyselinou.

mRNA je překládána ve směru 5' → 3' a nejprve vzniká N-konec proteinu, z čehož vyplývá, že polypeptidový řetězec roste směrem od N-konce k C-konci.

Celý cyklus všech tří kroků je opakován při každém předávání nové aminokyseliny do polypeptidového řetězce, dokud ribosom nenarazí na stop-kodon.

### Jak probíhá terminace translace?

Konec proteinu je signalizován přítomností jednoho ze tří **terminačních** neboli **stop kodonů** (UAA, UAG, UGA). Těmto kodonům není přiřazená žádná aminokyselina. Místo tRNA se na stop kodon v A-místě váže tzv. **terminační (uvolňovací) faktory**. Místo aminokyseliny se váže molekula vody, čímž se uvolní karboxylový konec hotového polypeptidového řetězce z tRNA v P-místě. Protein se uvolňuje do cytoplasmy. Po skončení proteosyntézy je mRNA odpojována od ribosomu a dojde k disociaci obou podjednotek ribosomu, které se mohou navázat na jinou molekulu mRNA a začít novou translaci.



Obr. 41. Iniclace, elongace a terminace translace



## 3 Trávení a přírodní látky

Vše, co slouží k výživě organismu, nazýváme **potrava**. V biochemickém procesu nazvaném **trávení** je potrava rozložena tak, aby živiny obsažené v potravě mohly být tělem využity. Potrava se během procesu trávení rozkládá za pomoci hydrolytických enzymů (viz kap. 3.2) na jednodušší látky (sacharidy na monosacharidy, bílkoviny na aminokyseliny, triacylglyceroly na mastné kyseliny a monoacyl- resp. diacylglycerol), které jsou schopny přejít do krevního řečiště (viz kap. 3.4 až 3.6).

### 3.1 Součásti potravy

#### Jaké jsou hlavní součásti naší potravy?

Třemi hlavními součástmi potravy jsou **bílkoviny** čili proteiny, **sacharidy** a **lipidy**, z nichž největší část zaujímají **triacylglyceroly**. Funkce bílkovin, lipidů a sacharidů v organismu viz kap. 3.4 až 3.6. Navíc naše tělo potřebuje také **vitaminy**, které jsou nezbytné pro normální růst a vývoj a **minerální látky**, které jsou důležitou složkou kostí a zubů a regulují životně důležité pochody.

Potrava obsahuje i látky, které jsou ve skutečnosti nestravitelné. Jedná se o tzv. **vlákninu**, kterou tvoří převážně polysacharidy (rostlinná celulóza, hemicelulóza a lignin). Vláknina pomáhá pohybu potravy trávicí soustavou, vstřebává vodu a váže na sebe některé látky z potravy.

Naše potrava musí obsahovat ještě jednu látku nezbytnou pro život – **vodu**. Voda je součástí všech forem života a tvoří asi 50-70% hmotnosti lidského těla. Voda je důležitá pro přenos látek v lidském těle, vytváří prostředí pro průběh všech procesů a podílí se na udržování tělesné teploty.

#### Které potraviny jsou bohaté na bílkoviny, sacharidy, lipidy, vitaminy a minerální látky?

*Bílkoviny* jsou obsaženy především v potravinách živočišného původu (maso, vejce, mléko, játra), v menší míře pak v potravinách rostlinného původu (obiloviny, luštěniny, zelenina i ovoce). Výjimku tvoří na bílkoviny bohatá sója.

*Monosacharidy* jsou obsaženy hlavně v ovoci, medu a v džusu. *Disacharidy* jsou obsaženy v klíčkách obilovin, sladu a v řepném cukru. Disacharid laktosu obsahuje mléko. *Stravitelné polysacharidy* jsou obsaženy převážně v luštěninách, obilovinách a v bramborách. *Nestravitelné polysacharidy* (základ vlákniny) jsou obsaženy v obilovinách, ovoci a v zelenině. Velký podíl vlákniny obsahují např. bezinky nebo maliny.

*Lipidy* doprovázejí veškeré živočišné potraviny, vysoký obsah tuků je obsažen především v tučném vepřovém mase a v husím mase.

Nejvíce *vitaminů* nalezneme v ovoci (černý rybíz, jahody – vit. C) a v zelenině (mrkev, špenát – vit. A; paprika – vit. C). Zdroje konkrétních vitaminů shrnují tab. 3 a 4 na str. 50.

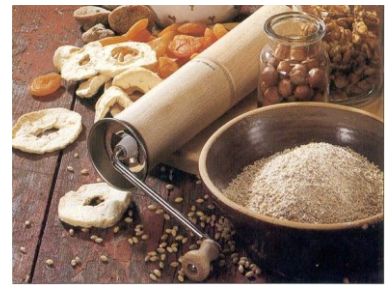
*Minerální látky* jsou obsaženy např. v rybách (P, Ca, Fe a I). Zdroje konkrétních minerálních látek shrnuje tab. 5 na str. 51.



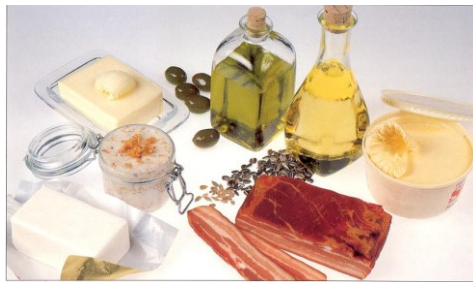
Obr. 43. Bílkoviny<sup>(34)</sup>



Obr. 44. Sacharidy<sup>(34)</sup>



Obr. 45. Vláknina<sup>(34)</sup>



Obr. 46. Lipidy<sup>(34)</sup>



Obr. 47. Vitaminy a minerální látky<sup>(34)</sup>

## 3.2 Rozlišení organismů

### Jak podle metabolismu rozlišujeme organismy?

Organismy rozdělujeme:

podle *způsobu výživy* (podle zdroje uhlíku) na **autotrofní** a **heterotrofní** organismy;

podle *zdroje přijímané energie* na **fototrofní** a **chemotrofní** organismy;

podle *donorů elektronů* (zdroje vodíku) na **organotrofní** organismy a **litotrofní** organismy;

podle *akceptorů elektronů* (potřeby kyslíku) na **aerobní** a **anaerobní** organismy.

**Autotrofní** organismy přijímají jako hlavní zdroj uhlíku oxid uhličitý (syntetizují všechny své organické sloučeniny z anorganických látek). **Heterotrofní** organismy mají za hlavní zdroj uhlíku jiné organické látky (tuky, sacharidy, bílkoviny). **Fototrofní** organismy jsou organismy, které využívají světelnou energii, kdežto **chemotrofní** organismy získávají energii oxidací živin. U **organotrofních** organismů jsou donorem elektronů organické látky (dehydrogenují se). U **litotrofních** organismů jsou zdrojem elektronů jednoduché anorganické sloučeniny (např.  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ). **Aerobní** organismy potřebují ke svému životu nezbytně kyslík (finálním akceptorem elektronů je kyslík) na rozdíl od **anaerobních** organismů, u nichž jsou finálním akceptorem elektronů jiné, většinou anorganické, látky.

Organismy autotrofní bývají většinou litotrofní, a naopak heterotrofní organismy bývají organotrofní.

Člověk patří mezi **chemoorganotrofní** (=chemoheterotrofní) **aerobní organismy**. Rozkladem neboli oxidací organických látek (tuky, sacharidy, bílkoviny) získává lidský organismus energii nezbytnou pro život. Dále je pro lidský organismus velice nepostradatelný kyslík. Jednou z jeho hlavních funkcí je udržování komplexu cytochromů v dýchacím řetězci v oxidovaném stavu (viz kap. 4.7).

### 3.3 Enzymy

#### K čemu jsou zapotřebí enzymy a čím jsou specifické?

V každé buňce probíhá současně mnoho set různých chemických reakcí. Buňka ovládá tyto reakce pomocí **biokatalyzátorů (enzymů)**, které umožňují průběh takových reakcí, které by v lidském těle za normálních podmínek neprobíhaly. Většina biochemických reakcí má totiž vysokou **aktivační energii** (minimální energie potřebná pro uskutečnění termické reakce). Tzn. reakce katalyzovaná enzymem, má nižší aktivační energii než reakce, která probíhá bez působení enzymu.

Enzymy jsou vysoce selektivní. Každý enzym vždy katalyzuje pouze jednu určitou reakci, tzn. vykazuje **účinkovou (reakční) specifitu**. Má také **substrátovou specifitu**, tzn. enzym preferuje pouze určité substráty.

#### Jak rozdělujeme enzymy?

Enzymy jsou rozděleny do šesti hlavních tříd:

##### 1. Oxidoreduktasy

Tyto enzymy katalyzují oxidoredukční reakce (tj. přenos elektronů, vodíků nebo reakce s kyslíkem). Mezi oxidoreduktasy patří např. *alkoholdehydrogenasa (ADH)* katalyzující přeměnu ethanolu na acetaldehyd a *laktátdehydrogenasa (LDH)*, která katalyzuje přeměnu laktátu na pyruvát.

##### 2. Transferasy

Jedná se o enzymy, katalyzující přenos skupin atomů. Příkladem transferasy může být *aminotransferasa*, katalyzující přenos aminoskupin.

##### 3. Hydrolasy

Hydrolasy katalyzují hydrolytické štěpení vazeb. Mezi hydrolasy patří např. *pepsin* a *trypsin*, které katalyzují hydrolýzu peptidových vazeb.

##### 4. Lyasy (synthasy)

Tyto enzymy katalyzují nehydrolytické štěpení vazeb nebo tvorbu vazeb. Příkladem může být enzym *pyruvátdekarboxylasa*, která katalyzuje odštěpení CO<sub>2</sub> z molekuly pyruvátu za vzniku acetaldehydu.

##### 5. Isomerasy

Isomerasy katalyzují isomerační reakce. Příkladem může být *triosafosfátisomerasa*, katalyzující přeměnu D-glyceraldehyd-3-fosfátu na dihydroxyacetonfosfát.

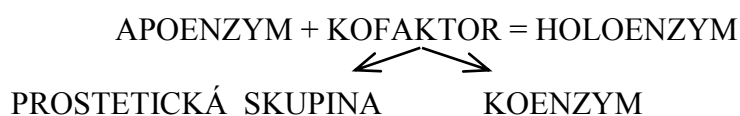
##### 6. Ligasy (synthetasy)

Katalyzují vznik vazeb za současného rozštěpení makroergické fosfátové vazby (např. v ATP). Příkladem může být *aminoacyl-tRNA-synthetasa* (viz kap. 2.6).

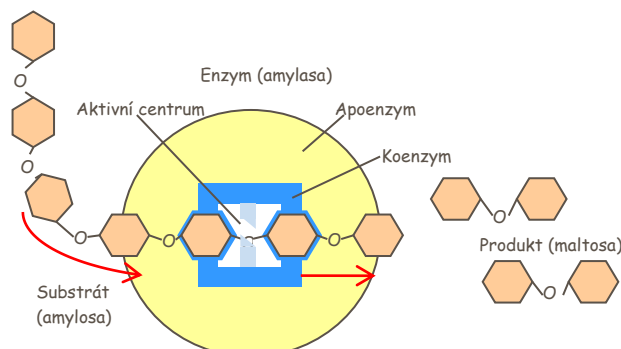
#### Jaká je struktura enzymu?

Většina enzymů je bílkovinné povahy, výjimkou je např. **ribozym**, který je tvořen RNA. Některé enzymy jsou tvořeny pouze polypeptidovým řetězcem či řetězcí. Jiné enzymy většinou obsahují ještě neproteinovou složku nazývanou **kofaktor**. Kofaktorem může být buď nízkomolekulární látka zvaná **koenzym**, která není pevně vázána na enzym, nebo pevně vázaná struktura, tzv. **prostetická skupina**.

Katalyticky aktivní komplex protein-kofaktor se nazývá **holoenzym**, proteinová část enzymu po odstranění kofaktoru se nazývá **apoenzym**.



Nejdůležitější částí molekuly enzymu je **aktivní místo**. Do aktivního místa se pomocí vazebných skupin vážou substráty a jsou v něm přeměňovány pomocí katalytických skupin na produkty.



Obr. 42. Schéma struktury a působení enzymu amylasy

### Jaká je funkce enzymů během trávení?

Enzymy jsou při trávení nepostradatelné, protože jsou nezbytné při hydrolytickém štěpení molekul polysacharidů, triacylglycerolů a bílkovin, které jsou hlavní součástí naší potravy.

Jedním z enzymů, se kterým se potrava setká v ústech, je  $\alpha$ -amylasa, která hydrolyzuje škrob za vzniku oligosacharidů. V žaludku se potrava setkává s dalšími enzymy, jako je např. pepsin štěpící bílkoviny. Slinivka břišní, která má vývod do dvanáctníku, je nejdůležitější zdroj enzymů. Ta vylučuje enzymy hydrolyzující bílkoviny (např. trypsin a chymotrypsin), poly- a oligosacharidy (např. amylasy) a triacylglyceroly (lipasy). V tenkém střevě nacházíme celou řadu enzymů, jako jsou maltasa, sacharasa a laktasa. Štěpení je dokončeno v tlustém střevě.

Trávení lipidů, které jsou ve vodě nerozpustné, je usnadňováno **žlučí** tak, že je emulguje (žluč převádí kapičky lipidů do co nejmenších kapiček, které lze snadněji strávit).

Enzymy rozloží potravu na základní jednotky, které již mohou být vstřebávány do krevního řečiště a předávány jednotlivým buňkám.

## 3.4 Sacharidy



Obr. 48. Sacharidy<sup>(34)</sup>

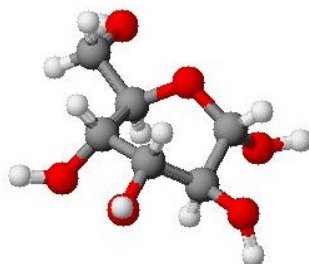
### Z čeho se skládají sacharidy a jaká je jejich funkce?

Sacharidy jsou sloučeniny složené pouze z atomů uhlíku, vodíku a kyslíku takovým způsobem, že společný sumární vzorec pro všechny sacharidy je  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , kde  $n \geq 3$ .

Základní stavební složky sacharidů se nazývají **monosacharidové jednotky** a podle jejich počtu dělíme sacharidy na **monosacharidy** (1 monosacharidová jednotka), **disacharidy** (2 monosacharidové jednotky), **oligosacharidy** (méně než 10 monosacharidových jednotek) a **polysacharidy** (více než 10 monosacharidových jednotek).

Monosacharidy, disacharidy a vybrané oligosacharidy díky sladké chuti označujeme jako **cukry**.

Sacharidy slouží především jako zdroj energie, podílí se však i na struktuře mnoha složitějších látek.



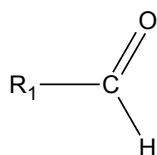
Obr. 49. Model molekuly  $\alpha$ -D-glukopyranosy

### Jakou strukturu mají monosacharidy a jak je rozlišujeme?

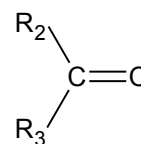
Podle počtu uhlíkatých atomů rozdělujeme monosacharidy na **triosy** (3C), **tetrosy** (4C), **pentosy** (5C), **hexosy** (6C) a **heptosy** (7C).

Podle optické aktivity rozlišujeme cukry na **L-cukry** a **D-cukry**. V přírodě cukry D-řady značně převažují. L-cukry mají -OH skupinu na posledním stereogenním uhlíku ve **Fisherově projekci** vlevo, D-cukry ji mají orientovanou doprava. L-cukry stáčí paprsky polarizovaného světla doleva, D-cukry doprava.

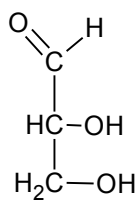
Monosacharidy dále rozdělujeme na **aldosy** a **ketosy**. Aldosy (např. glycerinaldehyd) ve své struktuře obsahují aldehydovou skupinu, ketosy (např. dihydroxyaceton) obsahují ketonovou skupinu.



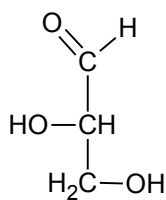
aldehydová skupina



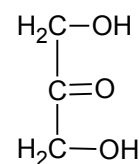
ketonová skupina



D-glycerinaldehyd



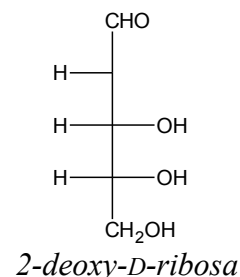
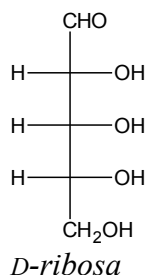
L-glycerinaldehyd



dihydroxyaceton

Nejznámější a nejvýznamnější pentosy jsou **D-ribosa** a **2-deoxy-D-ribosa**, které jsou nedílnou součástí DNA a RNA (viz kap. 2).

### Fisherova projekce:

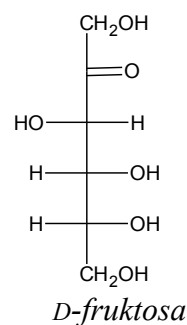
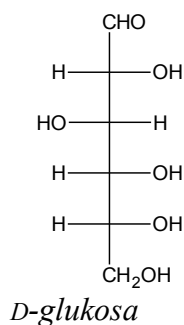


Mezi hexosy patří např. glukosa a fruktosa.

**D-glukosa** (hroznový cukr) je nejrozšířenější monosacharid. Poruchy řízení hladiny koncentrace D-glukosy v krvi se projeví jako nemoc **diabetes mellitus**. Rozklad D-glukosy (tzv. glykolýza – viz kap. 4.2) je jedním z hlavních zdrojů energie.

**D-fruktosa** (ovocný cukr) je druhý nejrozšířenější monosacharid v přírodě. Nachází se např. v ovoci a medu.

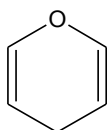
### Fisherova projekce:



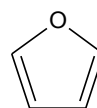
### V jaké formě se běžně sacharidy vyskytují?

Díky přítomnosti velmi reaktivní karbonylové skupiny a zároveň hydroxylové skupiny v molekule monosacharidů může proběhnout intramolekulární adice za vzniku hemiacetalu. Nově vzniklá hydroxylová skupina se nazývá **poloacetalový hydroxyl**. Uhlíkový atom karbonylové skupiny u cyklické formy se stává novým stereogenním centrem. Můžeme tedy rozlišovat dva optické isomery tzv. **anomery**. Směřuje-li poloacetalový hydroxyl na stejnou stranu (nad či pod rovinu kruhu v Haworthových vzorcích) jako skupina  $-\text{CH}_2\text{OH}$  (tj. skupina určující jedná-li se o D- či L- konfiguraci), jedná se o  **$\alpha$ -anomer**. U  **$\beta$ -anomerů** je jejich orientace vzhledem k rovině kruhu opačná. Poté u D-monosacharidů poloacetalový hydroxyl v Haworthových vzorcích u  $\beta$ -anomerů směřuje nahoru, u  $\alpha$ -anomerů směřuje dolů (u L-monosacharidů je tomu naopak).<sup>(33)</sup>

V případě D-glukosy aldehydová skupina na prvním uhlíku může reagovat s hydroxylovou skupinou na pátém uhlíku. Výsledný cyklus se nazývá **pyranosový** (cyklus si lze představit jako derivát pyranu). V případě D-fruktosy ketoskupina na druhém uhlíku může reagovat s hydroxylovou skupinou na pátém uhlíku. Výsledný cyklus se nazývá **furanosový** (cyklus si lze představit jako derivát furanu).

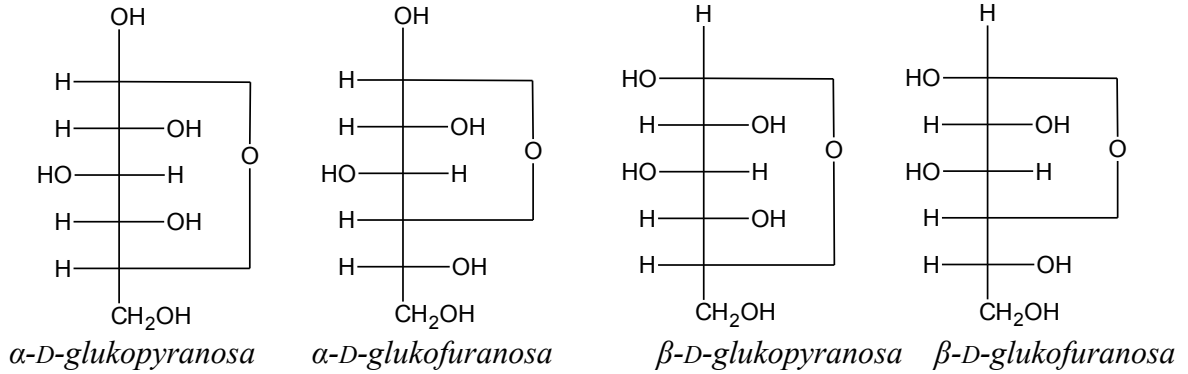


*Pyran*

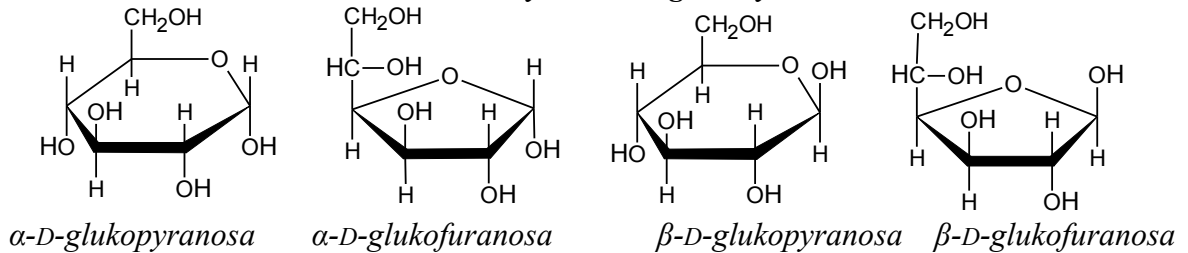


*Furan*

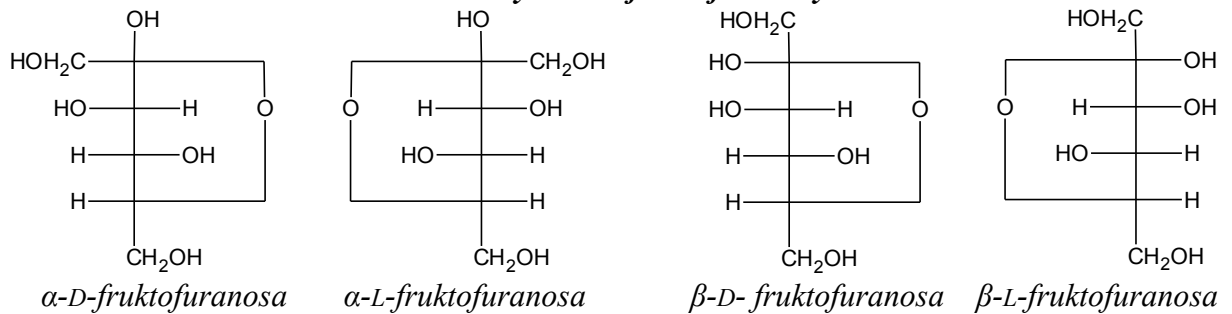
**Tollensovy vzorce D-glukosy:**



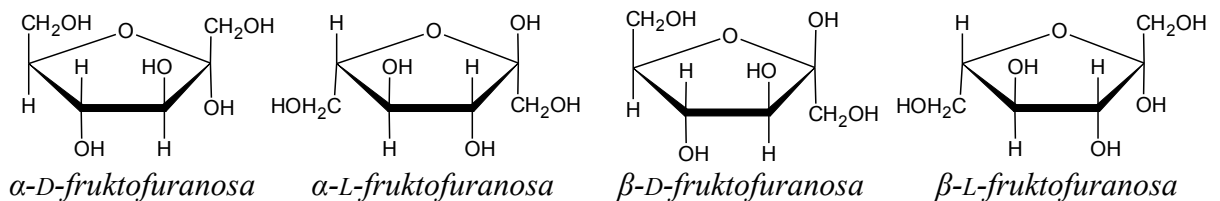
**Haworthovy vzorce D-glukosy:**



**Tollensovy vzorce fruktofuranosy:**



**Haworthovy vzorce fruktofuranosy:**



**Jak vznikají oligosacharidy?**

Poloacetalový hydroxyl může reagovat s další hydroxylovou skupinou či aminoskupinou za vzniku **O-** nebo **N-glykosidové vazby**. Monosacharidy se mohou spojovat tak, že poloacetalový hydroxyl reaguje s hydroxylovou skupinou dalšího monosacharidu za současného odštěpení molekuly vody. Takto postupně vznikají nejen všechny oligosacharidy ale i polysacharidy.

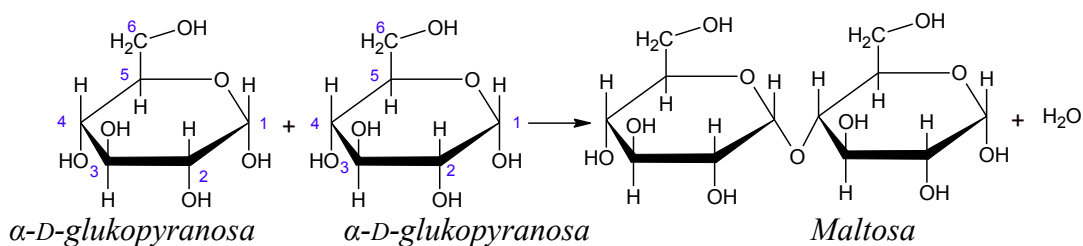
Pokud vzniká glykosidová vazba reakcí poloacetalového hydroxylylu s další hydroxylovou skupinou, vzniklá vazba se nazývá O-glykosidová vazba. Pokud vzniká glykosidová vazba reakcí mezi sacharidem a aminoskupinou, nazývá se N-glykosidová vazba.

## Jak podle chemických vlastností rozdělujeme disacharidy?

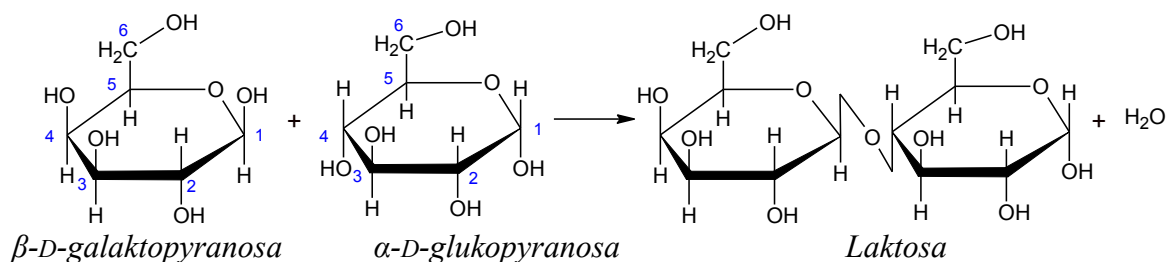
Disacharidy rozdělujeme podle toho, zda mohou být dále oxidovány, na **redukující** a **neredukující**.

Mezi redukující disacharidy patří např. maltosa a laktosa. Oba disacharidy mají ve své struktuře volný poloacetalový hydroxyl. Neredukujícím disacharidem je např. sacharosa, která vznikla spojením dvou poloacetalových hydroxylů.

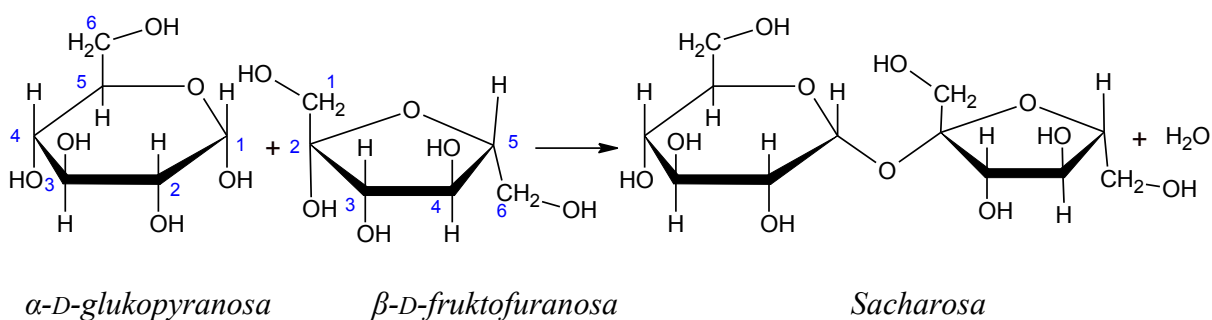
**Maltosa** (sladový cukr) vzniká spojením dvou glukos za vzniku glykosidové vazby mezi prvním uhlíkem jedné glukosy a čtvrtým uhlíkem druhé glukosy.



**Laktosa** (mléčný cukr) vzniká spojením glukosy a galaktosy za vzniku glykosidové vazby mezi prvním uhlíkem galaktosy a čtvrtým uhlíkem glukosy.



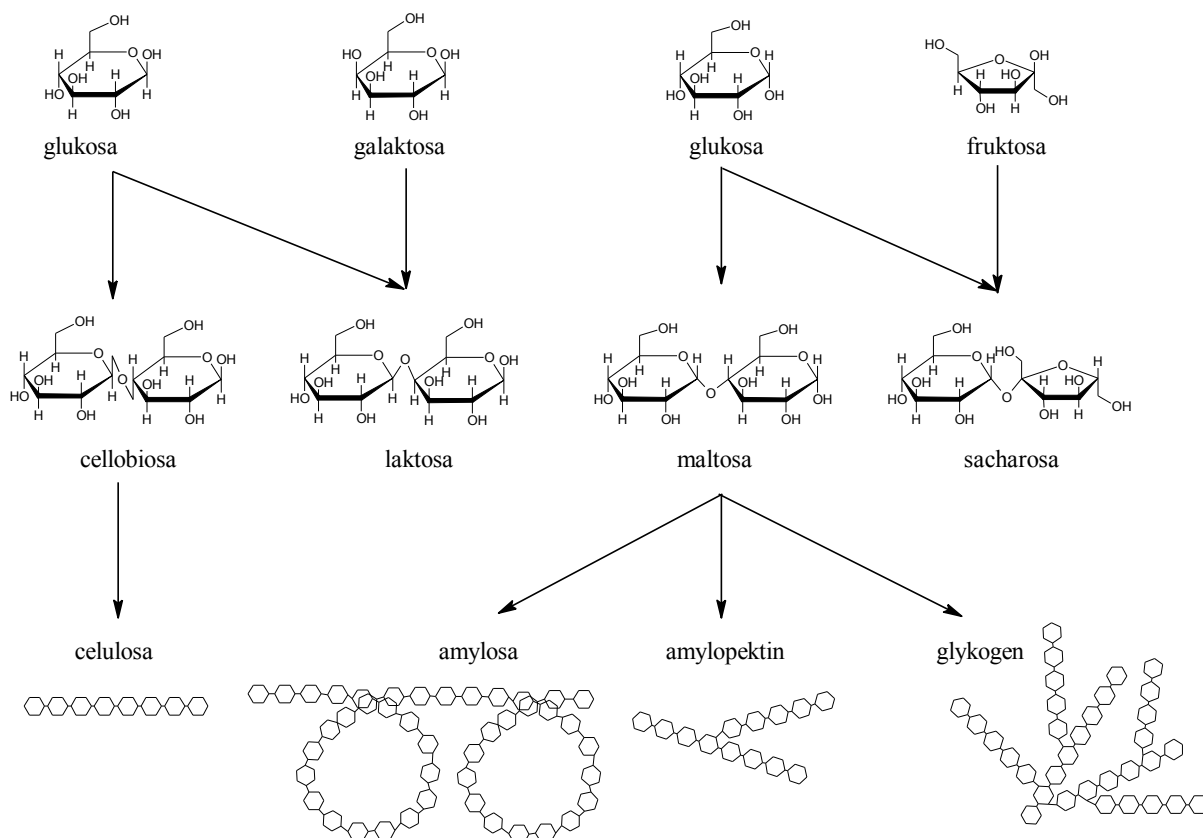
**Sacharosa** (řepný cukr) vzniká spojením glukosy a fruktosy za vzniku glykosidové vazby mezi prvním uhlíkem glukosy a druhým uhlíkem fruktosy.



## Co jsou polysacharidy?

Polysacharidy jsou přírodní látky, které vznikly spojením alespoň deseti monosacharidových jednotek. Polysacharidy jsou nejrozšířenějšími sacharidy v přírodě. Mezi nejvýznamnější polysacharidy patří škrob, glykogen a celuloza.





Obr. 50. Schéma nejvýznamnějších sacharidů

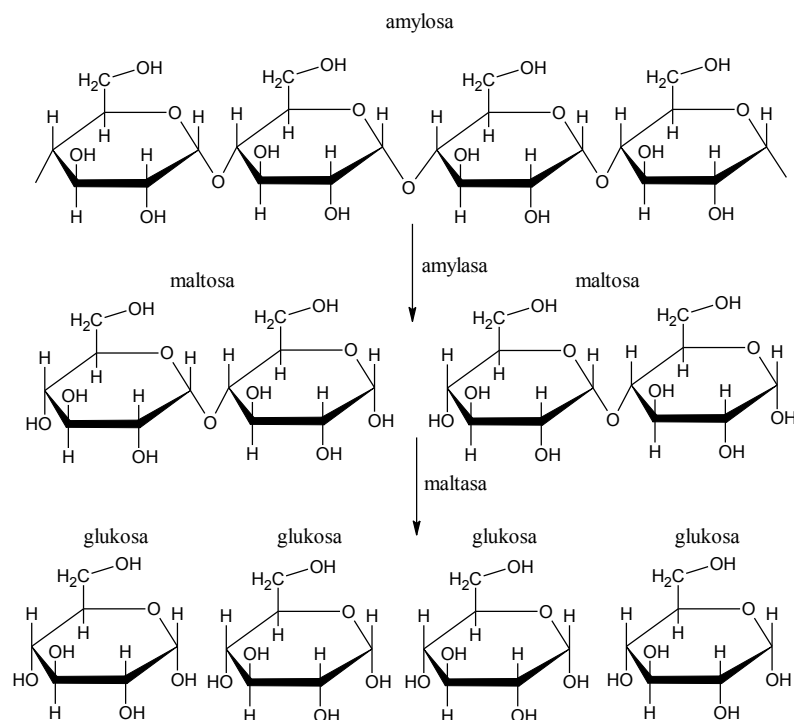
**Škrob** je zásobní polysacharid rostlin složený z  $\alpha$ -D-glukosových jednotek. Vyskytuje se ve dvou formách, v amylose a v amylopektinu. Amyloza má nerozvětvený řetězec a v roztoku jodu má modré zbarvení. Amylopektin má rozvětvený řetězec a v roztoku jodu má červenofialové zbarvení. K větvení řetězce dochází vytvářením glykosidových vazeb mezi prvním uhlíkem jedné glukosy a šestým uhlíkem druhé glukosy.

**Glykogen** je zásobní polysacharid živočichů. Je rezervní látkou uloženou především v játrech a ve svalech. Má větvenou strukturu. Je opět složený z  $\alpha$ -D-glukosových jednotek.

**Celuloza** je stavební polysacharid rostlin. Podílí se na výstavbě buněčných stěn mikroorganismů. Celuloza je pro nás nestravitelná, ale přesto má v naší potravě velmi významné místo jako složka vlákniny (viz kap. 3.1). Je složená z  $\beta$ -D-glukosových jednotek.

### Které enzymy se podílejí na trávení sacharidů?

Odbourávání oligosacharidů je založeno na **hydrolytickém štěpení glykosidové vazby**. K tomuto štěpení dochází již v ústech, kde se vyskytuje enzym  **$\alpha$ -amylasa**, který štěpí amylosu. Štěpení maltosy na glukosu uskutečňuje enzym **maltasa**. Sacharosu štěpí enzym **sacharasa**. Sacharidy jsou převážně tráveny ve střevech. Glukosa a ostatní monosacharidy jsou vstřebávány do krevního řečiště a dále využívány (např. k syntéze glykogenu).



### 3.5 Lipidy



Obr. 52. Lipidy<sup>(34)</sup>

#### Co jsou lipidy?

Termín **lipid** se používá pro přírodní nepolární sloučeniny, které jsou téměř nebo zcela nerozpustné ve vodě, avšak rozpustné v nepolárních rozpouštědlech.

#### Jaké jsou hlavní funkce lipidů?

Mezi hlavní funkce lipidů patří:

1. součást biologických membrán;
2. hlavní zásobní forma uhlíku a energie;
3. prekurzory dalších důležitých látek;
4. izolační bariéra (např. udržování tepla);
5. ochranný obal organismů.

#### Jak rozdělujeme lipidy? <sup>(28)</sup>

Podle složení se lipidy rozdělují na **jednoduché, složené a odvozené**.

**Jednoduché lipidy** jsou estery alkoholů a vyšších karboxylových kyselin. Jednoduché lipidy rozdělujeme na acylglyceroly a vosky (viz kap. 3.5.1).

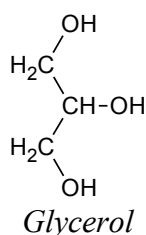
**Složené lipidy** obsahují kromě alkoholů a karboxylových kyselin další složky. Mezi složené lipidy patří glykoacylglyceroly, fosfoacylglyceroly, sfingomyeliny, cerebrosidy a gangliosidy (viz kap. 3.5.2).

**Odvozené lipidy** zahrnují všechny ostatní sloučeniny lipidní povahy, které nemohou být zařazeny do předcházejících skupin. Mezi odvozené lipidy patří prostaglandiny, steroidy, karotenoidy, lipofilní vitaminy (viz kap. 3.5.3)

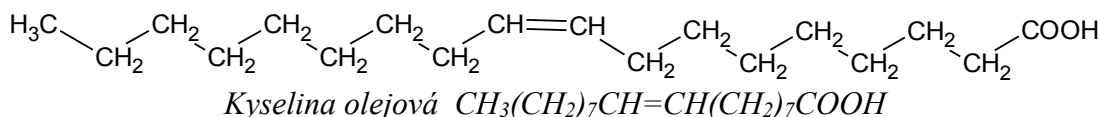
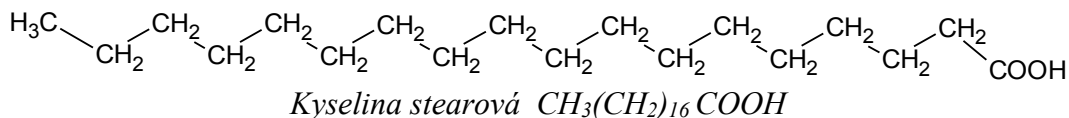
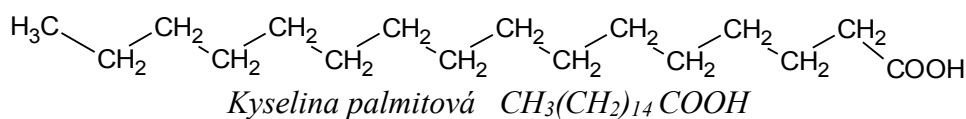
### 3.5.1 Jednoduché lipidy

#### Které látky patří mezi acylglyceroly?

**Acylglyceroly** jsou estery mastných kyselin s glycerolem. Podle počtu esterifikovaných hydroxylových skupin existují mono-, di- a triacylglyceroly.



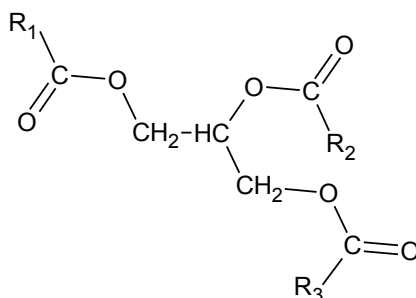
**Mastné kyseliny** jsou mnohuhlíkaté alifatické monokarboxylové kyseliny. Mezi mastné kyseliny patří např. kyselina palmitová, stearová či olejová.



Nejvýznamnější jsou **triacylglyceroly**, které představují největší podíl lipidů v lidské potravě.

V závislosti na fyzikálních vlastnostech (skupenství) je nazýváme **neutrální tuky** (pevné) nebo **neutrální oleje** (kapalné).

Tuky lze hydrolyticky štěpit na mastné kyseliny a glycerol (tzv. **kyselá hydrolyza**). Při **alkalické hydrolyze** vznikají soli mastných kyselin, které známe jako mýdlo.



*Triacylglycerol* ( $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$  – zbytky vyšších mastných kyselin)

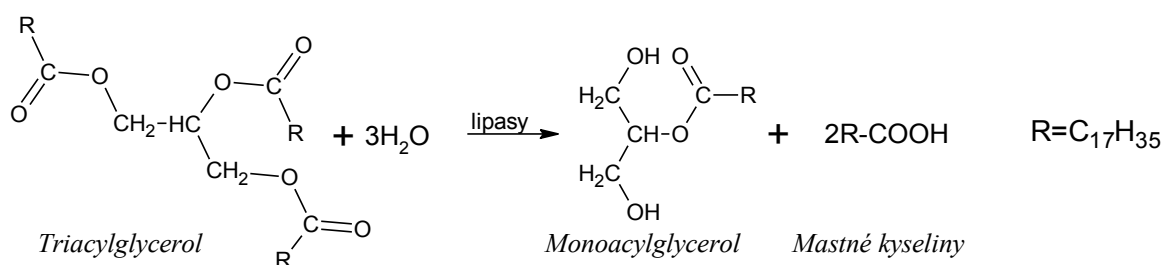
### Jaká je biologická funkce triacylglycerolů?

V živočišných buňkách mají triacylglyceroly tři **základní funkce**:

1. tuková zásoba (zásoba uhlíku a energie);
2. transport a distribuce mastných kyselin;
3. teplotní izolace a ochrana tělesných orgánů.

### Jak a kde probíhá trávení triacylglycerolů?

Triacylglyceroly podléhají podobně jako sacharidy a bílkoviny pouze jednomu typu chemické reakce, a tím je hydrolýza. Hydrolýzou triacylglycerolů vzniká mastná kyselina a monoacylglycerol (resp. diacylglycerol). Tato reakce je v živých organismech katalyzována enzymy **lipasami**. Trávení lipidů navíc usnadňuje žluč tím, že je **emulguje** (viz kap. 3.8). Mastné kyseliny mohou dále vstupovat do krevního řečiště k jednotlivým buňkám.



### Které látky řadíme mezi vosky?

**Vosky (ceridy)** jsou směsí esterů vyšších mastných kyselin (např. kyselina lignocerová C<sub>24</sub> a cerotová C<sub>26</sub>) a vyšších alkoholů (např. cerylalkohol C<sub>22</sub> a cetylalkohol C<sub>11</sub>).

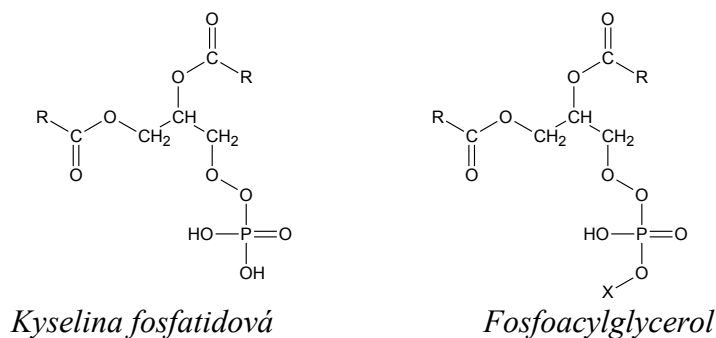
### 3.5.2 Složené lipidy <sup>(28)</sup>

#### Které látky řadíme mezi složené lipidy?

Složené lipidy dělíme na glykoacylglyceroly, fosfoacylglyceroly, sfingomyeliny, cerebrosidy a gangliosidy.

Fosfoacylglyceroly a sfingomyeliny jsou někdy díky přítomnosti fosfátu též označovány jako **fosfolipidy**. Sfingomyeliny, cerebrosidy a gangliosidy jsou někdy díky přítomnosti sfingosinu označovány jako **sfingolipidy**. Cerebrosidy a gangliosidy jsou někdy díky přítomnosti cukrů označovány jako **glykolipidy**.

Nejhojnějšími zástupci složených lipidů jsou **fosfolipidy**, které jsou v přírodě nedílnou součástí biologických membrán všech typů (viz kap. 1). Nejjednodušším fosfolipidem je kyselina fosfatidová.



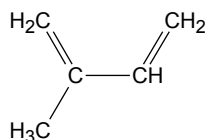
Molekula fosfolipidu má duální charakter, tzn. že jeden konec této molekuly je nepolární, hydrofobní (mastná kyselina) a druhý konec je polární, hydrofilní (glycerol,

kyselina fosforečná s příslušnou funkční skupinou). Polární lipidy mají ve vodném prostředí tendenci se samovolně organizovat do tvaru tzv. lipidové dvojvrstvy.

### 3.5.3 Odvozené lipidy

#### Které látky řadíme mezi odvozené lipidy?

Prakticky všechny **odvozené lipidy** patří mezi isoprenoidy. K lipidům je řadíme z důvodu jejich nerozpustnosti ve vodě, což je zapříčiněno jejich hydrofobním charakterem.<sup>(28)</sup> Molekula isoprenoidů se skládá ze dvou či více isoprenových jednotek.



*Isopren (2-methyl-1,3-butadien)*

Isoprenoidy dělíme na **terpenoidy** a **steroidy**.<sup>(25)</sup>

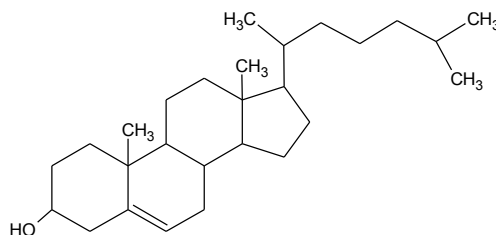
Mezi terpenoidy patří např. **karotenoidy** (rostlinná barviva), **vitamin A** či **přírodní kaučuk**. Mezi steroidy patří např. **žlučové kyseliny**, **steroidní hormony** (pohlavní hormony, kortikoidní hormony) a **steroidní alkoholy** neboli **steroly** (cholesterol, vitamin D).<sup>(25)</sup>

#### Kdy je cholesterol „dobrý“ a kdy „špatný“?

**Cholesterol** patří mezi steroidní alkoholy a je zároveň nedílnou a přirozenou součástí membrán živočišných buněk, tedy i buněk lidského těla. Do organismu se dostává buď z potravy, nebo je v organismu přímo syntetizován. Cholesterol je v těle přenášen pomocí částíček, kterým říkáme lipoproteinové částice. Ty jsou složeny, jak název napovídá, z lipidů a proteinů a rozdělujeme je podle hustoty (neboli podle vzájemného poměru lipidů a proteinů) na chylomikrony, VLDL (*very low density lipoprotein*), IDL (*intermediate density lipoprotein*), LDL (*low density lipoprotein*) a HDL (*high density lipoprotein*).

**LDL** cholesterol (LDL = lipoprotein o nízké hustotě, obsahuje více tuků než bílkovin) je nazýván jako „**špatný cholesterol**“. Je považován za škodlivý, protože jeho vysoká koncentrace zvyšuje riziko vzniku srdečně cévních onemocnění. V této formě je cholesterol transportován cévním řečištěm do okrajových tkání a je tak umožňováno jeho případné negativní působení na cévní stěny (ukládání do stěny cév) a možný vznik aterosklerosy (kornatění tepen).

Naopak **HDL** cholesterol (HDL = lipoprotein o vysoké hustotě, obsahuje více bílkovin a méně tuků) je nazýván jako „**hodný cholesterol**“. Pro náš organismus má příznivý vliv, protože pokud je ho v organismu dostatek, vyrovnává škodlivý efekt ostatních tuků a výše zmíněné riziko tak snižuje. HDL cholesterol je transportován z krevního řečiště do jater a tím působí proti ukládání cholesterolu do stěny cév.



*Cholesterol*

### 3.6 Bílkoviny

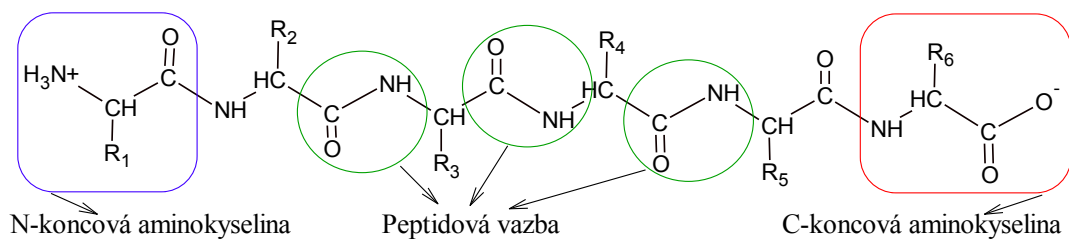


Obr. 53. Bílkoviny 2<sup>(34)</sup>

#### Jaké je rozdělení, složení a funkce bílkovin?

**Bílkoviny** neboli **proteiny** jsou organické sloučeniny, které jsou složeny z mnoha **aminokyselinových zbytků** spojených **peptidovou vazbou** (-CO-NH-). V bílkovinách se pravidelně vyskytuje pouze 20 tzv. kódovaných aminokyselin, pro které existuje genetický kód (viz kap. 2.6).

Peptidový řetězec začíná aminokyselinou, která má volnou aminoskupinu (tzv. **N-koncová aminokyselina**) a končí aminokyselinou, která má volnou karboxylovou skupinu (tzv. **C-koncová aminokyselina**) – viz obr. 54.



Obr. 54. Peptidový řetězec

Podle počtu aminokyselin v peptidovém řetězci rozlišujeme **dipeptidy** (2 aminokyseliny), **tripeptidy** (3 aminokyseliny), **oligopeptidy** (méně než 10 aminokyselin), **polypeptidy** (10 až 100 aminokyselin) a **bílkoviny** neboli **proteiny** (více než 100 aminokyselin).

Podle celkového uspořádání peptidových řetězců rozlišujeme dva hlavní typy proteinů: **globulární** (sféroproteiny) a **fibrilární** (skleroproteiny). U globulárních bílkovin (např. ovalbumin) jsou peptidové řetězce sbaleny do klubíčka u fibrilárních bílkovin (např. kolagen) jsou řetězce „natažené“.

Podle složení bílkoviny rozdělujeme na **jednoduché** a **složené**. Jednoduché bílkoviny obsahují pouze aminokyseliny, kdežto složené bílkoviny obsahují kromě aminokyselin i další nepeptidové složky:

**glykoproteiny** (např. imunoglobulin) – jedná se o látky tvořené proteinem vázaným na sacharid; bílkovinná složka převažuje;

**proteoglykany** (např. peptidoglykan murein) – jsou také tvořeny proteinem a sacharidem, zde však převažuje sacharidová složka;

**lipoproteiny** (např. lipoproteiny krevního séra) – k bílkovině je vázán zbytek lipidu;

**metaloproteiny** (např. hemoglobin) – součástí bílkovin jsou ionty kovů; mezi metaloproteiny patří i tzv. hemoproteiny, jejichž součástí jsou aromatické sloučeniny zvané hem;

**fosfoproteiny** (např. kasein) - trvalou součástí v těchto bílkovinách je fosfátová skupina.

**Funkce** bílkovin v lidském těle je velice rozmanitá. Bílkoviny slouží jako enzymy (např. trypsin), regulují průběh dějů v živých organismech (některé hormony), mají podpůrnou funkci (např. kolagen), zprostředkovávají transport látek (např. hemoglobin), mají ochrannou funkci (např. imunoglobulin) aj. Jako zdroj energie mohou být bílkoviny nahrazeny sacharidy či lipidy, avšak jsou zásadním **zdrojem dusíku** a **esenciálních aminokyselin**.

### Jaká je struktura bílkovin?

To, z jakých aminokyselinových zbytků je bílkovina složena, není postačující k objasnění její funkce a vlastností.

Velmi důležitým kritériem vedle pořadí aminokyselinových zbytků v peptidovém řetězci (primární struktura) je také prostorové uspořádání celé molekuly bílkoviny (vyšší struktury). Každá bílkovina má unikátní dokonale organizovanou a účinně stabilizovanou prostorovou strukturu.

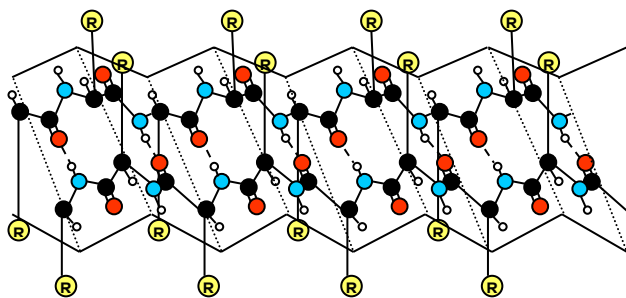
Při popisu trojrozměrného uspořádání proteinů jsou rozlišovány 4 úrovně: primární, sekundární, terciární a kvartérní struktura.

#### **1. Primární struktura**

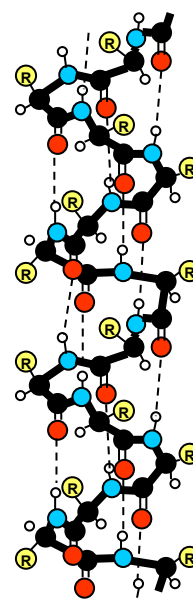
Primární struktura je dána pořadím (sekvencí) aminokyselinových zbytků v peptidovém řetězci.

#### **2. Sekundární struktura**

Jedná se o prostorové uspořádání peptidových vazeb (páteře polymeru). Tato struktura je výsledkem vzniku vodíkových vazeb, především mezi protilehlými skupinami NH a CO. Výsledkem tohoto působení jsou dvě struktury:  **$\alpha$ -helix** (peptidový řetězec je stočen do šroubovice) a  **$\beta$ -struktura** neboli struktura skládaného listu (polypeptidový řetězec je v této struktuře skoro úplně rozvinut a má podobu skládaného listu).

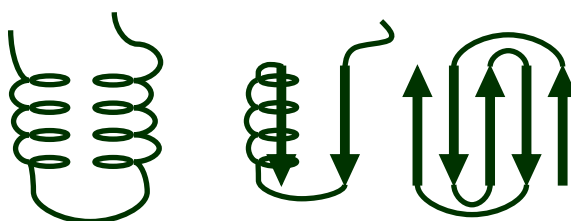


Obr. 55.  $\beta$ -struktura



Obr. 56.  $\alpha$ -helix

Struktura některých shluků jednotlivých úseků sekundární struktury se nazývá **supersekundární struktura**.



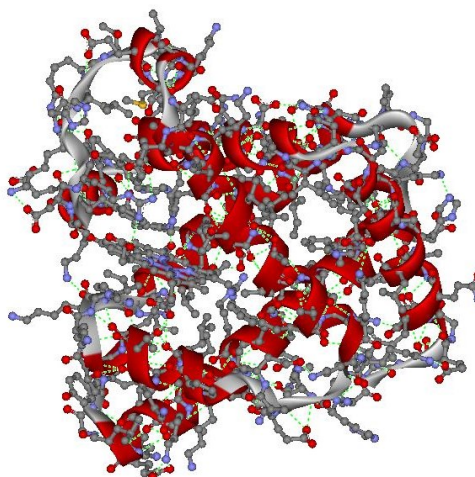
Obr. 57. Supersekundární struktura

### 3. Terciární struktura

Terciární struktura se vztahuje k prostorovému uspořádání aminokyselinových zbytků umístěných v lineární sekvenci daleko od sebe; hranice mezi sekundární a terciární strukturou je v některých případech těžko definovatelná.<sup>(28)</sup>

### 4. Kvartérní struktura

Funkce mnoha bílkovin vychází až ze struktury zkombinované z několika terciárních struktur. Proteiny jsou v tomto případě tvořeny z více než jednoho peptidového řetězce z tzv. **podjednotek**. Kvartérní struktura udává vzájemnou polohu těchto podjednotek vůči sobě.



Obr. 58. Počítačový model podjednotky hemoglobinu

### K čemu dochází během denaturace bílkovin?

Působením řady fyzikálních a chemických vlivů se původní **prostorové uspořádání bílkovin porušuje**. Bílkoviny přecházejí na méně uspořádanou formu. Proteiny během denaturace ztrácejí svou biologickou funkci a mění se řada jejich vlastností, např. denaturace proteinů obvykle zvyšuje jejich stravitelnost. Je to způsobeno tím, že denaturované bílkoviny jsou snadněji přístupné hydrolytickým enzymům.

### Jaké enzymy se podílejí na trávení bílkovin?

Trávení bílkovin probíhá spontánně v alkalickém i kyselém prostředí. Největší část trávení bílkovin proběhne v žaludku a v tenkém střevě.

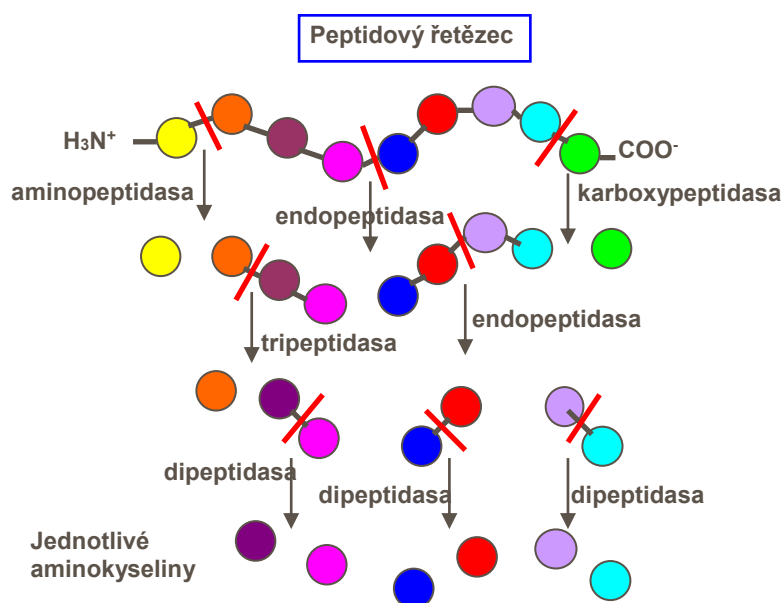
Trávení bílkovin je založeno na **hydrolytickém štěpení peptidové vazby**. V lidském těle tento krok katalyzují enzymy zvané **proteasy**. Proteasy můžeme dále rozdělit na **exopeptidasy** a **endopeptidasy**.

Exopeptidasy štěpí peptidový řetězec od N-konce (**aminopeptidasy**) nebo od C-konce (**karboxypeptidasy**). Endopeptidasy neboli proteinasy štěpí uprostřed peptidového řetězce (např. trypsin, chymotrypsin a pepsin).



Dipeptidy a tripeptidy jsou štěpeny enzymy zvanými **dipeptidasy** a **tripeptidasy**.

V konečném výsledku se do krevního řečiště uvolňují jednotlivé aminokyseliny a kratší peptidové řetězce, které jsou již schopny do tohoto řečiště proniknout. Aminokyseliny mohou být dále používány k biosyntéze dalších produktů.



Obr. 59. Schéma trávení bílkovin

### 3.7 Vitaminy a minerální látky



Obr. 60. Vitaminy a minerální látky <sup>(34)</sup>

#### Které látky řadíme mezi vitaminy a minerální látky?

Vitaminy a minerální látky se někdy označují jako **mikroživiny**.

**Vitaminy** představují různorodou skupinu organických sloučenin, které jsou pro lidský organismus nezbytné. Tyto látky si není schopen lidský organismus sám připravit, musí je získat ze stravy, a to buď přirozeně, anebo formou potravních doplňků. Podobně důležité jsou i minerální látky. K **minerálním látkám** patří nejrůznější prvky, jako vápník, sodík, železo, jod či fosfor. Tab. 3-5 shrnují přehled vitaminů a minerálních látek, zároveň tab. uvádí hlavní zdroje a nejvýznamnější funkce těchto látek.

Tab. 3. Vitaminy rozpustné v tucích <sup>(8)</sup>

<b>Vitaminy rozpustné v tucích</b>		
<b>Vitamin</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Funkce</b>
<b>Retinol, vit. A</b>	Zelenina, žloutek, játra, rybí olej, mléko	Růst a tvorba zubů, zrak, ochrana proti infekcím
<b>Kalciferol, vit. D</b>	Rybí tuk, žloutek, syntéza působením slunečního záření	Řídí využití fosfátů a vápníku při tvorbě kostí
<b><math>\alpha</math>-tokoferol, vit. E</b>	Listová zelenina, rostlinné oleje, celozrnné obilniny	Tvorba červených krvinek, brání rozkladu mastných kyselin v buňkách
<b>Fylochinon, vit. K</b>	Listová zelenina, tvořen bakteriemi ve střevech	Podílí se na tvorbě látek umožňujících srážení krve

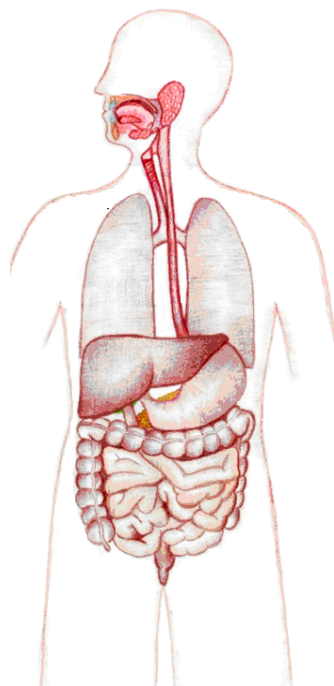
Tab. 4. Vitaminy rozpustné ve vodě <sup>(8)</sup>

<b>Vitaminy rozpustné ve vodě</b>		
<b>Vitamin</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Funkce</b>
<b>Thiamin, vit. B<sub>1</sub></b>	Celá zrna, játra, hrách, lusky, kvasnice, ořechy	Funkce enzymů podporujících štěpení cukrů, pomáhá při činnosti nervů a svalů
<b>Riboflavin, vit. B<sub>2</sub></b>	Mléko, vejce, sýry, listová zelenina	Tvorba enzymů kontrolujících tvorbu a rozklad cukrů a bílkovin
<b>Niacin, vit. B<sub>3</sub></b>	Libová masa, pšeničné klíčky, obilniny, ryby, kvasnice	Pomáhá při tvorbě enzymů zajišťujících tkáňové dýchání
<b>Kyselina pantothenová, vit. B<sub>5</sub></b>	Maso, celozrnné obilniny, zelenina, ořechy, kvasnice	Pomáhá při tvorbě enzymů štěpících cukry a tuky, tvorba pohlavních hormonů
<b>Pyridoxal, vit. B<sub>6</sub></b>	Celozrnné obilniny, játra, žloutek,	Pomáhá při tvorbě enzymů rozkládajících mastné kyseliny a aminokyseliny
<b>Biotin, vit. B<sub>7</sub> (vit. H)</b>	Játra, vejce, mléko, kvasnice	Pomáhá při tvorbě enzymů štěpících tuky a cukry
<b>Kyselina listová, vit. B<sub>9</sub></b>	Listová zelenina, játra, ovoce, kvasnice	Pomáhá při tvorbě enzymů podílejících se na tvorbě nukleových kyselin
<b>Kyanokobalamin, vit. B<sub>12</sub></b>	Játra, ledviny, ryby, vejce, mléko, maso, ústřice	Pomáhá při tvorbě enzymů tvořících bílkoviny, podpora tvorby červených krvinek
<b>Kyselina askorbová, vit. C</b>	Citrusové plody, rajčata, brambory	Podporuje tvorbu kolagenu, je nezbytný pro činnost mnoha enzymů

Tab. 5. Minerální látky <sup>(8)</sup>

<b>Minerální látky</b>		
<b>Prvek</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Funkce</b>
<b>Vápník, Ca</b>	Mléčná jídla, zelenina, ryby	Tvorba kostí a zubů, podílí se na nervové činnosti
<b>Chlor, Cl</b>	Kuchyňská sůl, ryby, mléko, maso, vejce	Udržuje rovnováhu iontů v těle, tvoří v žaludku kyselinu chlorovodíkovou
<b>Měď, Cu</b>	Játra, maso, ryby, obilniny, houby	Podílí se na tvorbě kostí a produkci hemoglobinu
<b>fluor, F</b>	Ryby, mořská sůl, pitná voda	Posiluje zuby a kosti
<b>Jod, I</b>	Ryby, korýši, mořská sůl	Nezbytný pro thyroxin (hormon štítné žlázy)
<b>Železo, Fe</b>	Červené maso, játra, listová zelenina, zrní, ořechy	Nezbytná část hemoglobinu
<b>Hořčík, Mg</b>	Maso, listová zelenina, celozrnné obilniny	Pomáhá při tvorbě kostí, podílí se na nervové činnosti
<b>Mangan, Mn</b>	Zelenina, ořechy, zrní	Aktivuje mnohé enzymy
<b>Fosfor, P</b>	Maso, mléko, ryby, obilniny	Pomáhá při tvorbě kostí, součást DNA a ATP
<b>Draslík, K</b>	Maso, mléko, obilniny, ovoce a zelenina	Udržuje rovnováhu iontů, podílí se na nervové činnosti
<b>Sodík, Na</b>	Většina potravin s výjimkou ovoce	Udržuje rovnováhu iontů, podílí se na nervové činnosti
<b>Síra, S</b>	Maso, mléko, vejce, ořechy	Nezbytná část některých bílkovin
<b>Zinek, Zn</b>	Maso, vejce, ryby, obilniny	Nezbytná část některých enzymů

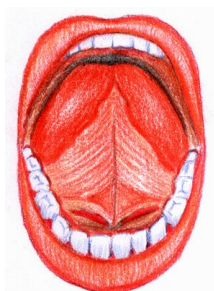
### 3.8 Trávicí soustava



Obr. 61. Trávicí soustava

#### Co se děje s potravou v ústech?

**Ústní dutina** (*cavum oris*) je vstupem do trávicího systému, zde také začíná trávení přijaté potravy. Aby potrava mohla být strávena, musí být rozžvýkána. Během žvýkání je potrava rozdrčena a rozmělněna pomocí zubů na drobné kousky. Ve stejném čase je zvlhčena slinami a společně s jazykem zformována do sousta, které je nakonec polknuto.



Obr. 62. Ústní dutina

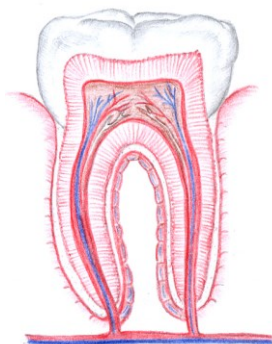
#### Jakou úlohu plní při trávení sliny?

Potrava se v ústech mísí se **slinami**, vodnatou substancí bohatou na amylasu. Sliny obsahují hlenovitý mucin, který usnadňuje žvýkání a polykání.

#### Jak vznikají zubní kazy?

Každý ze **zubů** (*dentes*) je pevně usazen ve zvláštním výběžku čelisti, pokrytém dásní. Zub je vyplněn **dřevem**, ta je obklopena **zubovinou**. Na korunce je zub pokryt **sklovinou**. I když je tvrdost skloviny srovnatelná s tvrdostí křemene, může dojít k jejímu poškození. Je to způsobeno tím, že sklovina není kyselinovzdorná. Pokud nejsou zuby čištěny, mohou zbytky

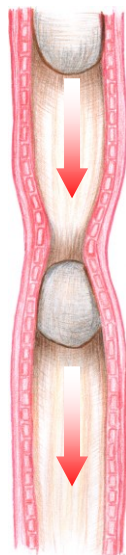
potravy (především cukry) a bakterie vytvářejí povlaky nazývané **plaky**. Bakterie v kontaktu s cukry uvolňují nebezpečné organické kyseliny, jež reagují s vápenatými ionty nacházejícími se ve sklovině. Vzniká poškození zubu tzv. **zubní kaz**.



Obr. 63. Průřez zubem

### Co se děje se soustem v hltanu a jícnu?

Z ústní dutiny se polykáním dostává sousto do **hltanu** (*pharynx*). Hltan má tvar nálevkovité trubice, která je tvořena svalstvem a vazivovou tkání a představuje společný oddíl trávicí a dýchací soustavy. Vzduch je odtud směřován do hrtanu, strava pokračuje dále do další svalové trubice neboli **jícnu** (*esophagus*). Sousto je posunováno tzv. **peristaltickými pohyby** hladkého svalstva jícnu (viz obr. 64) až do žaludku. Peristaltika je pohyb dutým orgánem, způsobený vlnami svalových kontrakcí. Peristaltické pohyby vyvolávají jednotlivé vrstvy svalů a nervů uvnitř stěn trávicí trubice. Sousto vyvolává svalové stahy, které posunou sousto dopředu do dalšího oddílu s uvolněným svalstvem. Zde se celý proces opakuje. Někdy se stane, že se spustí peristaltika zpětná neboli **zvracení**. Účelem zvracení je zbavit náš organismus zkaženého jídla či jedovatých látek.



Obr. 64. Peristaltické pohyby

### K jakým procesům dochází v žaludku?

**Žaludek** (*ventriculus*) je jedním z nejelastičtějších orgánů v těle. Hlavní úkol žaludku je přechodně zadržet potravu, zkapalnit ji a částečně pomocí enzymů natrávit. Silné svaly v jeho stěnách se opět peristaltickými pohyby stahují, čímž dochází k rozmačkání a rozdrčení jeho obsahu uvnitř na lepkavou a blátivou hmotu, které se říká **trávenina** (*chymus*).

Nástěnné buňky žláz ve výstelce jeho stěn vyrábějí velice silnou **kyselinu chlorovodíkovou**, která usmrcuje většinu virů a bakterií ve zkažené nebo ne zcela čerstvé potravě. Tato kyselina spolu s enzymem **pepsinem** štěpícím bílkoviny se pouští do štěpení a rozkladu řady chemických složek potravy.

### Proč žaludek sám sebe nestráví? Jak vznikají žaludeční vředy?

Sám žaludek musí být chráněn před takovouto vlastní trávicí aktivitou. Proto jsou na povrchu žaludeční sliznice speciální buňky produkující **hlen**. Tento hlen má schopnost na sebe vázat kyselinu chlorovodíkovou. Pokud by přeci jenom došlo k narušení stěny žaludku, začaly by vznikat **žaludeční vředy**.



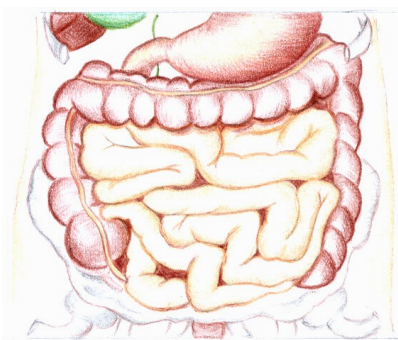
Obr. 65. Průřez žaludkem

### Z jakých částí se skládá tenké střevo?

**Tenké střevo** (*intestinum tenue*) se skládá ze tří částí: **dvanáctníku** (*duodenum*), **lačníku** (*jejunum*) a **kyčelníku** (*ileum*). Dvanáctník je dlouhý asi 25 cm. Do něj se z žaludku po otevření tzv. vrátníkového neboli pylorického svěrače dostává chymus obsahující částečně strávenou potravu ze žaludku, trávicí šťávy ze slinivky břišní a žluč ze žlučníku. Lačník je dlouhý asi 2,5 metru a stočený za oblastí pupíku. Kyčelník je dlouhý přibližně 3,5 metru a stáčí se dolů do spodní části břicha.

### K jakým dějům dochází v tenkém střevě?

V tenkém střevě dochází k transportu již částečně strávené potravy a zároveň zde probíhá podstatná část trávení a také důležitá absorpce živin. Téměř zkapalněná potrava se při průchodu dvanáctníkem mísí s řadou enzymů, které se sem dostávají ze **slinivky břišní** neboli **pankreatu** (viz dále). Mezi tyto enzymy patří např. trypsin a chymotrypsin (k odbourávání polypeptidů na aminokyseliny), amylasy a maltasy (k odbourání sacharidů na monosacharidy) a lipasy (k rozložení lipidů na monoacylglycerol a mastné kyseliny). Pankreatické šťávy navíc neutralizují žaludeční kyselinu, a tak umožňují ostatním enzymům pracovat.



Obr. 66. Tenké střevo

### **Jak se dosáhne co nejefektivnějšího vstřebávání živin?**

Ve střevech dochází ke **vstřebávání (absorpci)** živin. Aby toto vstřebávání bylo co nejefektivnější, je potřeba co největší povrchové plochy. Čím je povrchová plocha větší, tím dochází k rozsáhlejšímu vstřebávání živin. Proto se délka tenkého střeva u dospělého člověka pohybuje kolem 6,5 metru, délka tlustého střeva kolem 1,5 metru. Dále na povrchu vnitřní stěny střeva najdeme rýhy a záhyby. Tyto rýhy mají tisíce 1 mm dlouhých výstupků, které se nazývají **klky (villi)**. Na povrchu těchto klků jsou další výstupky zvané **mikroklky**.

### **K čemu slouží játra?**

**Játra (hepar)** jsou největší žlázou těla a největším orgánem vůbec. Jsou tvořena dvěma laloky, pravým a levým. Játra mají nezastupitelnou roli při ukládání tuků, sacharidů, bílkovin a vitaminů, neméně významná je i jejich schopnost vylučovat žluč. Hlavním úkolem jater je přeměna a skladování živin, které se dostaly do krevního oběhu po předchozím zpracování v trávicím ústrojí. Játra obsahují buňky, které se nazývají **hepatocyty**. V těchto jaterních buňkách probíhá řada metabolických dějů (viz kap. 4) např. rozklad složitých látek (**katabolismus**) nebo naopak syntéza jiných složitých látek (**anabolismus**). Játra současně detoxikují škodlivé látky, které byly vstřebány společně s potravou.

Játra mají tři hlavní funkce:

#### **1. Metabolismus sacharidů**

Glukosa vstřebávaná ze střev se působením hormonu **insulinu** mění na zásobní polysacharid glykogen, který se ukládá v játrech či v jiných tkáních. Přebytečná glukosa se ukládá v podobě tuků. Jakmile klesne hladina glukosy v krvi, začne působit jiný hormon (**glukagon**), který glykogen rozloží zpět na volnou glukosu (viz též kap. 4.2).

#### **2. Metabolismus lipidů**

Do jater přichází všechny produkty trávení tuků. Tuky jsou jaterními buňkami buď úplně odbourány, anebo jsou přestavěny v lidský tuk, jenž se ukládá do tukových tkání (viz též kap. 4.3).

#### **3. Metabolismus bílkovin**

Nepotřebné proteiny se zde rozkládají na jednotlivé aminokyseliny, jenž jsou dále rozkládány na oxid uhličitý, vodu a amoniak. Amoniak, který je pro lidský organismus jedovatý, je dále přeměňován na močovinu v močovinovém cyklu (viz též kap. 4.4). Močovina přechází do ledvin, z nichž je v podobě moči vyloučena.

### **Proč alkohol škodí játrům?**

Úkolem jater je detoxikace a zneškodnění velké řady škodlivých látek, které se dostanou do těla. V játrech se alkohol odbourává a jeho neustálý přísun je zatěžuje, část buněk odumírá a je nahrazována vazivem. Vzniká cirrhosa jater, která je nejčastější příčinou smrti u alkoholiků.

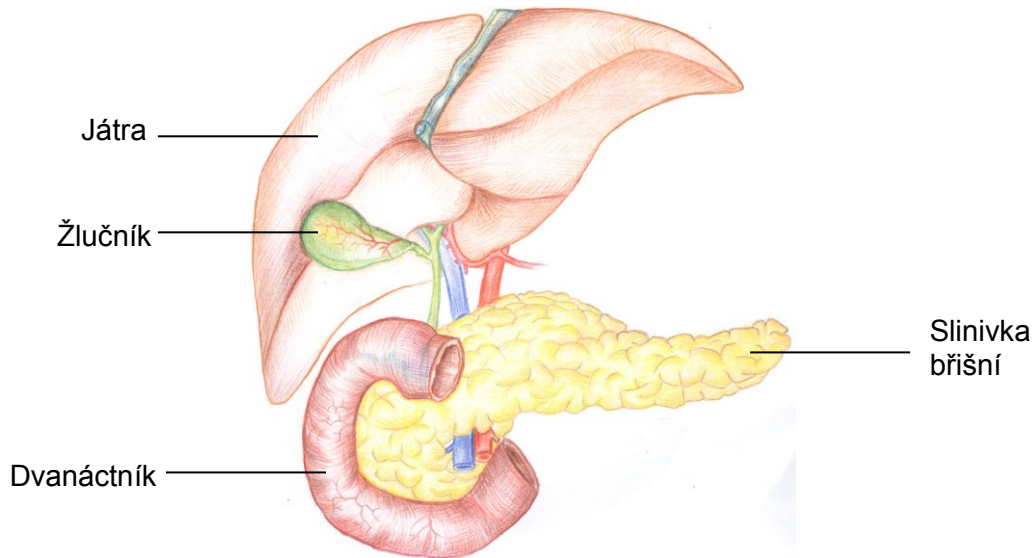
### **K čemu je potřebná žluč?**

**Žluč** je žlutozelená tekutina složená ze směsi vody, žlučových barviv (bilirubinu), žlučových kyselin, cholesterolu, fosfolipidů a jiných látek.

Žluč se tvoří v játrech, z nichž jaterním vývodem (žlučovodem) odtéká do **žlučníku**, kde se skladuje. Po jídle se žlučník vyprazdňuje a žluč vytéká do dvanáctníku, kde emulguje tuky, čímž dochází k rozptýlení na jemné kapénky (emulzi), které jsou snadněji přístupné hydrolytickým enzymům (lipasam).

### K čemu slouží slinivka břišní?

**Slinivka břišní (pankreas)** je orgán, který produkuje **trávicí šťávu** obsahující řadu trávicích enzymů jako jsou amylasy, maltasy, trypsin, chymotrypsin a lipasy. Langerhansovy ostrůvky pankreatu produkují **insulin a glukagon**, což jsou důležité hormony řídící hladinu cukru v krvi. Tyto hormony jsou vylučovány přímo do krve, kde kontrolují metabolismus glukosy. Pankreatické šťávy také neutralizují kyselou kašovitou tráveninu přicházející ze žaludku.



Obr. 67. Játra a slinivka břišní

### Ze kterých částí se skládá tlusté střevo a jaká je jeho funkce?

Tlusté střevo (*intestinum crassum*) se skládá ze **slepého střeva (caecum)**, **tračnicku (colon)**, **konečnicku (rectum)** a **řitního otvoru (anus)**. Ze slepého střeva vystupuje slepě končící přívěsek **apendix**, jehož funkce zatím není objasněna. Tračník je široká trubice, která se skládá ze vzestupného tračnicku, příčného tračnicku, sestupného tračnicku a esovitého tračnicku (kličky), která se stáčí směrem k řitnímu otvoru.

V tlustém střevě již neprobíhá trávení, ale probíhá zde **vstřebávání vody** (z přicházejících nestrávených zbytků vstřebá tračník 90% vody). Kromě vstřebávání vody dochází i k **vstřebávání minerálních látek a vitaminů**.

Mezi nestrávené zbytky patří např. vláknina, která spolu se zbylými trávicími šťávami, žlučí, odloupanými buňkami střevní výstelky a odumřelými bakteriemi tvoří stolici. Téměř 1/3 suché váhy výkalů představují bakterie.



Obr. 68. Tlusté střevo

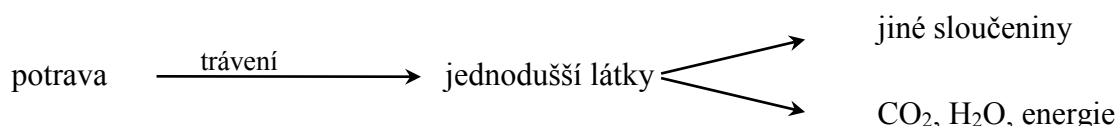


## 4 Metabolismus

### 4.1 Základní pojmy

#### Jak se přeměňuje v lidském těle potrava?

Člověk přijímá v potravě látky, které jsou v průběhu procesu trávení rozkládány na jednodušší látky (monosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny aj.). Ty mohou dále sloužit buď jako stavební jednotky pro výstavbu nových sloučenin, nebo mohou být v těle dále odbourávány až na oxid uhličitý, vodu a ostatní odpadní látky.



#### Proč člověk vylučuje odpadní látky?

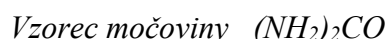
Je tomu tak proto, že lidské tělo je **dynamickým systémem**. Dochází v něm k neustálému obratu – některé buňky odumírají, jiné se musí nahrazovat.

#### V jaké formě se z těla vylučují prvky jako je uhlík, kyslík, vodík a dusík?

Uhlík, společně s kyslíkem, se vylučují ve formě **oxidu uhličitého** (CO<sub>2</sub>) v procesu dýchání (viz kap. 4.7).

Vodík společně s kyslíkem se vylučují ve formě **vody** (H<sub>2</sub>O), kterou tělo může dále využívat, anebo ji z těla vyloučit.

Dusíkaté látky se v lidském těle využijí buď na syntézu jiných potřebných látek (např. na dusíkaté heterocyklické báze) nebo dochází k jejich odbourávání na **amoniak** (NH<sub>3</sub>), který je pro lidský organismus jedovatý. V lidském těle je amoniak dále přeměňován na močovinu v močovinovém cyklu (viz kap. 4.4).



#### Co je metabolismus?

Metabolismus je biochemická modifikace chemických sloučenin v buňkách a živých organismech. Jedná se o látkovou (**látkový metabolismus**) a energetickou (**energetický metabolismus**) výměnu, příjem a zpracování živin.

Metabolismus v sobě zahrnuje přeměny produktů trávení (viz kap. 3) na odpadní látky nebo výstavby nových, pro život důležitých sloučenin.

#### Co znamená pojem látkový metabolismus?

**Látkový metabolismus** zajišťuje stálý transport látek přes buněčnou membránu (viz kap. 1.2), jejich rozklad, získání stavebních látek či úplný rozklad na látky odpadní.

Látkový metabolismus zahrnuje dvě skupiny protichůdných procesů:

**děje anabolické:** tj. ta část metabolismu, při níž se vytvářejí chemicky složitější látky (např. z aminokyselin vznikají bílkoviny); tyto reakce obvykle využívají určitou část energie, neboť se jedná především o reakce **endergonické**;

**děje katabolické:** tj. ta část metabolismu, při níž jsou látky rozkládány na z chemického hlediska jednodušší látky (např. rozklad glukosy na vodu a oxid uhličitý); při těchto reakcích obvykle dochází k uvolnění energie, kterou tělo může využít pro reakce anabolické; jedná se především o reakce **exergonické**.

### Co znamená pojem energetický metabolismus?

**Energetický metabolismus** zajišťuje uvolňování a spotřebu energie.

Rozkladem chemických sloučenin jako jsou bílkoviny, lipidy a sacharidy se uvolňuje určitá energie, kterou organismus využívá pro jiné reakce vyžadující energii (pro endergonické reakce). Dalším způsobem využití energie je konání mechanické práce či uvolňování tepla, popřípadě jiná práce (osmotická práce – přenos látek založený na mechanismu aktivního transportu a elektrická práce – energie vynakládaná na bioelektrické jevy, např. šíření vzruchů).

**Celkový energetický metabolismus** se rovná součtu energie vydané (práce, teplo) a energie získané (z potravy).

### Čím je ovlivněna rychlost metabolismu?

Regulace metabolismu se děje změnami **enzymové aktivity**. Protože prakticky všechny metabolické reakce jsou katalyzovány enzymy, jde o velmi účinný proces, který umožňuje, aby určité metabolické reakce probíhaly rychleji (zvýšení enzymové aktivity) nebo pomaleji (snížení enzymové aktivity).

Rychlost metabolismu celkově ovlivňují **hormony**, které koordinují funkce tkání a orgánů. Hormony jsou produkovány určitými tkáněmi a vyplavovány do krevního oběhu. Krví se dostávají k cílovým orgánům a způsobují tam fyziologické změny, jako je např. řízení metabolických pochodů.

Produkce hormonů a činnost enzymů závisí na řadě faktorů jako je **věk** a **pohlaví**. Dále záleží na **celkovém stavu organismu** – jak fyzickém, tak psychickém. Sami si můžeme všimnout, že při intenzivním cvičení (např. plavání) je náš tep značně rychlejší, též frekvence nádechu a výdechu. Při stresu je metabolismus rovněž zvýšen, proto se u stresovaných lidí zvýší rychlost vylučování odpadních látek.

### Co je bazální metabolismus?

**Bazální metabolismus** (BM) je přeměna látek probíhající za úplného tělesného i psychického klidu.

Hodnota bazálního metabolismu se dá změřit a ukazuje, kolik tělo spotřebuje energie za určitou časovou jednotku pro své základní pochody (dýchání, srdeční činnost, činnost lidských orgánů atd.).

Tab. 6. Příklady hodnot bazálního metabolismu<sup>(8)</sup>

	BM [KJ/m <sup>2</sup> /h]
čtrnáctiletý chlapec	184
čtyřicetiletá žena	142

### Co je pracovní metabolismus?

S každým výkonem organismu roste též energetická spotřeba, jenž se mění podle druhu činnosti a kolísá podle toho v širokých hranicích. Kromě termínu **pracovní metabolismus** se též používá termín **celkový metabolismus**.

## Co je joule (J) a kalorie (cal)?

Jsou to jednotky energie, pro které platí vztah: **1 kcal = 4,184 kJ**.<sup>(33)</sup>

## Jak využívá lidské tělo přebytečnou energii?

Při nadbytku energie (např. při větším příjmu potravy či nedostatku pohybu) musí tělo energii nějakým způsobem využít, aby se nepřehřálo. energii organismus využije na tvorbu lipidů, které se ukládají do tukové tkáně, čímž může vzniknout **nadváha** (otylost).

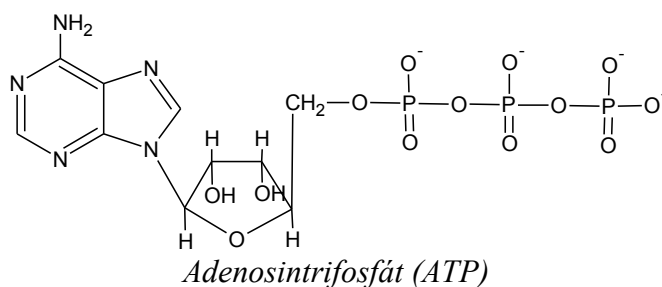
Naopak při nedostatečném příjmu potravy, a tím i nedostatečném příjmu energie musí tělo energii někde získat. Nejdříve jsou použity rezervy glykogenu, které se vyčerpají během několika hodin. Při delším hladovění se organismus převážně orientuje na mastné kyseliny jako na dodavatele energie. Déletrvající hladovění může být příčinou **podvýživy**.

## Kde uchovává organismus energii?

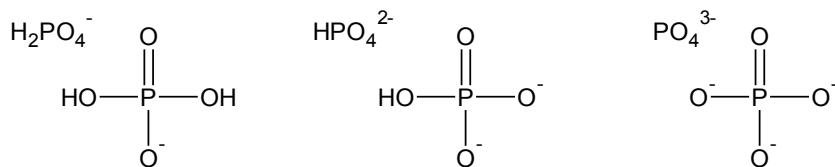
Je zřejmé, že živé organismy potřebují stále energii, kterou získávají rozkladem potravy. Tuto energii spotřebují na endergonické reakce.

Energii uchovávají v tzv. **makroergických sloučeninách**, jejichž rozkladem se získává velké množství energie.

Typickým příkladem makroergické sloučeniny je tzv. **adenosin trifosfát (ATP)**.



Jak vzorec napovídá, skládá se ATP z ribosy a tří zbytků kyseliny trihydrogenfosforečné. Odtržením posledního zbytku kyseliny trihydrogenfosforečné vzniká **adenosindifosfát (ADP)** a **anorganický fosfát (P, někdy též značeno jako P<sub>i</sub>)** za uvolnění energie:



Uvolněná energie se např. může spotřebovat na práci, kterou organismus vykonává (viz též kap. 1.1).

Přebytečná energie z látkového metabolismu naopak umožňuje vznik ATP:



ATP patří mezi anhydridové makroergické sloučeniny. Vysoká hodnota energie této sloučeniny je dána elektrostatickými repulsemi mezi záporně nabitými kyslíkovými atomy.

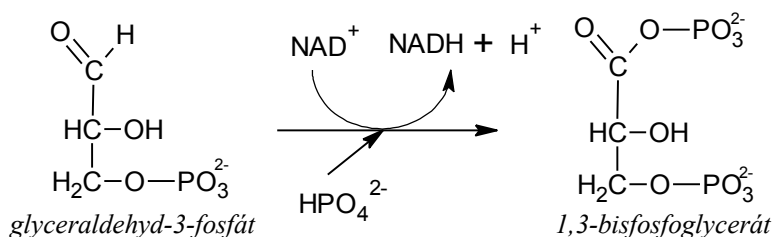
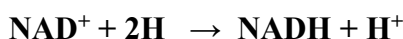
## Jak dochází k přenosu energie z živin do ATP?

Nejčastěji dochází k **oxidační (aerobní) fosforylaci** při níž je důležité, aby buňka byla dostatečně nasycená kyslíkem.

Přenos energie probíhá ve třech fázích:

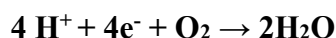
### 1. fáze

Vodík ( $H = H^+ + e^-$ ) je přenášěn ze substrátu na koenzymy dehydrogenas, což jsou nikotinamidadenindinukleotid ( $NAD^+$ ) a flavinadenindinukleotid (FAD) – viz kap. 4.7. Substrát se oxiduje (viz dále glykolýza – kap. 4.2,  $\beta$ -oxidace – kap. 4.3).

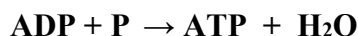


### 2. a 3. fáze (více viz kap. 4.7)

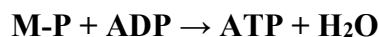
Elektrony z redukovaných koenzymů ( $NADH$ ,  $FADH_2$ ) jsou přenášeny po sérii akceptorů v dýchacím řetězci až na molekulu kyslíku, kterou postupně redukují na oxidové ionty ( $O^{2-}$ ). Oxidové ionty s protony z matrix reagují za vzniku molekuly vody a energie.



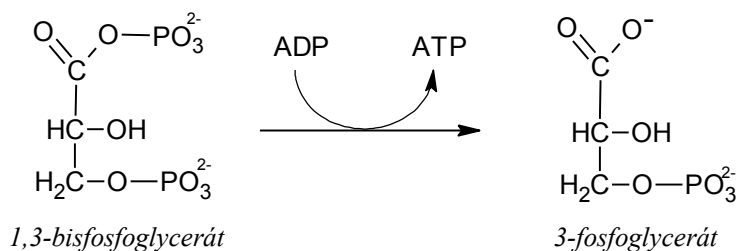
Při přenosu elektronů vzniká energie, díky níž dochází k přečerpávání protonů z matrix mitochondrie i z redukovaných koenzymů ( $NADH$ ,  $FADH_2$ ) do mezimembránového prostoru. Při přechodu protonů zpět do matrix vzniká energie, která pohání syntézu ATP z ADP a anorganického fosfátu.



Vedle oxidační fosforylace existuje **substrátová fosforylace**, při které dochází k přenosu fosfátové skupiny z makroergického meziproductu metabolismu (M-P) na ADP. Rozpadem makroergického meziproductu se uvolní dostatek energie pro realizaci endergonické fosforylace ADP anorganickým fosfátem.<sup>(31)</sup>



*Příklad substrátové fosforylace v průběhu glykolýzy:*



## 4.2 **Metabolismus sacharidů**

### **Jaké množství sacharidů by měla obsahovat naše strava?**

Polysacharidy (škrob) jsou nezbytnou součástí naší stravy a měly by tvořit 55 až 70 % energetického příjmu.<sup>(16)</sup>

### **Jaká je funkce sacharidů, proč jsou tak významné?**

Sacharidy slouží jako zdroj rychle uvolnitelné energie. D-ribosa a D-deoxyribosa tvoří navíc část základního řetězce nukleových kyselin (viz kap. 2). Sacharidy mají i stavební funkci, jsou např. součástí glykoproteinů a glykolipidů.

### **Odkud organismus získává sacharidy?**

Sacharidy si organismus bere buď přímo z potravy nebo ze zásobárny monosacharidů (zásoby glykogenu). Zásoba glykogenu se však velmi rychle spotřebovává. Poté přicházejí na řadu lipidy, a to ještě dříve než je glykogen vyčerpán. Určité množství glykogenu totiž využívají nervové tkáně, které vyžadují jeho konstantní příjem.

### **Z jakých sacharidů se především skládá naše strava?**

Sacharidy se dostávají do lidského těla v podobě monosacharidů (glukosa, fruktosa a galaktosa), disacharidů (sacharosa, laktosa, maltosa) i polysacharidů (škrob, celulosa).

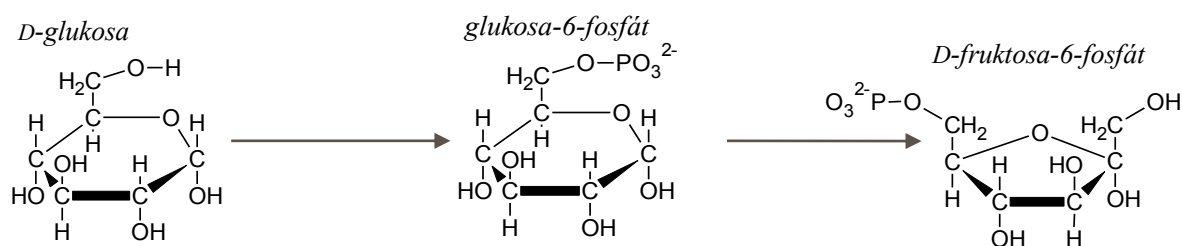
### **Co kontrolují hormony insulin a glukagon?**

V naší krvi musí být udržována určitá stálá hladina glukosy, kterou udržuje hormon insulin. Stoupá-li hladina glukosy v krvi, působí tato zvýšená koncentrace glukosy na buňky pankreatu a ovlivňuje vyplavování insulinu. Insulin snižuje hladinu glukosy v krvi a současně stimuluje příliv glukosy do tkání a její využití. Glukagon působí opačně, tj. zvyšuje hladinu glukosy v krvi.

### **K jakým procesům dochází při odbourávání sacharidů?**

Odbourávání monosacharidů probíhá ve třech fázích:

#### **1. fáze (tzv. *předběžná*): Převod monosacharidů na D-fruktosu-6-fosfát**



Glukosa se nejprve fosforyluje na glukosa-6-fosfát za spotřeby jedné molekuly ATP. Glukosa-6-fosfát se isomeruje na fruktosa-6-fosfát.

V 1. fázi se spotřebuje jedna molekula ATP.

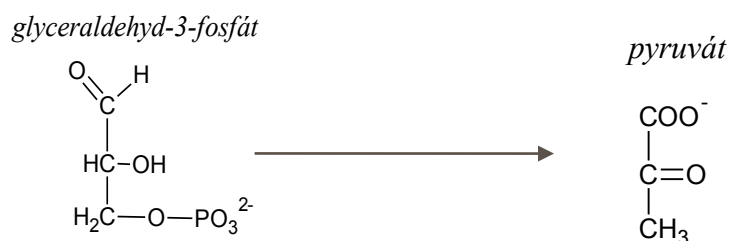
## 2. fáze: Přeměna D-fruktosa-6-fosfátu na 2 molekuly **glyceraldehyd-3-fosfátu**



Fruktosa-6-fosfát se fosforyluje na fruktosa-1,6-bisfosfát za spotřeby jedné molekuly ATP. Vzniklá sloučenina se rozštěpí na glyceraldehyd-3-fosfát a dihydroxyacetonfosfát. Obě triosy jsou navzájem v rovnováze.

Ve 2. fázi se opět spotřebuje jedna molekula ATP.

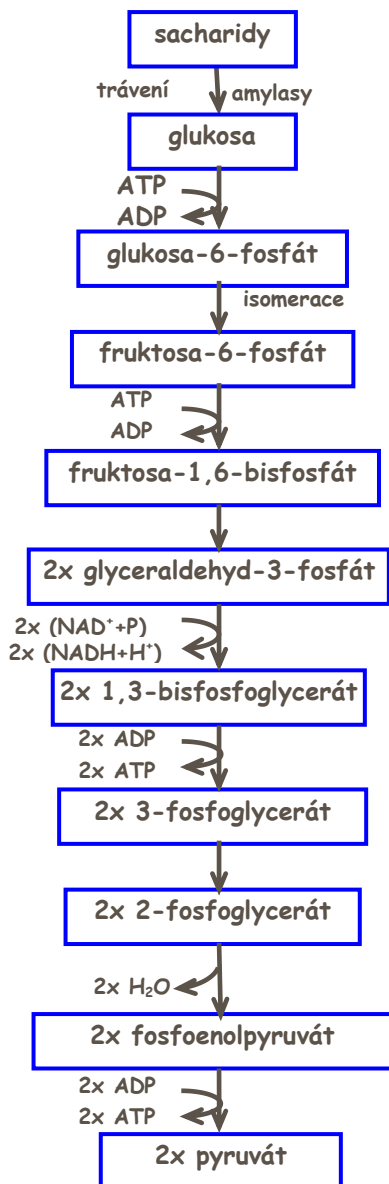
## 3. fáze (dehydrogenace): Přeměna glyceraldehyd-3-fosfátu na **pyruvát**



Z glyceraldehyd-3-fosfátu nejprve vzniká 1,3-bisfosfoglycerát, přičemž vzniká jedna molekula NADH. 1,3-bisfosfoglycerát v dalším stupni přenáší fosfátový zbytek na ADP za tvorby 3-fosfoglycerátu a ATP (substrátová fosforylace). Fosfátový zbytek se přesouvá do polohy 2 za vzniku 2-fosfoglycerátu, který se mění na fosfoenolpyruvát. Fosfátový zbytek se přenáší na ADP za vzniku ATP a pyruvátu.

Ve 3. fázi celkem vznikají dvě molekuly ATP a jedna molekula NADH (tzn., že ze dvou molekul glyceraldehyd-3-fosfátu vzniknou ve 3. fázi celkem 4 molekuly ATP a 2 molekuly NADH).

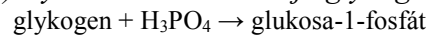
Tyto tři fáze se souhrnně nazývají **glykolýza**, jež je lokalizována v cytoplasmě. Energetický výtěžek glykolýzy jsou 2 molekuly ATP a 2 molekuly NADH. Pyruvát se může dále odbourávat aerobně či anaerobně v závislosti na podmínkách (viz dále).



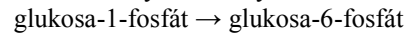
## Kroky glykolýzy:

### Průběh 1. fáze glykolýzy:

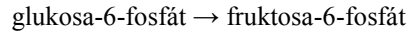
A) *Výchozí sloučeninou je glykogen:*



enzym: fosforylaza

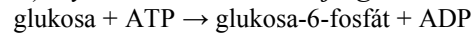


enzym: fosfoglukomutasa

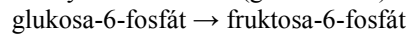


enzym: glukosafosfátisomerasa

B) *Výchozí sloučeninou je glukosa:*

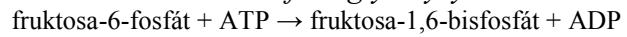


enzym: hexokinasa (glukokinasa)

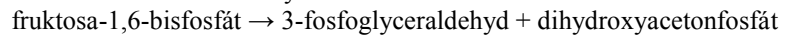


enzym: glukosafosfátisomerasa

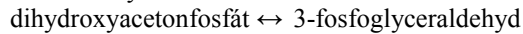
### Průběh 2. fáze glykolýzy:



enzym: 6-fosfófruktokinasa

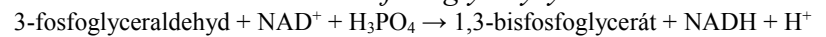


enzym: fruktosabisfosfátaldolasa

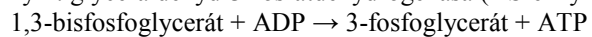


enzym: triosafosfátisomerasa

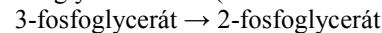
### Průběh 3. fáze glykolýzy:



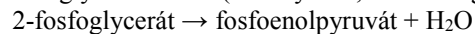
enzym: glyceralddehyd-3-fosfátdehydrogenasa (HS-enzym)



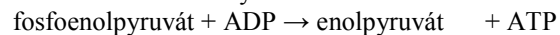
enzym: fosfoglycerátkinasa (substrátová fosforylace)



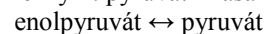
enzym: fosfoglyceromutasa (koenzym: 2,3-bisfosfoglycerát)



enzym: enolasa



enzym: pyruvátkinasa



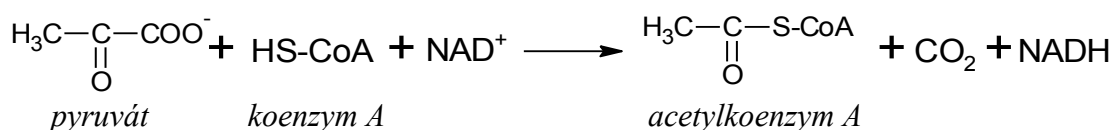
Obr. 69. Schéma glykolýzy

## Jakými procesy se odbourává pyruvát?

Odbourávání pyruvátu probíhá ve dvou směrech:

### 1. aerobní odbourávání

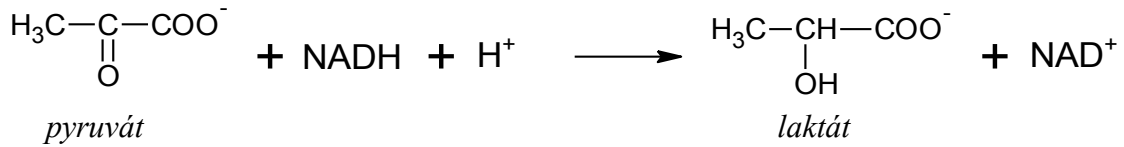
Probíhá za přítomnosti kyslíku. Pyruvát přechází z cytoplasmy do mitochondrií a oxiduje se na acetylkoenzym A (oxidační dekarboxylace pyruvátu). Acetylkoenzym A dále vstupuje do citrátového cyklu a dýchacího řetězce (viz kap. 4.5 a 4.7).



## 2. anaerobní odbourávání

Probíhá při nedostatku kyslíku, kdy nemůže probíhat oxidační dekarboxylace pyruvátu, neboť by došlo k nahromadění redukovaných koenzymů (NADH, FADH<sub>2</sub>) v dýchacím řetězci.

V našem organismu dochází k **tvorbě laktátu**. Pyruvát se redukuje na laktát za spoluúčasti enzymu laktátdehydrogenasy (LDH).

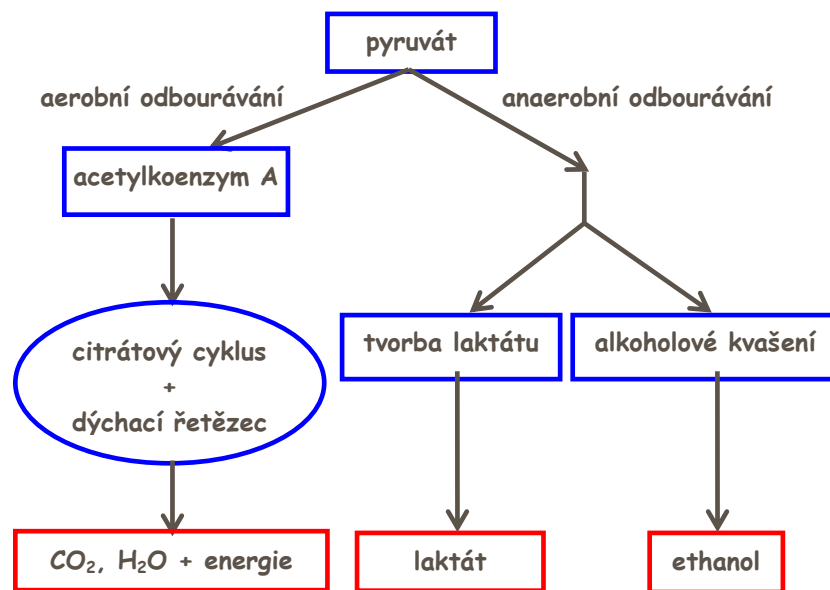
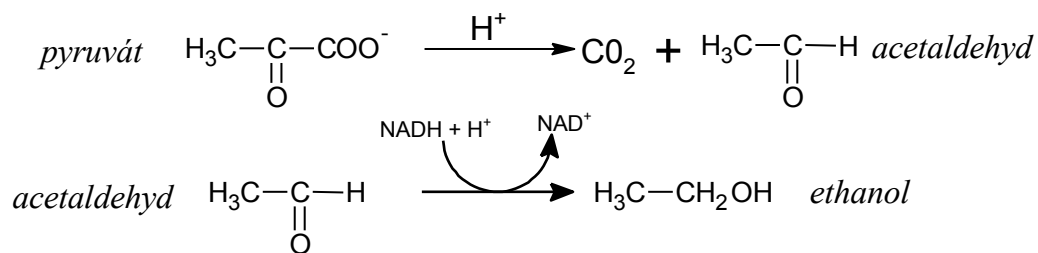


Laktát se tvoří např. při cvičení (je ukládán do svalů a způsobuje jejich bolest).

Proč k tomu dochází právě při cvičení?

Při cvičení je náš metabolismus mnohem rychlejší, než když jsme v klidu. Tím se kyslík mnohem rychleji spotřebovává a vzniká tak „**kyslíkový dluh**“. Glukosa se začne odbourávat anaerobně. Tímto náhradním procesem dochází k doplňování potřeby energie.

Jiný druh anaerobního odbourávání je tzv. **alkoholové kvašení (ethanolové kvašení)**, které způsobují např. kvasinky. Pyruvát je poté anaerobně odbourávána na ethanol.



Obr. 70. Schéma odbourávání pyruvátu



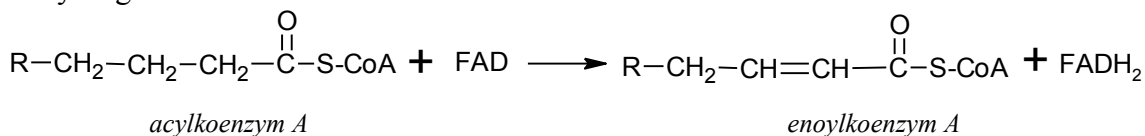


## K jakým procesům dochází při $\beta$ -oxidaci?

$\beta$ -oxidace probíhá v několika fázích:

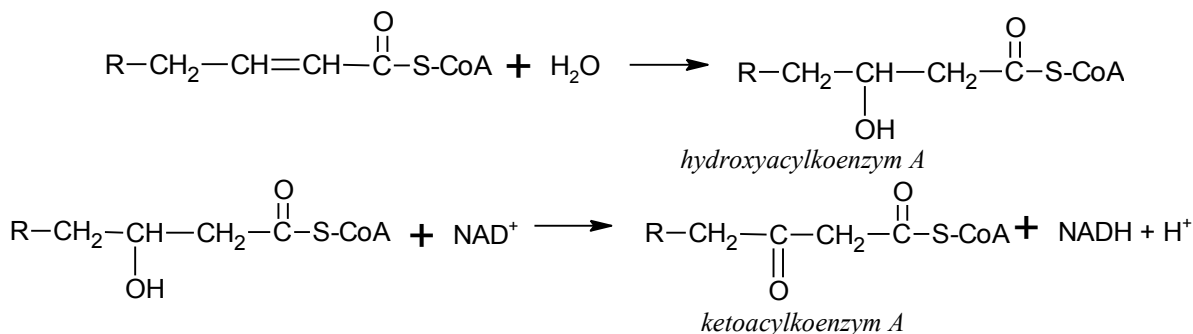
### 1. fáze

Vzniklý acylkoenzym A se za účasti oxidovaného koenzymu flavinadenindinukleotidu (FAD) **dehydrogenuje** na enoylkoenzym A. Reakce je katalyzována enzymem acylkoenzym-A-dehydrogenasou:



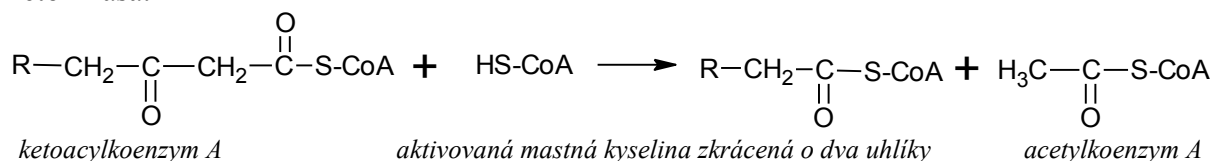
### 2. fáze

Ve 2. fázi dochází k adici vody (**hydratace**) a dehydrogenaci za účasti oxidovaného koenzymu nikotinamidadenindinukleotidu ( $\text{NAD}^+$ ). Přeměnu enoylkoenzymu A na hydroxyacylkoenzym A katalyzuje enzym enoylkoenzym-A-hydrasa. Dehydrogenaci hydroxyacylkoenzymu A na oxoacylkoenzym A (ketoacylkoenzym A) katalyzuje enzym  $\beta$ -hydroxyacylkoenzym-A-dehydrogenasa:



### 3. fáze

Následuje navázání další molekuly koenzymu A za odštěpení acetylkoenzymu A. Toto, tzv. thioltycké štěpení, při kterém vzniká acetylkoenzym A, katalyzuje enzym  $\beta$ -ketokinasa:

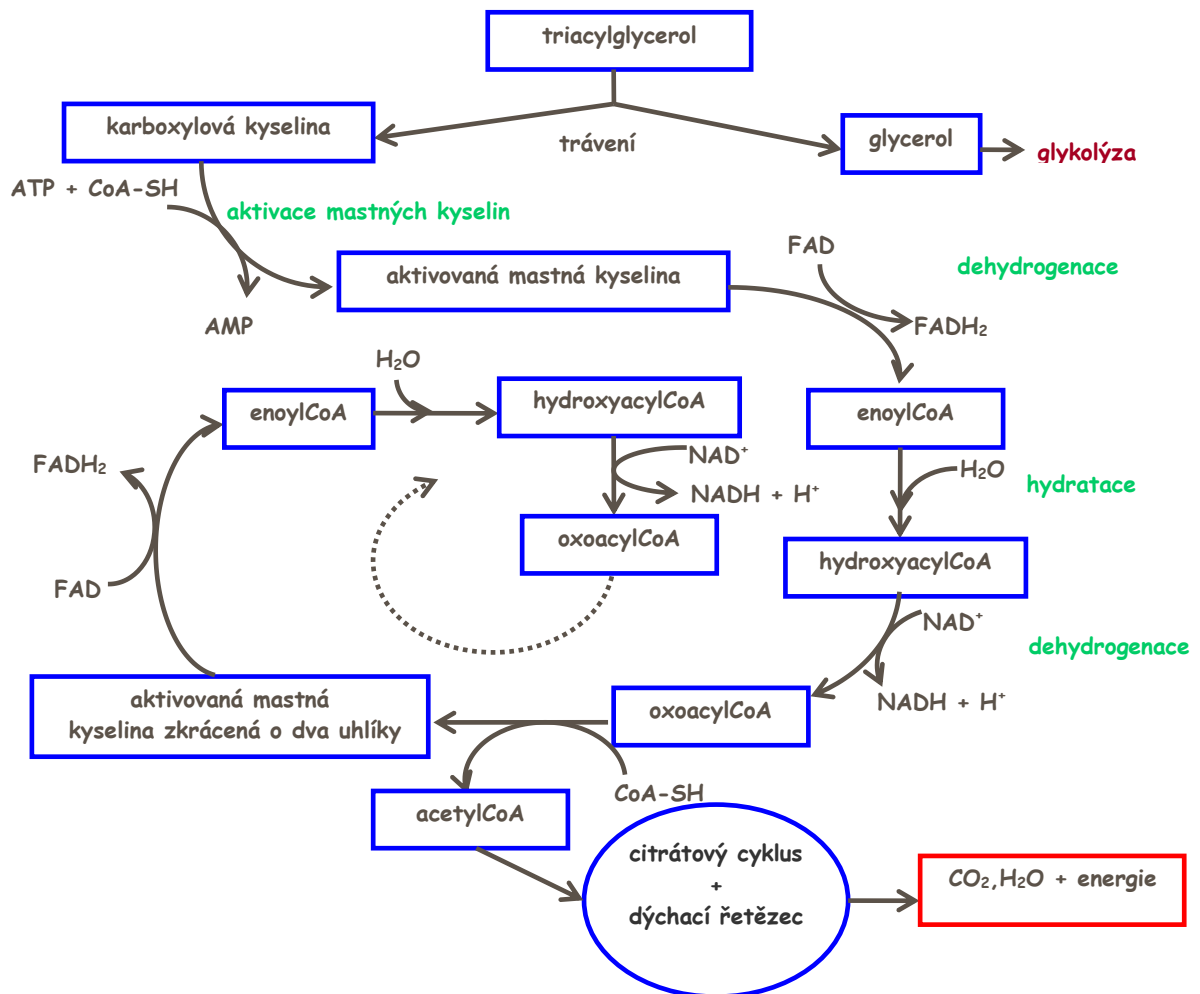


Vzniká acylkoenzym A, který obsahuje o dva uhlíky méně než původní. Takto zkrácený acylkoenzym A vstupuje zpátky do první fáze.

Celý proces  $\beta$ -oxidace probíhá tak dlouho, dokud se celý řetězec nerozštěpí na acetylkoenzymy A.

Vzniklé redukované formy koenzymů ( $\text{NADH}$  a  $\text{FADH}_2$ ) přecházejí do dýchacího řetězce, kde předávají vodík na kyslík za vzniku vody (viz kap. 4.7).

Acetylkoenzym A je dále oxidován v citrátovém cyklu na vodu a oxid uhličitý, stejně jako acetylkoenzym A vzniklý odbouráváním monosacharidů (viz kap. 4.2).



Obr. 71. Schéma  $\beta$ -oxidace

### Proč mají triacylglyceroly mnohem více kalorií než sacharidy?

#### ODBOURÁVÁNÍ SACHARIDŮ

Při odbourávání 1 molekuly glukosy na 2 molekuly pyruvátu vznikají v průběhu glykolýzy **2 molekuly ATP** a **2 molekuly NADH**. Pyruvát se může dále odbourávat buď aerobně nebo anaerobně:

#### 1. Aerobní odbourávání pyruvátu:

Pyruvát se může dále odbourávat aerobně na acetylkoenzym A za vzniku 1 molekuly NADH (ze dvou molekul pyruvátu vznikají **2 molekuly NADH**). Vzniklý acetylkoenzym A vstupuje do citrátového cyklu, kde dále dochází ke vzniku 1 molekuly GTP (resp. ATP), 3 molekul NADH a jedné molekuly FADH<sub>2</sub> (tj. ze dvou molekul acetylkoenzymu A vznikají **2 molekuly ATP**, **6 molekul NADH** a **2 molekuly FADH<sub>2</sub>**).

#### 2. Anaerobní odbourávání pyruvátu:

Pyruvát se odbourává na laktát za současné spotřeby 1 molekuly NADH (tj. na 2 molekuly pyruvátu **spotřebujeme 2 molekuly NADH**).

## ODBOURÁVÁNÍ TRIACYLGLYCEROLŮ

### Odbourávání kyseliny palmitové:

Při úplném rozštěpení jedné molekuly kyseliny palmitové vzniká **7 molekul FADH<sub>2</sub>**, **7 molekul NADH** a 8 molekul acetylkoenzymu A (tj. z 8 molekul acetylkoenzymu A se v citrátovém cyklu získá celkem **8 molekul ATP**, **24 molekul NADH** a **8 molekul FADH<sub>2</sub>**). **1 molekula ATP se spotřebuje** při vzniku acylkoenzymu A (aktivace mastných kyselin).

*Kyselina palmitová*

*C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COOH*

Tab. 7. Rozdíly v energetických výtěžcích

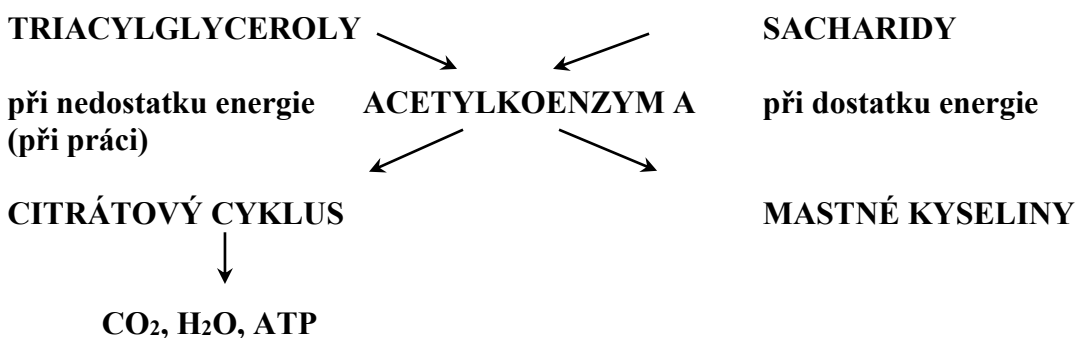
Energie uvolněná	Zisk (počet molekul)		
	ATP	NADH	FADH <sub>2</sub>
při úplné oxidaci 1 molekuly glukosy	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>2</b>
při anaerobním odbourávání 1 molekuly glukosy	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
při rozštěpení 1 molekuly kyseliny palmitové	<b>7</b>	<b>31</b>	<b>15</b>

Z přehledu je patrné, že největší množství energie se uvolní při odbourávání triacylglycerolů (kyselina palmitová je obsažena v triacylglycerolech ve formě esteru s glycerolem). Nejmenší množství energie se uvolní při anaerobním odbourávání glukosy.

### Mohou se triacylglyceroly nahradit sacharidy?

Triacylglyceroly i sacharidy jsou odbourávány na acetylkoenzym A, který může být oxidován v citrátovém cyklu a dýchacím řetězcem na oxid uhličitý a vodu. K tomu dochází ale pouze za předpokladu, že buňka potřebuje energii (jinak řečeno, pokud organismus vykonává určitou práci). Pokud buňka nepotřebuje energii, má jí dostatek, může být acetylkoenzym A využit jako stavební jednotka pro syntézu mastných (karboxylových) kyselin.

Z toho plyne, že ze sacharidů, pokud jich má organismus nadbytek, mohou vznikat triacylglyceroly.



## 4.4 **Metabolismus bílkovin**

### **Jaké množství bílkovin by měla obsahovat naše strava?**

Optimální příjem proteinů u dospělého člověka by měl být 70-80 g proteinů denně.<sup>(16)</sup> U dětí by jejich spotřeba měla být poněkud vyšší, což platí i pro seniory v důsledku jejich menší schopnosti je využít.

### **Jaká je funkce bílkovin, proč jsou tak nepostradatelné?**

Bílkoviny jsou pro naše tělo potřebné z mnoha hledisek.

Podle funkce lze proteiny dělit na:<sup>(28)</sup>

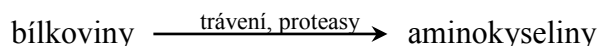
1. enzymy;
  2. zásobní proteiny (ovalbumin);
  3. transportní proteiny (hemoglobin);
  4. ochranné proteiny (imunoglobulin);
  5. kontraktilní proteiny (myosin);
  6. hormony (insulin);
  7. toxiny (hadí jedy);
- strukturní proteiny (kolagen).

### **Dají se bílkoviny nahradit sacharidy či triacylglyceroly?**

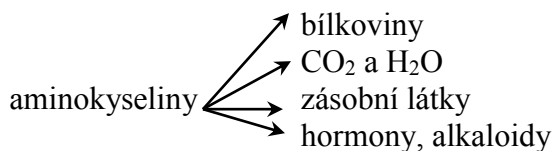
Bílkoviny se nedají nahradit ani sacharidy ani triacylglyceroly, neboť jsou zásadním zdrojem dusíku a jako jediné zdrojem esenciálních aminokyselin.

### **Jak organismus využívá bílkoviny?**

Přijaté bílkoviny nedovede organismus přímo využít, proto jsou enzymově hydrolyzovány na aminokyseliny.



Z těchto aminokyselin si pak organismus tvoří vlastní bílkoviny, nebo je může odbourat v citrátovém cyklu až na oxid uhličitý a vodu. Využívá je také k tvorbě zásobních látek (glykogenu nebo lipidů).

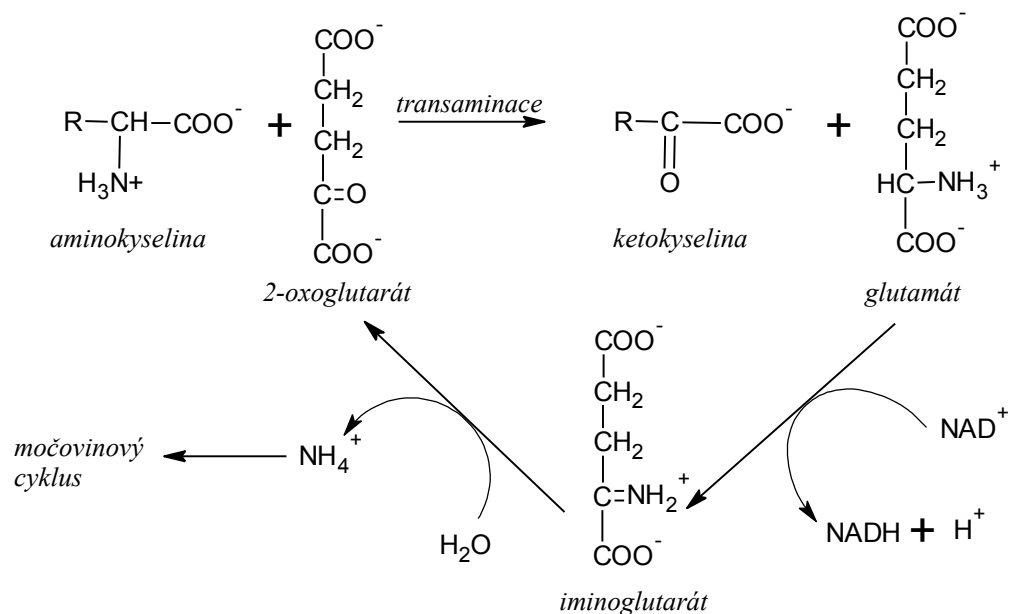


### **K jakým procesům dochází při odbourávání aminokyselin?**

Odbourávání aminokyselin probíhá ve dvou fázích:

#### **1. fáze**

Nejprve proběhne deaminace (většinou tzv. **transaminačním mechanismem**) za vzniku **2-oxokyseliny**. Transaminace slouží k přenosu aminoskupiny z jedné molekuly na druhou.

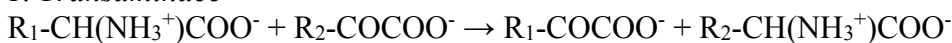


Obr. 72. Tvorba  $\text{NH}_4^+$  z aminokyselin

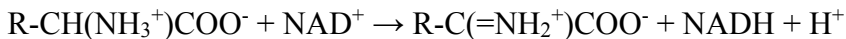
Akceptorem aminokyselin je nejčastěji 2-oxoglutarát, a vzniká tak glutamát. Z glutamátu se oxidační deaminací uvolňuje  $\text{NH}_4^+$ . Konečná detoxikace amoniaku probíhá v játrech v močovinném cyklu.

### Přeměny aminokyselin (základní typy):

#### 1. Transaminace



#### 2. Oxidační deaminace

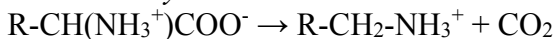


vznik iminokyseliny



vznik oxokyseliny

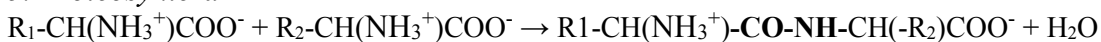
#### 3. Dekarboxylace



vznik biogenního aminu

#### 4. Modifikace postranního řetězce

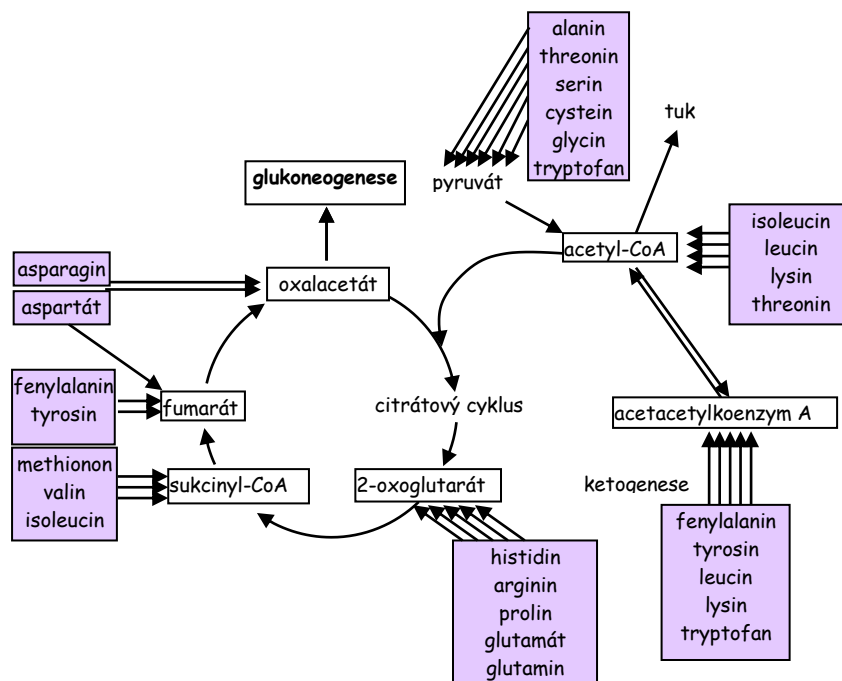
#### 5. Proteosyntéza



vznik peptidové vazby

### 2. fáze

Protože aminokyseliny mají rozmanitou chemickou strukturu probíhá odbourávání jejich uhlíkaté kostry velmi odlišnými cestami. Metabolismus uhlíkatých řetězců znázorňuje schéma na obr. 73.



Obr. 73. Metabolismus uhlikatých řetězců aminokyselin

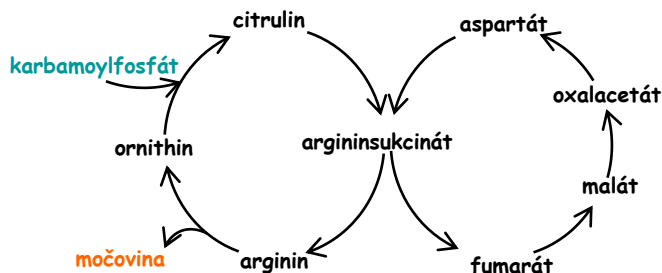
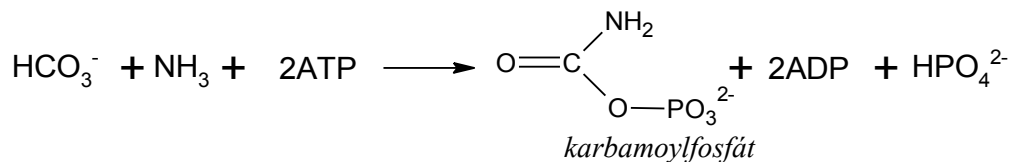
### Aerobní odbourávání uhlikaté kostry aminokyselin:<sup>(33)</sup>

1. Cesta na acetylkoenzym A přes pyruvát: alanin, cystein, glycin, serin, threonin, tryptofan.
2. Cesta na acetylkoenzym A přes acetoacetylkoenzym A: fenylalanin, leucin, lysin, tyrosin, tryptofan.
3. Přeměna na 2-oxoglutarát: arginin, histidin, kyseliny glutamová, glutamin, prolin.
4. Přeměna na sukcinylkoenzym A: isoleucin, methionin, threonin, valin.
5. Přeměna na oxalacetát: asparagin, kyselina asparagová.
6. Přeměna na fumarát: tyrosin, fenylalanin, kyselina asparagová.

### Jakými procesy se odbourává amoniak?

Při oxidačním odbourávání aminokyselin by se uvolňoval amoniak, který je pro organismus jedovatý. V lidském těle je amoniak přeměňován na močovinu v **močovinovém (ornithinovém) cyklu**.

Močovinový cyklus začíná tvorbou látky, která se nazývá **karbamoylfosfát**.



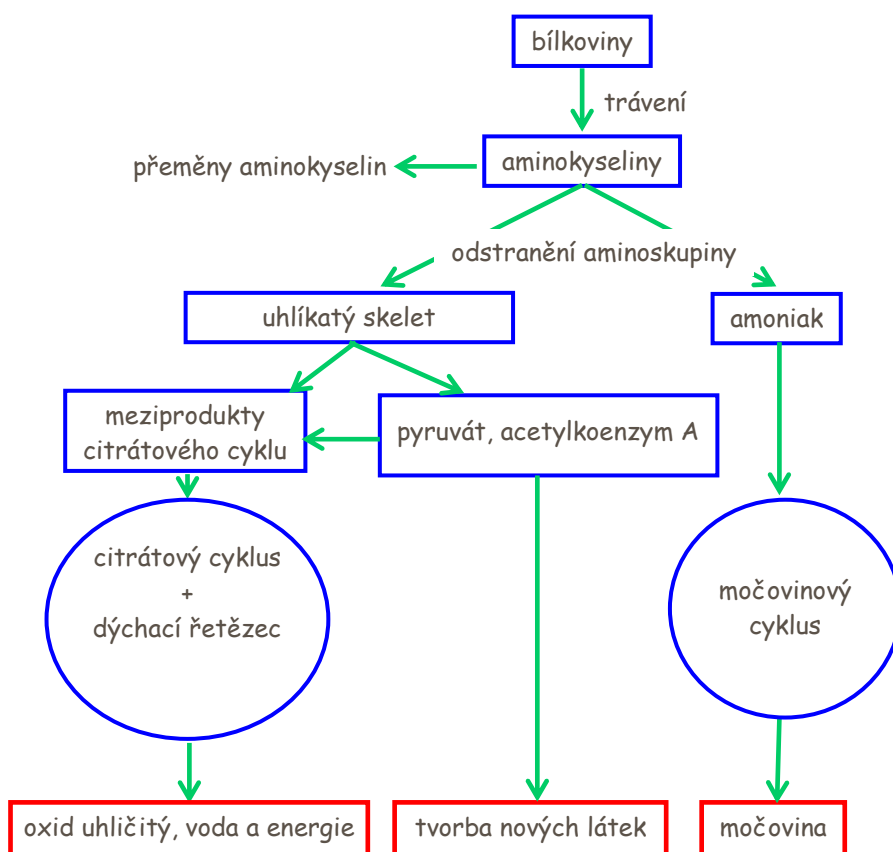
Obr. 74. Schéma močovinového cyklu

## Jak rozdělujeme aminokyseliny ve vztahu k lidskému metabolismu?

Aminokyseliny můžeme rozdělit na: <sup>(33)</sup>

**esenciální (nepostradatelné)** – ty si organismus není schopen sám vytvořit z jiných látek; musí být organismu dodávány ve formě potravy; mezi esenciální aminokyseliny patří: histidin, valin, leucin, isoleucin, lysin, fenylalanin, tryptofan, methionin, threonin, (arginin);

**neesenciální (postradatelné)** – organismus si je dokáže vytvořit z jiných látek; mezi neesenciální aminokyseliny patří: alanin, asparagin, kyselina asparagová, glutamin, kyselina glutamová, cystein, glycin, prolin, serin a tyrosin.



Obr. 75. Schéma odbourávání bílkovin



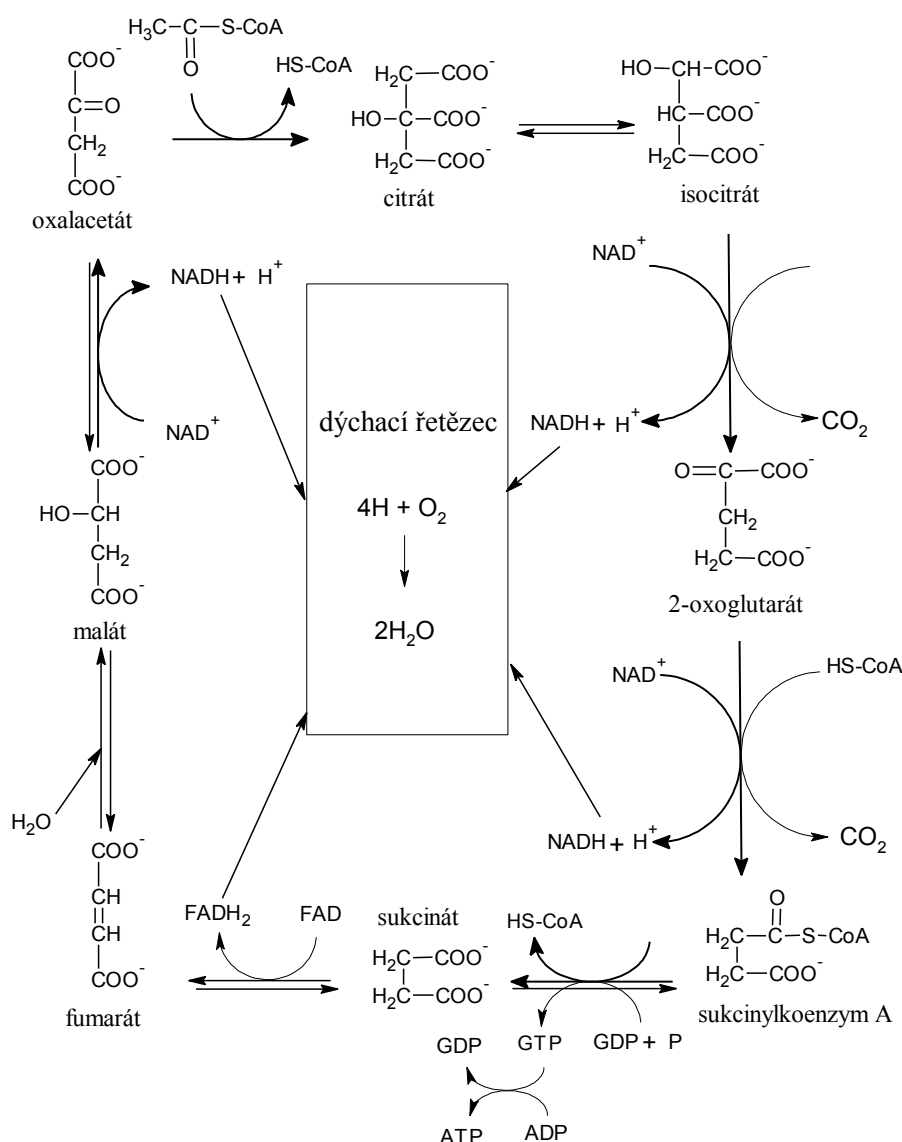
## 4.5 Cyklus kyseliny citronové

### Co je acetylkoenzym A?

Acetylkoenzym A neboli aktivní kyselina octová, je univerzální metabolit při odbourávání živin (tj. bílkovin, sacharidů a lipidů).

### K jakým pochodům dochází v citrátovém cyklu a kde je lokalizován?

Cyklus kyseliny citronové (citrátový cyklus, Krebsův cyklus) je označení pro sled reakcí, při nichž se acetylkoenzym A mění na oxid uhličitý za současného uvolnění energie. Cyklus zahajuje oxalacetát, který se v poslední fázi opět regeneruje. Cyklus kyseliny citronové je spřažen s dýchacím řetězcem (viz kap. 4.7). Tyto děje probíhají v mitochondriích.



Obr. 76. Cyklus kyseliny citronové

### Jaký je energetický výtěžek citrátového cyklu?

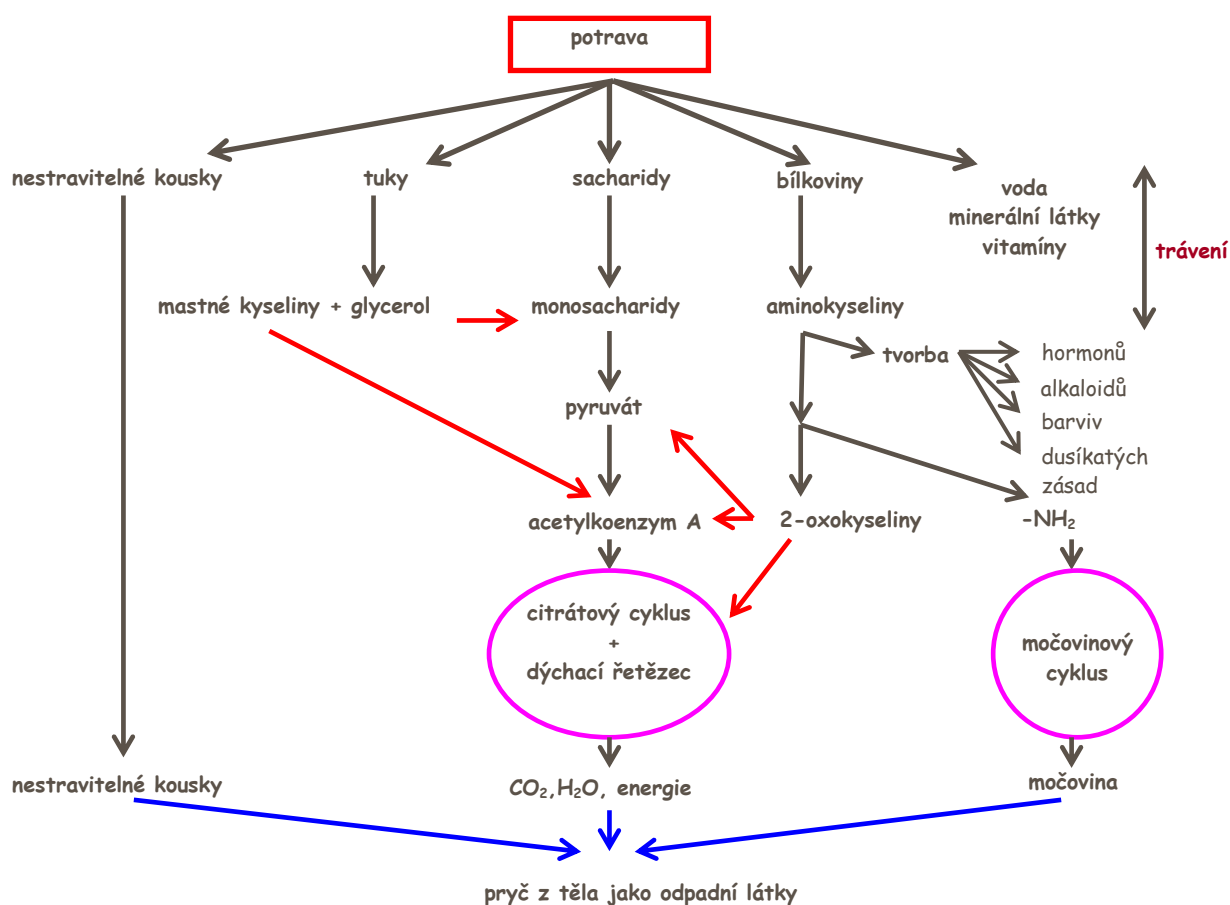
Citrátový cyklus probíhá bez přístupu kyslíku a přímým energetickým výtěžkem zprostředkovaným přes molekulu GTP je jedna molekula ATP.

Tento cyklus však probíhá pouze ve spojení s dýchacím řetězcem, jehož energetický výtěžek je mnohem vyšší (viz kap. 4.7) a probíhá pouze za přítomnosti kyslíku!

## 4.6 Vztahy mezi metabolismy

### Jaké jsou vztahy mezi metabolismy?

Vztahy mezi metabolismy jsou znázorněny ve schématu na obr. 77.



Obr. 77. Vztahy mezi metabolismy

## 4.7 Respirace

### Proč dýcháme? K čemu potřebujeme pro život tak nezbytný kyslík?

Bez kyslíku vydrží lidské tělo pouze několik minut. Při dýchání dochází k absorpci kyslíku z atmosférického vzduchu, a naopak k výdeji odpadního produktu, oxidu uhličitého.

Kyslík je přenášen oběhovým systémem (srdce a krevní cévy) ke každé buňce organismu. Pokud by k tomu nedocházelo, tkáně by se nenapravitelně poškodily již během několika minut. Bez kyslíku by totiž náš metabolismus přestal fungovat tak jak má, protože kyslík je součástí mnoha biochemických procesů udržujících náš organismus v chodu. Právě oxidací živin vzniká energie potřebná pro život. Buňka pak tuto energii spaluje při pohonu dalších biochemických pochodů.

### V čem spočívá rozdíl mezi vnitřní a vnější respirací?

Dýchání (respiraci) můžeme rozdělit na dvě rozdílné součásti **jednoho procesu**:

#### **1. Vnitřní respirace (buněčné dýchání)**

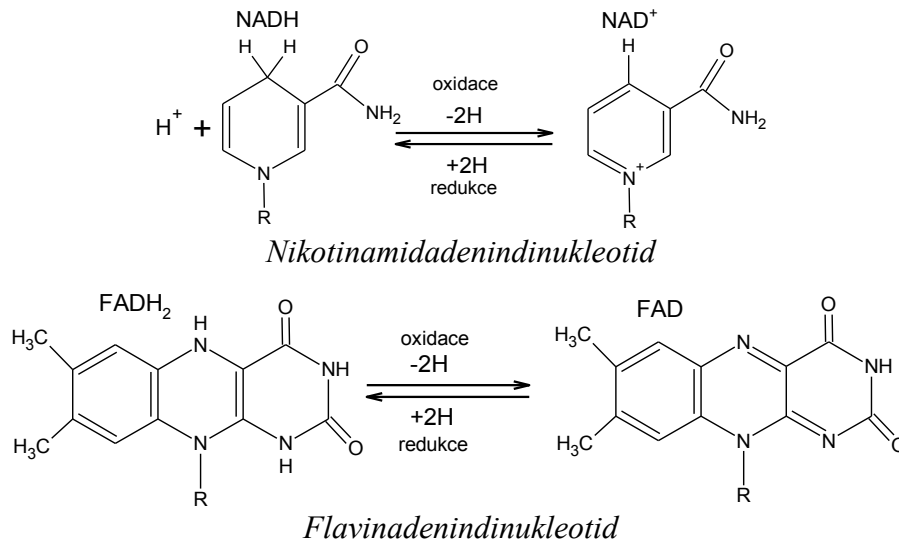
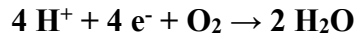
Jedná se o biochemický proces získávání energie s využitím kyslíku, který probíhá v buňkách.

## 2. Vnější respirace

Dodává kyslík buňkám těla a tím umožňuje vnitřní respiraci.

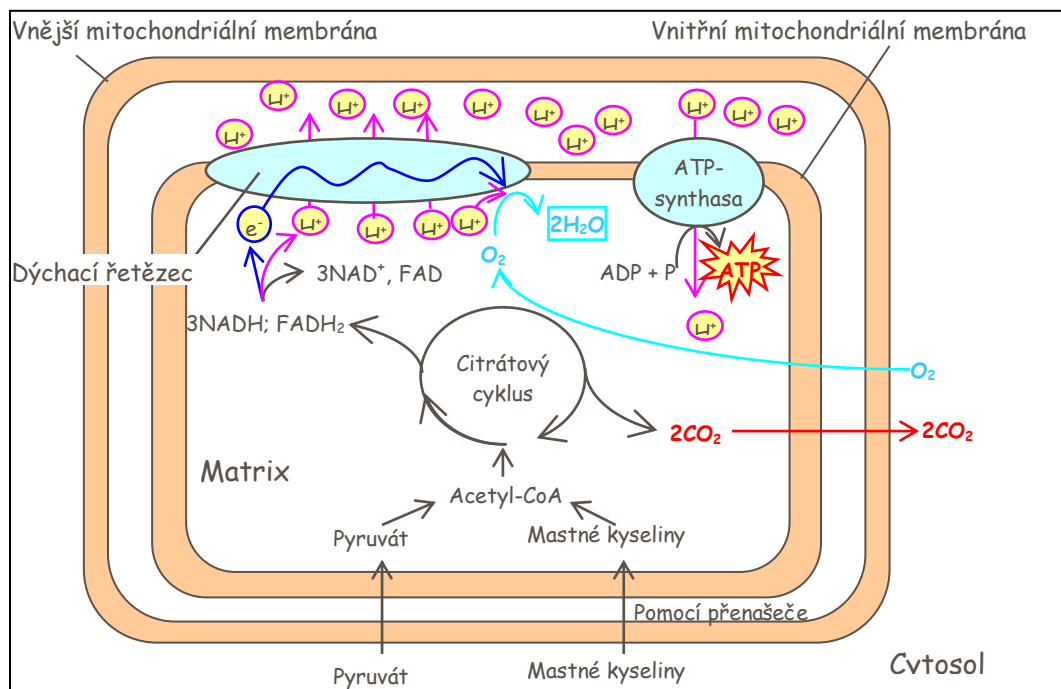
### Co je respirační (dýchací) řetězec?

Respirační řetězec je řetězec chemických dějů, při kterých dochází k přenosu vodíku z redukovaných koenzymů (NADH, FADH<sub>2</sub>) na elementární kyslík, přičemž dochází k oxidaci těchto koenzymů.



Složky dýchacího řetězce jsou umístěny na mitochondriálních membránách buněk.

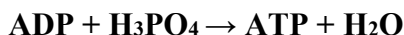
Jedná se o soubor reakcí, které ukončují energetické odbourávání sacharidů, lipidů a bílkovin, na jehož konci jsou produkty s nejnižším obsahem energie (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), tedy v oxidované formě.



Obr. 78. Schéma energetického metabolismu v mitochondriích

## Jaké je spojení mezi kyslíkem, který dýcháme, a syntézou ATP?

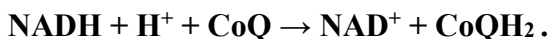
Respirační řetězec zprostředkovává přenos chemické energie získané z potravy a kyslíku tak, že ji zabuduje do struktury ATP.



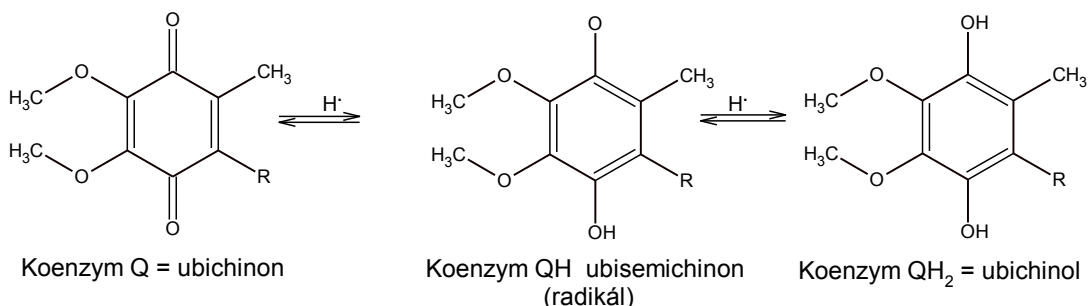
Dýchací řetězec se skládá ze **4 enzymových komplexů** (viz dále) a z enzymu **ATP-synthasy**. Ubichinony (koenzym Q, CoQ) a cytochromy (cyt) slouží jako pohyblivé přenašeče elektronů (koenzym Q i protonů). Během přenosu elektronů vzniká energie, kterou využívá každý enzymový komplex k čerpání protonů (protony pocházejí z vody  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ ) z matrix do mezimembránového prostoru – vytváří se elektrochemický protonový gradient (koncentrace protonů je v mezimembránovém prostoru daleko vyšší než v matrix). Při přechodu protonů zpět do matrix vzniká energie, která pohání syntézu ATP z ADP a anorganického fosfátu (jedná se o **oxidační fosforylaci**). Protony roztáčí stopku hlavy ATP-synthasy, a tím dochází k syntéze ATP. Takto popsáný vznik molekuly ATP popisuje tzv. **chemiosmotická teorie**, za kterou dostal v roce 1978 Peter Mitchell Nobelovu cenu.

Dehydrogenací jedné molekuly NADH se celkem přenesou 6 protonů do mezimembránového prostoru, dehydrogenací sukcinátu se přenesou jen 4 protony. Mitchell předpokládal, že na vznik jedné molekuly ATP je zapotřebí zpětného přenosu dvou protonů. To odpovídá představě, že oxidací jedné molekuly NADH vznikají 3 molekuly ATP, oxidací jedné molekuly  $\text{FADH}_2$  vznikají 2 molekuly ATP. Z toho vyplývá, že při odbourávání jedné molekuly acetylkoenzymu A vznikne 12 molekul ATP (1 z GTP, 9 ze tří molekul NADH a 2 z jedné molekuly  $\text{FADH}_2$ ). Nejvíce energie tedy vzniká při tvorbě vody v dýchacím řetězci.

**Komplex I je NADH-CoQ-oxidoreduktasa**, která katalyzuje reakci:

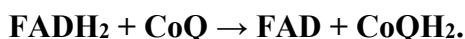


V komplexu I dochází k přenosu dvou protonů a dvou elektronů z koenzymu NADH +  $\text{H}^+$  na prostetickou skupinu FMN (flavinmononukleotid) za vzniku  $\text{FMNH}_2$ . Protony jsou dále uvolňovány do mezimembránového prostoru a elektrony (po jednom) přecházejí na další prostetickou skupinu typu FeS (kde dochází ke změně oxidačního čísla mezi  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ ). Elektrony (opět po jednom) jsou poté společně s dalšími protony z matrix přebírány semichinoidní formou ubichinonu  $\text{CoQH}^\bullet$  (ubisemichinon, mající k dispozici  $1 e^-$  a  $1 \text{H}^+$ ) za vzniku ubichinolu  $\text{CoQH}_2$  (mající již  $2 e^-$ ,  $2 \text{H}^+$ ) – viz dále komplex III.



*Formy koenzymu Q*

**Komplex II je Sukcinát-CoQ-oxidoreduktasa**, která katalyzuje reakci:



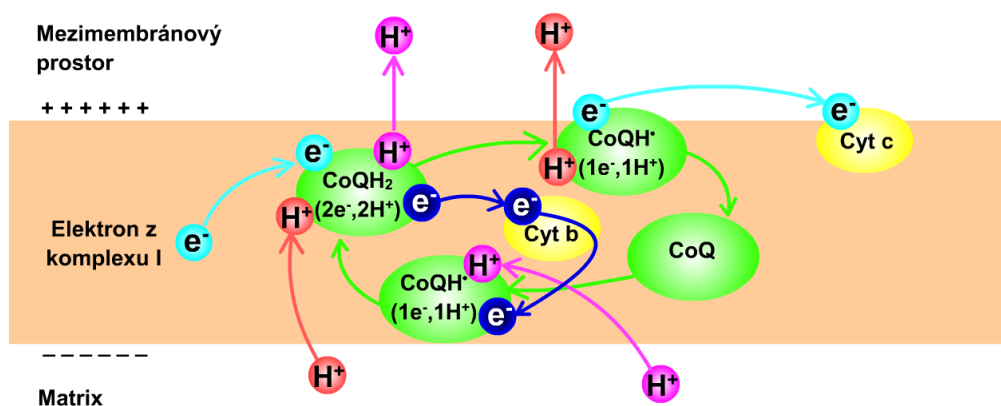
Komplex II je flavoprotein (obsahuje prostetickou skupinu FAD a dvě skupiny typu Fe<sub>2</sub>S<sub>2</sub>). V komplexu II dochází k přenosu dvou protonů a dvou elektronů ze sukcinátu na prostetickou skupinu FAD za vzniku FADH<sub>2</sub> a fumarátu. Protony nejsou ihned uvolňovány do mezimembránového prostoru, jak tomu bylo v komplexu I, ale společně s elektrony přecházejí na semichinoidní formu ubichinonu CoQH' (mající 1 e<sup>-</sup> a 1 H<sup>+</sup>) za vzniku ubichinolu CoQH<sub>2</sub> (mající již 2 e<sup>-</sup>, 2 H<sup>+</sup>) – viz dále komplex III.

**Komplex III je CoQH<sub>2</sub>–cytochrom-c-oxidoreduktasa**, která katalyzuje reakci:



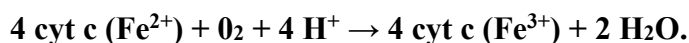
Komplex III reoxiduje ubichinol (CoQH<sub>2</sub>) – produkt komplexu I a II. Ubichinol je oxidován na semichinon (CoQH') tak, že jeden elektron přechází na **cyt b** a uvolní se jeden proton do mezimembránového prostoru, druhý elektron se přenesse na **cyt c** (Fe<sup>3+</sup> se redukuje na Fe<sup>2+</sup>) a opět se uvolní jeden proton do mezimembránového prostoru za vzniku ubichinonu (CoQ, k dispozici 0 e<sup>-</sup> a 0 H<sup>+</sup>). Na ubichinon (CoQ) se zpátky přenesse elektron z cyt b a zároveň se naváže jeden proton z matrix mitochondrie za vzniku ubisemichinonu (CoQH', mající k dispozici opět 1 e<sup>-</sup> a 1 H<sup>+</sup>). Ubisemichinon opět váže elektron z komplexu I (resp. II) a proton za vzniku ubichinolu a celý cyklus se opakuje.

Jeden elektron se vždy cyklicky vrací přes cyt b, což má za následek přenos celkem dvou protonů z matrix do mezimembránového prostoru při přenosu jednoho elektronu na cyt c (viz obr. 79).

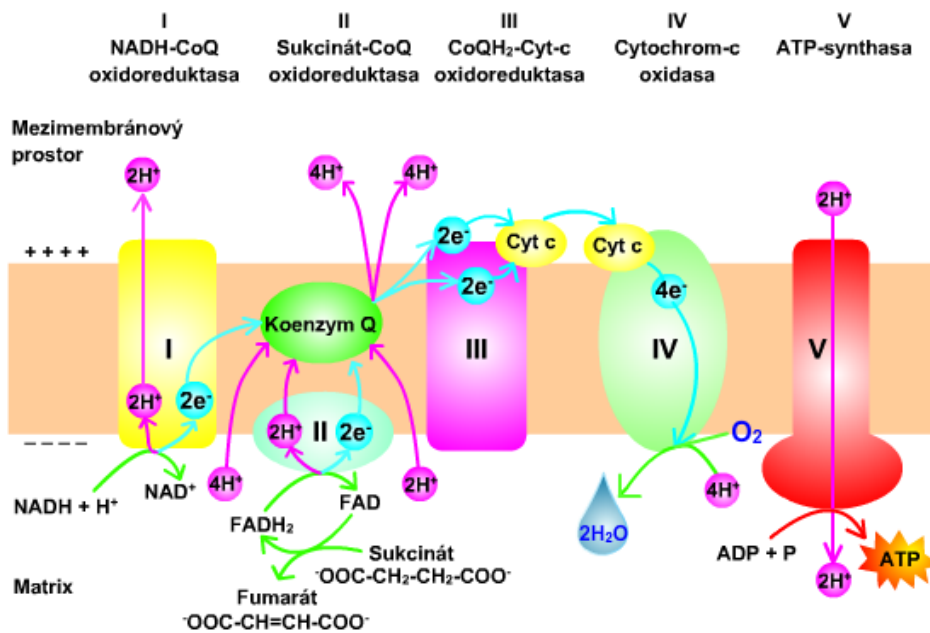


Obr. 79. Q-cyklus

**Komplex IV je cytochrom-c-oxidasa**, která katalyzuje reakci:



Elektrony z cyt c přebírá cytochrom a; odtud jsou přenášeny na cytochrom a<sub>3</sub> (dochází ke změně oxidačního čísla mezi Cu<sup>2+</sup> a Cu<sup>+</sup>). Cytochrom a<sub>3</sub> postupně redukuje molekuly kyslíku na oxidové ionty (O<sup>2-</sup>), které s protony z matrix reagují za vzniku molekuly vody. Hlavní úloha kyslíku, který vdechujeme, spočívá tedy v tom, aby udržoval komplex cytochromů v oxidovaném stavu.



Obr. 80. Dýchací řetězec

#### 4.8 Lokalizace metabolických pochodů v buňce

##### Ve kterých buněčných částech probíhají jednotlivé metabolické pochody?

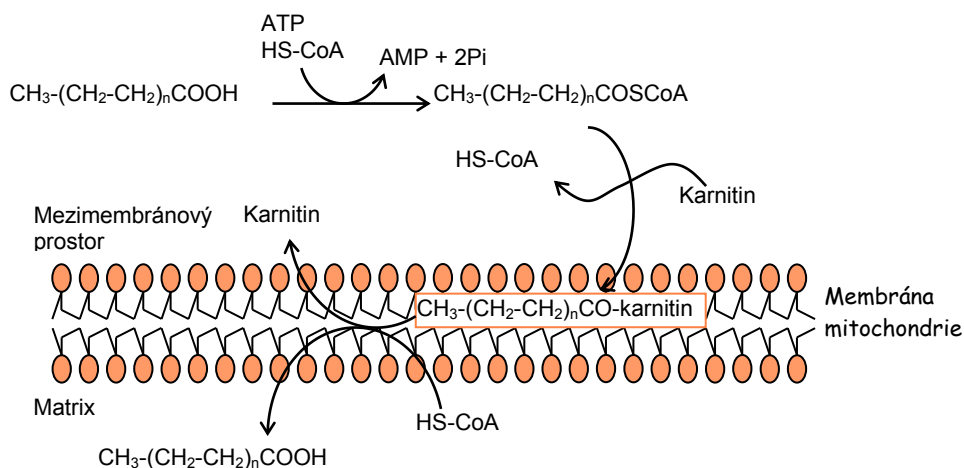
Řada pochodů probíhá především v mitochondriích a v cytoplasmě (viz obr. 83).

**Glykolýza** probíhá v cytoplasmě. **Citrátový cyklus** je lokalizován v matrix mitochondrie. **Dýchací řetězec** probíhá na vnitřní membráně mitochondrií.

**Aktivace mastných kyselin** (produktem je acylkoenzym A) probíhá v mezimembránovém prostoru mitochondrií (viz obr. 81).

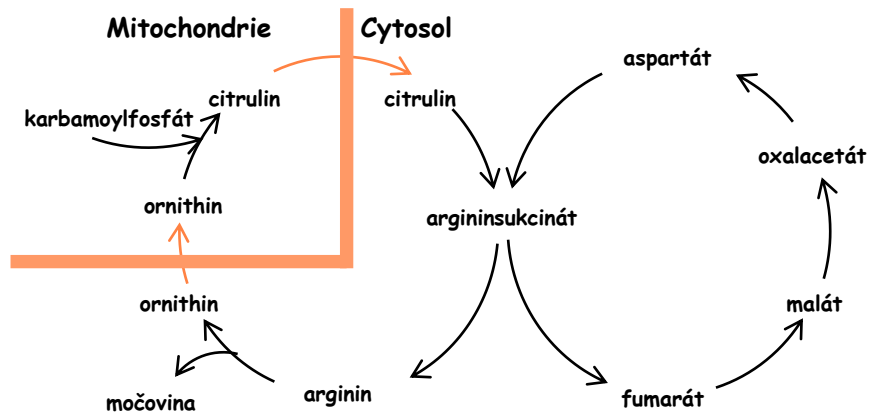
**β-oxidace** (odbourávání acylkoenzymu A na acetylkoenzym A) probíhá v matrix mitochondrie. Acylkoenzym A, který vznikl aktivací mastných kyselin, není schopen přecházet přes vnitřní mitochondriální membránu, proto musí být vázán na chemickou látku zvanou karnitin za vzniku acylkarnitinu. Acylkarnitin je již schopen projít z mezimembránového prostoru do matrix, kde se opět tvoří sloučenina acylkoenzym A vstupující do procesu β-oxidace (viz obr. 81).

**Syntéza mastných kyselin** probíhá naopak v cytoplasmě jaterních buněk a buněk tukových tkání.

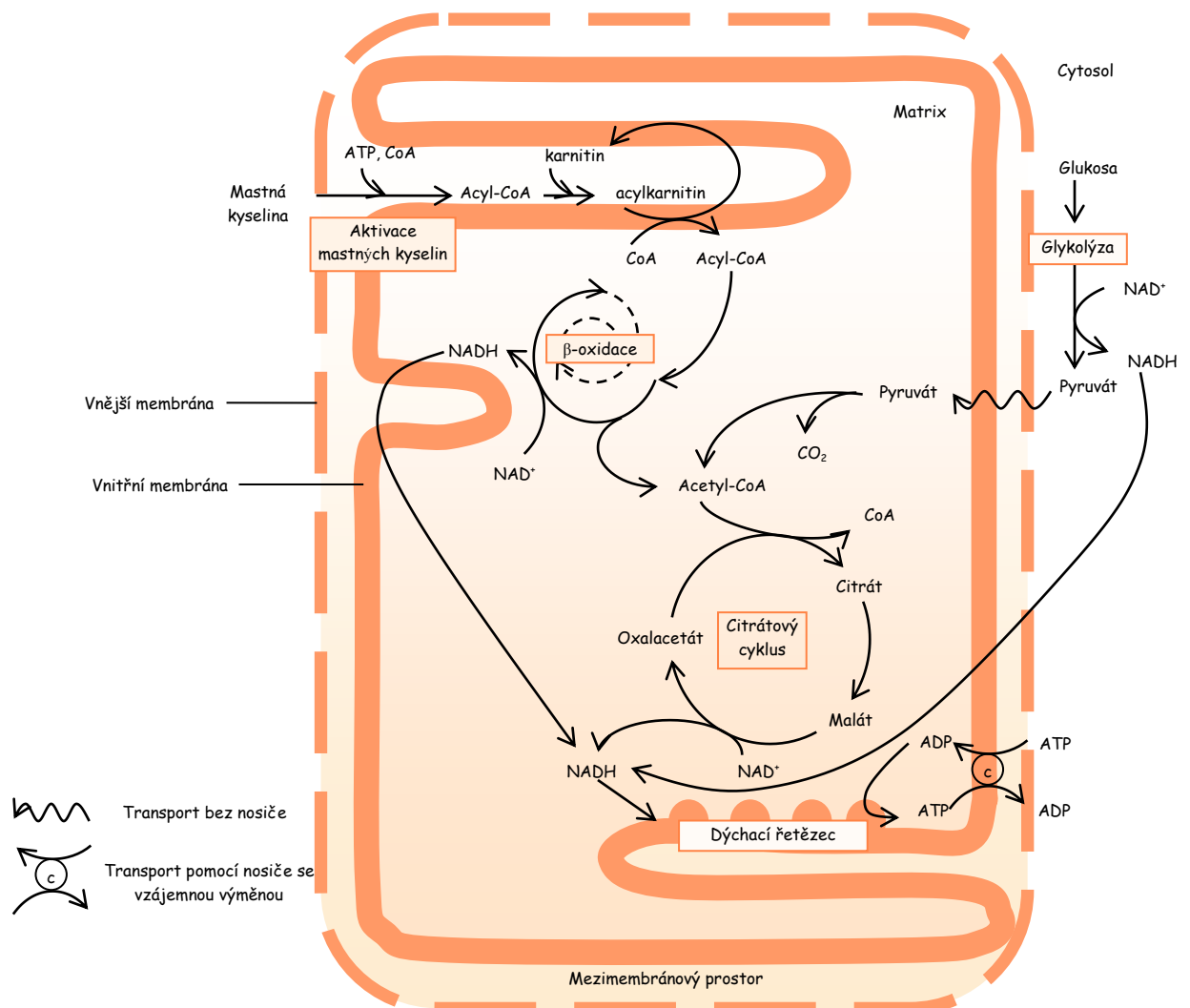


Obr. 81. Přenos aktivované mastné kyseliny přes membránu

Část **močovinového cyklu** (odbourávání amoniaku za vzniku močoviny) probíhá v mitochondriích, druhá část v cytoplasmě jaterních buněk. V mitochondriích probíhá reakce karbamoylfosfátu s ornithinem za vzniku citrulinu, jenž prochází mitochondriální membránou do cytoplasmy. V cytoplasmě se tvoří z citrulinu a aspartátu argininosukcinát, který se štěpí na fumarát a arginin. Z argininu vzniká močovina a ornithin, který prochází mitochondriální membránou zpátky do matrix (viz obr. 82).



Obr. 82. Močovinový cyklus



Obr. 83. Lokalizace metabolických pochodů v mitochondrii

## 5 Fotosyntéza

### Co je fotosyntéza a které organismy mají schopnost provádět fotosyntézu?

Fotosyntéza je jeden z nejdůležitějších dějů v přírodě. V průběhu fotosyntézy dochází k zachycení sluneční energie (fotonů) a k následné syntéze organických látek (sacharidy, mastné kyseliny a prekurzory aminokyselin) z oxidu uhličitého a vody. Mezi organismy, které mají schopnost provádět fotosyntézu, patří vyšší rostliny, zelené a hnědé řasy, jednobuněčné sinice, zelené a purpurové bakterie. Reakce probíhající během fotosyntézy se dají rozdělit do dvou základních dějů: primární děj (přenos elektronů a protonů) a sekundární děj (fixace oxidu uhličitého – Calvinův cyklus).

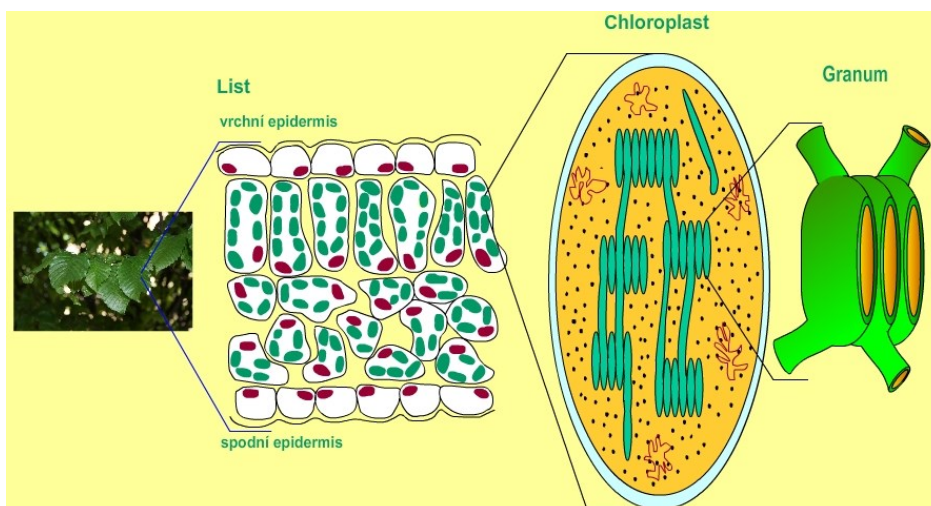
Sumární reakce fotosyntézy:



### 5.1 Lokalizace fotosyntetických dějů v buňce, struktura chloroplastu

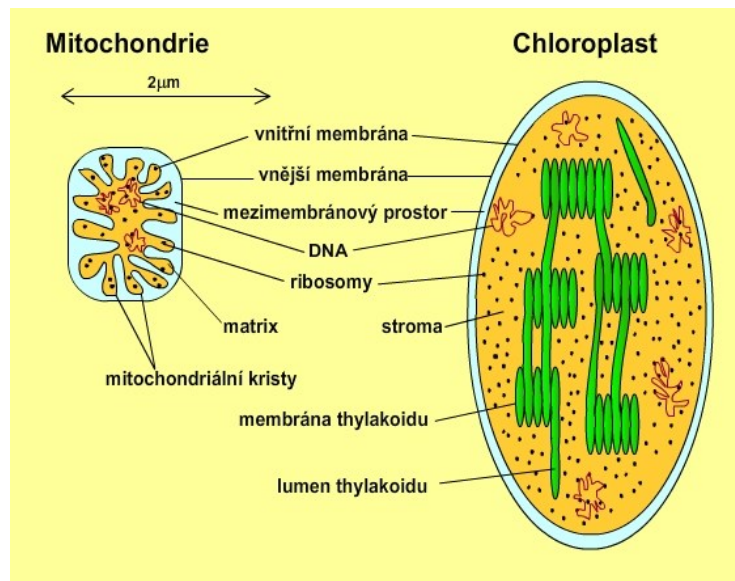
#### Kde probíhá fotosyntéza?

Celý proces fotosyntézy je u eukaryotních organismů lokalizován v **chloroplastech**. Chloroplasty jsou orgány velmi podobné mitochondriím. Mají tři typy membrán: vnější membránu (vysoce propustná), vnitřní membránu a membránu thylakoidů. Membrány určují tři oddělené prostory: mezimembránový prostor, stroma a lumen thylakoidů (viz obr. 85). Chloroplast patří mezi semiautonómni orgány, tzn. že obsahuje svoji vlastní DNA. **Thylakoidy** jsou diskovité membránové váčky uvnitř chloroplastů, jsou vzájemně propojené a vytváří tzv. grana (viz. obr. 84).



Obr. 84. Průřez listem buku obecného (*Fagus silvatica*)





Obr. 85. Složení chloroplastu a mitochondrie

## 5.2 Primární děj fotosyntézy

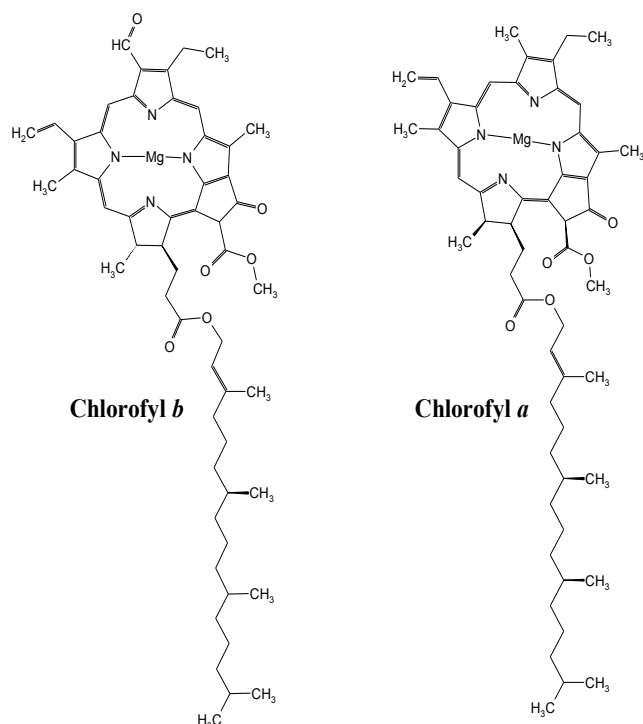
### Kde je primární děj fotosyntézy lokalizován a co je fotosystém?

Primární děj fotosyntézy probíhá především v thylakoidní membráně. V thylakoidní membráně jsou přítomny fotosyntetické komplexy tzv. **fotosystém I** a **II** (**PS I** a **PS II**). Fotosystémy jsou tvořeny fotosyntetickými pigmenty (chlorofyly, karotenoidy a fykobiliny), bílkovinami a přenašeči elektronů.

### Jakou funkci mají fotosyntetické pigmenty ve fotosyntéze?

**Chlorofyly** jsou nejdůležitější fotosyntetické pigmenty (viz obr. 86). Hlavní funkcí chlorofylů je absorpce světelné energie (fotonů) a její využití při fotolýze vody (viz dále). Chlorofyly absorbují fotony v modré a především v červené oblasti spektra. Komplementární barvou červené je zelená, proto se rostliny s převažujícím barvivem chlorofylem lidskému oku jeví jako zelené. Nejvýznamnějšími chlorofyly jsou chlorofyl *a* a chlorofyl *b*. **Chlorofyl *a*** se bezprostředně účastní primárního fotochemického děje (*přeměny elektromagnetického záření v energii chemickou*). Ostatní pigmenty mají v thylakoidech pouze pomocnou (*světlosběrnou*) funkci: zachycují záření a energii svého excitovaného stavu přenášejí na chlorofyl *a*.

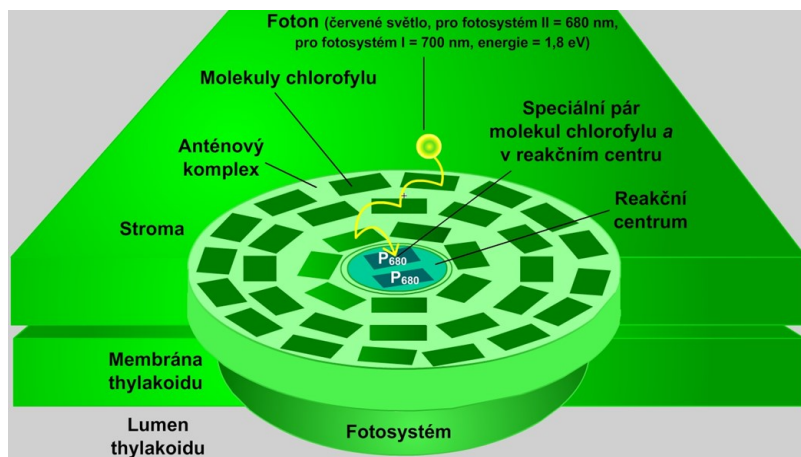
**Karotenoidy** slouží jako doplňkové *světlosběrné pigmenty*. Absorbují fotony ve fialové a modré oblasti světla, proto se lidskému oku jeví jako žluté až oranžové.



Obr. 86. Vzorce chlorofylu a, b

### Co je anténový komplex a jaká je jeho funkce?

**Anténa** (anténový komplex) je část fotosystému I i II. Skládá se ze složitěho proteinového komplexu, který v sobě váže stovky molekul chlorofylu. Molekuly chlorofylu absorbují světelnou energii (foton) a ve formě excitovaného elektronu si energii mezi sebou předávají od jedné molekuly chlorofylu ke druhé, až je nakonec tato energie předána do reakčního centra (viz obr. 87).

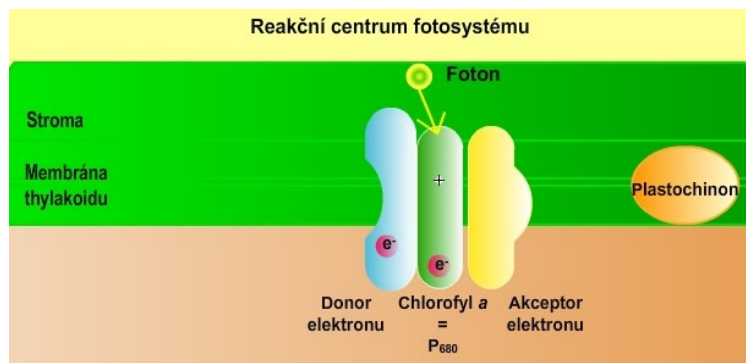


Obr. 87. Anténový komplex, přenos energie do reakčního centra fotosystému II

### Jak molekula chlorofylu v reakčním centru zachycuje světelnou energii?

**Reakční centrum** fotosystému je proteinový komplex (viz obr. 88). Zde je pigmenty anténového komplexu zachycená energie předána na speciální pár molekul chlorofylu *a*. Pigmenty s navázaným chlorofylem se označují symbolem P a číslem udávající vlnovou délku světla optimální pro excitaci elektronu v molekule chlorofylu (např. ve fotosystému I se jedná o pigment **P700**, ve fotosystému II se jedná o pigment **P680**).

Molekula chlorofylu *a* (na obr. 88 znázorněna zeleně) je po dopadu světelné energie excitována a dochází k vyzáření elektronu, který je předán akceptoru (na obr. 88 znázorněn žlutě). Kladně nabitá molekula chlorofylu ihned přebírá elektron od donoru a vrací se do svého základního stavu. Donor elektronu se regeneruje elektronem vzniklým fotolýzou vody (u PS II) nebo ho přebírá z plastocyaninu (u PS I, viz dále).



Obr. 88. Zachycení světelné energie chlorofylem *a*

### Co je fotolýza vody? Kdy k fotolýze vody dochází?

Během **fotolýzy vody** dochází k rozkladu molekuly vody na kyslík, elektrony a protony. Elektrony jdou přes přenašeč (protein s  $Mn^{2+}$ ) do PS II, kde doplní počet elektronů v molekule donoru. Protony, resp. protonový gradient, slouží k syntéze ATP. Kyslík se uvolňuje do ovzduší.

### Jak se elektron z reakčního centra fotosystému II přenese na NADP-reduktasu?

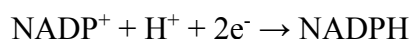
Jak již bylo zmíněno, po absorpci fotonu fotosystémem II, dochází k přenosu elektronu z molekuly chlorofylu *a* v reakčním centru na akceptor. Elektron z akceptoru je přenášén na **plastochinon (pQ)** a dále až na **plastocyanin (pC)**. Při tomto přenosu se na jeden elektron zároveň přenesou dva protony ze stromatu do lumen thylakoidu.

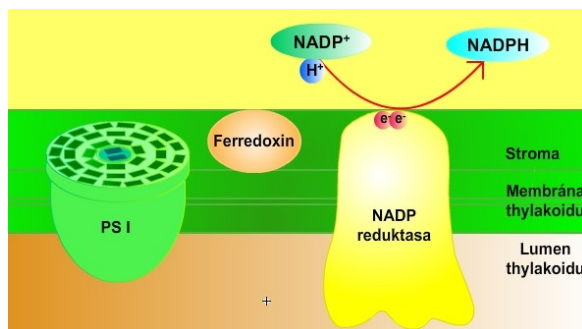
Elektron z akceptoru PS II je přenášén na plastochinon (pQ) obsahující již 1 elektron a 1 proton. Zároveň se na plastochinon naváže jeden proton ze stromatu. Jeden elektron z plastochinonu přechází na plastocyanin (pC), druhý elektron přechází na **komplex cytochromů *b<sub>6</sub>f*** a opět se cyklicky vrací na plastochinon. Současně se uvolní oba protony do lumen thylakoidu a ze stromatu se na plastochinon naváže chybějící proton (plastochinon má opět k dispozici 1 elektron a 1 proton).

Elektron z plastocyaninu přechází do PS I, kde opět došlo absorpcí světelného záření (fotonu) k vyzáření jednoho elektronu v molekule chlorofylu (viz obr. 88). Elektron z plastocyaninu tak regeneruje donor elektronu (zaplní kladně nabitou „díru“ v reakčním centru fotosystému I). Excitovaný elektron přebírá akceptor fotosystému I, ze kterého přechází na **ferredoxin (Fd)**.

Plastocyanin je protein obsahující  $Cu^{2+}$  ionty. Ferredoxin je protein obsahující vzájemně vázané atomy železa a síry.

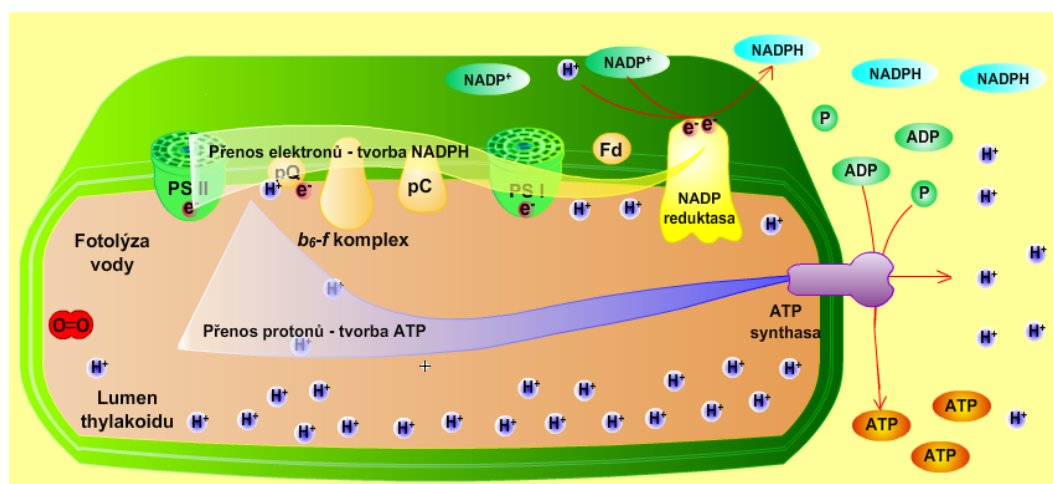
Elektron z ferredoxinu přechází na enzym zvaný **NADP-reduktasa**, kde dochází k redukci koenzymu  $NADP^+$  na **NADPH** (nikotinamidadenindinukleotidfosfát), viz obr. 89.





Obr. 89. NADP-reduktasa

Obrázek 90 znázorňuje celkové schéma průběhu primárního děje fotosyntézy. Produkty (NADPH a ATP) přecházejí do Calvinova cyklu, kyslík se uvolňuje do ovzduší.

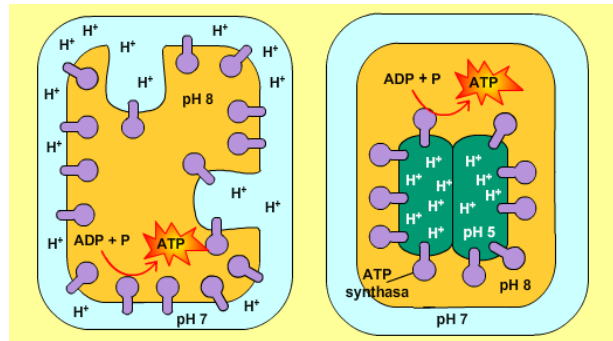


Obr. 90. Primární děj fotosyntézy - schéma

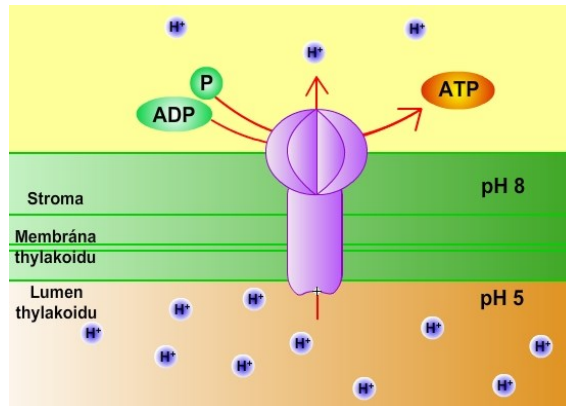
*PS = fotosystém, pQ = plastochinon, pC = plastocyanin, Fd = ferredoxin*

### Jak se tvoří ATP?

Během přenosu elektronů vzniká energie, která je využita k čerpání protonů ze stromatu do lumenu thylakoidu, podobně jako v respiračním řetězci (viz kap. 4.7). Ve stromatu se navíc protony spotřebovávají (redukce  $\text{NADP}^+$ ), zatímco v lumenu vznikají (fotolýza vody). Vytváří se elektrochemický protonový gradient (koncentrace protonů je v lumenu daleko vyšší než ve stromatu;  $\text{pH}_{\text{lumen}} = 5$ ,  $\text{pH}_{\text{stromatu}} = 8$ , viz obr. 91). Při přechodu protonů zpět do stromatu vzniká energie, která pohání syntézu ATP (adenosintrifosfát) z ADP (adenosindifosfát) a anorganického fosfátu P. Tato syntéza ATP se nazývá **fotofosforylace**. Protony roztáčí stopku hlavy ATP-synthasy, a tím dochází k syntéze ATP (viz obr. 92). Předpokládá se, že na vznik jedné molekuly ATP je zapotřebí zpětného přenosu dvou až tří protonů v závislosti na velikosti protonového gradientu (viz též kap. 4.7).



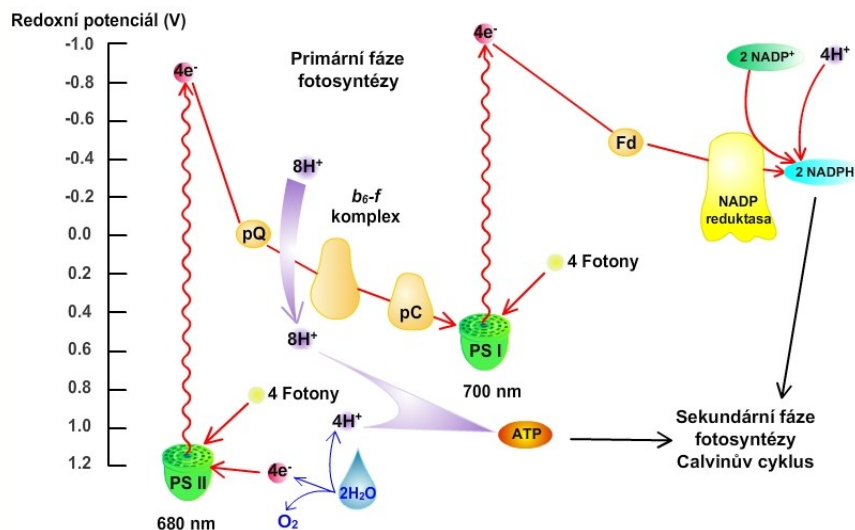
Obr. 91. Lokalizace ATP-synthasy a pH rozdíly



Obr. 92. ATP-synthasa

### Jak se mění redoxní potenciál v závislosti na průběhu fotosyntézy?

Obr. 93 znázorňuje změny v redoxním potenciálu v závislosti na průběhu fotosyntézy (tzv. Z-schéma).



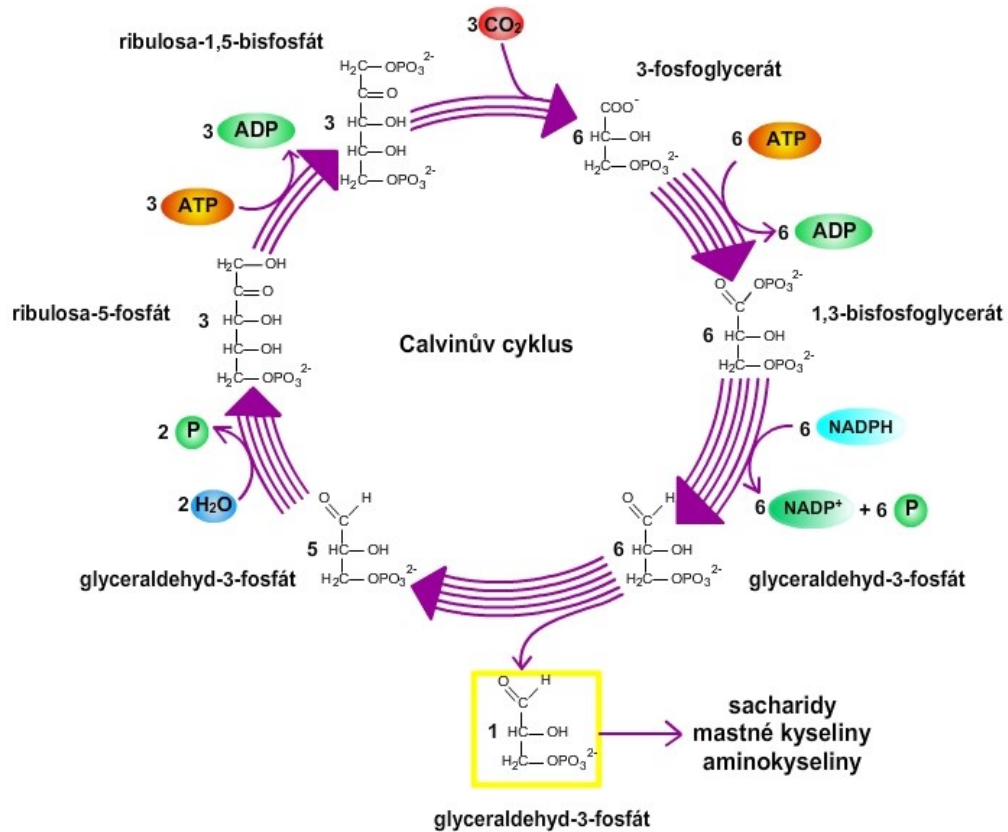
Obr. 93. Z-schéma – změny v redoxním potenciálu v průběhu fotosyntézy

## 5.3 Sekundární děj fotosyntézy

### K čemu dochází v Calvinově cyklu a kde reakce Calvinova cyklu probíhají?

Produkty primárního děje fotosyntézy (molekuly ATP a NADPH) vstupují do sekundárního děje fotosyntézy, do tzv. **Calvinova cyklu** (viz obr. 94), který se odehrává ve

stromatu chloroplastu. NADPH zde působí jako redukční činidlo, ATP jako makroergická sloučenina, která svým rozkladem dodává energii endergonickým procesům. V Calvinově cyklu se anorganický uhlík (vázaný v molekule oxidu uhličitého) mění na uhlík organický. Akceptorem oxidu uhličitého je ribulosa-1,5-bisfosfát, enzym katalyzující tuto reakci se nazývá *ribulosabisfosfátkarboxylasa (RuBisCO)*. V Calvinově cyklu vzniká glyceraldehyd-3-fosfát, který se metabolickými drahami přeměňuje na další sacharidy a jiné organické látky.

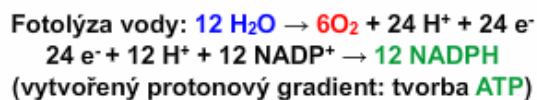


Obr. 94. Calvinův cyklus

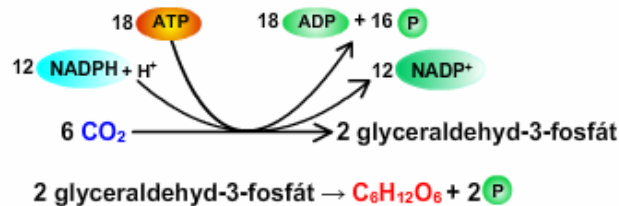
## 5.4 Sumární rovnice fotosyntézy

Sumární rovnice primární i sekundární fáze fotosyntézy shrnuje obr. 95.

### Primární fáze fotosyntézy (thylakoid)



### Sekundární fáze fotosyntézy (stroma chloroplastu)



Obr. 95. Sumární rovnice fotosyntézy

## 6 Seznam použité literatury

1. Alberts, B. a kol.: *Základy buněčné biologie*. Ústí nad Labem: Espero Publishing, 1997.
2. Alters, S.: *Biology – Understanding Life*. Mosby-Year Book, Inc.: St. Luis, 1996.
3. Armstrong, F. B.: *Biochemistry* (Third edition). United States of America: Oxford University Press, 1989.
4. Baldwin, E.: *Co je biochemie*. Praha: Orbis, 1968.
5. Banýr, J., Beneš, P., Hally, J., Halada, K., Novotný, P., Pospíšil, J.: *Chemie pro střední školy*. Praha: SPN, 1999.
6. Benešová, M., Satrapová, H.: *Odmaturuj z chemie*. Brno: Didaktis, 2002.
7. Bloomfield, M. M.: *Chemistry and the Living Organism*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
8. Burnie, D.: *Stručná encyklopedie lidského těla* (the Consise Encyklopedia of the Human Body). Talentum, 1996.
9. Cibis, N., Dobler, H. J., Lauer, V., Meyer, R., Schmale, E., Strecker, H.: *Člověk*. Praha: Scientia, 1996.
10. Dostál, P., Řeháček, Z., Ducháč, V.: *Kapitoly z obecné biologie*. Praha: SPN, 1994.
11. Engel-Arieli, S. L.: *Jak pracuje lidské tělo*. Brno: UNIS, 1995.
12. Graaff Van De, K. M., Fax, S. I.: *Concepts of human anatomy & physiology (fifth edition)*. The McGraw-Hill Companies, 1999.
13. Hančová, H., Vlková, M.: *Biologie I v kostce*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1999.
14. Holm, J. R.: *Elements of General and Biological Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., 1975.
15. Karlson, P.: *Základy biochemie*. Praha: Academia, 1981.
16. Karlson, P., Gerok, W., Gross, W.: *Pathobiochemie*. Praha: Academia, 1987.
17. Kolář, K., Kodíček, M., Pospíšil, J.: *Chemie II (organická a biochemie) pro gymnázia*. Praha: SPN, 2000.
18. Kotlík, B., Růžicková, K.: *Chemie II. V kostce*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1997.
19. Kubišta, V.: *Buněčné základy životních dějů*. Praha: Scientia, 1998.
20. Leblová, S., Sofrová, D.: *Biochemie fotosynthesy*. Praha: skriptum PřF UK, 1982
21. Löwe, B.: *Biochemie*. Bamberg: C.C. Buchners Verlag, 1989.
22. Mareček, A., Honza, J.: *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3*. Olomouc: 2000.
23. McKee, T., McKee, J. R.: *Biochemistry: An Introduction* (Second Edition). United States of America: The McGraw-Hill Companies, 1999.
24. Nečas, O. a kol.: *Obecná biologie pro lékařské fakulty*. Jinočany: Nakladatelství H&H, 2000
25. Pacák, J.: *Jak porozumět organické chemii*. Praha: Karolinum, 1997.
26. Pavlová, L.: *Fyziologie rostlin*. Praha: skriptum PřF UK, 2005.
27. Pokorný, P., Hlásná, D.: *Chemie 3 – Biochemie pro 2. ročník středních průmyslových škol chemických, potravinářských a střední školy pro pracující*. Praha: SNTL, 1983.
28. Sofrová, D., Tichá, M. a kol.: *Biochemie – základní kurz*. Praha: skripta UK, 1993.
29. Stockleyová, C., Oxlade, CH., Wertheimová, J.: *Velká ilustrovaná encyklopedie*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1997.
30. Vacík, J., Barthová, J., Pacák, J.: *Přehled středoškolské chemie*. Praha: SPN, 1999.
31. Vodrážka, Z.: *Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody*. Scientia, 1998.
32. Voet, D., Voet, J. G.: *Biochemie*. Praha: Victoria Publishing, 1995.

33. Voet, D., Voet, J. G., Pratt, Ch. W.: *Fundamentals of biochemistry* (2. vydání). John Wiley & Sons, Inc., 2006.
34. *Domácí lékař od A do Z (Rádce pro zdraví)*. Překlad: Ulrich, A. Praha: IMP s.r.o.
35. *Lidské tělo (The Human Body)*. Překlad: Hořejší, J. – Prah, R. Bratislava: GEMINI, 1992.

Ilustrace Markéta Roštejnská: obr. 1-4, 6, 7, 9, 61-68