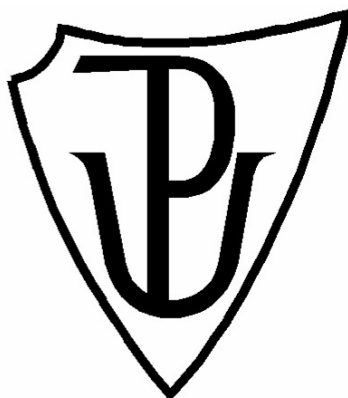


Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra botaniky



Makroergické sloučeniny ve výuce biologie na středních školách

Diplomová práce

Bc. Denisa Hubáčková

Studijní program: N1407

Studijní obor: Učitelství chemie pro střední školy, Učitelství biologie pro střední školy

Forma studia: Prezenční

Olomouc 2020

Vedoucí práce: PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Dr.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, které jsem vytvořila samostatně podle metodických pokynů vedoucího práce, a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Olomouci dne.....

.....

Bc. Denisa Hubáčková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce PaedDr. Ing. Vladimíru Vinterovi, Dr. za odborné vedení diplomové práce, vstřícnost, ochotu, trpělivost, nadhled a připomínky nejen po čas vypracovávání mé práce, ale během celého studia, kdy jsem se mohla inspirovat, jak pravý učitel vypadá.

BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

Jméno a příjmení: Bc. Denisa Hubáčková

Název práce: Makroergické sloučeniny ve výuce biologie na středních školách

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra botaniky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

Vedoucí práce: PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Dr.

Rok obhajoby: 2020

Abstrakt: Didakticky zaměřená práce se zabývá tématem makroergické sloučeniny ve výuce biologie na středních školách. Součástí práce je literární rešerše, která seskupuje a uceluje dostupné poznatky o makroergických sloučeninách, o jejich biologickém významu a způsobech vzniku. Výstupem práce jsou metodické výukové materiály využitelné pro učitele v jejich pedagogické praxi – prezentační CD s názornými schémata a obrázky, pracovní list, didaktické testy. Práce obsahuje didaktickou analýzu učiva o makroergických sloučeninách ve vybraných středoškolských učebnicích.

Klíčová slova: makroergické sloučeniny, ATP, NADH, FADH₂, glykolýza, oxidativní fosforylace, ATPáza, substrátová fosforylace, didaktický test

Počet stran: 114

Počet příloh: 1

Jazyk: český

BIBLIOGRAPHY IDENTIFICATION

Author's name and surname: Bc. Denisa Hubáčková

Title of thesis: Macroergic compounds in biology teaching at secondary schools

Type of thesis: Diploma thesis

Department: Department of Botany, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc

Supervisor: PaedDr. Ing. Vladimír Vinter, Dr.

The year of presentation: 2020

Abstract: Master's thesis deals with the topic of macroergic compounds in biology teaching at secondary schools. The part of thesis is a literature review, which groups and summarizes available knowledge about macroergic compounds, their biological importance and ways of their origin. The outputs of the thesis are methodological materials usable for teachers in their teaching practice – a presentation CD with illustrative diagrams and pictures, a worksheet and didactic tests. The thesis contains didactic analysis of the subject matter of macroergic compounds analysis in selected secondary school textbooks.

Keywords: macroergic compounds, ATP, NADH, FADH₂, glycolysis, oxidative phosphorylation, ATP synthase, substrate-level phosphorylation, didactic test

Number of pages: 114

Number of appendices: 1

Language: Czech

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	8
2	Teoretická část s přehledem literatury	10
2.1	Markoergické sloučeniny	10
2.1.1	ATP	10
2.1.2	GTP	11
2.1.3	Konezomy NADH, NADPH a FADH ₂	12
2.2	Látkové a energetické změny v organismu	14
2.2.1	Zákonitosti termodynamiky v biologických systémech.....	14
2.2.2	Energie z hydrolyzy ATP a její využití.....	16
2.3	Možnosti využití energie přenášené v ATP	18
2.4	Vytváření ATP	25
2.4.1	Metabolismus	26
2.4.2	Glykolýza	28
2.4.3	Krebsův cyklus, cyklus kyseliny citronové, citrátový cyklus	29
2.4.4	Oxidativní fosforylace, elektrontransportní řetězec	31
2.5	Shrnutí a rozdíly mezi vznikem ATP v rostlinách a u živočichů.....	37
2.6	Kurikulární dokumenty – RVP, NVP a ŠVP	39
2.6.1	Rámcový vzdělávací program pro gymnázia.....	39
2.6.2	Školní vzdělávací plán	40
2.7	Využití mezipředmětových vztahů.....	41
2.8	Motivace žáků	42
3	Výsledky	44
3.1	Didaktická analýza učiva o makroergických sloučeninách ve středoškolských učebnicích 44	
3.1.1	Kritéria hodnocení tématu makroergické sloučeniny v učebnicích pro střední školy 44	
3.1.2	Analýza tématu makroergické sloučeniny ve vybraných učebnicích pro střední školy 47	
3.2	Didaktický test.....	54
3.2.1	Analýza didaktického testu	56
3.2.2	Hodnocení a klasifikace žáků	59
3.3	Obrázky a schémata.....	61

3.4	Prezentační CD.....	80
3.5	Zadání a řešení didaktického testu a pracovního listu.....	82
4	Diskuze.....	103
5	Závěr	107
6	Použité zdroje.....	108
7	Seznam tabulek a obrázků.....	112

1 Úvod a cíle práce

Energii podle prvního termodynamického zákona nelze vyrobit ani zničit, pouze ji lze transformovat v jiný druh energie. energii, kterou v sobě uchovávají makroergické sloučeniny, lze použít pro různé účely. Makroergické sloučeniny a především ATP v sobě váže tzv. energii chemickou, existují však ještě další typy energií, které organismus přijímá, využívá, převádí v jiné typy nebo vylučuje ve formě odpadního tepla. Z předchozího vyplývá, že každý živý organismus se vyznačuje tím, že určitým způsobem zachází s energií a je to podstata jeho bytí, proto je pro nás energie tak významná a je potřeba pochopit určité biochemické procesy, které s energií hospodaří. Procesy, které umožňují život.

Aby mohl student tématu porozumět, musí znát chemické základy organických a anorganických molekul, se kterými buňky neustále pracují, a základy obecné chemie. Důležité je znát základy nejen buněčné biologie, ale také fyziologie rostlin a živočichů (člověka). Proto se o makroergických sloučeninách učí studenti až v posledním roce střední školy, kdy mají tyto základy pevně položené. Nicméně ne vždy jsou tyto základy pevné a ne vždy se tomuto tématu věnuje dostatek času a pozornosti. Pro studenty je toto téma poněkud náročné, neboť je nutí propojovat dosavadní poznatky nejen z biologie a chemie, ale také z praktického života.

Tato práce pomůže studentům i učitelům svými názornými obrázky, schémata a celkovým uchopením tématu, jeho zjednodušenou a pro studenty lépe stravitelnou, ale didakticky správnou verzí.

Protože je toto téma obsahově náročné, zaměřila jsem se především na makroergické sloučeniny, se kterými se již studenti během svého studia setkali, popř. které jsou důležité pro jejich budoucí studium přírodovědných oborů na vysoké škole. Jedná se o ATP, NADH, NADPH, FADH₂, jejich využití a proces vzniku. Jelikož využití samotného ATP je velice široké, rozepisuji jeho úlohu především v důležitých biologických procesech (svalová práce, elektroosmotická práce).

Cíle práce lze stručně shrnout takto:

1. Sestavení literární rešerše k danému tématu (teoretická část práce).

2. Didaktická transformace teoretických poznatků o makroergických sloučeninách pro potřeby výuky na středních školách - názorné prezentační CD pro učitele využitelné v pedagogické praxi.
3. Vytvoření didaktických testů a pracovního listu s tematikou makroergických vazeb.
4. Verifikace vytvořených materiálů (CD, testy, pracovní list) ve výuce biochemie 4. ročníků na gymnáziu ve Vyškově.
5. Didaktická analýza učiva o makroergických sloučeninách ve středoškolských učebnicích.

2 Teoretická část s přehledem literatury

V teoretické části budou detailněji zpracovány makroergické sloučeniny především z hlediska jejich chemické struktury, biologického významu a způsobu vzniku. Nejvíce bude pojednáno o molekule ATP, která je nejvýznamnější.

2.1 Markoergické sloučeniny

Kodíček et al. (2015), Koolman, Röhm (2012) definují makroergické sloučeniny jako sloučeniny, které při svém štěpení poskytnou množství energie využitelné pro procesy, které energii vyžadují, pro procesy, které by bez přidání energie neprobíhaly. Těch je v živých buňkách opravdu velmi mnoho.

Obecnou charakteristikou a typy makroergických sloučenin se zabývali např.: Kodíček et al. (2015); Koolman, Röhm (2012); Rodwell et al. (2015); Sofrová et al. (2009); Šípál et al. (1992) aj.

Mezi nejdůležitější makroergické sloučeniny patří univerzální přenašeč energie adenosintrifosfát (dále jen ATP), dále guanosintrifosfát (GTP), citidintrifosfát (CTP), uridintrifosfát (UTP) – ostatní nukleosidtrifosfáty, acetyl-CoA, fosfoenolpyruvát, 1,3-bisfosfoglycerát atd. Fungují jako nosiče energie. Při rozkladu (hydrolýze) se v nich obvykle štěpí fosfoanhydridové vazby, esterové vazby, thioesterové vazby. Jejich hydrolýzou se obecně uvolňuje energie větší než 25 kJ/mol. Makroergická vazba se v těchto molekulách znázorňuje pomocí symbolu ~.

Pro naši potřebu postačí podrobněji se zabývat nejvýznamnější makroergickou sloučeninou – ATP, popř. GTP.

2.1.1 ATP

Chemickou strukturou a vlastnostmi ATP se zabývali Kodíček et al. (2015); Koolman, Röhm (2012); Vodrážka (2007); Alberts et al. (1998); Rodwell et al. (2015); Sofrová et al. (2009) aj.

ATP je nukleotidový koenzym. ATP má funkci nejdůležitější zásobárny energie pro všechny buňky. Exergonickým rozložením (hydrolýzou) ATP získáme množství energie, které lze využít pro procesy endergonické, ty, které energii spotřebovávají. Naopak lze získanou energii z jiných exergonických procesů ukládat (konzervovat) do endergonické syntézy ATP.

Po chemické stránce je ATP nukleotid. Nukleotid se skládá ze tří komponent: pětiuhlíkatého cukru (ribóza, deoxyribóza), báze (cytosin (C), thymin (T), uracil (U), guanin (G), adenin (A)) a fosfátové skupiny. Cukr s bází má pak podle báze příslušné označení nukleosid (např. guanosin, adenosin). Molekula ATP je tedy složena z ribózy, adeninu (dohromady adenosin) a tří fosfátových skupin.

Mezi cukrem a bází se nachází N-glykosidová vazba, která spojuje 1' -OH skupinu s dusíkem heterocyklu. Na 5'-OH skupinu cukru je připojen řetězec tří fosfátových zbytků fosfoesterovou vazbou. Mezi jednotlivými fosfáty se nacházejí labilní fosfoanhydridové vazby. Tyto vazby jsou nosiči energie.

Silně vysokou energii ATP vysvětlují Kodíček et al. (2015), Koolman, Röhms (2012) následovně:

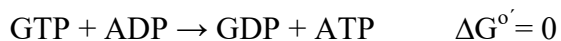
- a) Fosfátové skupiny jsou při neutrálních pH (pH=7) téměř úplně disociované, jejich záporné náboje na kyslících se tedy silně odpuzují. Každé vzdálení záporného náboje kyslíků fosfátové skupiny, např. hydrolýza na ADP + P_i nebo AMP + PP_i, povede ke snížení energie systému (sníží se pnutí), tudíž ke stabilizaci systému.
- b) Čím má systém více rezonančních struktur, tím je stabilnější. Platí to i v tomto případě, kdy mohou elektrony rezonovat mezi atomy kyslíků. Rozštěpením na zmíněný ADP + P_i nebo AMP + PP_i se zvýší počet rezonančních stavů odštěpeného fosfátového anionu a celková energie systému se sníží.

O přesném mechanismu hydrolýzy ATP a energetické bilance budeme mluvit v následující kapitole.

2.1.2 GTP

ATP je univerzálním platidlem organismů. Na podobných principech funguje i GTP, o kterém lze najít poučení v publikacích Fellnerová et al. (2014), Kodíček et al. (2015). GTP je také nosičem energie, je ale mnohem specifitější. Jak již z názvu vyplývá, obsahuje guanosin (ribóza + guanin) a tři fosfátové skupiny. Jeho funkcí je poskytnout energii např. při sestavování tubulinu do mikrotubulů, v proteosyntéze při translaci umožňuje navázání tRNA na ribozomy nebo vystupuje jako substrát při replikaci DNA nebo při transkripci do RNA.

ATP a GTP jsou energeticky ekvivalentní a může docházet k přechodu, jak udává Kodíček et al. (2015):



Toho se využívá např. v rámci Krebsova cyklu při substrátové fosforylaci.

2.1.3 Konezymy NADH, NADPH a FADH₂

Mezi aktivované přenašeče účastníci se oxidačně-redukčních reakcí v buňkách patří např. NADH, NADPH a FADH₂. Dále si každý probereme podrobněji. Touto problematikou se zabývali Karlson et al. (1987); Campbell et al. (2006); Šípal et al. (1992); Kodíček et al. (2015); Koolman, Röhm (2012); Alberts et al. (1998); Fellnerová et al. (2014) aj.

Je důležité si některé koenzymy (NADH, FADH₂) spojit s makroergickými sloučeninami (ATP) v tom smyslu, že se významně podílejí na syntéze ATP. Jsou totiž donory aktivních vodíků a elektronů, které při průchodu vnitřní mitochondriální membránou umožňují vznik ATP podle rovnice: $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$.

NADH (nikotinamidadeninukleotid) je odvozený od vitamínu B3 (niacin). Patří do aktivovaných přenašečů vysokoenergetických elektronů a atomů vodíku a podílí se tak na energetickém metabolismu. Jak již název vypovídá, obsahuje 2 spojené nukleotidy. Tyto nukleotidy se liší pouze bází, první obsahuje molekulu nikotinamidu, druhý obsahuje adenin.

Oxidovaná forma má tvar NAD^+ a přijímá 2 elektrony a proton H^+ (neboli sumárně H). Vzniká jako jeden z produktů elektronového transportního řetězce reoxidací. **Redukovaná forma** $\text{NADH} + \text{H}^+$ vzniká v procesech jako je např. glykolýza, přeměna pyruvátu na acetyl-CoA a především v Krebsově cyklu (obecně v katabolických drahách). Úkol plní v dýchacím řetězci, kde energie uvolněná z oxidace NADH na NAD^+ je využita na energeticky náročný vznik ATP z ADP. Vysokoenergetické elektrony se nakonec spojují s molekulovým kyslíkem a s H^+ za vzniku vody.

Dalším koenzymem je **NADPH (nikotinamidadeninukleotidfosfát)**, který důkladněji popisují Kodíček et al. (2015), Rodwell et al. (2015) a Alberts et al. (1998). NADPH je fosforylovaným analogem NADH. Důležité je si uvědomit, že v případě NADPH nedochází k přenosu fosforylové skupiny, která je sice přítomna, ale k přesunu atomů vodíku a elektronů stejně jako v případě NADH (proto jde o analogy). Rozdíl fosforylové skupiny nemá vliv ani na schopnosti přenosu elektronů ve srovnání s NADH (vyplyvá i z důvodu velké vzdálenosti fosfátové skupiny a skupiny přenášející elektrony). Fosfátová skupina však dává molekule NADPH odlišný tvar než má NADH, a proto se obě molekuly aktivovaných

přenašečů vážou k odlišným skupinám enzymů. Zjednodušeně řečeno se oba typy nosičů podílejí na přenosu elektronů, ale do různých míst určení.

NAPDH je nejvýznamnějším redukčním činidlem při biosyntézách (např. biosyntéza mastných kyselin a cholesterolu), spolupracuje s enzymy katalyzujícími anabolické reakce. Naopak o NADH už víme, že se podílí na katabolické oxidaci molekul potravy za vzniku ATP. Uvnitř buňky bývá udržován vysoký poměr NAD^+ k NADH a nízký poměr NADP^+ a NADPH, aby byl vyrovnán poměr oxidačního (NAD^+) a redukčního činidla (NADPH) pro potřeby metabolismu (katabolismu a anabolismu).

Koolman, Röhm (2012) říkají, že oba koenzymy jsou vždy volné na rozdíl od flavinových koenzymů (FADH_2), které jsou vázány na bílkovinnou část enzymů jako prostetické skupiny.

Alberts et al. (1998) tvrdí, že důvodem ke snadnému přenosu vodíkových atomů a elektronů z redukovaných koenzymů NADH a NADPH je dosažení stabilnějšího uspořádání elektronů v kruhu při oxidovaném stavu (NAD^+ , NADP^+).

Dalším koenzymem, který funguje jako aktivní přenašeč vodíku a elektronů je **FADH_2 (flavinadenindinukleotid)**. O něm pojednávají Kodíček et al. (2015); Koolman, Röhm (2012); Alberts et al. (1998); Fellnerová et al. (2014); Garrett et al. (2010) aj. Jedná se o koenzym odvozený od vitamínu B2 (riboflavinu), který je esenciální a musíme ho přijímat v potravě. **FADH_2** je tvořen adeninmononukleotidem: adenin, ribóza a fosfát, přes který se váže další fosfát, cukr ribitol a cyklický systém se třemi dusíkatými jádry (isoalloxazin), na kterém probíhají oxidačně-redukční reakce. Ribitol a isoalloxazin dohromady tvoří riboflavin. Z popisu vyplývá, že název dinukleotid tedy není správný, protože nukleotid musí obsahovat monosacharid (deoxy)ribózu, což nesplňuje cukerný alkohol ribitol.

Oxidovaná forma má podobu **FAD**, **redukovaná** potom **FADH_2** , takže systém může přenášet dva atomy vodíku a dva elektrony. FADH_2 vzniká v Krebsově cyklu nebo při oxidaci mastných kyselin na acetyl-CoA a stejně jako NADH má za úkol přenést elektrony a vodíky do dýchacího řetězce.

Koolman, Röhm (2012) poukazují, že na rozdíl od pyridinových nukleotidů (NADH) vznikají při reakcích flavinů radikálové meziprodukty (semichinonová forma), proto jsou flaviny vždy navázány na bílkovinnou část enzymu jako **prostetické skupiny**, aby nedošlo k poškození buňky volnými radikály. Stejně je tomu i v Krebsově cyklu, kde je FADH_2

kovalentně vázaný přes histidin na jediný enzym citrátového cyklu lokalizovaný v mitochondriální membráně (sukcinátdehydrogenáza). FADH_2 se obvykle účastní oxidace za tvorby alkenů.

Přenos vodíků a elektronů při oxidaci FADH_2 na FAD je hnát znovuoobením aromaticity stejně jako u NADH , o čemž pojednává Kodíček et al. (2015).

2.2 Látkové a energetické změny v organismu

Energii, kterou v sobě uchovávají makroergické sloučeniny, lze použít pro různé účely. Popř. ji lze transformovat v jiný druh energie. ATP v sobě váže tzv. energii chemickou, existují však ještě další typy energií, které organismus přijímá, využívá, převádí v jiné typy nebo vylučuje ve formě odpadního tepla – energie mechanická, elektrická nebo energie ve formě záření. Platí zde tedy první termodynamický zákon, zákon zachování energie - energii nelze vyrobit ani zničit, o čemž se důkladněji zmiňuje Koolman, Röhm (2012).

2.2.1 Zákonitosti termodynamiky v biologických systémech

O organismus jako o termodynamickém systému, který je otevřený a vyměňuje hmotu i energii s okolím, najdeme informace v publikacích Kodíček et al. (2015), Alberts et al. (1998). Zda-li k dějům v organismech dojde samovolně, rozhoduje druhý termodynamický zákon, který definuje volnou energii soustavy - Gibbsovu energii G . Volná energie G je energií molekuly (soustavy), která by se dala využít k práci při konstantní teplotě. Její jednotkou je kJ (dříve se používala jednotka kcal , $1\text{kcal} = 4,18\text{ kJ}$).

O směru reakce vypovídá změna volné energie ΔG , jednotka je kJ/mol .

V reakci $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$ je

$$\Delta G = (\text{volná energie C} + \text{D}) - (\text{volná energie A} + \text{B}).$$

Koolman, Röhm (2012) rozdělují děje na exergonické a endergonické podle následujících kritérií. Pokud děj probíhá samovolně, pak $\Delta G (G_{\text{produkty}} - G_{\text{reaktanty}}) < 0$. Tyto procesy nazýváme exergonické. Když reakce dosáhne rovnováhy, $\Delta G = 0$. Naopak, pokud bude $\Delta G > 0$, jedná se o děj endergonický, který nebude probíhat samovolně. Právě v těchto dějích hraje významnou roli energie uložená v ATP a energetické spřahování.

Problematikou termodynamiky, rovnováhy a energie soustavy se hlouběji zabývají Alberts et al. (1998), Kodíček et al. (2015), Koolan, Röhm (2012), Rodwell et al. (2015).

Změna volné energie je mírou vzdálenosti reakce od rovnováhy. Existuje vztah $\Delta G^0 = - R \cdot T \cdot \ln K$ (rozdíl mezi ΔG a ΔG^0 spočívá jen v tom, že ΔG^0 probíhá za standardních podmínek, tj. teplota 25°C, tlak 101,325 kPa.) R – univerzální plynová konstanta - 8,314 J.mol⁻¹K⁻¹ a T – absolutní teplota v kelvinech, K – rovnovážná konstanta

Rovnovážná konstanta K nám udává poměr koncentrací produktů ke koncentraci výchozích látek v momentě rovnováhy reakce. (rovnováha = vyrovnání rychlostí přímé a zpětné reakce)

$$K = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]}$$

$[A]$, $[B]$ – rovnovážné koncentrace výchozích látek

$[C]$, $[D]$ – rovnovážné koncentrace produktů

Každá reakce probíhá tak dlouho, dokud nedosáhne rovnováhy ($\Delta G = 0$). Na příkladu ATP si můžeme ukázat, proč je hydrolyza ATP reakce exergonická. Vycházíme z rovnice: $ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i$, tato reakce dosáhne rovnováhy, až když zhydrolyzuje 99,5% ATP. Z toho vyplývá, že K bude mít vysokou hodnotu a po dosazení do vzorce pro výpočet ΔG^0 nám vyjde tím zápornější hodnota, čím bude K vyšší = vyšší poměr rovnovážné koncentrace produktů k rovnovážné koncentraci výchozích látek.

Změna Gibbsovy energie je definována také jiným vztahem:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

kde ΔH je entalpie neboli reakční teplo. Pokud je $\Delta H < 0$ jedná se o děj exotermní = teplo uvolňuje, pokud se teplo spotřebovává $\Delta H > 0$, jedná se o děj endotermní. T je termodynamická teplota a ΔS je změna entropie. Entropie S je fyzikální veličina, která je mírou neuspořádanosti soustavy. Obvykle dochází ke snížení uspořádanosti systémů v průběhu děje, $\Delta S > 0$.

Právě ale v biologických systémech dochází ke vzniku vysoce uspořádaných struktur, tudíž dochází ke snížení entropie. Děje se tak, protože živé buňky nejsou izolovanou soustavou. Druhý zákon termodynamiky je ale zachován v tom smyslu, že buňka si bere energii z okolí na procesy vedoucí k většímu uspořádání v sobě samé, zároveň při těchto procesech dochází k uvolnění energie ve formě tepla, které se rozptyluje kolem buňky

a zvyšuje tak neuspořádanost v jejím okolí, takže celková entropie vzrůstá podle termodynamických pravidel.

Zdánlivě entropicky nevýhodné procesy, vedoucí k vysoce uspořádaným buněčným strukturám (molekuly proteinu v plášti viru, křídlo motýla, double helix DNA), mohou být kompenzovány exotermickou reakcí, platí, že $\Delta H < T\Delta S$. Z tohoto hlediska můžeme dojít k dělení na procesy řízené entalpií (jak v tomto případě) a procesy řízené entropicky. Takovým příkladem může být vznik hydrofobních interakcí mezi dvěma povrchy, které byly pokryty vodou a po vzniku interakce dochází k uvolnění molekul vody. Hnací silou je velké zvýšení entropie molekul vody. (Zjednodušeně vznik lipidových struktur ve vodě, skládání bílkovin)

2.2.2 Energie z hydrolýzy ATP a její využití

Abychom určili směr konkrétní reakce je potřeba znát její standardní energii ΔG° . Tato hodnota značí ztrátu nebo zisk energie vztahovaný na přeměnu jednoho molu výchozí látky na jeden mol produktu za standardních podmínek ($c = 1M$, $pH = 7$), které udává Alberts et al. (1998). Tady si ukážeme, jaký je energetický zisk rozložení molekuly ATP.

Chemickou energii uloženou v anhydridové vazbě ATP lze získat hydrolýzou. O štěpení anhydridové vazby hydrolýzou pojednávají Campbell, Reece (2006), Rodwell et al. (2015), Alberts et al. (1998), Koolman, Röhm (2012), Garrett, Grisham (2010) aj.

Hydrolýza je štěpení kovalentní vazby substrátu adicí vody. ΔG° této reakce je $-30,5$ kJ/mol. Avšak skutečná fyziologická hodnota ΔG štěpení $ATP \rightarrow ADP + P_i$ je kolem -50 kJ/mol neboť koncentrace ATP je ve velkém nadbytku nad $ADP + P_i$. Tady je potřeba zdůraznit, že celková volná energie ΔG závisí i na koncentracích výchozích látek a produktů.

Platí následující vztah:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln ([B]/[A]),$$

kde ΔG je celková změna volné energie, ΔG° je standardní změna volné energie, R plynová konstanta rovná $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ a T je absolutní teplota v kelvinech - v našem výpočtu při 30°C , $[A]$ je koncentrace výchozí látky a $[B]$ je koncentrace produktu. Pokud $[A] = [B]$, potom $\Delta G = \Delta G^\circ$ (protože $\ln 1 = 0$).

V případě ATP:

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + 2,52 \ln \left(\frac{[\text{ADP}] \times [\text{P}]}{[\text{ATP}]} \right) = (-30,5 + 2,52 \ln \left(\frac{[\text{ADP}] \times [\text{P}]}{[\text{ATP}]} \right)) \text{ kJ/mol} = -50,2 \text{ kJ/mol}$$

Koncentrace ATP v buňkách je řádově mM, zatímco koncentrace ADP je okolo 10 μM .

Koolman, Röhm (2012) tvrdí, že na hodnotu uvolněné energie má jen malý vliv, která vazba mezi fosfáty je štěpena. Hydrolýza samotného difosfátu uvolňuje něco přes 30 kJ/mol. Naopak štěpení esterové vazby mezi cukrem a fosfátem má $\Delta G^{\circ} = -9 \text{ kJ/mol}$.

V tabulce 1 uvádím standardní redukční potenciály hydrolýzy některých pro tělo významných biologických sloučenin.

Tabulka 1: Standardní redukční potenciály (ΔG°) hydrolýzy makroergických vazeb některých biologicky významných sloučenin. (převzato z Rodwell et al. (2015))

Sloučenina	ΔG° (kJ/mol)
fosfoenolpyruvát	-61,9
1,3-bisfosfoglycerát	-49,3
ATP (\rightarrow AMP + PP_i \rightarrow 2 P_i)	-45,6
kreatinfosfát	-43,1
ATP (\rightarrow ADP + P_i)	-30,5

2.3 Možnosti využití energie přenášené v ATP

Jak již bylo řečeno, máme různé typy energií, které mohou mezi sebou přecházet. Energii z makroergických vazeb v ATP lze využít podle Kodíčka et al. (2015) následovně:

a) na chemickou práci

Vzniká energeticky bohatá sloučenina za katalýzy příslušnou transferázou.



Na tomto místě si můžeme vysvětlit energetické spřáhování, o kterém najdeme informace v publikaci Koolman, Röhm (2012). Energetické spřáhování lze spojit se způsobem využití E z exergonické hydrolyzy ATP pro procesy endergonické. Důležité je si uvědomit, že pokud by vedle sebe probíhala hydrolyza ATP a endergonický proces, energie uvolněná hydrolyzou by se uvolnila ve formě tepla, aniž by umožnila průběh endergonického procesu. Aby toto spřažení exergonické a endergonické reakce bylo účinné, musí být oba děje provázané společným meziproduktem.

Vysvětlíme si to na příkladu syntézy glutaminu z glutamátu. Přímý přenos NH_4^+ na glutamát je endergonický proces $\Delta G^0 = +14 \text{ kJ/mol}$, takže za standardních podmínek nemůže probíhat samovolně. V buňkách probíhá ve dvou postupných krocích. Nejprve se na glutamát přenese fosfátový zbytek z ATP, přitom vzniká meziproduct (smíšený anhydrid – glutamát- γ -fosfát). V dalším kroku je fosfátový zbytek substituován za NH_3 za vzniku glutaminu a volného fosfátu. Celková energetická bilance je $\Delta G^0 = -17 \text{ kJ/mol}$ ($\Delta G^0_1 + \Delta G^0_2 = +14 \text{ kJ/mol} - 31 \text{ kJ/mol}$)

Tabulka 2: Příklad spřáhování reakcí (převzato z Koolman, Röhm (2012))

Reakce 1:	glutamát	+	NH₃	→	glutamin	+	H₂O	$\Delta G^0 = +14 \text{ kJ/mol}$				
Reakce 2:	ATP	+	H₂O	→	ADP	+	P_i	$\Delta G^0 = -31 \text{ kJ/mol}$				
Celkem:	glutamát	+	NH₃	+	ATP	→	glutamin	+	ADP	+	P_i	$\Delta G^0 = -17 \text{ kJ/mol}$

b) na mechanickou práci

Problematikou mechanické práce a svalové kontrakce se zabývali Fellnerová et al. (2014), Vácha et al. (2010), Kittnar (2011), Trojan et al. (2003), Alberts et al. (1998), Karlson et al. (1987) aj.

Jde například o buněčný pohyb přestavbou cytoskeletu, pohyb makromolekul po vláknech mikrotubulů, práci svalové tkáně (ATP je donor energie pro aktinomyozinový komplex).

Pohyb příčně pruhovaného svalstva důmyslně využívá ATP. Nejdříve si popíšeme stavbu kosterního svalu a poté se zaměříme na mechanismus svalové kontrakce.

Základní strukturní jednotkou svalu je **svalové vlákno** neboli **svalová buňka**. Svalová buňka je však soubuním, které vzniklo rozpadem buněčných membrán a spojením jejich cytoplazem. Na povrchu svalového vlákna se nachází **sarkolema** (cytoplazmatická membrána), která se na určitých místech zanořuje do nitra buňky a tvoří tzv. **transverzální tubuly** (T-tubuly) důležité pro přenos nervového vzruchu do svalu. Pod sarkolemou jsou jádra splynutých buněk. Vnitřní prostor svalové buňky obsahuje **sarkoplazmu** (cytoplazmu), **sarkozómy** (mitochondrie zajišťující energii), **sarkoplazmatické retikulum** tvořící tzv. **longitudinální tubuly** (L-tubuly), také významné pro předání informací vedoucích ke stahu. Jde totiž o rezervoáry vápenatých kationtů Ca^{2+} , které se po příchodu vzruchu vylijí, váží se na molekulu tropomyozinu a zahajuje se stah. Svalová buňka se skládá z několika set podjednotek zvaných myofibrily. Každá myofibrila je podélně rozdělena na mnoho tzv. kontraktilních jednotek, **sarkomer**. (<http://fbt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/6-svalova-kontrakce/>)

Sarkomera obsahuje aktinové (tenčí, světlé) a myozinové (silnější, tmavé) filamentum. Aktinová vlákna jsou ukotvena na tzv. Z-disky nebo Z-linie po bocích sarkomery. Myozinová vlákna se nacházejí uprostřed sarkomery (střed vyznačuje M-linie). Oblast pouze aktinových vláken označujeme I-proužek, oblast, kde se překrývá aktin i myozin je A-proužek a oblast pouze s myozinovými vlákny označujeme H-proužek.

Svalový stah je způsoben teleskopickým nasouváním aktinu na myozin za současného zkrácení sarkomery. Myozin je na svém konci kloubně spojen s dvojdílnou hlavičkou obsahující enzym adenosintrifosfatázu štěpící ATP. Kloubovitě spojené hlavičky umožňují

pohyb, kdy se mění úhel sklonu hlavičky, která tak posouvá reverzibilním navázáním aktin dál.

Myozinové filamentum obsahuje okolo 150-300 molekul ve svazku. Aktinové filamentum obsahuje dvoušroubovici tvořenou globulárními jednotkami bílkoviny **aktinu**. Mezi dvoušroubovicí se táhne vlákno **tropomyozinu**, které obsahuje pravidelně rozesté molekuly **troponinu**. Při klidovém stavu brání tropomyozin s navázaným troponinem vazbě myozinu na aktin. V přítomnosti Ca^{2+} (signální ion) dochází k vazbě Ca^{2+} na troponin, nastává změna konformace troponinu a zanoření celého vlákna tropomyozinu dovnitř dvoušroubovice. Tím se obnaží vazebná místa na aktinu pro myozin.

Konečné uvolnění Ca^{2+} iontů je výsledkem nervového vzruchu vedoucího k efektoru (svalu). Nejprve je vzruch šířen po axonech změnou akčního potenciálu. Předání informace mezi nervovými zakončeními a svaly je zprostředkováno nervosvalovou ploténkou. Signální molekuly acetylcholinu jsou vylity do presynaptické štěrbině, způsobují otevření kanálů na sarkolemě pro Na^+ a K^+ (Na^+ jde dovnitř buňky, K^+ ven) a vytváří tak akční potenciál svalového vlákna.

Role **ATP** při pohybu aktinu podél myozinu je podle Váchy et al. (2010) následující:

1. v klidovém stavu jsou na myozin navázány anorganický fosfát a ADP (komplex myozin-ADP- P_i), při zvýšené hladině Ca^{2+} dochází k uvolnění míst na aktinu a myozin se napojuje na aktin v úhlu 90° (komplex aktin-myozin-ADP- P_i)
2. dojde-li k uvolnění fosfátu z komplexu, vzniklá energie je využita ke změně úhlu myozinové hlavy z $90^\circ \rightarrow 50^\circ$ = dochází k posunu vláken podél sebe = aktin se nasouvá na myozin
3. uvolněním ADP se pohyb dokončí a hlava se ohne do úhlu 45° , tím je posun ukončen
4. komplex aktin-myozin (tzv. rigorový komplex) rozděluje nová molekula ATP (odpojení myozinu od aktinu), která je štěpena enzymem adenotрифосfatázou na ADP + P_i , vzniklá energie napřimuje hlavu zpět na úhel 90°

Nová molekula ATP je tedy využita k navození uvolnění (relaxace), ne ke kontrakci. Pokud se v organismu netvoří další ATP (smrt), která by uvolnila hlavy myozinu od aktinu, nastává posmrtná ztuhlost, o čemž pojednává Vácha et al. (2010).

c) na elektroosmotickou práci

O buněčných transportních mechanismech lze nalézt poučení v publikacích Fellnerová et al. (2014), Vácha et al. (2010), Campbell, Reece (2006), Alberts et al. (1998), Kittnar (2011) aj.

Živá buňka neustále komunikuje s okolím. Vyžaduje výměnu energie a hmoty s vnějším prostředím, což přispívá k udržení homeostázy (vnitřního stálého prostředí) celého organismu. Komunikaci zajišťuje cytoplazmatická membrána. Membrána z fosfolipidové dvojvrstvy je propustná jen pro určité látky (semipermeabilní = polopropustná), je vysoce selektivní. Většina látek se do buňky musí dostat pomocí **buněčných transportních mechanismů** buď aktivně za spotřebování energie (ATP) nebo pasivně difúzí.

Z hlediska způsobu průchodu přes membránu rozlišujeme přímý transport, transport prostřednictvím membránových proteinů (přenašeče, kanály) a transport pomocí membránových váčků (exo/endocytóza, fagocytóza).

Přímý přechod přes membránu je děj založený na **prosté difúzi** – pasivní. Takové látky pronikají membránou samovolně z míst vyšší koncentrace do míst s nižší koncentrací (např. látky lipofilní povahy, malé molekuly CO₂, O₂).

Pasivně difúzí, tentokrát ale pomocí **iontových kanálů** jsou přenášeny elektricky nabitě částice. Příkladem mohou být sodné a draselné kanály neuronů, podílející se na přenosu vzruchu. Na buňce přenášející vzruch (nervové buňce) si můžeme vysvětlit, že na snadnosti a rychlosti difúze nabitých částic se podílejí dvě složky, které spolu tvoří **gradient elektrochemického potenciálu** rozhodující o směru difúze. Jednak rozdíl v elektrických potenciálech na každé straně membrány, jednak již zmiňovaný koncentrační gradient.

Při klidovém potenciálu (nešíří se nervový vzruch) je povrch buňky nabit kladně a vnitřní prostor nabit záporně. Na základě přitažlivých sil se kladně nabitě ionty snaží proniknout dovnitř buňky a záporně nabitě ionty se snaží dostat z buňky ven. Zároveň se však částice snaží pohybovat i ve směru koncentračního gradientu. Například Na⁺ kationtů je vně buňky větší koncentrace, tudíž směr podle koncentračního gradientu vede do buňky. Zároveň jsou

Na^+ kationty přitahovány směrem do buňky, kde je záporný membránový potenciál, proto je tok Na^+ do buňky velmi významný a děje se tak, kdykoli je příležitost.

Celkově slabší síla difúze je pro K^+ kationty, které sice mají silný koncentrační gradient směrem ven z buňky, ale malý elektrický gradient. Záporně nabitá buňka si drží kladně nabité ionty uvnitř.

Další variantou transportu jsou **přenašeče** pro látky s polárním charakterem, elektrickým nábojem nebo pro látky přílišné velikosti. Ty mohou fungovat jak pasivně, kde hnací silou je koncentrační gradient přenášené látky (tzv. **usnadněná difúze**), tak aktivně - transport částic proti koncentračnímu spádu za spotřeby ATP. Těmto aktivně fungujícím přenašečům se říká pumpy. Aktivní transport je závislý na energii buď přímo uvolněné z ATP - primární aktivní transport nebo nepřímo pomocí energetického potenciálu jiných částic (za předchozího využití ATP) – sekundární aktivní transport.

Primární aktivní transport zajišťují pumpy. Touto problematikou se zabývali Fellnerová et al. (2014), Kodíček et al. (2015), Alberts et al. (1998). Iontovými pumpami je aktivně (endergoně) udržován rozdíl mezi rozdělením látek a iontů vně a uvnitř živočišné buňky, jejich pohonem je exergonická hydrolýza ATP. Příkladem může být Na^+ , K^+ -ATPáza (sodnodraselná pumpa). Tato pumpa současně čerpá Na^+ ionty z buňky ven a K^+ ionty do buňky. Na svoji práci využívá až 30 % veškeré ATP a hraje tak zásadní roli v energetice buňky. Musí totiž neustále odčerpávat Na^+ ionty z buňky, které jsou dovnitř hnány již zmíněným silným elektrochemickým potenciálem, a udržovat tak koncentraci Na^+ v cytosolu 10-30x nižší a koncentrace K^+ 30x vyšší než mimo buňku (viz Tabulka 3).

Tabulka 3: Koncentrace iontů uvnitř a vně typické živočišné buňky (převzato z Kodíček et al. (2015))

Prostředí	Koncentrace iontů (mmol/dm ³)					
	Na^+	K^+	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-
uvnitř buňky	12	139	4	$< 10^{-3}$	0,8	12
v okolí buňky	145	4	116	1,8	1,5	24

Funkce Na⁺, K⁺-ATPázy

1. Na⁺ se váže na pumpu v intracelulárním prostoru, čímž aktivuje funkci proteinu
2. dochází k rozštěpení ATP na ADP + P_i a navázání fosfátu na pumpu
3. fosforylace pumpy způsobí změnu konformace pumpy a uvolnění Na⁺ do extracelulárního prostoru, současně se uvolní místo pro K⁺
4. navázáním K⁺ dojde k odstranění fosfátové skupiny (defosforylace) a pumpa se vrátí do výchozí polohy a uvolní K⁺ dovnitř buňky

Na⁺, K⁺-ATPázou si živočišná buňka udržuje osmotickou rovnováhu. Pokud by došlo k zastavení pumpy (např. nějakým inhibítorem), proniknou Na⁺ a Cl⁻ ionty do buňky, což způsobí plazmolýzu (nabobtnání a prasknutí buňky). Jiná situace nastává u rostlinné buňky, tu před prasknutím chrání její pevná buněčná stěna. Osmóza (pohyb vody z míst nízké koncentrace rozpuštěných látek do míst s vyšší koncentrací rozpuštěných látek) s aktivním transportem iontů přes membránu do buňky společně tvoří turgor (vnitřní tlak). Turgor udržuje buňky naplněné vodou, které těsně vyplňují prostor vymezený buněčnými stěnami.

Sekundárně aktivním transportem je látka přenášena proti koncentračnímu spádu, aniž by přenašeč přímo využíval ATP. Hnací silou je gradient jiné látky vzniklý v předchozím kroku, k jehož vytvoření se použila ATP dříve. Příkladem sekundárně aktivního transportu je sodíko-glukózový přenašeč **SGLT** (sodium **g**lukose transporter). V tomto případě se jedná o přenos 2 látek stejným směrem – **symport**. Pokud protein přenáší dvě látky opačným směrem, mluvíme o **antiportu**. Přenos přes membránu jen jednoho druhu látky se nazývá **uniport**.

U živočišných buněk hraje SGLT významnou roli symportu využívajícího tok Na⁺ po směru elektrochemického gradientu směrem dovnitř buňky k přenosu glukózy do buňky. O tomto přenosu se dozvíme v publikaci Fellnerová et al. (2014), Alberts et al. (1998) Tyto přenašeče se nacházejí např. v epitelu střeva a přenáší glukózu do buněk, i když je její koncentrace v buňkách vyšší než ve střevě (proti směru koncentračního spádu). Pohon tohoto přenosu vzniká z Na⁺, K⁺-ATPázy, která za spotřeby ATP přecherpalala Na⁺ ionty ven z buňky a vytvořila tak elektrochemický gradient Na⁺.

Rostlinné buňky nemají ve svých membránách sodnodraselné pumpy. Pro transport dalších látek přes membránu využívají namísto gradientu Na⁺ elektrochemický gradient H⁺.

H^+ -ATPáza využívá hydrolýzu ATP k odčerpání H^+ z buňky a je analogií sodnodraselných pump u buněk živočišných.

Existují i jiné typy H^+ -ATPáz nacházejících se v membránách některých organel. U živočišné buňky v lyzozomech, u rostlin v centrální vakuole. Mají za úkol odčerpávat H^+ ionty z cytosolu a udržovat tak neutrální pH, zatímco pH v těchto organelách nízké (často důležité pro jejich funkci).

d) na informační a regulační práci

Do této kategorie spadá energie potřebná k syntéze různých regulačních molekul (cAMP, hormonů, neurotransmiterů), které mají funkci regulační a informační, o čemž získáme informace v publikaci Kodíček et al. (2015).

e) na světelnou energii

Světelnou energií se podrobně zabývá Kodíček et al. (2015). Světelná energie vzniká při jevu zvaném bioluminiscence. Jsou známy různé druhy živočichů, které tento jev využívají např. světlušky, světélkující medúzy, ryby i bakterie. Tento jev je založen na vzniku elektronově excitované látky, která při přechodu elektronu do výchozího stavu vyzařuje určité kvantum energie $h\nu$. Obecně je látka vstupující do reakce nazývána luciferin (jde o složitou organickou molekulu). Její oxidační dekarboxylací za účasti O_2 , **ATP** a enzymu luciferáza dochází k vyzáření fotonu. Účinnost tohoto procesu je po fyzikální stránce obrovská = více než 90%.

f) na teplo

Jak jsme již zmínili s platností druhého termodynamického zákona, nelze veškerou energii využít na práci. Vždy část energie unikne do vnějšího prostředí ve formě tepla = odpadní forma energie. Z vlastních zkušeností k tomu dochází např. při svalové práci, kdy se sval v průběhu činnosti zahřívá.

Jindy může docházet i k řízené produkci tepla. To je známé při využití energie pro výrobu tepla v hnědé tukové tkáni pro děj zvaný netřesová termogeneze. Toho využívají podle Kodíčka et al. (2015) např. hibernující živočichové nebo novorozeňata.

Kodíček et al. (2015) tvrdí, že toky energií v organismech i v jednotlivých buňkách jsou pestré. Některé systémy spotřebovávající energii považujeme za výjimečné (bioluminiscence), ostatní formy užitečné energie jsou všeobecně rozšířeny.

2.4 Vytváření ATP

Již víme, jak se ATP hydrolyzuje a uvolňuje tak energii a na co se tato energie využívá. Teď se podíváme na to, jakými způsoby ATP vzniká. O těchto možnostech nalezneme ponaučení v publikacích Kodíček et al. (2015), Koolman, Röhm (2012), Rodwell et al. (2015), Sofrová et al. (2009), Garrett, Grisham (2010) aj.

1. Malé množství molekul ATP vzniká **substrátovou fosforylací**, kdy se přenáší fosfátový zbytek na ADP pomocí enzymů. K substrátové fosforylaci dochází a) v **citrátovém cyklu** b) v **glykolýze**. Oba případy budou v další kapitole probrány podrobně. Substrátová fosforylace je jediným zdrojem ATP pro buňky s fermentativním typem metabolismu.
2. Ostatní buňky využívají tzv. **proton-motivní sílu**, s kterou se setkáváme v mitochondriích (buněčné dýchání), thylakoidech (fotosyntéza) i na buněčných membránách respirujících (aerobních i anaerobních) mikroorganismů. Principem je využití energie z pasivního transportu H^+ pomocí membránových ATPáz na endergonický vznik ATP.

Děj se skládá ze dvou po sobě jdoucích fází. V první fázi jsou elektrony pocházející z různých zdrojů (molekuly potravy, působení světla na chlorofyl, u některých typů bakterií z anorganických látek – vodík, železo, síra) přenášeny řadou přenašečů zanořených v membráně. Tímto vzniká energie, která umožňuje aktivní transport protonů H^+ přes membránu za vytvoření gradientu elektrochemického potenciálu. Tento gradient je zdrojem energie, která je v druhé fázi využita k pohonu ATPázy za navrácení protonů zpět do místa s jejich nižším elektrochemickým potenciálem. ATPáza funguje jako turbína vytvářející ATP z ADP a P_i .

Je důležité si uvědomit, že i když vznik ATP u rostlin probíhá i na thylakoidech při fotosyntéze, stejně je největší množství ATP produkováno v mitochondriích rostlin buněčným dýcháním.

2.4.1 Metabolismus

O metabolismu lze nalézt poučení v publikacích Kodíček et al. (2015), Alberts et al. (1998), Karlson et al. (1987), Procházka (1998), Kittnar (2011), Campbell, Reece (2006), Rodwell et al. (2015) aj.

Jednou z cest tvorby ATP pro živočichy je získání energie z přijímaných živin, což úzce souvisí s metabolismem. Metabolismus je soubor všech chemických procesů a přeměn energií, které buňka (popř. organismus) vykonává za účelem přežití. Jedná se o propojený komplex enzymových reakcí.

Metabolismus lze dělit na dva proudy, které jsou kolikrát protichůdné, zároveň se však doplňují: anabolismus a katabolismus. Anabolismus je fází syntetickou, vedoucí k tvorbě látek stavebních (bílkoviny, celulóza) a zásobních (polysacharidy (škrob, glykogen), triacylglyceroly). Tyto procesy vyžadují přísun energie (ve formě ATP), často jsou redukční povahy.

Opakem je katabolismus - jedná se o dráhy rozkladné. Hlavním úkolem katabolismu je odbourání živin (obecně rozklad látek složitějších) za vzniku látek jednodušších a energie, která se následně využije pro procesy anabolické nebo jiné energeticky náročné procesy (již zmíněné doplňování těchto dvou odlišných drah).

Aby mohl metabolismus pracovat efektivně, musí fungovat energetické spřažování mezi reakcemi endergonickými = anabolickými a reakcemi exergonickými = katabolickými. Energie získaná oxidací molekul potravy je uchovávána jako energie chemické vazby prostřednictvím nosičových molekul, které obsahují energeticky bohaté vazby. Tyto molekuly skladují energii buď jako chemickou skupinu, která se ochotně přenáší nebo jako elektrony s vysokým obsahem energie. Z předchozích kapitol víme, že se jedná např. o molekuly typu ATP, NADH, NADPH. (<http://www.studiumbiochemie.cz/metabolismus.html#13>)

Příkladem může být spřažení oxidace potravy, která je energeticky výhodná, a vznik aktivovaného nosiče – ATP (energeticky nevýhodné). Při vzniku aktivovaného nosiče se množství tepla = nevyužité/odpadní formy energii z oxidace sníží o energii, která je uložena do vazeb aktivované nosičové molekuly, ta získanou energii předá pro pohon chemických reakcí na jiném místě buňky.

O jednotlivých fázích metabolismu aerobních organotrofů, prezentujících především živočichy, najdeme poučení v publikaci Kodíček et al. (2015). V první fázi katabolismu

chemoorganotrofů dochází k trávení živin pocházejících z potravy (polysacharidů, bílkovin, lipidů). Trávení znamená hydrolyzu těchto živin v zažívacím traktu za vzniku nízkomolekulárních složek, které jsou pak transportovány krví k jednotlivým orgánům a buňkám.

V druhé fázi probíhají individuální metabolické dráhy (glykolýza, β -oxidace mastných kyselin) za vzniku univerzálního meziproduktu **acetyl-CoA**.

V třetí fázi vstupuje acetyl-CoA do citrátového cyklu (Krebsova cyklu), kde je rozkládán. Uhlíky jsou zabudovány do odpadního CO_2 a vodíky jsou přenášeny příslušnými nukleotidovými kofaktory do dýchacího řetězce (oxidativní fosforylace) ve formě tzv. aktivních vodíků. V dýchacím řetězci se aktivní vodík v konečné fázi slučuje s kyslíkem a přenášenými elektrony za vzniku vody. Tato reakce je exergonická, velmi výhodná a uvolněná energie slouží k vytvoření univerzálního přenašeče chemické energie – ATP.

Alberts et al. (1998) pojednává o zisku energie u rostlin. U rostlin probíhá zisk energie podobným způsobem. Rostlina je však z pohledu výživy aerobní fotolitotrof, cukry si syntetizuje sama procesem fotosyntézy v chloroplastech. Ty jsou potom rozváděny k mitochondriím, kde se využívají přesně stejné dráhy oxidačního odbourání cukrů jako u živočichů. Důležité je si uvědomit, že u aerobních bakterií dochází v cytosolu buňky jak ke glykolýze, tak i k citrátovému cyklu (nemají mitochondrie).

Živočichové a rostliny si vytvářejí zásoby živin na nepříznivé období, u rostlin tomu odpovídá noc, kdy fotosyntéza neprobíhá. Živočichové ukládají cukry ve formě glykogenu, mastné kyseliny jako tukové kapénky v tukových buňkách (adipocytech). Rostliny si ukládají zásoby cukrů ve formě škrobu nebo tuků. Tuky v rostlinách jsou stejně jako u živočichů tvořeny triacylglyceroly, liší se však převládajícím typem mastných kyselin.

Tabulka 4: Rozdělení organismů z hlediska trofiky

Typ výživy a metabolismu		Zdroj E	Zdroj C	Zdroj H	Organismy
autotrofní	fotoautotrofní	světlo	CO ₂	H ₂ O	rostliny, sinice
		světlo	CO ₂	H ₂ S, H ₂	fotoautotrofní organismy, siřné bakterie
	chemoautotrofní	oxidace anorg. látek	CO ₂	H ₂ O	chemoautotrofní organismy
heterotrofní	fotoheterotrofní	světlo	org. látky	org. látky	fotoheterotrofní bakterie
	chemoheterotrofní	oxidace org. látek	org. látky	org. látky	chemoheterotrofní bakterie, houby, živočichové, člověk

2.4.2 Glykolýza

Glykolýzu popisují např. Šípál et al. (1992), Koolman, Röhm (2012), Kodíček et al. (2015), Trojan et al. (2003), Rodwell et al. (2015), Campbell, Reece (2006), Alberts et al. (1998).

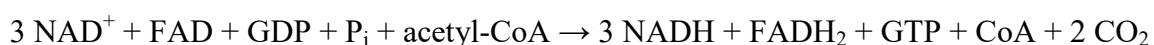
Glykolýza je fáze odbourání glukózy ve sledu reakcí. Ačkoli kvašení cukrů je známo staletí, historie objevu glykolýzy sahá na přelom 19. a 20. století. Postupnými kroky byl proces rozkrýván a plně objasněn byl až v roce 1940, zejména díky Gustavovi Embdenovi a Ottu Meyerhofovi. Otto Fritz Meyerhof obdržel za své objevy při studiu glykolýzy Nobelovu cenu v roce 1922. K významnému mezikroku (zjištění, že kvašení může probíhat i mimo buňky) vedoucímu k objevu glykolýzy přispěl Eduard Buchner. (<https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-sacharidy-glykolyza>)

Glykolýza vytváří ATP bez nutnosti přítomnosti kyslíku. Probíhá v cytosolu a je přítomna u většiny buněk a u anaerobních organismů. Během glykolýzy dochází k převedení šestiuhlíkaté molekuly glukózy na dvě molekuly pyruvátu (tříuhlíkatá molekula). Tento proces vyžaduje 2 molekuly ATP na každou molekulu glukózy, ziskem jsou 4 molekuly ATP, takže celková bilance je vznik 2 molekul ATP na jednu odbouranou molekulu glukózy.

Při aerobní glykolýze jsou výsledkem 2 molekuly ATP, 2 molekuly pyruvátu a 2 molekuly NADH, které spolu s pyruvátem vstupují do mitochondrie, kde se dále metabolizují.

kteřý využil všechny dosavadní poznatky a sestavil sled reakcí (citrátový cyklus) spolu s Johnsonem v roce 1937. Za svůj přínos a objevy obdržel Nobelovu cenu v roce 1953. (<https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-metabolismus-citratovy-cyklus>)

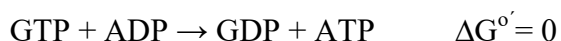
V citrátovém cyklu, cyklu kyseliny citronové, Krebsově cyklu (všechno synonyma) probíhající v matrix mitochondrií dochází k úplné oxidaci vstupujícího acetyl-CoA až na CO₂, vznikají přitom také redukované koenzymy NADH a FADH₂, které přenášejí atomy vodíku a elektrony do dýchacího řetězce za účelem sloučení s kyslíkem a vzniku energie využitelné k syntéze ATP. Sumární rovnice citrátového cyklu podle Kodíčka et al. (2015) je následující:



Je potřeba si uvědomit, že vznikající molekuly CO₂ pocházejí z původní molekuly oxalacetátu, nikoli z acetyl-CoA, o čemž píše Rodwell et al. (2015).

V pátém kroku Krebsova cyklu dochází k substrátové fosforylaci. U rostlin a bakterií vzniká štěpením sukcinyl-CoA ATP z ADP a P_i. U savců vzniká GTP v buňkách, ve kterých probíhají hlavně anabolické děje, při kterých se GTP využívá k syntéze glukózy a při proteosyntéze. V ostatních tkáních vzniká ATP.

ATP a GTP jsou podle Kodíčka et al. (2015) energeticky ekvivalentní a může docházet k přechodu:



U rostlin probíhá kromě citrátového cyklu i tzv. glyoxylátový cyklus, který umožňuje využít zásobních látek ve formě tuků (triacylglycerolů) k růstu = stavbě buněčných stěn, které tvoří převážně polysacharidy (celulóza). Toho využívají např. olejniny jako řepka, slunečnice nebo len. Pro živočichy je přechod od mastných kyselin k sacharidům nemožný.

Celkovou energetickou bilanci oxidace glukózy shrnují Kodíček et al. (2015), Rodwell et al. (2015), Alberts et al. (1998).

Celková energetická bilance citrátového cyklu (včetně oxidace aktivních vodíků v dýchacím řetězci) je 9 jednotek ATP z 3 molekul NADH + H⁺, 2 jednotky ATP z 1 molekuly FADH₂ a 1 jednotka ATP vzniklá při substrátové fosforylaci. **Celkem tedy 12 jednotek ATP na 1 molekulu acetyl-CoA = 24 jednotek ATP na molekulu glukózy.**

Pokud chceme zjistit výslednou bilanci oxidace 1 molekuly glukózy, je potřeba přičíst energetickou bilanci glykolýzy = 2 ATP + 2 NADH (2x3 ATP) a převod pyruvátu na acetyl-CoA (2x 1NADH = 2x3 ATP). Výsledek tedy činí **38 molekul ATP**.

Výtěžek se někdy udává jako 36 molekul ATP, jelikož záleží na tom, jak byly 2 molekuly NADH z glykolýzy přemístěny do mitochondrie. Z těchto dvou molekul NADH pak dostaneme 2-3 molekuly ATP a zde vzniká variabilita **36 – 38 molekul ATP**.

2.4.4 Oxidativní fosforylace, elektrontransportní řetězec

Tímto velkým tématem se zabývali např. Alberts et al. (1998), Kodíček et al. (2015), Koolman, Röhm (2012), Rodwell et al. (2015), Kittnar (2011).

Elektrontransportní řetězec, známý také jako dýchací řetězec, je umístěn na vnitřní membráně mitochondrií. Jde o soubor proteinů, které se podílí na přenosu elektronů z redukovaných kofaktorů (NADH, FADH₂) vzniklých při glykolýze, oxidaci mastných kyselin a citrátovém cyklu. Konečným příjemcem elektronů je u aerobních organismů molekulový kyslík (kvůli své vysoké afinitě k elektronům). Energie uvolněná při průchodu elektronů elektrontransportním řetězcem (exergonickými redoxními reakcemi) se využívá k přečerpání protonů z matrix mitochondrie do mezimembránového prostoru a vytváří tam strmý elektrochemický gradient protonů. Ten lze následně použít k syntéze ATP.

Z termodynamického pohledu je NADH silným donorem elektronů, protože se jeho elektrony podílejí na vazbě s velkou energií, která se při jejich odevzdání uvolní (exergonická reakce). NADH má záporný redukční potenciál, který vyjadřuje míru afinity substrátu k elektronům. Čím vyšší je jeho hodnota, tím vyšší je afinita k elektronům. NADH má záporné hodnoty standardního redukčního potenciálu, proto elektrony uvolňuje.

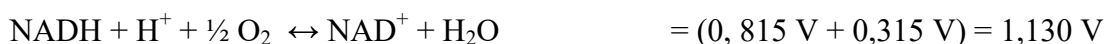
Následující výpočty energií popisují Alberts et al. (1998), Kodíček et al. (2015).



Naopak O₂ je dobrým akceptorem elektronů, má kladný redukční potenciál a vysokou afinitu k elektronům, které ochotně přijímá spolu s protony za vzniku vody.



Celková reakce:



Z naměřených údajů lze získat hodnotu ΔG° ze vztahu:

$$\Delta G^\circ = n \cdot F \cdot \Delta E_o' = 2 \cdot 96,48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{V}^{-1} \cdot 1,130 \text{ V} = 218 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

n = počet přenášených elektronů, F = Faradayova konstanta = $96,48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$,
 $\Delta E_o'$ = standardní redukční potenciál



Z předešlých hodnot můžeme usoudit, že k vytvoření fosfoanhydridové vazby v molekule ATP je nutno dodat $30,5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Oxidací jedné molekuly NADH však dostaneme více energie = $218 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. To znamená, že z jedné molekuly NADH dostaneme energii k vytvoření více molekul ATP. Neplatí, že by energii šla převést přímo na několik molekul ATP. Celková volná energie je rozdělena na tři menší části: 3 velké enzymové komplexy, z nichž se každý podílí na syntéze ATP (přečerpáváním protonů a vytvářením elektrochemického gradientu v mezimembránovém prostoru). Lze však obecně konstatovat, že oxidací NADH dostaneme přibližně **3 ATP** (záleží jakým způsobem se NADH dopraví do mitochondrie). Termodynamická efektivita tohoto procesu je **42%** ($3 \times 30,5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100 / 218 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)

Proč nelze předávat elektrony z NADH přímo na kyslík za vzniku vody? Na tuto otázku získáme odpověď v publikaci Alberts et al. (1998). Došlo by k uvolnění velkého množství energie ve formě tepla a reakce by probíhala téměř výbušnou silou. Proto buňky tento proces uskutečňují po částech postupně přes řadu elektronových přenašečů v elektrontransportním řetězci, kde elektrony postupně ztrácejí svoji energii.

Snadnost průchodu elektronů směrem ke kyslíku zajišťuje stoupající redoxní potenciál = zvyšující se elektronová afinita.

Protony, které jsou při průchodu elektronů přes přenašeče čerpány do mezimembránového prostoru, pocházejí z vody (ta je dostupná na obou stranách membrány). Čerpání protonů je zprostředkováno alosterickými změnami konformace proteinu díky energii, která vzniká při transportu elektronů (exergonické redoxní reakce), jak tvrdí Alberts et al. (1998).

Důležité je také takové upořádání přenašeče elektronů, aby při záchytu elektronu přijímal proton z jedné strany membrány (matrix mitochondrie) a aby po předání elektronu

dalšímu přenašeči uvolnil proton na druhou stranu membrány (mezimembránový prostor). Tak vzniká elektrochemický gradient protonů, který potom umožňuje syntézu ATP.

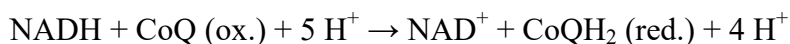
Struktura elektrontransportního řetězce

Strukturu elektrontransportního řetězce popisují Kodíček et al. (2015), Alberts et al. (1998), Rodwell et al. (2015), Koolman, Röhm (2012), Sofrová et al. (2009) aj.

Většina proteinů elektrontransportního řetězce je seskupena do tří velkých dýchacích enzymových komplexů: **NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I)**, **komplex cytochromů b-c₁ (komplex III)** a **cytochromoxidázový komplex (komplex IV)**. Dalším enzymatickým komplexem, patřícím mezi postranní vstupy do dýchacího řetězce, je **sukcinátdehydrogenáza** označovaný jako **komplex II** (viz citrátový cyklus). Ten ovšem není na rozdíl od návazných komplexů I, III, IV v sérii, přímo navazuje na ubichinon, přes který se dostávají elektrony z FADH₂ do dýchacího řetězce. Všechny tyto enzymatické komplexy jsou pevně zabudované ve vnitřní membráně mitochondrie. Patří do skupiny oxidoreduktáz, což jasně vyplývá z jejich funkce. Elektrony mezi jednotlivými dýchacími komplexy přenášejí pohyblivé přenašeče: **ubichinon (Q)** a **cytochrom (c)**.

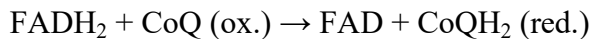
První komplex (NADH-dehydrogenáza) přečerpává při průchodu 2 elektronů 4 protony, komplex III (cytochrom b – c₁) také 4 protony a komplex IV (komplex cytochromoxidázy) přesouvá 2 protony. Celkem tedy dochází k přenosu 10 H⁺ na jednu molekulu NADH. Přečerpávání protonů zvyšuje jejich koncentraci v mezimembránovém prostoru = nabití vnější strany membrány kladně, vnitřní strana nabitá záporně. Výsledkem je strmý elektrochemický gradient a zisk energie při převodu protonů zpět do matrix mitochondrie.

Úkolem **komplexu I (NADH-dehydrogenázy)** je reoxidace NADH ubichinonem/koenzymem Q.

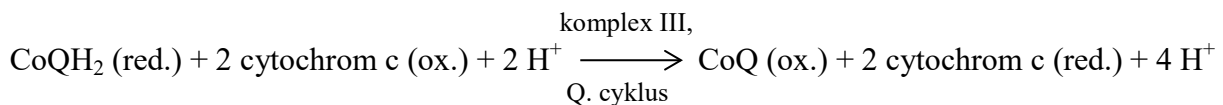


Komplex II (sukcinátdehydrogenáza) je součástí citrátového cyklu (katalyzuje dehydrogenaci sukcinátu na fumarát). Uvolněné vodíky váže pomocí své prostetické skupiny FAD a spolu s elektrony je předává na ubichinon do dýchacího řetězce = reoxidace FADH₂. Na rozdíl od komplexů I, III, IV není komplex II schopen využít energii redoxní reakce, kterou katalyzuje, k přečerpání protonů (redoxní reakce poskytuje příliš malé množství

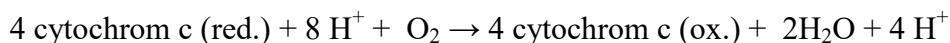
energie). Proto je tento postranní vstup energeticky méně výhodný. Udává se, že z **1 FADH₂** získáme **2 ATP**. (x na rozdíl od: **1 NADH → 3 ATP**)



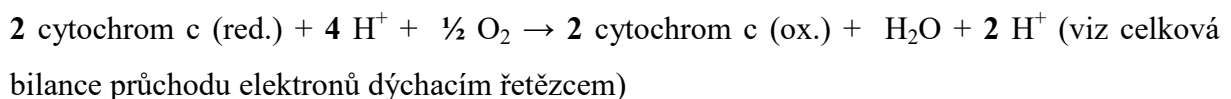
Koenzym Q je, jak už bylo zmíněno, mobilní přenašeč, který předává elektrony prostřednictvím **komplexu III (komplex cytochromu b – c₁)** na druhý mobilní přenašeč – cytochrom c. Komplex III zajišťuje převod 2 elektronového transportu (z CoQH₂) na jedoelektronový pomocí tzv. Q-cyklu, protože druhý mobilní přenašeč cytochrom c má pouze jedno redoxní centrum.



Poslední **komplex IV (komplex cytochromoxidázy)** katalyzuje **jedoelektronovou oxidaci** 4 cytochromů c a redukci jedné molekuly O₂ za vzniku vody.



Komplex IV totiž obsahuje 4 redoxní centra, proto může oxidovat až 4 cytochromy c za vzniku 2 molekul vody. Pokud ale výsledek vztáhneme na 1 molekulu NADH, máme k dispozici pouze 2 elektrony = 2 redukované cytochromy c. Tvar rovnice tohoto případu bude:



ATPáza

O ATPáze najdeme informace v publikacích Alberts et al. (1998), Kodíček et al. (2015), Elston et al. (1998), Rodwell et al. (2015) aj.

Závěrečným krokem syntézy ATP v rámci membránové fosforylace je využití energie gradientu elektrochemického potenciálu protonů, protože jak již víme, syntéza ATP z ADP a P_i je endergonickou reakcí. Tento proces je umožněn díky enzymu ATPáza vázanému na membránu. ATPáza tvoří hydrofilní průchod vnitřní membránou mitochondrie, díky kterému můžou protony z mezimembránového prostoru proudit po směru gradientu svého elektrochemického potenciálu zpět do matrix.

ATPáza je velký protein s mnoha podjednotkami. Enzym se skládá především z 2 nekovalentně spojených částí: transmembránového kanálu (F_0) přenášejícího pasivně protony a oligomerní hlavy (F_1), která zajišťuje vlastní reakci $ADP + P_i \rightarrow ATP + H_2O$. Obě tyto části zaujímají vůči membráně pevnou pozici, pohyblivá je podjednotka γ , která se otáčí (na jednu otočku připadá syntéza 3 molekul ATP). Právě pohyb podjednotky γ je vyvolán exergonickým pasivním transportem protonů.

ATPáza je evolučně starým enzymem, který pracuje na stejném principu kromě mitochondrií i v chloroplastech rostlin a řas a v plazmatické membráně bakterií (využití energie k rotaci bakteriálního bičíku = pohyb bakterie).

Nyní máme vytvořený dostatek ATP, který ve svých makroergických vazbách nese energii široce využitelnou a pro živou buňku absolutně nepostradatelnou.

Tvorba ATP v rostlinách

Na začátek srovnání tvorby ATP u živočichů a rostlin, potažmo chemoorganotrofů a fotolitotrofů, je důležité si uvědomit, ač určité množství ATP vzniká i při fotosyntéze, většina ATP přítomného v cytosolu rostlin vzniká oxidací cukrů a tuků v mitochondriích, jak se dozvídáme v publikacích Alberts et al. (1998), Raven et al. (1999), Procházka (1998), Campbell, Reece (2006) aj.

Průběh fotosyntézy je značně složitý proces, který nebudeme v této práci hlouběji rozebírat. Podíváme se pouze na konkrétní část 1. fáze fotosyntézy, která se nazývá světelná. V této fázi je syntetizováno určité množství ATP a redukčního činidla NADPH. Pro zopakování NADPH vystupuje jako redukční kofaktor na rozdíl od NADH v anabolických, redukčních procesech, mezi které fotosyntéza bez pochyby patří.

Za produkci NADPH je zodpovědný fotosystém I, za produkci H^+ do lumenu = vznik ATP je zodpovědný fotosystém II. ATP a NADPH vytvořené fotosyntetickými reakcemi (přenosem elektronů) se využívají jako zdroj energie a jako redukční činidlo při zabudování CO_2 do organických sloučenin (sacharidů) v 2. fázi fotosyntézy, označované jako temnostní. Tyto sacharidy, pro rostliny především sacharóza, jsou využity při jejich oxidaci ke vzniku ATP v mitochondriích. (<https://www.prirodovedci.cz/chemik/clanky/tajemstvi-fotosyntezy>)

Princip vytvoření ATP je shodný jako u oxidativní fosforylace ($ADP + P_i \rightarrow ATP + H_2O$). V membráně (tentokrát v membráně thylakoidů) je umístěna ATPáza, která přečerpává protony H^+ z lumenu (dutina thylakoidních váčků) do stroma (vnitřní prostor chloroplastu odpovídající matrix mitochondrií).

Kodíček et al. (2015) tvrdí, že pokud by ovšem fotosyntéza vyprodukovala pouze tolik ATP ve světelné fázi, jako by spotřebovala ve fázi temnostní, nemělo by se smysl na tomto místě bavit o novém způsobu tvorby ATP pro organismus. Existuje ovšem cesta, tzv. **cyklická membránová fosforylace**, která umožňuje syntézu většího množství ATP, pokud je to buňkou vyžadované.

Cyklickou fosforylací dochází k potlačení vzniku redukovaných kofaktorů NADPH. Elektrony se vracejí zpět na fotosystém II a dojde k dvojnásobnému převodu protonů z lumenu do stroma přes ATPázu. Udává se, že cyklickým přenosem elektronů se získá z jednoho fotonu 2/3 ATP.

2.5 Shrnutí a rozdíly mezi vznikem ATP v rostlinách a u živočichů

Pro utvoření celkového shrnutí mezi vznikem ATP v rostlinách a u živočichů získáme informace z publikací Koolman, Röhm (2012), Rodwell et al. (2015), Kodíček et al. (2015), Alberts et al. (1998), Sofrová et al. (2009), Kittnar (2011), Campbell, Reece (2006) aj.

Obecně lze říci, že makroergické sloučeniny jsou takové sloučeniny, které při svém štěpení poskytnou množství energie (více než 25 kJ/mol) využitelné pro procesy, které energii vyžadují, pro procesy, které by bez přidání energie neprobíhaly. Těch je v živých buňkách opravdu velmi mnoho. Tyto procesy fungují na tzv. principu energetického spřáhování.

ATP patří mezi nejdůležitější makroergické sloučeniny, jelikož je široce využitelná. Mezi nejdůležitější použití ATP patří pohon elektroosmotických jevů = aktivní transport přes membránu (spotřeba až 30% celkového množství ATP v buňce), pohyb (ať už na úrovni buněk nebo celého organismu = uplatnění v aktinomyozinovém komplexu), syntéza energeticky bohatých sloučenin ($\text{ATP} + \text{glukóza} \rightarrow \text{glukóza-1-P} + \text{ADP}$), přenos neurotransmiterů a hormonů, popř. produkce tepla ať již řízená, tu využívají např. novorozenci (ti mají prozatím nedokonale vyvinutou termoregulaci) nebo hibernující živočichové procesem tzv. netřesové termogeneze, nebo neřízená – vedlejší produkce tepla je výsledkem druhého termodynamického zákona, kdy veškerá energie nelze využít na práci, část se uvolňuje do prostředí ve formě odpadního tepla (příkladem je zahřívání svalů během jeho práce).

ATP v sobě váže tzv. energii chemickou, existují však ještě další typy energií, které organismus přijímá, využívá, převádí v jiné typy nebo vylučuje ve formě odpadního tepla – energie mechanická, elektrická nebo energie ve formě záření. Platí zde tedy první termodynamický zákon, zákon zachování energie - energii nelze vyrobit ani zničit.

ATP hraje významnou úlohu v metabolismu, což je soubor všech chemických procesů a přeměn energií, které buňka (popř. organismus) vykonává za účelem přežití. Jedná se propojený komplex enzymových reakcí.

Ústředím pro energetický metabolismus je mitochondrie. V mitochondrii se nachází pyruvátdehydrogenázový komplex, který převádí pyruvát na acetyl-CoA, enzymy citrátového cyklu, enzymy katabolismu mastných kyselin a enzymy elektrontransportního řetězce. Další důležitou součástí je také ATPáza, které produkuje ATP.

Jde o továrnu spotřebovávající kyslík (dýchání živých organismů). Např. u lidí a dalších obratlovců se jedná o proces, kdy je kyslík přepravován z vnějšího prostředí přes plíce, plicní sklípky, krev až k buňkám, kde má funkci příjemce elektronů a protonů za vzniku vody.

Pokud dojde pro člověka z různých důvodů k anaerobním podmínkám, stává se zdrojem ATP (tudíž E) i substrátová fosforylace na úrovni glykolýzy, která probíhá v cytosolu buněk. Výsledkem anaerobního dýchání mohou být kromě 2 ATP buď laktát (kyselina mléčná) vznikající např. při zvýšené fyzické zátěži, nebo ethanol produkovaný např. kvasinkami.

Největší podíl ATP vzniká v mitochondrii pomocí proton-motivní síly elektrontransportního řetězce, kde se uplatňují elektroosmotické jevy. Návrat protonů z mezimembránového prostoru zpět do matrix mitochondrie pohání ATPázu zakotvenou na vnitřní membráně. ATPáza produkuje ATP podle rovnice: $ADP + P_i \rightarrow ATP + H_2O$.

Pokud vycházíme z 1 molekuly glukózy (protože zdrojem E pro člověka jako pro heterotrofního chemoorganotrofa je organická látka) získáme aerobním dýcháním 36 – 38 molekul ATP.

Rostliny jako fotoautotrofové využívají jako zdroj energie světlo. Světelná energie využitá při fotosyntéze je přeměněna do energie chemických vazeb organických molekul – sacharidů, tuků. Při fotosyntéze vzniká určité množství ATP, které však primárně neslouží pro zajištění životních funkcí rostlinného organismu přímo, ale využívá se v druhé fázi fotosyntézy k syntéze organických molekul. Jejich oxidací v mitochondriích rostlin vzniká největší množství energie ve formě ATP stejným principem jako u chemoorganotrofů. Nicméně v případě nouze je u rostlin druhá část fotosyntézy zpomalena a může se v chloroplastu vytvářet ATP rovnou pro potřebu rostlinného organismu tzv. cyklickou fosforylací.

2.6 Kurikulární dokumenty – RVP, NVP a ŠVP

Kurikulární dokumenty podle Nezvalové (2006) zahrnují cíle pedagogického působení, obsah výuky, metody a organizaci vyučovacího procesu, jeho podmínky a hodnocení. Kurikulární dokumenty jsou realizovány na dvou úrovních – státní a školní, o čemž pojednává Jeřábek et al. (2007). Státní úroveň představuje Národní vzdělávací program (NVP), který formuluje požadavky na vzdělávání platné v počátečním vzdělávání jako celku. Druhým dokumentem na státní úrovni je Rámcový vzdělávací program (RVP), který vymezuje závazné rámce vzdělávání pro předškolní, základní a střední vzdělání. Školní úroveň představuje Školní vzdělávací plán (ŠVP), který si každá škola tvoří sama podle zásad v příslušném RVP. RVP a ŠVP jsou veřejně dostupnými dokumenty.

2.6.1 Rámcový vzdělávací program pro gymnázia

Informace o RVP pro gymnázia podává Jeřábek et al. (2007). RVP pro gymnázia má za úkol stanovit základní vzdělávací úroveň pro všechny absolventy gymnázií, dále specifikuje úroveň klíčových kompetencí, které by měli žáci na konci vzdělání na gymnáziu dosáhnout.

Mezi klíčové kompetence pro žáky gymnázií patří dle Jeřábka et al. (2007):

- kompetence k učení
- kompetence k řešení problémů
- kompetence komunikativní
- kompetence sociální a personální
- kompetence občanská
- kompetence k podnikavosti

RVP vymezuje vzdělávací obsah (očekávané výstupy a učivo), který je dle Jeřábka et al. (2007) na gymnáziu rozdělen do 8 vzdělávacích oblastí:

- **Jazyk a jazyková komunikace** (Český jazyk a literatura, Cizí jazyk, Další cizí jazyk);
- **Matematika a její aplikace** (Matematika a její aplikace);
- **Člověk a příroda** (Fyzika, **Chemie**, **Biologie**, Geografie, Geologie);
- **Člověk a společnost** (Občanský a společenskovední základ, Dějepis; Geografie);
- **Člověk a svět práce** (Člověk a svět práce);
- **Umění a kultura** (Hudební obor, Výtvarný obor);

- **Člověk a zdraví** (Výchova ke zdraví, Tělesná výchova);
- **Informatika a informační a komunikační technologie** (Informatika a informační a komunikační technologie).

RVP umožňuje modifikaci vzdělávacího obsahu pro žáky se specifickými vzdělávacími potřebami a pro mimořádně nadané žáky. Dále vymezuje začlenění průřezových témat. Ty se podle Jeřábka et al. (2007) dělí na:

- osobnostní a sociální výchova
- výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech
- multikulturní výchova
- environmentální výchova
- mediální výchova

Dle RVP jsou očekávanými výstupy pro žáky gymnázií v oblasti biochemie objasnění struktury a funkce sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech a charakterizace základních metabolických procesů a jejich význam.

Do učiva jsou potom zahrnuta témata lipidy, sacharidy, proteiny, nukleové kyseliny, vitamíny, hormony, enzymy.

Vidíme tedy, že témata jsou velmi široká a právě sem spadají studované makroergické sloučeniny.

2.6.2 Školní vzdělávací plán

ŠVP je souborem konkrétních vzdělávacích programů na dané škole. Na gymnáziu ve Vyškově, kde probíhalo vyučování a testování žáků v rámci makroergických sloučenin je toto téma určeno školním vzdělávacím plánem pro 4. ročník čtyřletého a 8. ročník osmiletého gymnázia v rámci volitelného bloku biochemie. Očekávané výstupy týkající se makroergických sloučenin jsou následující.

Žák:

- rozliší látkový a energetický metabolismus
- objasní mechanismy tvorby ATP
- popíše význam a uplatnění makroergických sloučenin v endergonických reakcích
- rozliší jednotlivé práce konané organismem

- charakterizuje základní metabolické procesy a jejich význam
- využívá odbornou terminologii při popisu látek a vysvětlování chemických dějů
- na podkladě získaných informací sestaví tabulku společných znaků katabolismu a anabolismu
- popíše význam acetyl-CoA v metabolismu lipidů a sacharidů
- vysvětlí rozdíl mezi anaerobním a aerobním dějem
- uvede význam glykolýzy
- pomocí předloženého schématu popíše hlavní fáze glykolýzy
- určí jednotlivé typy chemických reakcí probíhajících v glykolýze
- analyzuje energetickou bilanci glykolýzy
- objasní význam pentózového cyklu
- objasní význam Krebsova cyklu
- pomocí předloženého určí jednotlivé typy chemických reakcí probíhající v Krebsově cyklu
- charakterizuje oxidační fosforylaci a provede energetickou bilanci dýchacího řetězce

Z výše uvedeného vyplývá, že rozsah mnou předneseného učiva odpovídal rozsahu ŠVP Gymnázia Vyškov.

2.7 Využití mezipředmětových vztahů

Maslowski (1990), Vinter, Králíček (2016) a Altmann (1975) pojednávají o mezipředmětových vztazích. Biologie je zařazena do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Do této oblasti patří také chemie, fyzika, geografie a geologie. Tyto předměty jsou úzce spjaty a často se hodně prolínají. Překryv témat je i do vzdělávací oblasti Člověk a zdraví (biologie patogenů, biologie člověka).

Makroergické sloučeniny jsou biochemickým tématem, což je jedním z nejevidentnějších příkladů mezipředmětových vztahů. Dále se téma pojí s fyzikou (termodynamika, některé fyzikální veličiny, práce, energie). Při výpočtech energií využíváme matematické vztahy. Navíc učivo o makroergických sloučeninách široce propojuje mnoho témat biologie dle RVP, jak uvádí Jeřábek et al. (2007) (obecná biologie, biologie rostlin, biologie živočichů, biologie člověka, biologie bakterií).

2.8 Motivace žáků

O motivaci žáků můžeme najít informace v publikacích Kalhous, Obst (2009), Vinter, Králíček (2016), Průcha et al. (2003).

Základ motivace k učení se pokládá již v rodině. Rodiče předávají svým dětem pozitivní postoj k učení tím, jak odpovídají ochotně na jejich otázky, podporují je v jejich zájmech, učí je využívat informační prameny.

Žáci nechodí do školy s hotovou motivací nebo bez ní, ale motivace je výsledkem interakce mezi osobností žáka, učitelem, spolužáky, klimatem třídy, školy atd.

Motivaci můžeme definovat jako soubor činitelů a pohnutek, které podněcují, směřují a udržují aktivitu člověka. Podle Vintra, Králíčka (2016) dělíme motivaci k učení na **vnitřní a vnější**.

O **vnitřní motivaci** k učení mluvíme, když žák pracuje/učí se, protože ho zaujalo téma nebo činnost. Takový žák nepotřebuje vnější stimul v podobě příslibu odměny nebo trestu. Vnitřní motivace je závislá na tom, jestli žák vnímá učební činnost jako pro něho smysluplnou a má možnost se aktivně podílet na výběru cílů, metod a hodnocení učení. Aby učitel vnitřní motivaci žáků podpořil, měl by propojovat probírané učivo s žákovým reálným životem (zkušenostmi, zážitky). Žáci s vnitřní motivací se učí způsobem vedoucím k hlubšímu poznání a pochopení učiva.

Žáci s **vnější motivací** se učí hlavně proto, aby získali nějakou odměnu, nebo aby se vyhnuli trestu. Tito žáci se snaží při co nejmenším úsilí získat maximální školní úspěch (pragmatická strategie). Podle Kalhous, Obst (2009) je k vnější motivaci k učení přistupováno vícero přístupů. Někteří autoři a učitelé ji odmítají, jiní vyzdvihují vztah vnější a vnitřní motivace. Mezi pozitivní vnější motivaci můžeme zařadit různé systémy odměňování žáka za školní práci – pravidelné zprávy rodičům, odměňování skupin, slovní a písemné pochvaly, zveřejňování úspěchů dětí ve školním nebo místním časopise, besedy s hosty, kteří mohou působit jako pozitivní vzory výkonu. Někdy se může vnější motivace postupně měnit v motivaci vnitřní.

Pro učitele je zásadním úkolem umět žáky motivovat. Toho může dosáhnout různými prostředky např. vybíráním zajímavých témat, řešením úkolů formou her (biologické křížovky a doplňovačky), fotosoutěžemi, workshopy. Navíc lze obecně doporučit tyto zásady zvýšení motivace pro žáky s horším prospěchem (nízkou motivací) dle Kalhous, Obst (2009):

- pomoci žákům zaměřit se na úkol a ne na riziko neúspěchu
- naučit je při neúspěchu nikoli rezignovat, ale postupně procházet krok za krokem tak, aby dokázali najít chybu nebo alternativní cestu
- připomínat, že chyby patří k učení a nejsou známkou žákovy neschopnosti
- naučit žáky přičítat neúspěch jejich malému úsilí, zvolení špatné strategie nebo nedostatku informací, ne nedostatku vlastních schopností

Já jsem se při svém výkladu často snažila využívat alespoň vnější motivaci. Zdůraznila jsem, že pro žáky se zájmem o přírodovědné obory budou vědomosti uplatnitelné jednak u přijímacích zkoušek, jednak jako startovní seznámení s procesy, které budou později na vysoké škole probírat detailně. Kde to bylo možné, spojovala jsem nové poznatky se známými např. uplatnění druhého termodynamického zákona při práci svalu – sval se zahřívá, což víme z reálné praxe, posmrtná ztuhlost při nedostatku ATP – smrt, kyslík, který dýcháme jako konečný příjemce elektronů, anaerobní dýchání – vznik produktů kvašení – laktát (svaly), alkohol (kvasinky) atd.

3 Výsledky

Výsledkem této práce je didaktická analýza učiva o makroergických sloučeninách ve středoškolských učebnicích, sestavení didaktického testu a jeho analýza, navrnutí hodnocení tohoto didaktického testu a klasifikace žáků v tomto didaktickém testu, vytvoření obrázků a schémat usnadňujících pochopení daného tématu a zvyšujících jeho názornost, v neposlední řadě sestavení pracovního listu.

3.1 Didaktická analýza učiva o makroergických sloučeninách ve středoškolských učebnicích

Učebnice podle Maňáka, Knechta (2007) představuje základní učební pomůcku, která ovlivňuje vzdělávání v každé škole a na všech stupních vzdělávání. Jednou z hlavních funkcí učebnice je motivovat žáky k učení. V dnešní době mají žáci nepřeborné množství zdrojů informací, ale ne každá je správná. Díky učebnici se mohou dobře zorientovat a rozlišit nepravdivé informace z jiných zdrojů. Dobrá učebnice, srozumitelně a čtivě napsaná, vzbuzuje v žácích větší zájem o předmět. Učebnice by měla být také názorná. Autoři učebnic musí dodržovat didaktické zásady, proto se v týmu připravujícím učebnici nachází kromě pedagoga, ilustrátora, pedagogického psychologa, odborníka na tvorbu textů samozřejmě i oborový didaktik.

Učebnice vede žáky v jejich učebních aktivitách, což se pozitivně odráží na hloubce a délce trvání výsledků jejich učení. Další funkcí učebnice je zajištění sebehodnocení žákova učení. Dobrá učebnice by měla obsahovat klíče správných odpovědí a výsledky řešených úloh. Neposlední funkcí učebnice je utváření žákových postojů a hodnot. Učebnice jsou důležité nejenom pro žáky, ale i pro učitele, kteří vycházejí z učebnic při výběru učiva a výukových metod. Dobré učebnice mohou zajistit škole vysokou úroveň vzdělání.

3.1.1 Kritéria hodnocení tématu makroergické sloučeniny v učebnicích pro střední školy

Po prozkoumání mnoha středoškolských učebnic pro předměty biologie, chemie, biochemie s tematikou makroergických sloučenin byla vymezena následující kritéria. O jednotlivých oblastech a kritériích se dočteme v publikacích Maňák, Knecht (2007). Didaktické zásady zmiňuje Vinter, Králíček (2016); Kalhous, Obst (2009), Altmann (1985).

První oblastí hodnocení je obsah učebnice. Obsah je vybírán tak, aby byl v souladu s odpovídajícími kurikulárními dokumenty. Při výběru obsahu by také měly být brány v potaz cíle vzdělávání.

V rámci obsahu byla hodnocena 3 kritéria a to **rozsah učiva, přiměřená obtížnost a odborná správnost**.

Rozsah učiva je hodnocen z pohledu toho, jestli kapitola obsahuje všechny zásadní body učiva. Problém je, podle čeho si tyto zásadní body ověřit, když RVP pro gymnázia zmiňuje problematiku makroergických sloučenin velice okrajově. Po zpracování rešeršní části práce a hlubšímu pochopení tématu jsem navrhla jako zásadní body následující:

- ATP – struktura, funkce, vznik
- NADH, FADH₂ – funkce
- Metabolismus – dráhy katabolické, anabolické, rozdělení organismů podle výživy
- Metabolismus cukrů – glykolýza aerobní, anaerobní
- Krebsův cyklus
- Oxidativní fosforylace
- (Rozdíly v získávání ATP u rostlin a živočichů)

Přiměřená obtížnost je důležitou didaktickou zásadou. Učebnice by neměly zahrnovat žáky fakty a neměly by jít příliš do hloubky (především v tématu makroergických sloučenin). S hloubkou by musel narůstat i objem a na ten nebývá prostor. Nejhorší možnou variantou učebního textu jsou osekane věty popisující téma příliš odborně. Zároveň by neměly látku pouze okrajově zmiňovat. Co se týče odborných výrazů, není na škodu seznamovat žáky postupně s některými latinskými termíny nebo chemickými názvy. Podle mého názoru např. NADH – nikotinamidadeninukleotid je na první pohled složitým názvem, každopádně po pochopení struktury této molekuly dokáže žák název bez problémů sestavit.

Celý text by měl být napsán **odborně správně**.

Druhou studovanou oblastí je struktura učebnice. V této oblasti byla hodnocena dvě kritéria – **srozumitelnost a přehlednost** textu.

Srozumitelnost je klíčová pro motivaci žáků. Srozumitelný text se dobře čte a dobře chápe. Pouze srozumitelně napsané učebnice dovedou realizovat cíle vzdělávání (vědomé osvojování si znalosti a dovednosti, rozvoj kompetencí k učení a myšlení).

Se srozumitelností souvisí i **přehlednost textu**. Jedná se o to, jakým způsobem je text psán – odstavce, odrážky, zvýrazněná slova, poznámky pod textem, velikost písma atd. Kromě přehlednosti je důležitá i **souvislost** psaného textu - jestli věty navazují přímo na sebe a text je myšlenkově ucelený.

Třetí oblastí je názornost učiva. Do této oblasti byla zahrnuta tři kritéria hodnocení – **obrázky, tabulky a schémata**. Názornost je důležitou didaktickou zásadou. Ačkoli platí, že přehnaná názornost (zbytečně mnoho obrázků, schémat) může brzdit rozvoj kreativního a abstraktního myšlení žáků, tak v tomto tématu plní názornost nenahraditelnou roli.

Poslední, čtvrtou, studovanou oblastí je oblast sebereflexe (sebehodnocení). Sebehodnocení můžou žáci realizovat prostřednictvím **úkolů a otázek**, které se nacházejí zejména za kapitolou. Někdy se také můžou nacházet před kapitolou, aby si žáci procvičili a připomněli, co už o dané látce ví.

V dobré učebnici by se měly nacházet **klíče správných odpovědí a výsledky řešených úloh**. Úkoly neplní motivační funkci, pokud si žák nemůže po vypracování zkontrolovat správnost svých odpovědí.

Tabulka 5: Hodnocená kritéria a jejich bodové ohodnocení

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	2 b	5 b
	přiměřená obtížnost	2 b	
	odborná správnost	1 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	2 b	4 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	1 b	3 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	

SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	1 b	2 b
	správné odpovědi, výsledky	1 b	
Celkový počet bodů			14 b

3.1.2 Analýza tématu makroergické sloučeniny ve vybraných učebnicích pro střední školy

Jelikož téma makroergických sloučenin se příliš nezahrnuje do učiva základních hodin biologie nebo chemie, analýza tohoto učiva ve středoškolských učebnicích bude spíš honbou alespoň za nějakými informacemi. Žáci se o ATP učí v rámci nukleotidů (část biochemie v předmětu chemie a v rámci funkce buněčných organel (mitochondrií), popř. v učivu o anabolismu a katabolismu). Ve spojení se svalovou prací nebo s elektroosmotickými jevy nebývá ATP v základních učebnicích podrobněji spojována.

Vybrané knižní tituly:

- KOLÁŘ K., KODÍČEK M., POSPÍŠIL J. (2005): Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia. 2., upr. a dopl. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha.
- MAREČEK A., HONZA J. (2000): Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl. Nakladatelství Olomouc, Olomouc.
- VACÍK J. (1999): Přehled středoškolské chemie. 4. vyd., v SPN - pedagogickém nakl. 2. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha.
- JELÍNEK J., ZICHÁČEK V. (2014): Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část). 11. vyd. Nakladatelství Olomouc, Olomouc.
- BENEŠOVÁ M. et al. (2013): Odmaturuj! z biologie. 2., přeprac. vyd. Didaktis, Brno.
- HANČOVÁ H., VLKOVÁ M. (2008): Biologie v kostce: pro střední školy : [obecná biologie, botanika, zoologie, biologie]. Fragment, Praha.

1. Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia

Tabulka 6: Ohodnocení učebnice *Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	1 b	4 b
	přiměřená obtížnost	2 b	
	odborná správnost	1 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	2 b	4 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	1 b	3 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	1 b	2 b
	správné odpovědi, výsledky	1 b	
Celkový počet bodů			13 b

Učebnice **Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia** obsahuje všechny významné body tématu makroergické sloučeniny. Celý text je přiměřeně obtížný a odborně správný. Jediné, co po obsahové stránce chybí, je detailnější glykolýza (např. formou schématu), proto je strženy jeden bod. Kapitola Biochemické děje je dále rozčleněna na jednotlivé podkapitoly, za kterými se nachází shrnující text, který je barevně odlišený. Za jednotlivými podkapitolami se nacházejí také otázky a úkoly, na které najdeme odpovědi na konci učebnice. Text je psaný srozumitelně a souvisle ve dvou sloupcích, je přehledný a názorný díky obrázkům, schématům a tabulkám. Dobře propojuje chemii s biologií. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 13 bodů.

2. Biologie pro gymnázia (teoretická a praktická část)

Tabulka 7: Ohodnocení učebnice *Biologie pro gymnázia (teoretická a praktická část)*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	1 b	3 b
	přiměřená obtížnost	1 b	
	odborná správnost	1 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	1 b	3 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	1 b	3 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	1 b	2 b
	správné odpovědi, výsledky	1 b	
Celkový počet bodů			11 b

Rozsah učiva v učebnici **Biologie pro gymnázia (teoretická a praktická část)** je poměrně adekvátní. Chybí mi zde ale např. struktura ATP, zmínění redukovaných kofaktorů (NADH, FADH₂), podrobněji popsany dýchací řetězec (na schématu je obsažen, ale chaoticky a není k němu žádný text). Škoda, že zde není kapitola věnovaná energetice buňky obecně. Informace o metabolismu a makroergických sloučeninách zde najdeme, ale fragmentovaně. Na druhou stranu je v učebnici dobře propojena fotosyntéza a následná oxidace živin a získání energie u chemoorganotrofů a využití ATP při svalové práci (mechanická energie). Některé pasáže jsou ale příliš náročné a málo srozumitelné (např. molekulové motory). Z hlediska názornosti obsahuje učebnice obrázky, schémata i tabulky, někdy ovšem nemají výsledný efekt zvýšení názornosti. Kniha je docela přehledná, text členěný do dvou sloupců. Za textem je i shrnutí. Otázky a úkoly, alespoň k některým problémům tématu makroergických sloučenin, jsou v koncové části knihy pod kapitolou Životní funkce a individuální vývoj rostlin. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 11 bodů.

3. Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl

Tabulka 8: Ohodnocení učebnice *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	1 b	4 b
	přiměřená obtížnost	2 b	
	odborná správnost	1 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	2 b	4 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	0 b	2 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	0 b	0 b
	správné odpovědi, výsledky	0 b	
Celkový počet bodů			10 b

Učebnice **Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl** je srozumitelně a poměrně čtivě napsaná. Obsahově ale velice převyšuje mé požadavky na téma makroergické sloučeniny. Odpovídá spíše vysokoškolské přednášce základů biochemie. Každopádně je text přiměřeně obtížný i přes jeho rozsah, odborně je správný. Text je srozumitelně napsaný, souvislý a přehledný. Po názorné stránce obsahuje učebnice spoustu dobrých schémat, ale chybí mi více dokreslujících obrázků, hlavně některých buněčných struktur (mitochondrie, chloroplast). Celkové názorné pojetí (tabulky, obrázky, schémata) jsou graficky zastaralé. Bohužel se v učebnici nenachází shrnutí kapitoly a žádné kontrolní otázky a úkoly. Pro procvičení hlavně výpočtů byla vydána kniha *Sbírka řešených příkladů z chemie*, ale ta neobsahuje téma biochemie potažmo makroergické sloučeniny. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 10 bodů.

4. Přehled středoškolské chemie

Tabulka 9: Ohodnocení učebnice *Přehled středoškolské chemie*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	2 b	4 b
	přiměřená obtížnost	2 b	
	odborná správnost	0 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	1 b	2 b
	přehlednost	0 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	1 b	3 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	0 b	0 b
	správné odpovědi, výsledky	0 b	
Celkový počet bodů			9 b

Učebnice **Přehled středoškolské chemie** mě pozitivně překvapil svým rozsahem učiva, který pokrýval předem stanovené body. Sice na rozdíl od ostatních učebnic jsou zde více popsány redukované koenzymy NADH a FADH₂, každopádně je zde opakovaně uvedená špatně struktura redukované formy FADH₂: správně FADH₂ x v učebnici FADH, i přesto, že na schématu struktury této molekuly jsou oba vodíky. Zajímavé je, že na schématu cyklu β-oxidace je molekula FADH₂ uvedena správně. Dále mi tu chybí informace o přesném umístění dýchacího řetězce – **vnitřní** mitochondriální membrána. Text je přiměřeně obtížný. Některé pasáže jsou ale nesrozumitelné, což ovlivňuje i horší přehlednost textu (nesrozumitelný popis součástí dýchacího řetězce). Učební text je souvislý a poměrně názorný. Učebnice obsahuje mnoho schémat, která jsou vhodně zjednodušena. Škoda jen, že zde nenajdeme žádné otázky a úkoly k procvičení. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 9 bodů.

5. Odmaturuj! z biologie

Tabulka 10: Ohodnocení učebnice *Odmaturuj! z biologie*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	1 b	3 b
	přiměřená obtížnost	2 b	
	odborná správnost	0 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	2 b	4 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	1 b	
NÁZORNOST	obrázky	0 b	2 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	0 b	0 b
	správné odpovědi, výsledky	0 b	
Celkový počet bodů			9 b

Ačkoli jsou tématu makroergické sloučeniny v učebnici **Odmaturuj! z biologie** věnovány pouze tři strany, obsahuje základní informace o téměř všech požadovaných bodech učiva (až na bližší informace o možnostech výroby a využití ATP). V této učebnici se nachází správně forma redukováného kofaktoru FADH_2 , chybné je ale uvedení jeho oxidované formy: správně $\text{FAD} \times$ v učebnici FAD^+ . Další chybou je spojování oxidace glukózy (glykolýza, Krebsův cyklus a následně i dýchací řetězec) s molekulami NADPH. V těchto metabolických procesech se vyskytuje nefosforylovaná forma NADH. NADPH vystupuje v procesu fotosyntézy. Text je přiměřeně obtížný, spíše lehčí. Učebnice je psaná velmi srozumitelně a hlavně přehledně, možná díky použití jednoduchých vět v odrážkách. Zpřesnění a doplnění informací k textu se nachází v sloupci na pravé straně učebnice. Ačkoli je text psán v odrážkách, jako celek působí souvisle. Učebnice celkově je velice názorná, ale v kapitole o makroergických sloučeninách: Metabolismus živých soustav mi chybí více obrázků a schémat např. struktura ATP, zjednodušená glykolýza, ukázka Krebsova cyklu, ukázka vnitřní membrány mitochondrie. Učebnice neobsahuje otázky a úkoly. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 9 bodů.

6. Biologie v kostce

Tabulka 11: Ohodnocení učebnice *Biologie v kostce*

	Hodnocená kritéria	Bodové hodnocení	
OBSAH	rozsah učiva	0 b	2 b
	přiměřená obtížnost	1 b	
	odborná správnost	1 b	
STRUKTURA	srozumitelnost	1 b	2 b
	přehlednost	1 b	
	souvislý text	0 b	
NÁZORNOST	obrázky	1 b	3 b
	tabulky	1 b	
	schémata	1 b	
SEBEREFLEXE	otázky a úkoly	1 b	2 b
	správné odpovědi, výsledky	1 b	
Celkový počet bodů			9 b

Název učebnice **Biologie v kostce** opravdu dobře vystihuje i její obsah. Rozsah je podle mnou stanovených požadavků strohý. Některé vzorce (molekuly) uvedené ve schématech nejsou řádně vysvětleny, pojmenovány (ATP, NADH, GTP), což zvyšuje obtížnost textu. Učebnice obsahuje minimum textu, který je heslovitý nebo v bodech (to snižuje celkovou srozumitelnost). Témata jsou přehledná, ale text není moc souvislý. Skáče se po pár informacích z jednoho tématu na druhé. Názorný text je, obsahuje tabulky, obrázky i schémata. Názornost je největší výhodou této učebnice. Za kapitolou se nacházejí otázky a úkoly, na které najdeme řešení na konci učebnice. Myslím si, že tato učebnice je vhodná pro žáky jako závěrečné procvičování a ověření si pochopení souvislostí. Určitě nemůže vystupovat jako základ informací k daným tématům. Podle hodnocených kritérií a přidělených bodů celkově učebnice získala 9 bodů.

3.2 Didaktický test

Problematikou didaktického testu, jeho sestavení, typů didaktických testů a jejich vyhodnocování se zabývali Jeřábek, Bílek (2010), Chráska (1999), Byčkovský (1982).

Didaktický test je zkouškou, která objektivně zjišťuje zvládnutí učiva u zvolené skupiny osob. Takový test je navrhován, ověřován, hodnocen a interpretován podle předem stanovených pravidel. V praxi se setkáváme s různými didaktickými testy, které se liší tím, jaké informace pomocí nich dostáváme.

Základní dělení didaktických testů je podle Byčkovského (1982) je uvedeno v Tabulce 12.

Tabulka 12: Druhy didaktických testů

Klasifikační hledisko	Druhy testů		
Měřená charakteristika výkonu	rychlosti		úrovně
Dokonalost přípravy testu a jeho příslušenství	standardizované	kvazistandardizované	nestandardizované
Povaha činnosti testovaného	kognitivní		psychomotorické
Míra specifčnosti učení zjišťovaného testem	výsledků výuky		studijních předpokladů
Interpretace výkonu	rozlišující (relativního výkonu)		ověřující (absolutního výkonu)
Časové zařazení do výuky	vstupní	průběžné (formativní)	výstupní (sumativní)
Tematický rozsah	monotematický		polytematický (souhrnné)
Míra objektivity skórování	objektivně skórovatelné	kvaziobjektivně skórovatelné	subjektivně skórovatelné

Didaktický test, který jsem sestavila, je test úrovně, nestandardizovaný. Test je kognitivní a zjišťuje především výsledky výuky. Test byl vyhodnocen jak podle relativního výkonu žáků, tak podle jejich absolutního výkonu. Jednalo se o výstupní test, který byl monotematický (téma makroergické sloučeniny). Test byl objektivně skórovatelný.

Abychom posoudili celkovou kvalitu didaktického testu, hodnotíme některé jeho vlastnosti, jako je např. **obtížnost** a **citlivost** otázek. Mezi další vlastnosti testu patří také **validita**, **reliabilita** nebo **objektivita**. O jednotlivých vlastnostech se dočteme v publikaci Jeřábek, Bílek (2010), Byčkovský (1982), Vinter, Králíček (2016).

Validitu testu hodnotíme podle toho, zda je v testu prověřováno pouze to, co se má být skutečně prověřováno. Je jednou z nejdůležitějších vlastností. Obsah zvoleného testu byl jasně stanoven, takže test je validní.

Další vlastností didaktického testu je **reliabilita** (představuje **spolehlivost a přesnost**). **Spolehlivost** testu je splněna, pokud test použijeme opakovaně u stejné skupiny žáků a dostaneme stejné výsledky. Aby byl test co **nejpřesnější**, musíme se vyvarovat chyb jako je použití testu určeného pro základní školy na střední škole nebo pokud jsou úlohy příliš jednoduché/složitě. **Reliabilita** testu je vyjadřována koeficientem reliability, který nabývá hodnot od 0 po 1. Pokud se hodnota blíží 0, je reliabilita minimální, pokud se hodnota blíží 1, je reliabilita maximální. Pro test o více než 15 položkách je vhodná hodnota koeficientu reliability 0,8.

Reliabilitu testu vypočítáme podle Kuderova – Richardsonova vzorce:

$$r_{rk} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum pq}{s^2} \right),$$

kde r_{rk} – koeficient reliability, k – počet otázek v testu, q – podíl žáků, kteří danou úlohu řešili správně, p – podíl žáků, kteří danou úlohu řešili nesprávně, s – směrodatná odchylka

Citlivost testových úloh je schopnost úlohy rozlišovat mezi žáky s lepšími a horšími vědomostmi. Pokud je test citlivý, měly by být výsledky žáků přiměřeně rozprostřeny po celé bodové škále. Test, jehož účelem je vytvořit pořadí žáků, musí být citlivý. Naopak test ověřující osvojení daného učiva, kde nezáleží na pořadí žáků, nemusí mít vysokou míru citlivosti. **Citlivost** se vyjadřuje pomocí koeficientu citlivosti, který lze vypočítat pomocí indexu ULI (upper-lower index). Abychom mohli index ULI vypočítat, musíme žáky podle dosažených výsledků rozdělit na dvě poloviny. Pro každou úlohu se potom určí, kolik žáků z první (úspěšnější) skupiny ji zodpovědělo správně (n_L) a kolik žáků z druhé skupiny (méně úspěšné) ji zodpovědělo správně (n_H).

Vzorec pro výpočet indexu ULI:

$$d = \frac{n_L - n_H}{0,5 N},$$

kde d – koeficient citlivosti, N – celkový počet žáků

Zkoumanou vlastností tohoto didaktického testu byla **obtížnost**. **Obtížnost** vyjadřuje v procentech relativní počet úspěšných nebo neúspěšných řešitelů dané otázky. Při určování obtížnosti dané otázky vypočítáváme hodnotu **Q (hodnota obtížnosti)** nebo **P (index obtížnosti)**.

Hodnota obtížnosti Q vyjadřuje v procentech relativní zastoupení žáků, kteří otázku zodpověděli chybně nebo ji vynechali. Lze ji vypočítat ze vztahu:

$$Q = 100 \frac{n_n}{n}$$

kde n_n – počet žáků, kteří úlohu řešili chybně nebo ji vynechali, n – celkový počet žáků

Index obtížnosti P vyjadřuje v procentech relativní zastoupení žáků, kteří otázku zodpověděli správně. Lze ji vypočítat ze vztahu:

$$P = 100 - Q \quad \text{nebo} \quad P = 100 \times \frac{n_s}{n}$$

kde n_s – počet žáků, kteří odpověděli správně, n – celkový počet žáků

Nejvíce by se měly v testu vyskytovat otázky s obtížností kolem 50%, naopak otázky s obtížností kolem 20% a 80% by se měli v testu vyskytovat v omezeném množství.

3.2.1 Analýza didaktického testu

Diplomová práce obsahuje nestandardizovaný didaktický test s variantami A a B. Každá varianta testu obsahuje otázky s výběrem pouze jedné správné odpovědi. Pro analýzu didaktického testu bylo vybráno gymnázium ve Vyškově - Gymnázium a Střední odborná škola zdravotnická a ekonomická Vyškov, příspěvková organizace. V rámci povinně volitelného předmětu Blok biochemie jsem odučila 6 vyučovacích hodin na téma makroergické sloučeniny. Následující vyučovací hodinu jsem žákům zadala předem ohlášený test ověřující jejich zvládnutí tohoto náročného učiva. Žáci měli k učení k dispozici mnou

vytvořenou prezentaci, která se nachází na přiloženém CD. Test trval 40 minut a účastnilo se ho 19 žáků.

Tabulka 13: Získané hodnoty Q a P u skupiny A

Číslo otázky	n_s	n_n	Q [%]	P [%]
1	10	0	0	100
2	2	8	80	20
3	6	4	40	60
4	5	5	50	50
5	10	0	0	100
6	6	4	40	60
7	6	4	40	60
8	9	1	10	90
9	9	1	10	90
10	9	1	10	90
11	6	4	40	60
12	8	2	20	80
13	6	4	40	60
14	5	5	50	50
15	2	8	80	20
16	10	0	0	100
17	7	3	30	70
18	7	3	30	70
19	2	8	80	20
20	9	1	10	90
21	1	9	90	10
Celkový počet žáků				10

Test varianty A psalo celkem 10 žáků. V testu se objevily 3 otázky, na které všichni žáci odpověděli správně (modrá barva). Některé z těchto otázek se záměrně nachází na začátku testu, aby žáky uklidnily a motivovaly. 7 otázek bylo středně obtížných (žlutá barva). Nejhůře dopadla poslední otázka (růžová barva): *Které tvrzení je nepravdivé: (konečným příjemcem elektronů z redukovaných kofaktorů je **atomární kyslík**, kvůli své vysoké afinitě k elektronům.* Tato otázka byla i mnou označena za nejnáročnější, protože žáci museli využít poznatky z anorganické chemie, aby si správný výsledek odvodili. Těžko se rozhodovali, která odpověď je pravdivá, připadalo jim, že všechny. To by byla pravda, kdyby se změnilo

slovo **atomární** na **molekulový**. Na tuto otázku odpověděla správně pouze jedna žákyně, která ale měla celkově nejhorší test a dá se předpokládat, že v této otázce tipovala. Paradoxně velmi špatně (obtížnost 80 %) dopadla otázka č. 2: *Co **neplatí** o makroergické vazbě v ATP?: (vznik makroergické vazby (ATP z ADP a P_i) je reakce exergonická.* Tady šlo zřejmě o nepozornost žáků nebo možná proto, že otázka je položená záporně. Obtížnost se tedy pohybuje od 0 % do 90 %, což není úplně nejlepší výsledek. Výsledek by mohlo ovlivnit více respondentů.

Tabulka 14: Získané hodnoty Q a P u skupiny B

Číslo otázky	n _s	n _n	Q [%]	P [%]
1	8	1	11	89
2	6	3	33	67
3	9	0	0	100
4	9	0	0	100
5	5	4	44	56
6	3	6	67	33
7	5	4	44	56
8	9	0	0	100
9	7	2	22	78
10	9	0	0	100
11	8	1	11	89
12	8	1	11	89
13	4	5	56	44
14	4	5	56	44
15	1	8	89	11
16	8	1	11	89
17	7	2	22	78
18	1	8	89	11
19	5	4	44	56
20	7	2	22	78
21	4	5	56	44
Celkový počet žáků				9

Test varianty B psalo 9 žáků. V testu se nacházejí 3 otázky, na které odpověděli všichni studenti správně (modrá barva). Opět jsou některé z nich záměrně situovány na začátek testu (uklidnění, motivace). 6 otázek bylo středně obtížných (žlutá barva). Nejhůře

dopadla otázka číslo 15 (červená barva): *Jak se nazývají spojky mezi jednotlivými dýchacími komplexy?: (ubichinon, cytochrom c)*. 6 žáků zvolilo odpověď: *koenzym Q, ubichinon*. Koenzym Q je pouze jiným názvem pro ubichinon, takže oba názvy jsou správně, ale jde pouze o jednu a tu samou spojku. Aby byla odpověď správně, musí se zvolit varianta s oběma spojkami. Myslím si, že jsem zvolila špatnou možnost odpovědi zařazením oné možnosti *koenzym Q, ubichinon*. Celkem nepochopitelně dopadla také špatně otázka č. 18 (červená barva): *Čím je poháněná ATPáza?: (vyžitím gradientu elektrochemického potenciálu protonů)*. Tady žáci volili různě jiné možnosti. Celkově byly testové otázky obtížné od 0 % do 89 %.

Celkově dopadly oba testy podobně. Měly okolo 3 nebo 4 nejjednodušších otázek, na které znali všichni žáci správnou odpověď. Dále okolo 6 nebo 7 otázek středně obtížných a 1 nebo 2 otázek velmi obtížných. Výsledek by mohlo ovlivnit více respondentů. Zajímavé také je, že při tvorbě testu jsem si sama podle mého uvážení označila vytvořené otázky různou obtížností, abych věděla, kolik otázek je náročných/jednoduchých a výsledky žáků víceméně přesně kopírují i můj odhad.

3.2.2 Hodnocení a klasifikace žáků

O způsobech hodnocení testu se můžeme dočíst v publikaci Vinter, Králíček (2016), Chráska (1999).

Test byl vyhodnocen jak z pohledu **relativního výkonu** žáků, tak z pohledu jejich **absolutního výkonu**.

U testů **relativního výkonu (testy rozlišující, NR-testy - norm-referenced tests)** se porovnávají výsledky žáků mezi sebou. Na základě řešení jsou žáci uspořádáni do pořadí a to, jestli je žák úspěšný nebo ne, záleží kromě jeho výkonu taky na výkonech ostatních.

Většinou se k hodnocení využívají **testy ověřující (testy absolutního výkonu, CR-testy – criterion-referenced tests)**. Při hodnocení ověřujeme, zda si žák osvojil námi požadované učivo, vlastnosti a dovednosti. Výsledky žáka nejsou porovnávány s ostatními, ale s předem stanovenými kritérii (počet bodů).

Výsledná klasifikace žáků může probíhat několika možnostmi:

- intuitivní přístup ke klasifikaci
- **klasifikace na základě procenta správných odpovědí**

- klasifikace na základě normálního rozdělení

Pro klasifikace tohoto testu bylo zvoleno hodnocení podle procenta správných odpovědí. Jelikož učivo o makroergických sloučeninách je náročné, přizpůsobila jsem tomu i procentuální hranici.

Při absolutním hodnocení výsledků žáků byla stanovena následující bodová a procentuální hranice:

Tabulka 15: Bodová a procentuální hranice pro absolutní hodnocení žáků

Hodnocení CR			
Počet bodů	Procenta [%]	Známka	Počet
21-18	100-85	1	1
17-14	84-67	2	9
13-10	66-48	3	8
9-5	45-25	4	1
4-0	24-0	5	0

Při relativním hodnocení žáků jsem žáky seřadila do pořadí a od maxima nejlepší žákyně jsem stanovila novou bodovací a procentuální škálu:

Tabulka 16: Bodová a procentuální hranice pro relativní hodnocení žáků

Hodnocení NR			
Počet bodů	Procenta [%]	Známka	Počet
18-16	100-89	1	5
15-13	88-72	2	10
12-9	71-50	3	3
8-5	49-28	4	1
4-0	29-0	5	0

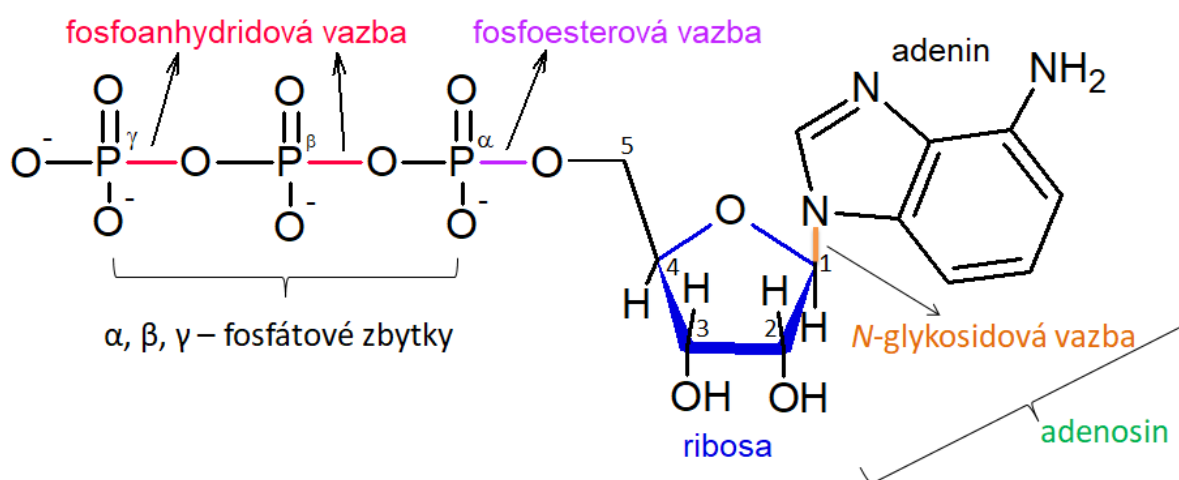
Při vyhodnocení testu z hlediska absolutního výkonu nám výsledky (respektive jejich zastoupení) kopírují Gaussovu křivku. Jedna žákyně dosáhla na známku 1. Devět žáků dostalo známku 2 a osm žáků známku 3. Pouze jedna žákyně dostala známku 4 a známka 5 se neobjevila. Při zpracování výsledků z hlediska relativního výkonu žáků byla celá hranice posunuta. Jako maximum bodů (18) zde bylo počítáno s nejlepším bodovým výsledkem, který

se objevil. Po úpravě by dosáhlo na známku 1 pět žáků, známku 2 by obdrželo 10 žáků, třem žákům by zůstala známka 3. Jediná známka 4 by také zůstala a známka 5 by se zde opět nevyskytla. Žáci byli v tomto případě do indexů hodnoceni podle jejich absolutního výkonu, což bylo také cílem testu – ověřit zvládnutí problematického učiva jednotlivci.

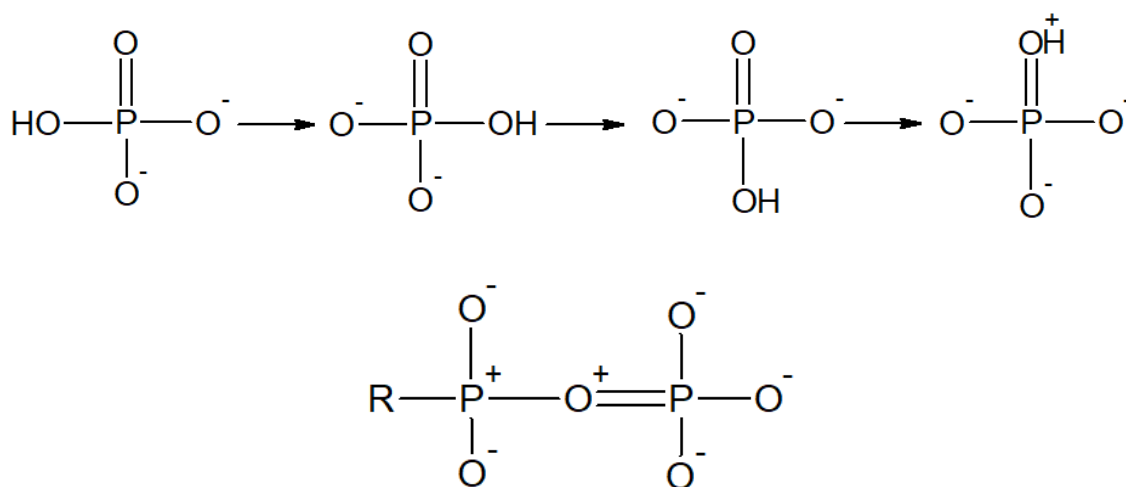
3.3 Obrázky a schémata

V této části se nachází výčet mnou vytvořených obrázků a schémat sloužících ke zvýšení názornosti tématu makroergické sloučeniny.

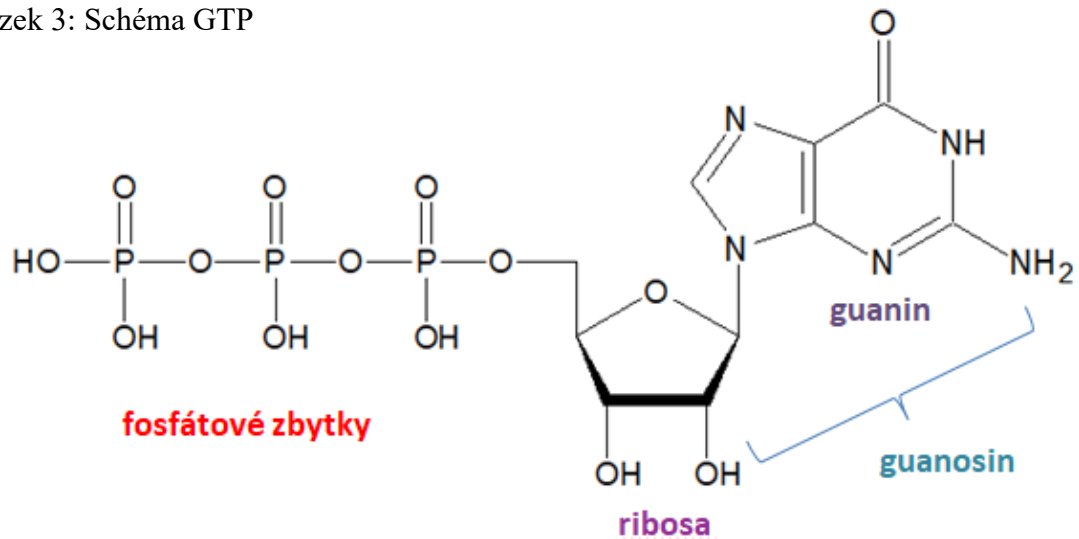
Obrázek 1: Schéma ATP a typy vazeb



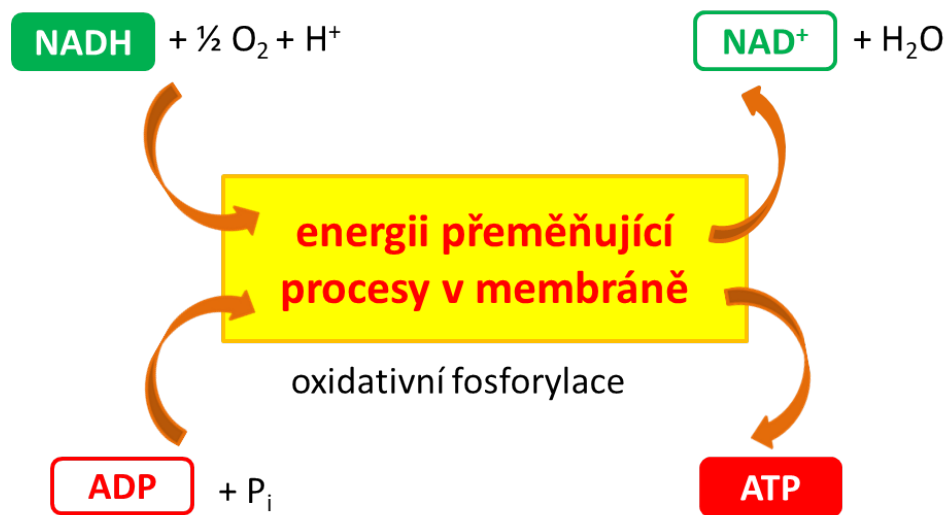
Obrázek 2: Rezonanční struktury fosfátu a difosfátu



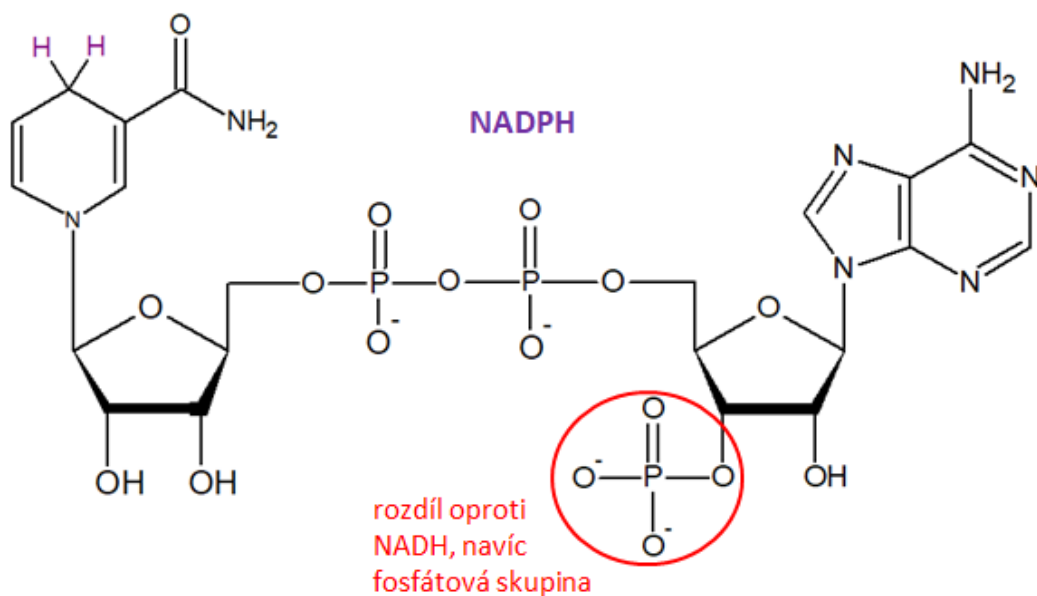
Obrázek 3: Schéma GTP



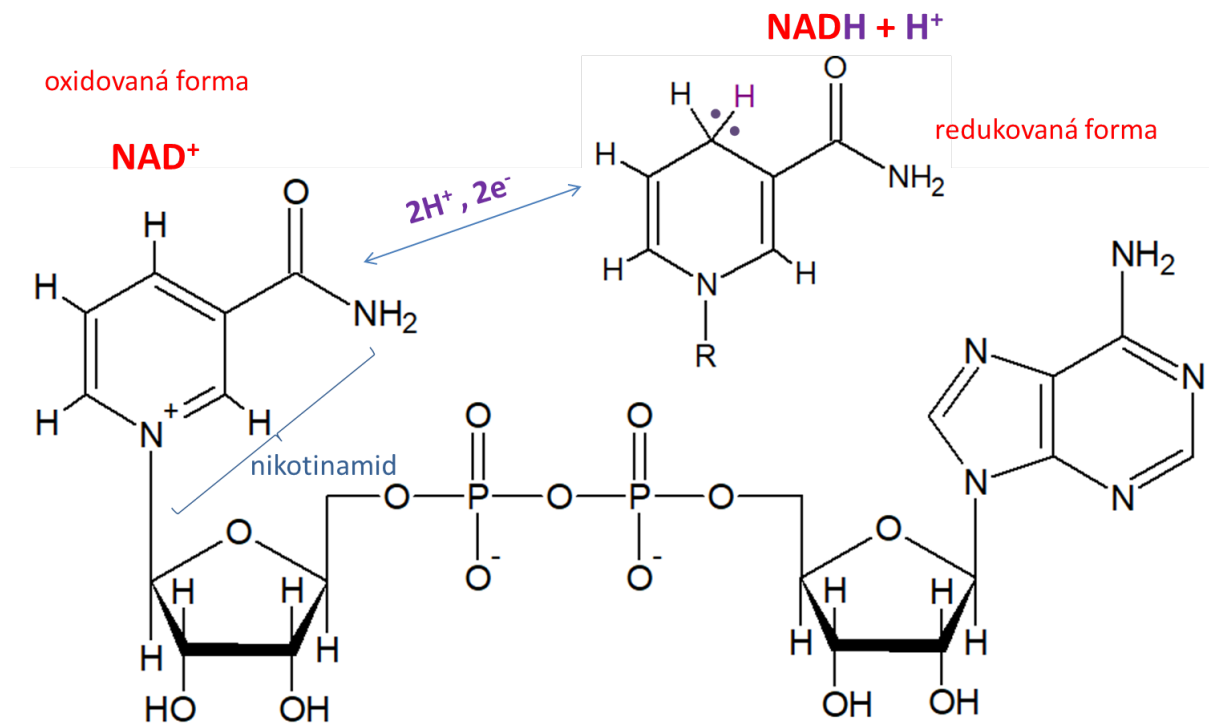
Obrázek 4: Úloha NADH v mitochondrii



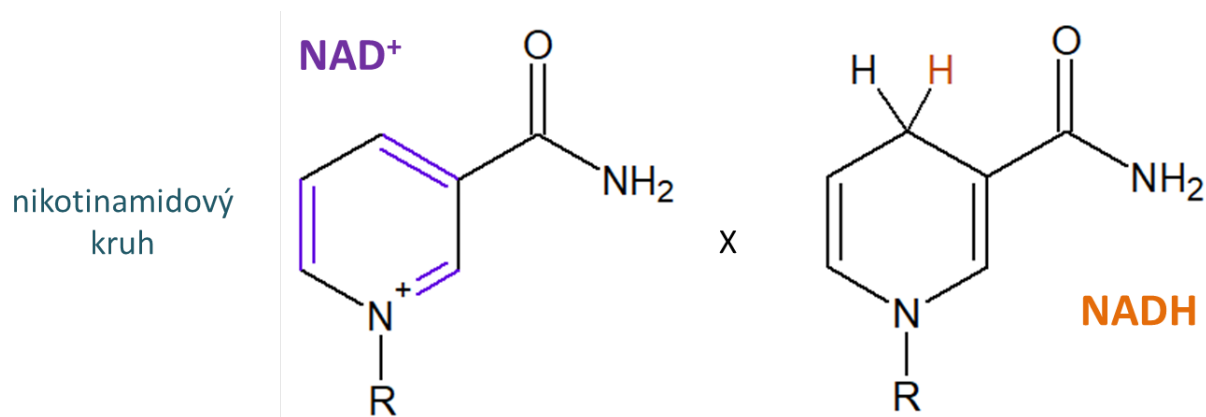
Obrázek 5: Schéma NADPH



Obrázek 6: Schéma oxidované a redukované formy NADH

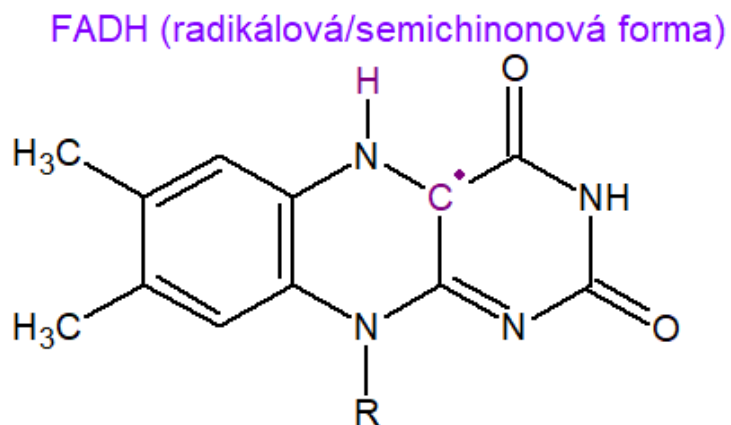


Obrázek 7: Schéma výhodnějšího uspořádání elektronů v molekule NADH

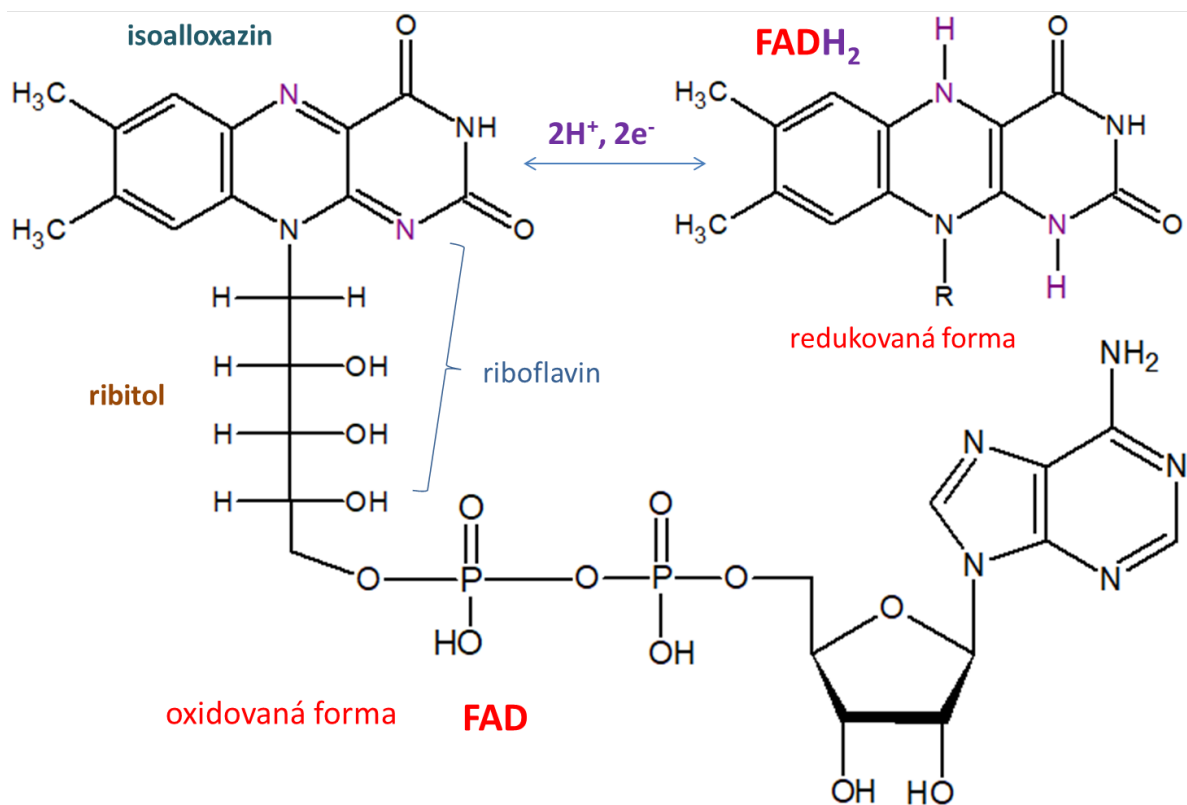


konjugovaný systém
elektronů = větší stabilita
= preferovaný stav

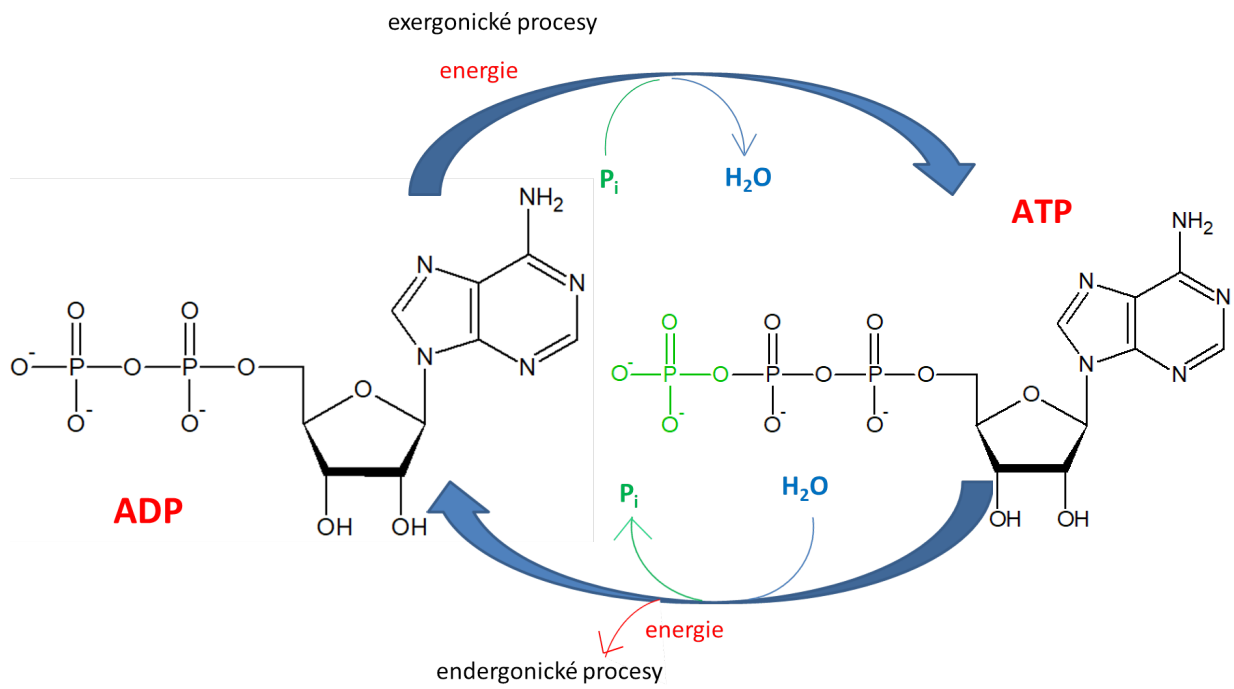
Obrázek 8: Radikálová/semichinonová forma FADH



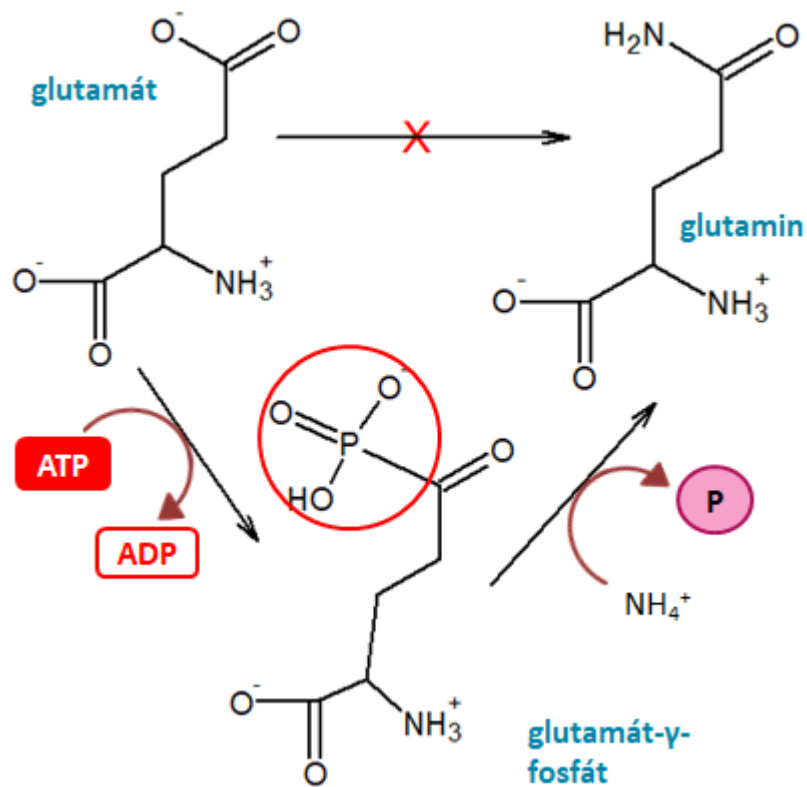
Obrázek 9: Schéma redukované a oxidované formy FADH₂



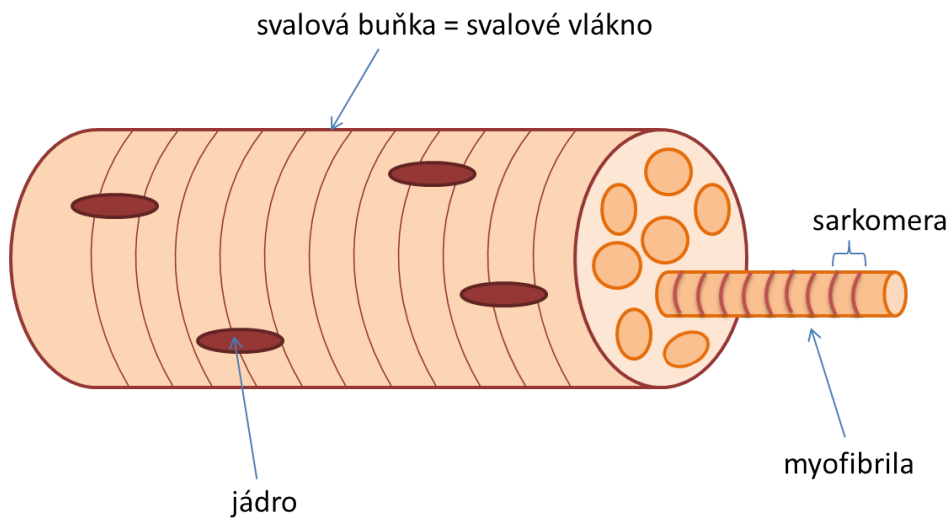
Obrázek 10: Schéma hydrolyzy ATP



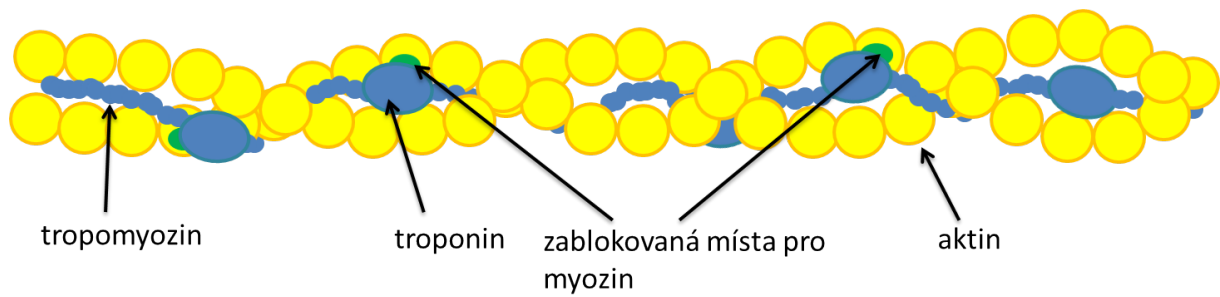
Obrázek 11: Spřažení chemických reakcí



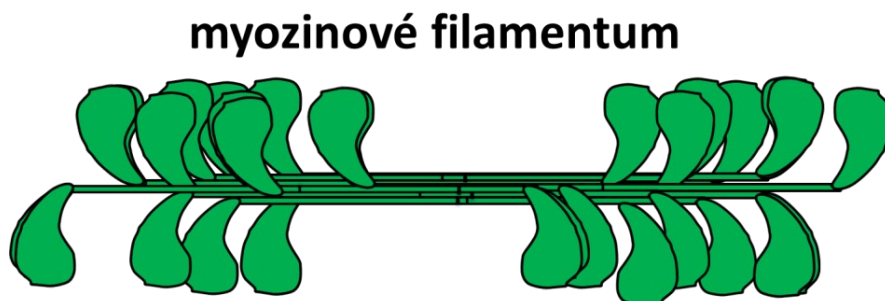
Obrázek 12: Schéma svalové buňky



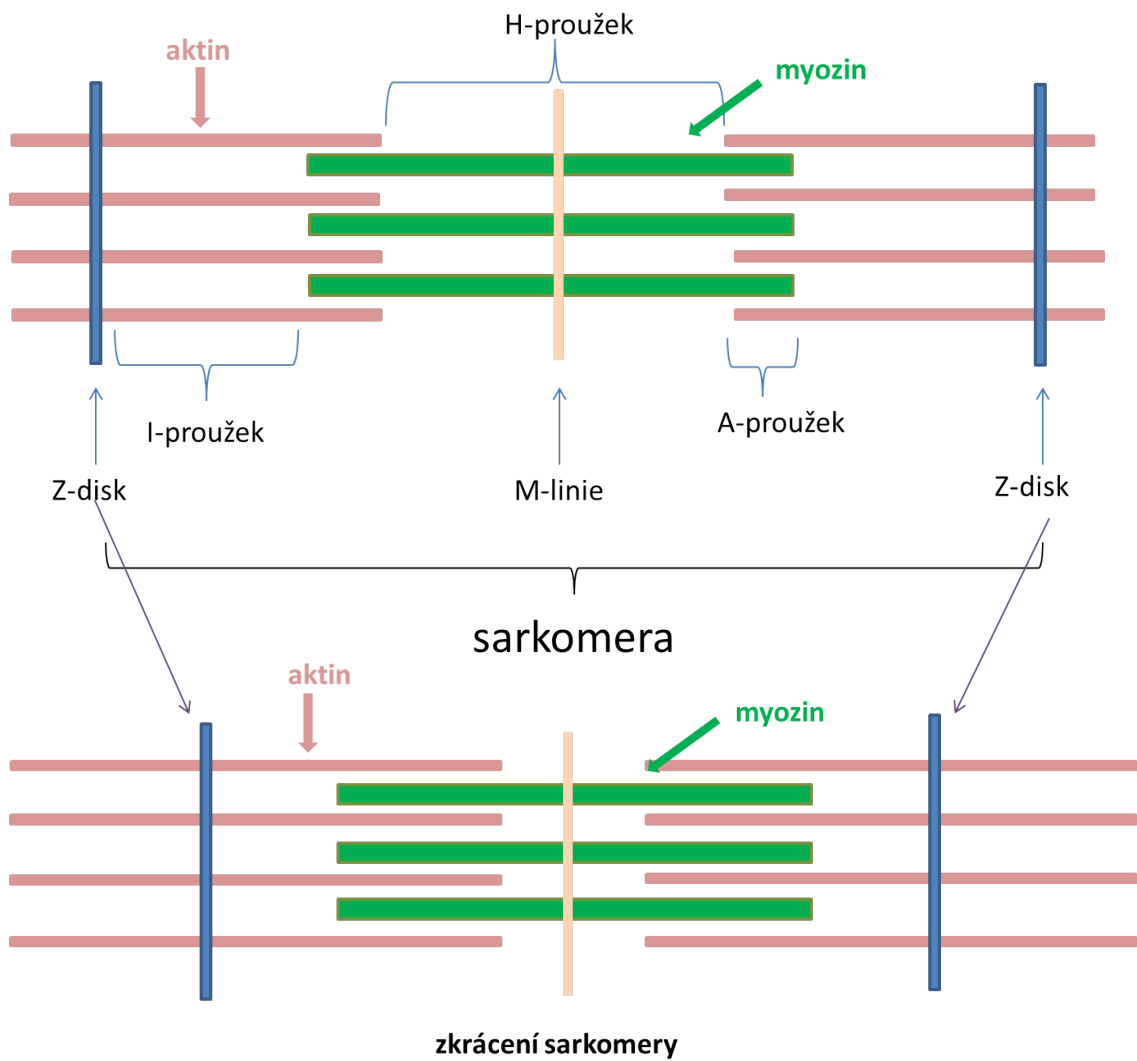
Obrázek 13: Aktinové filamentum



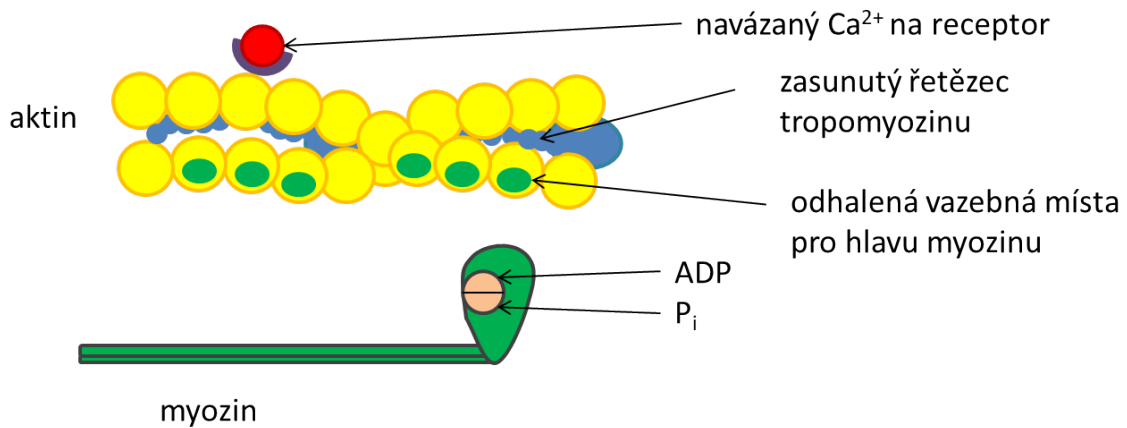
Obrázek 14: Myozinové filamentum

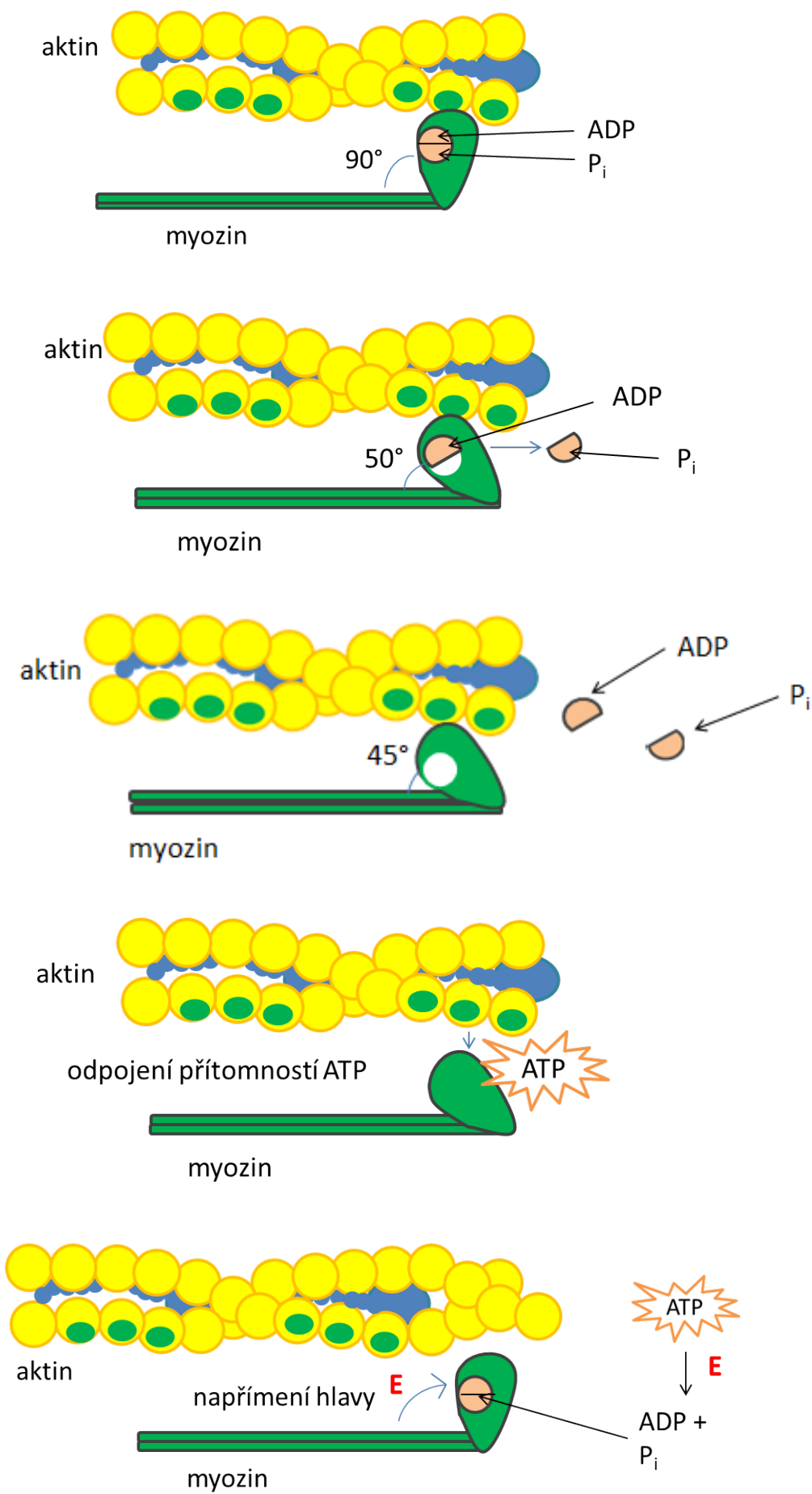


Obrázek 15: Schéma zkrácení sarkomery

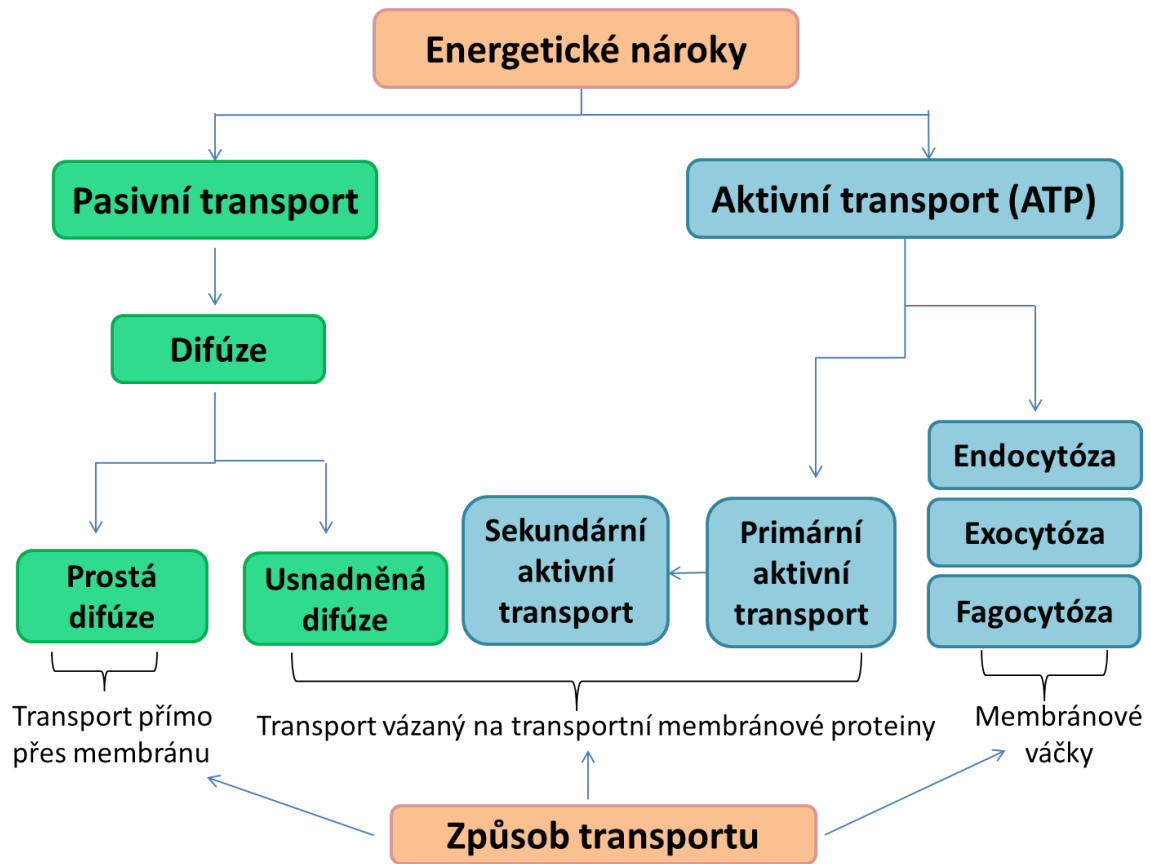


Obrázek 16: Role ATP při svalovém stahu

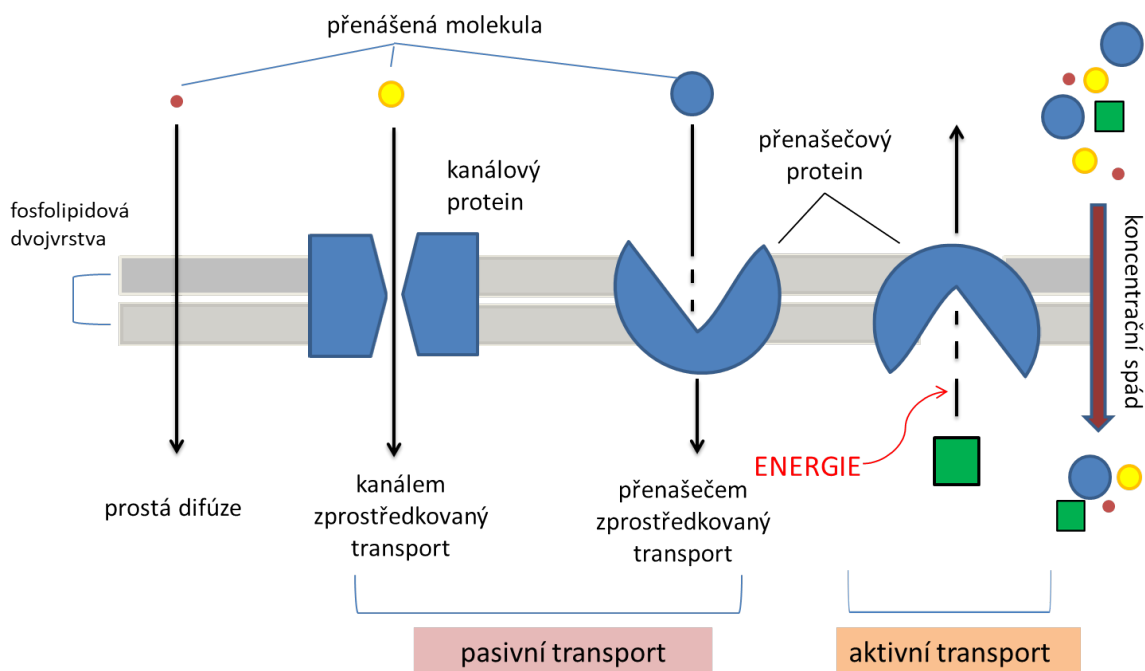




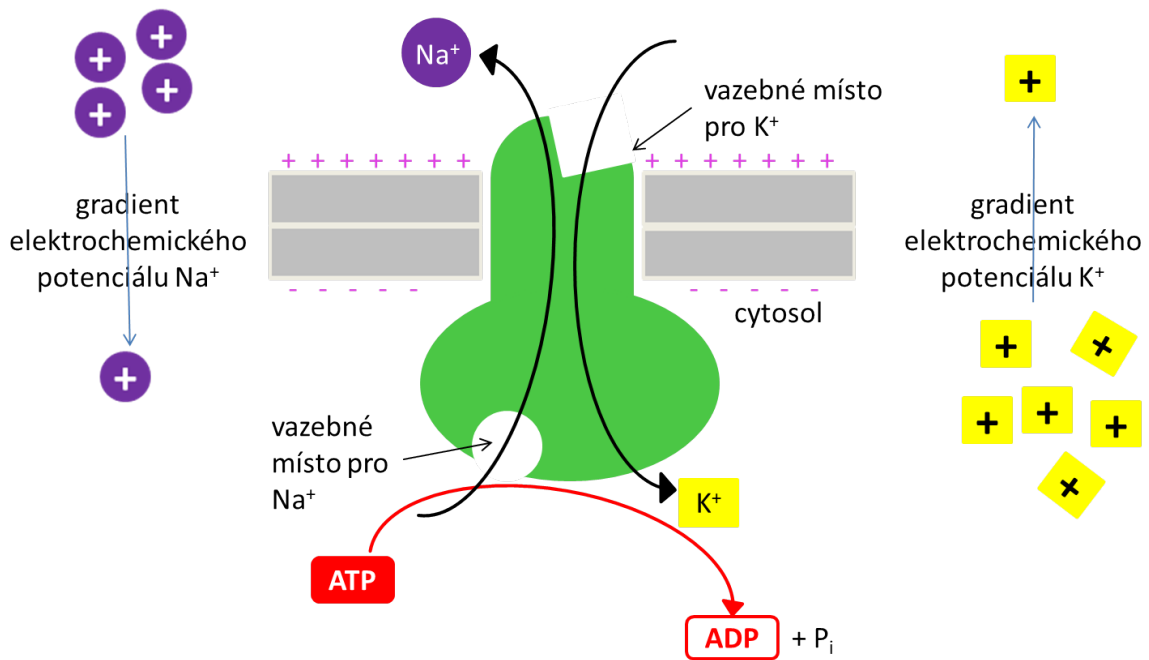
Obrázek 17: Schéma transportu přes membránu z hlediska energetického a z hlediska zapojení membrány



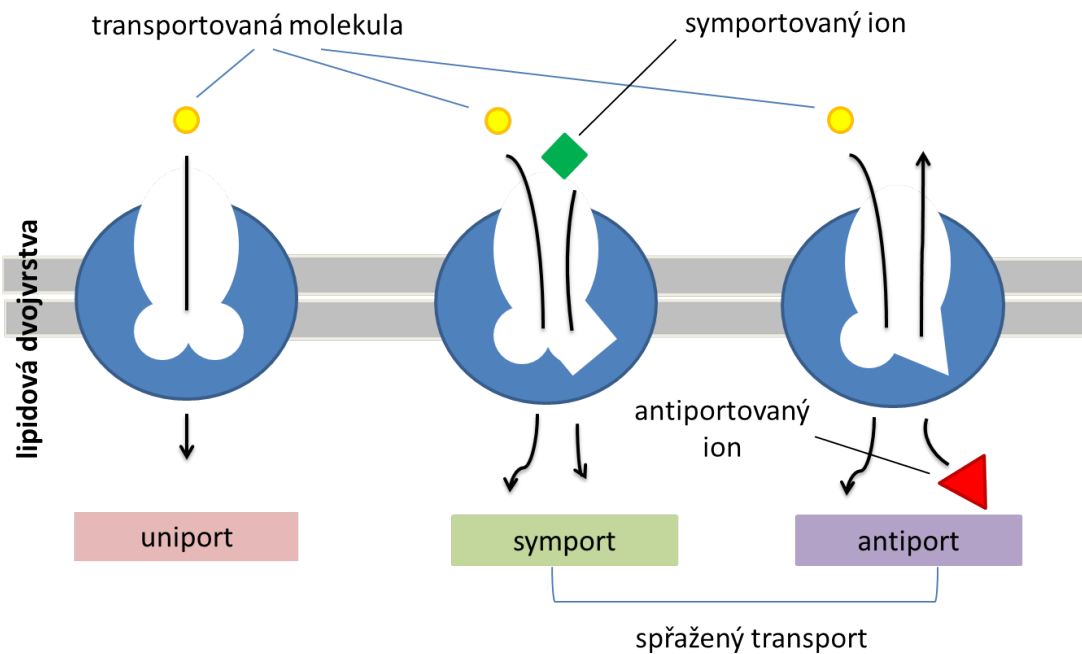
Obrázek 18: Transport přes membránu pomocí kanálů a přenašečů rozdílů



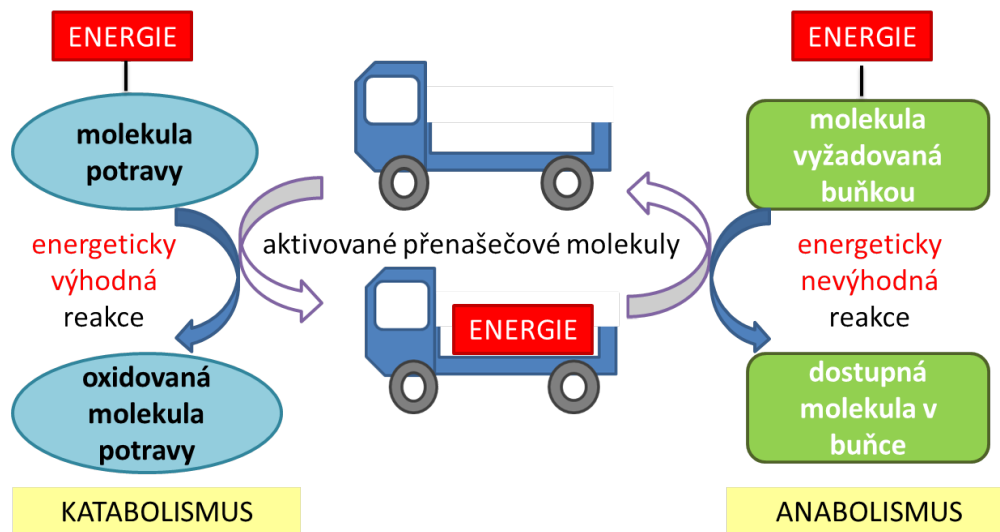
Obrázek 19: Sodno-draselná pumpa



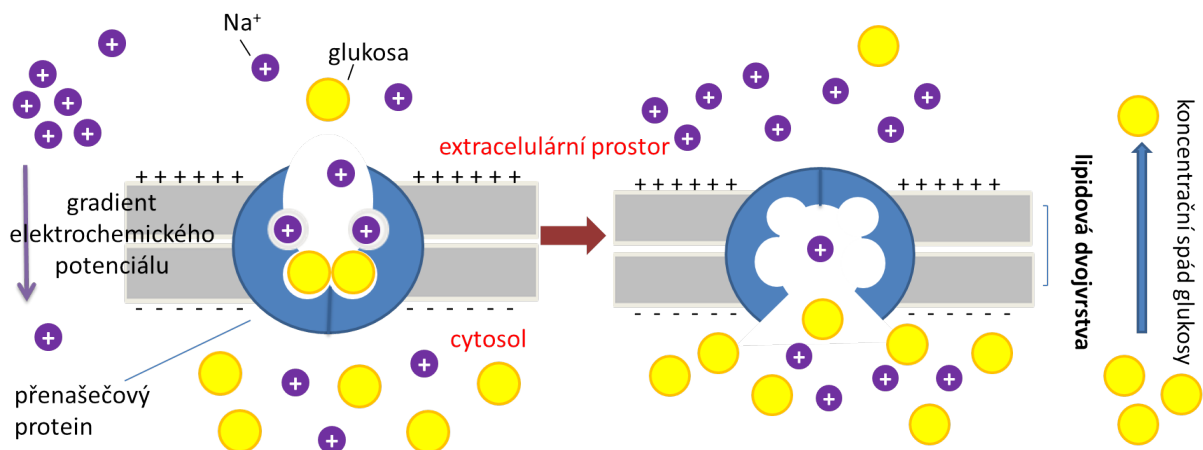
Obrázek 20: Transportní proteiny podle počtu přenášených částic a směru přenosu



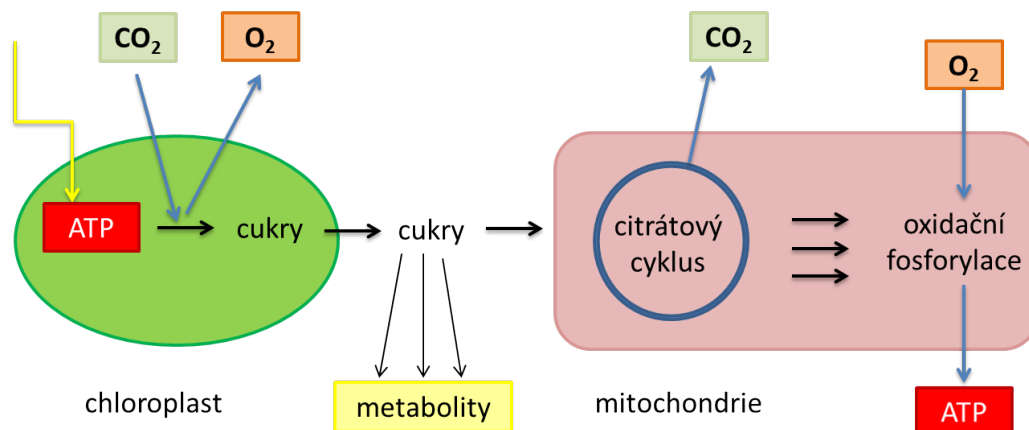
Obrázek 21: Energetické propojení katabolismu a anabolismu



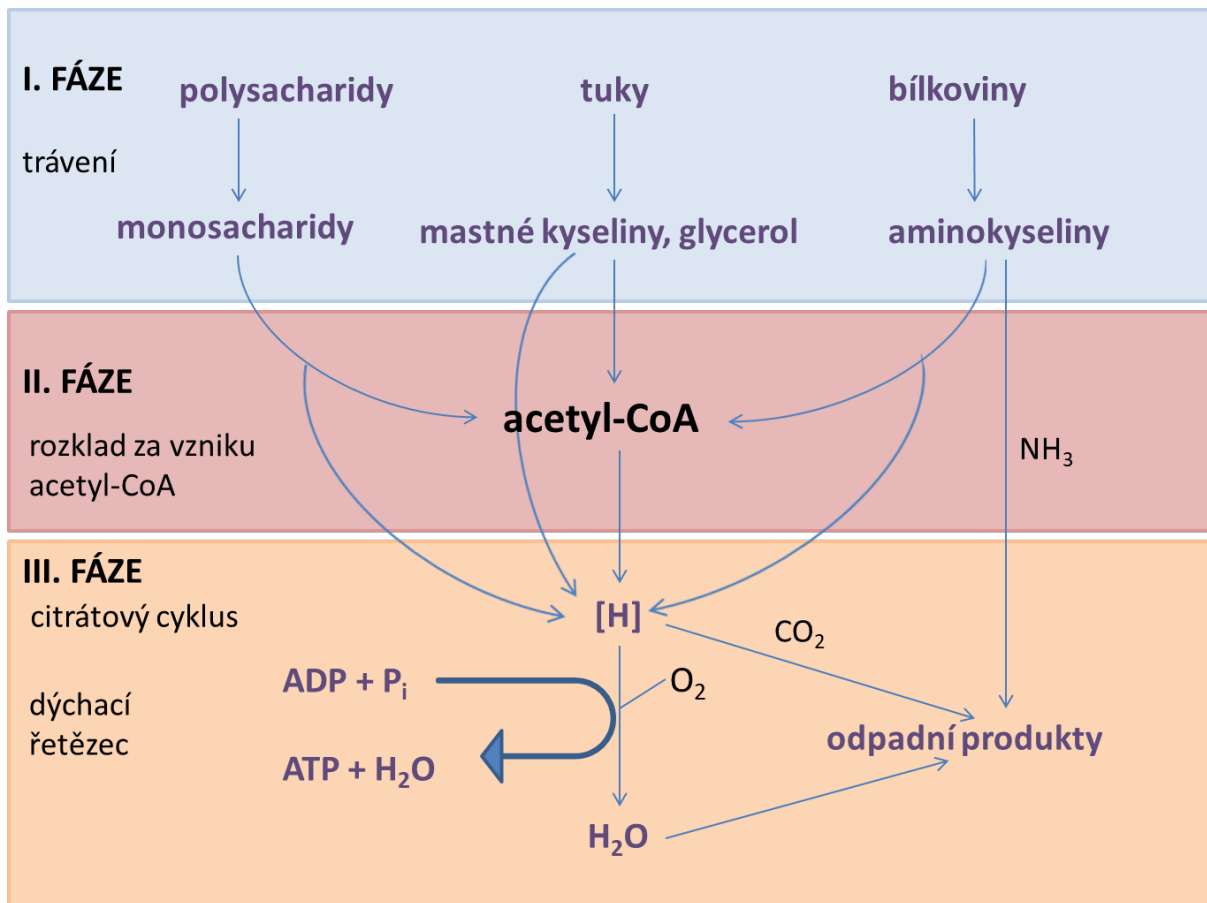
Obrázek 22: SGLT kanál



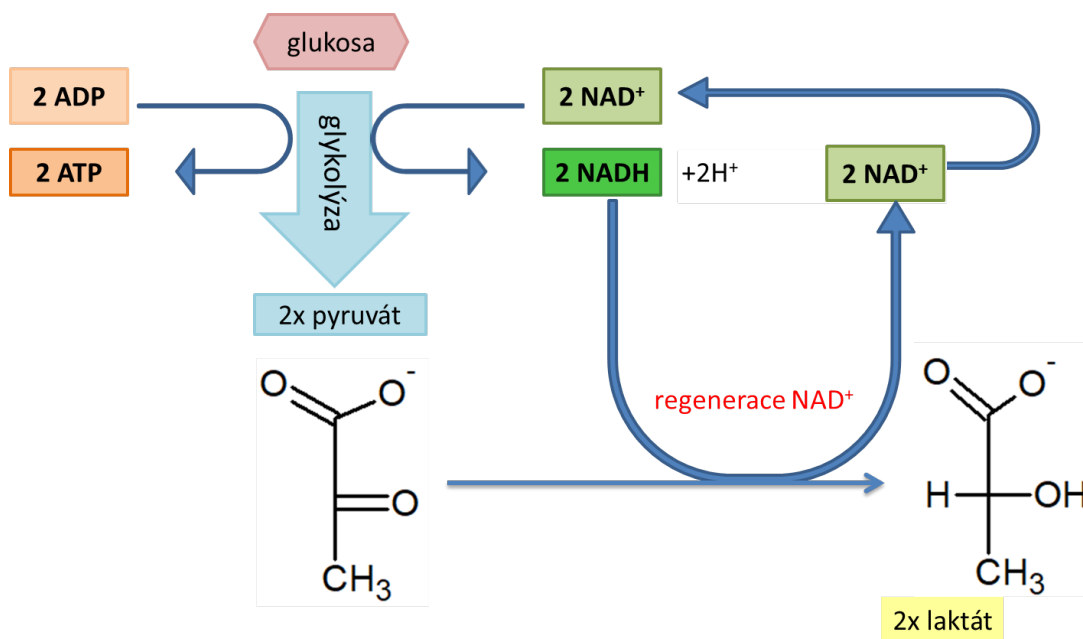
Obrázek 23: Spolupráce chloroplastů a mitochondrií v rostlinné buňce



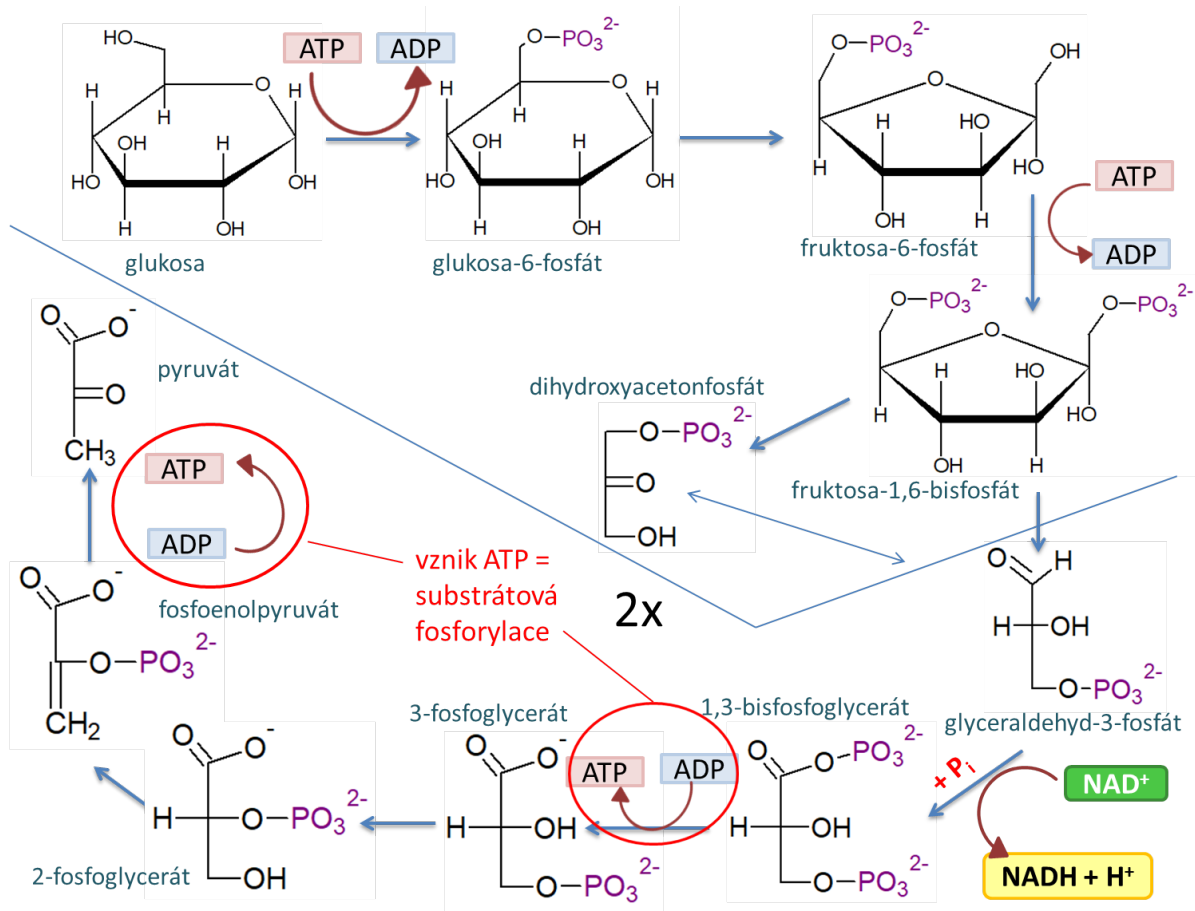
Obrázek 24: Schéma metabolismus aerobních organotrofů



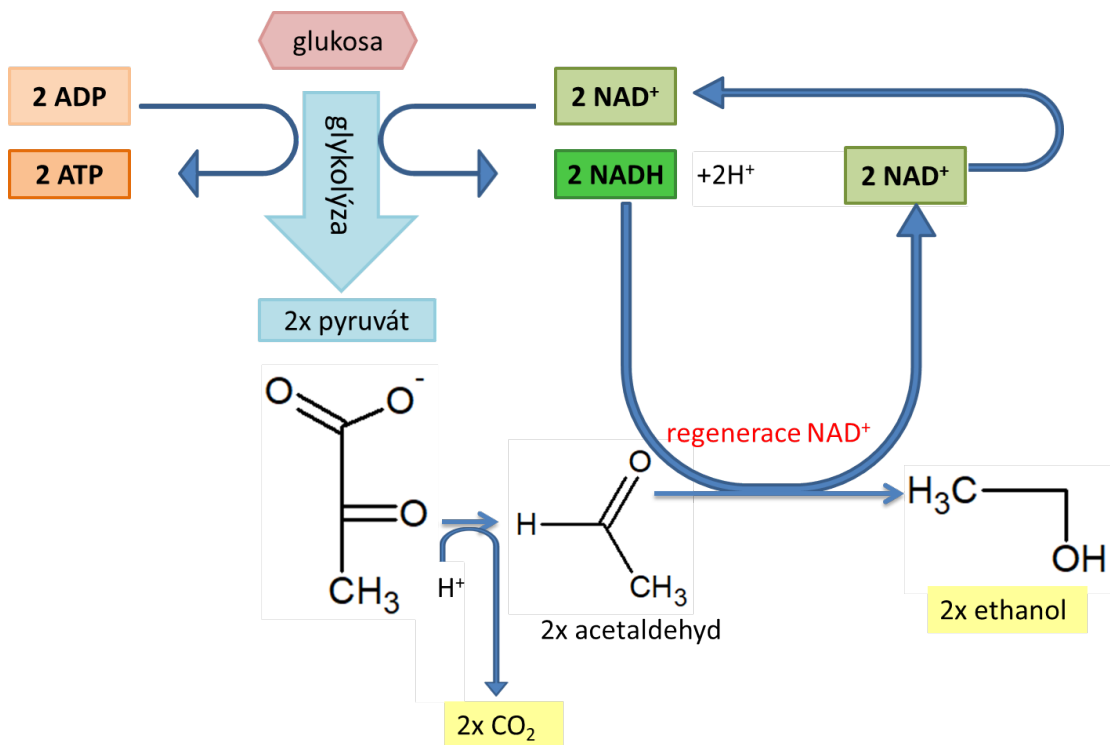
Obrázek 25: Mléčné kvašení



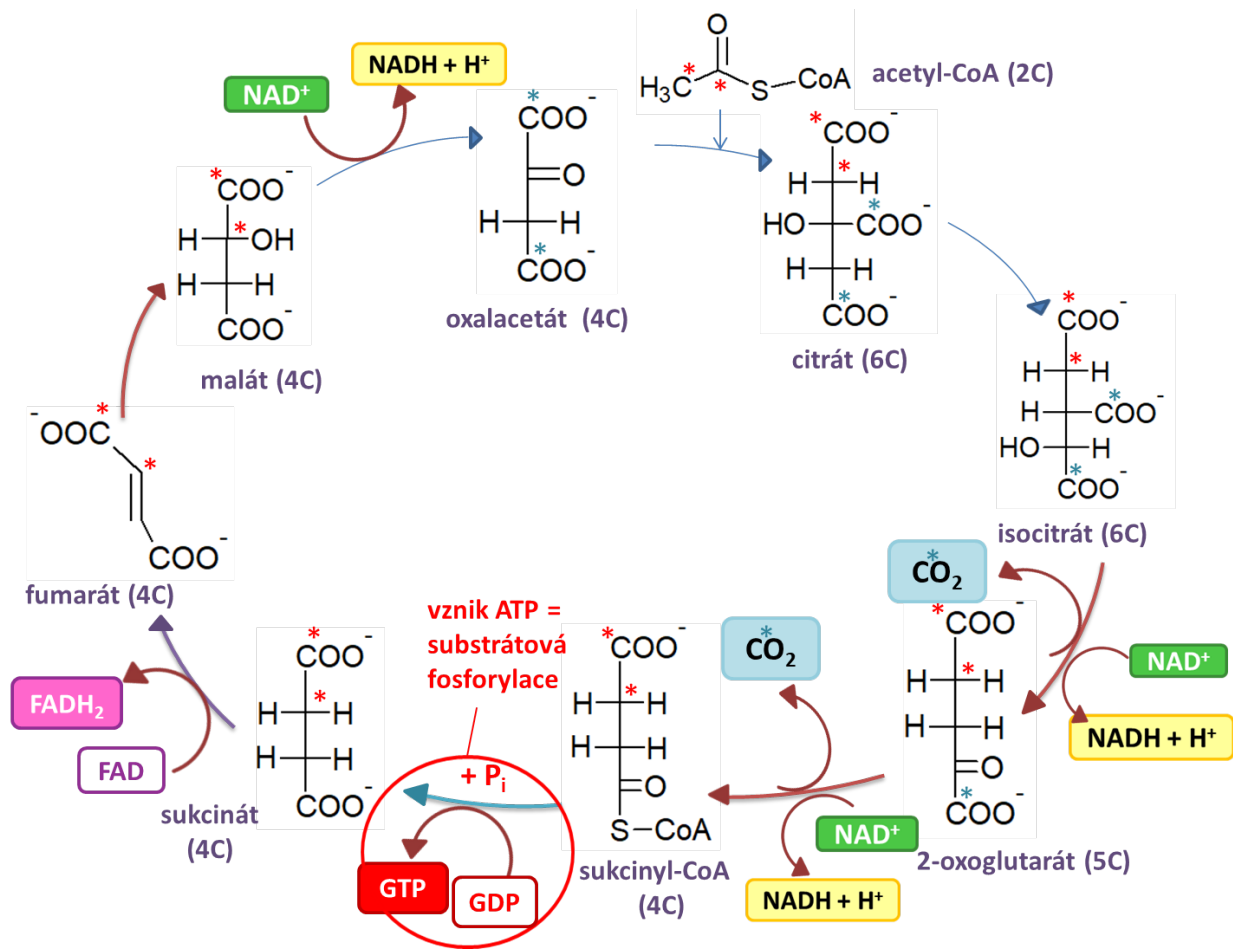
Obrázek 26: Schéma glykolýzy



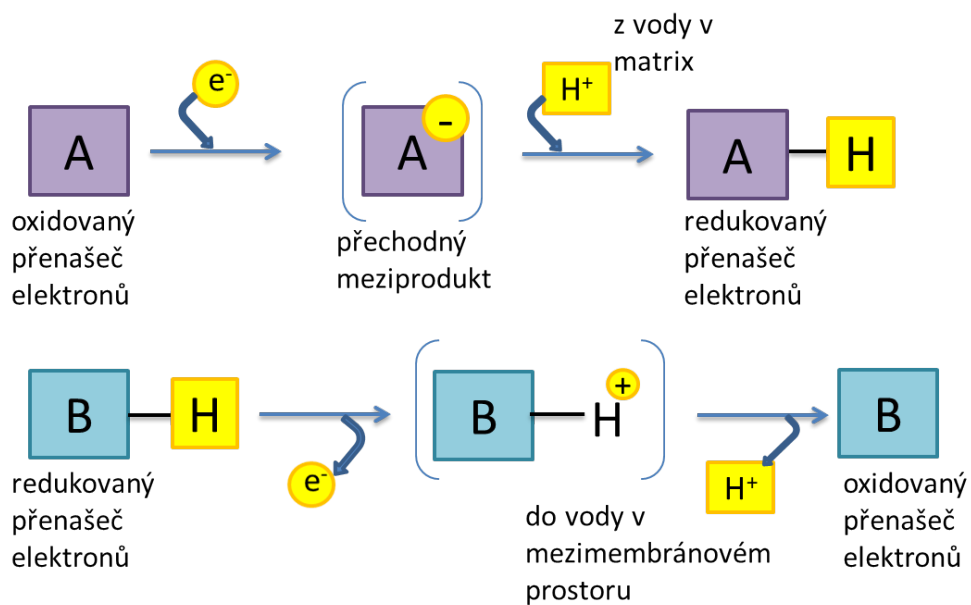
Obrázek 27: Alkoholové kvašení



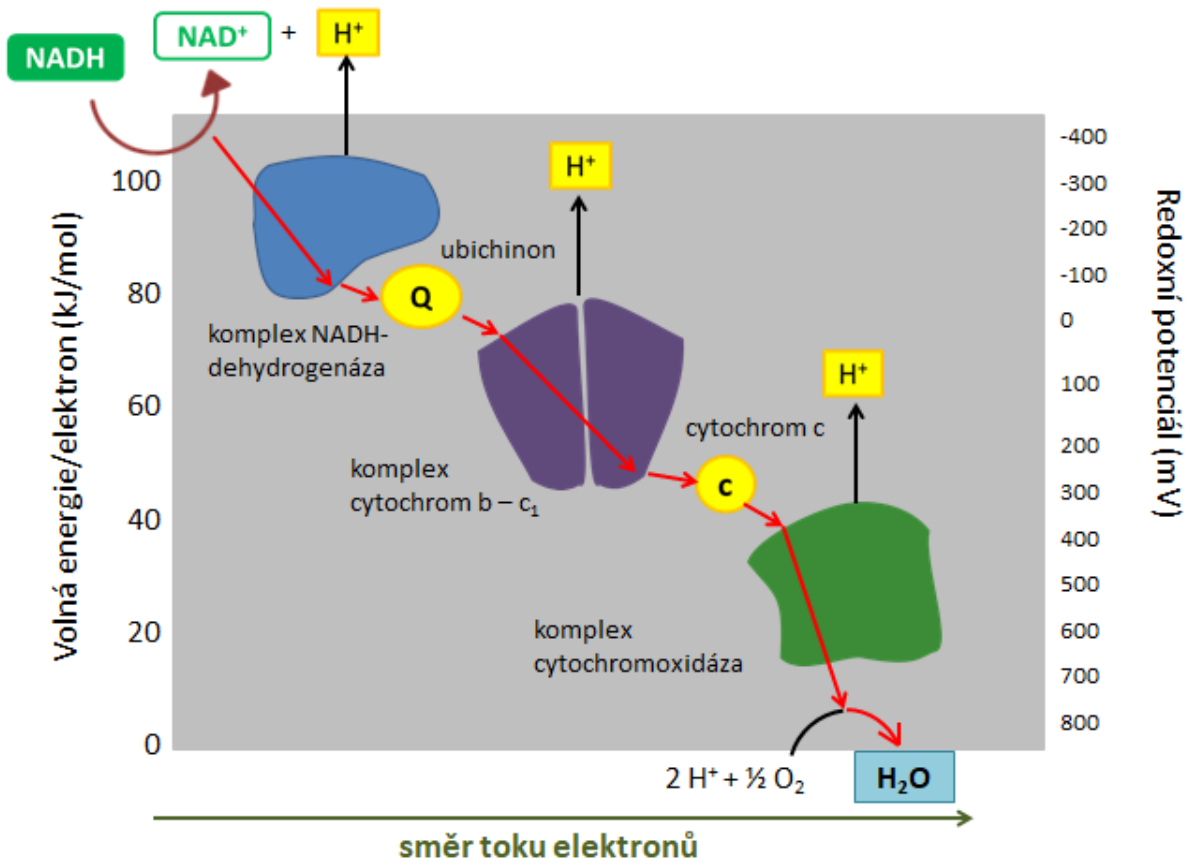
Obrázek 28: Schéma citrátového cyklu



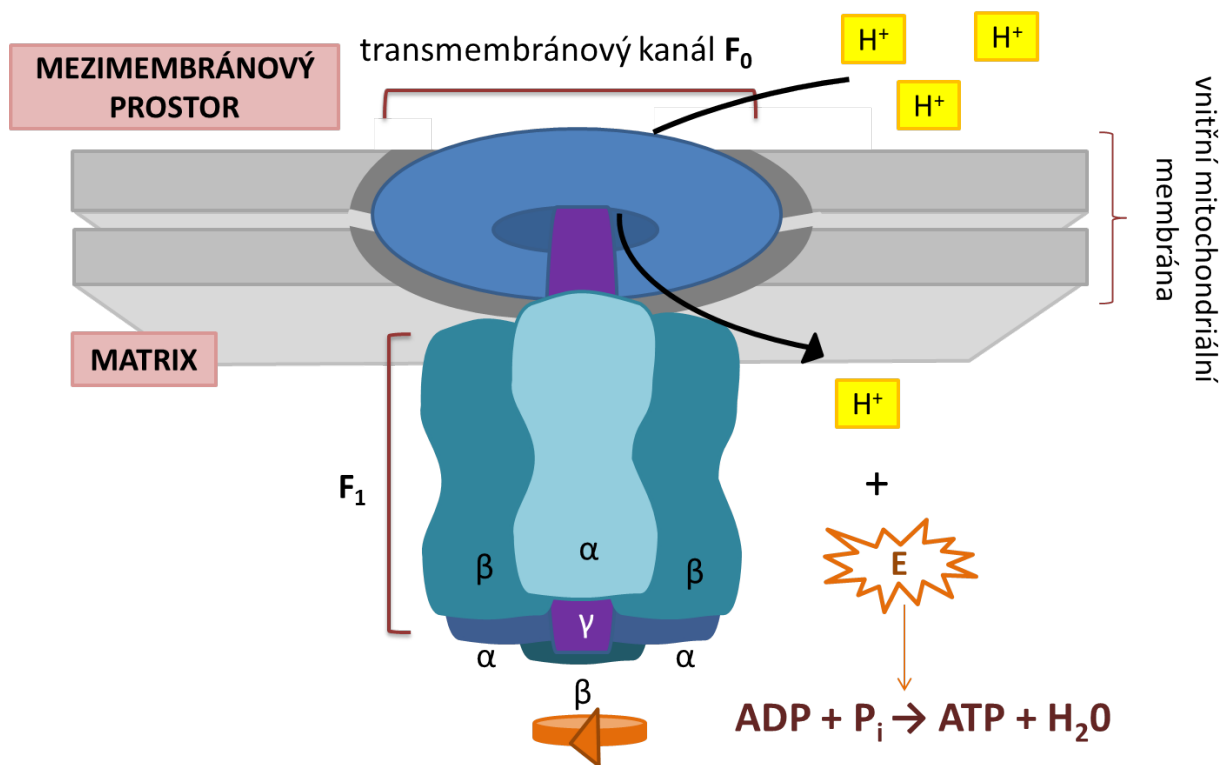
Obrázek 29: Přenos vodíků přes přenašeče



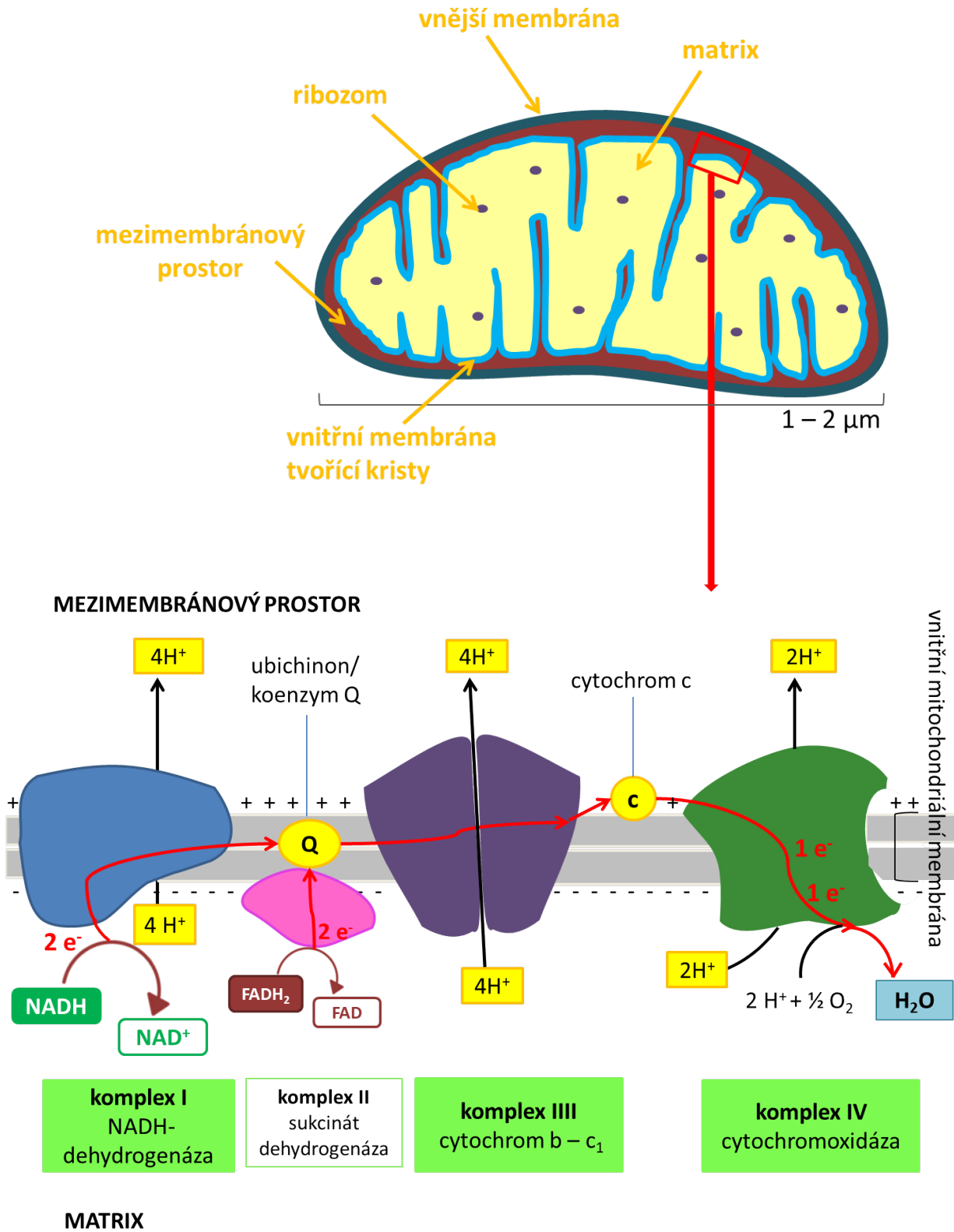
Obrázek 30: Redoxní potenciál jednotlivých dýchacích komplexů



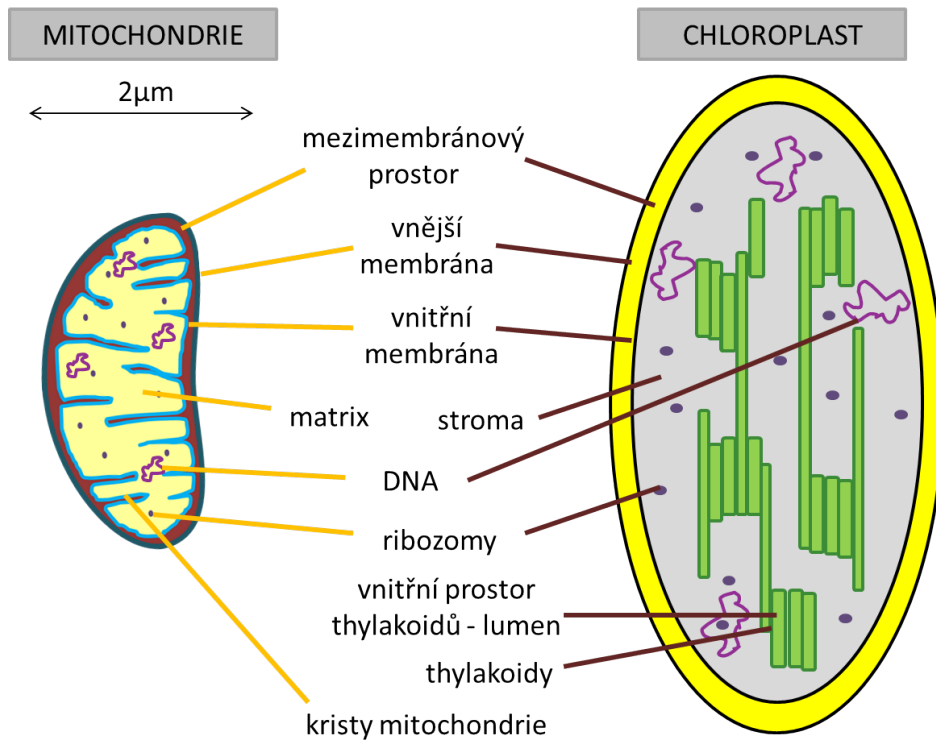
Obrázek 31: Schéma ATPázy



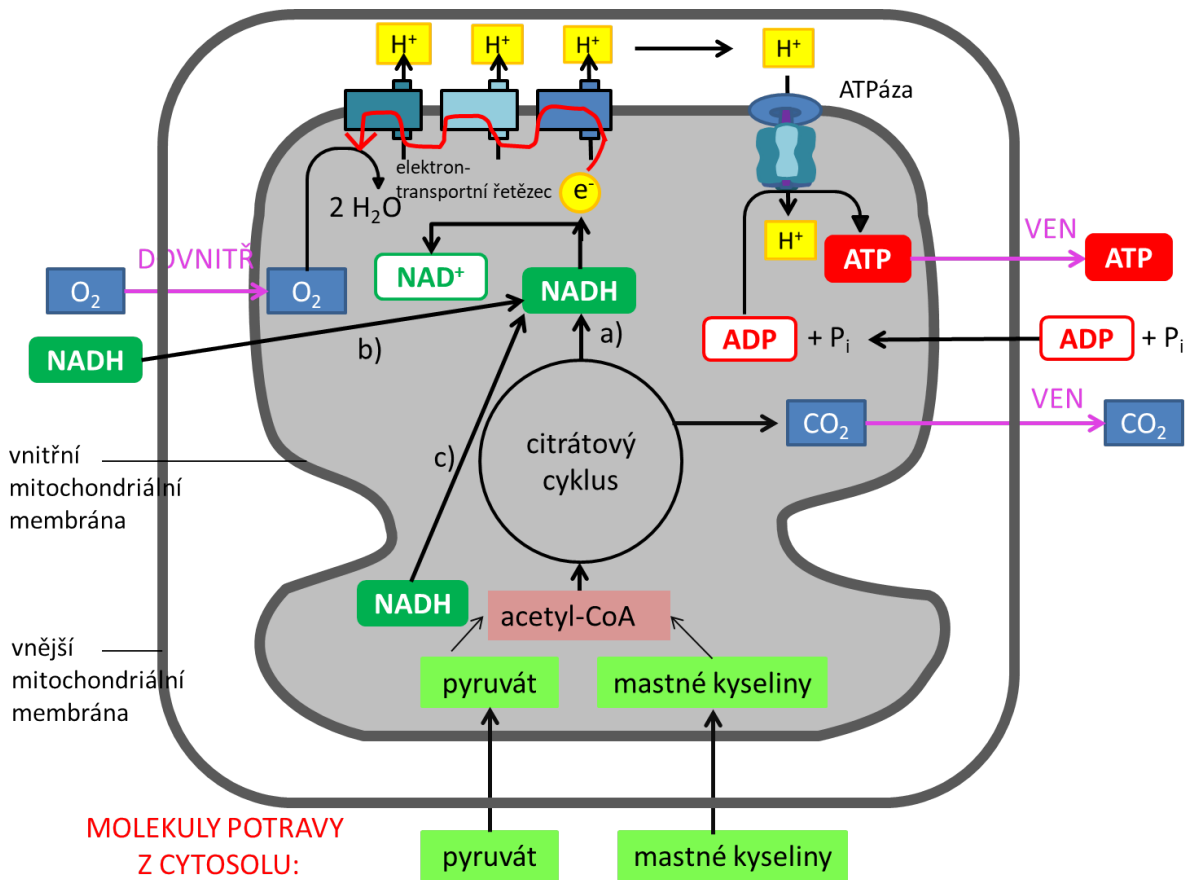
Obrázek 32: Schéma mitochondrie a struktury elektrontransportního řetězce



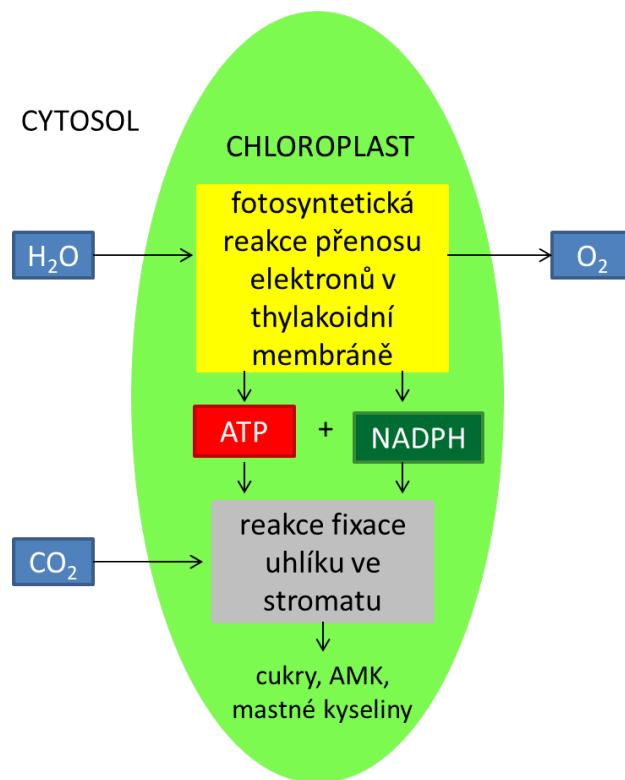
Obrázek 33: Rozdíly mezi mitochondrií a chloroplastem



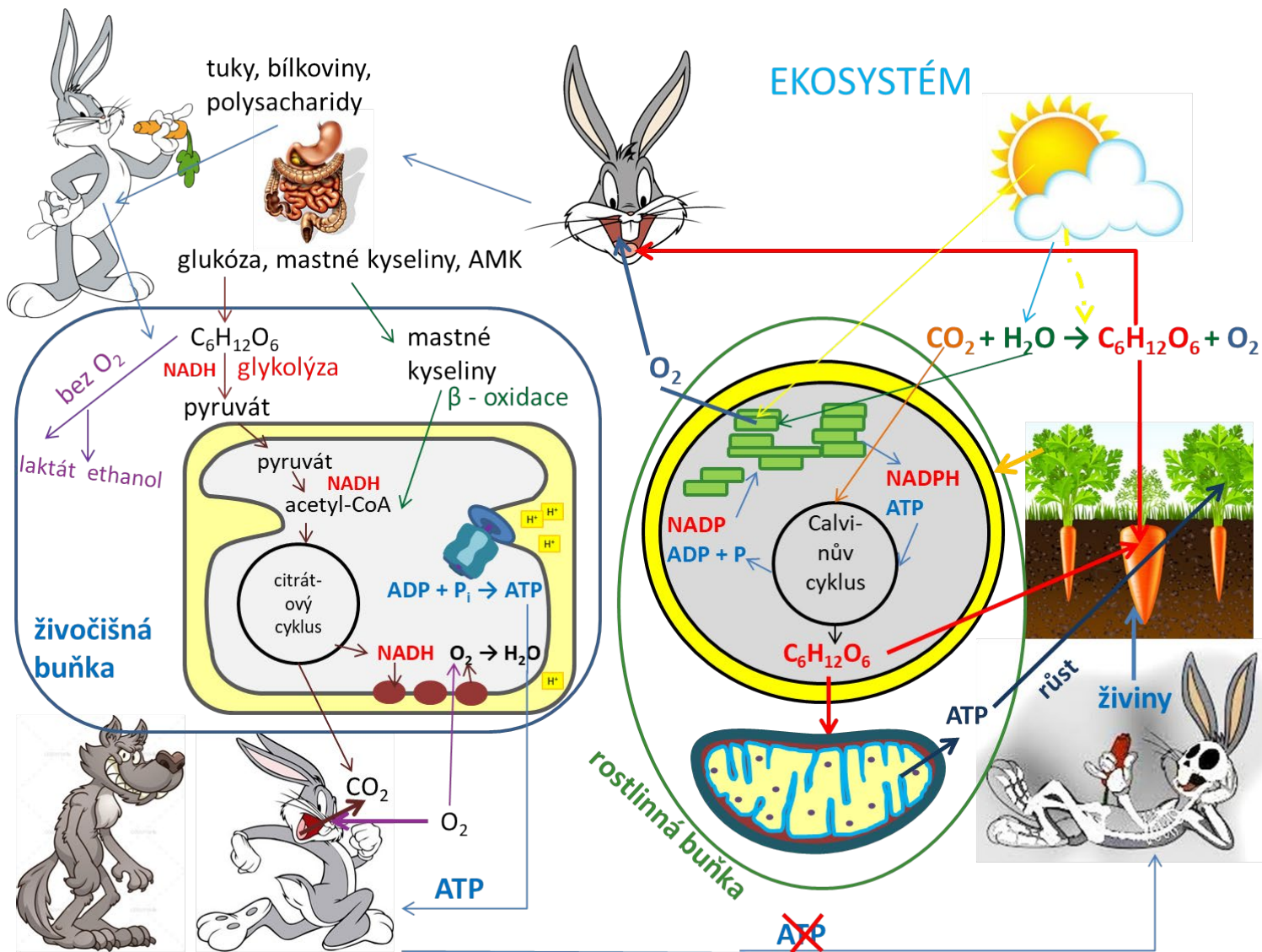
Obrázek 34: Celkové schéma mitochondriálních procesů



Obrázek 35: Zjednodušený proces fotosyntézy



Obrázek 36: Propojení životních procesů rostlin a živočichů



3.4 Prezentační CD

Jedním z cílů práce bylo vytvořit prezentační CD. Na prezentačním CD se nachází prezentace jako podklad pro výuku tématu makroergické sloučeniny. Prezentace obsahuje 106 slidů (celkem rozděleno do 6 vyučovacích hodin). Zde uvádím ukázkou několika slidů.

Možnosti využití energie vázané v ATP

a) chemická práce
b) **mechanická práce**
c) **elektroosmotická práce**
d) informační a regulační práce
e) světelná energie
f) teplo

svalová buňka = svalové vlákno
sarkomera
myofibrila
jádro

gradient elektrochemického potenciálu Na^+
vazebné místo pro Na^+
cytosol
vazebné místo pro K^+
gradient elektrochemického potenciálu K^+
ATP
ADP + P_i

Makroergické sloučeniny – obecná charakteristika

- makroergické sloučeniny při svém **štěpení** poskytují množství energie využitelné pro procesy, které energii vyžadují
- fungují jako **nosiče energie**
- při jejich hydrolýze se uvolňuje energie větší než **25 kJ/mol**
- znázorňují se pomocí symbolu ~

ADP

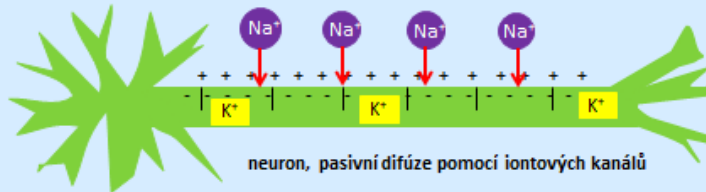
Možnosti využití energie vázané v ATP

c) elektroosmotická práce

Přenos nervového vzruchu:

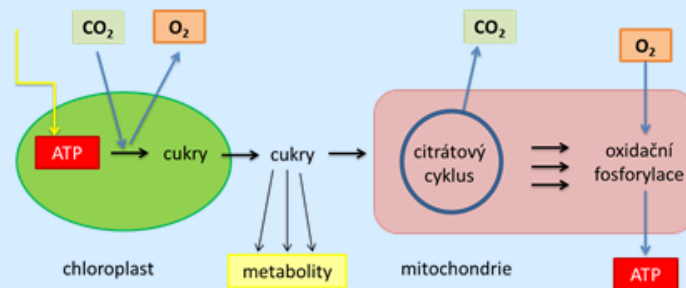
Prostředí	Koncentrace iontů (mmol/dm ³)					
	Na ⁺	K ⁺	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃
uvnitř buňky	12	139	4	< 10 ⁻³	0,8	12
v okolí buňky	145	4	116	1,8	1,5	24

gradient elektrochemického potenciálu



Vytváření ATP - METABOLIMUS

- rostlina si cukry syntetizuje sama procesem **fotosyntézy** v **chloroplastech**
- ty jsou potom rozváděny k **mitochondriím**, kde se využívají přesně stejné dráhy oxidačního odbourání cukrů jako u živočichů



Procvičování

Jakým způsobem se přenáší Na⁺ a K⁺ ionty na neuronech?

Proč se při práci Na⁺, K⁺ ATPázy přenáší 3 Na⁺/2 K⁺?

Jakou funkci umožňuje SGLT kanál?

Co je to metabolismus? Na jaké dva proudy ho dělíme? Jaký je mezi nimi vztah?

Co je substrátová fosforylace a v jakých pochodech probíhá?

3.5 Zadání a řešení didaktického testu a pracovního listu

Didaktický test

Didaktický test následoval po 6 odučených hodinách na téma makroergické sloučeniny vycházejícího z prezentace obsažené na prezentačním CD. Test byl psán 40 minut. Jsou vytvořené dvě varianty A a B. V každé otázce pouze 1 správná odpověď. Za špatné odpovědi se body neodečítaly. Maximální počet bodů byl 21 (za každou otázku 1 bod).

Zadání varianta A

1. Jak se nazývá makroergická vazba ve sloučenině ATP?
 - a) esterová
 - b) fosfoanhydridová
 - c) N-glykosidická
 - d) thioesterová
2. Co **neplatí** o makroergické vazbě v ATP?
 - a) štěpí se hydrolýzou za vzniku 30,5 kJ/mol
 - b) snadnost štěpení ovlivňuje odpuzování záporně nabitých fosfátových skupin
 - c) reakce je reverzibilní
 - d) vznik makroergické vazby (vznik ATP z ADP + P_i) je reakce exergonická
3. Jaké složení má molekula FADH₂?
 - a) ribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, riboflavin
 - b) ribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, isoalloxazin
 - c) deoxyribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, isoalloxazin
 - d) ribóza, adenin, fosfát, ribitol, isoalloxazin
4. Kolik protonů a elektronů přijímá NAD⁺ za vzniku NADH + H⁺?
 - a) 2 H⁺, 2 e⁻
 - b) 2 H⁺, 1 e⁻
 - c) 1 H⁺, 2 e⁻
 - d) 1 H⁺, 1 e⁻
5. Co **nepatří** mezi nejčastější využití ATP?
 - a) mechanická práce
 - b) elektroosmotická práce
 - c) objemová práce
 - d) chemická práce

6. Které tvrzení je **pravdivé**?
- pasivní difúze probíhá za spotřeby energie
 - difúze je pronikání molekul rozpouštědla do míst s jeho nižší koncentrací
 - iontové pumpy přenášejí částice po směru jejich koncentračního spádu
 - iontové pumpy fungují za spotřeby energie
7. Co **neplatí** o Na^+ , K^+ -ATPáze?
- spotřebuje až 30% energie buňky
 - jedná se o děj endergonický
 - jejím úkolem je čerpání K^+ ven z buňky a Na^+ do buňky
 - za jednu otočku převede 3 Na^+ a 2 K^+
8. V kterých částech buňky dochází k produkci NADH u živočichů?
- v mitochondriích, chloroplastech, cytosolu
 - v mitochondriích a cytosolu
 - v chloroplastech a cytosolu
 - v mitochondriích a chloroplastech
9. Co platí o katabolismu?
- jedná se o dráhy rozkladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy skladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, energie se spotřebovává
10. V jakém pořadí probíhají následující děje?
- trávení, vznik CO_2 , glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, difúze protonů do matrix, vznik ATP
 - trávení, glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, vznik CO_2 , difúze protonů do matrix, vznik ATP
 - trávení, převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, difúze protonů do matrix, vznik CO_2 , vznik ATP
 - trávení, difúze protonů do matrix, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, vznik ATP
11. Kolik molekul ATP získáme **anaerobní** oxidací molekuly glukózy?
- 38 ATP
 - 2 ATP
 - 6 ATP
 - 24 ATP

12. Co je výsledkem Krebsova cyklu, pokud vyjdeme z jednoho pyruvátu?
- 3 NADH, 1 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 2 CO₂
 - 1 NADH, 3 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 2 CO₂
 - 3 NADH, 1 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 1 CO₂
 - 3 NADH, 1 FADH₂, 2 GTP, 1 CoA, 2 CO₂
13. Co následuje bezprostředně po vzniku pyruvátu?
- přesun do mitochondrie, pak převod na acetyl-CoA
 - převod na acetyl-CoA, pak přesun do mitochondrie
 - Krebsův cyklus v mitochondrii
 - Krebsův cyklus v cytosolu
14. Kde je umístěn elektrontransportní řetězec?
- na vnitřní membráně mitochondrie
 - na vnější membráně mitochondrie
 - v cytosolu buňky
 - v matrix mitochondrie
15. Jak se nazývají hlavní tři dýchací komplexy?
- NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III) a cytochromoxidázový komplex (komplex IV), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), sukcinát dehydrogenáza (komplex II), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III) a sukcinát dehydrogenáza (komplex II), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), sukcinát dehydrogenáza (komplex II), cytochrom c
16. Jakou funkci **má** NADH-dehydrogenázový komplex?
- reoxidaci NADH
 - reoxidaci FADH₂
 - redukci NADH
 - redukci FADH₂
17. Jak se nazývá děj převodu dvouelektronového systému na jedoelektronový?
- Q-cyklus
 - R-cyklus
 - C-cyklus
 - D-cyklus

18. Jaký je princip ATPázy?
- má dvě části pevně v membráně ukotvené (F_1 a F_0), pohyblivá je jednotka γ , která se točí a umožňuje syntézu ATP z ADP a P_i
 - má dvě části, jedna pevně v membráně (F_0) a druhá se volně otáčí (F_1) a syntetizuje ATP z ADP a P_i
 - má dvě části volně pohyblivé v membráně (F_1 a F_0), jediná ukotvená je jednotka γ , která umožňuje syntézu ATP z ADP a P_i
 - má dvě části pevně ukotvené v membráně (F_1 a F_0), jediná pohyblivá je jednotka γ , která umožňuje syntézu ADP z ATP a P_i
19. Označ **všechny** biochemické procesy rostlin, ve kterých vzniká ATP?
- fotosyntéza, substrátová fosforylace, oxidativní fosforylace
 - oxidativní fosforylace, substrátová fosforylace
 - fotosyntéza, substrátová fosforylace
 - fotosyntéza, oxidativní fosforylace
20. Co **neplatí** pro anaerobní glykolýzu?
- výsledkem jsou produkty kvašení (laktát, ethanol)
 - tento proces probíhá i v těle člověka za nedostatku kyslíku
 - dlouhotrvající anaerobní glykolýza je neslučitelná se životem
 - výsledkem je menší množství ATP než v porovnání s aerobní glykolýzou
21. Které tvrzení je **nepravdivé**?
- konečným příjemcem elektronů z redukováných kofaktorů je atomární kyslík, kvůli své vysoké afinitě k elektronům
 - ATP a GTP jsou chemicky ekvivalentní a mohou přecházet bez přidání energie mezi sebou podle rovnice: $GTP + ADP \rightarrow GDP + ATP$
 - energie uvolněná při průchodu elektronů elektrontransportním řetězcem se využívá k přečerpání protonů z matrix mitochondrie do mezimembránového prostoru
 - energie k přečerpání protonů se vezme z oxidačně redukčních procesů na jednotlivých dýchacích komplexech

Řešení varianta A

1. Jak se nazývá makroergická vazba ve sloučenině ATP?
 - a) esterová
 - b) fosfoanhydridová
 - c) N-glykosidická
 - d) thioesterová
2. Co **neplatí** o makroergické vazbě v ATP?
 - a) štěpí se hydrolýzou za vzniku 30,5 kJ/mol
 - b) snadnost štěpení ovlivňuje odpuzování záporně nabitých fosfátových skupin
 - c) reakce je reverzibilní
 - d) vznik makroergické vazby (vznik ATP z ADP + P_i) je reakce exergonická
3. Jaké složení má molekula FADH₂?
 - a) ribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, riboflavin
 - b) ribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, isoalloxazin
 - c) deoxyribóza, adenin, 2 fosfáty, ribitol, isoalloxazin
 - d) ribóza, adenin, fosfát, ribitol, isoalloxazin
4. Kolik protonů a elektronů přijímá NAD⁺ za vzniku NADH + H⁺?
 - a) 2 H⁺, 2 e⁻
 - b) 2 H⁺, 1 e⁻
 - c) 1 H⁺, 2 e⁻
 - d) 1 H⁺, 1 e⁻
5. Co **nepatří** mezi nejčastější využití ATP?
 - a) mechanická práce
 - b) elektroosmotická práce
 - c) objemová práce
 - d) chemická práce
6. Které tvrzení je **pravdivé**?
 - a) pasivní difúze probíhá za spotřeby energie
 - b) difúze je pronikání molekul rozpouštědla do míst s jeho nižší koncentrací
 - c) iontové pumpy přenášejí částice po směru jejich koncentračního spádu
 - d) iontové pumpy fungují za spotřeby energie
7. Co **neplatí** o Na⁺, K⁺-ATPáze?
 - a) spotřebuje až 30% energie buňky
 - b) jedná se o děj endergonický
 - c) jejím úkolem je čerpání K⁺ ven z buňky a Na⁺ do buňky
 - d) za jednu otočku převede 3 Na⁺ a 2 K⁺

8. V kterých částech buňky dochází k produkci NADH u živočichů?
- v mitochondriích, chloroplastech, cytosolu
 - v mitochondriích a cytosolu**
 - v chloroplastech a cytosolu
 - v mitochondriích a chloroplastech
9. Co platí o katabolismu?
- jedná se o dráhy rozkladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie**
 - jedná se o dráhy skladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, energie se spotřebovává
10. V jakém pořadí probíhají následující děje?
- trávení, vznik CO_2 , glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, difúze protonů do matrix, vznik ATP
 - trávení, glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, vznik CO_2 , difúze protonů do matrix, vznik ATP**
 - trávení, převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, difúze protonů do matrix, vznik CO_2 , vznik ATP
 - trávení, difúze protonů do matrix, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, vznik ATP
11. Kolik molekul ATP získáme **anaerobní** oxidací molekuly glukózy?
- 38 ATP
 - 2 ATP**
 - 6 ATP
 - 24 ATP
12. Co je výsledkem Krebsova cyklu, pokud vyjdeme z jednoho pyruvátu?
- 3 NADH, 1 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 2 CO₂**
 - 1 NADH, 3 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 2 CO₂
 - 3 NADH, 1 FADH₂, 1 GTP, 1 CoA, 1 CO₂
 - 3 NADH, 1 FADH₂, 2 GTP, 1 CoA, 2 CO₂
13. Co následuje bezprostředně po vzniku pyruvátu?
- přesun do mitochondrie, pak převod na acetyl-CoA**
 - převod na acetyl-CoA, pak přesun do mitochondrie
 - Krebsův cyklus v mitochondrii
 - Krebsův cyklus v cytosolu

14. Kde je umístěn elektrontransportní řetězec?
- na vnitřní membráně mitochondrie
 - na vnější membráně mitochondrie
 - v cytosolu buňky
 - v matrix mitochondrie
15. Jak se nazývají hlavní tři dýchací komplexy?
- NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III) a cytochromoxidázový komplex (komplex IV), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), sukcinát dehydrogenáza (komplex II), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), komplex cytochromů b-c₁ (komplex III) a sukcinát dehydrogenáza (komplex II), které jsou v sérii
 - NADH-dehydrogenázový komplex (komplex I), sukcinát dehydrogenáza (komplex II), cytochrom c
16. Jakou funkci má NADH-dehydrogenázový komplex?
- reoxidaci NADH
 - reoxidaci FADH₂
 - redukci NADH
 - redukci FADH₂
17. Jak se nazývá děj převodu dvouelektronového systému na jednoelektronový?
- Q-cyklus
 - R-cyklus
 - C-cyklus
 - D-cyklus
18. Jaký je princip ATPázy?
- má dvě části pevně v membráně ukotvené (F₁ a F₀), pohyblivá je jednotka γ, která se točí a umožňuje syntézu ATP z ADP a P_i
 - má dvě části, jedna pevně v membráně (F₀) a druhá se volně otáčí (F₁) a syntetizuje ATP z ADP a P_i
 - má dvě části volně pohyblivé v membráně (F₁ a F₀), jediná ukotvená je jednotka γ, která umožňuje syntézu ATP z ADP a P_i
 - má dvě části pevně ukotvené v membráně (F₁ a F₀), jediná pohyblivá je jednotka γ, která umožňuje syntézu ADP z ATP a P_i
19. Označ všechny biochemické procesy rostlin, ve kterých vzniká ATP?
- fotosyntéza, substrátová fosforylace, oxidativní fosforylace
 - oxidativní fosforylace, substrátová fosforylace
 - fotosyntéza, substrátová fosforylace
 - fotosyntéza, oxidativní fosforylace

20. Co **neplatí** pro anaerobní glykolýzu?

- a) výsledkem jsou produkty kvašení (laktát, ethanol)
- b) tento proces probíhá i v těle člověka za nedostatku kyslíku
- c) **dlouhotrvající anaerobní glykolýza je neslučitelná se životem**
- d) výsledkem je menší množství ATP než v porovnání s aerobní glykolýzou

21. Které tvrzení je **nepravdivé**?

- a) **konečným příjemcem elektronů z redukováných kofaktorů je atomární kyslík, kvůli své vysoké afinitě k elektronům**
- b) ATP a GTP jsou chemicky ekvivalentní a mohou přecházet bez přidání energie mezi sebou podle rovnice: $GTP + ADP \rightarrow GDP + ATP$
- c) energie uvolněná při průchodu elektronů elektrontransportním řetězcem se využívá k přečerpání protonů z matrix mitochondrie do mezimembránového prostoru
- d) energie k přečerpání protonů se vezme z oxidačně redukčních procesů na jednotlivých dýchacích komplexech

Zadání varianta B

1. Jak se nazývá makroergická vazba v univerzálním meziprojektu acetyl-CoA?
 - a) esterová
 - b) fosfoanhydridová
 - c) N-glykosidická
 - d) thioesterová
2. Co **platí** o makroergické vazbě v ATP?
 - a) k uvolnění energie v ní vázané není nutná přítomnost vodného prostředí
 - b) k rozložení ATP na ADP a P_i musíme dodat energii + 30,5 kJ/mol
 - c) makroergická vazba se nachází mezi fosfáty a značí se vlnovkou
 - d) snadnost štěpení není ovlivněna vznikem rezonančních stavů
3. Jaké složení má molekula NADH?
 - a) redukovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamin
 - b) oxidovaná forma, adenin, 2 deoxyribózy, 2 fosfáty, nikotinamid
 - c) redukovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamid
 - d) oxidovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamin
4. Kolik protonů a elektronů přijímá při své redukci molekula FAD?
 - a) 2 H⁺, 2 e⁻
 - b) 2 H⁺, 1 e⁻
 - c) 1 H⁺, 2 e⁻
 - d) 1 H⁺, 1 e⁻
5. Co **nepatří** mezi nejčastější využití ATP?
 - a) produkce tepla
 - b) informační práce
 - c) produkce světelné energie
 - d) povrchová práce
6. Které tvrzení je **pravdivé**?
 - a) osmóza je pronikání molekul látky (iontů) do míst s jejich nižší koncentrací
 - b) usnadněná difúze je prostý průchod přímo přes membránu
 - c) pohonem Na⁺,K⁺-ATPázy je hydrolýza ATP
 - d) malé plynné molekuly (CO, O₂) jsou do buňky přenášeny proteinovými přenašeči
7. Co **neplatí** o SGLT kanálu?
 - a) nachází se v epitelu střeva
 - b) jedná se o symport
 - c) úkolem je přenášet glukózu do buňky ve směru jejího koncentračního spádu
 - d) dochází k přenosu Na⁺ a glukózy stejným směrem

8. V kterých částech buňky dochází k produkci ATP u živočichů?
- v mitochondriích, chloroplastech, cytosolu
 - v mitochondriích a cytosolu
 - v chloroplastech a cytosolu
 - v mitochondriích a chloroplastech
9. Co platí o anabolismu?
- jedná se o dráhy rozkladné, oxidační povahy, energie se spotřebovává
 - jedná se o dráhy skladné, redukční povahy, energie se spotřebovává
 - jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, vzniká při nich energie
 - jedná se o dráhy skladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie
10. V jakém pořadí probíhají následující děje?
- glykolýza, štěpení škrobu na glukózu, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, přenos elektronů, vznik ATP
 - štěpení škrobu na glukózu, převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, přenos elektronů, vznik CO_2 , vznik ATP
 - štěpení škrobu na glukózu, glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, vznik CO_2 , přenos elektronů, vznik ATP
 - štěpení škrobu na glukózu, přenos elektronů, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, vznik ATP
11. Kolik molekul ATP získáme oxidací glukózy až na CO_2 ?
- 38 ATP
 - 24 ATP
 - 8 ATP
 - 6 ATP
12. Co je výsledkem **aerobní** glykolýzy?
- 2 ATP, 2 NADH, 2 pyruváty
 - 2 ATP, 2 FADH_2 , pyruvát
 - 4 ATP, 2 NADH, 2 pyruváty
 - 4 ATP, 4 NADH, pyruvát
13. Co vzniká při přeměně pyruvátu na acetyl-CoA?
- 2 NADH
 - 1 NADH
 - 2 FADH_2
 - 1 FADH_2

14. Kde je umístěna ATPáza?
- na vnější membráně mitochondrie
 - v cytosolu buňky
 - na vnitřní membráně mitochondrie
 - v matrix mitochondrie
15. Jak se nazývají spojky mezi jednotlivými dýchacími komplexy?
- koenzym Q, cytochrom a
 - ubichinon, cytochrom b
 - ubichinon, cytochrom c
 - koenzym Q, ubichinon
16. Jakou funkci **nemá** sukcinátdehydrogenázový komplex?
- reoxidaci FADH_2
 - katalýza dehydrogenace sukcinátu na fumarát
 - oxidace FADH_2
 - redukce FADH_2
17. Na jakém komplexu dochází k převodu dvouelektronového systému na jedoelektronový?
- komplex cytochromů b-c₁ (komplex III)
 - koenzym Q
 - cytochromoxidázový komplex (komplex IV)
 - ubichinon
18. Čím je poháněná ATPáza?
- využitím gradientu elektrochemického potenciálu elektronů
 - využitím gradientu elektrochemického potenciálu protonů
 - využitím energie z hydrolýzy ATP
 - využitím energie ze sodnodraselné pumpy
19. V jakém biochemickém procesu rostlin vzniká **největší** podíl ATP?
- fotosyntéza
 - substrátová fosforylace
 - citrátový cyklus
 - oxidativní fosforylace
20. Co **nemůže** být výsledkem anaerobní glykolýzy?
- laktát
 - ethanol
 - kyselina mléčná
 - aceton

21. Které tvrzení je **nepravdivé**?

- a) metabolismus je soubor všech chemických procesů a přeměn energií, které buňka (popř. organismus) vykonává za účelem přežití
- b) pro transport látek přes membránu využívají rostliny namísto gradientu Na^+ elektrochemický gradient H^+
- c) ATP je ve svalové kontrakci významná, protože umožňuje napojení aktinu na myozin
- d) vznik ATP oxidativní fosforylací je spojován s energií získanou difúzí protonů z mezimembránového prostoru zpět do matrix mitochondrie

Řešení varianta B

1. Jak se nazývá makroergická vazba v univerzálním meziproduktu acetyl-CoA?

- a) esterová
- b) fosfoanhydridová
- c) N-glykosidická
- d) **thioesterová**

2. Co **platí** o makroergické vazbě v ATP?

- a) k uvolnění energie v ní vázané není nutná přítomnost vodného prostředí
- b) k rozložení ATP na ADP a P_i musíme dodat energii + 30,5 kJ/mol
- c) **makroergická vazba se nachází mezi fosfáty a značí se vlnovkou**
- d) snadnost štěpení není ovlivněna vznikem rezonančních stavů

3. Jaké složení má molekula NADH?

- a) redukovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamin
- b) oxidovaná forma, adenin, 2 deoxyribózy, 2 fosfáty, nikotinamid
- c) **redukovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamid**
- d) oxidovaná forma, adenin, 2 ribózy, 2 fosfáty, nikotinamin

4. Kolik protonů a elektronů přijímá při své redukci molekula FAD?

- a) **2 H^+ , 2 e^-**
- b) 2 H^+ , 1 e^-
- c) 1 H^+ , 2 e^-
- d) 1 H^+ , 1 e^-

5. Co **nepatří** mezi nejčastější využití ATP?

- a) produkce tepla
- b) informační práce
- c) produkce světelné energie
- d) **povrchová práce**

6. Které tvrzení je **pravdivé**?
- a) osmóza je pronikání molekul látky (iontů) do míst s jejich nižší koncentrací
 - b) usnadněná difúze je prostý průchod přímo přes membránu
 - c) **pohonem Na^+, K^+ -ATPázy je hydrolyza ATP**
 - d) malé plynné molekuly (CO , O_2) jsou do buňky přenášeny proteinovými přenašeči
7. Co **neplatí** o SGLT kanálu?
- a) nachází se v epitelu střeva
 - b) jedná se o symport
 - c) **úkolem je přenášet glukózu do buňky ve směru jejího koncentračního spádu**
 - d) dochází k přenosu Na^+ a glukózy stejným směrem
8. V kterých částech buňky dochází k produkci ATP u živočichů?
- a) v mitochondriích, chloroplastech, cytosolu
 - b) **v mitochondriích a cytosolu**
 - c) v chloroplastech a cytosolu
 - d) v mitochondriích a chloroplastech
9. Co platí o anabolismu?
- a) jedná se o dráhy rozkladné, oxidační povahy, energie se spotřebovává
 - b) **jedná se o dráhy skladné, redukční povahy, energie se spotřebovává**
 - c) jedná se o dráhy rozkladné, redukční povahy, vzniká při nich energie
 - d) jedná se o dráhy skladné, oxidační povahy, vzniká při nich energie
10. V jakém pořadí probíhají následující děje?
- a) glykolýza, štěpení škrobu na glukózu, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, přenos elektronů, vznik ATP
 - b) štěpení škrobu na glukózu, převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, přenos elektronů, vznik CO_2 , vznik ATP
 - c) **štěpení škrobu na glukózu, glykolýza, převod pyruvátu na acetyl-CoA, vznik CO_2 , přenos elektronů, vznik ATP**
 - d) štěpení škrobu na glukózu, přenos elektronů, vznik CO_2 , převod pyruvátu na acetyl-CoA, glykolýza, vznik ATP
11. Kolik molekul ATP získáme oxidací glukózy až na CO_2 ?
- a) **38 ATP**
 - b) 24 ATP
 - c) 8 ATP
 - d) 6 ATP

12. Co je výsledkem **aerobní glykolýzy**?
- a) **2 ATP, 2 NADH, 2 pyruváty**
 - b) 2 ATP, 2 FADH₂, pyruvát
 - c) 4 ATP, 2 NADH, 2 pyruváty
 - d) 4 ATP, 4 NADH, pyruvát
13. Co vzniká při přeměně pyruvátu na acetyl-CoA?
- a) 2 NADH
 - b) **1 NADH**
 - c) 2 FADH₂
 - d) 1 FADH₂
14. Kde je umístěna ATPáza?
- a) na vnější membráně mitochondrie
 - b) v cytosolu buňky
 - c) **na vnitřní membráně mitochondrie**
 - d) v matrix mitochondrie
15. Jak se nazývají spojky mezi jednotlivými dýchacími komplexy?
- a) koenzym Q, cytochrom a
 - b) ubichinon, cytochrom b
 - c) **ubichinon, cytochrom c**
 - d) koenzym Q, ubichinon
16. Jakou funkci **nemá** sukcinátdehydrogenázový komplex?
- a) reoxidaci FADH₂
 - b) katalýza dehydrogenace sukcinátu na fumarát
 - c) oxidace FADH₂
 - d) **redukce FADH₂**
17. Na jakém komplexu dochází k převodu dvouelektronového systému na jednoelektronový?
- a) **komplex cytochromů b-c₁ (komplex III)**
 - b) koenzym Q
 - c) cytochromoxidázový komplex (komplex IV)
 - d) ubichinon
18. Čím je poháněná ATPáza?
- a) využitím gradientu elektrochemického potenciálu elektronů
 - b) **využitím gradientu elektrochemického potenciálu protonů**
 - c) využitím energie z hydrolyzy ATP
 - d) využitím energie ze sodnodraselné pumpy

19. V jakém biochemickém procesu rostlin vzniká **největší** podíl ATP?
- a) fotosyntéza
 - b) substrátová fosforylace
 - c) citrátový cyklus
 - d) **oxidativní fosforylace**
20. Co **nemůže** být výsledkem anaerobní glykolýzy?
- a) laktát
 - b) ethanol
 - c) kyselina mléčná
 - d) **aceton**
21. Které tvrzení je **nepravdivé**?
- a) metabolismus je soubor všech chemických procesů a přeměn energií, které buňka (popř. organismus) vykonává za účelem přežití
 - b) pro transport látek přes membránu využívají rostliny namísto gradientu Na^+ elektrochemický gradient H^+
 - c) **ATP je ve svalové kontrakci významná, protože umožňuje napojení aktinu na myozin**
 - d) vznik ATP oxidativní fosforylací je spojován s energií získanou difúzí protonů z mezimembránového prostoru zpět do matrix mitochondrie

Pracovní list

Pracovní list byl vyplněn v druhé části 6. vyučovací hodiny. Na závěr této hodiny bylo řečeno správné řešení. Na doporučení pana doktora Orsága (vyučujícího biochemie na gymnáziu ve Vyškově) jsem některé otázky z pracovního listu zařadila do testu, abych žáky motivovala při jeho vypracovávání.

Zadání pracovního listu

Pracovní list - Makroergické sloučeniny

1. Napiš vzorec ATP, NADH a FADH₂ (u vzorce NADH a FADH₂ vybarvi atom/y, na kterých probíhají oxidačně-redukční reakce). V molekule ATP vyznač, která z vazeb je makroergická a zdůvodni, proč se ATP snadno štěpí. Čím se ATP štěpí? (využij i místo na druhé straně)
2. Napiš 3 typy vazeb, které označujeme jako makroergické a ke každému typu přiřaď následující sloučeniny: fosfoenolpyruvát, guanosindifosfát, acetyl-CoA
3. Spoj následující možnosti využití ATP s konkrétními procesy.

a) chemická práce	1) vyplavování adrenalinu do krve
b) mechanická práce	2) vznik glukózy-6-fosfát z glukózy a ATP
c) elektroosmotická práce	3) netřesová termogeneze
d) informační a regulační práce	4) buněčný pohyb přestavbou cytoskeletu
e) světelná energie	5) přenos glukózy ze střeva do krve
f) teplo	6) záření světlušek

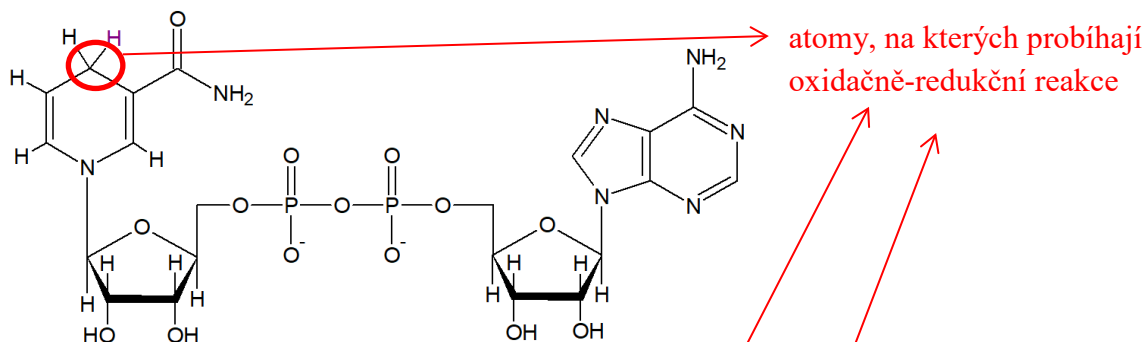
K následujícím pojmům přiřaď písmena a-f.

neurotransmitter, Na⁺, K⁺-ATPáza, aktin, luciferin, odpadní energie, difúze, oxytocin, energetické spřáhování, rigor mortis

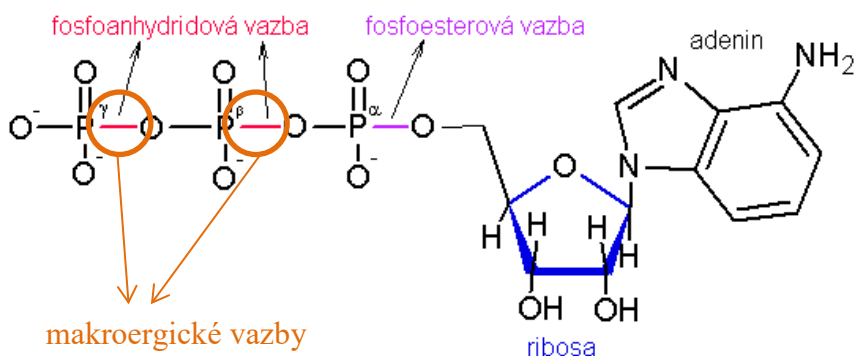
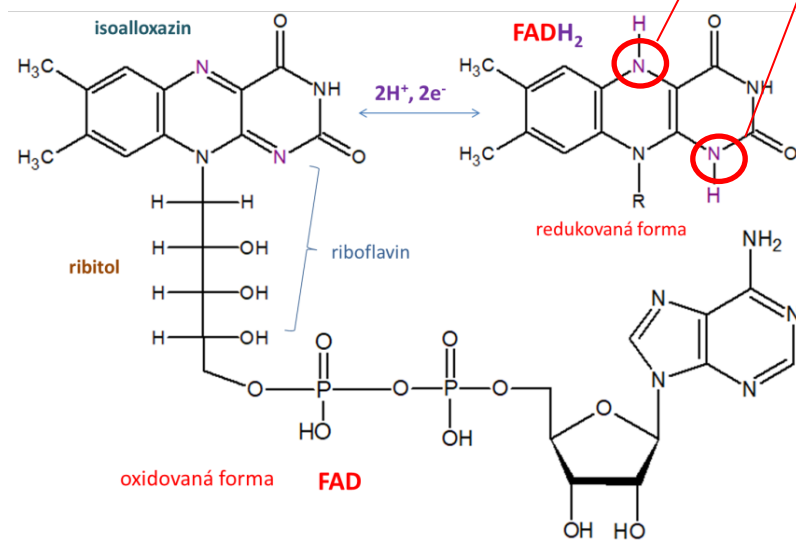
Řešení pracovního listu

- Napiš vzorec ATP, NADH a FADH₂ (u vzorce NADH a FADH₂ vybarvi atom/y, na kterých probíhají oxidačně-redukční reakce). V molekule ATP vyznač, která z vazeb je makroergická a zdůvodni, proč se ATP snadno štěpí. Čím se ATP štěpí? (využij i místo na druhé straně)

NADH



FADH₂



- *ATP se snadno štěpí jednak kvůli odpuzování záporně nabitých fosfátových skupin, jednak kvůli tomu, že se systém stabilizuje vznikem rezonančních struktur*
 - *ATP se štěpí hydrolyticky - vodou*
2. Napiš 3 typy vazeb, které označujeme jako makroergické a ke každému typu přiřaď následující sloučeniny: fosfoenolpyruvát, guanosindifosfát, acetyl-CoA
- *fosfoanhydridová vazba – guanosindifosfát*
 - *esterová vazba - fosfoenolpyruvát*
 - *thioesterová vazba – acetyl-CoA*
3. Spoj následující možnosti využití ATP s konkrétními procesy.
- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| a) chemická práce | 1) vyplavování adrenalinu do krve |
| b) mechanická práce | 2) vznik glukózy-6-fosfát z glukózy a ATP |
| c) elektroosmotická práce | 3) netřesová termogeneze |
| d) informační a regulační práce | 4) buněčný pohyb přestavbou cytoskeletu |
| e) světelná energie | 5) přenos glukózy ze střeva do krve |
| f) teplo | 6) záření světlušek |

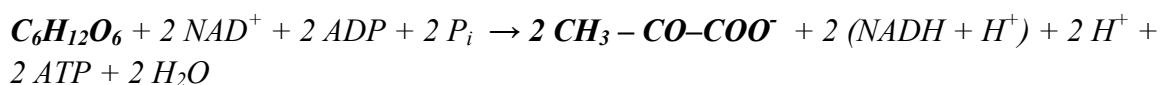
1-d, 2-a, 3-f, 4-b, 5-c, 6-e

K následujícím pojmům přiřaď písmena a-f.

- *neurotransmitter - d*
- *Na⁺, K⁺-ATPáza - c*
- *aktin - b*
- *luciferin - e*
- *odpadní energie - f*
- *difúze - c*
- *oxytocin - d*
- *energetické spřáhování - a*
- *rigor mortis - b*

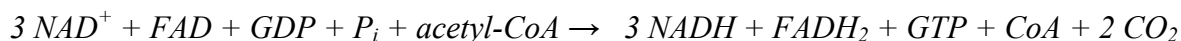
4. Napiš rovnice glykolýzy a citrátového cyklu. Kde oba děje probíhají?

Glykolýza:



- glykolýza probíhá v cytosolu

Citrátový cyklus:



- citrátový cyklus probíhá v matrix mitochondrie

5. Kolik molekul ATP získáme oxidací jedné molekuly glukózy? Seřad' jednotlivé pochody chronologicky za sebe. (vznik ATP, vznik CO₂, glykolýza, trávení, převod pyruvátu na acetyl-CoA, přenos elektronů)

- úplnou oxidací jedné molekuly glukózy získáme 38 molekul ATP
- trávení → glykolýza → převod pyruvátu na acetyl-CoA → vznik CO₂ → přenos elektronů → vznik ATP

6. Pojmenuj hlavní dýchací komplexy. Napiš, kde jsou umístěny a jakou mají funkci. Jak se nazývají spojky mezi jednotlivými komplexy?

Hlavní dýchací komplexy:

- **komplexu I (NADH-dehydrogenáza)** – reoxidace NADH
- **komplex II (sukcinátdehydrogenáza)** – reoxidace FADH₂
- **komplexu III (komplex cytochromu b – c₁)** – převod dvouelektronového přenosu na jedoelektronový pomocí tzv. Q-cyklu
- **komplex IV (komplex cytochromoxidáza)** – jedoelektronová oxidace 4 cytochromů c a redukci jedné molekuly O₂ za vzniku vody
- všechny komplexy jsou umístěny na vnitřní membráně mitochondrie

Spojky mezi dýchacími komplexy:

- **koenzym Q/ubichinon, cytochrom c**

7. Na jakém principu funguje ATPáza? (Stručně.)

ATPáza se skládá především z 2 nekovalentně spojených částí:

- *transmembránového kanálu (F_0) přenášejícího pasivně protony*
- *oligomerní hlavy (F_1), která zajišťuje vlastní reakci $ADP + P_i \rightarrow ATP + H_2O$*
- *obě tyto části zaujímají vůči membráně pevnou pozici*
- *pohyblivá je podjednotka γ , která se otáčí (na jednu otočku připadá syntéza 3 molekul ATP)*
- *právě pohyb podjednotky γ je vyvolán exergonickým pasivním transportem protonů*

4 Diskuze

Téma makroergické sloučeniny je pro žáky gymnázií (středních škol) velmi náročné. Přesahuje rámec požadovaných vědomostí ze základních hodin biologie a chemie. Pokud už se vyučuje, tak zpravidla v některém doplňkovém předmětu pro žáky s přírodovědným zaměřením (biochemie). Zvládnutí učiva klade na žáky velké nároky – propojování vědomostí z různých předmětů (fyzika, chemie, biologie) z celého průběhu studia. Žáci mají o jednotlivých oblastech tohoto tématu určité znalosti, ale nezvládají je dát do souvislostí a získat nad tématem makroergické sloučeniny jako celek nadhled. V tomto bodě hraje důležitou úlohu učitel, který by měl být žakovým pomocníkem při spojování známých faktů a vytváření nových závěrů, měl by žáka motivovat různými prostředky a důsledně dodržovat didaktické zásady. Tyto závěry jsou v souladu s údaji, které uvádí Maslowski (1990), Altmann (1975).

To bylo také mým cílem – vytvořit nadhled a pospojovat to, co žáci již vědí, s novými poznatky. Vytvořila jsem literární rešerši na dané téma a připravila jsem si prezentaci s mnoha vlastními schématy a obrázky. Podle mého názoru a vlastní zkušenosti je názornost v tomto tématu neodmyslitelná a extrémně důležitá, což potvrzuje závěry Kalhouse, Obsta (2009). Kromě toho jsem kladla důraz na mezipředmětové vztahy, které rovněž považují Vinter, Králíček (2016), Maslowski (1990) za klíčové, a pokud to bylo možné, doplňovala jsem výklad o příklady z každodenní praxe.

Prezentaci o 106 slidech jsem rozdělila časově na 6 vyučovacích hodin (blok 3x 2 vyučovací hodiny). Tři následující týdny jsem vyučovala téma makroergické sloučeniny na gymnáziu ve Vyškově v předmětu Blok biochemie pro čtvrté ročníky čtyřletého studia a osmé ročníky osmiletého studia. Prezentaci jsem žákům po odučení tématu poskytla, jelikož na gymnáziu nepoužívají učebnice, které by toto téma pokrývaly a vyhovovaly mnou stanoveným cílům.

V poslední vyučovací hodině (6.) žáci vyplňovali pracovní list. Na konci hodiny bylo řečeno správné řešení, ale ne všichni stihli pracovní list dodělat, což se ukázalo jako poněkud nešťastné. Z několika úloh pracovního listu jsem vycházela při tvorbě didaktického testu, který se psal 14 dní od poslední mnou vyučované hodiny. Kdyby všichni žáci doma pracovní list dodělali a zkontrolovali si ho podle poskytnuté prezentace, neobjevovaly by se v testu některé časté chyby (umístění dýchacího řetězce, spojky mezi dýchacími komplexy).

Didaktický test, který jsem sestavila, je test úrovně, nestandardizovaný. Test je kognitivní a zjišťuje především výsledky výuky. Test byl vyhodnocen jak podle relativního výkonu žáků, tak podle jejich výkonu absolutního. Jednalo se o výstupní test, který byl monotematický (téma makroergické sloučeniny). Test byl objektivně skórovatelný. Zkoumanou vlastností tohoto didaktického testu byla obtížnost.

Test měl dvě varianty A a B, každá varianta obsahovala 21 otázek. Každá otázka měla jen jedno správné řešení a body za špatnou odpověď se neodečítaly. Test se psal 40 minut a účastnilo se ho 19 žáků. Maximální počet bodů byl 21. Nejlepší výsledek byl 18 bodů. Žáci byli klasifikováni na základě procenta správných odpovědí.

Test varianty A psalo celkem 10 žáků. V testu se objevily 3 otázky, na které všichni žáci odpověděli správně. Některé z těchto otázek se záměrně nachází na začátku testu, aby žáky uklidnily a motivovaly. 7 otázek bylo středně obtížných. Nejhůře dopadla poslední otázka: *Které tvrzení je nepravdivé: (konečným příjemcem elektronů z redukováných kofaktorů je **atomární kyslík**, kvůli své vysoké afinitě k elektronům).* Tato otázka byla i mnou označena za nejnáročnější, protože žáci museli využít poznatky z anorganické chemie, aby si správný výsledek odvodili. Těžko se rozhodovali, která odpověď je pravdivá, připadalo jim, že všechny. To by byla pravda, kdyby se změnilo slovo **atomární** na **molekulový**. Na tuto otázku odpověděla správně pouze jedna žákyně, která ale měla celkově nejhorší test a dá se tedy předpokládat, že v této otázce tipovala. Paradoxně velmi špatně (obtížnost 80 %) dopadla otázka č. 2: *Co **neplatí** o makroergické vazbě v ATP?: (vznik makroergické vazby (ATP z ADP a P_i) je reakce exergonická).* Tady šlo zřejmě o nepozornost žáků nebo možná proto, že otázka je položená záporně. Obtížnost se tedy pohybuje od 0 % do 90 %, což není úplně nejlepší výsledek.

Test varianty B psalo 9 žáků. V testu se nacházejí 3 otázky, na které odpověděli všichni žáci správně. Opět jsou některé z nich záměrně situovány na začátek testu (uklidnění, motivace). 6 otázek bylo středně obtížných. Nejhůře dopadla otázka číslo 15: *Jak se nazývají spojky mezi jednotlivými dýchacími komplexy?: (ubichinon, cytochrom c).* 6 žáků zvolilo odpověď: *koenzym Q, ubichinon*. Koenzym Q je pouze jiným názvem pro ubichinon, takže oba názvy jsou správně, ale jde pouze o jednu a tu samou spojku. Aby byla odpověď správně, musí se zvolit varianta odpovědi s oběma spojkami. Myslím si, že jsem zvolila špatnou možnost odpovědi zařazením oné možnosti *koenzym Q, ubichinon*. Celkem nepochopitelně dopadla špatně otázka č. 18: *Čím je poháněná ATPáza?: (využitím gradientu*

elektrochemického potenciálu protonů). Tady žáci volili různě jiné možnosti. Celkově byly testové otázky obtížné od 0 % do 89 %.

Celkově dopadly oba testy podobně. Měly okolo 3 nebo 4 nejjednodušších otázek, na které znali všichni žáci správnou odpověď. Dále okolo 6 nebo 7 otázek středně obtížných a 1 nebo 2 otázek velmi obtížných. Výsledek by mohlo ovlivnit více respondentů. Zajímavé je, že při tvorbě testu jsem si sama podle svého uvážení označila vytvořené otázky různou obtížností, abych věděla, kolik otázek je náročných/jednoduchých a výsledky žáků víceméně přesně kopírují i můj odhad.

Z výsledků testů lze konstatovat, že by bylo vhodnější více se držet doporučení Byčkovského (1982), Jeřábka, Bílka (2010) a to, aby se otázky s obtížností pod 20 % a nad 80 % vyskytovaly v omezeném množství. V testu A bylo celkem 12 otázek s obtížností pod 20 % a nad 80 %. V testu B bylo celkem 10 otázek s obtížností pod 20 % a nad 80 %. Důvodem může být moje aktuální nezkušenost v tvorbě didaktických testů, která ustoupí s budoucí praxí.

Porovnávala jsem také středoškolské učebnice. Vybrala jsem si 3 učebnice chemie a 3 učebnice biologie, které se nejčastěji využívají na středních školách. Problémem je, že téma makroergické sloučeniny je spíše biochemické, a pokud učitel biologie nebo chemie nemá aprobovanou zrovna tuto kombinaci, přistupuje k učivu hlavně z pohledu jednoho předmětu a těžko se mu propojují souvislosti. S tím, že vybrané učebnice nebudou obsahově odpovídat tématu makroergických sloučenin jako celku, jsem počítala. Velmi mě překvapily odborné chyby, které se v nejedné učebnici nacházejí (např. Odmaturuj! z biologie, Přehled středoškolské chemie). Nejčastěji se jednalo a špatný zápis oxidované a redukované formy NADH a FADH₂. Nejvíce bodů podle stanovených kritérií získala učebnice KOLÁŘ K., KODÍČEK M., POSPÍŠIL J. (2005): *Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia. 2., upr. a dopl. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha*. Bohužel není na středních školách nejčastější. V žádné jiné učebnici není téma o makroergických sloučeninách uceleno, chybí názornost nebo otázky a úkoly, respektive klíče k nim.

Tento závěr zároveň poukazuje na jeden z důvodů neoblíbenosti tématu mezi žáky – nemají k dispozici ucelenou a přehlednou podporu ke svému učení. Mnou poskytnutý studijní materiál si chválili a naznačovali, že díky němu pochopili mnohé nejasnosti, což ve finále vedlo ke zvýšení zájmu o téma a předmět jako celek. Lze tedy souhlasit se závěry Maňáka,

Knechta (2007), kteří vyzdvihují funkce dobré učebnice: motivace žáků k učení, vzbuzení většího zájmu o předmět a celkově zajištění vysoké úrovně vzdělání na škole.

Tato práce přináší ucelený pohled na téma makroergické sloučeniny, jejich strukturu, význam a vznik. Tím, že spojuje poznatky z chemie a biologie, čtenář (ať už učitel nebo žák) získá nad tímto tématem nadhled. Prezentační CD může sloužit jako vzor a materiál pro učitele, kteří budou danou problematiku na střední škole vyučovat. Na procvičení nabytých vědomostí slouží pracovní list. Učitelé mohou využít k ověření znalostí a vědomostí žáků didaktický test varianty A a B.

Myslím si, že toto téma by nemělo být na středních školách opomíjeno a to zejména na těch, kde studují budoucí studenti vysokých škol s přírodovědným nebo lékařským zaměřením. Získané vědomosti budou vhodným startem právě na těchto typech vysokých škol a zajisté pomohou žákům při psaní testů přijímacího řízení, kde toto učivo není opomíjeno. Informace o makroergických sloučeninách atakují abstraktní myšlení žáků, propojování souvislostí a vedou k hlubšímu poznání přírodních dějů.

5 Závěr

Diplomová práce pojednává o problematice makroergických sloučenin ve výuce biologie, respektive biologie a chemie na středních školách. Byla sestavena literární rešerše, která se zabývá makroergickými sloučeninami z hlediska jejich chemické struktury, biologického významu a v neposlední řadě způsoby vzniku makroergických sloučenin, především ATP.

Proběhla didaktická transformace teoretických poznatků o makroergických sloučeninách pro potřeby výuky na středních školách prostřednictvím prezentačního CD. Prezentační CD obsahuje prezentaci, která uceluje téma makroergické sloučeniny jako celek a může se stát oporou pro středoškolské pedagogy při jejich pedagogické praxi. Předností prezentace je její názornost díky mnoha vlastním schémátům a obrázkům.

Byly vytvořeny didaktické testy varianty A a B, které mohou sloužit k ověření znalostí a vědomostí žáků po ukončení tématu makroergické sloučeniny. Každý test obsahuje 21 otázek na dané téma. Dále byl vytvořen pracovní list, který může plnit funkci závěrečného zopakování učiva a ověření orientace žáků v dané problematice.

Verifikace vytvořených materiálů (prezentačního CD, pracovního listu, testů) proběhla ve výuce biochemie 4. a 8. ročníků na gymnáziu ve Vyškově. Celkem bylo odučeno 6 vyučovacích hodin s tématem makroergické sloučeniny, byl vypracován pracovní list a následně napsán test, který byl zpracován a vyhodnocen. Testu se účastnilo 19 žáků.

Proběhla také didaktická analýza učiva o makroergických sloučeninách v 6 středoškolských učebnicích (3 učebnice chemie, 3 učebnice biologie) dle předem stanovených kritérií (především byl hodnocen obsah a forma učebního textu). Jako nejvhodnější učebnicí s učivem o makroergických sloučeninách se podle výsledného součtu bodů stala učebnice KOLÁŘ K., KODÍČEK M., POSPÍŠIL J. (2005): Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia. 2., upr. a dopl. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha.

6 Použité zdroje

Knihy:

ALBERTS B. et al. (1998): Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky. Espero, Ústí nad Labem.

ALTMANN A. (1975): Metody a zásady ve vyučování biologie. - SPN, Praha.

ALTMANN A. (1985): Vybrané kapitoly z didaktiky biologie I, II, III. -SPN, Praha.

BYČKOVSKÝ P. (1982): Základy měření výsledků výuky. Tvorba didaktického testu. ČVUT, Praha.

CAMPBELL N. A., REECE J. B. (2006): Biologie. Computer Press, Brno.

FELLNEROVÁ I., HLAVÁČEK L., ČELECHOVSKÝ A. (2014): Obecná fyziologie I: Chemické a buněčné základy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

GARRETT R. H., GRISHAM, C. M. (2010): Biochemistry, Boston.

CHRÁSKA M. (1999): Didaktické testy: příručka pro učitele a studenty učitelství. Paido, Brno.

JEŘÁBEK J. et al. (2007): Rámcový vzdělávací program pro gymnázia–Výzkumný ústav pedagogický v Praze, Praha.

JEŘÁBEK O., BÍLEK M. (2010): Teorie a praxe tvorby didaktických testů. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

KALHOUS Z., OBST O. et al. (2009): Školní didaktika. Portál, Praha.

KARLSON P., GEROK W., GROSS W. (1987): Pathobiochemie. Academia, Praha.

KITTNAR O. (2011): Lékařská fyziologie. Grada, Praha.

KODÍČEK M., VALENTOVÁ O., HYNEK R. (2015): Biochemie: chemický pohled na biologický svět. VŠCHT, Praha.

KOOLMAN J., RÖHM K. H. (2012): Barevný atlas biochemie. Grada, Praha.

MAŇÁK J., KNECHT P. (2007): Hodnocení učebnic. Paido, Brno. Pedagogický výzkum v teorii a praxi.

MASLOWSKI O. (1990): Didaktika biologie. Přírodovědecká fakulta univerzity Palackého, Olomouc.

NEZVALOVÁ D.(2006): Rámcový a školní vzdělávací program: (v počáteční přípravě učitelů přírodovědných předmětů). Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc.

PROCHÁZKA J. (1998): Fyziologie rostlin. Academia, Praha.

PRŮCHA J., WALTEROVÁ E., MAREŠ J. (2003): Pedagogický slovník. Portál, Praha.

RAVEN P. H., EVERT R. F., EICHHORN S. E. (1999): Biology of Plants. – W. H. Freeman and Company, New York.

RODWELL V. W. et al. (2015): Harper's Illustrated Biochemistry 30th Ed. McGraw-Hill Education, United States.

SOFROVÁ D. et al. (2009): Biochemie: základní kurz, Praha.

ŠÍPAL Z. et al. (1992): Biochemie. SPN, Praha.

Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání verze 6.0. Gymnázium a Střední odborná škola zdravotnická a ekonomická Vyškov, příspěvková organizace.

TROJAN S. et al. (2003): Lékařská fyziologie. Grada Avicenum, Praha.

VÁCHA M. et al. (2010): Srovnávací fyziologie živočichů. Masarykova Univerzita Brno, Brno.

VINTER V., KRÁLÍČEK I. (2016). Začínající učitel biologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

VODRÁŽKA Z. (2007): Biochemie. Praha.

Učebnice:

BENEŠOVÁ M. et al. (2013): Odmaturuj! z biologie. 2., přeprac. vyd. Didaktis, Brno.

HANČOVÁ H., VLKOVÁ M. (2008): Biologie v kostce: pro střední školy : [obecná biologie, botanika, zoologie, biologie]. Fragment, Praha.

JELÍNEK J., ZICHÁČEK V. (2014): Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část). 11. vyd. Nakladatelství Olomouc, Olomouc.

KOLÁŘ K., KODÍČEK M., POSPÍŠIL J. (2005): Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia. 2., upr. a dopl. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha.

MAREČEK A., HONZA J. (2000): Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl. Nakladatelství Olomouc, Olomouc.

VACÍK J. (1999): Přehled středoškolské chemie. 4. vyd., v SPN - pedagogickém nakl. 2. vyd.: SPN - pedagogické nakladatelství, Praha.

Webové stránky a články:

Elston T., Wang H., Oster G. (1998): Energy transduction in ATP synthase. *Nature* 391, 510–513

<https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-metabolismus-citratovy-cyklus>

<https://www.galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-sacharidy-glykolyza>

<http://www.studiumbiochemie.cz/metabolismus.html#13>

<https://www.prirodovedci.cz/chemik/clanky/tajemstvi-fotosyntezy>

<http://fbt.cz/skripta/iv-pohybova-soustava/6-svalova-kontrakce/>

Obrázky prezentace:

https://cartoongoodies.com/png_images/bugs-bunny-eating-carrot/

https://rateyourmusic.com/list/spider_13singles/bugs_bunny___all_short_films/

<http://www.mestojablonec.cz/redakce/index.php?rok=2016&mesic=5&den=30&lanG=cs&detail=4204&subakce=events&xuser=>

<http://likelylooneymostlymerrie.blogspot.com/2015/04/374-bugs-bunny-gets-boid-1942.html>

<https://alchetron.com/Big-Bad-Wolf>

<https://cz.pinterest.com/pin/644085184189914023/>

<http://www.strevni-zanety.cz/anatomie-traviciho-traktu>

7 Seznam tabulek a obrázků

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Standardní redukční potenciály (ΔG^0) hydrolýzy makroergických vazeb některých biologicky významných sloučenin.

Tabulka 2: Příklad spřahování reakcí

Tabulka 3: Koncentrace iontů uvnitř a vně typické živočišné buňky (Kodíček)

Tabulka 4: Rozdělení organismů z hlediska trofiky

Tabulka 5: Hodnocená kritéria a jejich bodové ohodnocení

Tabulka 6: Ohodnocení učebnice *Chemie II: (organická a biochemie) : pro gymnázia*

Tabulka 7: Ohodnocení učebnice *Biologie pro gymnázia (teoretická a praktická část)*

Tabulka 8: Ohodnocení učebnice *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl*

Tabulka 9: Ohodnocení učebnice *Přehled středoškolské chemie*

Tabulka 10: Ohodnocení učebnice *Odmaturuj! z biologie*

Tabulka 11: Ohodnocení učebnice *Biologie v kostce*

Tabulka 12: Druhy didaktických testů

Tabulka 13: Získané hodnoty Q a P u skupiny A

Tabulka 14: Získané hodnoty Q a P u skupiny B

Tabulka 15: Bodová a procentuální hranice pro absolutní hodnocení žáků

Tabulka 16: Bodová a procentuální hranice pro relativní hodnocení žáků

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Schéma ATP a typy vazeb

Obrázek 2: Rezonanční struktury fosfátu a difosfátu

Obrázek 3: Schéma GTP

Obrázek 4: Úloha NADH v mitochondrii

Obrázek 5: Schéma NADPH

Obrázek 6: Schéma oxidované a redukované formy NAD

Obrázek 7: Schéma výhodnějšího uspořádání elektronů v molekule NAD

Obrázek 8: Radikálová/semichinonová forma FAD

Obrázek 9: Schéma redukované a oxidované formy FAD

Obrázek 10: Schéma hydrolyzy ATP

Obrázek 11: Spřažování chemických reakcí

Obrázek 12: Schéma svalové buňky

Obrázek 13: Aktinové filamentum

Obrázek 14: Myozinové filamentum

Obrázek 15: Schéma zkrácení sarkomery

Obrázek 16: Role ATP při svalovém stahu

Obrázek 17: Schéma transportu přes membránu z hlediska energetického a z hlediska zapojení membrány

Obrázek 18: Transport přes membránu pomocí kanálů a přenašečů rozdílů

Obrázek 19: Sodnodraselná pumpa

Obrázek 20: Transportní proteiny podle počtu přenášených částic a směru přenosu

Obrázek 21: Energetické propojení katabolismu a anabolismu

Obrázek 22: SGLT kanál

Obrázek 23: Spolupráce chloroplastů a mitochondrií v rostlinné buňce

Obrázek 24: Schéma metabolismus aerobních organotrofů

Obrázek 25: Mléčné kvašení

Obrázek 26: Schéma glykolýzy

Obrázek 27: Alkoholové kvašení

Obrázek 28: Schéma citrátového cyklu

Obrázek 29: Přenos vodíků přes přenašeče

Obrázek 30: Redoxní potenciál jednotlivých dýchacích komplexů

Obrázek 31: Schéma ATPázy

Obrázek 32: Schéma mitochondrie a struktury elektrontransportního řetězce

Obrázek 33: Rozdíly mezi mitochondrií a chloroplastem

Obrázek 34: Celkové schéma mitochondriálních procesů

Obrázek 35: Zjednodušený proces fotosyntézy

Obrázek 36: Propojení životních procesů rostlin a živočichů