

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

**Mitochondrie jako energetická centra buňky –
integrované přírodovědné vzdělávání**

Bakalářská práce

Veronika Kočárková

Školitel: Mgr. Josef Juráň, Ph.D.

České Budějovice 2026

Kočárková, V., 2026: Mitochondrie jako energetická centra buňky - integrované přírodovědné vzdělávání. [Mitochondria as the energy centres of cells – integrated science education. Bc. Thesis, in Czech] –52 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation

This bachelor thesis deals with the concept of integrated teaching in the context of cell biology, focusing on the structure of mitochondria and the process of cellular respiration. The theoretical part analyzes the advantages, disadvantages, and barriers to implementing integrated teaching and traces its historical development and current state in the Czech Republic and abroad. It includes a review of modern international approaches to teaching cellular respiration or cell biology and an analysis of curriculum documents for high schools (RVP G) in terms of supporting interdisciplinary integration. The practical part presents an integrated teaching unit "Mitochondria as the energy centres of the cell". This unit was tested at two high schools. The influence of the chosen approach on students' intrinsic motivation was then examined using the Intrinsic Motivation Inventory questionnaire.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Dále prohlašuji, že jsem nástroj nebo službu generativní umělé inteligence Gemini použila v souladu s akademickou etikou za účelem pomoci s jazykovou korekturou textu.

V Českých Budějovicích dne 15.4.2026

Veronika Kočárková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Josefu Juráňovi, Ph.D., za odborné vedení, ochotu, pomoc a cenné rady při tvorbě bakalářské práce. A dále bych chtěla poděkovat zúčastněným žákům při praktické části bakalářské práce a hlavně paním učitelkám, které mi pomohly zrealizovat výuku na gymnáziích.

Obsah

1	Úvod	1
2	Teoretická část	3
2.1	Integrovaná výuka	3
2.1.1	Výhody, nevýhody a problematika zavádění integrované výuky	3
2.1.2	Integrovaná výuka ve světě	5
2.2	Analýza přístupů ve výuce buněčné biologie, buněčného dýchání a mitochondrie	8
2.3	Analýza Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia	12
2.3.1	Kurikulární dokumenty	12
2.3.2	Rámcový vzdělávací program pro gymnázia	12
2.3.3	Téma mitochondrie v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia ..	13
3	Metodika práce	14
3.1	Výuková jednotka: Mitochondrie jako energetická centra buňky	14
3.2	Materiály pro výukovou jednotku	14
3.2.1	Prezentace	14
3.2.2	Pracovní list	15
3.2.3	Pokus	15
3.3	Intrinsic motivation inventory (IMI)	16
3.3.1	Forma dotazníku pro tuto práci	16
3.4	Výzkumný soubor	17
4	Výsledky	18
4.1	Vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 1	18
4.2	Vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 2	19
4.3	Porovnání výsledků na Gymnáziu 1 a Gymnáziu 2	20
5	Diskuze	22
6	Závěr	25
7	Seznam literatury	27

8	Přílohy	31
8.1	Příloha 1: Prezentace	31
8.2	Příloha 2: Pracovní list	45
8.3	Příloha 3: Řešení pracovního listu	49

1 Úvod

Tradiční pojetí vzdělávání v českém školství je historicky hluboce zakořeněno v oddělených vědních disciplínách, což u žáků často vede k hromadění izolovaných faktů bez vzájemných souvislostí (Rakoušková, 2008). Cílem moderního vzdělávání je rozvíjet u žáků schopnost přemýšlet v souvislostech a uplatňovat získané poznatky v praktickém životě (Podroužek, 2002). Jedním z nejvýznamnějších nástrojů k dosažení těchto cílů je integrovaná výuka. Tento pedagogický koncept představuje proces vzájemného prolínání a slučování poznatků z různých vědních oborů do ucelených vzdělávacích celků (Podroužek (2002), Rakoušková (2008)). Ačkoliv je tento přístup v českém prostředí prozatím zastoupen spíše v omezené míře (MŠMT, 2007, 2017), mezinárodní studie dlouhodobě potvrzují, že žáci vzdělávání prostřednictvím integrovaných metod dosahují srovnatelných nebo dokonce lepších výsledků než jejich vrstevníci v tradičních třídách (Drake & Reid, 2018).

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na komplexní analýzu integrované výuky z několika perspektiv. V prvním bloku je cílem rozbor výhod, nevýhod a bariér spojených se zaváděním integrace do školní praxe. Mezi hlavní benefity se řadí eliminace fragmentace poznatků, hlubší porozumění látce a rozvoj klíčových kompetencí. Příkladem kritických aspektů je časová náročnost přípravy, nedostatek metodických materiálů a především nároky na odbornou připravenost a spolupráci samotných pedagogů.

Druhým cílem v další části je zmapování vývoje a současného stavu integrovaného vzdělávání ve světě a v České republice. Pozornost je věnována historii tohoto konceptu od 30. let 20. století až po současnost a jeho implementaci v různých vzdělávacích systémech – od vyspělejších zemí jako je USA či Nizozemsko až po specifické přístupy v rozvojových zemích.

Dále se teoretická část zaměřuje na rešerši zahraničních přístupů k výuce buněčné biologie, konkrétně buněčného dýchání a funkce mitochondrií. Cílem této kapitoly je zmapovat různé techniky a výukové metody, které se používají v zahraničí při výuce buněčného dýchání, mitochondrie nebo buněčné biologie. Tato témata jsou pro žáky obecně vysoce abstraktní a často zatížená řadou miskoncepcí. Analýza vybraných studií (např. z USA, Mexika či Malajsie) ukazuje efektivitu aktivizačních metod, které pomáhají propojovat makroskopickou, mikroskopickou a molekulární úroveň poznání.

Poslední teoretický oddíl je věnován analýze českých kurikulárních dokumentů (RVP G), které formálně integraci obsahu umožňují a podporují, ačkoliv realita školní praxe na středních školách často naráží na administrativní a metodické překážky.

Praktická část práce navazuje na teoretické poznatky s cílem návrhu a realizace konkrétní výukové jednotky „Mitochondrie jako energetická centra buňky“. Tato jednotka je koncipována jako integrovaný celek propojující poznatky z biologie, chemie a matematiky. Didaktické materiály zahrnují prezentaci s diskusními otázkami, pracovní list podporující fixaci terminologie a praktický experiment s kvasinkami, který žákům umožňuje pozorovat metabolické děje v reálném čase.

Hlavním cílem praktického šetření je zjistit, zda aplikace tohoto integrovaného přístupu v praxi zvyšuje vnitřní motivaci žáků k učení. Výzkum byl realizován na dvou gymnáziích s odlišným složením žáků. Ke sběru dat byl využit dotazník Intrinsic Motivation Inventory (IMI), který u žáků hodnotí několik nezávislých podškál.

Získaná data jsou v práci podrobena analýze, která se snaží odpovědět na otázku, jak žáci vnímají přínos propojování souvislostí mezi obory a jaký vliv mají aktivizační metody a především integrovaná výuka na jejich vnitřní motivaci.

2 Teoretická část

Tradiční vzdělávání bylo založeno na oddělených vědních disciplínách. Vyučovací předměty na českých školách tak sloužily jako jakési zmenšené kopie skutečných věd, čímž zprostředkovávaly základní vědecké poznatky (Rakoušková, 2008). Se zavedením Rámcového vzdělávacího programu je cílem klást důraz na systematické propojování vědomostí do logických celků a jejich praktickou uplatnitelnost v každodenním životě žáků. Výuka by měla vycházet z předchozích zkušeností žáků a efektivně rozvíjet nejen jejich kognitivní schopnosti, ale i klíčové dovednosti a studijní návyky. Cílem je pak eliminovat neefektivní hromadění izolovaných faktů ve prospěch komplexního a provázaného vzdělávacího procesu (Podroužek, 2002).

2.1 Integrovaná výuka

Definice integrované výuky je mnoho, například v RVP G (MŠMT, 2007) je definována integrace vzdělávacího obsahu jako propojení vyučovaného učiva na úrovni témat, tematických okruhů či vzdělávacích oborů. Podroužek (2002) uvádí, že integrovaná výuka je vnímána jako spojení či syntéza učiva jednotlivých předmětů nebo vzdělávacích oblastí do jednoho celku. Důraz je pak kladen na komplexnost a globálnost poznávání. V neposlední řadě Rakoušková (2008) ve své literatuře říká, že integrace je proces vzájemného prolínání a slučování poznatků z různých vědních oborů do nového, sevřenějšího vzdělávacího celku, v němž však zůstává zachován důraz na naplnění cílů všech původních předmětů.

Je důležité rozlišovat mezi pojmy integrovaná výuka a integrované vzdělávání. Vzdělávací integrací se označuje proces začleňování žáků se speciálními vzdělávacími potřebami do běžných škol, jehož cílem je jejich plnohodnotné fungování v kolektivu vrstevníků (Průcha et al., 2003).

2.1.1 Výhody, nevýhody a problematika zavádění integrované výuky

Zavádění integrované výuky představuje proces spojený s řadou benefitů, ale i potenciálních rizik a realizačních bariér.

Primárním přínosem tohoto přístupu je podle Hesové (2011) eliminace fragmentace poznatků v rámci izolovaných vyučovacích předmětů. Integrace umožňuje prezentovat učivo v širším kontextu, což podporuje hlubší porozumění probírané látce ze strany žáků. Integrovaný model výuky lze také brát jako efektivní nástroj pro rozvoj klíčových kompetencí. Didaktické úlohy při integrované výuce často vycházejí z autentických situací

reálné praxe, čímž zvyšují motivaci žáků k aktivnímu řešení problémů (Dare et al., 2018). Současně je u žáků rozvíjena schopnost vyhledávat a vybírat relevantní informace, pracovat s literaturou a přemýšlet v souvislostech (Berland & Steingut, 2016). V rámci integrovaného vyučování dochází také k rozvoji sociálních kompetencí, zejména v oblasti vzájemné kooperace mezi žáky či celými skupinami (Koldová et al., 2022).

Ve srovnání se zahraničními vzdělávacími systémy je v českém prostředí integrovaná výuka zastoupená v menší míře (Hesová, 2011). Implementace integrovaného kurikula se přitom ukazuje jako vysoce efektivní nástroj pro akademické učení. Důkazy shromážděné z rozsáhlého množství studií realizovaných napříč všemi stupni vzdělávacího systému v průběhu téměř jednoho století opakovaně potvrzují konzistentní závěry. Žáci a studenti vzdělávání prostřednictvím integrovaných přístupů dosahují v oblasti akademické úspěšnosti srovnatelných, či dokonce lepších výsledků než ti, kteří jsou vyučováni v rámci tradičně koncipovaných tříd (Drake & Reid, 2018).

Asi největší překážkou při zavádění integrované výuky do školního prostředí je nedostatečná připravenost pedagogů. Ačkoliv jsou vysokoškolské obory standardně nabízeny v kombinacích, jejich studium probíhá převážně izolovaně a nezávisle na sobě (Hesová, 2011). Současný model vzdělávání budoucích učitelů se obvykle zaměřuje na dvou aprobační specializace, zatímco efektivní realizace integrovaného vzdělávání vyžaduje odbornou kompetenci ve vícero oborech. (Hejnová, 2011). Tento problém tedy klade na vyučující nároky v podobě nutnosti seznámení se s obsahy relevantních předmětů v rámci daného tématu. Důležitým faktorem se tedy stává vzájemná spolupráce mezi pedagogy jednotlivých oborů, která je založena na vzájemné odborné konzultaci a sdílení faktografických i didaktických informací (Podroužek, 2002). Pregraduální příprava budoucích učitelů by se proto měla intenzivněji orientovat na rozvoj schopnosti týmové kooperace a posilování kompetencí nezbytných pro mezipředmětovou spolupráci (Hejnová, 2011).

Další bariéru při implementaci integrované výuky představuje nedostatek metodických materiálů, učebnic a didaktických pomůcek v českém jazyce, což potvrzuje Hesová (2011), přičemž Rakoušková (2008) doplňuje, že tato absence zdrojů klade velké nároky na přípravu učitele, který musí samostatně vyhledávat a propojovat informace z různých vědních disciplín. Časová náročnost se týká také toho, že integrované úlohy většinou nejde provést v jedné vyučovací hodině (Ryu et al., 2018).

Další problém představuje také nedůvěra, kterou k tomuto pojetí chová odborná i laická veřejnost. Tato skepse se projevuje zejména u přírodovědných, technických

a uměleckých oborů, kde panují obavy z přílišné povrchnosti výuky a jejího nedostatečného vědeckého ukotvení (Podroužek, 2002). Podle Jacobse (1989) tento kritický postoj nesdílejí pouze pedagogičtí pracovníci, ale i rodiče žáků, kteří postrádají osobní zkušenost s jiným než tradičním modelem vzdělávání.

Kromě výše zmíněných komplikací při samotné implementaci představuje nevýhodu potenciální komplikace spojená například s přechodem žáka na jinou vzdělávací instituci, ať už v důsledku stěhování nebo při přestupu na vyšší stupeň škol. Komplikace vyvstávají především v administrativní rovině, například u přihlášek ke studiu, které vyžadují výpis konkrétních předmětů a průměry známek, což u integrovaného pojetí nemusí korespondovat s tradiční strukturou dokumentace (Hesová, 2011).

2.1.2 Integrovaná výuka ve světě

2.1.2.1 Zavedení integrovaného přírodovědného vzdělávání

Termín integrované kurikulum označuje specifickou formu vzdělávacího programu, která vychází z principů integrované výuky (Průcha, 2003). Tento pojem se odborně začal užívat v roce 1931, ačkoliv teoretické základy a předchůdci tohoto konceptu se v pedagogice objevovali již dříve. Významný rozmach zaznamenalo integrované kurikulum ve 30. letech 20. století, kdy bylo úzce spjato s tehdejšími progresivními hnutími ve vzdělávání (Drake & Reid, 2020). V integrovaném kurikulu se pokračovalo i v následujících dekádách. Beane (1997) označuje 40. a 50. léta zpětně za zlatou éru integrace kurikula. V tomto období došlo k masivnímu rozšíření základních integrovaných programů po celých Spojených státech (Drake & Reid, 2020). Více než 50 % tamních středních škol v té době implementovalo programy využívající blokovou výuku, v nichž nebyly jednotlivé vyučovací předměty striktně odděleny (Beane, 1997).

K dalšímu významnému posunu došlo v roce 1967 v Lausanne, kde se uskutečnilo první mezinárodní sympozium zaměřené na integrované vědecké vzdělávání. Na tuto konferenci navázala série odborných seminářů, které měly za cíl blíže definovat a představit koncept integrované vědy (Winarno et al., 2020).

Klíčovou roli při zavádění integrovaného přírodovědného vzdělávání sehrála organizace UNESCO. Ta iniciovala program zaměřený na rozvoj vědeckého vzdělávání, který byl založen na mezinárodní výměně informací a zkušeností. V přímé návaznosti na tyto aktivity pak UNESCO začalo publikovat odborné materiály pod souhrnným názvem „New Trends in Integrated Science Teaching“ (Winarno et al., 2020).

2.1.2.2 Integrovaná výuka v České republice

Zásadní impuls pro implementaci integrované výuky v českém školství představoval Národní program rozvoje vzdělávání (MŠMT, 2001). Tento strategický dokument definoval potřebu propojování vzdělávacího obsahu na základních školách a navrhl praktické kroky k jeho dosažení, jako je například vývoj integrovaných učebních materiálů nebo inovace v přípravě pedagogů. Snaha o tento typ výuky vychází z angloamerických konceptů, ale oporu nachází i v asijských vzdělávacích systémech, konkrétně v Japonsku či Korejské republice, které si dlouhodobě v mezinárodních srovnáních přírodovědné gramotnosti vede nejlépe (Hejnová, 2011).

Při pohledu na aktuální stav začleňování integrované výuky do českého kurikulárního systému je však patrné, že se tento přístup v praxi prosazuje pouze v omezené míře (Průcha, 2017). Současná podoba vzdělávacích programů vykazuje nejsilnější zastoupení tohoto trendu na prvním stupni základní školy, kde Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání definuje komplexně pojaté vzdělávací obory. Příkladem je prvouka, jež v sobě obsahuje poznatky z biologie, fyziky, chemie a geologie, či vlastivěda, která integruje geografické, historické a sociologické aspekty. Na úrovni druhého stupně základní školy lze za projev integrace považovat občanskou výuku, jež v rámci svého obsahu propojuje poznatky z oblasti práva, psychologie, politologie a sociologie (MŠMT, 2023). Naopak na úrovni střední školy je identifikace systémově ukotvených integrovaných předmětů podstatně složitější najít (MŠMT, 2007).

Právě tato nejednotnost mezi stupni vzdělávání ukazuje, že se současný stav v České republice vyznačuje značným rozporem mezi deklarovanými koncepčními cíli a realitou školní praxe. Jak uvádějí Koldová et al. (2024), i přes patrnou politickou a teoretickou snahu o prohlubování integrace naráží její praktické zařazení na několik zásadních bariér.

Mezi klíčové, kde některé byly zmíněny v předchozí kapitole 2.1.1., patří konzervativní postoje části pedagogické obce nebo nedostatečná připravenost pedagogů z vysokých škol, neměnná struktura školních rozvrhů a přetrvávající nedostatek metodické podpory cílené přímo na české vyučující.

Patoková et al. (2024) provedli celorepublikové šetření dotazníkovou metodou zaměřené na zapojení integrované výuky do praxe pedagogů. Sběr dat probíhal od března do května roku 2024 a zúčastnilo se jej 72 pedagogů základních škol s průměrnou délkou praxe 22,7 let. Mezi klíčová zjištění patří, že z celkového počtu respondentů integruje výuku alespoň příležitostně 86,1 %. Významným faktorem se ukázala pregraduální

příprava, neboť všichni respondenti (18 %), kteří v rámci vysokoškolského studia absolvovali předměty zaměřené na integrovanou výuku (nejčastěji integrovaný vědní základ), tuto metodu ve své vlastní praxi aplikují. Studie však zároveň poukázala na terminologickou neukotvenost, kdy více než čtvrtina respondentů neměla jasno v definici integrované výuky. Pedagogové si tento koncept často zaměňují s prací ve skupině, projektovým vyučováním nebo s pojmem integrované vzdělávání, které se prioritně zabývá inkluzí žáků se speciálními vzdělávacími potřebami do běžných tříd. Při hodnocení silných stránek integrované výuky pedagogové nejčastěji uváděli lepší pochopení souvislostí a mezipředmětových vztahů (42,5 %) nebo praktickou využitelnost poznatků v reálném životě (20,8 %). Naopak za největší slabinu byla označena vysoká časová náročnost přípravy (48,8 %) a nedostatečné množství dostupných výukových materiálů (11,6 %).

2.1.2.3 Integrovaná výuka ve světě

Winarno et al. (2020) uvádějí přehled zemí, které do svého vzdělávacího systému implementovaly integrovanou výuku. Mezi průkopníky v této oblasti patřilo Spojené království, následované Spojenými státy a Kanadou. Postupně se tento přístup rozšířil i do dalších evropských států, například do Belgie, která integrovaný přírodovědný kurz na středních školách zavedla v roce 1978 nebo do Nizozemska v roce 1983. V asijském kontextu, kde se integrované přírodovědné vzdělávání rozvíjí již pět desetiletí, patří mezi aktivní země Brunej, Singapur, Malajsie, Čína, Indie, Indonésie, Filipíny a Thajsko. Podobné tendence lze sledovat také v Africe, konkrétně v Nigérii, Gambii, Botswaně, Lesothu či Svazijsku.

Zavádění integrovaného přírodovědného vzdělávání bývá paradoxně snazší v rozvojových zemích než v zemích industrializovaných. Hlavní příčinou je odlišné nastavení profesní identity učitelů. V rozvinutých zemích pedagogové obvykle absolvují pětileté až šestileté univerzitní studium zaměřené obvykle na jeden konkrétní obor, kvůli čemuž se vnímají primárně jako biologové, chemici či fyzici. Tento postoj pak často tvoří bariéru při snaze o integraci učiva. Naproti tomu v rozvojových zemích není toto oborové vymezení tak striktní, což usnadňuje přijetí interdisciplinárního přístupu. Potřeba integrovaných kurzů zde navíc často vychází přímo z praxe a každodenních potřeb místních obyvatel. Namísto akademického sestavování osnov „shora“ vznikají vzdělávací programy na základě lokálních požadavků a zaměřují se na konkrétní činnosti, jako je pěstování rostlin, zajištění čisté vody či zdravotní osvěta (Frey, 1989).

S integrovanou výukou také souvisí moderní vzdělávací koncepty, jako jsou STEM a STEAM. Koncept STEM vznikl v 90. letech v USA a sdružuje oblasti přírodních věd (Science), techniky (Technology), inženýrství (Engineering) a matematiky (Mathematics). V současnosti se tento model dále transformuje také na STEAM, kde složka A (Arts) zastupuje kreativitu, schopnost formulace a prezentace (Podpora krajského akčního plánování, 2026). S interdisciplinárním přístupem úzce souvisí také projektové učení, které je orientováno na žáka a řešení komplexních problémů reálného světa prostřednictvím dotazování. Dalším významným příkladem z praxe je finské fenoménové učení, v rámci něhož žáci základních škol pracují na více týdenních interdisciplinárních projektech vycházejících z jejich vlastních otázek (Drake & Reid, 2020).

2.2 Analýza přístupů ve výuce buněčné biologie, buněčného dýchání a mitochondrie

V této kapitole jsou porovnávány poznatky z vybraných odborných studií zaměřených na výuku buněčné biologie, zejména na problematiku buněčného dýchání a funkce mitochondrií v různých vzdělávacích kontextech.

Marshall et al. (2023) provedli průzkum ve čtyřech třídách žáků 7. a 8. ročníků základní školy ve Spojených státech amerických se zaměřením na hloubku jejich znalostí o struktuře a funkci mitochondrií. Výzkum probíhal formou workshopu, který kombinoval několik metodických přístupů. Úvodní fáze byla založena na diagnostice již nabytých vědomostí ze školy, kdy žáci měli za úkol detailně nakreslit strukturu mitochondrie. Následovala diskuse nad variabilitou tvarů mitochondrií a párovací aktivita, při které žáci k jednotlivým strukturám přiřazovali odpovídající funkce. Klíčovým prvkem workshopu byla tvorba hypotéz o roli mitochondriálních struktur v buněčných procesech, čímž autoři podporovali rozvoj kritického myšlení. Teoretické poznatky byly následně fixovány pomocí praktického 3D modelování různých typů mitochondrií z modelíny. Výsledky šetření potvrdily vysokou míru zapojení a zvýšený zájem o problematiku u většiny respondentů. Zpětná vazba ukázala, že i v krátkém časovém úseku lze efektivně korigovat negativní postoje k přírodovědným oborům. Marshall et al. (2023) zdůrazňují, že díky nízké nákladovosti a časové nenáročnosti je tento model výuky snadno aplikovatelný v běžné školní praxi. Pro vyšší stupně vzdělávání navíc navrhuji zvýšení obtížnosti diskuse směrem k patologii mitochondrií nebo interakcím mezi organelami.

Pastrana-Pineda et al. (2025) kritizují tradiční přístup k výuce energetického metabolismu, který je obvykle založen na teoretických přednáškách a studiu učebnic se

zaměřením na metabolismus sacharidů. Autoři zastávají tezi, že proces získávání a interpretace kvantitativních metabolických dat přispívá k lepší srozumitelnosti abstraktních pojmů. Respirimetrické studie v tomto kontextu představují nástroj pro studium mitochondriálního metabolismu v reálném čase. Cílem laboratorní výuky bylo seznámit studenty s principy respirometrie a analýzou dat z oxymetru. Studenti si měli osvojit obecný postup experimentu, interpretaci dat z oxymetru, výpočet syntetizovaných molekul ATP za sekundu a pochopení rozdílů v produkci ATP mezi různými typy buněk. Metodika zahrnovala práci s chemikáliemi vyžadujícími zvýšenou opatrnost a využití oxymetru. Výzkumu se zúčastnilo 31 studentů, z nichž většinu tvořili studenti bakalářských programů v Mexiku. Úroveň znalostí byla testována dotazníkovým šetřením a srovnáním pretestu a posttestu. Před experimentem studenti hodnotili své porozumění oxidativní fosforylaci průměrnou známkou 3,87 (na stupnici 1–10). Po absolvování praktické části se toto sebehodnocení zvýšilo na průměr 8,29. Celkem 77,42 % respondentů zcela souhlasilo s tvrzením, že aktivita podstatně přispěla k jejich pochopení tématu, a 83,87 % studentů zcela souhlasilo s tím, že respiimetrické experimenty jsou užitečným nástrojem pro biomedicínský výzkum. Pastrana-Pineda et al. (2025) v závěru uvádějí, že interaktivní zkušenost s měřením transportu elektronů a syntézy ATP je pro studenty přínosnější než studium statických grafů v literatuře. Výsledky studie naznačují, že integrace praktických experimentů do kurzů bioenergetiky přináší významné vzdělávací výhody.

Mahrer & Mahmud (2020) se ve své studii zaměřili na úroveň znalostí a výskyt miskonceptů v oblasti buněčného dýchání u 23 žáků druhého stupně základní školy v Malajsii. Pro sběr dat autoři využili test slovních asociací (WAT) a dotazník založený na tvorbě vět. Výsledky testu WAT naznačily, že představy žáků o tématu jsou neúplné. Nejsilnější asociace respondenti vykazovali u pojmů jako kyslík, energie a oxid uhličitý. Naproti tomu nejslabší vazby byly zaznamenány u termínů buněčné dýchání a adenosintrifosfát (ATP). Tato skutečnost naznačuje, že žáci mají potíže s pochopením procesu dýchání na molekulární úrovni. Z vytvořené kognitivní mapy dále vyplynulo, že žáci vnímají dýchání primárně jako fyzický proces (výměna plynů při vdechu a výdechu), nikoliv jako komplexní biochemický proces vedoucí k produkci energie. Studie tak potvrzuje, že znalosti žáků jsou v oblasti dýchání fragmentované a obsahují řadu mylných představ. Autoři studii shrnují tím, že žáci postrádají schopnost propojit poznatky z makroskopické, mikroskopické a molekulární úrovně do jednoho logického celku.

Podle autorů Gregers & Lunde (2021) vnímají žáci na nižším stupni středních škol buňku spíše jako abstraktní pojem. Často si ji pletou s atomy či molekulami a kvůli přirovnání ke „stavebním kamenům“ ji považují za izolovanou jednotku uvnitř těla, nikoliv za jeho funkční součást. Výzkum provedený mezi norskými žáky 8. tříd pomocí pretestu a posttestu ukázal úroveň vědomostí žáků nejen o buňce, ale i o buněčném dýchání. Bylo zjištěno, že i po výuce dokázali vědecky vysvětlit buněčné dýchání pouze dva respondenti. Část žáků sice spojovala mitochondrie s produkcí energie, ale bez hlubšího pochopení souvislostí. Studie navíc odhalila časté mylné představy, jako je zaměňování buněčného dýchání s fotosyntézou nebo tvrzení, že přímým zdrojem energie je jídlo a pití. Z výsledků vyplývá, že žáci ke studiu přistupují se značným zjednodušením. Pro učitele je proto klíčové na tyto mylné představy aktivně reagovat a propojovat nové informace s tím, co už žáci vědí. Autoři doporučují zaměřit výuku na menší počet buněčných struktur, které jsou však zásadní pro pochopení klíčových funkcí organismu.

Wierdsma et al. (2016) realizoval studii na nizozemských středních školách zaměřenou na rozvoj porozumění konceptu buněčného dýchání prostřednictvím rekontextualizace. Tento proces je v edukačním prostředí chápán jako vědomá aktivita, během níž si žáci interpretují a nově definují své chápání určitého pojmu při jeho přenosu mezi odlišnými kontexty, což vyžaduje transformaci a adaptaci získaných poznatků pro potřeby nového rámce. Sběr dat probíhal pomocí analýzy pojmových map konstruovaných studenty před a po výuce a následným testem rekontextualizace, který obsahoval úlohy z různých oblastí společenské praxe. Samotný výukový modul byl strukturován do tří praktických okruhů: fyziologie cvičení, biologický výzkum a biotechnologie. Úvodní fáze se věnovala problematice fyziologických rozdílů mezi sprintery a maratonci, přičemž studium svalové fyziologie se ukázalo jako nedostačující pro komplexní zodpovězení otázky. V další fázi se proto žáci zaměřili na mechanismy buněčného dýchání u modelových organismů, kde jako nejvhodnější zvolili kvasinky. Následně se v rámci biotechnologické praxe identifikovaly dva základní způsoby dýchání, aerobní a anaerobní, což vyústilo v návrh a realizaci vlastního experimentu s kvasinkami pro změření rozdílů mezi těmito procesy. V závěru výuky žáci aplikovali nově nabyté vědomosti zpět na oblast fyziologie cvičení, kde diskutovali o neslučitelnosti alkoholového kvašení s lidským organismem a definovali kyselinu mléčnou jako variantu anaerobního dýchání u člověka. Výsledky ukázaly, že zatímco před výukou žáci chápali dýchání pouze jako prosté spalování glukózy, po absolvování modulu dokázala většina studentů v pojmových mapách správně rozlišit mezi aerobní a anaerobní respirací. Nicméně test

rekontextualizace odhalil, že v neznámých situacích, jako byly úlohy zaměřené na bakterie či specifické medicínské problémy, měli studenti s aplikací konceptu stále značné potíže. Studie tak potvrzuje, že rozvoj schopnosti rekontextualizovat komplexní biologické pojmy je sice možný, ale vyžaduje delší časovou dotaci a systematické procvičování v široké variabilitě kontextů.

Veselinovska et al. (2011) analyzovali kurikulum a aplikované metody výuky v kurzu buněčné biologie na univerzitě Goce Delcev v Makedonii. Autoři uvádí, že ačkoliv je výuka realizována kombinací přednášek a laboratorních cvičení, dominantním prvkem zůstává frontální výuka orientovaná na učitele, což vede k pasivitě studentů. Cílem praktických cvičení je pak především osvojení technických dovedností a prohloubení teoretických znalostí z přednášek. V rámci snahy o eliminaci povrchního učení a rozvoj strategií hlubokého učení autoři navrhuji implementaci aktivizačních metod. Mezi klíčové strategie řadí týmovou práci pro rozvoj komunikačních kompetencí, případové studie demonstrující vědecký proces a tvorbu posterů podporující kooperaci v malých skupinách a hlubší porozumění danému tématu. Významným nástrojem je rovněž koncepční mapování, které studentům napomáhá v orientaci v komplexní terminologii a v pochopení strukturně funkčních vztahů mezi buněčnými organelami. Veselinovska et al. (2011) v závěru zdůrazňují, že pro efektivní integraci absolventů do vědecké praxe je nezbytný přechod od pouhého předávání faktů k rozvoji obecných dovedností, jako je řešení problémů, návrh experimentů a kritická práce s daty.

Z uvedených studií a analýz vyplývá, že buněčná biologie a zejména proces buněčného dýchání představují pro žáky i studenty vysoce abstraktní a náročné téma. Často se v těchto tématech vyskytuje mnoho miskoncepcí nebo neúplných informací a tak žákům uniká důležitost a podstata celého buněčného dýchání a tvorba energie pro tělo. Analýzy také potvrzují, že tradiční frontální výuka často selhává v propojování makroskopické, mikroskopické a molekulární úrovně. Jako efektivní řešení se jeví zapojení aktivizačních metod jako jsou například experimenty, modelování, diskuse, tvorba hypotéz nebo koncepční mapy, aby žáci viděli jednotlivé procesy v reálném světě a ne jen v učebnicích. Studie také dokazují důležitost provádění diagnostiky žákovských představ, které odhalují miskoncepce v tématech. Díky těmto diagnostikám se může zlepšit efektivnost výuky a zlepšení ucelených znalostí žáků na danou problematiku.

2.3 Analýza Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia

2.3.1 Kurikulární dokumenty

Nejvyšší kurikulární dokument České republiky nazývaný Národní program rozvoje vzdělávání, také znám pod názvem Bílá kniha, byl vydán v roce 2001 Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy. Již v tomto dokumentu jsou zmínky o mezipředmětové integraci jako například:

„Bude podporována celková změna charakteru výuky na všech stupních škol tak, aby byly využívány a šířeny nové aktivní výukové strategie, zejména projektová výuka a různé formy mezipředmětové integrace, které umožní rozvoj klíčových kompetencí, jako nástroje přeměny encyklopedického pojetí vzdělávání“ (MŠMT, 2001).

Z uvedeného úryvku vyplývá, že různé podoby mezipředmětové integrace by měly být uplatňovány na všech stupních vzdělávání, včetně středních škol.

Kurikulární dokumenty jsou pak dále vytvářeny na dvou úrovních – státní a školní. Státní úroveň zahrnuje dva dokumenty. Prvním je Národní program pro vzdělávání (NPV) (MŠMT, 2001), který stanovuje obecné cíle a požadavky k počátečnímu vzdělávání jako celku a druhým jsou Rámcové vzdělávací programy (RVP), které již určují rámce a specifikace pro jednotlivé stupně vzdělání (předškolní, základní a střední) (MŠMT, 2007).

Na školní úrovni to jsou Školní vzdělávací programy (ŠVP), které specifikují, jak se vzdělávání v dané škole konkrétně realizuje. Každá škola si svoje ŠVP vytváří samostatně, avšak v souladu se zásadami a požadavky vymezenými v příslušném RVP (MŠMT, 2007).

2.3.2 Rámcový vzdělávací program pro gymnázia

Dle RVP G je cílem vzdělávání vytvářet náročné a podnětné studijní prostředí, v němž si žáci osvojí klíčové kompetence potřebné pro osobní, občanský i profesní život. Vzdělávání má žákům poskytnout vyváženou strukturu vědění, schopnost propojovat poznatky do smysluplných souvislostí a motivaci k celoživotnímu učení. Důraz je kladen na rozvoj tvořivého myšlení, samostatnosti a pohotovosti žáků prostřednictvím diferencované a integrované výuky, využívající moderní metody a organizační formy práce (MŠMT, 2007).

Již v cílech RVP G se tedy objevují odkazy na integraci poznatků, které podporují hlubší porozumění učivu a využití integrované výuky.

V rámci RVP G jsou jednotlivé předměty uspořádány do vzdělávacích oblastí, jež naznačují možnosti jejich vzájemného propojení. Pro téma mitochondrie je klíčová oblast

Člověk a příroda, zahrnující předměty biologie, chemie, fyziky, geografie a geologie. V rámci charakteristiky této vzdělávací oblasti je v dokumentu přímo uvedeno, že je potřeba odstraňovat imaginární bariéry mezi předměty.

„Vzdělávací oblast Člověk a příroda má proto také umožnit žákům poznávat, že bariéry mezi jednotlivými úrovněmi organizace přírody reálně neexistují, jsou často jen v našem myšlení a v našich izolovaných přístupech. Svým obsahovým, strukturním i metodickým pojetím má oblast vytvářet prostředí koordinované spolupráce všech gymnaziálních přírodovědných vzdělávacích oborů“ (MŠMT, 2007).

V obecných podmínkách je pak dokonce uvedeno, že školám je umožněno zavést integrovaný předmět vytvářený v souladu s požadavky RVP G. Ty stanovují, že integrovaný předmět může na úrovni ŠVP spojovat celé vzdělávací obsahy jednotlivých oborů nebo jejich vybrané části.

Dalším prvkem v RVP G, který usnadňuje zavedení integrované výuky je stanovení minimální časové dotace pro vzdělávací oblasti. Toto částečné uvolnění pravidel umožňuje školám, aby rozdělovaly časovou dotaci více podle svých preferencí. Integrace vzdělávacího obsahu může být tedy podpořena i vhodnou distribucí časové dotace. (Hasová, 2011).

2.3.3 Téma mitochondrie v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia

Téma mitochondrie a buněčné dýchání se objevuje především v biologii, a to v rámci obecné biologie, kde se žáci seznamují se stavbou a funkcí buňky nebo v biologii člověka při probírání metabolismu. Dále na něj navazuje chemie, konkrétně část biochemie, která se zabývá metabolickými procesy probíhajícími v organismu. Okrajově se může mitochondrie dotýkat také fyziky, a to zejména v souvislosti s přeměnami energie nebo v matematice, kde bychom například počítali energetické výnosy buněčného dýchání nebo účinnost tohoto procesu, i když v těchto předmětech nebývá výslovně zmíněno.

Z výše uvedeného vyplývá, že se toto téma objevuje v různých předmětech, a žáci si často ani neuvedomí, že jde stále o tentýž proces, pokud na to učitelé výslovně neupozorní. Zavedení integrovaného předmětu by proto mohlo být efektivnějším řešením, protože žáci by si mohli lépe propojit jednotlivé poznatky a hlouběji porozumět souvislostem.

3 Metodika práce

3.1 Výuková jednotka: Mitochondrie jako energetická centra buňky

V rámci praktické části bakalářské práce byla navržena dvouhodinová výuková jednotka zaměřená na téma mitochondrií jakožto energetických center buněk. Cílem této jednotky je, aby žáci na základě integrovaného přístupu pochopili strukturu mitochondrie a dokázali vysvětlit princip uvolňování energie z organických látek v procesu buněčného dýchání a lokalizace jeho jednotlivých fází v rámci buněčných struktur. Výuka je koncipována tak, aby propojovala teoretické znalosti buněčné biologie a biochemie s praktickým experimentem a matematickými výpočty energetické bilance.

V souladu s RVP jsou u žáků rozvíjeny především kompetence k učení, kdy žáci pracují s odbornou terminologií (např. glykolýza, Krebsův cyklus, oxidativní fosforylace) a uvádějí biologické děje do širších biochemických souvislostí. Skrze doplňující otázky v prezentaci a realizovaný experiment dochází k posílení kompetencí k řešení problémů. Je aplikováno několik metod výuky v souladu s klasifikací dle autorů Maňáka & Švece (2003). Dominantní roli zaujímá metoda slovní, realizovaná formou vysvětlování a řízeného rozhovoru nad tématem. Fáze praktického experimentu uplatňuje metody dovednostně-praktické a propojení vizuálních prvků a schémat v prezentaci a v pracovním listu pak představuje metodu názorně-demonstrační.

Realizací této hodiny žáci procvičují zejména schopnost transformovat textové a vizuální informace do uceleného schématu metabolického procesu. Vedle osvojení faktických znalostí o dýchacím řetězci je kladen důraz na rozvoj kritického myšlení. Tato struktura výuky zajišťuje, že žáci nezískávají pouze izolované poznatky, ale chápou mitochondrie jako dynamický systém nezbytný pro existenci všech eukaryotických organismů.

3.2 Materiály pro výukovou jednotku

3.2.1 Prezentace

Pro výuku byla připravena prezentace (viz příloha 8.1) sloužící jako komplexní metodická pomůcka pro integrovanou výuku mitochondrie a buněčného dýchání, která propojuje poznatky z biologie, chemie a matematiky.

Namísto tradičního frontálního výkladu začíná hodina experimentem s kvasnicemi, který žákům umožňuje v reálném čase pozorovat projevy metabolismu, konkrétně uvolňování plynů v podobě oxidu uhličitého. Žáci na základě vlastního pozorování pak sami odvodí, jak funguje alkoholové kvašení.

Obsah je strukturován tak, aby pomocí videa a schémat usnadnil pochopení abstraktních dějů v cytoplazmě, mitochondriální matrix a na vnitřní membráně mitochondrie.

Prezentace je doplněna diskusními otázkami, které žáky motivují ke kritickému myšlení a vyžadují aplikaci znalostí v širším kontextu. Jde například o praktické dotazy typu: „Proč nemůže být voda horká při pokusu?“ nebo „Víte, proč je pro buňku výhodnější, aby reakce probíhaly po sobě a ne všechny najednou?“

Jádro materiálu tvoří detailní rozbor aerobní a anaerobní fáze, kde se integruje biochemické názvosloví s popisem energetických změn.

Interaktivita je podpořena schématem mitochondrie a dýchacího řetězce, do kterých žáci doplňují klíčové pojmy, čímž si fixují návaznost jednotlivých kroků a terminologii.

V závěrečné fázi prezentace přesahuje čistě biologický rámec a zaměřuje se na aplikaci matematiky. Žáci řeší úlohy na výpočet celkového zisku ATP a následně vypočítávají energetickou účinnost buněčného dýchání v procentech. Právě tento výpočet, který zahrnuje i fyzikální pohled na tepelné ztráty, se snaží ukázat skutečný přesah mezi obory, což je hlavním smyslem integrované výuky.

3.2.2 Pracovní list

Pracovní list (viz příloha 8.2) slouží jako interaktivní doplněk, který žáky aktivně zapojuje do procesu učení a napomáhá udržet jejich pozornost během celého výkladu. Obsahuje strukturované poznámky s vynechanými místy, kam žáci průběžně doplňují klíčové pojmy a chemické vzorce, což eliminuje potřebu mechanického opisování a poskytuje více prostoru pro pochopení souvislostí.

V listu jsou opět využita schémata z prezentace, což umožňuje efektivní procvičování probrané látky přímo v hodině. Na první straně trénují také biologický nákres, kdy žáci na základě schématu buňky samostatně kreslí mitochondrii a popisují její vnitřní strukturu. Tento postup pomáhá k lepší fixaci odborné terminologie a prostorové představivosti o procesech probíhajících v organele.

3.2.3 Pokus

V úvodu hodiny byl realizován jednoduchý pokus. Žáci se rozdělili do dvojic či trojic a smíchali jednu lžičku kvasnic, jednu lžičku cukru a 100 ml teplé vody. Tuto směs následně přelili do baňky s úzkým hrdlem, na kterou nasadili gumový balónek. Připravené

baňky byly umístěny na teplé, slunné místo, aby se podpořila metabolická aktivita kvasinek. Během následného výkladu došlo k nafouknutí balónků v důsledku uvolňování oxidu uhličitého, který vzniká jako vedlejší produkt procesu alkoholového kvašení.

3.3 Intrinsic motivation inventory (IMI)

Po uskutečnění výukové jednotce byl žákům rozdán dotazník vnitřní motivace (Intrinsic Motivation Inventory, IMI). IMI je flexibilní hodnotící nástroj, který určuje úroveň vnitřní motivace subjektů souvisejících s cílovou aktivitou. Hodnotí se tyto podškály - zájem / potěšení, vnímaná kompetence, úsilí / důležitost, tlak / napětí (negativní aspekt), vnímaná autonomie (volba) a vnímaná užitečnost.

Jedinečnost IMI spočívá v tom, že jednotlivé podškály jsou na sobě nezávislé. Výzkumník tak může libovolně zařazovat či vylučovat konkrétní faktory podle potřeb daného šetření, aniž by tím narušil validitu ostatních měřených dimenzí. Dalším přínosem je vysoká adaptabilita jednotlivých tvrzení, která lze snadno modifikovat pro konkrétní typ aktivity. Obecnou položku typu „Byl jsem v této činnosti docela zručný“ je tedy možné pro účely přesnější reflexe situace upravit například na „Byl jsem docela zručný v podávání tenisového míčku“ (McAuley et al., 1989).

Z teoretického hlediska je za přímé měřítko vnitřní motivace považována především podškála zájmu a potěšení. Ostatní dimenze fungují spíše jako prediktory. Zatímco vnímaná autonomie a kompetence jsou chápány jako pozitivní prediktory vnitřní motivace i následného sebehodnocení, faktor tlaku a napětí působí v tomto vztahu negativně (Center for Self-Determination Theory, 2026).

3.3.1 Forma dotazníku pro tuto práci

Pro účely této bakalářské práce bylo do dotazníku vybráno celkem 10 položek. Největší zastoupení mají čtyři otázky z podškály zájmu a potěšení, jelikož se jedná o klíčový faktor pro zjištění, zda žáky integrovaná výuka bavila a zaujala. Ostatní dimenze jsou zastoupeny vždy jednou otázkou, konkrétně jde o vnímanou kompetenci, úsilí a důležitost, tlak a napětí a vnímanou volbu. Výběr uzavírají dvě otázky zaměřené na vnímanou užitečnost aktivity. V závěru dotazníku byl navíc žákům ponechán prostor pro vlastní komentáře k průběhu hodiny formou otevřené otázky. Žáci volili na stupnici od 1 (zcela nesouhlasím) do 7 (zcela souhlasím), jak moc s daným výrokem z daných podškál souhlasí. Hodnota 4 zastupovala neutrální názor. Použité výroky v dotazníku byly následující:

- Tato dvouhodinovka mě velmi bavila.
- Po většinu dvouhodinovky jsem ztrácel/a pozornost.
- Myslím si, že to byla nudná dvouhodinovka.
- Popsal/a bych tuto dvouhodinovku jako velmi zajímavou.
- Myslím si, že mi tato dvouhodinovka šla.
- Při dvouhodinovce jsem se opravdu snažil/a.
- Během dvouhodinovky jsem se necítil/a vůbec nervózně.
- Zapojil/a jsem se do dvouhodinovky, protože jsem chtěl/a.
- Věřím, že tato dvouhodinovka byla užitečná a může se mi to někdy hodit.
- Věřím, že mi tato dvouhodinovka pomohla lépe porozumět širším spojitostem okolo buněčného dýchání.

A poslední otevřená otázka: Pokud máte jakékoliv komentáře nebo postřehy k dvouhodinovce, budu ráda, když mi je napíšete. Můžete okomentovat průběh, obtížnost otázek v prezentaci nebo třeba zda vám úloha přišla opravdu integrovaná a máte pocit, že jste si nějaké své vědomosti propojili. Zpětná vazba je pro mne velmi cenná.

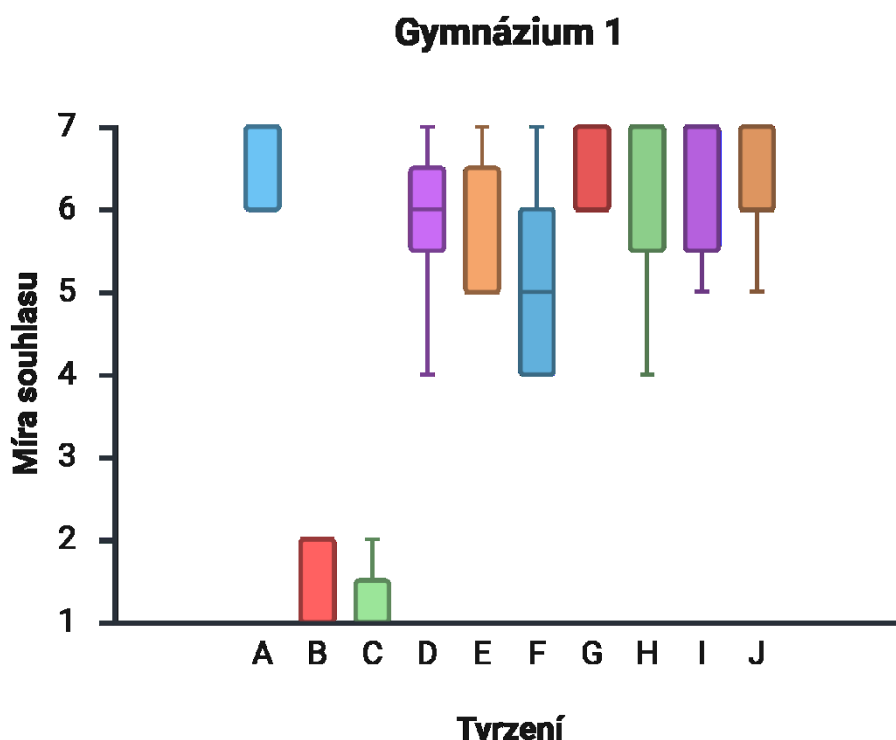
3.4 Výzkumný soubor

Výuková jednotka byla realizována na dvou gymnáziích. První z nich se nachází ve Středočeském kraji (dále jen Gymnázium 1), druhé v kraji Jihočeském (dále jen Gymnázium 2). Na Gymnáziu 1 proběhla dvouhodinová výuka v rámci semináře Obecné biologie ve třetím ročníku. Této výuky se zúčastnilo 7 žáků, konkrétně 2 chlapci a 5 dívek. Všichni tito žáci navštěvují nebo v minulosti navštěvovali biologické semináře a většina z nich plánuje po ukončení střední školy pokračovat ve studiu přírodních věd. Na Gymnáziu 2 byla výuka realizována v maturitním semináři z biologie ve čtvrtém ročníku. Zúčastnilo se jí 14 žáků, z toho 6 chlapců a 8 dívek. S výjimkou jednoho žáka všichni v minulosti navštěvovali volitelné biologické semináře. Tři žáci z této skupiny uvedli, že se v budoucnu neplánují věnovat přírodovědným oborům. Výsledky dotazníku byly následně převedeny do dvou grafů pomocí nástroje BioRender (<https://biorender.com>)

4 Výsledky

4.1 Vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 1

Obrázek 1 ukazuje výsledky dotazníku vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 1.



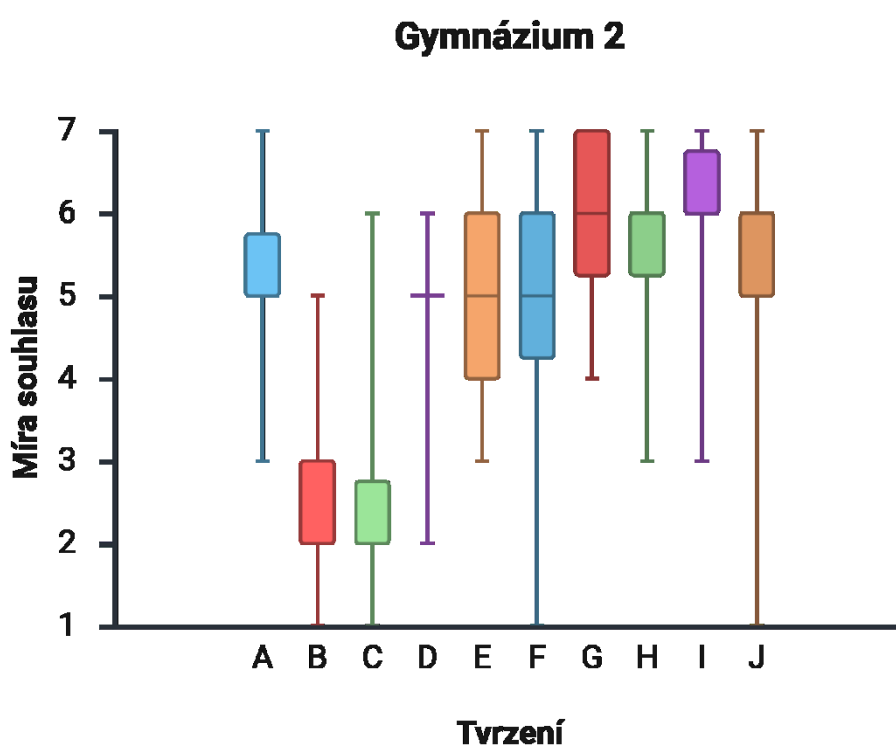
Obrázek 1. Výsledky dotazníku vnitřní motivace sedmi žáků prvního gymnázia. Hodnotící stupnice míry souhlasu od 1 (zcela nesouhlasím) do 7 (zcela souhlasím). Čarami je vyznačen medián. Tvrzení: A – Tato dvouhodinovka mě velmi bavila. B – Po většinu dvouhodinovky jsem ztrácel/a pozornost. C – Myslím si, že to byla nudná dvouhodinovka. D – Popsal/a bych tuto dvouhodinovku jako velmi zajímavou. E – Myslím si, že mi tato dvouhodinovka šla. F – Při dvouhodinovce jsem se opravdu snažil/a. G – Během dvouhodinovky jsem se necítil/a vůbec nervózně. H – Zapojil/a jsem se do dvouhodinovky, protože jsem chtěl/a. I – Věřím, že tato dvouhodinovka byla užitečná a může se mi to někdy hodit. J – Věřím, že mi tato dvouhodinovka pomohla lépe porozumět širším spojitostem okolo buněčného dýchání.

Výsledky dotazníku vnitřní motivace u žáků na Gymnáziu 1 ukazují na celkově velmi pozitivní přijetí realizované výukové jednotky. Z Obrázku 1 je patrné, že většina žáků hodnotila hodinu jako zábavnou a zajímavou (tvrzení A a D), přičemž medián odpovědí se v obou případech pohyboval na horní hranici stupnice. Tento zájem potvrzuje i velmi nízká míra souhlasu s tvrzeními o ztrátě pozornosti či nudě (tvrzení B a C). Žáci rovněž potvrzují jejich aktivní přístup k výuce u tvrzení H, které sledovalo zapojení do aktivit z vlastní vůle, kde se odpovědi koncentrovaly u nejvyšších hodnot. V oblasti emočního rozpoložení (tvrzení G) se všichni respondenti cítili uvolněně a nepociťovali nervozitu. Žáci rovněž vykazovali vysokou míru vnímaného přínosu, kdy většina

respondentů věří, že jim výuka pomohla lépe porozumět širším souvislostem buněčného dýchání (tvrzení J). Mírně vyšší variabilita odpovědí se projevila u tvrzení F, které se týkalo vynaloženého úsilí během hodiny. I přes tuto individuální odchylku však výsledky naznačují, že zvolená forma výuky úspěšně podpořila vnitřní motivaci žáků a byla jimi vnímána jako užitečná.

4.2 Vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 2

Obrázek 2 ukazuje výsledky dotazníku vnitřní motivace žáků na Gymnáziu 2



Obrázek 2. Výsledky dotazníku vnitřní motivace čtrnácti žáků druhého gymnázia. Hodnotící stupnice míry souhlasu od 1 (zcela nesouhlasím) do 7 (zcela souhlasím). Čárami je vyznačen medián. Tvrzení: A – Tato dvouhodinovka mě velmi bavila. B – Po většinu dvouhodinovky jsem ztrácel/a pozornost. C – Myslím si, že to byla nudná dvouhodinovka. D – Popsal/a bych tuto dvouhodinovku jako velmi zajímavou. E – Myslím si, že mi tato dvouhodinovka šla. F – Při dvouhodinovce jsem se opravdu snažil/a. G – Během dvouhodinovky jsem se necítil/a vůbec nervózně. H – Zapojil/a jsem se do dvouhodinovky, protože jsem chtěl/a. I – Věřím, že tato dvouhodinovka byla užitečná a může se mi to někdy hodit. J – Věřím, že mi tato dvouhodinovka pomohla lépe porozumět širším spojitostem okolo buněčného dýchání.

V případě druhého gymnázia jsou výsledky dotazníku vnitřní motivace o něco méně homogenní než u předchozí skupiny, přesto si však zachovávají kladný trend. Hodnocení zájmu a zábavnosti (tvrzení A a D) se většinou pohybuje v horní polovině stupnice, ovšem

s patrně širším rozptylem odpovědí. Žáci vyjadřovali spíše nesouhlas s tvrzeními o nudě či ztrátě pozornosti (tvrzení B a C), což potvrzuje, že je zvolené téma i forma výuky dokázaly zaujmout, ale nepovažovali téma například za tolik zajímavé. Větší variabilita je patrná u tvrzení F, které se týká vynaloženého úsilí, což naznačuje, že ne všichni žáci měli motivaci zapojit se do hodiny. U tvrzení G o nervozitě zůstává medián vysoký, což značí, že se většina žáků cítila klidně. Přestože je u tvrzení J patrná širší škála názorů na přínos hodiny pro pochopení souvislostí buněčného dýchání, medián odpovědí stále indikuje shodu na užitečnosti realizované výukové jednotky. Při analýze dat je ještě nutné zohlednit skutečnost, že většinu nejvíce negativních hodnot v grafu zaznamenal jeden konkrétní respondent. Tento žák v rámci slovního hodnocení uvedl: „Obtížnost výkladu i otázek byla velmi podhodnocená. Bylo to spíše opakování základů.“ Z této zpětné vazby lze usoudit, že pro daného respondenta nebyla náplň hodiny dostatečně podnětná, což se projevilo i v jeho hodnocení konkrétních položek, například u tvrzení J (hodnota 1) či u tvrzení D (hodnota 2). Podobný názor sdíleli další dva žáci, kteří v otevřené otázce rovněž konstatovali, že otázky byly občas příliš jednoduché. Velmi kladně byl v rámci otevřených odpovědí hodnocen především zařazený pokus. Celkem čtyři žáci v reflexi uvedli, že se jim experiment líbil a považovali za zajímavé vidět anaerobní proces v reálném čase. Z odpovědí lze dále vyvodit, že zvolený integrovaný přístup pomohl většině respondentů lépe pochopit probíraný děj v širších souvislostech. Žáci v této souvislosti přímo uvedli: „Tato hodina mi moc pomohla pochopit děje buněčného dýchání.“ nebo „Pochopila jsem vše, co jste říkala a konečně pochopila i souvislosti okolo.“

4.3 Porovnání výsledků na Gymnáziu 1 a Gymnáziu 2

Při srovnání obou skupin lze pozorovat, že žáci na Gymnáziu 2 hodnotili výukovou jednotku v některých aspektech kritičtěji. Tento rozdíl může být zapříčiněn tím, že se jednalo o žáky maturitního ročníku, kteří již danou problematiku v rámci semináře opakovali a většina informací pro ně tedy nebyla nová. Tomu odpovídají i odpovědi v otevřených otázkách dotazníku, kde tři respondenti uvedli, že pro ně byly otázky příliš lehké. Naproti tomu žáci na Gymnáziu 1, kteří byli ve třetím ročníku, se s tématem buněčného dýchání naposledy setkali v prvním ročníku. V jejich případě tak výuka sloužila k obnovení a prohloubení dříve získaných znalostí, které na rozdíl od druhé skupiny nebyly dosud probírány v takové molekulární podrobnosti.

Dalším relevantním faktorem mohl být odlišný pedagogický styl vyučujících. Na Gymnáziu 1 je výuka standardně vedena pedagogem s delší praxí a konzervativnějším

přístupem, což mohlo u žáků vyvolat vyšší míru nadšení z nově zařazených aktivizačních metod. Naopak na Gymnáziu 2, kde působí mladší vyučující využívající modernější formy výuky, nebyl kontrast mezi běžnou hodinou a danou výukovou jednotkou tak výrazný, což se mohlo odrazit v nižší míře vnímané atraktivity. Nižší skóre v podškále vnímané užitečnosti u žáků na Gymnáziu 2 lze rovněž vysvětlit jejich vysokou úrovní vstupních znalostí. Dle vyjádření vyučujícího vykazuje tato třída nadstandardní studijní výsledky, což mohlo u žáků vést k pocitu, že jim výuka nepřinesla zásadní nové poznatky, neboť se většina v dané problematice dobře orientovala již před zahájením experimentu.

5 Diskuze

Výsledky dotazníku vnitřní motivace žáků na dvou vybraných gymnáziích naznačují, že integrovaný přístup k tématu mitochondrií a buněčného dýchání může mít výrazně pozitivní vliv na zapojení studentů a jejich vnímání užitečnosti učiva. Tato zjištění souhlasí s poznatky, které publikovali Robledo & Roleda (2024) , kteří při implementaci interdisciplinární aktivity s využitím improvizovaného mikrobiálního palivového článku (iMFC) při výuce bioelektriny identifikovali u studentů vysokou míru motivace a zapojení do aktivity (89 %) a celkové spokojenosti a nadšení v rámci dané aktivity (95 %). V obou případech se tedy potvrzuje, že pokud je abstraktní koncept, jakým je bioelektrina nebo buněčné dýchání, propojen s praktickou činností (v případě této práce, experiment s kvasinkami, u autorů stavba iMFC), může docházet k posílení akademických emocí, nadšení a eliminaci pasivního přístupu k učení.

Srovnání výsledků mezi Gymnáziem 1 a Gymnáziem 2 však odhalilo zajímavou variabilitu, která může souviset s kontextem výuky nebo vstupními znalostmi žáků. Zatímco žáci 3. ročníku (Gymnázium 1) vykazovali velmi homogenní a vysokou míru zájmu, u maturantů (Gymnázium 2) byla patrná vyšší kritičnost a nižší vnímaná užitečnost. Z kvalitativní analýzy otevřených odpovědí vyplývá, že pro část žáků v maturitním semináři byla náročnost úloh podhodnocená, což vedlo k vnímání aktivity jako prostého opakování dříve osvojeného učiva. Tento jev koresponduje s analýzou Dinsmora & Alexandera (2012), kteří uvádějí, že přístup k učení je silně ovlivněn charakteristikami studenta a vnímaným účelem učení. Pro žáky před maturitou, kteří již mají hlubší znalosti, může přílišná snaha o integraci na základní úrovni působit kontraproduktivně, zatímco pro mladší žáky může jít o klíčový moment propojení dříve izolovaných faktů.

Tento nesouhlas v názoru na efektivitu výuky je možné hlouběji interpretovat hierarchickým modelem integrace, jenž definovali Chipamaunga & Prozesky (2018). Autoři na základě fenomenografického šetření koncipují integrační schopnost jako gradující dovednost, která se lineárně rozvíjí od pouhého pasivního hromadění izolovaných faktů až po stadium nevědomé kompetence, v němž dochází k automatické kognitivní syntéze informací. Zatímco žáci na Gymnáziu 1 operovali převážně v rovině vědomého propojování, kdy museli vztahy mezi biologií a chemií aktivně a s jistým úsilím vyhledávat, u maturantů na Gymnáziu 2 už můžeme předpokládat, že informace propojují mnohem pokročilejším způsobem, který připomíná spíše ucelený a automatický systém. V momentě, kdy výukové aktivity nerespektují aktuální úroveň integračního vývoje žáka, může nastat prokazatelný deficit vnitřní motivace, zejména v podškále vnímané užitečnosti

učiva. Z toho vyplývá, že z hlediska didaktické praxe na gymnáziích je proto klíčové diferencovat komplexitu interdisciplinárních vazeb tak, aby odpovídaly tomu, co se žáci v daném věku a situaci dokážou s dopomocí naučit, a tím podporovaly jejich další duševní rozvoj.

Chipamaunga & Prozesky (2018) uvádí, že vysoký objem faktografického učiva a orientace na sumativní hodnocení často nutí studenty prioritizovat povrchové strategie učení, jako je mechanické memorování, na úkor hloubkového propojování souvislostí. Tento jev mohl být dalším vysvětlením malé nespokojenosti u maturantů na Gymnáziu 2, kde zaměření na blížící se maturitní zkoušku mohl snížit vnímanou hodnotu integrované aktivity, pokud ji žáci na základě svých předchozích znalostí vyhodnotili jako kognitivně málo náročnou.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2., buněčné dýchání představuje pro žáky vysoce abstraktní koncept, který je často zatížen řadou miskoncepcí, jako je zaměňování buněčné respirace s prostou výměnou plynů nebo neschopnost lokalizovat biochemické děje do konkrétních struktur v buňce. Integrovaný přístup uplatněný v této práci mohl umožnit žákům pracovat například na makroskopické úrovni při pozorování pokusu, na mikroskopické úrovni skrze analýzu schémat mitochondrie a na molekulární úrovni při výpočtech energetické bilance. Právě tato rekontextualizace pojmů, kdy žáci interpretují biologické znalosti v chemických a matematických souvislostech, se jeví jako klíčová pro transformaci izolovaných informací do ucelených kognitivních struktur. Podle Mahrora & Mahmuda (2020) je právě neschopnost propojit tyto různé úrovně do jednoho logického celku hlavní příčinou fragmentace znalostí u žáků. Proto tato výuková jednotka nabídla vysvětlení buněčného dýchání na všech těchto úrovních.

Při vyhodnocování získaných dat je nutné zohlednit určité metodologické limity této práce. Primárním omezením je nízký počet respondentů, což může vést ke zkreslení výsledků a snižuje jejich celkovou vypovídající hodnotu. V souvislosti s dotazníkem IMI se uvádí, že vnitřní motivace je subjektivní konstrukt (McAuley et al., 1989), takže i když je nástroj validní, výsledky odrážejí aktuální vnímání jedince, což u malého počtu lidí (jako je 7 žáků na Gymnáziu 1) znemožňuje širší zobecnění. Určitého zpřesnění bylo dosaženo zapojením dvou odlišných škol z různých krajů a ročníků, což umožnilo alespoň základní komparaci mezi skupinami, nicméně výsledky jsou stále zatíženy vysokou mírou subjektivity.

Výstupy šetření mohou být významně ovlivněny také povahou vyučujícího, jeho zkušenostmi a aktuálním naladěním třídy. Proměnnou, která mohla sehrát roli, je rovněž

zařazení výuky v rozvrhu. Zatímco na Gymnáziu 1 probíhala dvouhodinová v dopoledních hodinách, kdy je míra soustředění a energie žáků obvykle vyšší, což může být dalším důvodem, proč žáky výuková jednotka bavila více. Na Gymnáziu 2 se jednalo o poslední vyučovací blok dne. Únava žáků v odpoledních hodinách tak mohla negativně ovlivnit jejich pozornost i následné hodnocení v dotazníku. Tento předpoklad potvrzuje i Janeček (1978), jenž na základě analýzy dřívějších šetření uvádí, že po třetí vyučovací hodině dochází u žáků k výraznému nárůstu únavy, která se v následujících blocích dále kumuluje.

Je také důležité zdůraznit, že vysoká míra vnitřní motivace a spokojenosti žáků na Gymnáziu 1 nemusí nutně znamenat hloubkové pochopení problematiky buněčného dýchání. Tento nesoulad také potvrzují Gregers a Lunde (2021), podle nich mohou i po skončení výuky v povědomí žáků přetrvávat miskoncepce nebo nesprávně pochopené souvislosti. Pozitivní ohlasy mohly být způsobeny spíše atraktivitou nové, neokoukané metody, se kterou se žáci v běžné praxi nesetkávají. Tento předpoklad potvrzují i výsledky šetření, které realizovali Koldová et al. (2022). V něm samotní pedagogové označili zvýšení atraktivity vzdělávacího procesu za jeden z klíčových přínosů integrované výuky. Skutečný nárůst vědomostí a míru propojení poznatků do uceleného systému by bylo možné objektivně posoudit například pomocí testů (např. formou pretestu a posttestu), které však nebyly součástí tohoto šetření.

Hlavním záměrem tohoto praktického ověření bylo především zmapovat bezprostřední reakce žáků na integrovanou výuku a zjistit, do jaké míry je zvolený koncept dokáže zaujmout a zvýšit jejich vnitřní motivaci k porozumění dané tématice. Cílem nebylo exaktní měření nárůstu znalostí ani zjišťování, zda tento přístup k tématu mitochondrií dokáže překonat tradiční vnímání izolovaných faktů.

6 Závěr

Bakalářská práce se věnuje problematice integrované výuky přírodovědných předmětů se specifickým zaměřením na téma mitochondrií jako energetických center buňky. V teoretické části práce dochází k závěru, že ačkoliv je integrovaná výuka v českých kurikulárních dokumentech formálně podporována a vnímána jako nástroj k eliminaci fragmentace poznatků, její reálné zavádění na středních školách naráží na řadu bariér. Analýza literatury ukazuje, že mezi hlavní překážky patří nedostatečná metodická podpora, časová náročnost přípravy a především nepřípravenost pedagogů. Rešerše zahraničních přístupů k výuce buněčné biologie zároveň potvrzuje, že témata jako buněčné dýchání jsou pro žáky vysoce abstraktní a často zatížená mnoha miskoncepce. Jako efektivní řešení těchto problémů se v mezinárodním kontextu jeví právě aktivizační metody a propojování makroskopické, mikroskopické a molekulární úrovně tématu, což tvoří základní rámec pro praktickou část práce.

Praktická část přináší poznatky o vnímání integrovaného přístupu v reálném školním prostředí. Realizace navržené výukové jednotky prokazuje celkově pozitivní vliv na vnitřní motivaci žáků. Zhodnocení výsledků šetření provedeného pomocí dotazníku Intrinsic Motivation Inventory na dvou gymnáziích ukazuje, že žáci na obou školách hodnotí hodinu jako zajímavou a zábavnou, přičemž největší ohlas sklízí praktický experiment, který jim umožňuje pozorovat metabolické procesy v reálném čase. Většina respondentů potvrzuje, že jim integrovaný přístup pomáhá lépe porozumět širším souvislostem buněčného dýchání, které dříve vnímali jako izolovaná fakta v různých předmětech.

Srovnání výsledků mezi oběma školami odhaluje, že vnímání atraktivity integrované výuky je silně ovlivněno aktuální úrovní znalostí žáků. Zatímco pro žáky 3. ročníku na Gymnáziu 1 je výuka vysoce podnětná pro hlubší pochopení tématu, u maturantů na Gymnáziu 2 je patrná vyšší kritičnost z důvodu nižší náročnosti otázek, které vnímají spíše jako opakování. Rozdíly v hodnocení naznačují, že vnitřní motivace je ovlivněna i kontrastem mezi běžným stylem výuky na škole a nově zařazenými metodami, či dobou zařazení hodiny do rozvrhu.

Lze konstatovat, že stanovené cíle bakalářské práce jsou splněné. V teoretické rovině je vypracována analýza integrované výuky a kurikulárních dokumentů a rešerše metodických přístupů, zatímco v praktické rovině je vytvořen a ověřen ucelený didaktický materiál, který prokazatelně, přispívá k aktivizaci žáků a zvýšení jejich zájmu o přírodovědné vzdělávání.

Závěrem vyvozují, že integrace obsahu v oblasti buněčné biologie má na gymnáziích potenciál, pokud je citlivě gradována vzhledem k věku a schopnostem žáků. Práce potvrzuje, že cesta od memorování faktů k jejich smysluplnému propojování vede skrze praktickou zkušenost a interdisciplinární přístup.

7 Seznam literatury

Beane, J. A. (1997). *Curriculum integration: designing the core of democratic education*. Teachers College Press.

Berland, L. K., & Steingut, R. (2016). Explaining variation in student efforts towards using math and science knowledge in engineering contexts. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2742–2761. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1260179>

Center for Self-Determination Theory. (n.d.) (2026). Intrinsic Motivation Inventory (IMI). <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>

Dare, E., Ellis, J., & Roehrig, G. (2018). Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education*, 5(4), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0101-z>

Dinsmore, D. L., & Alexander, P. A. (2012). A critical discussion of deep and surface processing: What it means, how it is measured, the role of context, and model specification. *Educational Psychology Review*, 24(4), 499–567. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9198-5>

Drake, S. M., & Reid, J. L. (2018). Integrated curriculum as an effective way to teach 21st Century capabilities. *Asia Pacific Journal of Educational Research*, 1(1), 31–50. <https://doi.org/10.30777/APJER.2018.1.1.03>

Drake, S. M., & Reid, J. L. (2020). 21st century competencies in light of the history of integrated curriculum. *Frontiers in Education*, 5, Článek 122. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.00122>

Frey, K. (1989). Integrated science education: 20 years on. *International Journal of Science Education*, 11(1), 3–17. <https://doi.org/10.1080/0950069890110102>

Gregers, T. F., & Lunde, M. L. S. (2021). Students' understanding of the cell and cellular structures. *Nordic Studies in Science Education*, 17(2), 225–241. <https://doi.org/10.5617/nordina.8214>

Hejnová, E. (1970). Integrovaná výuka přírodovědných předmětů na základních školách v českých zemích – minulost a současnost. *Scientia in educatione*, 2(2). <https://doi.org/10.14712/18047106.24>

Hesová, A. (2011). Integrace ve výuce. *Metodický portál: Články*. <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/GUC/12039/INTEGRACE-VE-VYUCE.html>

Chipamaunga, S., & Prozesky, D. (2019). How students experience integration and perceive development of the ability to integrate learning. *Advances in Health Sciences Education*, 24(1), 65–84. <https://doi.org/10.1007/s10459-018-9850-1>

Jacobs, H. H. (Ed.). (1989). *Interdisciplinary Curriculum: Design and Implementation*. Association for Supervision and Curriculum Development.

Janeček, M. (1978). Sledování růstu únavy dětí během vyučovacího procesu vlivem různých vyučovacích metod. *Pedagogika*, 28(4), 421–429.

Koldová, H., Janík, T., Bílek, M., Dostál, J., Mádlová, M., Mentlík, P., Rokos, L., Šimik, O. & Trnová, E. (2024). *Přístupy k integraci vzdělávacího obsahu z pohledu kurikula, výuky a učitelského vzdělávání*. 1. Vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, , 184 s. Pedagogica et psychologica

Koldová, H., Rokos, L., & Hašková, T. (2022). O příkladu zavádění integrované výuky. *Pedagogika*, 72(2), 235–254. <https://doi.org/10.14712/23362189.2021.2062>

Mahrer, N., & Mahmud, S. N. D. (2020). Secondary school students' cognitive structures and misconceptions in respiration topic. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 8(3), 1272–1284. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.83130>

Maňák, J., & Švec, V. (2003). *Výukové metody*. Paido.

Mareš, J., Průcha, J., & Walterová, E. (2003). *Pedagogický slovník* (4., aktualiz. vyd). Portál.

Marshall, A. G., Neikirk, K., Stephens, D., Garza-Lopez, E., Vue, Z., Beasley, H. K., Doe, Y. J., Campbell, D., Fears, L., Alghanem, A., Spencer, E. C., Scudese, E., Owens, B., Vang, C., Morton, D. J., Conley, Z., & Hinton, A., Jr. (2023). A workshop on mitochondria for students to improve understanding of science and hypothesis forming. *Advances in Physiology Education*, 47(4), 823–830. <https://doi.org/10.1152/advan.00116.2023>

McAuley, E., Duncan, T., & Tammen, V. V. (1989). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60(1), 48–58. <https://doi.org/10.1080/02701367.1989.10607413>

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. (2001). Národní program rozvoje vzdělávání v České republice: Bílá kniha. *Formát*.

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. (2007). Rámcový vzdělávací program pro gymnázia. Výzkumný ústav pedagogický v Praze.

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. (2017). Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání. Výzkumný ústav pedagogický v Praze.

Pastrana-Pineda, C., Melgoza-Ramírez, L. J., Islas-Flores, E. M., Gómez-Monsiváis, W. L., Gonce, J., López, N., Limón-González, J. B., Rodríguez-Zavala, J. S., Saavedra, E., & Belmont-Díaz, J. A. (2025). How fast do mitochondria work? A kinetic study of oxidative phosphorylation. *Journal of Chemical Education*, 102(8), 2866–2872. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00992>

Patoková, B., Michalcová, P., Jančaříková, K., & Patoka, J. (2024). Integrovaná výuka v přírodovědném vzdělávání v ČR: SWOT analýza. *Biologie-Chemie-Zeměpis*, 33(3), 16–29. <http://dx.doi.org/10.14712/25337556.2024.3.2>

Podroužek, L. (2002). *Integrovaná výuka na základní škole v teorii a praxi*. Fraus.

Podpora krajského akčního plánování (2026). Koncept STEM. <https://archiv-nuv.npi.cz/p-kap/koncept-stem.html>

Průcha, Jan. (2017). *Moderní pedagogika*. Portál.

Rakoušová, A. (2008). *Integrace obsahu vyučování: [integrované slovní úlohy napříč předměty]*. Grada Publishing.

Robledo, D. A. R., & Roleda, L. S. (2024). Power of microbes: Utilization of improvised microbial fuel cell (IMFC) as an interdisciplinary learning activity in teaching bioelectricity. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 25(1), 1–11. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00146-23>

Ryu, M., Mentzer, N., & Knobloch, N. (2019). Preservice teachers' experiences of STEM integration: Challenges and implications for integrated STEM teacher preparation. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(3), 493–512. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9440-9>

Veselinovska, S. S., Gudeva, L. K., & Djokic, M. (2011). Applying appropriate methods for teaching cell biology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 2837–2842. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.199>

Wierdsma, M., Boersma, K. T., Knippels, M.-C., & van Oers, B. (2016). Developing the ability to recontextualise cellular respiration: An explorative study in recontextualising biological concepts. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2388–2413. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1246779>

Winarno, N., Rusdiana, D., Riandi, R., Susilowati, E., & Afifah, R. M. A (2020). Implementation of Integrated Science Curriculum: A Critical Review of the Literature. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(2), 795-817. <http://dx.doi.org/10.17478/jegys.675722>

8 Přílohy

8.1 Příloha 1: Prezentace



POKUS

Pomůcky:

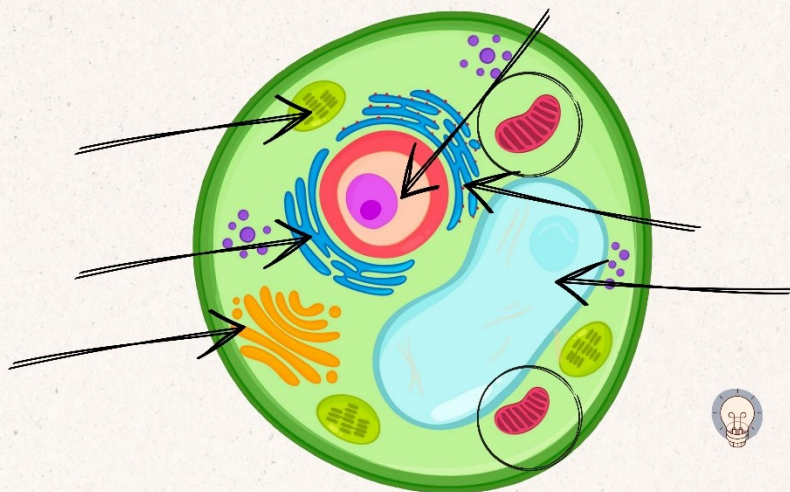
- kuželová baňka
- kvasnice
- cukr
- voda
- balónek



Postup:

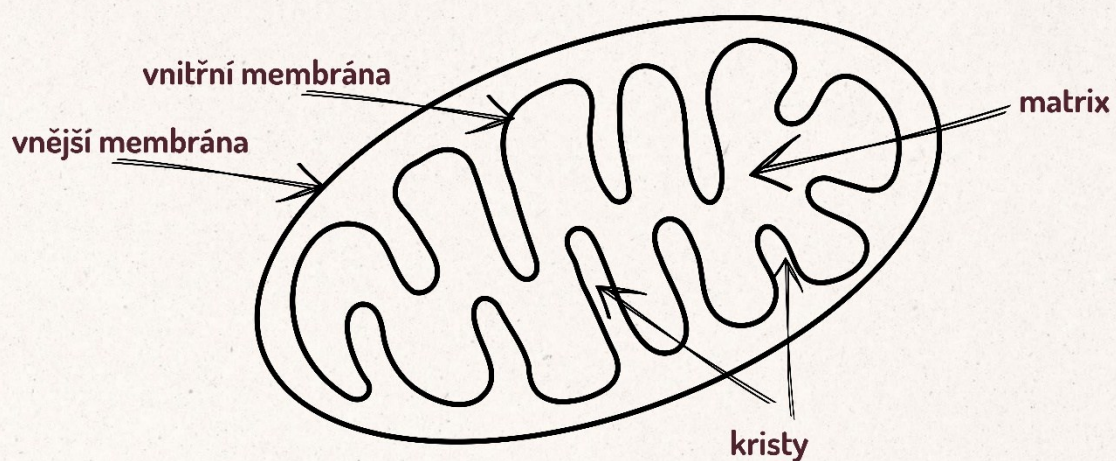
1. Do baňky nasypem jednu lžičku kvasnic a jednu lžičku cukru
2. Přilijeme asi 100 ml teplé vody (Proč nemůže být horká?)
3. Promícháme a nasadíme balónek na hrdlo baňky
4. Necháme 15-30min stát na teplém místě

SCHÉMA BUŇKY



O jaký typ buňky se jedná dle přítomných organel?

SCHÉMA MITOCHONDRIE



FUNKCE A VLASTNOSTI

Vlastnosti mitochondrie

- Semiautonomní organela
- Zprohýbaná vnitřní membrána kvůli zvětšení plochy membrány=> výběžky KRISTY



Funkce:

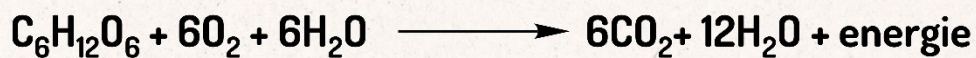
- Buněčné dýchání



Jaké vlastnosti má organela, když o ní řekneme, že je semiautonomní?

BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ

Rovnice buněčného dýchání:



Jaká sloučenina odpovídá chemickému vzorci $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$?

Je to endotermní / exotermní a katabolická / anabolická reakce?

Které látky jsou reaktanty a které produkty?

BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ

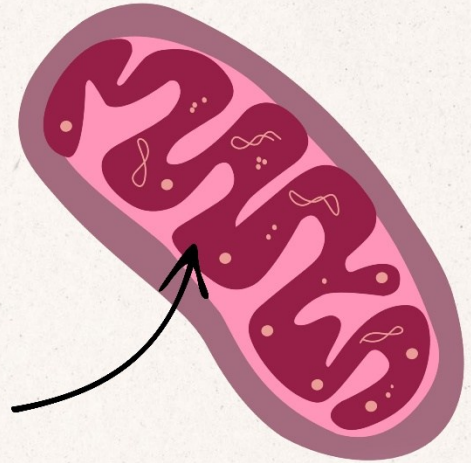
Anaerobní fáze

- V cytoplazmě
- Glykolýza

Aerobní fáze

- V mitochondrii
- Úprava kyseliny pyrohroznové před vstupem do Krebsova cyklu
- Krebsův cyklus
- Dýchací řetězec

cytoplazma

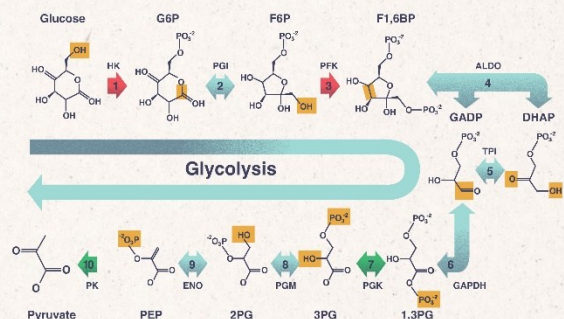


ANAEROBNÍ GLYKOLÝZA

- Štěpení glukózy na 2 molekuly kyseliny pyrohroznové = PYRUVÁT
- Při procesu jsou 2 molekuly ATP spotřebovány a 4 molekuly ATP vytvořeny = **zisk 2 molekuly ATP**



Jaký je tedy celkový energetický zisk glykolýzy?



CO SE DĚJE PO GLYKOLÝZE

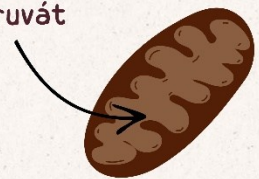
Anaerobní organismy

- Dále zpracovávají pyruvát **kvašením** (fermentace)
 - Mléčné kvašení - vznik kyseliny mléčné
 - Alkoholové kvašení - vznik etanolu a CO_2

Aerobní organismy

- Kyselina pyrohroznová je přepravena přes membránu do mitochondriální matrix

pyruvát



Alkoholové kvašení provádějí kvasinky. Do jaké skupiny organismů patří?



VÝSLEDEK POKUS

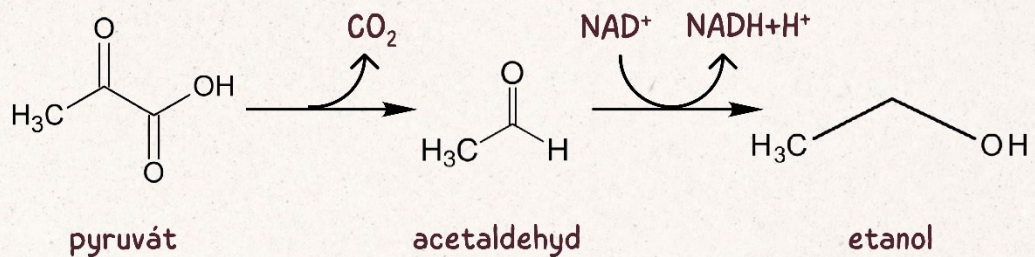


- Proces alkoholového (anaerobního) kvašení
- Proběhne glykolýza => pyruvát se dekarboxyluje na acetaldehyd
=> acetaldehyd se pak redukuje na etanol
- CO_2 se hromadí jako plyn v prostoru láhve => nafoukl balónek
- Etanol zůstává v kapalně fázi



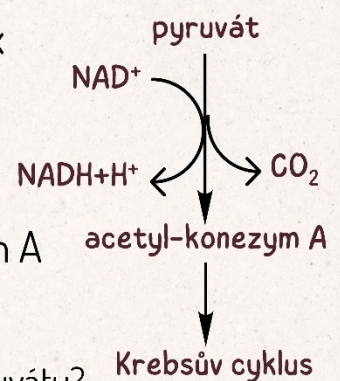
Kde v buňce probíhá tento proces, když probíhá v anaerobním prostředí?
Kde v potravinářství se využívá alkoholové kvašení?

CHEMICKÁ ROVNICE POKUSU



ÚPRAVA PYRUVÁTU

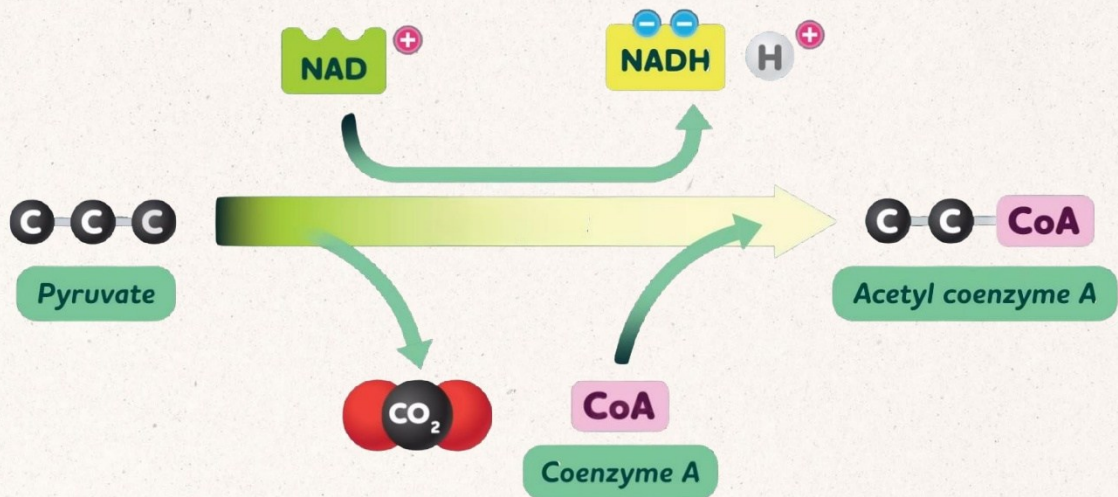
- Pyruvát vstupuje do mitochondriální matrix
- V mitochondriální matrix dochází k
 - Dekarboxylaci
 - Dehydrogenaci
- Posléze dochází ke konjugaci s koenzymem A
=> vzniká **acetyl – koenzym A**



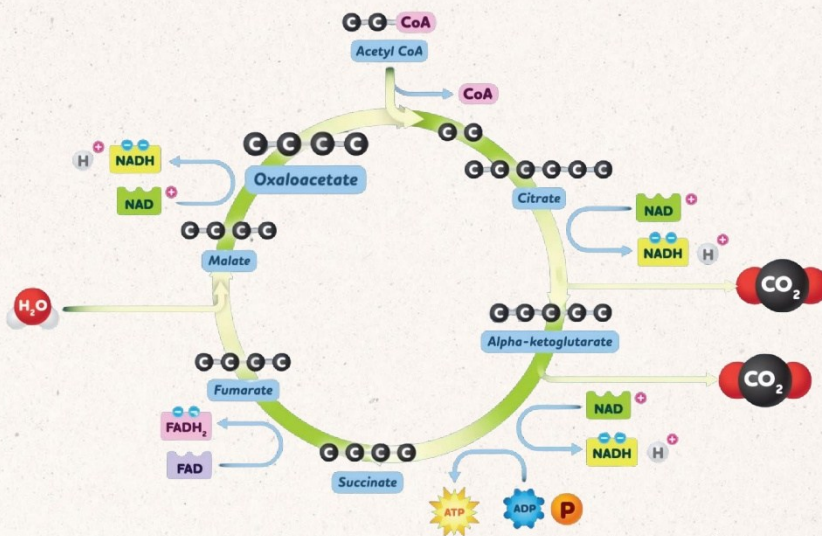
Co se uvolňuje při dekarboxylaci a dehydrogenaci z pyruvátu?

- Uvolněné molekuly vodíku se naváží na přenašeč NAD^+ a vzniká $NADH+H^+$

ÚPRAVA PYRUVÁTU



KREBSŮV CYKLUS



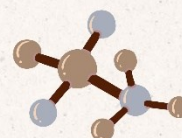
KREBSŮV CYKLUS

=citrátový cyklus, cyklus kyseliny citrónové

- V matrix mitochondrií
- Sled několika reakcí za sebou
- Během jednoho cyklu získáme z acetyl-koenzymu A:
 - 2 molekuly CO_2 (2x proběhne dekarboxylace)
 - 1 molekula ATP
 - protony H^+ (váží se na přenašeče)
 - 3 molekuly $\text{NADH}+\text{H}^+$
 - 1 molekula FADH_2
- $\text{NADH}+\text{H}^+$ a FADH_2 přenášejí elektrony do dýchacího řetězce



Víte, proč je pro buňku výhodnější, aby reakce probíhali po sobě a ne všechny najednou?



DÝCHACÍ ŘETĚZEC

- <https://www.youtube.com/watch?v=He03yagexTw>

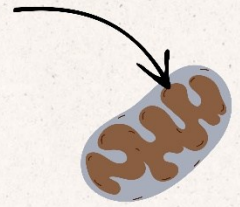
DÝCHACÍ ŘETĚZEC

=elektrotransportní řetězec, oxidativní fosforylace

- Na vnitřní membráně mitochondrií

1. NADH+H⁺ a FADH₂ odevzdají elektrony komplexům na vnitřní membráně
2. Elektrony putují po celé kaskádě komplexů
3. Energie elektronů => pumpování H⁺ do mezimembránového prostoru
4. Probíhá syntéza ATP
5. Zbylé molekuly H⁺ a elektrony, poté co projdou kaskádou, se naváží na kyslík a vzniká H₂O

- Energetický výtěžek: 26-28 ATP



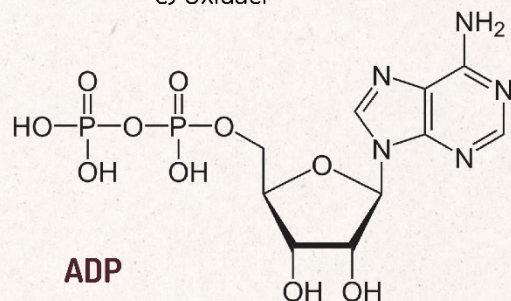
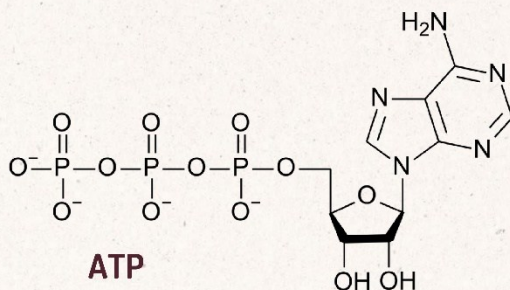
ENERGIE ATP



- Co znamená zkratka ATP?
- Jaký je rozdíl mezi ATP a ADP?

Jak se energie z ATP uvolňuje?

- a) Hydrolýzou
- b) Redukcí
- c) Oxidací



DÝCHACÍ ŘETĚZEC



- Co by se stalo s tvorbou ATP, kdyby byla vnitřní membrána mitochondrie propustná pro H^+ ionty?
- Kdybychom zablokovali kyslík na konci elektronového transportního řetězce, jak by to ovlivnilo pumpování H^+ ?
- Odkud pochází energie, která se využívá k aktivnímu pumpování H^+ přes membránu?

SCHÉMA MITOCHONDRIE

Doplň do nebo mimo schéma mitochondrie tyto pojmy:
glykolýza, úprava pyruvátu, Krebsův cyklus, dýchací řetězec,
anaerobní prostředí, aerobní prostředí

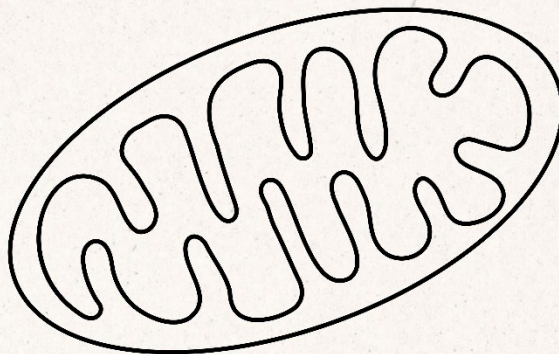


SCHÉMA MITOCHONDRIE

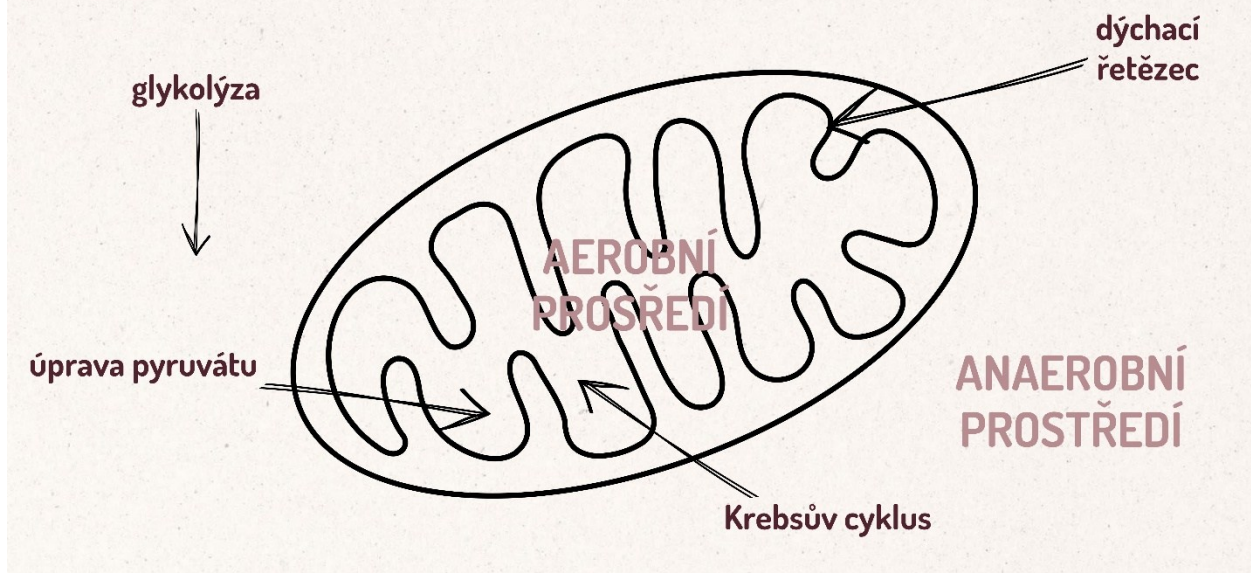


SCHÉMA DÝCHACÍHO ŘETĚZCE

Doplň do schéma dýchacího řetězce tyto pojmy:
 NAD^+ , $\text{NADH} + \text{H}^+$, FAD^+ , FADH_2 , vnitřní membrána, matrix,
 mezimembránový prostor, H_2O , ATP, $\text{ADP} + \text{P}$, ATPáza

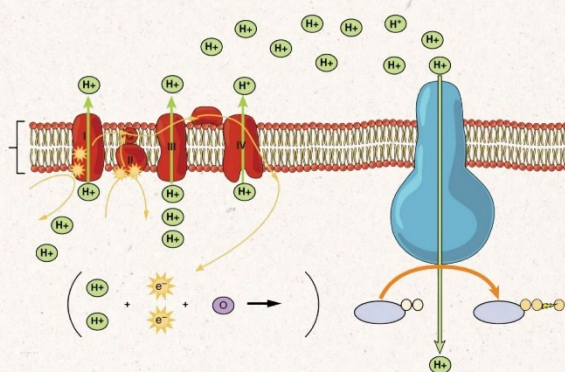
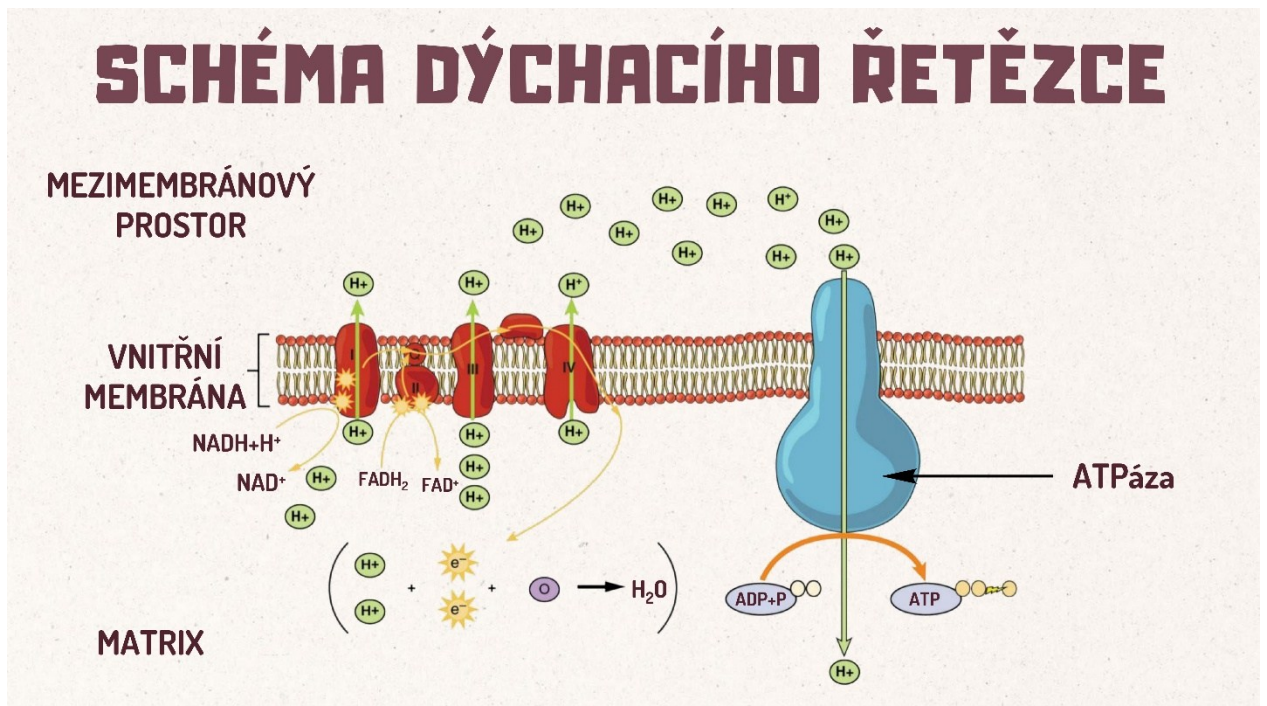


SCHÉMA DÝCHACÍHO ŘETĚZCE



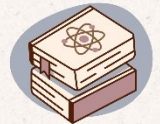
POČÍTÁNÍ NAKONEC

- Kolik ATP se celkem vytvoří při rozkladu 6 molekul glukózy?
- Při rozkladu jedné molekuly je zisk 32 ATP
- 2 ATP z glykolýzy + 2 ATP z Krebsova cyklu (pozor, probíhá 2x) + 28 ATP z dýchacího řetězce = 32 ATP
- $32 \times 6 = \mathbf{192 \text{ ATP}}$
- Z 6 molekul glukózy se vytvoří 192 ATP.



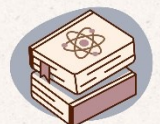
POČÍTÁNÍ NAKONEC

- Určete procentuální účinnost buněčného dýchání (jaká část celkové energie uvolněné rozkladem glukózy je účinně uložena do ATP), pokud víme, že maximální energie získaná z jednoho molu glukózy je 2870 kJ a energie uvolněná hydrolýzou z ATP je 30,5 kJ/mol.
- $E_{\text{glukóza}} = 2870 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{ATP}} = 30,5 \text{ kJ/mol}$



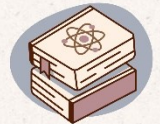
POČÍTÁNÍ NAKONEC

- $E_{\text{glukóza}} = 2870 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{ATP}} = 30,5 \text{ kJ/mol}$
- Vypočteme kolik energie je uloženo v molekulách ATP z celého procesu buněčného dýchání.
- $E_{\text{uloženo}} = n_{\text{ATP}} \times E_{\text{ATP}}$
- $E_{\text{uloženo}} = 32 \times 30,5$
- **$E_{\text{uloženo}} = 976 \text{ kJ}$**
- Z 32 molekul ATP získáme 976 kJ.



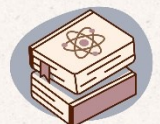
POČÍTÁNÍ NAKONEC

- $E_{\text{glukóza}} = 2870 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{ATP}} = 30,5 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{uloženo}} = 976 \text{ kJ}$
- Vypočteme kolik energie se ztratí v procesu v podobě tepla.
- $E_{\text{ztraceno}} = E_{\text{glukóza}} - E_{\text{uloženo}}$
- $E_{\text{ztraceno}} = 2870 - 976$
- **$E_{\text{ztraceno}} = 1894 \text{ kJ}$**
- V procesu se ztratí 1894 kJ energie.



POČÍTÁNÍ NAKONEC

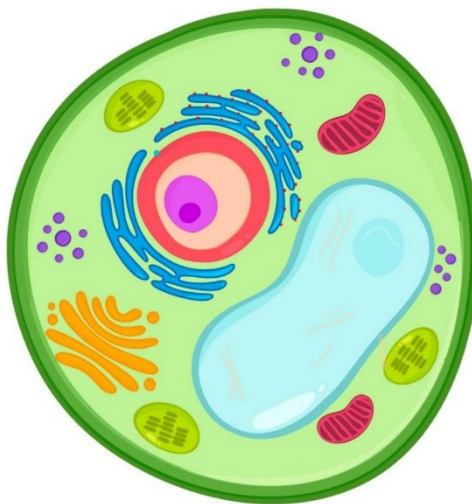
- $E_{\text{glukóza}} = 2870 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{ATP}} = 30,5 \text{ kJ/mol}$
- $E_{\text{uloženo}} = 976 \text{ kJ}$
- $E_{\text{ztraceno}} = 1894 \text{ kJ}$
- Vypočteme energetickou účinnost buněčného dýchání.
- $\eta = (E_{\text{uloženo}} / E_{\text{glukóza}}) \times 100\%$
- $\eta = (976/2870) \times 100\%$
- **$\eta \approx 34 \%$**
- Energetická účinnost buněčného dýchání je 34%.



8.2 Příloha 2: Pracovní list

MITOCHONDRIE - energetické centrum buňky

1. Zakroužkuj ve schématu buňky mitochondrii a pak sám nakresli schéma mitochondrie a vyznač do schématu následující pojmy: vnější membrána, vnitřní membrána, kristy, matrix



VLASTNOSTI A FUNKCE MITOCHONDRIE

- Semiautonomní organela
 -
 -
 -
- Vnitřní membrána je zprohýbaná a tvoří tak záhyby zvané=> důvod zprohýbání je zvětšení plochy membrány pro procesy elektrotransportního řetězce
- Funkce:

BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ

- Rovnice buněčného dýchání:
$$C_6H_{12}O_6 + 6..... + 6H_2O \longrightarrow CO_2 + 12H_2O + ... \text{ (ve formě ATP)}$$
- $C_6H_{12}O_6$ je chemický vzorec pro
- Je to (což znamená, že se energie uvolňuje) a (což znamená, že se látka složitější rozkládá na látku jednodušší) reakce.
- Reaktanty:
- Produkty:
- Proces buněčného dýchání probíhá nejdříve v prostředí v cytoplasmě, kde probíhá proces zvaný
- Dále buněčné dýchání pokračuje v mitochondrii v prostředí, kde dochází k úpravě kyseliny pyrohroznové před vstupem do Krebsova cyklu, dále a přeměna se dokončí oxidativní fosforylací v dýchacím řetězci.

Anaerobní fáze

Anaerobní glykolýza

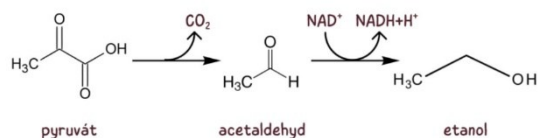
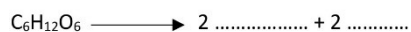
- Probíhá v
- Během procesu je šestiuhlíkatá molekula rozštěpena na 2 tříuhlíkaté molekuly = pyruvát
- K pohonu začátku glykolýzy se spotřebují molekuly ATP, ale během glykolýzy se vytvoří molekuly ATP – čistý zisk jsou tedy molekuly ATP

Co se děje po glykolýze

- Anaerobní organismy
 - Dále zpracovávají pyruvát (fermentace)
 - Máme dva druhy kvašení:
 - Mléčné kvašení - vzniká
 - Alkoholové - vzniká a
 - Anaerobní organismy a buňky bez mitochondrií získávají energii takto.
- Aerobní organismy
 - Kyselina pyrohroznová je přepravena přes membránu do, kde dále pokračuje buněčné dýchání, již ale v podmínkách

Pokus

- Proces alkoholového (anaerobního) kvašení
- Rovnice alkoholového kvašení:

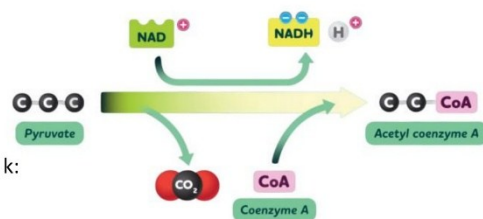


- Nejprve proběhne v glykolýza a výsledkem je => pyruvát se dále na acetaldehyd (odštěpí se) => dále se acetaldehyd redukuje na etanol
- CO₂ se hromadí jako v prostoru láhve (nafukuje balónek)
- Etanol zůstává v fázi (poznáte někdy slabým zápachem alkoholu)

Aerobní fáze

Úprava pyruvátu před vstupem do Krebsova cyklu

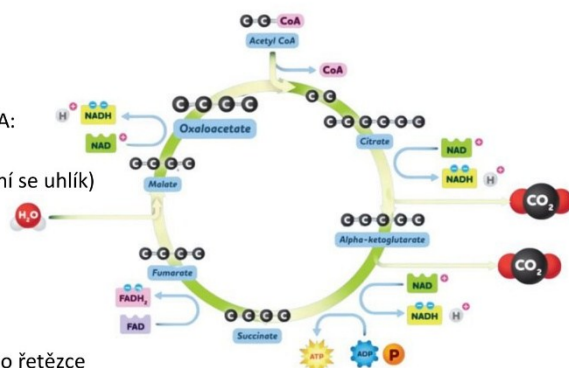
- Pyruvát vstupuje do mitochondriální matrix
- V mitochondriální matrix se pyruvát přeměňuje a dochází k:
 - Dekarboxylaci (uvolnění)
 - Dehydrogenaci (uvolnění)
 - Uvolněné se naváže na NAD⁺ a vzniká
- Nakonec dochází ke (spojení) s koenzymem A => vzniká



Krebsův cyklus

= citrátový cyklus, cyklus kyseliny citrónové

- Probíhá v
- Sled několika reakcí za sebou
- Během jednoho cyklu získáme z acetyl-koenzymu A:
 - molekuly CO₂ (2x proběhne => uvolní se uhlík)
 - molekuly NADH+H⁺
 - molekula FADH₂
 - molekula ATP
 - protony (váží se na přenašeče) (proběhne)
- NADH+H⁺ a FADH₂ přenášejí elektrony do dýchacího řetězce



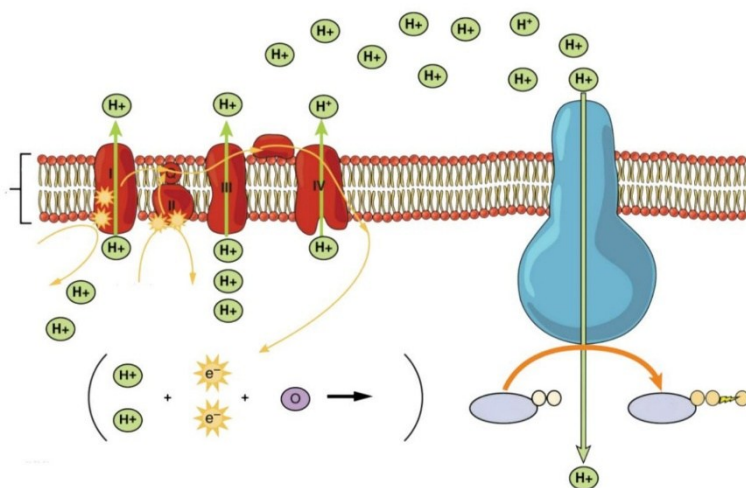
Dýchací řetězec

= elektrotransportní řetězec, oxidativní fosforylace

- Probíhá na
- a odevzdají elektrony komplexům na vnitřní membráně
- Elektrony poté putují po celé kaskádě komplexů a přitom probíhá syntéza
- Zbylé molekuly a, poté co projdou kaskádou, se naváží na kyslík a vzniká
- Energetický výtěžek: ATP

Jak vzniká ATP

- Když elektrony procházejí přes komplexy, část jejich energie je využita na přes membránu z matrix do mezimembránového prostoru
- H^+ se uvolnilo z přenašečů $NADH+H^+$ a $FADH_2$ spolu s elektrony
- Důsledkem je více H^+ v, což způsobí, že H^+ putují zpět po spádu do matrix přes ATPázy
- H^+ pohánějí ATPázy, které vytvářejí z a =>



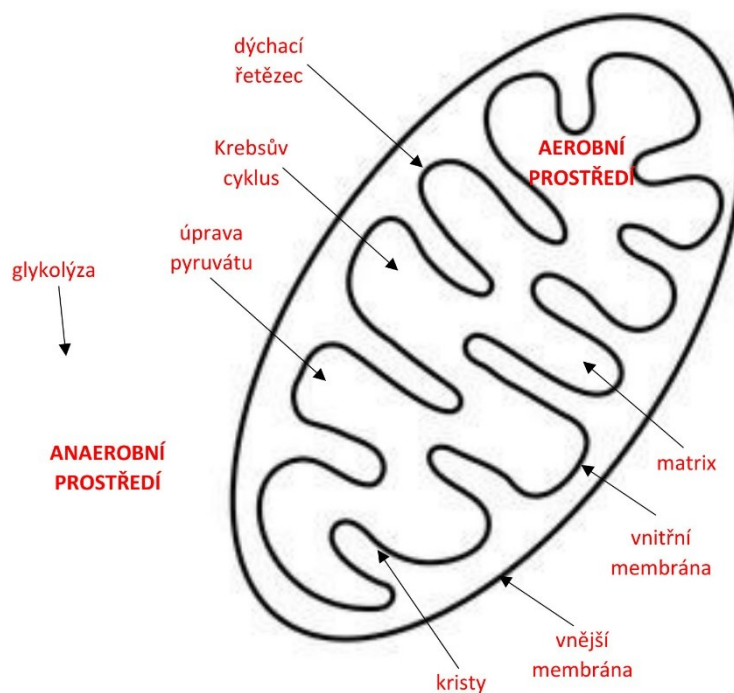
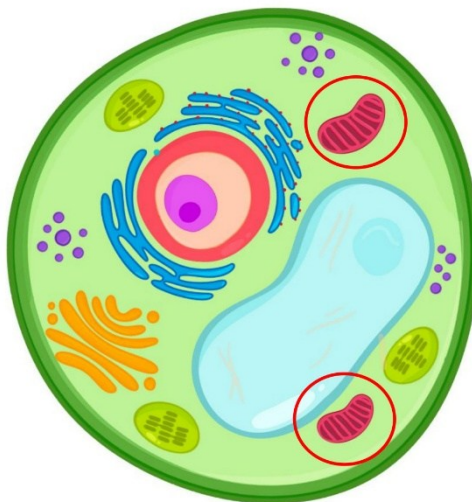
POČÍTÁNÍ NAKONEC

1. Kolik ATP se celkem vytvoří při rozkladu 6 molekul glukózy?
2. Určete procentuální účinnost buněčného dýchání (jaká část celkové energie uvolněné rozkladem glukózy je účinně uložena do ATP), pokud víme, že maximální energie získaná z jednoho molu glukózy je 2870 kJ a energie uvolněná hydrolýzou z ATP je 30,5 kJ/mol.

8.3 Příloha 3: Řešení pracovního listu

MITOCHONDRIE - energetické centrum buňky

1. Zakroužkuj ve schématu buňky mitochondrii a pak sám nakresli schéma mitochondrie a vyznač do schématu následující pojmy: vnější membrána, vnitřní membrána, kristy, matrix



VLASTNOSTI A FUNKCE MITOCHONDRIE

- Semiautonomní organela
 - Obsahují vlastní kruhovou DNA
 - Mají dvě membrány
 - Mohou se dělit nezávisle na dělení celé buňky
- Vnitřní membrána je zprohýbaná a tvoří tak záhyby zvané **kristy** => důvod zprohýbání je zvětšení plochy membrány pro procesy elektrotransportního řetězce
- Funkce: **buněčné dýchání**

BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ

- Rovnice buněčného dýchání:



- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ je chemický vzorec pro **glukózu**
- Je to **exotermní** (což znamená, že se energie uvolňuje) a **katabolická** (což znamená, že se látka složitější rozkládá na látku jednodušší) reakce.
- Reaktanty: **$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 6O_2 , $6\text{H}_2\text{O}$**
- Produkty: **6CO_2 , $12\text{H}_2\text{O}$**
- Proces buněčného dýchání probíhá nejdříve v **anaerobním** prostředí v cytoplazmě, kde probíhá proces zvaný **glykolýza**
- Dále buněčné dýchání pokračuje v mitochondrii v **aerobním** prostředí, kde dochází k úpravě kyseliny pyrohroznové před vstupem do Krebsova cyklu, dále **Krebsův cyklus** a přeměna se dokončí oxidativní fosforylací v dýchacím řetězci.

Anaerobní fáze

Anaerobní glykolýza

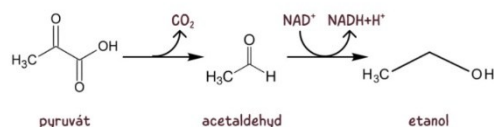
- Probíhá v **cytoplazmě**
- Během procesu je šestiuhlíkatá molekula **glukózy** rozštěpena na 2 tříuhlíkaté molekuly **kyseliny pyrohroznové** = pyruvát
- K pohonu začátku glykolýzy se spotřebují **2** molekuly ATP, ale během glykolýzy se vytvoří **4** molekuly ATP – čistý zisk jsou tedy **2** molekuly ATP

Co se děje po glykolýze

- Anaerobní organismy
 - Dále zpracovávají pyruvát **kvašením** (fermentace)
 - Máme dva druhy kvašení:
 - Mléčné kvašení - vzniká **kyselina mléčná**
 - Alkoholové - vzniká **etanol** a **CO_2**
 - Anaerobní organismy a buňky bez mitochondrií získávají energii takto.
- Aerobní organismy
 - Kyselina pyrohroznová je přepravena přes membránu do mitochondriální matrix, kde dále pokračuje buněčné dýchání, již ale v **aerobních** podmínkách

Pokus

- Proces alkoholového (anaerobního) kvašení
- Rovnice alkoholového kvašení:

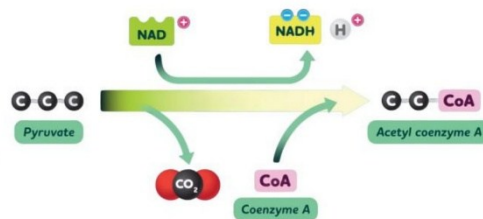


- Nejprve proběhne v **cytoplasmě** glykolýza a výsledkem je **pyruvát** => pyruvát se dále **dekarboxyluje** na acetaldehyd (odštěpí se **CO₂**) => dále se acetaldehyd redukuje na etanol
- CO₂ se hromadí jako **plyn** v prostoru láhve (nafukuje balónek)
- Etanol zůstává v **kapalné** fázi (poznáte někdy slabým zápachem alkoholu)

Aerobní fáze

Úprava pyruvátu před vstupem do Krebsova cyklu

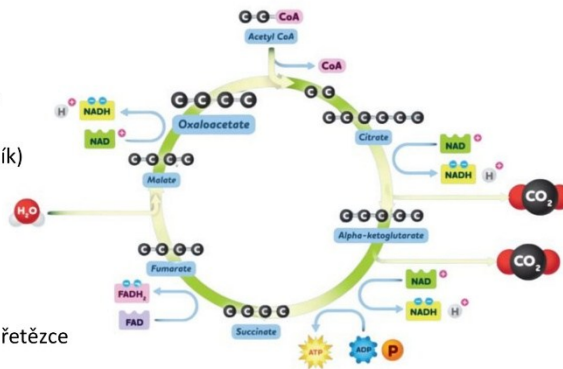
- Pyruvát vstupuje do mitochondriální matrix
- V mitochondriální matrix se pyruvát přeměňuje a dochází k:
 - Dekarboxylaci (uvolnění **CO₂**)
 - Dehydrogenaci (uvolnění **2H⁺**)
 - Uvolněné **2H⁺** se naváže na NAD⁺ a vzniká **NADH+H⁺**
- Nakonec dochází ke **konjugaci** (spojení) s koenzymem A => vzniká **acetyl-koenzym A**, který dále pokračuje do Krebsova cyklu



Krebsův cyklus

= citrátový cyklus, cyklus kyseliny citrónové

- Probíhá v **matrix**
- Sled několika reakcí za sebou
- Během jednoho cyklu získáme z acetyl-koenzymu A:
 - **2** molekuly CO₂ (2x proběhne **dekarboxylace** => uvolní se uhlík)
 - **3** molekuly NADH+H⁺
 - **1** molekula FADH₂
 - **1** molekula ATP
 - protony **H⁺** (váží se na přenašeče) (proběhne **dehydrogenace**)
- NADH+H⁺ a FADH₂ přenášejí elektrony do dýchacího řetězce



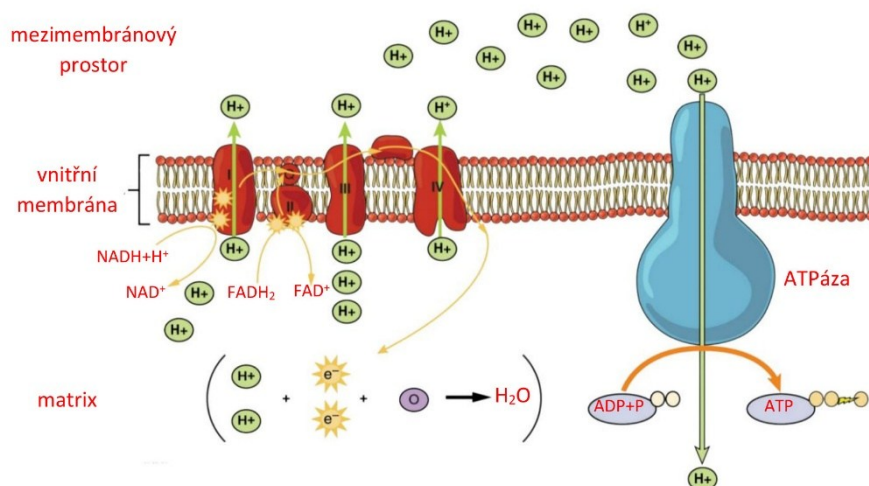
Dýchací řetězec

= elektrotransportní řetězec, oxidativní fosforylace

- Probíhá na **vnitřní membráně mitochondrie**
- **NADH+H⁺** a **FADH₂** odevzdají elektrony komplexům na vnitřní membráně
- Elektrony poté putují po celé kaskádě komplexů a přitom probíhá syntéza **ATP**
- Zbylé molekuly **H⁺** a **elektrony**, poté co projdou kaskádou, se naváží na kyslík a vzniká **H₂O**
- Energetický výtěžek: **26-28 ATP**

Jak vzniká ATP

- Když elektrony procházejí přes komplexy, část jejich energie je využita na **pumpování H^+** přes membránu z matrix do mezimembránového prostoru
- H^+ se uvolnilo z přenašečů $NADH+H^+$ a $FADH_2$ spolu s elektrony
- Důsledkem je více H^+ v **mezimembránovém prostoru**, což způsobí, že H^+ putují zpět po **koncentračním** spádu do matrix přes ATPázy
- H^+ pohánějí ATPázy, které vytvářejí z **ADP a P $\Rightarrow$ ATP**



POČÍTÁNÍ NAKONEC

- Kolik ATP se celkem vytvoří při rozkladu 6 molekul glukózy?
 - Při rozkladu jedné molekuly je získáno 32 ATP
 - 2 ATP z glykolýzy + 2 ATP z Krebsova cyklu (pozor, cyklus probíhá 2x, protože glukóza se rozdělila na dvě molekuly pyruvátu) + 28 ATP z dýchacího řetězce = 32 ATP
 - $32 \times 6 = 192$ ATP
 - Z 6 molekul glukózy se vytvoří 192 ATP.
- Určete procentuální účinnost buněčného dýchání (jaká část celkové energie uvolněné rozkladem glukózy je účinně uložena do ATP), pokud víme, že maximální energie získaná z jednoho molu glukózy je 2870 kJ a energie uvolněná hydrolýzou z ATP je 30,5 kJ/mol.

$E_{\text{glukóza}} = 2870 \text{ kJ/mol}$ $E_{\text{ATP}} = 32 \text{ ATP}$	- Vypočteme kolik energie je uloženo v molekulách ATP z celého procesu buněčného dýchání. $E_{\text{uloženo}} = n_{\text{ATP}} \times E_{\text{ATP}}$ $E_{\text{uloženo}} = 32 \times 30,5$ $E_{\text{uloženo}} = 976 \text{ kJ}$ - Z 32 molekul ATP získáme 976 kJ.	- Vypočteme kolik energie se ztratí v procesu v podobě tepla. $E_{\text{ztraceno}} = E_{\text{glukóza}} - E_{\text{uloženo}}$ $E_{\text{ztraceno}} = 2870 - 976$ $E_{\text{ztraceno}} = 1894 \text{ kJ}$ - V procesu se ztratí 1894 kJ	- Vypočteme energetickou účinnost buněčného dýchání. $\eta = (E_{\text{uloženo}} / E_{\text{glukóza}}) \times 100 \%$ $\eta = (976/2870) \times 100 \%$ $\eta \approx 34 \%$ - Energetická účinnost buněčného dýchání je 34 %.
---	--	--	--