

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

**Katedra biologie**



**Diplomová práce**

Bc. Radka Dočekalová

**Prekoncepce žáků 2. stupně základních škol  
a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií  
o stavbě a funkci buňky**

Olomouc 2023

vedoucí práce: RNDr. Martin Jáč, Ph.D.  
převzala: Mgr. Jitka Kopecká, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Martina Jáče, Ph.D., s využitím podkladů (použitá literatura, internetové zdroje, vlastní empirická data) citovaných v práci a uvedených v přiloženém seznamu literatury. Diplomová práce byla vypracována v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

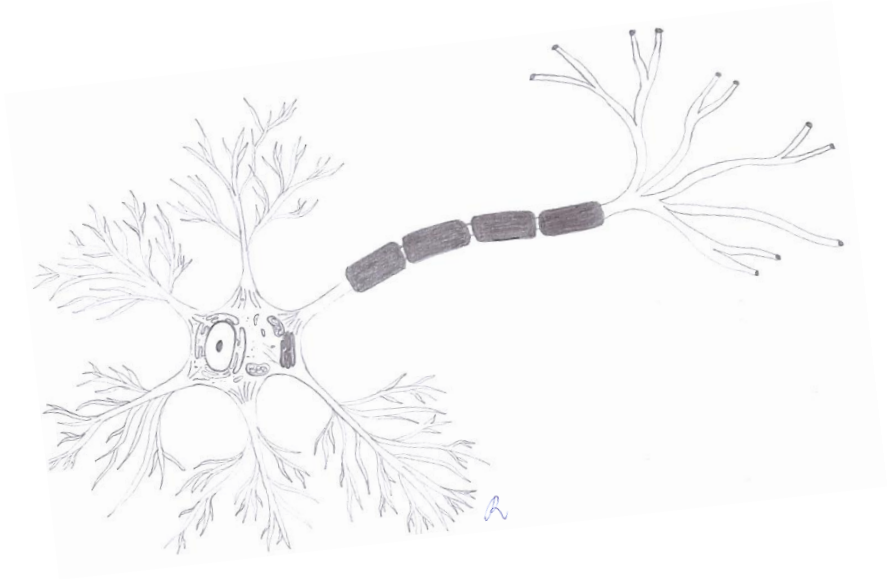
Dále prohlašuji, že tištěná a elektronická verze jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Olomouci dne

---

Radka Dočekalová



### **Poděkování**

Velmi ráda bych poděkovala RNDr. Martinu Jáčovi, Ph.D., za odborné vedení kvalifikační práce, laskavost, ochotu a trpělivost, s nimiž ke mně vždy přistupoval, a také za čas věnovaný konzultacím. Vděčím mu též za profesní nasměrování, neskutečnou podporu a inspiraci, jimiž mi byl po celou dobu naší spolupráce a současně mých dosavadních studií\*, především pak v jejich závěru. Za dovedení práce děkuji paní Mgr. Jitce Kopecké, Ph.D.

Souběžně mnohokrát děkuji pánům Mgr. Martinu Sládkovi, Ph.D., Prof. RNDr. Aleši Stuchlíkovi, DSc., a kolektivu vědců z FGÚ AV ČR, za spolupráci, nesmírnou ochotu, podnětné připomínky a plodné diskuse, které také přispěly (nejen) k výsledné podobě práce, za studijní motivaci, podporu a nasměrování.

Za nasbíraná data vděčím všem milým žákům vybraných základních škol a víceletých gymnázií, jež byli ochotni se na výzkumu podílet. Upřímné díky za vstřícnost patří též jejich vyučujícím a, v neposlední řadě, ředitelům a zástupcům daných škol, kteří mi empirické šetření umožnili ve svém rozsahu, i přes specifika covidové doby, v rámci příslušné výuky realizovat.

---

\*Speciální poděkování se váže k mnohahodinovým rozpravám na rozličná biologická témata, kterými ve mně dále pěstoval a rozvíjel lásku k tomuto vědnímu oboru, ustavičně mne uváděl do aktuálního dění na poli současných trendů ve výzkumu, a posléze, za mírného rozptýlení od ptactva, přivedl k neurofyziologii.

Velké a srdečné díky za veškerou pomoc, laskavý přístup a neutuchající podporu patří též mému nejbližšímu okolí – zvláště pak těm, kteří ve mne zápal pro biologii již od raného věku formovali, a k jejímu studiu spolu-přivedli.

## ANOTACE

<b>Jméno a příjmení:</b>	Radka Dočekalová
<b>Katedra:</b>	Katedra biologie
<b>Vedoucí práce:</b>	RNDr. Martin Jáč, Ph.D. (9/2021–12/2022), převz. Mgr. Jitka Kopecká, Ph.D. (12/2022–4/2023)
<b>Odborný supervizor:</b>	RNDr. Martin Jáč, Ph.D. (12/2022–4/2023)
<b>Rok obhajoby:</b>	2023

<b>Název práce:</b>	Prekoncepce žáků 2. stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií o stavbě a funkci buňky
<b>Název v angličtině:</b>	Preconceptions of Pupils at Lower Secondary Schools and the Corresponding Years of Multi-year Grammar Schools about the Structure and Function of the Cell
<b>Anotace práce:</b>	<p>Cílem předložené diplomové práce bylo identifikovat žákovské prekoncepce a miskoncepce v oblasti buněčné biologie. V teoretickém přehledu byla zpracována problematika struktury a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních, dále navrženy náměty na laboratorní a praktickou výuku biologie, zaměřené na překlenutí vybraných prekonceptí, a vypracována komparativní analýza učiva o buňce napříč tuzemským i zahraničním kurikulem pro základní a střední vzdělávání. V empirické části práce byl proveden výzkum žákovských prekonceptí o stavbě a funkci buňky u žáků 9. ročníku základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií s využitím vlastní sady 4 konceptových testů. Doplnkově byli do výzkumného šetření zařazeni také žáci 6. ročníku. Z výsledků šetření vyplynulo, že žáci gymnázií vykazují částečně lepší porozumění konceptům buněčné biologie než žáci 9. ročníku. Mezi oběma skupinami byl shledán statisticky signifikantní rozdíl v relativním zastoupení různých typů prekonceptí ve prospěch žáků gymnázií, kteří dosáhli vyššího skóre ve většině testových úloh.</p>
<b>Klíčová slova:</b>	Buněčná biologie, molekulární biologie, genetika, prekoncepce, miskoncepce, konceptuální změna, ontologické kategorie, kurikulum, laboratorní výuka,

	praktická cvičení, 2. stupeň základní školy, nižší stupeň víceletého gymnázia, gymnázium
<b>Anotace práce v angličtině:</b>	The aim of the present thesis was to identify pupils' preconceptions and misconceptions in Cell Biology. In the theoretical review, structure and function in living systems at the different levels of organization were discussed, further, activities focused on overcoming selected preconceptions in laboratory and practical biology teaching were proposed, and a comparative analysis of the Cell content in the Czech and foreign curriculum for the lower and upper secondary school was processed. In the empirical part of the thesis, research on pupils' preconceptions about the structure and function of the cell among the 9th grade and the corresponding grades of grammar schools was conducted, using own set of 4 concept tests. In addition, the 6th grade pupils were included in the research. The results of the research showed a slightly better understanding of the Cell Biology concepts of grammar school pupils in comparison to the 9th grade pupils. There was a statistically significant difference related to the frequency of various scientific preconceptions in favour of the grammar school pupils, who scored higher on most of the test items.
<b>Klíčová slova v angličtině:</b>	Cell Biology, Molecular Biology, Genetics, preconception, misconception, conceptual change, ontological categories, curriculum, laboratory exercise, practical exercise, lower secondary school, upper secondary school, grammar school
<b>Přílohy vázané v práci:</b>	<u>Příloha č. 1:</u> Informovaný souhlas s účastí žáka ve výzkumném šetření <u>Příloha č. 2:</u> Konceptové testy <u>Příloha č. 3:</u> Kategoriální systém žákovských odpovědí
<b>Rozsah práce:</b>	161 stran + 20 stran příloh
<b>Jazyk práce:</b>	Čeština

# OBSAH

1	ÚVOD .....	7
2	CÍLE PRÁCE .....	10
3	TEORETICKÁ VÝCHODISKA .....	12
3.1	Problematika struktury a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních .....	12
3.1.1	Hierarchické uspořádání živých soustav .....	12
3.1.2	Problematika struktury a funkce v kontextu teorie konceptuální změny .....	17
3.2	Postavení učiva buněčné biologie v tuzemském a zahraničním kurikulu pro základní a střední vzdělávání .....	23
3.2.1	Učivo o buňce v kurikulu České republiky .....	24
3.2.2	Učivo o buňce v kurikulu Slovenské republiky .....	27
3.2.3	Učivo o buňce v kurikulu Švédského království .....	31
3.2.4	Učivo o buňce v kurikulu Spojených států amerických .....	33
3.2.5	Učivo o buňce v kurikulu Nového Zélandu .....	37
3.3	Výukové strategie a náměty na praktickou výuku buněčné biologie ve vazbě na překlenutí vybraných prekonceptů .....	39
4	METODIKA .....	49
4.1	Výzkumný nástroj .....	49
4.2	Výzkumný soubor .....	50
4.3	Realizace výzkumného šetření .....	52
4.4	Kategoriální systém a kódování dat .....	54
4.5	Statistické zpracování a vyhodnocení dat .....	55
5	VÝSLEDKY .....	57
5.1	Konceptový test č. 1: typy buněk, vnitřní stavba buňky .....	57
5.2	Konceptový test č. 2: hierarchické uspořádání živých organismů .....	82
5.3	Konceptový test č. 3: funkce buněčných organel .....	91
5.4	Konceptový test č. 4: rozmnožování buněk .....	105
6	DISKUSE .....	113
7	ZÁVĚR .....	125
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	128
	SEZNAM PŘÍLOH .....	161

# 1 ÚVOD

„Je těžké pochopit, jak buňka, zpravidla příliš malá na to, aby mohla být pozorována pouhým okem, může být tak složitá.“ (Campbell, 2006, s. 109)

Pravidelné mezinárodní šetření *PISA* ukazuje, že žákovské praktické kompetence mají kontinuálně klesající trend. Z výsledků v oblasti přírodovědné gramotnosti je patrné, že se v poslední dekádě zhoršila průměrná dosažená hodnota u všech účastnících se států z *Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj* (OECD) a *Evropské unie* (EU) vyjma 9 z nich. Tuzemští žáci se v roce 2018 dostali na historicky nejnižší hodnotu 497 bodů, která od prvního testování z roku 2006 klesla o 16 bodů. Přesto to, že se Česká republika stále pohybuje v lehkém nadprůměru, oproti dlouhodobě nejlepšímu Estonsku zaostávala o celkem 33 bodů. Snižující se přírodovědná gramotnost koreluje se stagnující čtenářskou gramotností, v rámci níž výsledky českých žáků oscilují kolem průměrné hodnoty 487 bodů, jež také oproti jiným zemím ukazuje na lehký nadprůměr (Blažek et al., 2019, s. 33-34 a 36-37, srov. mezi lety 2006-2018; Dočekalová, 2021). Z provedených šetření a srovnávacích analýz kurikulárních dokumentů vyplývá, že na školách mnohdy není na praktickou a laboratorní výuku kladen dostatečný a zasloužený akcent, a co víc, nezřídka jí v RVP ani příslušných ŠVP není vymezena odpovídající hodinová dotace (viz např. Neckařová, 2021; RVP ZV, 2021). Souběžně se Česká republika dlouhodobě potýká s nepříznivým fenoménem snižujícího se zájmu žáků a studentů o studium přírodních věd, přírodopis a biologii nevyjímaje (Janštová et al., 2015).

Biologie je svébytným a dynamicky se rozvíjejícím vědním oborem, jež zejména za poslední dvě staletí prochází mohutným a stále se zrychlujícím rozvojem vědeckého poznání a pokročilých laboratorních metod. Od doby, kdy roku 1665 Robert Hooke poprvé pozoroval odumřelé prázdné buňky korku (felému), nápadně mu připomínající malé komůrky, nahlédl do předtím neprobádaného mikroskopického světa s využitím jednoduchého vlastnoručně sestaveného mikroskopu, a poté představil světu stěžejní publikaci *Micrographia* za zavedení dodnes užívaného termínu *cellula* (Hooke, 1665), prošla biologie dalekou cestu. Počínaje A. Leeuwenhoekem, L. Pasteurem, navždy vyvracejícím teorii samoplození „labutím hrdlem“, a dalšími vědci, k moderním objevům 20. a 21. století. Od Mendelových hybridizačních pokusů, vedoucím k odhalení zákonů dědičnosti, buněčné teorie, přes objev struktury molekuly DNA, centrálního dogmatu molekulární biologie, rozluštění genetického kódu, elektronovou mikroskopii, molekulární a separační metody, naklonování prvního organismu, sekvenování genomů, Dawkinsovu *Teorii sobeckého genu*, až po využití poznatků soudobých molekulárních metod a biotechnologií či mnohých dalších (např. v medicíně, kriminalistice, botanice či ochraně přírody; př. Mendel, 1866; Mullis et al., 1986; Saiki et al., 1988; Wilmut et al., 1997).

Narůstající poznání vědního oboru klade vysoké nároky na nejen oborovou odbornou připravenost budoucích pedagogů, ale také na jejich schopnost dané poznatky vhodně transformovat do obsahů mysli žáků (Shulman, 1986; Shulman, 1987). Do popředí se často dostávají kontroverzní otázky využívání biotechnologií, geneticky modifikovaných organismů či očkování například v zrcadle nedávné pandemie COVID-19. Mnohem hojněji také vyvstává na mysl otázka, kam až zasahují hranice vědy, a co lze ještě považovat za etické – oborové vědní hledisko se tak mísí s morálním. Ve výukovém procesu sehrávají, kromě výše zmíněných faktorů (a/ narůstající požadavky na odbornost, b/ *didaktická znalost obsahu*, c/ náročná *psychodidaktická* a *ontodidaktická transformace*, d/ snižující se praktické schopnosti a dovednosti žáků spolu s e/ jejich zájmem o studium (nejen) biologie), zásadní roli také žákovské prekoncepty (Koba a Tweed, 2009; Janík, 2018). Teoretický přehled problematiky prekonceptů (miskonceptů) včetně metod jejich diagnostiky, modelů Kattmanovy didaktické rekonstrukce a Posnerovy konceptuální změny, byl nastíněn již v bakalářské práci autorky, a pročež zde bude jejich deskripce vynechána – terminologické pojetí však bude z práce vycházet. Četné výzkumné studie dokladují, že žáci ve vztahu k buněčné, molekulární biologii i genetice vykazují roztříštěná, nepřesná a alternativní pojetí, bránící koherentnímu a ucelenému obsáhnutí daných disciplín (Shi et al., 2010; Kalas et al., 2013; Wright et al., 2014).

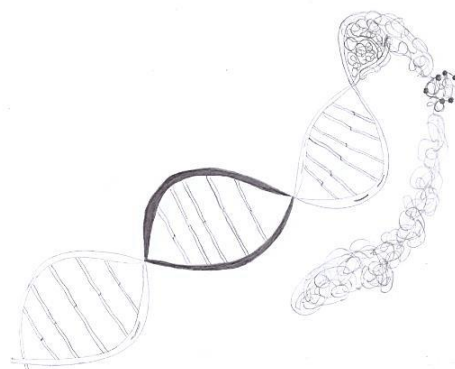
Žáci mají problémy se stavbou, funkcí, fyziologií a biochemií buňky, centrálním dogmatem, buněčným rozmnožováním či přechodem mezi různými hierarchickými kategoriemi (resp. *ontologickými kategoriemi*, Chi et al., 1994; Duncan a Reiser, 2007). Protože se buněčná biologie promítá také do dalších oblastí biologie, představuje nesprávné porozumění jejím konceptům výrazný problém. Tyto (pre)koncepty je při výuce nezbytné zohledňovat, snažit se o jejich průběžnou a včasnou diagnostiku za patřičné alterace, aby výukový prostor nebyl prostředím jejich realizace (Škoda a Doulík, 2011; Koba a Tweed, 2014). K překlenutí prekonceptů může výrazně napomoci praktická a laboratorní výuka, jež je pro výuku biologie naprosto zásadní (Stoklasa, 2010; Jáč, 2018). Souběžně v sobě skýtá potenciál provést žáky za řízeného vedení lektory uskalími mnohých, pro žáky složitých jevů. Orientovat se při ní pedagogové mohou také na méně tradiční metody (shrnuty v textu diplomové práce) jako například využívání modelů. To se jeví za nápomocné při výuce náročných a těžce představitelných témat (replikace, proteosyntéza, buněčné dělení, PCR apod.), avšak je poměrně dobře aplikovatelné napříč takřka všemi spektry biologických věd (Randler, 2008; Guzman a Bartlett, 2012). Studie ukazují, že ačkoliv žáci (studenti) často považují zmíněné obory za abstraktní a nesnadno uchopitelné koncepty s vysokou hustotou náročné odborné terminologie, právě skrze praktickou výuku jsou si k nim schopni hledat cestu. Opomíjena však



nesmí být vhodná motivace žáků (studentů), níž je důležité dále podporovat a rozvíjet (Janštová et al., 2015).

I přesto, že buňka a buněčná biologie patří k jednomu z nejsložitějších témat biologie zpoza studia i samotné výuky, snaha o porozumění její struktuře a funkci by měla představovat pozitivní výzvu – neboť jak Campbell a Reece (2005) trefně podotýkají, právě nyní studujeme biologii v pravděpodobně nejvíce vzrušujícím období, v němž se díky novým výzkumným metodám a řešení problémů otevírá cesta k dosud nepoznaným, nezodpovězeným hádankám a neobjeveným tajům přírodního světa (srov. Jách et al., 2019, s. 13). Závěrem je také nutno připomenout, že obtíže s porozuměním buněčné biologie zdaleka nemají pouze žáci a posluchači vysokých škol, nýbrž také jejich vyučující či profesionální vědci, což například dokladuje asi nejznámější vědecký přešlap, publikovaný v prestižním *Nature* (Ankel-Simons a Cummins, 1996; Colman a Burley, 2007). Tyto těžkosti má však smysl překonávat, poněvadž nám pedagogům nabízejí prostor pro práci s chybou, a každý objev, i ten chybný, s sebou přináší další otázky, z nichž se jednou mohou stát ty výzkumné.

Předložená diplomová práce reflektuje teoretická východiska problematiky žákovských prekonceptů a miskonceptů v kontextu modelů konceptuální změny a didaktické rekonstrukce, nabízí vhled do struktury a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních a souběžně poskytuje zpracovanou komparativní analýzu učiva o buňce napříč tuzemským i zahraničním kurikulem pro základní a střední vzdělávání. Součástí teoretického přehledu je kapitola navrhuje sadu výukových námětů a strategií na laboratorní a praktickou výuku biologie, zacílených na překlenutí vybraných prekonceptů na poli buněčné, molekulární biologie a genetiky. Hlavní část práce představuje rozsáhlé výzkumné šetření, zaměřené na diagnostiku žákovských prekonceptů o buněčné biologii. Empirická část poskytuje ucelený přehled rozličných (pre)konceptů, které je ve výuce vhodné pro zvýšení její kvality i úrovně porozumění zohledňovat. Diplomová práce volně navazuje na bakalářskou práci a dále bude rozvinuta výzkumem genetiky včetně biotechnologií u žáků gymnázií.



## 2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem předložené diplomové práce je identifikace vybraných žákovských prekonceptů v oblasti buněčné biologie u žáků devátých ročníků základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. Pro zpracování diplomové práce byly vymezeny následující dílčí cíle:

- a) zpracovat formou literární rešerše problematiku struktury a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních;
- b) vypracovat analýzu postavení učiva buněčné biologie v tuzemském a vybraném zahraničním kurikulu pro nižší a vyšší stupeň sekundárního vzdělávání (ISCED 2, ISCED 3);
- c) realizovat výzkum vybraných žákovských prekonceptů s využitím konceptových testů, sestavených autorkou za tímto účelem v rámci bakalářské práce, a poté analyzovat získaná data prostřednictvím vhodných statistických metod.

V rámci předloženého výzkumu byly stanoveny následující výzkumné otázky a hypotézy:

- 1) Liší se porozumění konceptům buněčné biologie u žáků 9. ročníků základních škol a žáků 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií?

$H_0$ : Mezi žáky 9. ročníků základních škol a žáky 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií je statisticky významný rozdíl v porozumění buněčným konceptům ve prospěch žáků gymnázií.

$H_1$ : Mezi žáky 9. ročníků základních škol a žáky 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií není žádný statisticky významný rozdíl v porozumění buněčným konceptům.

- 2) Existuje rozdíl v zastoupení jednotlivých typů prekonceptů u žáků 9. ročníků základních škol a u žáků 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií?

$H_0$ : Relativní četnost prekonceptů o stavbě a funkci buňky je u žáků 9. ročníků základních škol statisticky významně vyšší než u žáků 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií.

$H_1$ : Relativní četnost prekonceptů o stavbě a funkci buňky se u žáků 9. ročníků základních škol a žáků 2. a 4. ročníků víceletých gymnázií statisticky významně neliší.

Výzkum byl realizován v návaznosti na ověření očekávaného výstupu *P-9-1-02* (RVP ZV, 2017, s. 72) pro reflexi výstupních vědomostí a porozumění žáků buněčné biologii po ukončení základního vzdělávání (ISCED 2), resp. vstupních vědomostí při nástupu na vyšší vzdělávací stupeň sekundárního vzdělávání (ISCED 3). Výzkumné otázky a hypotézy vycházejí ze zahraničních studií diagnostiky porozumění buněčné biologii (prekonceptí a miskoncepcí; např. Kindfield, 1991; Lewis et al., 2000b; Shi et al., 2010; Wright et al., 2014) a z pravidelného testování *Mezinárodního šetření PISA*, v němž žáci (víceletých) gymnázií dlouhodobě dosahují signifikantně lepších výsledků v přírodovědné gramotnosti oproti žákům základních škol (Blažek et al., 2019, s. 41, srov. mezi lety 2006–2018).

## 3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

### 3.1 Problematika struktury a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních

#### 3.1.1 Hierarchické uspořádání živých soustav

Veškeré živé soustavy jsou uspořádány dle specifické hierarchie, jejímž základním nosným pilířem je buňka (angl. *cell*<sup>1</sup> z lat. *cellula* = komůrka, malá místnost či cela; Hooke, 1665; Schleiden, 1838; Schwann, 1839; ED, 2023; OED, 2023). Tato elementární jednotka, tvořena jinými, nižšími strukturními celky, může být chápána jako nejspodnější fyziologicky soběstačný stupeň organizace, jenž lze pojímat za živý, nebo jakožto dílčí a nezbytná existenční součást komplexnějších organismálních celků (Lodish et al., 2007; Pretini et al., 2019). Esenciálními komplexy, spoluutvářejícími danou entitu, jsou nejmenší částice hmoty, atomy, ionty, organické molekuly, makromolekuly, nadmolekulární komplexy a buněčné organely, podléhající určité kompartmentaci (Martin a Koonin, 2006; Alberts et al., 2014). U koloniálních organismů vytvářejí buňky koloniální shluky či kolonie jednobuněčných i mnohobuněčných struktur, tvořených prokaryotickým, nebo eukaryotickým typem (Poulíčková a Jurčák, 2001; Hašler et al., 2012). U mnohobuněčných soustav se diferencované a specializované buňky dále shlukují do tkání či pletiv, jež spoluutvářejí orgány, ty pak orgánové soustavy až komplexní organismy (Sozen et al., 2021; Kelley a Paşca, 2022; Yen, 2022).

Buňky se vyznačují velkou strukturní, funkční, specializační a tvarovou diverzitou (Dvořák et al., 2017; Huang a Paul, 2019). Platí ovšem, že vykazují řadu společných znaků, mezi něž patří ohraničení od vnějšího prostředí prostřednictvím buněčných membrán, výchozí hierarchická uspořádanost, přítomnost nukleové kyseliny (DNA), univerzální genetický kód, sdílený všemi živými organismy na Zemi, metabolismus, aparát pro syntézu látek, molekulární signalizace, reaktivita či transport (Lodish et al., 2007; Alvarez et al., 2016; Böttcher, 2018; Oyang et al., 2022). Eukaryotické buňky mají mnohem složitější stavbu než prokaryotické, neboť jejich vnitřní prostředí je rozčleněno na chemicky různorodá prostředí, kompartmenty, prostřednictvím endomembránového systému (Gould et al., 2016; Ito a Boutté, 2020). Kompartmenty vzájemně interagují v metabolických pochodech za zpětnovazebné inhibice regulačními faktory a transportu přes buněčné membrány (Boutté a Jaillais, 2020; Bonvento a Bolaños, 2021). Příkladem narušení této organizace u mnohobuněčných organismů

---

<sup>1</sup> Odborná terminologie v českém, anglickém, německém, resp. latinském jazyce, je v práci prokládána kurzívou. Přímé citace použitých literárních zdrojů jsou navíc ohraničeny pomocí uvozovek.

je nádorové bujení rakovinných buněk, jejichž regulační aktivita selhává pro metabolické přeprogramování<sup>2</sup>, často vedoucí k dalšímu postupu karcinogeneze<sup>3</sup> vlivem onkogenů, potlačení recesivních tumor-supresorových genů a mikroprostředí (Pal et al., 2022; Chen et al., 2023b).

Prokaryotické buňky sice pravé kompartmenty nemají, nicméně přesto mohou určité oddělené celky vytvářet. Příkladem lze zmínit bakterii *Ca. Uab amorphum*, jež vytváří vakuoly, v nichž tráví fagocytovanou kořist (Shiratori et al., 2019). Eukaryotické buňky dále obsahují typické nemembránové i membránové organely, které prokaryotické buňky postrádají. Sdílenými, leč strukturně či organizačně odlišnými, jsou pak (celulózní/chitinová/mureinová/buněčná stěna), zpravidla fosfolipidová cytoplazmatická membrána, cytoplazma a ribozómy (Roberts a Selitrennikoff, 1988; Lynch a Marinov, 2017; Baluška a Reber, 2019; Bharat et al., 2021; Yusupova a Yusupov, 2021). Prokaryota mohou mít kromě zmíněných vrstev navíc kapsulu (pouzdro) a své obaly jsou schopna odvrhovat například vlivem stresu, což se jeví jako benefitující ve vazbě na mateřní systém hostitele či rezistenci vůči ATB (Claessen a Errington, 2019; Mancuso et al., 2021). Ribozómy se u eukaryot (80S) vyskytují na povrchu drsného endoplazmatického retikula i volně v cytoplazmě, kdežto u prokaryot (70S) výhradně v cytoplazmě (Palade, 1955; Spitzer a Poolman, 2013). Vlastní aparát pro syntézu proteinů si však ponechaly i semiautonomní organely eukaryotických buněk (O'Brien a Kalf, 1967; Liang et al., 2018).

Rozličné je též uspořádání genetické informace v buňce. V eukaryotických buňkách se dvouvlákno obtáčí kolem oktamerů histonů za vzniku nukleozomů a (makro)molekuly DNA jakožto lineární dvoušroubovice (Watson a Crick, 1953; Bowman a Poirier, 2015). DNA je vysoce organizována v jádře v druhově příslušném počtu chromozomů (D'Hont et al., 2012; Álvarez-González et al., 2022). Prokaryota mají kruhovou molekulu DNA (chromozom) uloženu volně v cytoplazmě v oblasti zvané nukleoid. Dle recentních výzkumů vykazují monoploidii, i oligoploidii až polyploidii (zmožení chromozomálních sad; Sarkar et al., 2021; Soppa, 2022). Genom eukaryot je komplexnější – obsahuje větší počet sekvencí, geny mají

---

<sup>2</sup> Buňky vykazují extrémní syntézu/spotřebu ATP i metabolitů a dysregulaci vychytávání glukózy. Zvýšená syntéza laktátu probíhá při anaerobní glykolýze, z níž nádorové buňky preferenčně (oproti aerobní glykolýze a oxidativní fosforylaci u zdravých buněk) získávají energii (Vaupel a Multhoff, 2020; Chen et al., 2023b). Dong Lee et al. (2019) také např. zjistili, že u myši s SDH biosyntézu citrátu v mitochondriích následuje reverzní aktivita. Absence řízení se však netýká pouze glykolýzy, ale i jiných metabolických drah, které jsou společným předmětem výzkumu (Pal et al., 2022).

<sup>3</sup> Soudobý trend v boji s nádorovými onemocněními se snaží o přesné zacílení nádorové sítě a využití chemoatraktantů za účelem vyvolání imunitní reakce (např. ROS/iNOS u glioblastomů; Pal et al., 2022; Chen et al., 2023a).

složitější strukturu a zahrnují introny (oblasti na DNA, nekódující proteiny, jež mohou obsahovat sekvence sloužící k regulaci genové aktivity; jsou odstraněny při *splicingu*) i exony (protein-kódující oblasti; Blattner et al., 1997; IHGSC, 2004). Lidský genom zahrnuje  $3 \times 10^9$  bp a 20 000 protein-kódujících genů. Přibližně 8 % připadá na repetitivní sekvence nukleotidů 5'-TTAGGG-3' na koncích chromozomů, telomery. Tyto sehrávají esenciální úlohu při buněčném dělení, neboť zabraňují zkracování protein-kódujících oblastí poblíž konců chromozomů při opakovaném buněčném dělení (Lim a Cech, 2021; Nurk et al., 2022). Některé buňky včetně zárodečných buněk a rakovinných aktivují enzym telomerázu sloužící k opětovnému prodloužení zkrácených sekvencí telomer. Příkladem T-lymfocyty, z nichž si vybrané osvojily unikátní metodu omlazování s využitím telomerových váčků z buněk produkujících antigen, čímž zajišťují dlouhotrvající imunitní ochranu (Gao a Pickett, 2022; Lanna et al., 2022; Sheridan, 2023).

Součástí genomu četných mnohobuněčných eukaryot tvoří také *hox*-geny, regulující ontogenetický vývoj, které u prokaryot absentují (McGinnis et al., 1984; Hajirnis a Mishra, 2021). Pro odlišné strukturní uspořádání výchozích typů buněk probíhají buněčné děje (metabolismus, replikace, transkripce, translace) s odchylkami na různých úrovních, katalyzovány příslušnými enzymy (např. replikace a transkripce se účastní DNA/RNA-polymerázy, primázy, helikázy, topoizomerázy apod.). Příkladem replikace DNA probíhá u eukaryot dvěma směry na různých lokusech současně za paralelní činnosti DNA-polymeráz ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), u prokaryot zipovým způsobem z jediného výchozího bodu, počátku replikace *ori-C* (Pol I, II, III; Snustad a Simmons, 2017; Bianco, 2022). Ačkoliv se genomy strukturně rozcházejí, obdobný element lze spatřit například v iniciačním promotoru transkripčních faktorů eukaryot, TATA-boxu, s bakteriálním Pribnowovým boxem (Abril et al., 2020; Parra-Marín et al., 2020; Menon et al., 2021; Zhang et al., 2022). Při transkripci eukaryot ovšem vzniká pět typů RNA – mRNA, tRNA, rRNA, snRNA a miRNA, z nichž první tři postupují do translace. Doménami sdílená circRNA, jejíž funkce zatím není zcela známá, je syntetizována zpětným sestřihem (tzv. *back-splicing*; Zhou et al., 2020; Singh et al., 2022).

Oba typy buněk obsahují také „mimojadernou“ DNA. Eukaryota v semiautonorních organelách, mitochondriích a plastidech – mtDNA, pDNA, resp. ctDNA (Anderson et al., 1981; Ohyama et al., 1986), bakterie v kruhových molekulách, plazmidech, propůjčujících svým nositelům zvýhodňující vlastnosti, čítající například rezistenci vůči ATB. Tyto si předávají konjugací a mohou začleňovat do svého vlastního genomu. Některé bakterie nesou transpozony či jiné elementy (Heuer a Smalla, 2012; Poirel et al., 2018; Hu et al., 2022; Larsson a Flach, 2022). Významný stavební rozdíl zhmotňuje téže přítomnost cytoskeletu u eukaryot,

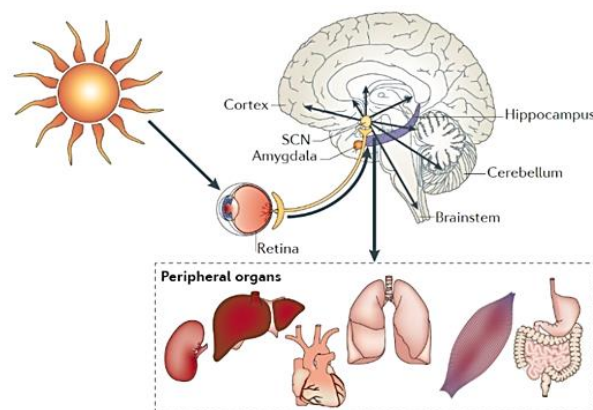
jakožto vnitřní proteinové opěry či aktivní sítě vláken a tubulů, zajišťující vnitrobuněčný transport. Cytoskeletární komplex utváří mikrotubuly, mikrofilamenta a intermediární filamenta. Mikrotubuly, tvořené dimerním tubulinem, se podílejí například na stavbě centrozomů (resp. centriol), dělicího vřeténka a segregaci chromozomů. Cytokineze pak u živočišných buněk probíhá zaškrcením kontraktlním prstencem z aktinových a myosinových mikrofilament, u rostlinných vzniká mikrotubulární fragmoplast (Wickstead a Gull, 2011; Gerien a Wu, 2018; Mascanzoni et al., 2022). Prokaryota vytvářejí pouze vybrané cytoskeletární struktury a proteiny, avšak nikoliv ucelenou síť protkanou buňkou (viz např. Bi a Lutkenhaus, 1991; Löwe a Amos, 2009).

Buňky se strukturně liší také mezi sebou. Rostlinné obsahují navíc celulózní buněčnou stěnu, chloroplasty nebo centrální vakuoly, a jsou acentrozomální – nukleační komplexy distribuují v cytoplazmě. Fotosyntetizující organismy nesou rozmanité typy chloroplastů, jež různé skupiny získaly v rámci seriální (primární, sekundární a terciární) endosymbiózy. Obdobně jako buňky hub postrádají lysozomy. Živočišné i houbové buňky obsahují menší vakuoly. Buňky hub se dále vyznačují chitinózní buněčnou stěnou, absencí chloroplastů a centriol (např. Margulis, 1981; Novák a Skalický, 2017; Liu a Lee, 2022). *Buňky všech typů mohou integrovat nepřebornou plejádu dalších pohybových, adhezních a specializovaných organel či struktur, a pročež bude s ohledem na obšírnost tématu jejich deskripce vynechána.*

U mnohobuněčných soustav je organizace složitější, vyžaduje diferenciaci, specializaci a spolupráci mnoha různých eukaryotických buněk. Tyto zastávají rozličné funkce, nezbytné k zajištění chodu organismu (Shahbazi, 2020; Elmentaite et al., 2022). Komunikace mezi nimi je realizována například membránovými receptory, vážícími signální molekuly (neurotransmitery, hormony, růstové faktory apod.): 1) *spřažené s GTP-vazebnými proteiny*, 2) *s iontovými kanály*, 3) *s tyrosin-kinázovou aktivitou* (Svoboda et al., 2004). Všechny biologické procesy musejí být přesně řízeny, což zajišťují dva doplňující se způsoby jejich regulace – udržování rovnováhy (homeostázy), společné všem organismům, a příprava na pravidelnou změnu (biologické rytmy). Biologické rytmy se poprvé vyvinuly u fotosyntetizujících prokaryot a u většiny dnešních živočichů i rostlin regulují téměř veškeré biologické pochody. Hlavní z nich představuje cirkadiánní rytmus s přibližně dvaceti čtyř hodinovou periodicitou (Dringenberg, 2019; Peng et al., 2022; Zhao et al., 2022).

U savců cirkadiánní systém sestává z několika komponent. Autonomní centrální hodiny (*pacemaker*) se nacházejí v suprachiasmatických jádrech (SCN) v hypothalamu, součásti mozku, a utvářeny jsou sítí nervových buněk, generujících cirkadiánní rytmus na molekulární úrovni prostřednictvím zpětnovazebných smyček hodinových genů (Per1, Cry1,

Bmal1, CLOCK apod.). SCN koordinují rytmickou aktivitu periferních hodin v tělních orgánech a samy jsou synchronizovány vnějším prostředím, fotoperiodou či jinými seřizovači – (ne)pravidelným příjmem potravy či teplotou a dalšími (viz obr. 1; Sumová et al., 2002; Stickgold a Walker, 2010; Takahashi, 2015; Sládek et al., 2020; Honzlová et al., 2022). Systém dominantně synchronizuje střídání dne a noci (u člověka se protíná biologická a sociální rovina). Fotony jsou vychytávány specializovanými světločivnými buňkami na sítnici (ipRGCs = *Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells*; Hattar et al., 2002; Berry et al., 2023), signály vedeny retinohypotalamickým traktem (dráhou, tvořenou gangliovými buňkami, vycházející ze zrakového nervu nad jejich překřížením, tzv. chiasma opticum) do SCN, odkud zpracovaná informace postupuje do epifyzy (šišinky), součásti mezimozku, v níž je produkován melatonin. Vlastní biologické hodiny ovlivňují produkci a uvolňování celé řady savčích hormonů (např. melatoninu či ADH). Jejich hladina osciluje v průběhu subjektivní noci (dne) i během střídání ročních období vlivem změn délky osvětlení a působí na celou řadu fyziologických pochodů i chování organismů (Sumová et al., 2002; Stickgold a Walker, 2010).



**Obr. 1: Hierarchické uspořádání cirkadiánních hodin** (převzato z Novosadová, 2019, s. 12 dle Kondratova a Kondratov, 2012)



### 3.1.2 Problematika struktury a funkce v kontextu teorie konceptuální změny

Mnohé žakovské (studentské) prekoncepce jsou navázány na roztržité porozumění úrovním biologické organizace a jejich funkce (Schneeweiß a Gropengiesser, 2019). Tato fragmentace, prostoupená veskrze širokou škálou oblastí, obzvláště rezonuje na poli biologie buněčné, molekulární a genetiky ve vztahu k mikroskopické a molekulární dimenzi (Lewis et al., 2000a; Nehm, 2019). Žákům činí potíže nejen uvědomování si posloupnosti uspořádání živých soustav, ale také přecházení mezi jednotlivými hierarchickými stupni či uvádění svých znalostí do vzájemné souvislosti (Brown a Schwartz, 2009; Duncan a Borwinkel, 2018) za aplikace komplexního systémového myšlení (*Systems thinking*; Von Bertalanffy, 2015; Verhoeff et al., 2018). K přeměně, tedy *rekonstrukci/restrukturalizaci* (Mareš a Ouhřabka, 1992; Mandíková a Trna, 2011), těchto nejasných pojetí může docházet prostřednictvím série procesů tzv. *modelu konceptuální změny* (Posner et al., 1982; Mareš a Ouhřabka, 2007). V rámci něj jsou alternativní představy vhodně modifikovány a nahrazovány koncepty, reflektujícími soudobý vědecký pohled, opírající se o 4 hlavní pilíře *modelu* a východisek gnozeologie (Posner et al., 1982; Duit a Treagust, 2003; Dočekalová, 2021, s. 15).

Na konceptuální rekonstrukci lze nahlížet taktéž prizmatem ontologického hlediska, podle nějž dochází k přeměně žakovských (pre)konceptů a (nebo na) úrovni tzv. *ontologických kategorií*, do nichž příslušné již interiorizované koncepce spadají (Posner et al., 1982; Chi et al., 1994; Duit a Treagust, 2003). Ontologická kategorizace v podání Chi a Roscoe (2002) vnímá alternativní poznatky jako prostou *ontologickou miskategorizaci* konceptů, které mohou být různého vzniku, a pročež rozličně rezistentní vůči alteraci. Daný model v sobě skýtá epistemologickou, metafyzickou a psychologickou rovinu, prostřednictvím níž se snaží tuto nestejnorodou náročnost konceptuální změny pro vybrané miskoncepce stran žáků zdůvodnit (Chi a Roscoe, 2002; Chi, 2005). *Ontologické kategorie*, odrážející veškeré přírodovědné termíny, děje a jevy, jsou dle Chi et al. (1994, s. 28-29) reprezentovány třemi dimenzemi, a sice: 1) hmota („*matter/things*“), 2) procesy („*processes*“), 3) duševní stavy („*mental state*“; překlad autorka, srov. Jáč et al., 2019, s. 130; Dočekalová, 2021, s. 16). Tyto dimenze autoři znázorňují ve formě rozvětvených stromových diagramů, pro něž platí, že každá *kategorie*, zastupující určitou domněnku, má potenciál být ontologicky odlišná (viz Chi et al., 1994, s. 29).

Chi et al. (1994) a Chi (2005) demonstrují přechod mezi *ontologickými kategoriemi* na příkladech cirkulace krve v cévní soustavě člověka a osmotických jevů. U obou procesů je rozdílně náročné docílit konceptuální změny, neboť poznatky o kardiovaskulárním systému

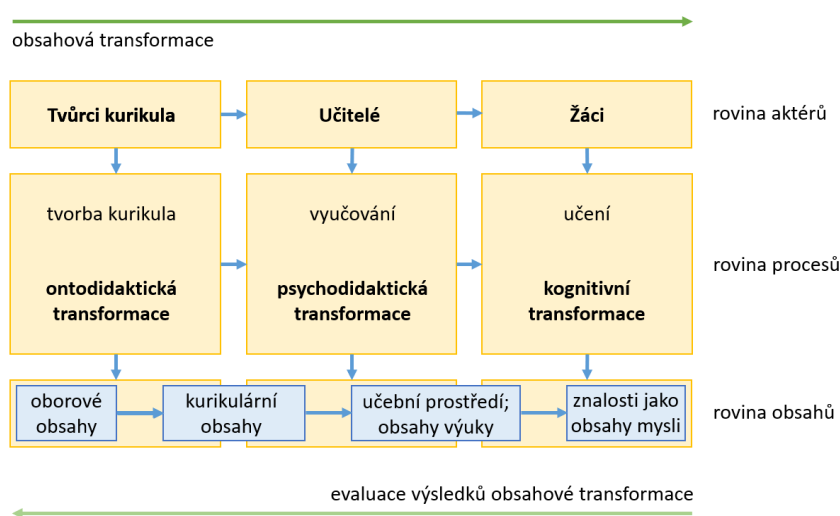
představují přímé procesy (*direct processes*), kdežto poznatky o difúzi procesy samovolné (*emergent processes*), jejichž miskoncepce jsou považovány za mnohem stabilnější a fixnější povahy (srov. Jáč et al., 2019, s. 130). Znalosti a porozumění anatomii oběhové soustavy (stavba srdce, dalších orgánů, cév) patří do ontologické kategorie hmoty (*matter/things*), zatímco její fyziologie (oběh krve, tlak, rychlost toku) do kategorie procesů (*processes*; Chi a Roscoe, 2002; Chi, 2005). Pokud žák ku příkladu vykazuje hojně frekventované miskoncepce nevylišování malého (plicního) a velkého (tělního) krevního oběhu (*single vs. double loop model*; Arnaudin a Mintzes, 1985; Chi et al., 1994) či nepochopení vazby fixace kyslíku ionty hemu erytrocytů, transportu kyslíku, okysličování tkání organismu a obráceně (Yip, 2010), lze je poměrně snadno korigovat v rámci sdílené ontologické kategorie procesů (Chi a Roscoe, 2002; Chi, 2005).

Při difúzi naproti tomu dochází k samovolnému transportu (difundaci) různě velkých molekul z prostředí o vyšší koncentraci (hypertonického) do prostředí o nižší koncentraci (hypotonického) za jejich nahodilého kmitání v rámci Brownova pohybu (Alberts et al., 2014). Chi (2005) tento jev označuje za nepřímou kauzální, tedy spontánní, jelikož při něm nedochází k vyššímu řízení a součinnosti struktur jako u regulace srdeční činnosti (srov. Chi et al., 1994). Reflektuje však skutečnost, že i nepřímé či samovolné procesy mohou být výslednicí jistých meziproců jakožto i procesy přímé (srov. Nolen-Hoeksema et al., 2012). Podobně jako u představ o krevním oběhu zde pro překonání nežádoucích pojetí není třeba navozovat konceptuální změnu, poněvadž nedochází k posunu napříč *ontologickými kategoriemi*, nýbrž v rámci *kategorie procesů* (Chi a Roscoe, 2002). Chybné žákovské koncepty lze tedy obecně „rekonceptualizovat“ mezi *ontologickými kategoriemi* a *úrovněmi* (tj. horizontálně), nebo je „reorganizovat“ v rámci příslušné *ontologické kategorie* (srov. Jáč et al., 2019, s. 130). Duncan a Reiser (2007) v kontextu genetiky dokreslují, že při konceptuální transformaci dochází k postupnému nácvičku a rozvoji myšlení, jež orientaci na různých hierarchických úrovních usnadňuje. Toto je zvláště důležité nejen při výuce genetiky, ale i pro žáky dalších nelehkých oblastí, kde se setkávají s různými, mnohdy těžce představitelnými, jednotkami biologické organizace.

Přechod mezi hierarchickými úrovněmi může být realizován ve dvou koexistujících rovinách, a sice vertikální a horizontální (Verhoeff, 2003). Vertikálním transferem míníme přecházení mezi jednotlivými (různými) úrovněmi organizace či ději (např. přes buněčnou na orgánovou úroveň; Schneeweiß a Gropengiesser, 2021), zatímco horizontálním transferem přecházení mezi strukturami nebo ději na určitém (konkrétním) stupni uspořádání (např. centrální dogma molekulární biologie či poškození DNA ve vztahu k tumor-

supresorovému genu TP53, iniciace signální kaskády, aktivace proteinu p53 a inhibice cyklin-dependentních kináz regulujících buněčný cyklus v G-1 fázi; Verhoeff, 2003; Wright et al., 2014; Wright et al., 2017; Hassin a Oren, 2023). Tyto transfery se vzájemně prolínají a mísí v mikroskopické, makroskopické i mikro-makroskopické dimenzi (např. tok energie v ekosystémech a živých soustavách za provázanosti s buněčnou respirací a fotosyntézou; Alexandre et al., 1996; Harms a Bertsch, 2018), což klade značně vysoké nároky na koherentní oborové uvažování (Verhoeff et al., 2008). Schneeweiß a Gropengiesser (2019) současně namítají, že v rámci komplexnosti uspořádání živých soustav nelze jednoznačně konstatovat, které struktury jsou nadřizeny či podřizeny jiným, neboť vyšší celky by bez těch menších nebyly schopny existence, jsou na nich strukturně i funkčně závislé, a tudíž vůči nim nadřizené i podřizené současně – uvedené může činit porozumění ještě více matoucím.

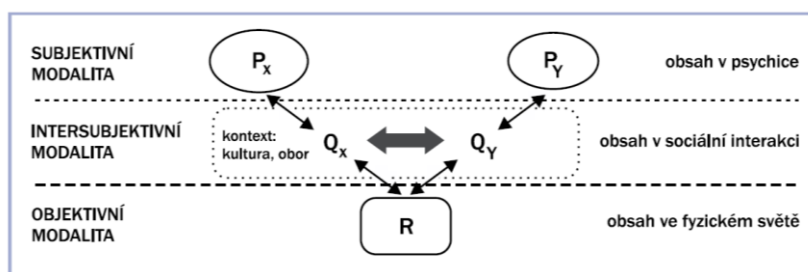
Při regulaci žákovských prekonceptů formou konceptuální transformace ve výuce dochází k protínání dvou rovin procesů – tzv. *didaktické* (resp. *psychodidaktické*) a *kognitivní transformace* (viz obr. 2; Knecht, 2007; Janík, 2018).



**Obr. 2: Hierarchické schéma postupné transformace obsahu ve vzdělávání** (upraveno dle Altmann a Horník, 1985, s. 12-13; Janík, 2018, s. 2; Chocholoušková a Hajerová Müllerová, 2019, s. 15)

Z výše předloženého schématu jasně vyplývá, že pro její realizaci na úrovni *kognitivní transformace* je závazné odpovídající naplnění *ontodidaktické* a *psychodidaktické transformace obsahu* (Koba a Tweed, 2009; Janík, 2018). *Psychodidaktickou transformaci* lze znázornit prostřednictvím tzv. *modelu psychodidaktické transformace obsahu* (viz obr. 3). Dle Janíka et al. (2016) tento představují tři klíčové pilíře, na jejichž existenci je vystavěn celý výukový proces, a od nichž je odvislé strukturní uspořádání daného předmětu. Proměnná *P* v něm značí

poznatek či prekonceptci,  $Q$  znamená obsah či význam proměnné  $P$  a  $R$  je rovno tomu, „*co může být pozorováno anebo při činnosti uchopeno a přetvářeno v okolním světě*“ (Janík et al. 2016, s. 168). Mezi těmito proměnnými platí vztah ekvivalence, jenž lze vyjádřit následovně:  $P \sim Q \sim R$ , resp.  $P \sim Q_x \sim Q_y \sim R$ . U proměnné  $Q_{(x,y)}$  je rozlišováno mezi tím, čemu má žák rozumět, a jeho schopností se o porozuměném s ostatními jedinci dorozumět (příčemž platí, že  $Q_x \sim Q_y$ ). V modelu jsou integrovány tři modalitty existence obsahu: 1) *Subjektivní modalita*, jež je rovna  $P$ , 2) *Intersubjektivní modalita*, rovna  $Q_x \sim Q_y$  a 3) *Objektivní modalita*, rovna  $R$ . Modalitty vyjadřují přeměnu představy, která značí *subjektivní moment existence obsahu*, ve výraz (ve smyslu vyjádření aktéra) a intersubjektivně uchopitelný koncept (Janík a Slavík, 2009; Janík et al., 2016, s. 169).



**Obr. 3: Model psychodidaktické transformace obsahu** (převzato z Janík et al., 2016, s. 169).  
*Pozn.: „Východiskem pro transformaci obsahu jsou ekvivalence mezi obsahem ve vědomí subjektu ( $P_x, P_y$ ), obsahem vyjádřeným ( $Q_x, Q_y$ ) a obsahem, který je předmětem vyjádření ( $R$ )“.  $x$  a  $y$  u proměnných vyjadřují různé aktéry (Janík et al., 2016, s. 169).*

Při výuce (nejen) buněčné biologie se žáci setkávají s obsahy strukturního a funkčního uspořádání buňky na mikro-molekulární (biochemické) úrovni, niž reflektují hlavní fyziologické aspekty buňky, zahrnující buněčnou signalizaci, metabolismus a genovou expresi. Ve vztahu k centrálnímu dogmatu molekulární biologie jsou nicméně uplatňovány další hierarchické stupně až po organismální (Wolkenhauer a Muir, 2011; Shea et al., 2015). Přecházení mezi (zejména) buněčnými strukturami je pro žáky velice obtížné, a tudíž je zde stran pedagogů třeba dbát zvýšené pozornosti na optimální zvládnutí *(psycho)didaktické transformace obsahu* a svých oborových znalostí (Lewis et al., 2000b; Janík et al., 2009). Toto se jeví jako obzvláště klíčovým při výuce náročných a pro žáky abstraktních témat, které bezesporu představuje například proteosyntéza (Koba a Tweed, 2014; Jáč, 2017b). Ontodidaktické obsahové jádro výuky tohoto procesu utváří podle Jáče (2017b, s. 300) „*kódování přenosu genetické informace z DNA do bílkovin*“, na což v konkrétně jím analyzované výukové situaci s využitím metodiky 3A nebyl kladen patřičný důraz. Konceptovou vrstvu proteosyntézy lze s ohledem na obsahové jádro celku znázornit následovně

(viz obr. 4):



**Obr. 4: Konceptová vrstva procesu proteosyntézy** (zdroj: autorka, srov. Jáč, 2017b, s. 295). Pozn.: Konceptová vrstva výukového tématu odpovídá centrálnímu dogmatu molekulární biologie, jež vyjadřuje vzájemné vztahy mezi nukleovými kyselinami a proteiny (Crick, 1970).

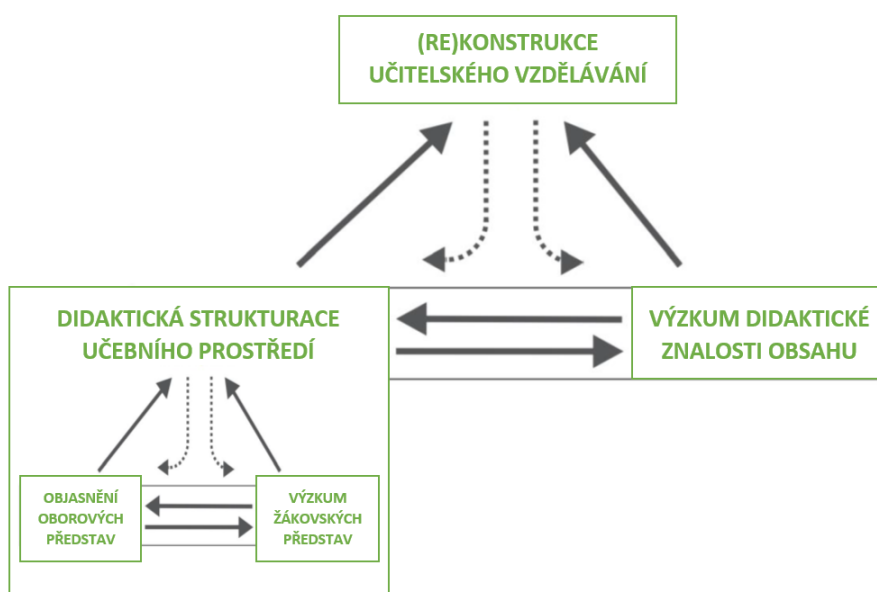
Aby žáci průběh genové exprese pochopili, je nezbytné precizní porozumění úloze genů, již sehrávají ve vztahu k fenotypu, povaze proteinů i komplexním regulačním mechanismům, které proteosyntézu řídí, spolu s propojováním napříč úrovněmi organizace (Crick, 1958; Shapiro, 2009; Vlckova et al., 2016). Z provedených studií ovšem plyne, že studující mnohdy sice umějí vybrané struktury pojmenovat, avšak o nich nedokáží smýšlet v souvislostech a adekvátně popsat molekulární mechanismy, které je doprovázejí (Marbach-Ad a Stavy, 2000; Riemeier, 2005) – nezdá se ale stává osudovou bariérou sama náročná odborná terminologie (Newman et al., 2016). Velmi diverzifikovaná pojetí, bránící porozumění syntéze proteinů, mají žáci již právě ve vztahu ke zmíněným genům a uspořádání genetické informace v buňce (Venville a Treagust, 1998; Wright et al., 2014). Dotčené entity mezi sebou zaměňují, nevylišují mezi geny, znaky, genotypem a fenotypem a nespojují příslušné geny s konkrétními bílkovinnými produkty, jež ve své genetické informaci kódují (Lewis et al., 2000a; srov. Jáč, 2017b, s. 287). Často se také domnívají, že komplexní znaky jsou kódovány pouze jediným genem<sup>4</sup> (Lewis a Wood-Robinson, 2000; Mills Shaw et al., 2008), přičemž genetickou informaci považují u různých typů somatických buněk za odlišnou (Wood-Robinson et al., 2000), leč stabilní a vůči strukturním změnám či mutacím rezistentní (Lewis a Kattmann, 2004; Smith a Knight, 2012; Kattmann, 2015).

S těmito prekoncepty mohou pedagogové přímo pracovat v konstruktivisticky a obsahově pojaté výuce s přihlédnutím k tzv. *modelu didaktické rekonstrukce* zpoza didaktické strukturace učebního prostředí (*Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion*, MER; Kattmann et al., 1997; van Dijk a Kattmann, 2007; Kattmann, 2009), jež byl pro potřeby učitelů a výzkumníků revidován (viz obr. 5, *Educational Reconstruction for Teacher Education*, ERTE). Pomoci si pro navození konceptuální (re)konstrukce žákovských poznatků a pojetí mohou též analýzou výukových situací s využitím metodiky 3A a implementace následné

---

<sup>4</sup> Fenomén, založený na konstrukt, že genotyp je striktně roven fenotypu, označují Gericke a El-Hani (2018) jako (*genetický*) *determinismus* (*genetic determinism*), jenž je veskrze protkán příslušnými obory. Žáci sice pozorují, které struktury se mění, nicméně pouze na povrchu, ignorují tak genetický podklad a hierarchickou součinnost (Duncan a Borwinkel, 2018; Nehm, 2019).

alterace za zohledňování *jádrové činnosti* (Janík et al., 2011; Papáček et al., 2015; Janík et al., 2016, s. 225; Janík et al., 2017; Slavík et al., 2017). Při výuce (nejen) složitých témat musejí být kladeny vysoké požadavky na odborné oborové znalosti, psychodidaktickou transformaci, ale také didaktickou znalost obsahu (*Pedagogical Content Knowledge*; Shulman, 1986<sup>5</sup>), neb jen tak bude výukový proces probíhat ve stylu smysluplného, podnětného, rozvíjejícího a neselhávajícího (ve smyslu odcizeného či utajeného) učení a poznávání (Fisher, 2002; Janík, 2009; Janík et al., 2011).



**Obr. 5: Model didaktické rekonstrukce pro učitelské vzdělávání (ERTE, výchozí trojdimenzionální model převzat z Jáč et al., 2019, s. 27; dále upraveno dle van Dijk a Kattmann, 2007, s. 894, překlad autorka). Pozn.: Janík et al. (2009, s. 24, v kapitole viz Kattmann, 2009) používají pro oblasti integrované do modelu ERTE označení: „(1) didaktické strukturování učebního prostředí, (2) zkoumání učitelových představ (výzkumy PCK) a (3) koncepce učitelského vzdělávání“. Výzkum didaktické znalosti obsahu či výzkum učitelových představ odpovídají Shulmanově didaktické znalosti obsahu (srov. Shulman, 1986).**

<sup>5</sup> Tento fenomén, jímž v podstatě míníme expertní faktor, jenž od sebe vylíčuje dané profese, v sobě skýtá myšlenku, že skutečně dobrý pedagog se vyznačuje hlubokým porozuměním (nejen) svému oboru. Své vědomosti a schopnosti je pak s ohledem na oborovou didaktiku schopen vhodně transformovat do obsahů mysli žáků (Shulman, 1986; Shulman, 1987). Shulman (1986) dané poznatky graficky znázornil v podobě integrativního modelu didaktické znalosti obsahu.

### **3.2 Postavení učiva buněčné biologie v tuzemském a zahraničním kurikulu pro základní a střední vzdělávání**

Rozpravy nad tím, jak má být vědní obor biologie v *projektovaném* kurikulu uchopen a posléze vyučován, probíhají nejen v tuzemsku po celá desetiletí (viz např. Maňák, 2008; Maňák et al., 2008; Park a Sung, 2013; Law, 2014; Lontok et al., 2015; Papáček et al., 2015; Tupý, 2018; Jang, 2020; Kostøl et al., 2022). Za tuto dobu byla vypracována celá řada studií, orientující se na oborovou obsahovou transformaci přírodních věd, kurikulární reformy a vnímání proměn stran odborníků i pedagogů, orientaci kurikula, jeho design nebo tzv. kritická (resp. dynamická) místa (Janík, 2018; Janík et al., 2018; Mentlík et al., 2018; Pešková et al., 2019). Četné práce představovaly také podkladové studie a srovnávací analýzy kurikulárních dokumentů či prakticky zaměřené kazuistiky, neřídka obohacené o využití videozáznamů a jejich následných rozborů (Janík et al., 2011; Holec a Dvořák, 2017; Dvořák et al., 2018; Holec, 2019; Kment, 2019; Rokos et al., 2019). Případové studie reflektovaly výuku na základních, středních, ale i vysokých školách, upozorňující na rozličné problémy, s nimiž se pedagogové v rámci výukového procesu setkávají, a jež jsou při své komplexnosti prostoupeny všemi vzdělávacími stupni (např. Jáč et al., 2019).

Daná kapitola sumarizuje výsledky provedené analýzy postavení učiva buněčné biologie v současném českém i zahraničním projektovaném kurikulu vybraných zemí na úrovni nižšího (ISCED 2) a vyššího stupně (ISCED 3) sekundárního vzdělávání. Rozbor je soustředěn na vzdělávací dokumenty celkem 5 států včetně zástupců severských zemích a Oceánie, jež v šetření *PISA* pravidelně dosahují nadprůměrných výsledků (Blažek et al., 2019). Zvláštní akcent je pak kladen na kurikulum tuzemské, neboť toto je závazné pro výuku v českém prostředí. Vzdělávací programy zemí, jež v šetření přírodovědné gramotnosti dosahují nejlepších výsledků – Estonsko, Japonsko a Finsko (Blažek et al., 2019) – byly prostudovány, avšak z analýzy vypuštěny, poněvadž kurikula nebyla nalezena volně dostupná (z důvodu etiky).

**Tab. 1: Seznam analyzovaných kurikulárních dokumentů**

Stát	Projektované kurikulum
ČR	Rámcový vzdělávací program
Nový Zéland	The New Zealand Curriculum
Slovensko	Štátny vzdelávací program
Švédsko	CCSPCSE, CUSS*
USA	Next Generation Science Standards

\* *Curriculum for the Compulsory School, Preschool Class and School-age Educare, Curriculum for the Upper Secondary School*

### 3.2.1 Učivo o buňce v kurikulu České republiky

Pojetí, cíle a klíčové kompetence tuzemského vzdělávání nižšího sekundárního stupně vycházejí z *Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání* (RVP ZV). Ten aktuálně podléhá revizím, jež se od ledna roku 2021 staly předmětem hojných debat akademiků odborníků, didaktiků přírodovědných oborů i vyučujících z praxe<sup>6</sup>. Hlavní příčina všeobecně platného znepokojení primárně pramení z úprav, provedených ve vzdělávací oblasti *Člověk a příroda* bez předešlé konzultace s pracovními skupinami, podílejících se na určování hlavních směrů vzdělávání (viz např. Žák et al., 2021), a to i přesto, že se daní experti do modifikací RVP dříve aktivně zapojovali (viz např. podkladová studie od Rokose et al., 2019 či Holec, 2020). Rozsáhlé úpravy zapříčinily, mimo jiné, redukci učiva buněčné biologie v kurikulu za vypuštění původního, pro výuku buněčné biologie zásadního, očekávaného výstupu *P-9-I-02* a učiva o základní hierarchii živých soustav (srov. RVP ZV, 2017, s. 71-72 a RVP ZV, 2021, s. 71). Výrazné redukce zasáhly také celek *Praktické poznávání přírody* za vyřazení učiva o „významných biologiích a jejich objevech“ či „zásadách bezpečnosti práce v laboratoři“ a „chování při poznávání přírody“ (srov. RVP ZV, 2017, s. 76 a RVP ZV, 2021, s. 75, uprav.). Hlavní směry a revize RVP ZV byly následně expertními skupinami v několika fázích přepracovány a od srpna roku 2022 procházejí vnitřním připomínkováním, aby v budoucnu mohly být po schválení ze strany MŠMT vydány v platnost. Toto se však netýká přírodopisné, resp. biologické části kurikula, která bude experty dále projednávána a modifikována (NPI ČR, 2022a; NPI ČR, 2022b).

Pro analýzu postavení učiva o buněčné biologii v českém kurikulu byl vzhledem

<sup>6</sup> V roce 2021 proběhlo po zveřejnění provedených úprav celkem 8 veřejných workshopů s panelovou diskusí, orientujících se na hlavní směry revizí RVP ZV. Workshopy byly realizovány pod záštitou univerzit napříč různými městy České republiky (včetně Olomouce) a do debat nad tvorbou revidovaného RVP se mohli zapojit jak akademici, tak samotní učitelé z praxe a mnozí další (videozáznamy jsou volně dostupné ke shlédnutí např. na platformě YouTube; NPI ČR, 2022b).



k aktuálně prováděným revizím vybrán RVP ZV s platností od 1. 9. 2017 (RVP ZV, 2017). Krátká deskripce kurikulárních dokumentů ve vztahu k buňce byla souběžně již načrtnuta v rámci bakalářské práce autorky (Dočekalová, 2021).

Tuzemské kurikulum cílí na rozvoj *klíčových kompetencí*, odrážejících ucelený soubor toho, co by si žák měl po vědomostní, morální (postojové a hodnotové) či dovednostní stránce po ukončení základního vzdělávání ze školy odnášet, a jehož má být souborně nabýváno absolvováním vymezeného obsahu vzdělávání včetně nadstavbových bloků. Cestu k osvojení *kompetencí* zhmotňují jak tematické celky dílčích vzdělávacích oblastí od povinných předmětů přes volitelné, tak tzv. *průřezová témata* (RVP ZV, 2017, s. 10 a 126). RVP stanovuje na 6 *průřezových témat*, jež žáky ve formě aktuálních motivů hlouběji posunují v poznávání vytyčených oblastí nad rámec povinného absolutoria, přičemž do výuky *Přírodopisu/Biologie* se přímo promítá *Environmentální výchova* (RVP ZV, 2017, s. 135-138). Organizační, časové a procedurální hledisko jejich zařazování v kombinaci s realizací nařízeného obsahu je plně v kompetenci nižších vzdělávacích dokumentů, načež RVP stanovuje za každou vzdělávací oblast určitý počet povinných a disponibilních hodin, s nimiž školy dále operují na úrovni příslušných ŠVP (RVP ZV, 2017, s. 126 a 141-145). Kurikulum dále pracuje s tzv. *očekávanými výstupy* (resp. *podpůrnými opatřeními*), jež představují závazné a měřitelné rámce dosahovaného žakovského vzdělávání, a stanovují tak nezbytnou vědomostní a schopnostní úroveň jedince na konci 5. a 9. ročníku (RVP ZV, 2017, s. 14-15). Obsah *očekávaných výstupů* podrobněji konkretizují a usměrňují tzv. *Standardy vzdělávání*, které tak napomáhají v jejich naplňování (Standardy pro ZV: Přírodopis, 2013).

Obsah vzdělávání je v RVP rozčleněn do vzdělávacích oblastí, kdy *Přírodopis/Biologie* spadá spolu s *Fyzikou, Chemií a Zeměpisem (Geografií)* do oblasti *Člověk a příroda* (RVP ZV, 2017, s. 2-3 a 63). Ten je dále členěn do 8 tematických celků, za něž jsou vymezovány *očekávané výstupy*, vážící se k jeho konkrétním bodům (RVP ZV, 2017, s. 71-76). K *výstupům* kurikulum předepisuje také *minimální doporučenou úroveň pro úpravy v rámci podpůrných opatření* (viz např. RVP ZV, 2017, s. 73-74, uprav.). Nejméně obsáhlý z celků představuje *Praktické poznávání přírody*, v němž je upravena praktická výuka *Přírodopisu/Biologie* včetně laboratorních prací (RVP ZV, 2017, s. 76).

Učivo buněčné biologie je v RVP ZV ukotveno v rámci tematického celku *Obecná biologie a genetika*, jenž je standardně vyučován v 6. ročníku 2. stupně základního vzdělávání, resp. v primě nižšího stupně víceletých gymnázií (žáci se však s buňkou poprvé setkávají již dříve v průběhu předškolního vzdělávání, či na úrovni prvního stupně základní školy; RVP ZV, 2017, s. 71; Dočekalová, 2021). Látka o základní fyziologicky soběstačné jednotce života

je reprezentována očekávaným výstupem „P-9-1-02“, tj. „žák popíše základní rozdíly mezi buňkou rostlin, živočichů a bakterií a objasní funkci základních organel“, přičemž minimální doporučená úroveň ve vztahu k podpůrným opatřením zde není stanovena (přírodopis; RVP ZV, 2017, s. 72). Obsah daného celku je navázán na vznik a uspořádání organismálních soustav napříč systémem, propojenost stavby a funkce, základní principy dědičnosti a proměnlivosti, taxonomii či na kontrast buněčnosti ve vztahu k nebuněčným strukturám (přírodopis; RVP ZV, 2017, s. 72). Prostupuje však také veskrze dalšími tematickými celky, náležícími (nejen) ke vzdělávacímu oboru *Přírodopis* (viz např. *Částicové složení látek a chemické prvky a Organické sloučeniny* ve vazbě na biochemické procesy buňky v *Chemii*; chemie; RVP ZV, 2017, s. 69 a 70). Důležitou roli pak sehrává ve vztahu k tematickému celku *Praktické poznávání přírody*, který upravuje praktickou výuku *Přírodopisu/Biologie*, jenž je blíže specifikována na úrovni příslušných ŠVP (přírodopis; RVP ZV, 2017, s. 76).

V rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (RVP G), podle něž se řídí vyšší sekundární vzdělávání, spadá učivo buněčné biologie pod vzdělávací obor *Biologie* do tematického celku *Obecná biologie*. Konkrétněji je reprezentováno výstupy 3 a 4, které se přímo dotýkají stavby a struktury buňky, tj. „žák objasní stavbu a funkci strukturních složek a životní projevy prokaryotních a eukaryotních buněk“ a „vysvětlí význam diference a specializace buněk pro mnohobuněčné organismy“ (biologie; RVP G, 2007, s. 31). Vzdělávací obsah tematického celku je, stejně jako u RVP ZV (2017), pevně svázán s evolucí všeho živého na Zemi či hierarchickým uspořádáním fosilních i recentních organismů. Svou interdisciplinarností je však učivo buněčné biologie vetkáno též do jiných tematických celků, kterými jsou *Genetika*, *Biologie bakterií*, *Biologie protist*, *Biologie rostlin*, *Biologie hub*, *Biologie živočichů*, *Biologie člověka*, potažmo *Ekologie*. Jeho znalost je nicméně nezbytná i pro úspěšné absolvování zbývajících tematických celků, a sice *Biologie virů*, ve vztahu k porozumění základním rozdílům mezi živými buněčnými organismy a těmi nebuněčnými na pomezí živého/neživého světa (biologie; RVP G, 2007, s. 31-34). Cytologie je navázána také na důležitá praktická cvičení, stěžejní pro výuku dané oblasti, u nichž je stanovena minimální hodinová dotace se zde již povinně předepsanou dělbou žáků do skupin (RVP G, 2007).

Buněčná biologie má nejbližší k vědním oborům molekulární biologie a genetiky, s nimiž je neodmyslitelně spjata. Ze dvou jmenovaných je v RVP G (*Biologie*) detailněji uchopen vědní obor genetiky. V odpovídajícím tematickém celku je učivo buněčné biologie navázáno zejména na látku vzdělávacího obsahu *Molekulární a buněčné základy dědičnosti a Dědičnost a proměnlivost živých soustav*, související pak *Genetika člověka* a *Genetika populací*. Přesněji se jedná o očekávané výstupy 1 a 2, tj. „žák využívá znalosti o genetických

*zákonitostech pro pochopení rozmanitosti organismů“ a „analyzuje možnosti využití znalostí z oblasti genetiky v běžném životě“ (biologie; RVP G, 2007, s. 34). Buněčná biologie se dále zrcadlí v jiných vzdělávacích oblastech přírodních věd (Chemie, Fyzika) a souběžně sama integruje jejich dílčí poznatky jakožto součást mozaiky soudobého vědeckého poznání (viz např. Biochemie, chemie; RVP G, 2007, s. 31). Výše uvedené vědní směry jsou na školách gymnaziálního typu podrobněji řešeny na úrovni příslušných ŠVP, z nichž některé dokonce umožňují žákům v dané oblasti maturovat, či si alespoň v závěrečných ročnících zapsat navazující volitelné semináře, jež dále rozvíjejí vyučovací obsah *Biologie* a oborový zájem studentů nad rámec standardní výuky (viz např. ŠVP GFPVM, 2013/2014; ŠVP GBKJ, 2021/2022).*

### 3.2.2 Učivo o buňce v kurikulu Slovenské republiky

Ústřední cíle a klíčové kompetence slovenského vzdělávání nižšího sekundárního stupně vycházejí ze *Štátného vzdelávacieho programu* (ŠVP, 2016). Kurikulární dokument je specifický tím, že jsou v něm, na rozdíl od tuzemského RVP, paralelně reflektovány *rámcové vzdělávací plány i vzdělávací standardy* (RVP G, 2007; Standardy pro ZV: Přírodopis, 2013; ŠVP, 2016; RVP ZV, 2017). Podobně jakožto i *Next Generation Science Standards* (USA) cílí na obsáhnutí znalostí a dovedností v rámci příslušného oboru za lehkého odchýlení od rozvoje klíčových kompetencí a mezipředmětových či mezioborových vazeb, příznačně typických pro zbylá analyzovaná kurikula včetně toho tuzemského (RVP G, 2007; NZC, 2015; ŠVP, 2016; NGSS, 2017; RVP ZV, 2017; CCSPCSE, 2018). Výraznou změnu oproti české koncepci (RVP G, 2007, s. 82-83 a 85; RVP ZV, 2017, s. 141-142 a 144-145) představuje také nařízení povinně určené hodinové dotace za jednotlivé vzdělávací obory, biologii nevyjímaje, čímž se značně snižuje manipulační plocha pedagogických pracovníků při následné tvorbě školních vzdělávacích programů. Jako kompenzaci však *Program* nabízí navýšení o určitý počet disponibilních hodin (ŠVP, 2016, s. 3-4).

Vzdělávací obor *Biológia* spadá do vzdělávací oblasti *Človek a príroda* společně s *Chemií a Fyzikou* (ŠVP, 2016, s. 3). Jeho obsah je rozpracován do dvanácti tematických celků, pojednávajících o živé i neživé přírodě, přičemž pro každý z nich ŠVP stanovuje tzv. *výkonové a obsahové standardy* (ŠVP: Biológia, 2016). Obě složky jsou ve vztahu k sobě v nepoměrném zastoupení, kdy k *obsahovým standardům* lze velmi často přiřadit vícero *výkonových. Standardy* nastavují odpovídající a měřitelné absolutorium konkrétních tematických celků (resp. samotných oborů) v podobě žakovských výstupů, tedy znalostí a dovedností na konci každého ročníku (ŠVP, 2016; ŠVP: Biológia, 2016, s. 3-13). Navzdory tomu, že je *Štátny*

*vzdelávaci program* (a jemu přidružené dokumenty) v naplňování přesně nastavených kritérií dosti striktní, umožňuje například rozšiřovat obsah výuky nad rámec předepsaných tematických celků v souladu s kognitivními možnostmi a schopnostmi žáků (ŠVP, 2016; ŠVP: Biológia, 2016). Jeho výchozí záměr strukturace obsahu kurikula do vzdělávacích oborů (resp. dále předmětů) je nicméně řadou odborníků odsuzován (viz např. Janík, 2018).

ŠVP směřuje učivo buněčné biologie do tematických celků *Živé organizmy a ich stavba*, *Základné životné procesy organizmov* a *Dedičnosť a premenlivosť organizmov* (ŠVP: Biológia, 2016, s. 5, 6, 8 a 9). Podle *výkonových standardů* mají žáci být na konci 6. ročníku schopni ku příkladu srovnat stavbu živočišné a rostlinné buňky, navrhnout schéma organismální uspořádanosti na příkladu živočišné a rostlinné vícebuněčné hmoty či sestavit a pozorovat dočasný (resp. trvalý) preparát buněk světelným mikroskopem. Celek, ekvivalentně jako tuzemské kurikulum, pracuje i s odlišností celulárních a acelulárních struktur aj. (ŠVP: Biológia, 2016, s. 5). V kontrastu s ním ale zřetelněji seskupuje obsah celků, dedikovaných zoologii bezobratlých, biologii hub a rostlin či, sekundárně, parazitologii (srov. ŠVP: Biológia, 2016, s. 5-6 a přírodopis; RVP ZV, 2017, s. 71-74). Opětovně se buňka navrácí ve druhém zmíněném bloku, následujícím biologii člověka, v 8. ročníku. Přidružené *obsahové* i *výkonové standardy* v něm kloubí buněčné dělení, stavbu, funkci a fyziologii vytyčených struktur různorodých systémů, jejich vývojové cykly, způsob života, rozmnožování, a s nimi související témata (ŠVP: Biológia, 2016, s. 7-9).

Naposledy se žáci s cytologií na základní škole setkávají, vyjímaje mezipředmětového a mezioborového prolínání, při probírání základů genetiky, jež nasedají na předešlý, fyziologicky zaměřený, tematický celek (ŠVP: Biológia, 2016, s. 8-9). Po jeho skončení by měli závěrem 8. ročníku prokázat zvládnutí faktografických základů oboru (vymezení vědního oboru, terminologie, hlavní východiska), aplikaci poznatků na početní úlohy nebo příkladně demonstrovat užitost osvojeného vědění do reálného života (genetické poradenství, šlechtění zájmových organismů). Relativně zajímavý *výkonový standard* představuje požadavek na objasnění replikace a meiotického dělení (viz ŠVP: Biológia, 2016, s. 9). Celý blok je pak, jakožto i samotné slovenské vzdělávací pojetí, nejvíce koncentrován do roviny zapamatování si, vysvětlování, hodnocení a porozumění (např. žák vysvětlí příčinu tvorby dceřiné molekuly DNA) za odklonu od dimenze procedurální a metakognitivní (ŠVP, 2016; ŠVP: Biológia, 2016; Rokos et al., 2019). Avizovanou doménu je rovněž jako veškeré učivo slovenského kurikula povoleno při školní realizaci ještě rozvíjet o příbuzné okruhy, kombinující probírané (ŠVP, 2016).

O vyšším sekundárním vzdělávání na gymnaziální úrovni pojednává *Štátny vzdelávaci*

program pre gymnáziá v Slovenskej republike, jenž řídí vzdělávání čtyřletých, osmiletých gymnázií se slovenským i národnostně menšinovým vyučovacím jazykem či bilingvních gymnázií (ŠVPGSR, 2011). *Biológia* v něm opětovně spadá do vzdělávací oblasti *Člověk a příroda* spolu s *Chemii* a *Fyzikou*, avšak nově je rozdělena do třech hlavních tematických okruhů (*Svet živých organizmov, Základné znaky, vlastnosti a prejavy živého* a *Biológia človeka a ochrana zdravia*), které se dále dělí na tematické celky a jejich dílčí podkategorie. Tematické celky jsou rozděleny na *obsahovou* a *výkonovou* část, směřující ke konkrétním žákovským výstupům (ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 2 a 5-21). Buněčná biologie je primárně řazena do druhého tematického okruhu, kde ji lze nalézt v celcích *Všeobecné vlastnosti živých sústav, Stavba a organizácia tela živých organizmov, Životné prejavy živých organizmov, Dědičnosť a premenlivosť* a *Praktická cvičení* (ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 5 a 10-17). Neboť *Program* zdůrazňuje centralizaci rozvoje oborových schopností a dovedností, jejich výkonová složka je uchopena velmi podrobně, a pročež analýza představuje pouze vymezenou část (srov. ŠVPG: *Biológia*, 2009 a zbylé kurikulární dokumenty).

Středoškolské kurikulum zahrnuje kombinaci strukturálních (stavba buňky/organismu, komparace různých typů buněk), funkčních (spjatost stavby, funkce a tvaru) a fyziologických (biochemie) východisek. Buněčná biologie, prolínající se napříč celým kurikulem a zmíněnými celky, je přitom vylišena i v samostatně stojící podkategorii *Bunka* tematického celku 2 (ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 10). Žáci by (nejen) po jejím absolvování měli být například schopni srovnat stavbu prokaryotické a eukaryotické buňky na základě jejich modelových typů (bakteriální, živočišná, rostlinná) – načež pro ně kurikulum přímo definuje organely, jež je třeba znát – „*buněčné obaly, cytoplazmu, základní membránové a nemembránové organely, vláknité struktury včetně mitotického aparátu, ribozómy a neživé součásti buňky*“, ale uvědomovat si také velikostní či tvarovou diverzitu buněk s ohledem na různé typy pletiv a tkání nebo vyšších hierarchických jednotek, které mohou spolutvořit (ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 10-17, uprav.). Podkategorie zmiňuje i buněčnou teorii, o níž by však žáci dle výkonových požadavků měli mít pouze elementární povědomí (srov. ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 10 a NGSS, 2017, s. 58).

*Biológia* se detailně věnuje životním procesům organismů včetně rozmanitých biochemických procesů v nich probíhajících. Ve vztahu k metabolismu se příkladmo soustřeďuje na difúzi, osmózu, transport látek, anabolické a katabolické dráhy, respiraci, fotosyntézu či funkci biokatalyzátorů. U rostlin a mikroorganismů neopomíjí aerobní a anaerobní dýchání nebo procesy kvašení, u živočichů zase vstřebávání živin, vnitrobuněčné trávení či například homeostázu (ŠVPG: *Biológia*, 2009, s. 7-8 a 11-13). Buňka se dále objevuje v podkategoriích *Rozmnožovanie* a *Delenie buniek* (a dalších jim příbuzných – ontogeneze,

životní cykly aj.) za rozlišování sexuální a asexuální reprodukce. Podkategorie *Delenie buniek* zahrnuje tři okruhy, dotýkající se buněčného cyklu a jeho fází či buněčného dělení. Žáci by měli vylišovat buňky somatické a gamety, způsoby jejich vzniku za zohlednění diferenciačního a specializačního aspektu. Ve vztahu k mitóze kurikulum udává veškeré základní fáze (profáze-telofáze), terminologii (dělicí vřeténko, centromera) či předcházející proces replikace genetické informace (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 13-14).

Důležité výkonové požadavky podkategorie představují body č. 3, 5, 7, 8, jež reflektují jedny z nejčastějších žákovských prekonceptů ve vazbě na porozumění buněčnému dělení. Obzvláště podstatným je bod 3 (žák dokáže „rozpoznat chromozom v interfázi buněčného cyklu a během dělení buňky“), jehož naplnění činí žákům výrazné potíže (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 13; prekoncept viz např. Kindfield, 1991; Lewis a Wood-Robinson, 2000; Dočekalová, 2021, kap. 3.3). Učivo buněčné biologie je dále prostoupeno tematickým celkem *Dedičnosť a premenlivosť*, který se věnuje základům genetiky včetně té mendelistické, na jejíhož zakladatele je kladen zvláštní zřetel. Oblast se, kromě tradiční látky, pojednávající o dědičnosti (krevní skupiny, onemocnění, vázaná na chromozomy), dominanci, proměnlivosti, hybridizaci, štěpných poměrech, backrossu, vazbě genů, účincích maior/minor genů, změnách v počtu a struktuře chromozomů, genových interakcích či mutacích a mutagenech, zaměřuje téže na molekulární základy dědičnosti a genetiku člověka (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 14-16).

Podkategorie *Základy bunkovej dedičnosti* dále rozvíjí konstrukty, osvojené v rámci *Delenie buniek*, soustřeďující se na pokročilejší terminologii (lokus, crossing-over, plazmid), stavbu a různé typy chromozomů (autozómy, gonozómy, homologické, heterologické), meiotické dělení včetně základních fází, jadernou i mimojadernou dědičnost či podstatu dědičnosti u vybraných struktur (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 14). Kurikulum, paralelně jakožto i Švédsko, integruje fenomén prvních vůči antibiotikům rezistentních kmenů bakterií (srov. ŠVPG: Biológia, 2009, s. 14 a biologie; CCSPCSE, 2018, s. 170). *Molekulové základy genetiky* těží z předchozích okruhů a podpírají je znalostí složení nukleových kyselin DNA, RNA a jejich příslušných typů do úrovně bází, toku NK prostřednictvím porozumění centrálnímu dogmatu molekulární biologie či, dokresluje, procesy transkripce, translace a genové exprese (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 15). *Premenlivosť – mutácie* pak zohledňuje změny ve struktuře příslušných molekul a otevírá soudobá témata manipulací na genové úrovni, genového inženýrství či geneticky modifikovaných organismů, a spjatých eticky lazených otázek o *Genetice človeka* (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 15-16).

Učivo buněčné biologie se objevuje také v tematickém celku *Praktická cvičení*

u pozorování buněk, anatomie vyšších hierarchických jednotek, životních procesů organismů či buněčného dělení. Vyjma dalších mezipředmětových/mezioborových vazeb se buňka objevuje například v *Mikrosvete* (ŠVPG: Biológia, 2009, s. 7-8). Kurikulum operuje téže s aktuálním termínem biotechnologie, které z poznatků buněčné, molekulární biologie a genetiky vycházejí (viz např. využití rostlinných orgánů; Biológia, 2009, s. 11).

### 3.2.3 Učivo o buňce v kurikulu Švédského království

Ve Švédsku se nižší sekundární vzdělávání řídí podle kurikulárního dokumentu *Curriculum for the Compulsory School, Preschool Class and School-age Educare*, jenž byl v roce 2018 revidován (CCSPCSE, 2018). Jeho progresivní koncepci zhmotňují vytyčené cíle, koncentrované na přebírání odpovědnosti za vlastní činorodou participaci v učícím kontinuu, hodnocení učebního progresu, posilování zdravé sebedůvěry, samovolné zkoumání a řešení problémů, přejímání iniciativy ve svém konání a na spoluutváření benefítujících podmínek pracovního prostředí stran žáků (CCSPCSE, 2018, s. 13-14). V tomto jim mají nabízet pomocnou ruku pedagogové, kteří s nimi v řešení otázek výuky otevřeně kooperují za co největšího možného zařazování mnohotvárných výukových metod a forem (zahrnujících i návrh a tvorbu badatelských projektů), respektování individuálních specifík jedinců a nastolení rovných a kladně stimulačních podmínek učebního prostředí pro každého z nich (CCSPCSE, 2018, s. 5-9, 12, 14). Za zmínku stojí také švédské nazírání na hodnocení žáků, kdy známky neplatí za pouhou klasifikaci měřitelných žákovských výstupů, nýbrž jako hodnotné vodítko k autoevaluaci (CCSPCSE, 2018, s. 16-17).

Vzdělávací obor biologie je v kurikulu řazen do vzdělávací oblasti *Science Studies* spolu s fyzikou a chemií (CCSPCSE, 2018). Jeho vzdělávací obsah, charakterizován jako tzv. *jádrový obsah*, je rozdělen do několika bloků pro nižší (1.-3. ročník), střední (4.-6. ročník) a vyšší (7.-9. ročník) stupeň primárního/nížšího sekundárního vzdělávání (biologie; CCSPCSE, 2018, s. 167-170). Učivo buněčné biologie přímo spadá do tematického celku *Body and Health*, vyučovaného v rozmezí 7. – 9. ročníku (biologie; CCSPCSE, 2018, s. 169-170). Celek pojednává o uspořádání živých i neživých soustav, vztahu stavby, funkce a fyziologie vybraných jednotek, evoluční biologii a základech genetiky včetně metod genového inženýrství a eticky lazených otázek dotyčného vědního oboru. Zahrnuje také problematiku fyzického i mentálního zdraví, duševní hygienu, reprodukci ve vztahu k nemocem a základní prevenci či motivy hledání vlastní identity a rovnoprávnosti pohlaví. Velmi inspirativním aspektem je integrace aktuálního fenoménu antibiotik a ve vztahu k nim prvních rezistentních kmenů bakterií (biologie; CCSPCSE, 2018, s. 170). S blokem se pojí skupiny požadavků na vědomosti,

jichž má být souborně dosaženo do 9. ročníku studia (biologie; CCSPCSE, 2018, s. 173-176).

K buňce a v ní probíhajícím fyziologickým procesům se, nicméně, neváží žádné specificky formulované předpoklady na *výstupy/standards*, jako je tomu např. u tuzemského či slovenského kurikula – definovány jsou pouze v obecnější rovině, a to za všechny bloky, spadající do příslušného rozmezí ročníků středního nebo vyššího stupně nižšího sekundárního vzdělávání, souhrnně. Význam je u takto zformovaných požadavků na žákovské vědění příkládán popisování jevů, udávání příkladů, zdůvodňování, porozumění a aplikaci porozuměnému (viz např. biologie, chemie; CCSPCSE, 2018, s. 171-176 a 193-197, méně či více vzdálené mezioborové vazby však prosakují skrze celým švédským kurikulem). Příkladem lze uvést propojení strukturálního a funkčního hlediska u živých i neživých systémů, postavení stavebních a chemických vlastností některých sloučenin a plynů do souvislosti s biochemickými procesy (např. fotosyntézou), anebo, letměji, přemýšlení o biologii a jejích konceptech v širších souvislostech za integrace poznatků (CCSPCSE, 2018). Žáci by také měli být seznámeni se zásadními objevy na poli biologie ze současné i historické perspektivy, oborovu základní metodologií či postupem práce při experimentování (CCSPCSE, 2018, s. 169).

Vyšší sekundární vzdělávání upravuje *Curriculum for the Upper Secondary School* (CUSS, 2013), jež bylo stejně jako kurikulární dokument pro nižší sekundární vzdělávání v roce 2018 revidováno – změny však nejsou součástí tištěné ani digitální publikace. Veškeré aktuální informace o programech a plánech středoškolského vzdělávání je možno dohledat na webových stránkách vydavatele (Skolverket). Syllabus běžné střední školy vylišuje integrované *Science* a *Biologii*. Deskripce *Science* (CUSS: Science, 2012) je uchopena spíše v obecnější rovině za rozvoje znalostí o vědě a kritického smýšlení, aplikace osvojovaných poznatků do reálné praxe a integrace metod soudobé vědy do řešení různorodých situací. Oblast je zaměřena také na problémy současného světa – problematiku životního prostředí, dopady chování člověka na přirozená prostředí, recyklaci, obnovitelné a neobnovitelné zdroje, změny klimatu a globální oteplování, genové inženýrství, genové modifikace a GMO, technologií či otázku duševního a fyzického zdraví jedinců (CUSS: Science, 2012, s. 1 a 3-14). Buněčná biologie je obsírněji nastíněna v *Biologii*, a to včetně okruhů obecné, molekulární biologie, genetiky či biotechnologií (CUSS: Biology, neuv.).

*Biologie* je zaměřena nejen na praktické osvojování poznávaného, ale také na historický vývoj příslušného vědního směru a jeho metodologii. Učivo o buňce je převážně rozvrženo do celků *Buněčná a molekulární biologie*, *Genetika*, *Biotechnologie* a *Základní principy studia přírodních věd* (CUSS: Biology, neuv.). První zmíněný celek zahrnuje životní cyklus buněk,



buněčné dělení, specializaci a diferenciaci buněk či jejich signalizaci a membránový transport. Dále prohlubuje znalosti o fyziologii, metabolismu buňky a biochemických procesech, regulaci fyziologických dějů nebo ontogenetickém vývoji jedince. Koncentruje se též na využití buněčné i molekulární biologie v praxi, molekulární témata prizmatem evoluce či etické otázky, vyvstávající na podkladě aktuálních možností a přístupu vědy (CUSS: Biology, neuv., s. 7). Tematický celek *Genetika* se zaměřuje na buněčné dělení, výchozí mechanismy dědičnosti a proměnlivosti, strukturu genů, genovou expresi, replikaci, translaci a působení mutagenů na organismus. Zmiňuje také aplikaci poznatků moderní genetiky v současném světě (CUSS: Biology, neuv., s. 3). Ojedinělým celkem jsou pak samostatně stojící *Biotechnologie*, reflektující soudobé vědní trendy (CUSS: Biology, neuv., s. 11).

*Biotechnologie* pojednávají o vývoji daného, relativně mladého, vědního oboru, metodách genového inženýrství, sterilizaci, kultivaci či fermentaci, dále fyziologii buňky a vzájemných interakcích či o využití biotechnologií v rozličných biologických a medicínských odvětvích. Věnují se současně také geneticky modifikovaným organismům nebo důležité roli, kterou určité typy buněk v moderním výzkumu sehrávají (kurikulum příkladmo uvádí kmenové buňky, nádorové buňky, bakterie či kvasinky). Diskutují nicméně také důležitý protipól, a sice komparaci náhledů odborné a laické veřejnosti na dané fenomény, jež se některým jeví jako kontroverzní (CUSS: Biology, neuv., s. 11). V badatelském pojetí se buňka zračí i v posledním z uvedených celků, zaměřeném na praktickou výuku biologie, neopomínaje pokusy, experimenty a laboratorní práce (např. kultivace bakterií; CUSS: Biology, neuv., s. 7). V neposlední řadě učivo u buňce najdeme v celcích *Fyziologie organismů* včetně člověka či, vzdáleněji, *Ekologie* (CUSS: Biology, neuv.).

*Pozn.: Vzhledem k naprosté a dokonalé provázanosti švédského projektovaného kurikula i obecnější specifikaci požadavků na obsáhnutí látky nelze v rámci této diplomové práce vyzdvihnout všechny mezipředmětové a mezioborové souvislosti, týkající se buněčné biologie – souběžně však toto ani není jejím cílem.*

### **3.2.4 Učivo o buňce v kurikulu Spojených států amerických**

Nižší i vyšší sekundární vzdělávání Spojených států amerických upravují *Next Generation Science Standards* (NGSS, 2017). *Standardy* si ve svých vizích kladou za cíle myšlení v souvislostech, propojování nabytých vědomostí a dovedností napříč celou škálou oborů či aktivní participaci na učení, svévolné bádání a relevantní argumentaci při obhajobě tezí žáky. V kontrastu s kurikuly České republiky, Švédského království a Nového Zélandu (RVP G, 2007; NZC, 2015; RVP ZV, 2017; CCSPCSE, 2018) a obdobně jako u kurikula

Slovenské republiky směřují k centralitě daných vědních směrů za žákovského zvnitřnění prakticky uplatnitelných oborových vědomostí a schopností. Veškerý osvojovaný obsah vzdělávání by tedy měl být aplikovaný do praxe žáků za využívání patřičných metod, napomáhajících k překonávání rozličných problémů, s nimiž se setkávají v každodenních situacích (NGSS, 2017). Na transdisciplinární hledisko a interdisciplinární prolínání je zde, na rozdíl od jmenovaných kurikulárních dokumentů a jakož i u slovenského, kladen nižší akcent (ŠVP, 2016; NGSS, 2017). Nadstandardní signifikance je ve *Standardech* přičítána centralizaci žáka, jenž má být aktivním participantem výukového procesu (Holec a Dvořák, 2019).

Z těchto myšlenek a idey kontinuity vzdělávání vychází specifické kurikulární uspořádání systému přírodních věd (viz např. NGSS, 2017, s. 1-2 a 47-74). Přírodní vědy jsou ve *Standardech* rozčleněny do 4 skupin, a sice *Physical Science* (fyzika a chemie), *Life Science* (biologie), *Earth and Space Sciences* (vědy o Zemi a vesmíru) a *Engineering, Technology, and Applications of Science* (technologie a aplikace vědy; NGSS, 2017, s. 1-2, 47-48, 56-57, 65-66 a 73, překlad autorka). V každé z oblastí jsou předkládány krátký deskriptivní úvod, vykreslující záměr *očekávaných výstupů* a vymezených tematických celků jednotlivých vzdělávacích oborů, + obsah samotných celků (viz např. NGSS, 2017 s. 56-64). *Standards* pracují s přehledem klíčových bodů celků, tzv. *jádrovými oborovými myšlenkami* (DCI, *Disciplinary Core Ideas*), a *průřezovými pojmy* (*Crosscutting Concepts*), dotvářejícími *základní učivo*. *Očekávané výstupy* (standards, *Performance Expectations*), vážící se k dílčím celkům, v sobě pak tyto konstrukty zahrnují, kombinující se se třetí složkou, označovanou jako *přírodovědné a inženýrské postupy* (*Science and Engineering Practices*; NGSS, 2017).

*Jádrové oborové myšlenky* jsou v biologii reprezentovány čtyřmi okruhy: 1) *Od molekul k organismům: Struktury a procesy* (LS1: *From Molecules to Organisms: Structures and Processes*); 2) *Ekosystémy: Interakce, energie a dynamika* (LS2: *Interactions, Energy, and Dynamics Relationships in Ecosystems*); 3) *Genetika: Dědičnost a proměnlivost znaků* (LS3: *Heredity: Inheritance and Variation of Traits*) a 4) *Biologická evoluce: Uniformita a diverzita* (LS4: *Biological Evolution: Unity and Diversity*; NGSS, 2017, s. 56-57, překlad autorka). Buněčná biologie je dominantně řazena do první hierarchicky a fyziologicky laděné domény. K uchopení stavby a fungování buňky je zde žákům nápomocna dělba jádrové myšlenky do čtyř stěžejních subkategorií vazby a) *struktury a funkce* (*Structure and Function*), b) *růstu a vývoje organismů* (*Growth and Development of Organisms*), c) *toky látek a energie v živých soustavách* (*Organization for Matter and Energy Flow in Organisms*) a d) *zpracování a přenosu informací* (*Information Processing*; NGSS, 2017, s. 56, překlad autorka). Účelem obsazení subdomén je, mimo jiné, rozvoj schopnosti samostatného získávání informací

a jejich následná implementace (NGSS, 2017).

Po jejich teoretickém i praktickém završení by žáci, kteří obsahu tematického celku *porozuměli*, měli prokázat bazální povědomí o buňkách za chápání strukturálního<sup>7</sup>, hierarchického a funkčního aspektu ve vztahu k fyziologii živých soustav, a biochemických procesech v nich probíhajících (NGSS, 2017, s. 56 a 58-59). Paralelně se celek soustřeďuje také na vnitřní a vnější faktory (genetické, environmentální), jež ovlivňují růst a vývoj organismů či na behaviorální strategie jejich reprodukce (NGSS, 2017, s. 56 a 58). Za úsek LS1 je vymezeno na 8 z převážné části prakticky zaměřených výstupů (*standardů*), jež jsou navíc dále usměrňovány. Tyto se dotýkají naplánování a zkonstruování vlastního výzkumného záměru, prokazujícího jeden ze základních pilířů buněčné teorie (a sice, že všechny živé soustavy mají svá těla tvořena buňkami; Schleiden, 1838; Schwann, 1839; NGSS, 2017, s. 58), konstrukce modelů, sloužících k demonstraci stavby a struktury buňky, či validního zdůvodnění organismální uspořádanosti. Takto je přistupováno i k učivu o biochemických procesech či fyziologii buňky, kdy cílem naplnění výstupů není pouhé přejímání vědeckých skutečností, nýbrž jejich samovolné odvození na podkladě relevantní evidence nebo empirického ověření (NGSS, 2017, s. 58).

Zbylé *výstupy* jsou navázány na etologii živočichů a životní i reprodukční strategie diverzní fauny a flóry (příkladem stavba hnízd, pohlavní výběr – akustické projevy a pestré zbarvení, sloužící k nalákání opačného pohlaví, či specifické vůně, vábící opylovače), ontogenetický vývoj a nárůst hmoty těchto soustav v kontextu determinujících podmínek prostředí (ekologických faktorů) i populačního genofondu/genotypu jedinců. Poslední *výstup*, MS-LS1-8, je orientován na přenos informací v organismech a fungování smyslových receptorů (odpovídání na podněty, tvorba paměťových stop; NGSS, 2017, s. 58). Učivo buněčné biologie je dále prokládáno zbývajícimi okruhy LS2-LS4 (potažmo přírodovědnou částí kurikula), nejvíce pak doménou *Genetiky* (NGSS, 2017, s. 60-64). Pro oblast jsou vytyčeny právě 2 *očekávané výstupy (standards)*, požadující využití modelu/schématu ke ztvárnění impaktu strukturních změn genetické informace na organismus či komparaci sexuálního a asexuálního typu reprodukce s přihlédnutím ke genetické variabilitě ve filiálních generacích například s užitím Punnettova čtverce (NGSS, 2017, s. 62). Ačkoliv jsou *Standards* při definování rámců *očekávaných výstupů* poměrně obsírné, upřesňují, na jaké úrovni má být učivo probíráno (viz např. hodnoticí hranice u MS-LS1-5, NGSS, 2017,

---

<sup>7</sup> U struktury buňky by se žáci měli v prvé řadě zaměřit na tyto kurikulem nadefinované organely – buněčné obaly, buněčné jádro, chloroplasty a mitochondrie (NGSS, 2017, s. 58).

s. 58).

Stredoškolská časť kurikula je rozvržena a koncipovaná obdobným spôsobom (NGSS, 2017, s. 2 a 75-103). Vzdelávací obsah biológie (*Life Science*) je opätovne členen do týchž čtych *jádrových oborových myšlenek* (HS-LS1-4), pričomž bunčnou biológiu primárne radí do prvej z nich, zvané *Od molekúl k organizmum: Štruktúry a procesy* (NGSS, 2017, s. 85-88). Doména je nově dělena pouze do tří stejnojmenných subkategorii a-c (členění viz předchozí strana) za akcentace struktury, funkce, fyziologie a biochemie (nejen) buňky, bunčného dělení, uspořádání živých soustav, esenciální úlohy, kterouž v buňce a komplexnějších strukturách sehraávají proteiny, nebo toku hmoty, látek a energií v organismech. K LS-1 je přidruzeno na 7, bližšie vyhrazených, *očekávaných výstupů (standardů)*, venovaných štruktúrnému a funkčnmu aspektu prvků, molekúl, makromolekúl (DNA), proteínů či buněk/vyšších soustav, dále homeostáze, fyziologii (např. reaktivitě orgánových soustav) nebo vzájemným hierarchickým souvislostem (např. cirkulaci krve v oběhové soustavě, vlivu svaloviny na průtok krve v artériích). Zbylé *výstupy* pojednávají o důležitosti mitotického dělení pro živé soustavy (kdy žáci nejsou povinni obsáhnout jeho dílčí fáze, regulace na genové úrovni apod.), diferenciáciu a funkčnú špecializáciu buněk a biochemii buňky (např. fotosyntéze a bunčnému dýchání, ukládání, využívaní či přeměně energie; NGSS, 2017, s. 87-88).

Buňka vstupuje také do okruhů LS2-LS4 (potažmo prírodovednú časť kurikula), zvláště pak pasáží genetickou (NGSS, 2017, s. 89-93). V tematickém celku *Genetika: Dědičnost a proměnlivost znaků* jsou ustanoveny 3 *standards*, požadující objasnění principu kódování znaků a jejich dědičnosti – přenos genetické informace z rodičů na potomstvo, znalost základní terminologie a rolí, jež dané komplexy v předávání genetické informace sehraávají (příkladmo DNA, geny, chromozomy) nebo zdůvodnění příčin genetické variability (rekombinace, segregace při meiotickém dělení, chyby v replikaci, vznik mutací vlivem působení prostředí apod.). *Standard* LS3-3 vyžaduje také aplikaci statistických vědomostí na rozložení alel v populacích (NGSS, 2017, s. 91). *Standards* jsou, stejně jako tomu bylo u kurikulární části pro nižší sekundární vzdělávání, většinou prakticky zaměřeny a kladou do popředí aktivní činnost žáků za svévolného objevování, dedukování a formulování tezí. Vybízejí tím přesun pedagogů na pomyslné misce vah do role mentorů či prováděčů studií, kteří výukový proces regulují tak, aby byl pro žáky podnětný, rozvíjející a plně v souladu se soudobým vědeckým poznáním (NGSS, 2017). Pro výstupy (*standards*) jsou vždy předepsána také další kritéria, nevyjímaje těch hodnoticích, jež požadavky usměřňují (např. u HS-LS3-3 o řešení početních úloh, opírajících se o Hardy-Weinbergův zákon; NGSS, 2017, s. 91).

### 3.2.5 Učivo o buňce v kurikulu Nového Zélandu

Novozélandské nižší i vyšší sekundární vzdělávání se řídí dle *The New Zealand Curriculum* (pro žáky studující v anglickém jazyce; NZC, 2015), nebo paralelního *Te Marautanga o Aotearoa* (pro žáky studující v maorštině/Māori; TMA, 2017). Kurikulum znatelně cílí na rozvíjení kompetencí, procedurálních znalostí, samostatného hledání cest ke kritickému poznávání a bádání, či, obecněji, potenciálu veškerých žáků, přicházejících do vzdělávacího systému z nestejnorodého prostředí a zázemí (NZC, 2015, s. 7-10, 12-13, 28-29). Ve vztahu k biologii zohledňuje unikátní novozélandské živočišstvo a rostlinstvo i ochranu tamějších ekosystémů (obdobný přístup lze rovněž spatřit například v kurikulu Austrálie; NZC, 2015; ACARA, 2022). Obsah kurikula je, s ohledem na zbývající analyzované dokumenty, uchopen poměrně netradičně. Třebaže školní docházka na Novém Zélandu trvá 13 let (může být rozdělena na základní a, počínajíc 9. ročníkem, střední vzdělávání), kurikulum k nim definuje pouze 8 úrovní (tzv. *Curriculum Levels*), prolínajících se napříč všemi z nich. Úrovně se dotýkají dílčích vzdělávacích oblastí, vytyčující za ně cíle vzdělávání (*Achievement Objectives*; NZC, 2015).

Vzdělávací obsah přírodních věd je v kurikulu reflektován integrovaně v rámci vzdělávacího oboru *Science*. Ten je členěn do 5 tematických oblastí: *Úvod do studia přírodních věd/Základní principy studia přírodních věd (Nature of Science)*, *Živý svět (Living World)*, *Planeta Země a vesmír (Planet Earth and Beyond)*, *Fyzikální svět (Physical World)* a *Hmotný svět (Material World)*; NZC, 2015, s. 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59 a 61, překlad autorka). Za tematické oblasti jsou dále vymezeny konkrétnější cíle, vztahující se k dalším podbodům. Učivo buněčné biologie je řazeno do tematického celku *Živý svět: Životní procesy* v úrovni 5 a reprezentováno dvěma *očekávanými výstupy*, navázanými na strukturu, funkci a fyziologii živé hmoty na různých hierarchických úrovních včetně té buněčné („*Žák popíše uspořádanost na buněčné úrovni.*“). Následně se objevuje v *Evoluci* za popsání přenosu genetické informace mezi parentální a filální generací organismů (NZC, 2015, s. 55). Ve vztahu (nejen) k fyziologii, ekologii a evoluci organismů je pak prokládáno veskrze celým přírodovědným kurikulem. Příkladem lze ještě zmínit základy genetiky – dědičnost a proměnlivost (NZC, 2015, s. 57), vztah DNA a prostředí u genové exprese, souvislost faktorů prostředí a přirozeného výběru (NZC, 2015, s. 59), genové manipulace a genové inženýrství, s vystávajícími eticky i biologicky lazenými dopady využívání biotechnologií, molekulárních a molekulárně genetických metod (NZC, 2015, s. 61).

Tematická oblast je, kromě organismální uspořádanosti a uchopení buňky jakožto

základní stavební a funkční jednotky, zaměřena na diverzitu, evoluci, růst, rozmnožování či ekologii rozmanitých forem života, biochemické procesy v nich probíhající, ochranu lokálních ekosystémů a novozélandské jedinečné biotické složky nebo například na důsledky vlivu člověka na životní prostředí a biodiverzitu (NZC, 2015, s. 28 a 47-61). Obsah přírodních věd je zde (potažmo v celém novozélandském kurikulu) koncentrován do menších komplexů, odrážejících příslušná (nejen) biologická odvětví (NZC, 2015).

### 3.3 Výukové strategie a náměty na praktickou výuku buněčné biologie ve vazbě na překlenutí vybraných prekonceptů

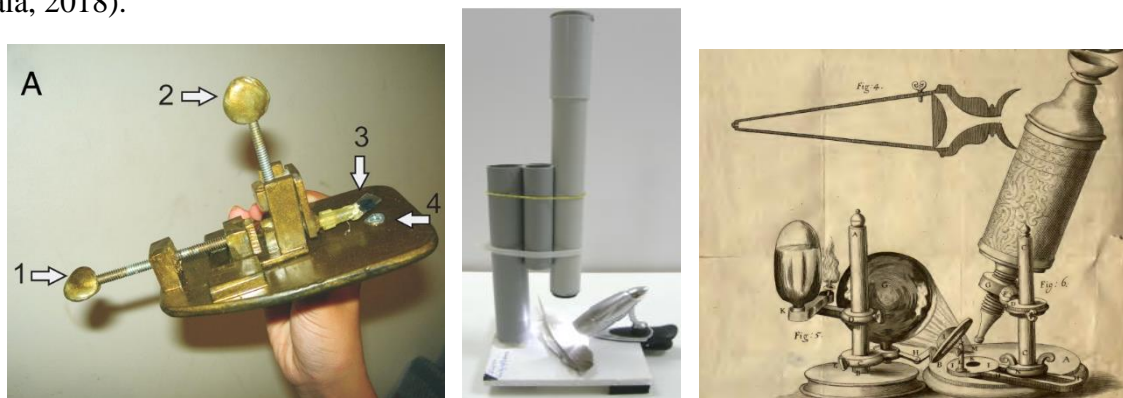
Praktická výuka patří mezi základní a pro výuku přírodopisu či biologie stěžejní organizační formy výuky (Chocholoušková a Hajerová Müllerová, 2019). Představuje ideální prostředek pro osvojování vědeckých metod práce, rozvíjení přírodovědného myšlení (Jelemenská, 2008; Mandíková a Trna, 2011; Sinatra a Chinn, 2012) a eliminaci žakovských prekonceptů prostřednictvím výuky vedené ke konceptuální změně (Posner et al., 1982; Kattmann et al., 1997; van Dijk a Kattmann, 2007). Současně je vhodným prostorem pro implementaci *badatelsky orientované výuky* (tzv. *IBSE – Inquiry-Based Science Education*, Papáček, 2010b, s. 5) či pouze jejích prvků (Papáček, 2010a; Koba a Tweed, 2009; Dostál, 2015). I přes velký potenciál, jenž praktická výuka nejen k osvojování buněčné biologie nabízí, a navzdory své tradiční oblíbenosti oproti výuce klasické, jí v tuzemském prostředí mnohdy není vymezován dostatečný prostor pro realizaci (Janštová et al., 2015; Neckařová, 2018) – a to i v rozporu s faktem, že žáci a studenti vykazují celou řadu nepřesných koncepcí, jež jim brání ucelenějšímu obsáhnutí oboru v kontextu soudobého vědeckého poznání, či projevují neschopnost aplikace teoretických poznatků v praxi (Fisher a Moody, 2002; Wandersee, 2002; Duit et al., 2012; Blažek et al., 2019).

Daná kapitola přináší sadu efektivních námětů na praktická a laboratorní cvičení ve výuce přírodopisu/biologie na základních a středních školách ve vztahu k překlenutí vybraných prekonceptů (resp. miskonceptů) v oblasti buněčné, potažmo molekulární biologie, a genetiky. Těm byla za poslední desetiletí věnována celá série studií, jež upozorňovaly na nedostatky ve znalostech a pochopení rozličných, pro žáky a studenty abstraktních, fenoménů s patrnou snahou o alteraci. Prekoncepte i studie byly blíže popsány v bakalářské práci autorky a v této kapitole na ně bude navazováno (viz Dočekalová, 2021, kap. 3.3).

Četné alternativní představy a pojetí jsou v buněčné biologii navázány na strukturu, funkci, hierarchickou uspořádanost, tvarovou diverzitu nebo buněčné dělení (Storey, 1990; Kindfield, 1991; Lewis a Wood-Robinson, 2000; Krüger et al., 2005; Duncan a Reiser, 2007; Cisterna et al., 2013). Žáci mají často tendenci projektovat si archetypální učebnicová schémata do mylné domněnky, že tyto prototypy, sloužící jako obecný předobraz, dané objekty a jevy skutečně zcela kopírují (Clément, 2007; Verhoeff et al., 2008). Někdy také vycházejí ze své naivní nevědecké zkušenosti, na podkladě níž se, zatím zkresleným prizmatem, snaží určité fenomény vysvětlovat a interpretovat (Brinschwitz, 2002; Coley a Tanner, 2012). Tyto prekoncepte lze překonat s využitím laboratorních cvičení zaměřených

na mikroskopování. Díky okamžité konfrontaci s vědeckou realitou, ke které při tvorbě preparátů a následném pohledu do okuláru mikroskopu dochází, tak mohou být roztráštěné žákovské představy poměrně snadno korigovány ve směru oborově správného pojetí přímo ve výuce za relativně vysoké míry úspěšnosti (Öztap, 2003; Jäkel, 2010).

Mikroskopie představuje esenciální součást praktické výuky biologie, prostřednictvím níž si žáci osvojují metody práce v laboratoři, zdokonalují jemnou motoriku, učí se samostatně pracovat dle předem stanoveného postupu (Altmann, 1975; Barker, 1981; Gropengießer et al., 2013; Jáč, 2018) a budují svůj vlastní potenciál s rozvojem *pracovních kompetencí* (RVP ZV, 2017). Přináší s sebou nicméně také rozličná úskalí, kdy pedagog musí být na praktika řádně připraven po oborové, metodologické i didaktické stránce (Shulman, 1986), spolu s tím, že by škola měla disponovat dostatečným množstvím mikroskopů a laboratorního vybavení, jak tomu zejména na těch základních ne vždy bývá (Vránová, 2004) – toto je možné vyřešit třeba vlastním sestavením mikroskopu po vzoru Antoniho van Leeuwenhoeka, či samotného objevitele buňky Roberta Hookea (Sepel et al., 2009; Tsagliotis, 2010; Drace et al., 2012; viz obr. 6-8), jež v kombinaci s vhodným pozorováním může přispět ke zvýšení zájmu o laboratorní cvičení i historické objevy vědního oboru (Tsagliotis, 2012). Souběžně zde dochází k průniku dvou rovin možných prekonceptů, a sice těch vázaných na mikroskopování a oborových, což může probírání (nejen) buněčné biologie značně stěžovat (Jäkel et al., 2015; Hala, 2018).

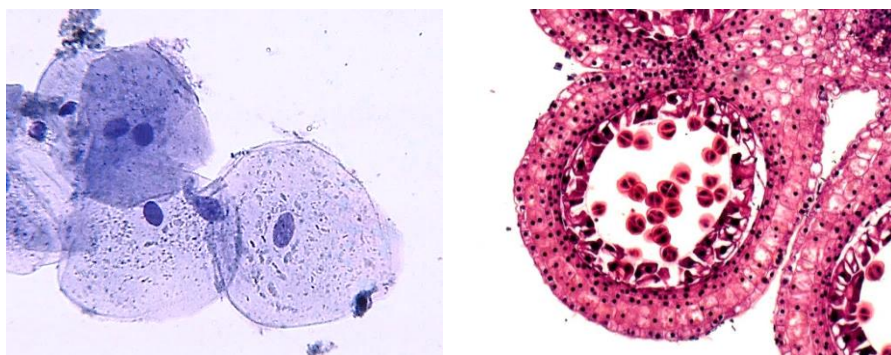


**Obr. 6-8: Replika Leeuwenhoekova mikroskopu. 1 šroub pro pohyb stolku, 2 zaostřovací šroub, 3 podložní sklíčko s preparátem, 4 čočka (zdroj: Sepel et al., 2009, s. 340). Replika Hookeova mikroskopu (zdroj: Tsagliotis, 2010, s. 215). Skutečný mikroskop sestavený Robertem Hookem (zdroj: Hooke, 1665, příl. 1)**

Jedny z nejčastějších prekonceptů ve vazbě na strukturu i funkci mikroskopu (např. *obraz je pouze zvětšený, celkové zvětšení mikroskopu je dáno pouze zvětšením objektivu*; Jáč, 2017a; 2018, s. 9, uprav.) je přitom možno odbourat již v úvodním cvičení pozorováním jednoduchého objektu – například písmene či krátkého úryvku z novinového textu, a až poté se soustředit na mikroskopii složitějších struktur (viz obr. 9, 10). Důležité je také věnovat



pozornost důkladnému vysvětlení veškeré problematiky s akcentem na její porozumění, a následné repetitivní opakování zásad mikroskopie, práce v laboratoři i samotného mikroskopu v nadcházejících cvičeních, jež by do výuky měla být zařazována pravidelně (Barker, 1981; Jáč, 2018). Zvláštní bedlivost má být u mikroskopování upírána na nácvik kresby biologického objektu za dodržování tradičních pravidel i povinné tvorbě protokolu včetně všech jeho náležitostí (Stoklasa, 2010), neboť ten reprezentuje zjednodušenou formu laboratorního deníku. Jáč (2018) dále podotýká, že by žáky při sestavování schematických nákresů zprvu nemělo být opomíjeno písemné vypočtení zvětšení pozorovaného objektu. Jurčák (2001) závěrem nabádá, aby pedagog pro správné osvojení učiva stran žáků vytrval ve své důslednosti a tvorbu protokolů vyžadoval i přes jejich obvyklou neoblíbenost (Jäkel et al., 2015).



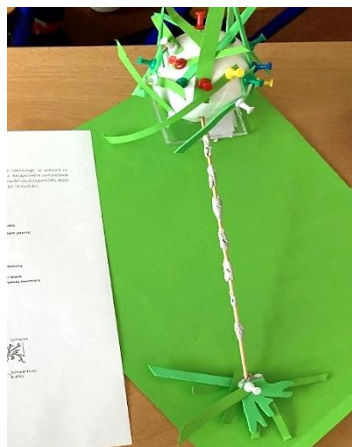
**Obr. 9, 10: Mikroskopie – buňky bukální sliznice, zvětšeno 400x, barveno methylenovou modří (vlevo); řez prašným váčkem tyčinky lilie během telofáze heterotypického dělení, zvětšeno 400x, barveno safraninem (vpravo; zdroj: archiv Martina Jáče, upraveno)**

Další, unikátní, metodu výuky a studia nejen buněčné biologie reprezentuje tzv. *eye-tracking*. Tuto behaviorální sondu, běžně využívanou i v jiných vědních oborech od medicíny přes přírodní vědy až po psychologii nevyjímaje (Matthysse et al., 1986; Popelka et al., 2012; Kok a Jarodzka, 2017; Harezlak a Kasprowski, 2018; Tóthová, 2019), využili ve své studii Jäkel et al. (2015; viz též Berg et al., 2016) na příkladu histologie. Ti si kladli za cíl ověřit výzkumné otázky, zjišťující, zda je fixace očí pozorovatele při orientaci v histologických preparátech (např. buňky v sítnici) vázána na úroveň jeho vědomostí, a zdali se výběr hledané oblasti liší u začínajících a pokročilejších výzkumníků. Pedagogové s pomocí kamery snímající oční pohyb došli k závěru, že studenti, vykazující vyšší odborné znalosti na poli biologie i mikroskopických technik, se v preparátech lépe orientují a směrem k hledaným strukturám vykazují větší míru fixace. Většina studentů navíc takto koncipovaná praktika shledávala atraktivními díky tématu biologie člověka i mikroskopování, avšak vykazovala nízký zájem o tvorbu mikroskopického nákresu pozorování. Pro pedagoga nicméně mohou sloužit jako netradiční zpětná vazba zpoza ověření praktické aplikace poznatků

buněčné biologie jeho žáky za provázanosti s mikroskopií (Jäkel et al., 2015).

Velmi atraktivní metodu výuky buněčné, molekulární biologie, i genetiky představili v českém prostředí Janštová a Jáč (2014a; 2014b) formou modelování (viz obr. 11-29). Podle autorů tvorba modelů výraznou měrou přispívá k pochopení rozmanitých, „našim očím skrytým a pro žáky obtížně srozumitelným jevům a dějům, s nimiž se nejen v biologii setkávají“ (Janštová a Jáč, 2014a, s. 61, upraveno). Takto uchopená výuka, orientovaná na různé vizuální reprezentace, grafická znázornění a modelování v digitálním i fyzickém prostoru, má potenciál žáky efektivně provést úskalími mnohých fenoménů, jejichž vysvětlení a praktická demonstrace bývá pro pedagogy nezdědka nejen didakticky, ale mnohdy také finančně náročná (viz např. Bennett, 1998; Chowning et al., 2008; Waldron et al., 2010; Balgopal a Bondy, 2011; Westrich a Berg, 2011; Janštová a Jáč, 2014a; Janštová a Jáč, 2014b; Janštová a Novotný, 2020; Wright et al., 2022a). Podle Janštové a Jáče (2014a; 2014b) představují časté problematické oblasti ve výuce biologie celky *buněčné biologie*, *genetiky* a *virologie*. Ve své studii navrhli v rámci jejich překlenutí výukové aktivity, zacílené na modelování genetického shiftu a vznik nových kmenů na příkladu (nejen) viru chřipky, vnitřního povrchu střeva (též Westrich a Berg, 2011) či chromozomů jako tzv. „ponožkozómů“ (též Waldron et al., 2010).

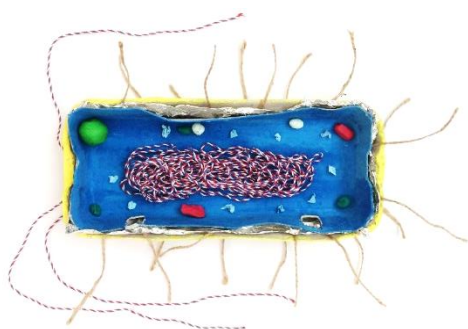
Modelů či znázornění může být využito pro překonání prekonceptů ve vztahu k buňce a její stavbě, funkci či fyziologii. Pozornost lze upírat také směrem k jiným strukturám včetně těch nebuněčných, a to na různé organizační úrovni (Chowning et al., 2008; Westrich a Berg, 2011; Janštová a Jáč, 2014a). Toto je velmi důležité při výuce genetiky, kde modelování žákům umožní lépe si uvědomit obtížně představitelnou hierarchii zejména nejmenších konstruktů (alel, genů, lokusů aj.) za propojení se stavbou a funkcí (Lewis et al., 2000a; Lewis a Kattmann, 2004; Duncan a Reiser, 2007; Janštová a Jáč, 2014a). Prostřednictvím „ponožkozómů“ lze zase vysvětlit i extrémně problematické jaderné dělení a znázornit si jeho jednotlivé fáze, tak, aby co nejvíce odrážely realitu, nebo demonstrovat problematiku stavby chromozomů a jejich různých typů (Kindfield, 1991; Waldron et al., 2010; Janštová a Jáč, 2014b; Newman a Wright, 2017). V návaznosti na vysoce frekventované nepochopení buněčných dějů (replikace, transkripce, translace, genová exprese, resp. centrální dogma molekulární biologie, biochemické procesy apod.) doporučují Wright et al. (2014), Briggs et al. (2016), Wright et al. (2022a) či Newman et al. (2021, s provázáním fenotypu) využívat kromě modelů i vizuálních reprezentací. Obdobně kvitují digitální modelování při výuce molekulární biologie a biochemie i Janštová a Novotný (2020), jež se zamýšleli nad znázorněním struktury proteinů na příkladu metaloproteinu hemoglobinu, a Evagorou et al. (2015) při ilustraci objevu DNA krystalografií.



**Obr. 11, 12<sup>8</sup>: Znázornění živočišné buňky** (autoři: žáci vyššího stupně Gymnázia Františka Palackého Valašské Meziříčí, foto: autorka a Karolína Mikulcová)



**Obr. 13, 14: Znázornění rostlinné buňky** (autoři: žáci vyššího stupně Gymnázia Františka Palackého Valašské Meziříčí, 14/ ve spolupráci s autorkou, foto: autorka). *Pozn.: K výrobě cytosolu (obr. 14) byla použita voda a agar.*



**Obr. 15, 16: Znázornění bakteriální buňky *E. Coli*** (autoři: žáci vyššího stupně Gymnázia Františka Palackého Valašské Meziříčí, 15/ ve spolupráci s autorkou, foto: autorka a Karolína Mikulcová)

<sup>8</sup> Žáci byli v průběhu tvorby modelů upozorňováni na příslušné nesrovnalosti tak, aby byla jejich učební činnost regulována směrem k vědeckému poznání (příkladmo, cytosol není zelený).



**Obr. 17-19: Znázornění chromozomů s využitím „ponožkozomů“ („Socksosomes“, zdroj: autorka dle Waldron et al., 2010; Janštová a Jáč, 2014b). Pozn.: Model znázorňuje dvouchromatidové metafázní chromozomy v interfázi po završení replikace molekuly DNA v S-fázi buněčného cyklu, tj. před započatím buněčného dělení. Jednu molekulu DNA/chromatidu představuje právě jedna vycpaná ponožka. Centromera, místo primární konstriktce, je zde reprezentována spínacím špendlíkem. Pozn. autorky: V tomto bodě je vhodné žáky upozornit na to, že sesterské chromatidy u sebe drží kohesiny (proteinový komplex) a nikoliv zmíněná centromera.**



**Obr. 20-23: Znázornění dvouchromatidových metafázních chromozomů podle polohy centromery (zleva metacentrický, submetacentrický, akrocentrický, telocentrický; zdroj: autorka)**

*Pozn.: Modelování chromozomů a jaderného dělení může být navázáno na jednu z nejčastějších žákovských a studentských prekonceptů, a sice problematiku replikace dvouchromatidových chromozomů (výchozí stav) za navýšení počtu chromatid, a nikoliv chromozomů samotných (Wright a Newman, 2011). Působivou metodu modelace struktury samotného vlákna NK (s využitím také pro replikaci, transkripci, translaci nebo amplifikaci fragmentů při PCR) pak nabízí Merta et al. (2020) s použitím plastových korálků z Ikey či Wright et al. (2022b) se 3-D sadami Chromosome Kit<sup>®</sup>.*



**Obr. 24, 25: Znázornění chromozomů v jádře buňky** (zdroj: autorka). *Pozn.: Modely mohou sloužit k osvětlení problematiky diploidních a haploidních jader (somatických buněk a gamet) či buněčného dělení (mitóza a meióza). Při demonstraci průběhu buněčného dělení je vhodné zaznamenat všechny jeho fáze (se zohledněním vzniku/zániku příslušných struktur).*



**Obr. 26-29: Znázornění genetického driftu na příkladu efektu hrdla láhve** (*Genetic/Population Bottleneck, Bottleneck Effect*, zdroj: autorka). *Pozn.: Geny v konkrétních alelických formách zde představují popsané papírky z krepu či tvrdého papíru. Pokus slouží k modelaci zadaných situací, vedoucích ke změně frekvence alel v populaci, ve výuce autorky.*

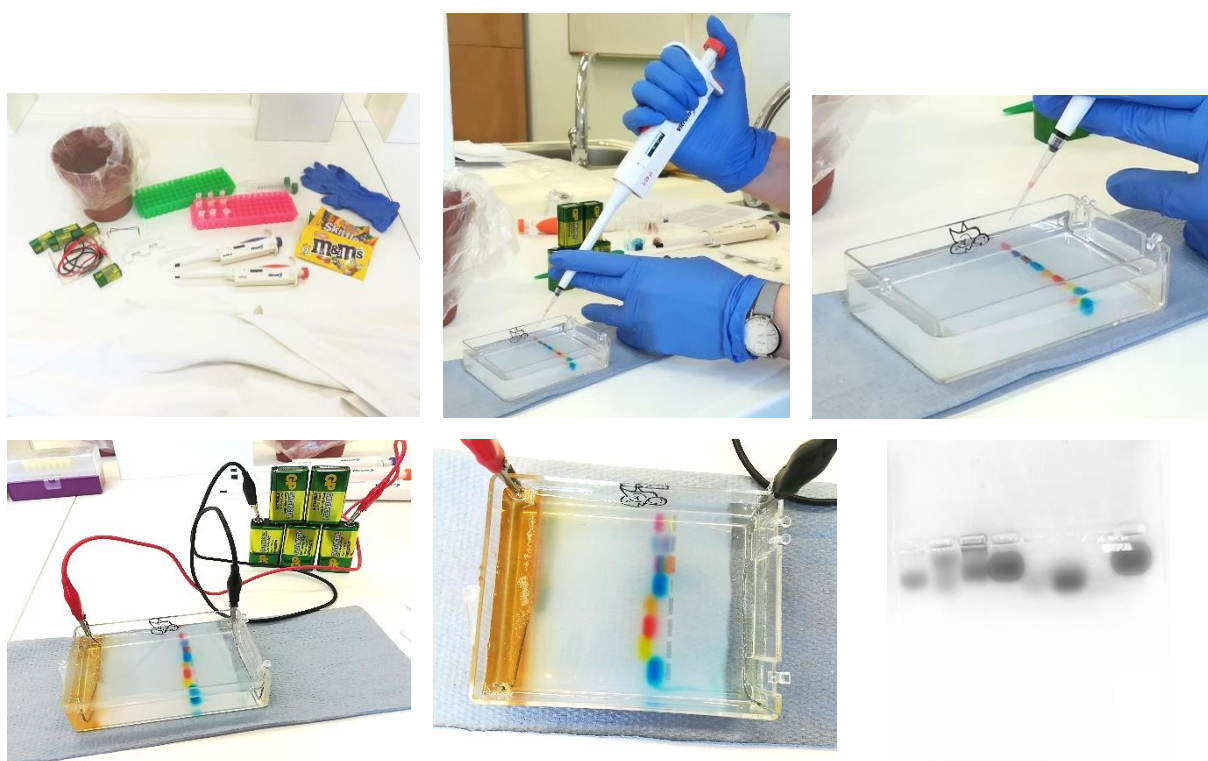
Nedílnou součástí praktické výuky biologie na všech vzdělávacích stupních představují také klasické laboratorní práce (laboratorní pokusy a experimenty), věnované fyziologii, anatomii, morfologii, pitevním praktikám, biochemii organismů či molekulárně biologickým metodám. Žáci si v laboratořích nejen osvojují a prohlubují metody vědecké práce a smýšlení, ale ekvivaletně jako u mikroskopie rozvíjejí schopnost samostatného bádání za reflektování předepsaných postupů (Altmann, 1975; Stoklasa, 2010; Gropengießer et al., 2013; Jáč, 2017c). Simultánně praktická výuka představuje vhodný prostor pro implementaci metody *BOV* a *hands-on* aktivit za svázání probírané látky s vlastní badatelskou činností žáků. Zhmotňuje také ideální nástroj, sloužící ke korekci prekonceptů výše uvedeného typu (viz Treagust a Haslam, 1986; Silverthorn, 2002; Yenilmez a Tekkaya, 2006; TEREZA, 2013;

Švandová, 2014; Merta et al., 2020). Na druhé straně ovšem pedagoga (obzvláště při méně tradiční či nadstandardní volbě výukových námětů) zavazují ke špičkové odborné připravenosti, jež by nikdy neměla být opomíjena či upozadována, neboť na ní stojí kvalita výukového procesu (Shulman, 1986; Ens et al., 2012; Serafin et al., 2015; Merta et al., 2020).

Atraktivní a neotřelé náměty přinesli do výuky molekulárně-genetických témat za účelem překlenutí prekonceptů Ens et al. (2012). Ti ve své práci upozornili na problém, kdy žáci při výuce biologie sice procházejí laboratorní přípravou, ale bez hlubšího porozumění pracovnímu postupu, návaznosti kroků či používaným technologiím, což následně vede ke genezi dalších nepřesných teorií, mísících se s těmi oborovými. V návaznosti na tuto skutečnost navrhli realizaci levné gelové elektroforézy, využívající pomůcky, které lze běžně nalézt v domácnosti či zajistit v papírnictví (viz obr. 30-35, s. 47). V pojetí elektroforézy dle Ens et al. (2012) je nákladné vybavení vědecké laboratoře vhodně nahrazeno tím pro školy dostupným – jako vana slouží žákům plastová krabička, do níž se lije agar s pufrem, pipetu lze substituovat injekční stříkačkou, klasickou pipetou či kapátkem, hřeben vlastním, a k sestavení elektrického obvodu je využito 9V baterií s elektrodami. Poněvadž obvykle využívaný Tris (*Tris-hydroxymethyl-aminomethan*) nemusí být snadné sehnat, autoři jej doporučují nahradit kyselinou citrónovou a citrátem sodným ze sladkých, vzorek nebarvicích, limonád. Po pečlivé přípravě experimentu a napipetování vzorků již žáci mohou sledovat různě dlouhé fragmenty DNA, pohybující se gelem (jakožto záporně nabitě molekuly obsahující kyselinu fosforečnou) směrem k anodě (Ens et al., 2020). Ve výuce nicméně mohou být realizovány i jiné pokročilé molekulárně-biologické metody, zahrnující například SEC chromatografii separace biomolekul, ELISU ve vztahu k imunitním reakcím či restrikční analýzu a polymerázovou řetězovou reakci (PCR; viz např. Bouakaze et al., 2010; ŠVP GFPVM, 2013/2014).

Problematikou výuky molekulární biologie na gymnáziích se ve své studii blíže zabývali Janštová a Jáč (2015), kteří komparativní analýze podrobili na 160 ŠVP (obory 79-41-K/41, 79-41-K/61 a 79-41-K/81), soustředivše se na 10 hlavních kategorií (např. genové inženýrství, genomika, bioinformatika, onkogenetika či etické aspekty molekulární biologie aj.). Z výsledků provedeného výzkumu vyplynulo, že nadpoloviční většina škol (55 % z celkového množství analyzovaných ŠVP) zařazovalo výuku molekulární biologie do posledních ročníků studia vyučovacího předmětu biologie. Mezi nejvíce zastoupená témata v předmětu patřily nukleové kyseliny a bílkoviny, genová exprese či mutace, mezi nejméně zastoupená pak regulace genové exprese, onkogenetika a metody molekulární biologie. V osnovách volitelných seminářů z biologie dominovaly oblasti nukleových kyselin a bílkovin či genového inženýrství,

následovány genovou expresí, mutacemi a etickými otázkami v molekulární biologii, nejméně zastoupeny byly regulace genové exprese, genomika a, obdobně, metody molekulární biologie (Janštová a Jáč, 2015, srov. s. 13 a 14). Velmi zajímavé zjištění výzkumu přinesl důvod pro zavedení specializovaného semináře na školách, kdy učitelé nejčastěji uváděli absenci času na důkladné probrání tematických celků molekulární biologie a genetiky v běžné výuce biologie, či jejich významnost pro obsáhnutí daného vědního oboru. Pozitivním objevem byl také velký zájem žáků různých typů středních škol o molekulárně zaměřená laboratorní cvičení oproti těm běžným – z počtu více než 600 žáků shledalo 421 z nich tento typ zábavnějším, obzvláště pak, byla-li prováděna v prostředí vysoké školy. Autoři ještě dokreslují, že nejčastěji realizovaným cvičením v rámci šetření bylo PCR CCR5 (Janštová a Jáč, 2015).



**Obr. 30-35: Gelová elektroforéza v agarózovém gelu** (zdroj: autorka dle metodiky Ens et al., 2012 a vedoucího diplomové práce; foto: autorka a Veronika Doláková). *Pozn. autorky: Pro pipetování ve školním prostředí lze využít vlastní automatické pipety, pakliže jí pedagog disponuje, či ji lze substituovat např. s použitím klasické Pasteurovy pipety nebo injekční stříkačky. Žáci dle zkušenosti shledávají atraktivnější práci právě s automatickou pipetou, neboť v nich evokuje představu profesionálních biologů (srov. Janštová a Jáč, 2015, s. 21).*

Praktická cvičení jsou závazně ukotvena v příslušných ŠVP, kde, zejména v rámci specializovaných seminářů, některé školy nadstavbová témata za zachování tradičních námětů již zaražují (viz např. volitelný Seminář z Molekulární biologie; ŠVP GFPVM, 2013/2014).

Z provedené analýzy dostupných ŠVP škol, účastnících se výzkumu této empirické práce, však vyplynulo, že se většina škol stále drží spíše klasických laboratorních prací. Neckařová (2018), jež analyzovala výuku laboratorních cvičení na základních školách v Olomouckém kraji, zjistila, že k nejčastějším zaměřením patří pozorování různých buněk pod mikroskopem (např. pokožkových buněk cibule kuchyňské *Allium cepa*, „prvoků“ ze senného nálevu), avšak pokročilejší pokusy (např. izolace DNA z ovoce) realizuje jen malé množství škol. V tomto případě tomu bylo až na jedinou výjimku obdobně. Na 2 gymnáziích se nicméně objevovaly velmi zajímavé náměty (zejména v rámci seminářů), zahrnující rozličné molekulární metody – PCR, SEC chromatografii separace biomolekul či např. ELISU. Inspiraci na praktická cvičení (včetně pitevních praktik, dedikovaných anatomii, morfologii a fyziologii) mohou vyučující čerpat jak z učebnic, odborných knih a atlasů, tak článků či vlastních nápadů (viz výše; Nečásek a Cetl, 1979; Buchar, 1995; Stoklasa, 2010). Orientovat se pak na všech vzdělávacích stupních mohou na tradiční náměty, soudobá atraktivní témata (např. biotechnologie, sekvenování, Lau a Robinson, 2009) nebo rekonstrukci provedených experimentů (např. klonování ovce Dolly, objev struktury molekuly DNA; Brame et al., 2008; Evagorou et al., 2015). Do praktik je vhodné integrovat *problémové, badatelsky orientované vyučování* či *hands-on aktivity* buněčné biologie a oborů s ní spjatých (Knutson et al., 2010; TEREZA, 2013; Merta et al., 2020). Ve specializovaných seminářích lze oproti tradiční výuce biologie zařazovat téže pokročilé biologické metody (např. ŠVP GFPVM, 2013/2014).

Ať už se jedná o praktickou výuku v níž se žáci vydávají na putování do mikrosvěta, modelují vybrané procesy, anebo objevují taje vědy v biologické laboratoři, vždy platí, že by základní aspekty, metody i pracovní postupy měly být pro snazší retenci poznatků i překlenutí miskonceptů opakovány a do výuky zařazovány pravidelně (Jáč, 2017c; Jáč, 2018). Kattmann (1993) také podotýká, že k preciznímu osvojení dané problematiky žáky je stran pedagogů nezbytné používat správnou oborovou terminologii. Neopomenutelným je taktéž expertní faktor pedagoga, jelikož ten zajišťuje kvalitní a relevantní vedení výuky (Shulman, 1986). Naprosto klíčové je pak, aby si žák utvářel vztah mezi pozorovaným či poznávaným a kognitivní rovinou, neboť jak Abrahams a Millar (2008), Millar a Abrahams (2009), Abrahams a Reiss (2012) a van den Berg (2013) uzavírají, nelze pracovat s biologickou a laboratorní technikou bez provázanosti teoretické a praktické domény, kterou má teoretické hledisko být podpořeno a dále rozvíjeno.



## 4 METODIKA

### 4.1 Výzkumný nástroj

K provedení empirického šetření, zaměřenému na diagnostiku vybraných žákovských prekonceptů v oblasti buněčné biologie, byla využita sada 4 konceptových testů vlastní konstrukce, sestavených za tímto účelem autorkou již v rámci bakalářské práce (více bakalářská práce autorky, Dočekalová, 2021, testy viz též příloha 2). Tvorbě diagnostického instrumentu předcházelo vyjma nastudování příslušné odborné literatury také vypracování obsahové analýzy daného tematického celku napříč aktuálně používanými tuzemskými učebnicemi přírodopisu pro 6. ročníky základních škol a odpovídající ročníky víceletých gymnázií většiny ucelených řad ( $n = 10$ ; Dobroruka et al., 1997; Jurčák et al., 1997; Kočárek a Kočárek, 1998; Maleninský et al., 2004; Černík et al., 2007; Kučera et al., 2007; Kvasničková et al., 2009; Dančák a Sedlářová, 2011; Pelikánová et al., 2014; Žídková a Knůrová, 2017). Na jejich podkladě byl vymezen jádrový obsah učiva buněčné biologie a posléze rozčleněn do 4 hlavních domén, integrovaných do výzkumného nástroje. Dílčí tematická zaměření konceptových testů byla následující: 1) *typy buněk, vnitřní stavba buňky*; 2) *hierarchické uspořádání živých organismů*; 3) *funkce buněčných organel*; 4) *rozmnožování buněk* (dále KT1-KT4).

Testy byly blíže popsány a charakterizovány v bakalářské práci autorky, a pročež bude jejich detailnější deskripce v této kapitole vynechána (viz Dočekalová, 2021, podkap. 5.2). Výzkumný nástroj obsahuje otázky, zacílené na detekci žákovských prekonceptů, s otevřenou i uzavřenou odpovědí. Otázek s otevřenou odpovědí je u KT 1 a KT 4 využíváno pro dvojí ověření žákovského porozumění, kdy žák sice může nakreslit správně schéma, ale dané problematice, kterou má také slovně popsat, nemusí ve skutečnosti hlouběji rozumět (a obráceně). Víceúrovňové testování žákům také umožňuje další rozvíjení a podrobnější specifikaci (zdůvodnění) úvah. Otázky s otevřenou odpovědí by žákům souběžně měly znesnadňovat pouhé pokusy o uhádnutí správných odpovědí (náhodné tipování; srov. Jurek et al., 2022, s. 14). Vybrané otázky jsou v testech následovány uzavřenými otázkami ve formě čtyřbodové škály Likertova typu, prostřednictvím níž žáci vyjadřují, do jaké míry jsou si jisti správností své odpovědi – blíže viz dále (dle Hasan et al., 1999, s. 294-297). Likertova škála byla v českém výzkumu dříve použita například v práci Jáče (2017a; 2018)<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Stejnou metodiku pro kódování míry jistoty u žákovských odpovědí použily ve svých diplomových pracích také například Kosková (2018) a Neckařová (2021).

Obsahovou a konstruktovou validitu konceptových testů ověřili vedoucí bakalářské i diplomové práce, RNDr. Martin Jáč, Ph.D., a externí výzkumná pracovnice RNDr. Vanda Janštová, Ph.D., z Katedry učitelství a didaktiky biologie PřF UK. Reliabilita výzkumného instrumentu nebyla řešena zpoza vysoké organizační náročnosti (srov. Gavora, 2010; Hendl, 2012).

## 4.2 Výzkumný soubor

Respondenty výzkumného šetření byli žáci 9. ročníku základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií (kvart osmiletých gymnázií a sekundy šestiletého gymnázia). Tyto vzdělávací stupně a ročníky byly pro výzkum vybrány v návaznosti na ověření očekávaného výstupu *P-9-1-02* (RVP ZV, 2017, s. 72) a reflexi výstupních vědomostí žáků po ukončení základního vzdělávání (ISCED 2), resp. vstupních vědomostí, s nimiž na vyšší vzdělávací stupeň sekundárního vzdělávání (ISCED 3) přicházejí. Dané stupně a ročníky tedy splňovaly požadované faktory ze dvou důvodů: a) tematický celek buněčné biologie by měly mít na příslušné úrovni absolvovaný (bylo ověřováno), b) čekal je přechod na střední školu/vyšší stupeň gymnázia. První faktor byl považován za obzvláště důležitý pro vypovídající hodnocení žákovského porozumění. Pilotní testování jasně ukázalo zamýšlené zařazení žáků 5. ročníku do výzkumného souboru (viz bakalářská práce) jako nevhodné kvůli zatím nerozvinutému abstraktnímu myšlení (Nolen-Hoeksema et al., 2012). Návaznost ve sledování stejných ročníků (předprázdninové a poprázdninové šetření žáků 6. a 7. ročníků) byla nemožná kvůli dopadům pandemie COVID-19 na vzdělávání žáků. Do výzkumu byli však pro orientační srovnání žákovských představ těsně po probrání tematického celku buněčné biologie a vývoje jejímu porozumění v průběhu času (resp. stavu s odstupem času) doplňkově vybráni žáci 6. ročníku (tematický celek měli v témže roce všichni prezenčně probrán – podzimní období). Souběžně, žáci vyšších vzdělávacích stupňů do hlavního výzkumu ani doplňkově zařazení zatím nebyli, neboť by vzhledem k vyšší pokročilosti skupina zasloužila vlastní rozsáhlejší testování. Četné výzkumy diagnostiky žákovských prekonceptů v oblasti (nejen) buněčné biologie již nicméně byly u žáků středních škol a studentů učitelských i neučitelských (vědeckých) realizovány a pilotní šetření jejich výsledky dle vzorku žáků vyššího gymnázia kopírovalo (výzkumy viz bakalářská práce).

Výzkumného šetření se zúčastnily vybrané školy Jihomoravského, Olomouckého a Zlínského kraje (viz tab. 2). Celkem se šetření účastnilo 307 respondentů za vyplnění 843 testů (záměrem byl sběr co nejvíce typů testů od každého respondenta pro komplexnější mapování žákovského porozumění, nikoliv vysoký počet respondentů samotný, jako tomu

tradičně bývá), z toho 180 žáků základních škol (139 žáků 9. ročníku a 41 žáků 6. ročníku) a 127 žáků víceletých gymnázií (viz tab. 3). Z celkového počtu dotazovaných pak 175 bylo dívek a 132 chlapců – údaje byly na testy doplňovány při jejich sběru, neboť někteří žáci pohlaví neuvedli, a vybraní jej zase v dalších testech záměrně uváděli opačně. Všichni respondenti výzkumného šetření měli zkoumaný tematický celek buněčné biologie probraný na úrovni příslušných škol (žáci základních škol v 6. ročníku, žáci osmiletých gymnázií v primě a žáci šestiletého gymnázia v 6. ročníku základní školy i v primě). Současně všichni účastníci výzkumu již absolvovali minimálně 1 praktické cvičení, zaměřené na pozorování buněk pod mikroskopem (nejčastěji cibule kuchyňské, lístků mechu měříku či jednobuněčných organismů v senném nálevu). Vybrané třídy starších žáků absolvovaly také pokročilejší cvičení, věnovaná např. izolaci DNA z ovoce či buněk vlastní bukální sliznice. 1 třída se pak účastnila genetického workshopu, věnovanému mendelistické genetice a laboratorním metodám.

**Tab. 2: Seznam víceletých gymnázií a základních škol vybraných do výzkumu**

Škola	Ročník	Počet tříd
Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše	Kvarta (8I)	2
Gymnázium Františka Palackého Valašské Meziříčí	Sekunda (6I)	1
Gymnázium Hodonín	Kvarta (8I)	1
Gymnázium Mikulov	Kvarta (8I)	1
ZŠ a MŠ Dolní Bojanovice	9.	2
ZŠ a MŠ Mutěnice	9.	2
ZŠ Olomouc, třída Spojenců	6. 9.	2 2
ZŠ Velké Bílovice	9.	2

*Pozn.: Názvy některých škol byly pro potřeby tabulky upraveny a zkráceny.*

**Tab. 3: Sumární přehled počtu respondentů a vyplněných konceptových testů**

X		Dílčí počty respondentů		
Test	Σ	ZŠ 9	GYM	ZŠ 6
<b>Konceptový test č. 1</b>	208	86 (41,35 %)	102 (49,04 %)	20 (9,62 %)
<b>Konceptový test č. 2</b>	210	86 (40,95 %)	104 (49,52 %)	20 (9,52 %)
<b>Konceptový test č. 3</b>	214	89 (41,59 %)	104 (48,60 %)	21 (9,81 %)
<b>Konceptový test č. 4</b>	211	90 (42,65 %)	100 (47,39 %)	21 (9,95 %)

**Tab. 3 – pokračování**

Test	$\Sigma$	Dívky	Chlapci	Neuvedeno
<b>Konceptový test č. 1</b>	208	112 (53,85 %)	91 (43,75 %)	5 (2,40 %)
<b>Konceptový test č. 2</b>	210	116 (55,24 %)	84 (40,00 %)	10 (4,76 %)
<b>Konceptový test č. 3</b>	214	114 (53,27 %)	92 (42,99 %)	8 (3,74 %)
<b>Konceptový test č. 4</b>	211	119 (56,40 %)	83 (39,34 %)	9 (4,27 %)

*Pozn.: Návratnost testů činila 99,76 %. Z rozdaných 845 testů byly pouze 2 odevzdány částečně nevyplněné – respondenti si z osobních důvodů přáli testování v jeho průběhu ukončit.*

Žáci 9. ročníku základních škol se věkově nejčastěji pohybovali v rozmezí 14-15 let, pouze 4 respondenti uvedli věk 16 let, 3 pak neuvedli věk vůbec (N). Žáci gymnázií se také většinou pohybovali v rámci 14-15 let, pouze 5 respondentů uvedlo věk 16 let, 1 neuvedl věk vůbec (N). Žáci 6. ročníku základních škol se věkově nejhojněji nacházeli v rozmezí 11-12 let, 8 respondentů pak uvedlo věk 13 let (demografické údaje v této skupině uvedli všichni žáci).

### 4.3 Realizace výzkumného šetření

Výzkumné šetření probíhalo v průběhu akademického, resp. školního, roku 2021/2022. Data byla dominantně sbírána během podzimní a jarní fáze výzkumu. Pilotní šetření, které samotnému výzkumu předcházelo (*není součástí hlavního šetření*), však bylo realizováno již v letech 2020/2021 na vzorku žáků ( $n = 100$ ) základní školy (5., 6. a 7. ročník) a víceletých gymnázií (kvarta osmiletého a čtyřletého gymnázia). Školy byly do hlavního výzkumného souboru vybírány na základě stanovených kritérií (ročníky, absolutorium tematického celku buněčné biologie na příslušné škole). Žáci se o plánovaném empirickém šetření dozvídali od svých vyučujících, kteří byli spolu s řediteli příslušných škol řešiteli oslovováni k účasti ve výzkumu. Žáci a jejich zákonní zástupci, jež s participací ve výzkumném šetření vyjádřili souhlas, podepisovali písemné *souhlasy*, vybírané v den konání šetření na škole. Informované souhlasy jsou kvůli dalšímu plánovanému využití a publikování dat v rámci článků archivovány u autorky diplomové práce. Výzkumný záměr aktuálního projektu byl schválen Etickou komisí UP dne 22. 10. 2021 pod číslem *jednací 11/2021*.

Výzkumné šetření bylo realizováno výhradně na školách a v průběhu školní výuky žáků ve spolupráci s jejich vyučujícími přírodopisu či biologie. Během šetření byla striktně dodržována veškerá platná epidemiologická a hygienická opatření ve vztahu k zamezení šíření COVID-19 včetně respektování všech vnitřních nařízení daných škol. Žáci byli vždy na úvod formou instruktáže seznámeni se záměrem výzkumu, postupem práce při sběru a zpracování dat autorkou, vyplňováním konceptových testů a samotným průběhem šetření s možností

od něj kdykoliv (tedy během kterékoliv fáze) odstoupit. Autorka je také důrazně nabádala k čestnému a samostatnému vyplňování testů s tím, že nemusejí mít žádné obavy ohledně správnosti vyplňovaných úloh, neboť: a) mnohdy neexistuje jedna správná odpověď ve smyslu způsobu řešení zadaných úloh b) neexistuje žádný špatný či nevhodný pohled na řešení úloh vyjma prekonceptí, za něž nebudou jakkoliv perzekuováni. Dále byli žáci opětovně informováni o zajištění anonymity stran výzkumného týmu (stvrzeno souhlasem) a závěrem ujištěni, že za vyplnění testů nebudou nikterak hodnoceni (zpětná vazba byla poskytována na vyžádání přímo po skončení testování, kdy byly otázky a jejich řešení se žáky diskutovány).

Konceptové testy byly přinášeny do škol v den konání šetření v tištěné podobě. Testy byly žákům nejčastěji rozdávány ve variantách KT 1 + KT 2 a KT 3 + KT 4, neboť KT 1 a 4 obsahují úlohy zaměřené na diagnostiku žákovských prekonceptí s využitím kresby, a tudíž jsou oproti dvěma zbylým časově náročnější. Pouze v případě dvou gymnázií byly zadány všechny čtyři sady, poněvadž žáci pracovali nadstandardně rychle. Příslušná testová sada byla vždy žáky nejprve vyplněna, autorkou vysbírána a teprve poté byla zadána k řešení sada nová. Výchozí časový limit pro vyplnění testů činil 45 minut – v případě potřeby (např. u velmi pečlivých jedinců či žáků se specifickými vzdělávacími potřebami) autorka reflektovala možnosti školy a žákům umožnila časovou hranici o pár minut prodloužit. Původním záměrem bylo rozdávát testy ve variacích KT 1 + KT 3, poněvadž struktura a funkce spolu neodmyslitelně souvisí, a KT 2 + KT 4 z důvodu domnělé časové úspory ve vazbě na rychlejší vyplnění KT2 a vyšší náročnost KT4, avšak společné zadávání testů KT 1 + KT 3 se ukázalo být již v rámci prvotní pilotáže sugestivní ve smyslu tendence projektovat stavbu rostlinné buňky do zbylých typů v rámci KT 1. Konceptových testů bylo celkem rozdáno 845, vysbíraných vyplněných testů pak 843 – 2 testy byly vyřazeny (viz výše).

Avizovaný výzkum měl být realizován již v rámci bakalářské práce autorky, k čemuž nedošlo vlivem pandemie COVID-19 (kvalifikační práce byla zpracovávána v letech 2020-2021). Zpoza mimořádných opatření, spjatých i s omezeními dopadajícími na oblast školství, bylo však velmi obtížné se do škol dostat i při včasném vytvoření výzkumného instrumentu a za průběžného a opakovaného oslovování škol. Ačkoliv byl výzkumný nástroj modifikován za vypuštění rozhovorů se žáky (viz otevřené otázky v KT1 a KT4), mnozí ředitelé škol, potažmo vyučující či rodiče žáků, s prezenčním šetřením nesouhlasili, a to i přesto, že to třeba bylo v danou chvíli možné a došlo k rozvolnění opatření, neboť: a) vyučující v rámci výuky předmětů nestíhali, b) rodiče/ředitelé se obávali o zdraví svých dětí/žáků. Dalším, neméně důležitým faktorem, pak byl prezenční sběr dat, na němž autorka trvala (z důvodu relevance dat, neboť již pilotní ověření prokázalo nečestné konání ze strany

některých žáků), a jenž by nemusel být vždy dodržen (jako tomu mnohdy bylo i u jiných kvalifikačních prací, zpracovávaných v tomto období). Jiným, pro ni závažným problémem, by bylo také množství získaných dat, kdy by počet předpokládaných sesbíraných testů nepřesáhl 200 (tj. 50 respondentů na každý konceptový test). Autorka se tak rozhodla respektovat specifika této doby včetně zdravotního rizika a od výzkumu, který nemohl být v kýženém počtu minimálně 800 nasbíraných testů uskutečněn, upustit se zamýšlenou realizací šetření v rámci práce diplomové.

#### 4.4 Kategoriální systém a kódování dat

Ke kódování nasbíraných dat bylo využito vlastního kategoriálního systému, sestaveného na podkladě a) výsledků obsahové analýzy tematického celku buněčné biologie v příslušných učebnicích přírodopisu (detekováno 11 hlavních konceptů, 233 pojmů či tvrzení; tj.  $\Sigma$  2330 položek) a b) postupného návrhu vlastních kategorií v průběhu kódování dat (viz Dočekalová, 2021 a příl. 2). Návrh kategorizace dat probíhal v souladu s metodou zakotvené teorie dle Hendla (2005) a byl doplňován připomínkami vedoucího kvalifikační práce. Validita kategoriálního systému byla pilotně ověřena na vzorku každého z typů testů KT1-KT4 (přičemž vždy  $n = 50$ ) autorkou i vedoucím práce. Dílčí kategorie byly v průběhu vyhodnocování testů postupně doplňovány či modifikovány na základě hodnocených dat. Veškeré nejasné či rozporuplné položky a další nesrovnalosti, vzniklé při kódování položek, byly vždy konzultovány a řešeny s vedoucím práce a následně zapracovány do výsledné podoby kategoriálního systému. Číselné a písmenné kódování ručně vyhodnocených dat bylo přenášeno do přehledových tabulek (KT 1 – KT 4) v programu Microsoft Excel a následně také do Statisticu. V těchto programech byla data dále také statisticky zpracována a vyhodnocena.

Pro otázky s otevřenou odpovědí bylo stanoveno 5 základních kategorií: *Kód 1 = úplná a správná odpověď*; *Kód 2 = neúplná, ale správná odpověď*; *Kód 3 = odpověď obsahující správná i chybná tvrzení*; *Kód 4 = chybná odpověď*; *Kód 5 = bez odpovědi*. Stejným způsobem byla posuzována i správnost kreseb či schémat. Uzavřené otázky zahrnovaly hierarchické seřazení vybraných struktur rostlinného a živočišného těla a Likertovy škály míry jistoty. Posuzování (ne)správnosti seřazení položek u KT 2 probíhalo s odstupňovaným systémem žakovských kategorií odpovědí dle počtu možných provedených záměn. Otázky, zjišťující míru jistoty žáka se správností své odpovědi, byly reprezentovány 5 základními kódy: *a) určitě ano*, *b) spíše ano*, *c) spíše ne*, *d) určitě ne (= jen hádám)* dle škály Hasan et al. (1999). Veškeré kategorie byly doplňovány a rozvíjeny dle potřeby – kompletní kategoriální systém viz přílohy.

## 4.5 Statistické zpracování a vyhodnocení dat

Statistické zpracování kategorizovaných dat bylo provedeno ve dvou programech, a sice Microsoft Excel a Statistica. Data byla vyhodnocena s využitím základů popisné statistiky – za kategorie byly počítány relativní a absolutní četnosti zastoupení vybraných odpovědí napříč výzkumným souborem (resp. zkoumanými skupinami). Hypotézy, stanovené v rámci cílů diplomové práce, byly ověřovány na základě určení hladiny statistické významnosti rozdílů v porozumění buněčné biologii mezi žáky základních škol a gymnázií pro jednotlivé testové položky. Statistická významnost byla pro dílčí kategorie zjišťována prostřednictvím Pearsonova  $\chi^2$  testu (chí-kvadrátu) a studentova t-testu (dvouvýběrový s nerovností rozptylů, spárované výběry). Za statisticky významný rozdíl byl považován takový, u něž hodnota pravděpodobnosti (p) byla rovna /nebo nižší než/ kritické hodnotě  $\alpha = 0,05$  (hladina významnosti testu 5 %; Chráska, 2016). Likertovy škály, zjišťující subjektivní míru jistoty správnosti žákovských odpovědí, byly vyhodnoceny s využitím hodnoticích indexů *Certainty of Response Index* (CRI) dle metodiky Hasan et al. (1999) a Caleon a Subramaniam (2010): 1) CF (*confidence*) = průměrná hodnota míry jistoty celkem, 2) CFC (*confidence – correct*) = průměrná hodnota míry jistoty u zcela správných odpovědí, 3) CFPC (*confidence – partly correct*) = průměrná hodnota míry jistoty u částečně správných odpovědí, 4) CFW (*confidence – wrong*) – průměrná hodnota míry jistoty u chybných odpovědí (překlad autorka). Za směrodatnou hodnotu pro vylišování oborově správných představ, nepřesných představ (prekonceptů), miskoncepcí či nedostatku znalostí byla brána kritická hodnota CRI = 2,5 (bez jednotky).

Pokud vypočtené hodnoty indexu CFC byly vyšší než CRI = 2,5 ( $CFC > 2,5$ ), byly žákovské představy považovány za oborově správné (adekvátně reflektující soudobé vědecké poznání; odpovídá *Kódu 1*). U  $CFPC > 2,5$  byly představy hodnoceny jako nepřesné (tj. blíží se oborové představě, ale nezcela ji reflektují, jsou tedy neúplně utvořené; odpovídá *Kódům 2 a 3*). V případě  $CFW > 2,5$  se jednalo o miskoncepce (představy v rozporu s vědeckým poznáním; odpovídá *Kódu 4*). Pokud vypočtené hodnoty indexů CFC, CFPC i CFW byly naopak rovny /nebo nižší než/ CRI = 2,5 ( $CFC / CFPC / CFW \leq 2,5$ ), byly odpovědi hodnoceny za nedostatečné (viz tab. 3; Hasan et al., 1999; Caleon a Subramaniam, 2010; Gurel et al., 2015; obdobně Kosková, 2018; Neckařová, 2021).

**Tab. 4: Výchozí matice pro hodnocení žákovských odpovědí s využitím kritické hodnoty indexu CRI (upraveno dle Hasan et al., 1999, s. 296, překlad autorka)**

Odpověď žáka	CRI < 2,5	CRI > 2,5
<b>Správná</b>	nedostatečná znalost ( <i>lack of knowledge</i> )	znalost oborově správných představ ( <i>knowledge of correct concepts</i> )
<b>Chybná</b>	nedostatečná znalost ( <i>lack of knowledge</i> )	miskoncepce ( <i>misconceptions</i> )

Případy falešně pozitivních a falešně negativních odpovědí nebyly brány v potaz – u falešně pozitivních odpovědí žák sice na otázku odpovídá správně, ale svá tvrzení nesprávně zdůvodňuje, a svými odpověďmi je si v obou případech jistý (a obráceně; viz např. KT 1) – neboť autorka nemůže vyhodnotit, zda se jednalo o neznalost, chybu z nepozornosti či nedostatek času při vyplňování testů (dávalo by smysl při menším počtu žáků a testů, kdy je možnost se všech respondentů doptat; viz např. Jáč, 2018).

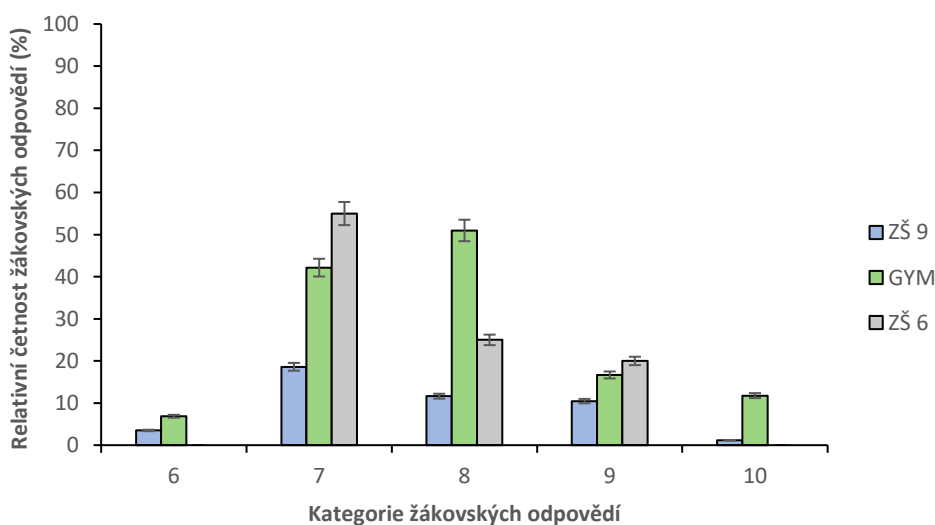
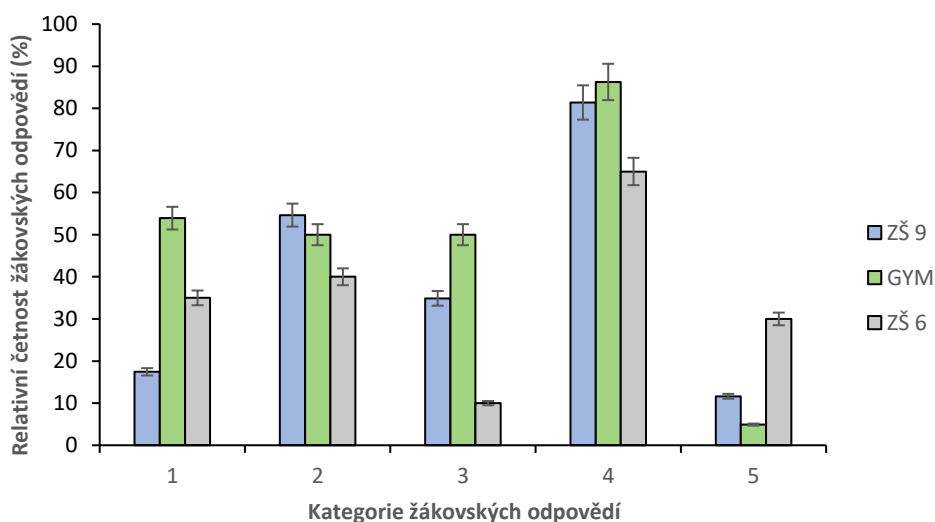


## 5 VÝSLEDKY

Kapitola shrnuje výsledky konceptových testů 1–4, zaměřených na typologii buněk a jejich vnitřní stavbu, hierarchické uspořádání živých organismů, funkci buněčných organel a buněčné rozmnožování, mitózu. Žákovské porozumění buněčné biologii je srovnáváno mezi žáky 9. a 6. ročníků základních škol a žáků kvart a sekundy víceletých gymnázií.

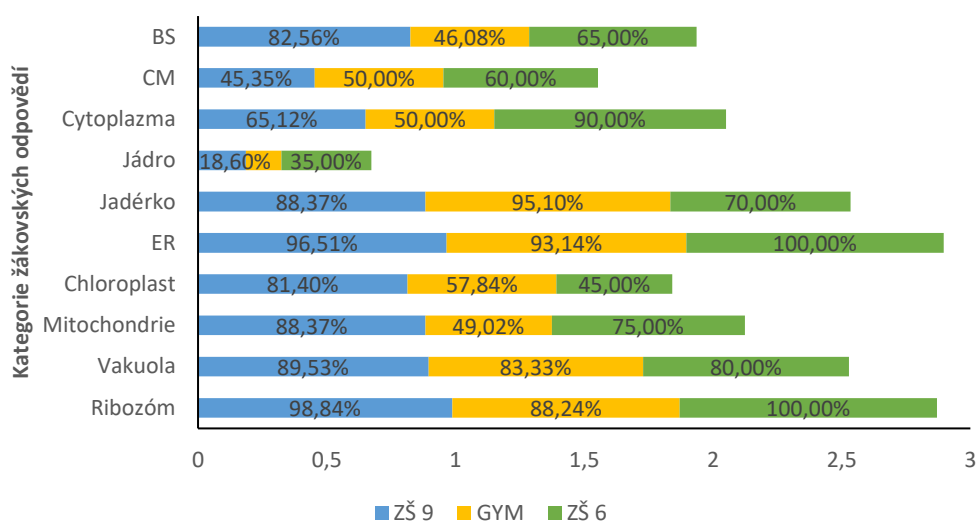
### 5.1 Konceptový test č. 1: typy buněk, vnitřní stavba buňky

První testová položka požadovala nákres struktury rostlinné buňky. Pro hodnocení správnosti kreseb byly předem stanoveny výchozí organely, jež by se ve schématech žáků měly promítnout (platí pro všechny typy buněk). Kategorie žakovských odpovědí zahrnovaly celkem 10 kódů a četnosti jejich zastoupení za výzkumné skupiny znázorňují níže uvedené grafy 1 a 2.



**Grafy 1 a 2: Organely rostlinné buňky.** Vysvětlivky: Kód 1 = buněčná stěna, 2 = cytoplazmatická membrána, 3 = cytoplazma, 4 = jádro, 5 = jadérko; 6 = endoplazmatické retikulum, 7 = chloroplast, 8 = mitochondrie, 9 = vakuola, 10 = ribozóm.

Z výsledků vyplývá, že nejčastěji zakreslovanou strukturou u všech zkoumaných skupin bylo jádro (ZŠ 9 = 81,40 %; GYM = 86,27 %; ZŠ 6 = 65,00 %). Žáci 9. ročníku dále nejhojněji uváděli cytoplazmatickou membránu (54,65 %) a cytoplazmu (34,88 %), méně chloroplast (18,60 %), buněčnou stěnu (17,44 %), jádérko, mitochondrii (shodně 11,63 %) a vakuolu (10,47 %), nejméně endoplazmatické retikulum (3,49 %) a ribozóm (1,16 %). Žáci gymnázií nejčastěji zmiňovali buněčnou stěnu (53,92 %), mitochondrii (50,98 %), cytoplazmatickou membránu a cytoplazmu (shodně 50,00 %) či chloroplast (42,16 %), méně vakuolu (16,67 %), ribozóm (11,76 %), nejméně endoplazmatické retikulum (6,86 %) a jádérko (4,90 %). Žáci 6. ročníku nejhojněji zakreslovali chloroplast (55,00 %), cytoplazmatickou membránu (40,00 %), buněčnou stěnu (35,00 %), jádérko (30,00 %), mitochondrii (25,00 %) a vakuolu (20,00 %), nejméně cytoplazmu (10,00 %), ribozómy nezmínil žádný žák. Mezi zkoumanými skupinami byl statisticky významný rozdíl u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 0,00003$ ) ve prospěch žáků gymnázií. Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 3.



**Graf 3: Relativní četnost žákovských prekonceptů o stavbě rostlinné buňky za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** Vysvětlivky: BS = buněčná stěna, CM = cytoplazmatická membrána, ER = endoplazmatické retikulum. Graf znázorňuje chybějící (nezakreslené) či nesprávně zakreslené organely v žákovských schématech.

Z výše uvedeného grafu plyne, že nejméně /či nejčastěji chybně zakreslenými organelami napříč výzkumnými skupinami byly endoplazmatické retikulum, ribozóm a vakuola. Pro žáky 9. a 6. ročníků ZŠ představoval nejvíce problematickou strukturu ribozóm (98,84 % a 100,00 %), ER (100,00 %), pro žáky gymnázií jádérko (95,10 %). Mezi skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 9. a 6. ročníků ZŠ ( $t = 0,00002$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku a dále u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00011$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Někteří žáci uváděli ke kódovaným organelám ekvivalenty, z nichž ty správné (označením i zakreslením) byly zohledňovány. Za žáky 9. ročníku ZŠ byly respondenty pro označení buněčné stěny uvedeny následující synonymní výrazy: *vnější obal* (4,65 %), *obal* (3,49 %), *buněčný obal/obal buňky* (2,32 %). Cytoplazmatická membrána byla nejčastěji nahrazována termíny *obal* (19,77 %), *membrána* (12,79 %) či například *plazmatická membrána* (6,98 %). Na cytoplazmu žáci odkazovali jako na *výplň buňky* (5,81 %). Žáci gymnázií používali tyto ekvivalenty: buněčná stěna = *obal* (5,88 %), *buněčný obal* (4,90 %), *vnější obal* (1,96 %); cytoplazmatická membrána = *obal* (7,84 %), *membrána* (4,90 %), *plášť* (2,94 %); cytoplazma = *výplň/hmota buňky* (0,98 %); mitochondrie = *zásobárna energie* (0,98 %). Žáci 6. ročníku ZŠ užívali termín cytoplazmatická membrána = *membrána* (10,00 %). Vybraní žáci výzkumných skupin ZŠ 9 a GYM zakreslovali do schémat také další struktury kromě stanovených, které byly hodnoceny kódem „správně, navíc“. Zobrazují je přehledové tabulky 5-6 včetně relativní četnosti jejich zastoupení.

**Tab. 5: Přehled dalších správných kategorií žákovských odpovědí u žáků 9. ročníku ZŠ**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Chlorofyl / zelené b.*</b>	8,14 %	<b>Diktyozóm</b>	1,16 %
<b>Golgiho aparát</b>	3,49 %	<b>Chromatin</b>	1,16 %
<b>Bičíky</b>	2,33 %	<b>Kanálky a měchýřky</b>	1,16 %
<b>Chromozomy</b>	2,33 %	<b>Plastidy</b>	1,16 %
<b>Obal jádra</b>	2,33 %		

Vysvětlivky: *zelené barvivo\**.

**Tab. 6: Přehled dalších správných kategorií žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Chlorofyl / zelené b.*</b>	21,57 %	<b>Chromozomy</b>	3,92 %
<b>Živiny</b>	5,88 %	<b>DNA</b>	2,94 %
<b>Bičíky</b>	4,90 %	<b>Genetická informace</b>	2,94 %
<b>Golgiho aparát</b>	4,90 %	<b>Dědičný materiál</b>	0,98 %
<b>Dědičná informace</b>	3,92 %	<b>Hrubé ER</b>	0,98 %

Vysvětlivky: ER = *endoplazmatické retikulum*. Minoritně se objevovaly další kategorie jako *membránová kompartmentace* (0,98 %), *voda* (0,98 %) či *kryoprotektanty* (0,98 %).

Z tabulek plyne, že nejhojněji znázorňovanými strukturami byly shodně molekuly chlorofylu

s větším zastoupením u žáků gymnázií (ZŠ 9 = 8,14 %, GYM = 21,57 %) – žáci je však obvykle zakreslovaly „volně“ v chloroplastech, a nikoliv na thylakoidních membránách, což bylo hodnoceno za částečně správnou odpověď. Zbylé struktury byly zaznamenávány spíše minoritně. Většina žáků, uvádějících struktury/organely navíc, zaznamenala více než 1 položku. Větší znalost dalších struktur/organel, vyskytujících se v rostlinných buňkách, vykazovali žáci gymnázií. Žáci 6. ročníku ZŠ překvapivě nezmiňovali žádné doplňkové struktury. Ve schématech stavby rostlinné buňky se objevovala také řada nepřesností či vyloženě chybných odpovědí. 10 nejčastěji zastoupených chybných struktur vždy zobrazují tabulky 7-9 pro všechny výzkumné skupiny.

**Tab. 7: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků 9. ročníku ZŠ**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Chlorofyl / chloroplast</b>	6,98 %	<b>Chromozomy</b>	2,33 %
<b>CM</b>	3,49 %	<b>Mitochondrie</b>	2,33 %
<b>Fotosyntéza</b>	3,49 %	<b>Plazma</b>	2,33 %
<b>Jádro</b>	3,49 %	<b>Golgiho aparát</b>	2,33 %
<b>Cytoplazma</b>	2,33 %	<b>Bakterie</b>	1,16 %

*Vysvětlivky: chlorofyl/chloroplast – chloroplast byl zakreslen správně, ale označen jako chlorofyl, CM = cytoplazmatická membrána – nákres, jádro – nákres, cytoplazma – nákres, chromozomy – nákres, mitochondrie – nákres, Golgiho aparát – nákres. Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. průduchy, kůra, plotioly, tiktiozol či skvrny na jádře (shodně 1,16 %).*

**Tab. 8: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Chlorofyl / chloroplast</b>	21,57 %	<b>Endoplazmatická m.*</b>	1,96 %
<b>CM</b>	6,86 %	<b>Epitel</b>	1,96 %
<b>Cytoplazma</b>	3,92 %	<b>Kutikula</b>	1,96 %
<b>ER</b>	3,92 %	<b>Mitochondrie</b>	1,96 %
<b>Chromozomy</b>	3,92 %	<b>Ribozómy</b>	1,96 %

*Vysvětlivky: chlorofyl/chloroplast – chloroplast byl zakreslen správně, ale označen jako chlorofyl, CM = cytoplazmatická membrána – nákres, cytoplazma – nákres, ER = endoplazmatické retikulum – nákres, chromozomy – nákres, membrána\*, mitochondrie – nákres, ribozómy – nákres. Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. G(i)orgiho aparát, zásobárna, nepravé jádro, pusa či chloupky (shodně 1,96 %).*

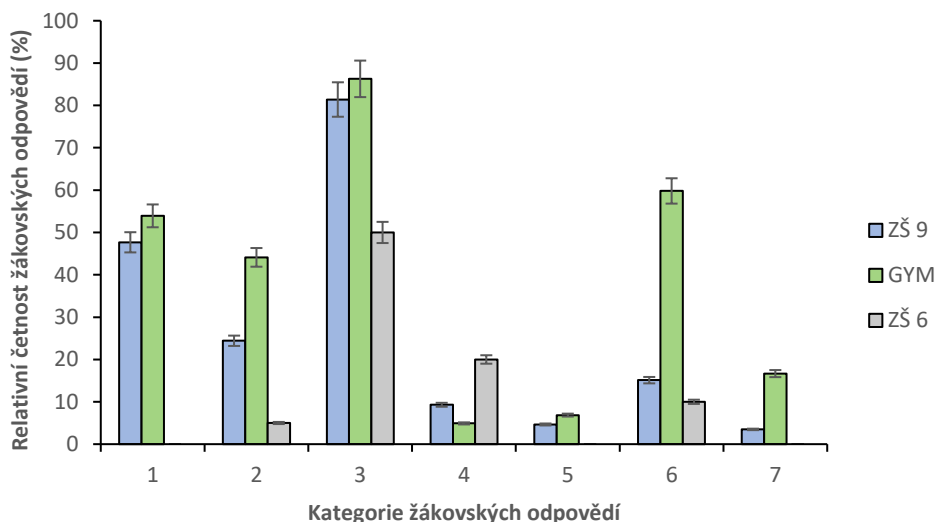
**Tab. 9: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků 6. ročníku ZŠ**

<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>	<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>
<b>CM</b>	15,00 %	<b>Chloroplazma</b>	5,00 %
<b>BS</b>	10,00 %	<b>Jádro</b>	5,00 %
<b>Chloroplast</b>	10,00 %	<b>Vnitřní jádro</b>	5,00 %
<b>Fotosyntéza</b>	5,00 %	<b>Zásobovací zrna</b>	5,00 %
<b>Golgiho aparát</b>	5,00 %	<b>Zrnka</b>	5,00 %

*Vysvětlivky: CM = cytoplazmatická membrána – nákres, BS = buněčná stěna – nákres, chloroplast – nákres, Golgiho aparát – nákres, jádro – nákres.*

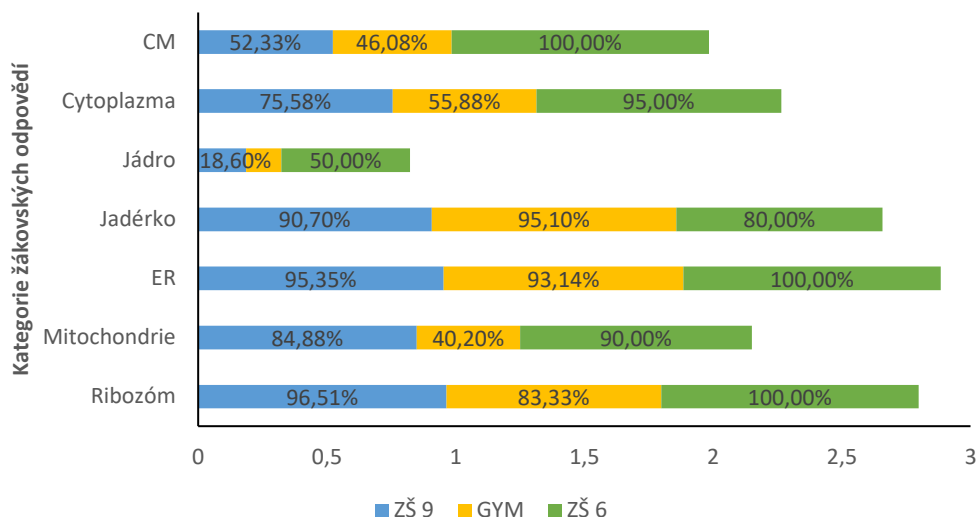
Z tabulek je zřejmé, že žákům 9. ročníku ZŠ (6,98 %) a gymnázií (21,57 %) činilo největší potíž správné pojmenování chloroplastu, který označovali jako chlorofyl, a zakreslení cytoplazmatické membrány (ZŠ 9 = 3,49 %, GYM = 6,86 %), již zaměňovali s buněčnou stěnou. Další problematickou položku představovalo pro žáky 9. ročníku jádro (3,49 %), pro žáky gymnázií cytoplazma, endoplazmatické retikulum a chromozomy (shodně 3,92 %). Žáci 9. ročníku nesprávně označili chloroplasty za „fotosyntézu“ (3,49 %) – pojem nebyl kódován do kategorie chybných odpovědí „funkce“, neboť žáci na dotaz uváděli, že se domnívají o správnosti použité terminologie, a tedy nejde o záměnu s funkcí (žák nezná název organely, a tak alespoň napíše, k čemu slouží). Zajímavé položky představují plazma (2,33 %) a bakterie (1,16 %). Žáci gymnázií také zmiňovali neexistující struktury jako endoplazmatickou membránu (1,96 %), či jiné, do rostlinných buněk nepatřící struktury – epitel (1,96 %) a kutikula (1,96 %). Žákům 6. ročníku ZŠ činil největší problém nákres cytoplazmatické membrány (záměna za BS; 15,00 %) a dále buněčné stěny (záměna za CM; 10 %) či chloroplastu (záměna za jinou organelu; 10,00 %). Obdobně jako žáci 9. ročníku označovali chloroplast za fotosyntézu (5,00 %). Zmiňovali také neexistující organely jako chloroplazmu (5,00 %). Položkou vnitřní jádro (5,00 %) bylo pravděpodobně nesprávně označováno jadérko a zásobovací zrna a zrnky (shodně 5,00 %) nejspíše škrobová zrna. Popis funkce uvedlo: ZŠ 9 = 1,16 %; GYM = 0,98 % a za ZŠ 6 žádný respondent.

Ve druhé části první otázky žáci zakreslovali stavbu živočišné buňky. Pro hodnocení správnosti kreseb bylo stanoveno 7 kategorií žakovských odpovědí = tedy organel, které by žáci měli znát. Kategorie a četnost jejich zastoupení v rámci schémat u všech výzkumných skupin znázorňuje graf 4.



**Graf 4: Organely živočišné buňky.** Vysvětlivky: Kód 1 = cytoplazmatická membrána, 2 = cytoplazma, 3 = jádro, 4 = jadérko, 5 = endoplazmatické retikulum, 6 = mitochondrie, 7 = ribozóm.

Z výsledků vyplývá, že nejčastěji zakreslovanou strukturou u všech zkoumaných skupin bylo, stejně jako u rostlinné buňky, jádro (ZŠ 9 = 81,40 %; GYM = 86,27 %; ZŠ 6 = 50,00 %). Žáci 9. ročníku dále nejhojněji uváděli cytoplazmatickou membránu (47,67 %) a cytoplazmu (24,42 %), méně mitochondrii (15,12 %) a jadérko (9,30 %), nejméně endoplazmatické retikulum (4,65 %) a ribozóm (3,49 %). Žáci gymnázií nejčastěji zmiňovali mitochondrii (59,80 %), cytoplazmatickou membránu (53,92 %) a cytoplazmu (44,12 %), méně ribozóm (16,67 %), nejméně endoplazmatické retikulum (6,86 %) a jadérko (4,90 %). Žáci 6. ročníku ZŠ méně často zakreslovali jadérko (20,00 %) a mitochondrii (10,00 %), nejméně pak cytoplazmu (5,00 %). Organely cytoplazmatická membrána, endoplazmatické retikulum a ribozóm nebyly v jejich nákresech detekovány vůbec. Mezi všemi zkoumanými skupinami byly statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 vs GYM ( $t = 0,00006$ ) ve prospěch žáků gymnázií, ZŠ 6 vs ZŠ 9 ( $t = 0,00147$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a ZŠ 6 vs GYM ( $t = 3,24651E-07$ ) ve prospěch žáků gymnázií. Relativní četnost žakovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 4.



**Graf 5: Relativní četnost žákovských prekonceptů o stavbě živočišné buňky za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** Vysvětlivky: Graf znázorňuje chybějící (nezakreslené) či nesprávně zakreslené organely v žákovských schématech.

Z výše uvedeného grafu je patrné, že nejméně /či nejčastěji chybně/ zakreslenými organelami napříč výzkumnými skupinami byly endoplazmatické retikulum, ribozóm a jadérko. Pro žáky 9. ročníku ZŠ představoval nejvíce problematickou strukturu ribozóm (96,51 %) ekvivalentně jako u rostlinné buňky. Pro žáky gymnázií totožně jadérko (95,10 %), žákům 6. ročníku činily potíže organely cytoplazmatická membrána (100,00 %), shodně endoplazmatické retikulum (100,00 %) a ribozóm (100,00 %). Zajímavým zjištěním je 10% rozdíl v přítomnosti cytoplazmatické membrány v nákresu/popisu rostlinné buňky oproti živočišné u žáků 6. ročníku. Mezi skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 9. a 6. ročníků ZŠ ( $t = 0,00157$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a dále u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00677$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Uváděné ekvivalenty ke kódovaným organelám byly v nákresech živočišné buňky následující. Žáci 9. ročníku ZŠ označovali cytoplazmatickou membránu termíny *obal* (18,60 %), *obal buňky* (5,81 %), *plazmatická membrána* (5,81 %). Žáci gymnázií užívali tato synonyma: cytoplazmatická membrána = *obal* (9,80 %), *membrána* (3,92 %), *plášť* (2,94 %); cytoplazma = *hmota vevnitř/výplň buňky* (0,98 %); mitochondrie = *zásobárna energie* (0,98 %). Žáci 6. ročníku neužívali žádné ekvivalenty. Vybraní žáci všech výzkumných skupin zakreslovali do schémat také další struktury kromě stanovených, které byly hodnoceny kódem „správně, navíc“. Zobrazují je přehledové tabulky 10-11 včetně relativní četnosti jejich zastoupení. Žáci 6. ročníku uváděli bičíky (15,00 %), Golgiho aparát (10,00 %) a zásobní látky (5,00 %) – z důvodu malého počtu struktur tyto nejsou vynášeny do tabulky.

**Tab. 10: Přehled dalších správných kategorií žákovských odpovědí u žáků 9. ročníku ZŠ**

<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>	<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>
<b>Bičinky</b>	11,63 %	<b>Chromozomy</b>	1,16 %
<b>Golgiho aparát</b>	2,33 %	<b>Jádra</b>	1,16 %
<b>Centrioly</b>	1,16 %	<b>Kanálky a měchýřky</b>	1,16 %
<b>Cytoskelet</b>	1,16 %	<b>Lysozóm</b>	1,16 %
<b>Genetická informace</b>	1,16 %	<b>Obal jádra</b>	1,16 %

**Tab. 11: Přehled dalších správných kategorií žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>	<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>
<b>Golgiho aparát</b>	6,86 %	<b>Genetická informace</b>	2,94 %
<b>Živiny</b>	5,88 %	<b>Chromozomy</b>	2,94 %
<b>Bičinky</b>	4,90 %	<b>Obal jádra</b>	1,96 %
<b>DNA</b>	4,90 %	<b>Hrubé ER</b>	0,98 %
<b>Dědičná informace</b>	2,94 %	<b>Karyoplazma</b>	0,98 %

*Pozn.: Minoritně se objevovaly také další kategorie jako dědičný materiál (0,98 %), voda (0,98 %) a jadérko (0,98 %).*

Z tabulek plyne, že nejhojněji znázorňovanými strukturami byly bičinky (11,63 %) a Golgiho aparát (2,33 %) u žáků 9. ročníku ZŠ a Golgiho aparát (6,86 %) a živiny (5,88 %) u žáků gymnázií. Žáci 6. ročníku také nejčastěji kreslili bičinky (15,00 %) a Golgiho aparát (10,00 %). U žáků gymnázií byly dále zaznamenávány bičinky a DNA (shodně 4,90 %), ostatní struktury již v obou případech poméně. Poměrně zajímavé kategorie představují centrioly (ZŠ 9 = 1,16 %), cytoskelet (ZŠ 9 = 1,16 %) a karyoplazma (GYM = 0,98 %), jež bývají ve výuce na úrovni nižšího sekundárního vzdělávání obvykle opomíjeny. Větší znalost dalších struktur/organel, vyskytujících se v živočišných buňkách, vykazovali žáci gymnázií. Ve schématech stavby živočišné buňky se nicméně objevovala také řada nepřesností či vyloženě chybných odpovědí. 10 nejčastěji zastoupených chybných struktur vždy zobrazují tabulky 12-14 za obě výzkumné skupiny ZŠ 9 a GYM. Žáci 6. ročníku chybně uváděli buněčnou stěnu a chloroplasty (shodně 10,00 %), nesprávně zakreslovali jádro a Golgiho aparát (shodně 5,00 %) – z důvodu malého počtu struktur tyto nejsou vynášeny do tabulky.



**Tab. 12: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků 9. ročníku ZŠ**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>BS</b>	13,95 %	<b>CM</b>	2,33 %
<b>Vakuola</b>	6,98 %	<b>Jádro</b>	2,33 %
<b>BS*</b>	3,49 %	<b>Obal pláště</b>	2,33 %
<b>Erytrocyty</b>	3,49 %	<b>Tělíška</b>	2,33 %
<b>Mitochondrie</b>	3,49 %	<b>Žaludek</b>	1,16 %

*Vysvětlivky: buněčná stěna – chybné pojmenování cytoplazmatické membrány, vakuola (velká dominantní typická pro RB), buněčná stěna – náčrt (žák zakreslil jak cytoplazmatickou membránu, tak nesprávně buněčnou stěnu, a to v obráceném pořadí)\*, mitochondrie – náčrt, cytoplazmatická membrána – náčrt, jádro – náčrt. Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. erdořiny – endorřiny, rosol, panořky či řasanky – řasinky (shodně 1,16 %).*

**Tab. 13: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

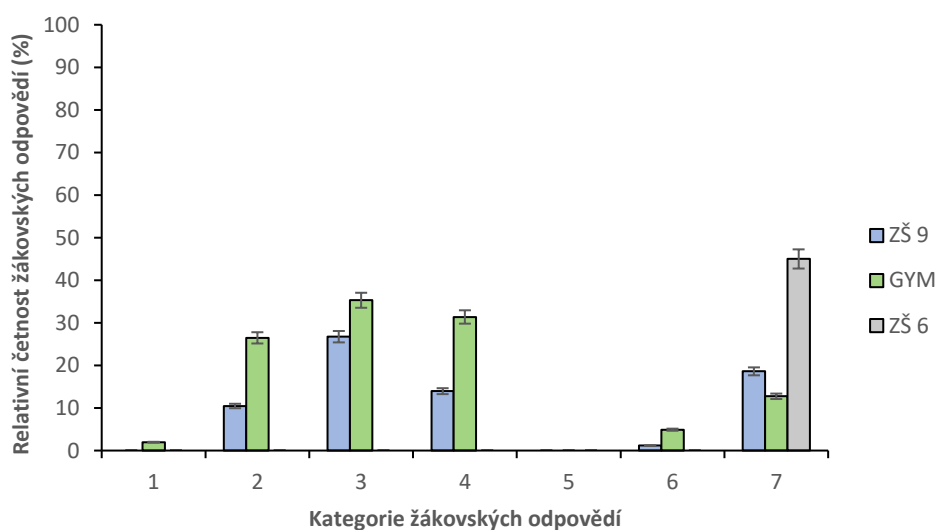
Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>BS</b>	38,24 %	<b>Cytoplazma</b>	2,94 %
<b>Vakuola</b>	11,76 %	<b>Chromozomy</b>	2,94 %
<b>CM</b>	8,82 %	<b>Plazma</b>	2,94 %
<b>ER</b>	3,92 %	<b>Buněčná blána</b>	1,96 %
<b>BS*</b>	2,94 %	<b>Kutikula</b>	1,96 %

*Vysvětlivky: vakuola (velká dominantní typická pro RB), cytoplazmatická membrána – náčrt, endoplazmatické retikulum – náčrt, buněčná stěna – náčrt (žák zakreslil jak cytoplazmatickou membránu, tak nesprávně buněčnou stěnu, a to v obráceném pořadí)\*, cytoplazma – náčrt, chromozomy – náčrt. Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. buněčný mok, (ovládací) centrum, kůra, elektronely, embrium či Galvagnociho organela (shodně 0,98 %).*

Z tabulek vyplývá, že žákům 9. ročníku ZŠ i gymnázií činilo největší potíže vylišování mezi stavbou živočišné a rostlinné buňky. Shodně do schémat zakreslovali buněčnou stěnu a centrální vakuolu, žáci gymnázií navíc ještě kutikulu, která však není součástí ani rostlinné ani živočišné buňky (pokrývá povrch těla). Stejný problém se promítl také do náčrtů žáků 6. ročníku, kteří kreslili kromě buněčné stěny ještě chloroplasty. Někteří ze žáků pak správně zakreslovali pouze cytoplazmatickou membránu, ale označovali ji jako buněčnou stěnu. Žáci 9. ročníku také kreslili chloroplasty, nýbrž je popisovali jako mitochondrie. Zajímavé položky představují u žáků 9. ročníku erytrocyty (3,49 %) a žaludek (1,16 %), u žáků gymnázií plazma (2,94 %). Zatímco žáci gymnázií označovali buněčnou stěnu alternativními výrazy jako

např. buněčná blána (1,96 %), někteří žáci 9. ročníku ji nepovažovali za jeden z obalů buňky, avšak za ohraničení samotné cytoplazmatické membrány – viz obal pláště = 2,33 % (nákres obdobně jako u jádra), kterou považovali za běžnou organelu. Popis funkce uvedlo: ZŠ 9 = 4,65 %; za GYM a ZŠ 6 žádný respondent.

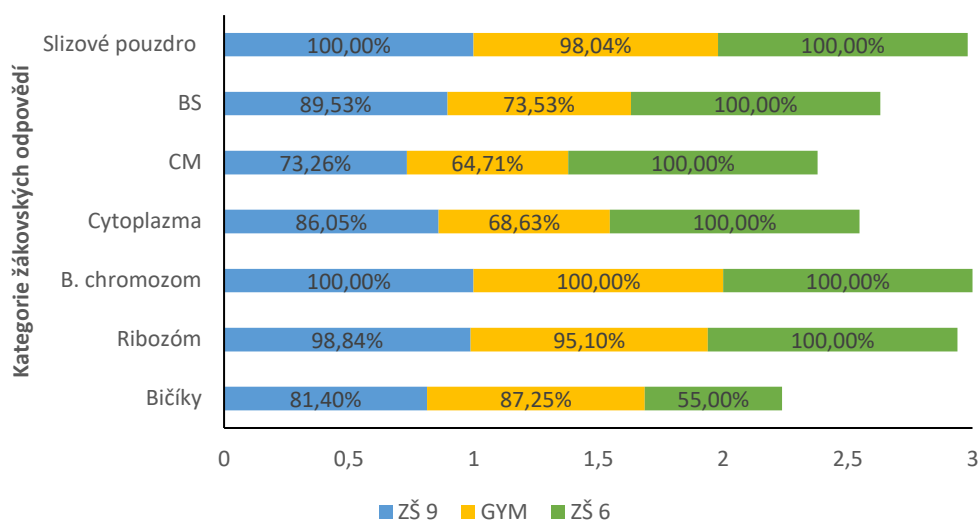
Ve druhé otázce, požadující nákres stavby buňky, žáci zakreslovali strukturu bakteriální buňky. Pro hodnocení správnosti kreseb bylo stanoveno 7 kategorií žákovských odpovědí, které spolu s četností jejich zastoupení ve schématech všech výzkumných skupin znázorňuje graf 6.



**Graf 6: Organely bakteriální buňky.** *Vysvětlivky: Kód 1 = slizové pouzdro (kapsula), 2 = buněčná stěna, 3 = cytoplazmatická membrána, 4 = cytoplazma, 5 = bakteriální chromozom, 6 = ribozóm, 7 = bičíky.*

Z výsledků je zřejmé, že nejčastěji zakreslovanou strukturou u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií byla cytoplazmatická membrána (ZŠ 9 = 26,74 %; GYM = 35,29 %). Strukturou, kterou naopak neuvedl žádný respondent z výzkumného souboru, byl bakteriální chromozom. Žáci 9. ročníku dále nejhojněji uváděli bičíky (18,60 %), méně cytoplazmu (13,95 %) a buněčnou stěnu (10,47 %), nejméně ribozóm (1,16 %). Slizové pouzdro neuvedl žádný respondent. Žáci gymnázií nejčastěji zmiňovali cytoplazmu (31,37 %) a buněčnou stěnu (26,47 %), méně bičíky (12,75 %), nejméně ribozóm (4,90 %) a slizové pouzdro (1,96 %). Žáci 6. ročníku zakreslovali pouze bičíky (45,00 %). Sestavit schéma bakteriální buňky bylo pro žáky evidentně mnohem náročnější než u rostlinné a živočišné buňky (srov. grafy 1, 2 a 4), část respondentů bakterie také nesprávně zaměňovala za viry (viz dále). Mezi zkoumanými skupinami byly statisticky významné rozdíly u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 0,00000$ ) ve prospěch žáků gymnázií a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00000$ ) též ve prospěch žáků gymnázií. Relativní četnost

žakovských prekonceptí (miskonceptí) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 7.



**Graf 7: Relativní četnost žakovských prekonceptí o stavbě bakteriální buňky za dílčí kategorie žakovských odpovědí.** Vysvětlivky: Graf znázorňuje chybějící (nezakreslené) či nesprávně zakreslené organely v žakovských schématech.

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že žáci do schémat vůbec nezakreslovali bakteriální chromozom. Další problematickou položku představovalo slizové pouzdro, které uváděli pouze žáci gymnázií (98,04 %) a ribozóm (ZŠ 9 = 98,84 %; GYM 95,10 %). Žákům 6. ročníku činily potíže veškeré položky vyjma bičinků, i zde však počet neuvedených či nesprávných odpovědí přesáhl polovinu (55,00 %). Žáci 6. ročníku také oproti žákům 9. ročníku a gymnázií ve znalosti vybraných organel či schopnosti je adekvátně, terminologicky správně, pojmenovat výrazněji zaostávali. Mezi skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptí u žáků 9. a 6. ročníků ZŠ ( $t = 1,57186E-06$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a dále u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00002$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Uváděné ekvivalenty ke kódovaným organelám byly v nákresech živočišné buňky následující. Žáci 9. ročníku ZŠ označovali buněčnou stěnu termíny *obal* (4,65 %) a *vnější obal* (1,16 %); cytoplazmatickou membránu *obal* (9,30 %), *membrána* (6,98 %), *plazmatická membrána* (3,49 %), *obal* (2,33 %) či *plášť* (2,33 %). Žáci gymnázií používali tyto ekvivalenty: *obal* (4,90 %), *buněčný obal* (1,96 %), *vnější obal* (0,98 %); cytoplazmatická membrána – *membrána* (4,90 %), *obal* (3,92 %), *buněčná membrána* (0,98 %), *buněčný plášť* (0,98 %), *plášť* (0,98 %), *polopropustná membrána* (0,98 %) a *vnitřní obal* (0,98 %); cytoplazma = *výplň vevnitř buňky* (0,98 %). Žáci 6. ročníku neužívali žádných synonym. Vybraní žáci gymnázií zakreslovali do schémat také další struktury kromě stanovených, které byly hodnoceny kódem „správně, navíc“. Zobrazuje je přehledová tabulka 14 včetně relativní četnosti jejich zastoupení.

Žáci 9. ročníku zmiňovali buněčné pouzdro (1,16 %), DNA (1,16 %) a nukleoid (1,16 %), žáci 6. ročníku uváděli pouze DNA (15,00 %), a protože pro tyto výzkumné kategorie nejsou vytvářeny separátní tabulky.

**Tab. 14: Přehled dalších správných kategorií žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>	<b>Kategorie</b>	<b>Relativní četnost <math>f_i</math></b>
<b>Živiny</b>	5,88 %	<b>Fimbrie</b>	0,98 %
<b>Plazmidy</b>	3,92 %	<b>Genetická informace</b>	0,98 %
<b>Nepravé b. jádro*</b>	2,94 %	<b>Pilus</b>	0,98 %
<b>Dědičná informace</b>	1,96 %	<b>Roztroušená GI*</b>	0,98 %
<b>DNA</b>	1,96 %	<b>Sliz</b>	0,98 %

*Vysvětlivky: Buněčné, genetická informace\*. Další uváděnou kategorií byla voda (0,98 %).*

Z tabulky plyne, že nejhojněji zobrazovanými byly živiny (5,88 %), následovány plazmidy a nepravým buněčným jádrem. Žáci sice ve schématech opomíjeli užívání termínu bakteriální chromozom či vhodných ekvivalentů, nicméně správně uváděli, že se v buňce nachází DNA, dědičná informace/genetická informace a také kruhové molekuly DNA, plazmidy. Někteří také doplňovali, že buňky mají nepravé buněčné jádro, nebo že je genetická informace v buňce roztroušená. Zajímavé položky představují fimbrie a pili, neboť tyto struktury nebývají v učebnicích pro nižší sekundární vzdělávání příliš zastoupeny. Z obsahové analýzy provedené v rámci bakalářské práce autorky vyplynulo, že se pojem fimbrie vyskytuje pouze ve 2 z 10 nejčastěji používaných učebnicích přírodopisu (Prodos, 2011 a Taktik, 2017), pili pak nebyly detekovány vůbec (viz Dočekalová, 2021, s. 57). 1 žák z výzkumné skupiny správně uvedl, že je struktura, již terminologicky nepopsal (slizové pouzdro), tvořena slizem. Ve schématech stavby bakteriální buňky se objevovala také řada nepřesností či vyloženě chybných odpovědí. 10 nejčastěji zastoupených chybných struktur vždy zobrazují tabulky 15-16 za obě výzkumné skupiny ZŠ 9 a GYM. Žáci 6. ročníku chybně uváděli jádro (15,00 %), DNA v jádře (5,00 %), jadérko (5,00 %) a pojem „vzmotané jádro“ (5,00 %) – z důvodu malého počtu struktur tyto nejsou vynášeny do tabulky.

**Tab. 15: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků 9. ročníku ZŠ**

Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Jádro</b>	58,14 %	<b>CM</b>	2,33 %
<b>Bakterie</b>	6,98 %	<b>Chloupky</b>	2,33 %
<b>Mitochondrie</b>	6,98 %	<b>Ocásek</b>	2,33 %
<b>BS</b>	4,65 %	<b>Okó</b>	2,33 %
<b>Buňky</b>	2,33 %	<b>Štětiny</b>	2,33 %

*Vysvětlivky: buněčná stěna – nákres, cytoplazmatická membrána – nákres. Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. brvy, chloupky, směrovky, vlásky, šťopky, chapadla (= fimbrie), ocas (=bičík), samčí a samičí bičíky či viry (shodně 1,16 %).*

**Tab. 16: Nejčastější chybné kategorie žákovských odpovědí u žáků gymnázií**

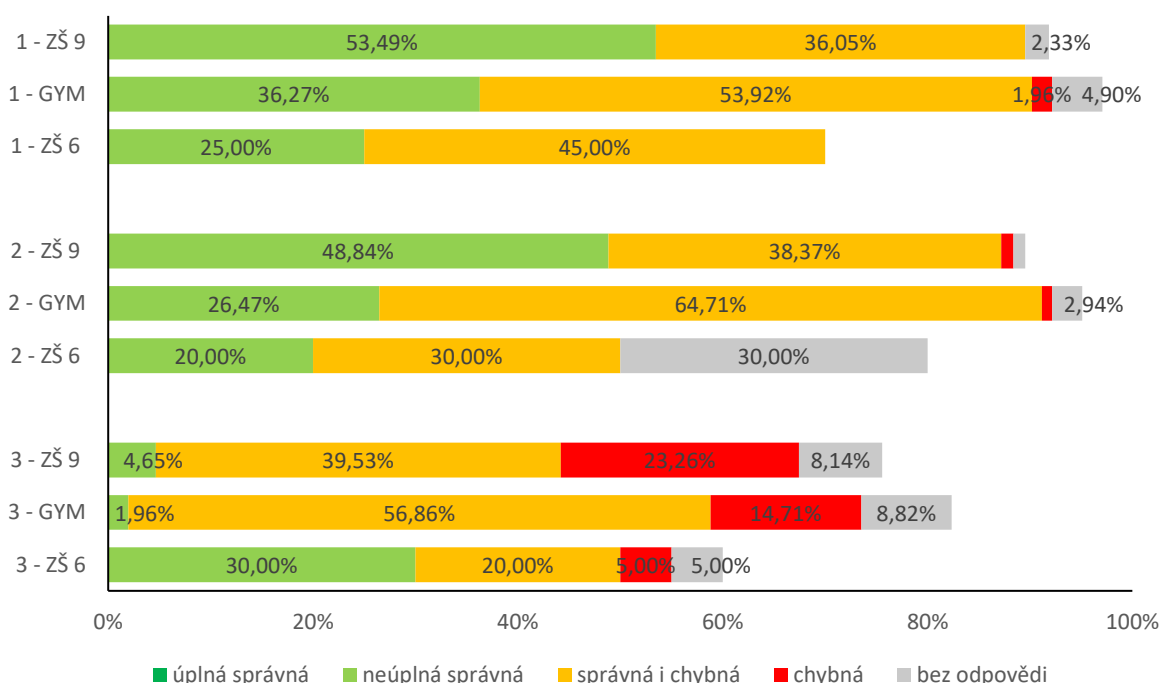
Kategorie	Relativní četnost $f_i$	Kategorie	Relativní četnost $f_i$
<b>Jádro</b>	52,94 %	<b>Biozóm</b>	1,96 %
<b>Mitochondrie</b>	23,53 %	<b>CM</b>	1,96 %
<b>Brvy</b>	4,90 %	<b>Dědičná informace</b>	1,96 %
<b>Chloupky</b>	3,92 %	<b>Chromozomy</b>	0,98 %
<b>Bakterie</b>	2,94 %	<b>RNA</b>	0,98 %

*Vysvětlivky: cytoplazmatická membrána – nákres, dědičná informace – zaznačena v jádře, chromozomy – nákres (zaznačeny v jádře). Žáci uváděli další zajímavé položky jako např. buněčná ústa, b. žaludek, b. řiť, chlupy, štětiny (= fimbrie), ochranné bičíky, chlupy k pohybu (= bičíky), kutikula, kůra, viry či mikrobuňky (shodně 0,98 %).*

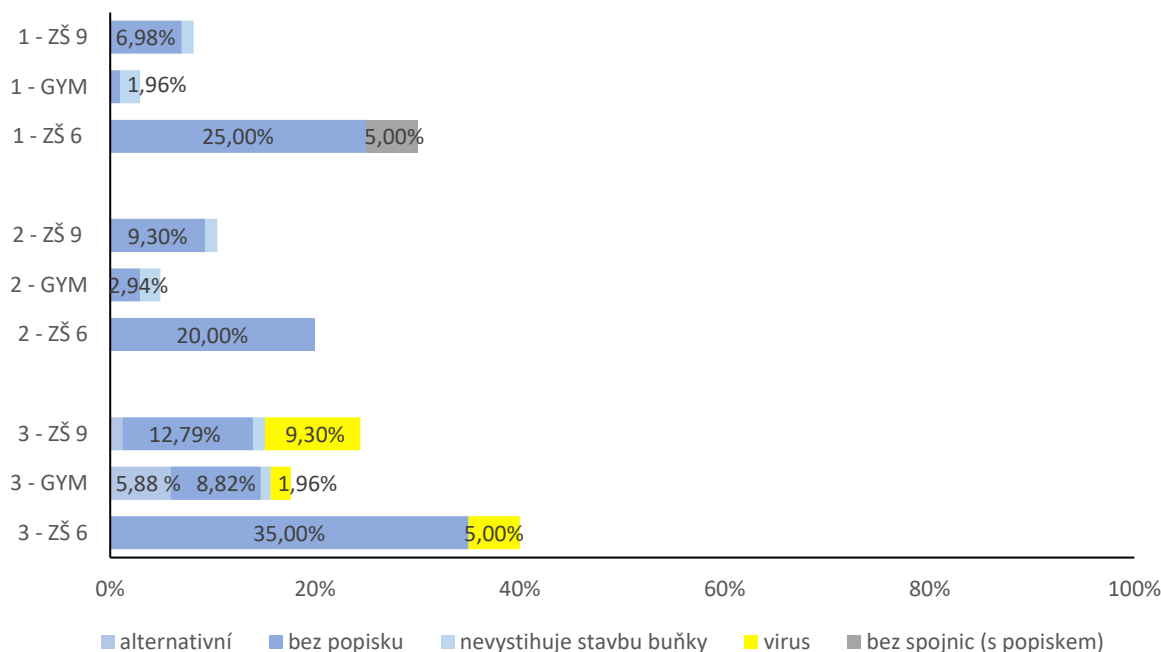
Z tabulek je patrné, že žáci 9. ročníku ZŠ (58,14 %) i gymnázií (52,94 %) do bakteriální buňky nejčastěji chybně zakreslovali jádro. Obě skupiny zmiňovali také mitochondrie (ZŠ 9 = 6,98 %; GYM = 23,53 %) a překvapivě samotné bakterie (ZŠ 9 = 6,98 %, GYM= 2,94 %). Z nákresů bylo patrné, že se někteří žáci domnívali, že bakteriální buňkou může být každá buňka, jež obsahuje bakterie ve své cytoplazmě. Ve slovních odpovědích toto bylo doplněno tvrzením, že bakterie přilnou na povrch buňky (jeden z obalů), navrtají se dovnitř, zde se nareplikují a svou genetickou informaci začlení do vlastního genomu buňky. Žáci gymnázií do jádra zakreslovali také chromozomy (0,98 %) a nákresy doplňovali popiskem dědičná informace (1,96 %). Jeden respondent se pak domníval, že bakteriální buňka obsahuje RNA (0,98 %). Žáci obou skupin nesprávně pojmenovávali fimbrie, pili a bičíky rozličnými alternativními názvy jako chloupky či ocásky. Žáci 9. ročníku zaměňovali buněčnou stěnu (4,65 %)

či cytoplazmatickou membránu (2,33 %) za jiné obaly. Zajímavé položky představují pojmy oko (ZŠ 9 = 2,33 %), jež ve schématu připomínalo jádro, a biozóm (1,96 %), jímž byl pravděpodobně míněn ribozóm. Ribozóm správně uvedl pouze jeden žák (0,98 %), avšak nesprávně jej zakreslil na cytoplazmatickou membránu, a nikoliv volně do cytoplazmy. 2,33 % žáků 9. ročníku zvláště kreslilo buňky do jiných buněk. Popis funkce uvedlo: ZŠ 9 = 3,49 %; GYM = 0,98 % a za ZŠ 6 žádný respondent.

U schémat stavby buněk byla vyhodnocována jejich oborová obsahová správnost. Celkem bylo stanoveno 10 kódů správnosti, z nichž 1 (virus) byl detekován pouze u bakteriální buňky. Kategorie a četnost jejich zastoupení v rámci schémat u všech výzkumných skupin znázorňují grafy 8 a 9.



**Graf 8: Srovnání správnosti schémat rostlinné, živočišné a bakteriální buňky mezi výzkumnými skupinami. Vysvětlivky: 1 = rostlinná buňka, 2 = živočišná buňka, 3 = bakteriální buňka.**

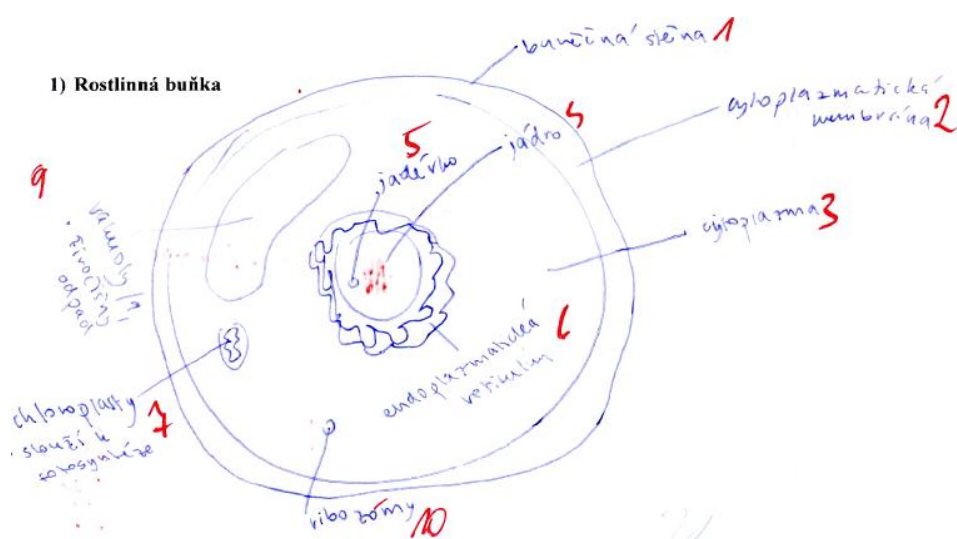


**Graf 9: Srovnání správnosti schémat rostlinné, živočišné a bakteriální buňky mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlivky: 1 = rostlinná buňka, 2 = živočišná buňka, 3 = bakteriální buňka.

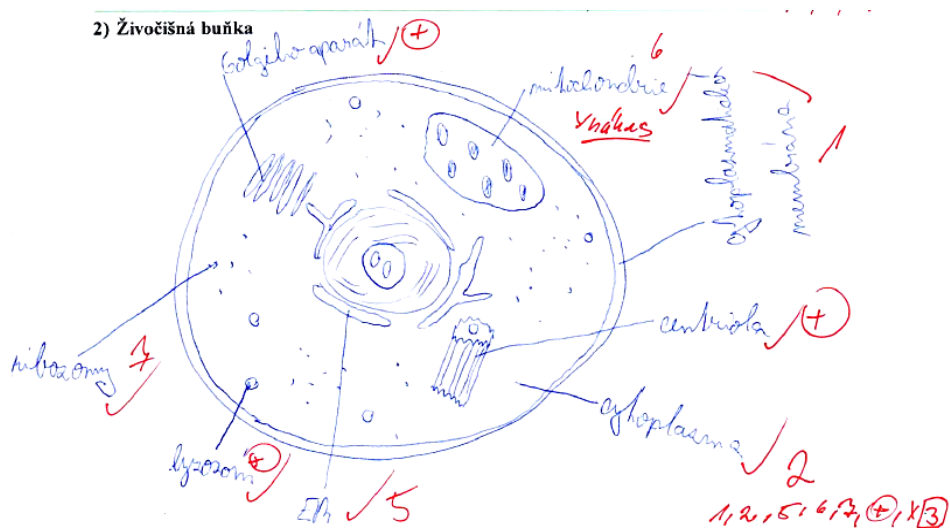
Z výše uvedených grafů vyplývá, že žádné ze schémat nebylo hodnoceno kódem 1 = úplně správná odpověď. Nejčastěji se odpovědi pohybovaly v rozmezí kódů 2-3, tedy neúplná, ale správná odpověď a odpověď obsahující správná i chybná tvrzení. Zpoza správnosti byly hodnoceny také doplňkové struktury – žáci je nemuseli uvádět, aby schémata byla hodnocena jako správná, nicméně pokud je uvedli, správnost těchto struktur byla také posuzována. Při hodnocení schémat nebyly brány v potaz pravopisné a gramatické chyby žáků (terminologie byla kódována dle žáků v případě minoritního zastoupení daného pojmu, avšak na vyhodnocení správnosti kresby toto nemělo žádný vliv). V nákresech se objevovaly také buňky, které buď nebyly popsány (*bez popisku*), avšak jejich obsahová správnost byla odpovídající, nebo buňky, které popsány byly, avšak popisky nebyly doplněny spojnicemi (*bez spojnic, s popiskem*) – tyto kategorie byly vylišovány samostatně. Alternativním kódem byly označovány všechny kresby, které nesplňovaly podmínky pro přiřazení jednoho ze stávajících kódů (viz příklad dále). Pro bakteriální buňku byl na základě žákovských kategorií odpovědí vymezen také kód *virus*.

V nákrese rostlinné buňky si dle kritéria *správných odpovědí* nejlépe vedli žáci 9. ročníku (53,49 % vs 36,05 %), nejhůře žáci 6. ročníku (25,00 % vs 45,00 %). V nákrese živočišné buňky byli opět úspěšnější žáci 9. ročníku (48,84 % vs 39,53 %) a nejméně úspěšní žáci 6. ročníku (20,00 % vs 30,00 %). U bakteriální buňky dominovali žáci 6. ročníku (30,00

% vs 25,00 %), nejméně se dařilo žákům gymnázií (1,96 % vs 71,57 %); srov. kódy 1, 2 a 3,4. Z vypočteného t-testu je patrné, že mezi výzkumnými skupinami nebyly statisticky významné rozdíly ve správnosti posuzovaných schémat, neboť hodnota t-testu byla vždy vyšší než 5 % ( $t > 0,05$ ). Mezi skupinami však byly statisticky významné rozdíly v relativní četnosti zastoupení žákovských prekonceptů (miskonceptů) o stavbě buňky (hodnoty viz komentáře ke grafům 3, 5 a 7). Souběžně z vypočteného chí-kvadrátu vyplynulo, že uvnitř všech skupin a pro všechny typy buněk (9; 9) byly statisticky významné rozdíly v porozumění jejich stavbě (vždy  $\chi^2 < p$ ;  $\chi^2 < 0,05$ ;  $\alpha = 0,05$ ). Žákovské porozumění stavbě buňky bylo průměrné až podprůměrné (srov. kódy 1 a 2 vs zbylé).

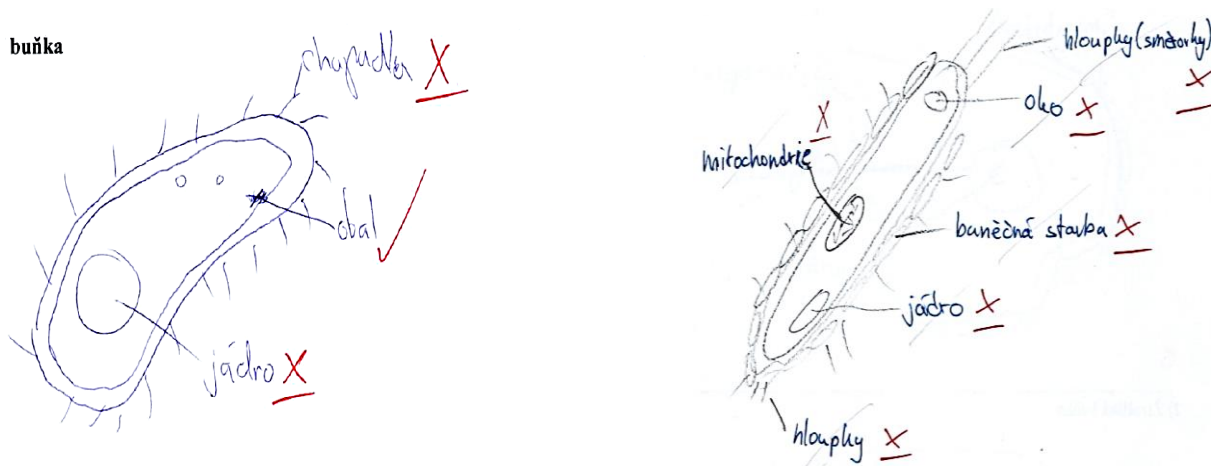


**Obr. 36: Schematický náčrt rostlinné buňky (resp. 2, GYM, hodnoceno kódem 2)**



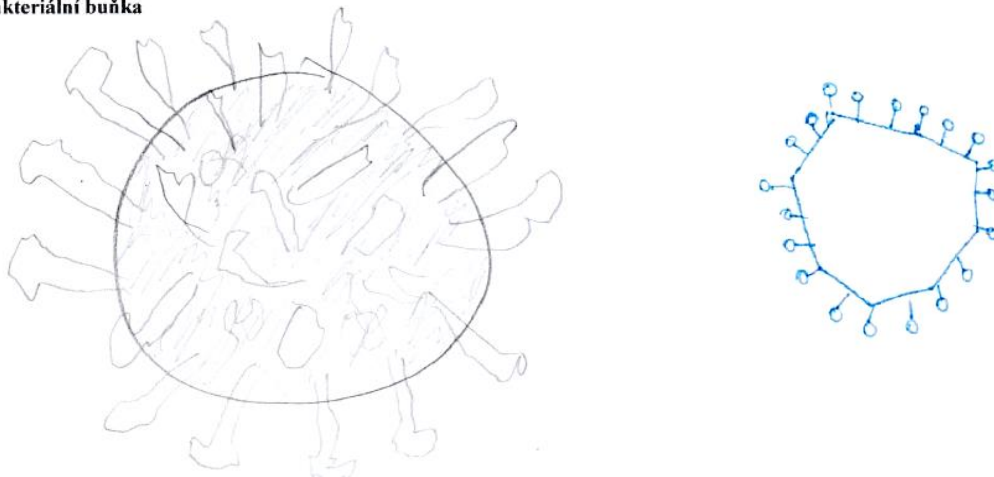
**Obr. 37: Schematický náčrt živočišné buňky (resp. 150, ZŠ 9, hodnoceno kódem 3). Pozn.: Centriola byla hodnocena kódem 3, + znamená, že byl termín kódován do „správně, navíc“.**





**Obr. 38, 39: Schematický nákres bakteriální buňky** (resp. 123, ZŠ 9 a resp. 104, ZŠ 9, hodnoceno kódy 3 a 4)

#### Bakteriální buňka



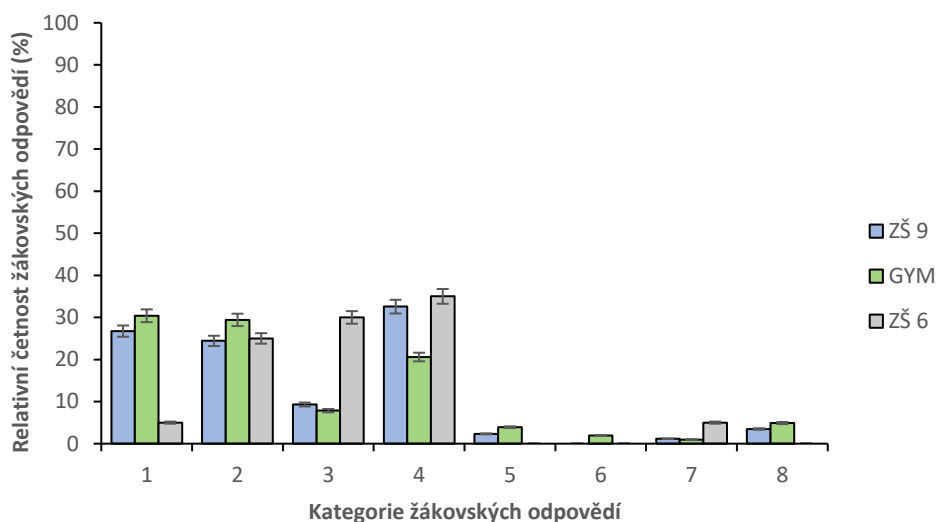
**Obr. 40, 41: Ukázky chybných schematických nákresů bakteriální buňky na příkladu virů SARS-CoV a adenoviru** (resp. 44, ZŠ 9 a resp. 126, ZŠ 9, hodnoceno kódem 9)

#### 1) Bakteriální buňka

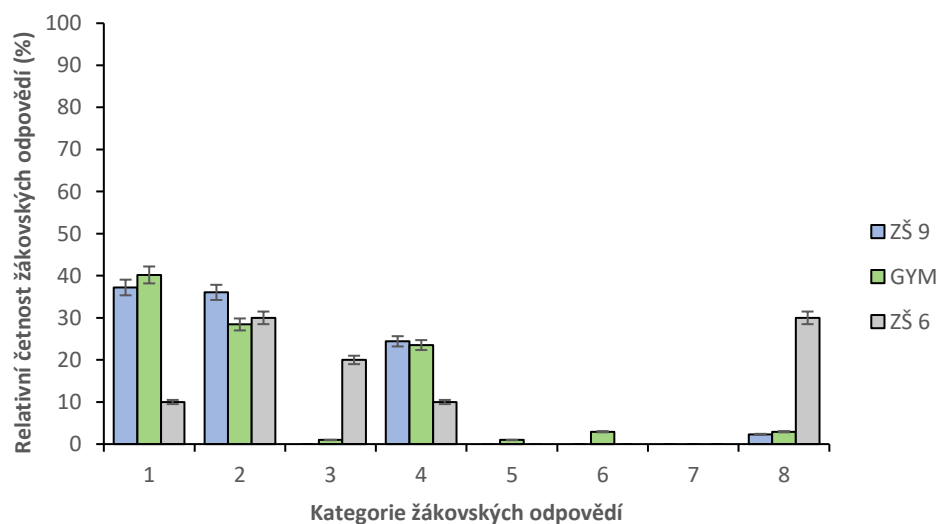


**Obr. 42: Ukázka částečně správného schematického nákresu bakteriální buňky bez popisu** (resp. 107, ZŠ 9, hodnoceno kódem 7). Pozn.: Součástí slovního popisu byly též plasmidy.

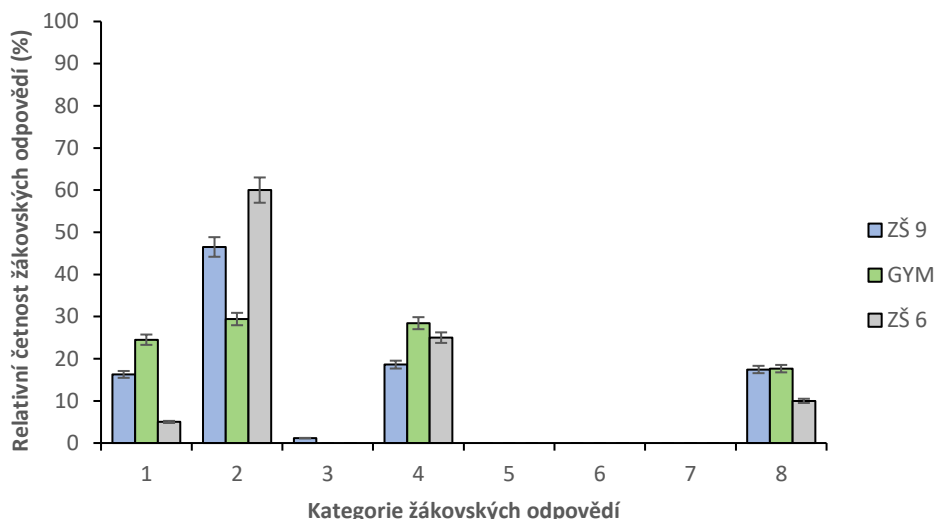
U schémat byly vyhodnocovány také 2 doplňkové kategorie: tvar a velikost buňky. Tvarovou diverzitu napříč žáky kreslenými buňkami znázorňují grafy 10-12.



**Graf 10: Tvarová diverzita u schémat rostlinné buňky.** Vysvětlivky: Kód 1 = kulatý, 2 = oválný, 3 = obdélník, 4 = nepravidelný, 5 = jiný (pravidelné obrazce), 6 = 3D schéma, 7 = čtverec, 8 = nelze vyhodnotit.



**Graf 11: Tvarová diverzita u schémat živočišné buňky.** Vysvětlivky: Kód 1 = kulatý, 2 = oválný, 3 = obdélník, 4 = nepravidelný, 5 = jiný (pravidelné obrazce), 6 = 3D schéma, 7 = čtverec, 8 = nelze vyhodnotit.



**Graf 12: Tvarová diverzita u schémat bakteriální buňky.** *Vysvětlivky: Kód 1 = kulatý, 2 = oválný, 3 = obdélník, 4 = nepravidelný, 5 = jiný (pravidelné obrazce), 6 = 3D schéma, 7 = čtverec, 8 = nelze vyhodnotit.*

Z grafů vyplývá, že nejčastějšími tvary u rostlinných schémat byly nepravidelný (ZŠ 9 = 32,56 %; ZŠ 6 = 35,00 %) a kulatý (GYM = 30,39 %). U žáků 9. ročníku byl nepravidelný tvar následován kulatým (26,74 %), oválným (24,42 %) a obdélníkem (9,30 %), další tvary již byly zastoupeny poměrně. U žáků gymnázií byl kulatý tvar následován oválným (29,41 %), nepravidelným (20,59 %) a obdélníkem (7,84 %), další tvary již byly zastoupeny méně. U žáků 6. ročníku byl nepravidelný tvar následován obdélníkem (30,00 %), oválným (25,00 %), kulatým a čtvercem (shodně 5,00 %), další tvary zastoupeny nebyly.

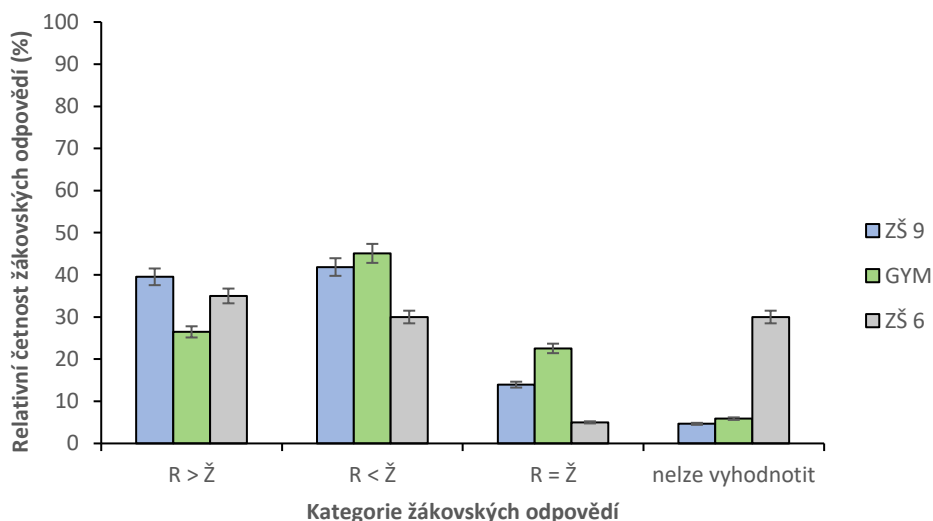
U živočišných buněk byly nejhojnějšími tvary kulatý (ZŠ 9 = 37,21 %; GYM = 40,20 %) a oválný (ZŠ 9 = 36,05 %; GYM = 28,43 %; ZŠ 6 = 30,00 %). U žáků 9. ročníku dále dominoval nepravidelný tvar (24,42 %) stejně jako u žáků gymnázií, další tvary byly u gymnazistů zastoupeny minoritně. U žáků 6. ročníku převažoval obdélník (20,00 %), následován kulatým a nepravidelným tvarem (shodně 10,00 %).

U bakteriálních buněk shodně převažoval oválný tvar u všech výzkumných skupin (ZŠ 9 = 46,51 %; GYM = 29,41 %; ZŠ 6 = 60,00 %). U žáků 9. ročníku byl následován nepravidelným (18,60 %) a kulatým tvarem (16,28 %), obdélník byl zastoupen výjimečně (1,16 %). Žáci gymnázií dále zakreslovali nepravidelný (28,43 %) a kulatý tvar (24,51 %). Žáci 6. ročníku kreslili nepravidelný (25,00 %) a méně častěji kulatý tvar (5,00 %).

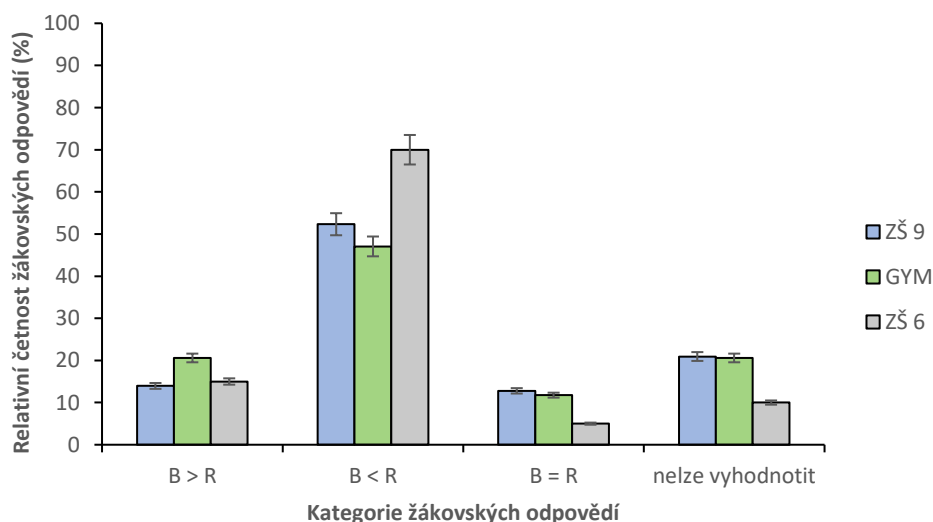
Tvarová diverzita buněk odpovídala provedené obsahové analýze učebnic přírodopisu, z níž vyplývá, že nejčastěji zobrazovanými tvary buněk jsou právě kulatý, oválný

a nepravidelný, resp. proměnlivý (Dočekalová, 2021, s. 53).

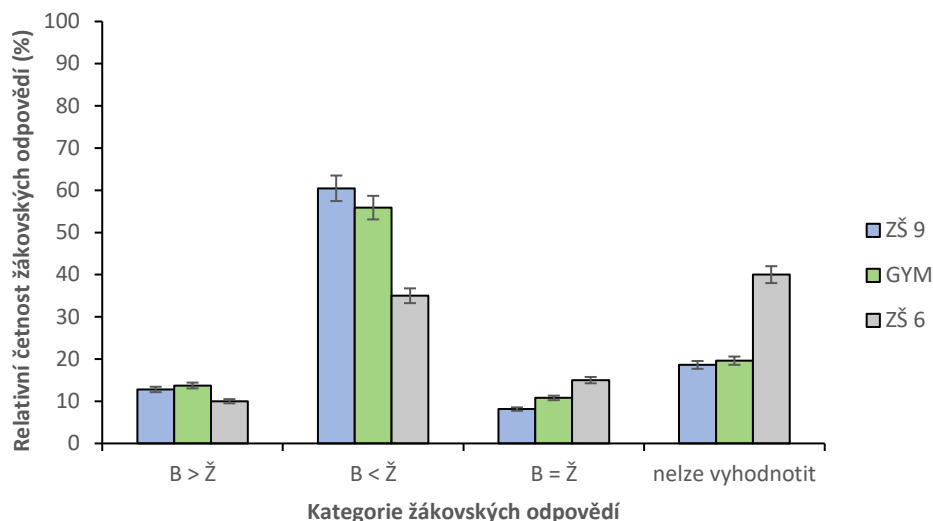
Druhou sledovanou kategorií byla velikost buňky. Velikost byla srovnávána za všechny typy buněk (rostlinná, živočišná, bakteriální) a porovnávána vždy mezi 2 z nich. Velikostní diverzitu napříč žáky kreslenými buňkami znázorňují grafy 13-15.



**Graf 13: Srovnání velikostní diverzity u schémat rostlinné a živočišné buňky.** *Vysvětlivky: R = rostlinná buňka, Ž = živočišná buňka, nelze vyhodnotit = schéma nezakresleno.*



**Graf 14: Srovnání velikostní diverzity u schémat bakteriální a rostlinné buňky.** *Vysvětlivky: B = bakteriální buňka, R = rostlinná buňka, nelze vyhodnotit = schéma nezakresleno.*



**Graf 15: Srovnání velikostní diverzity u schémat bakteriální a živočišné buňky.** *Vysvětlivky: B = bakteriální buňka, Ž = živočišná buňka, nelze vyhodnotit = schéma nezakresleno.*

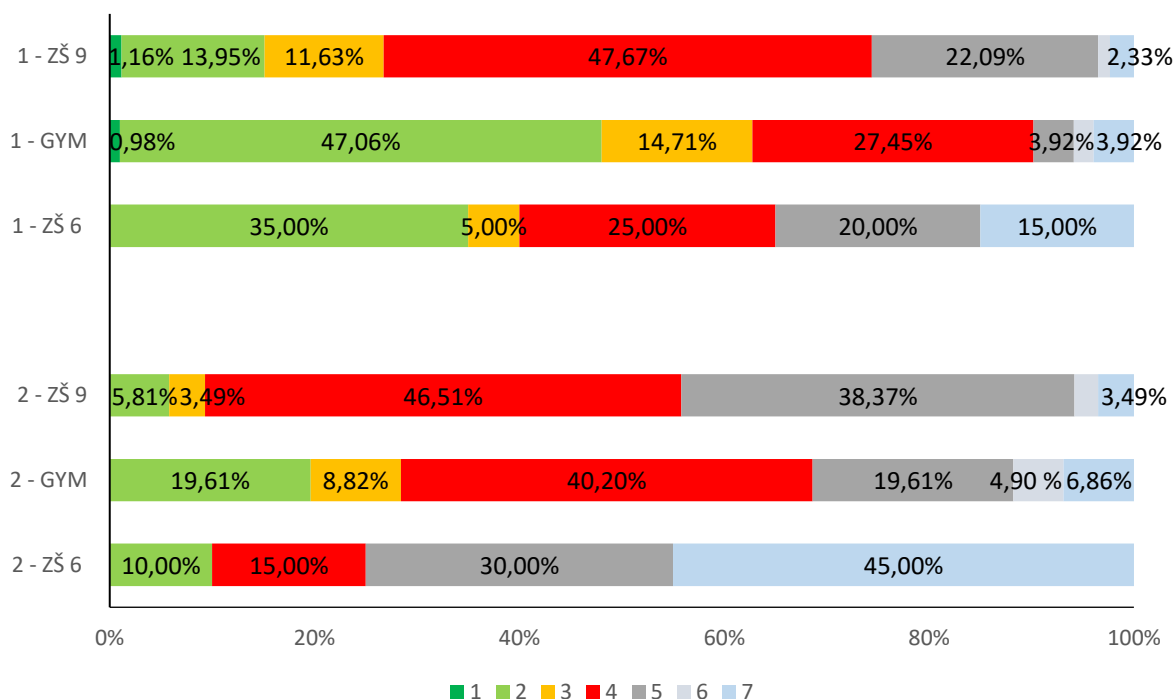
Z grafu 13 plyne, že rostlinná buňka byla u žáků 9. ročníku a gymnázií nejčastěji zakreslována menší než živočišná (ZŠ 9 = 41,86 %; GYM = 45,10 %). Žáci 6. ročníku ji naopak znázorňovali větší než živočišnou (35,00 %). U žáků 9. ročníků se 39,53 % respondentů domnívalo, že RB je větší než živočišná, 13,95 % ji kreslilo stejně velkou jako živočišnou a u 4,65 % nebylo možno toto kritérium vyhodnotit. U žáků gymnázií 26,47 % zakreslovalo rostlinnou buňku větší než živočišnou, 22,55 % rovnu živočišné a u 5,88 % žáků toto kritérium nešlo vyhodnotit. 30,00 % žáků 6. ročníku kreslilo rostlinnou buňku menší než živočišnou, 5,00 % rovnu živočišné a u poměrně vysokého počtu 30,00 % žáků toto kritérium nebylo možno vyhodnotit.

Z grafu 14 je patrné, že žáci všech výzkumných skupin bakteriální buňku nejhojněji znázorňovali menší než rostlinnou (ZŠ 9 = 52,33 %; GYM = 47,06 %; ZŠ 6 = 70,00 %). U žáků 9. ročníku se 13,95 % respondentů domnívalo, že je BB větší než rostlinná, 12,79 % ji kreslilo stejně velkou jako rostlinnou a u 20,93 % nebylo možno toto kritérium vyhodnotit. U žáků gymnázií 20,59 % zakreslovalo bakteriální buňku větší než rostlinnou, 11,76 % rovnu rostlinné a u 20,59 % žáků toto kritérium nešlo vyhodnotit. 15,00 % žáků 6. ročníku kreslilo bakteriální buňku větší než rostlinnou, 5,00 % rovnu rostlinné a u 10,00 % žáků toto kritérium nebylo možno vyhodnotit.

Graf 15 ukazuje, že žáci všech výzkumných skupin bakteriální buňku nejčastěji zakreslovali menší než živočišnou (ZŠ 9 = 60,47; GYM = 55,88 %; ZŠ 6 = 35,00). U žáků 9. ročníku se 12,79 % respondentů domnívalo, že je BB větší než živočišná, 8,14 % ji kreslilo stejně velkou jako živočišnou a u 18,60 % nebylo možno toto kritérium vyhodnotit. U žáků gymnázií 13,73 % zakreslovalo bakteriální buňku větší než živočišnou, 10,78 % rovnu

živočišné a u 19,61 % žáků toto kritérium nešlo vyhodnotit. 15,00 % žáků 6. ročníku kreslilo bakteriální buňku rovnou živočišné, 10,00 % větší než živočišnou a u poměrně vysokého počtu 40,00 % žáků toto kritérium nebylo možno vyhodnotit.

Testové položky, zaměřené na slovní srovnání stavby nakreslených typů buněk, požadovali vysvětlení rozdílů mezi 1) rostlinnou a živočišnou buňkou, 2) bakteriální buňkou a předchozími typy. Správnost žakovských odpovědí byla hodnocena s využitím 7 kódů. Kategorie a výsledky žáků (četnost jejich zastoupení) jsou za obě položky shrnuty v grafu 16.



**Graf 16: Srovnání správnosti žakovských odpovědí u otázek 1 a 2 mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlení: Kód 1 = úplná správná, 2 = neúplná správná, 3 = správná i chybná, 4 = chybná, 5 = bez odpovědi, 6 = alternativní, 7 = nevím; 1 = otázka 1, 2 = otázka 2 (svisle).

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že pouhých 1,16 % (ZŠ 9) a 0,98 % (GYM) respondentů uvedlo na první otázku *úplně správnou odpověď*. U druhé otázky pak nebyla kódem 1 hodnocena žádná odpověď. V obou případech se lépe dařilo žákům gymnázií, výrazněji pak u první úlohy, kde 48,04 % z nich dosáhlo správné odpovědi. Žákům 9. ročníku činily potíže obě otázky (1 = 47,67 % odpovědělo chybně, 22,09 % neuvedlo žádnou odpověď; 2 = 46,51 % odpovědělo chybně, 38,37 % neuvedlo žádnou odpověď). Pro žáky gymnázií představovala problematictější úlohu druhá otázka, již 46,51 % respondentů zodpovědělo špatně a 38,37 % se nevyjádřilo vůbec. Obdobně na tom byli žáci 6. ročníku, u nichž ve druhé úloze dominovala odpověď *nevím* (45,00 %), jež byla u daných položek vylišována pro srovnání s chybějící odpovědí (neznalost vs různé důvody). U otázky 1 byla kódem 1 hodnocena například odpověď:

„Živočišná buňka nemá buněčnou stěnu. Rostlinná buňka navíc obsahuje chloroplasty, vyrábějící buňce živiny díky fotosyntéze, a vakuoly.“ (resp. 79, GYM, zkrác.). Kódem 2: „Rostlinná na rozdíl od živočišné obsahuje chloroplasty a vakuolu.“ (resp. 19, GYM). Kódem 3: „Živočišná nemá chloroplasty, ale rostlinná ano. Živočišná nemá kůru (buněčnou stěnu).“ (resp. 105, ZŠ 9) či „Rostlinná má buněčnou stěnu a živočišná ne. Živočišná má bičík.“ (resp. 161, ZŠ 9). Kódem 4: „Živočišná buňka má více organel a je celkově propracovanější.“ (resp. 145, ZŠ 9) nebo „Živočišná buňka je vždycky větší než rostlinná.“ (resp. 172, ZŠ 9). U otázky 2 byla kódem 2 hodnocena například odpověď „Bakteriální je (strukturně) jednodušší, nemá jádro.“ (resp. 14, GYM). Kódem 3: „Neobsahuje chloroplasty na rozdíl od rostlinné a obsahuje navíc bakterie.“ (resp. 10, GYM). Kódem 4: „Mají RNA, nikoliv DNA.“ (resp. 73, GYM) nebo „Bude tam mít asi nějaké bakterie oproti RB a ŽB.“ (resp. 120, ZŠ 9). Kódem alternativní například: „Nemám je rád, ale jsou taky potřeba.“ (resp. 53, GYM) a „Nemá v sobě skoro nic :).“ (resp. 93, GYM).

Kódy 5 (bez odpovědi) a 7 (nevím) byly vylišovány pro ověření skutečnosti, zda žák odpověď na otázku skutečně nezná či nestihl nebo zapomněl pole vyplnit (neznalost vs různé důvody). Kódem 6 (alternativní) byly shlukovány všechny pojmy a tvrzení, nereflektující zadání úloh (nejednalo se tedy vždy o poznatky v rozporu s vědeckým poznáním).

Mezi výzkumnými skupinami nebyl dle t-testu žádný statisticky významný rozdíl ( $t > 0,05$ ). V rámci výzkumných skupin byly dle  $\chi^2$  testu následující statisticky významné rozdíly: otázka 1 – ZŠ 9 ( $\chi^2 = 3,49395E-12$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 2,86996E-11$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 = ( $\chi^2 = 0,01792$ ;  $p = 0,352$ ); otázka 2 – ZŠ 9 ( $\chi^2 = 5,42361E-19$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 1,40444E-11$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 = ( $\chi^2 = 0,14474$ ;  $p = 0,352$ ), přičemž vždy  $\chi^2 < p$ ;  $\chi^2 < 0,05$ .  $\chi^2$  poukázal na podprůměrnou znalost či porozumění stavbě buňky (srov. kódy 1 a 2 vs zbylé).

Žáci ve svých odpovědích uváděli celou řadu zajímavých položek. Pouze 52 respondentů z celkového počtu zmiňovalo chloroplast jako součást rostlinné buňky. 41 respondentů tuto organelu neumělo správně pojmenovat a označovalo ji za chlorofyl. 16 žáků se domnívalo, že je rostlinná buňka „primitivnější“ než živočišná, 1 žák ji považoval za „těžší“ než živočišnou. 3 žáci z celkového počtu do schémat připisovali také složení vybraných struktur (např. buněčné stěny, cytoplazmatické membrány, jádra, chromatinu či chitinu). 7 žáků poznamenávalo, že se pohybují /jsou pohyblivější/ pouze živočišné buňky a nikoliv rostlinné. 8 věřilo, že se pohybují pouze bakteriální buňky, neboť ostatní nemají bičíky. Z celkového počtu všech respondentů 6 z nich uvádělo, že bakteriální buňka „obsahuje bakterie“. 6 žáků mínilo, že bakterie „přenášejí nemoci“, „jsou škodlivé“ (4), „nesou viry“ (4), „jsou špatné/zlé“ (4), „napadají jiné buňky“ (2), „parazitují na jiných buňkách“ (1),

„přenášejí bakterie“ (1), „jsou agresivní“ (1) a „nebezpečné“ (1). 1 žák napsal, že bakterie nemá právě z těchto důvodů rád;  $\Sigma = 31$ . Ke stavbě buňky 1 žák podotýkal, že nemá téměř žádné organely a jiný dodával, že vzhledem k jednobuněčnosti musejí být „osamělé“. 7 žáků doplňovalo, že jsou oproti rostlinným a živočišným buňkám více pohyblivé. Fimbrie, pili a bičíky byly často označovány jako ocásky, nožičky, chloupky či štětinky. 1 respondent byl přesvědčen o tom, že bakterie napodobují zbylé typy buněk, aby vícebuněčné organismy mátlly. Souběžně, celá řada žáků zmiňovala jako součást buněk chybné či neexistující struktury typu semiautonomní organely v bakteriích, *pusa*, *žaludek*, *buněčná řiť*, *menší a větší jádro* apod. (vybraní si stavbu daných typů pletli s „prvky“ např. skupin *Ciliophora*, resp. *Paramecium*). Velká část respondentů se také domnívala, že všechny buňky mají určitý tvar (nejčastěji např. kulatý, oválný, pěti/šestiúhelník, čtverec, obdélník), který je neměnný. Řada žáků si myslela, že všechny buňky mají jádro (více než čtvrtina ve středu buňky) a souběžně totožnou genetickou informaci (somatické vs gamety). Mnozí nevylišovali mezi genotypem a fenotypem a nezohledňovali vliv prostředí. Vybraní pak smýšleli tak, že různé buňky mají odlišnou genetickou informaci dle funkce, k níž jsou uzpůsobeny (např. neurony, buňky na sítnici, epitelální buňky pokožky a jater či gamety).

Obě otázky doplňovaly Likertovy škály, na nichž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Bylo pro ně stanoveno 5 kódů odpovědí, a sice *a) určitě ano*, *b) spíše ano*, *c) spíše ne*, *d) určitě ne (= jen hádám)*, *e) nelze vyhodnotit*. Poslední kód byl používán v případech, kdy žák nejednoznačně zaznačil volbu své odpovědi, či ji vůbec neuvedl (nezakroužkoval). Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF byla u otázky 1: ZŠ 9 = 1,61; GYM = 2,21; ZŠ 6 = 1,65. Ze žáků 9. ročníku 12,79 % respondentů zaznačilo odpověď *spíše ano*, 22,09 % *spíše ne*, 43,02 % *určitě ne* a u 22,09 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevybral žádný respondent. Na podkladě výpočtů hodnot indexů správnosti (CFC = 3,00; CFPC = 1,71; CFW = 1,65) lze říci, že u žáků odpovídajících zcela správně (CFC) se jedná o oborově správné představy, neboť žáci si byli svou odpovědí spíše jisti. U žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) se jedná o nedostatečnou znalost stejně jako u žáků odpovídajících chybně (CFW), poněvadž žáci si příliš jisti nebyli. Ze žáků gymnázií 13,73 % respondentů uvedlo odpověď *určitě ano*, 23,53 % *spíše ano*, 28,43 % *spíše ne*, 30,39 % *určitě ne* a u 3,92 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z vypočtených indexů (CFC = 4,00; CFPC = 2,22; CFW = 2,15) vyplývá, že žáci odpovídající zcela správně (CFC) splňují kritérium pro oborově správné představy, protože si svými tvrzeními byli velmi jisti (*určitě ano*). U žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) se opětovně jedná o nedostatečnou znalost, jelikož si svou odpovědí příliš jisti nebyli. U žáků 6. ročníku 15,00 % respondentů

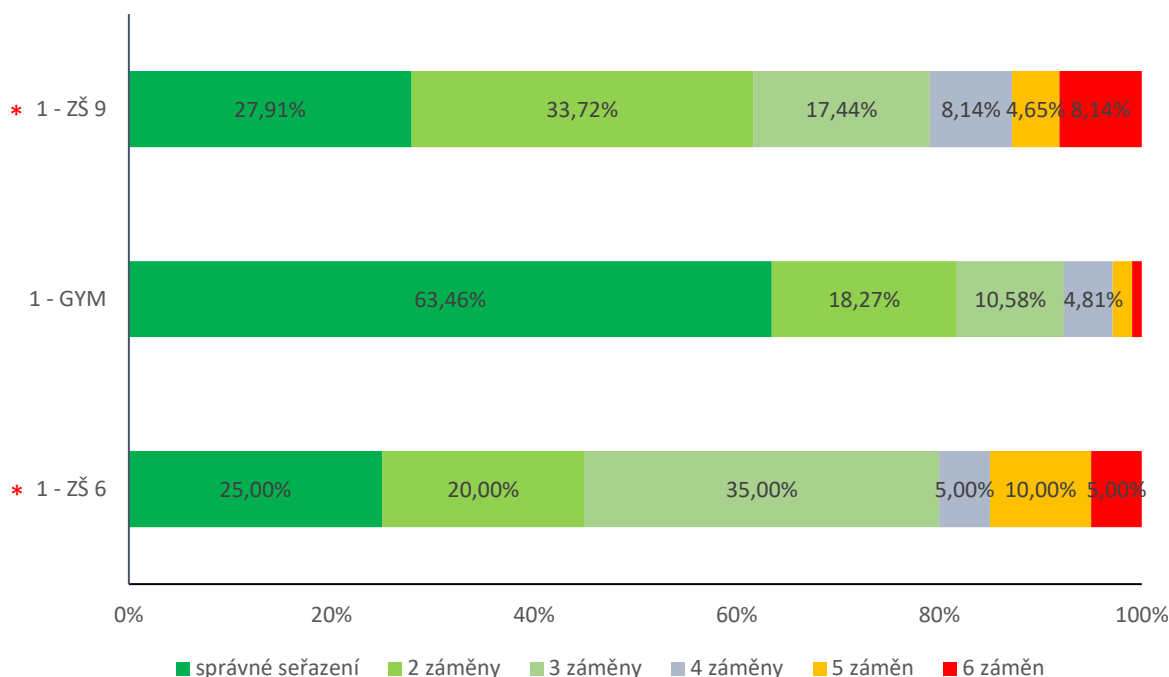


zvolilo odpověď *spíše ano*, 25,00 % *spíše ne*, 45,00 % *určitě ne* a u 15,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nezvolil žádný respondent. Ze stanovených indexů (CFC = X; CFPC = 2,00; CFW = 2,00) je patrné, že u částečně správných a chybných odpovědí se také jedná o nedostatečnou znalost, neboť si žáci svou odpovědí nebyli příliš jisti.

Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF byla u otázky 2: ZŠ 9 = 1,53; GYM = 1,94; ZŠ 6 = 1,29. Ze žáků 9. ročníku 3, 49 % zaznačilo odpověď *určitě ano*, 6,98 % *spíše ano*, 13,95 % *spíše ne*, 47,67 % *určitě ne* a u 27,91 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na základě výpočtů hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 1,78; CFW = 1,74) lze říci, že u žáků odpovídajících částečně správně i nesprávně se jedná o nedostatečnou znalost, neboť si svou odpovědí *spíše* nebyli jisti. Ze žáků gymnázií 9,80 % respondentů uvedlo odpověď *určitě ano*, 15,69 % *spíše ano*, 18,63 % *spíše ne*, 40,20 % *určitě ne* a u 15,69 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z vypočtených hodnot indexů (CFC = X; CFPC = 1,97; CFW = 2,00) je zřejmé, že u žáků odpovídajících částečně správně i chybně se jedná o nedostatečnou znalost jako v předešlém případě, protože si svou odpovědí byli *spíše* nejisti. U žáků 6. ročníku 5,00 % respondentů volilo odpověď *spíše ano*, 15,00 % *spíše ne*, 65,00 % *určitě ne* a u 15,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* neuvedl žádný respondent. Hodnoty indexů (CFC = X; CFPC = 1,80; CFW = 2,00) napovídají, že u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) a chybně (CFW) se jedná o téže model, a sice nedostatečnou znalost.

## 5.2 Konceptový test č. 2: hierarchické uspořádání živých organismů

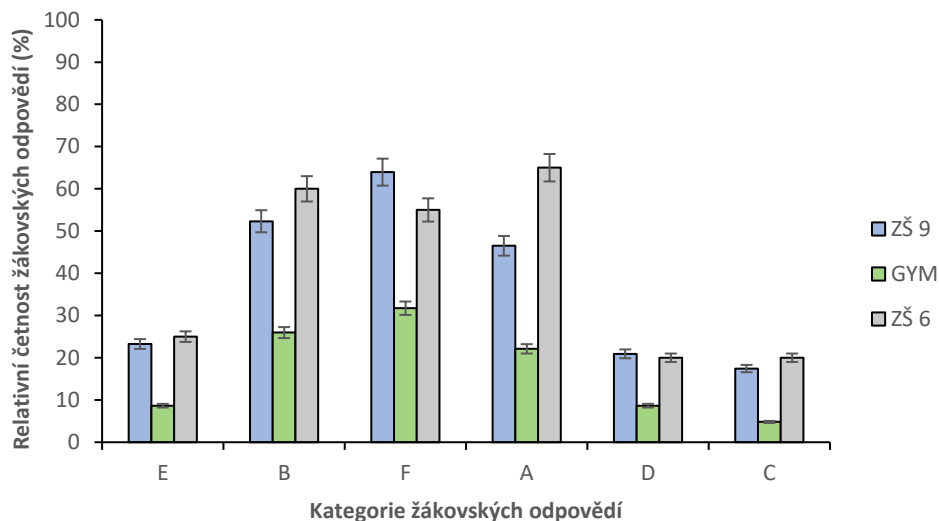
V první testové úloze měli žáci za úkol seřadit vybrané struktury rostlinného těla dle hierarchie od nejmenší po největší. Položky byly následující: *molekula chlorofylu, chloroplast, rostlinná buňka, základní listové pletivo, list, rostlinné tělo*. Správnost seřazení byla posuzována 6 kódy, jež spolu s četností jejich zastoupení za výzkumné skupiny ilustruje graf 17.



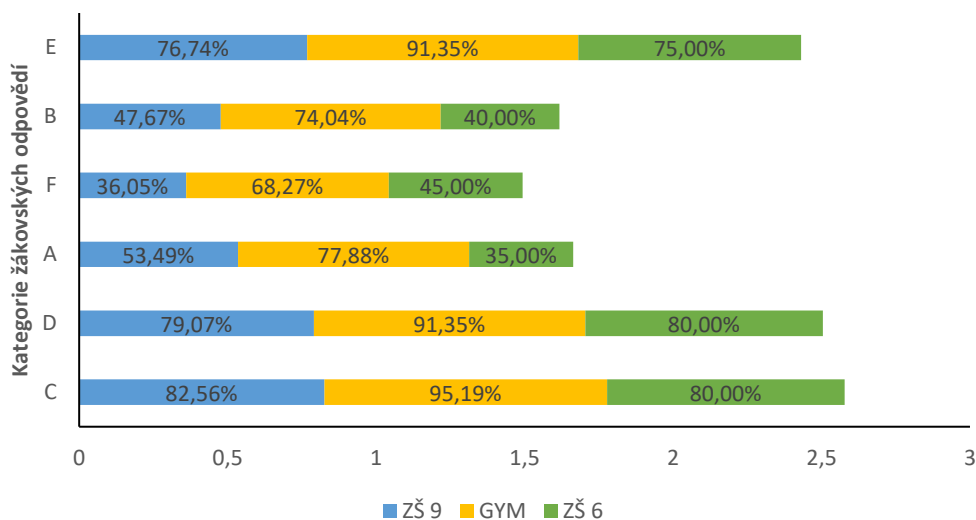
**Graf 17: Srovnání správnosti žákovských odpovědí u otázky 1 mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlení: \* = statisticky významný rozdíl. Záměny vyjadřují počet zaměněných položek – např. 1 chyba = 2 záměny, tedy 2 zaměněné struktury.

Z grafu je zřejmé, že nejvyššího počtu správných odpovědí dosáhli žáci gymnázií (63,46 %), oproti nimž žáci 9. ročníku zaostávali o 35,55 % a žáci 6. ročníku o 38,46 %. Za úplně správnou sekvenci platí seřazení E, B, F, A, D, C. Nejhůře se pak v úloze dařilo žákům 6. ročníku, z nichž 20,00 % odpovídalo částečně správně (= *správně i chybně*, tj. 2 záměny) a 55,00 % zcela chybně (zbylé). Největšího možného počtu záměn dosáhlo 8,14 % žáků 9. ročníku, 5,00 % žáků 6. ročníku a 0,96 % žáků gymnázií. Mezi zkoumanými skupinami byl statisticky významný rozdíl u žáků 9. a 6. ročníků ZŠ ( $t = 0,04578$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku. Dle  $\chi^2$  testu byly u správnosti seřazení položek v rámci výzkumných kategorií statisticky významné rozdíly ve všech posuzovaných případech: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 7,50308E-07$ ;  $p = 1,150$ ), GYM ( $\chi^2 = 2,52292E-36$ ;  $p = 1,150$ ), ZŠ 6 = 0,11731;  $p = 1,150$ ).  $\chi^2$  test poukazuje na dobré

porozumění hierarchickému uspořádání živých soustav a malou chybovost (srov. *kódy 9 a 1*) u žáků gymnázií, u žáků základních škol spíše dobré. Relativní četnost žakovských prekonceptů (miskonceptů) o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu rostlinného těla je s ohledem na zaměřované struktury vyjádřena v grafech 18 a 19.



**Graf 18: Relativní četnost žakovských prekonceptů o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu rostlinného těla za dílčí kategorie žakovských odpovědí.** *Vysvětlivky: E = molekula chlorofylu, B = chloroplast, F = rostlinná buňka, A = základní listové pletivo, D = list, C = rostlinné tělo.*



**Graf 19: Relativní četnost žakovských prekonceptů o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu rostlinného těla.** *Vysvětlivky: E = molekula chlorofylu, B = chloroplast, F = rostlinná buňka, A = základní listové pletivo, D = list, C = rostlinné tělo.*

Z výsledků prvního grafu (porovnání za kategorie) je patrné, že žáci 9. ročníku ZŠ a gymnázií nejvíce zaměřovali kategorie *rostlinná buňka*, *chloroplast* a *základní listové pletivo*, žáci 6.

ročníku *základní listové pletivo*, *chloroplast* a *rostlinnou buňku*. Nejmenší chybovosti bylo u žáků 9. ročníku dosaženo v kategorii *rostlinné tělo*, u žáků gymnázií a 6. ročníku shodně pro *list* a *rostlinné tělo*. Mezi výzkumnými skupinami byly statisticky významné rozdíly v zastoupení zaměřovaných struktur u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 1,32529E-06$ ) ve prospěch žáků gymnázií a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00258$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Graf 19 (porovnání za výzkumné skupiny) napovídá, že nevíce problémové struktury pro žáky překvapivě představovaly kategorie *list* (ZŠ 9 = 79,07 %; GYM = 91,35 %; ZŠ 6 = 80,00 %), *rostlinné tělo* (ZŠ 9 = 82,56 %; GYM = 95,19 %; ZŠ 6 = 80,00 %) a *molekula chlorofylu* (ZŠ 9 = 76,74 %; GYM = 91,35 %; ZŠ 6 = 75,00 %). Jednoduššími položkami k seřazení byly *rostlinná buňka*, *chloroplast* a *základní listové pletivo*. Mezi výzkumnými skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 0,00002$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku, u žáků 6. a 9. ročníků ZŠ ( $t = 0,00051$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 2,77179E-06$ ) opět ve prospěch žáků 6. ročníku.

Zaměřované struktury v rámci sestavení rostlinného těla vždy shrnují tabulky 17-19 pro 10 nejčastějších výskytů za všechny výzkumné skupiny. Z tabulek vyplývá, že žákům 9. ročníku ZŠ a gymnázií činila největší potíže sekvence F-B (ZŠ 9 = 13,95 %; GYM = 11,54 %), následována A-B-F (ZŠ 9 = 11,63 %; GYM = 5,77 %) a A-F (ZŠ 9 = 10,47 %; GYM = 8,65 %). Žáci 6. ročníku nejvíce chybovali v sekvencích A-B-F (25,00 %), A-F (10,00 %) a A-B (10,00 %). Někteří žáci z celkového výzkumného souboru (správně či nesprávně) řadili položky obráceně (od největší struktury po nejmenší). Část respondentů pak chybovala ve více sekvencích současně (po sobě jdoucích vs s odstupem).

**Tab. 17: Nejčastější záměny v seřazení struktur rostlinného těla u žáků 9. ročníku ZŠ**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>F-B</b>	13,95 %	<b>F-E</b>	3,49 %
<b>A-B-F</b>	11,63 %	<b>F-E-B</b>	3,49 %
<b>A-F</b>	10,47 %	<b>D-A, B-F*</b>	2,33 %
<b>A-B</b>	5,81 %	<b>B-F-E</b>	1,16 %
<b>C-D</b>	4,65 %	<b>B-E</b>	1,16 %

Vysvětlivky: *E = molekula chlorofylu, B = chloroplast, F = rostlinná buňka, A = základní listové pletivo, D = list, C = rostlinné tělo.* \* Čárka mezi sekvencemi znamená, že žáci chybovali v obou (příp. více) současně.

**Tab. 18: Nejčastější záměny v seřazení struktur rostlinného těla u žáků gymnázií**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>F-B</b>	11,54 %	<b>B-F-E</b>	3,85 %
<b>A-F</b>	8,65 %	<b>B-E</b>	2,88 %
<b>A-B-F</b>	5,77 %	<b>B-F-A-E</b>	0,96 %
<b>C-D</b>	4,81 %	<b>C, D, A, F, B, E*</b>	0,96 %
<b>D-A</b>	3,85 %	<b>F-A-B</b>	0,96 %

Vysvětlivky: *E = molekula chlorofylu, B = chloroplast, F = rostlinná buňka, A = základní listové pletivo, D = list, C = rostlinné tělo.* \* Žák struktury seřadil obráceně od největšího po nejmenší.

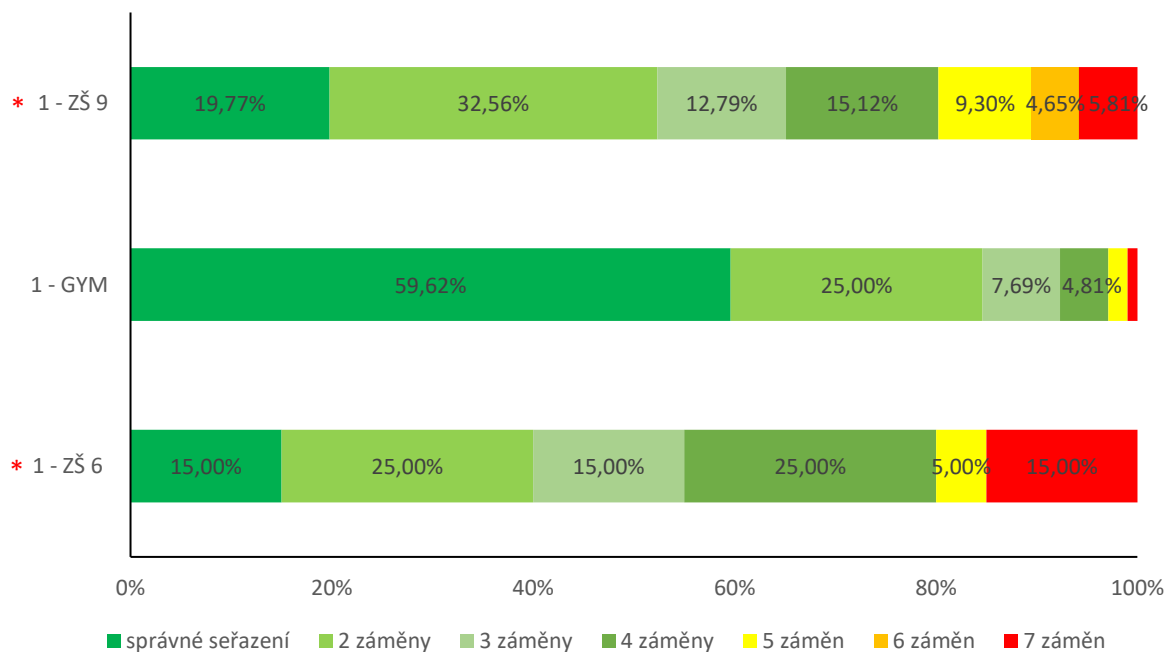
**Tab. 19: Nejčastější záměny v seřazení struktur rostlinného těla u žáků 6. ročníku ZŠ**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>A-B-F</b>	25,00 %	<b>F-A-B</b>	5,00 %
<b>A-F</b>	10,00 %	<b>A, (B), E, F*</b>	5,00 %
<b>A-B</b>	10,00 %	<b>F-E-B</b>	5,00 %
<b>B-E</b>	5,00 %	<b>D = C*</b>	5,00 %
<b>C-D</b>	5,00 %	<b>C, D, (F), E, B, A</b>	5,00 %

Vysvětlivky: *E = molekula chlorofylu, B = chloroplast, F = rostlinná buňka, A = základní listové pletivo, D = list, C = rostlinné tělo.* \* Žáci strukturou v závorce reflektovali správné pořadí; = žáci struktury označili stejným číslem. 5,00 % žáků z výzkumného souboru zvolilo pro řazení alternativní (vlastní) číslování (u některých žáků se např. čísla opakovala).

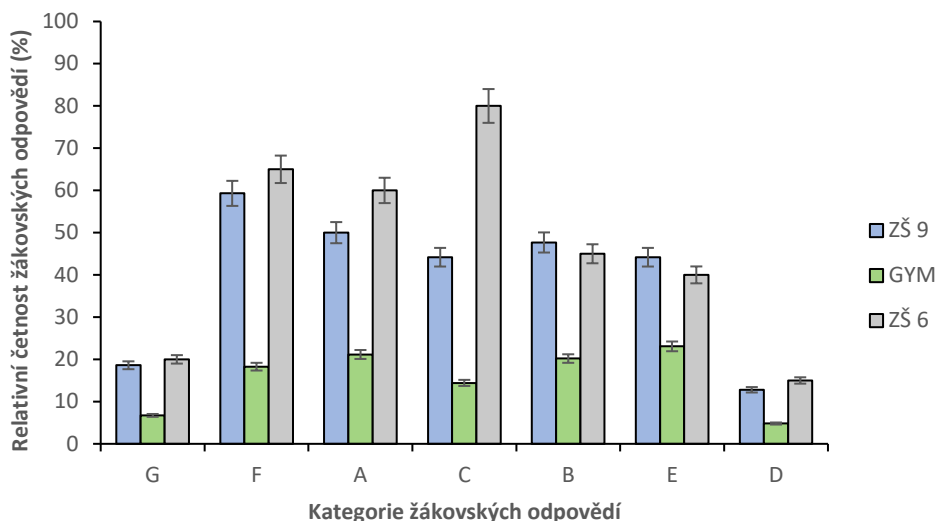
Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi (seřazení). Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF činila: ZŠ 9 = 2,39; GYM = 2,95; ZŠ 6 = 2,75. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 15,12 % respondentů odpověď *určitě ano*, 25,58 % *spíše ano*, 37,21 % *spíše ne*, 18,60 % *určitě ne* a u 3,49 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na podkladě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = 2,44; CFPC = 2,49; CFW = 2,47) lze říci, že u žáků odpovídajících zcela správně (CFC) se jedná o nedostatečnou znalost, neboť si žáci svou odpovědí nebyli dostatečně jisti. U žáků odpovídajících částečně správně (CFPC, *kód 1*) i chybně (CFW, *kódy 2-5*) se také jedná o nedostatečnou znalost z téhož důvodu. Ze žáků gymnázií zaznačilo 31,73 % respondentů odpověď *určitě ano*, 34,62 % *spíše ano*, 21,15 % *spíše ne*, 7,69 % *určitě ne* a u 4,81 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = 2,96; CFPC = 2,85; CFW = 2,96) vyplývá, že žáci odpovídající zcela správně (CFC) vykazují oborově správné představy, protože si byli svou odpovědí spíše jisti. Představy žáků se částečně správnou odpovědí (CFPC) lze označit za nepřesné – pouze se blíží oborové představě, jelikož si respondenti svou odpovědí byli spíše jisti, ale jejich odpověď nebyla zcela adekvátní. Poznatky žáků u chybných odpovědí (CFW) jsou v rozporu s vědeckým poznáním, a tudíž je lze označit jako miskoncepce – žáci si byli spíše jisti správností své odpovědi, ale ta s oborovými koncepty vůbec nesouzní. U žáků 6. ročníku 60,00 % respondentů volilo odpověď *spíše ano*, 20,00 % *spíše ne* a u 20,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. *Kódy určitě ano* a *určitě ne* nezvolil žádný respondent. Z indexů (CFC = 2,75; CFPC = 3,00; CFW = 2,73) lze odvodit, že u zcela správných odpovědí (CFC) se jedná o oborově správné představy, neboť žáci si byli svou odpovědí spíše jisti. U částečně správných odpovědí (CFPC) můžeme hovořit o nepřesných pojetích, neboť si žáci byli svou odpovědí spíše jisti, avšak jejich porozumění není úplné. U žáků vykazujících chybné odpovědi (CFW) se jedná o miskoncepce – žáci si byli svými odpověďmi spíše jisti, avšak ty jsou v rozporu se soudobým vědeckým poznáním.

Ve druhé testové úloze měli žáci za úkol seřadit vybrané struktury tvořící živočišné tělo dle hierarchie od nejmenší po největší. Položky byly následující: *molekula noradrenalinu (norepinefrinu)*, *mitochondrie*, *nervová buňka*, *nervová tkáň*, *mozek*, *nervová soustava*, *lidské tělo*. Správnost seřazení byla posuzována 7 kódy, jež spolu s četností jejich zastoupení za výzkumné skupiny poskytuje graf 20.

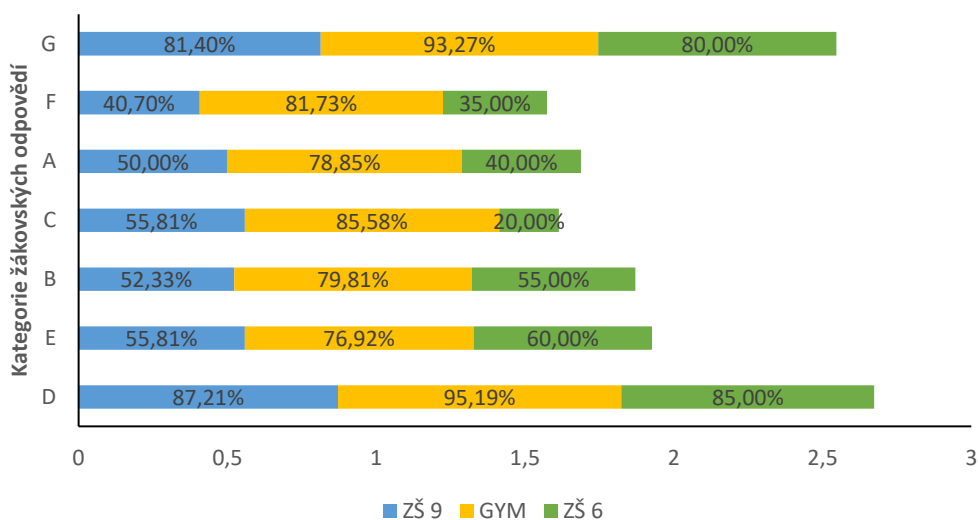


**Graf 20: Srovnání správnosti žákovských odpovědí u otázky 2 mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlení: \* = statisticky významný rozdíl. Záměny vyjadřují počet zaměněných položek – např. 1 chyba = 2 záměny, tedy 2 zaměněné struktury.

Z grafu 20 lze vyvodit, že při řešení druhé úlohy dosáhli největší úspěšnosti žáci gymnázií (59,62 %), oproti nimž žáci 9. ročníku zůstali pozadu o 39,85 % a žáci 6. ročníku o 44,62 %. Za úplně správnou odpověď platí seřazení G, F, A, C, B, E, D. Nejhůře se v úloze, ekvivalentně jako v předchozím případě, dařilo žákům 6. ročníku, z nichž 25,00 % odpovídalo částečně správně (= *správně i chybně*, tj. 2 záměny) a 60,00 % zcela chybně (zbylé). Největšího možného počtu záměň dosáhlo 15,00 % žáků 6. ročníku, 5,81 % žáků 9. ročníku a 0,96 % žáků gymnázií. Celkově lze říci, že úspěšnost žáků byla pozoruhodně u první úlohy vyšší (např. zpoza zcela správného seřazení bylo u rostlinného těla úspěšnější 21,98 % respondentů z celkového výzkumného souboru). Mezi zkoumanými skupinami byl statisticky významný rozdíl u žáků 9. a 6. ročníků ZŠ ( $t = 0,02323$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku. Na základě vypočteného  $\chi^2$  testu: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 8,44407E-06$ ;  $p = 1,150$ ), GYM ( $\chi^2 = 7,77011E-42$ ;  $p = 1,150$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,29462$ ;  $p = 1,150$ ) je možno konstatovat, že v rámci všech skupin byly statisticky významné rozdíly. U žáků gymnázií z  $\chi^2$  testu v obou případech plyne (otázka 1 i 2), že žákovské porozumění hierarchickému uspořádání živých soustav bylo dobré a relativně odpovídající (malá chybovost – *kódy 9 a 1*), u žáků základních škol spíše dobré. Nejhůře si vedli žáci 6. ročníku, kteří v žádném z případů nedosáhli ani 50% úspěšnosti. Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu živočišného těla je s ohledem na zaměňované struktury vyobrazena v grafech 21 a 22.



**Graf 21: Relativní četnost žákovských prekonceptů o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu živočišného těla za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** Vysvětlivky: *G* = molekula noradrenalinu, *F* = mitochondrie, *A* = nervová buňka, *C* = nervová tkáň, *B* = mozek, *E* = nervová soustava, *D* = lidské tělo.



**Graf 22: Relativní četnost žákovských prekonceptů o hierarchickém uspořádání živých soustav na příkladu živočišného těla.** Vysvětlivky: *G* = molekula noradrenalinu, *F* = mitochondrie, *A* = nervová buňka, *C* = nervová tkáň, *B* = mozek, *E* = nervová soustava, *D* = lidské tělo.

Z grafu 21 vyplývá, že žáci 9. ročníku ZŠ nejvíce chybovali v kategorii *mitochondrie*, žáci gymnázií zaměřovali *nervovou soustavu* a žáci 6. ročníku *nervovou tkáň*. Nejmenší chybovosti bylo shodně dosaženo u *lidského těla*. Mezi výzkumnými skupinami byly statisticky významné rozdíly v zastoupení zaměřovaných struktur u žáků 9. ročníku a gymnázií ( $t = 8,4698E-10$ ) a u žáků 6. ročníku a gymnázií (0,00027) – v obou případech ve prospěch



žáků gymnázií.

Graf 22 ukazuje, že nejvíce problémové struktury pro žáky překvapivě představovaly kategorie *lidské tělo* (ZŠ 9 = 87,21 %; GYM = 95,19 %; ZŠ 6 = 85,00 %) a *molekula noradrenalinu* (ZŠ 9 = 81,40 %; GYM = 93,27 %; ZŠ 6 = 80,00 %). Jednoduššími položkami byly kategorie *mitochondrie* a *nervová tkáň*. Mezi všemi skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů: u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 0,00004$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku, u žáků 9. a 6. ročníků ( $t = 0,00006$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $4,5929E-08$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku.

Zaměřované struktury v rámci sestavní živočišného těla vždy shrnují tabulky 20-22 pro 10 nejčastějších výskytů za všechny výzkumné skupiny.

**Tab. 20: Nejčastější záměny v seřazení struktur živočišného těla u žáků 9. ročníku ZŠ**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>E-B</b>	27,91 %	<b>F-G</b>	3,49 %
<b>A-F</b>	15,12 %	<b>F-A-G</b>	2,33 %
<b>A-C-F</b>	9,30 %	<b>D-E</b>	2,33 %
<b>C-F</b>	6,98 %	<b>D, E, B, (C), A, F, G*</b>	2,33 %
<b>C-A</b>	3,49 %	<b>A-C-F-E-B</b>	2,33 %

Vysvětlivky: *G* = molekula noradrenalinu, *F* = mitochondrie, *A* = nervová buňka, *C* = nervová tkáň, *B* = mozek, *E* = nervová soustava, *D* = lidské tělo. \* Žáci struktury seřadili obráceně od největšího po nejmenší, strukturou v závorce reflektovali správné pořadí.

**Tab. 21: Nejčastější záměny v seřazení struktur živočišného těla u žáků gymnázií**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>E-B</b>	16,35 %	<b>A-C-F</b>	2,88 %
<b>A-F</b>	5,77 %	<b>F-G</b>	1,92 %
<b>C-A</b>	5,77 %	<b>C-F-A, E-B</b>	0,96 %
<b>F-A-G</b>	3,85 %	<b>D, E, B, (C), A, F, G*</b>	0,96 %
<b>D-E</b>	3,85 %	<b>E = B</b>	0,96 %

Vysvětlivky: *G* = molekula noradrenalinu, *F* = mitochondrie, *A* = nervová buňka, *C* = nervová tkáň, *B* = mozek, *E* = nervová soustava, *D* = lidské tělo. Žáci struktury seřadili obráceně od největšího po nejmenší, strukturou v závorce reflektovali správné pořadí; = žáci struktury označili stejným číslem.

**Tab. 22: Nejčastější záměny v seřazení struktur živočišného těla u žáků 6. ročníku ZŠ**

Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$	Pořadí chybné sekvence	Relativní četnost $f_i$
<b>E-B</b>	20,00 %	<b>F-G</b>	5,00 %
<b>C-A</b>	15,00 %	<b>A-C-F-E-B</b>	5,00 %
<b>C-F</b>	15,00 %	<b>C, (A), F-E-B*</b>	5,00 %
<b>A-C-F</b>	10,00 %	<b>C-F-A</b>	5,00 %
<b>A-F</b>	5,00 %	<b>D, B, E, G, F, C, A*</b>	5,00 %

*Vysvětlivky: G = molekula noradrenalinu, F = mitochondrie, A = nervová buňka, C = nervová tkáň, B = mozek, E = nervová soustava, D = lidské tělo. \* Žáci strukturou v závorce reflektovali správné pořadí; žáci struktury seřadili obráceně od největšího po nejmenší (nesprávně).*

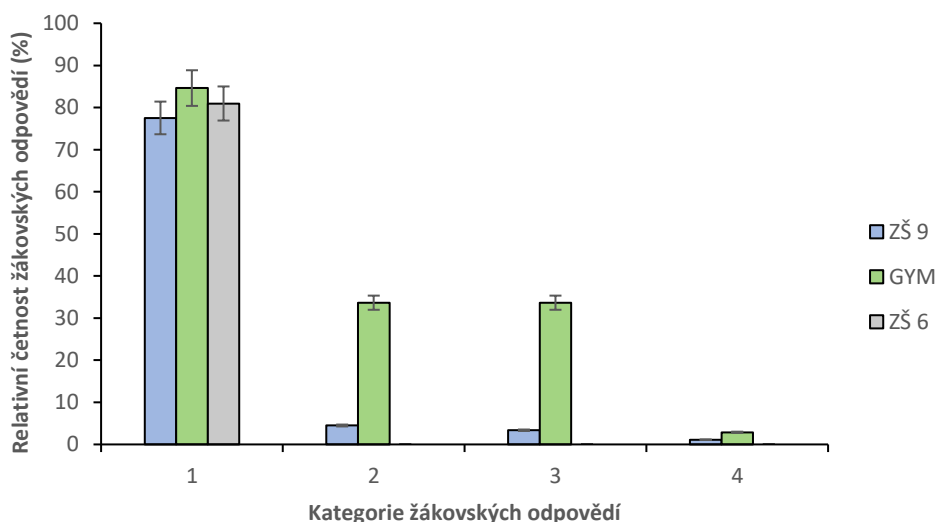
Z tabulek je zřejmé, že žákům všech výzkumných skupin činila opravdu velké potíže sekvence E-B (ZŠ 9 = 27,91 %; GYM = 16,35 %; ZŠ 6 = 20,00 %). Tato byla u žáků 9. ročníku hojněji následována A-F (15,12 %) a A-C-F (9,30 %), u žáků gymnázií A-F (5,77 %) a C-A (5,77 %). Žáci 6. ročníku nejvíce chybovali v sekvencích C-A, C-F (shodně 15,00 %) a A-C-F (10,00 %). Někteří žáci z celkového výzkumného souboru (správně či nesprávně) řadili položky obráceně (od největší struktury po nejmenší). Část respondentů pak chybovala ve více sekvencích současně (po sobě jdoucích vs s odstupem).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi (seřazení). Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF byla následující: ZŠ 9 = 2,22; GYM = 2,90; ZŠ 6 = 2,35. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 10,47 % respondentů odpověď *určitě ano*, 20,93 % *spíše ano*, 43,02 % *spíše ne*, 20,93 % *určitě ne* a u 4,65 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na podkladě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = 2,19; CFPC = 2,22; CFW = 2,23) lze usuzovat, že u žáků odpovídajících zcela správně (CFC) se jedná o nedostatečnou znalost, neboť si žáci nebyli svou odpovědí dostatečně jisti. U žáků odpovídajících částečně správně (CFPC, *kód 1*) a chybně (CFW, *kódy 2-6*) se také jedná o nedostatečnou znalost, poněvadž si svou odpovědí spíše nebyli jisti a tato soudobé vědecké poznání reflektovala částečně nebo vůbec. Ze žáků gymnázií označilo 28,85 % respondentů volbu *určitě ano*, 35,58 % *spíše ano*, 21,15 % *spíše ne*, 8,65 % *určitě ne* a u 5,77 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = 2,90; CFPC = 2,94; CFW = 2,89) je patrné, že žáci poskytující zcela správnou odpověď (CFC) vykazují oborově správné představy, protože si byli svou odpovědí spíše jisti. Představy žáků se částečně správnou odpovědí (CFPC) lze považovat za nepřesné, neboť se pouze blíží oborové představě, ačkoliv si jimi žáci byli spíše jisti. Chybné odpovědi (CFW) lze klasifikovat jako miskoncepce,

poněvadž jsou v rozporu s vědeckým poznáním, přestože si jimi byli žáci spíše jisti. U žáků 6. ročníku 40,00 % respondentů zakroužkovalo odpověď *spíše ano*, 35,00 % *spíše ne*, 10,00 % *určitě ne* a u 15,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevolil žádný respondent. Z indexů (CFC = 2,67; CFPC = 2,33; CFW = 2,35) plyne, že u zcela správných odpovědí (CFC) lze hovořit o oborově správných představách, jelikož si jimi žáci byli spíše jisti. U částečně správných (CFPC) a chybných (CFW) odpovědí se jedná o nedostatečnou znalost, neboť žáci si svou odpovědí spíše jisti nebyli.

### 5.3 Konceptový test č. 3: funkce buněčných organel

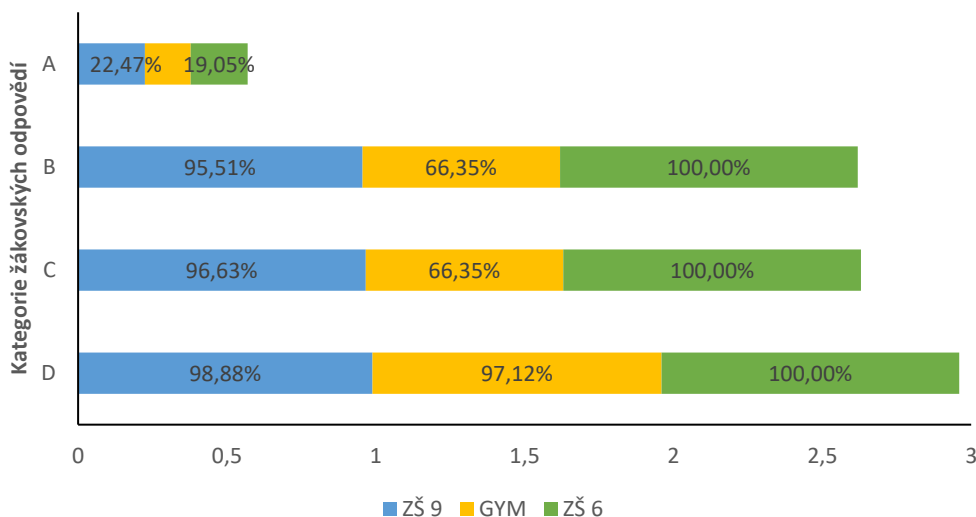
Konceptový test 3 byl zaměřen na porozumění funkci a fyziologii buňky. Koncipován byl netradičně do 4 bloků: žáci vždy měli za úkol popsat funkci příslušné organely (příp. obalu) a poté vyjádřit, do jaké míry jsou si jisti správností své odpovědi – tyto budou shrnuty závěrem. Otázky byly doplněny modelovým schématem, napomáhajícím genezi žákovských představ. První testová položka se tázala na charakteristiku funkce jádra. Pro hodnocení správnosti odpovědí byly předem stanoveny 4 výchozí kategorie, jež by žáci neměli opomenout. Kategorie a četnost jejich zastoupení za výzkumné skupiny znázorňuje níže předkládaný graf 23.



**Graf 23: Kategorie žákovských odpovědí pro funkci jádra.** *Vysvětlivky: Kód 1 = řídicí organela, 2 = informační organela, 3 = obsahuje genetickou informaci, 4 = umožňuje přenos genetické informace.*

Z grafu vyplývá, že nejzastoupenější kategorií v žákovských odpovědích byla kategorie 1 *řídicí organela*. Největší znalosti a míru porozumění vázané k funkci jádra vykazovali žáci gymnázií ( $\Sigma = 84, 62\%$ ;  $33,65\%$ ;  $33,65\%$ ;  $2,88\%$ ), nejmenší naopak žáci 6. ročníku, kteří ze všech možných kategorií zmínili pouze tu první ( $\Sigma = 80,95\%$  a zbylé totožně  $0,00\%$ ). Žáci 9. ročníku se vyjádřili ke všem zbylým kategoriím, avšak v minoritním % zastoupení. Mezi výzkumnými

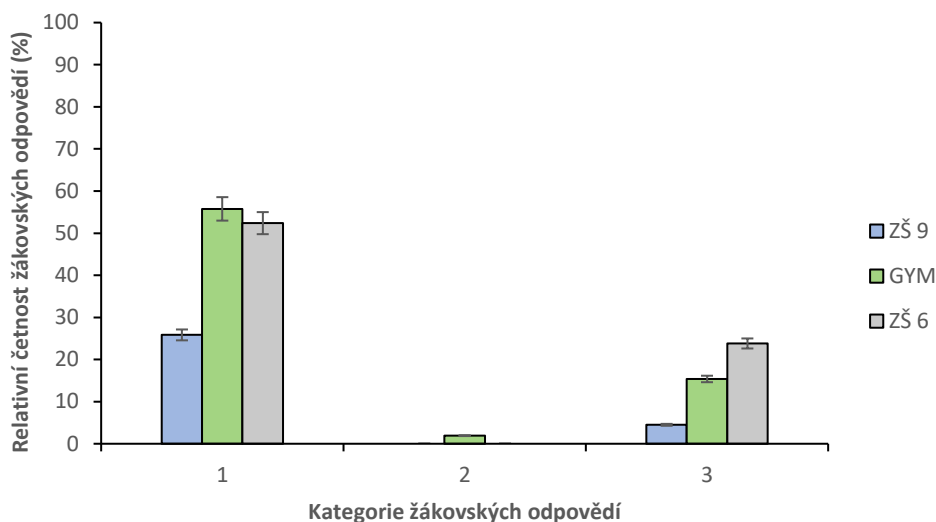
skupinami byly statisticky významné rozdíly v porozumění funkci jádra u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 2,75172E-07$ ) ve prospěch žáků gymnázií a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 1,13255E-06$ ) ve prospěch žáků gymnázií. Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 24.



**Graf 24: Relativní četnost žákovských prekonceptů o funkci jádra za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** *Vysvětlivky: A = řídicí organela, B = informační organela, C = obsahuje genetickou informaci, D = umožňuje přenos genetické informace.*

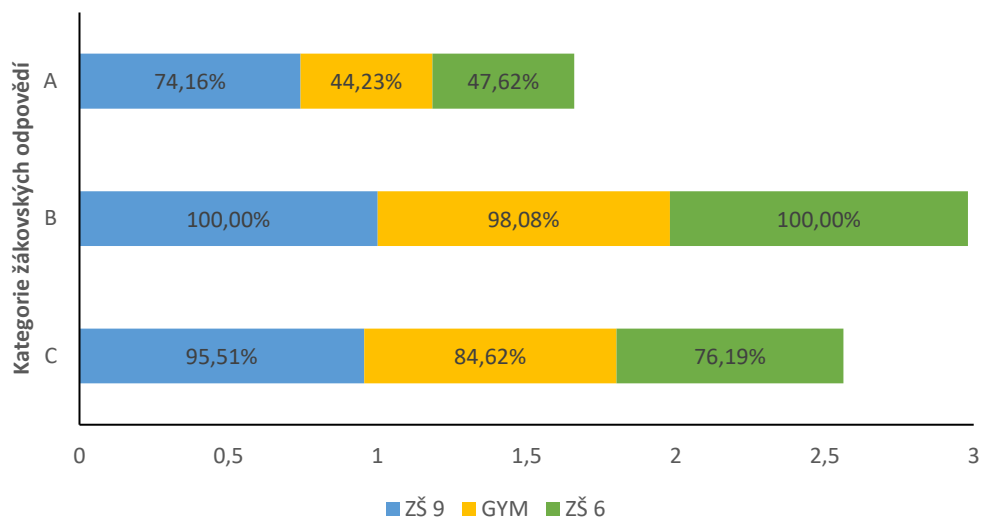
Z výsledků je patrné, že největší procento prekonceptů (miskonceptů) je spjato s kategoriemi B (ZŠ 9 = 95,51 %; GYM = 66,35 %; ZŠ 6 = 100,00 %), C (ZŠ 9 = 96,63; GYM = 66,35 %; ZŠ 6 = 100,00 %) a D (ZŠ 9 = 98,88 %; GYM = 97,12 %; ZŠ 6 = 100,00 %). U žáků 6. ročníků se ukázala 100,00 % neznalost či neporozumění kategoriím B-D, a tedy celkově nejvyšší %. Největší % žáků o jádru smýšlelo jako o *řídicí organelle*, u této položky byla současně nejmenší chybovost (56,90 % celkem). Žáci v každé z kategorií (vyjma A) vykazovali nadpoloviční zastoupení prekonceptů, resp. miskonceptů, což poukazuje na poměrně nízké povědomí o funkci jádra. Mezi výzkumnými skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 6. a 9. ročníků ZŠ ( $t = 0,02326$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,04299$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Druhá otázka zjišťovala porozumění funkci chloroplastu. Pro hodnocení správnosti odpovědí byly stanoveny 3 kategorie, jež spolu s četností jejich zastoupení za výzkumné skupiny ilustruje graf 25.



**Graf 25: Kategorie žákovských odpovědí pro funkci chloroplastu.** Vysvětlivky: Kód 1 = fotosyntéza, 2 = zachycení energie, 3 = tvorba zásobních látek (sacharidů).

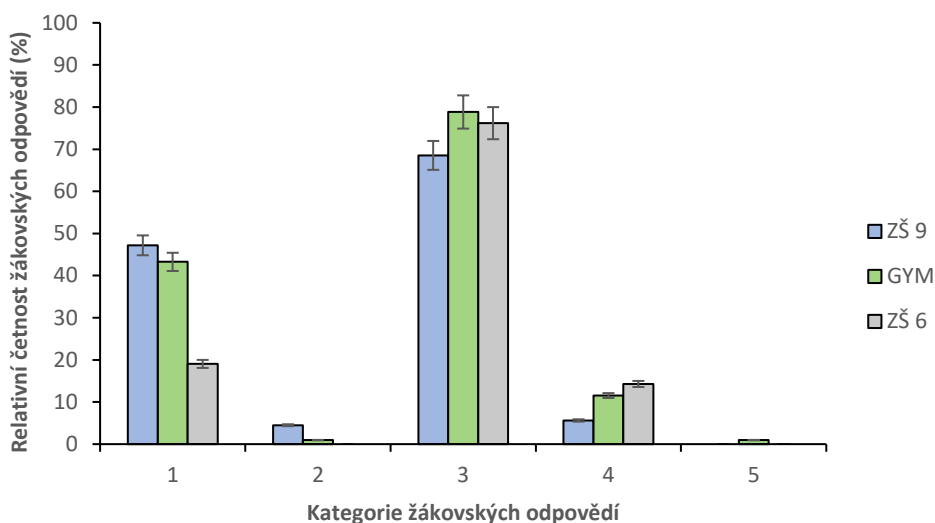
Z grafu plyne, že nejvíce zastoupenou kategorií v rámci žákovských odpovědí byla kategorie 1 *fotosyntéza*. Největší znalosti a míru porozumění vázané k funkci chloroplastu vykazovali žáci gymnázií ( $\Sigma$  55,77 %; 1,92 %; 15,38 %) a 6. ročníku ( $\Sigma$  52,38 %; 0,00 %; 23,81 %), nejmenší naopak žáci 9. ročníku ( $\Sigma$  25,84; 0,00 %; 4,49 %). Žáci 9. a 6. ročníků vůbec nereflektovali kategorii 2 *zachycení energie*, již souběžně zmínilo pouze nepatrné % žáků gymnázií. Mezi výzkumnými skupinami byly statisticky významné rozdíly v porozumění funkci chloroplastu u žáků 9. ročníku ZŠ a gymnázií ( $t = 7,20268E-07$ ) ve prospěch žáků gymnázií a u žáků 6. a 9. ročníků ( $t = 0,00864$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku. Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 26.



**Graf 26: Relativní četnost žákovských prekonceptů o funkci chloroplastu za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** Vysvětlivky: A = fotosyntéza, B = zachycení energie, C = tvorba zásobních látek (sacharidů).

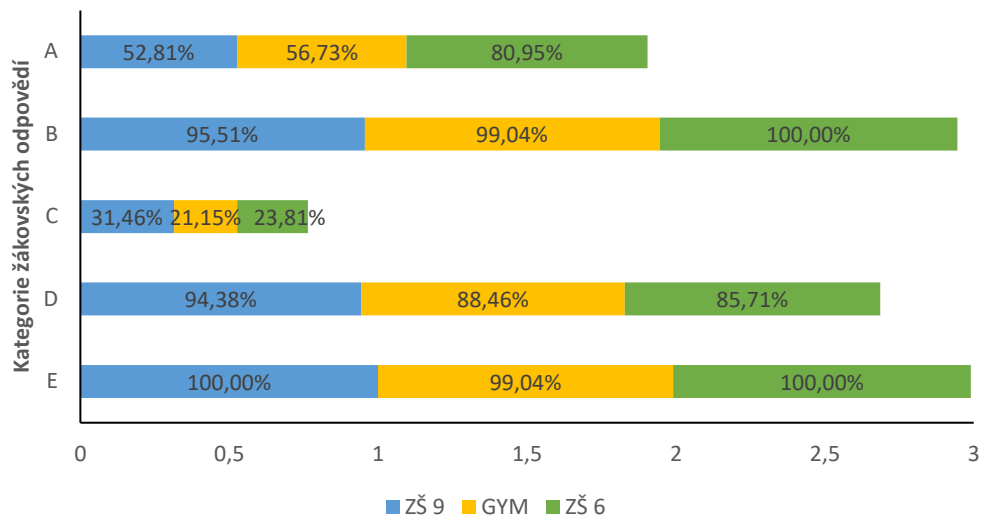
Výsledky ukazují, že největší procento prekonceptů (miskonceptů) je u všech skupin vázáno na kategorii B (ZŠ 9 = 100,00 %; GYM = 98,08 %; ZŠ 6 = 100,00 %). Žáci však v každé z kategorií (vyjímaje A – GYM, ZŠ 6) vykazovali nadpoloviční zastoupení prekonceptů, resp. miskonceptů, což poukazuje na poměrně nízké povědomí o funkci chloroplastu. Nejvyšší % neznalost či neporozumění vykazovali žáci 9. ročníku. Mezi výzkumnými skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 6. a 9. ročníků ZŠ ( $t = 0,00419$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,04447$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku.

Třetí otázka ověřovala porozumění funkci buněčné stěny. Pro hodnocení správnosti bylo vymezeno 5 kategorií, jež spolu s četností jejich zastoupení za výzkumné skupiny vyjadřuje graf 27.



**Graf 27: Kategorie žákovských odpovědí pro funkci buněčné stěny.** *Vysvětlivky: Kód 1 = ohraničuje buňka a udává jí její stálý tvar, 2 = zpevňuje buňku, 3 = chrání povrch buňky, 4 = propouští vodu s minerálními látkami, 5 = zajišťuje vzájemné propojení buněk.*

Z grafu vyplývá, že nejzastoupenější kategorií v rámci žákovských odpovědí byla kategorie 3 *chrání povrch buňky*. Největší znalosti a míru porozumění vázané k funkci buněčné stěny vykazovali žáci gymnázií ( $\Sigma$  43,27 %; 0,96 %; 78,85 %; 11,54 %; 0,96 %), za nimiž mírněji zaostávali žáci 9. ročníku ZŠ a posléze 6. ročníku s nejnižšími hodnotami ( $\Sigma$  19,05 %; 0,00 %; 76,19 %; 14,29 %; 0,00 %). Žáci 9. ročníku zcela nereflektovali kategorii 5 a žáci 6. ročníku kategorie 2 a 5. U žáků gymnázií byly kategorie 2 a 5 zastoupeny minoritně (shodně 0,96 %). Mezi výzkumnými skupinami nebyl žádný statisticky významný rozdíl v porozumění funkci buněčné stěny, neboť hodnota t-testu byla vždy vyšší než 5 % ( $t > 0,05$ ). Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 28.

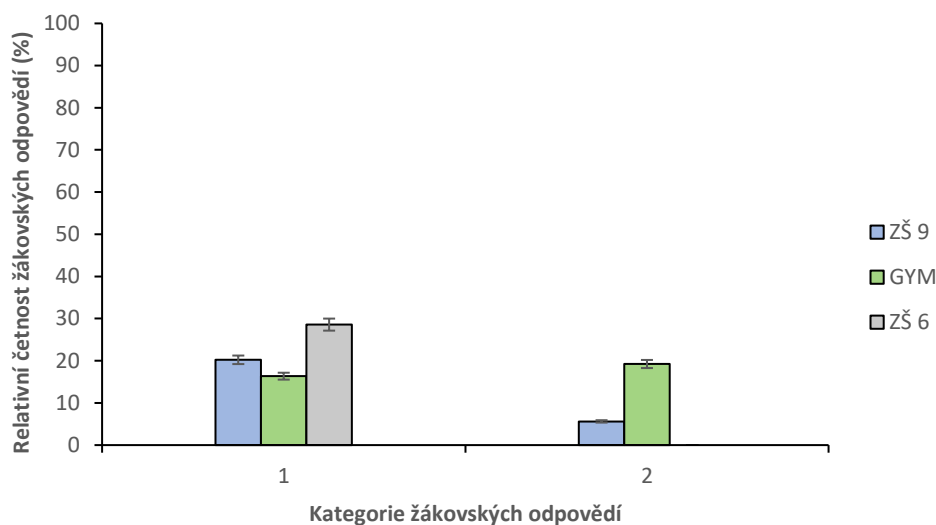


**Graf 28: Relativní četnost žákovských prekonceptů o funkci buněčné stěny za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** *Vysvětlivky: A = ohraničuje buňka a udává jí její stálý tvar, B = zpevňuje buňku, C = chrání povrch buňky, D = propouští vodu s minerálními látkami, E = zajišťuje vzájemné propojení buněk.*

Výsledky naznačují, že největší procento prekonceptů (miskonceptů) je u všech skupin spjato s kategoriemi E (ZŠ 9 = 100,00 %; GYM = 99,04 %; ZŠ 6 = 100,00 %), B (ZŠ 9 = 95,51 %; GYM = 99,04 %; ZŠ 6 = 100,00 %) a D (ZŠ 9 = 94,38 %; GYM = 88,46 %; ZŠ 6 = 85,71 %). U všech položek vyjma kategorie C žáci dosáhli nadpolovičního zastoupení prekonceptů, resp. miskonceptů, což opětovně poukazuje na poměrně nízké povědomí o funkci buněčné stěny. Největší neznalost či nepochopení vykazovali žáci 6. ročníku. Mezi výzkumnými skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 6. a 9. ročníků ZŠ ( $t = 0,00677$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,01003$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

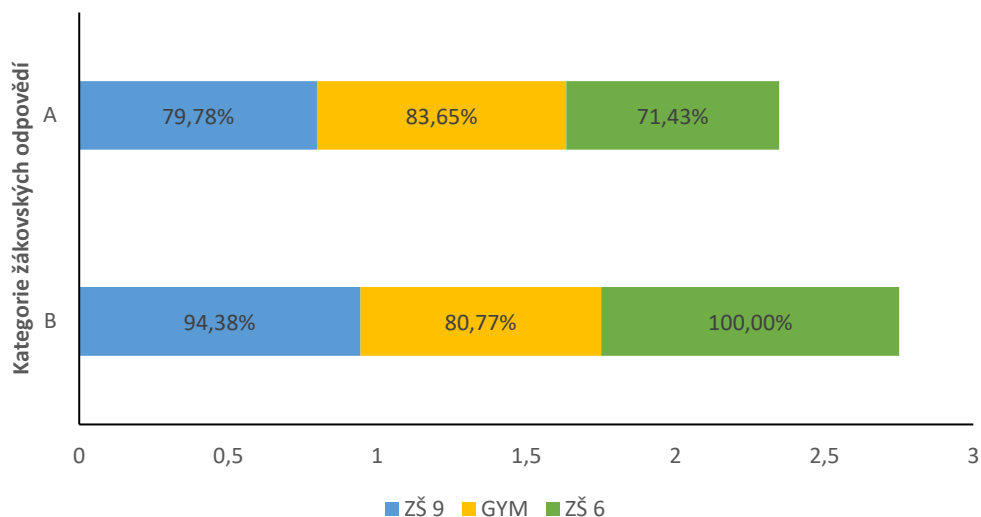


Čtvrtá otázka testovala porozumění funkci mitochondrie. Pro hodnocení správnosti byly vymezeny 2 kategorie, jež spolu s četností jejich zastoupení za výzkumné skupiny předkládá graf 29.



**Graf 29: Kategorie žákovských odpovědí pro funkci mitochondrie.** *Vysvětlivky: Kód 1 = buněčné dýchání, B = vznik energie.*

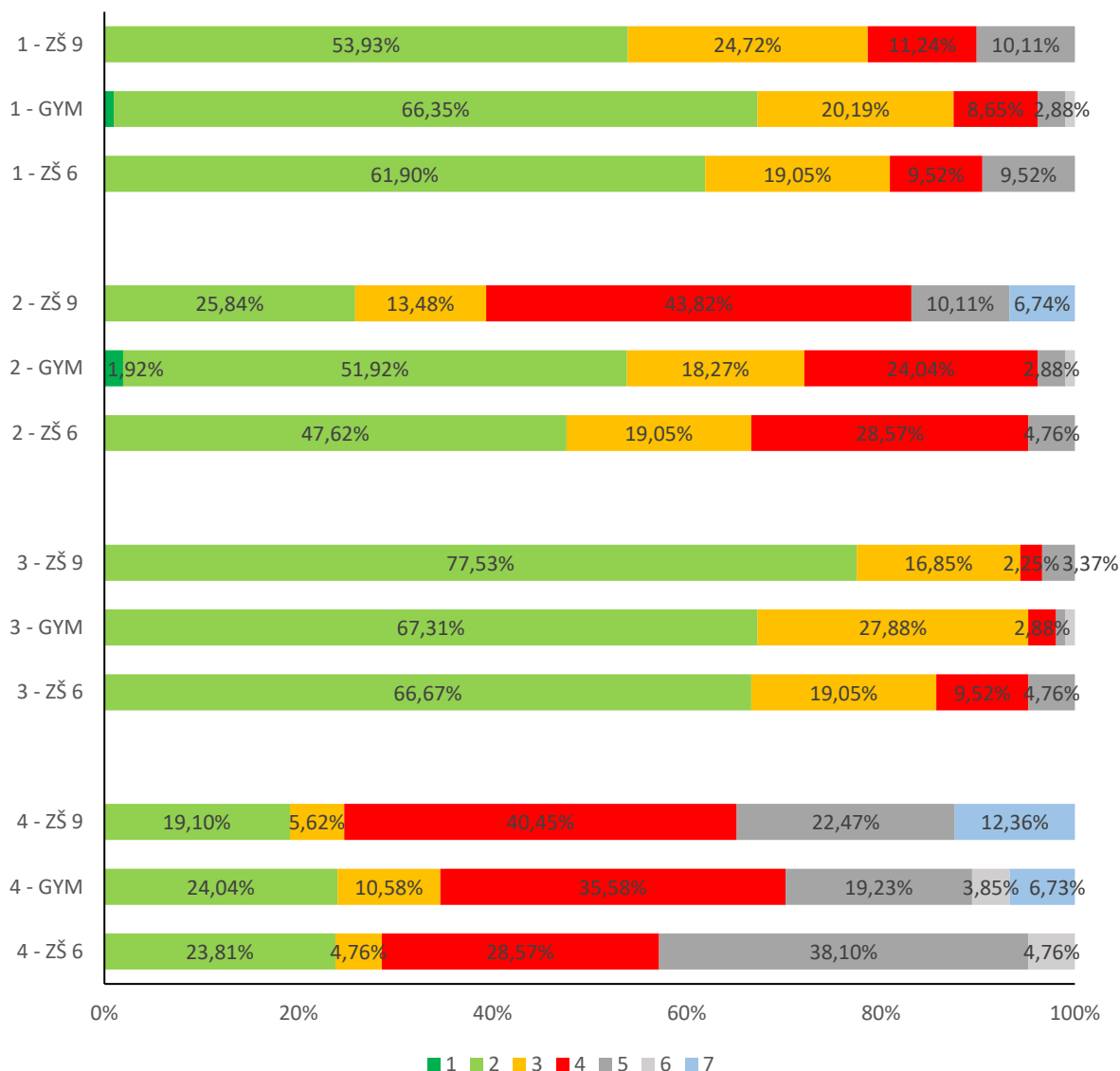
Z grafu je patrné, že více zastoupenou kategorií v žákovských odpovědích byla kategorie 1 *buněčné dýchání*. Největší znalosti a míru porozumění vázané k funkci mitochondrie celkově vykazovali žáci gymnázií ( $\Sigma = 16,35 \%$ ;  $19,23 \%$ ), za nimiž zaostávali žáci 9. ročníku ( $\Sigma = 20,22 \%$ ;  $5,62 \%$ ) a posléze žáci 6. ročníku ( $\Sigma = 28,57 \%$ ;  $0,00 \%$ ). V kategorii 1 se však lépe dařilo naopak žákům 6. ročníku. Druhou ovšem nezmínil z jejich výzkumného souboru žádný respondent a žáci 9. ročníku spíše minoritně. Mezi výzkumnými skupinami nebyl žádný statisticky významný rozdíl v porozumění funkci mitochondrie, neboť hodnota t-testu byla vždy vyšší než  $5 \%$  ( $t > 0,05$ ). Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 30.



**Graf 30: Relativní četnost žákovských prekonceptů o funkci mitochondrie za dílčí kategorie žákovských odpovědí.** *Vysvětlivky: A = buněčné dýchání, B = vznik energie.*

Výsledky ukazují, že žáci dosáhli relativně vysokého procenta prekonceptů (miskonceptů) u obou kategorií žákovských odpovědí. Největší neznalost či nepochopení vykazovali žáci 9. ročníku, žáci 6. ročníku pak vůbec nereflektovali kategorii B. U obou položek žáci dosáhli nadpolovičního zastoupení prekonceptů, resp. miskonceptů, což poukazuje jako ve zbylých případech na nízké povědomí o funkci mitochondrie. Mezi výzkumnými skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 6. a 9 ročníků ZŠ ( $t = 0,03741$ ) ve prospěch žáků 6. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,04238$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Pro všechny 4 testové položky byla vyhodnocována oborová správnost odpovědí žáků s využitím 7 kódů. Kategorie a četnost jejich zastoupení za veškeré výzkumné skupiny sumarizuje graf 31.



**Graf 31: Srovnání správnosti žákovských odpovědí u otázek 1-4 mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlivky: Kód 1 = úplná správná, 2 = neúplná správná, 3 = správná i chybná, 4 = chybná, 5 = bez odpovědi, 6 = alternativní, 7 = nevím; 1 = otázka 1, 2 = otázka 2, 3 = otázka 3, 4 = otázka 4 (svisle). Pozn.: Mezi skupinami nebyl dle vypočteného t-testu žádný statisticky významný rozdíl ( $t > 0,05$ ).

Z grafu vyplývá, že na otázku 1 uvedlo *úplně správnou odpověď* pouhých 0,96 % (GYM) respondentů. Nejlépe se dařilo žákům gymnázií, z nichž 67,31 % dosáhlo správné odpovědi. Nejhůře si vedli žáci 9. ročníku, kteří vykazovali 35,96% chybovost. Nejčastější kategorií byla *neúplná, ale správná odpověď* (ZŠ 9 = 53,93 %; GYM = 66,35 %; ZŠ 6 = 61,90 %).

Kódem 1 byla hodnocena odpověď: „Řídí buňku a její funkce, informační organela. Je tam uložena genetická informace, umožňuje její přenos.“ (resp. 49, GYM). Kódem 2 byla hodnocena například odpověď: „Řídí buňku, nese DNA.“ (resp. 4, GYM). Kódem 3: „Řídí buňku, funguje podobně jako mozek. Bez jádra by žádná buňka nemohla fungovat.“ (resp. 176, ZŠ 9). Kódem 4: „Dýchání, výživa.“ (resp. 97, GYM), „Čistí buňku.“ (resp. 214, ZŠ 6). Dle  $\chi^2$  testu byly u této položky v rámci výzkumných skupin následující statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 6,74053E-14$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 5,59289E-24$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,00012$ ;  $p = 0,352$ ). Výsledky  $\chi^2$  poukazují na průměrné až relativně dobré porozumění funkci jádra (srov. kódy 1; 1 a 2; 1,2 a 3,4) – žáci se ve všech případech pohybovali nad průměrnou hodnotou.

Kódy 5 (bez odpovědi) a 7 (nevím) byly vylišovány pro ověření skutečnosti, zda žák odpověď na otázku skutečně nezná či nestihl nebo zapomněl pole vyplnit (neznalost vs různé důvody). Kódem 6 (alternativní) byly shlukovány všechny pojmy a tvrzení, nereflektující zadání úloh (nejednalo se tedy vždy o poznatky v rozporu s vědeckým poznáním).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF činila: ZŠ 9 = 2,21; GYM = 2,47; ZŠ 6 = 2,24. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 5,62 % respondentů odpověď *určitě ano*, 31,46 % *spíše ano*, 29,21 % *spíše ne*, 23,60 % *určitě ne* a u 10,11 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na podkladě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 2,29; CFW = 2,30) lze tvrdit, že u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) a nesprávně (CFW) se jedná o nedostatečnou znalost, neboť jejich odpověď (ne) zcela odpovídá oborovým představám a souběžně si jí spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií označilo 14,42 % respondentů volbu *určitě ano*, 31,73 % *spíše ano*, 27,88 % *spíše ne*, 17,31 % *určitě ne* a u 8,65 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = 3,00; CFPC = 2,51; CFW = 2,36) plyne, že žáci poskytující zcela správnou odpověď (CFC) vykazují oborově správné představy, jelikož si správností své odpovědi byli spíše jisti. Představy žáků s částečně správnou (CFPC) a chybnou (CFW) odpovědí lze považovat za nedostatečné, i přesto, že CFPC si jimi byli spíše jisti. U žáků 6. ročníků 38,10 % volilo položku *spíše ano*, 23,81 % *spíše ne*, 19,05 % *určitě ne* a u 19,05 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevybral žádný respondent. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,31; CFW = 1,00) je patrné, že žáci odpovídající částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) vykazují nedostatečnou znalost, poněvadž si odpověďmi nebyli příliš, anebo vůbec (*určitě ne = hádám*), jisti.

Otázku 2 zodpovědělo *úplně správně* pouhých 1,92 % (GYM) respondentů. Nejlépe si znovu vedli žáci gymnázií, z nichž 53,84 % dosáhlo správné odpovědi. Nejhůře se dařilo žákům

9. ročníku, kteří vykazovali 57,30% chybovost. Nejčastějšími kategoriemi byly *neúplná, ale správná odpověď* (GYM = 51,92 %; ZŠ 6 = 47,62 %) a *chybná odpověď* (ZŠ 9 = 43,82 %). Kódem 1 byla hodnocena například odpověď: „*Díky němu probíhá fotosyntéza, zachytává energii. Obsahuje zelené barvivo a tvoří cukry.*“ (resp. 9, GYM, zkrác.). Kódem 2: „*Probíhá v něm fotosyntéza díky zelenému barvivu, vyrábí cukry pro buňku.*“ (resp. 56, GYM). Kódem 3: „*K dýchání buňky, zajišťuje výživu buňky.*“ (resp. 193, ZŠ 9) či „*Umožňuje fotosyntézu: přeměna světla na energii.*“ (resp. 155, ZŠ 9). Kódem 4: „*Chloroplast je barvivo buňky. Má různé typy, které určují různé barvy buňky.*“ (resp. 141, ZŠ 9) či „*Zelené barvivo*“ (resp. 197, ZŠ 9), „*Uchovává cukry.*“ (resp. 51, GYM) a „*Okysličování krve. Roznáší kyslík po těle.*“ (resp. 140, ZŠ 9). Dle  $\chi^2$  testu byly u dané položky v rámci výzkumných skupin následující statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 1,12828E-09$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 3,7336E-12$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,01545$ ;  $p = 0,352$ ). Výsledky  $\chi^2$  ukazují na podprůměrné až průměrné porozumění funkci chloroplastu (srov. *kódy 1; 1 a 2; 1,2 a 3,4*). U žáků ZŠ 9 bylo porozumění nedostačující (srov. *kódy 1 a 2: 25,84 % žáků vs kódy 3 a 4: 57,30 %*).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF činila: ZŠ 9 = 2,10; GYM = 2,38; ZŠ 6 = 2,47. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 6,74 % respondentů odpověď *určitě ano*, 29,21 % *spíše ano*, 17,98 % *spíše ne*, 33,71 % *určitě ne* a u 12,36 % položku nebylo možné vyhodnotit. Dle vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 2,19; CFW = 2,21) lze usuzovat, že u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) a nesprávně (CFW) se jedná o nedostatečnou znalost, protože si správností své odpovědi spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií označilo 14,42 % respondentů možnost *určitě ano*, 29,81 % *spíše ano*, 24,04 % *spíše ne*, 24,04 % *určitě ne* a u 7,69 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = 3,50; CFPC = 2,40 %; CFW = 2,38) vyplývá, že u žáků poskytujících zcela správnou odpověď (CFC) se jedná o oborově správně představy, neboť si svou odpovědí byli velmi jisti. Představy žáků s částečně správnou (CFPC) a chybnou (CFW) odpovědí jsou nedostatečné, poněvadž si jimi žáci spíše jisti nebyli. U žáků 6. ročníku 47,62 % volilo odpověď *spíše ano*, 23,81 % *spíše ne*, 9,52 % *určitě ne* a u 19,05 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevybral žádný respondent. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,56; CFW = 2,50) je zřejmé, že představy žáků s částečně správnou odpovědí (CFPC) lze považovat za nepřesné, jelikož se pouze blíží oborové představě, přestože žáci si jimi byli spíše jisti. U žáků odpovídajících chybně (CFW) se jedná o nedostatečnou znalost, protože si svými odpověďmi byli i přes jejich oborovou nesprávnost spíše jisti.

Na otázku 3 neodpověděl *úplně správně* žádný respondent z výzkumného souboru.

Nejvíce se dařilo žákům 9. ročníku, z nichž 77,53 % odpovídalo neúplně, ale správně. U dané otázky žáci všech výzkumných skupin současně dosáhli největšího % správných odpovědí v rámci celého testu (GYM = 67,31 %; ZŠ 6 = 66,67 %). Nejhůře si vedli žáci 6. ročníku, kteří vykazovali 28,57% chybovost. Nejčastější kategorií byla *neúplná, ale správná odpověď* (hodnoty viz výše). Kódem 2 byla hodnocena například odpověď: „*Ohraničuje buňku od vnějšího prostředí.*“ (resp. 23, GYM) či „*Chrání buňku před poškozením. Nепropouští škodlivé látky.*“ (resp. 26, GYM) a „*Chrání buňku, určuje tvar, je propustná.*“ (resp. 209, ZŠ 6). Kódem 3: „*Drží buňku pohromadě. Dělá ji pevnější. Skrz buněčnou stěnu získává živiny.*“ (resp. 155, ZŠ 9) nebo „*Ochraňuje orgány, drží je při sobě*“ (resp. 127, ZŠ 9) – po doptání se. Kódem 4: „*Tak tou stěnou prochází kyslík a dělá se tam fotosyntéza.*“ (resp. 138, ZŠ 9). Dle  $\chi^2$  testu byly u této položky v rámci výzkumných skupin následující statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 1,83443E-31$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 1,36671E-26$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,00004$ ;  $p = 0,352$ ). Výsledky  $\chi^2$  poukazují na dobré až (u žáků 9. ročníku) téměř velmi dobré porozumění funkci buněčné stěny (ZŠ 9, srov. *kódy 1 a 2*: 77,53 % žáků vs *kódy 3 a 4*: 19,10 %).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF činila: ZŠ 9 = 2,36; GYM = 2,49; ZŠ 6 = 2,44. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 6,74 % respondentů odpověď *určitě ano*, 35,96 % *spíše ano*, 31,46 % *spíše ne*, 16,85 % *určitě ne* a u 8,99 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na základě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 2,38; CFW = 1,50) lze konstatovat, že žáci odpovídající částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) vykazují nedostatečné znalosti, neboť si svou odpovědí spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií zaznačilo 13,46 % respondentů volbu *určitě ano*, 31,73 % *spíše ano*, 29,81 % *spíše ne*, 14,42 % *určitě ne* a u 10,58 % položku nebylo možné vyhodnotit. Dle indexů (CFC = X; CFPC = 2,49; CFW = 1,00) je zřejmé, že představy žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) jsou nedostatečné, přestože si jimi byli spíše jisti. U žáků odpovídajících chybně se jedná o téže model, kdy si však žáci správností své odpovědi vůbec jisti nebyli. U žáků 6. ročníku 47,62 % zvolilo odpověď *spíše ano*, 28,57 % *spíše ne*, 9,52 % *určitě ne* a u 14,29 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevybral žádný respondent. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,53; CFW = 2,00) plyne, že částečně správné představy (CFPC) žáků lze označit za nedostatečné, přestože si jimi žáci byli spíše jisti. Chybné představy (CFW) žáků platí také za nedostatečnou znalost, neboť oborové představy nereflektují a žáci si jimi spíše jisti nebyli.

Otázka 4 představovala pro žáky nejnáročnější položku na zodpovězení. *Úplně správnou odpověď* na ni nevedl žádný respondent a *neúplně, ale správné odpovědi*

dosáhlo  $\Sigma$  relativně malé procento respondentů (ZŠ 9 = 19,10; GYM = 24,04 %; ZŠ 6 = 23,81 %). U dané otázky žáci všech výzkumných skupin současně dospěli k největšímu % nesprávných či jiných odpovědí v rámci celého testu (ZŠ 9 = 80,90 %; GYM = 75,97 %; ZŠ 6 = 76,19 %). Nejlépe se dařilo žákům gymnázií (24,04 %), nejhůře si naopak vedli žáci 9. ročníku, jež vykazovali 46,07% chybovost. Nejčastějšími kategoriemi byly *chybná odpověď* (ZŠ 9 = 40,45 %; GYM = 35,58 %) a *bez odpovědi* (ZŠ 6 = 38,10 %). Kódem 2 byla hodnocena například odpověď: „*Buněčné dýchání*“ (resp. 181, ZŠ 9), „*Powerhouse of the cell – zásobárna energie pro buňku.*“ (resp. 3, GYM). Kódem 3: „*Je to hlavní zdroj energie pro buňku. Zásobuje ji vitamíny, bílkovinami a cukry.*“ (resp. 123, ZŠ 9). Kódem 4: „*Vytváří kyslík/vzduch*“ (resp. 204, ZŠ 6), „*Udržuje buňku při životě.*“ (resp. 104, GYM) či „*mozek/srdce buňky*“ (např. resp. 105, ZŠ) nebo „*pohlavní orgán*“ (resp. 79, GYM). Dle  $\chi^2$  testu byly u dané položky v rámci výzkumných skupin následující statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 1,80259E-11$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 2,59644E-09$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,03407$ ;  $p = 0,352$ ). Výsledky  $\chi^2$  ukazují na velmi nízké a neodpovídající porozumění funkci mitochondrie (srov. *kódy 1; 1 a 2; 1,2 a 3,4*).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF činila: ZŠ 9 = 1,80; GYM = 2,15; ZŠ 6 = 2,08. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 3,37 % respondentů odpověď *určitě ano*, 17,98 % *spíše ano*, 17,98 % *spíše ne*, 40,45 % *určitě ne* a u 20,22 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na podkladě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 2,02; CFW = 1,92) lze říci, že žáci odpovídající částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) vykazují nedostatečnou znalost, neboť si svou odpovědí spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií vybralo 10,58 % respondentů kategorii *určitě ano*, 20,19 % *spíše ano*, 17,31 % *spíše ne*, 29,81 % *určitě ne* a u 22,12 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,35; CFW = 2,31) lze vyvodit, že se u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) jedná o nedostatečnou znalost, poněvadž si svými odpověďmi spíše nebyli jisti. U žáků 6. ročníku 28,57 % volilo odpověď *spíše ano*, 9,52 % *spíše ne*, 23,81 % *určitě ne* a u 38,10 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevybral žádný respondent. Indexy (CFC = X; CFPC = 2,86; CFW = 2,27) ukazují, že žáci s částečně správnými odpověďmi (CFPC) vykazují nepřesné představy, blížíci se oborovým, jelikož si jejich správností byli spíše jisti. Žáci odpovídající chybně (CFW) mají nedostatečné znalosti a svými odpověďmi si spíše nebyli jisti.

Žáci ve svých odpovědích uváděli celou řadu zajímavých položek. Jádro velmi hojně přirovnávali k „mozku“ či „srdci“ buňky a považovali jej za nejdůležitější buněčnou organelu.

10 žáků zmiňovalo vazbu na rozmnožování buňky, 2 dokonce apoptózu a 1 replikaci DNA s tvorbou mRNA při transkripci. Z nesprávných odpovědí dominovala deskripce fyziologických procesů, které dle žáků probíhají právě v jádře (např. trávení či vylučování). 4 žáci zmiňovali tvorbu živin. 3 žáci pak funkci jádra připisovali jadérku. Menší část žáků se domnívala, že jakákoliv změna genetické informace zapříčiní změny na úrovni celé buňky či organismu. Mnozí žáci také věřili, že každá buňka obsahuje jádro. 2 žáci uváděli, že každá buňka má právě 1 jádro, které je podle 1 z nich velikostně dominantní organelou. 1 žák jádru připisoval řízení celého organismu.

Někteří žáci zaměňovali funkci chloroplastu s mitochondrií. Řada z nich pak nevylišovala mezi chloroplastem a chlorofylem, či je neuměla správně pojmenovat. 8 žáků explicitně uvádělo termín chlorofyl. 20 žáků připisovalo chloroplastu rozličné fyziologické funkce (někdy na úrovni celého organismu). 8 žáků jej označilo za „*sklad živin*“. 2 žáci jej měli spjat s rozvodem kyslíku po těle (záměna chlorofyl x hemoglobin) u rostlin, aniž by si uvědomovali anatomicko-morfologické rozdíly. Mezi další tvrzení patřila například tato: „*Vytváří se zde fotosyntéza.*“ (3), „*Chloroplasty jsou bakterie.*“ (2) a „*Chloroplasty čistí buňku.*“ (2). 14 respondentů z celého výzkumného souboru naopak správně označilo chloroplast za místo biosyntézy chlorofylu.

Při popisu funkce buněčné stěny se žáci ve svých odpovědích vyjadřovali převážně neobratně a nepřesně. Hojně uváděli, že buněčná stěna „*drží buňku/organely pohromadě*“ a „*chrání organely*“. 4 doplňovali, že chrání buňku před tím, aby její obsah „*nevytekl*“. Žáci mnohdy zmiňovali, že je nepropustná (aby lépe chránila buňku) či polopropustná. Dokreslovali též, že „*Chrání buňku před všemi bakteriemi/vnějšími vlivy/viry/parazity.*“ a dalšími. 8 žáků podotýkalo, že brání „*shlukování buněk*“, čímž by nepřesně mohla být míněna kategorie 5 *zajišťuje vzájemné propojení buněk*, nebo žáci nepochopili princip vzniku pletiv. 1 žák její funkci přirovnal ke „*kůži či pokožce*“. Mezi alternativní odpovědi byly řazeny například položky „*brnění*“, „*ochrana buňky*“ či „*brání buňku před bordelem zvenku*“ nebo rozmanité nesouvisející odpovědi. 1 žák z celého výzkumného souboru naopak správně označil buněčnou stěnu za pružnou v kontextu růstu buňky.

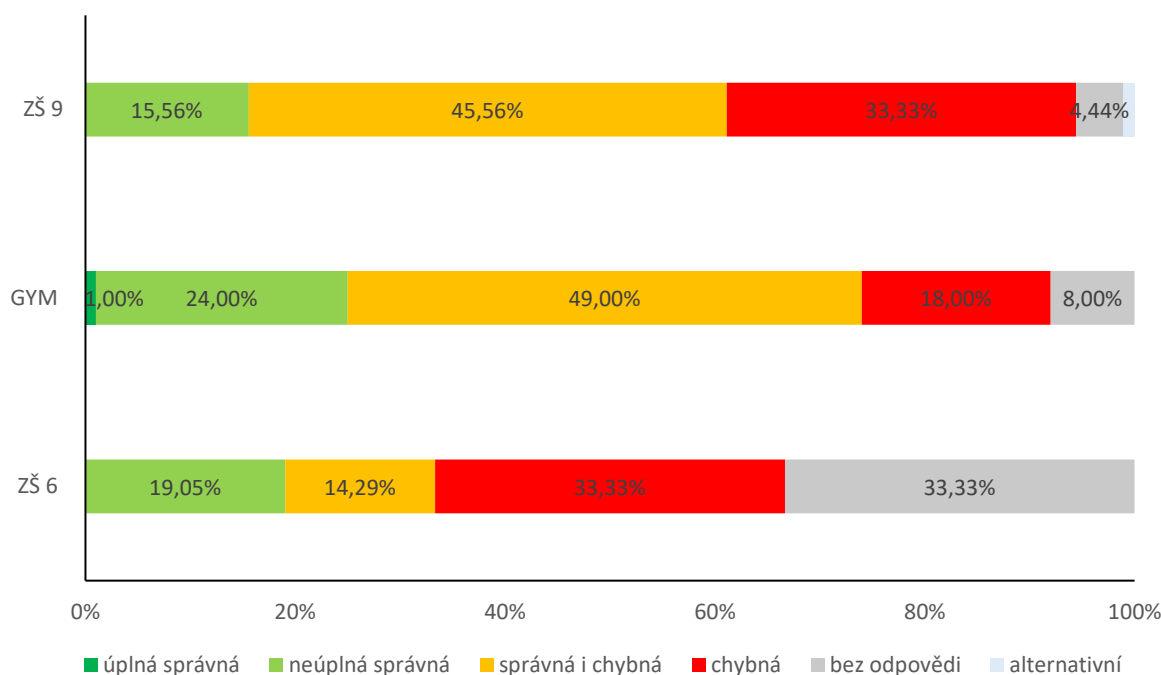
Mnozí žáci si pletli funkci mitochondrie s funkcí chloroplastu, často ji metaforicky nazývali mozkiem nebo srdcem buňky či buněčnými plícemi. 28 žáků mělo mitochondrii přímo spjatou s tvorbou či uchováváním živin, podstatná část žáků jí pak připisovala fyziologické funkce. Někteří se nesprávně domnívali, že se v mitochondriích *vytváří kyslík, jenž je dále rozváděn po těle, kde okysličuje tkáň a orgány a posléze je redistribuován do plic, odkud krev proudí do srdce a zpět do tělního oběhu* (provázanost se *single/double loop modelem* –



viz podkap. 3.1.2). 1 žák správně podotýkal, že mitochondrie má vlastní mitochondriální genom, avšak tvořen z molekul RNA. 7 žáků uvádělo, že jsou mitochondrie samostatné bakterie, žijící uvnitř buněk, 1 je považoval za cizorodé částice (resp. 71, GYM: „*Je to vysoce nebezpečný vetřelec v buňce. Snaží se buňku zevnitř sežrat a následně se tam rozmnoží, aby mohl nakazit další buňky.*“), 4 uzavírali, že mitochondrie buňky před bakteriemi naopak chrání a zajišťují jim *imunitní obranu*.

## 5.4 Konceptový test č. 4: rozmnožování buněk

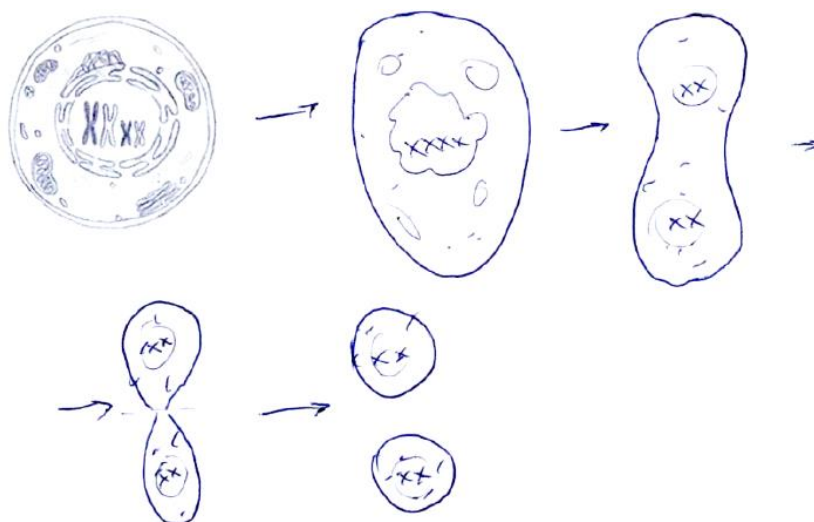
První testová položka požadovala zakreslení průběhu rozmnožování somatické mateřské buňky (lidského těla) s využitím výchozí schematické kresby jakožto opěrného bodu. U schémat mitotického dělení byla vyhodnocována jejich oborová obsahová správnost s využitím 6 kódů správnosti (viz také kategoriální systém). Kategorie žakovských odpovědí a četnost jejich zastoupení v rámci schémat u všech výzkumných skupin reflektuje graf 32.



**Graf 32: Srovnání správnosti schématu mitotického dělení mezi výzkumnými skupinami**

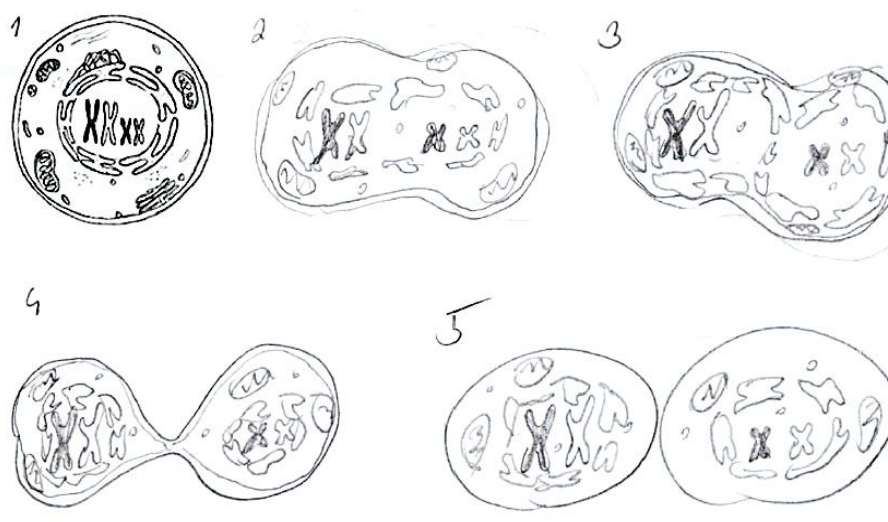
Z grafu vyplývá, že pouhé 1,00 % schémat bylo hodnoceno kódem 1 = *úplně správná odpověď*. Nejčastěji se žakovská schémata pohybovala v rozmezí kódů 3 (ZŠ 9 a GYM) a 4-5 (ZŠ 6), tedy *odpověď obsahující správná i chybná tvrzení, chybná odpověď* a *bez odpovědi*. Z grafu je patrné, že žáci dosáhli velkého % nesprávných odpovědí (ZŠ 9 = 78,89 %; GYM = 67,00 %; ZŠ 6 = 47,62 %), na základě čehož lze usuzovat, že se jednalo o jednu z nejnáročnějších položek na vyřešení v rámci nejen tohoto testu, ale všech testů souborně. U žáků 6. ročníku byla

relativně hojně zastoupena také kategorie 5 *bez odpovědi* (33,33 %), kdy není možno rozhodnout, zda žák odpověď na otázku neznal, nebyl si jí jistý, nestihl či zapomněl pole vyplnit apod. Dle kritéria *správných odpovědí* se „nejlépe“<sup>10</sup> dařilo žákům gymnázií (25,00 % vs 67,00 %); srov. *kódy 1, 2 a 3,4*. Zpoza správnost byly hodnoceny také doplňkové struktury – žáci je nemuseli uvádět, aby kresby byly hodnoceny jako správné, nicméně pokud je uvedli, správnost těchto struktur byla také posuzována. Alternativním kódem byly označovány všechny kresby, které nesplňovaly podmínky pro přiřazení jednoho ze stávajících kódů. Z vypočteného t-testu je zřejmé, že mezi výzkumnými skupinami nebyly statisticky významné rozdíly ve správnosti posuzovaných schémat, neboť hodnota t-testu byla vždy vyšší než 5 % ( $t > 0,05$ ). Z vypočteného  $\chi^2$  testu vyplynuly následující statisticky významné rozdíly: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 6,62567E-10$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 3,70735E-11$ ;  $p = 0,352$ ), jež velmi nízké porozumění buněčnému dělení (mitóze) u daných výzkumných skupin jednoznačně potvrdily (srov. *kódy 1; 1 a 2; 1, 2 a 3,4*). Pro skupinu žáků 6. ročníku se statisticky významný rozdíl nepotvrdil, poněvadž více než  $\frac{1}{4}$  odpovědí ( $\Sigma = 33,33$  %) z celkového počtu byla hodnocena kódem 5 = *bez odpovědi*.

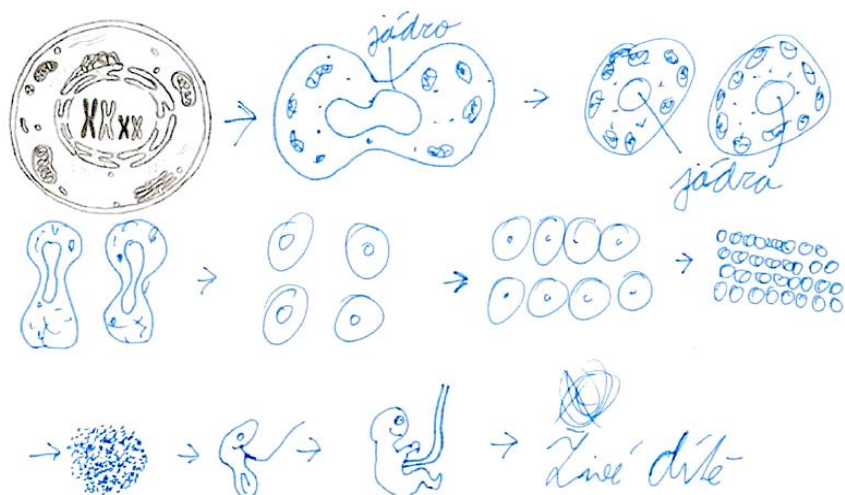


**Obr. 43: Schematický náčrt mitotického dělení** (resp. 1, GYM, hodnoceno kódem 1). *Pozn.: Žákyně do schématu zakreslila také sážitelný (kontraktilní) prstenec, jež mateřskou buňku postupně zaškrtí a rozdělí na dvě buňky dceřiné. S chromozomy stejně jako téměř žádný z respondentů dále nepracovala, avšak při ústní deskripci svého schématu správně uváděla, že dceřiné buňky budou obsahovat stále stejný počet chromozomů jako buňka mateřská (2n), nýbrž v jednochromatidovém stavu. Slovně však ústně popsané vyjádřit nedokázala (viz dále).*

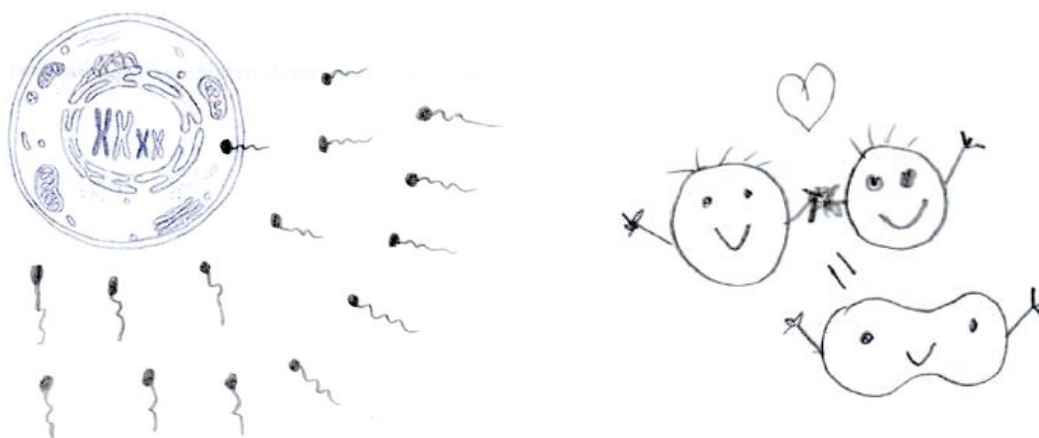
<sup>10</sup> Sestavení schémat bylo pro žáky extrémně náročné – nevylišovali mezi mitotickým a meiotickým dělením, nerefletovali výchozí somatickou buňku. V žakovských kresbách i slovních odpovědích se opakovaně objevovala představa, že je buněčné dělení spjata výhradně s růstem a vývojem organismu či celá řada dalších prekonceptů.



Obr. 44: Schematický nákras mitotického dělení (resp. 102, ZŠ 9, hodnoceno kódem 3)

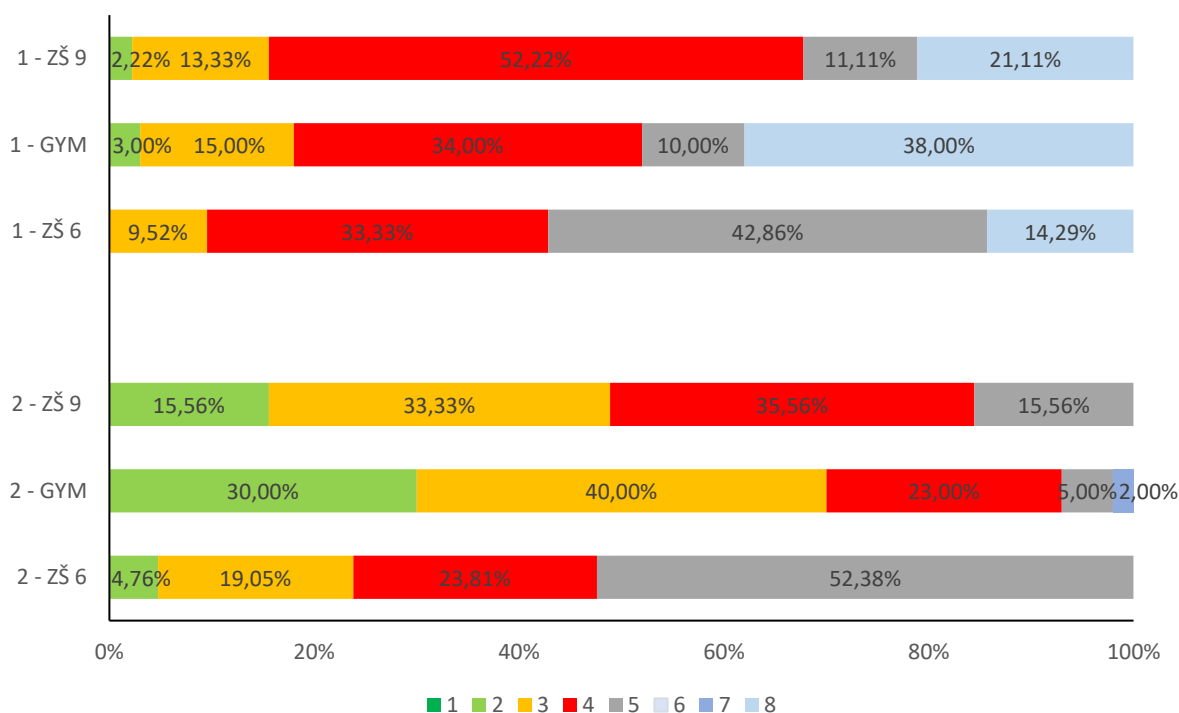


Obr. 45: Schematický nákras mitotického dělení žáka vykazujícího četné miskoncepce (resp. 134, ZŠ 9, hodnoceno kódem 4)



Obr. 46, 47: Ukázky chybného a alternativního schematického nákrasu mitotického dělení (resp. 180, ZŠ 9, hodnoceno kódem 4 a resp. 101, ZŠ 9, hodnoceno kódem 6)

Položka byla doplněna dvěma doprovodnými otázkami, zaměřenými na 1) detailní slovní popis zakresleného způsobu rozmnožování buněk v předchozí úloze, 2) význam buněčného rozmnožování. Správnost žákovských odpovědí byla hodnocena s použitím 7 kódů, pro otázku 1 byl vymezen také kód 8. Kategorie a četnost jejich zastoupení shrnuje graf 33.



**Graf 33: Srovnání správnosti žákovských odpovědí u otázek 1-2 mezi výzkumnými skupinami.** Vysvětlivky: Kód 1 = úplná správná, 2 = neúplná správná, 3 = správná i chybná, 4 = chybná, 5 = bez odpovědi, 6 = alternativní, 7 = nevím, 8 = 2 buňky; 1 = otázka 1, 2 = otázka 2 (svisle).

Z grafu plyne, že na první otázku neodpověděl úplně správně žádný respondent. Neúplnou, ale správnou odpověď poskytlo pouhých 2,22 % (ZŠ 9) a 3,00 % (GYM) žáků. Na otázku odpovědělo chybně 65,55 % žáků 9. ročníku, 49,00 % gymnazistů a 42,85 % žáků 6. ročníku. Kódem 8 byla hodnocena odpověď, zohledňující pouze výsledek buněčného dělení, a sice konečný počet buněk po jedné mitóze – jedna buňka mateřská se rozdělí na dvě buňky dceřiné. Ve schématech byla tato odpověď hodnocena kódem 3, neboť z ní nevyplývá požadovaná úroveň porozumění průběhu mitotického dělení. Zde je kód 8 vylišován pro přesnější interpretaci (žáci, zakreslující pouze výsledný produkt, jej ve většině případů takto zaznamenávali i ve slovních odpovědích), nicméně stále na škále správnosti odpovídá částečně správné odpovědi, a tedy kódu 3. Kód 8 uvedly tyto počty respondentů: ZŠ 9 (21,11 %), GYM (38,00 %) a ZŠ 6 (14,29 %). Pro velké % chybných odpovědí lze tedy i u této položky konstatovat, že se jednalo o jednu z nejnáročnějších otázek na zodpovězení v rámci celého

testování. Největší počet zcela *chybných odpovědí* uvedli žáci 9. ročníku (52,22 %), celkově pak žáci gymnázií (87,00 %) i 9. ročníku (86,66 %). U žáků 6. ročníků byla jako v předešlé úloze čteně zastoupena kategorie 5 *bez odpovědi* (42,86 %). Kódem 2 byla hodnocena například odpověď: „*Buňka se „roztáhne“, protáhne, uprostřed stáhne – zaškrtní a poté se rozdělí na 2 buňky dceřiné.*“ (resp. 1, GYM). Kódem 3: „*Jedna celá buňka se postupně rozdělí na 2. A když jsou poloviny rozděleny, vytvoří se všechny potřebné organely a druhá polovina chromozomů v jádře.*“ (resp. 142, ZŠ 9, zkrác. a uprav.). Kódem 8: „*Jedna buňka se rozdělí na 2, ze kterých se stanou samostatné buňky.*“ (resp. 107, ZŠ 9). Kódem 4: „*V buňce se začne tvořit více organel, což způsobuje rozpinání buňky, a tím se z jedné buňky vytvoří více buněk.*“ (resp. 104, ZŠ 9), „*Oddělí se a oddálí se.*“ (resp. 108, ZŠ 9) či „*K buňce plují miliony spermií. Jedna, výjimečně více, pronikne do buňky a oplodní ji.*“ (resp. 180, ZŠ 9, zkrác.).

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF byla následující: ZŠ 9 = 1,93; GYM = 2,00; ZŠ 6 = 1,62. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 5,56 % respondentů odpověď *určitě ano*, 18,89 % *spíše ano*, 30,00 % *spíše ne*, 36,67 % *určitě ne* a u 8,89 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na podkladě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 1,90; CFW = 1,87) lze konstatovat, že u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) i chybně (CFW) se jedná o nedostatečnou znalost, neboť žáci si svou odpovědí, která částečně či vůbec (ne)reflektovala vědecké poznání, spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií označilo 6,00 % respondentů volbu *určitě ano*, 22,00 % *spíše ano*, 25,00 % *spíše ne*, 34,00 % *určitě ne* a u 13,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,07; CFW = 2,04) je patrné, že žáci poskytující částečně správnou (CFPC) i chybnou (CFW) odpověď také vykazují nedostatečnou znalost, protože si svou odpovědí spíše nebyli jisti. U žáků 6. ročníku 9,52 % respondentů volilo odpověď *spíše ano*, 19,05 % *spíše ne*, 33,33 % *určitě ne* a u 38,10 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *určitě ano* nevolil žádný respondent. Z indexů (CFC = X; CFPC = 1,75; CFW = 1,80) plyne, že u částečně správných (CFPC) i chybných (CFW) odpovědí se jedná o téže model nedostatečné znalosti, kdy si žáci svou odpovědí spíše jisti nebyli.

Na druhou otázku neodpověděl *úplně správně* žádný respondent. *Neúplně, ale správně* odpovídalo větší % žáků než u otázky 1 – 15,56 % (ZŠ 9; ↑ nárůst o 13,34 %), 30,00 % (GYM; ↑ nárůst o 27,00 %) a 4,76 % (ZŠ 6) žáků. Chybné odpovědi vykazovalo 68,89 % (ZŠ 9), 63,00 % (GYM) a 42,86 % (ZŠ 6) žáků, z nichž si nejlépe vedli žáci gymnázií (30,00 % vs 63,00 %) a nejhůře naopak žáci 9. ročníku (15,56 % vs 68,89 %). Žáci 9. ročníku souběžně dosáhli největšího zastoupení zcela *chybných odpovědí* (35,56 %), shodně s úlohou 1. U 6. ročníku byla opětovně hojně frekventovaná kategorie 5 *bez odpovědi* (52,38 %), což jako v předešlém

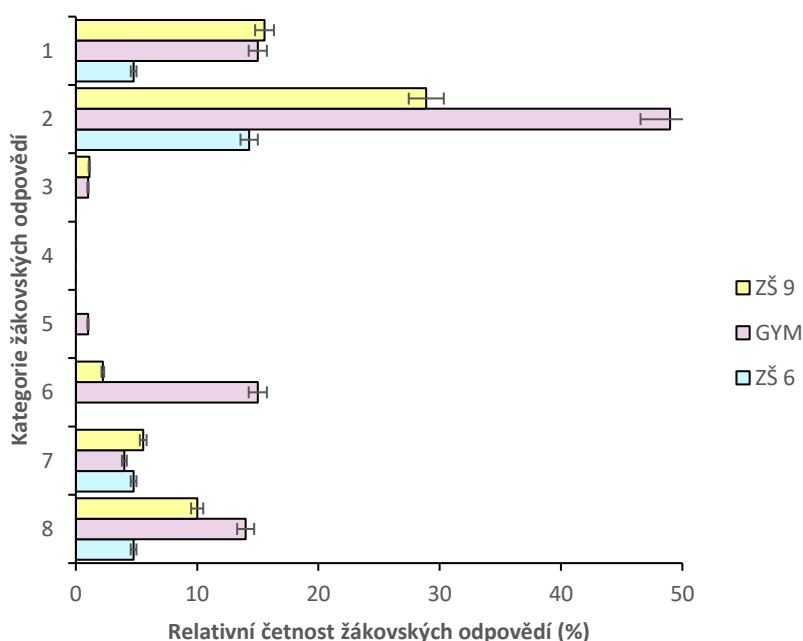
případě interpretaci poněkud znesnadňuje a zkresluje. Kódem 2 byla hodnocena například odpověď: „*Buňky po čase umírají, musí se vytvářet nové, aby staré mohly nahradit.*“ (resp. 8, GYM), „*Růst a vývoj organismu.*“ (resp. 175, ZŠ 9), „*Když je tělo napadeno nějakou nemocí – imunita.*“ (resp. 155, ZŠ 9), „*Při poškození organismu. Aby mohli „defendit“ tělo.*“ (resp. 154, ZŠ 9), „*Aby vytvářeli např. tkáň. Musí se obnovovat kvůli umírání buněk.*“ (resp. 153, ZŠ 9) nebo „*Přenos DNA.*“ (resp. 26, GYM) a „*Aby nezaničil život.*“ (resp. 3, GYM). Kódem 3: „*Staré buňky umírají. Nové se tvoří taky proto, aby měl organismus jako celek delší životnost, a aby když jsou nějaké buňky poškozeny (rána), bylo tělo schopné se zahojit.*“ (resp. 74, GYM). Kódem 4: „*Aby si mohli předat své zkušenosti.*“ (resp. 148, ZŠ 9) či „*Protože se přitahují.*“ (resp. 43, GYM). Žáci ve svých odpovědích uváděli několik zajímavých položek. Například, že se buňky rozmnožují, aby utvářely kolonie či mnohobuněčné soustavy, protože „*to mají zakódované v genetické informaci a je to jejich přirozenost*“, nebo aby zajistily přenos genetického kódu. Někteří žáci zmiňovali také evoluci buňky a její význam pro vznik koloniálních struktur a mnohobuněčnosti.

Otázku následovala Likertova škála, na níž žáci vyjadřovali subjektivní míru jistoty se správností své odpovědi. Průměrná hodnota míry jistoty celkem CF byla následující: ZŠ 9 = 1,91; GYM = 2,23; ZŠ 6 = 1,80. Ze žáků 9. ročníku uvedlo 8,89 % respondentů odpověď *určitě ano*, 12,22 % *spíše ano*, 25,56 % *spíše ne*, 37,78 % *určitě ne* a u 15,56 % položku nebylo možné vyhodnotit. Na základě vypočtených hodnot indexů správnosti (CFC = X; CFPC = 1,84; CFW = 1,85) lze konstatovat, že u žáků odpovídajících částečně správně (CFPC) i chybě (CFW) s jedná o nedostatečnou znalost, neboť si svou odpovědí spíše nebyli jisti. Ze žáků gymnázií volilo 9,00 % odpověď *určitě ano*, 29,00 % *spíše ano*, 27,00 % *spíše ne*, 26,00 % *určitě ne* a u 9,00 % položku nebylo možné vyhodnotit. Z indexů (CFC = X; CFPC = 2,26; CFW = 2,27) vyplývá, že žáci s částečně správnou (CFPC) i chybnou (CFW) odpovědí nemají dostatečné znalosti, jelikož si svou odpovědí spíše nebyli jisti. U žáků 6. ročníku 4,76 % respondentů zaznačilo odpověď *určitě ano*, 23,81 % *spíše ne*, 19,05 % *určitě ne* a u 52,38 % položku nebylo možné vyhodnotit. Kód *spíše ano* nevolil žádný respondent. Z indexů (CFC = X; CFPC = 1,80; CFW = 1,67) je patrné, že představy žáků s částečně správnou (CFPC) i chybnou (CFW) odpovědí lze označit za nedostatečné jako v předchozích případech, protože si správností své odpovědi spíše jisti nebyli.

Mezi výzkumnými skupinami nebyl dle t-testu žádný statisticky významný rozdíl ( $t > 0,05$ ). Dle  $\chi^2$  testu byly v rámci výzkumných skupin následující statisticky významné rozdíly – otázka 1: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 5,83252E-17$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 = 1,16388E-18$ ;  $p = 0,352$ ), ZŠ 6 ( $\chi^2 = 0,00542$ ;  $p = 0,352$ ); otázka 2: ZŠ 9 ( $\chi^2 = 9,19169E-08$ ;  $p = 0,352$ ), GYM ( $\chi^2 =$

4,01544E-08;  $p = 0,352$ ). Výsledky  $\chi^2$  poukazují na velmi nízké porozumění buněčnému dělení u všech výzkumných skupin (srov. kódy 1; 1 a 2; 1, 2 a 3,4; resp. 8). U druhé otázky se pro skupinu žáků 6. ročníku statisticky významný rozdíl nepotvrdil, neboť odpovědi nadpoloviční většiny z nich ( $\Sigma = 52,38\%$ ) byly hodnoceny kódem 5 = *bez odpovědi*.

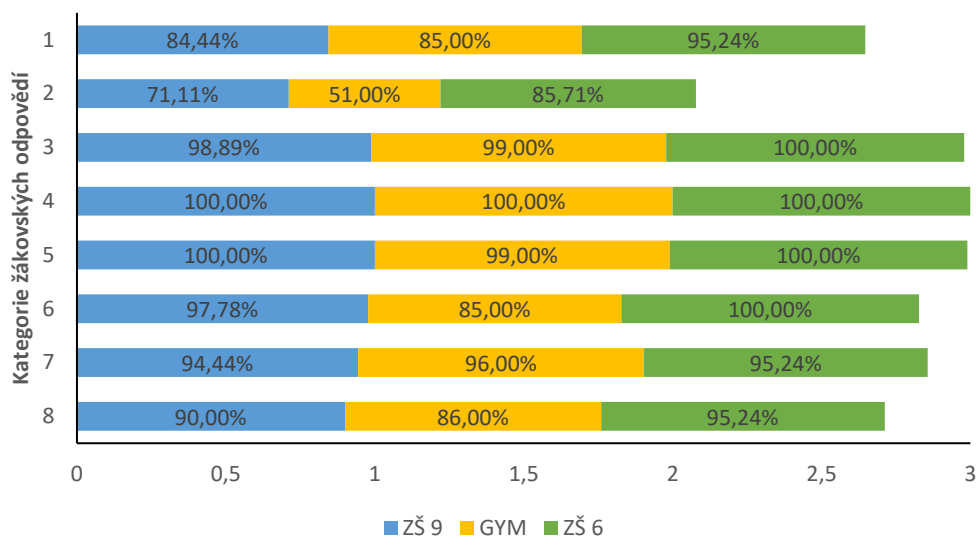
U druhé úlohy byly na základě obsahové analýzy a žákovských odpovědí také vymezeny a kódovány nejčastější kategorie uváděných důvodů, proč se buňky rozmnožují. Kategorie spolu s relativní četností jejich zastoupení sumarizuje graf 34.



**Graf 34: Kategorie žákovských odpovědí u otázky 2.** Vysvětlivky: Kód 1 = *růst*, 2 = *regenerace*, 3 = *tvorba gamet*, 4 = *namnožení zárodečných buněk*, 5 = *nepohlavní rozmnožování*, 6 = *přenos genetické informace/zachování života*, 7 = *imunitní obrana organismu*, 8 = *jiné*.

Z grafu vyplývá, že nejhojněji uváděným důvodem za všechny výzkumné skupiny byla *regenerace* (ZŠ 9 = 28,89 %; GYM = 49,00 %; ZŠ 6 = 14,29 %). U ZŠ 9 dále následoval *růst* (15,56 %), *jiné* (10,00 %), *obrana organismu* (5,56 %), *přenos genetické informace/zachování života* (2,22 %) a *tvorba gamet* (1,11 %). U GYM *růst* (15,00 %), *přenos genetické informace/zachování života* (15,00 %), *jiné* (14,00 %), *obrana organismu* (4,00 %), *tvorba gamet* (1,00 %) a *nepohlavní rozmnožování* (1,00 %). U ZŠ 6 *růst* (4,76 %), *obrana organismu* (4,76 %) a *jiné* (4,76 %). Nejvíce odpovědi poskytli žáci GYM (99,00 %), nejméně se vyjadřovali žáci 6. ročníku (28,57 %). Kategorii 4 žáci nevolili vůbec. Mezi zkoumanými výzkumnými skupinami byly statisticky významné rozdíly v porozumění buněčnému dělení u žáků 9. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00236$ ) ve prospěch žáků gymnázií, u žáků 6. a 9. ročníků ( $t = 0,02043$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 0,00003$ ) ve prospěch žáků

gymnázíí. Relativní četnost žákovských prekonceptů (miskonceptů) za dílčí kategorie je vyjádřena v grafu 35.



**Graf 35: Relativní četnost žákovských prekonceptů o buněčném rozmnožování (mitóze a meióze).** Vysvětlivky: Kód 1 = růst, 2 = regenerace, 3 = tvorba gamet, 4 = namnožení zárodečných buněk, 5 = nepohlavní rozmnožování, 6 = přenos genetické informace/zachování života, 7 = imunitní obrana organismu, 8 = jiné.

Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že nejvyšší procento prekonceptů (miskonceptů) je spjato s kategoriemi 4, 5 a 3. Kategorie 4 přitom žáky nebyla reflektována vůbec ( $\Sigma$  100,00 %). Největší % neznalosti či nepochopení se projevilo u žáků 6. ročníku, kteří dostáli hodnoty 100,00 % ve 4 kategoriích (3-6), následovaných žáky 9. ročníku. Žáci naopak nejméně chybovali v kategorii 2, kde všechny skupiny dosáhly nejnižšího % výskytu prekonceptů (ZŠ 9 = 71,11 %; GYM = 51,00 %; ZŠ 6 = 85,71 %). Mezi skupinami existují statisticky významné rozdíly v zastoupení prekonceptů u žáků 6. a 9. ročníků ZŠ ( $t = 1,04453E-07$ ) ve prospěch žáků 9. ročníku a u žáků 6. ročníku a gymnázií ( $t = 4,92256E-06$ ) ve prospěch žáků gymnázií.

Závěrem lze konstatovat, že tento test byl pro žáky jednoznačně nejnáročnější a souběžně svázán s velmi vysokým % zastoupením prekonceptů (miskonceptů). Test ukázal velmi nízké porozumění buněčnému rozmnožování stran žáků, ale také to, že si pletou mitotické dělení s meiotickým, nemají povědomí /či jen velmi nízké/ o jednotlivých dílčích fázích obou dělení, někteří z nich vůbec nevylišují mezi somatickými buňkami a gametami a domnívají se, že se všechny buňky dělí. Chromozomy do schémat zakreslilo celkem 124 žáků, organely 110. Redukci chromatid zohlednil pouze 1 respondent\*, jednotlivé fáze buněčného dělení adekvátně nereflektoval žádný z nich.

\*Pozn.: 1 žák z celého výzkumného vzorku pracoval ve schématu s polovičním počtem chromatid a pokusil se znázornit všechny fáze dělení, avšak mitózu zaměnil za meiózu.



## 6 DISKUSE

Z výsledků prvního konceptového testu vyplynulo, že žáci mají základní představu o stavbě buňky utvořenou částečně správně. Nejčastěji do svých schémat zakreslovali buněčné obaly, cytoplazmu, jádro a semiautonomní organely, přičemž u žáků 6. ročníku dominovaly chloroplasty a u žáků gymnázií mitochondrie. Někteří do nákrešů znázorňovali další struktury jako Golgiho aparát, cytoskelet, chromozomy, centrioly, jaderný obal, lysozomy, bičíky, plazmidy, fimbrie, pili či další nad rámec požadovaných na odpovídající úrovni žáků, avšak již v nižším % zastoupení. U žáků se souběžně objevovala celá řada shodných prekonceptů, bránících oborově správnému a ucelenému porozumění struktuře a funkci buňky. Hojně se jim pletly buněčné obaly, které vzájemně zaměňovali ať už ve svých nákresech nebo slovních vyjádřeních. Dané se čteněji objevilo u žáků 6. ročníku, kteří v kresbách živočišné buňky zcela opomíjeli cytoplazmatickou membránu, nebo ji považovali za buněčnou stěnu. Nejméně frekventovaným obalem pak bylo slizové pouzdro, jež u bakterií zmínilo pouhých 1,96 % respondentů z celkového výzkumného souboru. S nejnižší četností či nejvyšší mírou chybovosti žáci uváděli organely endoplazmatické retikulum (mezi hladkým a drsným ER vylišovalo minimální % respondentů), ribozóm, vakuolu a jadérko. Z výzkumů jednoznačně vyplývá, že náročnější retence těchto poznatků stran žáků může být ovlivněna mnohdy složitou odbornou terminologií i abstraktností jevů, které jsou (nejen) s buněčnou a molekulární biologii spjaty (Nolen-Hoeksema et al., 2012; Newman et al., 2016).

Výše uvedenému by odpovídalo jak užívání chybných či nepřesných termínů (např. namísto fimbrie *brvy*, obalu *cytoplazmatická membrána*), tak i vlastních alternativních pojmenování vybraných struktur (např. namísto fimbrie *chpadla*, *chloupky*, *vlásky*, *směrovky*) v žakovských schématech, jimiž se respondenti mnohdy snažili vystihnout skutečnou, nebo domnělou funkci dané organely. Na toto poukázali také Esquivel Martín et al. (2021), v jejichž studii se například shodně objevily pojmy *chloroplazma* nebo *nukleotid* namísto nukleoid. Zajímavým rysem kreseb byla také jejich nápadná podobnost se stereotypními učebnicovými schémata, na niž již ve své studii upozornil například Clément (2007). Podle něj se do nákrešů studentů promítá *nerozvinutá znalost* buněčné stavby, zapříčiněná prezentováním repetitivních a univerzálních schémat v učebnicích biologie bez ohledu na strukturní a tvarovou rozmanitost buněk a memorickým učením. Důležitou roli pak hraje i vlastní laboratorní zkušenost s pozorovanými preparáty buněk pod světelným mikroskopem, který však v kontextu dosažitelné rozlišovací schopnosti objektivu umožňuje pozorování pouze vybraných organel, což si žáci vždy nemusejí zejména v počátečních stádiích nácvičku mikroskopie uvědomovat

(Verhoeff et al., 2008). Tyto organely se ve zvýšené míře objevily také ve schématech žáků v této studii – žáci 6. ročníku, jež těsně před empirickým šetřením absolvovali laboratorní práci zaměřenou na pozorování buněk mechu měříku, u rostlinných buněk z nadpoloviční většiny zakreslovali buněčnou stěnu a chloroplasty (55 %), jež byly v preparátech měříku dobře pozorovatelné.

Storey (1990) ve vztahu k učebnicím přírodopisu a biologie upozorňoval na četné chyby v učebních textech, které žáci mohou při nedostatečné korekci stran pedagoga bezmyšlenkovitě přejímat a zabudovávat do svých kognitivních struktur ve formě prekonceptů (miskonceptů), což se v tomto výzkumu neprojevilo. Podotýkal také, že učebnice dostatečně nezdůrazňují stavební rozdíly u prokaryot a eukaryot. V tuzemských učebnicích byly odlišnosti názorně demonstrovány, přesto však žáci vykazovali nejvyšší % prekonceptů právě o stavbě bakteriální buňky. Nejúspěšnější byli v otázce nákresu rostlinné buňky žáci 9. ročníku i gymnázií. Opačný trend se projevil u bakteriální buňky, kde se naopak lépe dařilo žákům 6. ročníku. Žáci u všech typů buněk nezdědka zaměňovali buněčné obaly – obvykle v těchto případech zakreslili cytoplazmatickou membránu a označili ji za buněčnou stěnu (a obráceně), nebo oba obaly, ale v opačném pořadí. Na problém synonymního vnímání povrchových struktur upozornil na úrovni studentů učitelství biologie na vysoké škole například Hesse (2002) s tím, že k důkladnému porozumění struktuře, funkci a také fyziologii buňky je chápání těchto základů naprosto nezbytné, leč nikoliv automatické. Z celkového počtu 225 studentů navštěvujících jeho přednášky z buněčné biologie 25 % označovalo CM a BS ekvivalentně. Většina z nich měla problémy s odbornou terminologií, používala nepřesné či hovorové výrazy k popisu rozličných biologických jevů a vykazovala roztráštěné porozumění buněčné biologii ve smyslu koherence a utřízenosti poznatků z předchozích stupňů vzdělávání.

Dalším zajímavým rysem žakovské kresby, korelujícím s poznatkem Clémenta (2007) i pilotními schematickými nákresy žáků v rámci bakalářské práce autorky (včetně vyššího gymnázia), byla asociace příslušných typů buněk s určitým tvarem buněk i buněčných obalů. Žáci, v souladu s výsledky provedené obsahové analýzy učebnic přírodopisu (Dočekalová, 2021, s. 53), buňky nejčastěji zakreslovali kulatého, oválného, nebo proměnlivého tvaru. Rostlinnou buňku zakreslilo 6,25 % respondentů z celkového výzkumného souboru tvaru mnohoúhelníku (nejčastěji šestiúhelníku), 4,90 % znázornilo rostlinnou i živočišnou buňku vystouplou (3D) jako čteně v učebnicích. U bakteriální buňky dominovaly dle předpokladu tvary oválný (tyčinkovitý, bacil) a kulatý (často s bičíky, zbylé bez). U více než čtvrtiny respondentů z celkového výzkumného souboru se projevil také trend centralizace jádra uvnitř buňky, o němž se též zmínili například Esquivel Martín et al. (2021). Ti ve své studii

koncipované ve formě pre-testu a post-testu analyzovali kresby buněk 21 žáků vyššího středního vzdělávání, které poukázaly na rezistenci této domněnky u 6 z nich i po provedené instruktáži. Žáci v této i zmíněné studii jádro nicméně hojně zakreslovali nejen do struktury rostlinné a živočišné buňky, ale též bakteriální buňky, aniž by si uvědomovali, že ta membránové organely a pravé jádro nemá (ZŠ 9 = 58,14 %; GYM = 52,94; ZŠ 6 = 15,00 %). V nákresech se nezřídka nesprávně objevovaly semiautonomní organely – o jejich původu se současně zmiňovaly pouze vybrané tuzemské učebnice (např. Taktik 2017 či Prodos 2011).

Poměrně problematickým se jeví také slovní srovnání rozdílů ve stavbě příslušných typů buněk a přítomnosti či absence vybraných organel. Na první otázku odpovědělo úplně správně 1,16 % žáků 9. ročníku a 0,98 % žáků gymnázií, neúplně, ale správně 1,95 % žáků 9. ročníku, 47,06 % žáků gymnázií a 35,00 % žáků 6. ročníku. Porozumění strukturním rozdílům bylo průměrné až neodpovídající. Na druhou otázku odpovědělo neúplně, ale správně pouhých 5,81 % žáků 9. ročníku, 19,61 % žáků gymnázií a 10,00 % žáků 6. ročníku. Zajímavým zjištěním tedy byla skutečnost, že zatímco žádné ze schémat buněk nebylo hodnoceno jako úplně správné, v otázkách, požadujících slovní vysvětlení rozličné stavby žáky zakreslených buněk, se oborově správné představy objevily u 2,14 % z nich. Neschopnost relevantně zdůvodnit své odpovědi se ve víceúrovňovém testování promítla ve větší míře do odpovědí žáků ve studiích Lewis et al. (2000b) či Lewis a Wood-Robinson (2000), kteří se dlouhodobě věnují žakovskému porozumění genetice. Podle autorů jsou žakovská/studentická tvrzení často zmatečná a vyplývá z nich řada dalších prekonceptů, jež by výzkumníci nemuseli při standardním jednoúrovňovém testování vůbec odhalit. Tyto výsledky však nejsou nikterak překvapivé, neboť snížená schopnost českých žáků aplikovat teoreticky nabyté poznatky v praxi se opakovaně projevuje například v šetření PISA (Blažek et al., 2019). Při srovnávání stavby rostlinné a živočišné buňky žákům činily potíže zejména povrchové struktury (viz výše), (ne)přítomnost chloroplastu, ale také vakuol. Opětovně se zde ukázala lepší strukturní znalost rostlinné buňky oproti živočišné, která kopírovala žakovská schémata. Toto je v rozporu se závěry například Wandersee a Schussler (2002) či Comeau et al. (2019), kteří ve svých studiích upírali pozornost na nízký zájem (nejen) žáků o studium rostlin. Autoři tyto neznalosti a prekoncepty označovali termínem *rostlinná slepota* („*plant blindness*“; např. Wandersee a Schussler, 2002, s. 82) – Píšová (2021) a Jáč v kontextu nedostatečně rozvinuté didaktické znalosti obsahu (PCK) a její obsahové složky termín analogicky významově rozšiřují a zavádí pojem „*obsahová slepota – subject matter blindness*“. Toto pojetí lze v širším smyslu aplikovat na prekoncepty jakožto důsledek nedostatečného pochopení oborového obsahu.

Nejvyšší míru obsahové slepoty vykazovali žáci ve vztahu k bakteriální buňce, a to jak

v rámci schémat, tak slovních popisů požadujících srovnání se stavbou rostlinné a živočišné buňky. Žáci si o bakteriích i jejich stavbě utvořili řadu nepřesných a zavádějících představ, z nich zvláště zajímavé byly ty, jež vnímaly bakterie jako patogenní, „zlé“, „nebezpečné“ a „agresivní“ organismy, které pouze „přenášejí nemoci“. Jeden žák jim přisuzoval lidské smýšlení a podotýkal, že musejí být „osamělé“, neboť nejsou schopny utvářet kolonie/tkáně/pletiva, a „nemají tak kamarády“. Někteří si zase mysleli, že bakteriální buňky jsou takové buňky, které bakteriemi byly napadeny či je „přenášejí“ v cytoplazmě. Na tento fenomén poukazují práce mnohých autorů (např. Byrne et al., 2009; Marcilla et al., 2016; Carson et al., 2018; Ruiz-Gallardo et al., 2018). Byrne et al. (2009) ve své studii prezentují sérii žákovských kreseb, které dokládají antropocentrické vnímání mikroorganismů – uvažují, mají přání, konverzují mezi sebou apod. Většinou je na ně nahlíženo velmi zjednodušeným prizmatem, které na jednu stranu může učebnímu procesu pomoci, na druhou vést ke genezi celé řady prekonceptů, bránící realistickému porozumění jejich struktuře, funkci, významu v ekosystému, ekologii (např. dusíkový a uhlíkový cyklus) či roli v každodenním životě každého z nás (využití v biotechnologiích). Žáci si dle Carson et al. (2018) mikroorganismy obecně často spojují s přenosem nemocí a nedostatečnou hygienou, nezohledňujíce tak jejich nezastupitelný a pozitivní význam v koloběhu látek v přírodě, dávají jim lidské přívlastky a rozlišují je na „hodné“ a „zlé“. Představy mohou být dle autorky navázány na skutečnost, že se o nich děti již od raného věku učí smýšlet jako o „špinavých“, „nečistých“ strukturách, které nejsou přirozenou součástí okolního prostředí i našich těl, nýbrž nežádoucí původci nemocí – spjaty mohou být s nezbytným osvojením základních návyků důsledné hygieny rukou (např. Marcilla et al., 2016; Morcillo et al., 2021). Tyto domněnky evidentně přetrvávají, aniž by si žáci kriticky uvědomovali, že bakterie jsou všudypřítomné a zdaleka ne všechny patogenní. V nákresech v této studii žáci navíc bakterie mnohdy zaměňovali za viry, k čemuž mohla přispět kromě tradičních prekonceptů také pandemie COVID-19. Simard (2021) k tomuto podotýká, že právě nyní je více než kdy předtím nezbytné vést žáky ke komplexnímu pojmání těchto organismů.

Výsledky druhého konceptového testu poukázaly na problémy vybraných žáků, svázané s hierarchickým uspořádáním organismů. Rostlinné tělo dokázalo správně sestavit 27,19 % (ZŠ 9), 63,46 % (GYM), 25,00 % (ZŠ 6) žáků a částečně správně (1 záměna) 33,72 % (ZŠ 9), 18,27 % (GYM), 20,00 % (ZŠ 6) žáků. Nečastěji chybovali u *roslinné buňky – chloroplastu*, *základního listového pletiva – chloroplastu – roslinné buňky*, *základního l. pletiva – roslinné buňky* a žáci 6. ročníku také u *základního listového pletiva – chloroplastu*. Živočišné tělo správně sestavilo 19,77 % (ZŠ 9), 59,62 % (GYM), 15,00 % (ZŠ 6) žáků a částečně správně

(1 záměna) 32,56 % (ZŠ 9), 25,00 % (GYM), 25,00 % (ZŠ 6) žáků. Nejhoněji zaměňovali *nervovou soustavu – mozek, nervovou buňku – mitochondrii, nervovou buňku – nervovou tkáň – mitochondrii, nervovou tkáň – nervovou buňku* a žáci 6. ročníku také u *nervové tkáně – mitochondrie*. Tento test se žákům jevil jako nejjednodušší a současně v něm dosáhli nejvyššího % úspěšnosti zpoza *úplně správných* odpovědí. Z výsledků  $\chi^2$  testu vyplynulo, že žákovské porozumění bylo u žáků gymnázií v obou případech dobré, u žáků základních škol spíše dobré a nejhůře si vedli žáci 6. ročníku. Překvapivým faktem je, že se žákům opětovně jako u výsledků prvního testu lépe dařilo v porozumění rostlinné stavbě. Na potíže malých dětí a žáků se stavbou rostlinného těla a *rostlinnou slepotu* již od útlého věku přitom odkazují četné práce s tím, že děti často preferují právě živočichy, kteří jsou jim blíže (např. Wandersee a Schussler, 2002; Villarroel a Infante, 2013; Anderson et al., 2014).

Ve vazbě na uspořádání lidského těla činila žákům zdaleka největší obtíže hierarchická posloupnost nervové soustavy. O tom, že žáci nemají (nejen) o orgánových soustavách a fyziologii člověka ucelené poznatky, svědčí celá řada výzkumů napříč různými stupni vzdělávání (např. Arnaudin a Mintzes, 1985; Chi et al., 1994; Silverthorn, 2002; Bahar et al., 2008). Canlas a Molino-Magtolis (2022), jež se věnovali diagnostice prekonceptů o orgánových soustavách kresbou, ve své studii poukázali na nedostatečnou znalost nervové soustavy u vysokoškolských studentů učitelství biologie – pouhá 2 % ze 138 studentů ji byla schopna správně zakreslit do schématu s ostatními orgánovými soustavami a řada z nich ji měla zcela nesprávně spojení pouze s mozkem. V této studii žáci velmi frekventovaně zaměňovali položky *mozek a nervová soustava*, aniž by si uvědomovali, že mozek je součástí centrálního nervového systému. Z výsledků obou úloh obecně vyplývá, že uvědomování si hierarchické uspořádanosti, funkce a fyziologie živých soustav či přecházení mezi jednotlivými stupni činí žákům velké obtíže a představuje pro ně mnohdy neřešitelnou hádanku. Daná problematika se objevuje také v odborné literatuře. Hovoří o ní například Brown a Schwartz (2009), Duncan a Borwinkel (2018) či Verhoeff et al. (2018). Neuspořádanost žákovských pojetí je pak dobře patrná zejména v mikroskopické, molekulární, dimenzi (Lewis et al., 2000a; Nehm, 2019) – blíže viz podkapitola 3.1.2 a dále. V této studii se dané promítlo na úrovni buněk a organel – např. organely nervové buňky. V kontextu tohoto Ranaweera a Montplaisir (2010) nepříznivě dokreslují, že v jejich studii u vysokoškolských studentů navštěvujících přednášky z Fyziologie člověka a živočichů nezvládla zcela správně zakreslit stavbu neuronu ani polovina z nich ( $\Sigma$  147).

Výsledky třetího konceptového testu ukázaly, že žáci mají o funkci buňky vytvořeny oborově správné představy, prekoncepte i miskoncepte. Funkci jádra zvládlo úplně správně

charakterizovat pouze 0,96 % a funkci chloroplastu 1,92 % žáků – v obou případech se jednalo o žáky gymnázií; u zbylých organel ani 1 respondent. Nejvyšší míru zastoupení prekonceptů vykazovali žáci ve vztahu k (1) buněčné stěně, (2) jádru, (3) chloroplastu a konečně (4) mitochondrii. Představy žáků víceméně reflektovaly typické prekoncepty, detailně popsané již v bakalářské práci (kap. 3.3). Žáci si funkci buněčné stěny mátlí s jinými obaly, takřka nereflektovali kategorie 2 a 5 – *udává buňce stálý tvar a zajišťuje vzájemné propojení buněk*. O jádru nejčastěji smýšleli jako o řídicí organele, a o genetické informaci (uložení v buňce, přenosu, kódování proteinů) měli poměrně nízké, nebo vůbec žádné povědomí (viz dále). U chloroplastu nezdědka zaměňovali jeho funkci s mitochondrií. Uvědomovali si, že v něm probíhá fotosyntéza, avšak již nevěděli, kde konkrétně (thylakoidní membrány), nerozuměli významu a průběhu fotosyntézy, neměli detailnější povědomí o tvorbě sacharidů, prakticky vůbec neznali fotosyntetické pigmenty ani princip vycytávání fotonů. Velmi nízké znalosti měli žáci o funkci mitochondrie. Všechny výzkumné skupiny zmínily, že v ní probíhá buněčné dýchání, jež však nedokázaly blíže popsat. Vznik energie uváděli žáci gymnázií, méně čteně 9. ročníku, žáci 6. ročníku vůbec. Žáci si ve většině případů neuvědomovali význam ani funkci mitochondrií v buňce, nerozuměli procesu buněčného dýchání a někteří dokonce uváděli, že se v nich vytváří kyslík pro okysličování tkání a orgánů. Typická byla již zmíněná problematika terminologie, zjednodušování a nepřesného vyjadřování (Newman et al., 2016) – žáci třeba uváděli, že si rostliny v chloroplastech „*tvorí jídlo*“, „*mění energii na jídlo*“, chloroplasty „*barví rostliny*“ nebo se v nich „*dělá fotosyntéza*“ apod. Obdobně např. Treagust a Haslam (1986), Tekkaya (2002), Köse (2008), Anderson et al. (2014), Galvin et al. (2015), Wynn et al. (2017) a mnozí další.

U otázky věnované funkci jádra žáci čteně uváděli další zajímavé prekoncepty. Tvrdili například, že každá buňka má pouze 1 jádro (někteří také doplňovali, že je vždy kulaté a uprostřed buňky) nebo, že každá buňka má vždy jádro(,) či že se všechny buňky dělí. Vybraní se domnívali, že je genetická informace u všech buněk totožná, anebo naopak, že různé buňky obsahují odlišnou genetickou informaci dle funkce, k níž jsou přizpůsobeny. Podstatná část věřila tomu, že mezi somatickými buňkami a gametami není žádný rozdíl, což se projevilo ve výsledcích konceptového testu 4 (viz např. Lewis et al., 2000b; Wood-Robinson et al., 2000). Menší část smýšlela tak, že sebemenší změny v genetické informaci se projeví na úrovni celého organismu (Gericke a El-Hani, 2018). Pár žáků uvádělo, že jediné geny kódují komplexní znaky, na nichž se spolupodílí celá řada genů, a/nebo absolutně nezohledňovali vliv prostředí (Mills Shaw et al., 2008). Naproti tomu 3 žáci zmiňovali nezbytnost regulace buněčného cyklu a buněčného dělení, 2 v tomto kontextu nádorové bujení

a apoptózu, 1 žák okrajově replikaci a tvorbu mRNA. V souladu s Marbach-Ad a Stavy (2000) a Riemeier (2005) se projevila skutečnost, že žáci mnohdy neumí aplikovat teoretické poznatky do praxe, propojovat osvojené znalosti a schopnosti, stavět je do uceleného rámce a popsat molekulární mechanismy buňky s provázaností veškerých vědomostí.

Konceptový test 4 poukázal na nízké porozumění buněčnému rozmnožování stran žáků všech sledovaných výzkumných skupin. Z výsledků jasně vyplývá, že test byl pro žáky nejnáročnější ze všech sad a současně v něm dosáhli největšího % zastoupení prekonceptů (miskonceptů). Schéma mitotického dělení zakreslilo nesprávně 78,89 % (ZŠ 9), 67,00 % (GYM) a 47,62 % (ZŠ 6) žáků, a to i přestože schémata byla posuzována na odpovídající úrovni nižšího sekundárního vzdělávání (zpoza pochopení principu – první se dělí jádro, organely, posléze buňka, tvar „*potravinářského piškotu*“, zaškrvení, rozdělení buňky na 2 atd.). Na doplňující otázku, požadující slovní popis zakresleného průběhu dělení, odpovědělo částečně správně či chybně 65,55 % (ZŠ 9), 49,00 % (GYM) a 42,85 % (ZŠ 6) žáků. Žáci často splnili zadání úlohy pouze zpola, když znázorňovali nebo zmiňovali jen výsledek buněčného dělení. Ve druhé otázce si žáci gymnázií a 9. ročníku vedli s ohledem na zcela špatné odpovědi o něco lépe, přesto však lze hovořit pouze o mírném zlepšení. Navýšil se také počet žáků odpovídajících neúplně, ale správně, a současně částečně správně – důvody, proč se buňky rozmnožují, uvedlo částečně správně či nesprávně 68,89 % (ZŠ 9), 63,00 % (GYM) a 42,86 % (ZŠ 6) žáků. Výsledky žáků 6. ročníku byly v podstatě shodné, a to z důvodu vysokého zastoupení chybějících odpovědí – žáci v průběhu šetření uváděli, že na ně neznají odpověď, a nejednalo se tak dle nich o jiné důvody, které nevyplněná pole mohly zapříčinit (absence času, neochota některých žáků test vyplňovat apod.). V kategoriích žakovských odpovědí se hojněji promítly položky *regenerace, růst*, méně frekventovaně *přenos genetické informace/zachování života, imunitní obrana organismu a jiné*.

Žáci ve svých schématech i slovních odpovědích vykazovali řadu nedostatečných znalostí, prekonceptů a miskonceptů. Nereflektovali výchozí somatickou buňku, pletli si somatické buňky s gametami, opomíjeli fáze buněčného dělení (alespoň na úrovni profáze, metafáze, anafáze, telofáze), nebo znázorňovali pouze jeho výsledek, a sice 2 buňky dceřiné (např. Lewis et al., 2000b; Wood-Robinson et al., 2000). Vybraní žáci také výchozí schéma pouze dále kopírovali. Řada žáků si pletla mitotické dělení s meiotickým. S chromozomy většinou nepracovali, leč je zakreslovali – o redukci chromozomů zpoza chromatid se pokusil pouze 1 žák; někteří je zase po celou dobu trvání dělení (nebo jeho podstatnou část) zakreslovali do ekvatoriální roviny. Dle vzorové buňky čteněji zakreslovali alespoň organely. Mnozí z nich si vůbec neuvědomovali a nezohledňovali přítomnost/absenci vybraných struktur v průběhu

buněčného dělení. Někteří správně znázorňovali zaškrcení buňky, ale opomíjeli přítomnost kontraktilního prstence (správně viz obr. 43), jiní zase hovořili o fragmoplastu, který je typický pro rostlinnou buňku (např. Kindfield, 1991; Öztap et al., 2003; Dikmenli, 2010). Ve slovních tvrzeních pak hojně chybovali ve výše zmíněných domněnkách, ale také úvahách typu „(Mitotické dělení je) *úplně stejný proces jako nepohlavní rozmnožování u bakterií a prokaryot.*“, „*Čím víc buněk, tím bude organismus větší.*“, „*Čím více buněk (organismus) má, tím bude dokonalejší.*“ nebo „*Když organismus roste, zvětšují se jeho buňky, a tím je větší.*“ (absence dělení).

Studie různých výzkumníků dokazují, že dané prekoncepce jsou perzistentní napříč všemi vzdělávacími stupni. Kindfield (1991) například ve své studii podrobila výzkumu vysokoškolské pregraduální, postgraduální studenty, a dokonce zkušené akademické pracovníky z katedry Genetiky a molekulární biologie jisté prestižní univerzity. Respondenti, včetně pedagogů, vykazovali řadu nepřesných představ – činila jim obtíže souvislost buněčného cyklu, replikace a buněčného dělení. Problém měli též s počty chromozomální sad a chromatid před a po skončení buněčného dělení. Newman et al. (2012) upozornili na problematiku hierarchického uspořádání přecházení mezi vybranými stupni na molekulární úrovni (obdobně např. Duncan a Reiser, 2007). V jejich práci vysokoškolští studenti prokázali neporozumění struktuře chromozomů, DNA nebo toku genetické informace v buňce v kontextu centrálního dogmatu molekulární biologie. Murtonen et al. (2018) také poukázali na nedostatečnou znalost fází buněčného dělení – mitózy a meiózy. V tomto případě se však primárně zaměřovali na meiotické dělení a studentům přímo zadávali, které fáze mají zakreslit (například srovnání metafázi u obou typů dělení) či výchozí počet chromozomů ( $2n = 6$ ). Dikmenli (2010) došla ke shodným závěrům. V její studii měli vysokoškolští studenti učitelství obtíže s konceptuálním rámcem – buněčný cyklus, buněčné dělení, mitóza, meióza. Studenti nerozuměli vztahu mezi chromozomy a chromatidami, centrozomy a centriolami, homologními chromozomy nebo mitotickým aparátem. Ekvivalentně jako v této studii dostatečně nerozlišovali mezi haploidními a diploidními jádry. Shodně se studií Brinschwitz (2002) i zde žáci nechápali, že se buňky při mitotickém dělení zmenšují, a tuto skutečnost ve svých nákresech tedy mnohdy nezohledňovali – pokud ano, ve slovním popisu se to již neobjevilo, takže se nejspíše jednalo o nepřesnou domněnku, náhodu nebo tip.

Z výsledků konceptových testů jasně vyplynulo, že pro žáky byl nejjednodušší KT 2, v němž dosáhli nejvyšší % úspěšnosti. Nejtěžší byl naopak KT 4, v němž dosáhli největší % chybovosti, následován KT 1 a KT 3. Toto se shodovalo i s výpověďmi žáků po skončení testování, kdy měli prostor se ke všem položkám a jejich kognitivní náročnosti či vhodnosti



výběru zadaných úloh vyjádřit. Žáci většinou uváděli, že jim obecně KT 1 a KT 4 připadaly velmi náročné, KT 3 spíše náročný a KT 2 zpravidla jednoduchý (s tím, že si nebyli jisti v jedné, maximálně dvou sekvencích). Ke KT 1 podotýkali, že se jim typy buněk pletou (též s „prvky“), nerozumí systematickému třídění mikroorganismů a jejich strukturnímu uspořádání, neznají rozdíly mezi bakteriálními a virovými nemocemi, a tudíž si jejich původce ani nedovedou představit, terminologii vázanou (nejen) k buněčné biologii považují za náročnou a celou oblast za velmi abstraktní a složitou na pochopení. Někteří současně dodávali, že je probírání příslušných tematických celků velmi detailní, nemají dostatek času na kvalitní obsáhnutí konceptuálního rámce a pochopení dané problematiky a souběžně na toto ani není kladen akcent – vyučujícím dle jejich slov někdy stačí, aby žáci *zvládli projít testy*, a nemusejí tak vlastně problematice rozumět. Žáci víceletých gymnázií naopak čteně kvitovali repetitivní opakování látky v průběhu studií a „nabalování učiva“, kdy si tak celky mohou lépe a důkladněji osvojit, na čemž mohou stavět ve vyšších ročnících na vyšším gymnáziu. Výsledky KT 4 odpovídaly také výpovědím vyučujících daných žáků, kteří uváděli, že se výuce buněčného dělení na nižším stupni příliš nevěnují a ponechávají tuto látku spíše do vyšších ročníků.

Žáci dále obecně hodnotili buněčnou biologii za velmi složitou na pochopení – dodávali však, že i přes vysokou náročnost a požadavky kladené na odborné vědomosti, jim celek přijde důležitý a shledávají jeho poznatky přínosné a aplikovatelné do reálného života – zejména v kontextu biologie člověka, onemocnění, zdravého životního stylu a využívání moderních konceptů biotechnologií. U většiny žáků nicméně celek příliš oblíben nebyl (na rozdíl od laboratorních cvičení) – podotýkali však, že vždy záleží na tom, jak je jim každá látka stran pedagoga předkládána. Molekulární biologii a genetiku hodnotili obdobně s tím, že s ní mají často problémy právě proto, že nemají dostatečně osvojeny základy buněčné biologie. Všechny zmíněné oblasti pak hodnotili jako nejnáročnější oblasti výuky biologie – s tímto se autorka sama setkala při výuce na nižším i vyšším gymnáziu, a to včetně maturitních i nematuritních specializovaných biologických seminářů. Často pak narážela na problém, kdy žáci ani v maturitním semináři někdy nerozuměli základním konceptům (např. při výuce proteosyntézy, jež byla v práci rozebírána). Shodně se k této problematice vyjadřovali i pedagogové žáků, pro které výuka daných oblastí nezřídka představovala skutečný „oříšek“ ve vazbě na uchopení přednášené látky – metody, formy, obsah, rozsah, konceptuální rámec<sup>11</sup>.

---

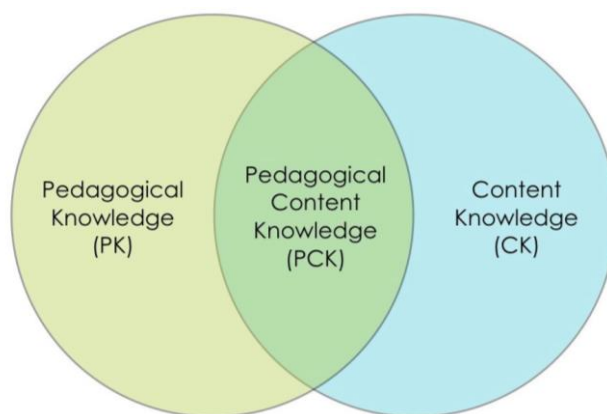
<sup>11</sup> Nad rámec práce byly realizovány rozhovory s některými předními tuzemskými odborníky na poli buněčné, molekulární biologie a genetiky, didaktiky či vybranými pedagogy žáků ze škol, účastnících se výzkumu. Mezi oslovené patřili například Prof. RNDr. Jan Černý, Ph.D., RNDr. Lenka Pavlasová, Ph.D., či Mgr. Jan Husák. Z důvodu velké obsáhlosti práce a doplňkového významu rozhovorů však do ní nakonec nebyly zařazeny.

V testech si prokazatelně nejlépe z celého výzkumného souboru vedli žáci gymnázií. Obě ověřované hypotézy z Cílů práce byly statisticky částečně potvrzeny spočtenými  $\chi^2$  testy a t-testy, a dokazují jednak vyšší míru porozumění konceptům buněčné biologie a dále nižší relativní % zastoupení prekonceptů u žáků gymnázií. Gymnazisté si zpoza první hypotézy vedli lépe ve většině případů u KT1-KT3 a v případě druhé hypotézy u KT 1 (pouze v jediné testové úloze byli lepší žáci 9. ročníku) a velmi dobře u KT2-KT4, kde dosáhli oproti ZŠ vysoké míře úspěšnosti při řešení většiny testových úloh. Hypotéza 1: V rámci KT 1 dosáhli žáci gymnázií vyšší míry úspěšnosti ve všech případech správně uváděných organel ve schématech rostlinné, živočišné i bakteriální buňky, u ostatních položek nebyl shledán žádný statisticky významný rozdíl. V KT 2 byly statisticky významné rozdíly v četnosti zaměřovaných struktur rostlinného a živočišného těla i % zastoupení prekonceptů o hierarchickém uspořádání dle t-testu. V KT 3 byly statisticky významné rozdíly u porozumění funkce jádra a chloroplastu. V KT 4 byl shledán statisticky významný rozdíl v kategoriích žákovských odpovědí u poslední otázky, tážající se na důvody, proč se buňky rozmnožují. Hypotéza 2: V rámci KT 1 dosáhli žáci gymnázií vyššího % zastoupení prekonceptů pouze v případě správnosti sestavených schémat všech typů buněk – jednalo se o ojedinělý výsledek v rámci  $\Sigma$  KT, kdy ve všech zbylých případech statisticky významných rozdílů byli lepší žáci gymnázií. V KT 2 byly statisticky významné rozdíly u zaměřovaných struktur rostlinného a živočišného těla. V KT 3 byly statisticky významné rozdíly u otázek č. 1, 2 a 4. V KT 4 byly shledány statisticky významné rozdíly u schématu mitotického dělení a obou doplňujících otázek.

Na základě výsledků lze v obecnější rovině říci, že žáci gymnázií byli ve většině sledovaných parametrů úspěšnější než jejich vrstevníci z 9. ročníku ZŠ. Přesto však byly úlohy, které jim činily obtíže, anebo jejich výsledky byly srovnatelné se žáky ZŠ, tj. nepotvrdila se statistická významnost. Příčin může být spousta – dá se spekulovat například o větší práci s názorností na základní škole (viz lepší výsledky v nákresech buňky u žáků ZŠ 9), probírání tématu více do hloubky u žáků gymnázií (vyšší úspěšnost ve většině testových úloh), faktoru času a nedostatečné práce s cyklickým osnováním učiva (testové položky, u nichž se statistická významnost nepotvrdila) – nelze ověřit, neboť autorka nemá přístup ke všem ŠVP škol. Výsledky mohli ovlivnit také potenciální rozdílná úroveň žáků a jejich vyučujících, průběh realizace výuky, pandemie COVID-19 (6. ročník), vztah žáků ke vzdělávacímu předmětu Přírodopis/Biologie, přístup vyučujících a pojmání daného tematického celku a vyučovacího předmětu, frekvence zařazování laboratorních prací do výuky a jejich zaměření. U žáků 6. ročníku se do schémat buněk často promítaly typické organely, pozorovatelné v preparátech pod světelným mikroskopem. Mladší žáci pracovali s mikroskopem vícekrát do roka – alespoň

1x měsíčně, starší žáci pak méně – žáci 9. ročníků maximálně 2x do roka, žáci na gymnáziích častěji. Na Gymnáziu ve Valašském Meziříčí byla zjištěna povinná hodinová dotace laboratorních cvičení 0,5 h (2 hodiny/měsíc) v 1. a 2. ročníku čtyřletého gymnázia a ve 3. a 4. ročníku šestiletého gymnázia za povinné dělby žáků do skupin. Dále 0,25 h (2 hodiny/8 týdnů) ve 3. ročníku čtyřletého a v 5. ročníku šestiletého gymnázia. Výchozí hodinová dotace je navíc posílena disponibilní dotací – 0,5 h (1. ročník čtyřletého a 3. ročník šestiletého gymnázia), 1 h (3. ročník čtyřletého a 5. ročník šestiletého gymnázia) až 1,5 h (2. ročník čtyřletého a 4. ročník šestiletého gymnázia; ŠVP GFPVM, 2013/2014). Hodinová dotace laboratorních cvičení a praktické výuky zcela jistě koreluje s mírou a rozvinutostí porozumění konceptům (nejen) buněčné biologie. K lepšímu porozumění by tedy určitě přispělo zvýšení hodinové dotace například na 3-6 povinných laboratorních cvičení ročně dle celkové hodinové dotace předmětu. Ideálním se pro důkladné osvojení a rozvoji konceptů i praktických zkušeností v tomto případě jeví ŠVP Gymnázia Františka Palackého ve Valašském Meziříčí.

Závěrem, provedený výzkum ukázal, že žáci mají o stavbě a funkci buňky vytvořenu celou řadu alternativních představ, prekonceptů a miskoncepcí, s nimiž je pro precizní pochopení buněčné biologie nezbytné pracovat. Současně mnohdy vykazují neschopnost aplikace teoretických poznatků do praxe, myšlení v souvislostech a vzájemného propojování nabytých vědomostí (srov. Blažek et al., 2019). Podstatná část žáků považuje buněčnou biologii za velmi náročnou a poměrně abstraktní vědní disciplínu, jejíž koncepty je složité obsáhnout. Pro její výuku se tak jeví stran pedagogů jako podstatné uvědomění si klíčového významu a důležitosti praktické výuky biologie včetně pravidelného nácviku mikroskopie, pomocí kterých lze vybrané prekoncepte překlenout, a provést žáky úskalími mnohých náročných jevů (Barker, 1981; Jáč, 2018), i četnost jejího zařazování (srov. Neckařová, 2021). Nezbytným elementem je také expertní faktor, tj. *didaktická znalost obsahu* (viz obr. 48), samotného pedagoga, jenž žáky výukovým procesem provází a zodpovídá za jeho kvalitu.



**Obr. 48: Integrativní model didaktické znalosti obsahu** (převzato z archivu Martina Jáče)

Didaktická znalost obsahu je průnikem dvou množin, tedy znalosti psychologicko-pedagogických disciplín (PK) a oborových znalostí (CK). Pokud pedagog kvalitně ovládá oba pilíře a prokazuje orientaci ve svém oboru, je pak schopen uzpůsobit svou výuku i způsob předávání informací (komunikační kód) žákům a studentům dané věkové kategorie, vhodně volit její obsah, rozsah i náročnost (Shulman, 1986; Shulman, 1987). Je důležité si také uvědomovat, že žáci do vzdělávacího procesu nepřicházejí jako nepopsané listy, nýbrž každý z nich s unikátním vnitřním souborem rozličných představ a pojetí, jež si vytvářejí od raného věku (Bertrand, 1998; Škoda a Doulík, 2010). Pedagogové na těchto poznatcích mohou ve své výuce stavět a dále je rozvíjet a korigovat směrem k oborově správnému pojetí. Výsledky všech konceptových testů jasně prokázaly, že pokud se se žákovským poznáním nepracuje, stagnuje, prekoncepce se stávají značně rezistentní a někdy bohužel trvalou součástí oborového myšlení. Výuka buňky by optimálně měla být zařazována repetitivně, cyklicky, s postupným nárůstem informací. Pozornost je žádoucí upírat také na průběžnou diagnostiku (pre)konceptů, neboť jen tak bude výuka podnětná, rozvíjející a výukový prostor nebude živnou půdou pro jejich realizaci (Koba a Tweed, 2009).

Hlavním smyslem této práce je nabídnout tuzemským pedagogům ucelený přehled různých alternativních pojetí, která žáci ve vztahu k buněčné biologii mají, a jež je ve výuce vhodné pro její maximální zkvalitnění a regulaci žákovského porozumění zohledňovat. Konceptové testy lze volně využít k diagnostice žákovských prekonceptů na úrovni nižšího i vyššího sekundárního vzdělávání za vhodné modifikace kategorií. Součástí práce jsou také náměty na praktická cvičení a návrhy na alteraci vybraných prekonceptů, které lze do vlastní výuky snadno implementovat, a to včetně metodiky 3A.

## 7 ZÁVĚR

Předložená diplomová práce byla zaměřena na problematiku žákovského (studentského) porozumění buněčné biologii a žákovských prekonceptů v této oblasti. V teoretickém přehledu byla formou literární rešerše zpracována struktura a funkce v živých soustavách na různých hierarchických úrovních, provedena srovnávací analýza tuzemského a zahraničního kurikula pro základní a střední vzdělávání, a dále byly dle odborné literatury navrženy výukové strategie a náměty na praktickou a laboratorní výuku (nejen) buněčné biologie, zacílené na překlenutí vybraných prekonceptů. V empirické části práce bylo realizováno rozsáhlé výzkumné šetření, zaměřené na diagnostiku žákovských prekonceptů o stavbě, funkci a fyziologii buňky, buněčném dělení a hierarchickém uspořádání živých soustav, s využitím sady 4 konceptových testů. Výsledky žáků byly za dílčí testy srovnávány mezi všemi výzkumnými skupinami prostřednictvím  $\chi^2$  testu, t-testu a indexů správnosti, přičemž pro skupiny ZŠ 9 a GYM byly ověřovány stanovené výzkumné hypotézy (viz Cíle práce, s.10). Žákovské představy (*koncepty*) byly s ohledem na oborovou správnost a kritickou hodnotu indexu CRI vylišovány na *oborově správné představy*, částečně správné představy – *prekoncepce* (neúplné, nepřesné, nerozvinuté) a mylné či alternativní představy – *miskoncepce*. Hlavní zjištění práce jsou následující:

- a) Žáci mají o stavbě a funkci buňky utvořeny oborově správné představy, četné neúplné, nepřesné a částečně správné představy (prekoncepce) či nedostatečné znalosti (resp. miskoncepce);
- b) Stavbu rostlinné a živočišné buňky bylo úplně správně schopno srovnat pouhé 1 % respondentů, neúplně, ale správně 46 % dotazovaných. Stavbu těchto 2 typů nebyl s bakteriální buňkou schopen úplně správně srovnat žádný žák, neúplně, ale správně pouze 17 % respondentů;
- c) Schéma stavby rostlinné, živočišné ani bakteriální buňky nebyl úplně správně schopen nakreslit žádný žák – porozumění bylo velmi nízké u všech sledovaných skupin. Neúplně, ale správně zakreslilo schéma rostlinné buňky 55 % respondentů, živočišné buňky 46 % a bakteriální buňky pouhých 18 % dotazovaných;
- d) Nejvyšší míru znalostí organel a jejich správných pojmenování vykazovali žáci ve vztahu k rostlinné buňce, nejmenší strukturní znalost a souběžně nejvyšší % zastoupení prekonceptů u bakteriální buňky;
- e) Žáci do schémat nejčastěji kreslili buněčné obaly (které však nezřídka zaměňovali),

cytoplazmu, jádro a semiautonomní organely, nejméně či s nejvyšší mírou chybovosti endoplazmatické retikulum, ribozóm, vakuolu a jadérko;

- f) Bakteriální chromozom(y) neuměl správně pojmenovat žádný žák. Slizové pouzdro pouze žáci gymnázií (27 %). 61 % žáků z celého výzkumného souboru nesprávně zakreslovalo do bakteriální buňky jádro. 8 % žáků nerozlišovalo mezi bakteriemi a viry;
- g) 55 % žáků dokázalo úplně správně uspořádat struktury tvořící rostlinné tělo dle hierarchické posloupnosti a 45 % žáků struktury tvořící živočišné tělo;
- h) Mezi nejčastěji zaměňované sekvence v rámci uspořádání rostlinného těla patřily: chloroplast, rostlinná buňka a základní listové pletivo (20 %), rostlinná buňka a základní listové pletivo (14 %), chloroplast a rostlinná buňka (12 %). Mezi nejhojněji zaměňované sekvence v rámci živočišného těla patřily v absolutně nejvyšším % zastoupení mozek a nervová soustava (31 %);
- i) Funkci jádra úplně správně charakterizovalo pouhých 0,5 %, neúplně, ale správně 85 % respondentů. Funkci chloroplastu správně rozumělo pouhých 1 %, neúplně ale správně 59 % dotazovaných. Funkci buněčné stěny zcela správně nepopsal žádný respondent, neúplně, ale správně 99 %. Funkci mitochondrie zcela správně neuvedl žádný respondent, neúplně, ale správně 31 %;
- j) Téměř polovina žáků se domnívala, že mezi somatickými buňkami a gametami není žádný rozdíl. Jedna čtvrtina žáků věřila, že všechny buňky obsahují totožnou genetickou informaci/různou genetickou informaci dle funkční specializace buňky. Méně než jedna čtvrtina uváděla, že se strukturální změny v genetické informaci okamžitě projeví na úrovni celého organismu a považovala genotyp roven fenotypu bez ohledu na vnější prostředí. Jedna pětina žáků byla přesvědčena o tom, že geny kódují komplexní znaky. Méně než jedna pětina zmiňovala, že všechny geny jsou protein-kódující;
- k) Téměř žádný ze žáků neměl oborově zcela správnou představu o hierarchickém uspořádání nukleových kyselin a příslušných strukturálních a funkčních rozdílech či o bílkovinných produktech, kódovaných v konkrétních sekvencích genetické informace. Drtivá většina nesprávně odpovídajících dotazovaných chybovala v používané terminologii (jádro, chromozomy, DNA, RNA, genom, gen, alela,

genotyp, fenotyp, nukleotid x nukleoid apod.);

- l) Méně než polovina respondentů neměla správně utvořenou představu o chloroplastu a nedokázala blíže popsat průběh fotosyntézy. Přibližně jedna čtvrtina jej zaměňovala za chlorofyl;
- m) Funkci buněčné stěny neúplně, ale správně popsala většina respondentů, souběžně však ve vztahu ke skutečnému porozumění její funkci vykazovali nejvyšší % zastoupení prekonceptů;
- n) Funkci mitochondrie nedokázalo správně vysvětlit ani 50 % respondentů. Více než čtvrtina zaměňovala její funkci s chloroplastem, 25 % si ji spojovalo s tvorbou či uchováním živin. Přibližně jedna pětina ji měla spjata s fyziologickými procesy organismu, vybraní pak s transportem kyslíku;
- o) Schéma mitotického dělení zakreslilo úplně správně pouhých 0,5 % (1 žákyně), neúplně, ale správně 28 % respondentů;
- p) Žádný respondent nedokázal úplně správně popsat zakreslený způsob dělení, pouhých 3 % respondentů neúplně, ale správně. Ani jeden žák detailněji nerozváděl důvody, proč se buňky rozmnožují, neúplnou, ale správnou odpověď poskytlo 24 % respondentů. Nejčastěji zmiňovanou kategorií byla regenerace (ZŠ 9 = 29 %; GYM = 49 %; ZŠ 6 = 14 %);

Z vypočtených  $\chi^2$  testů a t-testů vyplynulo, že se obě sledované hypotézy podařilo částečně potvrdit. U první hypotézy se potvrdila statistická významnost v porozumění konceptům buněčné biologie ve prospěch žáků gymnázií ve většině případů (testových položek), a to u KT1-KT3. U druhé hypotézy se potvrdila statistická významnost v míře zastoupení prekonceptů opětovně ve většinový prospěch žáků gymnázií. U KT1-KT3 byly zjištěny také statisticky nevýznamné rozdíly, v KT1 se pak pouze v jediném případě prokazatelně lépe dařilo žákům 9. ročníku, avšak v testech KT2-KT4 byli statisticky signifikantně lepší žáci gymnázií s vysokou mírou úspěšnosti řešených úloh oproti žákům ZŠ. Konkrétní testové úlohy a statisticky významné rozdíly uvedeny a blíže okomentovány viz kapitoly Výsledky a Diskuse.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABRAHAMAS, Ian a Michael J. REISS. Practical Work: Its Effectiveness in Primary and Secondary Schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*. 2012, **49**(8), 1035-1055. ISSN 1098-2736.

ABRAHAMAS, Ian a Robin MILLAR. Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*. 2008, **30**(14), 1945-1969. ISSN 1464-5289.

ABRIL, Ana G., Jose L. R. RAMA, Antonio SÁNCHEZ-PÉREZ a Tomás G. VILLA. Prokaryotic Sigma Factors and Their Transcriptional Counterparts in Archaea and Eukarya. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020, **104**(10), 4289–4302. ISSN 1432-0614.

ALBERTS, Bruce, Alexander JOHNSON, Julian LEWIS a kol. *Molecular Biology of the Cell: Sixth Edition*. 6. vydání. New York: Garland Science, Taylor & Francis Group, 2014, 1464 s. ISBN 978-0-8153-4464-3.

ALEIXANDRE, Maria P. J., Ruth AMIR, Michael J. BRODY, Pinchas TAMIR a Warren TOMKIEWICZ. The Nature of Knowledge in Biology and Its Implications for Teaching and Learning: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Biology Knowledge: Its Acquisition, Organization, and Use, held in Glasgow, Scotland, June 14–18, 1992. In: FISHER, Kathleen M. a Michael R. KIBBY (Eds.). *Knowledge Acquisition, Organization, and Use in Biology*. Heidelberg: Springer Berlin, 1996, s. 1-24. ISBN 978-3-642-61047-9. ISSN 0258-1248.

ALTMANN, Antonín. *Metody a zásady ve výuce biologii*. Praha: SPN, 1975, 285 s. ISBN neuvedeno.

ALTMANN, Antonín a František HORNÍK. *Vybrané kapitoly z didaktiky biologie*. Praha: SPN, 1985, 217 s. ISBN neuvedeno.

ALVAREZ, Adrian F., Carlos BARBA-OSTRIA, Hortencia SILVA-JIMÉNEZ a Dimitris GEORGELLIS. Organization and Mode of Action of Two Component System Signaling Circuits from the Various Kingdoms of Life. *Environmental Microbiology*. 2016, **18**(10), 3210-3226. ISSN 1462-2920.



ANDERSON, Janice L., Jane P. ELLIS a Alan M. JONES. Understanding Early Elementary Children's Conceptual Knowledge of Plant Structure and Function through Drawings. *CBE—Life Sciences Education*. 2014, **13**(3), 375–386. ISSN 1931-7913.

ANDERSON, Sydney, Alan T. BANKIER, Barrie G. BARRELL a kol. Sequence and Organization of the Human Mitochondrial Genome. *Nature*. 1981, **290**(5806), 457–465. ISSN 1476-4687.

ANKEL-SIMONS, Friderun a Jim M. CUMMINS. Misconceptions about Mitochondria and Mammalian Fertilization: Implications for Theories on Human Evolution. *PNAS*. 1996, **93**(24), 13859-13863. ISSN 1091-6490.

ARNAUDIN, Mary W. a Joel J. MINTZES. Students' Alternative Conceptions of the Human Circulatory System: A Cross-age Study. *Science Education*. 1985, **69**(5), 721-733. ISSN 1464-5289.

*Australian Curriculum* [online]. Canberra: ACARA, 2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://v9.australiancurriculum.edu.au/>

ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, Lucía, Cristina ARIAS-SARDÁ, Laia MONTES-ESPUÑA a kol. Principles of 3D Chromosome Folding and Evolutionary Genome Reshuffling in Mammals. *Cell Reports*. 2022, **41**(12), č. 111839. ISSN 2211-1247.

BAHAR, Mehmet, Murat OZEL, Pavol PROKOP a Muhammet USAK. Science Student Teachers' Ideas of the Heart. *Journal of Baltic Science Education*. 2008, **7**(2), 78–85. ISSN 1648-3898.

BALGOPAL, Meena a Cindi BONDY. Antigenic Shift and Drift. *The Science Teacher*. 2011, **78**(2), 42-46. ISSN 0036-8555.

BALUŠKA, František a Arthur REBER. Sentience and Consciousness in Single Cells: How the First Minds Emerged in Unicellular Species. *BioEssays*. 2019, **41**(3), 1-6. ISSN 1521-1878.

BARKER, John A. Using a Microscope. *Journal of Biological Education*. 1981, **15**(1), 21-22. ISSN 2157-6009.

BENNETT, Joan. Modeling DNA Replication. *The American Biology Teacher*. 1998, **60**(6), 457-460. ISSN 0002-7685.

BERG, Julia, Lissy JÄKEL a Anamarija PENZES. Digital and Conventional Microscopy

-Learning Effects Detected through Eye Tracking and the Use of Interactive Whiteboards. *Universal Journal of Educational Research*. 2016, **4**(6), 1319-1331. ISSN 2332-3205.

BERRY, Michael H., Michael MOLDAVAN, Tavita GARRETT a kol. A Melanopsin Ganglion Cell Subtype Forms a Dorsal Retinal Mosaic Projecting to the Supraoptic Nucleus. *Nature Communications*. 2023, **14**(1), č. 1492. ISSN 2041-1723.

BERTRAND, Yves. *Soudobé teorie vzdělávání*. Praha: Portál, 1998, 247 s. ISBN 80-7178-216-5.

BHARAT, Tanmay A. M., Andriko VON KÜGELGEN a Vikram ALVA. Molecular Logic of Prokaryotic Surface Layer Structures. *Trends in Microbiology*. 2021, **29**(5), 405-415. ISSN 1878-4380.

BI, Erfei a Joe LUTKENHAUS. FtsZ Ring Structure Associated with Division in Escherichia coli. *Nature*. 1991, **354**(6349), 161–164. ISSN 1476-4687.

BIANCO, Piero R. The Biochemical Mechanism of Fork Regression in Prokaryotes and Eukaryotes—A Single Molecule Comparison. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022, **23**(15), č. 8613. ISSN 1422-0067.

BLATTNER, Frank R., Guy PLUNKETT III, C. A. BLOCH a kol. The Complete Genome Sequence of Escherichia Coli K-12. *Science*. 1997, **277**(5331), 1453-1462. ISSN 0036-8075.

BLAŽEK, Radek, Zuzana JANOTOVÁ, Eva POTUŽNÍKOVÁ a Josef BASL. *Mezinárodní šetření PISA 2018: Národní zpráva: přírodovědná gramotnost*. Praha: Česká školní inspekce, 2019. ISBN 978-80-88087-24-3.

BONVENTO, Gilles a Juan P. BOLAÑOS. Astrocyte-Neuron Metabolic Cooperation Shapes Brain Activity. *Cell Metabolism*. 2021, **33**(8), 1546-1564. ISSN 1932-7420.

BOUAKAZE, Caroline, Judith ESCHBACH,, Elise FOUQUEREL a kol. “OpenLAB”: A 2-hour PCR-based Practical for High School Students. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2010, **38**(5), 296-302. ISSN 1539-3429.

BOUTTÉ, Yohann a Yvon JAILLAIS. Metabolic Cellular Communications: Feedback Mechanisms between Membrane Lipid Homeostasis and Plant Development. *Developmental Cell*. 2020, **54**(2), 171-182. ISSN 1878-1551.

BOWMAN, Gregory D. a Michael G. POIRIER. Post-Translational Modifications of Histones That Influence Nucleosome Dynamics. *Chemical Reviews*. 2015, **115**(6), 2274–2295. ISSN 1520-6890.

BÖTTCHER, Thomas. From Molecules to Life: Quantifying the Complexity of Chemical and Biological Systems in the Universe. *Journal of Molecular Evolution*. 2018, **86**(1), 1–10. ISSN 1432-1432.

BRAME, Cynthia J., Wendy M. PRUITT a Lucy C. ROBINSON. A Molecular Genetics Laboratory Course Applying Bioinformatics and Cell Biology in the Context of Original Research. *CBE—Life Sciences Education*. 2008, **7**(4), 410-421. ISSN 1931-7913.

BRIGGS, Amy G., Stephanie K. MORGAN, Seth K. SANDERSON, Molly C. SCHULTING a Laramie J. WIESEMAN. Tracking the Resolution of Student Misconceptions about the Central Dogma of Molecular Biology. *Journal of Microbiology and Biology Education*. 2016, **17**(3), 339-350. ISSN 1935-7885.

BRINSCHWITZ, Tanja. Lernervorstellungen von Zellen – Eine Re-Analyse der Befunde empirischer Erhebungen. In: VOGT, H. a C. RETZLAFFÜRST (HRSG.). *Erkenntnisweg Biologiedidaktik. Beitr. der 4. Frühjahrsschule der Sekt. Biologiedidaktik im vdbiol, Rostock -Warnemünde*. Rostock-Warnemünde: Rostock University Printing Office, 2002, s. 27-40. ISBN 3-00-011081-X.

BROWN, Mary H. a Reneè S. SCHWARTZ. Connecting Photosynthesis and Cellular Respiration: Preservice Teachers' Conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*. 2009, **46**(7), 791-812. ISSN 1098-2736.

BUCHAR, Jan. *Stručný přehled soustavy bezobratlých (obrazová část)*. Praha: Peres, 1995, 192 s. ISBN 80-901691-0-4.

BYRNE, Jenny, Marcus GRACE a Pam HANLEY. Children's Anthropomorphic and Anthropocentric Ideas about Micro-organisms. *Journal of Biological Education*. 2009, **44**(1), 37-43. ISSN 2157-6009.

CALEON, Imelda S. a R. Subramaniam SUBRAMANIAM. Do Students Know What They Know and What They Don't Know? Using a Four-Tier Diagnostic Test to Assess the Nature of Students' Alternative Conceptions. *Research in Science Education*. 2010, **40**(3), 313–337. ISSN 1573-1898.

CAMPBELL, Neil a Jane REECE. *Biology*. 7. vydání. San Francisco: Pearson Education: Benjamin Cummings, 2005, 1231 s. ISBN 08-053-7171-0.

CAMPBELL, Neil A., Jane B. REECE, Charles J. KREBS a kol. *Biologie*. Brno: Computer Press, c2006, 1332 s. ISBN 80-251-1178-4.

CAMPBELL, Neil A., Lisa A. URRY, Michael L. CAIN a kol. *Campbell Biology: A Global Approach, 11th Edition*. 11. vydání. Harlow: Pearson Education, 2017, 1504 s. ISBN 978-1-2921-7043-5.

CANLAS, Ian P. a Joyce MOLINO-MAGTOLIS. Reflecting on the Relevance of Drawing as a Tool in Eliciting Pre-service Teachers' Preconceptions of Human Organs and Organ Systems. *Journal of Biological Education*. 2022, **X(X)**, 1-21. ISSN 2157-6009.

CARSON, Katherine, Vaile DAWSON a Grady VENVILLE. Microbiology. In: KAMPOURAKIS, Kostas a Michael J. REISS (Eds.). *Teaching Biology in Schools: Global Research, Issues, and Trends*. New York: Taylor & Francis, 2018, s. 178-191. ISBN 978-1-138-08798-9.

CISTERNA, Dante, M. WILLIAMS a J. MERRITT. Students' Understanding of Cells & Heredity: Patterns of Understanding in the Context of a Curriculum Implementation in Fifth & Seventh Grades. *The American Biology Teacher*. 2013, **75(3)**, 178-184. ISSN 0002-7685.

CLAESSEN, Dennis a Jeff ERRINGTON. Cell Wall Deficiency as a Coping Strategy for Stress. *Trends in Microbiology*. 2019, **27(12)**, 1025-1033. ISSN 1878-4380.

CLÉMENT, Pierre. Introducing the Cell Concept with Both Animal and Plant Cells: A Historical and Didactic Approach. *Science & Education*. 2007, **16(3-5)**, 423-440. ISSN 1573-1901.

COLEY, John D. a Kimberly D. TANNER. Common Origins of Diverse Misconceptions: Cognitive Principles and the Development of Biology Thinking. *CBE—Life Sciences Education*. 2012, **11(3)**, 209-215. ISSN 1931-7913.

COLMAN, Alan a Justine BURLEY. Stem Cells: Recycling the Abnormal. *Nature*. 2007, **447(7143)**, 649-650. ISSN 1476-4687.

COMEAU, Paula, Christina L. M. HARGISS, Jack E. NORLAND, Alison WALLACE a Anthony BORMANN. Analysis of Children's Drawings to Gain Insight into Plant Blindness. *Natural Sciences Education*. 2019, **48(1)**, 1-10. ISSN 2168-8281.

CRICK, Francis H. C. Central Dogma of Molecular Biology. *Nature*. 1970, **227**(5611), 561-563. ISSN 1476-4687.

CRICK, Francis H. C. On Protein Synthesis. *The Symposia of the Society for Experimental Biology*. 1958, **12**(X), 138–163. ISSN 0081-1386.

*Curriculum for the Compulsory School, Preschool Class and School-age Educare* [online]. Stockholm: Skolverket, 2018 (rev.) [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.skolverket.se/download/18.31c292d516e7445866a218f/1576654682907/pdf3984.pdf>

*Curriculum for the Upper Secondary School* [online]. Stockholm: Skolverket, 2013 [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://www.skolverket.se/publikationsserier/styrdokument/2013/curriculum-for-the-upper-secondary-school>. ISBN 978-91-7559-022-6.

*Curriculum for the Upper Secondary School: Biology* [online]. Stockholm: Skolverket, neuvvedeno [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.skolverket.se/download/18.4fc05a3f164131a7418104a/1535372296309/Biology-swedish-school.pdf>

*Curriculum for the Upper Secondary School: Science Studies* [online]. Stockholm: Skolverket, 2012 [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://www.skolverket.se/download/18.4fc05a3f164131a74181076/1535372299888/Science-studies-swedish-school.pdf>

ČERNÍK, Vladimír a kol. *Přírodopis 6 pro základní školy – Zoologie a botanika*. Praha: SPN, 2007, 120 s. ISBN 978-80-7235-374-3.

DANČÁK, Martin a Michaela SEDLÁŘOVÁ. *Přírodopis 6: Vývoj života na Zemi – Obecná biologie – Biologie hub*. Učebnice pro 6. ročník základní školy. Olomouc: Prodos, 2011, 88 s. ISBN 978-80-7230-257-4.

D'HONT, Angélique, France DENOEUDE, Jean-Marc AURY a kol. The Banana (*Musa acuminata*) Genome and the Evolution of Monocotyledonous Plants. *Nature*. 2012, **488**(7410), 213-217. ISSN 1476-4687.

DIKMENLI, Musa. Misconceptions of Cell Division Held by Student Teachers in Biology: A Drawing Analysis. *Scientific Research and Essays*. 2010, **5**(2), 235-247. ISSN 1992-2248.

DOBRORUKA, Luděk J. a kol. *Přírodopis I pro 6. ročník ZŠ*. Praha: Scientia, 1997, 127 s. ISBN 80-7183-092-5.

DOČEKALOVÁ, Radka. *Žákovské prekoncepce o stavbě a funkci buňky* [online]. Olomouc,

2021 [cit. 2022-09-19]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/bi6y0j/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 100 s.

DONG LEE, Won, Dzmitry MUKHA, Elina AIZENSHTEIN a Tomer SHLOMI. Spatial-Fluxomics Provides a Subcellular-Compartmentalized View of Reductive Glutamine Metabolism in Cancer Cells. *Nature Communications*. 2019, **10**(1), č. 1351. ISSN 2041-1723.

DOSTÁL, Jiří. *Badatelsky orientovaná výuka: Kompetence učitelů k její realizaci v technických a přírodovědných předmětech na základních školách*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015, 254 s. ISBN 978-80-244-4515-1.

DRACE, Kevin, Brett COUCH a Patrick J. KEELING. Increasing Student Understanding of Microscope Optics by Building and Testing the Limits of Simple, Hand-Made Model Microscopes. *Journal of Microbiology and Biology Education*. 2012, **13**(1), 45-49. ISSN 1935-7885.

DRINGENBERG, Hans C. (Ed.). *Handbook of Sleep Research*. London: Academic Press, 2019, 756 s. ISBN 978-0-12-813743-7.

DUIT, Reinders a David F. TREAGUST. Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*. 2003, **25**(6), 671-688. ISSN 1464-5289.

DUIT, Reinders, Harald GROPPENGIEßER, Ulrich KATTMANN, Michael KOMOREK a Ilka PARCHMANN. The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In: JORDE, D. a J. DILLON (Eds.). *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective. Cultural Perspectives in Science Education*. Rotterdam: SensePublishers, 2012, s. 171-188. ISBN 978-94-6091-900-8.

DUNCAN, Ravit G. a Dirk J. BORWINKEL. Molecular Biology. In: KAMPOURAKIS, Kostas a Michael J. REISS (Eds.). *Teaching Biology in Schools: Global Research, Issues, and Trends*. New York: Taylor & Francis, 2018, s. 35-47. ISBN 978-1-138-08798-9.

DUNCAN, Richard G. a Brian J. REISER. Reasoning across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*. 2007, **44**(7), 938-959. ISSN 1098-2736.

DVOŘÁK, Dominik, Jakub HOLEC a Michaela DVOŘÁKOVÁ. *Kurikulum školního*

vzdělávání: *Zahraniční reformy v 21. století*. Praha: Karolinum, 2018, 184 s. ISBN 978-80-7603-017-6.

DVOŘÁK, Petr, Dale A. CASAMATTA, Petr HAŠLER a kol. Diversity of the Cyanobacteria. In: Patrick C. Hallenbeck (Ed.). *Modern Topics in the Phototrophic Prokaryotes*. Switzerland: Springer, 2017, s. 3-46. ISBN 978-3-319-46259-2.

ELMENTAITE, Rasa, Cecilia D. CONDE, Lu YANG a Sarah A. TEICHMANN. Single-Cell Atlases: Shared and Tissue-Specific Cell Types Across Human Organs. *Nature Reviews Genetics*. 2022, **23**(7), 395–410. ISSN 1471-0064.

ENS, S., A. B. OLSON, C. DUDLEY, N. D. ROSS III, A. A. SIDDIQI, K. M. UMOH a M. A. SCHNEEGURT. Inexpensive and Safe DNA Gel Electrophoresis Using Household Materials. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2012, **40**(3), 198-203. ISSN 1539-3429.

ESQUIVEL MARTÍN, Tamara, José M. PÉREZ MARTÍN, Beatriz B. TORIJA a Noelia SÁNCHEZ-SÁNCHEZ. CO.01 ¿Qué Entienden por Célula los Estudiantes de 4º de ESO? Una Mirada a Través de Sus Dibujos. In: APICE (Eds.). *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales y 5ª Escuelas de Doctorado: 10, 11 y 12 de Febrero 2021*. Universidad de Córdoba: APICE, 2021, s. 19-27. ISBN 978-84-09-28033-9.

EVAGOROU, Maria, Sibel ERDURAN a Terhi MÄNTYLÄ. The Role of Visual Representations in Scientific Practices: From Conceptual Understanding and Knowledge Generation to ‘Seeing’ How Science Works. *International Journal of STEM Education*. 2015, **2**(1), 1-13. ISSN 2196-7822.

FISHER, Kathleen M. Meaningful and Mindful Learning. In: FISHER, Kathleen M., James H. WANDERSEE a David E. MOODY. *Mapping Biology Knowledge*. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002, s. 77-94. ISBN 0-306-47225-2.

FISHER, Kathleen M. a David E. MOODY. Student Misconceptions in Biology. In: FISHER, Kathleen M., James H. WANDERSEE a David E. MOODY. *Mapping Biology Knowledge*. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002, s. 55-75. ISBN 0-306-47225-2.

GALVIN, E., G. MOONEY SIMMIE a A. O’GRADY. Identification of Misconceptions in the Teaching of Biology: A Pedagogical Cycle of Recognition, Reduction and Removal. *Higher Education of Social Science*. 2015, **8**(2), 1-8. ISSN 1927-0240.

GAO, Jixuan a Hilda A. PICKETT. Targeting Telomeres: Advances in Telomere Maintenance Mechanism-Specific Cancer Therapies. *Nature Reviews Cancer*. 2022, **22**(9), 515–532.

GAVORA, Peter. *Úvod do pedagogického výzkumu*. Brno: Paido, 2010, 261 s. ISBN 978-80-7315-185-0.

GERICKE, Niklas a Charbel N. EL-HANI. Genetics. In: KAMPOURAKIS, Kostas a Michael J. REISS (Eds.). *Teaching Biology in Schools: Global Research, Issues, and Trends*. New York: Taylor & Francis, 2018, s. 111-123. ISBN 978-1-138-08798-9.

GERIEN, Kenneth S. a Jian-Qiu WU. Molecular Mechanisms of Contractile-Ring Constriction and Membrane Trafficking in Cytokinesis. *Biophysical Reviews*. 2018, **10**(6), 1649–1666. ISSN 1867-2469.

GOULD, Sven B., Sriram G. GARG a William F. MARTIN. Bacterial Vesicle Secretion and the Evolutionary Origin of the Eukaryotic Endomembrane System. *Trends in Microbiology*. 2016, **24**(7), 525-534. ISSN 1878-4380.

GROPENGIEßER, Harald, Ute HARMS a Ulrich KATTMANN. *Fachdidaktik Biologie*. Hallbergmoos: Aulis Verlag, 2013, 462 s. ISBN 978-3-7614-2868-9.

GUREL, D. K., A. ERYILMAZ a L. C. A. MCDERMOTT. A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2015, **11**(5), 989-1008. ISSN 1305-8223.

GUZMAN, Karen a John BARTLETT. Using Simple Manipulatives to Improve Student Comprehension of a Complex Biological Process: Protein Synthesis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2012, **40**(5), 320-327. ISSN 1539-3429.

HAJIRNIS, Nikhil a Rakesh K. MISHRA. Homeotic Genes: Clustering, Modularity, and Diversity. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021, **9**(X), č. neuvedeno. ISSN 2296-634X.

HALA, Yusmina, U. A. SYAHDAN, H. PAGARRA a S. SAENAB. Identification of Misconceptions on Cell Concepts among Biology Teachers by Using CRI Method. *2nd International Conference on Statistics, Mathematics, Teaching, and Research. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. 2018, **1028**(1), 1-7. ISSN 1742-6488.

HAREZLAK, Katarzyna a Pawel KASPROWSKI. Application of Eye Tracking in Medicine: A Survey, Research Issues and Challenges. *Computerized Medical Imaging and Graphics*.



2018, **65**(2), 176-190. ISSN 1879-0771.

HARMS, Ute a Uwe BERTSCH. Energy, Photosynthesis, and Respiration. In: KAMPOURAKIS, Kostas a Michael J. REISS (Eds.). *Teaching Biology in Schools: Global Research, Issues, and Trends*. New York: Taylor & Francis, 2018, s. 139-152. ISBN 978-1-138-08798-9.

HARPER, Douglas. *Online Etymology Dictionary* [online]. © 2001-2023 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.etymonline.com/>

HASAN, Saleem, Diola BAGAYOKO a Ella L. KELLEY. Misconceptions and the Certainty of Response Index (CRI). *Physics education*. 1999, **34**(5), 294-299. ISSN 1361-6552.

HASSIN, Ori a Moshe OREN. Drugging p53 in Cancer: One Protein, Many Targets. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2023, **22**(2), 127–144. ISSN 1474-1784.

HAŠLER, Petr, Petr DVOŘÁK, Jeffrey R. JOHANSEN a kol. Morphological and Molecular Study of Epipelagic Filamentous Genera Phormidium, Microcoleus and Geitlerinema (Oscillatoriales, Cyanophyta/ Cyanobacteria). *Fottea*. 2012, **12**(2), 341–356. ISSN 1802-5439.

HATTAR, Samer, Haiwei LIAO, Masao TAKAO, David M. BERSON a King-Wai YAU. Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity. *Science*. 2002, **295**(5557), 1065-1070. ISSN 1095-9203.

HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005, 407 s. ISBN 80-7367-040-2.

HENDL, Jan. *Přehled statistických metod*. Praha: Portál, 2012, 736 s. ISBN 978-80-262-0200-4.

HESSE, Manfred. Nur geringes Wissen über Zellbiologie: Eine empirische Studie an Lehramtsstudenten. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*. 2002, **11**(X), 21-33. ISSN 2627-7255.

HEUER, Holger a Kornelia SMALLA. Plasmids Foster Diversification and Adaptation of Bacterial Populations in Soil. *FEMS Microbiology Reviews*. 2012, **36**(6), 1083-1104. ISSN 1574-6976.

*Hlavní směry revize Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání* [online]. Praha: Národní pedagogický institut České republiky, 2022b [cit. 2022-10-15]. Dostupné z:

<https://velke-revize-zv.rvp.cz/files/hlavni-smery-rvp-zv-pro-msmt.pdf>

HOLEC, Jakub. A Comparative Study of Biology Curricula in England, Scotland and the Czech Republic. *Scientia in Educatione*. 2019, **10**(3), 125–142. ISSN 1804-7106.

HOLEC, Jakub. Přírodověda, přírodopis a biologie v RVP – na co se zaměřit v budoucích revizích?. *Biologie-Chemie-Zeměpis*. 2020, **29**(2), 27-38. ISSN 2533-7556.

HOLEC, Jakub a Dominik DVOŘÁK. Curriculum for Excellence: Kurikulum založené na kompetencích a zkušenosti z jeho implementace. *Pedagogika*. 2017, **67**(1), 56–77. ISSN 2336-2189.

HOLEC, Jakub a Dominik DVOŘÁK. Přírodovědné standardy další generace v USA – reálná změna k lepšímu, či jen vize tvůrců?. *Pedagogika*. 2019, **69**(1), 59–79. ISSN 2336-2189.

HONZLOVÁ, Petra, Zuzana NOVOSADOVÁ, Pavel HOUDEK, Martin SLÁDEK a Alena SUMOVÁ. Misaligned Feeding Schedule Elicits Divergent Circadian Reorganizations in Endo- and Exocrine Pancreas Clocks. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2022, **79**(6), č. 318. ISSN 1420-682X.

HOOKE, Robert. *Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses. With Observations and Inquiries Thereupon*. London: J. Martyn & J. Allestry, 1665, 246 s. ISBN nepřirazeno.

HU, Xiaojie, Michael G. WAIGI, Bing YANG a Yanzheng GAO. Impact of Plastic Particles on the Horizontal Transfer of Antibiotic Resistance Genes to Bacterium: Dependent on Particle Sizes and Antibiotic Resistance Gene Vector Replication Capacities. *Environmental Science & Technology*. 2022, **56**(21), 14948-14959. ISSN 0013-936X.

HUANG, Z. Josh a Anirban PAUL. The Diversity of GABAergic Neurons and Neural Communication Elements. *Nature Reviews Neuroscience*. 2019, **20**(9), 563–572. ISSN 1471-0048.

CHEN, Huan, Ting LI, Zhiyong LIU a kol. A Nitric-Oxide Driven Chemotactic Nanomotor for Enhanced Immunotherapy of Glioblastoma. *Nature Communications*. 2023a, **14**(1), č. 941. ISSN 2041-1723.

CHEN, Zhenzhen, Qiankun HE, Tiankun LU a kol. McPGK1-dependent Mitochondrial Import of PGK1 Promotes Metabolic Reprogramming and Self-Renewal of Liver TICs. *Nature Communications*. 2023b, **14**(1), č. 1121. ISSN 2041-1723.

CHI, M. T. Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *The Journal of the Learning Sciences*. 2005, **14**(2), 161-199. ISSN 1050-8406.

CHI, M. T. a Rod D. ROSCOE. In: LIMÓN, Margarita a Lucia MASON (Eds.). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Springer, 2002, s. 3–27. ISBN 978-1-4020-0494-0.

CHI, M. T., J. D. SLOTTA a N. De LEEUW. From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts. *Learning and Instruction*. 1994, **4**(1), 27-43. ISSN 0959-4752.

CHOCHOLOUŠKOVÁ, Zdeňka a Lenka HAJEROVÁ MÜLLEROVÁ. *Didaktika biologie ve vztahu mezi obecnou a oborovou didaktikou*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2019, 1. vyd., 280 s. ISBN 978-80-261-0846-7.

CHOWNING, Jeanne Ting, J. GRISWOLD, J. MATHWIG a D. MASSEY. Modeling Early Embryology & Stem Cell Concepts. *The American Biology Teacher*. 2008, **70**(2), 77-78. ISSN 1938-4211.

CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu. Základy kvantitativního výzkumu*. Praha: Grada Publishing, 2016, 256 s. ISBN 978-80-247-5326-3.

International Human Genome Sequencing Consortium. Finishing the Euchromatic Sequence of the Human Genome. *Nature*. 2004, **431**(7011), 931–945. ISSN 1476-4687.

ITO, Yoko a Yohann BOUTTÉ. Differentiation of Trafficking Pathways at Golgi Entry Core Compartments and Post-Golgi Subdomains. *Frontiers in Plant Science*. 2020, **11**(X), č. neuvedeno. ISSN 1664-462X.

JANG, Soo Bin. Legitimising the Need for Another Curriculum Reform and Policy Framing: The Case of South Korea. *Journal of Curriculum Studies*. 2020, **52**(2), 247-269. ISSN 0022-0272.

JANÍK, Tomáš. *Didaktické znalosti obsahu a jejich význam pro oborové didaktiky, tvorbu kurikula a učitelské vzdělávání*. 1. Brno: Paido, 2009, 119 s. ISBN 978-80-7315-186-7.

JANÍK, Tomáš. Od obsahu vzdělávání k žákově znalosti: kritická místa na cestě do školy a ze školy. *Arnica*. 2018, **8**(1), 1–8. ISSN 1804-8366.

JANÍK, Tomáš a Jan SLAVÍK. Obsah, subjekt a intersubjektivita v oborových

didaktikách. *Pedagogika*. 2009, **59**(2), 116-135. ISSN 2336-2189.

JANÍK, Tomáš, Jan SLAVÍK, Petr NAJVAR (Eds.) a kol. *Kurikulární reforma na gymnáziích: Od virtuálních hospitací k videostudiím*. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2011, 184 s. ISBN 978-80-904966-7-5.

JANÍK, Tomáš, Jan SLAVÍK, Vladislav MUŽÍK a kol. *Kvalita (ve) vzdělávání: obsahově zaměřený přístup ke zkoumání a zlepšování výuky*. Brno: Masarykova Univerzita, 2016, 434 s. ISBN 978-80-210-8258-8.

JANÍK, Tomáš, Monika ČERNÁ, Michaela DVOŘÁKOVÁ a kol. *Možnosti rozvíjení didaktických znalostí obsahu u budoucích učitelů*. Brno: Paido, 2009, 148 s. ISBN 978-80-7315-176-8.

JANÍK, Tomáš, Petr KNECHT, Petr NAJVAR a Jan SLAVÍK. *Transdisciplinární didaktika: O učitelském sdílení znalostí a zvyšování kvality výuky napříč obory*. Brno: Masarykova Univerzita, 2017, 455 s. ISBN 978-80-210-8568-8.

JANÍK, Tomáš, Tomáš JANKO, Karolína PEŠKOVÁ, Petr KNECHT a Michaela SPURNÁ. Czech Teachers' Attitudes Towards Curriculum Reform Implementation. *Human Affairs-Postdisciplinary Humanities Social Sciences Quarterly*. 2018, **28**(1), 54-70. ISSN 1210-3055.

JANŠTOVÁ, Vanda a Martin JÁČ. Modelování ve výuce biologie (1) (aneb jak žákům přiblížit některé biologické jevy). *Biologie-Chemie-Zeměpis*. 2014a, **23**(2), 61-65. ISSN 1210-3349.

JANŠTOVÁ, Vanda a Martin JÁČ. Modelování ve výuce biologie (2) (aneb jak žákům přiblížit některé biologické jevy). *Biologie-Chemie-Zeměpis*. 2014b, **23**(3), 111-116. ISSN 1210-3349.

JANŠTOVÁ, Vanda a Martin JÁČ. Výuka molekulární biologie na gymnáziích: analýza současného stavu a možnosti její podpory. *Scientia in Educatione*. 2015, **6**(1), 14-39. ISSN 1804-7106.

JANŠTOVÁ, Vanda a Petr NOVOTNÝ. Hemoglobin a jeho funkce trojrozměrně. *Biologie-Chemie-Zeměpis*. 2020, **29**(1), 34-40. ISSN 2533-7556.

JANŠTOVÁ, Vanda, Martin JÁČ a Radka M. DVOŘÁKOVÁ. Faktory motivující žáky středních škol k zájmu o obor biologie a účasti v předmětových soutěžích s biologickou tematikou. *e-Pedagogium*. 2015, **15**(1), 56-71. ISSN 1213-7758.

JÁČ, Martin. *Mikroskopování: konceptový inventář*. Olomouc, 2017a. Výzkumný nástroj

sestavený v rámci projektu specifického výzkumu Katedry biologie PdF UP „Mikroskopické dovednosti studentů učitelství přírodopisu a biologie“. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. (nepublikováno).

JÁČ, Martin. Proteosyntéza eukaryot: hledání cesty od znalosti pojmů k hlubšímu porozumění buněčným procesům ve výuce biologie. In: SLAVÍK, JAN, KLÁRA ULIČNÁ, JANA STARÁ, PETR NAJVAR a kol. *Didaktické kazuistiky v oborech školního vzdělávání*. Brno: Masarykova Univerzita, 2017b, s. 283–308. ISBN 978-80-210-8768-2.

JÁČ, Martin. *Vybrané náměty pro praktickou a terénní výuku přírodopisu (studijní opora)*. Olomouc, 2017c. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. ISBN nepřirazen.

JÁČ, Martin. *Využití mikroskopu v praktické výuce přírodopisu (přívodce studií)* [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2022-09-14]. Dostupné z: [https://www.pdf.upol.cz/fileadmin/userdata/PdF/VaV/2018/odborne\\_seminare/Jac\\_Vyuziti\\_mikroskopu.pdf](https://www.pdf.upol.cz/fileadmin/userdata/PdF/VaV/2018/odborne_seminare/Jac_Vyuziti_mikroskopu.pdf). Studijní text k projektu „Moderní trendy ve vzdělávání v pregraduální přípravě budoucích pedagogických pracovníků na Univerzitě Palackého v Olomouci“. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. ISBN nepřirazen.

JÁČ, Martin, Jitka KOPECKÁ, Monika MORRIS a Olga VRÁNOVÁ. *Didaktické kazuistiky výuky přírodopisu a biologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2019, 215 s. ISBN 978-80-244-56-95-9.

JÄKEL, Lissy. Working with the Microscope as a Problem Solving Process. In: BRUGUIÈRE, C., A. TIBERGHIEU a P. CLÉMENT (Eds.). *E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science Learning and Citizenship*. Part 12, Co-ed. Psillos, D. & Sperandio, R. M. Lyon, France: European Science Education Research Association. 2012, 89-94. ISBN 978-9963-700-44-8.

JÄKEL, L., J. BERG a A. PENZES. Conventional and Digital Microscopy – Developing Cell Conceptual Competences Using the Example of Human Biology. In: LAVONEN, J., K. JUUTI, J. LAMPISLÄ, A. UITTO a K. HAHN (Eds.). *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future*. Part 13, Co-ed. Evagorou M. a Michelini M. Helsinki, Finland: University of Helsinki. 2015, 1931-1941. ISBN 978-951-51-1541-6.

JELEMENSKÁ, Patrícia. Model didaktické rekonstrukce z metodologického pohledu. In: JANÍKOVÁ, Marcela, Kateřina VLČKOVÁ a kol. *Výzkum výuky: tematické oblasti*,

výzkumné přístupy a metody. Brno: Paido, 2008, s. 147-170. ISBN 978-80-7315-180-5.

JURČÁK, Jaroslav. *Základní praktikum z botanické mikrotechniky a rostlinné anatomie*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001, 103 s. ISBN neuvedeno.

JURČÁK, Jaroslav, Jiří FRONĚK a kol. *Přírodopis 6*. Olomouc: Prodos, 1997, 128 s. ISBN 80-85806-47-9.

JUREK, Martin, Jindřich FRAJER, David FIEDOR a kol. Knowledge of Global Climate Change Among Czech Students and Its Influence on Their Beliefs in the Efficacy of Mitigation Action. *Environmental Education Research*. 2022, **28**(8), 1126-1143. ISSN 1469-5871.

KALAS, Pamela, Angie O'NEILL, Carol POLLOCK a Gülnur BIROL. Development of a Meiosis Concept Inventory. *CBE—Life Sciences Education*. 2013, **12**(4), 655-664. ISSN 1931-7913.

KATTMANN, Ulrich. Das Lernen von Namen, Begriffen und Konzepten – Grundlagen biologischer Terminologie am Beispiel »Zellenlehre«. *MNU*. 1993, **46**(5), 275-285. ISSN 0025-5866.

KATTMANN, Ulrich. Didaktická rekonstrukce: učitelské vzdělávání a reflexe výuky. In: JANÍK, Tomáš, Monika ČERNÁ, Michaela DVOŘÁKOVÁ a kol. *Možnosti rozvíjení didaktických znalostí obsahu u budoucích učitelů*. Brno: Paido, 2009, s. 17-33. ISBN 978-80-7315-176-8.

KATTMANN, Ulrich. Schüler besser verstehen. *Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. 2. Aufl. Hallbergmoos: Aulis Verlag, 2015, 428 s. ISBN 978-3-7614-2941-9.

KATTMANN, Ulrich, R. DUIT, H. GROPPENGIEßER a M. KOMOREK. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 1997, **3**(3), 3-18. ISSN 2197-988X.

KELLEY, Kevin W. a Sergiu P. PAŞCA. Human Brain Organogenesis: Toward a Cellular Understanding of Development and Disease. *Cell*. 2022, **185**(1), 42-61. ISSN 1097-4172.

KINDFIELD, Ann C. H. Confusing Chromosome Number and Structure: A Common Student Error. *Journal of Biological Education*. 1991, **25**(3), 193-200. ISSN 0021-9266.

KMENT, Štěpán. *Podkladová studie: Porovnání stavby zahraničních vzdělávacích programů – srovnávací analýza*. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2019, 57 s. ISBN neuvedeno.

KNECHT, Pavel. Didaktická transformace aneb od „didaktického zjednodušení k didaktické rekonstrukci“. *Orbis scholae*. 2007, **1**(1), 67-81. ISSN 1802-4637.

KNUTSON, K., J. SMITH, M. A. WALLERT a J. J. PROVOST. Bringing the Excitement and Motivation of Research to Students: Using Inquiry and Research-Based Learning in a Year-Long Biochemistry Laboratory: Part I. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2010, **38**(5), 317-323. ISSN 1539 -3429.

KOBA, Susan a Anne TWEED. *Hard-to-Teach Biology Concepts*. 2. vyd. Arlington: NSTA Press, 2014, 336 s. ISBN 978-1-938946-48-6.

KOBA, Susan a Anne TWEED. *Hard-to-Teach Biology Concepts: A Framework to Deepen Student Understanding*. Arlington, VA: NSTA Press, 2009, 260 s. ISBN 978-1-933531-41-0.

KOČÁREK, Eduard a Eduard KOČÁREK. *Přírodopis pro 6. ročník základní školy*. Praha: Jinan, 1998, 95 s. ISBN 80-238-2077-X (v knize neuvedeno).

KOK, Ellen M. a Halszka JARODZKA. Before Your Very Eyes: The Value and Limitations of Eye Tracking in Medical Education. *Medical Education*. 2017, **51**(1), 114-122. ISSN 1365 -2923.

KONDRATOVA, Anna A. a Roman V. KONDRATOV. The Circadian Clock and Pathology of the Ageing Brain. *Nature Reviews Neuroscience*. 2012, **13**(5), 325-335. ISSN 1471-0048.

KOSKOVÁ, Martina. Porovnání schopností žáků základních škol a víceletých gymnázií v určování druhů bezobratlých živočichů [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/66uket/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 171 s.

KOSTØL, Kristine Bakkemo, Maria Vetleseter BØE a Aud Ragnhild SKÅR. Nature of Science in Norway's Recent Curricula Reform. *Science & Education*. 2022, **31**(10), 1-21. ISSN 1573 -1901.

KÖSE, Sacit. Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*. 2008, **3**(2), 283-293. ISSN 1991-6426.

KRÜGER, Dirk, Jennifer FLEIGE a Tanja RIEMEIER. Students' Conceptions of Growth and Cell Division Before and After Instruction. In: ERGAZAKI, Marida, Jenny LEWIS a Vassiliki ZOGZA. *Trends in Biology Education Research in the new Biology Era, A Selection of Papers Presented at ERIDOB 2004*. Patras: Patras University Press, 2005, s. 73-89. ISBN 960-530

-079-6.

KUČERA, Pavel, Edmund SEDLÁK, Václav SEDLÁČEK a kol. *Přírodopis 6–1. díl: Obecný úvod do učiva přírodopisu (učebnice)*. Brno: Nová Škola, 2007, 72 s. ISBN 80-7289-083-2.

KVASNIČKOVÁ, Danuše, Jan JENÍK, Pavel PECINA a kol. *Ekologický přírodopis pro 6. ročník základní školy*. 4. vydání. Praha: Fortuna, 2009, 128 s. ISBN 978-80-7373-056-7.

LANNA, Alessio, Bruno VAZ, Clara D'AMBRA a kol. An Intercellular Transfer of Telomeres Rescues T Cells from Senescence and Promotes Long-Term Immunological Memory. *Nature Cell Biology*. 2022, **24**(10), 1461-1474. ISSN 1465-7392.

LARSSON, D. G. Joakim a Carl-Fredrik FLACH. Antibiotic Resistance in the Environment. *Nature Reviews Microbiology*. 2022, **20**(5), 257–269. ISSN 1740-1534.

LAU, Joann M a David L. ROBINSON. Effectiveness of a Cloning and Sequencing Exercise on Student Learning with Subsequent Publication in the National Center for Biotechnology Information GenBank. *CBE—Life Sciences Education*. 2009, **8**(4), 326-337. ISSN 1931-7913.

LAW, Wing-Wah. Understanding China's Curriculum Reform for the 21st Century. *Journal of Curriculum Studies*. 2014, **46**(3), 332-360. ISSN 0022-0272.

LEWIS, Jenny a Colin WOOD-ROBINSON. Genes, Chromosomes, Cell Division and Inheritance-Do Students See Any Relationship?. In: ANDERSSON, Björn, Ute HARMS, Gustav HELLDÉN a Maj-Lis SJÖBECK (Eds.). *Research in Didaktik of Biology: Proceedings of the Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology, November 18-22, 1998*. Göteborg: Institutionen för pedagogik och didaktik: University of Göteborg, 2000, s. 123 -133. ISSN 1404-062X.

LEWIS, Jenny, John LEACH a Colin WOOD-ROBINSON. All in the Genes? — Young People's Understanding of the Nature of Genes. *Journal of Biological Education*. 2000a, **34**(2), 74-79. ISSN 2157-6009.

LEWIS, Jenny, John LEACH a Colin WOOD-ROBINSON. What's in a Cell? Young People's Understanding of the Genetic Relationship between Cells, within an Individual. *Journal of Biological Education*. 2000b, **34**(3), 129-132. ISSN 0021-9266.

LEWIS, Jenny a Ulrich KATTMANN. Traits, Genes, Particles and Information: Re-visiting Students' Understandings of Genetics. *International Journal of Science Education*. 2004, **26**(2), 195-206. ISSN 1464-5289.



- LIANG, Zizhen, Ning ZHU, Keith K. MAI a kol. Thylakoid-Bound Polysomes and a Dynamin-Related Protein, FZL, Mediate Critical Stages of the Linear Chloroplast Biogenesis Program in Greening Arabidopsis Cotyledons. *The Plant Cell*. 2018, **30**(7), 1476–1495. ISSN 1040-4651.
- LIM, Ci Ji a Thomas R. CECH. Shaping Human Telomeres: From Shelterin and CST Complexes to Telomeric Chromatin Organization. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2021, **22**(4), 283–298. ISSN 1471-0080.
- LIU, Bo a Yuh-Ru J. LEE. Spindle Assembly and Mitosis in Plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2022, **73**(X), 227-254. ISSN 1545-2123.
- LODISH, Harvey, Arnold BERK, Chris A. KAISER a kol. *Molecular Cell Biology: Sixth Edition*. 6. vyd. New York: W. H. Freeman and Company, 2007, 1150 s. ISBN 978-1-4292-0314-2.
- LONTOK, Katherine S., Hubert ZHANG a Michael J. DOUGHERTY. Assessing the Genetics Content in the Next Generation Science Standards. *PloS One*. 2015, **10**(7), 1-16. ISSN 1932-6203.
- LÖWE, Jan a Linda A. AMOS. Evolution of Cytomotive Filaments: the Cytoskeleton from Prokaryotes to Eukaryotes. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2009, **41**(2), 323-329. ISSN 1357-2725.
- LYNCH, Michael a Georgi K. MARINOV. Membranes, Energetics, and Evolution across the Prokaryote-Eukaryote Divide. *eLife*. 2017, **6**(X), e20437. ISSN 2050-084X.
- MALENINSKÝ, Miroslav, Jaroslav SMRŽ a Bohdan ŠKODA. *Přírodopis pro 6. ročník – Botanika 1, Zoologie 1: Učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Praha: ČGS, 2004, 104 s. ISBN 80-86034-56-9.
- MANCUSO, Giuseppe, Angelina MIDIRI, Elisabetta GERACE a Carmelo BIONDO. Bacterial Antibiotic Resistance: The Most Critical Pathogens. *Pathogens*. 2021, **10**(10), č. 1310. ISSN 2076-0817.
- MANDÍKOVÁ, Dana a Josef TRNA. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido, 2011, 245 s. ISBN 978-80-7315-226-0.
- MAŇÁK, Josef. Pojetí kurikula: Vzdělávání v moderní společnosti. In: MAŇÁK, Josef, Tomáš JANÍK a Vlastimil ŠVEC. *Kurikulum v současné škole*. Brno: Paido, 2008, s. 9-13. ISBN 978-80-7315-175-1.

MAŇÁK, Josef, Tomáš JANÍK a Vlastimil ŠVEC. *Kurikulum v současné škole*. Brno: Paido, 2008, 127 s. ISBN 978-80-7315-175-1.

MARBACH-AD, Gili a Ruth STAVY. Students' Cellular and Molecular Explanations of Genetic Phenomena. *Journal of Biological Education*. 2000, **34**(4), 200-205. ISSN 2157-6009.

MARCILLA, Asunción M., Ruben M. LIMIÑANA, Sandra R. CUBERO a kol. Why is Important to Wash Our Hands? Inquiry-based Didactical Proposal for Children Aged 5 to 7. In: CHOVA, L. Gómez, A. López MARTÍNEZ a I. Candel TORRES (Eds.). *EDULEARN16 Proceedings: 8th International Conference on Education and New Learning Technologies Barcelona, Spain. 4-6 July, 2016*. Barcelona, Spain: IATED, 2016, s. 4059-4063. ISBN 978-84-608-8860-4.

MAREŠ, Jiří a Miroslav OUHRABKA. Dětské interpretace světa a žákovo pojetí učiva. In: ČÁP, Jan a Jiří MAREŠ. *Psychologie pro učitele*. 2. vyd. Praha: Portál, 2007, s. 411-440. ISBN 978-80-7367-273-7.

MAREŠ, Jiří a Miroslav OUHRABKA. Žákovo pojetí učiva. *Pedagogika*. 1992, **42**(1), 83-94. ISSN 0031-3815.

MARGULIS, Lynn. *Symbiosis in Cell Evolution: Life and Its Environment on the Early Earth*. San Francisco: W.H. Freeman & Company, 1981, 2. vyd., 419 s. ISBN 978-071-671-2565.

MARTIN, William a Eugene V. KOONIN. Introns and the Origin of Nucleus–Cytosol Compartmentalization. *Nature*. 2006, **440**(7080), 41–45. ISSN 1476-4687.

MASCANZONI, Fabiola, Roberta IANNITTI a Antonino COLANZI. Functional Coordination among the Golgi Complex, the Centrosome and the Microtubule Cytoskeleton During the Cell Cycle. *Cells*. 2022, **11**(3), č. 354. ISSN 2073-4409.

MATTHYSSE, Steven, Philip S. HOLZMAN a Kenneth LANGE. The Genetic Transmission of Schizophrenia: Application of Mendelian Latent Structure Analysis to Eye Tracking Dysfunctions in Schizophrenia and Affective Disorder. *Journal of Psychiatric Research*. 1986, **20**(1), 57-67. ISSN 0022-3956.

MCGINNIS, William, Michael S. LEVINE, Ernst HAFEN a kol. A Conserved DNA Sequence in Homoeotic Genes of the *Drosophila* Antennapedia and Bithorax Complexes. *Nature*. 1984, **308**(5958), 428-433. ISSN 1476-4687.

MENDEL, Gregor. Versuche über Pflanzen-Hybriden. In: Naturforschenden

Vereines. *Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn*. Brünn: Naturforschender Verein – Druck von Břeža, Winiker & Comp., 1866, s. 3-47. ISBN nepřiráženo.

MENON, Sudheer, Shanmughavel PIRAMANAYAKAM a Gopal AGARWAL. Computational Identification of Promoter Regions in Prokaryotes and Eukaryotes. *EPRA*. 2021, **9**(7), 21-28. ISSN 2455-3662.

MENTLÍK, Pavel, Jan SLAVÍK a Jana COUFALOVÁ. Kritická místa kurikula, organizační a klíčové koncepty: konceptuální vymezení a příklady z výuky geověd. *Arnica*. 2018, **8**(1), 9–18. ISSN 1804-8366.

MERTA, Ladislav, TOMÁŠ Pinkr a VANDA Janštová. A Hands-On Set for Understanding DNA Replication, Transcription & Polymerase Chain Reaction (PCR). *The American Biology Teacher*. 2020, **82**(1), 49-51. ISSN 0002-7685.

MILLAR, Robin a Ian ABRAHAMS. Practical Work: Making it More Effective. *School Science Review*. 2009, **91**(334), 59-64. ISSN 0036-6811.

MILLS SHAW, Kenna R., Katie VAN HORNE, Hubert ZHANG a Joann BOUGHMAN. Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*. 2008, **178**(3), 1157-1168. ISSN 0016-6731.

MORCILLO, José M., Esther PAÑOS a José R. RUIZ-GALLARDO. Microorganismos y Hábitos de Higiene. Estudio Longitudinal en los Cursos Iniciales de Educación Primaria. *Revista Eureka*. 2021, **18**(2), 1-19. ISSN 1697-011X.

MULLIS, Kary B., Fred A. FALOONA, Samuel J. SCHARF a kol. Specific Enzymatic Amplification of DNA in vitro: the Polymerase Chain Reaction. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 1986, **51**(1), 263-273. ISSN 1943-4456.

MURTONEN, Mari, Christina NOKKALA a Ilona SÖDERVIK. Challenges in Understanding Meiosis: Fostering Metaconceptual Awareness among University Biology Students. *Journal of Biological Education*. 2018, **54**(1), 1-14. ISSN 2157-6009.

Národní pedagogický institut České republiky. Expertní panel dokončil a schválil Hlavní směry revize RVP ZV. *Národní pedagogický institut České republiky - revize rámcových vzdělávacích programů* [online]. 2022a [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://velke-revize-zv.rvp.cz/blog/expertni-panel-dokoncil-a-schvalil-hlavni-smery-revize-rvp-zv>

NECKAŘOVÁ, Jana. *Analýza současného stavu výuky laboratorních cvičení z přírodopisu*

na 2. stupni základních škol a v odpovídajících ročnících víceletých gymnázií v Olomouckém kraji [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/2huq3k/>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 103 s.

NECKAŘOVÁ, Jana. *Žákovské prekoncepce o stavbě a funkci mikroskopu* [online]. Olomouc, 2021 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/udcp6z/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 89 s.

NEČÁSEK, Jan, Ivo CETL a kol. *Obecná genetika*. Praha: SPN, 1979, 565 s. ISBN neuvedeno.

NEHM, Ross H. Biology Education Research: Building Integrative Frameworks for Teaching and Learning about Living Systems. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*. 2019, **1**(1), 1-18. ISSN 2662-2300.

NEWMAN, Dina L. a L. Kate WRIGHT. Meiosis: A Play in Three Acts, Starring DNA Sequence. *CourseSource*. 2017, **4**(X), 1-4. ISSN 2332-6530.

NEWMAN, Dina L., Aeowynn COAKLEY, Aidan LINK, Korinne MILLS a L. Kate WRIGHT. Punnett Squares or Protein Production? The Expert–Novice Divide for Conceptions of Genes and Gene Expression. *CBE—Life Sciences Education*. 2021, **20**(4), 1-10. ISSN 1931-7913.

NEWMAN, Dina L., Christina CATAVERO a L. Kate WRIGHT. Students Fail to Transfer Knowledge of Chromosome Structure to Topics Pertaining to Cell Division. *CBE—Life Sciences Education*. 2012, **11**(4), 425-436. ISSN 1931-7913.

NEWMAN, Dina L., Christopher W. SNYDER, J. Nick FISK a L. Kate WRIGHT. Development of the Central Dogma Concept Inventory (CDCI) Assessment Tool. *CBE—Life Sciences Education*. 2016, **15**(2), 1–14. ISSN 1931-7913.

*Next Generation Science Standards: For States, By States* [online]. Washington DC: The National Academies Press, 2017 (rev.) [cit. 2022-10-31]. Dostupné z: <https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/AllDCI.pdf>

NOLEN-HOEKSEMA, Susan, B. L. FREDRICKSON, G. R. LOFTUS a kol. *Psychologie Atkinsonové a Hilgarda*. 3. vyd. Praha: Portál, 2012, 884 s. ISBN 978-80-262-0083-3.

NOVÁK, Jan a Milan SKALICKÝ. *Botanika*. 4. Praha: Powerprint, 2017, 358 s. ISBN 978-80-7568-036-5.

- NOVOSADOVÁ, Zuzana. *Molecular Mechanisms of Mammalian Circadian Clocks, Its Sensitivity to Constant Light and Aging* [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-09-19]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/116761/140081239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce PharmDr. Alena Sumová, DSc. 72 s.
- NURK, Sergey, Sergey KOREN, Arang RHIE a kol. The Complete Sequence of a Human Genome. *Science*. 2022, **376**(6588), 44-53. ISSN 0036-8075.
- O'BRIEN, Thomas W. a George F. KALF. Ribosomes from Rat Liver Mitochondria. *The Journal of Biological Chemistry*. 1967, **242**(9), 2180-2185. ISSN 0021-9258.
- OHYAMA, Kanji, Hideya FUKUZAWA, Takayuki KOHCHI a kol. Chloroplast Gene Organization Deduced from Complete Sequence of Liverwort *Marchantia Polymorpha* Chloroplast DNA. *Nature*. 1986, **322**(6078), 572–574. ISSN 1476-4687.
- Oxford University Press. *Oxford English Dictionary (OED)* [online]. 2023 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.oed.com/>
- OYANG, Linda, Jian LI, Xianjie JIANG a kol. The Function of Prohibitins in Mitochondria and the Clinical Potentials. *Cancer Cell International*. 2022, **22**(1), č. 343. ISSN 1475-2867.
- ÖZTAP, Haydar, Esra ÖZAY a Fulya ÖZTAP. Teaching Cell Division to Secondary School Students: An Investigation of Difficulties Experienced by Turkish Teachers. *Journal of Biological Education*. 2003, **38**(1), 13-15. ISSN 2157-6009.
- PAL, Soumik, Amit SHARMA, Sam P. MATHEW a Bithiah G. JAGANATHAN. Targeting Cancer-Specific Metabolic Pathways for Developing Novel Cancer Therapeutics. *Frontiers in Immunology*. 2022, **13**(X), č. neuvedeno. ISSN 1664-3224.
- PALADE, George E. A Small Particulate Component of the Cytoplasm. *The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*. 1955, **1**(1), 59-68. ISSN 0095-9901.
- PAPÁČEK, Miroslav. Badatelsky orientované přírodovědné vyučování – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa?. *Scientia in Educatione*. 2010a, **1**(1), 33–49. ISSN 1804-7106.
- PAPÁČEK, Miroslav. Limity a šance zavádění badatelsky orientovaného vyučování přírodopisu a biologie v České republice. In: PAPÁČEK, Miroslav (Ed.). *Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování. DiBi 2010: Sborník příspěvků semináře, 25. a 26. března 2010*. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 2010b, s. 145-162.

ISBN 978-80-7394-210-6.

PAPÁČEK, Miroslav, Věra ČÍŽKOVÁ, Milan KUBIATKO, Jan PETR a Radka ZÁVODSKÁ. Didaktika biologie: didaktika v rekonstrukci. In: STUHLÍKOVÁ, Iva, Tomáš JANÍK, Zdeněk BENEŠ a kol. *Oborové didaktiky: vývoj – stav – perspektivy*. Brno: Masarykova Univerzita, 2015, s. 225–257. ISBN 978-80-210-7884-0.

PARK, Minjeong a Youl-Kwan SUNG. Teachers' Perceptions of the Recent Curriculum Reforms and Their Implementation: What Can We Learn from the Case of Korean Elementary Teachers. *Asia Pacific Journal of Education*. 2013, **33**(1), 15-33. ISSN 0218-8791.

PARRA-MARÍN, Olivia, Karla LÓPEZ-PACHECO, Roberto HERNÁNDEZ a Imelda LÓPEZ-VILLASEÑOR. The Highly Diverse TATA Box-Binding Proteins Among Protists: A Review. *Molecular and Biochemical Parasitology*. 2020, **239**(X), č. neuvedeno. ISSN 1872-9428.

PELIKÁNOVÁ, Ivana, Věra ČABRADOVÁ, František HASCH a kol. *Přírodopis 6: Učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia – nová generace*. Plzeň: Fraus, 2014, 120 s. ISBN 978-80-7489-009-3.

PENG, Fei, Xin LI a Fang XIAO. Circadian Clock, Diurnal Glucose Metabolic Rhythm, and Dawn Phenomenon. *Trends in Neurosciences*. 2022, **45**(6), 471-482. ISSN 1878-108X.

PEŠKOVÁ, Karolína, Michaela SPURNÁ a Petr KNECHT. Teachers' Acceptance of Curriculum Reform in the Czech Republic: One Decade Later. *CEPS Journal*. 2019, **9**(2), 73-97. ISSN 2232-2647.

PÍŠOVÁ, Markéta. *Profesní vidění studentů učitelství přírodopisu a biologie* [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/x6tunr/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 131 s.

POIREL, Laurent, Jean-Yves MADEC, Agnese LUPO a kol. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli*. *Microbiology Spectrum*. 2018, **6**(4), č. neuvedeno. ISSN 2165-0497.

POPELKA, Stanislav, Alžběta BRYCHTOVÁ a Vít VOŽENÍLEK. Eye-tracking a jeho využití při hodnocení map. *Geografický časopis*. 2012, **64**(1), 71-87. ISSN 2453-8787.

POSNER, G. J., K. A. STRIKE, P. W. HEWSON a W. A. GERTZOG. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*. 1982,

66(2), 211-227. ISSN 1098-237X.

POULÍČKOVÁ, Aloisie a Jaroslav JURČÁK. *Malý obrazový atlas našich sinic a řas*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001, 81 s. ISBN 8024402424.

PRETINI, Virginia, Mischa H. KOENEN, Lars KAESTNER a kol. Red Blood Cells: Chasing Interactions. *Frontiers in Physiology*. 2019, **10**(X), č. 945. ISSN 1664-042X.

RANAWEERA, Sisika P. N. a Lisa M. MONTPLAISIR. Students' Illustrations of the Human Nervous System as a Formative Assessment Tool. *Anatomical Sciences Education*. 2010, **3**(5), 227–233. ISSN 1935-9780.

RANDLER, Christoph. Learning About Bird Species on the Primary Level. *Journal of Science Education and Technology*. 2008, **18**(2), 138–145. ISSN 1573-1839.

*Rámcový vzdělávací program pro gymnázia* [online]. Praha: MŠMT, 2007 [cit. 2021-09-15]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/file/159>

*Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání* [online]. Praha: MŠMT, 2017 [cit. 2021-09-11]. Dostupné z: <https://www.msmt.cz/file/43792/>

*Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání* [online]. Praha: MŠMT, 2021 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/07/RVP-ZV-2021.pdf>

RIEMEIER, TANJA. Schülervorstellungen von Zellen, Teilung und Wachstum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2005, **11**(1), 52-72. ISSN 0949-1147.

ROBERTS, Walden K. a Claude P. SELITRENNIKOFF. Plant and Bacterial Chitinases Differ in Antifungal Activity Free. *Microbiology Society*. 1988, **134**(1), 169-176. ISSN 1465-2080.

ROKOS, Lukáš, Jakub HOLEC (Eds.), Kateřina ČIHÁKOVÁ a kol. *Podkladová studie k revizi rámcových vzdělávacích programů v oblasti vzdělávání o živé a neživé přírodě: Jak budeme učit přírodopis, biologii a geologii v příštích letech?*. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2019, 79 s. ISBN nepřirazen.

RUIZ-GALLARDO, José R., María I. B. BALLESTEROS DE LA CRUZ a Esther PAÑOS. Los Microorganismos en la Educación Primaria. Ideas de los Alumnos de 8 a 11 Años e Influencia de los Libros de Texto. *Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*. 2018, **36**(1), 79-98. ISSN 2174-6486.

SAIKI, Randy K., David H. GELFAND, Susanne STOFFEL a kol. Primer-Directed Enzymatic

Amplification of DNA with a Thermostable DNA Polymerase. *Science*. 1988, **239**(4839), 487-491. ISSN 1095-9203.

SARKAR, Sharmilee, Upalabdha DEY, Trust Boitumelo KHOHLIWE a kol. Analysis of Nucleoid-Associated Protein-Binding Regions Reveals DNA Structural Features Influencing Genome Organization in *Mycobacterium tuberculosis*. *FEBS Letters*. 2021, **595**(19), 2504-2521. ISSN 1873-3468.

SEPEL, Lenira M.N., Elgion L.S. LORETO a João B.T. ROCHA. Using a Replica of Leeuwenhoek's Microscope to Teach the History of Science and to Motivate Students to Discover the Vision and the Contributions of the First Microscopists. *CBE—Life Sciences Education*. 2009, **8**(4), 338-343. ISSN 1931-7913.

SERAFÍN, Čestmír, Jiří DOSTÁL a Martin HAVELKA. Inquiry-based Instruction in the Context of Constructivism. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2015, **186**(1), 592-599. ISSN 1877-0428.

SHAHBAZI, Marta N. Mechanisms of Human Embryo Development: From Cell Fate to Tissue Shape and Back. *Development*. 2020, **147**(14), 190629. ISSN 1477-9129.

SHAPIRO, James A. Revisiting the Central Dogma in the 21st Century. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009, **1178**(1), 6-28. ISSN 1749-6632.

SHEA, Nicole A., Ravit G. DUNCAN a Celeste STEPHENSON. A Tri-part Model for Genetics Literacy: Exploring Undergraduate Student Reasoning About Authentic Genetics Dilemmas. *Research in Science Education*. 2015, **45**(3), 485–507. ISSN 1573-1898.

SHERIDAN, Cormac. Industry Appetite for Natural Killer Cells Intensifies. *Nature Biotechnology*. 2023, **41**(2), 159–161. ISSN 1546-1696.

SHI, Jia, William B. WOOD, Jennifer M. MARTIN a kol. A Diagnostic Assessment for Introductory Molecular and Cell Biology. *CBE—Life Sciences Education*. 2010, **9**(4), 453–461. ISSN 1931-7913.

SHIRATORI, Takashi, Shigekatsu SUZUKI, Yukako KAKIZAWA a Ken-ichiro ISHIDA. Phagocytosis-Like Cell Engulfment by a Planctomycete Bacterium. *Nature Communications*. 2019, **10**(1), č. 5529. ISSN 2041-1723.

SHULMAN, Lee S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*. 1987, **57**(1), 1-23. ISSN 1943-5045.



SHULMAN, Lee S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational researcher*. 1986, **15**(2), 4-14. ISSN 1935102X.

SCHLEIDEN, Matthias J. Beiträge zur Phytogenesis. In: MÜLLER, Johannes (Ed.). *Archiv für Anatomie, Physiologie und Wissenschaftliche Medicin*. Berlin: Veit, 1838, s. 137–176. ISBN nepřirazeno.

SCHNEEWEIß, Niklas a Harald GROPENGIESSER. Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*. 2019, **9**(3), 207. ISSN 2227-7102.

SCHNEEWEIß, Niklas a Harald GROPENGIESSER. The Zoom Map: A New Graphic Organizer to Guide Student's Explanations Across the Levels of Biological Organization. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*. 2021, **47**(1), 3-13. ISSN 1539-2422.

SCHWANN, Theodor. *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen*. Berlin: Sander, 1839, 270 s. ISBN nepřirazeno.

SILVERTHORN, Dee U. Uncovering Misconceptions about the Resting Membrane Potential. *Advances in Physiology Education*. 2002, **26**(2), 69-71. ISSN 1522-1229.

SINATRA, Gale M. a Clark A. CHINN. Thinking and Reasoning in Science: Promoting Epistemic Conceptual Change. In: HARRIS, Kareen R., Steve GRAHAM (Eds.) a kol. *APA Educational Psychology Handbook. Vol. 3. Application to Learning and Teaching*. Washington D.C.: American Psychological Association, 2012, s. 257–282. ISBN 978-1-4338-0996-5.

SINGH, Suman, Sharmishtha SHYAMAL a Amaresh C. PANDA. Detecting RNA–RNA Interactome. *Wiley Interdisciplinary Reviews: RNA*. 2022, **13**(5), č. 1715. ISSN 1757-7012.

SIMARD, Catherine. Microorganism Education: Misconceptions and Obstacles. *Journal of Biological Education*. 2021, **X**(X), 1-9. ISSN 2157-6009.

SLAVÍK, Jan, Klára ULIČNÁ, Jana STARÁ, Petr NAJVAR a kol. *Didaktické kazuistiky v oborech školního vzdělávání*. Brno: Masarykova Univerzita, 2017, 462 s. ISBN 978-80-210-8768-2.

SLÁDEK, Martin, Michaela KUDRNÁČOVÁ RÖSCHOVÁ, Věra ADÁMKOVÁ, Dana

HAMPLOVÁ a Alena SUMOVÁ. Chronotype Assessment via a Large Scale Socio-Demographic Survey Favours Yearlong Standard Time over Daylight Saving Time in Central Europe. *Scientific Reports*. 2020, **10**(1), č. 1419. ISSN 2045-2322.

SMITH, Michelle K. a Jennifer K. KNIGHT. Using the Genetics Concept Assessment to Document Persistent Conceptual Difficulties in Undergraduate Genetics Courses. *Genetics*. 2012, **191**(1), 21-32. ISSN 0016-6731.

SNUSTAD, D. Peter a Michael J. SIMMONS. Genetika. 2. vyd. Brno: Masarykova Univerzita, 2017, 864 s. ISBN 978-80-210-8613-5.

SOPPA, Jörg. Non-Equivalent Genomes in Polyploid Prokaryotes. *Nature Microbiology*. 2022, **7**(2), 186–188. ISSN 2058-5276.

SOZEN, Berna, Victoria JORGENSEN, Bailey A. T. WEATHERBEE a kol. Reconstructing Aspects of Human Embryogenesis with Pluripotent Stem Cells. *Nature Communications*. 2021, **12**(1), č. 5550. ISSN 2041-1723.

SPITZER, Jan a Bert POOLMAN. How Crowded is the Prokaryotic Cytoplasm?. *FEBS Letters*. 2013, **587**(14), 2094-2098. ISSN 1873-3468.

*Standardy pro základní vzdělávání: Přírodopis* [online]. Praha: MŠMT, 2013 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://digifolio.rvp.cz/artefact/file/download.php?file=67499&view=9832>

STICKGOLD, Robert a Matthew P. WALKER (Eds.). *The Neuroscience of Sleep*. London: Academic Press, 2010, 375 s. ISBN 978-012-375-0730.

STOKLASA, Jan (a kol.). *Seminář a praktikum z přírodopisu pro 2. stupeň základní školy*. Praha: SPN, 2010, 88 s. ISBN 80-7235-159-1.

STOREY, Richard D. Textbook Errors & Misconceptions in Biology: Cell Structure. *The American Biology Teacher*. 1990, **52**(4), 213-218. ISSN 0002-7685.

SUMOVÁ, Alena, Martin SLÁDEK, Martin JÁČ a Helena ILLNEROVÁ. The Circadian Rhythm of Per1 Gene Product in the Rat Suprachiasmatic Nucleus and Its Modulation by Seasonal Changes in Daylength. *Brain Research*. 2002, **947**(2), 260-270. ISSN 0006-8993.

SVOBODA, Petr, Jan TEISINGER, Jiří NOVOTNÝ a kol. Biochemistry of Transmembrane Signaling Mediated by Trimeric G Proteins. *Physiological Research*. 2004, **53**(X), 141-152. ISSN 1802-9973.

ŠKODA, Jiří a Pavel DOULÍK. *Psychodidaktika. Metody efektivního a smysluplného učení a vyučování*. Praha: Grada Publishing, 2011, 208 s. ISBN 978-80-247-3341-8.

ŠKODA, Jiří, Pavel DOULÍK (a kol.). *Prekoncepce a miskoncepce v oborových didaktikách*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2010, 274 s. ISBN 978-80-7414-290-1.

*Štátny vzdelávací program* [online]. Bratislava: MŠVVaŠ SR, 2016 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.statpedu.sk/sk/svp/statny-vzdelavaci-program/>

*Štátny vzdelávací program: Biológia* [online]. Bratislava: MŠVVaŠ SR, 2016 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.minedu.sk/data/att/22675.pdf>

*Štátny vzdelávací program pre gymnáziá: Biológia* [online]. Bratislava: MŠVVaŠ SR, 2009 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: [https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/statny-vzdelavaci-program/biologia\\_isced3.pdf](https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/statny-vzdelavaci-program/biologia_isced3.pdf)

*Štátny vzdelávací program pre gymnáziá v Slovenskej republike, ISCED 3A – vyššie sekundárne vzdelávanie* [online]. Bratislava: MŠVVaŠ SR, 2011 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: [https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/statny-vzdelavaci-program/isced3\\_spu\\_uprava.pdf](https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/statny-vzdelavaci-program/isced3_spu_uprava.pdf)

ŠVANDOVÁ, Kateřina. Secondary School Students' Misconceptions about Photosynthesis and Plant Respiration: Preliminary Results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2014, **10**(1), 59-67. ISSN 1305-8223.

*ŠVP Gymnázia Františka Palackého Valašské Meziříčí: Volitelné předměty* [online]. Valašské Meziříčí: GFPVM, 2013/2014 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.gfpvm.cz/files/svp-volitelne-predmety.pdf>

*ŠVP Gymnázia Kapitána Jaroše Brno: Osmileté všeobecné studium* [online]. Brno: GBKJ, 2021/2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.jaroska.cz/files/svp/SVP-8L-vseob20-21.pdf>

TAKAHASHI, Joseph S. Molecular Components of the Circadian Clock in Mammals. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 2015, **17**(1), 6-11. ISSN 1462-8902.

*Te Marautanga o Aotearoa* [online]. Wellington: Te Tāhuhu o te Mātauranga, 2017 [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://tmoa.tki.org.nz/Te-Marautanga-o-Aotearoa>. ISBN 978 1 77669 232 3.

TEKKAYA, Ceren. Misconceptions as Barrier to Understanding Bdiology. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 2002, **23**(23), 259-266. ISSN 2536-4758.

TEREZA. *Bádálek: Badatelské lekce pro 6.-9. ročník ZŠ*. Praha: Sdružení TEREZA, 2013, 100 s. ISBN 978-80-87905-04-3.

*The New Zealand Curriculum* [online]. Wellington: Ministry of Education, 2015 [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://nzcurriculum.tki.org.nz/The-New-Zealand-Curriculum>. ISBN 978 0 7903 2614 6.

TÓTHOVÁ, Martina. *Využití eye-trackingu k analýze strategií volených žáky při řešení problémových úloh z chemie* [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/108694/120327067.pdf>. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce PhDr. Martin Rusek, Ph.D. 100 s.

TREAGUST, David F. a Filocha HASLAM. Evaluating Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-Tier Diagnostic Instrument. In: BLOSSER, Patricia E. a Stanley L. HELGESON. *National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, Abstracts of Presented Papers (59th, San Francisco, California, March 28-31, 1986)*. Columbus, Ohio: The Ohio State University, 1986, s. 1-23. ISBN neuvedeno.

TSAGLIOTIS, Nektarios. Build Your Own Microscope: Following in Robert Hooke's Footsteps. *Science in School*. 2012, **22**(1), 29-35. ISSN 1818-0361.

TSAGLIOTIS, Nektarios. Microscope Studies in Primary Science: Following the Footsteps of R. Hooke in Micrographia. In: KALOGIANNAKIS, M., D. STAVROU a P. G. MICHAELIDES (Eds.). *Proceedings of the 7th International Conference on Hands-on Science*. Rethymno-Crete: The University of Crete, KYBOΣ thecopyshop, 2010, s. 212-221. ISBN 978 -989-95095-6-6.

TUPÝ, Jan. *Tvorba kurikulárních dokumentů v České republice: Historicko-analytický pohled na přípravu kurikulárních dokumentů pro základní vzdělávání v letech 1989–2017*. 2. vyd. Brno: Masarykova Univerzita, 2018, 230 s. ISBN 978-80-210-8998-3.

VAN DEN BERG, Ed. The PCK of Laboratory Teaching: Turning Manipulation of Equipment into Manipulation of Ideas. *Scientia in Educatione*. 2013, **4**(2), 74-92. ISSN 1804-7106.

VAN DIJK, Esther M. a Ulrich KATTMANN. A Research Model for the Study of Science

Teachers' PCK and Improving Teacher Education. *Teaching and Teacher Education*. 2007, **23**(6), 885-897. ISSN 0742-051X.

VAUPEL, Peter a Gabriele MULTHOFF. Revisiting the Warburg Effect: Historical Dogma versus Current Understanding. *The Journal of Physiology*. 2020, **599**(6), 1745-1757. ISSN 1469-7793.

VENVILLE, Grady J. a David F. TREAGUST. Exploring Conceptual Change in Genetics Using a Multidimensional Interpretive Framework. *Journal of Research in Science Teaching*. 1998, **35**(9), 1031-1055. ISSN 1098-2736.

VERHOEFF, Roald Pieter. *Towards Systems Thinking in Cell Biology Education*. Utrecht: CD-β Press, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht, 2003, 196 s. ISBN 90-73346-56-8.

VERHOEFF, Roald P., K. Th. BOERSMA a A. J. WAARLO. Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*. 2008, **30**(4), 543-568. ISSN 1464-5289.

VERHOEFF, Roald P., Marie-Christine P. J. KNIPPELS, Melde G. R. GILISSEN a Kerst T. BOERSMA. The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Frontiers in Education*. 2018, **3**(1), 1-40. ISSN 2504-284X.

VILLARROEL, José D. a Guillermo INFANTE. Early Understanding of the Concept of Living Things: an Examination of Young Children's Drawings of Plant Life. *Journal of Biological Education*. 2013, **48**(3), 119-126. ISSN 2157-6009.

VLCKOVA, Jana, Milan KUBIATKO a Muhammet USAK. Czech High School Students' Misconceptions about Basic Genetic Concepts: Preliminary Results. *Journal of Baltic Science Education*. 2016, **15**(6), 738-745. ISSN 1648-3898.

VON BERTALANFFY, Ludwig. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. Rev. vyd. New York: George Braziller, 2015, 296 s. ISBN 978-08-076-0015-3.

VRÁNOVÁ, Olga. Využití mikroskopů ve výuce přírodopisu na základních školách. *e-Pedagogium*. 2004, **4**(1), 114-120. ISSN 1213-7499.

WALDRON, Ingrid, Jennifer DOHERTY, R. Scott POETHIG a Lori SPINDLER. *Mitosis, Meiosis and Fertilization* [online]. Pennsylvania: University of Pennsylvania, 2010 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <http://www2.iccb.org/MitosisMeiosisProtocol.pdf>

WANDERSEE, JAMES H. Language, Analogy, and Biology. In: FISHER, Kathleen M., James H. WANDERSEE a David E. MOODY. *Mapping Biology Knowledge*. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002, s. 95-108. ISBN 0-306-47225-2.

WANDERSEE, James H. a Elisabeth E. SCHUSSLER. Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher*. 1999, **61**(2), 82-86. ISSN 1938-4211.

WATSON, James D. a Francis H. C. CRICK. Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*. 1953, **171**(4356), 737-738. ISSN 1476-4687.

WESTRICH, Kathleen a Craig BERG. Villi, Villi Everywhere: Biological Structures, Surface Area, & Proportional Thinking. *The American Biology Teacher*. 2011, **73**(3), 156-161. ISSN 1938-4211.

WICKSTEAD, Bill a Keith GULL. The Evolution of the Cytoskeleton. *Journal of Cell Biology*. 2011, **194**(4), 513–525. ISSN 0021-9525.

WILMUT, Ian, A. E. SCHNIEKE, J. MCWHIR, A. J. KIND a K. H. S. CAMPBELL. Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells. *Nature*. 1997, **385**(6619), 810–813. ISSN 1476-4687.

WOLKENHAUER, Olaf a Allan MUIR. The Complexity of Cell-Biological Systems. In: HOOKER, Cliff A. (Ed.), Dov M. GABBAY, Paul THAGARD a kol. *Philosophy of Complex Systems*. Amsterdam: Elsevier, 2011, s. 355-385. ISBN 978-0-444-52076-0.

WOOD-ROBINSON, Colin, Jenny LEWIS a John LEACH. Young People's Understanding of the Nature of Genetic Information in the Cells of an Organism. *Journal of Biological Education*. 2000, **35**(1), 29-36. ISSN 2157-6009.

WRIGHT, L. Kate a Dina L. NEWMAN. An Interactive Modeling Lesson Increases Students' Understanding of Ploidy During Meiosis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2011, **39**(5), 344-351. ISSN 1539-3429.

WRIGHT, L. Kate, Emalee WRIGHTSTONE, Lauren TRUMPORE, Julia STEELE, Deanna M. ABID a Dina L. NEWMAN. The DNA Landscape: Development and Application of a New Framework for Visual Communication about DNA. *CBE—Life Sciences Education*. 2022a, **21**(3), 1-8, ar47. ISSN 1931-7913.

WRIGHT, L. Kate, J. Nick FISK a Dina L. NEWMAN. DNA→RNA: What Do Students Think the Arrow Means?. *CBE—Life Sciences Education*. 2014, **13**(2), 338-348. ISSN 1931

-7913.

WRIGHT, L. Kate, Jordan J. CARDENAS, Phyllis LIANG a Dina L. NEWMAN. Arrows in Biology: Lack of Clarity and Consistency Points to Confusion for Learners. *CBE—Life Sciences Education*. 2017, **17**(1), 1-13, ar6. ISSN 1931-7913.

WRIGHT, L. Kate, Paulina CORTEZ, Margaret A. FRANZEN a Dina L. NEWMAN. Teaching Meiosis with the DNA Triangle Framework: A Classroom Activity that Changes How Students Think about Chromosomes. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2022b, **50**(1), 44-54. ISSN 1539-3429.

WYNN, April N., Irvin L. PAN a Elizabeth E. RUESCHHOFF. Student Misconceptions about Plants – A First Step in Building a Teaching Resource. *Journal of Microbiology & Biology Education*. 2017, **18**(1), 1-4. ISSN 1935-7885.

YEN, Chi. *Constitution of Organs of the Higher Plants*. Beijing: China Agriculture Press, 2022, 160 s. ISBN 978-7-109-22791-0.

YENILMEZ, Ayse a Ceren TEKKAYA. Enhancing Students' Understanding of Photosynthesis and Respiration in Plant Through Conceptual Change Approach. *Journal of Science Education and Technology*. 2006, **15**(1), 81-87. ISSN 1573-1839.

YIP, Din Yan. Teachers' Misconceptions of the Circulatory System. *Journal of Biological Education*. 1998, **32**(3), 207-215. ISSN 2157-6009.

YUSUPOVA, Gulnara a Marat YUSUPOV. A Path to the Atomic-Resolution Structures of Prokaryotic and Eukaryotic Ribosomes. *Biochemistry (Moscow)*. 2021, **86**(8), 926–941. ISSN 1608-3040.

ZHANG, Meng, Cangzhi JIA, Fuyi LI a kol. Critical Assessment of Computational Tools for Prokaryotic and Eukaryotic Promoter Prediction. *Briefings in Bioinformatics*. 2022, **23**(2), č. 551. ISSN 1477-4054.

ZHAO, Ya-Nan, Jian-Bo JIANG a Shi-Yuan TAO. GABAergic Neurons in the Rostromedial Tegmental Nucleus are Essential for Rapid Eye Movement Sleep Suppression. *Nature Communications*. 2022, **13**(1), č. 7552. ISSN 2041-1723.

ZHOU, Wei-Yi, Ze-Rong CAI, Jia LIU a kol. Circular RNA: Metabolism, Functions and Interactions with Proteins. *Molecular Cancer*. 2020, **19**(1), č. 172. ISSN 1476-4598.

ŽÁK, Vojtěch, Dana ŘEZNIČKOVÁ, Martin BÍLEK a kol. Dopis didaktiků přírodovědných oborů a dalších odborníků ohledně úprav RVP ZV. In: *Pedagogické info* [online]. 2021 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <http://www.pedagogicke.info/2021/02/dopis-didaktiku-prirodovednych-oboru.html>

ŽÍDKOVÁ, Hana a Kateřina KNŮROVÁ. *Hravý přírodopis 6: Učebnice pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik, 2017, 124 s. ISBN 978-80-7563-069-8.

**Seznam zdrojů obrázků (necitovaných):**

Kresba nervové buňky (Poděkování): autorka

Kresba DNA (Úvod): autorka

Mateřská somatická buňka (Konceptový test 4): autorka



## **SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha č. 1:** Informovaný souhlas s účastí ve výzkumném šetření

**Příloha č. 2:** Konceptové testy

**Příloha č. 3:** Kategoriální systém žákovských odpovědí

## **Příloha č. 1: Informovaný souhlas s účastí ve výzkumném šetření**

### ***Informovaný souhlas s účastí ve výzkumném šetření***

Zaměření výzkumného šetření: Prekoncepce žáků 2. stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií o stavbě a funkci buňky

**Období realizace:** 2021-2023

**Řešitelé:** Bc. Radka Dočekalová (Katedra biologie, Pedagogická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci)  
RNDr. Martin Jáč, Ph.D. (Katedra biologie, Pedagogická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci)

---

Vážená žákyně, vážený žaku, vážení rodiče,

obracíme se na Vás s žádostí o účast ve výzkumném šetření, jehož cílem je hodnocení žákovských představ o stavbě a funkci buňky u žáků 2. stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. Součástí výzkumu je vyplnění konceptových testů zaměřených na danou problematiku. Celková časová náročnost výzkumného šetření činí 30–40 minut v závislosti na typu a dílčím tematickém zaměření vyplňovaného konceptového testu. Výzkum bude probíhat během školní výuky (ve škole, kterou žák navštěvuje) ve spolupráci s jeho vyučující(m) přírodopisu (biologie). Během celého šetření budou ze strany členů výzkumného týmu striktně dodržována veškerá platná opatření ve vztahu k zamezení šíření COVID-19, včetně dodržování všech vnitřních opatření dané školy v této oblasti.

Veškeré údaje získané v rámci celého výzkumu budou použity výhradně pro výzkumné účely. Výzkum je zcela anonymní, kódové označení bude sloužit pouze k přiřazení studenta k dané kategorii respondentů. S veškerými údaji bude nakládáno v souladu se Zákonem na ochranu osobních údajů č.101/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Účast v tomto výzkumném šetření je zcela dobrovolná a od účasti ve výzkumu máte možnost kdykoliv odstoupit bez udání důvodu. Pokud s účastí v tomto výzkumném šetření souhlasíte, podepište, prosím, níže uvedené prohlášení.

#### **Prohlášení**

Prohlašuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu. Řešitel(é) projektu mě dostatečně seznámil(i) s cíli a obsahem projektu včetně metod a postupů, které budou ve výzkumném šetření použity. Souhlasím s tím, že získané údaje budou použity jen pro účely výzkumu a že anonymizované výsledky výzkumu mohou být publikovány. Prohlašuji, že jsem měl(a) možnost si svou účast ve výzkumném šetření dostatečně promyslet a měl(a) jsem možnost se řešitele/řešitelů projektu zeptat na vše, co jsem považoval(a) za nezbytné v souvislosti s účastí v projektu vědět. Na všechny otázky jsem dostal(a) uspokojivou odpověď. Jsem informován(a), že od účasti ve výzkumném šetření mohu kdykoliv odstoupit bez udání důvodu. Tento informovaný souhlas je vyhotoven ve dvou stejnopisech s platností originálu, přičemž jeden stejnopis obdrží účastník výzkumu a druhý řešitelský tým.

#### **Účastník výzkumného šetření:**

Jméno	Příjmení	Podpis	Místo a datum
-------	----------	--------	---------------

#### **Zákonný zástupce (rodič) účastníka projektu:**

Jméno	Příjmení	Podpis	Místo a datum
-------	----------	--------	---------------

#### **Člen řešitelského týmu projektu:**

Jméno	Příjmení	Podpis	Místo a datum
-------	----------	--------	---------------

Radka	Dočekalová		
-------	------------	--	--

## Příloha č. 2: Konceptové testy

### KONCEPTOVÝ TEST 1 (typy buněk, vnitřní stavba buňky)

Kód školy: ZŠ01

Ročník: .....

Pohlaví (*prosím zakroužkuj*): dívka - chlapec

Věk: ..... let

**Zakresli rostlinnou a živočišnou buňku včetně všech vnitřních struktur buněk (buněčných organel), které znáš. Jednotlivé struktury rostlinné a živočišné buňky v obrázcích pojmenuj.**

#### 1) Rostlinná buňka

---

#### 2) Živočišná buňka

**Odpověz co nejpodrobněji na zadanou otázku:**

Jak se podle Tebe liší stavba rostlinné a živočišné buňky? Vysvětli:

.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

**Zakresli bakteriální buňku včetně všech vnitřních struktur (buněčných organel), které znáš. Jednotlivé struktury bakteriální buňky v obrázku pojmenuj.**

**1) Bakteriální buňka**

**Odpověz co nejpodrobněji na zadanou otázku:**

Jak se podle Tebe liší stavba bakteriální buňky oproti stavbě rostlinné a živočišné buňky? Vysvětli:

.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

## KONCEPTOVÝ TEST 2 (hierarchické uspořádání živých organismů)

Kód školy: ZŠ02

Ročník: .....

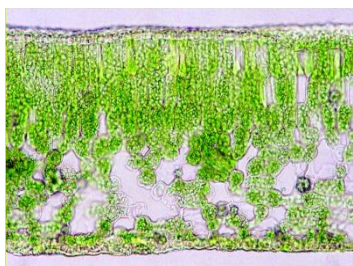
Pohlaví (*prosím zakroužkuj*): dívka - chlapec

Věk: ..... let

Seřaď níže vyobrazené struktury dle hierarchie od nejmenší (= číslice 1) po největší (= číslice 6). Příslušná čísla vepisuj do políček vedle obrázků.

### 1) Rostlinný mnohobuněčný organismus

A – základní listové pletivo




B – chloroplast



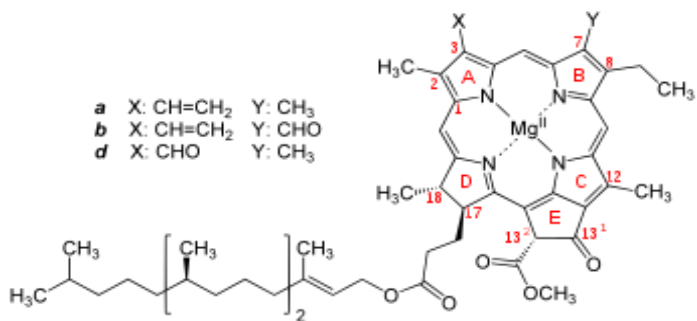

C – rostlinné tělo



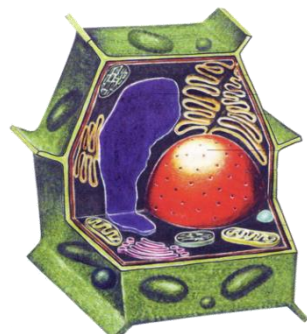

D – list




E – molekula chlorofylu




F – rostlinná buňka

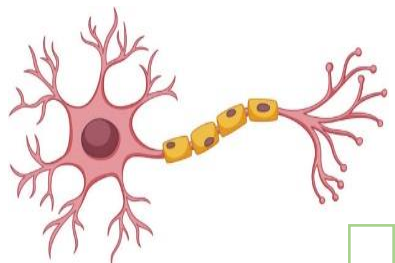



Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)

Seřad' níže vyobrazené struktury dle hierarchie od nejmenší (= číslice 1) po největší (= číslice 7). Příslušná čísla vepisuj do políček vedle obrázků.

2) Živočišný mnohobuněčný organismus

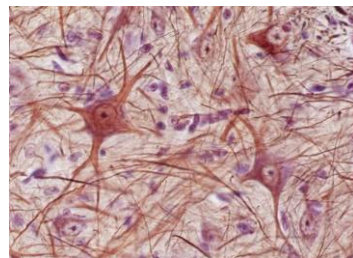
A – nervová buňka



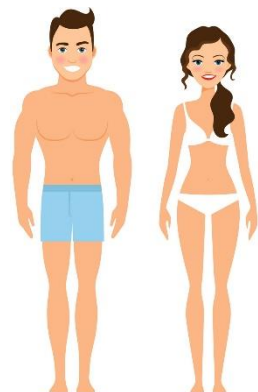

B – mozek



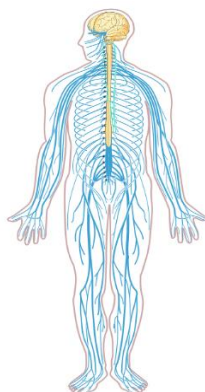

C – nervová tkáň



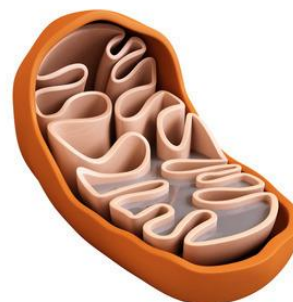

D – lidské tělo



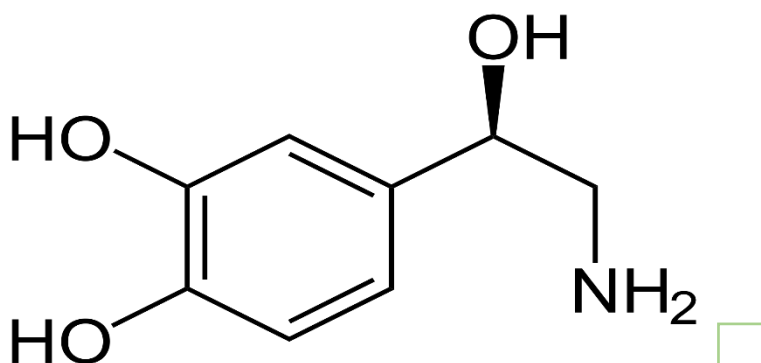

E – nervová soustava




F – mitochondrie




G – molekula noradrenalinu




Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)

### KONCEPTOVÝ TEST 3 (funkce buněčných organel)

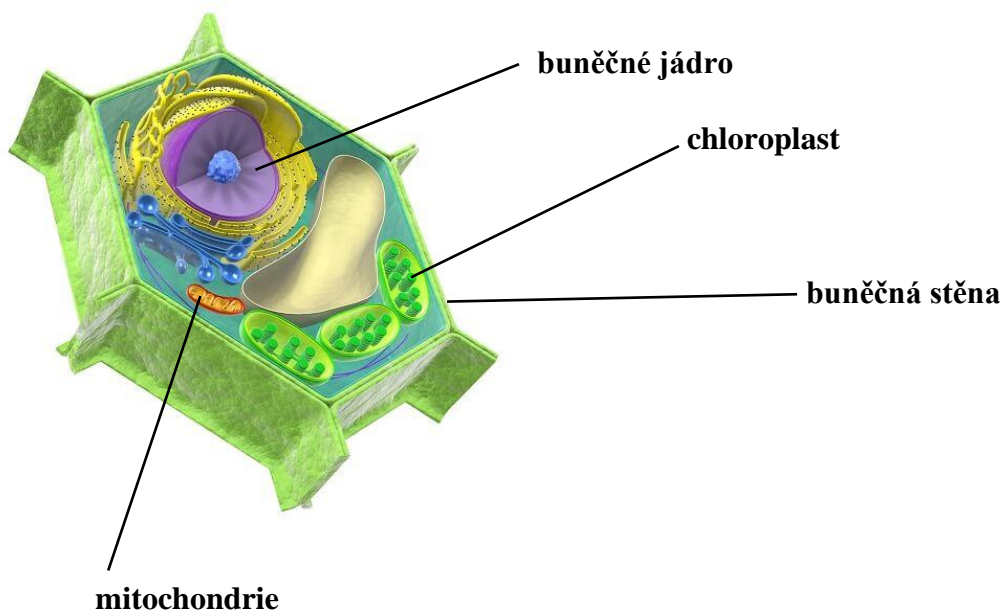
Kód školy: ZŠ03

Ročník: .....

Pohlaví (*prosím zakroužkuj*): dívka - chlapec

Věk: ..... let

Na obrázku je schéma rostlinné buňky. Prohlédni si jej a odpověz co nejpodrobněji na níže uvedené otázky:



1) Jakou funkci má buněčné jádro? Uveď a charakterizuj všechny funkce jádra, které Tě napadnou.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)

2) Jakou funkci má chloroplast? Uveď a charakterizuj všechny funkce chloroplastu, které Tě napadnou.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

3) Jakou funkci má buněčná stěna? Uveď a charakterizuj všechny funkce buněčné stěny, které Tě napadnou.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

4) Jakou funkci má mitochondrie? Uveď a charakterizuj všechny funkce mitochondrie, které Tě napadnou.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**



## KONCEPTOVÝ TEST 4 (rozmnožování buněk)

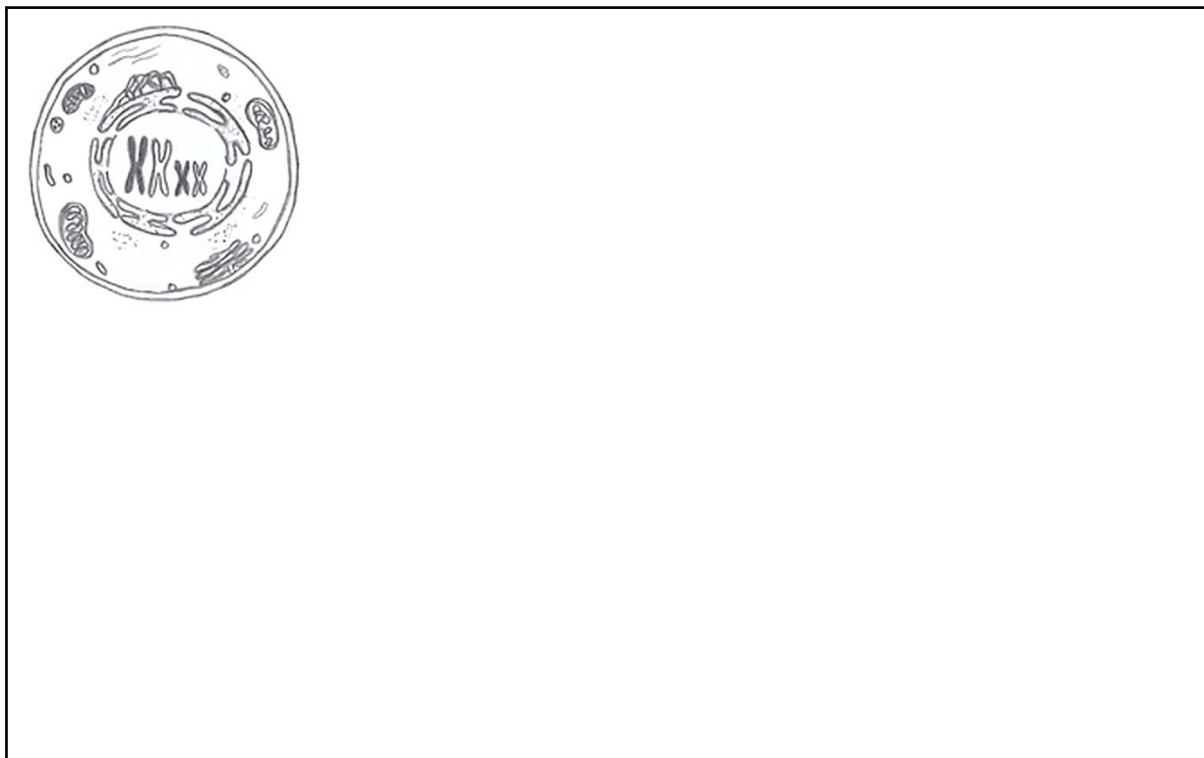
Kód školy: ZŠ04

Ročník: .....

Pohlaví (*prosím zakroužkuj*): dívka - chlapec

Věk: ..... let

**Kresba v rámečku zachycuje mateřskou buňku v lidském těle před zahájením rozmnožování. Zakresli, jakým způsobem rozmnožování této buňky proběhne a jaký bude výsledek tohoto procesu:**



**Odpověz co nejpodrobněji na zadané otázky:**

1) Popiš co nejdetailněji způsob rozmnožování buněk, který jsi zakreslil/a na svém obrázku.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

2) Proč se buňky rozmnožují? Uved' a podrobněji rozved' všechny důvody, které Tě napadnou.  
Nezapomeň také na význam pro organismus.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Jsi si jist(á) správností své odpovědi? a) určitě ano b) spíše ano c) spíše ne d) určitě ne (= jen hádám)**

### Příloha č. 3: Kategoriální systém žákovských odpovědí

#### Konceptový test č. 1 (typy buněk, vnitřní stavba buňky)

Výchozí kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat – rostlinná buňka:

Kategorie	Organela/Struktura
(1)	buněčná stěna
(2)	cytoplazmatická membrána
(3)	cytoplazma
(4)	jádro
(5)	jadérko
(6)	endoplazmatické retikulum
(7)	chloroplast
(8)	mitochondrie
(9)	vakuola
(10)	ribozóm

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat – živočišná buňka:

Kategorie	Organela/Struktura
(1)	cytoplazmatická membrána
(2)	cytoplazma
(3)	jádro
(4)	jadérko
(5)	endoplazmatické retikulum
(6)	mitochondrie
(7)	ribozóm

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat – bakteriální buňka:

Kategorie	Organela/Struktura
(1)	slizové pouzdro (kapsula)
(2)	buněčná stěna
(3)	cytoplazmatická membrána
(4)	cytoplazma
(5)	bakteriální chromozom(y)
(6)	ribozóm
(7)	bičíky

Struktury správně, navíc ( $\Sigma$  53); Chybné organely ( $\Sigma$  253) – dle kategorií žákovských odpovědí – nejčastější položky jsou shrnuty v textu práce.

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat:

Kategorie	Odpověď
(1)	úplná a správná odpověď
(2)	neúplná, ale správná odpověď ( <i>to, co žák uvedl, je správně</i> )
(3)	odpověď obsahující správná i chybná tvrzení
(4)	chybná odpověď ( <i>nic správně</i> )
(5)	bez odpovědi
(6)	alternativní odpověď
(7)	kresba bez popisku
(8)	kresba nevystihuje stavbu buňky
(9)	virus
(10)	kresba s popiskem bez spojnic

*Pozn.: Kód 9 = virus byl používán při hodnocení schémat bakteriální buňky.*

Kategorie odpovědí pro hodnocení tvaru buněk:

Kategorie	Odpověď
(1)	kulatý
(2)	oválný
(3)	obdélník
(4)	nepravidelný
(5)	jiný ( <i>pravidelné obrazce</i> )
(6)	3D schéma
(7)	čtverec
(N)	nelze vyhodnotit

Kategorie odpovědí pro porovnání velikosti buněk – rostlinná a živočišná buňka:

Kategorie	Odpověď
(1)	$R > Ž$
(2)	$R < Ž$
(3)	$R = Ž$
(N)	nelze vyhodnotit

Kategorie odpovědí pro porovnání velikosti buněk – bakteriální a rostlinná buňka:

Kategorie	Odpověď
(1)	$B > R$
(2)	$B < R$
(3)	$B = R$
(N)	nelze vyhodnotit

Kategorie odpovědí pro porovnání velikosti buněk – bakteriální a živočišná buňka:

Kategorie	Odpověď
(1)	$B > Ž$
(2)	$B < Ž$
(3)	$B = Ž$
(N)	nelze vyhodnotit

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí u otázky č. 1, požadující slovní srovnání stavby rostlinné a živočišné buňky:

Kategorie	Odpověď
(1)	Živočišná buňka nemá buněčnou stěnu, chloroplasty a vakuoly.
(2-X)	další dle odpovědí žáků

*Pozn.: Kód 1 je výchozí, úplnou a správnou odpovědí, od níž byly s odstupňováním hodnoceny další kategorie žákovských odpovědí prostřednictvím celkem 7 kódů správnosti.*

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí u otázky č. 2, požadující slovní srovnání stavby bakteriální buňky s rostlinnou a živočišnou buňkou.

Kategorie	Odpověď
(1)	Bakteriální buňka nemá jádro, je strukturně jednodušší, má slizové pouzdro, buněčnou stěnu ( <i>oproti živočišné buňce</i> ), nemá membránové organely.
(2-X)	další dle odpovědí žáků

*Pozn.: Kód 1 je výchozí, úplnou a správnou odpovědí, od níž byly s odstupňováním hodnoceny další kategorie žákovských odpovědí prostřednictvím celkem 7 kódů správnosti.*

Další kategorie žákovských odpovědí byly kódovány separátně – nejčastější z nich jsou shrnuty v textu práce.

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí na otázky č. 1 a 2, požadující slovní srovnání stavby příslušných typů buněk:

Kategorie	Odpověď
(1)	úplná a správná odpověď
(2)	neúplná, ale správná odpověď ( <i>to, co žák uvedl, je správně</i> )
(3)	odpověď obsahující správná i chybná tvrzení
(4)	chybná odpověď ( <i>nic správně</i> )
(5)	bez odpovědi
(6)	alternativní odpověď
(7)	nevím

Likertova škála, vyjadřující míry jistoty žáků se správností své odpovědi:

Kategorie	Odpověď
(4)	určitě ano
(3)	spíše ano
(2)	spíše ne
(1)	určitě ne (= jen hádám)
(N)	nelze vyhodnotit ( <i>bez odpovědi/více odpovědí/nejasná volba</i> )

## Konceptový test č. 2 (hierarchické uspořádání živých organismů)

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti seřazení struktur v rámci rostlinného těla:

Kategorie	Odpověď
(9)	zcela správné pořadí (E, B, F, A, D, C)
(1)	1 chybná odpověď (2 zaměněné struktury)
(2)	2 chybné odpovědi (3 zaměněné struktury)
(3)	3 chybné odpovědi (4 zaměněné struktury)
(4)	4 chybné odpovědi (5 zaměněných struktur)
(5)	5 chybných odpovědí (6 zaměněných struktur)

*Pozn.: Za částečně správnou odpověď (Kód 3 = odpověď obsahující správná i chybná tvrzení) byla považována 1 chybná odpověď (2 záměny). Za zcela chybnou odpověď (Kód 4) všechny zbylé.*

Kategorie odpovědí pro hodnocení nejčastěji zaměňovaných struktur u rostlinného těla:

Kategorie	Odpověď
(E)	molekula chlorofylu
(B)	chloroplast
(F)	rostlinná buňka
(A)	základní listové pletivo
(D)	list
(C)	rostlinné tělo

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti seřazení struktur v rámci živočišného těla:

Kategorie	Odpověď
(9)	zcela správné pořadí (G, F, A, C, B, E, D)
(1)	1 chybná odpověď (2 zaměněné struktury)
(2)	2 chybné odpovědi (3 zaměněné struktury)
(3)	3 chybné odpovědi (4 zaměněné struktury)
(4)	4 chybné odpovědi (5 zaměněných struktur)
(5)	5 chybných odpovědí (6 zaměněných struktur)
(6)	6 chybných odpovědí (7 zaměněných struktur)

*Pozn.: Za částečně správnou odpověď (Kód 3 = odpověď obsahující správná i chybná tvrzení) byla považována 1 chybná odpověď (2 záměny). Za zcela chybnou odpověď (Kód 4) všechny zbylé.*

Kategorie odpovědí pro hodnocení nejčastěji zaměňovaných struktur u živočišného těla:

<b>Kategorie</b>	<b>Organela/Struktura</b>
(G)	molekula noradrenalinu
(F)	mitochondrie
(A)	nervová buňka
(C)	nervová tkáň
(B)	mozek
(E)	nervová soustava
(D)	lidské tělo

Unikátní sekvence nesprávně řazených položek (záměn struktur) byly vždy kódovány separátně dle všech žakovských odpovědí ( $\Sigma$  69 variací) – nejčastější položky jsou shrnuty v textu práce.

Likertova škála, vyjadřující míry jistoty žáků se správností své odpovědi:

<b>Kategorie</b>	<b>Odpověď</b>
(4)	určitě ano
(3)	spíše ano
(2)	spíše ne
(1)	určitě ne (= jen hádám)
(N)	nelze vyhodnotit



### Konceptový test č. 3 (funkce buněčných organel)

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti otevřených otázek – funkce jádra:

Kategorie	Odpověď
(1)	řídící organela
(2)	informační organela
(3)	obsahuje genetickou informaci
(4)	umožňuje přenos genetické informace

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti otevřených otázek – funkce chloroplastu:

Kategorie	Odpověď
(1)	fotosyntéza
(2)	zachycení světelné energie chlorofylem/fotosyntetickými barvivy
(3)	tvorba zásobních látek (sacharidů)

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti otevřených otázek – funkce buněčné stěny:

Kategorie	Odpověď
(1)	ohraničuje buňku a udává jí její stálý tvar
(2)	zpevňuje buňku
(3)	chrání povrch buňky
(4)	propouští vodu s minerálními látkami
(5)	zajišťuje vzájemné propojení buněk

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti otevřených otázek – funkce mitochondrie:

Kategorie	Odpověď
(1)	buněčné dýchání
(2)	vznik energie (zajištění životních funkcí buňky)

Výše uvedené kategorie jsou výchozími, úplnými a správnými odpověďmi, od nichž byly s odstupňováním hodnoceny další kategorie žákovských odpovědí. Další, zpravidla chybné, kategorie byly kódovány separátně (-X) – nejčastější z nich jsou shrnuty v textu práce ( $\Sigma$  65).

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí na otázky č. 1-4, požadující slovní vysvětlení funkce příslušných organel:

<b>Kategorie</b>	<b>Odpověď</b>
(1)	úplná a správná odpověď
(2)	neúplná, ale správná odpověď
(3)	odpověď obsahující správná i chybná tvrzení
(4)	chybná odpověď
(5)	bez odpovědi
(6)	alternativní odpověď
(7)	nevím

Likertova škála, vyjadřující míry jistoty žáků se správností své odpovědi:

<b>Kategorie</b>	<b>Odpověď</b>
(4)	určitě ano
(3)	spíše ano
(2)	spíše ne
(1)	určitě ne (= jen hádám)
(N)	nelze vyhodnotit

## Konceptový test č. 4 (rozmnožování buněk)

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat – průběh mitotického dělení:

Kategorie	Odpověď
(1)	Při buněčném dělení nejprve dochází k dělení buněčného jádra, dalších organel a součástí buňky, a poté mateřské buňky samotné. V průběhu (anafáze, cytokineze) dochází k protažení mateřské buňky, jejímu zaškrvení a rozdělení na dceřiné. Ještě před rozdělením mateřské buňky se v cytoplazmě znovu dotvářejí samostatná jádra (jaderné membrány) a objevují buněčné organely. Výsledkem mitotického dělení jsou 2 buňky dceřiné.
(2)	Při buněčném dělení dochází k rozdělení buňky mateřské na 2 buňky dceřiné. <i>(je zachycen také průběh dělení, neúplně)</i>
(3)	Schéma nepřesně znázorňuje buněčné dělení. <i>(neúplně odpovídá fázím/znázorňuje pouze výsledek dělení, 2 či více buněk – např. tkáň)</i>
(4)	Kresba nereflektuje mitotické dělení. <i>(obsahově špatně)</i>
(5)	jiné – bez odpovědi, alternativní

*Pozn.: Ad Kód 3 – Pakliže žák zakreslil pouze výsledek „4 buňky“ bez jakéhokoliv dalšího komentáře či upřesnění, a z kresby dostatečně nevyplývá průběh dělení, není toto hodnoceno jako správné, poněvadž ze schématu není patrné, zda si mitózu nepomyšlil s meiózou. Pokud ze schématu vyplývá, že žák pochopil princip mitotického dělení a/či dále zakreslil vyšší hierarchickou strukturu, kterou buňky tvoří (např. tkáň, orgán apod.), odpověď byla uznána dle odpovídajícího kódu správnosti.*

Kategorie odpovědí pro hodnocení správnosti žákovských schémat – mitóza:

Kategorie	Odpověď
(1)	úplná a správná odpověď
(2)	neúplná, ale správná odpověď
(3)	odpověď obsahující správná i chybná tvrzení
(4)	chybná odpověď
(5)	bez odpovědi
(6)	alternativní odpověď

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí u otázky č. 1, požadující slovní popsaní žákem zakresleného způsobu rozmnožování buněk:

Kategorie	Odpověď
(1)	Při buněčném dělení nejprve dochází k dělení buněčného jádra, dalších organel a součástí buňky, a poté mateřské buňky samotné. V průběhu (anafáze, cytokineze) dochází k protažení mateřské buňky, jejímu zaškrčení a rozdělení na dceřiné. Ještě před rozdělením mateřské buňky se v cytoplazmě znovu dotvářejí samostatná jádra (jaderné membrány) a objevují buněčné organely. Výsledkem mitotického dělení jsou 2 buňky dceřiné.
(2-X)	další dle odpovědí žáků

*Pozn.: Kód 1 je výchozí, úplnou a správnou odpovědí, od níž byly s odstupňováním hodnoceny další kategorie žákovských odpovědí prostřednictvím celkem 8 kódů správnosti.*

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí u otázky č. 2, požadující slovní vysvětlení důvodů, proč se buňky rozmnožují:

Kategorie	Odpověď
(1)	růst
(2)	regenerace
(3)	tvorba gamet
(4)	namnožení zárodečných buněk
(5)	nepohlavní rozmnožování
(6)	přenos genetické informace/zachování života
(7)	imunitní obrana organismu
(8)	jiné ( <i>ostatní správné odpovědi</i> )
(9-X)	další dle odpovědí žáků ( <i>chybné odpovědi</i> )

*Pozn.: Kódy 1-8 jsou výchozími, úplnými a správnými odpověďmi, od nichž byly s odstupňováním hodnoceny další kategorie žákovských odpovědí prostřednictvím celkem 7 kódů správnosti. Kódy 9-X byly výhradně užívány pro chybné kategorie (nevynášeny do grafu).*

Další kategorie žákovských odpovědí byly kódovány separátně – nejčastější z nich jsou shrnuty v textu práce.

Kategorie pro hodnocení správnosti žákovských odpovědí na otázky č. 1 a 2:

Kategorie	Odpověď
(1)	úplná a správná odpověď
(2)	neúplná, ale správná odpověď
(3)	odpověď obsahující správná i chybná tvrzení
(4)	chybná odpověď
(5)	bez odpovědi
(6)	alternativní odpověď
(7)	nevím
(8)	2 buňky (odpovídá kódu 3)

*Pozn.: Kód 8 byl používán při hodnocení správnosti odpovědí na otázku č. 1. Kód 8 z hlediska správnosti odpovídá kódu 3. Při posuzování schémat byly částečně správné odpovědi hodnoceny kódem 3, zde byl kód 8 vylišován z důvodu přesnější interpretace – žáci, jež v předchozí úloze zakreslovali pouze výsledek mitotického dělení, jeho průběh z většiny takto i popisovali („1 buňka se rozdělí na 2“) bez detailnějšího vhledu do dílčích fází.*

Likertova škála, vyjadřující míry jistoty žáků se správností své odpovědi:

Kategorie	Odpověď
(4)	určitě ano
(3)	spíše ano
(2)	spíše ne
(1)	určitě ne (= jen hádám)
(N)	nelze vyhodnotit