

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie



Diplomová práce

Bc. Anna Kotradyová

Současný stav a možnosti výuky genetiky v rámci nižšího sekundárního
vzdělávání

Olomouc 2023

vedoucí práce: RNDr. Martin Jáč, 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 příloženém 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

Anna Kotradyová

Poděkování

Děkuji všem vyučujícím, kteří byli ochotni věnovat svůj čas dotazníkovému šetření. Dále vyučujícím, kteří mi umožnili realizovat šetření mezi žáky, rovněž děkuji žákům, kteří vyplnili konceptové testy. V neposlední řadě děkuji vedoucímu diplomové práce RNDr. Martinu Jáčovi, Ph.D. Bez jeho trpělivého vedení, by nebylo možné práci dokončit.

ANOTACE

Jméno a příjmení	Anna Kotradyová
Katedra	Katedra biologie
Vedoucí práce	RNDr. Martin Jáč, Ph.D.
Rok obhajoby	2023

Název práce	Současný stav a možnosti výuky genetiky v rámci nižšího sekundárního vzdělávání
Název práce v angličtině	Current state and directions of genetics instruction at lower secondary schools.
Anotace	<p>Cílem předložené diplomové práce bylo identifikovat představy žáků o vybraných genetických tématech, které se objevují mezi žáky 2. stupně základních škol. V teoretické části práce byla zpracována literární rešerše věnující se metodám výuky genetiky a jejich efektivitě, dále zde jsou zpracovány náměty pro výuku genetiky. V praktické části práce bylo realizováno dotazníkové šetření mezi vyučujícími přírodopisu/biologie z Olomouckého, Moravskoslezského a Zlínského kraje. Dále byly vytvořeny konceptové testy jejichž záměrem bylo identifikovat žákovské koncepty o pojmech: gen, chromozom, alela, DNA, bílkovina; molekulární podstatě dědičnosti, rodokmenu a dědičných onemocněních a možnostech využití genetiky v praxi. Z výsledků dotazníků mezi učiteli je patrné, že genetika bývá vyučována nejčastěji v 8. ročníku, a to v závěru školního roku. Vyučující využívají při výuce vlastní materiály a obrazovou oporu často tvoří dostupné animace a videa. Nejčastěji učitelé uvádí, že vyučují témata Základní genetické pojmy a Genetické onemocnění. Výsledky pilotního ověření konceptových testů naznačují, že mezi žákovskými představami se objevují miskoncepce a neúplné představy o genetice. Pro relevantní zhodnocení žákovských představ by bylo vhodné testování zopakovat a rozšířit testy i na gymnázia a následně získaná data porovnat.</p>
Klíčová slova	metody výuky genetiky, efektivita výuky genetiky, konceptové testy, druhý stupeň základních škol
Anotace v angličtině	The aim of the submitted thesis was the identification of pupils' conceptions of genetics. The theoretical part consists of the review of the methods used in genetics instruction and the effectiveness of these methods. In the practical part, there was a survey among the biology teachers in Olomouc, Moravian – Silesian and Zlín Region. Furthermore, the concept tests were developed, followed by the investigation of the pupils'

	<p>conceptions about basic genetics terms: gene, chromosome, allele, DNA and proteins; molecular genetics; pedigree and hereditary diseases and applications of genetic engineering. The results of the teachers' survey imply that genetics instruction takes place mainly in 8th grade, usually at the end of the school year. The teachers mostly use their own materials for the lesson, they also rely on the animated models or videos. The teachers mentioned basic terms in genetics and Genetics diseases as the most used ones in the genetics instruction. The pilot testing of the concept tests implies that the pupils' ideas about genetics are sometimes incomplete or wrong. Further research at grammar schools is needed to analyse relevant data of students' conceptions.</p>
Klíčová slova v angličtině	methods of genetics instructions, effectivity of instruction, concept tests, lower secondary schools
Přílohy vázané v práci	Konceptové testy I - XII
Rozsah práce	100 + 12 stran příloh
Jazyk práce	Český jazyk

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍLE	9
3	TEORETICKÁ ČÁST	10
3.1	Metody a formy výuky genetiky	10
3.1.1	Obecná charakteristika výukových metod.....	10
3.1.2	Vybrané metody a formy výuky genetiky	11
3.2	Efektivita metod výuky genetiky ve školní praxi	19
3.2.1	Efektivita využití modelů v genetice	20
3.2.2	Efektivita využití problémové výuky a BOV při výuce genetiky	21
3.2.3	Efektivita využití laboratorních cvičení ve výuce genetiky	22
3.2.4	Efektivita využití didaktických her při výuce genetiky.....	23
3.2.5	Efektivita výuky genetiky s využitím aktivit spojených s kresbou	24
3.2.6	Efektivita využití online aplikací a webových platforem pro výuku genetiky	25
3.3	Náměty do výuky genetiky.....	27
3.3.1	Vybrané náměty do výuky genetiky s využitím webových platforem a online zdrojů	27
3.3.2	Vybrané náměty aktivit pro výuku tématu genetika.....	33
3.4	Možnosti hodnocení žákovských představ a znalostí v oblasti genetiky	39
4	METODIKA	42
4.1	Dotazníkové šetření mezi vyučujícími přírodopisu druhého stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií.....	42
4.2	Konceptové testy z genetiky pro žáky základních škol a odpovídajících ročníků gymnázií	42
5	VÝSLEDKY	45
5.1	Výuka genetiky pohledem učitelů přírodopisu a biologie.....	45
5.2	Žákovské představy ve vybraných oblastech genetiky	58
5.2.1	Koncept č. 1 (Základní genetické pojmy: gen, chromozom, DNA, bílkovina)	58
5.2.2	Koncept č. 2 (molekulární podstata dědičnosti)	67

5.2.3	Koncept č. 3 (rodokmen – dědičná onemocnění).....	70
5.2.4	Koncept č. 4 (možnosti využití genetiky).....	71
6	DISKUZE.....	81
7	ZÁVĚR	85
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	88
9	PŘÍLOHY	I

1 ÚVOD

V přírodovědných oborech je jedním z hlavních úskalí implementace nových poznatků oboru. Když zde aplikujeme například genetiku, konkrétně její místy velmi popisnou část, kde se současně nachází vysoká koncentrace pojmů, vznikne soubor poznatků, který není vůbec jednoduché transformovat do výuky.

Při práci s kurikulem a jeho konkretizací v oblasti přírodovědných oborů, respektive genetiky, je přítomna snaha o „porozumění oborům a jejich praktickým aplikacím“ (Holec, 2020a, s. 28). Zmíněné snahy by mohla charakterizovat také *přírodovědná gramotnost*, které se v oblasti přírodovědných oborů věnuje PISA (Programme for International Student Assessment. Ta ve své definici přírodovědné gramotnosti vyzdvihuje schopnost „využívat přírodovědné vědomosti (...) klást otázky (...) vyvozovat závěry (...), které „pomáhají v rozhodování o světě přírody a o změnách působených lidskou činností“ (Palečková et al., 2007, s. 3). Přírodovědná gramotnost, kterou lze aplikovat v oblasti genetiky, je nedílnou součástí celého vzdělávacího oboru Přírodopis.

V rámci implementace výuky genetiky na školách a jejího propojení s běžným životem se setkáváme kontroverzemí, která se pojí s tímto vědním oborem. Může vznikat při interpretaci metod molekulární biologie jako je genové inženýrství – geneticky modifikované organismy (GMO), klonování či význam genetiky v asistované reprodukci. Významnou diskuzi ve společnosti přineslo využití genetiky při tvorbě vakcíny během pandemie COVID-19. Obavy společnosti mimo jiné mohly být zapříčiněné neúplnou znalostí konceptů konkrétních oblastí genetiky.

Hledají se proto metody a různé formy výuky, které mají pomoci nejen při výuce abstraktních oblastí genetiky. Navržené metody by si neměly klást za cíl žákům pouze vysvětlit a ukázat ale i motivovat, inspirovat, protože právě tyto metody mohou pozitivně ovlivnit postoj žáka k předmětu i celému oboru. Učitelé sdílí své zkušenosti, a tak mohou vznikat různé weby, které poskytují metodickou oporu učitelům nejen v genetice. Dále se mohou dozvědět blíže o konkrétním stavu výuky nebo se o námětech do výuky inspirovat v závěrečných vysokoškolských pracích (Machová, 2017; Lišková, 2020). K dispozici jsou články či studie od vysokoškolských učitelů, zabývajících se výzkumem v oblasti didaktiky biologie zaměřené na určitý aspekt ovlivňující výuku: vhodné zařazení modelů do výuky přírodopisu (Jančaříková, 2017), laboratorní cvičení z molekulární biologie na středních školách (Janštová a Jáč, 2015) analogické modely pro využití v genetice (Janštová a Jáč, 2014; Bryant, 2003).

2 CÍLE

Hlavním cílem předložené diplomové práce je popsat stav výuky genetiky na 2. stupni základních škol. Pro vypracování diplomové práce byly vymezeny následující dílčí cíle:

- a) zpracovat formou literární rešerše teoretická východiska práce týkající se výukových metod v přírodopise a efektivitou výukových metod, zpracování přehledu námětů do výuky genetiky
- b) na základě údajů v odborné literatuře a analýzy obsahové analýzy učebnic přírodopisu pro základní školy (provedena v rámci bakalářské práce), vybrat témata pro tvorbu konceptových testů; vytvořit konceptové testy zjišťující představy žáků o vybraných tématech genetiky
- c) realizovat dotazníkové šetření mezi vyučujícími přírodopisu/biologie (dotazník byl sestaven v rámci bakalářské práce), analyzovat data získaná v rámci výzkumu pomocí základních statistických metod
- d) provést pilotní ověření konceptových testů na vybraných školách, zaměřené na identifikaci prekonceptů o genetice u žáků základních škol
- e) analyzovat data získaná v rámci výzkumu pomocí základních statistických metod.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Metody a formy výuky genetiky

3.1.1 Obecná charakteristika výukových metod

Výuková metoda, jak je shrnuta v pedagogickém slovníku, představuje „*koordinovaný systém činností učitele*“ na jejich základě pak vyučující vede žáka „*k dosažení stanovených vzdělávacích cílů*“ (Průcha, Mareš a Walterová, 2003, s. 287). Přehled výukových metod v přírodopise zpracovali např. Altmann (1975), Řehák (1965) nebo Pavlasová (2014). Obecné rozdělení výukových metod zpracovali např. Maňák a Švec (2003), všeobecně popisuje výukové metody Zormanová (2012).

S rostoucím významem informačních technologií se pozornost obrací k rozvíjení digitálních kompetencí ve škole. Propojení výukových metod přírodopisu a informačních technologií zmiňuje Holec (2020a). Trendy ve výuce biologie pak shrnuje sborník, v němž autoři naznačují záměr o posun výuky přírodovědných předmětů směrem k aktivnímu zapojení žáků do výukového procesu ať už formou badatelského vyučování či jiných aktivizujících metod (Freeman et al., 2014; Stuchlíková a Janík et al., 2015). Už Altmann (1974) ve svém úvodu do didaktiky biologie mluví o modernizaci výuky biologie, upozorňuje na dynamickou podstatu přírodopisu a jeho mezioborovost.

Mezi různými pojetími výuky najdeme i rozdělení podle charakteru výuky ve smyslu činnosti žáka, respektive učitele v učební jednotce (Zormanová, 2012, s. 9). Jedním z typů je transmisivní výuka, při níž jsou žákům „*předávány hotové vědomosti a dovednosti*“ (Zormanová, 2012) respektive předávané poznatky „*pasivně přijímají*“ (Kalhous in Zormanová, 2012). Dále se ve výuce uplatňuje konstruktivistický přístup, při němž se ve výuce pracuje se žakovskými/studentskými představami. V procesu učení dochází k „*aktivizaci žakových poznávacích procesů*“ „*rozvíjí fantazii, logiku a samostatnost*“ (Zormanová, 2012, s. 9). Vyučující mohou využívat aktivity při nichž žáci pracují s poskytnutými informacemi – třídí poznatky a hledají mezi nimi vzájemné souvislosti. Uvedené aktivity mají potenciál přiblížit konstruktivistický přístup k výuce. Ačkoliv se přírodovědné vzdělání významně přiklání k aktivnímu poznávání žáka, někteří autoři zastávají spíše realističtější vizi pojetí výuky, v níž dochází ke kombinaci obou pojetí výuky, jak transmisivní, tak konstruktivistické (Zormanová, 2012). V následujícím textu budou uvedeny vybrané metody výuky, které se využívají nebo jsou doporučovány k výuce genetiky.

3.1.2 Vybrané metody a formy výuky genetiky

Strategie výuky genetiky představili ve výzkumu Banet a Ayuso (2000), popisují v něm možnosti, jak genetiku vyučovat. Zaměřili se konkrétně na umístění genetické informace v živých organismech, neboť s rozlišením struktur dle jejich hierarchie, mají často žáci problémy (Lewis a Wood-Robinson, 2000; Knippels, Waarlo a Boersma, 2005; Duncan, Rogat a Yarden, 2009). Autoři, ve studii (n = 376), pracují s konstruktivistickým pojetím výuky. Záměrem výzkumu bylo navržení výukového plánu pracujícího s lokalizací dědičné informace v organismech. Navrhují do výuky zakomponovat krátké problémové úlohy s jejich využitím by žáci prováděli vlastní výzkum, navrhují se zaměřit na „zkoumání rodokmenů, fenotypu“ (Banet a Ayuso, 2000, s. 342). Tyto úlohy předkládat žákům, kteří porozuměli souvislostem mezi základními genetickými pojmy: alela, gen, chromozom (Banet a Ayuso, 2000, s. 332). Jednoduchá skupinová aktivita (Banet a Ayuso, 2000, s. 346) pracuje s prekoncepty žáků výskytu a provázanosti těchto pojmů, žáci rozhodují, zda jsou uvedené pojmy součástí vybraných živých a neživých organismů. Podporovat u žáků třídění dříve získaných vědomostí a konfrontovat je s nově získanými poznatky. Ve spojení s porozuměním dědičnosti uvádí význam znalostí struktur buňky a principů pohlavního rozmnožování. Nejlepší je žákům uvádět takové znaky, které jsou snadno pozorovatelné, např. barva očí (Banet a Ayuso, 2000, s. 332).

Duncan, Rogat a Yarden (2009) popisují ve studii problémová místa výuky, zároveň diskutují možné úpravy výuky, které by mohly pomoci k lepšímu pochopení učiva genetiky. Pro žáky posledních ročníků základních škol (8. – 9. ročník) a žáky prvních ročníků škol středních, autoři doporučují zaměřit se na vytvoření souvislostí mezi geny a chromozomy. Během střední školy poté provázat již získané znalosti o jednotlivých strukturách jako jsou geny, chromozomy a DNA. Článek také zdůrazňuje potřebu koherentního a komplexního pochopení genetiky. V případě genetiky uvádí příklady výstupů ve třech úrovních podle ročníku. Úroveň 1 (naše 5. – 6. třída), úroveň 2 (naše 7. – 8. třída) úroveň 3 (u nás – přechod mezi 9. třídou a prvním ročníkem střední školy. V Tabulce 1 je uvedena ukázka výukových cílů pro zdůraznění role bílkovin v procesu tvorby znaku. Na úrovni 2 by žáci měli být schopni vysvětlit vliv mutace na organismus s upřesněním dle hierarchie buněčných struktur.

Tab. 1 Ukázka z výukových cílů v jednotlivých úrovních vzdělávání (převzato a upraveno dle Duncan, Rogat a Yarden, 2009, s. 668, překlad autorky)

úroveň 1	úroveň 2	úroveň 3
žáci vysvětlí, jak může změny buněčné struktury nebo změna funkce buňky, ovlivnit výslednou strukturu orgánu nebo organismu	žáci vysvětlí, jak mutace může ovlivnit funkci buňky a orgánu v organismu	žáci vysvětlí a předvídají, jak mutace mohou ovlivnit funkci a vzhled bílkovin
	žáci vysvětlí, jak změna v bílkovinách může ovlivnit funkci bílkovin a funkci buňky ve které se nachází	žáci vysvětlí, jak mutace ovlivní funkci a vzhled organismu v závislosti na změnách v bílkovinách nacházejících se v tkáních

Mezi další strategie výuky genetiky se řadí „*jo-jo strategie*“ (Knippels, Waarlo a Boersma, 2005), autorka plánovala a popisovala strategii již ve své disertační práci (Knippels, 2002). U nás tento přístup zmiňuje např. (Machová a Knippels, 2021), která ve spolupráci s autorkou teorie uvádí metody, které mohou podpořit výuku genetiky (blíže Machová a Knippels 2021). *Jo-jo strategie* může být jednou z metod zaměřených na zefektivnění výuky genetiky (Knippels, Waarlo a Boersma, 2005). Navrhuje konkrétní aktivity a pomůcky do hodin genetiky. Označením „*jo-jo*“ autorka zamýšlela proces zkoumání buněčných struktur od nejmenších po větší, opakovaným pohybem mezi jednotlivými stupni organizace buněčných struktur může dojít k lepšímu porozumění a upevnění představ, je důležité, aby jednotlivé úrovně nebyly přeskokovány (Machová, Knippels, 2021, s. 29). Je vhodné aktivně zapojovat žáky do výuky, samostatná práce v podobě poznávání uspořádání jednotlivých biologických struktur. Vyučující může využívat analogie a modely pro vysvětlení genetických struktur pojmy. Příkladem aktivity jsou vizualizace s korálky tvorba korálkového modelu DNA (podobné náměty jsou uvedeny v Kap. 3.2).

Žáci často znají pojmy (gen, alela, ...), případně se naučí definice, které jim byly předloženy, když se mají zamyslet nad tím, jak mezi sebou jednotlivé struktury souvisí, často mají problém tyto souvislosti chápat. Tento problém v podstatě přichází již s prvním setkáním s pojmy, tzn. na základní škole, přenáší se na střední školy (Lišková, 2020) a může přetrvávat i na vysoké škole. V úkolu, který byl součástí výzkumu, byla využita metoda kreslení pro zachycení žákovských představ, právě zde se projevil obtíž. Zjišťování představ žáků bez využití definic ale s papírem a tužkou, bylo sledováno u pojmů gen, DNA a chromozom. Mezi pojmy žáci neviděli souvislosti a v žákovských kresbách buněk se objevovali pojmy vedle sebe

bez návaznosti (Saka et al., 2006, s. 198); nepropojené souvislosti v podobě definic poukazuje Lišková (2020).

Učivo genetiky bývá často problémovou oblastí biologie i kvůli množství oborově specifických pojmů (Knippels, Waarlo a Boersma, 2005). Návrhem výuky, která by pracovala s tímto problémem se věnovali Chu a Reid. Omezení efektivity výuky popisovali Chu a Reid mimo jiné ve spojení s pracovní pamětí. Poukazovali na to, že množství informací, které jsou žáci schopni přijmout a porozumět, je omezené. Materiály poskytnuté k výuce byly modifikovány pro potřeby studie a zároveň pro uplatnění v budoucí výuce genetiky. Důraz byl kladen na jasné vysvětlení pojmů, zpětnou vazbu a provázání s běžným životem. Pro ověření žákovských konceptů byl zvolen asociační test; bylo určeno 10 pojmů: gen, znak, dominantní, dědičnost, chromozom, biotechnologie, klonování, geneticky modifikované potraviny, Mendel a Human Genome Project (Chu a Reid, 2012, s. 296). Ve stanoveném časovém limitu měli žáci doplňovat vlastní asociace slov k zadaným pojmům. U experimentální skupiny bylo dosaženo lepších výsledků nejen ve školním testování, ale také v asociačním testu (Chu a Reid, 2012).

V následujícím textu je popsán výběr konkrétních metod a forem výuky využívaných pro výuku genetiky. Metody zahrnuté ve výčtu zastupují vzorek jak pro základní (Duncan, Rogat a Yarden, 2009; Venville a Donovan, 2008), tak pro školy střední školy (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2006; Banet a Ayuso, 2000).

3.1.2.1 Klasické metody výuky

Dle Maňáka se do této skupiny řadí metody slovní – *vysvětlování* (termín použit místo pojmu *výklad* ten je často spojen s frontální výukou, jak upozorňuje Červenková (2013). Pro metodu vysvětlování můžeme jako charakteristické rysy uvést „*logický postup a systematický postup*“ (Maňák, 2003, s. 57). Povázání metody vysvětlování s vědou může značit právě její význam při objasňování vědeckých jevů.

Dříve byla převažující forma výuky, která v sobě zahrnuje frontální styl výuky (Tikalská, 2008). V rámci dotazníkového šetření byla zjišťována obliba frontální výuky ale různých metod výuky – převážně byly mezi žáky oblíbené „*práce s počítačem, pokusy, různé soutěže a skupinové práce*“. Naopak mezi nejméně atraktivní patřily aktivity statického charakteru jako práce s textem (v učebnici nebo pracovním sešitě), přednášky a výklad. Učitelé na rozdíl od žáků preferovali transmisivní styl výuky, jedním z důvodů, proč se přiklání k tomuto stylu je argument, že tak „*zvládnou probrat více učiva*“ (Tikalská, 2008, s. neuvedeno).

V přírodopise a biologii jsou hojně zastoupeny metody názorně-demonstrační. Pomocí předvádění či pozorování si žáci osvojují učivo. Jak již bylo uvedeno, je třeba zvážit využití názorných pomůcek i na základě věku žáků. Maňák upozorňuje, že si učitelé uvědomují potřebu názornosti u mladších žáků, ale dochází k podcenění významu u žáků starších (Maňák, 2003, s. 77). Význam této metody má své místo i v genetice, blíže je metodě a především zásadě názornosti věnována část popisující využití modelů a analogií ve výuce.

3.1.2.2 Výuka pomocí analogií a využití modelů v genetice

Využitím analogií v genetice se vyučující snaží žákům přiblížit pro ně obtížně představitelná témata. Aplikací zásady názornosti vyučující pracuje s propojením smyslového vnímání s konkrétními pojmy (Altmann, 1975).

S analogiemi často souvisí metafory, které používají nejen učitelé ale i žáci. Práce, které popisují využití analogií a metafor doporučují obezřetnost a pečlivou přípravu, dle věkové skupiny žáků. Při využití analogií, které mohou vycházet z běžného života nebo i učebnic využívaných pro výuku genetiky se mohou u žáků rozvíjet alternativní koncepty. Takto nedochází ke vhodnému využití analogií ve výuce (Banet a Ayuso, 2000, s. 328) a namísto pochopení, se žák neorientuje v daném konceptu, tím může nastat situace, kdy je žákem upevňovaný koncept nepřesný či nesprávný (Saka et al., 2006). V případech, kdy je při vysvětlování učiva využita jen jedna analogie či metafora, žák je zaměřen na jeden konkrétní příklad, který však ne vždy postihne všechny podstatné části konceptu (Harrison a Treagust, 2006). Metafora, která představuje DNA jako „*nástroj pro identifikaci*“, může způsobit, že dojde k vytvoření souvislosti s živými organismy (Venville, Gribble a Donovan, 2006, s. 90, překlad autorky). Příklad lze najít v interview žáků 5. třídy. Zde žák přirovnával DNA k základní desce počítače, tvrdil, že „*počítač má DNA*“; na základě představy, že DNA je zodpovědná za určitou charakteristiku i u neživých věcí. Pro práci s tímto konceptem doporučují autoři zaměřit se při výuce na vysvětlení DNA jako „*data nebo informace, které jsou návodem, jak mají živé bytosti růst a jaké mají mít funkce*“ (Venville, Gribble a Donovan, 2006, s. 88, překlad autorky).

Jednoduchý a lehce dostupný analogický model DNA a genu lze vytvořit z vlny. Tento model má potenciál pomoci žákům pochopit určité genetické koncepty, u starších žáků např. pozitivně ovlivňuje tvorbu souvislostí mezi jednotlivými pojmy: gen, DNA, protein. Konkrétní analogie vlněného modelu uvádí autoři v kontrastu s genetickými koncepty, na které model cílí. Klubko vlny představuje koncept DNA. Dlouhé vlákno vlny vytvořené svázáním

různobarevných kousků vlny k sobě se zaměřuje na koncept genu. Různé odstíny stejné barvy na vlně představovaly koncept alel (blíže viz Venville a Donovan, 2008, s. 8).

Problém v představách žáků nastává při propojení genetických pojmů v jednotlivých hierarchických úrovních živých organismů (Marbach-Ad, 200; Knippels, Waarlo a Boersma, 2005). Především mladší žáci mívají problém s abstrakcí a proto autoři doporučují při výuce dbát na představení genetických konceptů na úrovni makroskopické – pro žáky nejbližší. Zde se uplatňují konkrétní modely genetických struktur a procesů např. model chromozomu z ponožky tzv. „ponožkozom“ (Janštová a Jáč, 2014, s. 114-115), modely DNA z korálek (Rotbain, Marbach-Ad, Stavy, 2006), modely chromozomů z těstovin (Brown a Munn, 2010), párátek (Bryant, 2003) aj.

Při propojování makroskopické a mikroskopické úrovně navrhuji Machová a Knippels (2021) začít od jednoduchých organismů – bakterií a zdůraznit, že obdobně probíhají základní procesy i v komplexních organismech jako je lidské tělo. Význam biologické organizace a koherenci výuky popisují Machová a Knippels (2021); žáci, kterým chybí znalosti v souvislostech mezi chromozomem, genem, alelou poté mohou mít problém při vysvětlení tvorby znaku (Knippels, Waarlo a Boersma, 2005, s. 110). Autorky shrnují návrhy pro výuku genetiky, zmiňme např. „*utřídění znalostí týkajících se biologické organizace, analyzovat vztahy mezi jednotlivými koncepty na jednotlivých buňčných úrovních, začínat výuku na úrovni která je žákům blízká, tedy na úrovni organismu.*“ (Machová a Knippels, 2021, s. 26-27). Význam tohoto návrhu je aktuální i v rámci této práce jelikož jedna z úloh v konceptových testech se snažila o zmapování představ žáků o hierarchii struktur v genetice (blíže viz Příloha 1 – Konceptové testy).

3.1.2.3 Aktivizující metody (didaktické hry, problémová výuka, výuka s prvky BOV)

Aktivizující metody podporují rozvoj osobnosti žáka (Maňák a Švec, 2003, s. 106), žák si zvyká na samostatnou práci v individuálních úkolech, zodpovídá za svoji práci dále je u něj podpořen rozvoj tvořivosti. V přírodních vědách lze tvořivost uplatnit například při řešení různých problémů, objevuje se zde pojem kreativita v přírodních vědách (*scientific creativity*). Lze ji charakterizovat jako schopnost využít znalosti z přírodovědných oborů při řešení problémů, potřeba argumentace (vyjadřování), nejen znát teoretický základ oboru. Úlohy jasně strukturované ve srovnání s aktivizačními úlohami (především BOV a problémová výuka), často neposkytují velký prostor pro rozvíjení kreativity (Rokos a Lišková 2019). Zpráva České

školní inspekce (ČŠI) poukazuje na výsledky výborných žáků ve spojitosti s častějším zařazením práce s dalšími zdroji informací, badatelskou výukou, problémovou výukou aj. (ČŠI, 2018, s. 20).

Výzkum, věnující se názorům žáků na výuku přírodopisu a jejich aktivního zapojení ve výuce, se zaměřil mj. na *hands-on* aktivity. Ve výzkumu oblíbenosti jednotlivých aktivit napříč přírodopisem se aktivity spojené s tématem *Člověk* neřadily mezi nejoblíbenější (srov. Malcová a Janštová, 2018). K poklesu atraktivity došlo při zařazení aktivit z mendelovské genetiky. Podle očekávání se aktivity zaměřené na téma *Člověk* umístily mezi populárními, avšak v průzkumu se vyčlenily konkrétní aktivity, mezi nejhůře hodnocené aktivity se zařadily ty s využitím matematiky. Důvod malé obliby počítání v přírodopise může být spojen právě s genetikou – řešení pravděpodobností, vyplňování Punnettova čtverce apod. (Janštová a Míková, 2018).

3.1.2.4 Výuka podporovaná počítačem

Mezi pozitivní faktory tohoto typu výuky je uváděna práce s daty, a to rozvíjením digitálních kompetencí žáků, podpora aktivního učení a bádání. Podporu rozvíjení digitálních kompetencí vyjadřují i strategie ministerstva školství do roku 2030+ (Fryč et al., 2020). Holec (2015) v článku uveřejněném na webovém portálu *rvp.cz*, popisuje možnosti využití informačních technologií ve výuce přírodopisu. Digitální technologie mohou působit jako motivační element, atraktivní úlohy podporují žáky k aktivní práci s informacemi a následnému sdílení nalezených poznatků se spolužáky. Tyto a podobné aktivity pak podporují směřování výuky badatelským směrem (Holec, 2015). Ve výuce genetiky má počítač a interaktivní programy své zastoupení v rovině znázornění pojmů, které si jen těžko žáci představí. Součástí jsou i procesy, které probíhají na mikroskopické úrovni. Vyučující tak mohou vybírat z animací a animačních schémat, které jsou dostupné na internetu. Počítačové animace se volí jako názorná pomůcka pro porozumění konceptů především v molekulární genetice (Marbach-Ad, Rotbain a Stavy, 2008). Počítačové programy a webová rozhraní nabízí alternativu pracovních listů, umožňují žákům v reálném čase pracovat na úkolu a hned vidět vyhodnocení jejich snažení.

Offline a online programy, *GenScope*, *BioLogica* a *Geniventure*, k výuce genetiky byly vytvořeny vzdělávací organizací *Concord Consortium*, USA. Z hlediska uplatnění digitálních technologií ve výuce spadají do kategorie simulačních programů. Žákům jsou přiblíženy jevy a procesy, které v klasických podmínkách nejsou pozorovatelné (Holec, 2015). Předchůdcem

BioLogica, *Geniventure* byl program *GenScope*, který vznikl rovněž pod záštitou výše uvedené organizace (GenScope, 1998).

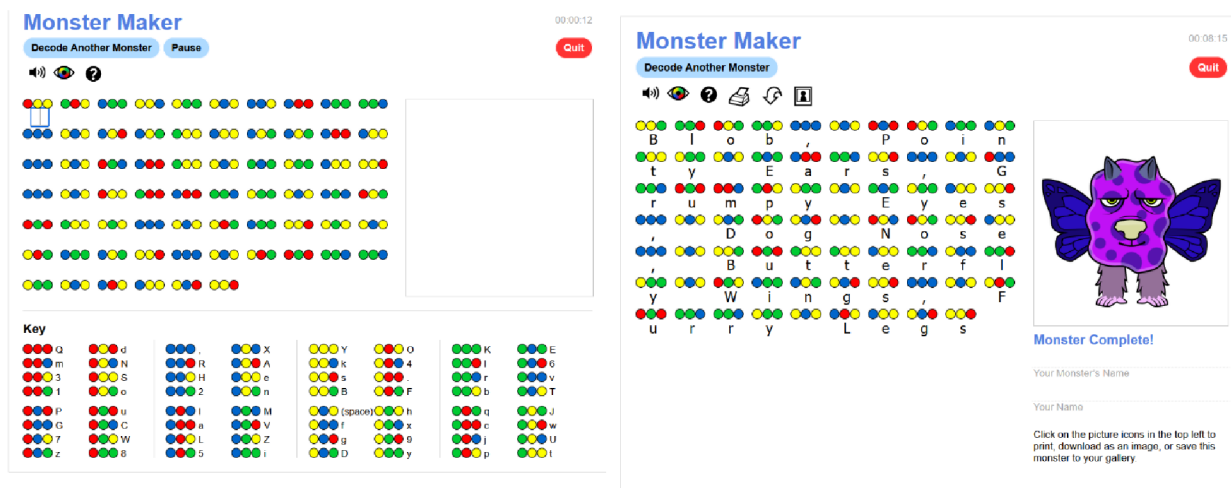
*BioLogica*¹ je program, který formou didaktické hry umožní žákům vyzkoušet křížení. Pro žáky mohou být atraktivní i křížení jedinci – draci. Software je nutné stáhnout do počítače. Podle informací na webu již k programu není poskytována technická podpora. Co se týče výuky genetiky, je pozitivním prvkem zobrazení jednotlivých genetických struktur (chromozomy, geny a gamety), což je výhodné i pro vizualizaci vzájemných vztahů těchto struktur. Program je doporučován spíše žákům středních škol.

*Teaching Genetics with Dragons: Geniventure*² je hra, která je k dispozici na webu *Concord Consortium*. Hra pracuje se stejným námětem jako výše uvedená *BioLogica*. Na rozdíl od *BioLogica* je program doporučován i pro žáky základních škol. Nespornou výhodou této hry je její dostupnost online bez nutnosti stahovat ji do počítače.

Monster maker je další online obdoba popsané aktivity „vytvoř si svého holuba“ a je dostupná na webu *Askabiologist.edu* (Ask a Biologist, 2022), kde si uživatel pomocí dekodovací tabulky vyluští podobu své nestvůry (*monster*). Hra pracuje s využitím přirovnání a analogií, kdy jednotlivá barevná kolečka představují jednotlivé nukleotidy. Napomáhá tedy při utváření konceptu genu, přenosu znaku a projevu znaku ve fenotypu – vytváří tak výslednou podobu nestvůry, která se objeví v případě správného dekodování (viz obr. 2a, 2b). V sekci „jak vytvořit nestvůru“ je dostupná i brožura s příběhem, kde je celý proces tvorby konceptu převeden do příběhu s obrazovou podporou. Na webu je dostupná také papírová verze, kterou lze použít v hodině ve formě pracovního listu.

¹ *BioLogica* [online]. Massachusetts: Concord Consortium, c2000 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://biologica.concord.org/webtest1/download.htm>

² *Teaching Genetics with Dragons: Geniventure* [online]. Massachusetts: Concord Consortium, c2021 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://concord.org/teaching-genetics/dragons>



Obr. 2a; 2b Ukázka hry „Vytvoř si monstrem“ (zdroj: vlastní printscreen online hry, dostupné z: <https://askabiologist.asu.edu/monster-maker-game/play.html>)

Gene jury, platforma vytvořená univerzitou v Edinburghu, poskytuje v záložce „*Learning zone*“ různá témata z genetiky. Zpracování témat je různé, najdeme zde videa, grafy, prezentace a detektivní hru zaměřenou na práci s DNA (Gene Jury, 2011). Podle dostupných informací platforma již není aktualizována, většina materiálů byla přidávána do roku 2011. Odtud pochází námět DNA detektivní hry od Kennetha Wallace-Müllera (2011).

Vliv videoher zkoumali Annetta, Cheng a Holmes (2010), do virtuálního prostředí zakomponovali problémovou úlohu spojenou s genetikou. Žáci formou vyšetřování případu mohli aplikovat své znalosti např. rodokmenů, dědičnosti krevních skupin, DNA fingerprintingu nebo mendelistické genetiky. Ve virtuálním prostředí pak zkoumali získaná vodítka a označili pachatele – v případě, že byl označen nesprávný pachatel, žák se vracel na začátek hry a měl možnost najít svou chybu ve vyšetřování.

3.2 Efektivita metod výuky genetiky ve školní praxi

Tvrzením o pozitivním vlivu aktivní výuky přírodovědných předmětů k zvýšení efektivity výuky těchto předmětů se zabývají různí autoři nejen v oblasti přírodopisu. S využitím aktivizačních metod výuky si žáci osvojí více učiva a dovedností v porovnání s využitím výkladu. S tím může být následně i spojen neúspěch v předmětu; u studentů účastnících se aktivní výuky je méně častý, podrobněji např. metaanalýza Freemana et al. (2014, s. 8411). Sami autoři dodávají, že nejvyšší účinnosti aktivní učení dosahuje v případě malé skupiny studentů.

Studie věnující se efektivitě výuky genetiky se zabývají nejen analýzou výuky, ale také ověřením navržených aktivit a přístupů k výuce. Autoři ve svých pracích často vycházejí z dostupných poznatků založených na zkoumání žákovských prekonceptů a miskonceptů (Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000a,b; Knippels, Waarlo a Boersma, 2005). Předkládané výukové programy s žákovskými koncepty pracují a snaží se o korekci miskonceptů a podporu vědecky správných konceptů. V přírodopise se vyzdvihuje vzdělávání žáků se záměrem podpořit jejich přírodovědnou gramotnost a schopnost pracovat s vědeckými fakty. Znalosti a představy, které žáci získávají, ne vždy odpovídají vědecky přijímané skutečnosti (Lewis a Wood-Robinson, 2000). Vyučující pracuje s *žákovským pojetím učiva*, to se mění v závislosti na různých faktorech (Mareš a Ouhrabka, 1992, s. 87-88). Na příkladu genetiky lze uvést žákovské představy o DNA. Žáci spatřují důležitost molekuly DNA při identifikaci jedince, často opomíjejí funkci DNA při tvorbě proteinu. Mezi důvody vytvoření tohoto alternativního konceptu se může řadit sociální vlivy (médiá, společnost) a subjektivní vnímání žáka (Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000a, s. 78). Potřeba ověřovat si porozumění by měla být součástí výuky průběžně.

Jedním z možných přístupů k propojení vědy a školní výuky může být spolupráce mezi vědeckými pracovníky a učiteli. Díky přiblížení vědecké práce v rámci výuky může dojít k zvýšení atraktivity daného předmětu. Ve studii potvrzují Janštová a Jáč (2015) pozitivní vliv spolupráce vysokoškolských učitelů a středoškolských učitelů na realizaci laboratorních cvičení z molekulární genetiky (Janštová a Jáč, 2015). Pochopení určitých genetických konceptů (např. identifikace DNA, dědičná onemocnění) může pomoci provázání genetiky se situacemi, se kterými se žáci setkávají v běžném životě (Schmiemann, Nehm, Tornabene, 2017).

Motivace a zájem žáků o předmět je další důležitý faktor ovlivňující výuku. Studie naznačují, že obliba přírodovědných předmětů klesá. Většina studií je však zaměřena na

základní trojici předmětů, které jsou obsaženy ve vzdělávací oblasti *Člověk a příroda*, tj. chemie, fyzika a biologie, dle RVP ZV (2021). Pokud u žáků srovnáme oblíbenost přírodopisu/biologie s ostatními přírodovědnými předměty jako jsou fyzika nebo chemie, vychází z nich přírodopis nejlépe (Krapp a Prenzel, 2011).

3.2.1 Efektivita využití modelů v genetice

Efektivita využití modelů ve výuce může přispět k pozitivnímu vztahu k vyučovanému předmětu a současně prohloubit pochopení probírané látky. Otázkou, zda je možné modely využít jako efektivní pomůcku při výuce genetiky se zabývali Banet a Ayuso (2000), Rotbain, Marbach-Ad, Stavy (2006), Venville a Donovan (2008).

Lego kostky byly využity k tvorbě modelů jednotlivých konceptů v proteosyntéze. Aplikováním hands-on aktivit při práci s lego kostkami, byla zkoumána efektivita těchto modelů při výuce genetiky; téma evoluce (Hongsermeier, Grandgenett a Simon, 2017), efektivita porozumění základům genetiky a elektroforézy – zde byly lego kostky pouze imaginární, protože byly součástí počítačového programu (Rothhaar, Pittendrigh a Orvis, 2006, s. 170). Studenti mohou skládat ribozom (s malou i velkou podjednotkou), vlastní proteiny nebo vytvořit protein s využitím poskytnuté sekvence RNA (Templin a Fetters, 2002).

Studie z Izraele, které se zúčastnili žáci ze středních škol ($n = 258$), se zaměřila na vliv výukových metod na efektivitu využití modelů ve výuce. Žáci byli rozděleni do tří skupin; první skupina byla vyučována tradiční metodou, druhá skupina pracovala s využitím aktivit zaměřených na práci s modely DNA z korálků. Třetí skupina žáků pracovala s aktivitami zahrnující ilustrace typicky uváděné v učebnicích. V rámci studie autoři sledovali rozdíl v získaných znalostech mezi tradiční metodou výuky, využitím modelů z korálků a aktivitami s ilustracemi. Aktivity zahrnovaly učební úlohy typu: najdi, vyber, vybarvi část, doplň část obrázku. Autoři studie poukazují, že studenti, kteří zkoušeli aktivity s ilustracemi, zlepšili své znalosti v oblasti molekulární genetiky v porovnání s žáky vyučovanými tradiční formou. V porovnání skupiny studentů s ilustracemi a korálkovým modelem bylo patrné, že korálkový model přispěl k lepšímu porozumění molekulární biologie a genetiky, konkrétně na příkladu struktury DNA – žáci sestavili modely DNA a spojovali jednotlivé části dohromady v navazujících aktivitách pak simulovali replikaci DNA a proteosyntézu (Rotbain, Marbach-Ad, Stavy, 2006, s. 521). Dalším příkladem genetického tématu, při jehož výuce lze porovnat rozdíl efektivit ilustrací a interaktivních modelů, je proces meiózy. Problematickým okruhem genetického učiva je pro žáky i buněčné dělení ve spojení s genetikou, konkrétně meiotické

dělení. Aktivita využívala interaktivní model meiózy a zaměřovala na počet chromozomů v buňce v jednotlivých fázích i po skončení meiózy. Výsledky skupiny žáků zde bylo dosaženo podstatně lepších výsledků při výuce s interaktivním modelem (Wright a Newman, 2011).

Vhodnost využití vlny, jako analogického modelu, při výuce genetiky (konkrétní náměty popsány v Kap. 3.3 – Náměty do výuky genetiky) hodnotily Venville a Donovan (2008). Studie pracovala s malým vzorkem žáků, proto je třeba vnímat získaná data jako orientační. Významný faktor při použití vlněného modelu tvořily prekoncepty žáků, vyučující tak měli možnost upravit zamýšlené využití vlněného modelu podle potřeb dané skupiny. Nejmladší žáci (6 let) měli v modelu vidět názorný příklad procesu dědičnosti. Starší žáci měli zapracovat na upřesnění představy o DNA a její biologické funkce. Skupina žáků (13-14 let) se zaměřovala na propojování souvislostí genetických pojmů (DNA a gen). Nejstarší skupina žáků rozšiřovala souvislosti předchozí skupiny o pojem bílkovina. Proces přenášení znaku z generace na generaci byl pro žáky druhého ročníku. U žáků devátých ročníků přispěl model k propojení pojmů DNA a gen (Venville a Donovan, 2008, s. 14). V rámci hodnocení žákovských konceptů vytvořených po výuce s využitím modelů sledovali rozšíření znalostí žáků a provázání pojmů gen a DNA, příklady zamýšlených analogií jsou uvedeny v Kap. 3.1.2.2. Po absolvování výuky s vlněným modelem žáci využívali demonstrované analogie; vlna reprezentovala DNA, různé barvy na vlněném vlákne geny a geny jsou zodpovědné za podobnost s rodiči. (Venville a Donovan, 2008, s. 11). U starších žáků se ukázalo, že není vhodné využít vlněný model k výuce syntézy proteinů (Venville a Donovan, 2008, s. 13) sami autoři tuto skutečnost spojují náročností procesu proteosyntézy, kterou nejde demonstrovat na tomto jednoduchém modelu vlny.

3.2.2 Efektivita využití problémové výuky a BOV při výuce genetiky

Badatelsky orientovanou výuku (BOV) charakterizuje „*bádání*“ (angl. *inquiry*) (Dostál, 2015, s. 36-38). Výzkumy zařazení BOV do výuky naznačují jeho pozitivní vliv na osvojení žákovských dovedností. Rokos a Vomáčková naznačili rozdíly v efektivitě této metody na základních školách a gymnáziích; vliv BOV na základní škole nebyl výzkumem potvrzen. Jedna z příčin může být malá frekvence implementace BOV na ZŠ v porovnání s gymnázii (Rokos a Vomáčková, 2017). Pro efektivní průběh BOV je vhodné, aby žáci byli zvyklí na jednotlivé kroky této metody. Pokud žáci neznají badatelské metody a jednotlivé kroky badatelského výuky mohou být negativně ovlivněny výsledky i efektivita výuky (Kizkapan a Bektaş, 2017)

Krátké problémové úlohy z genetiky pozitivně ovlivňují znalosti žáka, Banet a Ayuso (2000) v navrženém výukovém programu ověřovali získané znalosti žáků o umístění genetické informace v organismech i s odstupem tří měsíců.

V rámci své závěrečné práce Scallon (2006) pracovala se 130 žáky osmých ročníků, převážně z venkovských oblastí Texasu. Vzorek byl rozdělen na dvě skupiny, přičemž jedna byla při bádání usměrňována vyučujícím (*guided research*), zatímco druhá skupina byla ponechána vlastnímu bádání (*authentic student research learning*). Žáci pracovali s huseníčkem (*Arabidopsis*), tato rostlina se využívá jako modelový organismus v molekulární biologii. Především kvůli relativně malé velikosti genomu (při genetické modifikaci lze snadno sledovat změny v genotypu), rychlému životnímu cyklu (Redei, 1975). Koncepty zkoumané v práci byly geny, dědičnost, genotyp. Žáci si do svých výzkumných deníků zapisovali své poznámky k pozorování. V průběhu tří fází výzkumu žáci sledovali vývoj huseníčku (přirozená a zmutovaná varianta), hodnotili vliv vnějších faktorů na rostlinu (Scallon, 2006, s. 58-68). Z výsledků bylo vyhodnoceno, že lepšímu konceptuálnímu porozumění dosáhla skupina, která měla oporu ve vyučujícím, a ten bádání reguloval a podporoval (Scallon, 2006).

Ibáñez Orcajo a Martínez Aznar (2005) zkoumaly vliv zařazení problémových úloh z genetiky na výuku tohoto oboru. Skupina, která řešila genetické problémové úlohy s dosahovala lepšího porozumění určitým genetickým konceptům např. lokalizaci genetické informace v buňce (Ibáñez Orcajo a Martínez Aznar, 2005, s 1511).

Úskalím BOV, které vnímají nejen učitelé ale i studenti učitelství, je časová náročnost této metody. Zpětnou vazbou a její kvalitou se ve spojení s badatelsky orientovanou výukou zabýval Rokos a Lišková (2019). Zpětná vazba od vrstevníků má pozitivní vliv na práci žáků s chybou. Vlastní reflexe a porovnání práce s ostatními může podpořit motivaci a schopnost učení žáka (Rokos a Lišková, 2019, s. 66).

3.2.3 Efektivita využití laboratorních cvičení ve výuce genetiky

Laboratorní práce podporují představivost žáků a lze při nich poměrně dobře využít i analogie, které umožní lepší pochopení abstraktních pojmů (Ben-Nun a Yarden, 2009). Pro zvýšení efektivity výuky mají aktivizující metody značný vliv (Janštová a Jáč, 2015). Podstatnou roli představují laboratorní cvičení z hlediska klíčových kompetencí, kromě kompetence k učení a řešení problému se aktivně upevňuje také kompetence pracovní. Dalším faktorem podporující efektivitu laboratorních cvičení je samotný vyučující. Laboratorní práce, při nichž jsou studenti vedeni vyučujícími (*guided inquiry*), podporují konceptuální porozumění tématu, blíže popsáno v práci Scallon (2006).

Na úrovni středních škol byly realizovány laboratorní práce zaměřené na téma bakteriálních plazmidů. Tato cvičení přispěla v oblasti představivosti abstraktních pojmů, podpořila také žákovský přehled v metodách molekulární biologie. Při práci si žáci propojili představy o podobě DNA, jak je prezentována ve formě modelů, protože pouhým okem nelze DNA pozorovat. Podobně je tomu i v případě pozorování pod mikroskopem. Můžeme pozorovat mikroskopickou podobu chromozomů (v průběhu dělení jádra) pod mikroskopem; DNA jako dvoušroubovici nelze sledovat pod mikroskopem, žáci pozorují chromatin, který se obarví. Zajímavý je výsledek studie, v níž se 181 žáků zúčastnilo kurzu, v kterém si během jednoho dne vyzkoušeli metody molekulární biologie, se nijak významně nezlepšily jejich znalosti v oblasti DNA ani centrálního dogmatu molekulární genetiky, nicméně jejich postoj vůči genetice i znalosti metod molekulární biologie byly podpořeny. Pozitivním faktorem mohl být i fakt, že žáci absolvovali vybranou laboratorní výuku se svým učitelem v prostředí laboratoří zaštiťujícího institutu. Dále došlo i ke korekci neúplných či nesprávných konceptů genetických pojmů, konkrétněji např. žáci chtěli pozorovat DNA pod mikroskopem nebo očekávali, že uvidí kopie genu v mikroskopických (blíže viz Ben-Nun a Yarden, 2009, s. 22-24). Výzkum Simão et al., (2022) realizovaný v roce 2021 byl zaměřen na vliv laboratorních aktivit na postoje žáků středních škol ke genetice a předmětu biologie. Project Lab-it byl realizován přímo ve školách, žáci (n = 379) si mohli vyzkoušet metody molekulární biologie (extrakci DNA, polymerázovou řetězovou reakci, elektroforézu, analýzu DNA fragmentů). V rámci laboratorních technik si vyzkoušeli např. pipetování s mikropipetou, centrifugaci DNA vzorku. Tato cvičení realizována v pocovidové době, naznačila potenciál laboratorních aktivit motivovat studenty k zájmu o molekulární biologii a zlepšit jejich znalosti (Simão et al., 2022, s. 168)

3.2.4 Efektivita využití didaktických her při výuce genetiky

Otázkou, zda jsou didaktické hry vhodnou metodou výuky, se zabývala nejedna práce, nejčastěji šlo o popis konkrétní hry, efektivita se hodnotila méně často. Efektivitu klasické frontální výuky, doplněnou o otázky z genetiky porovnávala s výukou obsahující didaktickou hru Lišková (2020). Otázky (v úvodu hodiny nebo v rámci reflexe na konci) byly většinou cíleny na znalostní dimenzi žáků; dle Bloomovy taxonomie otázky cílí na reprodukci poznatků (Lišková, 2020, s. 172-174). Při porovnávání efektivit výuky genetiky prostřednictvím vytvořené didaktické hry nebyl z hlediska krátkodobých znalostí zaznamenán rozdíl oproti klasické výuce. Ve hře, věnované základním principům mendelistické dědičnosti, žáci na

základě instrukcí v dopise plní úkoly podle genetických témat např. šlechtí vlastní duchy podle poskytnuté sady chromozomů, zjišťují vzhled duchů. Aktivity byly realizovány ve skupinkách po dvou až šesti lidech. Pro vybrané genetické pojmy – alela, gen, chromozom, dominance, recesivita, aj. (podrobněji Lišková, 2020, s. 25 a oddíl 3.3.2.4), byly vytvořeny kartičky s definicemi přizpůsobenými k představené didaktické hře. Žáci po didaktické hře i žáci po frontální výuce se signifikantně zlepšili a dosahovali v prvním post-testu podstatně lepších výsledků oproti pre-testu. Výrazně lepších výsledků dosáhli především ti žáci, kteří uvádí jako oblíbený předmět biologii či jiný přírodovědný předmět a žáci s jedničkou z biologie na posledním vysvědčení. Výrazně lépe na tom byli i žáci s dobrým vztahem k biologii oproti žákům se špatným vztahem k biologii a žáci, kteří se po gymnáziu chtějí věnovat biologii dále oproti těm, kteří to v plánu nemají (Lišková, 2020). Hra žáky baví, ale při celkovém pohledu na studie, využití didaktických her ve výuce nevykazuje statisticky významné rozdíly. Příkladem může být v námětech doporučená hra *Geniverse* (blíže viz Kap. 3.3 Náměty do výuky genetiky), byla provedena studie, kde byla porovnávána kontrolní skupina, která byla vyučována s využitím tradičních materiálů a skupina, která pracovala se hrou *Geniverse*. Jedním z faktorů ovlivňující efektivitu výuky s využitím hry *Geniverse* je způsob zakomponování materiálů do výuky (Wilson et al., 2018, s. 18).

3.2.5 Efektivita výuky genetiky s využitím aktivit spojených s kresbou

Efekt využití kresby při výuce genetiky zkoumali Rotbain, Marbach-Ad a Stavy (2005). Studie naznačila, jak může aktivní zapojení žáků středních škol (při kreslení a vybarvování struktur) pozitivně ovlivnit jejich pochopení konceptu. Z rozhovorů žáky vzešla vesměs pozitivní hodnocení aktivit s kresbou. Autoři provedli také individuální rozhovory s žáky, kde se zaměřovali na jejich dojmy. Mezi odpověďmi se objevily pozitivní ohlasy na aktivity zaměřené na kreslení. Většina žáků potvrdila, že jim aktivita pomohla při pochopení tématu. Kreslení a vybarvování molekuly DNA jim pomohlo utřídit si představu o podobě této molekuly. Navrhované aktivity byly doporučeny pro využití na středních školách. Studie podpořila teorii pozitivního vlivu aktivit zaměřených na kreslení složitých struktur v genetice, např. chemické podstaty DNA, nebo samotného procesu proteosyntézy. Studie zároveň naznačuje, že aktivity napomáhají žákovské představivosti a usnadňují jim pak uspořádání abstraktních pojmů do konkrétního rámce. Při vybarvování jednotlivých částí DNA žáci pracovali samostatně. Vyučující tak mohli sledovat přesnost žákovské práce a také věnovat se individuálně žákům, kteří měli s aktivitou problémy (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2005).

3.2.6 Efektivita využití online aplikací a webových platforem pro výuku genetiky

Ve výuce přírodovědných předmětů jsou počítavé softwary nebo online webové platformy, nabízeným doplňkem či alternativou k frontální výuce. Pokud je do výuky nějakou formou zakomponována technologie, může pak pozitivně ovlivnit výuku genetiky, což bylo ověřováno v případě hry *Geniverse* – blíže viz Kap. 3.2.4 Efektivita didaktických her ve výuce genetiky a Kap. 3.1.3 Výuka podporovaná počítačem (Wilson et al., 2018).

Propojení počítačové technologie, vědního oboru a výuky genetiky se snaží prezentovat online prostředí WISE (Web-based Inquiry Environment). V online prostředí žák řeší úkoly, je tedy podpořeno aktivní zapojení žáka, snaha o rozvíjení kritického myšlení, které využijí v řešení problému, vyučující může po přihlášení na stránky WISE poslat odkaz k lekci svým žákům. V sekci genotyp a fenotyp žák pracuje s alelami a rozhoduje o genotypu a fenotypu jedince v poskytnutém příkladu ušního lalůčku (Harrison et al., 2023).

Otázka, Kdo je rodič? byla motivačním úvodem modulu věnujícímu se dědičnosti ve výzkumu zaměřeném na efektivitu WISE při výuce genetiky. Studie zahrnující 209 žáků základních škol, obsahovala kromě již zmíněného modulu dědičnosti další aktivity zaměřené na dědičné znaky, buňku (struktura, dělení hierarchie buněčných struktur), pohlavní rozmnožování a meióza, srovnání pohlavního a nepohlavního rozmnožování, řešení záhady spojené s určením genotypu a fenotypu (Williams, Montgomery a Manokore, 2012). Provedená studie naznačila pozitivní výsledky ve znalostech žáků, kteří absolvovali výuku genetiky, v níž byla zakomponovaná práce s webovým rozhraním WISE. Srovnání odpovědí v pre-testu a post-testu naznačuje, že i když žáci nebyli schopni v pre-testu zodpovědět otázky, v post-testu již odpovídali správněji a zodpověděli i více otázek (Williams, Montgomery a Manokore, 2012, s. 39). Žáci v post-testu vysvětlovali přesněji souvislosti mezi buněčným dělením a dědičností (Williams, Montgomery a Manokore, 2012, s. 38). Nejvíce efektivní bylo využití WISE pro výuku mendelistické genetiky při práci s Punnettovým čtvercem. Zde autoři poukazují na skutečnost, že žáci umí vyřešit úlohy na základě Punnettova čtverce, ale nerozumí procesu meiózy.

Online aplikace GenScope a BioLogica, popsané v podkapitole 3.1.3, patřily mezi oblíbené formy výuky genetiky. Jejich efektivitou ve výukovém procesu se zbývali Buckley, Gobert, Kindfield et al. (2004). Konkrétně popsali pedagogické prvky, které program generuje v průběhu jednotlivých aktivit. Kromě vysvětlení aktivity a učební látky, byla zahrnuta i průběžná zpětná vazba k řešení zadaných úkolů a odpovědi uživatelů aplikace. Při srovnání

kontrolní a experimentální skupiny žáků bylo vysledováno, že u experimentální skupiny, která k výuce využívala BioLogicu, dosahovala při kontrolním testu více správných odpovědí, především v konceptech dihybridů a monohybridů. Naopak výsledky v konceptech dominance, rodokmenů neukazovaly vyšší efektivitu zvolené aktivity (Buckley, Gobert, Kindfield et al., 2004). Tsui a Treagust (2007) se zaměřili na BioLogicu ve výuce. Hodnotili data získaná z programu Biologica, výsledky pre-testu a post-testu, strukturované rozhovory, záznamy z hodin (audio i video), materiály, které vyučující poskytovali žákům (Tsui a Treagust, 2007, s. 2012). Aktivity, využívající modely draků v programu Biologica, přispěly u žáků k lepšímu pojmu gen.

3.3 Náměty do výuky genetiky

V kapitole je poskytnut stručný náhled do návrhů aktivit pro různé tematické celky z genetiky a molekulární biologie. Popsány jsou i náměty primárně koncipované pro střední školy, u nichž je možná potenciální úprava pro použití na úrovni druhého stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií.

3.3.1 Vybrané náměty do výuky genetiky s využitím webových platforem a online zdrojů

Období pandemie Covidu-19 přeneslo výuku do online prostředí. Většina škol zavedla distanční výuku. Součástí výuky se staly materiály dostupné na internetu. V bakalářské práci Kotradyové (2020) byla jedna z kapitol mimo jiné věnována popisu zakotvení genetiky v rámci vzdělávacích programech pro základní vzdělávání (dále jen RVP ZV). Detailnější pohled však přinesl rozbor konkrétních školních vzdělávacích programů (dále jen ŠVP) škol Olomouckého kraje. Z provedené analýzy bylo zjištěno, která témata školy v Olomouckém kraji zařazují do svých ŠVP (blíže viz Kotradyová, 2020, s. 40). Výběr jednotlivých témat byl zohledněn při členění materiálů přístupných na online webech. Byly vybrány a následně analyzovány dostupné webové stránky věnující se problematice výuky genetiky, viz níže Tab. 2 a Tab. 3– Porovnání webových stránek s náměty genetiky. Webové stránky byly vyhledávány v českém a anglickém jazyce, v průběhu zpracování diplomové práce byla přidána jedna stránka v jazyce slovenském. Kritériem pro výběr byla dostupnost a skutečnost, zda lze materiály získat bezplatně. Vyhledávané stránky a hesla zadávaná do vyhledávačů (dále v této kapitole) byla platná k listopadu 2022. V kapitole je uveden i komentář k jednotlivým stránkám. Popisovány jsou i weby rvp.cz a DUMy.cz, ty však nejsou zahrnuty v tabulkách, jelikož v nich nebylo nalezeno dostatek námětů k porovnání v tabulkách.

Tab. 2 Porovnání webových stránek obsahujících náměty k výuce genetiky ve školách:

	Teach.Genetics	Od počátku s DNA*	CK-12	VIKI IEDU	Genetics Project
Jazyk	AJ	ČJ	AJ	SK	AJ
Materiály pro ZŠ	✓	✓	✓	✓	✓
Materiály pro SŠ	✓	✓	✓	✓	✓
Plány hodin	✓	-	✓	✓	✓
Online aktivity	✓	!	✓	✓	-
Online videa	✓	!	✓	✓	-
Online odkazy	✓	✓	✓	✓	-

*Vysvětlivky: ✓ webová stránka obsahuje danou položku; - webová stránka neobsahuje danou položku; ! Daná položka dostupná pouze v anglické verzi; AJ – webová stránka je v anglickém jazyce, ČJ – webová stránka je v českém jazyce, SK – webová stránka je ve slovenském jazyce; * stránka je českým překladem původní anglické verze „DNA from the beginning“*

Seznam rychlých odkazů k jednotlivým webovým stránkám uvedeným v Tab.1 a Tab. 2 (kompletní citace webů jsou řazeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce):

A: Teach.Genetics:

Dostupné z: <https://teach.genetics.utah.edu/>

B: Od počátku s DNA:

Dostupné z ČJ: <https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/DNA-FTBcz/index.html>

Dostupné z AJ <http://www.dnaftb.org/>

C: CK-12 foundation:

Dostupné z: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-life-science-2.0/>

D: VIKI IEDU:

Dostupné z: <https://viki.iedu.sk>

E: The GENETICS Project:

Dostupné z: <https://gsoutreach.gs.washington.edu/instructional-materials/genetics/>

Tab. 3 Přehled témat genetiky zpracovaných na vybraných webových stránkách

Témata: 1) Historie genetiky (významné objevy v genetice); 2) Základní genetické pojmy; 3) Molekulární podstata dědičnosti; 4) Cytologické základy dědičnosti a rozmnožování buněk; 5) Genetické aspekty pohlavního a nepohlavního rozmnožování; 6) Genetická onemocnění člověka; 7) Možnosti využití genetiky a molekulární biologie; 8) Zákonitosti dědičnosti kvalitativních znaků; 9) Příklady dědičnosti konkrétních znaků; 10) Řešení genetických příkladů; 11) Práce s rodokmenem; 12) Laboratorní práce z genetiky a molekulární biologie
 Rozdělení jednotlivých témat bylo převzato z výsledků analýzy ŠVP blíže viz Kotradyová, Kapitola 5.1 analýza ŠVP (2020, s. 35). Webové stránky jsou v tabulce značeny zástupnými pojmy

témata	Teach.Genetics		Od počátku s DNA		CK-12		VIKI IEDU		Genetics Project	
	text	aktivita	text	aktivita	text	aktivita	text	aktivita	text	aktivita
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
4	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
5	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
6	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
7	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
10	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
11	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
12	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1

Vysvětlivky: text – stránka obsahuje formu učebního textu k danému tématu; aktivita – stránka obsahuje aktivitu zahrnující téma z kategorií výše; 0 – dané téma/aktivita se na webové stránce nevyskytuje; 1 – dané téma/aktivita se na webové stránce vyskytuje aktivita=konkrétní učební úloha na procvičení vybraného tématu, připojena v učebním textu nebo formou odkazu na konkrétní materiál

„Od počátku s DNA“ je webová stránka vznikla za spolupráce Mendelova muzea a Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně. Obsah webové stránky je českou mutací anglického originálu „DNA from the beginning“ z Cold Spring Harbor Laboratory. Témata genetiky jsou rozdělena do tří okruhů: *Klasická genetika, Molekulární genetika a Speciální genetika* (Lízal et al., 2013). Toto rozdělení odpovídá rozdělení, které se často objevuje v pracích zkoumajících výuku genetiky (Chu a Reid, 2012). Na rozdíl od zbývajících

webových stránek zde obsažené informace jsou obdobou elektronické knihy. Postrádají tedy metodickou oporu pro vyučující v podobě výukových aktivit a plánu výukových jednotek. Úkoly bohužel nejdou spustit, jelikož prostředí, které je poskytuje přes aplikaci AdobeFlash již není podporováno (UPDATE: Adobe Flash Player end of support on December 31, 2020, 2023). Nicméně v anglické variantě jsou všechny záložky funkční, vyučující je tedy mohou využít v původním jazyce (DNA from the Beginning, 2011).

Univerzita v Utahu vytvořila webovou stránku *Teach.Genetics* (Teach.Genetics, 2015), která nabízí množství materiálů do výuky. Web se dělí dle zaměření obsahu pro mladší žáky – základní školy (*middle school*) a žáky starší – střední školy, gymnázia (*high school*). Dle amerického kurikula se témata mladších žáků zaměřují na buňku, geny a znaky. Nabízená témata jsou na webu dále rozvíjena v celcích připomínajících kapitoly učebnic. Vyučovací jednotky jsou naplánovány do delších časových úseků – u nás by se mohly přirovnat k *časově – tematickému plánu* vyučujících. Zpracovaná témata mohou být využita jako vzorové plány hodin. Vyučující zde nalezne nejen materiály k využití do výuky ale také metodickou podporu. Výukové materiály z webu *Teach.Genetics* obsahující témata klonování a kmenových buněk se stručným popisem materiálu, shrnuje přehledně v tabulce Kučerová (2009, s. 20). Mezi náměty se objevují např. vystříhovací aktivita klonování myši nebo etický aspekt klonování člověka – využitím případových studií materiál cílí na formování postojů žáka. Nevýhodou může být jazykové prostředí, celý web je v angličtině, což nemusí vyhovovat všem vyučujícím, ale především žákům, pokud vyučující dané materiály neupraví podle potřeb žáků.

Následující odstavec popisuje ukázkou aktivity z webu Teach.Genetics (Build-a-Bird: The Pigeon Gene Shuffle—Instructions, 2016). Aktivita byla vybrána ze sekce *Alely a jejich vliv na dědičnost*; už názvem „*Jak bude vypadat tvé mládě holuba?*“ napovídá, jaké aktivitě se žáci mohou věnovat. Procvičují vliv alel na to, jak bude vypadat nově vzniklý jedinec. Obr. 1 znázorňuje jedince – holuba s nímž žáci pracují. Jejich úkolem je dokreslit jednotlivé části těla (např. hřeben, přítomnost per na dolní končetině) a vybarvit (vzor na křídlech, pokud je u daného holuba přítomný). Žáci se v aktivitě řídí návodem alel poskytnutým v návodu (Build-a-Bird: The Pigeon Gene Shuffle—Instructions, 2016, s. 4). Podle alel, které vznikly v předcházející aktivitě věnující se rekombinaci alel (rovněž součást PDF návodu), se seskládá výsledný vzhled holuba. Aktivita může pomoci při utváření pojmu alela. Jedna z miskonceptí, která se objevuje, spočívá ve skutečnosti, že někteří žáci nerozlišují mezi geny a alelami, vnímají je jako totožné (Tekkaya, 2002, s. 262). Na podobném principu, sestavení fenotypu jedince podle zápisu alel, je založena i aktivita na webu DNA learning centre. K výše uvedené

aktivitě web poskytuje i komentovanou lekci (v anglickém jazyce), ta je přístupná na odkaze YouTube³, jako další aktivitu na podobném principu lze uvést tvorbu vlastního monstra⁴.

NAME _____ DATE _____ **Draw Your Pigeon Offspring Traits**

Pigeon Traits Key

Crest	Wing Pattern
$\overline{C} \overline{C}$ no crest	$\overline{W} \overline{W}$ T-check
$\overline{C} c$ no crest	$\overline{W} w$ Check
$c \overline{C}$ crest	$w \overline{W}$ Bar
	$w w$ Barless
Foot Feathering	
$\overline{F} \overline{F}$ feathering	
$\overline{F} f$ partial feathering	
$f \overline{F}$ no feathering	
Spread	
$\overline{S} \overline{S}$ spread	
$\overline{S} s$ spread	
$s \overline{S}$ no spread	
Recessive Red	
$\overline{R} \overline{R}$ not recessive red	
$\overline{R} r$ not recessive red	
$r \overline{R}$ recessive red	

Genes at each position along the chromosome

© 2016 University of Utah Build-a-Bird: The Pigeon Gene Shuffle—Instructions 4

Obrázek 1 Ukázka z aktivity – tvorba holuba (zdroj: Build-a-Bird: The Pigeon Gene Shuffle—Instructions, 2016, s. 4)

Web *CK-12 foundation* poskytuje velmi podobný přístup k materiálům jako Flexibooks. U nás velmi podobné prostředí vytváří doména s totožným názvem Flexibooks – platforma zpřístupňuje online učebnice a pracovní sešity z nakladatelství *Fraus* nebo *Prodos*. Přístup k nim je zpoplatněn. Na velmi podobném principu funguje i nabídka interaktivní učebnice MIUč z nakladatelství *Nová škola*, software MediaCreator umožňuje přístup k učebnicím v interaktivní podobě (Media Creator MIUč+, 2023). Webová platforma *CK-12* připomíná interaktivní formu učebnice a pracovního sešitu, celý web je zaměřen na biologii. Část webu

³ *DNA learning center* [online]. New York: Cold Springs Laboratory, 2020 [cit. 2022-09-30]. Dostupné z <https://dnalc.cshl.edu/resources/dnalc-live/watch/20200422-kitchen-science-mendelian-genetics-build-a-creature-17135>

⁴ Karla Moeller. How to Build a Monster. [online] ASU - Ask A Biologist. 2011[cit. 2023-02-30] Dostupné z: <https://askabiologist.asu.edu/build-monster>

věnující se genetice na základní škole se nachází v záložce *middle school science (CK-12)*. V sekci 3 *Molekulární biologie a genetika* je uspořádáno 21 témat. Po výběru tématu se uživateli otevře stránka obsahující plán hodiny. Plány obsahují instrukce k aktivitám, nechybí ani odhadovaná časová náročnost jednotlivých aktivit. V pravém dolním rohu stránky lze spustit online procvičování daného tématu. Učební úlohy v procvičování jsou zaměřeny především na paměť. Související materiály nabízené na vybraných záložkách jsou přístupné po založení uživatelského profilu.

The GENETICS Project sdílí výukové materiály na stránkách katedry *Genome Sciences Education Outreach* Washingtonské univerzity. Ke stažení jsou zde materiály rozděleny dle stupně vzdělávání od základní školy až po školu střední, dále je také popsán námět na tvorbu modelů genů z těstovin (The GENETICS Project, 2023).

Viki iedu je webová platforma spadající pod Ministerstvo školství, vědy, výzkumu sportu Slovenské republiky. Uživatelé této platformy mají možnost získat materiály z různých předmětů a zároveň hodnotit kvalitu nahraných materiálů. V mnoha aspektech tak web může připomínat český portál *rvp.cz*. Prostředí, které vytváří web „*viki iedu*“, spíše připomíná on-line aplikace pro výuku. Vyučující si zde materiály nejen tvoří, ale i upravuje, a může je zadávat svým žákům a hodnotit pak jejich práci. V sekci „*Knižnica*“ pak pomocí webového filtru můžeme zvolit požadovaný ročník a učivo. Po zvolení lekce je zpřístupněno prostředí velmi podobné *CK-12*. Interaktivní online materiál poskytuje jak teorii, tak cvičení na ověření porozumění. K jednotlivým výkladovým videím je připojen i slovníček pojmů, který jednotlivě vysvětlí vybrané pojmy. Záložka „*Dědičnosť a proměnlivosť organizmů*“ obsahuje osmnáct výukových lekcí. Tyto lekce pokrývají témata uvedená v Tabulce 3 viz výše (Viki: CÚDEO, 2019).

RVP.cz je webová stránka poskytuje vyučujícím materiály sdílené od jiných vyučujících. Materiály jsou volně dostupné – není-li uvedeno jinak. Do vyhledávače materiálů byly zadány parametry odpovídající výuce genetiky na druhém stupni pro tematický okruh „*Obecná biologie a genetika*“ bylo vyfiltrováno třináct položek. Z těchto položek 1 prezentace věnující se „*Základům genetiky*“ (Metodický portál RVP.cz, 2020).

DUMy.cz je webový portál, který funguje na stejném principu jako web *rvp.cz*, učitelé sdílí materiály mezi sebou. Všechny materiály mohou být ohodnoceny uživateli a zároveň odborníky. Při zadání hesla „*genetika*“ do vyhledávače je nalezeno 120 položek. Při zúžení vyhledávání na druhý stupeň základní školy je nalezeno 35 položek (DUMy.cz, 2012).

3.3.2 Vybrané náměty aktivit pro výuku tématu genetika

3.3.2.1 Náměty pro práci s modely v hodinách přírodopisu

Učitelům mohou během výuky pomáhat obrázky, které promítají na plátna nebo interaktivní tabule dále obrázky vytištěné na pracovních listech či v učebnicích. Názornost obrázku v 2D formě však nemusí obsáhnout všechny podstatné aspekty. Náročnost porozumění roste v případě samostudia, kdy se žák snaží pochopit význam obrázku bez předchozího seznámení s výukovým tématem (Jančaříková, 2017). Autorka pracuje s pojmem *přírodovědná abstrakce*, který dává do souvislosti s modely. Při porozumění modelu dochází k propojení konceptu, který model představuje, ať už je to objekt nebo třeba jev.

Přírodovědné modely lze dělit do dvou skupin (Jančaříková, 2017, s. 6): „*modely objektů a modely vztahů mezi objekty a procesy*“. Dále modely *analogické*, ty mohou být jak konkrétní (atom jako koule), tak abstraktní (tuba pro znázornění trávicí trubice). Při práci modely znázorňující abstraktní pojmy doporučuje Jančaříková dostatečnou přípravu a promyšlenou metodiku práce, právě kvůli abstraktní povaze těchto modelů. Nedostatek času pro výuku tématu však může vyústit v nedostatečné pochopení ze strany žáků, což následně může vést k „*nedostatečnému pochopení reality*“ nebo k „*vytváření miskonceptů*“ (Jančaříková, 2017, s. 17) Velmi časté modely v molekulární biologii a genetice jsou 3D modely DNA (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2006). Modely mohou být sestaveny z různých materiálů např. z papíru. Oblíbené jsou také modely, které si studenti vytváří např. sami. Modely vyrobené z lékořice a různých pendreků mohou po skončení výuky sníst, podrobný návod nabízí *Teach.Genetics*⁵. Další modely mohou být sestaveny z kostek Lega (Templin a Fetters, 2002). Templin a Fetters, doplňují již dříve publikované náměty k aktivitám zahrnujícím Lego kostky. Hlavní výhodou, kterou vyzdvihují, je nízká cena. V navrhovaných aktivitách žáci pracují se stavbou ribozomů a proteosyntézou. Součástí článku je přiložena i fotodokumentace pro navržené modely (Templin a Fetters, 2002).

Rotbain a jeho kolegové se při tvorbě modelu zaměřili na různobarevné korálky, které představují základní části genetického materiálu (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2006). Výsledný exemplář je velmi podobný modelům, které se mohou využívat např. v hodinách

⁵ Have Your DNA and Eat it Too. *Learn.Genetics* [online]. Utah: Genetics Science Learning Center, 2020 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://teach.genetics.utah.edu/content/dna/Have-Your-DNA-and-Eat-It-Too.pdf>

chemie, kde jednotlivé korálky představují atomy určitých prvků v molekulách nebo sloučeninách. Nesporná výhoda modelů je jejich schopnost zjednodušit náročné struktury.

Náměty Merty et al. (2020) využívají korálky a drátek; aktivity s těmito pomůckami se mohou zaměřit např. na párování bází a strukturu DNA, pro demonstraci rozdílů mezi procesem replikace a transkripce (zde spíše pro střední školy) a v neposlední řadě může poskytnout vhled do problematiky mutací. V rámci námětů pro žáky středních škol může být sada využita i k demonstraci průběhu *PCR* metody. Sada je doporučována pro střední školy a navazující vysoké školy. Konkrétní aktivity navrhované autory jsou dostupné v online placené verzi časopisu *American Biology Teacher* (Merta, Pinkr a Janštová, 2020, s. 50).

Modelování procesu v genetice představuje *Cvičení translace* v něm si formou hry žáci vyzkouší translaci s využitím levných kancelářských pomůcek. Podrobný průběh translace je téma, které se řadí do osnov vyšších ročníků gymnázií. Využitím kolíčku na prádlo a kancelářský svorek v různých velikostech lze simulovat proces translace (Guzman a Bartlett, 2012).

Studie zaměřená na využití modelu z korálků umožnila studentům pracovat samostatně, podpořila tedy tak rozvoj žákovských kompetencí. Model s korálky má ilustrační charakter. V učebnicích se ilustrace objevují často, i pracovní sešity obsahují aktivity zaměřené na dokreslení struktur apod. (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2006). Jedna z hlavních výhod korálkového modelu je právě 3D struktura, která přesněji vystihne podstatu vybraných genetických konceptů. Mezi žáky se objevuje představa, že DNA a chromozomy spolu nesouvisí a „jsou v jádru odděleně“ (Tekkaya, 2002, s. 262). S využitím korálkového modelu se vyučující mohou zaměřit na tento miskoncept a pracovat na jeho korekci.

Tvorba „stvoření“ z *marshmallow* představuje aktivitu, při které si mají žáci vyzkoušet, jak probíhá meióza. Mohou se zamyslet nad jednou z funkcí meiózy, která ovlivňuje dědičnost, a tak zajišťuje variabilitu. Základem jsou dvě „stvoření“, která reprezentují rodiče. Studenti pracují ve dvojicích a pomocí sady chromozomů rodičů a dekodovací tabulky, v níž jsou uvedeny „kódy“ (zde alely) pro jednotlivé části těla „AA = 1 anténa“... „Aa = 2 antény“ a „aa = bez antény“ postupně tak sestavují vlastní „stvoření“ (podrobněji Soderberg, 1992, s. 31).

3.3.2.2 Náměty k využití metafor a analogií při výuce genetiky

Výuka pomocí analogií či metafor bývá diskutována napříč přírodovědnými obory. Vyučující se k analogiím uchylují u témat, která mohou být náročná na představu. Jedním z důvodů tedy může být abstraktní povaha probíraného tématu. Efektivita využití analogií a metafor však stále

zůstává otázkou. Při vhodném využití dochází k propojení mezi záměrem vyučujícího a pochopením žáka. Mezi výzkumy se však objevují otázky, zda tento přístup funguje a zda si jsou studenti opravdu schopni osvojit představené analogie tak, jak je zamýšlel vyučující či autor učebnice (Harrison a Treagust, 2006). Woody a Himelblau pomocí analogií vysvětlovali např. vztah dominantní a recesivní alely, přirovnáním k orchestru (Himelblau, 2013; česky shrnuje Lišková, 2020, s. 18).

3.3.2.3 Náměty na problémové učení

Na problémovou aktivitu se ve studii zaměřili Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez, Duschl, příklad argumentačního diagramu blíže (Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez, Duschl, 2000, s. 761). Byli sledováni žáci 9. tříd, tedy věková skupina odpovídající věku 14-15. Ve studii se objevily základní genetické koncepty, mendelistická genetika. V řízených diskuzích se žáci vyjadřovali k problému barvy kuřat na farmě a postupně u nich docházelo k utváření konceptu dědičnosti (Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez, Duschl, 2000, s. 773-775). Odpovědi žáků obsahovaly analogie i metafory, s jejich využitím se žáci pomocí popisu analogií a metafor, které žáci užívali při rozhovorech, snažili popsat, jak se měnily barvy u slepic na farmě.

Námět hodiny, kde se bude žák zapojovat do práce jako výzkumník, může vzejít z aktivity navrhované Rokosem a Liškovou (2018). Úkolem žáka-výzkumníka je určit krevní skupiny u různých pacientů. Aktivita s prvky badatelsky orientovaného vyučování je primárně zaměřen na krev, ale lze využít i v hodinách věnovaných genetice – především ve spojitosti s dědičností krevních skupin (Rokos a Lišková, 2018).

3.3.2.4 Náměty aktivizujících úloh / didaktická hra

Aktivita „*Poskládej si vlastní karyotyp*“⁶ je mezi náměty na internetu frekventovaná, doporučují ji i Banet a Ayuso (2000). Žáci si procvičí téma chromozomů, prohlédnou si chromozomy a seznámí se s jejich podobou pod světelným mikroskopem. Uvedenou aktivitu lze adaptovat do badatelsky orientované výuky, kdy žáci hledají pachatele s využitím karyotypu (žáci znají pohlaví pachatele). Využití v badatelské formě výuky nabízí hra *The Recal case* (v češtině bychom hru mohli nazvat např. detektivní vyšetřování) je doporučena pro věkovou

⁶ Cut n' Paste Karyotyping Activity. *Genetics Science Learning Centre* [online]. Utah: Utah University, 2003 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: https://learn-genetics.b-cdn.net/basics/karyotype/karyotype_paper.pdf

kategorii 15 až 18 let. Hra je vhodná i pro žáky, kteří neprošli výukou genetiky, jednotlivé kroky a materiály provedou hráče hrou, přičemž mu poskytnou potřebné informace. Hra se zaměřuje na objasnění pojmů fenotyp a genotyp (na příkladu vlasu nalezeného na místě činu), další část se zaměřuje na karyotyp, kde studenti hledají pachatele na základě indicií. Navazující části obsahují vodítka v podobě DNA profilů, nejprve pachatelů a poté potomků (hra uvádí i pravnoučata). Absolvováním všech kroků, při nichž získávají vodítka, které poté žáci využijí při finálním označení pachatele. Složku s materiály nabízí autoři zdarma, je však nutné o ni požádat na emailové adrese uvedené v článku (Casanoves et al., 2016).

Lišková (2020) v rámci závěrečné práce vytvořila didaktickou hru zaměřenou na mendelistickou genetiku. Autorka doporučuje hru pro vyšší stupeň gymnázií a pro střední školy. Součástí materiálů je i příručka pro učitele. Studenti se ve hře stávají šlechtiteli a snaží se vyšlechtit druhy duchů dle zadání. Dle autorky samotná hra může být využita jako alternativa k frontálnímu výkladu mendelistické genetiky. Pozitivním prvkem je snaha o reflexi významu hry v realitě, která je zařazena na závěr hry.

Demonstraci chromozomů a jak funguje přenos genetické informace se věnuje článek „*Párátkové chromozomy*“, kde autor popisuje sestavení sady chromozomů z párátek (Bryant, 2003). Párátka obarvil, párátka, která měla stejnou barvu představovala homologní chromozomy, nesly stejné geny. Párátka využil pro ukázkou dědičnosti barvy květu (pokus, který prováděl G. Mendel a frekventovaně jej najdeme i v učebnicích přírodopisu – ve formě ukázky dědičnosti barvy květu hrachu), systém krevních skupin AB0 a barvoslepost (blíže viz Bryant, 2003, s. 11). Pomocí analogie párátek Bryant přibližuje pojmy jako gen a alela (dominantní a recesivní alela). V průběhu aktivit nechává žáky pracovat ve dvojicích, podporuje tak jejich spolupráci a schopnost diskutovat (rozvíjí mj. kompetence sociální a kompetence pracovní (Bryant, 2003). Barvoslepost je podmíněna přítomností recesivní alely, která je vázána na chromozom X. Párátka, které je celé, zastupuje chromozom X. Párátka zkrácené na polovinu, značí chromozom Y. Autor spatřuje v modelu a jeho využití potenciál přiblížit žákům význam Punnettova čtverce, podle něj dojde k „*přeměně Punnettova čtverce z bezvýznamného algoritmu do grafického pořadače, který podporuje konceptuální porozumění* (Bryant, 2003, s. 15, překlad autorky).

Aktivita *Těstovinová genetika (Pasta genetics)* vznikla modifikací již existujících námětů *Genes and Generations* a *Generations* (Brown a Munn, 2010). Námět se věnuje mendelistické genetice. V dokumentu vyučující naleznou cíle aktivity (*geny se přenáší z generaci na generaci, geny jsou přítomny v párech*). V aktivitě se pracuje se 4 druhy těstovin, těstoviny jsou následně ještě pro lepší názornost obarveny. Žáci dostanou papír s diagramy

znázorňujícími jednotlivé generace. Postupně si modelují dědičnost a své výsledky zakreslují do připravených diagramů. Námět je doplněn o fotografie z průběhu aktivit (Brown a Munn, 2010).

Aktivitu zaměřenou na chromozomy představují Wright et al. (2022), kde je cílem upevnit představy o chromozomech v procesu meiózy. Studenti se seznamují a procvičují koncepty ploidie, homologních chromozomů a významem chromozomů během meiózy. Nevýhodou této aktivity je materiál, který je vytvořen speciálně pro zamýšlené aktivity. Jednolivé dílky, připomínající puzzle, do sebe přesně zapadají a jsou z plastu. Pro účely levné modifikace k použití na základních a středních školách by mohla být papírová forma, se kterou autoři pracovali v raných stádiích vývoje aktivity.

Práce s rodokmeny může být součástí problémových úloh zakomponovaných ve výuce. Stuchlíková et al. (2015) popisuje rodokmeny, které jsou upraveny pro potřeby využití ve školní praxi. Práce s nimi je vhodnější (pro žáky jsou předhlednější) k demonstraci než využívat přímé zdroje rodokmenů.

3.3.2.5 Náměty na laboratorní práce, pokusy v hodinách genetiky

Laboratorní práce, mohou žáka motivovat k další výzkumné badatelské práci, učí žáky na základě samostatného studia dělat závěry, zobecňovat a vytvářet tak předpoklady pro uvědomělé a trvalé spojení jednotlivých struktur učiva. Níže jsou popsány vybrané laboratorní aktivity z genetiky.

Jednoduchý pokus na základních školách může být *izolace DNA* z ovoce, často je doporučován banán⁷, kiwi či jahody. Pokusem získanou DNA může vyučující využít i v dalších navazujících experimentech, např. k elektroforéze. Takto získaná DNA nemusí vhodná pro navazující demonstrační pokusy. V případě jahod navazující pokusy s izolovanou DNA nemusí fungovat (Kosaka a Kumano, 2022). Portál *ČTedu* vytvořený *Českou televizí* poskytuje materiály pro učitele i žáky. Mezi materiály se objevují i videa s návody izolace DNA z cibule kuchyňské⁸ nebo z buněk bukální sliznice⁹. Provedením tohoto pokusu, žáci ověří přítomnost

⁷ Pokus: Izolace DNA z banánu. *ČT edu* [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/5534-pokus-izolace-dna-z-bananu>

⁸ Pokus: Má cibule DNA?. *ČT edu* [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/8011-pokus-ma-cibule-dna?backlink=ntu5u>

⁹ *Izolace DNA* [online]. Brno: Moravian Science Centre Brno, c2023 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://vida.cz/blog/dna>

DNA v rostlinném materiálu. Pokus napomáhá při utváření konceptu DNA (častý miskoncept – nepřítomnost DNA u rostlin popisuje Lewis a Wood-Robinson, 2000; Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000a).

Dalším námětem do výuky je elektroforéza DNA. Pokus je doporučován spíše pro střední školy, kde je zastoupení výuky molekulární biologie frekventovanější než na základní škole (Janštová a Jáč, 2015). Laboratorní cvičení z molekulární biologie jsou pro studenty středních škol atraktivnější než klasické laboratorní cvičení (Janštová a Jáč, 2015, s. 32). Žáci se při realizaci pokusu blíže seznámí s průběhem elektroforézy, lépe propojí představy o procesu elektroforézy. Pokus může sloužit jako demonstrační, kdy si žáci lépe představí část konceptu DNA – protein. Výše uvedený pokus extrakce DNA z ovoce může předcházet samotné elektroforéze. Výsledek elektroforézy v tomto případě může být znehodnocen nevhodným vstupním materiálem. Znečištěná extrahovaná DNA, důsledkem toho nemusí být jednotlivé proužky DNA viditelné – na což upozorňují i sami autoři. Výhodou navrhované laboratorní práce je dostupnost. Některé hůře dostupné laboratorní chemikálie lze nahradit běžnějšími pomůckami. Plastové krabičky, do kterých se vloží elektrody z alobalu a 9 V baterie, potravinářský agar (získává se převážně z mořských řas), pH pufr a na obarvení krystalová violet (Ens et al., 2012).

V návaznosti na elektroforézu je možné experiment zasadit do problémové úlohy s využitím metody DNA fingerprintingu. V problémové situaci, kde dochází k vyšetřování místa trestného činu za účelem určení pachatele, vyučující s žáky projde jednotlivé kroky této metody (izolace DNA, amplifikace pomocí PCR a závěrečná elektroforéza). Nabízí se využití genetiky ve forenzních vědách, tedy vytvoření potencionálního místa činu a následný proces určení pachatele za využití DNA analýzy. Tato modifikace může být pro vyučující náročná na přípravu, nese v sobě potenciál aktivity s badatelskými prvky, a tak pro žáky může být atraktivní. Pokus byl navržen primárně pro žáky středních škol, ale lze jej použít i na základních školách.

The BIOTECH Project pod záštitou univerzity v Arizoně poskytuje volně dostupné materiály pro použití ve výuce. Zde jsou uvedeny laboratorní pokusy pro žáky jak středních škol, tak škol základních. Dělení je zde uvedeno dle americké terminologie *middle school* (základní škola) *high school* (střední škola). Aktivity jsou na webové stránce řazeny sestupně od aktivit pro střední školy směrem k aktivitám pro základní školy. U aktivit, které jsou volně dostupné, je možné si přímo stáhnout námět hodiny ve formátu Microsoft Word. Dále webová stránka uvádí i přibližnou časovou náročnost vybrané aktivity. Webová stránka nabízí např. již výše popsané pokusy s extrakcí DNA z kiwi (blíže *The BIOTECH Project*, 2023).

3.4 Možnosti hodnocení žákovských představ a znalostí v oblasti genetiky

Před samotným hodnocením žákovských představ je nutno zvolit vhodnou výzkumnou metodu dle zaměření studie a velikosti výzkumného vzorku (Chráska, 2016, Hendl, 2012). Mezi způsoby zjištění představ v genetice se objevují konceptové testy, pojmové mapy, rozhovor (interview), analýza kresby či případové studie. V písemné podobě bývají distribuovány nejčastěji konceptové nebo didaktické testy. Rozdíl mezi konceptovými testy a didaktickými testy spočívá především v jejich zaměření. Při zaměření na míru osvojení učiva žákem se využívají didaktické testy (Chráska, 2016, s. 178) naproti tomu konceptové testy zjišťují do jaké míry žáci učivu porozuměli, cílí na *žákovo pojetí učiva* (Mareš a Ouhrabka, 1992, s. 87). Výhodou didaktických testů je beze sporu to, že umožňují zkoumat velký vzorek respondentů (Lewis & Wood-Robinson, 2000b).

Mezi výzkumné nástroje, které neumožňují v průběhu testování upřesňovat odpovědi respondenta se řadí konceptové testy, pojmové mapování, analýza kresby (Saka et al., 2006). V případě písemné administrace těchto výzkumných nástrojů, respondent odpovídá na předem vytvořené otázky, které se dále dělí podle rozsahu volnosti odpovědi respondenta na otevřené a uzavřené (Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000b). Otázky v testech jsou často víceúrovňové; forma doplňujících otázek umožňuje lépe porozumět žákovským představám a případně podrobněji popsat neúplný či zcela nesprávný koncept.

Metody, při kterých je možno v průběhu testování podrobněji popsat představy respondenta (využitím doplňujících otázek) jsou např. interview či při problémové úlohy. Co se týká rozhovorů, objevují se ve výzkumech jako samostatná diagnostická metoda, přestože jsou velmi náročné na realizaci a přípravu výzkumníka (Mareš a Ouhrabka, 1992). Poměrně často ve výzkumech věnovaných genetice se objevují poměrně často jako doplnění jiného výzkumného nástroje (Banet a Ayuso, 2000).

Dále se při zjišťování žákovských představ v genetice využívá i kombinace výzkumných nástrojů. Nejčastěji se zde objevují konceptové mapy, interview a dotazníky (Banet a Ayuso, 2000).

Mezi způsoby hodnocení výsledků zjišťování žákovských představ se objevuje bodové hodnocení. Bodové hodnocení je specifikováno dle potřeb autora testu (Machová a Ehler, 2021). Didaktické testy s uzavřenou formou otázek (výběr odpovědi) bývají dále hodnoceny jako správné a špatné odpovědi dle kritérií stanovených výzkumníkem (Boumová, 2019).

Při analýze získaných dat v podobě kresby, bývá často hodnocena propracovanost

kresby. V hodnocení kresby spojené s genetickými pojmy (gen, DNA) využila autorka kategorie: „*žádná kresba, nesprávná kresba, kresba s miskoncepcemi, částečná kresba, komplexní kresba*“ (Boumová, 2019, s. 74).

Více výzkumných nástrojů bylo využito k identifikaci představ o DNA, genu a chromozomu (Marbach-Ad, 2001). V této studii byly kódované odpovědi rozděleny dle zadaných testových otázek. Poté byly seskupeny stejné odpovědi a z nich následně postupnou analýzou vytvořeny podkategorie a finálních pět hlavních kategorií. Otevřené otázky (z dotazníků i rozhovorů), zaměřené na představy o jednotlivých biomolekulách (DNA, gen, chromozom), byly rozděleny do dvou kategorií. Odpovědi obsahující popisy struktury pojmu v jedné kategorii a popis představ o funkci daného pojmu v druhé kategorii; komplexní odpovědi obsahovaly vysvětlení obou kategorií (Marbach-Ad, 2001, s. 187; Rotbain, Marbach, Stavy, 2006, s. 510). Z tohoto rozdělení vycházelo hodnocení, které zohledňovalo i neúplné strukturní nebo funkční vysvětlení pojmů, kategorizováno bylo na základě bodové škály (Lišková, 2020, s. 30). Odpovědi obsahující vztahy znaku a genu („*gen je zodpovědný za znak, gen je znak*“) byly kategorizovány jako „*v rámci generace*“ (Marbach-Ad, 2001, s. 189, překlad autorka).

Dále se v hodnocení porozumění genetice objevuje test GCA (Genetics Concept Assessment) vytvořený Smithem, Woodem a Knightem (2008). Test obsahuje 25 otázek (Smith, Wood a Knight, 2008).

Mills Shaw et al. (2008) v hodnocení esejí s genetickými tématy využili vlastní systém kategorií rozdělen dle genetických témat blíže viz Tab. 4 (Mills Shaw et al., 2008, s. 1161). Identifikovali tak nejčastější témata genetiky, v nichž se vyskytovaly miskoncepce. Po rozdělení esejí do miskoncepcí byly dále analyzovány dle počtu miskoncepcí v žákovských esejích.

Tab. 4 Ukázka z přehledu vytvořených kategorií (převzato a upraveno dle Mills Shaw et al., 2008, s. 1161, překlad autorky)

Téma	Hlavní myšlenky
genetické technologie	realistické vs. nerealistické využití technologií role genové terapie při léčbě genetických onemocnění
deterministický pohled na geny	geny podmiňují všechny znaky jeden gen, jeden znak
zákonitosti genů a genetického materiálu	role nukleových kyselin v genetice centrální dogma chromozomy a geny
výzkum v genetice	průběh výzkumu časové rozvržení výzkumu témata výzkumu

Výše navržený systém kategorií byl využit i v práci autorů Hamdan, Osman a BouJaoude (2016). Hodnocení miskonceptů v genetice se skládalo z dotazníku a rozhovoru, které následovaly po sobě. Otázky formou výběru z poskytnutých možností (*ordered multiple choice items*) byly hodnoceny dle stanovené hladiny porozumění 1–3, kdy 1 kóduje nízké porozumění, byla zahrnuta odpověď nevím (Hamdan, Osman a BouJaoude, 2016, s. 87).

Analýzou konceptových map v genetice se zabývali Haskel-Ittah a Yarden (2018), zaměřovali se přitom na souvislosti mezi osmi genetickými koncepty – gen, protein, znak, chromozom, DNA, meióza, rodiče a potomci (Haskel-Ittah a Yarden, 2018, s. 3). Hodnocení představ o genu bylo založeno na rozdělení žákovských představ do čtyř parametrů. Tyto parametry rozlišovaly odpovědi žáků na úrovni konceptových map a odpovědí na otevřené otázky. Odpovědi, které v konceptových mapách obsahovaly spojení mezi pojmy gen a bílkovina; druhá skupina odpovědí naznačující spojení bílkovina a znak. Žáci, kteří v odpovědích zmínili bílkoviny ve vztahu k genu, spadali do další kategorie a poslední kategorii tvořily odpovědi zmiňující bílkoviny při vysvětlení efektu genů na znaky (Haskel-Ittah a Yarden, 2018, s. 4). Jako správné odpovědi kódovali „*gen kóduje protein*“ ... „*gen obsahuje informaci pro tvorbu proteinu*“ (Haskel-Ittah a Yarden, 2018, s. 5). Jako nesprávné odpovědi byla hodnocena tvrzení „*gen je protein*“ (Haskel-Ittah a Yarden, 2018, s. 5).

4 METODIKA

4.1 Dotazníkové šetření mezi vyučujícími přírodopisu druhého stupně základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií

Dotazník pro učitele byl vytvořen již v rámci bakalářské práce, zde je také popsána metodika sestavení dotazníku (podrobněji Kotradyová, 2020). Pro účely dotazníkového šetření byl vytvořený dotazník převeden do online prostředí *Google Forms*. Získaný odkaz byl následně vložen do zpráv odesílaných na e-mailové adresy vyučujících.

Výzkumný vzorek byl získán formou dostupného výběru (Chráska, 2016). Náhodně byli osloveni vyučující základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií z Olomouckého, Zlínského a Moravskoslezského kraje. Vyučující byli oslovováni telefonicky a po domluvě jim byl zaslán odkaz na online dotazník¹⁰ elektronickou poštou. Dotazníky byly také odesílány pomocí elektronické pošty, a to přímo na školní adresy vyučujících, u kterých bylo dohledatelné, které předměty na dané škole vyučují. V případě, že webové stránky tuto informaci neposkytovaly, byl e-mail odeslán na adresu zástupce ředitele školy. Celkově bylo odesláno 138 dotazníků, vrátilo se 54 dotazníků, návratnost tak činila 39,14 %. Z celkového počtu respondentů bylo 8 mužů a 46 žen.

Pro statistické vyhodnocení byly zvoleny základní popisné statistiky (absolutní a relativní četnost jednotlivých kategorií). U otevřených otázek byly jednotlivé kategorie vytvářeny induktivně, dle zakotvené teorie (Hendl, 2012). Zpracování získaných dat proběhlo v prostředí MS Excel.

4.2 Konceptové testy z genetiky pro žáky základních škol a odpovídajících ročníků gymnázií

Výzkum byl proveden formou dostupného výběru (Chráska, 2016). Pro realizaci výzkumu byly osloveny vybrané základní školy v Olomouci. Současně byla oslovena vybraná gymnázia v Olomouci, ta však zapojení se do výzkumu nevyužila. Samotná realizace výzkumu na vybrané základní škole byla odložena oproti původnímu plánu. Posunutí realizace bylo mimo jiné zapříčiněno zpožděním v tematickém plánu školy. V důsledku distanční výuky v období výskytu onemocnění COVID - 19 a následných přetrvávajících protiepidemických

¹⁰ Dotazník byl dostupný na webové adrese:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe2sVHI4D9_3JirTNhzmo-3SZPaXXk19o8Fgp-QiqAllMvCRA/viewform?usp=sf_link

opatření v roce 2021 byly vybraná témata přesunuta z osmého ročníku do ročníku devátého. Výzkum byl realizován po probrání učiva, kdy byl předpoklad, že žáci budou mít téma v čerstvé paměti. Hlavní zjišťovanou oblastí tak byly žákovské koncepty a miskoncepty v oblasti genetiky; srov. Bazalová (2020). Výzkum proběhl v listopadu 2022 v hodinách přírodopisu. K vyplnění konceptových testů u obou tříd postačila jedna vyučovací hodina (45 min). V obou vybraných třídách byla distribuce dotazníků realizována v rámci jednoho týdne, aby bylo zamezeno i případné sdílení informací o testech, a byly tak zachovány co nejpodobnější podmínky pro vyplnění. Testy byly rozdány v tištěné formě, před samotným zahájením vyplňování byli respondenti seznámeni s pokyny k vyplnění, ujištění o dobrovolnosti a anonymitě realizovaného šetření. Dotazy k vyplnění testů byly zodpovídány i v průběhu šetření. K vyplnění konceptových testů u obou tříd nebyl stanoven časový limit, respondenti tak mohli odpovídat, jak dlouho potřebovali. V obou třídách však k vyplnění všech konceptových testů postačila jedna vyučovací hodina – 45 min. Všechny konceptové testy byly zadávány současně.

Sestavení konceptových testů proběhlo na základě obsahové analýzy učebnic přírodopisu, která byla provedena v rámci bakalářské práce (Kotradyová, 2020). Byly vybrány 4 genetické koncepty, z nichž byly sestaveny konceptové testy (viz Příloha 1): 1) Základní genetické pojmy: gen, alela, chromozom bílkovina; 2) Molekulární podstata dědičnosti; 3) Dědičná onemocnění – rodokmen a 4) Možnosti využití dědičnosti. Podobně postupovala ve své práci i Bazalová (2020) při zjišťování prekonceptů žáků o oběhové soustavě.

Dotazník obsahoval úvodní část zaměřenou na demografii, která zjišťovala pohlaví a věk respondenta. Navíc byl zjišťován také typ školy (původně bylo zamýšleno realizovat pilotní testování i na gymnáziích). Data získaná v konceptových testech byla anonymní.

Při sestavování jednotlivých testů byly voleny různé typy úloh. Objevují se úlohy uzavřené i otevřené, které cílí na snahu zachytit co nejvěrněji představu žáků (jejich přirozené koncepty i koncepty mylné). Zjištění získaná z konceptových testů podávají vstupní informaci, na které oblasti je vhodné se zaměřit nejen v dalším zkoumání ale i při vyučování samotném.

Výzkumný nástroj byl rozčleněn do 4 konceptových testů, opíral se přitom o obsahovou analýzu tématu (viz výše). Úvodní konceptový test zjišťoval představy žáků o základních genetických pojmech (gen, alela, chromozom a bílkovina). Obsahoval celkem 6 otázek, přičemž otázky 1–3 byly víceúrovňové, nabádaly tak žáka k podrobnějšímu vyjádření, zároveň ověřovaly pochopení žáka ověřovaných konceptů. První otázka doplněná obrázkem – barvou květů, vychází z klasického schématu uváděného u popisu Mendelových zákonů. Navazující otázky 2 a 3 cílí na ověření žákovských představ o základních genetických pojmech, zejména

vztahu k DNA a bílkovinám. Otázka č. 4 byla převzata a upravena dle (Lewis a Wood-Robinson, 2000, s. 192), ten poukazuje na žákovské představy v oblasti hierarchie buněčných struktur, které jsou často problémové. Otázka č. 5 zjišťuje orientaci žáků v rámci buňky – v popsaném schématu rostlinné buňky lokalizovali genetickou informaci. Šestá úloha otevřenou formou ověřovala žákovské představy o dědičnosti pohlaví, na základě představeného karyotypu rozhodovali o pohlaví dítěte. Konceptový test č. 2 zjišťoval informace o molekulární podstatě dědičnosti. Konkrétně pracoval s analogií vlákna DNA, analogie vycházela z námětu podle (Rotbain, Marbach-Ad a Stavy, 2006). Otevřené otázky s obrázky znázorňovaly příklady různých změn ve vláknu DNA. V rozšiřujících otázkách měli žáci podrobněji popsat své představy a následně pojmenovat ilustrovaný jev (mutace). Cílem třetího konceptového testu bylo zmapovat povědomí o zákonitostech dědičnosti v schematické podobě rodokmenu. Na základě vzorového rodokmenu měli žáci vybrat všechna správná tvrzení o rodokmenu. Otázka je uzavřená, ověřuje tedy znalosti jednotlivých schematických značek užitých v rodokmenu a jejich aplikaci v rámci čtení rodokmenu. Koncept č. 4 kombinuje otevřené a uzavřené otázky, první otázka zkoumá povědomí o genetických metodách, dnes již známých a často i frekventovaně užívaných v médiích, ale i učebnicích přírodopisu. Rozšiřující otevřená otázka zkoumá představy žáků o genovém inženýrství a GMO. V následující otázce žák pracuje se schématem klonování ovce Dolly. Schéma obsahuje i komentář s popisem, úkolem v otevřené otázce je identifikovat metodu genového inženýrství, určit podle schématu klon ovce Dolly a následně upřesnit svůj výběr v odpovědi na otevřenou otázku. Třetí otázka, zjišťuje představy o roli genetiky ve forenzním procesu. Toto zprostředkování genetiky bývá častým námětem detektivních filmů či seriálů a v neposlední řadě i problémových úloh, které mohou vyučující s žáky v hodinách řešit (viz kapitola 3.3.2.5). Poslední úloha je opět víceúrovňová, žák pracuje se schématem produkce inzulinu pomocí metod genového inženýrství. Schéma bylo převzato z učebnice přírodopisu pro druhý stupeň ZŠ z nakladatelství Fraus (Vaněčková et al., 2006, s. 114). Žáci s využitím schematického nákresu identifikují buňky, které jsou využívány k produkci inzulinu a pojmenují i biologickou strukturu zodpovědnou za tvorbu lidského inzulinu.

Pro účely statistického zhodnocení dat byly využity základní popisné statistiky, konkrétně relativní a absolutní četnosti (podobně postupovala i Bazalová, 2020). Vzhledem k pilotnímu charakteru výzkumu nebyl získán dostatečný počet odpovědí v jednotlivých kategoriích testů, a proto by podrobnější statistické šetření s využitím statistických testů nepřineslo relevantní a přesná data.

5 VÝSLEDKY

5.1 Výuka genetiky pohledem učitelů přírodopisu a biologie

Následující kapitola předkládá výsledky analýzy odpovědí respondentů v dotazníkovém šetření. Tabulka č. 5 souhrnně uvádí rozdělení respondentů dle typu škol. Respondenty bylo celkem 54 vyučujících přírodopisu a biologie na základních školách a odpovídajících ročních víceletých gymnáziích. Nejvíce odpovědi poskytli vyučující druhého stupně základních škol, celkem 79 %. Vyučujících z osmiletých gymnáziích odpovídali v 18,52 %; jeden respondent představoval zástupce šestiletého gymnázia.

Tab. 5: Respondenti výzkumného šetření dle typu školy (n=54)

typ školy	absolutní četnost	relativní četnost [%]
základní školy	43	79,63
gymnázia osmiletá	10	18,52
gymnázia šestiletá	1	1,85

Tabulka č. 6 shrnuje jednotlivé ročníky ZŠ a gymnáziích podle četnosti zařazení výuky genetiky. Nejčastěji, v 72,22 % uvádí respondenti, že je genetika vyučována v osmém ročníku ZŠ a odpovídajícím ročníku víceletých gymnáziích, v devátém ročníku pak 27,78 %. Žádné další ročníky nebyly v dotaznících zmíněny.

Tab. 6: Zařazení učiva genetiky v jednotlivých ročnících druhého stupně základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnáziích

ročník	absolutní četnost	relativní četnost [%]
8.	39	72,22
9.	15	27,78

Tabulka č. 7 uvádí přehled průměrného počtu hodin, které jsou věnovány tematickému okruhu genetiky během školního roku. Zde se objevila poměrně široká škála odpovědí, z nich 24,07 % respondentů uvádělo rozmezí 1–2 vyučovací hodiny. Shodný počet 24,07 % respondentů uvedlo 4 vyučovací hodiny. Mezi časté odpovědi také patřily 3 vyučovací hodiny odpovídající 16,67 % respondentů. Shodně v 1,85 % jsou uvedeny nejvyšší počty 12 a 15 vyučovacích hodin (vždy jen 1 vyučující).

Tab. 7: Průměrný počet vyučovacích hodin, které jsou v průběhu školního roku věnovány tematickému okruhu genetika

počet vyučovacích hodin	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2*	13	24,07
4	13	24,07
3*	9	16,67
5*	7	12,97
6	4	7,40
1	3	5,55
9	2	3,70
8	1	1,85
12	1	1,85
15	1	1,85

(Vysvětlivky: V kategorii počet hodin byly odpovědi obsahující rozmezí hodin např. 2–3 hodiny kódovány jako nejvyšší počet vyučovacích hodin v daném rozmezí, takto hodnocené počty hodin jsou označeny hvězdičkou, dle výše uvedeného příkladu 3).*

Informaci o zařazení genetiky v rámci tematického plánu škol poskytuje tabulka č. 8. Ve více jak polovině odpovědí respondenti zařazují genetiku v závěru školního roku (přelom květen–červen včetně obou měsíců samostatně). Celkem 51,85 % respondentů uvádí červen, který následuje květen a červen s 14,81 %. Na úvod školního roku (září–říjen) genetiku vyučuje 5,55 % respondentů.

Tab. 8: Přehled měsíců, v nichž je tematický okruh genetiky zařazen v tematickém plánu respondentů

měsíc	absolutní četnost	relativní četnost [%]
červen	28	51,85
květen–červen	8	14,81
květen	7	12,96
září–říjen	3	5,55
říjen	3	5,55
září	2	3,70
listopad–prosinec	1	1,85
leden	1	1,85
březen–duben	1	1,85

Přehled učebnic, které poskytují oporu při výuce genetiky, lze vidět v tabulce č. 9. Učebnice nakladatelství Fraus je oblíbená a objevuje se v 46,29 %, následuje učebnice z nakladatelství Nová škola v 16,66 %. Učebnici ve výuce genetiky nepoužívá 9,26 % respondentů. Jeden respondent používá k výuce genetiky vysokoškolsky laděnou učebnici od Snustada a Simmonse, kterou pravděpodobně používá jako zdroj informací pro svoji výuku.

Tab. 9: Přehled jednotlivých učebnic využívaných při výuce tematického okruhu genetika na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

Kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
Přírodopis 8 (nakladatelství Fraus)	25	46,29
Přírodopis pro 8. ročník – Biologie člověka (nakladatelství Nová škola)	9	16,66
Hravý přírodopis 8 (nakladatelství Taktik)	6	11,11
nepoužívám učebnici	5	9,26
Přírodopis 8 Biologie člověka (nakladatelství SPN)	4	7,40
Ekologický přírodopis 8 (nakladatelství Fortuna)	2	3,70
více učebnic (nespecifikováno)	1	1,85
Genetika – Snustad, Simmons (překlad Munipress)	1	1,85
Přírodopis 8 (nakladatelství Prodos, nová řada učebnic z roku 2016)	1	1,85

Tabulka č. 10 shrnuje oporu výuky genetiky v podobě doplňkových výukových materiálů. Více jak polovina (53,70 %) respondentů využívá vlastní materiály, které si sami vytvořili. Naopak téměř čtvrtina (37,03 %) ve výuce používá pracovní sešit, který doplňuje používanou učebnici. Jeden vyučující uvádí vlastní schéma, které postupně při výkladu kreslí na tabuli.

Tab. 10: Přehled využívaných doplňkových výukových materiálů při výuce tematického okruhu genetika na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

Kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
samostatně vytváří materiály (pracovní listy, videa, ppt)	29	53,70
pracovní sešit k učebnici	20	37,03
pracovní listy dostupné na internetových výukových portálech (např. Dumy.cz)	2	3,70
nepoužívám žádné doplňkové výukové materiály	1	1,85
výukové prezentace dostupné na internetových výukových portálech (např. Dumy.cz)	1	1,85
kreslím schéma postupně na tabuli během výkladu	1	1,85

V případě, že vyučující nepoužívají doplňkové materiály, mohli specifikovat své důvody v doplňující odpovědi, přehledně viz Tab. 11. Jeden (1,85 %) z vyučujících uváděl že, „využívá vlastní materiály, upravené na míru konkrétní třídě“, přestože přechází otázka dotazníku obsahovala kategorii „samostatně vytvořené materiály“. Další vyučující odpověděl, že doplňkové materiály „nepotřebuje“.

Tab. 11: Přehled uvedených důvodů pro nevyužívání doplňkových výukových materiálů při výuce tematického okruhu genetika na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

Příklady odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
využívám prezentace a videa, je to přehlednější, srozumitelnější a pro žáky pochopitelnější.	1	1,85
vlastní materiály upravené na míru konkrétní třídě/žákům	1	1,85
prezentace	1	1,85
nepotřebuji	1	1,85
našla jsem na trhu vhodnou učebnici pro nižší gymnázium	1	1,85

Následující tabulka č. 12 ukazuje přehled jednotlivých témat genetiky (blíže kap. 4.1 – Metodika; dále Kotradyová, 2020), které se objevují ve výuce. Nejvíce byla zastoupena kategorie *Základní genetické pojmy s četností 92,59 %*, další vysoce zastoupené kategorie byly *Genetická onemocnění člověka* u 48 respondentů (88,89 %) a 41 (75,93 %) respondentů uvedlo, že vyučuje *Příklady dědičnosti konkrétních znaků*. Jeden (1,85 %) respondent ve výuce pracuje s rodokmenem. Žádný respondentů neuvedl kategorie *Genetické aspekty pohlavního a nepohlavního rozmnožování*, *Řešení genetických příkladů* a *Laboratorní práce z genetiky a molekulární biologie*.

Tab. 12: Přehled zastoupení jednotlivých témat genetiky ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

hodnocené kategorie	absolutní četnost	relativní četnost [%]
Základní genetické pojmy	50	92,59
Genetická onemocnění člověka	48	88,89
Příklady dědičnosti konkrétních znaků	41	75,93
Historie genetiky (významné objevy v genetice)	29	53,70
Možnosti využití genetiky a molekulární biologie	28	51,85
Molekulární podstata dědičnosti	22	40,74
Zákonitosti dědičnosti kvalitativních znaků	18	33,33
Cytologické základy dědičnosti a rozmnožování buněk	13	24,07
Práce s rodokmenem	1	1,85
Genetické aspekty pohlavního a nepohlavního rozmnožování	0	0
Řešení genetických příkladů	0	0
Laboratorní práce z genetiky a molekulární biologie	0	0

Souhrnná tabulka č. 13 se věnuje zastoupení jednotlivých genetických pojmů, které vyučující vysvětlují v rámci výuky genetiky. Vysokou četnost mají pojmy: *dědičnost* (98,15 %), *DNA* (96,29 %), *gen* (92,59 %), *pohlavní chromozom X* a *pohlavní chromozom Y* shodně (90,24 %), následuje *chromozom* (87,03 %). Ve více jak polovině odpovědí najdeme pojmy *alela* (72,22 %), *bílkovina* (70,37 %). Pojmy, které spolu souvisí, tedy *dominantní* a *recesivní alela*, byly zmíněny 35 (64,81 %) a 28 (51,85 %) respondenty. Velmi málo uvádí vyučující pojem *nukleotid* (3,70 %), jednotlivé dusíkaté báze se objevují jen nepatrně častěji *cytosin*, *guanin* (shodně 12,96 %), *thymín* a *adenin* (shodně 11,11 %). Malé zastoupení má i pojem *meióza* (12,96 %). Ani jeden z respondentů neuvedl pojem *uniformní generace*.

Tab. 13: Přehled zastoupení jednotlivých genetických pojmů, které jsou vysvětlovány ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

pojem	absolutní četnost	relativní četnost [%]
dědičnost	53	98,15
DNA	52	96,29
gen (vloha)	50	92,59
pohlavní chromozom X	49	90,74
pohlavní chromozom Y	49	90,74
chromozom	47	87,03
vajíčko	45	83,33
hemofilie	43	79,62
spermie	43	79,62
Downův syndrom	42	77,77
pohlavní rozmnožování	40	74,07
alela	39	72,22
bílkoviny	38	70,37
křížení	36	66,66
Mendelovy zákony	36	66,66
znak	36	66,66
dominantní alela	35	64,81
klonování	35	64,81
mutace	35	64,81
nepohlavní rozmnožování	35	64,81
šlechtění	35	64,81
fenotyp	33	61,11
pohlavní chromozom	33	61,11
genotyp	32	59,25
genové inženýrství	32	59,25
GMO (genetický modifikované organismy)	31	57,40
zygota	31	57,40
gameta (pohlavní buňka)	29	53,70
klon	29	53,70
recesivní alela	28	51,85
aminokyselina	26	48,14
nukleová kyselina	26	48,14
heterozygot	25	46,29
homozygot	25	46,29
genetický kód	24	44,44
proměnlivost	22	40,74

Pokračování Tab. 13: Přehled zastoupení jednotlivých genetických pojmů, které jsou vysvětlovány ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

pojem	absolutní četnost	relativní četnost [%]
tělní buňka	21	38,88
genom	19	35,18
rodokmen	18	33,33
kombinační čtverec (Punnettův čtverec)	17	31,48
úplná dominance	16	29,62
haploidní buňka	14	25,92
neúplná dominance	14	25,92
diploidní buňka	13	24,07
mitóza	12	22,22
cystická fibróza	11	20,37
fenylketonurie	11	20,37
karyotyp	10	18,51
recesivní homozygot	10	18,51
dusíkatá báze	8	14,81
cytosin	7	12,96
guanin	7	12,96
meióza	7	12,96
adenin	6	11,11
thymin	6	11,11
srpkovitá anémie	5	9,25
kodon	4	7,40
nukleotid	2	3,70
uniformní generace	0	0

V tabulkách č. 14 a č. 15 jsou uvedeny odpovědi respondentů týkající se zařazení genetických příkladů do výuky genetiky. Většina respondentů (79,62 %) uvádí, že příklady v hodinách řeší. Při specifikaci příkladů (viz Tab. 15) se největší část věnuje příkladům dědičnosti barvy očí, celkem 22 respondentů (40,74 %), následují příklady s tematikou krevních skupin. Devět (16,66 %) respondentů možnost upřesnění své odpovědi nevyužilo. Dva (3,70 %) respondenti řeší příklady spojené s dědičností pohlaví. Minimálně se mezi odpověďmi se objevovaly barva srsti, rohatost a bezrohost a struktura DNA.

Tab. 14: Přehled vyučujících, kteří v rámci výuky genetiky zařazují řešení genetických příkladů ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
řeší příklady	43	79,62
neřeší příklady	11	20,37

Tab. 15: Přehled konkrétních genetických příkladů, které učitelé využívají ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
barva očí	22	40,74
krevní skupiny	18	33,33
nezodpovězeno	9	16,66
Mendelovy pokusy (barva květy, tvar hrachu...)	8	14,81
rolování jazyka	8	14,81
dědičná onemocnění (hemofilie, srpkovitá anemie...)	7	12,96
kvantitativní znaky (výška, tvar postavy)	2	3,70
dědičnost pohlaví	2	3,70
barva srsti	1	1,85
rohatost, bezrohost	1	1,85
struktura DNA	1	1,85

Podrobněji popisují respondenti práci s rodokmeny v tabulce č. 16. Nejčastěji uvedenou odpovědí 7,40 % byla ukázka rodokmenu s onemocněním srážlivosti krve – hemofilií, tu demonstrují na rodokmenu ženy přenašečky (nejznámější královna Viktorie). Dále tři respondenti (5,55 %) vysvětlují symboly, které se používají při popisu rodokmenů. Jeden (1,85 %) respondent pracuje s Punnettovými čtverci a demonstruje šlechtitelské novinky. Zajímavou odpovědí bylo zakomponování rodokmenů do výtvarné výchovy – respondent však neuvedl konkrétní příklad aktivity.

Tab. 16: Přehled odpovědí popisující způsob práce s rodokmeny ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

příklady odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
hemofilie – ukázka rodokmenu ženy přenašečky (např. královna Viktorie)	4	7,40
vysvětlení používaných značek a symbolů	3	5,55
modelové u známých osobností, tvorba vlastního rodokmenu pomocí Punnettových čtverců, demonstrace šlechtitelských novinek...	1	1,85
velmi stručně seznámit, o co jde	1	1,85
v rámci výtvarné výchovy	1	1,85

Možné důvody, které vyučující popisují nevyužívání rodokmenů ve výuce genetiky, shrnuje tabulka č. 17. Nejčastěji je uváděn nedostatek času (46,29 %), zároveň však 42,59 % respondentů otázku nezodpovědělo. Tři (5,55 %) respondenti usuzují, že práce s rodokmeny patří do jiného předmětu. Jedna odpověď (1,85 %) zmiňuje možný etický problém při zařazení rodokmenů do výuky.

Tab. 17: Přehled důvodů, proč vyučující nezařazují práci s rodokmeny ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
nedostatek času	25	46,29
nezodpovězeno	23	42,59
patří do jiného předmětu	3	5,55
sama to neumím	1	1,85
není v ŠVP	1	1,85
etický problém (problém s otcovstvím v rodině)	1	1,85

Laboratorní cvičení z genetiky (viz Tab. 18) do výuky zařazuje menší část respondentů (16,67 %). Převážná většina (83,33 %) vyučujících tedy laboratorní cvičení z genetiky ve svých tematických plánech nemá. Podrobněji popisuje laboratorní cvičení tabulka č. 19, v ní jsou zastoupeny nejčastější typy laboratorních úloh spojených s genetikou. Zde nejvíce zastoupeným cvičením je *pozorování mitózy v kořenové špičce cibule* (7,41 %). Dále *izolace DNA z ovoce* (3,70 %) a *z buněk bukální sliznice* (1,85 %). Jedno cvičení zmiňuje *práci s dědičnými znaky rodičů* (1,85 %). Častým důvodem pro nezařazení laboratorních cvičení genetiky (viz Tab. 20) je u respondentů je nedostatek času, konkrétně ve 24 případech (44,44 %). Nicméně podobný počet respondentů n=21 (38,88 %) neuvedl odpověď. Ve třech (5,55 %) odpovědích jsou zmíněny nedostatečné podmínky nebo vybavení pro laboratorní práce. Dva respondenti preferují jiné laboratorní aktivity. Jedna z odpovědí zmiňuje nedostatečnou přípravu v rámci studia oboru.

Tab. 18: Zařazení laboratorních prací/cvičení z genetiky ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
nezařazují laboratorní cvičení	45	83,33
zařazují laboratorní cvičení	9	16,67

Tab. 19: Přehled odpovědí popisující typy laboratorních cvičení z genetiky ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
mitóza kořenové špičky cibule	4	7,41
izolace DNA z ovoce (jahody, banán kiwi)	2	3,70
izolace DNA z buněk bukální sliznice	1	1,85
dědičné znaky rodičů	1	1,85

Tab. 20: Přehled důvodů, proč vyučující nezařazují laboratorní práce z genetiky ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
časová tíseň	24	44,44
bez odpovědi	21	38,88
nevhodné laboratorní podmínky		
/nedostatečné vybavení	3	5,55
náročné učivo/velké množství učiva	2	3,70
preferenze jiných laboratorních aktivit	2	3,70
nedostatek zkušeností během studia		
oboru	1	1,85
nelze hodnotit	1	1,85

Školy, nabízející volitelný předmět, který obsahuje genetická témata, uvádí pět (9,26 %) respondentů. Převaha škol, v nichž respondenti (90,74 %) pracují, volitelný předmět s obsahem genetických témat nemá - viz Tab. 21. U volitelných předmětů byla zjišťována konkrétní témata, která jsou vyučována, blíže viz Tab. 22. Dva z pěti respondentů uvedli, že předmět nevyučují, proto také neuvedli konkrétní genetická témata. Zbývající tři odpovědi uvádí témata z molekulární biologie (1,85 %), zjišťování DNA ze slin (1,85 %) a obecnou odpověď (1,85 %). Důvody pro nezařazení genetiky do volitelného předmětu shrnuje tabulka č. 23. Většina zastoupených odpovědí patří do kategorie „nemáme volitelný předmět“ (48,16 %) nebo je ponechána bez odpovědi (40,74 %). Podle tří (5,55 %) respondentů nelze hodnotit proč není genetiky zařazena v rámci volitelného předmětu školy. Stejný počet respondentů (5,55 %) se domnívá, že důvodem je náročnost tématu genetiky.

Tab. 21: Zařazení tématu genetiky ve výuce volitelného předmětu z přírodopisu/biologie na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
ne	49	90,74
ano	5	9,26

Tab. 22: Zařazení genetických témat ve výuce volitelného předmětu z přírodopisu/biologie na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
předmět nevyučuji	2	3,70
molekulární biologie	1	1,85
zjištění DNA ze slin	1	1,85
prohloubení genetických témat	1	1,85

Tab. 23: Přehled důvodů, proč vyučující nezařazují téma genetiky do plánu volitelného předmětu ve výuce na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií

kategorie odpovědí vyučujících	absolutní četnost	relativní četnost [%]
nemáme volitelný předmět	26	48,16
bez odpovědi	22	40,74
nelze hodnotit	3	5,55
náročné téma	3	5,55

V tabulkách 24–26 jsou shrnuty odpovědi týkající se demografických charakteristik jednotlivých respondentů. Nejčastější kombinace aprobací byla Biologie–Tělesná výchova (18,51 %), následovaná Biologie–Chemie (16,66 %), viz Tab. 24. Četnost kombinací Přírodopisu s humanitním obory (byly uváděny: Český jazyk, Německý jazyk nebo Hudební výchova) byla 11,11 %. Dobu působení respondentů ve školství charakterizuje tabulka č. 25. Zde je nejvíce zastoupené rozmezí 11–20 let v 19 případech (35,18 %). Praxe 11 (20,37 %) respondentů odpovídá 6–10 letům. Praxi delší než 30 let uvedlo 6 (11,11 %) respondentů. Věkové rozložení respondentů poskytuje tabulka č. 26. Je patrné, že převažují respondenti v mladším středním věku (35,18 %) a středním věku (37,03 %). Velmi podobné bylo zastoupení nejmladší věkové skupiny 20–30 let (12,96 %) a jedné z nejstarších 51–60 let (11,11 %).

Tab. 24: Přehled kombinací aprobací respondentů (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

aprobace respondentů	absolutní četnost	relativní četnost [%]
Biologie–Tělesná výchova	10	18,51
Biologie–Chemie	9	16,66
Biologie–Zeměpis (Geografie)	7	12,96
kombinace s humanitními obory	6	11,11
Biologie–Matematika	5	9,25
Biologie–Informatika	3	5,55
Přírodopis	3	5,55
bez odpovědi	3	5,55
Biologie–Výchova ke zdraví	2	3,70
Biologie–Geologie	2	3,70
nebiologická kombinace	2	3,70
Přírodopis–Enviromentální výchova	1	1,85
studium – nespecifikována další aprobace	1	1,85

Tab. 25: Přehled délky pedagogické praxe respondentů

délka praxe respondentů	absolutní četnost	relativní četnost [%]
11 až 20	19	35,18
6 až 10	11	20,37
0 až 5	9	16,66
21 až 30	9	16,66
více než 30	6	11,11

Tab. 26: Přehled věku respondentů

věk respondentů	absolutní četnost	relativní četnost [%]
20-30 let	7	12,96
31-40 let	19	35,18
41-50 let	20	37,03
51-60 let	6	11,11
61 a více let	2	3,70

5.2 Žákovské představy ve vybraných oblastech genetiky

Celkem bylo rozdáno a odevzdáno 172 konceptových testů (každý respondent vyplnil všechny 4 konceptové testy). návratnost tedy činila 100 %. Na šetření se podílelo 43 respondentů z toho 20 dívek a 23 chlapců. Obě třídy byly vyučovány stejným vyučujícím, nemělo tedy docházet k velkým výkyvům v rozsahu probraného učiva. Text kapitoly níže poskytuje přehled analýzy odpovědí v tabulkách.

5.2.1 Koncept č. 1 (Základní genetické pojmy: gen, chromozom, DNA, bílkovina)

První úloha je zaměřena na základní zákonitosti dědičnosti, konkrétně Mendelovo křížení hrachu setého. Podobná schémata zachycují křížení hrachu jsou součástí většiny učebnic (viz analýza učebnic Kotradyová, 2020). Alely podmiňují barvu květů, alela podmiňující fialovou barvu květu je dominantní a alela podmiňující bílou barvu květu je recesivní. V prvním případě jsou rodiče dominantní i recesivní homozygoti, a proto při jejich křížení vzniká potomstvo se stejnou barvou květů. Následným křížením těchto potomků dochází k vzniku jednoho potomka s bílými květy. Přítomnost dominantní alely zmínilo 20,93 % žáků (viz Tab. 27), v odůvodněních se ovšem ani v jednom případě neobjevil termín „recesivní“, jeden žák napsal pojem „*submisivní*“. Celkem 16,28 % žáků si spojuje přenos genu s jeho silou nebo počtem genů 6,97 %. Jeden žák (2,32 %) uvedl, že barva květu souvisela s mutací chromozomu. Jedna odpověď (2,32 %) uváděla, že barvu květu podmínilo převzetí genu od jednoho rodiče.

Tab. 27: Ukázky jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující představy o dědičnosti barvy květu hrachu; souhrn dílčích kategorií odpovědí

kategorie odpovědí	příklady žakovských odpovědí	relativní četnost [%]
síla genu	fialový gen byl silnější, velké A bílý gen byl slabší fialový gen je aktivní	16,28
aktivita genu	mají geny z obou rodičů, ale fialový gen byl zapnutý, bílý byl vypnutý, ale stále ho mají	9,30
síla alely	fialová alela byla silnější	2,32
počet genů	potomci dostali více genů od fialového květu protože mají více genu jedné květiny hrachu	6,97

Pokračování Tab. 27: Ukázka z jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující představy o dědičnosti barvy květu hrachu; souhrn dílčích kategorií odpovědí

kategorie odpovědí	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
dominance genu	protože ten fialový gen je dominantní všichni ti potomci ho mají zaplý, nikdo nemá vyplý, jinak by to znamenalo, že bude bílý fialový květ má dominantní gen a bílý květ je submisivní	20,93
písmenný zápis křížení či genotypů	vypsání alely, rodiče: AA+aa =4xAa, potomci: AaxAa= AA, Aa, Aa, aa	2,32
mutace	mutace chromozomu	2,32
gen od jednoho z rodičů	získali gen od rodiče s fialovou barvou květu	2,32
geny od rodičů – nespecifikováno	mohly to být geny od jejich rodičů	2,32

Do jaké míry se žáci ve výuce setkali s vybranými genetickými pojmy popisuje tabulka č. 28. Téměř všichni žáci uvádí, že někdy během výuky se setkali s pojmy *buňka* (100 %), *gen* (100 %), *DNA* (97,67 %), *bílkovina* (93,02 %). Ze všech pojmů žáci nejméně uváděli *alelu* (62,79 %). Nižší frekvence tohoto pojmu je patrná v otázce výše, kde pojem alela při vysvětlení použil pouze jeden žák (viz Tab. 27).

Tab. 28a: Přehled povědomí žáků o jednotlivých buněčných strukturách (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

pojem	absolutní četnosti		relativní četnosti [%]	
	ano	ne	ano	ne
buňka	43	0	100	0
gen	43	0	100	0
DNA	42	1	97,67	2,32
bílkovina	40	3	93,02	6,97
buněčné jádro	38	5	88,37	11,63
chromozom	38	5	88,37	11,63
alela	27	16	62,79	37,21

Navazující otázka následně zkoumala žákovské představy o genu. Žáci v otázce, která měla dvě části, zodpověděli, co je gen. Téměř 70 % žáků však vynechalo druhou otázku doptávající se na umístění genu v buňce (viz Tab. 28b). Většinou žáci uváděli částečně správné odpovědi, které souvisely s funkčním nebo strukturním popisem genu (viz Kap. 3.4). Jeden žák (2,32 %) uvedl kompletní správnou odpověď „úsek genetické informace (DNA), který popisuje konkrétní vlastnost jedince“. S nejvyšší frekvencí byl gen spojován s *informací* (20,93 %). Dva žáci (4,65 %) uvedli v odpovědi jen *DNA*, což působí dojemem, že vnímají tyto pojmy ekvivalentně. Gen vnímá jako *buňku* přibližně 10 % žáků. Přibližně 9 % žáků spojuje gen jako *struktury získané od rodičů*, bližší specifikace odpovědí žáků je uvedena v Tab. 28c.

Tab. 28b: Přehled povědomí žáků o genu a jeho lokalizaci v buňce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	gen		umístění genu	
		absolutní četnost	relativní četnost [%]	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1*	částečně správně	22	51,16	0	0
2	chybně	8	18,60	2	4,65
4	nelze hodnotit	6	13,95	2	4,65
0	bez odpovědi	4	9,30	32	74,41
3	nevím	2	4,65	1	2,32
1	kompletně správně	1	2,32	6	13,95

Vysvětlivky: kategorie 1 byla použita pouze pro vyhodnocení části otázky zjišťující povědomí o genu.*

Tab. 28c. Ukázka dílčích odpovědí žáků o genu a jeho lokalizaci v buňce v buňce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
gen je informace	<ul style="list-style-type: none"> - informace, která se předává po generacích, nachází se všude, ale ne v červených krvinkách - něco co přenáší specifickou informaci o nás, v krvi - úsek genetické informace (DNA), který popisuje konkrétní vlastnost jedince 	20,93
gen je buňka	<ul style="list-style-type: none"> - informace v buňkách - kus informace v DNA - určitá informace v buňce DNA - informace nebo vlastnost - gen – miniaturní buňka, kterou lze vidět pouze pod mikroskopem, jsou v něm uchovány a předávány všechny genetické informace, genů je několik - gen je buňka, která předává biologickou informaci - gen je buňka, co má každý - buňka v těle, co přenáší informace DNA - informační buňka 	11,62
DNA	DNA	4,65
základní jednotka dědičnosti	základní jednotka genetické informace, nachází se v jádru	2,32
funkční definice	něco co mám v buňkách, genetická informace určuje, co určitá buňka dokáže	2,32
struktury získané od rodičů	<ul style="list-style-type: none"> - něco, co podědíme z matky a otce - něco, co podědíme po rodičích - geny můžeme mít po rodičích, anebo je to něco, co sdílíme s rodiči 	9,30

Molekula zodpovědná u buněčných organismů za přenos genetické informace je DNA. U žáků se objevila správná odpověď v 37,20 % případech. Velmi podobné množství žáků odpovídalo na otázku „nevím“ (30,23 %), viz Tab. 29a. Další z žáků (2,32 %) uváděl, že nositelkou genetické informace je gen. Mezi odpověďmi hodnocenými jako nesprávné se objevovaly pojmy jako tyto: *rodiče, buňka, alela* (Tab. 29b).

Tab. 29a: Přehled četností odpovědí na otázku zjišťující představy žáků ohledně molekuly, která je nositelkou genetické informace (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	16	37,20
3	nevím	13	30,23
0	bez odpovědi	7	16,27
2	chybně	6	13,95
4	nelze hodnotit	1	2,32

Tab. 29b: Žákovské odpovědi na otázku zjišťující znalost molekuly, která nese DNA

kód odpovědi	příklady žákovských odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1a	DNA, molekula DNA	16	37,20
2a	rodič, muž žena	2	4,65
2b	alela	2	4,65
2b	gen	1	2,32
2c	buňka	1	2,32

Žákovské odpovědi ve vztahu k bílkovinám přibližuje tabulka 30a resp. 30b. Jeden žák (2,32 %) poskytl částečně správnou odpověď, uvedl dva ze tří požadovaných příkladů bílkovin a jejich funkce „hemoglobin-transport, hormony-regulace“, viz Tab. 30b. Ve 40,18 % odpovědích se objevovaly nesprávné příklady, protože žáci popisovali mimo jiné zdroje bílkovin v potravě, v přibližně 23 % odpovědí. Velmi podobný počet žáků, 41,86 %, nevěděl, jak zodpovědět otázku. Pět žáků (11,62 %) otázku vynechalo. Devět žáků (20,93 %) viz Tab. 30b prokázalo velmi obecnou představu o významu bílkovin v těle.

Tab. 30a: Přehled povědomí žáků zjišťující povědomí o konkrétních příkladech bílkovin a jejich funkci

kód odpovědi	kategorie odpovědi	příklad bílkoviny		funkce bílkoviny	
		absolutní četnost	relativní četnost [%]	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2	chybně	19	44,18	19	44,18
3	nevím	18	41,86	18	41,86
0	bez odpovědi	5	11,62	5	11,62
1*	částečně správně	1	2,32	1	2,32

Tab. 30b: Ukázka z jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující povědomí o konkrétních příkladech bílkovin a jejich funkci

kategorie	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
zdroj bílkovin v potravě	- maso - tvaroh, vajíčka, maso - banán - zdroj maso, ovesné sušenky - ve vajíčku, v mléku, v mase	23,25
funkce/ význam bílkovin v těle všeobecně	- bílkoviny v jídle - výživa svalů, mozku - vyživuje kosti, svaly, růst - k růstu svalové hmoty, podpora růstu - pomáhá růstu svalů - živí nás-růst svalové hmoty, tkání apod. - svalová hmota, zpevnění těla	20,93
příklad bílkoviny a její funkce	hemoglobin-transport, hormony-regulace	2,32

V rámci odpovědi na otázku, kde v buňce vznikají bílkoviny pouze jeden žák odpověděl správně, proces proteosyntézy probíhá v cytoplazmě buňky (přesněji v ribozomu), což uvedl jeden žák (2,32 %). Většina žáků nemá představu, kde se v lidském těle tvoří bílkoviny, 18,60 % žáků neodpovědělo a 44,18 % odpovídalo „nevím“, blíže viz Tab. 30c. Nesprávné představy se objevily u 6 žáků, nejčastěji se mezi odpověďmi objevovalo „v jádře“, blíže Tab. 30d.

Tab. 30c: Přehled četností odpovědí zaměřující se na popis místa vzniku bílkovin (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
3	nevím	19	44,18
4	nespecifikováno	9	20,93
0	bez odpovědi	8	18,60
2	chybně	6	13,95
1	správně	1	2,32

Tab. 30d: Ukázka z jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující povědomí o místě vzniku bílkovin

kód odpovědi	kategorie odpovědi	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
2b	buněčné jádro	v jádře - v žaludku a odtud se rozvíjí do celého těla	13,95
4b	orgán v lidském těle	- střeva -ve svalech - pohlavní orgány - v těle	11,62
4a	nespecifikováno, nelze zařadit	- na povrchu - střeva -ve svalech - pohlavní orgány	4,65
4c	orgánová struktura	- v kostní dřeni - ve svalovém vlákně	4,65
1a	ribozom	ribozom	2,32

Velmi obtížný je pro žáky koncept hierarchie jednotlivých struktur v organismu (blíže viz podkapitola 3.1.2). Neúplné představy o souvislosti mezi jednotlivými strukturami lze pozorovat i mezi žákovskými odpověďmi, kompletně správné seřazení bylo u dvou (4,65 %) žáků, viz Tab. 31a. Většina odpovědí žáků (90,69 %) neobsahovala správné řazení, blíže viz Tab. 31b. Přibližně 76 % žáků dokázalo určit organismus jako největší strukturu ze všech nabízených, menší strukturou, která následuje po organismu, byla buňka s přibližně 32 %; u těchto pojmů je patrné, že jsou žákům známější, a proto u nich dosáhli celkově vyššího skóre, než u dalších pojmů viz Tab. 31c. Naproti tomu asi 20 % žáků identifikovalo *gen* jako nejmenší strukturu. Velmi podobnou četnost odpovědí lze pozorovat i u *DNA*, která byla jako druhá nejmenší ve 25,58 % případech.

Tab. 31a: Souhrnný přehled četností odpovědí zaměřující se na představy žáků o velikosti jednotlivých struktur organismu (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů, tabulka souhrnně uvádí odpovědi hierarchie všech uvedených struktur od nejmenší po největší)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2	chybně	39	90,69
0	bez odpovědi	2	4,65
1	správně	2	4,65
3	nevím	0	0

Tab. 31b: Ukázka z jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující povědomí o hierarchii uvedených struktur organismu (hierarchie je uvedena dle zadání úkolu – seřaď od nejmenší po největší)

kód odpovědi	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
1a	gen→DNA→chromozom→jádro→buňka→organismus	6,97
2f	DNA→jádro→chromozom→gen→buňka→organismus	4,65
2g	organismus→DNA→gen→buňka→chromozom→jádro	4,65
2a	chromozom→jádro→gen→DNA→buňka→organismus	2,32
2b	jádro→gen→DNA→chromozom→buňka→organismus	2,32
2c	buňka→gen→DNA→chromozom→jádro→organismus	2,32
2d	gen→chromozom→organismus→jádro→buňka→DNA	2,32

Vysvětlivky: Tučně je v tabulce vyznačena správná varianta hierarchie uvedených struktur od nejmenší po největší.

Tab. 31c: Ukázka z četností struktur, které byly označeny jako nejmenší v organismu [hierarchie je uvedena dle zadání úkolu – seřaď od nejmenší (1) po největší (6)]

kód odpovědi	odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
6. nejmenší	organismus	33	76,74
5. nejmenší	buňka	14	32,55
2. nejmenší	DNA	11	25,58
1. nejmenší	gen	9	20,93
3. nejmenší	chromozom	7	16,27
4. nejmenší	jádro	7	16,27

Úloha spojená s nákresem buňky, měla zjistit žákovské představy o lokalizaci genetické informace a chromozomů v buňce. Žákům byla usnadněna práce s obrázkem pomocí doplnění popisků jednotlivých struktur. V Tab. 32a vidíme, že kompletně správnou odpověď neoznačil ani jeden žák, kompletní odpověď v sobě zahrnovala všechny struktury, které žáci označovali samostatně. Celkem 72,09 % žáků zvolilo vždy jednu ze správných odpovědí nebo neúplnou kombinaci správných odpovědí, konkrétně 25,58 % žáků umístilo genetickou informaci do jádra, viz Tab. 32b. Dále do jadérka (30,23 %) žáků. S ribozomem spojuje genetickou informaci jeden (2,32 %) žák. Tři žáci by genetickou informaci hledali také v mitochondrii (6,97 %), což bylo také hodnoceno jako částečně správná odpověď. O něco víc (11,62 %) pak ve vakuole, tato odpověď byla vyhodnocena jako chybná.

Tab. 32a: Přehled četností odpovědí zaměřující se na představy o lokalizaci genu a chromozomu v buňce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů; celkový součet žákovských odpovědí je větší než počet respondentů, protože žáci mohli volit více než jednu variantu odpovědi)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	0	0
1*	částečně správně	31	72,09
0	bez odpovědi	12	27,90
3	nevím	3	6,97
2	chybně	0	0

Tab. 32b: Přehled četností konkrétních struktur, které žáci uváděli jako místo výskytu genetické informace a chromozomů v buňce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
jadérko	13	30,23
jádro	11	25,58
vakuola	5	11,62
ER	3	6,97
cytoplazma	3	6,97
mitochondrie	3	6,97
GA	2	4,65
buněčná stěna	1	2,32
cytoplazmatická membrána	1	2,32
ribozom	1	2,32

Povědomí žáků o zastoupení pohlavních chromozomů (XX/XY) shrnuje Tab. 33a. Uspořádaný karyotyp nabízel poměrně názorné řešení otázky v případě, že žáci znají roli pohlavních chromozomů při určení pohlaví. Necelá polovina 41,86 % správně označila, buď v obrázku nebo popiskem pod obrázkem pohlavní chromozomy XY, tato kombinace podmiňuje vznik mužského pohlaví. Celkem 20,93 % žáků odpovídalo nesprávně, většina nesprávných odpovědí obsahovala tvrzení „XY – holky“. Ve zdůvodnění se objevovaly odpovědi „podle toho, jak jsou velké a zaoblené“; „podle tvaru čáry“.

Tab. 33a: Přehled četností odpovědí na úkol zaměřující se na představy žáků o dědičnosti pohlaví (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	18	41,86
3	nevím	12	27,90
2	chybně	9	20,93
0	bez odpovědi	4	9,30

5.2.2 Koncept č. 2 (molekulární podstata dědičnosti)

Konceptový test č. 2 se soustředil na molekulární podstatu dědičnosti. Všechny otázky spojoval úvodní text, který vysvětlil, jaké analogie zastupují jednotlivé korálky v náramku. Hlavní myšlenkou souboru úloh byly změny v genetické informaci člověka na molekulární úrovni. V jednotlivých náramcích měli žáci změny identifikovat a charakterizovat. Celkově žáci úspěšně identifikovali jednotlivé změny v náramcích, průměrná úspěšnost byla kolem 70 % viz Tab. 34a, b, c. Průměrně jen čtyři žáci ponechali podotázky nevyplněné. Následně se žáci měli zamyslet nad důsledky pro lidský organismus při popsání změn viz Tab. 35a. Přibližně 60 % žáků uvedlo, že změny mají vliv na život kamarádek. Mezi nehodnocenými odpověďmi byla tvrzení „ne, nemůže jsou to jen korálky“. V odpovědích hodnocených jako správné, žáci uváděli své konkrétní představy „změna nukleotidů může změnit vzhled člověka nebo jeho zdraví, změněný nukleotid může přenášet vrozenou nemoc“, blíže viz Tab. 35b. Kolem 20 % žáků popisovalo vliv změn DNA na vzhled člověka, s tím souvisí i povaha. Dále uváděli souvislost s dědičnými onemocněními 6,97 %.

Tab. 34a: Přehled četností řešení úlohy zaměřující se popis molekulární podstaty genu – změna genotypu – inserce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	32	74,41
0	bez odpovědi	4	9,30
3	nevím	3	6,97
2	chybně	2	4,65
4	nelze hodnotit	2	4,65

Tab. 34b: Přehled četností řešení úlohy zaměřující se popis molekulární podstaty genu – změna genotypu – delece (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	32	74,41
0	bez odpovědi	4	9,30
3	nevím	3	6,97
2	chybně	2	4,65
4	nelze hodnotit	2	4,65

Tab. 34c: Přehled četností řešení úlohy zaměřující se popis molekulární podstaty genu – změna genotypu – substituce (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	31	72,09
0	bez odpovědi	4	9,30
3	nevím	4	9,30
2	chybně	3	6,97
4	nelze hodnotit	1	2,32

Tab. 35a: Přehled četností odpovědí zaměřujících se na představy vlivu změn molekulární podstaty genu na organismus (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	26	60,47
3	nevím	13	30,24
0	bez odpovědi	3	6,97
4	nelze hodnotit	1	2,32
2	chybně	0	0

Tab. 35b: Ukázka dílčích kategorií odpovědí zaměřujících se na představy vlivu změn molekulární podstaty genu na organismus (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědí	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
změna vzhledu	každá z holek bude mít podobné základy, ale každá bude mít svou originální vlastnost (např. barva vlasů, očí atd.) různá barva očí, vlasů ano, díky tomu vypadáme jinak, ale nevím, jestli jsou změny malé nebo velké	20,93
změna povahy, vlastností	ano, každá z holek bude vypadat jinak můžou mít jiné vnímání, vzhled a dominantní ruku asi jenom vzhled, řekla bych ano, změna vzhledu postavy ale i mysl ovlivní to, jaké se narodí (povahově)	4,65
vrozené onemocnění, postižení	ano, protože každá má třeba jinou povahu ano, postižení, nebo změna něco jako výživa - moc tlustý, málo-kostlivec, akorát-šťastný změna nukleotidů může změnit vzhled člověka nebo jeho zdraví, změněný nukleotid může přenášet vrozenou nemoc změna DNA může způsobit nemoci	6,97
mutace	ano, jsou zmutované ano, může se tam přidat něco protikladné, a to může mít vliv na život nebo nějaká mutace může vzniknout	4,65
neumí popsat ovlivní – nespecifikováno		4,65 11,62

Poslední položka druhého konceptového testu ověřovala žákovskou znalost pojmu mutace. Představy žáků jsou zachyceny jen okrajově, protože asi 63 % žáků otázku zodpovědělo „nevím“. Necelých 7 % žáků identifikovalo analogie popsané v úloze konceptového testu jako mutace. Kategorie částečně správně zahrnuje odpovědi 13,95 % žáků, konkrétně žáci uvedli „změny v DNA“ nebo ke svému vysvětlení využili analogii ze zadané otázky „změny označuje jiné písmenko“, blíže viz Tab. 36b.

Tab. 36a: Přehled četností odpovědí zjišťujících znalost pojmu *mutace* (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
3	nevím	27	62,79
0	bez odpovědi	6	13,95
1	správně	1	6,97
1*	částečně správně	6	13,95
2	chybně	1	2,32

Tab. 36b: Ukázka z jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující znalost pojmu mutace

kód odpovědi	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
1*a	změny v DNA	4,65
1a	mutace	6,97
1*b	změny nukleotidů	4,65
1*c	změny nastaly v G	2,32
1*d	změny označuje jiné písmenko	2,32
2a	DNA	2,32

5.2.3 Koncept č. 3 (rodokmen – dědičná onemocnění)

Třetí konceptový test zjišťuje žákovské představy o dědičných onemocněních s využitím rodokmenu. Žáci v jediné úloze pracují s imaginárním rodokmenem a vybírají z uzavřených odpovědí. Správných odpovědí byla téměř polovina, tedy 48,83 %. Jako správné odpovědi byly hodnoceny i ty, které neobsahovaly kompletní výčet správných možností, ale uváděly jen jednu, nebo dvě ze tří správných odpovědí. Celkem 34,88 % odpovědí zvolených žáky bylo nesprávných (viz Tab. 37a). Jednotlivé možnosti odpovědí byly shrnuty v Tab. 37b, kde lze vyčíst, které možnosti žáci volili nejčastěji. Možnost „d“, která v odpovědi obsahovala

informaci, že „jeden ze synů v rodině trpí genetickým onemocněním“ zvolilo 37,20 % žáků. Druhou správnou odpovědí s 32,55 %, identifikovanou žáky bylo „c“ obsahující tvrzení „dvě děti nesou alely pro genetické onemocnění“. Kompletní výběr správných odpovědí se vyskytl u pěti žáků, ti z rodokmenu dokázali určit kombinaci možností „c, d, f“ v konkrétním znění „jeden ze synů v rodině trpí genetickým onemocněním“; „dvě děti nesou alely pro genetické onemocnění“; „paní Smetanová je přenašečkou onemocnění, nemá projevy, jeden z jejich synů trpí genetickým onemocněním“.

Tab. 37a: Přehled četností řešení úlohy zaměřující se na práci s rodokmenem (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	21	48,83
2	chybně	15	34,88
0	bez odpovědi	4	9,30
3	nevím	3	6,97

Tab. 37b: Detailní pohled na četnost jednotlivých možností v odpovědi na otázku č. 1 (odpovědi jsou vyhodnoceny dle četnosti jednotlivě tj. odpověď označující 3 možnosti a, b, c byla hodnocena jako a = 1, b = 1, c =1; relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů, celkový součet žákovských odpovědí je větší než počet respondentů, protože žáci mohli volit více než jednu variantu odpovědi)

kód odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1d	16	37,20
1c	14	32,55
2e	8	18,60
2a	6	13,95
1f	6	13,95
2b	2	4,65
2g	1	2,32

5.2.4 Koncept č. 4 (možnosti využití genetiky)

Konceptový test č. 4 byl zaměřen na možnosti využití genetiky. V úvodní úloze měli žáci pouze označit, zda se již někdy setkali s vybranými pojmy, které se vztahují k problematice genového inženýrství. Všichni žáci již zaslechli pojem „klon“, s ním související „klonování“ označilo 97,67 % žáků jako známý pojem. Shodné množství žáků se setkala s pojmy „genové inženýrství“ a „umělé oplodnění“. Více jak polovina žáků uvádí, že se nesetkala s pojmem

genová terapie (viz Tab. 38). Následující otevřená otázka zjišťovala představy žáků o genovém inženýrství. Odpovědi přibližně 58 % žáků byly hodnoceny jako správné. Téměř 35 % žáků pravděpodobně nemá utvořenou představu o genovém inženýrství a odpovídali „nevím“, viz Tab. 39a. Mezi nejčastější odpovědi patřilo „stavba genu“, „zkoumání stavby genu“, celkem v 30,23 % případů (viz Tab. 39b). Genové inženýrství se zabývá „změnou genu“, „skládáním genu“ – tyto představy sdílí 13,95 % žáků. Celkem 11,62 % žáků uvádělo obecné vysvětlení „zabývá se genetikou“, „zkoumá genetiku“. Jeden žák se domníval, že význam genetického inženýrství spočívá v „hledání dárců spermií“.

Tab. 38: Přehled povědomí žáků o jednotlivých genetických pojmech souvisejících s významem a využitím genetiky jako vědního oboru (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

pojem	absolutní četnosti			relativní četnost [%]		
	ano	ne	bez odpovědi	ano	ne	bez odpovědi
klon	43	0	-	100	0	-
klonování	42	1	-	97,67	2,32	-
genové inženýrství	42	1	-	97,67	2,32	-
umělé oplodnění	42	1	-	97,67	2,32	-
GMO	36	8	-	83,72	18,60	-
genová terapie	13	28	2	30,23	65,11	4,65

Tab. 39a: Přehled odpovědí zjišťujících představy o významu genového inženýrství (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	25	58,13
3	nevím	15	34,88
0	bez odpovědi	2	4,65
2	chybně	1	2,32

Tab. 39b: Ukázka dílčích kategorií odpovědí a jejich relativních četností popisujících význam genového inženýrství (relativní četnost odpovědi je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kategorie odpovědi	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
změna genu, skládání genu	- můžou vyměnit geny - člověk mění geny - modifikace genů - změna genu, snaží se změnit gen nebo jej zkřížit	30,23
zkoumá stavbu genu, stavba genu	- zabývá se stavbou genů - stavba genů - léčba skrz geny, staví geny - sestavují geny - probírají stavby genů - složením a přenášením genů	13,95
GMO obecně vyjádřené (genetikou, organismem a dědičností živočichů, rostlin...)	- zkoumá geneticky modifikované organismy - geny - zkoumá geny a dědičnost - zkoumá genetiku	2,32 11,62
asistovaná reprodukce	- hledáním dárce spermií	2,32

Geneticky modifikované organismy jsou pro žáky „organismy, které jsou geneticky upraveny“ (13,95 %); „změněny“ (6,97 %) jeden žák dodává „geny jsou úmyslně změněny“ viz Tab. 40b. Dále se objevuje představa, že GMO mají „přidané nebo odebrané geny“ (4,65 %).

Tab. 40a: Přehled odpovědí zjišťujících představy žáků o GMO - geneticky modifikovaných organismech (relativní četnost odpovědi je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
3	nevím	14	32,55
1	správně	10	23,26
2	chybně	10	23,26
0	bez odpovědi	6	13,95
4	nelze hodnotit	3	6,98

Tab. 40b: Ukázka kategorií žakovských představ o GMO (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	příklady odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1a	organismus, který je geneticky upravený	6	13,95
1c	organismus, který je změněný	3	6,97
1d	organismus s přidanými nebo odebranými geny	2	4,65
1b	organismus, jehož geny byly úmyslně změněny	1	2,32

Významnou událost v oblasti genetiky, proces narození ovce Dolly, žáci popisovali na poskytnutém schématu. V úvodní otázce měli určit vědeckou metodu, s jejímž využitím se Dolly narodila. Tvrzení, že Dolly se narodila s pomocí „*umělého oplodnění*“ se objevilo v 37,23 %. Správně metodu označilo 16,27 % žáků, kteří uvedli „*klonování*“ viz Tab. 41b. Jeden žák k vysvětlení použil obecné „*genové inženýrství*“. Mezi odpověďmi, které byly hodnoceny jako nesprávné, se kromě již výše zmíněného umělého oplodnění vyskytovaly tvrzení „*mimotělní oplodnění*“, „*oplodňování*“ či „*genová výměna*“. Podotázka se zaměřovala na žakovské představy o průběhu klonování, obrázkové schéma mohlo sloužit jako nápověda. Schopnost odvodit požadované informace ze schématu prokázalo 15 žáků (34,88 %), kteří označili ovci „A“ jako matku Dolly. Zbytek žáků nedokázal propojit podstatu dědičnosti, tedy, že genetickou informaci nese jádro, které bylo v tomto případě odebráno z tělní buňky a přispívá tak ke konečnému vzhledu potomka. Vajíčko od dárkyně toto jádro postrádalo. Podobná úvaha byla očekávána v doplňující otázce od žáků. Při vysvětlování (viz Tab. 42d) však 9,30 % spoléhalo na vzhledovou podobnost ovcí. Dále se žáci (4,65 %) domnívali, že rodiče jsou obě ovce, tedy stejně jako při klasickém pohlavním rozmnožování jedinců.

Tab. 41a: Přehled odpovědí zjišťujících představy žáků o klonování – schéma klonování ovce Dolly

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2	chybně	19	44,19
1	správně	9	20,93
3	nevím	9	20,93
0	bez odpovědi	5	11,62

Tab. 41b: Ukázka jednotlivých odpovědí na otázku zjišťující představy žáků ke schématu klonování ovce Dolly (relativní četnost odpovědi je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2a	umělé oplodnění	16	37,23
1a	klonování	7	16,27
1b	genové inženýrství	1	2,32
1c	genetická modifikace	1	2,32
2b	oplodňování	1	2,32
2c	mimotělní oplodnění	1	2,32
2d	genová výměna	1	2,32

Tab. 42a: Přehled četností odpovědí spojených s porozuměním schématu klonování ovce Dolly (relativní četnost odpovědi je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	15	34,88
2	chybně	14	32,55
3	nevím	11	25,58
0	bez odpovědi	3	6,97

Tab. 42b: Detailní pohled na četnost jednotlivých možností spojených s porozuměním schématu klonování ovce Dolly (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1a	ovce A	15	34,88
2a	ovce B	4	9,30
2b	ovce A, B	3	6,97
2c	ovce C	4	9,30
2d	B, C	1	2,32
2e	ani s jednou, je mixem A a B	1	2,32
2f	s žádnou	1	2,32

Tab. 42c : Přehled četností vysvětlení porozumění schématu klonování ovce Dolly (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2	chybně	11	25,58
1	správně	10	23,25
3	nevím	9	20,93
5	nelze hodnotit	5	11,62
0	bez odpovědi	4	9,30
4	tip	4	9,30

Tab. 42d: Ukázka příkladů vysvětlení porozumění schématu klonování ovce Dolly (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	příklady žákovských odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1a	jelikož z A byla tělní buňka, B pouze vajíčko a do C to bylo pouze implantováno	1	2,32
1b	je stvořená z tělní buňky ovce A	1	2,32
	podle toho, která ovce darovala svou tělní buňku-genetickou informaci	1	2,32
1c		1	2,32
1d	protože má její genetické informace	1	2,32
2a	podobný vzhled (barva nohou a hlavy	4	9,30
2b	podle toho, jak moc buněk odebrali	1	2,32
2c	s žádnou je to směs A, B, C	1	2,32
2d	A a B jsou rodiče	2	4,65
5a	nejblíže k ovci C	1	2,32
5b	jádro	1	2,32
5c	podle schématu a biologického myšlení	1	2,32
5d	kvůli značce	1	2,32

Tab. 43a: Přehled četností odpovědí spojených s představou průběhu identifikace pachatele pomocí DNA (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
1	správně	13	30,23
4	nedostatečné vysvětlení	13	30,23
3	nevím	10	23,25
2	chybně	3	6,97
0	bez odpovědi	1	2,32

Proces využití genetiky ve forenzních vědách, zjišťoval, jak jsou rozvinuté žákovské představy o tomto postupu. Tabulka 43b ukazuje příklady žákovských představ při postupu forenzního vyšetřovatele řešícího trestný čin. Přibližně 23 % žáků popsalo průběh vyšetřování detailněji než zbytek dotazovaných žáků; zmínili identifikaci na základě rozboru DNA ze vzorku vlasů a porovnání s podezřelými. V 11 % případů by žáci využili pro identifikaci pachatele mikroskop.

Tab. 43b: Ukázka příkladů vysvětlení průběhu identifikace pachatele pomocí DNA

kategorie odpovědí	příklady žákovských odpovědí	relativní četnost [%]
rozbor DNA z vlasu	vzorek se pošle do laboratoře-rozbor-zjistí DNA, které bylo nalezeno na místě, potom srovnání vzorku s podezřelým při shodě je to nejspíš on genetická informace získaná z vlasu, porovnání zjistím DNA, najdu v systému shodu a si najdu pachatele a vezmu si jeho vlas a otestuju jestli je stejný musí být odebrán vzorek vlasů (nebo jiné informace DNA, která je pak porovnána s nalezeným vzorkem každý člověk má unikátní DNA, když dáme vzorek do přístroje a rozebereme tu DNA a pak porovnáme s dalšími vzorky podezřelých najdeme tak pachatele-podle shody	23,25
DNA nespecifikováno	podle DNA	2,32
mikroskop k porovnání	využití mikroskopu při porovnání vzorku od podezřelých odebrat vzorky vlasů-mikroskop, porovnat se vzorkem vlasu nalezeném na místě činu asi pod mikroskopem, je potřeba vlas 3 osob a který se nejvíc podobá	11,62
laboratoř vyhodnocení vlastnosti vlasu	vyhodnocení v laboratoři barva vlasů, délka snažím se rozpoznat přes vlasy – jejich strukturu a barvu a délku. Potom se podívám přes mikroskop	4,65 4,65
jiné odpovědi	odebere kus otisku prstu porovnat vzorky vlasů pošlu vzorky někam pryč a pak mi přijde jaké jsou shodné	18,60

Úloha s tématem metod genetického inženýrství cílí na představy žáků týkající se produkce inzulínu. Schéma mělo být nápomocné a sloužilo k ověření nejen žákovských prekonceptu ale i schopnosti orientovat se ve schématu a vyčíst z něj informace. Více jak

polovina (60,46 %) žáků uvedla odpověď „nevím“. Nesprávné vyhodnocení schématu se objevilo v devíti (20,93 %) odpovědích. Čtyři (9,30 %) žáci ze schématu správně určili, které buňky se používají pro produkci inzulinu. Shodný počet žáků (9,30 %) nechal otázku nevyplněnou viz Tab. 44a. Bližší pohled na žákovské odpovědi lze vidět v Tab. 40b. V odpovědi na otázku, která struktura je zodpovědná za přenos genu pro tvorbu inzulinu, se objevovaly nesprávné odpovědi „bakterie“ „DNA člověka“ orgán lidského těla „slinivka“ a „buňka“ viz tab. 45b. Shrnující Tab. 45a ukazuje 28 žáků, kteří zodpověděli „nevím“; otázku vynechali 4 (9,30 %) žáci. Správnou odpověď „plazmid“ uvedli 3 žáci.

Tab. 44a: Přehled četností odpovědí spojených s interpretací schématu produkce lidského inzulinu – buňky využívané k produkci inzulinu

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
3	nevím	26	60,46
2	chybně	9	20,93
0	bez odpovědi	4	9,30
1	správně	4	9,30

Tab. 44b: Přehled četností odpovědí spojených s interpretací schématu produkce lidského inzulinu – buňky využívané k produkci inzulinu (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	příklady žákovských odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2b	buňka bakterie a buňka lidská	8	18,60
1a	buňky z bakterie	1	2,32
1b	z bakterie	1	2,32
1c	plazmid s genem produkujícím inzulin	1	2,32
1d	plazmid do bakterie	1	2,32
2a	DNA	1	2,32

Tab. 45a: Přehled četností odpovědí spojených s interpretací schématu produkce lidského inzulínu – struktura pro tvorbu inzulínu

kód odpovědi	kategorie odpovědi	absolutní četnost	relativní četnost [%]
3	nevím	28	65,11
2	chybně	8	18,60
0	bez odpovědi	4	9,30
1	správně	3	6,97

Tab. 45b: Ukázka odpovědí (odpovědi hodnoceny jako nesprávné) spojených s interpretací schématu produkce lidského inzulínu – struktura pro tvorbu inzulínu (relativní četnost odpovědí je vztažena k celkovému počtu respondentů)

kód odpovědi	příklady odpovědí	absolutní četnost	relativní četnost [%]
2a	bakterie	8	18,60
2b	DNA člověka	1	2,32
2c	slinivka	1	2,32
2d	buňka	1	2,32

6 DISKUZE

Většina vyučujících zařazuje genetiku v 8. ročníku, vyučuje genetiku v rámci tematického okruhu *Obecná biologie a genetika*, ten školy v svých ŠVP zařazují buď v rámci osmého nebo devátého ročníku. V případě tématu *Biologie člověka*, toto zařazení respektuje i většina učebnic přírodopisu pro základní školy (viz analýza učebnic přírodopisu Kotradyová, 2020). Průměrný počet hodin věnovaný genetice se nejčastěji pohyboval mezi 2–4 hodinami, (náměty na typy hodin a rozložení). Časové rozvržení v horní hranici průměru by již mohlo vyhovovat pro představení základních genetických konceptů na úrovni základních škol. Zůstává otázkou, do jaké míry jsou vyučující schopni do těchto hodin zakomponovat aktivizační formy výuky. Časová tíseň může ovlivnit příklon vyučujících k frontální podobě výuky (Tikalská, 2008). Naprostá většina vyučujících plánuje výuku genetiky na závěr školního roku, což také může přispět k uspěchané výuce či vynechání původně zamýšlených témat.

V rámci popisu výuky genetiky z hlediska materiální podpory učitelé uvádí využití vlastních materiálů, často ve formě prezentací, využívají i již vytvořená videa. Učitelé využívají i učebnice přírodopisu, k nimž patří i pracovní sešity, které také zakomponují do výuky. Oblíbená je učebnice z nakladatelství *Fraus*, dále i *Biologie člověka* z nakladatelství *Nová škola*, podle analýzy genetických pojmů v těchto učebnicích obě dosahují kolem 45 %, přičemž u *Nové školy* je hustota genetických pojmů nepatrně vyšší (Kotradyová, 2020).

Při srovnání obsahu učebnic, analyzovaných ŠVP a vyučovaných témat lze vidět podobný trend u výběru témat genetiky. Naprostá většina vyučujících zařazuje do výuky téma *Základní genetické pojmy*, které bylo v analýze ŠVP ZŠ Olomouckého kraje rozpracováno u tří čtvrtin škol (Kotradyová, 2020). Mezi pojmy, které vyučující uvádí, že vysvětlují během výuky, se vysokou frekvencí objevují: dědičnost, DNA, gen, chromozom, což také odpovídá i základním pojmům genetiky. Často však u těchto pojmů dochází k nedostatečnému pochopení ze strany žáků (Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000b). Zároveň je zajímavé vidět, že pojmy, které spolu obsahově souvisí, např. *dominantní alela* a *recesivní alela* mají různou frekvenci, je možné, že toto bylo způsobeno i podrobným výčtem genetických pojmů, z nichž mohli vyučující v dotazníku vybírat. V množství pojmů označili ty, které našli jako první a zbytek mohli přehlednout. Koncentrace pojmů v genetice může být úskalím, kvůli kterému si někteří učitelé stěžují, že z důvodu velkého množství učiva nemají čas na jiné aspekty výuky, případně některé časově náročnější metody či formy výuky (Janštová a Holec, 2019). Snaha o úpravu učiva vzešla i z RVP ZV, školy mají povinnost změny implementovat do svých Školních vzdělávacích programů nejpozději v září 2023 (RVP ZV, 2021) v sekci *Člověk a příroda*

v předmětu *Přírodopis* bylo upraveno učivo o buňce (RVP ZV, 2021, s. 76). Téma genetiky však zůstává i nadále a bez základů znalostí buňky, zůstává otázkou, jak k úvodu do genetického učiva přistoupí vyučující.

Dále vyučující uváděli i témata, která se týkají molekulární podstaty dědičnosti. Naopak vyučující téměř vůbec neuvádí témata genetiky, které mohou být spojeny s aktivním zapojením žáků do výuky. Laboratorní cvičení či řešení genetických příkladů se téměř neobjevují, což shodně uvádí v analýze laboratorních cvičení v Olomouckém kraji Neckařová (2018). Při zjišťování, zda učitelé s žáky řeší genetické příklady byla již data příznivější, rozložení řešených příkladů odpovídá i zastoupení jednotlivých témat v učebnicích genetiky. Zde může mít vliv právě zmíněné zastoupení příkladů v učebnicích a pracovních sešitech. Učitelé mají tak náměty do výuky snadně dostupné. Malá část vyučujících zmiňuje také náročnější příklady jako dědičnost vázanou na pohlaví. Někteří vyučující také adresují etické problémy, které mohou vyvstat při snaze spojit genetiku reálným životem žáků. Laboratorní cvičení z genetiky mohou být často omezena nebo úplně vypuštěna na úkor jiných pro vyučující „atraktivnější“ oblasti přírodopisu. Možným důvodem malé ochoty zařadit laboratorní práce jsou podmínky školy – nedostatečné vybavení. Častý důvod pro nezařazení aktivity (práce s rodokmeny, řešení příkladů, laboratorní cvičení) je časová tíseň; podobná situace nastává i na středních školách ve specializovaných seminářích (Janštová a Jáč, 2015). Jeden z vyučujících jako důvod pro nezařazení laboratorních cvičení udává nedostatek zkušeností během studia.

Určitou možností, jak vykompenzovat nedostatek času pro genetiku v hodinách přírodopisu, mohou být volitelné předměty s přírodovědnou tematikou. V případě, že ve škole je realizován volitelný přírodovědný předmět, často v něm nejsou zařazena témata z genetiky. Volitelný předmět s určitou formou genetického učiva se pak zaměří např. na dovysvětlení učiva, které nebylo možné projít v rámci výuky. Jako obměna klasického pokusu s izolací DNA z rostlinného materiálu někteří vyučující volí izolaci DNA ze slin. Genetika je vnímána vyučujícími jako náročná (Rokos a Holec, 2019, s. 54), což může souviset i s důvody, proč vyučující nezařazují genetiku do plánů volitelných předmětů. Aprobacní předměty vyučujících mohou být rovněž jakýmsi ukazatelem, jak přistupují k výuce. U vyučujících jejichž kombinace aprobací je biologie s chemií by mohly být častější mezipředmětové vztahy na úrovni molekulární biologie, i zařazení laboratorních cvičení by mohlo být vyšší. Zajímavým zjištěním z dotazníků je, že téměř 11 % (6 respondentů) kombinovalo přírodopis s humanitním předmětem. U mladších učitelů by rovněž mohl být patrný vliv změny přístupu k výuce už v rámci přípravy učitelů, kdy se klade daleko větší důraz na aktivitu žáka apod.

Vyhodnocením prvního konceptového testu se ukázalo, že žáci se s genetickými pojmy setkali, což odpovídá i odpovědím vyučujících v dotaznících viz Kap. 5.1. Vyučující vybrané pojmy rovněž označovali jako součást svých výukových hodin genetiky. Učitelé uvádí, že pojem *alela* vysvětlují s nepatrně vyšší frekvencí než žáci. Žáci nedokázali přesně vystihnout charakteristiku alely, jejich představy byly neúplné, což je v souladu s výsledky studie Mills Shaw et al. (2008). Žáci dále tvrdili, že gen je silnější, častější nebo aktivní – což už by ve velmi přeneseném významu odpovídalo vyjádření dominance a recesivity, avšak zde musíme identifikovat další miskoncept, kdy dochází k záměně pojmu *gen* a *alela*. Pilotáž naznačila, že žáci pojmy (dominantní a recesivní alela) slyšeli, ale jejich představa není konsistentní a kompletní, stejně jako v jiných studiích (Newman et al., 2021). Žák označí jednu alelu jako dominantní, ale namísto pojmu *recesivní* užívá pojem „*submisivita*“. Alela jako forma genu je buď dominantní nebo recesivní, jedna alela tak může převládnout nad druhou. Jinak se jeví, že zamýšlená výuka učitelů a reálně absolvovaná výuka žáky, se co do frekvence základních genetických pojmů, podobá. Představy žáků o genu, DNA, chromozomu a alele jsou podobné těm, které byly identifikovány v jiných studiích (Lewis & Wood-Robinson, 2000; Marbach-Ad, 2001). Problémová oblast hierarchie buněčných genetických struktur přinesla podobné výsledky jako studie, kterou byla otázka inspirována. Lewis & Wood-Robinson (2000, s. 182) zjistili, že žáci označovali gen za větší než chromozom.

V případě pojmu gen se objevovaly miskoncepce, které byly již dříve popsány „*gen je buňka*“. Poznatkem pro úpravu pilotního testu je rozdělení otázky o genu a jeho lokalizaci do dvou samostatných otázek, téměř 70 % žáků otázku v spojené otázce vynechalo. Dále se v představách o genu objevili jeho strukturální popisy „*úsek DNA, má všechny informace o daném jedinci*“. Gen je zodpovědný za jednu konkrétní instrukci např. k barvě, ale za konkrétní formu – konkrétní barvu (fialová) zodpovídá alela; objevuje se tak popis genu spojený s jeho fenotypovým projevem – barva květu. Podobně rozdělují analyzované odpovědi respondentů i Newman et al., (2021) či Lišková, (2020).

U žáků často dochází k záměně genu za DNA, nebo jejich představou bývá, že gen je jednotkou DNA (Lišková, 2020). Při pohledu na výsledky pilotního testování lze konstatovat, že už na základní škole žáci mají jakousi představu o DNA. V našem případě necelá čtvrtina žáků označila DNA za nositelku genetické informace. Přestože se zadání otázky konkrétně doptává na molekulu, někteří žáci toto nereflektovali ve svých odpovědích a odpovídali např. „*rodič*“. Je možné, že pojmy z molekulární oblasti genetiky jim nejsou blízké nebo jim nemusí dostatečně rozumět, proto odpovídali pro ně nejbližší asociací. Pro případné navazující šetření

je třeba zvážit, zda se nezaměřit na žákovskou představu o nositeli – struktura/molekula genetické informace podrobněji.

Představy žáků o bílkovinách velmi často postrádaly konkrétní příklady bílkovin. Získaná data zde působí jako z hodiny *Výchovy ke zdraví*, kde se vyučuje výživa; většina žáků uvádí zdroje bílkovin. Objevují se i představy o funkci a významu bílkovin v těle, což obdobně popsali Duncan a Reiser (2007, s. 951), tyto odpovědi nesouvisí s oblastí genetiky, ale s výživou a metabolismem. Význam chromozomů pro určení pohlaví je v návrhu jadrových konceptů science zařazen mezi učivo, které autoři doporučují spíše pro gymnázia.

V pilotním šetření žáci ZŠ úspěšně identifikovali pohlaví jedince z karyotypu, přičemž dokázali svoji odpověď i zdůvodnit, většinou stručným zápisem chromozomového páru např. v podobě „XY – kluk“.

V části konceptových testů zaměřené na metody genového inženýrství byly patrné neúplně rozvinuté představy žáků o metodách, ať už v případě GMO, tak především náročnějších témat, jako je klonování a produkce lidského inzulinu. Přestože schémata měla být návodná, žáci je nedokázali ve většině případů správně vyhodnotit. Tato skutečnost může částečně vypovídat o charakteru výuky a stavu žákovské přírodovědné gramotnosti.

Realizované šetření formou konceptových testů, jehož záměrem bylo pilotně ověřit navržené konceptové testy, proběhlo mezi žáky základní školy. Pro relevantní interpretaci vhodnosti dotazníku (relevantnosti) by bylo vhodné zahrnout i žáky odpovídajících ročníků gymnázií a porovnat získaná data.

Ověření konceptových testů přineslo zajímavá data, která však nelze s ohledem na malý počet respondentů interpretovat na úrovni studií, se kterými jsou data porovnávána. Mohou působit jako náměty k dalšímu výzkumu a následné diskuzi o vhodných přístupech k výuce genetiky u žáků základních škol a odpovídajících ročníků gymnázií. Pro kompletní pohled na výuku genetiky by bylo vhodné realizovat šetření nejen s učiteli ale i žáky ve větším vzorku, poté by bylo možno vhodně diskutovat provázání mezi projektovaným kurikulem (ŠVP) a realizovaným kurikulem (skutečný stav reálné výuky genetiky ve škole).

7 ZÁVĚR

Překládaná diplomová práce mapuje výuku genetiky na druhém stupni základních škol a odpovídajících ročnících víceletých gymnázií. Teoretická část zpracovává formou rešerše problematiku výukových metod genetiky a následnou efektivitu výuky genetiky. Dále uvádí výběr námětů k výuce genetiky. V praktické části bylo provedeno dotazníkové šetření mezi vyučujícími přírodopisu (biologie) zaměřené na doplnění informací k výuce genetiky na základních školách a víceletých gymnáziích v Olomouckém, Moravskoslezském a Zlínském kraji. Dalším šetřením bylo pilotní ověření navržených konceptových testů z genetiky, které bylo realizováno mezi žáky základních škol Olomouckého kraje. Hlavní zjištění této práce jsou:

- 1) Vyučující uvádí, že tematický okruh genetika vyučují nejčastěji 1–2 hodiny nebo 4 hodiny v rámci hodin přírodopisu v 8. nebo 9. ročníku, v časově – tematickém plánu zařazen v závěru školního roku, květen–červen;
- 2) Učitelé zařazují nejčastěji témata obsahující *Základní genetické pojmy* (92,59 %), *Genetická onemocnění člověka* (88,89 %) a *Příklady dědičnosti konkrétních znaků* (75,93 %);
- 3) Pojmy, které velmi často vyučující vysvětlují v rámci výuky genetiky, jsou: dědičnost (98,15 %); DNA (96,29 %); gen (92,59 %), pohlavní chromozomy X a Y (oba kolem 90 %);
- 4) Téměř 80 % vyučujících řeší s žáky genetické příklady, objevuje se např. dědičnost barvy očí;
- 5) Nejčtenější skupina učitelů shodně uvádí, že nezařazuje do hodin genetiky práci s rodokmeny a laboratorní cvičení kvůli nedostatku času;
- 6) Volitelný předmět obsahující témata genetiky zmiňuje jen asi 9 % vyučujících, důvody pro nezařazení genetiky do osnov předmětu jsou často absence volitelných předmětů s přírodovědnou tematikou, preference jiných oblastí přírodopisu, nedostatečné vybavení laboratoří.

Další zjištění byla získána z pilotního ověření konceptových testů z genetiky. Již v pilotním ověření byly patrné miskoncepty a neúplné představy. Potvrzuje již publikované zahraniční výzkumy ale i práce u nás. U žáků základních škol byly v pilotním testování identifikovány prekoncepty i miskoncepty, a to i přesto, že již absolvovali výuku genetiky. Významné miskoncepce byly pozorovány v oblasti souvislostí jednotlivých pojmů, odpovídá to tak již publikovaným studiím. V každé z testovaných oblastí se objevily nerozvinuté,

nepřesné i mylné představy. První konceptový test zaměřený na základní pojmy používané v genetice ukázal, že mezi nepřesnými, neurčitými představami žáků jsou

- 1) Vlastnosti genu (žáci si představují různé důvody, proč se určitý znak přenáší více než druhý znak z generace na generaci např. síla genu, aktivita genu nebo množství genu),
- 2) Záměna pojmu gen a DNA;
- 3) Gen je popisován jako buňka;
- 4) Gen popisují jako informaci v buňce, objevuje se miskoncept, že geny se vyskytují v krvi;
- 5) U žáků se objevují správné představy o struktuře zodpovědné za přenos genetické informace. Žáci identifikují molekulu DNA jako strukturu zodpovědnou za přenos genetické informace;
- 6) Žáci nemají vytvořeny představy o konkrétních bílkovinách a jejich funkci v lidském těle ani o konkrétním místě vzniku bílkovin (při popisu se zaměřují na zdroje bílkovin z hlediska výživy);
- 7) V hierarchii vybraných biologických struktur se objevují miskoncepty (chromozom je označován jako menší než DNA, stejně tak gen je označován jako větší struktura než chromozom);
- 8) Při lokalizaci genu a chromozomu v buňce, čtvrtina až třetina žáků umísťuje geny a chromozomy do buněčného jádra či jadérka, mezi miskoncepty se objevuje přítomnost genu a chromozomů ve vakuole;
- 9) Představy žáků, o průběhu mutací na úrovni jednotlivých nukleotidů v DNA, se opíraly o analogii použitou v zadané úloze, při identifikaci popsání jevu však většina žáků volila odpověď *nevím*; nejčastěji spojovali mutace se změnou fenotypu – např. vzhledu a povahy jedince, nebo vrozeným onemocněním)
- 10) Žáci při práci s rodokmenem aplikovali znalosti z genetiky, byli schopni identifikovat alespoň jednu ze tří správných odpovědí – téměř 50 %; byly patrné neúplné představy o jednotlivých symbolech v rodokmenu; v případě přenosu nemoci žáci často nerozlišovali, zda je nemoc vázána na pohlaví);
- 11) V okruhu otázek věnovaných genovému inženýrství, žáci identifikovali jim známé pojmy: klon a klonování 97,67 %; genové inženýrství a umělé oplodnění. Nejméně uváděli žáci setkání s pojmem genová terapie. V odpovědích se objevuje miskoncept spojený s genovým inženýrstvím, konkrétně je představa, že hledá dárce spermií);

- 12) Otázky mapující představy o klonování poukázaly na miskoncepty (žáci z poskytnutého schématu odvozovali – ovce Dolly vznikla umělým oplodněním (37 %), dále také mimotělní oplodnění, genová výměna; porozumění poskytnutého schématu projevilo 34 % žáků, dokázalo označit původní ovci, z níž vznikl klon Dolly; důvody špatného určení spočívaly v představě, že se ovce fyzicky podobají, nebo že rodiče jsou ovce, které poskytly jednotlivé struktury pro implantaci embrya;
- 13) Žáci vnímají význam genetiky při identifikaci pachatele, vesměs se objevují neúplné představy o průběhu vyšetření, nicméně 23 % určilo DNA molekulu jako hlavní indikátor pro porovnání podezřelých;
- 14) Význam genetiky v produkci lidského inzulinu je pro žáky nejasný. Více jak polovina žáků neurčila strukturu využívanou pro produkci lidského inzulinu z poskytnutého schématu; struktura zodpovědná za přenos genu pro inzulin byla žáky identifikována jako DNA, bakterie či slinivka, správně schéma analyzovali jen 3 žáci (6,97 %).

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALTMANN, Antonín. *Úvod do didaktiky biologie*. Praha: SPN, 1974, 318 s. ISBN neuvedeno

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

ANNETTA, Leonard A., Meng-Tzu CHENG a Shawn HOLMES. Assessing twenty-first century skills through a teacher created video game for high school biology students. *Research in Science & Technological Education* [online]. 2010, **28**(2), 101-114 [cit. 2023-06-11]. ISSN 0263-5143. Dostupné z: doi:10.1080/02635141003748358

Ask a Biologist [online]. Arizona: ASU Web, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://askabiologist.asu.edu/>

BANET, Enrique a Enrique AYUSO. Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education* [online]. 2000, **84**(3), 313-351 [cit. 2023-02-07]. ISSN 0036-8326. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3313::AID-SCE23.0.CO;2-N

BAZALOVÁ, Barbora. *Žákovské prekoncepce o oběhové soustavě člověka*. [online]. Olomouc, 2020. 128 s. [cit. 2022-12-19]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/poy8xu/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D.

BEN-NUN, Michal Stolarsky a Anat YARDEN. Learning molecular genetics in teacher-led outreach laboratories. *Journal of Biological Education* [online]. 2009, **44**(1), 19-25 [cit. 2022-12-06]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2009.9656187

BioLogica [online]. Massachusetts: Concord Consortium, c2000 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://biologica.concord.org/webtest1/download.htm>

BOUMOVÁ, Jana. *Miskoncepce žáků gymnázií u základních genetických pojmů a jejich postoje ke genetice*. Brno, 2019. 136 s. [cit. 2023-06-17]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/ln1nj/>. Disertační práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce doc. PhDr. Stanislav Střelec, CSc.

BROWN, Megan a Maureen MUNN. Pasta Genetics. *The GENETICS Project* [online]. Seattle, Washington: Genome Sciences Education Outreach, 2010 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: https://gsoutreach.gs.washington.edu/files/pastagenetics_12-10-10.pdf

BRYANT, Richard J. TOOTHPICK CHROMOSOMES: SIMPLE MANIPULATIVES TO HELP STUDENTS UNDERSTAND GENETICS. *Science Scope*. 2003, **26**(7), 10-15. Dostupné také z: <https://www.jstor.org/stable/43183497>

BUCKLEY, Barbara C., Janice D. GOBERT, Ann C. H. KINDFIELD, et al. Model-Based Teaching and Learning with BioLogica™: What Do They Learn? How Do They Learn? How Do We Know?. *Journal of Science Education and Technology* [online]. 2004, **13**(1), 23-41 [cit. 2023-06-05]. ISSN 1059-0145. Dostupné z: doi:10.1023/B:JOST.0000019636.06814.e3

CASANOVES, Marina, Zoel SALVADÓ, Ángel GONZÁLEZ, Cristina VALLS a Maria Teresa NOVO. Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education* [online]. 2016, **51**(2), 99-106 [cit. 2022-12-02]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2016.1177569

CK-12 Life Science for Middle School FlexBook [online]. California: CK-12 Foundation, 2019 [cit. 2022-09-30]. Dostupné z: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-life-science-2.0/>

ČERVENKOVÁ, Iva. *Výukové metody a organizace vyučování* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2013 [cit. 2023-04-28]. 153 s. ISBN 978-80-7464-238-8. Dostupné z: <https://projekty.osu.cz/svp/opory/pdf-cervenkova-vyukove-metody-a-organizace-vyucovani.pdf>

ČŠI. *Rozvoj přírodovědné gramotnosti na základních a středních školách ve školním roce 2016/2017* [online]. Praha: Česká školní inspekce, 2018 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.csicr.cz/CSICR/media/Prilohy/2018_p%c5%99%c3%adlohy/Dokumenty/Rozvoj-prirodovedne-gramotnosti.pdf

DNA from the Beginning [online], 2011. New York: DNA Learning Center [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <http://www.dnaftb.org/>

DNA learning center [online], 2020. New York: Cold Springs Laboratory [cit. 2022-09-30]. Dostupné z: <https://dnalc.cshl.edu/resources/dnalc-live/watch/20200422-kitchen-science-mendelian-genetics-build-a-creature-17135>

DOSTÁL, Jiří. *Badatelsky orientovaná výuka: Pojetí, podstata, význam a přínosy* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015 [cit. 2023-05-18]. 261 s. ISBN 978-80-244-4393-5. Dostupné z: doi:10.5507/pdf.15.24443935.

DUMy.cz [online]. Praha: ITveSkole.cz, 2012 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.dumy.cz/>

DUNCAN, Ravit Golan a Brian J. REISER. Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching* [online]. 2007, **44**(7), s. 938-959 [cit. 2023-04-14]. ISSN 00224308. Dostupné z: doi:10.1002/tea.20186

DUNCAN, Ravit Golan, Aaron D. ROGAT a Anat YARDEN. A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching* [online]. 2009, **46**(6), s. 655-674 [cit. 2023-01-06]. ISSN 00224308. Dostupné z: doi:10.1002/tea.20312

DUNCAN, Ravit Golan, Moraima CASTRO-FAIX a Jinnie CHOI. INFORMING A LEARNING PROGRESSION IN GENETICS: WHICH SHOULD BE TAUGHT FIRST, MENDELIAN INHERITANCE OR THE CENTRAL DOGMA OF MOLECULAR BIOLOGY?. *International Journal of Science and Mathematics Education* [online]. 2016, **14**(3), s. 445-472 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1571-0068. Dostupné z: doi:10.1007/s10763-014-9568-3

ENS, S., A. B. OLSON, C. DUDLEY, N. D. ROSS, A. A. SIDDIQI, K. M. UMOH a M. A. SCHNEEGURT. Inexpensive and safe DNA gel electrophoresis using household materials. *Biochemistry and Molecular Biology Education* [online]. 2012, **40**(3), s. 198-203 [cit. 2022-10-05]. ISSN 14708175. Dostupné z: doi:10.1002/bmb.20596

FREEMAN, Scott, Sarah L. EDDY, Miles MCDONOUGH, Michelle K. SMITH, Nnadozie OKOROAFOR, Hannah JORDT a Mary Pat WENDEROTH. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2014, **111**(23), s. 8410-8415 [cit. 2022-11-25]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1319030111

FRYČ, Jindřich, Zuzana MATUŠKOVÁ, Pavla KATZOVÁ, et al. *Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+*. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2020, 120 s. ISBN 978-80-87601-46-4. Dostupné také z: https://www.msmt.cz/uploads/Brozura_S2030_online_CZ.pdf

Gene Jury [online]. Edinburgh: University of Edinburgh, 2011 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://genejury.bio.ed.ac.uk/LearningZone.html>

GenScope [online]. The Concord Consortium, 1998 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://genscope.concord.org/>

GUZMAN, Karen a John BARTLETT. Using simple manipulatives to improve student comprehension of a complex biological process: Protein synthesis. *Biochemistry and Molecular Biology Education* [online]. 2012, **40**(5), s. 320-327 [cit. 2022-12-12]. ISSN 14708175. Dostupné z: doi:10.1002/bmb.20638

Have Your DNA and Eat it Too. *Learn.Genetics* [online]. Utah: Genetics Science Learning Center, 2020 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://teach.genetics.utah.edu/content/dna/Have-Your-DNA-and-Eat-It-Too.pdf>

HARRISON, Allan G. a David F. TREAUGUST. TEACHING AND LEARNING WITH ANALOGIES Friend or Foe?. In: AUBUSSON, Peter J., Allan G. HARRISON a Stephen M. RITCHIE, ed. *Metaphor and Analogy in Science Education* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, s. 10-24 [cit. 2023-05-10]. Science & Technology Education Library. ISBN 1-4020-3829-1. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/David-Treagust-2/publication/226440705_Teaching_and_Learning_with_Analogies/links/5474884d0cf245eb436de449/Teaching-and-Learning-with-Analogies.pdf#page=18

HARRISON, Emily, Ady KIDRON, Geoffrey KWAN, Libby GERARD a Jonathan BREITBART. GENOTYPES AND PHENOTYPES MORE TRAITS. *Web-based Inquiry Science Environment* [online]. Berkeley, 2023 [cit. 2023-06-10]. Dostupné z: <https://wise.berkeley.edu/preview/unit/31922/node91>

HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum. Základní teorie, metody a aplikace*. Praha: Portál. 2012. 408 s. ISBN 978-80-262-0219-6.

HOLEC, Jakub. Digitální technologie v didaktice přírodních věd. *Metodický portál: Články* [online]. 2015 [cit. 2023-03-10]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/20443/DIGITALNI-TECHNOLOGIE-V-DIDAKTICE-PRIRODNICH-VED.html>

HOLEC, Jakub. Přírodověda, přírodopis a biologie v RVP – na co se zaměřit v budoucích revizích?. *Biologie. Chemie. Zeměpis* [online]. 2020a, **29**(2), 27-38 [cit. 2022-10-05]. ISSN 2533-7556. Dostupné z: doi:10.14712/25337556.2020.2.3

HOLEC, Jakub, 2020b. Možnosti uplatnění digitálních technologií ve výuce přírodopisu. *Metodický portál: Články* [online]. 2020b [cit. 2023-03-30]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/22430/MOZNOSTI-UPLATNENI-DIGITALNICH-TECHNOLOGII-VE-VYUCE-PRIRODOPISU.html>

HONGSERMEIER, Abby, Nealy F. GRANDGENETT a Dawn M. SIMON. Modeling Evolution in the Classroom: An Interactive LEGO Simulation. *The American Biology Teacher* [online]. 2017, **79**(2), 128-134 [cit. 2023-06-01]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1525/abt.2017.79.2.128

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

CHU, Yu-Chien a Norman REID. Genetics at school level: addressing the difficulties. *Research in Science & Technological Education* [online]. 2012, **30**(3), 285-309 [cit. 2023-03-08]. ISSN 0263-5143. Dostupné z: doi:10.1080/02635143.2012.732059

IBÁÑEZ ORCAJO, Teresa a Mercedes MARTÍNEZ AZNAR. Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education* [online]. 2005, **27**(12), 1495-1519 [cit. 2023-06-11]. ISSN 0950-0693. Dostupné z: doi:10.1080/09500690500186584

Izolace DNA [online]. Brno: Moravian Science Centre Brno, c2023 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://vida.cz/blog/dna>

JANČAŘÍKOVÁ, Kateřina. Modely v didaktice biologie. *Biologie. Chemie. Zeměpis* [online]. 2017, **26**(1), 2-22 [cit. 2022-10-05]. ISSN 2533-7556. Dostupné z: doi:10.14712/25337556.2017.1.1

JANŠTOVÁ, Vanda a Jakub HOLEC. Inovace kurikula biologie a geologie: názory učitelů a hlavní principy pro budoucí vývoj kurikula. In: RUSEK, Martin a Karel VOJÍŘ Eds. *Project-based Education and other Activating Strategies in Science Education XVI (PBE 2018)*. Praha: Univerzita Karlova: Pedagogická fakulta, 2019, s. 18-23. ISBN 978-80-7603-066-4. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/336653502_Inovace_kurikula_biologie_a_geologie_nazory_ucitelu_a_hlavni_principy_pro_budouci_vyvoj_kurikula

JANŠTOVÁ, Vanda a Jana MÍKOVÁ. Hands-on activities in biology: students' opinion. In: RUSEK, Martin a Karel VOJÍŘ. *Project-based Education and other Activating Strategies in Science Education XVI (PBE 2018)*. Praha: Univerzita Karlova: Pedagogická fakulta, 2019, s. 24-29. ISBN 978-80-7603-066-4. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/336653655_Hands-on_activities_in_biology_students'_opinion

JANŠTOVÁ, Vanda a Martin JÁČ, 2014. Modelování ve výuce biologie (2) (aneb jak žákům přiblížit některé biologické jevy). *Biologie, chemie, zeměpis*. **23**(3), s. 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* [online]. 2015, **6**(1), s. 14-39 [cit. 2022-05-07]. ISSN 1804-7106. Dostupné z: doi:10.14712/18047106.145

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. Pilar, Anxela BUGALLO RODRÍGUEZ a Richard A. DUSCHL. "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education* [online]. 2000, **84**(6), s. 757-792 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0036-8326. Dostupné z: doi:10.1002/1098-237X(200011)84:6:757::AID-SCE53.0.CO;2-F

KIZKAPAN, Oktay a Oktay BEKTAŞ. The Effect of Project Based Learning on Seventh Grade Students' Academic Achievement. *International Journal of Instruction* [online]. 2017, **10**(01), s. 37-54 [cit. 2023-05-20]. ISSN 1694609X. Dostupné z: doi:10.12973/iji.2017.1013a

KNIPPELS, Marie-Christine. P. J. Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: The yo-yo learning and teaching strategy. Utrecht University. [online]. 2002, s. 198 [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/219>

KNIPPELS, Marie-Christine P. J., Arend Jan WAARLO a Kerst Th BOERSMA. Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education* [online]. 2005, **39**(3), s. 108-112 [cit. 2022-10-22]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2005.9655976

KOSAKA, Naoko a Yoshisuke KUMANO. DNA Extraction. *The American Biology Teacher* [online]. 2022, **84**(8), s. 467-471 [cit. 2023-01-13]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1525/abt.2022.84.8.467

KOTRADYOVÁ, Anna. *Zmapování současného stavu výuky genetiky na vybraných základních školách Olomouckého kraje*. Olomouc, 2020. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. 80 s.

KRAPP, Andreas a Manfred PRENZEL. Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education* [online]. 2011, **33**(1), s. 27-50 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0950-0693. Dostupné z: doi:10.1080/09500693.2010.518645

KUČEROVÁ, Eva. *Aplikace nových poznatků do výuky biologie na příkladu klonování a kmenových buněk*. [online]. Praha, 2009. 86 s. [cit. 2023-05-07]. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky biologie. Vedoucí práce Doc. RNDr. Věra Čížková, CSc. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/20033/DPTX_2006_2_11310_MDIPL001_173789_0_58469.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LEWIS, Jenny a Colin WOOD-ROBINSON. Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship?. *International Journal of Science Education* [online]. 2000, **22**(2), s. 177-195 [cit. 2021-11-01]. ISSN 0950-0693. Dostupné z: doi:10.1080/095006900289949

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* [online]. 2000a, **34**(2), s. 74-79 [cit. 2022-02-12]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2000.9655689

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* [online]. 2000b, **34**(3), s. 129-132 [cit. 2021-12-01]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2000.9655702

LIŠKOVÁ, Kateřina. *Výuka Mendelovské dědičnosti pomocí didaktické hry*. [online]. Praha, 2020. 199 s. [cit. 2023-05-07]. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky biologie. Vedoucí práce RNDr. Vanda Janštová, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/119845/120363593.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LÍZAL, Pavel, Zuzana HANZELKOVÁ a Michaela JARKOVSKÁ. *Od počátku s DNA* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2013 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/sci/UEBBiol/DNA-FTBcz/index.html>

MACHOVÁ, Markéta. *Přehled výuky genetiky na ZŠ a gymnáziích*. [online]. České Budějovice, 2017. 163 s. [cit. 2023-05-07]. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce PaedDr. Martina Žurovcová, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/k1wsi0/machova-dipl-genetika.pdf>

MACHOVÁ, Markéta a Edvard EHLER. Secondary school students' misconceptions in genetics: origins and solutions. *Journal of Biological Education* [online]. 2021, **57**(3), s. 633-646 [cit. 2023-05-01]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2021.1933136

MACHOVÁ, Markéta a Marie-Christine KNIPPELS. Podpora koherence ve výuce biologie a přírodopisu: Úvod do využití Jo-Jo strategie v ČR. *Biologie. Chemie. Zeměpis* [online]. 2021, **30**(2), s. 19-33 [cit. 2022-10-20]. ISSN 2533-7556. Dostupné z: doi:10.14712/25337556.2021.2.3

MALCOVÁ, Kateřina a Vanda JANŠTOVÁ. Jak jsou hodnoceny jednotlivé obory biologie žáky 2. stupně ZŠ a nižšího gymnázia?. *Biologie. Chemie. Zeměpis* [online]. 2018, **27**(1), s. 23-34 [cit. 2023-06-06]. ISSN 2533-7556. Dostupné z: doi:10.14712/25337556.2018.1.3

MAŇÁK, Josef a Vlastimil ŠVEC. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. 220 s. ISBN 80-7315-039-5.

MARBACH-AD, Gili. Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education* [online]. 2001, **35**(4), 183-189 [cit. 2021-03-31]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2001.9655775

MARBACH-AD, Gili, Yosi ROTBAIN a Ruth STAVY. Using computer animation and illustration activities to improve high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching* [online]. 2008, **45**(3), s. 273-292 [cit. 2022-12-07]. ISSN 00224308. Dostupné z: doi:10.1002/tea.20222

MAREŠ, Jiří a Miroslav OUHRABKA. Žákovo pojetí učiva. *Pedagogika*. 1992, **42**(1), s. 83-94. Dostupné také z: https://pages.pdf.cuni.cz/pedagogika/?attachment_id=3568&edmc=3568

MILLS SHAW, Kenna R, Katie VAN HORNE, Hubert ZHANG a Joann BOUGHMAN. Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics* [online]. 2008, **178**(3), s. 1157-1168 [cit. 2022-03-31]. ISSN 1943-2631. Dostupné z: doi:10.1534/genetics.107.084194

Media Creator MIUč+ [online], 2023. Brno: Nová škola [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <https://www.mediacreator.cz/obchod/>

Metodický portál RVP.cz [online]. Praha: Národní pedagogický institut České republiky, 2020 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://rvp.cz/>

MERTA, Ladislav, Tomáš PINKR a Vanda JANŠTOVÁ. A Hands-On Set for Understanding DNA Replication, Transcription & Polymerase Chain Reaction (PCR). *The American Biology Teacher* [online]. 2020, **82**(1), s. 49-51 [cit. 2023-03-01]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1525/abt.2020.82.1.49

MOELLER Karla. How to Build a Monster. [online] *ASU – Ask A Biologist*. 2011[cit. 2023-02-30] Dostupné z: <https://askabiologist.asu.edu/build-monster>

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. 103 s. [cit. 2022-12-19] Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Martin Jáč, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/2huq3k/>

PALEČKOVÁ, Jana, Vladislav TOMÁŠEK, Josef BASL a Iveta KRAMPLOVÁ. *Hlavní zjištění výzkumu PISA 2006 Poradí si žáci s přírodními vědami?*. 1. Praha: Ústav pro informace ve vzdělávání, 2007. 27 s. ISBN 978-80-211-0541-6. Dostupné také z: https://www.csicr.cz/CSICR/media/Prilohy/2007_p%C5%99%C3%ADlohy/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD%20%C5%A1et%C5%99en%C3%AD/HI-zjisteni-vyzkumu-PISA-2006-publikace.pdf

PAVLASOVÁ, Lenka. *Přehled didaktiky biologie*. Praha: Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, 2014. 58 s. ISBN 978-80-7290-643-7. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/301495153_Prehled_didaktiky_biologie

Pokus: Izolace DNA z banánu. *ČT edu* [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/5534-pokus-izolace-dna-z-bananu>

Pokus: Má cibule DNA?. *ČT edu* [online]. Praha: Česká televize, 2021 [cit. 2023-06-15]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/video/8011-pokus-ma-cibule-dna?backlink=ntu5u>

PRŮCHA, Jan, Jiří MAREŠ a Eliška WALTEROVÁ. *Pedagogický slovník*. 4. aktualiz. vyd. Praha: Portál, 2003, 322 s. ISBN 80-7178-772-8.

REDEI, G. P. ARABIDOPSIS AS A GENETIC TOOL. *Annual Review of Genetics* [online]. 1975, **9**(1), s. 111-127 [cit. 2023-06-07]. ISSN 0066-4197. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.ge.09.120175.000551

ROKOS, Lukáš a Jakub HOLEC. *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?* [online]. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2019 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/file/3642/>

ROKOS, Lukáš a Jana LIŠKOVÁ. Simulace určení krevních skupin. *Biologie. Chemie. Zeměpis* [online]. 2018, **27**(2), s. 2-10 [cit. 2022-10-03]. ISSN 2533-7556. Dostupné z: doi:10.14712/25337556.2018.2.1

ROKOS, Lukáš a Jana LIŠKOVÁ. Kvalita vrstevnické zpětné vazby při badatelské úloze z biologie člověka v hodinách přírodopisu. *Pedagogická orientace* [online]. 2019, **29**(1), s. 43-72 [cit. 2022-11-02]. ISSN 1805-9511. Dostupné z: doi:10.5817/PedOr2019-1-43

ROKOS, Lukáš a Vladislava VOMÁČKOVÁ. Hodnocení efektivity badatelsky orientovaného vyučování v laboratorních pracích při výuce fyziologie člověka na základní škole a nižším stupni gymnázia. *Scientia in educatione* [online]. 2017, **8**(1), s. 32-45 [cit. 2023-03-16]. ISSN 1804-7106. Dostupné z: doi:10.14712/18047106.365

ROTBAIN, Yosi, Gili MARBACH-AD a Ruth STAVY. Understanding molecular genetics through a drawing-based activity. *Journal of Biological Education* [online]. 2005, **39**(4), 174-178 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2005.9655992

ROTBAIN, Yosi, Gili MARBACH-AD a Ruth STAVY. Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching* [online]. 2006, **43**(5), s. 500-529 [cit. 2022-12-07]. ISSN 0022-4308. Dostupné z: doi:10.1002/tea.20144

ROTHHAAR, Rebecca, Barry R. PITTENDRIGH a Kathryn S. ORVIS. The Lego® analogy model for teaching gene sequencing and biotechnology. *Journal of Biological Education* [online]. 2006, **40**(4), s. 166-171 [cit. 2023-06-03]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2006.9656039

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání [online]. Praha: MŠMT ČR, 2021. 173 s. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://revize.edu.cz/files/rvp-zv-2021-s-vyznacenyimi-zmenami.pdf>

ŘEHÁK, Bohuslav. *Vyučování biologii*. Praha: SPN, 1965. 293 s. ISBN neuvedeno.

SAKA, Arzu, Lale CERRAH, Ali Rıza AKDENİZ a Alipaşa AYAS. A Cross-Age Study of the Understanding of Three Genetic Concepts: How Do They Image the Gene, DNA and Chromosome?. *Journal of Science Education and Technology* [online]. 2006, **15**(2), s. 192-202 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1059-0145. Dostupné z: doi:10.1007/s10956-006-9006-6

SIMÃO, Márcio, Natércia CONCEIÇÃO, Susana IMAGINÁRIO, João AMARO a Maria Leonor CANCELA. Lab-It Is Taking Molecular Genetics to School. *BioChem* [online]. 2022, **2**(2), s. 160-170 [cit. 2023-06-15]. ISSN 2673-6411. Dostupné z: doi:10.3390/biochem2020011

SCALLON, Jane Metty. *Comparative study of authentic scientific research versus guided inquiry in affecting middle school students' abilities to know and do genetics*. [online]. Texas, 2006. [cit. 2023-05-19]. A&M University. Master's thesis. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/1969.1/3808>

SCHMIEMANN, Philipp, Ross H. NEHM a Robyn E. TORNABENE. Assessment of Genetics Understanding. *Science & Education* [online]. 2017, **26**(10), s. 1161-1191 [cit. 2023-01-06]. ISSN 0926-7220. Dostupné z: doi:10.1007/s11191-017-9925-z

SMITH, Michelle. K., WOOD, William. B., & KNIGHT, Jennifer. K. The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE—Life Sciences Education*, [online]. 2008, **7**(4), s. 422-430. [cit. 2023-05-16]. ISSN 1931-7913 Dostupné z: doi:10.1187/cbe.08-08-0045

SODERBERG, Patti. Marshmallow Meiosis. *The Science Teacher*. 1992, **59**(8), s. 28-31. Dostupné také z: <https://www.jstor.org/stable/24146746>

STUHLÍKOVÁ, Iva, Tomáš JANÍK, Zdeněk BENEŠ, et al. *Oborové didaktiky: vývoj, stav, perspektivy*. Brno: Masarykova univerzita, 2015. Syntézy výzkumu vzdělávání. 480 s. ISBN 978-80-210-7769-0.

Teach.Genetics [online]. Utah: Genetic Science Learning Center, 2015 [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <https://teach.genetics.utah.edu/>

TEKKAYA, Ceren. Misconceptions as Barrier to Understanding Biology. [online] 2002. *Journal of Hacettepe University Education Faculty*, **23**(23), s. 259-266. [cit. 2023-06-11] ISSN 2536-4758 Dostupné také z: <http://efdergi.hacettepe.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/971-published.pdf>

TEMPLIN, Mark A. a Marcia K. FETTERS. A Working Model of Protein Synthesis Using Lego TM Building Blocks. *The American Biology Teacher* [online]. 2002, **64**(9), s. 673-678 [cit. 2023-02-10]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1662/0002-7685(2002)064[0673:AWMOPS]2.0.CO;2

The BIOTECH Project [online]. Arizona: BIO5 Institute: The University of Arizona, 2023 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://biotech.bio5.org>

The GENETICS Project [online]. University of Washington: Genome Sciences Education Outreach, 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://gsoutreach.gs.washington.edu/instructional-materials/genetics/>

The structure of education in the United States. In: The Institute of Education Sciences [online]. 2023. U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://nces.ed.gov/programs/digest/d01/figures/fig1.gif>

TIKALSKÁ, Soňa. Jaké metody a organizační formy používají učitelé v současné době na našich školách?. *Metodický portál: Články* [online]. Praha, 2008, neuváděno s. [cit. 2023-05-28]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/2588/JAKE-METODY-A-ORGANIZACNI-FORMY-POUZIVAJI-UCITELE-V-SOUCASNE-DOBE-NA-NASICH-SKOLACH.html>

TSUI, Chi-Yan a David F. TREAGUST. Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching* [online]. 2007, **44**(2), s. 205-235 [cit. 2023-06-07]. ISSN 00224308. Dostupné z: doi:10.1002/tea.20116

UPDATE: Adobe Flash Player end of support on December 31, 2020. *Microsoft Learn* [online]. Microsoft, c2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/lifecycle/announcements/update-adobe-flash-support>

VANĚČKOVÁ, Ivana, 2006. *Přírodopis 8: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus. 128 s. ISBN 80-7238-428-7.

VENVILLE, Grady a Jenny DONOVAN. How pupils use a model for abstract concepts in genetics. *Journal of Biological Education* [online]. 2008, **43**(1), s. 6-14 [cit. 2022-10-16]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2008.9656143

VENVILLE, Grady J., Susan J. GRIBBLE a Jennifer DONOVAN. Metaphors for Genes. In: AUBUSSON, Peter J., Allan G. HARRISON a Stephen M. RITCHIE, ed. *Metaphor and Analogy in Science Education* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, s. 79-91 [cit. 2023-04-09]. Science & Technology Education Library. ISBN 1-4020-3829-1. Dostupné z: doi:10.1007/1-4020-3830-5_7

Viki: Centrálné úložisko digitálneho edukačného obsahu [online]. Bratislava: Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, 2019 [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <https://viki.iedu.sk>

WALLACE-MÜLLER, Kenneth. The DNA detective game. *Science in School* [online]. Science in School, 2011 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.scienceinschool.org/wp-content/uploads/2014/11/issue19_detective.pdf

WILLIAMS, Michelle, Beronda L. MONTGOMERY a Viola MANOKORE. From Phenotype to Genotype: Exploring Middle School Students' Understanding of Genetic

Inheritance in a Web-Based Environment. *The American Biology Teacher* [online]. 2012, **74**(1), s. 35-40 [cit. 2022-11-24]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1525/abt.2012.74.1.8

WILSON, Christopher D., Frieda REICHSMAN, Karen MUTCH-JONES, April GARDNER, Lisa MARCHI, Susan KOWALSKI, Trudi LORD a Chad DORSEY. Teacher Implementation and the Impact of Game-Based Science Curriculum Materials. *Journal of Science Education and Technology* [online]. 2018, **27**(4), s. 285-305 [cit. 2023-04-16]. ISSN 1059-0145. Dostupné z: doi:10.1007/s10956-017-9724-y

WOODY, Scott a Ed HIMELBLAU. Understanding & Teaching Genetics Using Analogies. *The American Biology Teacher* [online]. 2013, **75**(9), s. 664-669 [cit. 2023-06-06]. ISSN 0002-7685. Dostupné z: doi:10.1525/abt.2013.75.9.7

WRIGHT, L. Kate a Dina L. NEWMAN. An interactive modeling lesson increases students' understanding of ploidy during meiosis. *Biochemistry and Molecular Biology Education* [online]. 2011, **39**(5), s. 344-351 [cit. 2023-05-13]. ISSN 14708175. Dostupné z: doi:10.1002/bmb.20523

WRIGHT, Leslie 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* [online]. 2022, **50**(1), s. 44-54 [cit. 2023-04-13]. ISSN 1470-8175. Dostupné z: doi:10.1002/bmb.21583

ZORMANOVÁ, Lucie. *Výukové metody v pedagogice: tradiční a inovativní metody, transmisivní a konstruktivistické pojetí výuky, klasifikace výukových metod*. Praha: Grada, 2012, 160 s. ISBN 978-80-247-4100-0.

9 PŘÍLOHY

Milí žáci, následující konceptový test slouží pouze pro výzkumné účely, výsledky budou využity ke zpracování mé diplomové práce. Vaše odpovědi jsou anonymní a jeho výsledky nebudou mít vliv na vaše školní hodnocení.

Děkuji za vyplnění.

Anna Kotradyová, studentka Pedagogické fakulty Univerzity Palackého, katedra biologie

Jsem: a) dívka b) chlapec

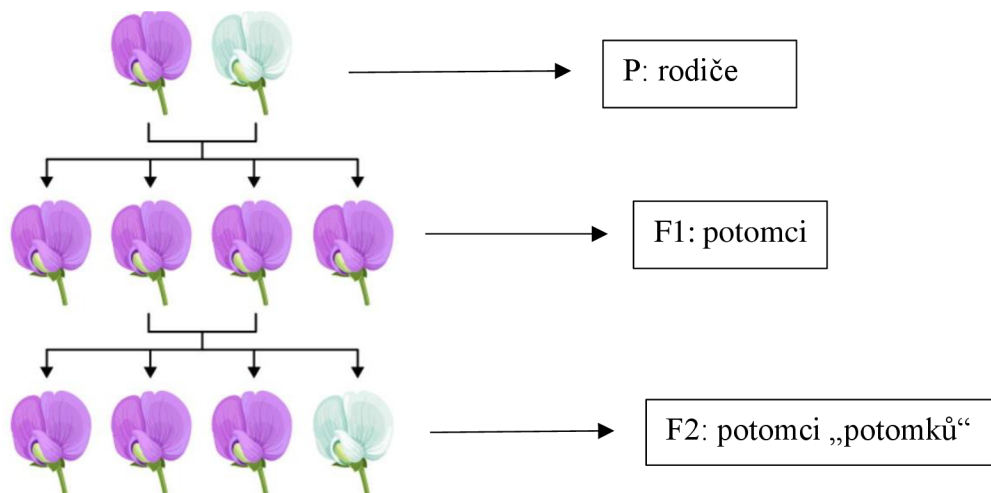
Navštěvuji : a) základní škola b) gymnázium (šestileté) c) gymnázium (osmileté)

ročník:.....

věk: let

KONCEPT 1 (Základní genetické pojmy: gen, alela, chromozom, DNA, bílkovina)

1) Na obrázku vidíš květy hrachu. Prohlédni si jednotlivé generace květů hrachu.



Obrázek 1

(zdroj: [https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-](https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3Ae16404472469f3a84a93f40a84a5b67ce0867c61721c9e0c009e2ec3%2BIMAGE_TINY%2BIMAGE_TINY.1)

[d%3Ae16404472469f3a84a93f40a84a5b67ce0867c61721c9e0c009e2ec3%2BIMAGE_TINY%2BIMAGE_TINY.1](https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3Ae16404472469f3a84a93f40a84a5b67ce0867c61721c9e0c009e2ec3%2BIMAGE_TINY%2BIMAGE_TINY.1))

1a) Jak je podle Tebe možné, že se rodičům (P), kteří měli barvu květů bílou a fialovou narodili pouze potomci s fialovou barvou květů (F1)?

.....

.....

.....

.....

1b) Jak bys vysvětlil/a, že se v další generaci potomků (F2) vyskytují i jedinci s bílými květy?

.....

.....

.....
.....

2) Slyšel/a jsi někdy o těchto strukturách?

	ANO	NE
buňka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
buněčné jádro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
chromozom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
alela	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DNA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bílkovina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2a) Co si představíš pod pojmem gen? Dokážeš konkrétněji popsat, kde se v buňkách živých organismů nachází?

.....
.....

2b) Jaký typ molekuly je nositelem nositelkou genetické informace?

.....
.....

3a) Bílkoviny mají v těle živých organismů velmi důležité role. Uveď alespoň 3 příklady bílkovin a ke každé bílkovině napiš funkci, kterou tato bílkovina má.

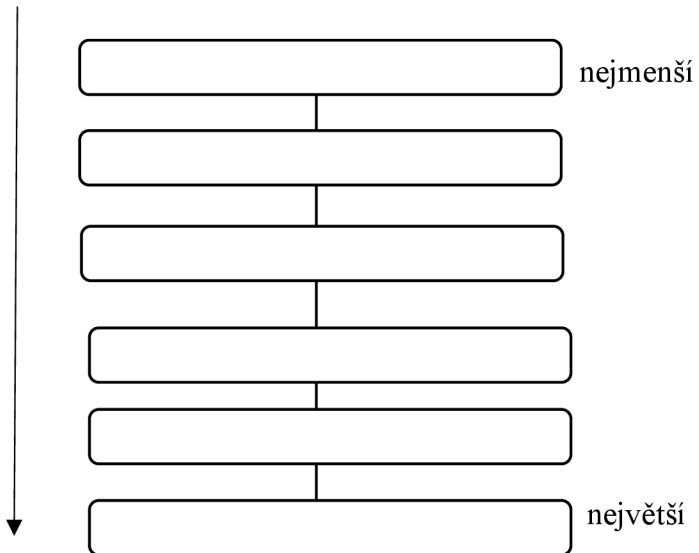
.....
.....
.....
.....
.....

3b) Kde v buňce živých organismů vznikají bílkoviny?

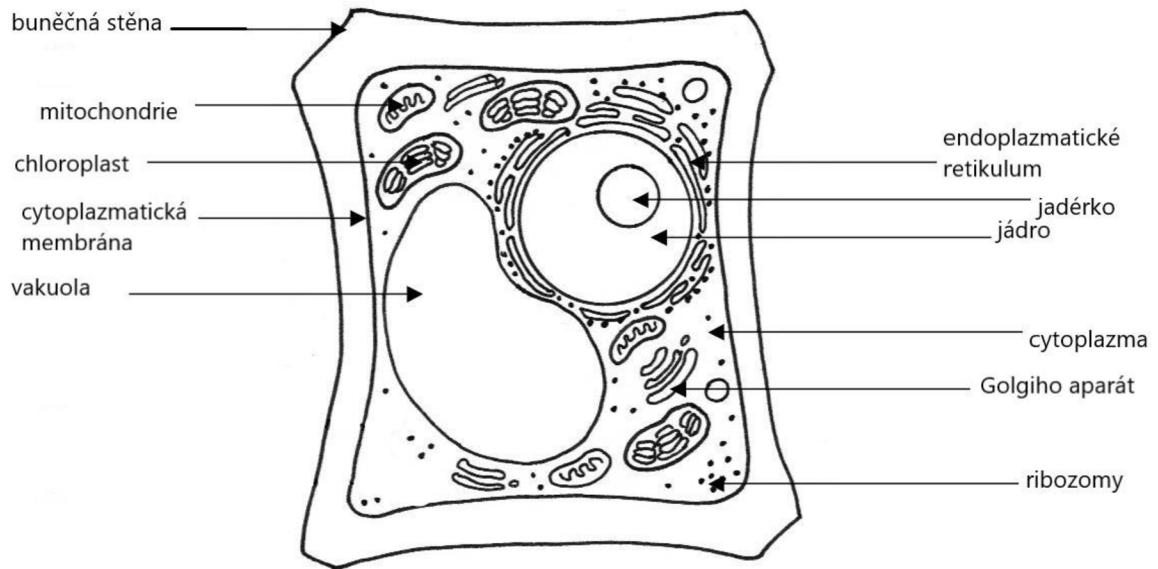
.....
.....
.....
.....
.....

4) Seřad' následující struktury podle jejich velikosti (začni od struktury, která je podle tebe nejmenší). Upraveno dle (Lewis a Wood-Robinson, 2000, s. 192)

JÁDRO, DNA, GEN, BUŇKA, ORGANISMUS, CHROMOZOM



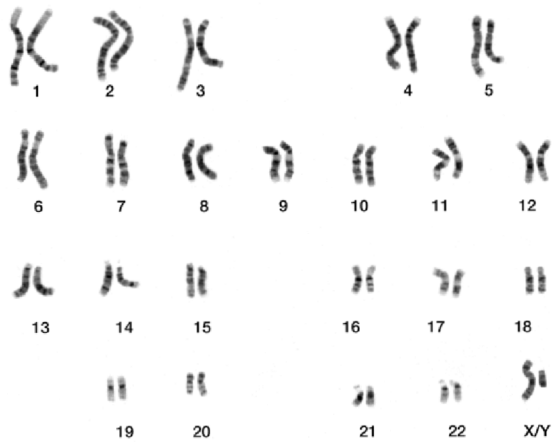
5) Na obrázku níže vidíš schematický nákres rostlinné buňky. Vyznač v nákresu buňky číslicí 1, kde se v buňce nachází genetická informace. Dále v nákresu číslicí 2 vyznač, kde se v buňce nachází chromozomy.



Obrázek 2

(zdroj: upraveno dle <https://studylib.net/doc/8347215/plant-cell>)

6) Na obrázku vidíš sadu chromozomů dítěte, které se narodilo Marii. Vědec, který tuto sadu chromozomů zkoumal, dítě neviděl. Dokáže za pomoci níže zachycené fotografie chromozomů určit, zda je dítětem Marie chlapec nebo děvče? Vysvětli co nejpřesněji, podle čeho může vědec určit pohlaví dítěte?



Obrázek 3

(zdroj:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/21/DNA_human_male_chromosomes.gif/640px-DNA_human_male_chromosomes.gif)

.....

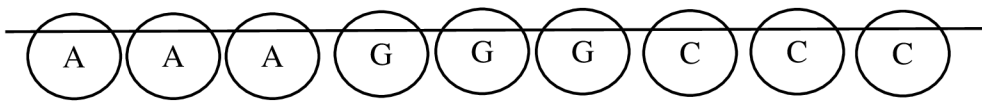
.....

.....

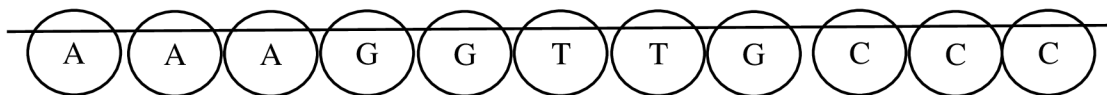
KONCEPT 2 (molekulární podstata dědičnosti)

1) Jednotlivé stavební jednotky ve vlákne DNA, které se označují nukleotidy, můžeme přirovnat ke korálkům tvořícím náramek. Jeden nukleotid = jeden korálek náramku. Nukleotidy značíme písmeny A, C, G, T. Korálky však nejsou na vlákne uspořádány ledabyle, všechno má svůj řád. Prohlédni si pozorně obrázky níže. Dokážeš podle obrázku popsat, ke kterým změnám došlo při navlékání „náramků“ tří kamarádek MARIE, DENISY a GABRIELY? Porovnej náramky děvčat s náramky původního vlákna korálků. Pokud najdeš nějaké změny, můžeš je vyznačit (zakroužkovat, zvýraznit, vybarvit).

Původní vlákno korálků:



1) Navlečené korálky na vlákne pro MARII



Dokážeš slovně popsat, k jaké změně v korálkách došlo?

.....
.....

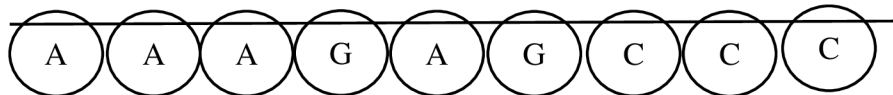
2) Navlečené korálky pro DENISU



Dokážeš slovně popsat, k jaké změně v korálkách došlo?

.....
.....

3) Navlečené korálky pro GABRIELU



Dokážeš slovně popsat, k jaké změně v korálkách došlo?

.....
.....

2a) Mohou mít změny, které jsi našel (našla) na jednotlivých vláknech „korálků“ (nukleotidů) vliv na organismus nebo konkrétně na život kamarádek Marie, Denisy a Gabriely? Pokus se co nejpodrobněji popsat svoji představu.

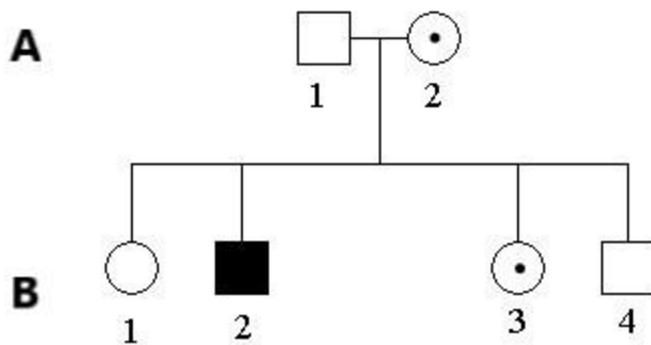
.....
.....
.....
.....
.....

2b) Jak se označují změny, které nastaly v jednotlivých vláknech „korálků“ (nukleotidů)?

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

KONCEPT 3 (rodokmen - dědičná onemocnění)

1) Na obrázku vidíš rodokmen rodiny Smetanových. V prvním řádku (řádek značí písmeno A) jsou číselně označeni rodiče. Pan Smetana je označen číslicí 1. Paní Smetanová je znázorněna číslicí 2. Který popis rodokmenu podle Tebe vystihuje uvedený rodokmen rodiny Smetanových? (Vyber všechny odpovědi, které jsou podle Tebe správné)



Obrázek 4

(Zdroj: upraveno podle http://www.genetika-biologie.cz/images/rodok_priklad1.gif)

- a) Manželé Smetanovi mají 4 děti, dva chlapce a dvě holčičky, holčička označená č. 2, trpí genetickým onemocněním, ostatní její sourozenci jsou zdraví.
- b) Pan Smetana měl dva mladší sourozence, z nich jeden trpí genetickým onemocněním, sourozenci paní Smetanové jsou zdraví.
- c) Manželé Smetanovi mají 4 děti, dvě z těchto dětí nesou alely pro genetické onemocnění.
- d) Manželé Smetanovi mají 4 děti, přičemž jeden ze synů trpí genetickým onemocněním.
- e) Pan Smetana, je zdravý, ale je přenašečem onemocnění. Má dvě dcery, jedna z dcer je přenašečkou dědičného onemocnění a druhá dcera je zdravá.
- f) Paní Smetanová nemá projevy onemocnění, je však přenašečkou onemocnění. Porodila dva syny, jeden z nich trpí genetickým onemocněním.
- g) Žádné z dětí není postiženo genetickým onemocněním.

KONCEPT 4 (možnosti využití dědičnosti)

1) U následujících pojmů vyber, zda jsi o nich někdy slyšel/a (např. ve škole, v TV, na internetu, v novinách). Upraveno podle (Lewis, Leach a Wood-Robinson, 2000c, s. 193)

	ANO	NE
klon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
klonování	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GMO (geneticky modifikovaný organismus)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
genové inženýrství	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
umělé oplodnění	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
genová terapie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1a) Čím se podle Tebe zabývá genové inženýrství? Popiš prosím co nejpodrobněji svou představu.

.....

.....

.....

.....

.....

1b) Co si představuješ pod pojmem GMO (geneticky modifikovaný organismus)? Pokus se co nejpodrobněji popsat svou představu.

.....

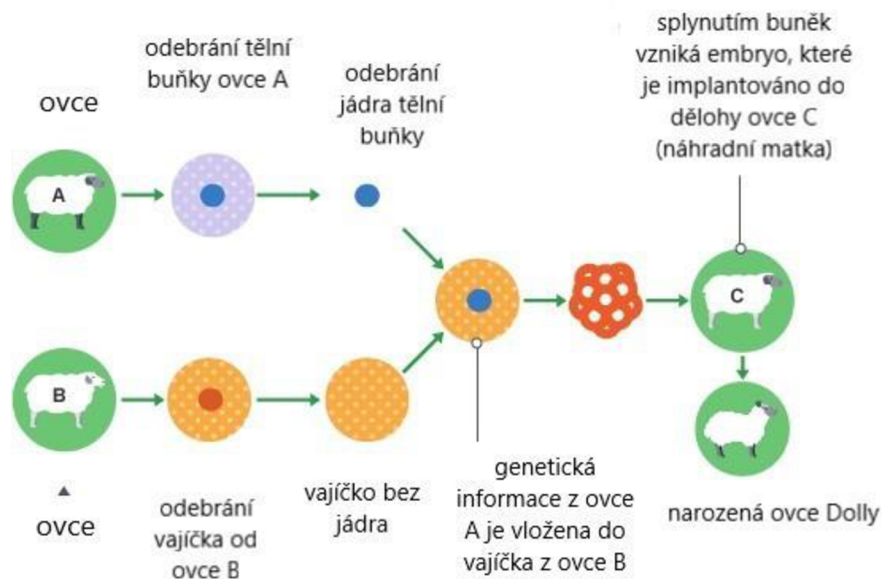
.....

.....

.....

.....

2) V roce 1996 se vědcům podařilo přivést na svět ovci, kterou pojmenovali Dolly. Na schématu níže si můžeš prohlédnout jednotlivé kroky, které museli vědci udělat, aby se Dolly narodila.



Obrázek 5

(Upraveno podle zdroj: <https://bam.files.bbc.co.uk/bam/live/content/zyf46yc/large>)

2a) Jak se označuje metoda, kterou vědci v tomto případě použili?

.....

2b) V rámci použité metody vědci pracovali se 3 různými ovci (jsou obrázku označeny písmeny A, B, C). Se kterou z těchto ovcí je narozená ovce Dolly stejná?

.....

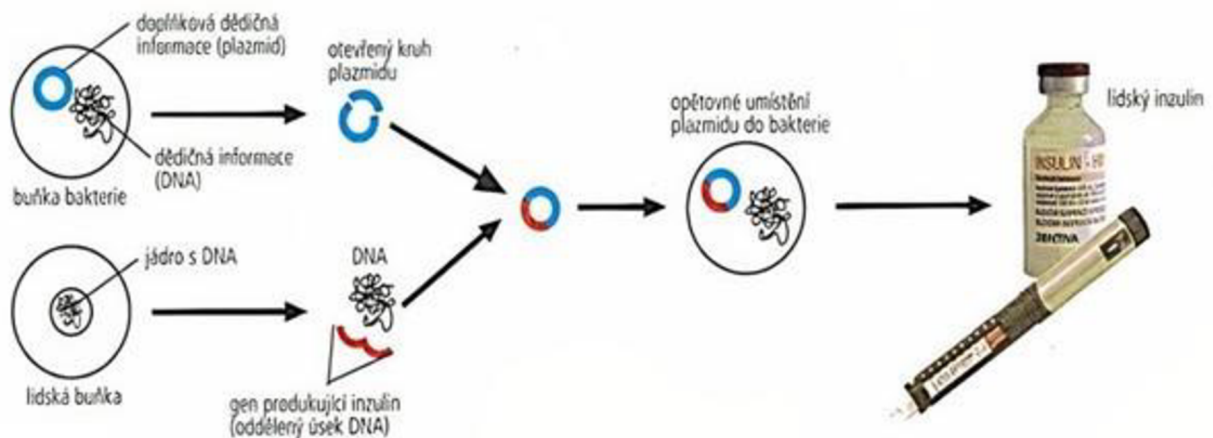
2c) Podle čeho jsi určil/a, se kterou ovci (A,B,C) je Dolly stejná?

.....

3) Představ si, že jsi detektiv. Na místě činu byl nalezen vzorek vlasů. V případě jsou podezřelé 3 různé osoby. Jak podle tebe probíhá proces určení pachatele v případě, že využiješ nalezený vzorek vlasů jako důkazový materiál?

.....

4) Tělo lidí trpících cukrovkou typu I neumí tvořit ve slinivce břišní vlastní hormon inzulin, který je důležitý pro snížení hladiny cukru v krvi. Vědci hledali metodu, která by jim umožnila produkovat lidský inzulin pro velké množství pacientů s cukrovkou. Prohlédni si schéma znázorňující produkci lidského inzulinu a s jeho využitím odpověz na níže uvedené otázky:



Obrázek 6

(zdroj: Vaněčková et al., 2006, s. 114)

4a) Které buňky vědci s využitím metod genového inženýrství používají pro produkci lidského inzulinu?

.....

4b) Jak se jmenuje struktura, která slouží jako nosič pro vložení genu řídícího tvorbu lidského inzulinu?

.....

Zdroje ke konceptovým testům:

Obrázek 1 Květy hrachu [cit. 2022-05-30]. Dostupné z:

https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3Ae16404472469f3a84a93f40a84a5b67ce0867c61721c9e0c009e2ec3%2BIMAGE_TINY%2BIMAGE_TINY.1

Obrázek 2 Rostlinná buňka [cit. 2022-05-30]. Dostupné z:

<https://studylib.net/doc/8347215/plant-cell>

Obrázek 3 Karyotyp – muž [cit. 2022-05-30]. Dostupné z:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/21/DNA_human_male_chromosomes.gif/640px-DNA_human_male_chromosomes.gif

Obrázek 4 Schéma rodokmenu [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: upraveno podle

http://www.genetika-biologie.cz/images/rodok_priklad1.gif

Obrázek 5 Schéma klonování ovce Dolly [cit. 2022-05-30]. Dostupné z:

<https://bam.files.bbc.co.uk/bam/live/content/zyf46yc/large>

Obrázek 6 Schéma produkce inzulínu, In VANĚČKOVÁ, I., J. SKÝBOVÁ, D.

MARKVARTOVÁ, T. HEJDA, 2 Přírodopis 8: pro základní školy a víceletá gymnázia.

Plzeň: Fraus, 2006. s. 116. ISBN 8072384287.

LEWIS, Jenny a Colin WOOD-ROBINSON. Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship?. *International Journal of Science Education* [online]. 2000, **22**(2), s. 177-195 [cit. 2021-11-01]. ISSN 0950-0693. Dostupné z: doi:10.1080/095006900289949

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* [online]. 2000c, **34**(3), s. 129-132 [cit. 2021-12-01]. ISSN 0021-9266. Dostupné z: doi:10.1080/00219266.2000.9655702

ŠÍPEK, Antonín. Příklad - Tvorba rodokmenu a výpočty rizik. *Genetika - Biologie; Váš zdroj informací o genetice a biologii* [online]. 2014 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: http://www.genetika-biologie.cz/images/rodok_priklad1.gif