



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra biologie

Bakalářská práce

Experimentální úlohy pro výuku fotosyntézy vodních rostlin na základní škole

Vypracoval: Miroslav Vaith

Vedoucí práce: Ing. Štěpánka Chmelová, Ph.D.

České Budějovice 2023

Prohlášení

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

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své bakalářské práce Ing. Štěpánce Chmelové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a celkovou pomoc při zpracování této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem experimentálních úloh využívajících měřicího přístroje na znalosti žáků základních škol v oblasti fotosyntézy (zejména pak fotosyntézy vodních rostlin) a vyvrácení miskoncepce týkající se tohoto tématu. Kromě znalostí byla zkoumána rovněž atraktivita tohoto typu výuky pro žáky. Výzkum znalostí a atraktivity výuky byl prováděn metodou aplikace pretestu a posttestu. Práce potvrzuje pozitivní vliv experimentálních úloh na znalosti i atraktivitu tématu fotosyntézy u žáků na základních školách.

Klíčová slova: fotosyntéza, vodní rostliny, experimentální úloha, miskoncepce

Abstract

This bachelor's thesis deals with the influence of experimental tasks using a measuring device on the knowledge of pupils in the field of photosynthesis (especially the photosynthesis of aquatic plants) and the refutation of misconceptions related to this topic. In addition to knowledge, the attractiveness of this type of teaching for pupils was also investigated. The knowledge and attractiveness research was conducted in the form of a pretest and posttest. The thesis confirms the positive effect of experimental tasks on the knowledge and attractiveness of the topic of photosynthesis among pupils in elementary school.

Keywords: photosynthesis, aquatic plants, experimental tasks, misconceptions

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární přehled.....	2
2.1 Fotosyntéza.....	2
2.1.1 Světelná fáze fotosyntézy	4
2.1.2 Temnostní fáze fotosyntézy	6
2.2 Fotosyntéza vodních rostlin.....	9
2.3 Miskoncepce žákovských znalostí o fotosyntéze.....	14
2.4 Výukové metody přírodovědných předmětů	19
2.5 Význam experimentálních úloh při výuce.....	20
3. Metodika práce.....	23
3.1 Výzkumný soubor	23
3.2 Testování experimentální úlohy	24
3.3 Použité statistické metody	26
4. Výsledky	27
4.1 Celkové hodnocení	27
4.2 Hodnocení otázky č. 1	30
4.3 Hodnocení otázky č. 2	32
4.4 Hodnocení otázky č. 3	34
4.5 Hodnocení otázky č. 4	36
4.6 Hodnocení otázky č. 5	44
4.7 Hodnocení otázky č. 6	46
4.8 Hodnocení otázky č. 7	48
4.9 Hodnocení otázky č. 8	49
4.10 Žákovské názory na atraktivitu výuky	51
4.11 Zhodnocení pracovních listů	55
5. Diskuse.....	58
6. Závěr	65
7. Seznam literatury	67
8. Přílohy	72
8.1 Seznam příloh.....	72

1. Úvod

Fotosyntéza je jedním z nejdůležitějších procesů podmiňujících existenci života na naší planetě. To je i hlavní důvod, proč je v České republice výuka fotosyntézy zařazena do osnov již pro 2. stupně základních škol. Ruku v ruce s významností tohoto procesu roste ovšem i míra jeho složitosti. Proto je pro řadu žáků na základních školách, i přes velkou generalizaci celého procesu, výuka fotosyntézy velice problematická a těžko uchopitelná. Z těchto důvodů je téma výuky fotosyntézy často předmětem mnoha vědeckých prací a výzkumů, snažících se najít nové možné způsoby a metody, které by ji mohli zefektivnit.

Skutečnost, že je téma fotosyntézy pro žáky na základních školách tak problematické, přispívá ke snahám o ještě větší generalizaci její výuky. Z tohoto důvodu byla například chemická témata, týkající se procesu fotosyntézy, při velké revizi Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (dále jako RVP ZV) v roce 2021 vyřazena z očekávaných výstupů ve výuce chemie, a v současné době jediným předmětem, ve kterém by se téma fotosyntézy podle RVP ZV mělo vyučovat, je přírodopis (RVP ZV, 2021). Je pravdou, že by vyučování fotosyntézy pouze v jednom předmětu mohlo přispět k tomu, aby bylo téma pro žáky jednodušší a ucelenější, což by mělo vést k větší efektivnosti výuky. Tyto snahy o zjednodušení a omezování očekávaných výstupů ve výuce, zejména pak v přírodních vědách, jsou ovšem velmi často terčem kritiky z řad odborné veřejnosti, která se mimo jiné obává, že tyto přehnané pokusy o generalizaci RVP ZV, budou mít negativní vliv na budoucí vývoj přírodních věd v České republice i mimo ni (Válek, 2017). Další spornou věcí je fakt, že mnoho učebnic chemie pro 2. stupně základních škol v sobě obsahují kapitoly týkající se chemických aspektů fotosyntézy, které v takovém případě pozbývají smyslu (Mouchová, 2022).

Cílem této bakalářské práce bylo ověřit, zda bude mít využití experimentálních úloh při výuce přírodopisu pozitivní vliv na znalosti žáků o tématu fotosyntézy se zvláštním zřetelem na fotosyntézu vodních rostlin, a zároveň zda by byl tento typ výuky pro žáky atraktivní. Zkoumání atraktivity výuky přírodopisu je rovněž důležité, jelikož podle Prokopa et al. (2007) má tendenci s přechodem na druhý stupeň základních škol spíše klesat.

2. Literární přehled

2.1 Fotosyntéza

Fotosyntéza neboli fotosyntetická asimilace je velmi složitý biochemický proces, stěžejní pro existenci života na naší planetě a její význam je zcela nezastupitelný (Hall & Rao, 1999). Jedná se v podstatě o jediný proces, při kterém v přírodě dochází k přeměně anorganických látek na látky organické. Jakákoliv organická sloučenina, která se na naší planetě nachází, vznikla více či méně složitými přeměnami z výchozích látek vzniklých při fotosyntéze (Žídková & Knůrová, 2017). Z tohoto důvodu je pro nás tento proces zcela nepostradatelný.

Proces fotosyntézy probíhá u zelených částí rostlin, sinic a některých bakterií. Buňky zelených rostlin totiž obsahují chloroplasty, což jsou orgány obsahující zelené barvivo chlorofyl a další fotosyntetická barviva (Závodská, 2006). Sinice rovněž obsahují chlorofyl a fotosyntetizují, ovšem netvoří se v nich právě chloroplasty jako u rostlin (Šmarda, 1996). Při fotosyntéze u těchto organismů obsahujících fotosyntetizující pigmenty dochází k tomu, že se světelná sluneční energie přeměňuje na chemickou energii tím, že se oxid uhličitý CO_2 a voda H_2O přeměňují na monosacharid glukózu $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, ze které se následně mohou tvořit další organické látky (Žídková & Knůrová, 2017).

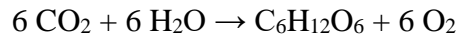
Jelikož tyto organismy získávají svou energii ze světla, říkáme o nich, že jsou fototrofní. Opakem jsou organismy chemotrofní, kteří získávají energii oxidací chemických sloučenin. Kromě toho, že jsou fotosyntetizující organismy fototrofní, jsou rovněž i autotrofní. To znamená, že zdrojem uhlíku k vytváření organických sloučenin, jsou pro ně anorganické látky. Souhrnně se tedy tyto organismy označují jako fotoautotrofní (Votrubová, 2010).

Kromě glukózy je ještě dalším významným produktem fotosyntézy kyslík O_2 , který zde vzniká v podstatě jako vedlejší produkt. Právě fotosyntéza je nejdůležitějším zdrojem kyslíku na naší planetě (Hall & Rao, 1999). Z důvodu produkce kyslíku a organických látek, je proces fotosyntézy tak nepostradatelný pro existenci života na naší planetě.

Fotosyntéza se často shrnuje následující rovnicí:



Zjednodušeněji bývá například v některých učebnicích přírodopisu pro základní školy (Dančák, 2015) vyjádřena jako:



Tyto rovnice jsou ovšem pouze souhrnem procesu fotosyntézy a celý proces je ve skutečnosti mnohem rozsáhlejší a složitější na mnoha úrovních.

Jak již bylo uvedeno, tak celý proces se odehrává v chloroplastech jednotlivých buněk. Chloroplasty jsou velké 5-10 μm a jejich povrch je tvořen dvěma membránami, které jsou odděleny mezimembránovým prostorem (Závodská, 2006). Tyto zelené buněčné organely čočkovitého tvaru rovněž obsahují další membránové struktury nazývané tylakoidy. Několik tylakoidů na sobě tvoří grana. Prostor v chloroplastech je vyplněn bílkovinnou plazmou nazývanou stroma (Jelínek & Zicháček, 2014). V té se podle Závodské (2006) nacházejí mimo jiné i malé ribozomy a DNA. Právě skutečnosti, že se v těchto organelách nacházejí ribozomy a DNA a také že mají dvojitou membránu, se stali základem pro vznik endosymbiotické teorie (Wernegreen, 2012). Ta podle Wernegreenové (2012) přišla s myšlenkou, že tyto organely vznikly pravděpodobně před dvěma miliony lety tím, že byla prokaryotická buňka pohlcena jinou buňkou a tyto dvě buňky si mezi sebou vytvořily symbiotický vztah. V průběhu evoluce, jak se její dceřiné buňky množily, tak se vytvořily tak zvané semiautonomní organely, což jsou organely s DNA, které dnes známe jako chloroplasty a mitochondrie (Archibald, 2015).

Fotosyntézu můžeme rozdělit na dvě fáze: světelnou a temnostní. Světelná fáze probíhá v tylakoidech, zatímco temnostní ve stromatu chloroplastů. Jak již názvy těchto dvou fází napovídají, tak se liší tím, zdali je v jejich průběhu potřeba přístup světla, či nikoliv. Zatímco světelná fáze je podmíněna přítomností světelného záření, temnostní fáze může probíhat jak za světla, tak i za tmy. Podle Šmídla (2013) u žáků na základních školách ovšem často dochází k mylné představě o tom, že temnostní fáze probíhá jen a pouze za tmy.

2.1.1 Světelná fáze fotosyntézy

Světelná fáze fotosyntézy probíhá v tylakoidech chloroplastů a je podmíněna přítomností světelného záření. Jak již bylo zmíněno, tylakoidy jsou membránové struktury, a právě v jejich membránách jsou uloženy supramolekulární komplexy, kterými jsou Fotosystém II, Cytochrom b_6/f , Fotosystém I a ATP-syntáza (Procházka et al., 1998). Právě tyto komplexy zajišťují průběh světelné fáze fotosyntézy.

Ve fotosystémech se nachází velké množství fotosyntetických pigmentů, jako jsou chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy. Závodská (2006) uvádí, že se na přeměně světelné energie na energii chemickou z těchto barviv nejvíce podílí chlorofyl *a*, zatímco chlorofyl *b* a karotenoidy fungují spíše jako pomocné pigmenty. Tyto barviva zachytávají fotony, což jsou podle Someda (2017) nejmenší jednotky elektromagnetického záření, jehož část zvaná viditelné světlo je zdrojem těchto fotonů pro fotosyntézu. Tyto fotony nesoucí s sebou určité množství energie jsou pohlceny fotosyntetickými pigmenty ve fotosystémech. Karotenoidy a chlorofyl *b* po absorpci fotonů postupně předávají fotony, až dokud se nedostanou k chlorofylu *a*. Fotony, které zachytí chlorofyl *a*, tedy logicky nikam dál předávány nejsou. Když k tomuto jevu dojde, uvolní se elektrony chlorofylu *a* a převedou se ze základního stavu do stavu excitovaného (Procházka et al., 1998). Závodská (2006) tento excitovaný stav popisuje tak, že se elektron stane vysokoenergetickým a v podstatě nese energii získanou z fotonu světla.

Pokud dojde k vytvoření excitovaného elektronu u Fotosystému II, pak je tento elektron následně přenesen za pomoci Cytochromu b_6/f elektron-transportním řetězcem na Fotosystém I (Procházka et al., 1998). Fotosystém II, který přišel o tyto elektrony, následně katalyzuje rozklad vody na vodíkové protony, kyslík a elektrony, což se označuje jako fotolýza vody (Jelínek & Zicháček, 2014). Děje se tak z toho důvodu, aby elektrony vody zaplnily místo po přenesených elektronech chlorofylu. Druhotným výsledkem je uvolnění kyslíku, který následně chloroplast opouští. Jelínek a Zicháček (2014) uvádějí, že za rok tímto způsobem vznikne hrubým odhadem přibližně 2×10^{11} tun kyslíku. Právě tento proces, při kterém vzniká takto ohromné množství je tedy nejvýznamnějším zdrojem kyslíku na naší planetě, a ostatní procesy, při kterých se kyslík uvolňuje, jsou v porovnání s ním v podstatě zanedbatelné.

Během přenosu excitovaného elektronu elektron-transportním řetězcem z Fotosystému II na Fotosystém I dochází k tomu, že se energie, kterou s sebou nese tento elektron, využije k přenesení vodíkových protonů ze stromatu dovnitř tylakoidu (Procházka et al., 1998). Tímto dojde podle Jursíka et al. (2010) k vytvoření takzvaného protonového gradientu. Jinými slovy dochází k tomu, že uvnitř tylakoidu je větší koncentrace těchto protonů, a ty se přirozeně snaží dostat ven do stromatu chloroplastu po směru gradientu neboli spádu, aby došlo k vyrovnání koncentrací. K tomuto toku vodíkových protonů dochází přes již zmíněný 4. supramolekulární komplex v membráně tylakoidů, který se nazývá ATP-syntáza. Nutno ještě zmínit, že zvýšenou koncentraci vodíkových protonů nemá za následek pouze jejich přechod z vnějšku tylakoidů v důsledku uvolnění energie přenášených excitovaných elektronů, ale rovněž i dříve uvedená fotolýza vody, při které došlo k odštěpení těchto protonů, a které uvnitř tylakoidu zůstali, čímž koncentraci zvýšily (Teplá, 2020). Při přechodu těchto vodíkových protonů v tylakoidech přes ATP-syntázu dochází k tomu, že vzniká energie, která se využívá k syntéze ATP z ADP a anorganického fosfátu na vnějším stromatálním povrchu membrány tylakoidu, a celý tento proces se označuje jako fosforylace (Procházka et al., 1998).

ATP (neboli adenosintrifosfát) je velice důležitý nukleotid, který je zcela zásadní pro funkci všech známých buněk, neboť funguje jako hlavní zdroj energie pro jejich procesy, a bez ní by k nim nemohlo docházet (Alberts et al., 2002). Hlavním způsobem, kterým buňka získává největší množství ATP, je buněčné dýchání, jehož principem je oxidace organických látek, zejména glukózy, tedy jednoho z výchozích produktů fotosyntézy. Při buněčném dýchání se tedy postupně uvolňuje velké množství energie uložené právě v ATP (Závodská, 2006). ATP může následně buňka rozložit na ADP a anorganický fosfát, aby uloženou energii využila na své procesy. Ač tedy i při fotosyntéze vzniká ATP, tak její významnost je v tomto ohledu oproti buněčnému dýchání zanedbatelná. Ovšem je nutné mít na paměti, že právě fotosyntéza je pro existenci buněčného dýchání v mnoha ohledech podmiňující a naopak. Tyto procesy jsou tedy spíše komplementární nežli čistě inverzní, což bývá podle Beránkové (2011) velmi často jedna z mylných představ, u žáků na základních školách.

Fosforylaci můžeme rozdělit na necyklickou a na cyklickou podle toho, zdali se excitované elektrony z Fotosystému I vrátí na své původní místo, či nikoliv. Pokud

k tomu nedojde, tak je prázdné místo ve Fotosystému I nahrazeno excitovanými elektrony z Fotosystému II. Elektrony z Fotosystému I, které se nevrátí na své místo, se společně s protony vodíku podílejí na syntéze NADPH, což je redukovaný nikotinamidadenindinukleotidfosfát sloužící jako nosič elektronů a vodíkových protonů (Závodská, 2006). V případě, že se excitovaný elektron opět vrátí na své místo ve Fotosystému I, tak k tvorbě NADPH nedochází. V takovém případě označujeme fosforylaci za cyklickou (Jelínek & Zicháček, 2014).

Důležitými výstupními látkami ze světelné fáze fotosyntézy jsou tedy kromě kyslíku ještě ATP a NADPH. Právě ATP a NADPH jsou na rozdíl od kyslíku důležité pro druhou fázi fotosyntézy, kterou je fáze temnostní.

2.1.2 Temnostní fáze fotosyntézy

Temnostní fáze fotosyntézy, jinak také často označovaná jako Calvinův cyklus, podle nejčastějšího cyklického způsobu fixace CO₂, je druhou fází fotosyntézy. Tato fáze opět probíhá v chloroplastech buněk, ale na rozdíl od první světelné fáze k ní nedochází na membránách tylakoidů, nýbrž ve stromatu chloroplastů. Právě v ní jsou totiž syntetizovány ATP a NADPH, které se této fáze zúčastní.

V této fázi se konečně do procesu zapojuje i CO₂, které jak již bylo zmíněno je zdrojem uhlíku potřebného k vytvoření organické látky, v tomto případě glukózy. ATP vzniklé ve světelné fázi fotosyntézy se v Calvinově cyklu štěpí, čímž se uvolňuje energie potřebná k tomu, aby vše mohlo proběhnout. NADPH v tomto procesu podle Teplé (2020) funguje jako redukční činidlo.

Podle způsobu fixace CO₂ při fotosyntéze, můžeme rostliny rozdělit na 3 základní skupiny: C₃ rostliny, C₄ rostliny a CAM rostliny. U C₃ rostlin, se cyklus, při kterém k fixaci CO₂ dochází, nazývá jako Calvin-Bensonův, či zkráceně jen jako Calvinův. Svůj název dostal podle svého objevitele Melvina Calvina, který za jeho objev a popsání obdržel v roce 1961 Nobelovu cenu za chemii. Mezi C₃ rostliny řadíme většinu rostlin mírného pásu, a představují dokonce drtivou většinu celé zemské rostlinné biomasy. Tato skutečnost činí z C₃ fixace nejpoužívanější typ fixace CO₂ na planetě.

U C₃ rostlin celý cyklus temnostní fáze začíná tím, že se CO₂ spojuje s pětiuhlíkatým cukrem (ribulóza-1,5-bisfosfát), za pomoci enzymu Rubisco, který zde funguje jako

katalyzátor (Juliano & Kellogg, 1997). Jejich spojením vzniká šestiuhlíkatá sloučenina, která se následně rozpadá na dva 3-fosfoglyceráty (Závodská, 2006). Právě kvůli tomu, že 3-fosfoglycerát je prvním stabilním produktem tohoto cyklu a obsahuje tři atomy uhlíku, se označují rostliny s tímto typem fixace CO₂, jako C₃ rostliny (Procházka et al., 1998). Poté za pomoci energie z ATP a vodíku z NADPH je 3-fosfoglycerát přeměněn na glycerinaldehyd-3-fosfát, tedy tříuhlíkatý cukr, ze kterého následně vzniká glukóza, která se ve fotosyntetizujících buňkách začne ukládat ve formě škrobu (Závodská, 2006). Škrob se následně může odbourávat na cukry a být využíván při již zmíněném buněčném dýchání k získání energie pro procesy probíhající v buňce.

U C₄ rostlin se proces označuje jako Hatch-Slackův cyklus, podle svých objevitelů, Marshalla Davidsona Hatche a Charlese Rogera Slacka, kteří tento typ fotosyntézy poprvé komplexně popsali v roce 1966, ovšem přijetí vědeckou komunitou se jim dostalo až o čtyři roky později (Furbank, 2016). Jedná se většinou o rostliny teplých suchých oblastí, a více než polovinu druhů tvoří trávy, u kterých tento způsob fixace CO₂ vznikl evolučně dříve, než u jiných zástupců této skupiny (Kubásek, 2012).

C₄ rostliny se od C₃ rostlin liší v několika důležitých aspektech. Důležitá je zde specifická anatomická stavba rostlin. Cyklus C₄ rostlin je totiž podle Kubáska (2012) založen na spolupráci dvou anatomicky a biochemicky odlišných typů buněk, kterými jsou jednak buňky obklopující cévní svazky (buňky pochev cévních svazků), a jednak buňky vnější (mezofylové). Zatímco buňky pochev cévních svazků obsahují enzym Rubisco a přijímají CO₂ stejným způsobem, jako C₃ rostliny, tak mezofilní buňky využívají k fixaci CO₂ úplně jiný enzym, nazývaný fosfoenolpyruvátcarboxyláza, zkráceně označovaný jako: PEPc (Kubásek, 2012). Díky odlišným vlastnostem oproti enzymu Rubisco, zde dochází podle Kubáska (2012) k tomu, že je v tomto cyklu CO₂ vázán na tříuhlíkatý fosfoenolpyruvát, čímž vzniká čtyřuhlíkatý oxalacetát. Právě kvůli počtu uhlíků ve vzniklém oxalacetátu, je celý cyklus nazýván jako C₄. Čtyřuhlíkatý oxalacetát se podle druhu rostliny mění na malát či asparát, a je poté transportován do buněk pochev cévního svazku, kde dochází nejprve k uvolňování, a následně k opětovné fixaci CO₂ (Procházka et al., 1998). Jelikož se tato druhotná fixace odehrává v buňkách pochev cévních svazků, obsahujících enzym Rubisco, je tento proces zajišťován Calvinovým cyklem. Právě tato dvojité fixace CO₂ je podle Kubáska (2012) pro rostliny, vyskytující se v teplých a suchých oblastech, mnohem

výhodnější, z toho důvodu, že se zde mnohem více uplatňuje proces fotorespirace, s čímž účinnost fotosyntézy klesá. Tento způsob fixace CO₂ ještě před vstupem do Calvinova cyklu je jedním z mechanismů rostliny, který tyto ztráty kompenzuje. Naopak v chladnějších a vlhčích oblastech, kde se fotorespirace uplatňuje méně, je tento typ dvojí fixace považován za spíše nevýhodný, vzhledem k vyšší energetické náročnosti, která je s tímto procesem spojena (Kubásek, 2012).

Posledním známým typem fixace CO₂ je takzvaný CAM cyklus, který je obměnou Hatch-Slackova C₄ cyklu. CAM cyklus byl poprvé popsán u listů druhu *Kalanchoe pinnata* z čeledi *Crassulaceae* (Tlusticovité), a právě díky tomu, byl tento cyklus pojmenován jako Crassulacean Acid Metabolism, což bývá zkracováno jako CAM (Gloser, 1999). Z převážné většiny tento typ fixace CO₂, provozují sukulentní rostliny, které jsou vystavovány vysokým teplotám a silnému slunečnímu záření přes den a nízkému úhrnu srážek po celý rok. Právě kvůli těmto náročným podmínkám musí tyto rostliny velice šetrně hospodařit s vodou. Toho docílí zejména tím, že během dne mají uzavřené průduchy, čímž minimalizují ztráty vody. Otvírají je až v noci, kdy již tyto velké ztráty nehrozí, a ony mohou fixovat CO₂ enzymem PEPc (Procházka et al., 1998). Primárním produktem fixace CO₂ je zde malát, který se začne hromadit ve velkých vakuolách ve formě kyseliny jablečné (Gloser, 1999). Právě zvětšení vakuol, ve kterých se malát může ukládat, bylo jednou z evolučně prvních podmínek, pro vznik CAM rostlin. Uložení kyseliny do vakuol je totiž podle Glosera (1999) nutné, neboť zvýšení kyselosti cytosolu, by mohlo mít za následek vážné ohrožení mnoha enzymů, které se zde nacházejí, a které se více či méně podílejí na celkovém řízení a fungování buňky. Procházka et al. (1998) uvádějí, že ve dne je tento malát z vakuol uvolněn a následně dekarboxylován na pyrohroznovou kyselinu (pyruvát) a CO₂. Vzniklý CO₂ je poté znovu fixován, ovšem tentokrát již v Calvinově cyklu. Toto oddělení obou karboxylací je pro rostlinu velice výhodné a efektivní v mnoha ohledech (Gloser, 1999; Procházka et al., 1998). Zajímavé jsou i tzv. fakultativní CAM rostliny, které dokáží při příznivých vnějších podmínkách dočasně metabolismus typu CAM vypnout a přejít na přijímání a zpracování CO₂ v denní dobu. Díky tomu mohou tyto rostliny podle Glosera (1999) dosahovat vyššího celodenního zisku uhlíku, a tím i rychleji růst.

2.2 Fotosyntéza vodních rostlin

Při vyučování na základních školách se fotosyntéza většinou vysvětluje a demonstruje na vyšších suchozemských (terestrických) rostlinách a výuka fotosyntézy vodních rostlin a její specifika jsou velice často opomíjena. Lze předpokládat, že se tomu tak děje mimo jiné i z důvodu snadnější představitelnosti pro žáky, kteří se se suchozemskými rostlinami setkávají mnohem častěji než s rostlinami vodními. Dále je tato skutečnost některými kantory obhajována tím, že vzhledem k markantní generalizaci tématu fotosyntézy na základních školách, je zbytečné vysvětlovat ji dvakrát u suchozemských a zároveň u vodních rostlin, když rozdíly procesu u těchto dvou skupin spočívají právě v těch detailech, které byly pro zjednodušení tématu vynechány. Další z věcí, která brání některým pedagogům v tom, aby proces fotosyntézy vodních rostlin vyučovali, je fakt, že k tomuto tématu existuje v češtině velice málo literatury, ze které by mohli čerpat (Mouchová, 2022).

Ač by se tedy mohlo jevit, že fotosyntéza vodních rostlin je stejná jako fotosyntéza pozemních rostlin a její výuka je proto zanedbatelná, opak je pravdou. Už jenom vzhledem k diametrálním rozdílům v prostředích, ve kterých se tyto dvě skupiny fotosyntetizujících rostlin nachází, vznikají i velké rozdíly v některých fázích procesu fotosyntézy. Ač je tedy celkový princip fotosyntézy u vodních rostlin stejný jako u terestrických, v mnoha dílčích krocích se velmi liší.

Samotné vymezení pojmu vodní rostlina je do dnešní doby poněkud obtížné a hlavně nejednotné. Obecně jsou nazývány jako hydrofyta a nejjednodušeji bývají popisovány jako rostliny trvale žijící ve vodním prostředí. Nicméně jejich vnímání a vymezení se v historii dynamicky měnilo a nikdy se nestalo ustáleným. Například Raunkiær (1934) popisoval vodní rostliny jako rostliny s vegetativními částmi ponořenými či vznášejícími se na hladině, které mají obnovovací pupeny pod vodou, zatímco Weaver a Clements (1938) považovali za hydrofyta všechny rostliny, které rostou ve vodě, půdě překryté vodou či půdě nasycené vodou. Ani tehdy tedy nepanovala shoda v tom, jak vodní rostliny jednoznačně vymezit a v dnešní době s pokrokem molekulárních metod a výzkumů, kvůli kterým se často mění fylogenetické vztahy a taxonomický systém, je pohled na celou problematiku ještě roztržitější (Preston & Croft, 1997).

Kromě výrazu hydrofyta jsou v kontextu s vodními rostlinami ještě velice často používány termíny jako makrofyta a mikrofyta. Pojem makrofyta nejčastěji označuje vyšší vodní rostliny makroskopického vzhledu, zatímco mikrofyta označují vodní rostliny vzhledu mikroskopického. Ovšem ani vymezení těchto termínů není v dnešní době jednoznačné.

Vodními organismy, které prokazatelně provozují fotosyntézu, jsou sinice, řasy a tzv. vlastní vodní rostliny. Jako vlastní vodní rostliny bývají někdy označovány vodní rostliny vyjma řas, jelikož řasy jsou kvůli svému polyfyletismu náročné na jednoznačné zařazení do systému. V současnosti je skupina řas používaná spíše z historického hlediska, jelikož se jedná o tzv. nepravý (polyfyletický) taxon, ve kterém se nacházejí nepříbuzné druhy, které byly dány dohromady na základě podobnosti morfologických znaků.

Jednobuněčné fotosyntetizující mikroorganismy vyskytující se ve vodním prostředí bývají souhrnně označovány jako tzv. fytoplankton. Patří sem jednobuněčné řasy a sinice. Podle Koblížka a Prášila (2002) se předpokládá, že mořský fytoplankton vyrobí ročně přibližně stejné množství organického uhlíku jako suchozemské rostliny.

Sinice jsou prastará skupina fotoautotrofních gramnegativních bakterií, a nejedná se tedy o rostliny. Existují na naší planetě minimálně 3,5 miliardy let, což víme díky fosilním nálezům z různých koutů světa (Lande, 2021). Vědní obor zabývající se nejen sinicemi ale i řasami se nazývá algologie. Kromě sinic existují i jiné druhy fotosyntetizujících bakterií, které ovšem podle Koblížka a Prášila (2002) při přeměně světelné energie na chemickou neprodukují molekulární kyslík jako vedlejší produkt, a jsou proto označovány jako anoxygenní. Ty po okysličení atmosféry ustoupily do specifických ekologických nik malých rozměrů a dnes je můžeme nalézt například v sirných pramenech, v půdách s nedostatkem kyslíku či ve spodních bezkyslíkatých vrstvách sladkovodních jezer (Koblížek & Prášil, 2002).

Jedněmi z nejvýznamnějších primárních producentů na naší planetě jsou řasy. Jedná se o velice rozmanitou skupinu tradičně řazenou do nižších rostlin. Molekulární výsledky posledních desetiletí nám však ukazují, že pro ni neexistuje společný předek a jedná se tak o tzv. polyfyletický, nebo též nepravý taxon, který vznikl na základě podobných fyziologických znaků a podobného ekologického rozšíření a osídlení specifických biotopů spojeného s příslušnými adaptacemi na tato prostředí (Juráň

& Kaštovský, 2016). Jednotlivé skupiny řas jsou tak v současné době rozmístěny napříč fylogenetickými stromy a s vylepšováním výzkumných metod se bude jejich postavení s největší pravděpodobností ještě měnit. Zatímco některé tedy můžeme považovat za rostliny, jiné nikoliv. Z dnešního pohledu totiž například do říše *Plantae* (rostliny) spadají *Glaucophyta*, zelené (*Chlorophyta*) a červené řasy (*Rhodophyta*), zatímco hnědé řasy neboli chaluhy (*Fucophyceae*) a jiné skupiny tradičně řazené k řasám, nikoliv. Nicméně i přes tyto skutečnosti je uskupení řas často zejména na základních školách vyučováno stejným způsobem jako dříve, tedy že jsou tyto jednotlivé skupiny řas vyučovány dohromady jako jedna skupina a nejsou tak žákům zcela vysvětleny správné příbuzenské vztahy a řádné zařazení do systému (Jurán & Kaštovský, 2016). Právě tato rozpolcenost skupiny řas je jedním z důvodů, proč je otázka vymezení vodních rostlin tak problematická.

Mezi základní fyziologické znaky spojující řasy patří organizace jejich těla na úrovni stélky a schopnost provádět fotosyntézu, kterou měli původně podle Juráně a Kaštovského (2016) všechny řasy, ovšem některé z nich ji v průběhu evoluce ztratili a nahradili ji jiným způsobem výživy.

Různé druhy řas obsahují různá fotosyntetická barviva. Například takové červené řasy (ruduchy) nejčastěji obsahují chlorofyl a + d, β -karoten, modrý fykocianin a červený fykoerytrin (Jelínek & Zicháček, 2014). Díky svému červenému zabarvení mohou tyto řasy růst v mnohem větších hloubkách než ostatní druhy řas. Právě červené fotosyntetické pigmenty jsou svou barvou nejvíce komplementární k modrozelenému spektru světla, které proniká do větší hloubky než ostatní části spektra (jako například červená část spektra, která je absorbována nejdříve), a rostliny tak mohou provádět fotosyntézu a růst až 200 metrů pod hladinou (Laštůvka & Krejčová, 2000).

Další velkou významnou skupinou řas jsou zelené řasy. Asimilačními barvivy jsou u nich většinou chlorofyl a + b, karoteny a různé xantofyly. Jejich chloroplasty rovněž obsahují tzv. pyrenoid, což je bílkovinné tělísko s vysokým obsahem enzymu Rubisco, uplatňujícího se při fixaci CO₂ v Calvinově cyklu (Jelínek & Zicháček, 2014).

Významná skupina řas, co se fotosyntézy týče, jsou rovněž i chaluhy neboli hnědé řasy. Jejich chloroplasty v sobě obsahují chlorofyl a + c, betakaroteny, fukoxantiny a violaxantiny.

Mezi tzv. vlastní vodní rostliny nejčastěji řadíme všechny vodní rostliny vyjma řas. Ovšem vzhledem k úpadku užívání termínů nižší a vyšší rostliny, zapříčiněným již zmiňovanou roztržitostí tradičních skupin, je v dnešní době i toto rozdělení mnohými vědci považováno za zastaralé. Tradičně se jedná o vyšší rostliny, které se přizpůsobily životu ve vodním prostředí, kterými jsou tedy vodní mechorostry, kaprad'orostry, jednoděložné i dvouděložné cévnaté rostliny. Vyskytují se ve stojatých, tekoucích, sladkých i slaných vodách.

Vodní rostliny můžeme dělit několika způsoby. Časté je dělení na druhy submerzní, natantní a emerzní (Holzäpfelová, 2010). Mezi submerzní druhy řadíme takové rostliny, jejichž asimilační orgány jsou přirozeně ponořeny ve vodě. Mohou se buď ve vodě vznášet, nebo být uchyceny kořeněny na dně. Mezi typické zástupce submerzních vznášejících se rostlin patří například vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*), okřehek trojbrázdý (*Lemna trisulca*) nebo růžkatec ponořený (*Ceratophyllum demersum*). Naopak zakořeněnými submerzními rostlinami jsou žebratka bahenní (*Hottonia palustris*) nebo stolístek klasnatý (*Myriophyllum spicatum*).

Dalšími vodními rostlinami jsou rostliny natantní. Jedná se o rostliny jejichž často kruhové či eliptické, nedělené listy plavou na hladině a na rozdíl od rostlin submerzních mají často průduchy. Stejně jako submerzní mají i natantní rostliny speciální rostlinná pletiva nazývaná aerenchym, která jim umožňují vznášení se ve vodním sloupci. Asi nejtypičtějším a mezi širokou veřejností nejznámějším zástupcem natantních vodních rostlin je leknín bílý (*Nymphaea alba*). Dalšími rostlinami, které řadíme mezi natantní jsou například stulík žlutý (*Nuphar lutea*), rdest vzplývavý (*Potamogeton natans*), kotvice plovoucí (*Trapa natans*), vod'anka žabí (*Hydrocharis morsus-ranae*) či lakušník vodní (*Batrachium aquatile*) (Schauer & Caspari, 2010).

Zvláštní skupinou vodních rostlin jsou rostliny emerzní. Jedná se o rostliny, které jsou uzpůsobeny k tomu, aby snášeli vodní deficit v případě snížení vodních stavů. K tomu jim napomáhá vyvinutý systém kořenů. Zakořeněny bývají na dně či v půdě nasycené vodou. Velká část jejich těla většinou vystupuje nad vodní hladinu. Mezi emerzní rostliny řadíme například rákos obecný (*Phragmites australis*), orobinec širokolistý (*Typha latifolia*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*) nebo šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*). Velice problematické je rozlišování toho, zdali se jedná o emerezní vodní

rostlinu, či bahenní rostlinu. Hranice mezi nimi je sporná a mezi jednotlivými vědci nejednotná. Proto bývají některé rostliny označovány jako „vodní a bahenní“ zároveň, či jako „vodní až bahenní“ (Schauer & Caspari, 2010).

Proto, aby mohly rostliny fotosyntetizovat ve vodním prostředí, bylo během evoluce třeba vytvoření celé řady fyziologických, anatomických a biochemických adaptací, rozdílných od těch, které mají rostliny terestrické. Tyto adaptace bývají většinou spojené s kompenzací nedostatku anorganického uhlíku. Faktorem nejvíce limitujícím vodní rostliny z hlediska fotosyntézy je totiž podle Adamce (2003) zejména přítomnost CO_2 , který je ve vodním prostředí méně dostupný. Jeho rozpouštění ve vodě je podle Procházky et al. (1998) doprovázeno hydratací části molekul CO_2 za vzniku kyseliny uhličitě (H_2CO_3), jež disociuje na ionty HCO_3^- a H^+ , čímž dochází ke změně pH vody, která se tak stává kyselejší. Schopnost přijímat uhlík z HCO_3^- , je jednou z nejdůležitějších fyziologických adaptací, která se u ponořených rostlin vyvinula. Koncentrace HCO_3^- je totiž podle Pedersena et al. (2013) často ve slaných a mnoha sladkých vodách výrazně vyšší než koncentrace CO_2 a představuje tak atraktivní alternativu pro rostliny. Kromě přijímání hydrogenuhličitanových iontů a jejich následné katalýzy na CO_2 intercelulárně, si některé vodní rostliny vytvořily mechanismy, za pomoci kterých dokáží provést tuto přeměnu extracelulárně, ještě před přijetím uhlikaté sloučeniny (Procházka et al., 1998).

Dalším důležitým aspektem vodního prostředí je i to, že je zde oproti vzdušnému prostředí mnohem pomalejší rychlost difuze, a to podle Procházky et al. (1998) až o 4 řády (10 000krát), čímž je pro rostliny, jejichž listy jsou ponořeny pod vodní hladinou, silně ztížena absorpce uhlikatých sloučenin. Jednou z adaptací, spojených s příjmem uhlikatých sloučenin, je i životní strategie některých vodních rostlin, jež spočívá v jejich zvýšeném výskytu na místech, kde se nachází více CO_2 , například v důsledku zvýšené aktivity chemotrofních organismů (Procházka et al., 1998).

Dalším limitujícím faktorem pro vodní rostliny je přísun slunečního světla, jakožto energie. Světlo se totiž ve vodním prostředí hůře šíří a v případě hlubokých nádrží nemusí dosahovat do všech vrstev vodního sloupce. Největší hloubkou, kam může světlo ve vodním sloupci dosáhnout, je cca 200 metrů. Tato hranice však závisí na mnoha faktorech, kterými jsou například průhlednost vody, či úhel dopadu slunečních paprsků na vodní hladinu. Horní dobře prosvětlená vrstva, ve které probíhá

fotosyntéza, bývá nazývána jako eufotická zóna, zatímco pod ní se nachází zóna afotická, ve které již fotosyntéza neprobíhá v důsledku nedostatku slunečního svitu (Laštůvka & Krejčová, 2000). Nároky na intenzitu světla jsou však samozřejmě pro každý druh rostlin různé, a proto nemůže být hranice těchto zón nikde pevně stanovena.

Další z důležitých potřeb, které musejí vodní rostliny naplnit, je přítomnost minerálních látek, které mohou rostliny využívat. Na rozdíl od terestrických rostlin mají vodní rostliny tu výhodu, že nejsou limitovány množstvím vody, ve které jsou tyto látky rozpuštěny. Naopak velkým problémem bývá pro vodní rostliny nadbytek těchto minerálních látek, který bývá často spojen s vysokou eutrofizací (obohacování vody o živiny) způsobenou v dnešní době především lidskou činností (Pokorný, 2014). Jedná se například o eutrofizaci způsobenou splachem zemědělských hnojiv při deštích nebo vypouštěním odpadní vody z kanalizací do vodních toků. Kvůli této eutrofizaci dochází k častému přemnožení sinic a jiných bakterií, které mohou na hladině vytvářet tzv. vodní květ, což vede hned k několika život ohrožujícím problémům pro vodní rostliny. Výrazné přemnožení těchto mikroorganismů totiž může způsobit nedostatek přístupu světla, pro níže položené rostliny, které tak přicházejí o zdroj energie potřebné k životu. Dalším problémem mohou být různé toxiny, které tyto mikroorganismy produkují, a které jsou ve zvýšené míře pro rostliny škodlivé či dokonce smrtící. Pro některé rostliny ve vodních nádržích může být přemnožení sinic rovněž fatální i kvůli prudkým změnám pH, které jsou s tím spojené (Pokorný, 2014).

2.3 Miskoncepce žákovských znalostí o fotosyntéze

Fotosyntéza bývá často považována za jedno z nejnáročnějších témat, se kterým se žáci na základních školách setkají (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Toto téma však není náročné pouze pro žáky na pochopení, ale podle dotazníkových šetření rovněž i pro pedagogy, kteří toto téma vyučují, z hlediska vysvětlování (Příbyl, 2021). Z těchto důvodů je výuka fotosyntézy nejen na základních školách velice problematická a stává se často předmětem diskusí.

Jelikož je téma fotosyntézy velice náročné a faktograficky rozsáhlé, a pro jeho jasné a plné pochopení je podle Salterové et al. (2008) třeba dobře vyvinuté abstraktní myšlení, tak i přes značnou generalizaci celé problematiky při výuce na základních

školách vznikají u žáků často tzv. miskoncepce. Miskoncepce jdou podle Čipkové et al. (2017) jednoduše popsat jako mylné představy vznikající chybným pochopením pojmů a konceptů, čímž dochází k rozporu s aktuálně přijímanými vědeckými teoriemi. Miskoncepce jsou podle Michaela (2002) u žáků poměrně časté a jedná se o jeden z hlavních faktorů, který velmi negativně ovlivňuje jejich schopnost dosažení vyššího stupně znalostí a orientace v daném tématu, kvůli dalekosáhlosti zkreslení chybnými konstrukty, které si žáci mezi koncepty a pojmy vytvoří. Tím dojde ke znemožnění správného osvojení si navazujících znalostí, které je podmíněno náležitým pochopením základnějších pojmů a konceptů v daném oboru. Velkým problémem miskoncepce je podle Čipkové et al. (2017), to že jejich vytvoření je u žáků poměrně jednoduché, a naopak bývá mnohdy velice náročné se jich zbavit, či zamezit tomu, aby se vytvářely. Vytváření miskoncepce u žáků je totiž podmíněno nejen výkladem a výukou ve škole, ale i například každodenními životními zkušenostmi mimo školu, kombinací nových a starších naučených konceptů či uvažování o neznámých konceptech v analogii se známými koncepty (Čipková et al., 2017). Vytváření nových miskoncepce tedy ovlivňuje celá řada proměnných a jejich vzájemné působení a vztahy. Čím vyšší je počet těchto proměnných, tím se podle Leonardové et al. (2014) zvyšuje i obtížnost předcházení vytváření nežádoucích myšlenkových konstruktů, které ke vzniku nových miskoncepce vedou. K jejich vzniku mohou podle Hershey (2005) vést i některé učebnice, knihy, vzdělávací weby a vědecké projekty, ve kterých se nezdálo náhodou nacházejí zavádějící či dokonce mylné informace. Pro učitele je tedy důležité dobře znát celou problematiku fotosyntézy, aby mohl žákům předkládat pouze takové zdroje informací, které jsou v ohledu správnosti nezávadné.

Podle Čipkové et al. (2017) jsou při překonávání žákovských miskoncepce méně účinné běžné formy vyučování jako například výklad či práce s textem. Z těchto důvodů je potřeba aby pedagogové, pokud možno věnovali výuce fotosyntézy zvýšenou pozornost a sami se pokusili nalézt konkrétní způsoby výuky, díky kterým by mohli vytváření miskoncepce u svých žáků předcházet. Například Vágnerová et al. (2019) za tímto účelem doporučují při výuce využívání videí a animací nejčastěji dostupných z internetových portálů. Využívání technických zařízení při výuce fotosyntézy rovněž doporučují i Keleş a Kefeli (2010), kteří dokonce navrhuje, aby byli pedagogové v těchto věcech pravidelně školeni. Podle nich by tak mělo dojít ke zkvalitnění a zvýšení efektivity celé výuky přírodopisu. Čipková et al. (2017) zase

tvrdí, že lepších výsledků můžeme rovněž dosáhnout za pomoci využití badatelsky orientovaného vyučování. Keleş a Kefeli (2010) ve své práci doporučují, aby se učitelé pokoušeli miskoncepce u žáků podchytit a vyvrátit co možná nejdříve. Čím déle totiž u žáků tyto mylné představy přetrvávají, tím náročnější bývá jejich odstraňování. Další z metod, kterou jde při výuce využít, a která by měla pomoci žákům k lepšímu pochopení tématu fotosyntézy a tím pádem i k předejití vytváření nových miskonceptí, je podle Vikströmové (2008) hojné využívání metafor. Ty podle ní mohou vést k lepšímu zafixování tématu u žáků. Sama autorka ovšem dodává, že jejich užívání by mělo být dobře promyšleno, jinak by tyto metafory mohly fungovat kontraproduktivně a vytváření nových mylných představ spíše podporovat.

Výzkumů a prací zabývajících se miskoncepce u žáků základních škol a týkajících se tématu fotosyntézy rostlin byla vypracována celá řada (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). V těchto různých výzkumech provedených na různých vzorcích žáků z různých škol byly mnohdy pozorovány opakující se miskoncepce, z nichž některé se logicky opakovaly častěji (Hershey, 2005). Právě četnost jejich výskytu nám tak dává možnost určit a dále pracovat právě s těmi konkrétními tématy, která jsou pro žáky nejvíce problematická a zavádějící, a která tak nejčastěji vedou k vytvoření miskonceptí (Keleş & Kefeli, 2010).

Jednou z nejčastějších miskonceptí, která se u žáků objevuje je podle Švandové (2013) ta, že fotosyntéza a dýchání rostlin jsou jedním a tím samým procesem, lišícím se dobou provedení v rámci dne, kdy se podle této mylné představy fotosyntéza odehrává pouze za denního světla a dýchání pouze v noci. Švandová (2013) dále v práci uvádí, že tato miskoncepce se stává s postupujícím ročníkem zřetelnější. Žáci totiž časem zapomínají například i na to, že tyto procesy probíhají v různých organelách buňky a nedojde jim, že se tak logicky nemůže jednat o jeden a ten samý proces. Podle Švandové (2013) se tak děje i kvůli tomu, že učitelé při výuce zapisují rovnici obou procesů stejně, pouze se změněným směrem reakce, a následně dostatečně nezdůrazní, že oba procesy probíhají v různých organelách a za působení jiných látek. Žáci si tak rovněž mnohdy neuvědomují, že dýchání u rostlin probíhá neustále. Tuto miskoncepti si podle Čipkové et al. (2017) žáci mnohdy vytvářejí již na základní škole a přetrvává u nich někdy i na střední škole. Problémem je, že kvůli nízkému věku a s tím spojeným nedostatečně vyvinutým abstraktním myšlením, nedokáží žáci na základní škole pochopit, že ač jsou fotosyntéza a dýchání na jednoduché biochemické úrovni procesy

opačné, tak na globální úrovni lze jejich vztah popsat spíše jako komplementární (Brown & Schwartz, 2009). Podle Köseho (2008) se tak děje zejména kvůli tomu, že žáci často nevnímají fotosyntézu a respiraci jako komplexní děje, ale pouze jako procesy, jejichž jedinou úlohou je výměna plynů mezi rostlinou a jejím okolím. Keleş a Kefeli (2010) ve své práci zjistili, že pro mnoho žáků, které zkoumali, bylo velkým problémem si uvědomit, že fotosyntéza i dýchání se mohou odehrávat ve stejnou dobu.

Jako jednu z hojně rozšířených mylných představ u žáků na základních školách podobnou předešlé uvedené miskoncepci uvádí Köse (2008) tu, že fotosyntéza je v podstatě jen označení pro dýchání u rostlin a podle žáků se tak jedná o pouhá synonyma. Žáci si tuto miskoncepci vytvářejí zejména kvůli tomu, že hledají analogii mezi procesy, které znají u sebe, jakožto u lidí, s procesy probíhajícími u rostlin, jejichž životní děje jsou pro ně hůře pochopitelné a představitelné. Tuto žakovskou miskoncepci sledovali ve své práci například i Keleş a Kefeli (2010), u nichž se projevovala tím způsobem, že se někteří zkoumaní žáci domnívali a při výzkumných rozhovorech uvedli, že rostliny neprovádějí vůbec žádné dýchání ale pouze fotosyntézu.

Další často rozšířenou miskoncepcí je ta, že hlavním důvodem, kvůli kterému rostliny fotosyntézu provádějí je ten, aby vytvořily kyslík (Pazourová, 2011). Ač je samozřejmě produkce kyslíku pro život na Zemi tak jak ho známe velice významná, nejedná se o hlavní produkt, který se snaží rostliny v procesu fotosyntézy vytvořit. Žáci však většinou v dotazníkových šetřeních zmíní kyslík jakožto hlavní produkt fotosyntézy a zbytek buď považují za méně významný, nebo si ani neuvědomí, že něco dalšího vůbec vznikne (Švandová, 2013). Uvědomění si toho, že rostliny v procesu fotosyntézy vytvářejí organické látky jim dělá problém i přes to, že v drtivé většině případů mají k dispozici zapsanou rovnici fotosyntézy, ze které je tento fakt jasně patrný. Problémem však je, že velká část žáků se sice rovnici fotosyntézy naučí, ovšem dále se nezamýšlejí nad jejím významem a nedají si tak celý děj do souvislostí.

Častou mylnou představou u žáků je ta, že fotosyntéza probíhá pouze ve dne, za slunečního svitu (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Toto tvrzení je chybné, jelikož pouze světelná fáze fotosyntézy probíhá za přítomnosti světla, zatímco temnostní fáze může probíhat i za tmy. S tímto tvrzením ovšem přichází další problém, jelikož mnoho žáků si na základě tohoto tvrzení velice často vsugeruje, že temnostní

fáze probíhá pouze v noci za tmy, což není pravda (Keleş & Kefeli, 2010). To, že temnostní fáze není závislá na světle totiž znamená, že světlo nemusí v jejím průběhu být přítomno, ale může. To ovšem může být na některé žáky již moc složité a oni si místo toho zapamatují, že světelná fáze se odehrává pouze za světla a temnostní pouze za tmy. Vytvoření této miskoncepce pomáhá i zavádějící název obou fází. Právě název temnostní fáze totiž v žácích velice často evokuje, že se děj odehrává pouze v noci. Tomu nahrává i kontrast se světelnou fází, která se opravdu odehrává pouze za přítomnosti světla. Dále této miskoncepti přispívá i skutečnost, že pro žáky na základních školách je často složité si uvědomit, že ač se v obou případech jedná o fáze fotosyntézy, tak obě mohou probíhat najednou. V tom by měl žákům napovědět i fakt, že obě tyto fáze se odehrávají na různých místech v chloroplastu. Tomu, aby tedy působily najednou nic nebrání. A ačkoliv si jsou žáci velmi často vědomi faktu, že se oba děje odehrávají jinde, nejsou si mnohdy schopni tuto skutečnost spojit.

Také žáci nejsou velice často schopni uvést, jakým způsobem jsou rostliny vyživovány. Velmi častou miskonceptí podle Čipkové et al. (2017) je ta, že rostliny získávají potravu z půdy. Rostliny sice opravdu čerpají látky kořenovým systémem z půdy, ovšem jedná se o látky anorganické, u kterých nemůžeme mluvit o tom, že by se jednalo o rostlinnou potravu. Rostlina je totiž živena až organickými látkami, které si sama vytvoří v průběhu fotosyntézy. Podle Köseho (2008) však velká část žáků v dotazníkových šetřeních častěji zvolí právě možnost, že rostliny získávají potravu právě z již zmíněné půdy. Častou variací této odpovědi je ta, že potravou pro rostlinu je voda. Právě ve vodě jsou totiž rozpuštěny anorganické látky, které žáci mylně považují za rostlinnou potravu. Dále jsou časté i jiné miskoncepce související s výživou rostlin. Někteří žáci se totiž domnívají, že pro rostlinu je potravou oxid uhličitý či dokonce sluneční záření. Ač jsou všechny tyto zdroje pro rostlinu nepostradatelné, opravdu se nejedná o rostlinnou potravu.

Dalšími často rozšířenými miskoncepty u žáků na základní škole jsou například ty, že rostliny vůbec nedýchají či že dýchání u nich probíhá pouze v buňkách listů (Yenilmez & Tekkaya, 2006). Další celou řadu miskonceptí uvádí ve své práci například Köse (2008) či Keleş a Kefeli (2010). Jejich výskyt však již není tak častý jako u předchozích popsaných miskonceptí, které jsou nejrozšířenější a nejproblematictější. Kromě nich se ještě objevuje celá řada různých variací na tyto miskoncepce, díky čemuž je celá problematika ještě složitější a náročnější

na podchycení a následné zpracování, které by mělo vést k zamezení vzniku nových mylných představ a vyvrácení těch starých.

Přestože žáci většinou znají a dokáží vyjmenovat zdroje, které rostlina potřebuje, tak velice často nejsou schopni uvést, k čemu přesně jsou třeba a jak konkrétně se v procesu fotosyntézy uplatňují. Dále jim podle Švandové (2013) také velice často chybí ucelená představa a hlubší znalosti o celém procesu fotosyntézy, v důsledku nízkého věku, ve kterém se toto téma vyučuje. Tyto faktory jsou podle Köseho (2008) jedněmi z hlavních důvodů, kvůli kterým jsou u žáků miskoncepce týkající se fotosyntézy tak moc rozšířené.

2.4 Výukové metody přírodovědných předmětů

V přírodopisu stejně jako ve všech ostatních vyučovaných předmětech, je úkolem pedagoga vytvoření výukových cílů, kterých chce během výuky dosáhnout. Abychom mohli během výuky dosáhnout výukových cílů, je třeba využívání tzv. výukových metod. Pojmeme výukové metody podle Zormanové (2012) rozumíme určité prostředky, postupy a návody využívané během výuky, pomocí kterých chceme dosáhnout výukových cílů. Červenková (2013) výukové metody popisuje jako řízený systém činností pedagoga vedoucí žáka k dosažení výukových cílů, které učitel před výukou vytyčí. Poněkud stručněji definují výukovou metodu Kalhous a Obst (2002), kteří ji přirovnávají k cestě, která vede k výukovému cíli. Ostatně právě přirovnání výukové metody k cestě je podle Skalkové (2007) u autorů zabývajících se touto problematikou velice časté, jelikož již samotné slovo metoda pochází z řeckého slova „*Methodos*“, jež lze přeložit právě jakožto cestu či postup.

Skalková (2007) uvádí, že výukové metody procházeli dlouhým historickým vývojem a jejich změny byly zapříčiněny společensko – historickými podmínkami vyučování, charakterem školních institucí a pojetími vyučovacích procesů v daných obdobích. Podle Červenkové (2013) je studium výukových metod značně náročné, kvůli neexistenci jednotné ustálené klasifikace. Velmi rozšířenou klasifikací výukových metod v České republice byla klasifikace podle Maňáka (1990). Maňák (1990) rozdělil výukové metody na metody slovní, názorně – demonstrační a praktické. V souladu s novými kurikulárními trendy však musela být podle Červenkové (2013) tato klasifikace předělána a byla tak vytvořena nová klasifikace podle Maňáka a Švece (2003). Maňák a Švec (2003) rozdělily výukové metody na metody klasické,

aktivizující a komplexní podle stupňující se složitosti edukačních vazeb mezi pedagogem a žákem (Červenková, 2013). Do metod klasických řadíme metody slovní, jakými je například vyprávění, vysvětlování či přednáška. Následně do klasických metod podle Maňáka a Švece (2003) řadíme ještě metody názorně – demonstrační a dovednostně – praktické. Názorně – demonstračními metodami může být například předvádění a pozorování či instruktáž. Mezi metody dovednostně – praktické řadíme napodobování, manipulování, laborování a experimentování. Aktivizující metody podle Maňáka a Švece (2003) můžeme rozdělit na metody diskusní, situační, inscenační, heuristické a didaktické hry. Poslední kategorií v této klasifikaci jsou tzv. komplexní – výukové metody. Mezi ně Maňák a Švec (2003) řadí například frontální výuku, skupinovou výuku, partnerskou výuku, brainstorming, otevřené myšlení, učení dramatem, kritické myšlení a další.

Skalková (2007) ve své publikaci uvádí, že působení výukových metod nemůžeme vnímat izolovaně, jelikož mnohdy jich působí více najednou a významně se vzájemně ovlivňují. Podle Pavlasové (2014) je při výběru výukových metod vhodné upřednostňovat takové metody, kde mají žáci aktivní roli, jelikož efektivita výukové metody stoupá s podílem aktivního zapojení žáků při výuce. Nejrozšířenějšími metodami, které jsou při výuce přírodopisu využívány jsou podle Pavlasové (2014) výklad, vysvětlování, přednáška, vyprávění, popis, instruktáž, demonstrace, pokus, rozhovor, diskuse, práce s textem, metoda práce s informačními technologiemi, didaktická hra, prezentace žákovských prací, vytváření portfolií, brainstorming a mentální pojmové mapy.

2.5 Význam experimentálních úloh při výuce

Jednou z metod, která se při výuce přírodopisu dá využít, je experiment. Experiment nebo pokus, lze obecně popsat jako metodu vědeckého poznání často sloužící k potvrzení či vyvrácení teorie, při níž se jevy zkoumají za kontrolovaných podmínek (Šimik, 2011). Osobu, která experiment provádí, označujeme jako experimentátora. Od pozorování se experiment liší tím, že při něm dochází k manipulování s podmínkami jinak též nazývanými jako proměnné či faktory. Experiment provozovaný ve školním prostředí bývá též nazývaný jako tzv. školní experiment. Ten je součástí tzv. badatelsky orientované výuky, jejíž využívání se podle Dostála (2013) stalo již před lety mezinárodně významným trendem v pedagogice a v současné době

se využívání badatelských aktivit při výuce těší velké oblibě. Bádání popisuje Anderson (2002) jako aktivitu, při které se žáci aktivně zapojují do procesu vlastního vzdělávání, jelikož při něm formulují výzkumné otázky, jež následně ověřují. Dostál (2014) se domnívá, že školní experiment je nejvhodnějším nástrojem ve výuce sloužící k propojování teoretických znalostí s praktickými dovednostmi.

Školní experiment mohou provádět buďto žáci nebo samotný pedagog a slouží k ověřování teoretických pouček v praxi (Pavlasová, 2014). Červenková (2013) popisuje školní experiment jako pokus, při kterém žáci provádějí pozorování určitého jevu a jehož průběh a výsledné hodnoty si zaznamenávají a dále je poté analyzují, či jinak zpracovávají. Podle Pavlasové (2014) je pro zvýšení efektivity školního experimentu žádoucí, aby byl kvůli aktivizaci žáků pokus prováděn spíše samotnými žáky než učitelem. Dostál (2014) uvádí, že užívání experimentů při výuce přírodopisu umožňuje žákům seznámení se se základními praktickými postupy a metodami, které jsou užívány při vědeckých zkoumáních, což může podnítit jejich zájem o tento obor. Šimik (2011) však varuje, že by se to se zařazováním experimentálních úloh do výuky nemělo přehánět, neboť by mohlo dojít ke zcela opačnému efektu a žáci by naopak mohli ztratit zájem o další rozvíjení znalostí v daném oboru. Podle Červenkové (2013) by mělo být zastoupení jednotlivých metod pokud možno rovnoměrné, jelikož právě různorodost výuky by měla udržet pozornost žáků.

Míra náročnosti školních pokusů by se kromě tematického plánu měla odvíjet i podle věku žáků. V nižších ročnících bychom měli volit jednodušší a kratší dobu trvající pokusy vzhledem k náročnosti udržení pozornosti u mladších žáků. Naopak ve vyšších ročnících můžeme již zařadit náročnější a déle trvající experimenty. Zařazení déle trvajících pokusů ve vyšších ročnících je podle Pavlasové (2014) logické i vzhledem k faktu, že starší žáci mívají výuku ve školních laboratořích a jiných specializovaných učebnách častěji než žáci nižších ročníků. Právě laboratoře jsou k provádění obecně i časově náročnějších pokusů vhodnější než běžné třídy. Kromě běžných učeben, laboratoří a specializovaných učeben je možné provádět experimentální úlohy i ve venkovním prostředí. Venkovní prostředí můžeme volit buďto na školním pozemku v blízkosti školy či jinde mimo pozemek školy. Školní pozemek (zahrada) má tu výhodu, že je časově dostupnější a přenesení pomůcek využívaných k experimentu uložených ve škole je rovněž snazší. Ať už se učitel rozhodne zvolit místo k experimentu jakékoliv, vždy by ho měl vybírat vzhledem k charakteru celého

pokusu. Pokud se jedná o přírodovědné experimenty související s jevy v přírodě, je vždy lepší, pokusy demonstrovat přímo v terénu, kde se přirozeně odehrávají. Dostál (2014) uvádí, že právě vhodné zařazení experimentálních úloh, ať už prostorové či tematické, je pro efektivitu školních pokusů tím nejdůležitějším aspektem.

Zařazování experimentálních úloh do výuky přírodopisu je v současné době na vzestupu, ale i přes značnou popularitu s sebou nese i několik problémů. Červenková (2013) například uvádí, že ačkoliv jsou školní pokusy žáky často přijímané jako atraktivní a zábavná forma výuky, tak se velice často stává, že žáci následně nejsou schopni uvést principy na základě kterých experiment funguje a ani důvody kvůli kterým celý pokus prováděli a co se tím snažili dokázat. Proto je důležité, aby si učitel vždy pevně stanovil cíl celého experimentu a vysvětlil žákům na základě čeho celý experiment funguje a jaký má smysl. K tomuto poučení žáků by mělo dojít minimálně před experimentem, aby žáci vůbec věděli, co mají dělat, ale v ideálním případě i po něm formou shrnutí celé problematiky. Pedagog by měl rovněž prověřit, zda žáci rozumí tomu, proč celý experiment prováděli a na jakém principu fungoval. Toho může učitel dosáhnout například formou zařazení otázek týkajících se daného experimentu do testu, kterým prověří znalosti žáků.

Aby došlo k co možná největší eliminaci nežádoucích vlivů při školním experimentu, je dobré dodržování několika pravidel. Podle Dostála (2014) jsou těmito nejdůležitějšími pravidly ty, že školní pokus by měl být bezpečný, jednoduchý na přípravu, časově nenáročný, didakticky zdůvodněný, měl by mít jednoznačný výsledek a měl by být co možná nejskromnější na potřebné vybavení. Důležitými podmínkami dobře provedeného školního experimentu jsou ty, že experiment by měl být před samotnou realizací vždy dopředu pečlivě vyzkoušen učitelem a žáci by měli být vždy řádně poučeni o bezpečnostních rizicích, které s sebou experiment může nést (Dostál, 2014).

3. Metodika práce

Výzkum prováděný v rámci této bakalářské práce probíhal v roce 2022/2023 v rámci projektu s označením *TL 05000150: Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině*. Projekt vznikl s podporou Technologické agentury České republiky (TA ČR). Všechny materiály (experimentální úloha, pretesty a posttesty), které byly k výzkumu využívány, byly vytvořeny a dodány autory tohoto projektu. Práce tak navazuje na výzkum Brčákové (2022). Výzkum byl zaměřen na testování žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy, a zejména pak v oblasti fotosyntézy vodních rostlin.

Byly položeny dvě hlavní výzkumné otázky:

1. Může realizace experimentálních úloh při výuce vést ke zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy a k odstranění miskoncepí, které jsou s fotosyntézou spjaty?
2. Má tento typ výuky vliv na atraktivitu výuky pro žáky?

3.1 Výzkumný soubor

Výzkum byl proveden na třech různých základních školách v Českých Budějovicích. Jednalo se vždy o školy běžného typu. Testováni byli žáci devátých tříd, kdy každá z těchto tříd se nacházela na jiné základní škole. Celkem se výzkumu zúčastnilo 67 žáků. Z toho 36 chlapců a 31 dívek. Časová dotace na provedení výzkumu v každé třídě byla stanovena na dvě vyučovací hodiny.

K ověření žákovských znalostí bylo využito metody pretest a posttest (testy uvedeny jako Přílohy 2 a 3). Pretest žáci vyplnili před provedením samotné výuky a posttest naopak po provedení výuky. Obsah pretestů a posttestů byl stejný s tím rozdílem, že posttesty navíc obsahovali ještě část, ve které žáci hodnotili atraktivitu provedené výuky a dále i atraktivitu jiných typů výuky. Celkem bylo možné v pretestu i posttestu dosáhnout 15 bodů. Hodnocení výuky v posttestech se do tohoto bodového součtu nepočítalo. Kromě pretestů a posttestů žáci během výzkumu pracovali ještě s pracovním listem, který si lze prohlédnout v Příloze 1. Celý výzkum byl zcela anonymní a žáci pouze uváděli svá pohlaví.

3.2 Testování experimentální úlohy

Byla testována jedna experimentální úloha s obměnou dle Brčákové (2022). Před samotnou výukou byly dvě plastové láhve naplněny odstátou vodou. Do jedné z těchto láhví se kromě samotné vody přidala ještě akvarijní rostlina. Ve všech třech případech byla jako vodní rostlina použita *Eloдея canadensis* (vodní mor kanadský). Následně byly obě tyto láhve osvětleny lampou, a to na dobu ne kratší než 40 minut. Poté mohly být láhve využity k výuce.

Na začátku samotné výuky byly žákům rozdány pretesty, obsahující 8 otázek, z nichž většina měla otevřenou variantu odpovědi (Příloha 2). Časový limit, který měli žáci na vyplnění pretestu, nebyl stanoven a počkalo se, až všichni dopíší. Tento čas však ani v jedné třídě nepřekročil 15 minut. Poté byly pretesty od žáků vybrány a místo nich rozdány pracovní listy, se kterými žáci během výuky pracovali. V těchto pracovních listech se nacházely všechny informace s pokyny, které žáci potřebovali. Ač by tedy žáci mohli vyplňovat listy každý sám za sebe po celou dobu, ve skutečnosti byla práce s pracovním listem prokládána diskusí. Žáci totiž vždy po vyplnění otázky nahlas přečetli co do pracovního listu napsali a jak si chtějí případně svou odpověď obhájit. Z časových důvodů se samozřejmě nešlo věnovat každému žákovi jednotlivě, a tak měla tato diskuse spíše formu brainstormingu.

Na začátku pracovních listů se nachází popis dvou již zmiňovaných lahví, které jsme ponechali dostatečně dlouhou dobu na světle. Tyto lahve se rovněž nacházely ve třídě, kde si je žáci mohli prohlédnout. Z důvodu průběhu fotosyntézy v láhvi s akvarijní rostlinou, se uvnitř vody v ní vytvořily vzduchové bublinky. Žáci však informaci, že se tyto bublinky vytvořily právě kvůli průběhu fotosyntézy, neměli v textu uvedenou a museli tak každý sám za sebe odpovědět na otázku, jak tyto bublinky vznikly. Poté co žáci individuálně zapsali své domněnky do pracovního listu, byla jim sdělena správná odpověď a nastala kolektivní debata o tom, co to vlastně fotosyntéza je. Tato debata měla nejčastěji formu brainstormingu a následně i výkladu ze strany učitele, který žákům případně doplnil nejdůležitější informace o fotosyntéze, které žáci nezmínili. Poté následovala úloha, při které si žáci měli zkusit navrhnout vlastní pokus, kterým by ověřili, že v láhvi s vodou fotosyntéza opravdu probíhá, za přítomnosti pomůcek, které měli v pracovním listu vypsány. Kromě již zmíněných lahví zde byl uveden ještě přístroj na měření pH a O₂ a neprůsvitná látka na zakrytí. Následně opět

žáci sdělovali své návrhy, které byly učitelem následně komentovány, zdali by tyto navržené pokusy opravdu fungovali či nikoliv.

Po návrhu pokusů následovalo samotné měření s pomocí přístroje. Na všech třech školách byl využit měřicí přístroj MFD 79 od společnosti INSA. Při výuce se konkrétně požívala jeho dvě čidla, kdy jedno sloužilo k měření množství rozpuštěného O_2 ve vodě a druhé čidlo k měření pH vody. Tímto přístrojem byly vybranými žáky naměřeny příslušné hodnoty v lahvích. Ty byly poté zaznamenány učitelem na tabuli, odkud si je žáci poznamenali do svých pracovních listů, aby s nimi byli schopni dále pracovat. Vzhledem k časové náročnosti a přítomnosti pouze jednoho přístroje musela být užitá právě ta varianta, při které budou žáci pracovat se stejnými hodnotami. Další variantou, ke které však nebyly prostředky, je ta, že by žáci pracovali v menších skupinkách a v nich by si každá z nich naměřila své vlastní hodnoty. Nicméně první varianta je časově výhodnější i vzhledem ke sjednocení hodnot, které jsou využívány k výpočtům, se kterými se během výuky pracuje. Rozdílnost hodnot by totiž vedla i k rozdílným výsledkům těchto výpočtů a pro učitele by tak vzhledem k jejich náročnosti bylo velmi časově náročné věnovat se žákům jednotlivě, tak aby je každý z nich pochopil a společný postup se stejnými hodnotami se tak jeví vzhledem k časové tísní jako mnohem výhodnější.

Po zrealizování měření měli žáci podle společně naměřených hodnot odvodit a popsat, jaký je mezi těmito hodnotami dvou lahví rozdíl, čímž i zjistí, jaký vliv na ně působení fotosyntézy má. Kromě toho si měli žáci v této části také vzpomenout a zaznamenat si základní chemický vzorec fotosyntézy. Vzorec byl následně rovněž zapsán učitelem na tabuli, kvůli potřebě jeho znalosti k dalším úlohám.

Následovala část, při které se pomocí společně naměřených hodnot mělo vypočítat několik údajů. Konkrétně měli žáci vypočítat, kolik kyslíku vodní rostlina vytvořila, kolik své biomasy vytvořila a kolik sluneční energie se do ní navázalo. Původně byly tyto příklady koncipovány tak, že se žáci pokusí příklady vypočítat sami a následně si je projdou s učitelem. Vzhledem k vysoké náročnosti, kterou tyto příklady pro žáky představovali, však muselo dojít k tomu, že se tyto příklady ve všech třech zkoumaných třídách počítali společně s učitelem na tabuli. Po spočítání těchto příkladů si měli žáci alespoň sami za sebe napsat odpovědi a opět několik z nich mělo vysvětlit, co dané výsledky představují a co znamenají.

Kromě měření lahví s vodní rostlinou a bez rostliny byl součástí výuky i další experiment, během kterého měl vybraný žák za úkol foukat brčkem do láhve s čerstvě napuštěnou kohoutkovou vodou. Po dostatečně dlouhé době byly hodnoty pH a O_2 srovnány s hodnotami naměřenými před foukáním. Žáci měli následně okomentovat tyto hodnoty a říct, proč si myslí, že k nějaké změně došlo. Poté byl ve všech třech příkladech nutný ještě doplňující výklad učitele, jelikož žáci nebyly ani v jednom případě schopni komplexně popsat, proč ke změnám těchto hodnot dochází.

Poté následovali ještě tři teoretické otázky, na které si žáci opět odpověděli sami a následně odpovědi hromadně konzultovali s učitelem. Za první se jednalo o otázku, zdali dýchají vodní rostliny a pokud ano, tak v jakou denní dobu. Za druhé zde byla otázka ptající se na další procesy kromě dýchání, kterými mohou rostliny ovlivnit množství O_2 a CO_2 ve vodě a jak to souvisí s pH vody. Posledním úkolem v pracovním listu bylo napsat, jaký význam mají vodní rostliny pro život ve vodním prostředí.

Poté co byla ukončena práce s pracovními listy, byly listy od žáků vybrány a žáci na závěr dostali za úkol individuálně vyplnit posttesty. Posttesty je možné si prohlédnout v Příloze 3. Kromě teoretických otázek, které se shodovaly s těmi v pretestech, se v nich nacházela rovněž i hodnotící část, ve které bylo jejich úkolem posoudit výuku, kterou právě absolvovali a následně ohodnotit i jiné typy výuky za pomoci hodnotící škály. Po jejich vyplnění, které rovněž jako pretesty nepřekročilo v žádné ze zkoumaných tříd čtvrt hodiny, byly tyto posttesty vybrány. Tím byla výuka ukončena.

3.3 Použité statistické metody

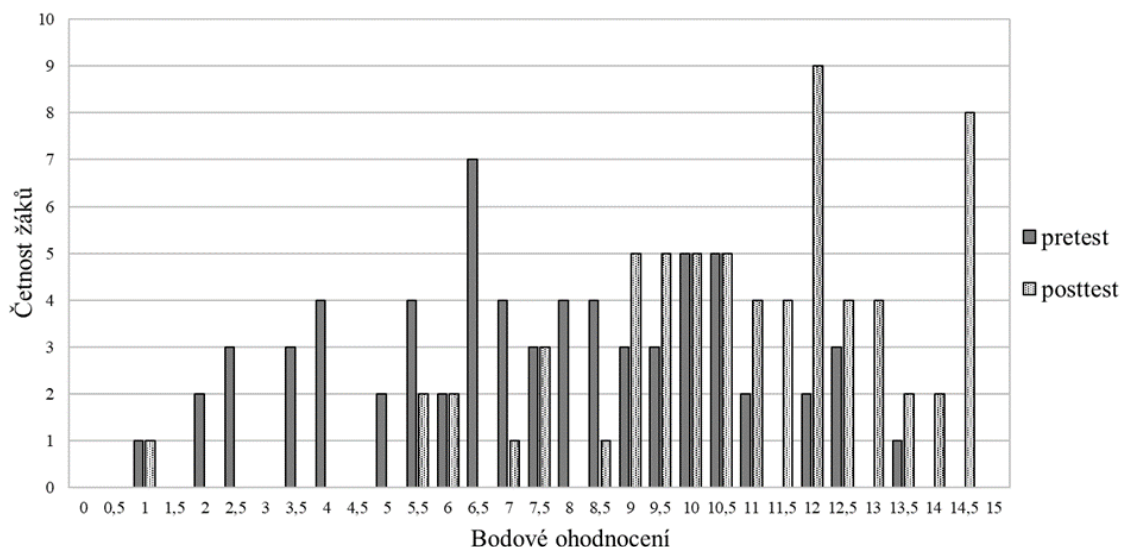
K vyhodnocení zjištěných výsledků bylo využito dvou statistických metod v programu RStudio. Konkrétně se jednalo o dvouvýběrový, nepárový jednostranný Welschův t-test, který je variantou Studentova t-testu a statistický test ANOVA. Welschův t-test byl zvolen, jelikož kvůli anonymitě pretestů a posttestů je nejsme schopni přiřadit ke konkrétnímu žákovi. Z tohoto důvodu nemůžeme například použít párový t-test, který se většinou k porovnávání pretestů a posttestů v rámci jedné skupiny používá, jelikož v tomto případě bychom potřebovali mít u sebe přiřazený pretest a posttest od každého konkrétního žáka. Jednostranná varianta t-testu byla zvolena na základě předpokladu, že žáci v posttestu dosáhnou lepších výsledků.

4. Výsledky

4.1 Celkové hodnocení

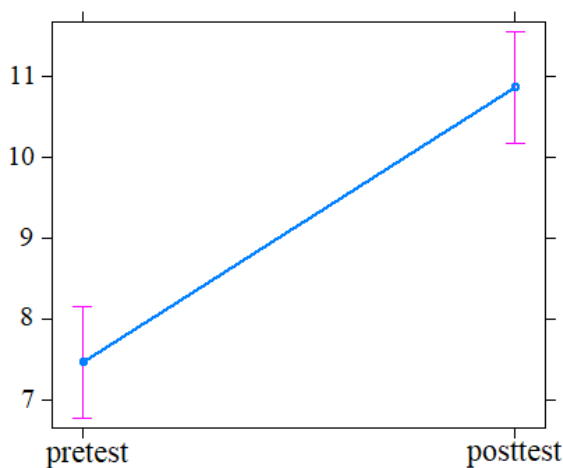
Celkem se výzkumu zúčastnilo 67 žáků. Z toho 36 chlapců a 31 dívek. K vyhodnocení dat byly využity dvě statistické metody: dvouvýběrový, jednostranný, nepárový t-test podle Welsche a analýza variance ANOVA (Analysis of variance). Provedený t-test prokázal, že výuka s využitím experimentu s měřicím přístrojem měla statisticky prokazatelně pozitivní vliv na zlepšení znalostí zkoumaných žáků základních škol ($t = -6,9474$, $df = 130,27$, $p = 7,988 \times 10^{-11}$).

Průměrný celkový bodový zisk za pretesty činil 7,46 bodů, zatímco za posttesty 10,87 bodů. Na níže přiloženém histogramu (Obr. 1) si lze prohlédnout četnosti bodových hodnocení za jednotlivé pretesty a posttesty. Ani v pretestu ani v posttestu žádný z žáků nedosáhl nulového, ale ani maximálního bodového zisku. Nejnižší počet bodů, který některý z žáků obdržel, činil 1 bod. Toto bodové minimum je společné pro pretesty i posttesty, jelikož za pretest obdržel 1 bod 1 žák a za posttest rovněž. Maximální bodový zisk za pretest činil 13,5 bodu a obdržel ho pouze 1 žák. Druhý nejvyšší bodový zisk v pretestech činil 12,5 bodu a ten získali již 3 žáci. Naopak nejvyššího zisku bodů v posttestech dosáhlo hned 8 žáků, kteří byli za své posttesty ohodnoceni každý 14,5 body. Nejčastěji dosahovaným počtem bodů za pretesty byl bodový zisk 6,5 bodu, zatímco u posttestů zisk činil 12 bodů. Bodového zisku 6,5 bodu za pretesty dosáhlo 7 žáků (10,45 % z celkového počtu všech žáků) a 12 bodů za posttesty získalo 9 žáků (13,43 %).



Obr. 1: Histogram zobrazující bodové hodnocení jednotlivých žáků v pretestech a posttestech

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem potvrzuje i výsledek celkové analýzy variance (ANOVA) mezi pretesty a posttesty ($F = 48,27$, $p = 1,53 \times 10^{-10}$). Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 2), který znázorňuje rozdíl celkových bodových zisků mezi pretesty a posttesty.



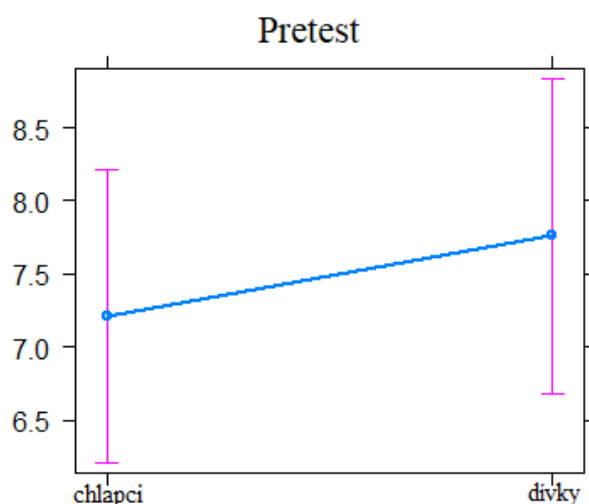
Obr. 2: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi celkovými pretesty a posttesty

Nejnižší bodový zisk, kterého v pretestu jedna z dívek dosáhla, činil 2 body. Naopak nejvyšší bodový zisk za pretest činil u dívek 12,5 bodu a obdrželi ho rovnou 3 dívky. U chlapců činil nejnižší bodový zisk za pretesty 1 bod a získal ho pouze jeden žák. Naopak nejvyšší počet bodů, který nějaký z chlapců obdržel, činil 13,5 bodu, a obdržel

ho rovněž pouze jeden žák. Chlapci tak na rozdíl od dívek obdrželi jak maximální, tak i minimální počet bodů, který byl za pretesty udělen.

Nejvíce dívek za pretesty obdrželo 6,5 bodu. Konkrétně se jednalo o 5 dívek (16,13 % z celkového počtu dívek). Naopak u chlapců byl nejčastějším bodovým ziskem za pretesty 10,5 bodu. Tento počet bodů obdrželo celkem 5 chlapců (13,89 % z celkového počtu chlapců).

Výsledky celkové analýzy variance (ANOVA) provedené u pretestů mezi chlapci a dívkami činily: $F = 0,558$, $p = 0,458$. Na základě této analýzy tedy můžeme říct, že v pretestech nedošlo k statisticky významnému rozdílu mezi znalostmi chlapců a dívek. Bodový rozdíl mezi chlapci a dívkami si lze prohlédnout na níže přiloženém grafu (Obr. 3), který byl vytvořen na základě celkové analýzy variance (ANOVA). Z něho lze vyčíst, že dívky byly v pretestech celkově o něco lepší než chlapci, ovšem ne statisticky významně.

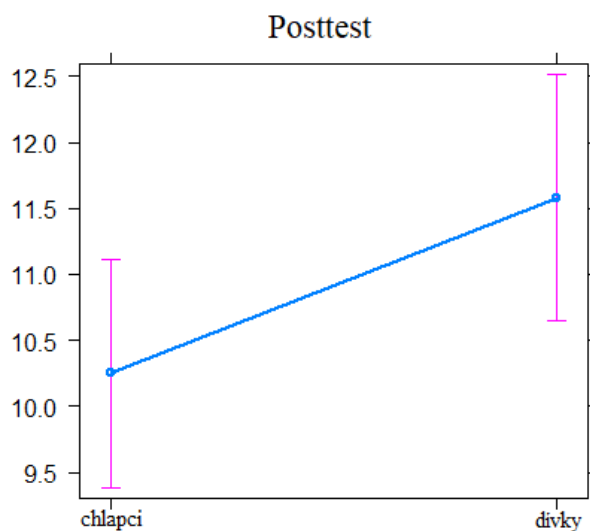


Obr. 3: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl celkových pretestů mezi chlapci a dívkami

Nejnižší bodový zisk, který některá z dívek za posttest obdržela, činil 7,5 bodu a obdržela ho pouze jedna žákyně. To znamená, že nejnižší počet bodů, kterého některá žákyně v posttestu dosáhla, byl vyšší než nejčastější dosahovaný počet bodů u dívek v pretestech. Naopak nejvyšší počet bodů, kterého některá z žákyň v posttestu dosáhla, činil 14,5 bodu a obdrželi ho 4 dívky. Nejnižší dosažený počet bodů u chlapců za posttesty činil opět pouhý 1 bod a znovu ho obdržel pouze jeden žák. Naopak nejvyšší počet dosažených bodů za posttesty činil stejně jako u dívek 14,5 bodu a rovněž ho získali hned 4 žáci.

Nejčastějším získaným bodovým ziskem za posttesty bylo u dívek 12 bodů, který obdrželo 7 žákyň (22,58 % z celkového počtu dívek). U chlapců byla tato maxima dvě, jelikož obou dosáhl stejný počet žáků. Jednalo se o bodový zisk 9,5 bodu a již zmíněných 14,5 bodu. V obou případech tedy tento bodový zisk obdrželi vždy 4 žáci (v obou případech 11,11 % z celkového počtu chlapců).

Výsledky celkové analýzy variance (ANOVA) provedené u posttestů mezi chlapci a dívkami činily: $F = 4,359$, $p = 0,0407$. Podle těchto výsledků můžeme říct, že na rozdíl od pretestů došlo u posttestů k statisticky významnému rozdílu znalostí mezi chlapci a dívkami. Na základě této analýzy byl vytvořen níže přiložený graf (Obr. 4), ze kterého je tato skutečnost patrná.



Obr. 4: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl celkových posttestů mezi chlapci a dívkami

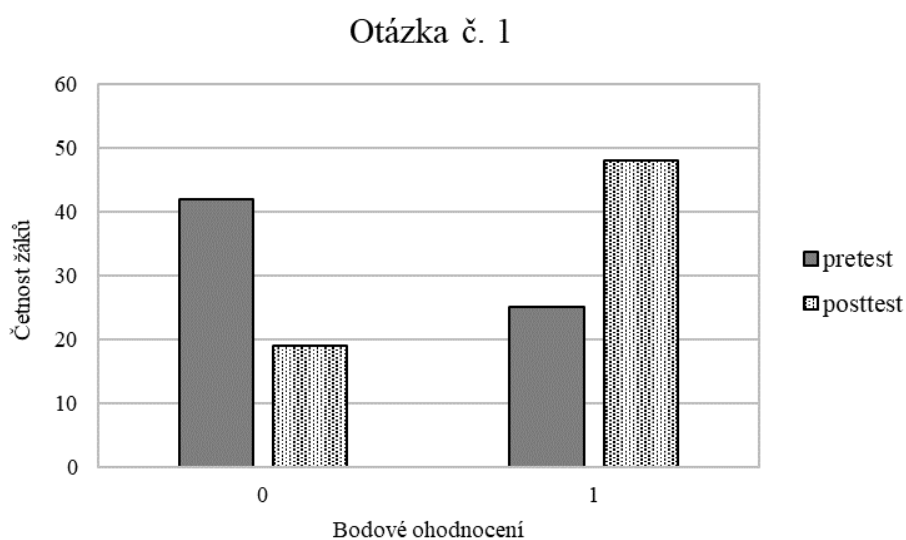
4.2 Hodnocení otázky č. 1

První otázka v pretestech a posttestech byla otevřeného typu a zněla: „Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?“ Správnou odpovědí na tuto otázku bylo světelné záření či případně další modifikace jako Slunce, sluneční svit apod. Mezi nejčastější žákovské miskoncepce patřily např. odpovědi jako z půdy, z vody, ze vzduchu, z tepla, z fotosyntézy, z CO_2 či případně žáci žádnou odpověď neuvedli nebo napsali, že nevědí.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedeného u první otázky ($t = -4,2184$, $df = 131,35$, $p = 0,0000227$) jasně prokázal, že využití

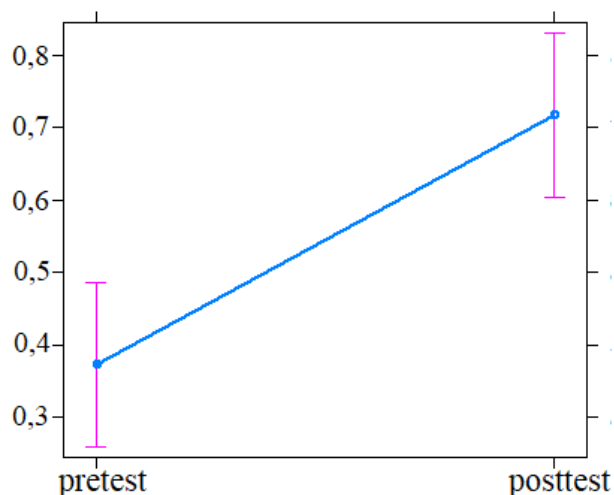
experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 1.

Žáci mohli za tuto otázku získat buď jeden, nebo žádný bod. Na níže přiloženém histogramu (Obr. 5) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za první otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 42 žáků (62,69 %) a 1 bod získalo 25 žáků (37,31 %). V posttestech obdrželo za tuto otázku 0 bodů 19 žáků (28,36 %) a 1 bod obdrželo 48 žáků (71,64 %). V první otázce došlo tedy ke zvýšení úspěšnosti žáků mezi pretesty a posttesty o 34,33 %.



Obr. 5: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 1

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u první otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 17,8$, $p = 4,54 \times 10^{-5}$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen i graf (Obr. 6), který znázorňuje bodový rozdíl u první otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 6: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 1

4.3 Hodnocení otázky č. 2

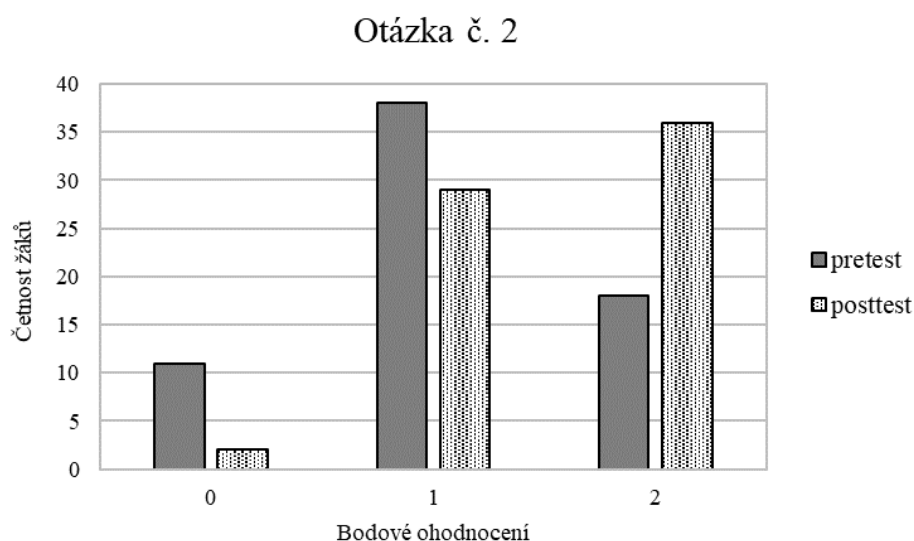
Druhá otázka byla otevřeného typu a její znění bylo: „Jaké látky vznikají při fotosyntéze?“ Správnou odpovědí na tuto otázku byl cukr a kyslík. Někteří žáci rovněž uváděli i vodu, která je sice také správnou odpovědí, ale ta bývá kvůli zjednodušení pro žáky na základní škole při výuce vynechávána a rovněž není pro výuku na základních školách natolik významná. Proto pokud žáci vypsali například kyslík a k tomu pouze vodu a nikoliv cukr, nemohli za tuto odpověď obdržet plný počet bodů.

Za tuto otázku mohli žáci získat 0, 1 nebo 2 body. Pokud žáci uvedli cukr i kyslík dostali 2 body. Pokud uvedli pouze jeden produkt fotosyntézy, získali pouze jeden bod. V případě, že žáci uvedli ke kyslíku a cukru navíc i nějakou chybnou odpověď, byl jim 1 bod strhnut. Několikrát se totiž stalo, že žáci připojili k odpovědi i například oxid uhličitý, což svědčilo o tom, že nemají o celé problematice přehled a pouze se pokoušejí napsat vše, co mají s fotosyntézou spojené. Tím pádem jim ani nemůže být udělen plný počet bodů. U této otázky se příliš zcela chybných odpovědí neobjevilo a žáci, pokud za ni obdrželi 0 bodů, spíše většinou napsali, že nevědí či otázku úplně vynechali. Nejčastější variantou, která se u pretestů objevila, byla ta, že žáci jakožto jediný produkt fotosyntézy napsali pouze kyslík.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedeného u druhé otázky ($t = -3,8277$, $df = 128,96$, $p = 0,0001004$) jasně prokázal, že využití

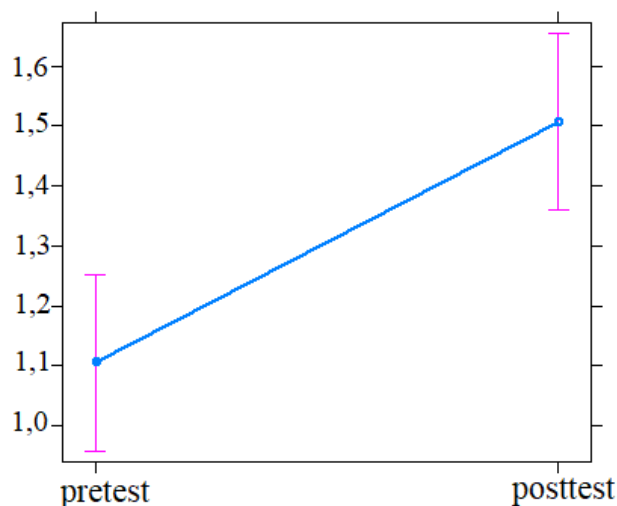
experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 2.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 7) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za druhou otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 11 žáků (16,42 %), 1 bod získalo 38 žáků (56,72 %) a 2 body získalo 18 žáků (26,86 %). V posttestech obdrželi za tuto otázku 0 bodů 2 žáci (2,98 %), 1 bod obdrželo 29 žáků (2,28 %) a 2 body obdrželo 36 žáků (53,73 %). Počet žáků, kteří odpověděli na druhou otázku plně správně, se tak zvýšil o 26,87 %.



Obr. 7: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 2

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u druhé otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 14,65$, $p = 0,000199$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 8), který znázorňuje bodový rozdíl u druhé otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 8: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 2

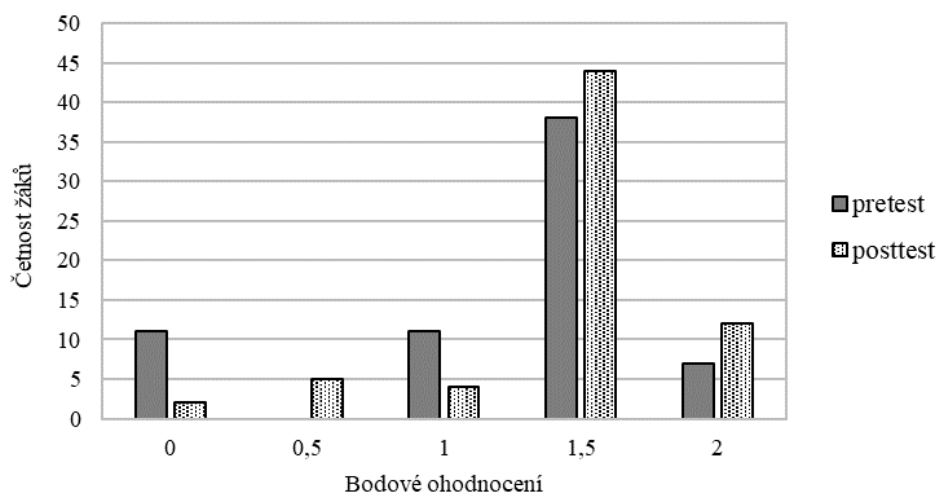
4.4 Hodnocení otázky č. 3

Třetí otázka v pretestech a posttestech byla otevřeného typu a skládala se ze dvou částí, ke kterým měl žák doplnit správnou odpověď. Znění první části bylo: „Živočichové získávají organické látky ke svému růstu z ...“. Znění druhé části bylo: „Rostliny získávají organické látky ke svému růstu z ...“. Správnou odpovědí na první část byly potrava, cukry, tuky, bílkoviny či jiné modifikace, ze kterých byla zřejmá jasná odpověď, která dokazovala, že žák problematice rozumí. Správnou odpovědí na druhou část otázky bylo, že rostliny získávají organické látky ke svému růstu přeměnou anorganických látek v procesu fotosyntézy. Za správné odpovědi byly i v tomto případě považovány různé varianty, které potvrzovali žákovu znalost tohoto tématu. Žáci většinou byli schopni správně uvést první část otázky, nebo ji úplně vynechali. Druhá část otázky činila žákům větší problém i vzhledem k většímu rozsahu odpovědi, kterou je u ní potřeba uvést. Žáci tak často psali, že rostliny získávají organické látky z anorganických látek, z vody, z půdy, oxidu uhličitého apod. Je sice pravdou, že právě z anorganických látek z půdy a z vody si rostliny organické látky vyrábějí, ovšem žáci měli za úkol tento jev popsat komplexně a propojit tyto anorganické látky s procesem fotosyntézy, během něhož ke vzniku organických látek dochází, což se podařilo jen velmi malému počtu z nich. Tyto odpovědi tedy nebyly považovány za správné ale pouze za neúplné a byly tak oceněny pouze polovičním počtem bodů (0,5 bodu). Žáci tak celkově za třetí otázku mohli získat 0 bodů, 0,5 bodu, 1 bod, 1,5 bodu nebo 2 body.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u třetí otázky ($t = -2,3531$, $df = 121,7$, $p = 0,01011$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 3.

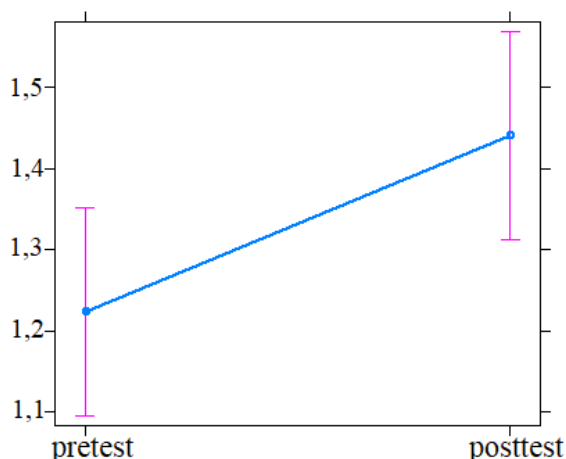
Na níže přiloženém histogramu (Obr. 9) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za třetí otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 11 žáků (16,42 %), 0,5 bodu nezískal žádný žák (0 %), 1 bod získalo 11 žáků (16,42 %), 1,5 bodu získalo 38 žáků (56,71 %) a 2 body získalo pouze 7 žáků (10,45 %). V posttestech obdrželi za tuto otázku 0 bodů pouze 2 žáci (2,98 %), 0,5 bodu obdrželo 5 žáků (7,46 %), 1 bod obdrželi 4 žáci (5,97 %), 1,5 bodu obdrželo 44 žáků (65,67 %) a 2 body obdrželo 12 žáků (17,92 %). Počet žáků, kteří odpověděli na třetí otázku plně správně, se tak zvýšil o 11,95 %.

Otázka č. 3



Obr. 9: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 3

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u třetí otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 5,537$, $p = 0,0201$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen i graf (Obr. 10), který znázorňuje bodový rozdíl u třetí otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 10: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 3

4.5 Hodnocení otázky č. 4

Ve čtvrté otázce měli žáci za úkol doplnit do níže přiložené tabulky (Tabulka 1), jaké plynné látky rostliny přijímají z atmosféry a jaké do ní uvolňují ve dne a jaké v noci. Tabulka celkem obsahovala 4 okénka na doplňování, z nichž každé dostalo pracovní název: „4a“, „4b“, „4c“ a „4d“. Označení „4a“ je pro okénko, do kterého se měli doplňovat plynné látky přijímané ve dne, „4b“ pro plynné látky přijímané v noci, „4c“ pro plynné látky vydávané ve dne a „4d“ pro plynné látky vydávané v noci. Kromě celkového zhodnocení celé otázky je čtvrtá otázka v této práci dále rozepsána a každému okénku se věnuje samostatně.

Tab. 1: Otázka číslo 4 v pretestech a posttestech doplněná o pracovní názvy

	Ve dne	V noci
Jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry	„4a“	„4b“
Jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry	„4c“	„4d“

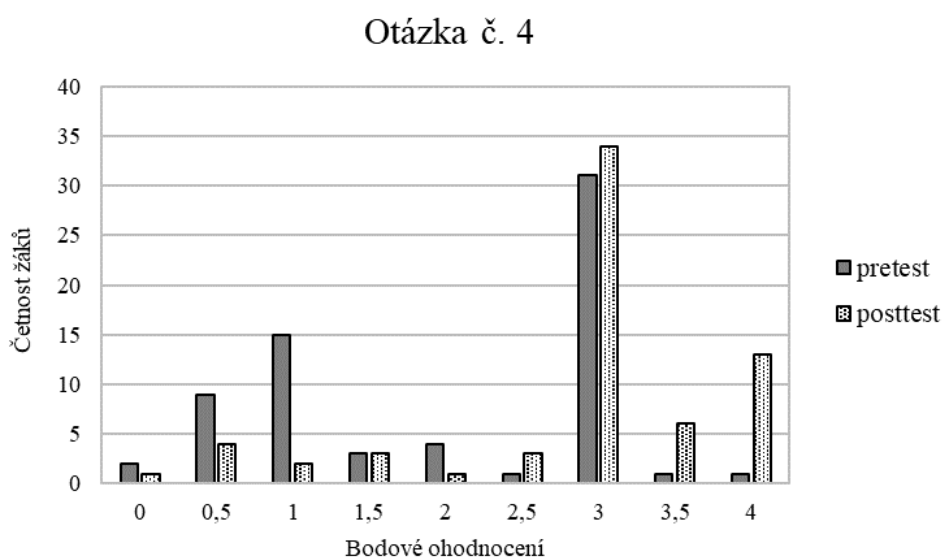
Za každé správně vyplněné okénko obdržel žák jeden bod. Celkově tak mohl za tuto otázku získat každý maximálně 4 body. Pro správné vyplnění okének „4a“ a „4c“ však bylo nutné uvést vždy 2 plynné látky. Kvůli tomu bylo při uvedení pouze jedné plynné látky v těchto okénkách uděleno pouze 0,5 bodu. Žáci tak mohli získat 0 bodů, 0,5 bodu, 1 bod, 1,5 bodu, 2 body, 2,5 bodu, 3 body, 3,5 bodu nebo 4 body.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u celkové čtvrté otázky ($t = -4,7718$, $df = 130,13$, $p = 0,000002414$) jasně prokázal, že využití

experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 4.

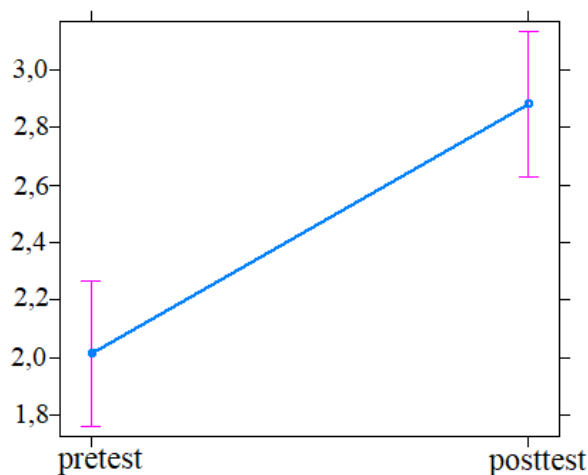
Na níže přiloženém histogramu (Obr. 11) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za celkovou čtvrtou otázku. V pretestech získali za tuto otázku 0 bodů 2 žáci (2,98 %), 0,5 bodu získalo 9 žáků (13,43 %), 1 bod získalo 15 žáků (22,39 %), 1,5 bodu získali 3 žáci (4,48 %), 2 body získali 4 žáci (5,97 %), 2,5 bodu získal jeden žák (1,49 %), 3 body získalo 31 žáků (46,28 %), 3,5 bodu získal jeden žák (1,49 %) a 4 body získal rovněž pouze jeden žák (1,49 %).

V posttestech obdržel za tuto otázku 0 bodů pouze 1 žák (1,49 %), 0,5 bodu obdrželi 4 žáci (5,97 %), 1 bod obdrželi 2 žáci (2,98 %), 1,5 bodu obdrželi 3 žáci (4,48 %), 2 body obdržel jeden žák (1,49 %), 2,5 bodu obdrželi 3 žáci (4,48 %), 3 body obdrželo 34 žáků (50,74 %), 3,5 bodu obdrželo 6 žáků (8,96 %) a 4 body obdrželo 13 žáků (19,41 %). Počet žáků, kteří odpověděli na otázku číslo 4 plně správně, se tak zvýšil o 17,92 %.



Obr. 11: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 4

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u celkové čtvrté otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 22,27$, $p = 4,77 \times 10^{-6}$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 12), který znázorňuje bodový rozdíl u celkové čtvrté otázky mezi pretesty a posttesty.

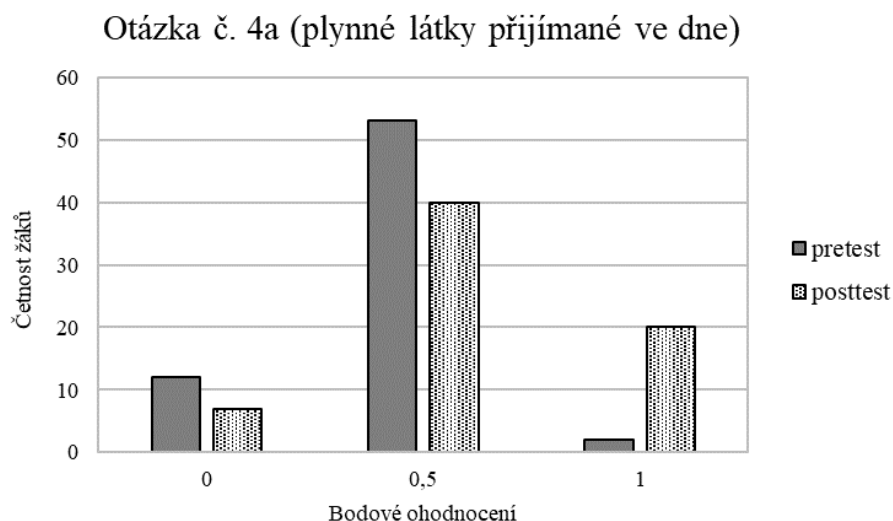


Obr. 12: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 4

Do okénka pracovně nazvaného jako „4a“ měli žáci doplnit, jaké plynné látky přijímají rostliny během dne. Správnými odpověďmi jsou v tomto případě rovnou dva plyny: kyslík a oxid uhličitý. V případě vyplnění pouze jednoho plynu byla odpověď žáků považována za neúplnou a obdrželi tak pouze 0,5 bodu. V případě, že uvedli oba požadované plyny správně, získali za toto okénko jeden bod. V tomto případě se velice často stávalo, že žáci uvedli pouze jeden plyn, a to většinou pouze oxid uhličitý.

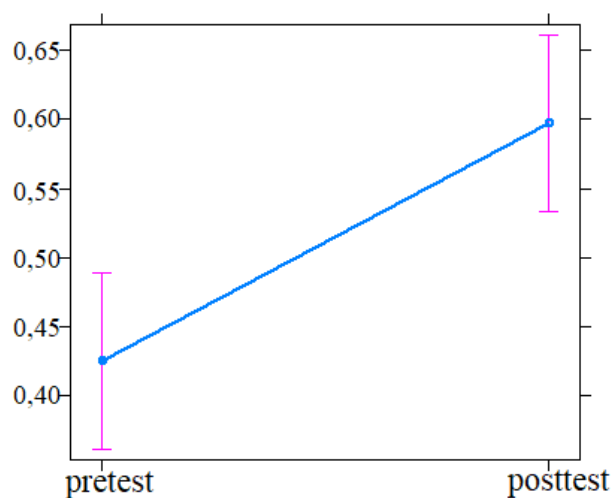
Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u této části otázky pracovně označené jako „4a“ ($t = -3,7536$, $df = 119,48$, $p = 0,0001353$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí na otázku, jaké plynné látky přijímají rostliny ve dne.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 13) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za tuto část otázky pracovně nazvanou jako „4a“. V pretestech získalo za tuto část otázky 0 bodů 12 žáků (17,91 %), 0,5 bodu získalo 53 žáků (79,11 %) a jeden bod získali 2 žáci (2,98 %). V posttestech obdrželo za tuto část otázky 0 bodů 7 žáků (10,45 %), 0,5 bodu obdrželo 40 žáků (59,70 %) a 1 bod obdrželo 20 žáků (29,85 %). Počet žáků, kteří odpověděli na tuto část otázky plně správně, se tak zvýšil o 26,87 %.



Obr. 13: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 4a

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4a“ potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 14,09$, $p = 0,00026$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen i graf (Obr. 14), který znázorňuje bodový rozdíl u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4a“ mezi pretesty a posttesty.

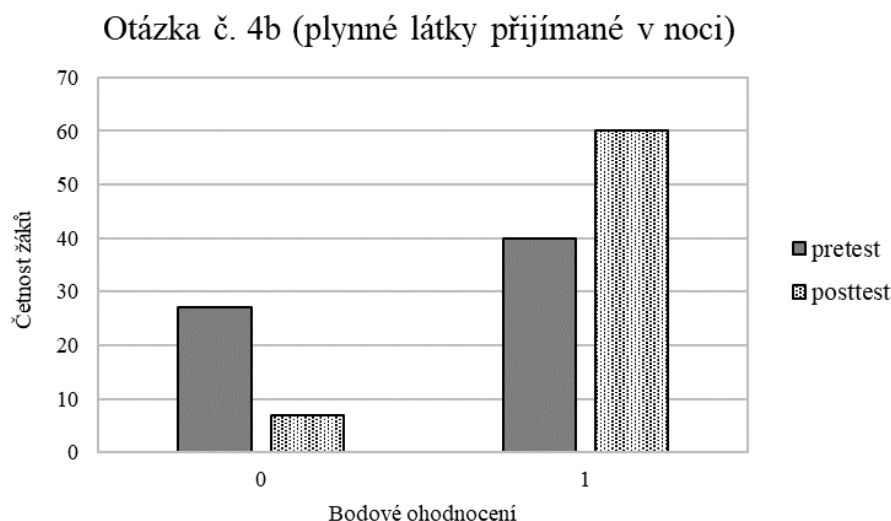


Obr. 14: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 4a

Do okénka pracovně nazvaného jako „4b“ měli žáci doplnit, jaké plynné látky přijímají rostliny během noci. Jedinou správnou odpovědí zde byl kyslík. Pokud žáci tento plyn uvedli, byl jim udělen jeden bod. Do pretestu několik žáků mylně uvedlo, že rostliny přijímají během noci oxid uhličitý a několik žáků zase neuvedlo do okénka vůbec nic.

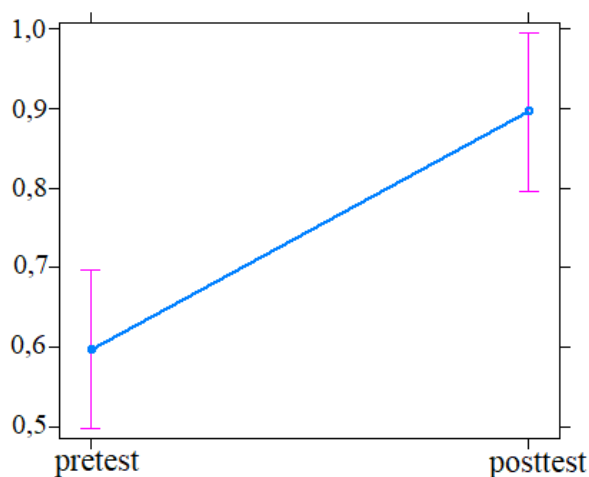
Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u této části otázky pracovně označené jako „4b“ ($t = -4,1952$, $df = 110,59$, $p = 0,00002761$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žakovských odpovědí na otázku, jaké plynné látky přijímají rostliny v noci.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 15) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za tuto část otázky pracovně nazvanou jako „4b“. V pretestech získalo za tuto část otázky 0 bodů 27 žáků (40,30 %) a jeden bod získalo 40 žáků (59,70 %). V posttestech obdrželo za tuto část otázky 0 bodů již pouze 7 žáků (10,45 %) a jeden bod obdrželo 60 žáků (89,55 %). Počet žáků, kteří odpověděli na tuto část otázky plně správně, se tak zvýšil o 29,85 %.



Obr. 15: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 4b

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4b“ potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 17,6$, $p = 4,97 \times 10^{-5}$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 16), který znázorňuje bodový rozdíl u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4b“ mezi pretesty a posttesty.



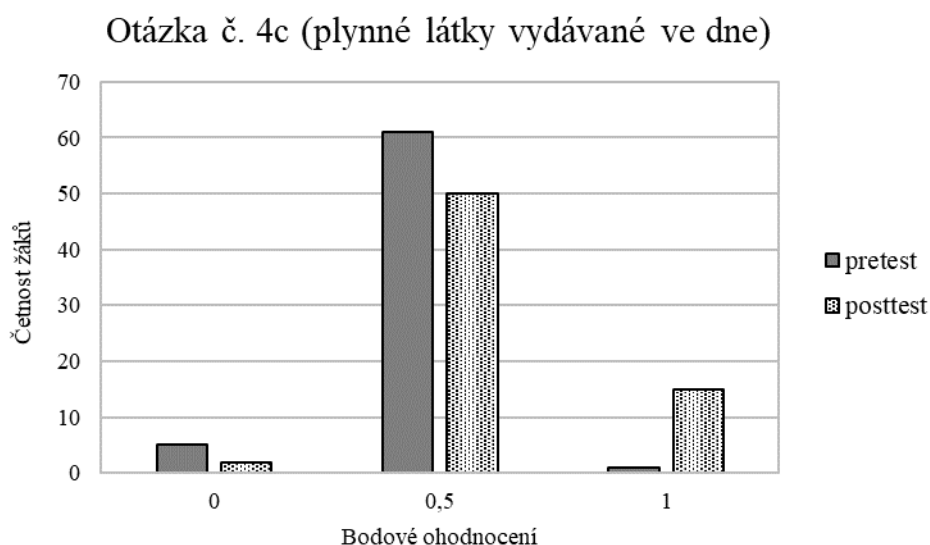
Obr. 16: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 4b

Do okénka pracovně nazvaného jako „4c“ měli žáci doplnit, jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry během denní doby. Správnými odpověďmi jsou zde stejně jako u otázky „4a“ opět dva plyny: kyslík a oxid uhličitý. V případě vyplnění pouze jednoho plynu byla odpověď žáků považována za neúplnou a obdrželi tak pouze 0,5 bodu. V případě, že uvedli oba požadované plyny správně, získali žáci za toto okénko jeden bod. V tomto případě drtivá většina žáků uvedla pouze jeden plyn, a to většinou pouze kyslík. K tomu docházelo hlavně v pretestech ale i u posttestů byl tento jev velmi častý. Pouze několik málo žáků uvedlo jakožto neúplnou odpověď pouze oxid uhličitý. Několik žáků tuto část otázky vynechalo či napsali, že nevědí. Jeden žák v pretestu uvedl jako mylnou odpověď dusík. To, že rostliny mohou během dne do atmosféry vypouštět i vodní páru žádný z žáků nezmínil a nebylo třeba tedy řešit, jakým způsobem tuto správnou, ale v rámci tohoto výzkumu méně významnou odpověď, hodnotit.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u této části otázky pracovně označené jako „4c“ ($t = -3,7505$, $df = 111,35$, $p = 0,0001409$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žakovských odpovědí na otázku, jaké plynné látky vydávají rostliny ve dne.

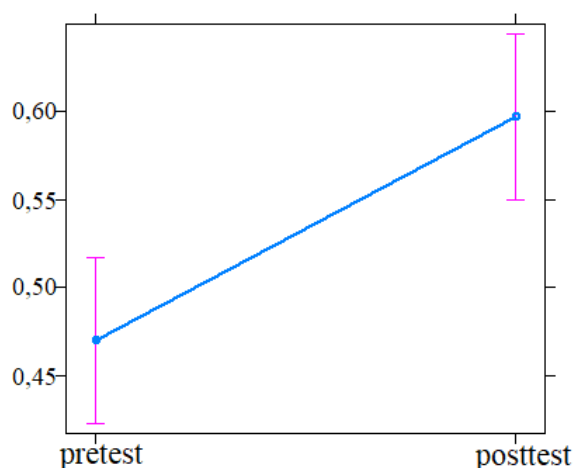
Na níže přiloženém histogramu (Obr. 17) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za tuto část otázky pracovně nazvanou jako „4c“. V pretestech získalo za tuto část otázky 0 bodů 5 žáků (7,46 %), 0,5 bodu získalo 61 žáků (91,04 %) a jeden bod získal pouze jediný žák (1,49 %). V posttestech obdrželi

za tuto část otázky 0 bodů již pouze 2 žáci (2,98 %), 0,5 bodu obdrželo 50 žáků (74,63 %) a jeden bod obdrželo 15 žáků (22,39 %). Počet žáků, kteří odpověděli na tuto část otázky plně správně, se tak zvýšil o 19,41 %.



Obr. 17: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 4c

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u této části čtvrté otázky pracovní nazvané jako „4c“ potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 14,07$, $p = 0,000263$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 18), který znázorňuje bodový rozdíl u této části čtvrté otázky pracovní nazvané jako „4c“ mezi pretesty a posttesty.

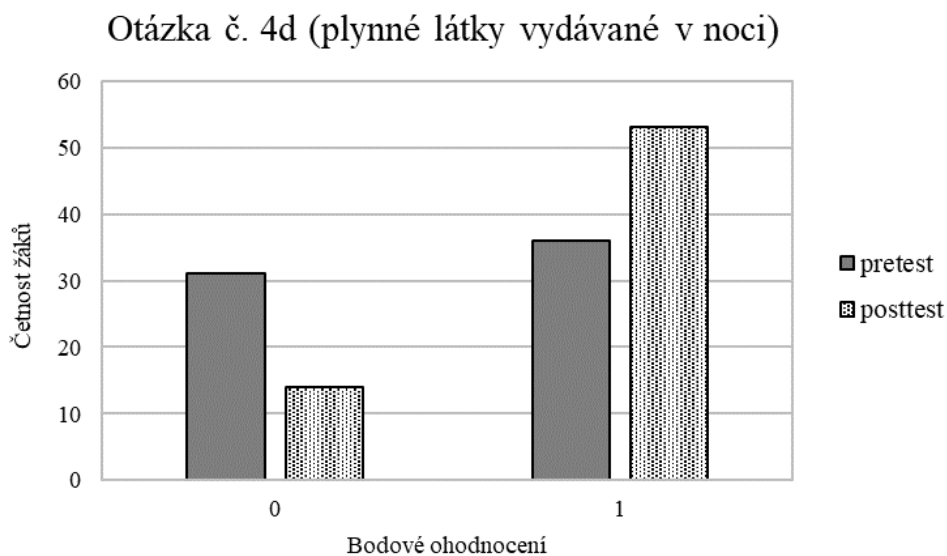


Obr. 18: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 4c

Do okénka pracovně nazvaného jako „4d“ měli žáci doplnit, jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry během noci. Jedinou správnou odpovědí zde byl oxid uhličitý. Pokud žáci tento plyn uvedli, byl jim udělen jeden bod. Do pretestu několik žáků mylně uvedlo, že rostliny vydávají do atmosféry během noci kyslík. Mnoho žáků zase neuvedlo do okénka vůbec nic či napsali, že nevědí. V posttestech 3 žáci mylně uvedli, že rostliny vypouštějí v noci do atmosféry jak oxid uhličitý, tak i kyslík, za což jim nemohl být udělen žádný bod. Zajímavé je, že taková odpověď během pretestu ani jednou napsaná nebyla, a tak tato miskoncepce musela vzniknout až během průběhu badatelsky orientované výuky s využitím moderního přístroje.

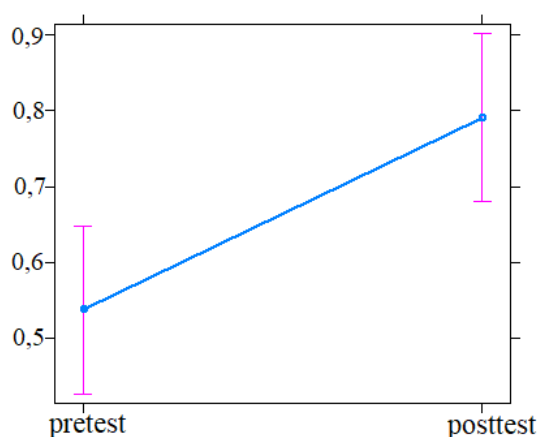
Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u této části otázky pracovně označené jako „4d“ ($t = -3,204$, $df = 126,86$, $p = 0,000857$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí na otázku, jaké plynné látky vydávají rostliny do atmosféry během noci.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 19) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za tuto část otázky pracovně nazvanou jako „4d“. V pretestech získalo za tuto část otázky 0 bodů 31 žáků (46,27 %) a jeden bod získalo 36 žáků (53,73 %). V posttestech obdrželo za tuto část otázky 0 bodů již pouze 14 žáků (20,89 %) a jeden bod obdrželo 53 žáků (79,11 %). Počet žáků, kteří odpověděli na tuto část otázky plně správně, se tak zvýšil o 25,38 %.



Obr. 19: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 4d

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4d“ potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 10,27$, $p = 0,0017$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen i graf (Obr. 20), který znázorňuje bodový rozdíl u této části čtvrté otázky pracovně nazvané jako „4d“ mezi pretesty a posttesty.



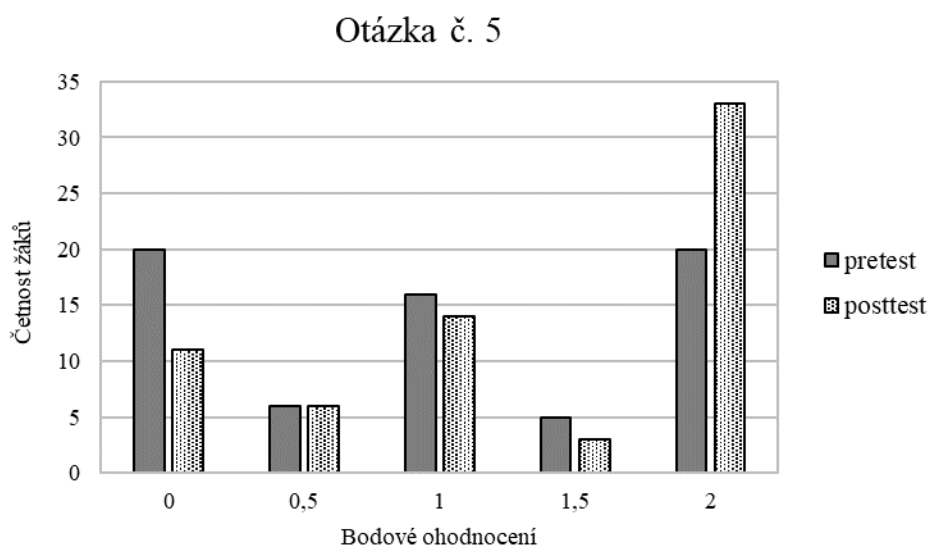
Obr. 20: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 4d

4.6 Hodnocení otázky č. 5

Pátá otázka v pretestech a posttestech byla otevřeného typu a skládala se stejně jako třetí otázka ze dvou částí, ke kterým měl žák doplnit správnou odpověď. Znění první části bylo: „Vodní květ tvoří ...“. Znění druhé části bylo: „Proč vzniká vodní květ?“. Správnou odpovědí na první část bylo, že vodní květ tvoří sinice či řasy. Správnou odpovědí na druhou část otázky bylo, že vodní květ vzniká v důsledku zvýšené eutrofizace vod. Přípustné byly i jiné modifikace této odpovědi. Někteří žáci k první části otázky například uvedli jako správnou odpověď vodní rostliny. Jelikož se nejedná o špatnou odpověď, ale pouze o odpověď neúplnou, tak byli tito žáci v této části páté otázky oceněni pouze polovičním počtem bodů (0,5 bodu). Za každou část páté otázky mohli žáci dostat maximálně jeden bod. Žáci tak celkově za pátou otázku mohli získat 0 bodů, 0,5 bodu, 1 bod, 1,5 bodu nebo 2 body. Jednou z miskonceptů, která se v pretestech objevila, byla ta, že vodní květ je tvořen pestíky. Několik žáků vědělo, že vodní květ je tvořen sinicemi či řasami, ale už nebyli schopni uvést, proč vzniká. Několik žáků v pretestech i posttestech nebylo schopno uvést správně ani jednu z odpovědí.

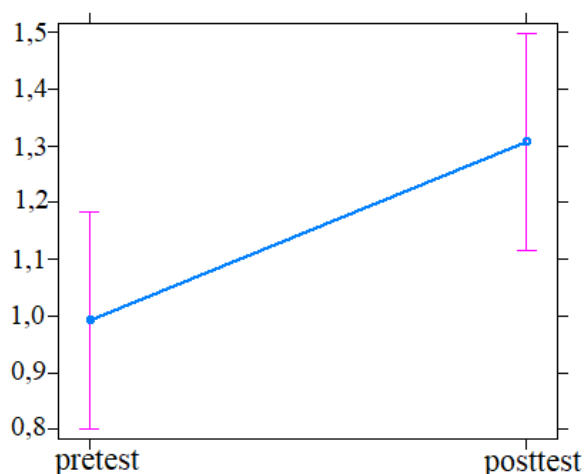
Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u páté otázky ($t = -2,2916$, $df = 131,85$, $p = 0,01176$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 5.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 21) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za pátou otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 20 žáků (29,85 %), 0,5 bodu získalo 6 žáků (8,96 %), 1 bod získalo 16 žáků (23,88 %), 1,5 bodu získalo 5 žáků (7,46 %) a 2 body získalo 20 žáků (29,85 %). V posttestech obdrželo za tuto otázku 0 bodů již pouze 11 žáků (16,42 %), 0,5 bodu obdrželo opět 6 žáků (8,96 %), 1 bod obdrželo 14 žáků (20,89 %), 1,5 bodu obdrželi 3 žáci (4,48 %) a 2 body obdrželo 33 žáků (49,25 %). Počet žáků, kteří odpověděli na pátou otázku plně správně, se tak zvýšil o 19,4 %.



Obr. 21: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 5

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u páté otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 5,251$, $p = 0,0235$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 22), který znázorňuje bodový rozdíl u páté otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 22: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi přetesty a posttesty u otázky číslo 5

4.7 Hodnocení otázky č. 6

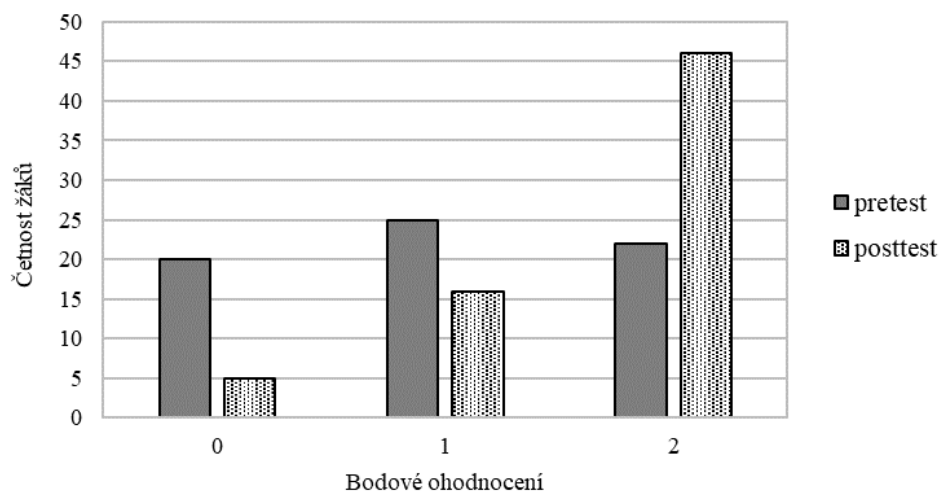
Šestá otázka byla jedinou uzavřenou otázkou, která se přetestech a posttestech objevila. Byla tvořena dvěma částmi, v nichž si měl žák z nabízených odpovědí zvolit vždy pouze jednu správnou. V první části šesté otázky měli žáci zvolit jedno pravdivé tvrzení. Celkem zde měli na výběr ze tří možností. Za prvé zde byla možnost a), jejíž znění bylo: „Během dne je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a méně oxidu uhličitého než v noci.“ Druhá možnost b) zněla: „V noci je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a více oxidu uhličitého než ve dne.“ Poslední možnost v první části byla možnost c), která říkala, že: „Ve dne a v noci je množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě rybníka s vodními rostlinami vyrovnané.“ Z těchto tří možností byla jedinou správnou, kterou měli žáci označit, možnost a). Druhá část šesté otázky spočívala v tom, že žáci mají zaškrtnout tu z možností, která jimi zaškrtnuté tvrzení z první části obhájí. Celkem bylo na výběr ze čtyř možností, z nichž tou správnou byla odpověď 2), která tvrdí, že: „Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý.“ Nesprávnými variantami byla varianta 1), 3) a 4). Varianta 1): „Vodní rostliny ve dne pouze fotosyntetizují, kdežto v noci pouze dýchají, ve dne tedy uvolňují díky fotosyntéze kyslík a v noci ho při dýchání spotřebovávají.“ Varianta 3): „Rostliny plyny ve vodě neovlivňují, protože ve vodě nemohou růst. Je tam málo světla, po většinu roku chladno a plyny (kyslík, oxid uhličitý) se pohybují velmi pomalu.“ Poslední chybnou variantou byla odpověď 4): „Vodní rostliny množství kyslíku ani oxidu uhličitého ve vodě neovlivňují, protože pod vodou nemohou dýchat.“ Pokud

žák označil v obou částech správné varianty, byly mu uděleny 2 body. Pokud označil správnou variantu pouze u jedné části, byl mu udělen jeden bod. Velká část žáků byla schopna správně označit variantu v první části, ale chybně si tuto volbu v druhé části zdůvodnili. Naopak někteří žáci měli chybně zvolené tvrzení v první části, ale ve druhé části byli i přesto schopni zaškrtnout správnou možnost.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u šesté otázky ($t = -4,6992$, $df = 125,02$, $p = 0,000003389$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žakovských odpovědí u otázky č. 6.

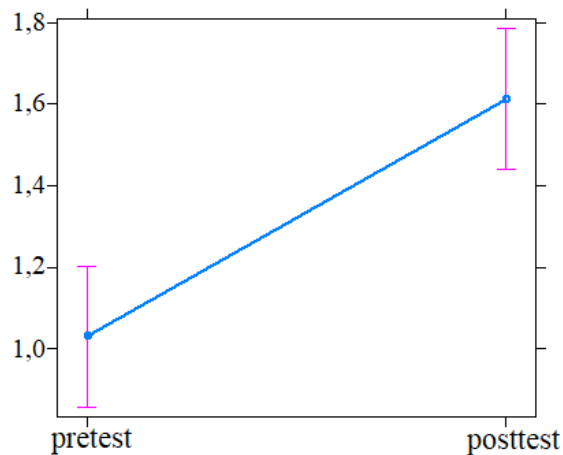
Na níže přiloženém histogramu (Obr. 23) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za šestou otázkou. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 20 žáků (29,85 %), 1 bod získalo 25 žáků (37,31 %) a 2 body získalo 22 žáků (32,84 %). V posttestech obdrželo za tuto otázku 0 bodů již pouze 5 žáků (7,46 %), 1 bod obdrželo 16 žáků (23,88 %) a 2 body obdrželo 46 žáků (68,66 %). Počet žáků, kteří odpověděli na šestou otázku plně správně, se tak zvýšil o 35,82 %.

Otázka č. 6



Obr. 23: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 6

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u šesté otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 22,08$, $p = 6,48 \times 10^{-6}$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 24), který znázorňuje bodový rozdíl u šesté otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 24: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 6

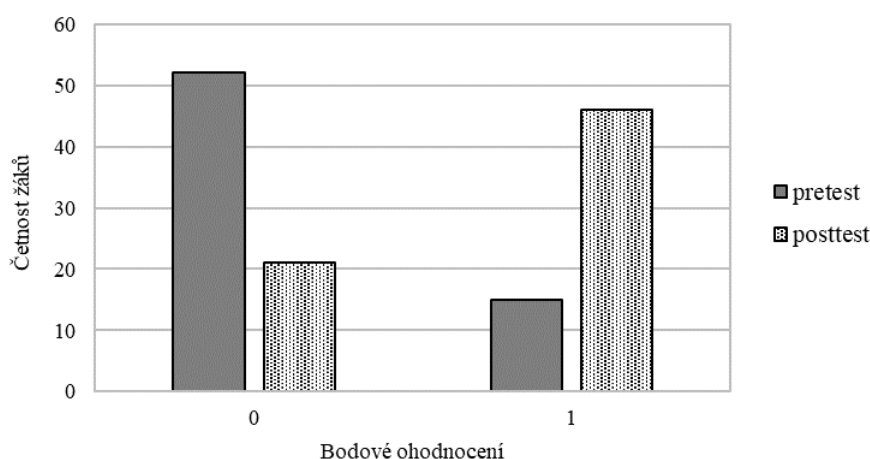
4.8 Hodnocení otázky č. 7

Otázka číslo sedm byla otevřeného typu. Žáci zde měli odpovídat na to, jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu. Správnou odpovědí na tuto otázku byla fotosyntéza. Žáci při jejím správném zodpovězení mohli získat jeden bod. Tato otázka dělala žákům problémy a často se u ní v pretestech objevovala celá řada různorodých miskonceptů, či ji žáci úplně vynechávali. Miskoncepty, které se mezi žákovskými odpověďmi u této otázky objevily, byly například: růst, dělení buněk, rozmnožování nebo oxidace.

Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u sedmé otázky ($t = -6,0271$, $df = 130,52$, $p = 0,000000007996$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žákovských odpovědí u otázky č. 7.

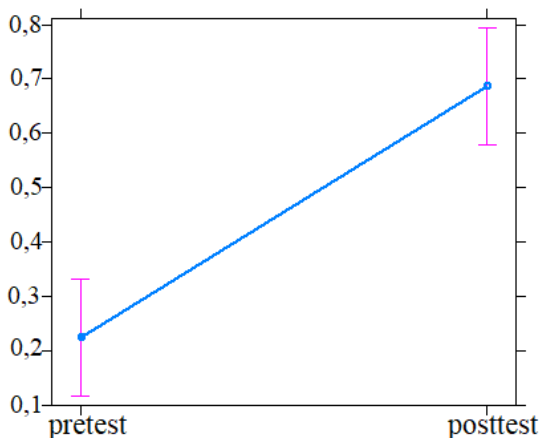
Na níže přiloženém histogramu (Obr. 25) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za sedmou otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 52 žáků (77,61 %) a správně odpovědělo a jeden bod tak získalo pouze 15 žáků (22,39 %). V posttestech obdrželo za tuto otázku 0 bodů již pouze 21 žáků (31,34 %) a správně odpovědělo a jeden bod tak obdrželo již 46 žáků (68,66 %). Počet žáků, kteří odpověděli na sedmou otázku správně, se tak zvýšil o 46,27 %.

Otázka č. 7



Obr. 25: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 7

Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u sedmé otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 36,33$, $p = 1,57 \times 10^{-8}$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen graf (Obr. 26), který znázorňuje bodový rozdíl u sedmé otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 26: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u otázky číslo 7

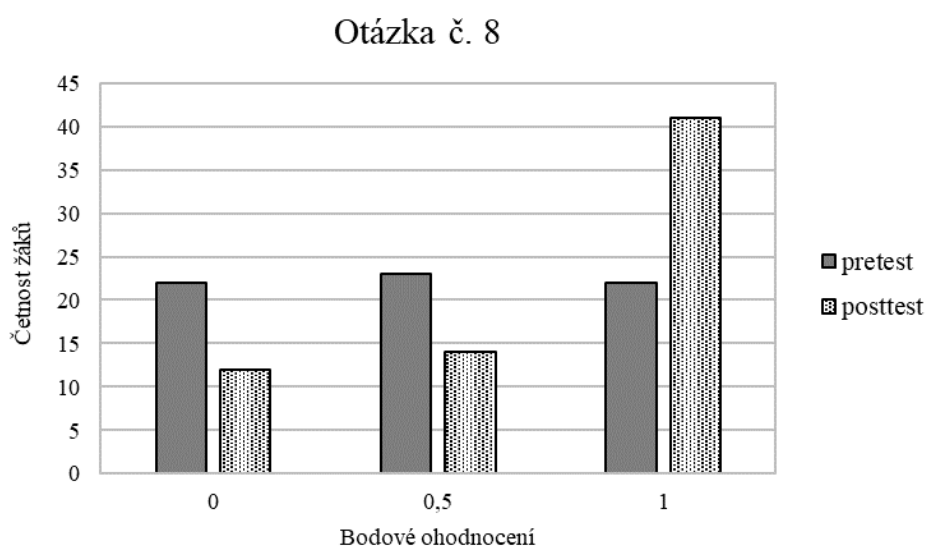
4.9 Hodnocení otázky č. 8

Otázka číslo osm byla rovněž otevřeného typu. Žáci zde měli vypsát, jaký význam mají řasy v rybníce. Správnou odpovědí bylo, že tím jak v rybníce fotosyntetizují, tak ho okysličují. Za tuto správnou odpověď získali žáci jeden bod. Pokud žáci uvedli místo kyslíku nějaký jiný význam řas v rybníce jako např. potrava či úkryt pro ryby, byla tato odpověď hodnocena pouze polovičním počtem bodů (0,5 bodu). Ač jsou tyto

odpovědi totiž správné, vzhledem k charakteru prováděné experimentální výuky je právě vytváření kyslíku ve vodě pro nás tou nejdůležitější odpovědí.

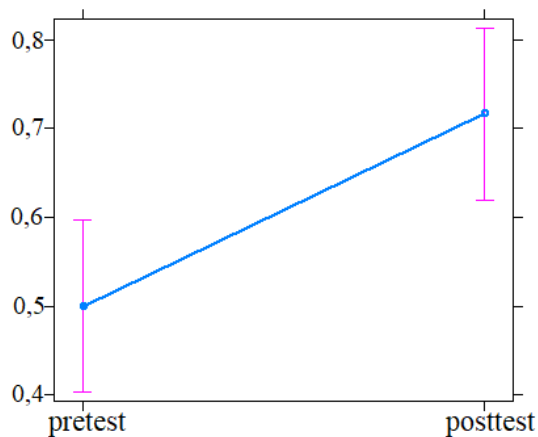
Výsledek dvouvýběrového, nepárového t-testu podle Welsche provedený u osmé otázky ($t = -3,1321$, $df = 131,77$, $p = 0,001069$) jasně prokázal, že využití experimentální výuky s měřicím přístrojem mělo jednoznačně pozitivní vliv na správnost žakovských odpovědí u otázky č. 8.

Na níže přiloženém histogramu (Obr. 27) je možné si prohlédnout četnosti bodových zisků v pretestech i posttestech za osmou otázku. V pretestech získalo za tuto otázku 0 bodů 22 žáků (32,84 %), 0,5 bodu získalo 23 žáků (34,32 %) a jeden bod získalo 22 žáků (32,84 %). V posttestech obdrželo za tuto otázku 0 bodů 12 žáků (17,92 %), 0,5 bodu obdrželo 14 žáků (20,89 %) a jeden bod obdrželo 41 žáků (61,19 %). Počet žáků, kteří odpověděli na sedmou otázku správně, se tak zvýšil o 28,35 %.



Obr. 27: Histogram zobrazující četnost bodového ohodnocení v pretestech a posttestech u otázky číslo 8

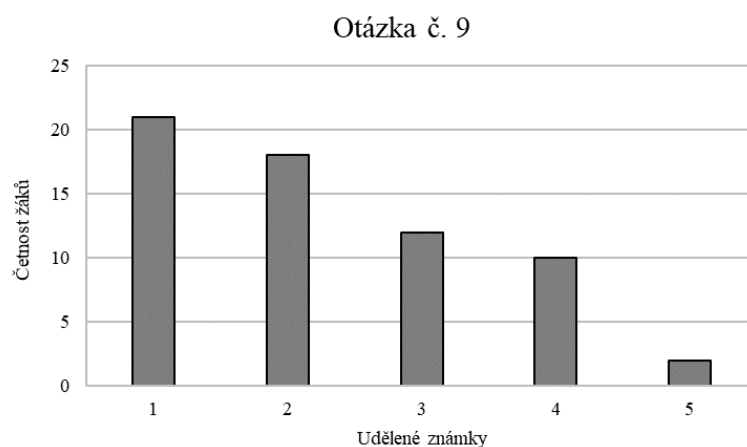
Kromě provedeného t-testu prokazatelně pozitivní vliv experimentu s měřicím přístrojem mezi pretesty a posttesty u osmé otázky potvrzuje i výsledek analýzy variance (ANOVA), který činí: $F = 9,81$, $p = 0,00214$. Na základě této analýzy byl rovněž vytvořen i graf (Obr. 28), který znázorňuje bodový rozdíl u osmé otázky mezi pretesty a posttesty.



Obr. 28: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl mezi přetesty a posttesty u otázky číslo 8

4.10 Žákovské názory na atraktivitu výuky

Kromě výše uvedených teoretických otázek obsahoval posttest na rozdíl od přetestu i část, ve které žáci hodnotili výuku, kterou absolvovali. Na Likertově škále měli žáci vybrat jedno číslo, které bude vyjadřovat to, jak se jim výuka s využitím experimentu s měřicím přístrojem líbila. Pro lepší srozumitelnost pro žáky byla tato škála připodobněna známkování ve škole, kdy číslo 1 značilo, že se jim výuka velmi líbila, zatímco číslo 5 vyjadřovalo, že se jim tato výuka velmi nelíbila. Průměrná známka, kterou provedená výuka získala, činila $2,27 \pm 1,17$ (průměr \pm směrodatná odchylka) a medián byl roven známce 2. Níže přiložený graf (Obr. 29) znázorňuje výsledky, kterých provedená výuka dosáhla.



Obr. 29: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 9

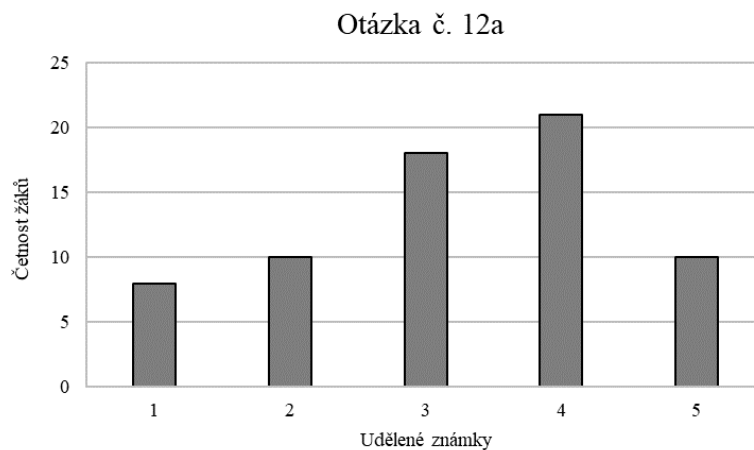
Kromě hodnotící škály se v této části posttestu nacházeli rovněž i další dvě hodnotící otázky označené čísly 10 a 11. Zde mohli žáci vypsát, co konkrétně se jim na výuce,

kteřou právě absolvovali, líbilo a co ne. Ne všichni žáci však tuto možnost využili. Odpovědi u těchto otázek byly velice různorodé. Pokud bychom to měli nějakým způsobem shrnout, tak velké části žáků se nelíbila zejména práce s pracovním listem. Často totiž označovali právě psaní a počítání za nejvíce neatraktivní aspekt celé výuky. Konkrétně se jednalo o 31 žáků (46,27 % z celkového počtu žáků), kteří některou z těchto odpovědí uvedli. Z toho čtrnácti žákům vadilo zejména počítání a dvanácti hlavně psaní. Pět žáků uvedlo, že se jim nejvíce nelíbil konkrétně pracovní list a dále tuto odpověď nerozvíjeli. Naopak velká část žáků k otázce, co se jim na výuce líbilo, často uváděla provádění samotného experimentu. Konkrétně tuto či obdobnou odpověď uvedlo do posttestu 25 žáků (31,31 %). 8 žáků (11,94 %) uvedlo, že pro ně byl tento způsob výuky zábavný.

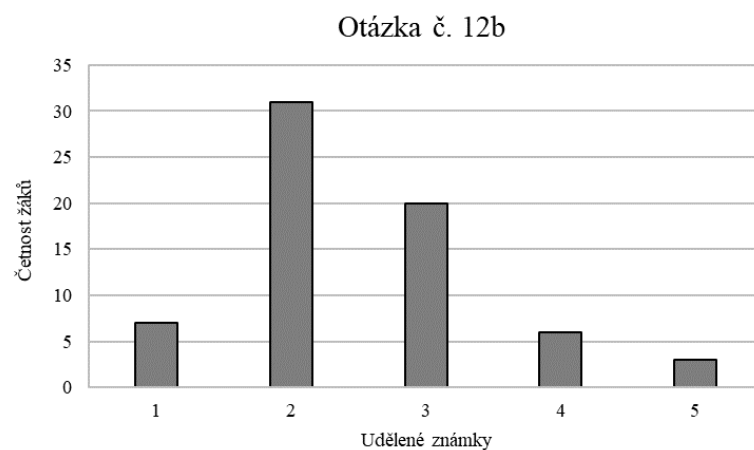
Kromě škály hodnotící absolvovanou výuku měli žáci v posttestu možnost obdobně ohodnotit i jiné druhy výuky podle toho, jak moc se jim jeví atraktivní. Výsledky těchto hodnocení byly zaneseny do níže přiložené tabulky (Tabulka 2). Nejlepšího průměrného hodnocení dosáhla výuka, při které by se žáci učili za pomoci kvízů na počítačích, tabletech či mobilních telefonech. Kromě tabulky byly rovněž vytvořeny i níže přiložené grafy (Obr. 30-36), znázorňující výsledky, kterých jednotlivé druhy výuky v žakovském hodnocení dosáhly.

Tab. 2: Hodnocení způsobů a prostředků využívaných ve výuce přírodopisu na ZŠ

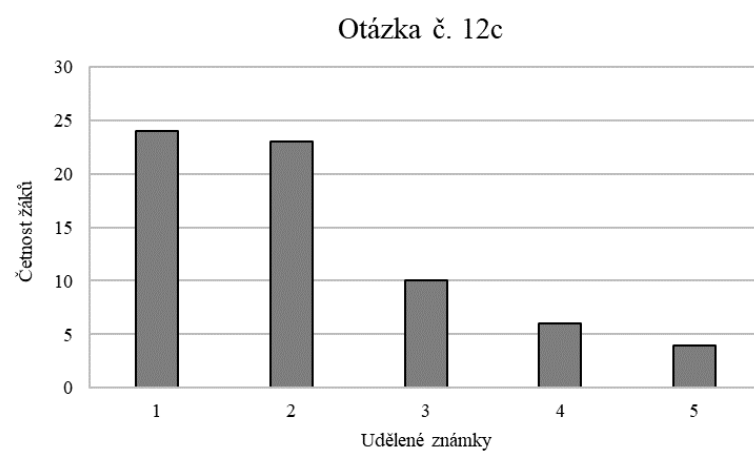
Typ výuky	Průměrné hodnocení ± směrodatná odchylka	Medián
Klasická výuka s výkladem učitele ve škole	3,22 ± 1,22	3
Pomocí interaktivní výukové aplikace	2,51 ± 0,95	2
Terénní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji	2,15 ± 1,18	2
Terénní či laboratorní úlohy bez měření s přístroji	2,31 ± 1,20	2
Laboratorní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji	2,42 ± 1,13	2
Výukové video	2,18 ± 0,95	2
Kvízy na PC, tabletu, mobilu	1,88 ± 1,04	2



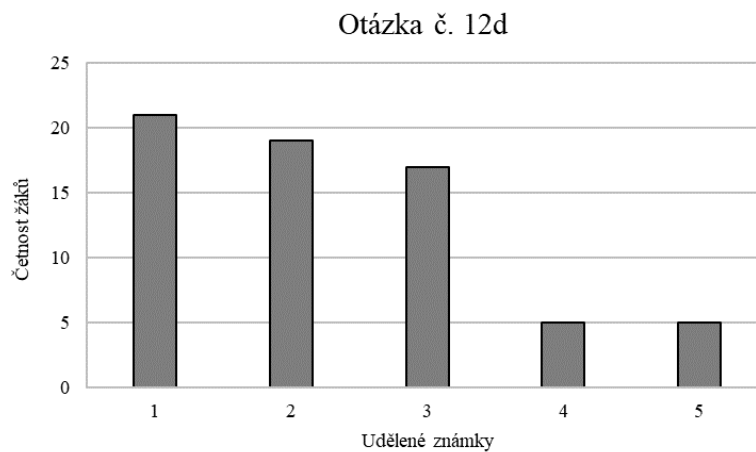
Obr. 30: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12a (Klasická výuka s výkladem učitele)



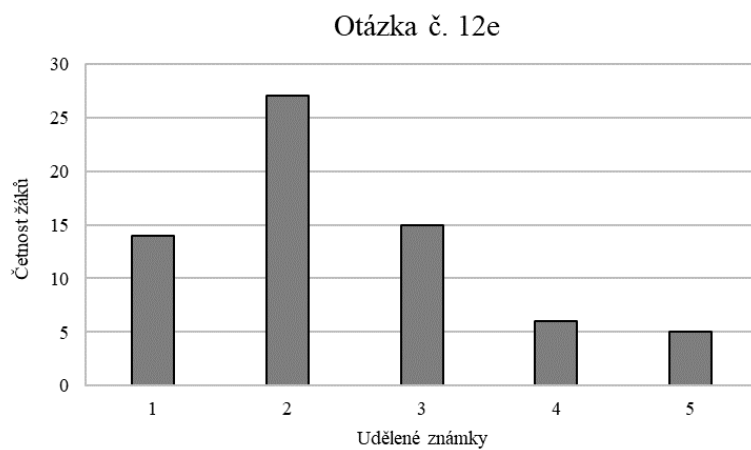
Obr. 31: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12b (Výuka pomocí interaktivní výukové aplikace)



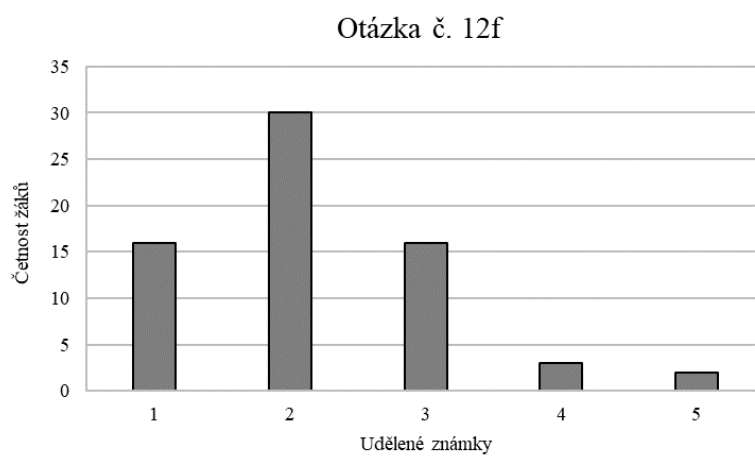
Obr. 32: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12c (Terénní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji)



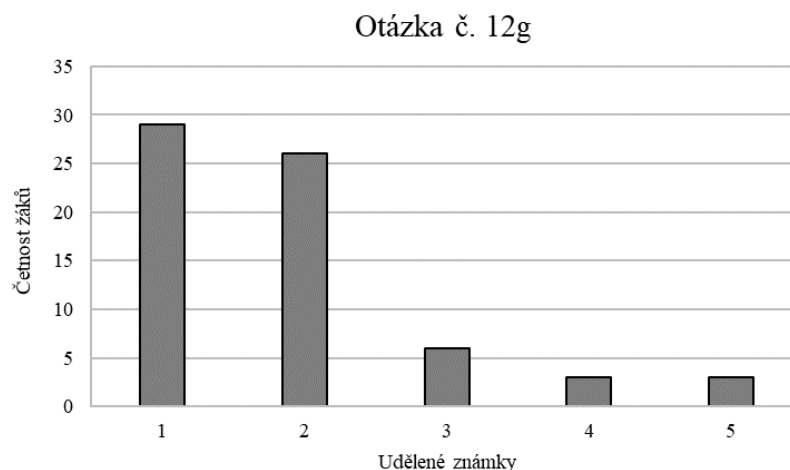
Obr. 33: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12d (Terénní či laboratorní úlohy bez měření s přístroji)



Obr. 34: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12e (Laboratorní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji)



Obr. 35: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12f (Výukové video)



Obr. 36: Graf znázorňující četnosti hodnocení u otázky číslo 12g (Kvízy na PC, tabletu, mobilu)

4.11 Zhodnocení pracovních listů

Pracovní listy, se kterými žáci během výuky pracovali, byly stejně jako pretesty a posttesty anonymní. Velká část žáků je odevzdala tak, že u všech cvičení v nich měla něco napsaného. Malá část žáků odevzdala pracovní listy téměř nevyplněné či úplně prázdné. Vyhodnocení pracovních listů je značně problematické vzhledem k tomu, že práce s ním byla samostatná jen do jisté míry. Jelikož byla cvičení pravidelně přerušována, aby mohlo dojít k diskusi mezi žáky a učitelem a někdy i ke krátkému výkladu ze strany učitele, tak byli žáci schopni si případné odpovědi, které jim chyběly doplnit právě podle toho, co se během těchto diskusních částí dozvěděli, a nikoliv pouze podle svých znalostí a schopností. To ovšem není na škodu, jelikož smysl těchto pracovních listů nebyl na rozdíl od pretestů a posttestů znalosti žáků testovat, nýbrž jim prostřednictvím práce s nimi měli pomoci připomenout si příslušné znalosti o fotosyntéze získané v nižších ročnících. Není tedy na místě hodnotit správnost zapsaných informací v jednotlivých pracovních listech, nýbrž zhodnotit, jak se s nimi žákům pracovalo a jaký vliv měli na zvýšení jejich znalostí o tématu fotosyntézy, jenž se projevilo v posttestech.

S odpovědí na úvodní otázku v pracovním listu, ptající se na to, proč vznikly bublinky v ozářené láhvi s vodní rostlinou, neměli žáci po většinou problém. To mohlo být jednak způsobeno i tím, že žáci podle pretestů věděli, jaké téma bude badatelsky orientovaná výuka mít. Jednak je také možné, že vzhledem ke krátkosti odpovědi si jí

někteří žáci, kterým chyběla, dopsali poté, co byla v rámci diskuse zodpovězena před celou třídou.

Další část, ve které měli žáci navrhnout pokus, kterým by své předchozí tvrzení potvrdili, byla již značně problematictější. Velká část žáků nebyla na poprvé schopna pochopit, co se po nich chce. To, co mají udělat, jim tak muselo být i několikrát vysvětleno i s využitím příkladů. Právě uvedení příkladů však mohlo mít za následek to, že žáci příklad opsali či pouze lehce pozměnili a u většiny z nich tak nápad na nějaký originální pokus ověření fotosyntézy ve vodě nevznikl.

Poté následovalo samotné měření za pomoci přístroje MFD 79. Toto měření probíhalo za pomoci jednoho přístroje hromadně, kdy učitel vždy určil žáky na měření, zatímco ostatní mezitím měření pozorovali. Učitel celé měření řídil a do toho měl většinou i krátké vstupy s výkladem. Aby si měření zkusilo co nejvíce žáků, tak se učitel pokoušel u měření žáky co nejvíce prostřídat. Poté, co byly všechny potřebné hodnoty společně naměřeny, žáci si je zapsali do svých pracovních listů. Vzhledem k tomu, že tento výzkum byl prováděn ve třech různých třídách, nacházejí se v pracovních listech rovněž i 3 varianty naměřených hodnot. Po zapsání hodnot si každý z žáků měl zapsat závěr pokusu, což jim opět velmi často činilo problém, i přesto, že by na psaní podobných závěrů měli být zvyklí například z matematiky, kde je potřeba ke slovním úlohám rovněž psát závěry.

Poté měli žáci zapsat rovnici fotosyntézy, což by se čistě podle odevzdaných pracovních listů mohlo jevit jako něco, co jim nedělalo problém. Ovšem je pravdou, že velká část žáků si na rovnici fotosyntézy během vyplňování pracovního listu vzpomenout nedokázala. Proto si ji doplnili až poté, co ji učitel zapsal na tabuli, nebo ti všímavější si ji vytvořili z nápovědy k výpočtům nacházející se pod tímto cvičením, ze které šla tato rovnice odvodit.

Poté následovala nejproblematictější část nejen pracovního listu ale celé badatelsky orientované výuky. Tou byly výpočty původně koncipované tak, aby si je žáci nejprve zkusili vypočítat sami a až následně si je prošli s učitelem. Ve všech třech zkoumaných třídách však drtivá většina žáků nebyla schopna si s těmito výpočty poradit a musel být tedy zvolen společný postup vypočítávání těchto příkladů, což bylo možné jen díky společně naměřeným hodnotám, které měl tak každý žák stejné. Učitel tedy příklady řešil na tabuli a během toho žákům vysvětloval, proč a jak postupuje. Většina žáků má

tak ve svých pracovních listech stejně poskládaný výpočet, jelikož příklad z tabule pouze opsali. Pouze malá část žáků ve všech třech třídách se rozhodla, že si zkusí příklady vypočítat sami bez sledování učitele počítajícího na tabuli. Mnoho žáků se nejen v posttestech ale i pracovních listech negativně vyjadřovalo o těchto příkladech, vzhledem k náročnosti, kterou pro ně představovali.

Součástí pracovního listu bylo i cvičení, při kterém měli žáci měřit přístrojem MFD 79 obsah kyslíku rozpuštěného ve vodě a pH vody, která byla čerstvě napuštěna z kohoutku. Po naměření hodnot měli do této vody foukat brčkem, opět tyto hodnoty změřit a následně je porovnat mezi sebou. V rámci časových důvodů a absenci dalších přístrojů opět nebylo možné, aby si tento pokus vyzkoušeli všichni, a tak učitel opět pouze vybral pár žáků, kteří se při foukání vystřídali. Žáci si tak stejně jako u dříve popsaného měření zapsali stejné hodnoty. Toto cvičení bylo dle odpovědí v posttestech pro několik žáků poměrně atraktivní. To, jak se hodnoty změnily, si měl každý z žáků okomentovat sám ve svém pracovním listu. Většina žáků pouze stroze popsala, jak se hodnoty mění, ale už nebyli schopni popsat, proč k tomu dochází. Až následně jim bylo učitelem vysvětleno, že tím, jak do vody foukáme, tak do ní dostáváme oxid uhličitý, čímž dochází ke snížení množství rozpuštěného kyslíku a zároveň dochází i ke snižování pH, jelikož oxid uhličitý s vodou vytváří slabou kyselinu uhličitou. Nakonec měli žáci napsat, zdali dýchají i vodní rostliny a pokud ano, tak v jakou denní dobu a jaký význam ve vodě mají. Na obě tyto závěrečné otázky byla většina žáků již schopna odpovědět bez pomoci.

5. Diskuse

Soudě dle vyhodnocených dat lze předpokládat, že badatelsky orientovaná výuka s využitím experimentu s měřicím přístrojem měla statisticky prokazatelně pozitivní vliv na znalosti žáků v oblasti složitého tématu fotosyntézy. K těmto výsledkům rovněž dospěla i Brčáková (2022), která prováděla stejný výzkum vytvořený kolektivem autorů pod záštitou TA ČR označený jako TL 05000150: *Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině*. Kromě zlepšení znalostí žáků bylo i jednou z výzkumných otázek, zdali by mohl tento typ výuky zvýšit atraktivitu přírodopisných předmětů pro žáky na základních školách.

Stejně jako u Brčákové (2022) došlo i v tomto výzkumu k prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí v posttestech u všech zadaných otázek, na které měli žáci odpovědět. Kromě bodových rozdílů mezi pretesty a posttesty byla věnována pozornost i rozdílům mezi výkony chlapců a dívek. Zatímco v pretestech nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi výsledky chlapců a dívek, u posttestu již statisticky významný rozdíl ve znalostech chlapců a dívek zaznamenán byl. Chlapci v rámci posttestů dopadli tedy na rozdíl od pretestů prokazatelně hůře než dívky. Tento výsledek může být podle výsledků výzkumu Světlíkové (2013) způsoben tím, že chlapci na základních školách mají statisticky horší vztah k výuce přírodopisu než dívky. Z tohoto důvodu mohlo dojít k tomu, že chlapci z důvodu nižšího zájmu nevěnovali výuce tak velkou pozornost jako dívky, a to se následně projevilo i na jejich odpovědích v posttestech. Tuto skutečnost potvrzuje i výzkum Prokopa et al. (2007). K tomuto závěru však nedošla Brčáková (2022), která v rámci svého obdobného výzkumu na rozdíl od této práce nezaznamenala statisticky významný rozdíl mezi znalostmi chlapců a dívek.

U první otázky zjišťující odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu, došlo mezi pretesty a posttesty k prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. Ač se tato oblast fotosyntézy podle Hersheye (2005) neřadí v rámci vytváření miskoncepí k těm nejproblematictějším, i přesto se v pretestech objevovala celá řada mylných odpovědí. Problémem zde je to, že žáci mnohdy znají dílčí prvky, které jsou k provedení fotosyntézy nutné, ale nedokáží si je správně zařadit v rámci jejich funkce v celém ději. Proto například nejsou schopni často určit, že právě

sluneční záření je pro fotosyntézu zdrojem energie, a nikoliv například voda či oxid uhličitý, kteří v celém procesu fotosyntézy mají jinou funkci. Žáci tak raději často vypíší spoustu pojmů, které mají s procesem fotosyntézy spojené a doufají, že nějaký z nich bude správnou odpovědí na otázku. Žákům je proto nutné správné zařazení jednotlivých prvků do celého procesu fotosyntézy opakovaně vysvětlit, aby si o celém ději udělali ucelenou představu a věděli jaká látka má během fotosyntézy jakou funkci (Marmaroti & Galanopoulou, 2006).

U druhé otázky zjišťující, jaké látky při fotosyntéze vznikají, došlo rovněž mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. U otázky bylo třeba uvést dvě látky (kyslík a cukr), což žákům činilo problém. V pretestech totiž byl jejich častou odpovědí pouze kyslík. V rámci významnosti pro rostliny je však kyslík považován pouze za odpadní produkt a stěžejním výtěžkem celého procesu fotosyntézy je pro ně cukr. Tato otázka je však pro žáky velmi problematická, jelikož fotosyntézu mají podle mnohých výzkumů jako například Čipková et al. (2017) nebo Köse (2008) zafixovanou hlavně jako proces, při kterém se vytváří kyslík. Koncept kyslíku je pro žáky rovněž pochopitelnější a představitelnější než cukr. Tomu se tak děje zřejmě vzhledem k obecně lepší znalosti principu dýchání než znalosti metabolismu, kterou žáci na základních školách mají.

U třetí otázky zjišťující, odkud získávají rostliny a živočichové organické látky ke svému růstu, došlo rovněž mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. Obecně žáci většinou spíše věděli, jak získávají organické látky živočichové. Tento proces je žákům mnohem bližší a nejspíše proto na tuto otázku znalo odpověď mnohem více žáků než na to, kde organické látky berou rostliny. Tato druhá část otázky byla pro žáky náročnější zřejmě i z toho důvodu, že odpověď na ni je mnohem rozsahově náročnější než u první části. Žáci proto velmi často uváděli neúplné odpovědi. To, že žáci často nejsou schopni uvést, kde rostliny získávají organické látky, kromě této práce potvrzuje i výzkum žákovských miskonceptů, který prováděla Švandová (2013).

U čtvrté otázky měli žáci vypsát, jaké plynné látky rostliny přijímají a vydávají ve dne a v noci. I u této otázky došlo mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. Obecně v pretestech i posttestech dělalo žákům problém uvést vždy oba plyny, které rostliny vydávají a přijímají během dne. Většinou

totiž žáci vypsali pouze jeden. Největší problém dělalo žákům v pretestech konkrétně vypsání ty plynné látky, které rostlina přijímá ve dne. Většinou žáci totiž psali pouze oxid uhličitý a zapomínali na kyslík. Častá absence kyslíku jakožto odpovědi u této otázky by mohla být způsobena tím, že podle Švandové (2013) je velice častou miskoncepcí u žáků to, že rostliny nedýchají vzdušný kyslík, nebo že rostliny dýchají pouze v noci. To by mohlo být podpořeno i faktem, že pro žáky je náročné si představit a uvědomit, že rostlina vykonává dýchání i fotosyntézu zároveň jak ve své práci uvádějí Keleş a Kefeli (2010). Díky provedené experimentální výuce však soudě dle odpovědí v posttestech došlo ke zlepšení těchto znalostí u žáků. K prokazatelnému ovšem menšímu zlepšení mezi pretesty a posttesty došlo i u odpovědi na otázku jaké plynné látky rostliny ve dne vydávají. Žáci zde většinou uvedli kyslík, ovšem zapomněli na oxid uhličitý. Právě jedna z nejčastějších miskoncepcí podle výzkumu Pazourové (2011), že výroba kyslíku je nejdůležitější úlohou rostlin, je zřejmě natolik v žácích zakořeněná, že zabránila tomu, aby si vyšší počet žáků tuto znalost osvojil a následně zapsal do svých posttestů. Ze všech čtyř částí čtvrté otázky tak u této došlo k nejmenšímu navýšení plně správných odpovědí. Naopak k nejvyššímu navýšení správných odpovědí došlo u druhé části otázky, která zjišťovala, jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry v noci. Provedená experimentální výuka měla tedy zřejmě poměrně velký vliv na uvědomění si, že rostliny dýchají. To by se mohlo jevit jako paradoxní, vzhledem k tomu, že výuka byla primárně zaměřena na fotosyntézu, jejíž znalost se v posttestech u čtvrté otázky nezvýšila tolik jako právě znalost dýchání. Toto zlepšení ve znalostech o procesu dýchání je však pro lepší pochopení rovněž důležité, jelikož jak uvádějí ve své práci Brown a Schwartz (2009), tyto dva děje jsou komplementární a pro komplexní chápání fotosyntézy je potřeba dobře si osvojit i principy dýchání u rostlin.

U páté otázky došlo rovněž mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. V této otázce bylo zjišťováno, zda žáci ví, co tvoří vodní květ a jak vzniká. Je zajímavé, že u této otázky došlo ke zlepšení, vzhledem k tomu, že téma vodního květu nebylo prvoplánově zařazené do experimentální výuky. Vzhledem k tomu, že se však tato otázka v pretestech a posttestech nacházela, byl tomuto tématu věnován čas i během prováděné experimentální výuky. Nelze ovšem říct, že by toto téma bylo do výuky zařazeno nuceně, jelikož problematika vodního květu je pro život vodních rostlin velice důležitá a tematicky se tak do výuky hodila.

Žáci již v pretestech často věděli, že vodní květ tvoří sinice či řasy, ale větší problém měli s uvedením toho, jak vodní květ vzniká. To se po provedení experimentální výuky zlepšilo, ovšem vzhledem k tomu, že této problematice nebylo věnováno tolik času, nedošlo k tak podstatnému zlepšení jako u jiných otázek. K nižšímu nárůstu plně správných odpovědí tak došlo už jen pouze u třetí a čtvrté otázky. U těchto dvou jmenovaných otázek však nižší zlepšení nebylo na rozdíl od páté otázky způsobeno nižší časovou dotací na probrání látky, nýbrž vysokou náročností těchto témat pro žáky. Právě témata třetí a čtvrté otázky jsou podle Salterové et al. (2008) na rozdíl od obsahu tématu páté otázky pro pochopení žáky kvůli svému abstraktnímu charakteru značně problematické.

U šesté otázky došlo rovněž mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. Jednalo se o jedinou otázku s uzavřeným typem odpovědí. Žáci zde měli ze tří nabízených možností zvolit správné tvrzení, že během dne je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a méně oxidu uhličitého než v noci. Toto tvrzení měli následně obhájit jednou ze čtyř možností, z nichž správná byla ta, že vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý. Správné zodpovězení této otázky bylo opět podmíněno znalostí toho, kdy rostliny dýchají a kdy fotosyntetizují. Stejně jako u předešlých podobně tematicky zaměřených otázek se žáci pravděpodobně díky provedené experimentální výuce zlepšili. Někdy však i v posttestech nebyli žáci schopni určit správné odpovědi. V některých případech byli schopni označit první část správně, ale pak ji nebyli schopni správně obhájit. Někdy dokonce měli žáci jakožto odpověď zaškrtnutou správnou variantu, ale tou obhajovali v první části špatnou odpověď. V některých případech tak došlo k vytvoření i zcela nelogických kombinací, které se vzájemně vylučovali. Tyto problémy jsou zřejmě spojené mimo jiné s miskoncepcemi týkajícími se zaměňování fotosyntézy s dýcháním, tak jak je popisuje například Čipková et al. (2017). Podle Vágnerové et al. (2019) by mohla být celá problematika zaměňování těchto dvou jevů způsobená jejich náročností a biochemickým charakterem, které nejsou úměrné schopnostem žáka v šestém ročníku, kam je jejich výuka zařazována.

U sedmé otázky došlo také mezi pretesty a posttesty ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských odpovědí. Žáci zde měli uvést, jak se jmenuje proces, díky němuž rostliny vytvářejí svou biomasu. Právě využití pojmu biomasa bylo pro žáky matoucí.

Někteří se při hodnocení výuky na konci posttestů negativně vyjadřovali, že během výuky byly využívány pojmy, které neznali, čímž naráželi nejspíše mimo jiné právě na fotosyntézu. Právě užívání pro žáky cizích a náročných pojmů může podle Keleşe a Kefeliho (2010) vést ke vzniku nových miskoncepcí či ke ztrátě zájmu o téma. Zůstává ovšem otázkou, do jaké míry je pojem biomasa problematický. Po realizované výuce, kde se s tímto pojmem pracovalo, došlo totiž k jednomu z nejvyšších zlepšení žákovských odpovědí v posttestech. Tento pojem tedy není pro žáky tak náročný a po krátké práci s ním při výuce by si ho měla velká část žáků osvojit. Čipková et al. (2017) uvádějí, že neznalost pojmu biomasa může být vyvolána i vnímáním fotosyntézy jakožto pouze procesu, při kterém dochází k výměnám plyných látek, a nikoliv k růstu rostlin.

Osmá otázka byla poslední teoretickou otázkou, která se v pretestech a posttestech objevila. U této otázky, která zjišťovala, jaký význam mají řasy v rybníce, mohli žáci uvést kyslík jakožto hlavní plně správnou odpověď či méně významné odpovědi, které byly v rámci výzkumu považovány za neúplné. Tato otázka nebyla tedy pro žáky ani v pretestech tak problematická, jak by se mohlo z celkových výsledků zdát, jelikož zde velmi často převládali právě ty neúplné odpovědi. Nedá se tedy říct, že by žáci nevěděli, jaký je význam vodních rostlin ve vodě. Důležité ovšem bylo, aby si žáci během experimentální výuky uvědomili, který je nejdůležitější. Paradoxně zde totiž žáci i přes nejčastěji rozšířené miskoncepce nadhodnocující význam kyslíku v rámci fotosyntézy (Čipková et al., 2017; Köse, 2008) na uvedení tohoto významu často zapomínali. Tato skutečnost by mohla být spojena s další miskoncepí a to tou, že ve vodě rostliny nedýchají, a tak podle žáků ani žádný kyslík pod vodou vytvářet nemusejí (Köse, 2008).

Zatímco u Brčákové (2022) došlo ke zvýšení plně správných odpovědí u první otázky mezi pretesty a posttesty o 18,31 %, v rámci této práce došlo k mnohem výraznějším zlepšením, a to o 34,33 %. Zlepšení žáků zkoumaných v rámci této práce u první otázky je tak větší o 16,02 % oproti výsledkům, které získala Brčáková (2022). Stejně tak došlo v rámci tohoto výzkumu k výraznějším zlepšením oproti Brčákové (2022) i u čtvrté otázky, a to o 5,24 %. U všech ostatních otázek bylo však zvýšení mezi pretesty a posttesty u Brčákové (2022) mnohem vyšší než ve výzkumu prováděném v rámci této práce. Tento rozdíl je nejvíce patrný u třetí otázky, kdy u Brčákové (2022) se zlepšila znalost plně správných odpovědí mezi pretesty a posttesty o 49,29 %, zatímco

u výzkumu prováděného v rámci této práce došlo ke zlepšení plně správných odpovědí mezi pretesty a posttesty u třetí otázky pouze o 11,95 %. Rozdíl mezi těmito dvěma údaji tak činí 37,4 %. Naopak nejmenší rozdíl mezi Brčákovou (2022) a výzkumem prováděným v rámci této práce nastal u šesté otázky, a činil pouhých 0,8 %.

Testováním žákovských znalostí v oblasti fotosyntézy vodních rostlin se rovněž zabývala i Mouchová (2022). Její dotazníkové šetření zaznamenalo několik poměrně rozdílných výsledků oproti těm, které byly získány v rámci této práce. Ve výzkumu Mouchové (2022) měli například žáci rovněž za úkol srovnat výživu rostlin a živočichů stejně jako ve výzkumu prováděném v rámci této práce v pretestech a posttestech u třetí otázky. Zatímco zde bylo schopno plně správnou odpověď uvést pouhých 10,45 % žáků u pretestů a později 17,92 % u posttestů, tak úspěšnost žákovských odpovědí u Mouchové (2022) činila 77 %. Oproti výsledkům za pretesty získaných během výzkumu v rámci této práce, byla tak znalost žáků zkoumaných Mouchovou (2022) v tomto ohledu vyšší o 66,55 %. Ve výzkumu Mouchové (2022) rovněž figurovala stejná tabulka na doplnění plyných látek, jaká byla užitá v pretestech a posttestech v této práci jako otázka číslo 4. I zde došlo k zaznamenání rozdílných výsledků. Zatímco u Mouchové (2022) činil podíl žáků, kteří úspěšně odpověděli na tuto otázku 35 %, ve výzkumu prováděném v rámci této práce dosáhl plného počtu bodů za tuto otázku pouze jeden žák (1,49 %) v rámci pretestů a 19,41 % žáků v rámci posttestů. Oproti výsledkům za pretesty získaných během výzkumu v rámci této práce, byla tak znalost žáků zkoumaných Mouchovou (2022) v tomto ohledu vyšší o 33,51 %. Mouchovou (2022) byl rovněž zjištěn i vyšší počet žáků, kteří znali odpověď na otázku v této práci označenou jako otázka číslo 5, a to až o 25,15 %. V rámci výzkumu Mouchové (2022) byla také pokládána stejná otázka, která byla v rámci výzkumu k této práci označována jako otázka číslo 6. V tomto případě však nedošlo k výraznému rozdílu mezi výsledky získanými v této práci a těmi, které získala Mouchová (2022).

Realizovaná experimentální výuka dosáhla v žákovském hodnocení atraktivity poměrně pozitivních výsledků, kdy průměrná známka činila 2,27. Dopadla tak lépe než klasická výuka s výkladem učitele, výuka pomocí interaktivní výukové aplikace, výuka s využitím terénních či laboratorních úloh bez měření s přístroji a laboratorní úlohy s využitím moderních přístrojů. Nicméně dosáhla realizovaná výuka horšího žákovského hodnocení než výuka s terénními úlohami využívající moderních

přístrojů, výuková videa a kvízy na PC, tabletu či mobilu. Oproti výsledkům, které při svém výzkumu získala Brčáková (2022), tak došlo k několika změnám v žákovských názorech na atraktivitu jednotlivých typů výuky. U Brčákové (2022) získala realizovaná výuka průměrnou známku 1,56. Průměrná známka, kterou obdržela výuka uskutečněná v rámci této práce, se tak v žákovském hodnocení zhoršila o 0,71. Zatímco u Brčákové (2022), získala nejlepší hodnocení výuka využívající laboratorních úloh s moderními měřicími přístroji, tak v tomto výzkumu dosáhly nejlepších výsledků kvízy na PC, tabletu či mobilu (průměrná známka 1,88). Nicméně i tak byla průměrná známka získaná za kvízy na PC, tabletu či mobilu u Brčákové (2022) o 0,26 lepší než v hodnocení zrealizovaného v rámci této práce. To, že je pro žáky ve výuce čím dál atraktivnější využívání počítačů, tabletů a mobilních telefonů potvrzuje například i výzkum Keleşe a Kefeliho (2010).

První výzkumná otázka, kterou se tato práce zabývala, zněla: Může realizace experimentálních úloh při výuce vést ke zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy a k odstranění miskonceptí, které jsou s ní spjaty? Výsledky, které byly během výzkumu získány a dále pak vyhodnoceny, jasně prokázaly, že realizace experimentálních úloh s optickým čidlem na měření pH vody a množství rozpuštěného O_2 v ní při výuce může prokazatelně vést ke zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy a k odstranění miskonceptí, které jsou s ní spjaty. To potvrzují i závěry Brčákové (2022).

Druhá výzkumná otázka, kterou se tato práce zabývala, zněla: Má tento typ výuky (výuka s experimentálními úlohami využívající optické čidlo na měření pH vody a množství rozpuštěného O_2 v ní) vliv na atraktivitu výuky pro žáky? Výsledky, které byly během výzkumu získány, a dále pak vyhodnoceny, jasně prokázaly, že tento typ výuky může prokazatelně vést ke zvýšení atraktivity výuky pro žáky. To opět potvrzuje závěry, se kterými ve své práci přišla Brčáková (2022).

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda může realizace experimentálních úloh s optickým čidlem na měření pH a množství rozpuštěného O_2 v ní při výuce vést ke zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy a k odstranění miskonceptů, které jsou s ní spjaty. Zároveň bylo zjišťováno, zda může mít tento typ výuky vliv na atraktivitu výuky pro žáky.

Výzkum k této bakalářské práci byl prováděn metodou aplikace pretestu a posttestu na vzorku 67 žáků devátých tříd na třech různých základních školách běžného typu v Českých Budějovicích. Žáci před provedením výuky s experimentálními úlohami využívající měřicí přístroj individuálně vyplnili pretesty. Následně byla zrealizována výuka využívající experimentálních úloh s optickým čidlem na měření pH vody a množství rozpuštěného O_2 v ní. Poté byly žáky individuálně vyplněny posttesty, v nichž se kromě teoretických otázek shodných s těmi obsaženými v pretestech nacházely i otázky hodnotící realizovanou výuku a další jiné typy výuky, které mohou být užity. To bylo zjišťováno za pomoci dvou otevřených otázek a několika Likertových škál. Získaná data z pretestů a posttestů byla následně kvůli průkaznosti vyhodnocena za pomoci dvou statistických metod. Konkrétně se jednalo o dvouvýběrový, jednostranný, nepárový t-test podle Welsche a analýzu variance ANOVA (Analysis of variance).

Výsledky Welschova t-testu a analýzy variance ANOVA jasně prokázaly, že realizace experimentálních úloh s optickým čidlem na měření pH a množství rozpuštěného O_2 v ní při výuce může vést ke zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy a k odstranění miskonceptů, které jsou s fotosyntézou spjaty. Příkladem zlepšení žákovských znalostí může být například průměrný bodový zisk, který zkoumaní žáci za testy obdrželi. Zatímco v pretestech činil 7,46 bodu, v posttestech již činil 10,87 bodu. Po realizaci výuky tak došlo k průměrnému zlepšení o 3,41 bodů. Výsledky získané vyhodnocením hodnotících otázek a Likertových škál v posttestech prokázaly, že tento typ výuky může mít rovněž pozitivní vliv na atraktivitu výuky přírodopisu pro žáky. Výuka totiž například skončila v žákovském hodnocení s průměrnou známkou 2,27. Tím dopadla v žákovském hodnocení mnohem lépe než klasická výuka přírodopisu s výkladem vyučujícího, jejíž průměrná známka činila 3,22.

Podle výsledků této práce by mohla výuka s užitím experimentálních úloh s měřicím přístrojem pomoci zvýšit atraktivitu výuky botanických témat jako je fotosyntéza vodních rostlin. Dle hodnotící škály a písemných odpovědí se tato experimentální výuka setkala převážně s pozitivním ohlasem. Rovněž po jejím provedení došlo ke statisticky prokazatelnému zlepšení žákovských znalostí v oblasti tématu fotosyntézy. Vzhledem k těmto pozitivním výsledkům, ji lze doporučit k zařazení do výuky na základních školách.

7. Seznam literatury

- Adamec, L. (2003). Fotosyntéza u ponořených vodních rostlin II. Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů. *Živa*, 51(2), 59-61.
- Alberts, B., Johnson, A. D., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). *The molecular biology of the cell* (4th ed.). Garland science, New York. (Originál publikován v roce 1983)
- Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12.
- Archibald, J. M. (2015). Endosymbiosis and Eukaryotic Cell Evolution. *Current Biology*, 25(19), 911-921.
- Beránková, T. (2011). *Uplatňování metod kritického myšlení ve výuce fotosyntézy* (diplomová práce). Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Brčáková, T. (2022). *Moderní experiment jako cesta k inovaci a odstranění miskoncepcí ve výuce fotosyntézy na základních školách* (diplomová práce). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, České Budějovice.
- Brown, M. H., & Schwartz, R. S. (2009). Connecting photosynthesis and cellular respiration: Preservice teachers' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 791.
- Červenková, I. (2013). *Výukové metody a organizace vyučování*. Ostravská univerzita v Ostravě, Pedagogická fakulta, Ostrava.
- Čipková, E., Karolčík, Š., & Vörösová, N. (2017). Korekcia miskoncepcí žiakov o fotosyntéze a dýchání rastlín prostredníctvom bádateľsky orientovaného vyučovania. *Biologie-Chemie-Zeměpis*, 26(3), 24–34.
- Dančák, M. (2015). *Přírodopis 6 – rostliny* (učebnice pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia). Prodos, Olomouc.
- Dostál, J. (2013). Experiment jako součást badatelsky orientované výuky. *Trendy ve vzdělávání*, 6(1), 9–19.

- Dostál, J. (2014). Experimentování žáků při výuce – nové možnosti a perspektivy. *E-pedagogikum*, 14(1), 7–19.
- Furbank, R. T. (2016). Walking the C4 pathway: past, present, and future. *Journal of Experimental Botany*, 67(14), 4057-4066.
- Gloser, J. (1999). Fyziologické adaptace sukulentních rostlin II. Uhlíkový metabolismus. *Živa*, 47(3), 105-108.
- Hall, D. O., & Rao, K. (1999). Photosynthesis. Cambridge University Press.
- Hershey, D. R. (2005). More misconceptions to avoid when teaching about plants. American Institute of Biological Sciences.
- Holzäpfelová, H. (2010). *Biota zaplaveného kamenolomu u obce Hradec u Stodu: využití lokality v terénní výuce* (diplomová práce). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, České Budějovice.
- Jelínek, J., & Zicháček, V. (2014). Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc, s. r. o., Olomouc.
- Juliano, N. D., & Kellogg, E.A. (1997). The structure and function of RuBisCO and their implications for systematic studies. *American journal of botany*, 84(3), 413-428.
- Juráň, J., & Kaštovský, J. (2016). Nový pohled na systém řas a jak ho učít. *Živa*, 64(6), 299-301.
- Jursík, M., Soukup, J., Venclová, V., Holec, J., & Andr, J. (2010). Inhibitory fotosyntézy. *Listy cukrovarnické a řepářské*, 126(2), 48-54.
- Kalhous, Z., & Obst, O. (2002). Školní didaktika. Portál, Praha.
- Keleş, E., & Kefeli, P. (2010). Determination of student misconceptions in „photosynthesis and respiration“ unit and correcting them with the help of cai material. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3111–3118.
- Koblížek, M., & Prášil, O. (2002). Fototrofní bakterie: Nově objevené metabolické strategie v oceánech. *Vesmír*, 81(9), 505.
- Köse, S. (2008). Diagnosing student misconceptions: Using drawings and research methods. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 283–293.

- Kubásek, J. (2012). Rostliny C4 – 1. díl. *Vesmír*, 91(1), 35–40.
- Lande, V. W. (2021). Mat forming cyanobacteria: A review on early photoautotrophs in evolution. *Journal of Global Biosciences*, 10(11), 9074-9091.
- Laštůvka, Z., & Krejčová, P. (2000). *Ekologie*. Konvoj, Brno.
- Leonard, M. J., Kalinowski, S. T., & Andrews, T. C. (2014). Misconceptions yesterday, today and tomorrow. *CBE – Life Sciences Educations*, 13(2), 179–186.
- Maňák, J. (1990). *Nárys didaktiky* (1. vydání). Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Brno.
- Maňák, J., & Švec, V. (2003). *Výukové metody*. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Brno.
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383–403.
- Michael, J. (2002). Misconceptions – what students thinks they know. *Advances in Physiology Education*, 26(1), 5–6.
- Mouchová, N. (2022). *Testování žákovských znalostí fotosyntézy vodních rostlin* (bakalářská práce). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, České Budějovice.
- Pavlasová, L. (2014). *Přehled didaktiky biologie*. Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Praha.
- Pazourová, M. (2011). *Prekoncepty vybraných biologických jevů a dějů u žáků základních škol* (diplomová práce). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, České Budějovice.
- Pedersen, O., Colmer, T. D., & Sand-Jensen, K. (2013). Underwater photosynthesis of submerged plants-recent advances and methods. *Frontiers in plant science*, 4, 18-36.
- Pokorný, J. (2014). *Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem.
- Preston, C. D., & Creston, J. M. (1997). *Aquatic plants in Britain and Ireland*. Harley books, England.

Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J., & kol. (1998). Fyziologie rostlin. Academia, Praha.

Prokop, P., Prokop, M., & Tunnicliffe, S. D. (2007). Is biology boring? Student attitudes toward biology. *Journal of biological education*, 42(1), 36–39.

Příbyl, K. (2021). *Problematická místa učiva ekologie na základní škole z pohledu učitelů* (diplomová práce). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, České Budějovice.

Raunkiær, Ch. C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford University Press.

RVP ZV (Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání) (2021). Praha: MŠMT. Dostupné z: <https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/07/RVP-ZV-2021-zmeny.pdf>

Salter, I., Smith, R., & Nielsen, K. (2008). Injecting inquiry into photosynthesis investigations. *Science scope*, 32(1), 34–39.

Schauer, T., & Caspari, C. (2010). Svět rostlin (3. vydání). Rebo productions CZ, spol. s r. o., Praha.

Skalková, J. (2007). Obecná didaktika – 2. rozšířené a aktualizované vydání. Grada publishing as., Praha.

Someda, C. G. (2017). Electromagnetic waves. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Světlíková, R. (2013). *Vnímání přírodopisu u žáků základních škol s ohledem na vliv učitele* (bakalářská práce). Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra pedagogiky, Brno.

Šimik, O. (2011). Pedagogický výzkum žakovských přírodovědných pokusů v primárním vzdělávání. Ostravská univerzita v Ostravě.

Šmarda, J. (1996). Sinice. *Vesmír*, 75(10), 576–583.

Šmídl, M. (2013). Analýza učebnic a tvorba učebních textů s tematickým celkem sacharidy a jejich metabolismus pro školy gymnaziálního typu (disertační práce). Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.

Švandová, K. (2013). Identifikace mylných představ z fyziologie rostlin prostřednictvím dvojúrovňového testu. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra biologie, Brno.

Teplá, M. (2020). *Fotosyntéza* (studijní text). Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra učitelství a didaktiky chemie, Praha.

Válek, J. (2017). Kritizujeme RVP oprávněně? In J. Válek & P. Marinič (Eds.), 11. mezinárodní vědecká konference – Didaktická konference 2017 (s. 168–179). Brno: Masarykova univerzita, pedagogická fakulta. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/319606462_Kritizujeme_RVP_opravnenne

Váagnerová, P., Benediktová, L., & Kout, J. (2019). Kritická místa ve výuce přírodopisu – jejich identifikace a příčiny. *Arnica*, 9(1), 39–50.

Vikström, A. (2008). What is Intended, What is Realized, and What is Learned? Teaching and Learning Biology in the Primary School Classroom. *Journal of Science Teacher Education*, 19(3), 211–233.

Votrubová, O. (2010). Anatomie rostlin. Univerzita Karlova, Karolinum, Praha.

Weaver, J. E., & Clements, F.E. (1938). *Plant Ecology*. McGraw-Hill Book Co., New York.

Wernegreen, J. J. (2012). Endosymbiosis. *Current Biology*, 22(14), 555-561.

Yenilmez, A., & Tekkaya, C. (2006). Enhancing students' understanding of photosynthesis and respiration in plant through conceptual change approach. *Journal of science Education and Technology*, 15(1), 81–87.

Závodská, R. (2006). *Biologie buněk: základy cytologie, bakteriologie, virologie*. Praha: Scientia.

Zormanová, L. (2012). *Výukové metody v pedagogice*. Grada publishing as., Praha.

Žídková, H., & Knůrová, K. (2017). *Hravý přírodopis 6: učebnice pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia* (1. vydání). Taktik International, s.r.o., Praha.

8. Přílohy

8.1 Seznam příloh

Příloha 1: Pracovní list použitý během badatelsky orientované výuky s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

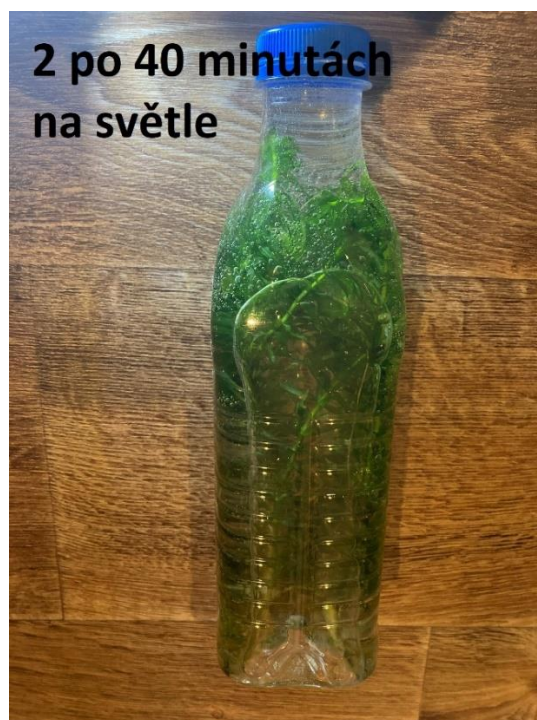
Příloha 2: Pretest použitý před badatelsky orientovanou výukou s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

Příloha 3: Posttest použitý po badatelsky orientované výuce s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

Příloha 1:

Pracovní list

Dvě plastové láhve jsme naplnili vodou. Do jedné z těchto láhví jsme následně přidali akvarijní rostlinu – Vodní mor kanadský. Obě láhve jsme dali pod rozsvícenou lampu, čímž jsme je vystavili světelnému záření. Asi po 40 minutách jsme zjistili, že v láhvi s vodní rostlinou vznikly drobné bublinky. Co je jejich příčinou a jak vznikly? Naopak v láhvi bez rostliny bublinky nebyly.



Jak vznikly bublinky ve vodě s vodní rostlinou uzavřené v plastové láhvi na světle? Zapište svoji domněnku:

1. Vymyslete postup pokusu, kterým svoji domněnku ověříte. K dispozici máte: průhledné PET lahve se širším hrdlem, přístroj pro měření kyslíku s ponornou sondou, pH metr, temnou látku (neprůsvitnou krabici).

Návrh pokusu:

Naměřené hodnoty:

Závěr pokusu:

Kolik kyslíku vodní rostlina za dobu trvání pokusu vyprodukovala? Kolik své biomasy za tu dobu vytvořila? (tedy o kolik povyroستla?) (K výpočtu využijte základní rovnici fotosyntézy). Zapište základní rovnici fotosyntézy:

Základní rovnice fotosyntézy:

Nápověda: 6CO_2 (6×44) = 264; $6\text{H}_2\text{O}$ (6×18) = 108; $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ = 180; 6O_2 (6×32) = 192. Produkci kyslíku 192 gramů, odpovídá produkce cukru 180 gramů a spotřebuje se 264 gramů oxidu uhličitého. Tento poměr využijte k dalším výpočtům:

Výpočet:

Odpověď:

Dokážete spočítat, kolik sluneční energie se navázalo do vytvořené biomasy? Energetický obsah glukózy je $2800 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (180 gramů = mol).

Výpočet:

Odpověď:

Cvičení v průběhu pokusu.

Než se pustíte do měření vašeho experimentu, nacvičte si práci s měřicími přístroji na následujícím cvičení: Hadičkou/brčkem dýchejte do vodovodní vody v pet lahvi, kterou jste předtím uzavřenou protřepali. Kyslíkovým čidlem měřte koncentraci kyslíku, hodnotu pH měřte pH metrem. Jak se změnilo množství kyslíku a proč? Jak se změnilo pH a proč?

Množství kyslíku před probubláním:

Množství kyslíku po probublání:

Hodnota pH před probubláním:

Hodnota pH po probublání:

Závěr:

Jak se mění množství kyslíku a pH vody, když do ní dýcháme?

Odpověď:

Dýchají také vodní rostliny? V jakou denní / noční dobu?

Odpověď:

Jakými dalšími procesy kromě dýchání mohou rostliny ovlivnit množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě? Jak to souvisí s pH vody? (odpověď konzultujte s vyučujícím)

Odpověď:

Závěrečné shrnutí: Uveďte, jaký význam mají vodní rostliny pro život ve vodě

Odpověď:

Příloha 2:

Pretest

Pohlaví muž žena

1. Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?

.....

2. Jaké látky vznikají při fotosyntéze?

.....

.....

3. Srovnej výživu rostlin a výživu živočichů – doplň následující věty

Živočichové získávají organické látky ke svému růstu z

.....

.....

Rostliny získávají organické látky ke svému růstu z

.....

.....

4. Do následující tabulky doplňte, jaké plynné látky rostliny přijímají z atmosféry a jaké do ní uvolňují ve dne a jaké v noci?

	Ve dne	V noci
Jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry		
Jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry		

5. V létě se na mnoha vodních nádržích vytváří tzv. vodní květ. Zodpovězte tyto otázky: a) Jaké organismy tvoří vodní květ
b) Proč vzniká vodní květ?

Odpověď:

a) Vodní květ tvoří.....

b) Proč vzniká vodní květ?

.....

.....

6. Vyberte z následujících tvrzení jedno pravdivé a následně vyberte jeden z důvodů, proč jste toto tvrzení vybrali:

- a) Během dne je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a méně oxidu uhličitého než v noci
- b) V noci je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a více oxidu uhličitého než ve dne
- c) Ve dne a v noci je množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě rybníka s vodními rostlinami vyrovnané

Toto tvrzení považují za pravdivé, protože:

- 1) Vodní rostliny ve dne pouze fotosyntetizují, kdežto v noci pouze dýchají, ve dne tedy uvolňují díky fotosyntéze kyslík a v noci ho při dýchání spotřebovávají
- 2) Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý
- 3) Rostliny plynly ve vodě neovlivňují, protože ve vodě nemohou růst. Je tam málo světla, po většinu roku chladno a plyny (kyslík, oxid uhličitý) se pohybují velmi pomalu
- 4) Vodní rostliny množství kyslíku ani oxidu uhličitého ve vodě neovlivňují, protože pod vodou nemohou dýchat

7. Jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu?

.....

8. Jaký význam mají řasy v rybníce?

.....

Výzkum probíhá v rámci projektu TL 05000150: Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině. Projekt je řešen s podporou TAČR.

Příloha 3:

Posttest

Pohlaví muž žena

1. Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?

.....

2. Jaké látky vznikají při fotosyntéze?

.....

.....

.....

3. Srovnej výživu rostlin a výživu živočichů – doplň následující věty

Živočichové získávají organické látky ke svému růstu z

.....

.....

Rostliny získávají organické látky ke svému růstu z

.....

.....

4. Do následující tabulky doplňte, jaké plynné látky rostliny přijímají z atmosféry a jaké do ní uvolňují ve dne a jaké v noci?

	Ve dne	V noci
Jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry		
Jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry		

5. V létě se na mnoha vodních nádržích vytváří tzv. vodní květ. Zodpovězte tyto otázky: a) Jaké organismy tvoří vodní květ

b) Proč vzniká vodní květ?

Odpověď:

a) Vodní květ tvoří.....

b) Proč vzniká vodní květ?

.....

.....

6. Vyberte z následujících tvrzení jedno pravdivé a následně vyberte jeden z důvodů, proč jste toto tvrzení vybrali:

- a) Během dne je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a méně oxidu uhličitého než v noci
- b) V noci je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a více oxidu uhličitého než ve dne
- c) Ve dne a v noci je množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě rybníka s vodními rostlinami vyrovnané

Toto tvrzení považují za pravdivé, protože:

- 1) Vodní rostliny ve dne pouze fotosyntetizují, kdežto v noci pouze dýchají, ve dne tedy uvolňují díky fotosyntéze kyslík a v noci ho při dýchání spotřebovávají
- 2) Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý
- 3) Rostliny plyny ve vodě neovlivňují, protože ve vodě nemohou růst. Je tam málo světla, po většinu roku chladno a plyny (kyslík, oxid uhličitý) se pohybují velmi pomalu
- 4) Vodní rostliny množství kyslíku ani oxidu uhličitého ve vodě neovlivňují, protože pod vodou nemohou dýchat

7. Jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu?

.....

8. Jaký význam mají řasy v rybníce?

.....

9. Jak se ti líbila dnešní výuka?

zaškrtni stupeň na stupnici, který nejlépe vyjadřuje Tvůj názor (známkuj jako ve škole, 1= líbilo by se Ti nejvíce, 5= vůbec by se Ti nelíbilo)

Výuka se mi velmi líbila	1	2	3	4	5	Vůbec se mi nelíbila
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

10. Co se ti na výuce líbilo nejvíce?

.....

11. Co se ti na výuce nelíbilo?

.....

12. Jaká výuka o rostlinách by Tě bavila? U každé z následujících otázek zaškrtni stupeň na stupnici, který nejlépe vyjadřuje Tvůj názor (známkuj jako ve škole, 1= líbilo by se Ti nejvíce, 5= vůbec by se Ti nelíbilo)

a) Klasická výuka s výkladem učitele ve škole

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

b) Pomocí interaktivní výukové aplikace

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

c) Terénní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

d) Terénní či laboratorní úlohy bez měření s přístroji

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

e) Laboratorní úlohy, kde bychom měřili s moderními přístroji

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

f) Výukové video

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

g) Kvízy na PC, tabletu, mobilu

Líbilo by se mi nejvíc	1	2	3	4	5	Vůbec by se mi nelíbilo
------------------------	---	---	---	---	---	-------------------------

Výzkum probíhá v rámci projektu TL 05000150: Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině. Projekt je řešen s podporou TAČR.