



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

Diplomová práce

**Moderní experiment jako cesta  
k inovaci a odstranění miskoncepčí  
ve výuce fotosyntézy na základních  
školách**

Vypracovala: Bc. Tereza Brčáková

Vedoucí práce: RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.

České Budějovice 2022





Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou 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 výsledky 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**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce RNDr. Renatě Ryplové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky k mé diplomové práci.

Poděkování patří také všem respondentům, kteří se trpělivě podíleli na dotazníkovém šetření.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda využití moderního experimentu využívajícího badatelsky orientovaný přístup k výuce a měření s pomocí moderního měřicího přístroje, kterým bylo optické čidlo pro měření rozpuštěného kyslíku a pH ve vodě vede ke zlepšení žakovského porozumění tématu fotosyntéza. Sledován byl také vliv využití tohoto experimentu na atraktivitu výuky přírodopisu a odstranění žakovských miskoncepce. Výzkum byl prováděn formou pretest a posttest. Ze získaných statisticky vyhodnocených dat lze usuzovat, že moderní experiment se spojením s badatelsky orientovaným vyučováním může mít kladný vliv na žakovské porozumění tématu.

Klíčová slova:

Fotosyntéza, miskoncepce, badatelsky orientovaná přírodovědná výuka, moderní metody výuky, inovace výuky

## **Abstract**

The aim of my thesis is to validate a modern experiment using an inquiry-based education to teaching using a modern measuring instrument, which was an optical sensor for measuring dissolved oxygen in water. My thesis presents the results of the influence of the students' practical activities during the teaching on the students' understanding of the topic. It also brings verification whether this approach to teaching using a modern experiment has an impact on the attractiveness of science teaching and is able to remove pupils' misconceptions. Data were collected in the form of pretest and posttest. From the obtained statistically evaluated data, it can be concluded that modern experiment combined with inquiry-based education can have a positive effect on students' understanding of the topic.

Key words:

Photosynthesis, misconception, inquiry-based science education, modern teaching methods, innovations in teaching

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární přehled.....	2
2.1. Miskoncepce a problematika výuky fotosyntézy na základních školách.....	2
2.2. Experiment jako moderní výuková metoda zaměřená na žáka .....	10
2.3. Fotosyntéza.....	16
2.3.1. Průběh světelné fáze fotosyntézy .....	21
2.3.2. Temnostní fáze fotosyntézy .....	24
2.3.3. Fotosyntéza vodních rostlin .....	27
2.3.4. Faktory ovlivňující fotosyntézu .....	29
2.3.5. Energetická bilance a výtěžek fotosyntézy .....	32
2.4. Metody měření výtěžku fotosyntézy .....	33
2.4.1. Gravimetrické metody.....	34
2.4.2. Fluorimetrické metody .....	34
2.4.3. Gazometrické metody .....	34
3. Metodika .....	37
4. Výsledky .....	40
4.1. Otázka číslo jedna.....	42
4.2. Otázka číslo dva .....	44
4.3. Otázka číslo tři.....	45
4.4. Otázka číslo čtyři.....	48
4.5. Otázka číslo pět .....	55
4.6. Otázka číslo šest .....	57
4.7. Otázka číslo sedm.....	59
4.8. Otázka číslo osm.....	60
4.9. Výzkum žákovských názorů na atraktivitu výuky .....	62
4.10. Zhodnocení pracovních listů.....	63

5. Diskuse .....	66
6. Závěr .....	72
7. Seznam literatury .....	73
8. Přílohy .....	81
8.1. Seznam příloh.....	81

## 1. Úvod

Fotosyntéza je jeden z nejdůležitějších procesů probíhajících na Zemi. Samotný vznik organismů, které jsou závislé na kyslíku, tedy včetně člověka, byl zapříčiněn fotosyntézou, která vedla ke vzniku kyslíkaté atmosféry. Ve výuce na základní škole však tento vysoce významný proces je i v mezinárodním měřítku řazen k těm nejobtížnějším a nejproblematictějším (Marmaroti a Galanopoulou., 2006; Vágnerová a kol., 2019). Energie získávaná v procesu fotosyntézy a uložená v biomase fosilních paliv je pro lidstvo i dnes významným zdrojem energie. Fotosyntetická tvorba rostlinné biomasy stojí na počátku ekosystémů a potravních řetězců. Díky vysoké eutrofizaci rybníků a vodních nádrží jsou i vodní plochy, s fotosynteticky aktivními organismy jako jsou řasy a sinice, významnými producenty biomasy. Tento obrovský nárůst vodní flóry ve vegetační sezóně je provázen denními výkyvy v koncentracích kyslíku a pH (Pokorný, 2014). Hodnoty množství kyslíku a pH lze v současné době měřit pomocí jednoduchých optických čidel pro měření kyslíku a pH ve vodě. Tyto moderní měřicí metody je možné díky své jednoduchosti a rychlosti využívat i ve školním prostředí.

Procesy fotosyntézy jsou důležité také pro zemědělství, a to zejména k pochopení nárůstu biomasy (Pšenčík, 2018; Ryplová, 2014). V souvislosti se Zelenou dohodou (New Green Deal) je vhodné, aby budoucí generace znaly principy růstu rostlin a tvorby biomasy (EU, 2019). Rostliny mají také klíčovou roli v potlačování dopadů globální klimatické změny. Proces fotosyntézy je úzce spjat rovněž s transpirací rostlin, která se podílí na koloběhu vody v krajině (Ellison a kol., 2017). Vzhledem k významné roli rostlin v potlačování dopadů globální klimatické změny a v souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje je potřeba změnit přístup veřejnosti k vegetaci v našem okolí. Vztah k vegetaci a botanickým tématům je vytvářen již od útlého dětství, jehož součástí je i základní vzdělávání. Pro změnu přístupu k rostlinám je potřeba zvýšit jejich oblibu již během výuky na základních školách (Jose a kol., 2019).

Z tohoto důvodu je důležité, aby žáci během výuky botanických témat, kam se řadí i fotosyntéza, pochopili souvislosti jednotlivých procesů a jejich dopad na Zemi v globálním měřítku a nedocházelo pouze k předávání abstraktních pojmů, které jsou pro žáky nepochopitelné. Změnou přístupu k výuce lze předejít tvorbě miskonceptů,

kteří si žáci přinášejí z rodin a dále vytvářejí během jednotlivých stupňů vzdělávání (Pavlátová, 2019).

Dle Rámcově vzdělávacího programu je na základních školách učivo fotosyntézy zařazeno do šestých ročníků (RVP ZV, 2021). Pochopení celého procesu fotosyntézy je však pro žáky v tomto věku velice složité, a to zejména kvůli velkému množství abstraktních pojmů (Vágnerová a kol., 2019). Učivo fotosyntézy v sobě nezahrnuje pouze přírodovědné znalosti. Jedná se o interdisciplinární téma, které je propojeno i s fyzikou, chemií či zeměpisem. Problémem však je, že potřebné znalosti z těchto předmětů žáci v šestých třídách ještě nemají. V současné době by se české školství dle Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+ mělo orientovat zejména na znalosti, dovednosti a postoje. Tyto cíle by měly být naplňovány změnou metod výuky (Fryč a kol., 2020). K naplnění těchto cílů mohou být využity moderní výukové metody zaměřené na žáka. Praktické činnosti lze při výuce přírodopisu v tématu fotosyntézy zařazovat za pomoci různých experimentů spojených s měřením a naplnit tak další cíle. Vzhledem k charakteru současné generace je vhodné do výuky zařadit také moderní měřicí zařízení, které lze často propojovat s moderními technologiemi. Sumatokhin a kol. (2020) uvádějí, že pro rychle měnící se svět je důležité, aby byla současná výuka oproštěna pouze od teoretických znalostí a směřovala zejména ke schopnostem řešit praktické životní problémy.

## 2. Literární přehled

### 2.1. Miskoncepce a problematika výuky fotosyntézy na základních školách

Porozumění principům fotosyntézy je důležité pro smysluplné přírodovědné vzdělání, které žákům pomáhá orientovat se ve světě kolem nich, pochopit toky energie, potravinové zdroje a další ekologické aspekty (Keleş a Kefeli, 2010). Výuka přírodopisu na základních školách spadá dle Rámcově vzdělávacího programu (RVP ZV, 2021) do oblasti Člověk a příroda. Cíle této oblasti jsou zaměřeny na zkoumání přírodních faktů a jejich souvislostí za využití empirických metod jako je například pozorování, měření, experiment aj. Další cíl této vzdělávací oblasti je orientován na kladení si otázek a hledání příčin přírodních procesů k vyslovování a potvrzování domněnek o přírodních faktech. Žáci by měli být vedeni k šetrnému

a efektivnímu využívání zdrojů energie v praxi a naučit se vyvozovat závěry svých vlastních hypotéz. Moderní experiment ve spojení s badatelsky orientovanou výukou či jiným aktivizačním přístupem k výuce může naplnit všechny tyto cíle stanovené RVP a pomoci pochopit abstraktní témata, kam se řadí i učivo fotosyntézy, s běžným životem. Badatelsky orientovaná výuka může být pro žáky významným motivačním prvkem a podporovat je v zájmu k dalšímu učení (Cimer, 2012; Vlčková, 2015). Z tohoto důvodu byl zvolen tento přístup k výuce i pro moderní experiment v rámci mé diplomové práce. Předpokladem bylo, že moderní experiment by mohl pomoci zatraktivizovat abstraktní a složité téma fotosyntézy.

Vágnerová a kol. (2019) uvádějí, že velkým problémem výuky přírodopisu je velké množství učiva, které je potřebné během jednoho ročníku probrat a školní vzdělávací programy (ŠVP), které vycházejí z RVP, jsou tak často velice předimenzované. Jak uvádějí dotázaní učitelé ve výzkumu Vágnerové a kol. (2019), velké množství učiva je nutné probrat také v šestém ročníku základní školy, kam je zařazeno i učivo fotosyntézy. Toto velké množství učiva během šestého ročníku může mít původ ve špatně konstruovaném ŠVP, který je často orientován na velký objem pamětního učiva. V rámci RVP nejsou určeny pojmy ani rozsah učiva. Za nejproblematictější témata jsou považována abstraktní biologická témata, kam se řadí i mnoho témat botanických (Cimer, 2012). Keleş a Kefeli (2010) uvádějí, že největší koncentrace mylných představ v učivu přírodopisu se týkají difuze a osmózy, fotosyntézy, dýchání a genetiky. Dle Vágnerové a kol. (2019) bývají kritická místa výuky přírodopisu spojena právě s cizími pojmy, kterým žáci špatně rozumí. Dále také s nízkou hodinovou dotací na dostatečné procvičení učiva. Porozumět roli rostlin v ekosystému a toku energie v potravním řetězci je obtížné. Větší prostor pro procvičení učiva může být vhodným prostředkem pro eliminaci kritických míst ve výuce přírodopisu. Södervik a kol. (2015) uvádějí, že dokonce i vysokoškolští studenti mají problém porozumět abstraktním konceptům fotosyntézy a rozdílům mezi energií a hmotou, výživou a živinami.

Učivo fotosyntézy je dle RVP ZV doporučováno v šestém ročníku základní školy. Ve svých výzkumech Vágnerová a kol. (2019) uvádějí, že fotosyntéza je společně se stavbou a vznikem země, systémem hmyzu a výukou buňky, virů a bakterií považována za jedno z kritických míst výuky přírodopisu. Vzhledem k tomu, že žáci šestého ročníku nemají ponětí o chemických látkách, protože výuka chemie probíhá



zpravidla až od osmého ročníku, jsou tyto děje pro žáky těžce pochopitelné a představitelné. Z toho důvodu je fotosyntéza často ve školách jen zmíněna a velmi stroze vysvětlena. Žáci často tento proces vůbec nechápou, nejsou schopni si uvědomit význam fotosyntézy pro rostliny a okolí. Jako vhodné pro zjednodušení učení se tomuto složitému procesu se jeví využití digitálních prostředků ve výuce. Takto mohou být využívány například videa a animace, které žákům mohou přiblížit principy fotosyntézy (Vágnerová a kol., 2019). Také Keleş a Kefeli (2010) považují za účinné pro pochopení fotosyntézy využití počítačových aplikací, digitálních výukových materiálů, cvičení, vzdělávacích her a simulací.

Za největší problém učiva fotosyntézy je považováno její abstraktní pojetí, které je pro žáky na molekulární úrovni nepředstavitelné. Eliminovat složitě se jevící abstraktní pojmy by mohlo zařazení učiva do vyšších ročníků, kdy by s rozvojem abstraktního myšlení u žáků mohlo dojít k lepšímu pochopení abstraktního učiva. Změny ŠVP však učitelům přináší problémy s učebnicemi, které jsou většinou stavěny na klasickou výuku tak, jak probíhá na většině základních škol (Vágnerová a kol., 2019).

Pavlátová a Kroufek (2018) ve svém výzkumu uvádějí, že téma fotosyntézy spadá mezi učivo, které je často spojeno s žákovským neporozuměním a miskoncepcemi. Svandova (2014) definuje miskoncepci jako ontologicky chybný pojem, který má tendenci velice pevně přetrvávat v žákovském přesvědčení. Čipková a Karolčík (2017) uvádějí, že nesprávné pochopení základních přírodních procesů vede k miskoncepcím, které lze definovat jako reprezentace konceptů, které neodpovídají současným vědeckým poznatkům. S miskoncepcemi ve výuce se můžeme setkat napříč vzdělávacím systémem. Velké množství miskoncepcí však vzniká právě během výuky přírodopisu. I přesto, že pochopení přírodních principů je jedním ze základních pilířů k pochopení fungování světa okolo nás, učivo botaniky a fyziologie rostlin bývá neoblíbené žáky i učiteli na všech stupních vzdělávání (Svandova, 2014). Keleş a Kefeli (2010) dodávají, že přírodovědné učivo je pro žáky obtížné, protože obsahuje velké množství abstraktních pojmů. Prokop P. a Prokop M. (2010) uvádějí, že k oblíbeným tématům z přírodopisu mezi žáky lze zařadit zejména zoologii. Botanická témata jsou všeobecně řazena k méně oblíbeným. Dále zmiňují, že výuka přírodopisu je více oblíbená mezi dívkami než mezi chlapci. Chlapci poté všeobecně vnímají výuku přírodopisu jako složitější než dívky. Pokud se jedná o výuku přímo

botanických témat považují dívky tuto část za jednodušší než chlapci. Neoblíbenost botanických témat u obou pohlaví roste s úrovní vzdělání. Čím déle a podrobněji se žáci tématům věnují, tím méně jsou u nich populární (Prokop P. a Prokop M., 2010). Také Jose a kol. (2019) ve svých výzkumech poukazují na to, že žáci a studenti mají mnohem raději zoologická témata než botanická, která se jim hůře vybavují, jsou pro ně méně pochopitelná a často jsou spojena s mylnými představami. Dle Ulfa a kol. (2017) může být podstata neoblíbenosti této části přírodních věd v množství faktů, konceptů a principů, které jsou pro žáky i učitele těžce představitelné.

Miskoncepce si žáci nemusí odnášet pouze z výuky, ale mohou pocházet i z různých zkušeností a situací, kterými si žáci procházejí během života. Nejčastěji však vznikají v situacích, kdy si žáci spojují nové učivo s předchozím, které bylo primitivnější. Miskoncepce si také mohou předávat mezi sebou navzájem. Miskoncepce mohou pocházet i z nepřesně pochopených každodenních situací (Čipková a Karolčík, 2017). Mimo tyto příčiny, které jsou způsobeny zejména žákem, jsou dle Sanderse (1993) původci miskoncepce také učitelé, jejichž výklad může být nesprávný či nepřesný. Vliv může mít také způsob hodnocení žáků. Yenilmez a Tekkaya (2006) uvádějí, že výkladové metody používané učiteli na školách nejsou schopny eliminovat vznik miskoncepce. K odstranění již vzniklé miskoncepce může pomoci výuka, která mění ideály žáků. Pro opravení špatně pochopeného učiva či žáky nepřesně vykládaných principů je zapotřebí nespokojenost žáků s existujícími podmínkami. Nové koncepty by jim měly poskytnout lepší vysvětlení dané problematiky a měly by být pro žáky pochopitelnější, řešit daný problém a navrhnout řešení podobných problémů. Koncepty musí být uvěřitelné, vnášet nový pohled na otázku a mít potenciál pro další objevování. Takovou změnou konceptu může být žákovské hledání chyb v textu a následné vědecké vysvětlení podpořené reálnými příklady, které u žáků vyvolávají nespokojenost. Pozitivní vliv má také text podpořený aktivitou, například diskusí po prostudování textu, během níž má každý z žáků možnost se zapojit a vyjádřit svůj názor (Yenilmez a Tekkaya, 2006).

Odstranění miskoncepce je náročný proces. Jak uvádí Čipková a Karolčík (2017), miskoncepce bývají velmi trvalé a k odstranění nepochopeného pojmu je potřeba najít nesrovnalost s vědeckým poznáním. Žák musí být schopen nahradit původní nesprávnou koncepcí novou. Klasické metody, které jsou využívány při výuce

na základních školách jako například přednášky a čtení, nejsou často dostačující k opravení vzniklé miskoncepce. Naopak praktická práce pomáhá žákům v ujasnění si zákonitostí a může vést k opravě vzniklé miskoncepce. Mezi tyto praktické činnosti můžeme zařadit laboratorní práci a badatelsky orientované vyučování (Čípková a Karolčík, 2017). Södervik a kol. (2015) uvádějí jako jeden z cílů učení se přírodním vědám podporu studentů k dosažení koncepčních změn. K tomu by měli využít takové studijní cesty, které vycházejí z předcházejících znalostí žáků a vedou k nově naučeným pojmům.

V případě fotosyntézy mají žáci často nesprávné a pouze dílčí znalosti a je potřeba pojmy poskládat do propojené složité sítě. Systémové pochopení tohoto složitého děje žákům pomáhá porozumět současným globálním problémům. Jako nejúčinnější prostředek k odstranění mylných představ žáků se jeví ověření problémů v reálném prostředí. Poslední studie ukazují, že velmi účinné je také čtení textu s koncepčními změnami. Porozumění textu je závislé na charakteristice textu, ale také na předchozích znalostech čtenáře. Problematika učebnice často spočívá v tom, že neberou v úvahu předchozí znalosti žáků a studentů a díky tomu nepomáhají žákům uvědomit si své mylné představy. Tento problém znemožňuje napravení miskoncepce pouze pomocí tradičního textu. Velmi efektivní se jeví tzv. vyvracející texty, které poukazují na odlišnost mylné představy a vědecké pravdy. Tento text by měl obsahovat mylnou představu, její vyvrácení a správné vysvětlení. Vliv má také učení založené na propojování jednotlivých pojmů na rozdíl od učení se pouze izolovaných faktů. Díky propojení jsou žáci schopni snadněji konstruovat vztahy mezi pojmy (Södervik a kol., 2015).

Svandova (2014) uvádí, že fotosyntéza a dýchání jsou dva úzce spjaté chemické pochody, které mohou být pro žáky těžké na pochopení. Problematika pochopení procesu fotosyntézy může být zakotvena v komplexnosti procesu. Je potřeba pochopit nejen chemický průběh, ale propojit ho s ekologickým, energetickým či fyziologickým významem fotosyntézy. Vzhledem k menším možnostem přímého pozorování těchto procesů v rostlinách, jsou právě tyto dva děje často doprovázeny miskoncepce. Oba děje probíhají v rostlinách současně, avšak dle Čípkové a Karolčíka (2017) jsou tyto dva procesy často stavěny do opozice a představovány žákům jako děje opačné. Oba děje nebývají žáky ani učiteli vnímány komplexně, ale pouze jako procesy, které uskutečňují výměnu plynů. Někdy dokonce

dochází ke sjednocení těchto dvou pojmů, tedy že fotosyntéza je dýchání rostlin. Také Ulfa a kol. (2017) uvádějí, že největší četnost miskoncepcí během výuky přírodopisu se objevuje v učivu fotosyntézy. Pro pochopení principu fotosyntézy je potřeba, aby žáci porozuměli energii, která je zachycována chloroplasty a pomocí několika biochemických procesů je přeměněna na cukr a kyslík, který se uvolňuje do okolí. Tento děj je pro žáky velice abstraktní a zároveň obsahuje velké množství cizích pojmů. S miskoncepcemi, které jsou spojené s tématem fotosyntéza, se lze setkat na všech stupních vzdělávání (Ulfa a kol., 2017).

Yenilmez a Tekkaya (2006) uvádějí, že učivo týkající se fotosyntézy je považováno za abstraktní a složité na žákovské pochopení. Dle Svandové (2014) mnoho studentů nerozumí základním principům fotosyntézy a respirace. Žáci si často neuvědomují, že se jedná o fyziologicky propojené děje. Studie ukázaly, že nejčastější mylné představy žáků, které se týkají respirace jsou, že fotosyntéza je dýchání rostlin, že rostliny nedýchají nebo nevyužívají a nepotřebují kyslík. Častou miskoncepcí je také, že rostliny dýchají pouze v noci, kdy není světlo (Keleş a Kefeli 2010). Čípková a Karolčík (2017) uvádějí, že nejčastější miskoncepce u tématu fotosyntézy jsou, že se jedná o děj, který produkuje pouze kyslík. Pavlátová a kol. (2019) uvádějí, že žáci pojem fotosyntéza znají, ale často ho nezvládnou vysvětlit a představit si konkrétní děj. Fotosyntézu žáci spojují zejména s produkcí kyslíku, který je však vedlejším produktem, a vznik sacharidu většinou vůbec nepředpokládají. Tento jev se však nemusí týkat pouze žáků, někteří učitelé považují fotosyntézu také pouze za děj spojený s výrobou kyslíku. Často je fotosyntéza zaměňována s pojmem dýchání. Problematika rozlišení pojmů fotosyntéza a dýchání se však netýká pouze žáků základních škol, ale také studentů vysokých škol či studentů učitelství (Pavlátová a kol., 2019).

Někteří žáci předpokládají, že rostliny nedýchají dokonce vůbec, nebo že dýchají pouze v noci. Mylná představa je také, že rostliny na světle dýchají oxid uhličitý a ve tmě kyslík. Dle výzkumů vznikají tyto miskoncepce již na základních školách a přetrvávají i v dalších stupních vzdělávání (Čípková a Karolčík, 2017). I Svandová (2014) uvádí několik nejčastějších miskoncepcí na téma fotosyntéza a dýchání. Uvádí, že žáci si myslí, že dýchání rostlin probíhá pouze v listech pomocí speciálních orgánů – pórů. Dále si myslí, že rostliny produkují kyslík během celého dne, nebo že nejdůležitějším zdrojem potravy pro rostliny je voda s rozpuštěnými

minerálními látkami. Dle studií si dvacet procent žáků myslí, že rostliny dýchají pouze pokud neprobíhá fotosyntéza a dalších dvacet procent žáků předpokládá, že fotosyntéza je proces, díky kterému mohou rostliny dýchat. Keleş a Kefeli (2010) k těmto mylným představám žáků přidávají schopnost slunečního světla vytvářet rostliny krásnější, silnější a zdravější, nebo že sluneční záření či oxid uhličitý jsou potravou pro rostliny. Jejich studie ukazují stejné miskoncepce u žáků z různých zemí, z různých vzdělávacích prostředí i různého věku, což může být způsobeno podobnými zkušenostmi z každodenního života. Další mylná představa týkající se fotosyntézy je, že rostliny přijímají potravu z půdy pomocí kořenů. Z tohoto důvodu nepovažuje mnoho žáků rostliny za autotrofní organismy (Čipková a Karolčík, 2017; Södervik a kol., 2015).

Södervik a kol. (2015) uvádějí, že nejběžnější miskoncepce zjištěné u vysokoškolských studentů jsou, že fotosyntéza je dýchání buněk, že fotosyntéza je proces pro tvorbu nových rostlin, že rostliny aktivně dýchají pomocí pórů či získávají živiny z půdy. Miskoncepce je také to, že fotosyntéza přeměňuje anorganickou hmotu získanou z půdy na organickou. Většina studentů není schopna vysvětlit tok energie v potravním řetězci, na který navazuje produkce biomasy fotosyntézou. Výzkumy ukazují, že studenti vysokých škol mají miskoncepce týkající se fotosyntézy shodné se studenty mnohem mladšími, což poukazuje na problematiku přenosu mylných představ do dospělosti. Konceptní problémy nastávají v rozdílném významu výživa a živina, energie a hmota, autotrofní versus heterotrofní organismus. Studie dále ukazují, že pokud žáci pochopí přírodovědné učivo nepřesně během prvního a druhého stupně základního vzdělávání, tyto mylné představy poté přetrvávají i během dalších studií ve stejné míře. Ukazuje se, že mylné představy u žáků vznikají již na prvním stupni. Žáci mají potíže chápat, že organické látky v rostlinách vznikají z anorganických látek. Tento problém může vznikat již při vysvětlování pojmu výživa, který lze definovat jako příjem kapalných a plyných látek. Většina žáků předpokládá, že nárůst hmotnosti rostlin je způsoben právě přijímanou vodou s rozpuštěnými anorganickými látkami z půdy. Pouze malé množství žáků je schopno spojit fotosyntézu s výživou rostlin (Keleş a Kefeli, 2010). I přesto, že fotosyntéza a respirace jsou žáky a učiteli často špatně chápány, ve výzkumu Pavlátové a kol. (2019) řadí učitelé tuto problematiku mezi snadno pochopitelné jevy.

Dle Pavlátové a kol. (2019) fotosyntéza spadá do několika kategorií miskonceptů. Lze ji řadit do kategorie zahrnující problematiku špatného pochopení samotného pojmu fotosyntéza, což je spojeno s tím, že pro žáky může být složitý pojem fotosyntéza přečíst a zapamatovat si ho. Jedná se také o velice komplexní a abstraktní děj, který je pro žáky velmi složitý na pochopení a jeho komplexnost si často neuvědomují ani učitelé. Žáci a někdy i učitelé si pojem fotosyntéza někdy vykládají po svém a spojují ho pouze s produkcí kyslíku. Nejstabilnější předpoklad týkající se fotosyntézy je, že je fotosyntéza chápána jako dýchání rostlin. Bývá takto vnímána nejen ve školách, ale také v rodinách, kde tato mylná představa přetrvává z generace na generaci.

Hershey (2005) uvádí, že miskoncepce nepřecházejí pouze z učitele na žáka či si je žáci nepředávají mezi sebou. Miskoncepce týkající se rostlin se poměrně běžně objevují také v přírodopisných učebnicích, encyklopediích i na vzdělávacích webových stránkách. Informace v těchto zdrojích ovlivňují velké množství učitelů a žáků. Vzhledem k frekvenci výskytu nepřesností, které jsou vyučovány nebo se vyskytují v různých vzdělávacích nástrojích, je potřeba studenty informovat o této problematice a vzniklé miskoncepce napravit. Tyto miskoncepce mohou vyústit ve fenomén nazývaný jako „plant blindness“, který lze volně přeložit jako „slepota vůči rostlinám“. Fenomén „plant blindness“ je dle Wanderse a Schusslera (1999) definován jako lidská tendence opomíjet schopnosti rostlin v životním prostředí. Na tento fenomén může mít vliv velká míra abstrakce rostlinných dějů, která vede k nižší oblíbenosti biologických témat. Fenomén „plant blindness“ se však netýká jen rozlišování preferencí mezi flórou a faunou. Tento fenomén je charakterizován zanedbáváním a znevažováním role rostlin v ekosystémech. Škola je příčinou i řešením tohoto fenoménu (Amprazis a Papadopoulou, 2020). Výzkumy, jež se zabývají otázkou, z jakého důvodu se i přes tento fenomén někteří výzkumníci a lidé věnují botanické části biologie, ukazují, že je k zájmu o rostliny přivedlo například vyrůstání na farmě, procházky v přírodě, ale také výuka inspirativních učitelů (Jose a kol., 2019). Fenomén „plant blindness“ může vést k fenoménu nazvanému „plant illiteracy“. Mezi jednu z povinností vědců se řadí podpora botanické gramotnosti ve školách. Nicméně problém vědecké ngramotnosti široké veřejnosti je z části způsoben nejednotou předávaných vědeckých informací – tedy tzv. „plant illiteracy“. „Plant illiteracy“, volně překládáno jako „botanická ngramotnost“, je

způsobena nejen menším zájmem populace o rostliny, ale také tím, že před nastoupením na vysoké školy, se žáci s botanickými tématy setkávají méně často (Uno, 2018).

## 2.2. Experiment jako moderní výuková metoda zaměřená na žáka

Výuka přírodopisu je unikátní v tom, že se nemusí odehrávat pouze ve třídě, ale může probíhat i v laboratořích nebo ve venkovním prostředí. Všechna prostředí jsou považována za vhodná pro experiment a bádání. Za nejefektivnější jsou považovány ty experimenty, které jsou spojeny s prostředím v nejbližším okolí a žáci si je mohou propojovat s reálným životem (Kubiatko a Vlčková, 2020). Tyto přístupy k výuce jsou označovány jako tzv. místně zakotvená výuka (Place-Based Education). Tomuto přístupu k výuce se věnuje několik autorů, například Smith (2002), Semken a Freeman (2008) či Huntley a Sobel (2019). Vácha a Ditrich (2016) uvádějí, že malý zájem žáků o přírodovědná témata může být způsoben právě nedostatečným propojováním s běžným praktickým životem. Experiment ve spojení s moderními technologiemi může pomoci k atraktivizaci přírodovědných předmětů, což je jeden ze základních cílů kurikula. Jedním z přístupů, jak zefektivnit výuku přírodopisu a vzbudit zájem u žáků tedy může být experiment, který je dle svého charakteru prováděn ve venkovním nebo vnitřním prostředí (Kubiatko a Vlčková, 2020; Vácha a Ditrich, 2016).

Experiment je způsob výuky, během kterého žáci ověřují a testují předchozí hypotézy. Praktická práce může mít tuto podobu, ale může se také jednat o pouhé pozorování či manipulaci s předměty ve třídě, v laboratoři, mimo školu, doma i v terénu. Vzhledem k tomu, že základním cílem přírodovědného vzdělávání je pomocí zkoumání zlepšení znalostí, vědomostí a dovedností studentů a využití těchto získaných charakteristik v praktickém životě, může být zařazení praktické výuky s experimentem vhodným prostředkem k naplnění těchto cílů. Experiment je považován za jeden z inovativních přístupů k výuce přírodních věd. Učitelé motivují žáky k přirozené zvědavosti, žáci získávají nové poznatky pomocí vlastního úsilí, což je přirozený proces učení. Ukazuje se, že takto osvojené znalosti si žáci lépe pamatují a během výuky získávají větší nezávislost na učiteli a jeho vědomostech, které jsou během klasické výuky přírodovědných předmětů žákům předávány v hotové formě. I tento přístup k vyučování však v praxi naráží na několik překážek. Mezi hlavní bariéry pro zavedení

experimentu do běžné výuky lze zařadit zejména nezkušenost žáků s tímto typem výuky, nedostatečné vybavení škol a nedostatek času. Tyto překážky mohou způsobovat nepřesná, neúplná či úplně nesprávná měření během experimentů. Důležité pro učitele, který chce provádět experiment, je nepodcenit obtížnost, protože pro žáky je provedení experimentů zpravidla složitější. Pro učitele bývá experiment snadný, protože zná dílčí kroky, vysvětlení i výsledky experimentu. Žák ale během bádání musí zapojit svou kreativitu a celý proces je pro něj mnohem složitější. Objevné učení, kam se řadí i různé typy experimentů a bádání, je založené na empirii a induktivním pohledu na vědeckou metodu. Což může vést k názoru, že pozorování vedou k zobecnění a neberou v potaz vliv předchozích myšlenek a teorií, která pozorování ovlivňují. Žádný počet pozorování nemůže dokázat, že zobecnění je korektní. I pouhé jedno odlišné pozorování může naznačovat, že je nesprávné. Z tohoto důvodu se dnes experimenty vedou zejména hypoteticky-deduktivním přístupem (Millar, 2004).

Experiment může být spojen s moderními měřicími přístroji. Vzhledem k digitalizaci světa je snaha zařazovat digitální prostředky i do výuky. V současné době spadají žáci do tzv. generace Z, což jsou děti narozené od poloviny 90. let do roku 2012 (Millerová, 2020; Sumatokhin a kol., 2020). Děti narozené po roce 2015 jsou řazeny do tzv. generace *Alfa*. Pro obě tyto generace jsou digitální technologie a virtuální svět více důležité než objektivní realita. Technologie zcela integrují do svého života a práce s nimi je pro ně přirozená (Millerová, 2020; Papáček, 2010). Jak ukazuje výzkum Ryplové (2020), využití digitálních technologií (termokamera, bezdotykový infračervený teploměr aj. v závislosti na charakteru experimentu) ve výuce přírodovědných a botanických témat může mít kladný vliv na žákovské porozumění tématu (Brčáková, 2020; Ryplová, 2020). Učivo fotosyntézy je řazeno mezi abstraktní a pro žáky velice obtížně pochopitelné. Moderní přístroje pro měření fotosyntézy umožňují žákům získat rychlou informaci o těžko představitelných dějích, které probíhají uvnitř rostliny. Moderní přístroje mohou pomoci odstranit žákovské mylné představy o rostlinných dějích, protože umožňují konkrétní měření dat v reálném prostředí. Takto naměřená data poskytují žákům jasné a rychlé informace o konkrétním ději. Vzhledem k praktické činnosti žáků nejsou během výuky předávány pouze hotové informace, ale sami žáci se podílejí na procesu učení.



I přes současné nároky na digitalizaci světa a školního prostředí je i v současné době výuka přírodopisu stále zaměřena zejména na předávání teoretických znalostí. V současné době lze díky digitálním technologiím velké množství biologických fakt vyhledat velmi rychle v online prostředí. Dle Sumatokhina a kol. (2020) je důležité přesunout se od výuky teoretických dat ke schopnostem řešit praktické životní či dokonce globální biologické problémy v reálném životě. Kovaříková (2019) upozorňuje, že digitální technologie však nedokážou nahradit učitele. Úkolem učitele je integrovat technologie do kontextu výuky.

Jako moderní experiment pro účely mé diplomové práce byla zvolena badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřicího přístroje, kterým bylo optické čidlo pro měření kyslíku a pH ve vodě. Zvoleny pro experiment byly vodní rostliny, protože měření fotosyntézy vodních rostlin je snazší než měření fotosyntézy rostlin suchozemských. K měření fotosyntézy mimo vodní prostředí je zapotřebí uzavřeného systému. Práce s plně uzavřeným systémem je náročná na žákovské provedení. U vodního prostředí, kdy pro utvoření žákovsky správné představy o ději stačí pouze přibližné stanovení hodnot, lze dostatečně uzavřený systém vytvořit pouze s využitím plastových lahví. Dalším důvodem pro zvolení vodních rostlin je cenová dostupnost digitálních měřicích přístrojů pro měření fotosyntézy ve vodním prostředí. Díky nízkým nákladům na pořízení těchto přístrojů mohou být tato měření využívána i na základních školách či jiných stupních vzdělávání. Neméně důležitým faktorem je snadná údržba optických čidel, která spočívá zejména v pouhé kalibraci před měřením.

V moderních experimentech jsou využívány zejména výukové metody zaměřené na žáka, které jsou řazeny mezi tzv. aktivizující metody. Tyto metody jsou charakterizovány vysokou motivací žáků do učení. Žáci se aktivně zapojují do řešení společných úkolů, rozvíjí se jejich tvořivost a samostatnost, soutěživost a prosazování vlastního řešení. Všechny tyto aspekty mohou zvyšovat úspěšnost řešení (Maňák a Švec, 2003). Mezi přístupy k výuce, které jsou zaměřeny na žáka lze zařadit badatelky orientovanou výuku, která byla využita během výuky v rámci mé diplomové práce, a dále např. projektovou výuku, problémovou či případovou výuku aj.

### **Badatelsky orientovaná výuka**

Badatelsky orientovaná výuka (BOV), z anglického Inquiry Based Education – IBE, je didaktický přístup, který žákům přibližuje přírodovědná témata v praktickém životě.

BOV je založena na hypoteticko-deduktivním přístupu k výuce a jeví se jako vhodná metoda pro atraktivizaci přírodovědných témat (Pavlasová a kol., 2017; Uno, 2009). BOV je jeden z moderních přístupů k výuce přírodovědných předmětů, který žákům poskytuje teoretické znalosti v návaznosti na praktický život okolo nás, což může žákům pomoci vnímat přírodovědné děje v globálním měřítku (Uno, 2009). Papáček (2010) definuje BOV jako metodu problémového vyučování, během níž mají žáci za úkol řešit složitější problémy pomocí systematicky kladených otázek. Během tohoto typu výuky nejsou žákům předávány hotové teoretické vědomosti, ale žáci si je na základě postupných kroků vytvářejí sami. Warner a Myers (2008) uvádějí, že se jedná o vyučovací metodu, která propojuje zvědavost žáků a vědecké metody výzkumu. Je také nástrojem k posílení rozvoje kritického myšlení. Minner a kol. (2010) vymezují tzv. badatelsky orientované přírodovědné vyučování (Inquiry-based Science Education), které je přímo zaměřeno na řešení přírodovědných konceptů s využitím empirie. Během této výukové metody nedochází k předávání hotových informací. Žáci v procesu učení získávají nejen znalosti, ale také komunikační kompetence a praktické dovednosti (Friesen a Scott, 2013). Principem BOV je vytvoření hypotézy (domněnky), kterou následně žáci za využití praktických aktivit ověřují, čímž získávají výsledky, které jsou následně vyhodnoceny a diskutovány. Diskuse a vyhodnocení výsledků vede k potvrzení nebo vyvrácení předem vytvořené hypotézy. Dostál (2015) uvádí, že využití BOV ve výuce přírodopisu je efektivní právě díky experimentům a možnosti přímé manipulace s přírodinou. Tento typ výuky u žáků vzbuzuje zájem, přitažlivost a rozvíjí uvědomělou aktivitu. Ryplová (2019) dodává, že BOV může zvyšovat atraktivitu rostlin, zájem žáků o botanická témata a zlepšovat žakovské porozumění okolnímu prostředí. Vácha a Ditrich (2016) uvádějí, že BOV probíhající ve venkovním prostředí, například ve školních zahradách, může pomoci atraktivizaci výuky přírodopisu.

Buck a kol. (2008) rozdělují jednotlivé úrovně bádání v kontextu tradičních metod výuky do pěti stupňů. Pětistupňové rozdělení BOV je uvedeno v tabulce na obr. č. 1. Toto dělení je posuzováno na základě kritérií, která jsou nebo nejsou žákům poskytnuta. Charakteristikami pro hodnocení jsou přítomnost nebo nepřítomnost zadání výzkumného problému (otázky), teoretických znalostí, postupu práce, analýzy výsledků, diskuse výsledků a závěrů.

Characteristic	Level 0: Confirmation	Level ½: Structured inquiry	Level 1: Guided inquiry	Level 2: Open inquiry	Level 3: Authentic inquiry
Problem/Question	Provided	Provided	Provided	Provided	Not provided
Theory/Background	Provided	Provided	Provided	Provided	Not provided
Procedures/Design	Provided	Provided	Provided	Not provided	Not provided
Results analysis	Provided	Provided	Not provided	Not provided	Not provided
Results communication	Provided	Not provided	Not provided	Not provided	Not provided
Conclusions	Provided	Not provided	Not provided	Not provided	Not provided

Obr. č. 1: Pětistupňové vymezení úrovní badatelsky orientovaného vyučování (Buck a kol., 2008).

Jak je patrné z tabulky na obr. č. 1, první úroveň je označována jako *level 0: Confirmation*. Jedná se o potvrzující bádání, během něhož žáci znají výsledek a pouze ověřují jeho správnost. Druhou úrovní je tzv. *level 1/2: Structured inquiry*. Tato úroveň, nazývaná jako strukturované bádání, má zadanou většinu složek. Žáci nemají zadaný pouze způsob diskuse výsledků a závěry. *Level 1: Guided inquiry* je označován jako nasměrované bádání. V tomto případě je žákům poskytnuta výzkumná otázka, teoretické znalosti a postup práce. Zbývající kroky jsou závislé pouze na žácích. Tyto první tři stupně bývají často součástí tradiční výuky při laboratorních pracích. Další dva stupně poté bývají označovány jako opravdové badatelsky orientované přírodovědné vyučování. *Level 2: Open inquiry*, tedy otevřené bádání, poskytuje žákům pouze výzkumnou otázku a teoretické znalosti. Zbývající charakteristiky počínaje zvolením si postupu práce jsou žakovským úkolem. Posledním stupněm je *Level 3: Authentic inquiry*, tedy autentické bádání. V tomto případě je veškeré bádání založeno na žakovské iniciativě. Sami žáci si určují výzkumnou otázku, následně navrhnou řešení, ověřují svou hypotézu, diskutují a vyvozují závěry (Buck a kol., 2008). Někteří autoři uvádějí pouze čtyřstupňové vymezení úrovní bádání. V čtyřstupňovém dělení jsou zastoupeny všechny již výše uvedené stupně bádání, nebývá však uváděn nejvyšší stupeň, tedy autentické bádání (Vácha a Ditrich, 2016).

### Projektová výuka

Projektová výuka je založena na principech J. Deweye — „učení se děláním“ („learning by doing“) či na principu vizualizace, který zavedl již J. A. Komenský. Během projektové výuky (Project-Based Education) žáci využívají nejen znalosti,

ale také provádějí specifické úkony (Rusek a Gabriel, 2013). Maňák a Švec (2003) uvádějí, že projektová výuka je založena na řešení problému, který je blízký skutečnosti. Principem je řešení projektu, který si žáci plánují z velké části samostatně. V průběhu procesu mají žáci dostatek prostoru na seberealizaci a seberozvoj. Celý proces poté vede k motivaci žáků k učení se o dané problematice (Rusek a Gabriel, 2013). Kratochvílová (2006) uvádí, že se jedná o výukovou metodu, během níž mají žáci za úkol vyřešit komplexní problém. Z velké části je tento didaktický přístup založen na samostatné práci žáků. Cílem je vytvoření konkrétního výstupního řešení, například projektu, praktického výrobku, hry aj. Vlčková (2015) upozorňuje, že projektová výuka je často spojována či zaměňována za badatelsky orientovanou výuku nebo za výuku problémovou. Rozdílem od těchto vyučovacích metod je prezentovaný výstup jako významný motivační prvek.

Dle Yustina a kol. (2020) projektová výuka přináší žákům možnost spolupracovat na konceptuálním porozumění za využití předchozích znalostí a dovedností. Může také sloužit jako výzva k řešení skutečných problémů a naučit žáky být dobrými spolupracovníky, motivovat je a uspokojovat potřeby žáků na rozmanitost stylů učení a získávání dovedností. Kai Wah Chu a kol. (2017) poukazují, že projektová výuka zapojuje žáky do plnění úkolů v kontextu reálného světa. Projektové učení je zakončené výstupním produktem, během jehož tvorby žáci získávají znalosti, dovednosti a zkušenosti, které reflektují skutečné světové problémy. Studenti jsou během výuky aktivní a musí převzít iniciativu ke zkoumání způsobů, jak dokončit úkol. Učitelé během výuky mají roli facilitátorů, kteří vytvářejí vhodné podmínky pro žákovskou spolupráci.

Projektová výuka by měla podporovat kreativitu, aktivitu a dovednosti žáků. Celý proces začíná pozorováním problémů, tvorbou hypotéz a kladením otázek. Následuje debata nápadů a společné navržení postupu pro řešení problému. Důležitá je v těchto krocích zejména vzájemná komunikace a spolupráce žáků. Testování a ověřování hypotéz poté vede k výsledkům (Kai Wah Chu a kol., 2017; Yustina a kol., 2020).

### **Problémová výuka**

Jak z názvu tohoto přístupu k učení vyplývá, během problémové výuky mají žáci za úkol vyřešit problém. Učitel je při tomto typu výuky zejména rádcem a partnerem, měl by však stále proces učení řídit a kontrolovat činnost žáků během řešení.

I problémová výuka vychází z paradigmatů J. Deweye. Žákům během tohoto typu výuky nejsou sdělovány hotové informace, ale žáci samostatně nebo s pomocí učitele vytvářejí a odvozují své vlastní poznatky. Problémová výuka je často spojena s aktivní badatelskou činností žáků, během níž si osvojují nové poznatky. Tento přístup k vyučování je založen na tom, že se žák během učení setkává s obtížným a pro něj neznámým problémem, který nemůže vyřešit pouze s využitím již osvojených poznatků. K řešení je zapotřebí aktivní zapojení žáka. Je potřeba, aby žák objevil a propojil nové informace potřebné k vyřešení problému se svými dosavadními znalostmi. Vhodná volba problémové úlohy by měla logicky navazovat na dosavadní poznatky žáků, být přiměřená věku, dovednostem, vědomostem a vzbuzovat zájem (Zormanová, 2012).

Maňák a Švec (2003) dělí problémovou výuku na čtyři fáze. První z nich je fáze přípravná, kdy je problém definován a rozhoduje se, zda bude řešen. Následuje analýza problému, na kterou navazuje fáze inkubační, která je charakterizována uvědoměným i neuvědoměným kombinováním různých řešení. Poslední fáze zahrnuje hodnocení vytvořených nápadů.

### **Případová metoda**

Případová (situační) metoda je zaměřena zejména na rozvoj dovedností, které rozšiřují i žakovské znalosti. Nejčastěji se využívá zjednodušených situací, které se žákům mohou přihodit v běžném životě. Úkolem žáků je vytvoření řešení nebo postupu při takové situaci (Maňák a Švec, 2003). Situace, které jsou žákům předkládány vyžadují rozhodnutí, kterému většinou předchází diskuse účastníků. Důležitým krokem je žakovské zhodnocení důvodu, proč se pro daný postup rozhodli. Často situace nemá pouze jedno správné řešení, ale několik variant, kdy každá z nich má určité výhody a nevýhody (Cyrus a kol., 1997). Kotrba a Lacina (2007) uvádějí, že důležitým faktorem při tomto typu výuky je schopnost spolupracovat, diskutovat a schopnost vytvářet kompromis.

### **2.3. Fotosyntéza**

Fotosyntéza je nepostradatelným a jedním z nejzákladnějších procesů na Zemi, který stojí na počátku toku energie. Jedná se o fyziologický děj, který je řazen k primárnímu energetickému metabolismu rostlin. Většina biomasy na Zemi je rostlinného původu. Fotosyntéza je zodpovědná také za množství kyslíku v atmosféře Země, který je

pro současně žijící organismy nepostradatelný (Procházka a kol., 1998; Ryplová, 2014). Mimo fotosyntézu lze k primárnímu energetickému metabolismu zařadit také respiraci (dýchání) rostlin. Fotosyntéza i dýchání jsou děje, které v rostlině probíhají současně, odlišují se však v několika aspektech. Fotosyntéza je anabolický děj, při kterém vzniká adenosintrifosfát (ATP). K tomu je využíváno energie ze slunečního záření a elektrochemického gradientu vodíkových iontů. ATP je makroergická látka, jež je v buňkách využívána jako zásoba energie. Respirace je děj katabolický. Během respirace se látky složitější rozpadají na jednodušší, což má za následek uvolnění energie. Fotosyntéza probíhá v chloroplastech fotosynteticky aktivních buněk. Respirace probíhá v mitochondriích všech buněk, probíhá na světle i mimo něj (ve dne i v noci) a dochází naopak ke spotřebování kyslíku a uvolňování oxidu uhličitého. Fotosyntéza je děj, který produkuje zásobní látky a ukládá energii v makroergických látkách – jedná se o děj asimilační. Při respiraci se zásobní látky spotřebovávají a energie se z makroergických látek uvolňuje – jedná se o disimilaci (Larcher, 1995; Procházka a kol., 1998; Ryplová, 2013). Fotosyntézy jsou schopny autotrofní organismy, také označovány jako primární producenti, kteří váží sluneční energii a přeměňují ji na energii chemických vazeb.

Atmosféra před vznikem organismů schopných fotosyntézy obsahovala jen velmi malé množství kyslíku. Až s příchodem prvních prokaryot s fotosynteticky aktivními membránami se postupně zvyšovalo procento kyslíku v atmosféře i ve vodě. Tyto fotoautotrofní organismy měly velký vliv na evoluci organismů za Zemi. Kyslík se stal nepostradatelným substrátem pro všechny organismy, které ho využívají k respiraci a biologické oxidaci (Larcher, 1995; Pšenčík, 2018).

Fotosyntézu lze rozdělit na světelnou a temnostní fázi. Během světelné fáze fotosyntézy dochází k absorpci světelné energie pomocí pigmentů, jež jsou zabudovány v anténních systémech. Tato energie je následně přenesena do reakčních center a využita k uvolnění elektronu, který je převáděn systémem přenašečů. Tento přenos vede k tvorbě vysoce energetických látek ATP a NADPH, a také kyslíku. Během temnostní fáze fotosyntézy, ke které není potřeba slunečního záření, jsou vysoce energetické látky, které vznikají během světelné fáze fotosyntézy, využity k fixaci oxidu uhličitého, což vede k zabudování uhlíku do organických sloučenin (Procházka a kol., 1998; Ryplová, 2014).

Ryplová (2014) definuje fotosyntézu jako proces, při kterém dochází k tvorbě sacharidů pomocí fixace oxidu uhličitého z atmosféry za přítomnosti sluneční energie. Odpadním produktem této reakce je kyslík, který vzniká rozpadem molekuly vody. V základní rovnici fotosyntézy dle Procházky a kol. (1998) jsou zaznamenány vstupní a výchozí látky fotosyntézy:



Rovnice zahrnuje několik reakcí, které vedou ke vzniku produktů, kterými jsou organické látky a kyslík, které vznikají z výchozích látek – oxidu uhličitého a vody. Z rovnice je patrné, že k těmto dějům je potřeba energie. Larcher (1995) uvádí, že každý vázaný gram atomové hmotnosti uhlíku poskytuje 479 kJ potenciální energie. Fotosyntéza je velmi energeticky náročný děj, protože slabé oxidační činidlo, kterým je oxid uhličitý, musí oxidovat slabé redukční činidlo, kterým je voda, čímž dojde ke vzniku silného oxidačního činidla, kterým je kyslík, a silného redukčního činidla, kterým je uhlohydrát. K tomuto procesu je zapotřebí velké množství kontinuální energie (Atwell a kol., 1999). Procházka a kol. (1998) a Ryplová (2014) uvádějí, že pro fotosyntézu je využívána energie slunečního záření o vlnových délkách čtyři sta až sedm set nanometrů. Tato oblast elektromagnetického záření se nazývá fotosynteticky aktivní radiace – FAR (Photosynthetically Active Radiation – PAR). Množství energie, které je schopna rostlina pohltit je závislé na anatomické stavbě listu, která určuje, jaké množství energie je listem odraženo, pohlceno nebo listem prochází (Larcher, 1995). Atwell a kol. (1999) uvádějí, že listy obvykle absorbují okolo osmdesáti pěti procent dopadající energie v oblasti fotosynteticky aktivní radiace. Asi deset procent přicházející radiace je odraženo a okolo pěti procent je pohlceno. Procentuální využití přicházející radiace se může odlišovat v závislosti na genotypu určitého druhu rostliny, environmentálních faktorech a adaptacích rostliny na prostředí. Schopnost jednotlivých typů pigmentů pohlcovat záření je rozdílná. Pro fixaci jedné molekuly oxidu uhličitého je potřeba osm kvant fotosynteticky aktivního záření (Ryplová, 2014).

### **Difuze plynů z/do rostlinného těla**

Rostliny nejsou plně otevřené systémy. Bariéra zabraňující výměně plynů mezi rostlinou a okolím je tvořena kutikulou či sekundární kůrou. Kutikula je vrstva nepropustná nejen pro vodu, ale také pro oxid uhličitý, který je nezbytný k výstavbě

rostlinného těla (Atwell a kol., 1999). K výměně plynů mezi rostlinou a okolím využívá rostlina stomata (průduchy). Stomata jsou útvary rostlinného těla, jejichž hlavní funkcí je výměna plynů – zejména oxidu uhličitého, kyslíku a vodní páry. Průduch je složen ze dvou svěřacích buněk, mezi kterými se nachází průduchová štěrbin. Otevírání a zavírání svěřacích buněk je řízeno turgorem, který je ovlivňován vodou, světlem i teplotou. Průměrně se na listu nachází padesát až tři sta stomat na metr čtvereční listové plochy (Pazourek, 2001). Průduchy se u terestrických rostlin vyskytují většinou na spodní straně listu, tyto rostliny jsou označovány jako tzv. hypostomatické rostliny. Mnoho druhů má však průduchy na obou stranách, jedná se o rostliny amfistomatické, kdy zpravidla je více průduchů na spodní straně. S průduchy na obou stranách listu se setkáváme u rostlin s vysokými fotosyntetickými výnosy, které se vyskytují na slunných lokacích, jedná se například o kyvadlové listy eukalyptu. Vodní rostliny jsou tzv. epistomatické, mají průduchy na svrchní straně listu (Pazourek, 2001; Procházka a kol., 1998; Ryplová, 2014).

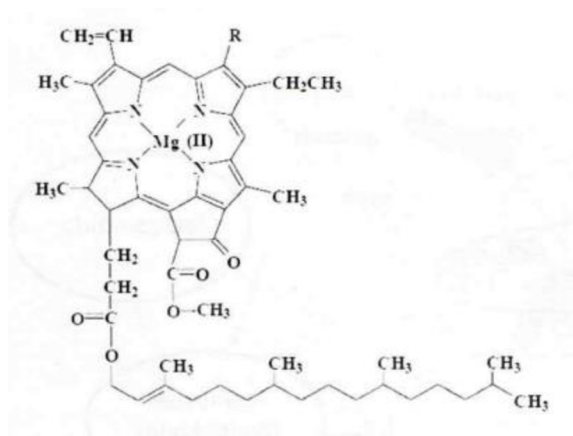
I přes nepostradatelnou funkci průduchů při výměně plynů v procesu fotosyntézy, prochází během transpirace průduchy až dvakrát více molekul vody než molekul oxidu uhličitého (Pazourek, 2001). Vstup molekul oxidu uhličitého přes průduchy je spojen s opačným tokem molekul vody vně rostlinného organismu. Vzdušné prostory uvnitř listů jsou nasyceny vodní párou a vzhledem k tomu, že okolí rostliny je téměř vždy sušší, molekuly vody difundují po směru koncentračního spádu z rostlinného těla do okolí. Průduchy se mohou otevírat a zavírat v řádech několika minut v závislosti na změnách okolního prostředí. Zejména má vliv intenzita slunečního záření, vlhkost a koncentrace oxidu uhličitého. Listy rostlin, které rostou na velmi slunečných místech, vykazují vysokou fotosyntetickou aktivitu. Jejich listy jsou tlustší než listy rostlin stinných stanovišť. Silné listy při vysoké radiaci vykazují vyšší energetickou účinnost, než je tomu u listů tenčích, protože fotony vstupují do chloroplastů i v nižších vrstvách, což zajišťuje neustálou aktivitu enzymu Rubisco (Atwell a kol., 1999).

### **Chloroplast a fotosyntetická barviva**

První nezbytný krok fotosyntézy je absorpce slunečního záření. Absorpce sluneční radiace jsou schopné pouze buňky, které obsahují barviva pro její zachycení. Hlavním pigmentem je zelené barvivo chlorofyl, které je obsaženo v chloroplastech (Ryplová, 2014). Atwell a kol. (1999) uvádějí, že základními typy chlorofylu, které se



vyskytují v planě rostoucích rostlinách, jsou *chlorofyl a* a *chlorofyl b*. Jednotlivé typy chlorofylu se u autotrofních organismů vyskytují v různém zastoupení. Chlorofyl v listech není volně rozpuštěn, ale má gelovité skupenství. Gelovitý charakter je způsoben navázáním chlorofylu na proteiny. Odlišný mechanismus navázání chlorofylu na proteiny způsobuje rozdílnou schopnost jednotlivých typů barviv absorbovat určitá spektra. Molekula *chlorofylu a* je znázorněna na obrázku č. 2.



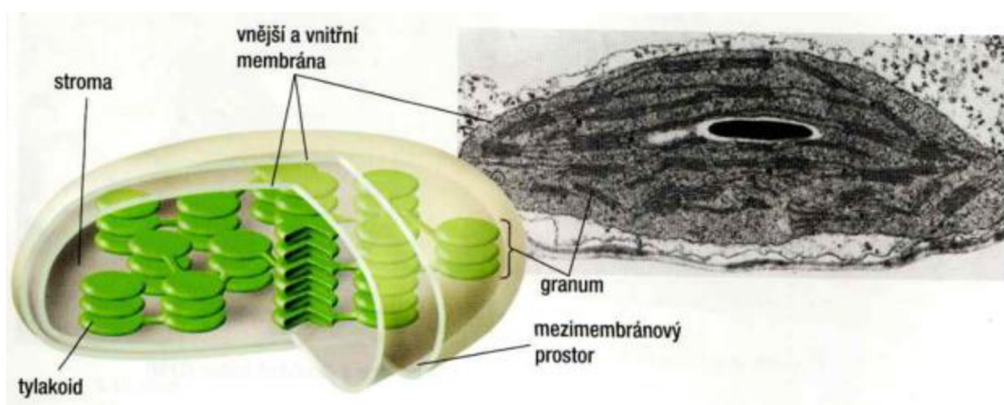
Obr. č. 2: Molekula *chlorofylu a* (Ryplová, 2014).

Jak je patrné z obr. č. 2, molekula chlorofylu je tvořená čtyřmi pyrolovými jádry, jež jsou spojené methionovými můstky. Na čtvrté jádro je vázán fytol a v centru molekuly se nachází hořčík. Jednotlivé typy chlorofylů se navzájem svou stavbou odlišují málo (Ryplová, 2014). Chlorofyl dosahuje svého absorpčního maxima v červené a modré oblasti. Doprovodnými barvivy pro absorpci záření jsou zejména karotenoidy a xantofyly, které jsou kromě viditelného světla schopny pohlcovat i UV spektrum (Larhcer, 1995). Procházka a kol. (1998) uvádějí, že mezi doplňkové pigmenty jsou řazeny také fykobiliny, jež jsou přítomny u sinic, ruduch nebo skrytěnek. Organely obsahující tyto pigmenty se nazývají chloroplasty a jejich počet v buňce je různý. Dle Ryplové (2014) se počet chloroplastů v buňce pohybuje v rozmezí od jedné do čtyř set. Procházka a kol. (1998) uvádí, že průměrný list je tvořen sedmdesáti miliony buněk, které obsahují pět miliard chloroplastů. Každý chloroplast obsahuje asi šest set milionů molekul chlorofylu.

Chloroplasty jsou semiautotrofní organely, které mají vlastní DNA. Procházka a kol. (1998) definuje chloroplast jako nejmenší strukturní i funkční jednotku, která je schopna absorbovat záření a vázat oxid uhličitý, který je využit na výstavbu sacharidů. Ryplová (2014) popisuje chloroplast jako elipsovité útvar

o velikosti dva až pět mikrometrů, jež má dvojitou cytoplazmatickou membránu, pod kterou se nachází stroma. Vznik chloroplastu je popisován endosymbiotickou teorií, která předpokládá, že chloroplasty byly původně samostatné mikroorganismy, které pronikly do buňky vyšší rostliny (Procházka a kol., 1998). Chloroplasty se vyvíjejí z proplastidů, které se během vývoje zvětšují, mění tvar i funkci. Na světle vzniká z proplastidů zelený chloroplast. Pokud je však chloroplast delší dobu vystaven nedostatku světla, mění se na bezbarvý etioplast, který vzniká rozpadem chlorofylu. Tento děj je vratný. V závislosti na místě, kde se proplastidy vyskytují se mohou vyvíjet i další typy plastidů. Například v zásobních orgánech se z proplastidů mohou vytvářet leukoplasty, které mají funkci zásobních látek. Do skupiny leukoplastů lze zařadit například amyloplast, který je schopen vytvářet škrob, elaioplast, který syntetizuje lipidy či proteinoplast vytvářející bílkoviny (Ryplová, 2014).

Na obr. č. 3 je zobrazena struktura chloroplastu. Chloroplast je obklopen dvojitou membránou, která uzavírá gelovitou hmotu, jež se nazývá stroma. Stroma obsahuje enzymy nezbytné pro fixaci oxidu uhličitého, ale také enzymy pro metabolismus dusíku, síry, nebo vlastní genetický aparát (Atwell a kol., 1999). Uvnitř chloroplastů se nachází skládaný systém fotosyntetických membrán či membránových měchýřků, jež se nazývají tylakoidy. Tylakoidy obsahují fotosynteticky aktivní pigmenty (Atwell a kol., 1999; Ryplová, 2014). Závodská (2006) definuje tylakoidy jako ploché váčky, které se skládají do útvarů připomínající sloupce. Tyto útvary nazýváme grana.



Obr. č. 3. *Struktura chloroplastu (Závodská, 2006).*

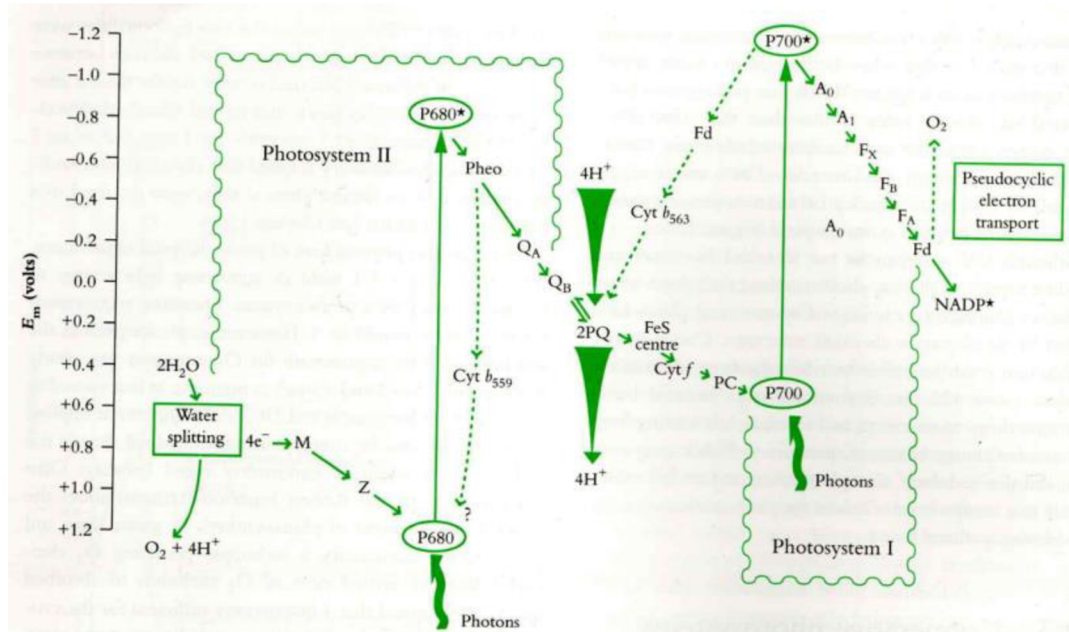
### 2.3.1. Průběh světelné fáze fotosyntézy

Procházka a kol. (1998) uvádí, že fotosyntéza začíná zachycením radiace na tylakoidech chloroplastů. Záření je zachyceno pomocí tzv. anténních systémů. Tyto

světlosběrné systémy jsou označovány jako LHPC komplexy (light-harvesting pigment-protein complex). Anténní pigmenty absorbují světelná kvanta, která jsou následně převáděna do reakčního centra (Larcher, 1995). Ryplová (2014) uvádí, že anténní systémy jsou tvořeny až čtyřmi sty molekulami pigmentů, které jsou vázané na proteiny a uspořádané podle maxim svých absorbancí. Nejvýše se nacházejí pigmenty, které pohlcují záření o nejmenších vlnových délkách. Po odevzdání části energie se toto záření stává energeticky chudší a přechází na záření o delších vlnových délkách, které je zachycováno na níže umístěných pigmentech. Toto uspořádání zajišťuje vyšší efektivitu pro zachycení přicházející radiace. Procházka a kol. (1998) uvádějí, že výsledkem záchytu světelného kvanta je několik reakcí, které vedou ke konečným produktům, kterými jsou kyslík, ATP a NADPH + H<sup>+</sup>.

Kvanta, která jsou zachycena na světlosběrných systémech mohou být přenesena na dva fotosystémy. Fotosystém I (PS I) je fylogeneticky starší, vyskytuje se na nestěsnaných membránách stromatálních tylakoidů a jeho hlavním pigmentem je *chlorofyl a*. Reakční centrum fotosystému I vykazuje nejvyšší míru absorpce pro záření o vlnové délce sedm set nanometrů (Larcher, 1995; Ryplová, 2014). Na oxidačně redukčních dějích fotosystému I se podílejí metaloproteinní klastry obsahující železo (Procházka a kol., 1998). Fotosystém II (PS II) má nejvyšší schopnost absorpce záření o vlnové délce šest set osmdesát nanometrů. Fotosystém II se vyskytuje převážně na stěsnaných membránách granálních tylakoidů (Ryplová, 2014). Larcher (1995) uvádí, že fotosystém II obsahuje vyšší množství *chlorofylu b* a xantofylů než fotosystém I. Na oxidačně redukčních dějích fotosystému II jsou jako metaloproteinové klastry využívány atomy manganu (Procházka a kol., 1998). U rostlin vystavených přímým slunečním paprskům je množství *chlorofylu a* vyšší než množství *chlorofylu b*, a proto reakce probíhají zejména na fotosystému I. Pokud však jsou listy rostlin ve stínu, poměr je opačný a přicházející radiace je vázána zejména na fotosystém II (Larcher, 1995). Procházka a kol. (1998) uvádějí, že distribuce energie mezi dva fotosystémy je ovlivňována také stupněm fosforylace bílkovin. Pokud je membrána fosforylována, energie z fotonů vstupuje zejména do fotosystému I. Fosforylace a defosforylace jsou děje, které jsou řízeny enzymy. Pohlcená sluneční radiace je využita k uvolnění elektronů, které jsou následně transportovány přenašeči.

Na obr. č. 4 je zobrazeno tzv. Z-schéma, které zobrazuje cyklický a necyklický přenos elektronů.



Obr. č. 4: Z-schéma cyklického a necyklického transportu elektronů během světelné fáze fotosyntézy. Cyklický transport je představován lineárními čarami, zatímco necyklický transport je vyznačen přerušovanými čarami. Přenašeče elektronů jsou uspořádány v závislosti na redoxním potenciálu (Larcher, 1995).

Při cyklické dráze se elektron vrací na fotosystém, ze kterého byl vypuzen vysokou energií fotonu. Jak je zobrazeno na obr. č. 4, vybuzený elektron je z reakčního centra převáděn přes ferredoxin na plastochinon a přes cytochromy b/f a plastocyanin se vrací zpět do fotosystému I. Na této cyklické dráze odevzdává excitovaný elektron energii, která je využita na přenos vodíkových iontů přes membránu. Tím vzniká elektrochemický gradient vodíkových iontů, který je využit k tvorbě ATP (Ryplová, 2014; Špička, 2004).

Při necyklickém transportu je vybuzený elektron z fotosystému I převáděn přes komplex ferredoxinů až je nakonec předán akceptoru  $\text{NADP}^+$ , což vede k tvorbě  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ . Tím však dojde k deficitu elektronu na fotosystému I, který je následně doplněn z fotosystému II (Larcher, 1995). Fotosystém II je mimo anténních komplexů tvořen feofytinem, který je primárním akceptorem uvolňujícího se elektronu. Tento elektron přechází přes systém plastochinonů  $\text{Q}_A$  a  $\text{Q}_B$ . K redukci  $\text{Q}_B$  jsou nutné dva elektrony. K uvolnění dvou elektronů dochází při absorpci čtyř světelných kvant.

Redukcí vzniká plastohydrochinon ( $PQH_2$ ) a elektron přechází na komplex cytochromů b/f. Následně je elektron přenesen na plastocyanin, ze kterého je poté předán do reakčního centra fotosystému I, čímž dojde k doplnění deficitu (Ryplová, 2014). Energie, kterou elektron odevzdává je opět využita na transport vodíkových iontů přes membránu. Chybějící elektron je do fotosystému II doplněn z vody během reakce, jež se nazývá fotolýza vody či také Hillova reakce. Tato reakce je umožněna díky tzv. kyslík vyvíjejícímu komplexu (Oxygen Evolving Complex – OEC), jehož součástí je mangan, který během reakce prochází několika oxidačními stavy. Na konci těchto reakcí se uvolňuje kyslík jako odpadní produkt (Špička, 2004). Tento necyklický přenos elektronů vede k tvorbě ATP a kofaktoru  $NADPH + H^+$  (Larcher, 1995).

Optimální je, pokud je zajištěna rovnovážná bilance elektronů mezi oběma fotosystémy (Larcher, 1995). Při přenosu elektronů během světelné fáze fotosyntézy je energie světla převedena na chemickou energii  $NADPH + H^+$  a energii vodíkového (protonového) gradientu. Přenos vodíkových iontů přes membránu je způsoben absorpcí čtyř světelných kvant, které zajišťují přenos dvou protonů za pomoci plastohydrochinonu, další dva protony pocházejí z vody. Následná tvorba ATP a vznik  $NADPH + H^+$  jsou na světle nezávislé. Energie vzniklého pH gradientu je využívána k tvorbě ATP, na čemž se podílí komplex ATP-synthasy, který je vázán v membráně tylakoidu. Během průchodu vodíkových iontů přes komplex ATP-synthasy je uvolněná energie využita k tvorbě ATP (Procházka a kol., 1998; Špička, 2004). Larcher (1995) dodává, že pouze část pohlcené radiace je využívána k fotochemickým procesům. Část energie přicházející ze Slunce je přeměňována na fluorescenční a fosforescenční světelnou a tepelnou energii.

### 2.3.2. Temnostní fáze fotosyntézy

Temnostní fáze navazuje na světelnou fázi fotosyntézy. Není však lokalizována na membránách tylakoidů, tak jako tomu bylo u světelné fáze. U různých druhů rostlin lze pozorovat rozdíly ve fixaci oxidu uhličitého. Vzhledem k odlišným mechanismům fixace oxidu uhličitého se rostliny dělí na  $C_3$ ,  $C_4$  a CAM rostliny.  $C_3$  rostliny získali svůj název podle prvního produktu, který vzniká během temnostní fáze fotosyntézy. Tato látka má tři uhlíky a z toho důvodu je nazýváme  $C_3$  rostliny.  $C_4$  rostliny získaly svůj název rovněž podle prvního produktu při fixaci oxidu uhličitého, kterou je

čtyřuhlíkatá látka (Špička, 2004). Rostliny označované jako CAM rostliny získaly své označení z anglických zkratk Crassulacean Acid Metabolism (Ryplová, 2014).

### **Fotosyntéza C3 rostlin**

Fotosyntéza C3 rostlin je cyklus reakcí, které jsou označovány jako Calvin-Bensonův cyklus. Tento cyklus probíhá ve stroma chloroplastů (Larcher, 1995). K reakcím jsou využívány vysokoenergetické látky, které vznikají během světelné fáze fotosyntézy. Fixaci oxidu uhličitého u C3 rostlin lze rozdělit do tří navazujících reakcí, a to na fázi karboxylační, redukční a regenerační (Ryplová, 2014; Špička, 2004). Během karboxylační fáze je oxid uhličitý vázán na akceptor, kterým je ribulosa-1,5-bisfosfát. Tato reakce je katalyzována enzymem ribulosa-1,5-bisfosfátkarboxyláza, který se zkráceně nazývá Rubisco. Produktem této reakce je šestiuhlíkatá látka, která se ihned rozpadá na dvě molekuly tříuhlíkaté látky 3-fosfoglycerolu (Larcher, 1995). Během redukční fáze je 3-fosfoglycerát redukován na glyceraldehydfosfát. Tato reakce vyžaduje velké množství energie, která je dodávána z ATP a NADPH + H<sup>+</sup> (Ryplová, 2014). Tato triosa je následně využívána k syntéze mnoha látek – zejména cukrů, škrobu, karboxylových kyselin a aminokyselin (Larcher, 1995). Po těchto dvou procesech následuje regenerační fáze, kdy jsou vzniklé triosy využity k tvorbě vstupních pentos, zejména primárního akceptoru, který je poté využit na další fixaci oxidu uhličitého (Špička, 2004).

### **Fotosyntéza C4 rostlin**

Mezi C4 rostliny jsou řazeny zejména rostliny teplých oblastí. Podle objevitelů se tomuto cyklu také říká Hatch-Slack-Kortschakov cyklus. Fotosyntéza u těchto rostlin probíhá odlišným způsobem, k čemuž je uzpůsobena také anatomická stavba jejich těla. U C4 rostlin lze pozorovat věncové uspořádání buněk, které je charakterizováno parenchymatickou pochvou cévních svazků, které obsahují agranální chloroplasty (Larcher, 1995; Procházka a kol., 1998). Ryplová (2014) uvádí, že atmosférický oxid uhličitý, který vstupuje skrz průduchy, je v buňkách mezofylu hydratován na hydrogenuhlíčanový anion. Primárním akceptorem tohoto aniontu je fosfoenolpyruvát, který je přeměňován na čtyřuhlíkatou látku, kterou je oxalacetát (Larcher, 1995). Výhodou fosfoenolpyruvátu je, že zůstává aktivní i při nízkých koncentracích oxidu uhličitého v okolí rostliny. Jeho afinita k oxidu uhličitému je vyšší než afinita enzymu Rubisco. Rozdílná je také aktivita pigmentů u C4 rostlin.



Pigmenty C4 rostlin vykazují větší aktivitu za vyšších teplot než pigmenty C3 rostlin. Díky těmto mechanismům jsou C4 rostliny přirozeně přizpůsobeny suchým stanovištím s vysokými teplotami (Ryplová, 2014).

Oxalacetát je následně redukován na malát, který plní funkci transportní látky. U některých druhů může být transportní látkou asparát. Malát ani asparát nejsou spotřebovávány mezofylovými buňkami, ale jsou dopravovány do pochvy svazku. V chloroplastech pochev svazku je malát či asparát štěpen specifickými enzymy na pyruvát a oxid uhličitý. Během těchto reakcí vzniká  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ . Oxid uhličitý vstupuje do dalšího cyklu, který je shodný s cyklem C3 rostlin. Oxid uhličitý je tedy vázán pomocí enzymu Rubisco a následně zabudován do pětiuhlíkaté látky (Larcher, 1995). C4 rostliny mají menší množství intercelulár v rostlinném těle, čímž jsou potlačeny velké ztráty oxidu uhličitého. Uvnitř rostliny je tak udržován vysoký parciální tlak, čímž je potlačována fotorespirace (Ryplová, 2014). Posledním krokem fotosyntézy C4 rostlin je návrat pyruvátu do mezofylových buněk, kde je využit na regeneraci fosfoenolpyruvátu (Larcher, 1995). U C4 rostlin jsou tedy vyvinuty dva prostorově oddělené cykly. První probíhá v buňkách mezofylu, kde je oxid uhličitý fixován pomocí enzymu fosfoenolpyruvátcarboxylázy. Druhá fáze je obdobná C3 cyklu, probíhá v pochvách cévních svazků (Ryplová, 2014).

### **Fotosyntéza CAM rostlin**

CAM rostliny se vyskytují v suchých oblastech či v regionech s periodicky se opakujícími obdobími bez vody. Tyto rostliny jsou často ve dne vystavovány vysokým teplotám a ozáření, naopak v noci se potýkají s nízkými teplotami. Mimo to se obvykle jedná o oblasti s nedostatkem živin a vody v půdě. Obranným mechanismem před nedostatkem vody jsou pro tyto rostliny zavřené průduchy po celý den. Z tohoto důvodu jsou CAM rostliny schopny přijímat oxid uhličitý pouze v noci. Aby však rostliny mohly oxid uhličitý využívat, je zapotřebí energie světelných kvant. Proto je u CAM rostlin vyvinut mechanismus, jak oxid uhličitý uchovávat do dalšího dne. Toho je docíleno tím, že se u CAM rostlin setkáváme se dvěma časově oddělenými cykly (Ryplová, 2014).

Na fixaci oxidu uhličitého se podílejí velké vakuoly, které těmto rostlinám poskytují dostatek úložného prostoru pro karboxylové kyseliny a vodu. V noci se oxid uhličitý do rostliny dostává otevřenými průduchy a je pomocí enzymu fosfoenolpyruvát

zabudován do oxalacetátu, který je následně redukován na malát. Malát, který je primárním produktem fixace oxidu uhličitého, vstupuje do vakuol v podobě kyseliny malonové, která se tak stane součástí buněčné šťávy. Buněčná šťáva se díky kyselině malonové během noci stává kyselější. V noci se pH buněčné šťávy pohybuje od tři do pěti. Během dne za světla je malát transportován z vakuoly zpět do cytosolu a chloroplastů, kde je dekarboxylován. Uvolněný oxid uhličitý je vázán na enzym Rubisco. Během dne u CAM rostlin probíhá cyklus shodný s C3 rostlinami. Díky rozkladu malátu během dne dochází k růstu pH buněčné šťávy, která se stává zásaditější. V buňce postupně klesá koncentrace oxidu uhličitého, což vede k otevření průduchů a do rostliny vstupují nové molekuly oxidu uhličitého, které jsou vázány na fosfoenolpyruvát. Mechanismus CAM rostlin je založen na oddělení asimilace uhlíku v čase, což je velice účinné. Fixace oxidu uhličitého probíhá v noci a jeho zpracování až následující den. Toto časové rozdělení cyklu snižuje rizika ztráty vody během teplých dnů, kdy průduchy zůstávají zavřené ve dne i v noci. Oxid uhličitý, který rostliny uvolňují při respiraci, se opět zachycuje, což udržuje uhlíkovou rovnováhu a pomáhá rostlině šetřit vodu (Larcher, 1995; Ryplová, 2014).

### 2.3.3. Fotosyntéza vodních rostlin

V současné době je studium fotosyntézy vodních a ponořených rostlin na vzestupu, a to zejména kvůli současným změnám klimatu. Některé studie předpokládají, že mnoho rostlin může být v budoucnu periodicky či úplně zaplaveno (Pedersen a kol., 2013). Zájem o studium fotosyntézy vodních rostlin se dostává do popředí také díky velkému nárůstu biomasy vodních ploch. Tento nárůst je způsoben zejména vysokou eutrofizací vod (Pokorný, 2014). Avšak studium podvodní fotosyntézy je obtížné a složité. Fotosyntéza je omezena dostupností světla a odlišnými mechanismy využití anorganického uhlíku (Pedersen a kol., 2013). Rostliny jsou uzpůsobeny životu a fotosyntéze ve vodě morfologicky, biochemicky i anatomicky tak, aby byl optimalizován příjem anorganického uhlíku. U ponořených vodních rostlin bývá dostupnost anorganického uhlíku limitujícím faktorem pro fotosyntézu. Z tohoto důvodu rostliny během evoluce přešly k několika adaptacím, které jim umožňují efektivně fotosyntetizovat i pod vodou. Za nejdůležitější adaptaci lze považovat příjem hydrogenuhličitanových iontů (Adamec, 2003). V mořské vodě a mnoha sladkých vodách je koncentrace hydrogenuhličitanových iontů mnohonásobně vyšší než koncentrace oxidu uhličitého. Hydrogenuhličitanové ionty



představují vhodnou alternativu za molekuly oxidu uhličitého. Vodní rostliny fotosyntetizují i při vysokém pH okolního prostředí. U suchozemských rostlin adaptace na příjem hydrogenuhličitanových iontů není, proto když ponoříme jejich listy dochází k rapidnímu poklesu fotosyntézy i respirace (Pedersen a kol., 2013).

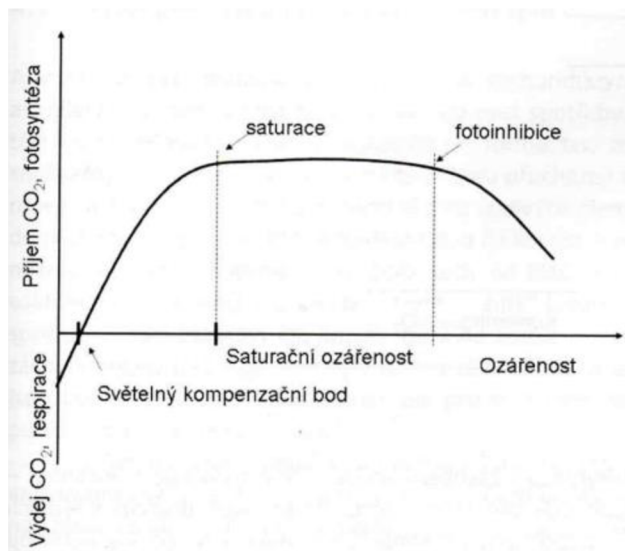
Růst vodních rostlin v nádržích je závislý na množství živin ve vodě. Díky vysoké eutrofizaci současných vod, která je způsobena zejména hnojivy stékajícími ze zemědělských ploch či z bodových zdrojů znečištění, dochází během léta k bujení vegetace v rybnících a vodních nádržích. Vodní vegetace váže živiny do biomasy, která se hromadí při vodní hladině a brání průniku světla do hloubky, což má za následek, že hlouběji ponořené rostliny nedosahují světelného kompenzačního bodu a nemohou fotosyntetizovat. Vodní plochy s hojnou vegetací lze charakterizovat vysokou mírou fotosyntézy na hladině a vysokou mírou respirace v hlubších vrstvách (Pokorný, 2014).

Fotosyntéza podvodních rostlin je také ovlivňována dostupností světla. S rostoucí hloubkou dochází k exponenciálnímu oslabování přicházejícího záření. Vliv má také odraz od hladiny. V mořích s oligotrofní vodou mohou rostliny růst a fotosyntetizovat i v hloubce sedmdesát metrů s využitím deseti procent radiace. Ve sladkých vodách, které jsou většinou značně eutrofizované jsou rostliny schopny růst v hloubce pouze okolo sedmi metrů. Ve srovnání se suchozemskými rostlinami mají vodní ponořené rostliny nižší koncentrace chlorofylu a enzymu Rubisco, a to zejména kvůli tenčím listům. Tenké ponořené listy s chloroplasty v epidermální vrstvě lze považovat také za jednu z adaptací, protože zvyšují efektivitu využití slunečního záření. K poklesu fotosyntézy dochází v ranních hodinách, kdy je nízké ozáření a ve vodě je v této době mnoho oxidu uhličitého. Podruhé je fotosyntéza limitována v pozdních odpoledních hodinách, kdy je naopak nízká koncentrace oxidu uhličitého. Fotosyntéza je tedy limitována světlem a krátce dostupností rozpuštěného anorganického uhlíku při vysokém pH. Odpoledne, kdy prakticky oxid uhličitý dostupný není, je fotosyntéza omezena podruhé. V těchto podmínkách mohou prosperovat pouze rostliny využívající hydrogenuhličitanové ionty. Dále musí být rostliny přizpůsobeny denním výkyvům teplot a změnám v dostupnosti kyslíku (Pederson a kol., 2013).

Významnou odlišností u ponořených rostlin je vnitřní plynná atmosféra, která je zcela oddělena od vnější. Množství intercelulár naplněných vzduchem v listech je menší než ve stonku a kořenech. Tyto interceluláry pomáhají udržet svislou polohu rostliny a podílejí se na fotosyntetické refixaci oxidu uhličitého a zásobení kořenů kyslíkem, což vede k provzdušňování rostliny. Oxid uhličitý, který je uvolňovaný respirací a fotorespirací průduchy ven z rostliny, nemůže ve vodě kvůli odporu nehybné vrstvy vody v nejbližším okolí rostliny snadno odcházet. Z tohoto důvodu přechází oxid uhličitý do vnitřních vzdušných prostor, odkud je refixován. V prýtech ponořených rostlin dochází během dne k výkyvům v objemu kyslíku ve vnitřní atmosféře. Kyslík produkovaný rostlinou přednostně přechází do vnitřní atmosféry rostliny. V odpoledních hodinách bývá koncentrace kyslíku v intercelulárách maximální. Dusík, který je rozpuštěn v okolním prostředí difunduje po koncentračním spádu do kyslíkem přesycené vnitřní atmosféry a snižuje tak koncentraci kyslíku v intercelulárách na okolní koncentraci. Hlavním významem vzdušných prostorů uvnitř rostliny je zásobení kořenů kyslíkem. Nejedná se však o trvalou zásobu, všechen kyslík v intercelulárách je rostlina schopna prodýchat asi za jednu hodinu. Ve dne dochází k toku kyslíku z prýtu do kořenů nezávisle na koncentraci kyslíku v okolní vodě. V noci, kdy dochází k poklesu kyslíku vlivem dýchání, je přísun kyslíku do kořenů závislý na okolní vodě, a proto mohou podzemní orgány trpět nedostatkem kyslíku (Adamec, 2003; Pedersen a kol., 2013).

#### 2.3.4. Faktory ovlivňující fotosyntézu

Fotosyntéza je ovlivňována mnoha faktory. Nejvýznamnějším faktorem je množství přicházející radiace. Čím vyšší je ozáření, tím vyšší jsou výnosy fotosyntézy. Tento nárůst však není lineární. Atwell a kol. (1999) uvádějí, že při nízkých hodnotách ozáření vzrůstá asimilace oxidu uhličitého téměř lineárně společně s narůstající radiací. Avšak se zvyšující se hodnotou přicházející radiace narůstá asimilace stále pomaleji až dosáhne tzv. plata. Jedná se o hodnotu, kdy již nedochází ke zvyšování výtěžku asimilace oxidu uhličitého. V tomto bodě jsou chloroplasty nasyceny světlem (Atwell a kol., 1999). Závislost fotosyntézy na ozáření si lze prohlédnout na grafu na obr. č. 5, který zobrazuje světelnou křivku fotosyntézy.

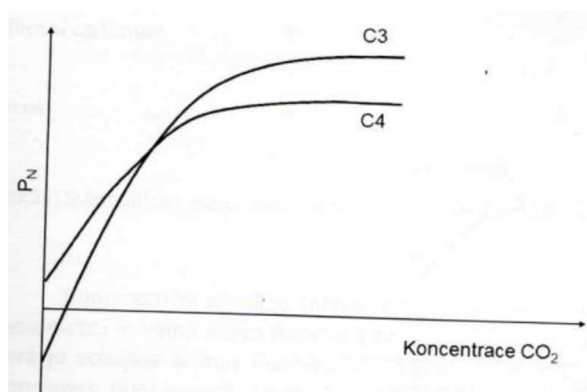


Obr. č. 5: Závislost fotosyntézy na množství přicházející radiace (Ryplová, 2014).

Jak je patrné z obr. č. 5, výnosnost fotosyntézy při vzrůstající ozáření roste do tzv. saturační ozáření. Pokud je tato hodnota překročena po delší dobu, dochází k poškození fotosyntetického aparátu a výnos fotosyntézy klesá. Tento děj je nazýván fotoinhibice. Obranným mechanismem před fotoinhibicí jsou zejména karotenoidy. Pokud dojde k vyrovnání bilance mezi oxidem uhličitým a kyslíkem, tedy pokud je množství vázaného oxidu uhličitého pomocí fotosyntézy a uvolňování oxidu uhličitého respirací v rovnováze, je výtěžek fotosyntézy nulový. Tuto situaci na obr. č. 4 znázorňuje světelný kompenzační bod. Světelný kompenzační bod udává hodnotu ozáření, kdy dojde k vyrovnání příjmů a výdejů oxidu uhličitého rostlinou (Ryplová, 2014). Sharkey a kol. (1991) uvádějí, že při nedostatku světla je fotosyntéza ukončena během jedné minuty, protože není dosaženo dostatečné hodnoty redukční síly.

Fotosyntéza je také závislá na přítomnosti pigmentů, které jsou schopny absorbovat záření určitých vlnových délek. Deficit chlorofylu (chloróza), jež se projevuje nažloutlým až bělavým vzhledem rostliny, vede k nižším výtěžkům fotosyntézy. Přírodně se vyskytující nízké hodnoty chlorofylu jsou pozorovány u vyvíjejících se mladých listů nebo naopak u listů chřadnoucích rostlin, například během podzimu. Množství pigmentu chlorofylu může být sníženo jeho rozkladem při expozici rostliny velkému množství nebo naopak velmi malému množství světla, což má za následek narušení minerální rovnováhy. Funkce chlorofylu může být snížena také díky expozici škodlivým plynům či virovým infekcím (Larcher, 1995).

Neméně důležitým faktorem je koncentrace oxidu uhličitého v okolí rostliny. Obecně platí, že pokud dochází k nárůstu oxidu uhličitého v ovzduší či v okolí rostliny, vede tato zvýšená koncentrace k vyšším výnosům fotosyntézy (Ryplová, 2014). Závislost fotosyntézy na koncentraci oxidu uhličitého je znázorněna v grafu na obr. č. 6. Jak je patrné z obr. č. 6, pokud dojde k překročení saturační koncentrace oxidu uhličitého, výtěžek fotosyntézy se dále nezvyšuje. Jednotlivé křivky závislosti jsou odlišné u C3 a C4 rostlin. C4 rostliny jsou schopny vázat oxid uhličitý i při nízkých koncentracích, avšak jejich saturační hodnota je mnohem nižší než u C3 rostlin (Ryplová, 2014). Sharkey a kol. (1991) uvádějí, že duby a osiky rostoucí za vysokých koncentrací oxidu uhličitého fixují pomocí fotosyntézy více oxidu uhličitého než za běžných (nižších) koncentrací oxidu uhličitého. K dosažení maximálních výnosů fotosyntézy je potřeba alespoň dvacet minut. Studie ukazují, že nahromadění meziproductů cyklu uhlíku může způsobovat zpoždění fotosyntézy na světle. Tento jev se nazývá indukce. Vliv na indukční délku periody fotosyntézy má doba světelné aktivace enzymu Rubisco a začátek syntézy sacharózy. Během indukce převyšuje transport elektronů výkonost, která je potřebná pro metabolismus uhlíku (Sharkey a kol., 1991).



Obr. č. 6: Závislost fotosyntézy na koncentraci oxidu uhličitého (Ryplová, 2014).

Fotosyntéza rostlin je ovlivňována také množstvím enzymu Rubisco. Z morfologického hlediska je největší množství enzymu Rubisco přítomno v listech, kde může množství tohoto enzymu tvořit až padesát procent všech přítomných rozpustných proteinů. Efektivita karboxylace je limitována nejen množstvím, ale také aktivitou enzymu a samozřejmě dostupností oxidu uhličitého. Obecně platí, že čím je vyšší koncentrace oxidu uhličitého v okolí rostliny, tím efektivněji je ho schopen enzym Rubisco vázat a fotosyntéza dosahuje většího výtěžku (Larcher, 1995). Atwell a kol. (1999) uvádějí, že fotosyntetická kapacita listů je závislá na slunečním

záření, vodě a dostupnosti nutrientů. Tyto faktory poté ovlivňují množství enzymu Rubisco v rostlinách. Obecně platí, že rostliny slunných stanovišť mají větší kapacitu pro asimilaci oxidu uhličitého než rostliny stinných stanovišť. Listy, jež jsou vystavovány slunečnímu záření mají vysokou hustotu průduchů, jsou tlustší a mají vyšší obsah enzymu Rubisco, což má za následek vyšší schopnost využívat přicházející fotony, což vede k větším výnosům ATP a NADPH + H<sup>+</sup>. Listy stinných stanovišť obsahují menší množství enzymu Rubisco, než listy, které jsou vystavovány slunečním paprskům. Listy ve stínu díky nižším koncentracím enzymu Rubisco vykazují nižší fotosyntetickou kapacitu. Z morfologického hlediska mají rostliny stinných stanovišť větší a tenčí listy. Mají však více chlorofylu na jednotku listové sušiny než listy vystavované slunečním paprskům. Zastíněné listy sice mohou mít větší kvantový výtěžek investovaný do listů na jednotku uhlíku, ale přesto dosahují nižších maxim asimilace oxidu uhličitého než listy vystavené sluneční radiaci. Další zákonitost související s obsahem enzymu Rubisco je pozorována u chloroplastů. Chloroplasty blíže povrchu listu obsahují vyšší koncentrace enzymu Rubisco a vykazují také vyšší rychlost přenosu elektronů na jednotku chlorofylu. U chloroplastů nižších vrstev je pozorován opačný jev. Nicméně množství fixovaného oxidu uhličitého vztažené na listovou plochu vzrůstá, čím se světlo dostává hlouběji. Spodní polovina listu absorbuje okolo dvaceti pěti procent přicházející sluneční radiace, ale je zodpovědná za fixaci až třiceti jedna procent přítomných molekul oxidu uhličitého (Atwell a kol., 1999).

Ryplová (2014) uvádí, že mezi faktory ovlivňující průběh fotosyntézy je řazena také minerální výživa rostlin. Pokud nemají rostliny dostatek živin, postrádají látky nezbytné k tvorbě struktur, do kterých se asimilovaný uhlík váže. Voda poté ovlivňuje dýchání a pohyby průduchů, kterými do rostliny vstupuje oxid uhličitý potřebný pro fotosyntézu. K těmto základním podmínkám ovlivňujícím fotosyntézu je dále řazena také koncentrace akceptoru, teplota, stupeň hydratace protoplastu, nečistoty v ovzduší, těžké kovy, herbicidy, ozon či aktivita fytohormonů, zejména kyseliny abscisové, která reguluje tok iontů (Larcher, 1995; Ryplová, 2014).

### 2.3.5. Energetická bilance a výtěžek fotosyntézy

Ryplová (2014) uvádí, že k fixaci jedné molekuly hexózy je potřeba šest molekul oxidu uhličitého, osmnáct molekul ATP a dvanáct molekul NADPH + H<sup>+</sup>. K uvolnění jedné molekuly kyslíku je potřeba osm světelných kvant. Množství vznikajících látek

je snižováno přirozenými procesy rostlin, jako je respirace a fotorespirace, během nichž je oxid uhličitý z rostliny uvolňován. Výtěžek fotosyntézy u jednotlivých druhů rostlin je různý. Rozdíly ve výtěžku jsou závislé na mechanismu fixace oxidu uhličitého. U C4 rostlin neprobíhá fotorespirace, a navíc jsou schopny fotosyntetizovat i za nízkých koncentrací oxidu uhličitého v okolí rostliny. To poskytuje C4 rostlinám výhodu oproti C3 rostlinám, a to zejména při vysokých teplotách a za suchých podmínek, které nastávají, pokud na rostlinu dopadá velké množství sluneční radiace. Nevýhodou C4 rostlin je jejich citlivost na nízké teploty. Teplota nižší než přibližně sedm stupňů Celsia během růstu, má negativní vliv na jejich vývoj. Vzhledem k těmto okolnostem se C4 rostliny vyskytují spíše v teplých a suchých oblastech (Larcher, 1995).

Fotosyntetická aktivita se udává pomocí tzv. čisté fotosyntézy ( $P_N$ ). Ryplová (2014) definuje tuto veličinu jako množství vázaného oxidu uhličitého, který je snížen o množství prodýchaného oxidu uhličitého. Výnosnost fotosyntézy ovlivňuje i množství energie přicházejících světelných kvant, což je závislé na vlnové délce. Kvantová účinnost  $\phi_a$  je udávána v molech uvolněného kyslíku vztažená na mol pohlcených fotonů. Případně lze kvantovou účinnost vyjádřit v molech oxidu uhličitého, který byl přeměněn na sacharidy. Při srovnání hodnot kvantové účinnosti rostlin dosahují nejvyšších hodnot terestrické cévnaté rostliny, dále cévnaté vodní (ponořené) rostliny a poté řasy (Larcher, 1995). Atwell a kol. (1999) uvádějí, že k největším výtěžkům dochází, pokud obě reakční centra absorbují stejné množství světelných kvant. Pokud jeden fotosystém absorbuje více kvant než druhý, nemohou být přebytečná kvanta využita k přechodu elektronů.

#### 2.4. Metody měření výtěžku fotosyntézy

Metody měření výtěžku fotosyntézy mohou být založeny na sledování vznikajících nebo naopak spotřebovávaných látek během procesu fotosyntézy. Při určování přesného výtěžku fotosyntézy, tzv. hodnoty čisté fotosyntézy  $P_N$ , je potřeba zahrnout do výsledků i respiraci, která snižuje výtěžek fotosyntézy. Tato kapitola přináší přehled základních vědeckých postupů pro měření fotosyntézy. Většina z nich však byla vzhledem ke své náročnosti a náročnosti přístrojového vybavení pro účely školní výuky do nedávné doby nevhodná.



#### 2.4.1. Gravimetrické metody

Metody gravimetrické jsou založeny na vážení hmotnosti sušiny, což je hmotnost rostlinného těla po vysušení do konstantní hmotnosti. Hodnota čisté fotosyntézy je u gravimetrických metod definována jako rozdíl mezi celkovou produkcí sušiny, která vzniká při fotosyntéze a spotřebou asimilátů dýcháním. Při fotosyntéze vznikají organické látky, které vytvářejí biomasu rostliny. Při této váhové metodě sledujeme přírůstek nebo úbytek hmotnosti sušiny za určité časové období. Tyto metody jsou nenáročné. Potřeba je sušárna, kterou lze nahradit ve školním prostředí i mikrovlnou troubou, a váha. Tato metoda může být bez problémů využívána na základních školách, výsledky jsou však velmi nepřesné. Nevýhodou je, že při této metodě dochází k usmrcení rostliny, tudíž nemůžeme rostlinu nadále využívat a pozorovat v jiných podmínkách. Eliminovat nepřesnosti při gravimetrické metodě je možné pomocí přesného stanovení velikosti listové plochy, na kterou hmotnost sušiny vznikající za jednotku času vztáhneme. K tomuto účelu je využívána metodika terčků vyražených z listového pletiva (Ryplová, 2014).

#### 2.4.2. Fluorimetrické metody

Fluorescenční metody jsou založeny na schopnostech molekul chlorofylu absorbovat a emitovat záření. Molekula chlorofylu je při vystavení radiaci excitována do vyšší energetické hladiny. Při návratu do základní energetické hladiny dochází ke vzniku fluorescenčního záření. Platí pravidlo, že čím více energie je využito pro fotosyntézu, tím méně je vyzářeno v podobě fluorescence. Fluorescenční záření je měřeno pomocí fluorimetrů, které obsahují fotonku citlivou pro tuto oblast radiace. Tyto fluorimetry se dnes nechají pořídit i v miniaturních verzích, které lze využívat i ve školním prostředí. Za běžných podmínek se během fotosyntézy rostlin ztrácí ve formě fluorescenčního záření pouze jednotky procent. Pokud je však rostlina vystavena stresovým faktorům, podíl fluorescence stoupá. Výhodou těchto metod je jejich rychlá odezva a nepoškození rostliny, což nám umožňuje tutéž rostlinu zkoumat v různých podmínkách (Ryplová, 2014).

#### 2.4.3. Gazometrické metody

Gazometrické metody jsou založeny na měření plynů, které jsou v procesu fotosyntézy vyměňovány. Hodnotu čisté fotosyntézy lze u těchto metod definovat jako rozdíl mezi množstvím oxidu uhličitého, který je spotřebováván při fotosyntéze a uvolňován

dýcháním. Nejčastěji se k těmto účelům využívá infračerveného plynového analyzátoru. Oxid uhličitý je schopen absorbovat infračervené záření. V uzavřeném prostoru (kyvetě), kde jsou zajištěny optimální podmínky pro život rostliny, jsou měřeny změny koncentrace oxidu uhličitého. Do kyvety je pumpována známá koncentrace oxidu uhličitého a při zpětném nasávání je sledována změna jeho koncentrace. Kyveta bývá nejčastěji skleněná nebo akrylová a obsahuje ventilátory, které zajišťují rovnoměrné rozložení oxidu uhličitého po celé délce kyvety. Některé kyvety mají i čidla pro měření množství přicházejícího světla a na měření teploty (Ryplová, 2014). Pro školní experimenty jsou však tyto přístroje nevhodné, především vzhledem k jejich velmi vysoké pořizovací ceně (řádově statisíce korun).

I z tohoto důvodu je vhodnější pro žákovské experimenty využívat vodní rostliny. Moderní měřicí přístroje pro měření fotosyntézy vodních rostlin jsou cenově dostupnější. Pro měření fotosyntézy ve vodě je však nutné použít jiné metody než pro měření fotosyntézy rostlin suchozemských. Běžné přístroje měřící fotosyntézu za pomoci infračerveného analyzátoru plynů jsou pod vodou nefunkční. Jednoduché orientační stanovení fotosyntézy lze provést odříznutím prýtů rostlin. Pokud jsou prýty rostlin ponechány ve vodě s dostatkem světelného záření, lze pozorovat uvolňující se bublinky kyslíku. Rychlost jejich uvolňování lze použít k orientačnímu stanovení rychlosti fotosyntézy (Adamec, 2003). Přesné měření výnosů fotosyntézy lze provádět měřením dostupnosti anorganického uhlíku, který je vstřikován do malého množství vody s koncentrovanou kyselinou v bublinové komoře propláchnuté plynným dusíkem, který je schopen přenášet uvolněný oxid uhličitý do infračerveného analyzátoru. Tato měření jsou však značně komplikovaná. Dalšími vědeckými metodami pro stanovení výnosů fotosyntézy je sledování změn radioaktivně značeného oxidu uhličitého nebo sledování poolu  $^{14}\text{C}$  pomocí pulzní fluorimetrie. Nepřímé metody, založené na sledování změn množství anorganického uhlíku, spočívají v nepřetržitém měření pH roztoku. I tato metoda je však ovlivněna mnoha dalšími faktory, které způsobují odchylky měření. Z tohoto důvodu je většina měření podvodní fotosyntézy založena na měření změn koncentrací kyslíku (Pedersen a kol., 2013).

Změny koncentrace kyslíku v čase lze snadno měřit pomocí amperometrických elektrod Clarkova typu nebo pomocí optod citlivých na kyslík. V případě nedostatečných optod či elektrod lze využít Winklerovu titrační metodu. K měření



fotosyntézy se využívá rotujících inkubátorů, do kterých se vkládají vzorky listů nebo řas. V inkubátorech je známá koncentrace oxidu uhličitého ve vodě a uzavřené lahvičky o známém objemu se otáčejí v inkubátoru za dobře definovaných světelných a teplotních podmínek. Teplota je důležitý faktor, protože ovlivňuje rozpustnost plynů ve vodě a rychlost metabolismu tkání. Produkovaný kyslík je měřen elektrodou nebo optodou. Výpočet čisté fotosyntézy lze vypočítat na základě plochy listu čerstvé nebo suché hmoty či množství chlorofylu. Pokud toto měření provedeme ve tmě, zjistíme údaj o respiraci. V principu je vzorek listu nebo řasy vložen do uzavřené komory s vnitřním promícháváním. Inkubátor má vložené elektrody nebo optody, pomocí kterých je měřena koncentrace kyslíku. Množství volného oxidu uhličitého lze upravovat vstříkáním kyseliny nebo zásady (Pedersen a kol., 2013).

Clarkova elektroda je schopna měřit změny koncentrací kyslíku. Měření změn koncentrací oxidu uhličitého není vhodné, protože vodní rostliny nevyužívají v procesu fotosyntézy pouze oxid uhličitý, ale také hydrogenuhličitanové a uhličitanové ionty přítomné ve vodě. Kyslík je v procesu fotosyntézy uvolňován a při respiraci spotřebováván. Clarkova elektroda obsahuje indikační platinovou katodu a referenční stříbrnou anodu. Elektrolytem je jedno molární roztok chloridu draselného. Elektrolyt je od roztoku oddělen membránou, která propouští pouze plyny. Když kyslík prochází membránou, je spotřebováván na katodě, což vede ke zvýšení proudu, který odpovídá koncentraci kyslíku. Běžná kyslíková elektroda je citlivá na míchání, tento problém lze vyřešit použitím mikroelektrody, která spotřebovává jen malé množství kyslíku. Tato elektroda není ve školním prostředí příliš využívána kvůli poměrně náročné údržbě (Pedersen a kol., 2013; Ryplová, 2013).

Měření fotosyntézy ve vodě pomocí optod je založeno na schopnosti světla excitovat fluorofor obsažen na špičce vláknové optiky. Molekulární kyslík je schopen zhaset fluorescenci. Excitované světlo, které je pozměněno přítomností molekulárního kyslíku je následně přenášeno zpět a měřeno spektrometrem. Optody kyslík nespotebovávají, takže nejsou citlivé na míchání, vyžadují však větší kontrolu teploty oproti elektrodám Clarkova typu (Pedersen a kol., 2013).

V poslední době se však v souvislosti s neustále pokračujícím technickým rozvojem na trhu objevují cenově dostupné optické elektrody, jejichž výhodou je snadná údržba a cenová dostupnost. Mají tedy potenciál pro využití i ve školní výuce. Ověření

možností využití optického kyslíkového čidla v žákovském experimentu na téma fotosyntéza, je i jedním z cílů této diplomové práce. Ryplová (2014) uvádí, že v současné době lze ve školním prostředí využívat různé didaktické měřicí sety, jejichž součástí mohou být právě i optická čidla pro měření kyslíku a pH ve vodě. Nejedná se sice o plně přesná stanovení, pro demonstraci ve školním prostředí se však jeví jako dostačující a vhodné metodické prostředky.

### 3. Metodika

Cílem didaktického průzkumu prováděného v průběhu mé diplomové práce bylo nalézt odpověď na následující výzkumné otázky. Za prvé, zda může zařazení navrhovaného moderního experimentu, využívajícího badatelský přístup podporovaný měřením s moderním typem čidla, vést ke zlepšení žákovských znalostí a odstranění miskonceptů k tématu fotosyntéza? A dále zda může tento typ výuky napomoci zvýšení její atraktivity pro žáky?

Badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřícího přístroje na téma fotosyntéza byla ověřována v květnu roku 2022. Výzkumu se účastnilo sedmdesát jedna žáků devátých ročníků ze tří základních škol. Využitý experiment byl vytvořen kolektivem autorů v rámci projektu podporovaného TAČR: TL0500150 s názvem: *Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině.*

Práce je pilotní sondou, která přináší výsledky, zda je účelné zavedení experimentů s využitím moderních technologií do běžné výuky na základních školách a zda tento přístup může pomoci s atraktivizací neoblíbených botanických témat. Jako moderní měřicí přístroj bylo použito optické čidlo pro stanovení kyslíku a pH ve vodě. Toto optické čidlo je kapesním měřícím přístrojem, který je řazen mezi víceparametrové měřiče. Přesný typ optického čidla, které bylo použito, je MFD 790PTO. K ověření pilotní verze v praxi bylo využito metody pretest a posttest. Dotazníkové šetření bylo zcela anonymní, žáci uváděli pouze své pohlaví. Žáci v pretestu i posttestu mohli dosáhnout maximálně patnácti bodů. K vyhodnocení bylo využito statistického programu Statistica, konkrétně t-testu závislého dle skupin a statistického testu ANOVA.

Časová náročnost na provedení badatelsky orientovaného experimentu na téma fotosyntéza byla stanovena na dvě vyučovací hodiny. Během této časové dotace žáci stihli vyplnit pretest, posttest a pracovní list, který pomáhal žákům s bádáním. Pracovní list byl vytvořen kolektivem autorů a jeho podobu si lze prohlédnout v příloze č. 1. V příloze č. 2 je k vidění pretest, který žáci vyplňovali před výukou. Časový limit, který žáci potřebovali na jeho vyplnění byl přibližně deset minut. Stejně množství času žáci potřebovali i na vyplnění posttestu, který si lze prohlédnout v příloze č. 3. Pretest a posttest obsahují shodné otázky, posttest však navíc obsahuje škálové hodnocení různých moderních i klasických přístupů a prostředků využívaných ve výuce přírodopisu. Cílem testů bylo porovnat znalosti žáků před výukou a těsně po provedení výuky. Testy obsahovaly otevřené i uzavřené odpovědi. Výuka je koncipována tak, že ji lze provádět ve vnitřním prostředí i v prostředí venkovním, jako jsou například školní zahrady. Vzhledem k velikosti a snadné manipulaci s optickým čidlem, lze výuku provádět i v terénu.

Výukový program byl zahájen úvodní motivační otázkou spojenou s ukázkou dvou lahví. Úvodní motivační promluva zněla: „Z rybníka jsme nabrali vodu do dvou plastových lahví. V jedné láhvi byla voda s vodními rostlinami (řasami), v druhé láhvi byla voda bez viditelných rostlin. Obě lahve jsme nechali ležet na slunečním záření. Asi po čtyřiceti minutách jsme zjistili, že v láhvi s řasami vznikly drobné bublinky. Co je jejich příčinou a jak vznikly? Naopak v láhvi bez rostliny bublinky nebyly.“ Žáci si stejný úkaz jako je popsán v této úvodní promluvě, která je i součástí pracovního listu (viz příloha č. 1), mohli sami prohlédnout na předem učitelem připraveném pokusu s lahvemi. Jedna lahev byla naplněná vodou z rybníka, který obsahoval řasy, druhá byla naplněna vodou bez vodní flóry. Lahve byly ponechány přibližně jednu hodinu na slunečním záření. V lahvi s vodní flórou se vytvořily bublinky. Žákům byla položena otázka: „Co je příčinou vzniku bublin v této láhvi? Proč je druhá neobsahuje?“. Žáci měli možnost si průhledné lahve prohlédnout a následně dostali za úkol vytvořit hypotézu (domněnku), kde se bublinky v lahvi vzaly. Svou vlastní vytvořenou domněnku následně žáci diskutovali ve dvojicích se svým sousedem. Poté byly vytvořeny skupinky zhruba po čtyřech až pěti žácích a jejich úkolem bylo zkontrolovat své navržené domněnky ve skupinách. Domněnky byly nakonec zástupcem skupiny přečteny nahlas před celou třídou a v případě nejasností byla opět vedena diskuse, tentokrát řízená učitelem. Následně měli žáci ve skupinách za úkol

navrhnout pokus, ve kterém využijí předem připravené pomůcky (viz pracovní list v příloze č. 1), kterým by svou domněnku ověřili. Na základě navržených pokusů byl proveden následující experiment.

Dvě průhledné lahve byly naplněny vodou s řasami, která byla učitelem předem odebrána z rybníka. Naplnění lahví bylo potřeba provést tak, aby uvnitř nebyla žádná vzduchová bublina. Jedna lahev byla zatemněna krabicí, druhá byla vystavena působení slunečního záření. Krabici lze pro lepší zatemnění zakrýt ještě látkou. Pokud výuka probíhala v terénu, v mém případě na školní zahradě, sluneční svit dosahující přibližně  $800 - 1000 \text{ W/m}^2$  za jasného počasí byl pro pokus dostačující. Tato hodnota odpovídá ozáření Země za letních slunných dnů (Pokorný a kol., 2018). V případě nepříznivého počasí (u jedné třídy), výuka probíhala ve třídě a bylo potřeba, aby byl sluneční svit nahrazen přenosným světlem. K provedení pokusu bylo zapotřebí ponechat lahve stranou alespoň čtyřicet minut. Množství kyslíku a pH bylo měřeno nejprve před provedením pokusu. Vhodné je ponechat odebraný vzorek z rybníka v temnu, aby voda ještě před provedením pokusu nebyla nasycena kyslíkem. V případě vysokého obsahu kyslíku ve výchozím vzorku lze kyslík vybublat brčkem. Zhruba po čtyřiceti minutách byl opět měřen obsah kyslíku a pH v obou lahvích. Výsledky byly následně diskutovány. Nakonec měli žáci provést výpočet, jehož zadání si lze prohlédnout v pracovním listě v příloze č. 1.

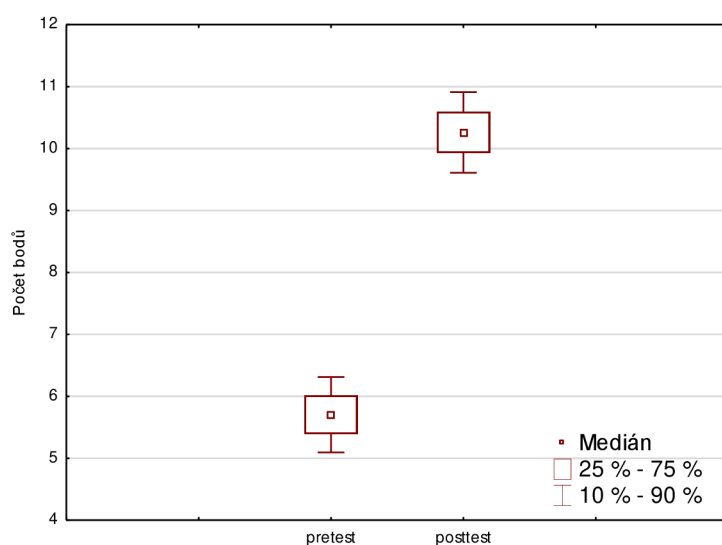
V jednom případě došlo skupinou k návržení úplně jiného, pro tuto výuku nevhodného, pokusu. Pokus spočíval v ochlazování jedné lahve, druhá měla být ponechána na okolní teplotě a třetí zahřívána. Všechny lahve měli být vystaveny slunečnímu záření. Pro podporu žákovské motivace k výuce jsme provedli i tento pokus. K pokusu jsem využila led a horkou vodu z rychlovarné konvice. Z výsledků bylo patrné, že teplota sice ovlivňuje fotosyntézu, ale u námi provedeného pokusu nebyl rozdíl příliš markantní, protože všechny lahve byly vystaveny slunečnímu svitu. Během pokusu navíc nebyly zajištěny stabilní a neměnné podmínky, což vedlo k tomu, že led ve třídě pomalu tál a ohřátá voda z konvice chladla.

Během doby, kdy žáci vyčkávali na provedení pokusu, měli možnost seznámit se s moderním měřicím zařízením, kterým bylo v tomto případě optické čidlo pro měření množství kyslíku a pH ve vodě. Jak je patrné z pracovního listu v příloze č. 1, pokus spočíval v probublávání kohoutkové vody. Žáci si napustili kohoutkovou vodu

do plastové lahve a změřili obsah kyslíku a pH. Následně do vody foukali vydechovaný vzduch brčkem a poté opět měřili hodnoty v lahvi s kohoutkovou vodou. Na základě získaných dat měli ve skupinové diskusi odvodit závěry. V případě, že žáci směřovali úplně špatným směrem, byla diskuse korigována učitelem.

## 4. Výsledky

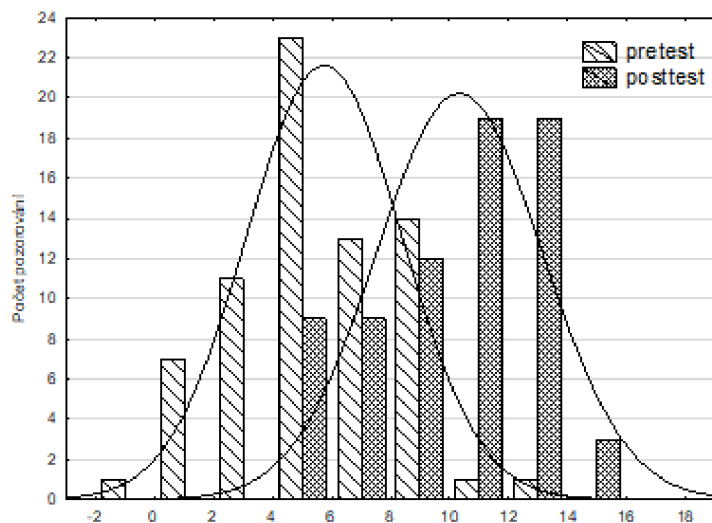
K vyhodnocení dat bylo využito statistické metody t-testu závislého dle skupin. Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 7, provedený t-test závislý dle skupin prokázal, že provedený experiment, s využitím badatelsky orientovaného přístupu k výuce a moderního měřicího přístroje, má statisticky prokazatelný vliv na porozumění složitému a abstraktnímu tématu fotosyntézy ( $t = -13,3173$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-7}$ ). Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 7, v pretestu 50 % žáků dosahovalo skóre mezi pěti a šesti body. V posttestu se úspěšnost zvýšila a 50 % žáků dosáhlo skóre mezi deseti a jedenácti body.



Obr. č. 7: Krabicový graf zobrazující celkový bodový zisk v pretestu a posttestu.

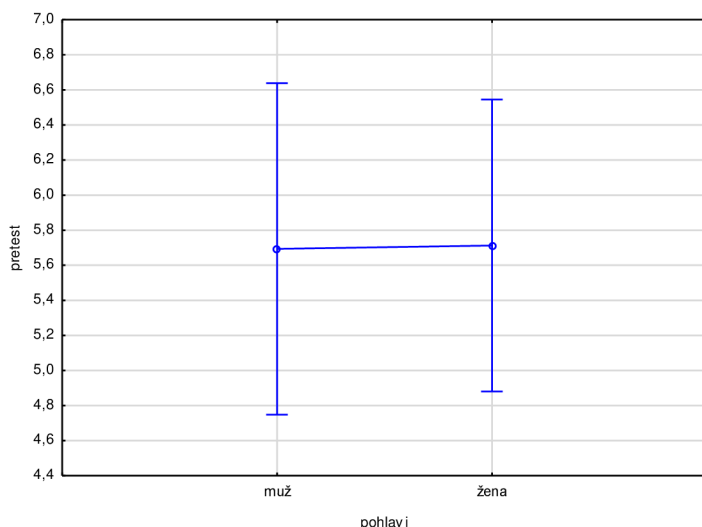
Histogram na obr. č. 8 zobrazuje bodovou úspěšnost v pretestech a posttestech. V pretestu jeden žák nezískal ani jeden bod, všechny odpovědi v testu byly chybné nebo odpověď nebyla uvedena vůbec. Nejnižší dosažená hodnota v posttestu byla čtyři a půl bodu. Maximálního počtu bodů, tedy patnácti, v pretestu nedosáhl nikdo. V posttestu maximální počet bodů získal pouze jeden žák. Nejvíce žáků v pretestu získalo čtyři a půl bodu, jednalo se celkem o dvacet tři žáků (32,39 %). V posttestu

nejvíce žáků dosáhlo bodového hodnocení mezi jedenácti a čtrnácti body, jednalo se o třicet osm žáků (53,52 %).

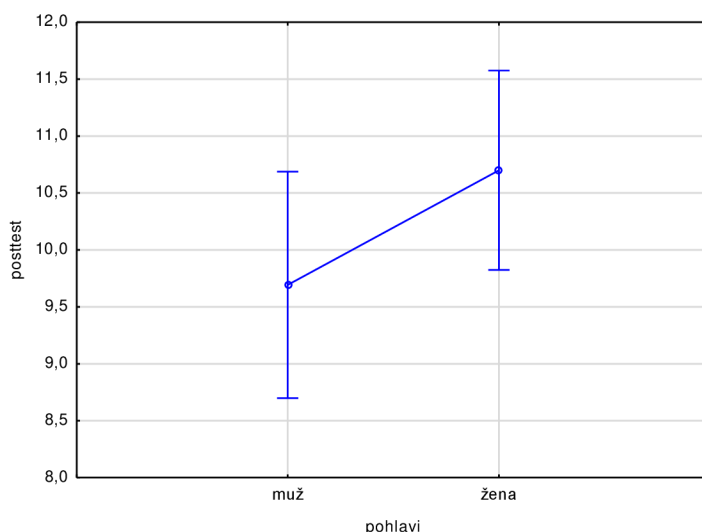


Obr. č. 8: Histogram zobrazující bodové hodnocení v pretestech a posttestech.

Při vyhodnocení rozdílu ve znalostech mezi dívkami a chlapci v pretestu a posttestu nedošlo dle provedeného testu ANOVA k zaznamenání statisticky významného rozdílu mezi pohlavími ( $F_{2,46} = 1,3825$ ;  $p = 0,257904$ ). Bodový rozdíl mezi dívkami a chlapci v pretestu si lze prohlédnout na grafu na obr. č. 9. V pretestu dosáhly obě pohlaví v průměru přibližně pěti a půl bodu. Graf na obr. č. 10 zobrazuje bodový rozdíl mezi dívkami a chlapci v posttestu. Jak je patrné z grafu na obr. č. 10, v posttestu se zvýšila bodová úspěšnost u obou pohlaví. Dívky dosáhly v posttestu vyššího bodového skóre než chlapci. V průměru dívky v posttestu dosáhly 10,7 bodů, chlapci pouze 9,7 bodů. Bodový rozdíl mezi chlapci a dívkami v posttestu je jeden bod.



Obr. č. 9: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl v pretestu mezi dívkami a chlapci.



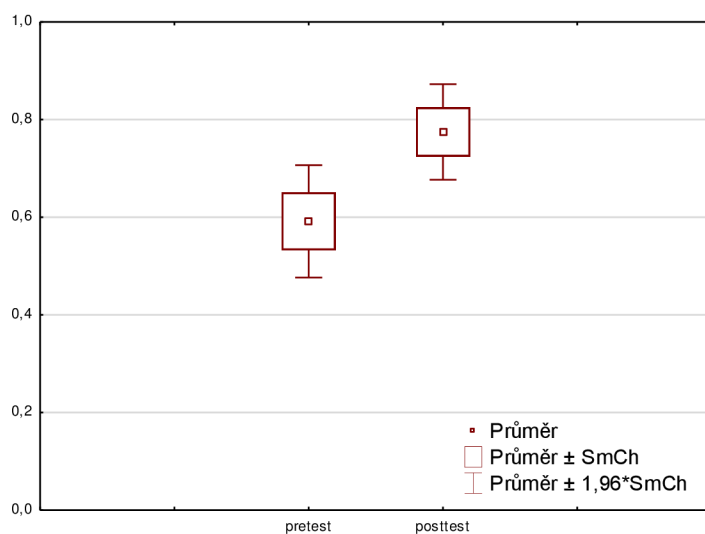
Obr. č. 10: Graf statistického vyhodnocení ANOVA zobrazující bodový rozdíl v posttestu mezi dívkami a chlapci.

#### 4.1. Otázka číslo jedna

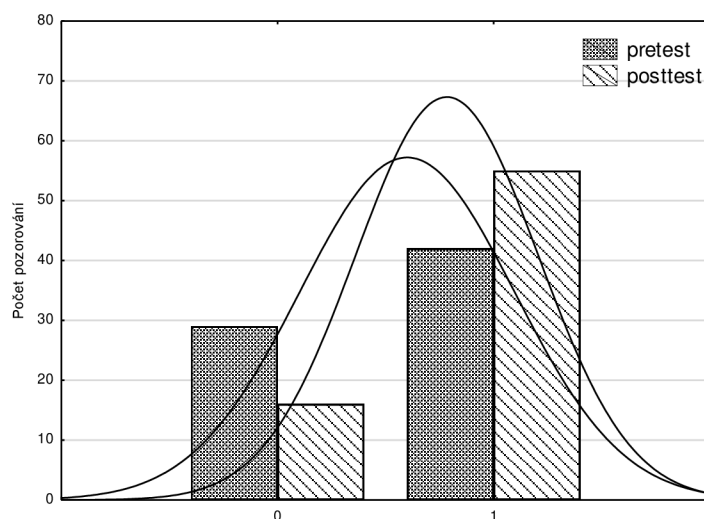
Znění první otázky v dotazníkovém šetření je: „Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?“. Jedná se o otevřený typ otázky. Správnou odpovědí je Slunce, případně různé modifikace této odpovědi jako je například sluneční záření, sluneční svit apod. Pokud žák zodpověděl otázku správně získal jeden bod. V případě chybné odpovědi nezískal bod žádný. Žákovskou úspěšnost u první otázky si lze prohlédnout na níže uvedeném krabicovém grafu na obr. č. 11. Mezi nejčastějšími žákovskými miskoncepce se objevovala odpověď voda, cukr, fotosyntéza, země

a živiny. Úplnou mylnou představou byla odpověď, že energie pochází z rozštěpeného atomu.

Dle provedeného t-testu závislého dle skupin měla provedená badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřicího zařízení kladný vliv na žákovské odpovědi v otázce, kde rostliny berou energii, kterou využívají ke svému růstu ( $t = 2,50185$ ; d. f. = 70;  $p = 0,014695$ ). Úspěšnost odpovědí v pretestu a posttestu si lze prohlédnout na krabicovém grafu na obr. č. 11.



Obr. č. 11: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení první otázky: „Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?“.



Obr. č. 12: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0) a správných odpovědí mezi pretesty a posttesty u první otázky: „Odkud pochází energie, kterou rostliny využívají ke svému růstu?“.

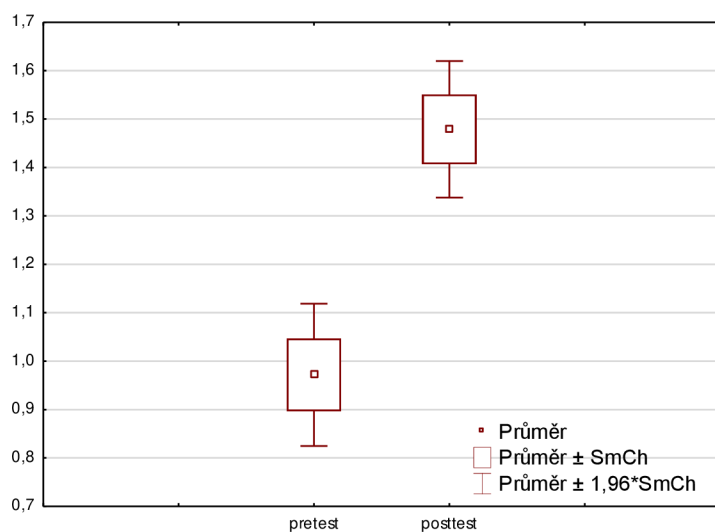


Správná odpověď na otázku byla hodnocena jedním bodem. Jak je patrné z histogramu na obr. č. 12, v pretestu správně na první otázku odpovědělo čtyřicet dva žáků (59,15 %), v posttestu se podařilo správně odpovědět padesáti pěti žákům (77,46 %). V této otázce došlo ke zlepšení úspěšnosti o 18,31 %.

#### 4.2. Otázka číslo dva

Znění druhé otázky je: „Jaké látky vznikají při fotosyntéze?“. Jednalo se opět o otevřenou otázku. Správnou odpovědí byl kyslík a cukr. Pokud žáci uvedli alespoň jeden z produktů dostali jeden bod. Pokud žáci uvedli produkty oba, získali body dva. Nejčastější chybné odpovědi byly oxid uhličitý, uhlík, živiny, chloroplast, chlorofyl či zelené barvivo, látky potřebné k dýchání. Často žáci uvedli jako produkt fotosyntézy pouze kyslík nebo naopak vypsali odpověď: „kyslík, oxid uhličitý, cukr“. Je patrné, že si žáci odpovědi nebyli jisti.

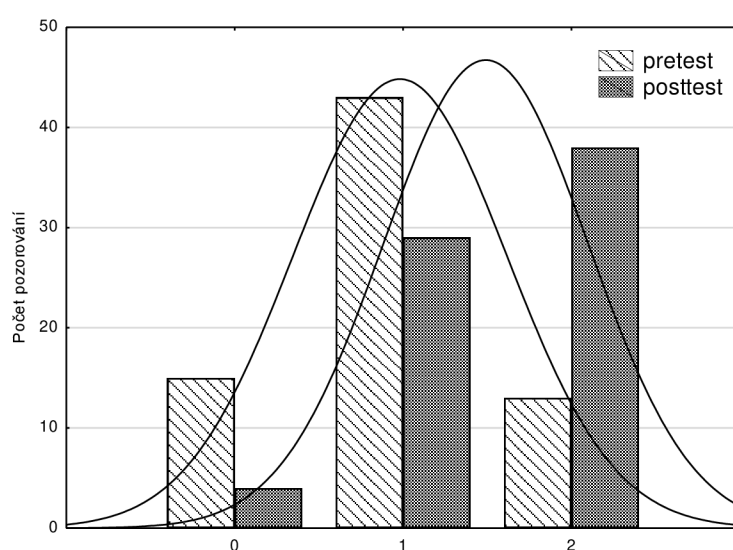
Z krabicového grafu na obr. č. 13 je patrné, že provedený t-test závislých skupin prokázal zlepšení mezi pretesty a posttesty u druhé otázky, která byla zaměřena na látky, které vznikají během fotosyntézy ( $t = 5,25498$ ; d. f. = 70;  $p = 0,000001$ ).



Obr. č. 13: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení druhé otázky: „Jaké látky vznikají při fotosyntéze?“.

Histogram (obr. č. 14) zobrazuje bodovou úspěšnost v pretestech a posttestech u druhé otázky. Jak je patrné z histogramu, v pretestu patnáct žáků uvedlo chybnou nebo žádnou odpověď a nezískalo v této otázce žádný bod. Jedná se o 21,12 %. Jeden bod získali v pretestu ti žáci, kteří uvedli alespoň jeden produkt, který vzniká

při fotosyntéze, což se podařilo čtyřiceti třem žákům (60,56 %). Nejčastěji uvedli jako produkt fotosyntézy pouze kyslík. Jedná se o správnou, ale ne zcela kompletní odpověď. Pouze třináct žáků (18,31 %) uvedlo v pretestu plně správnou odpověď, tedy že během fotosyntézy vzniká kyslík a cukr (sacharid, glukóza). V posttestu se úspěšnost zvýšila. Pouze čtyři žáci (5,63 %) v posttestu neuvedli alespoň jeden z produktů fotosyntézy, dvacet devět žáků (40,85 %) poté v posttestu uvedlo alespoň jeden produkt fotosyntézy. Celkem třicet osm žáků (53,52 %) v posttestu uvedlo oba produkty vznikající během fotosyntézy. Někteří správně uváděli cukr jako hlavní produkt a kyslík jako produkt pro rostlinu odpadní či vedlejší.



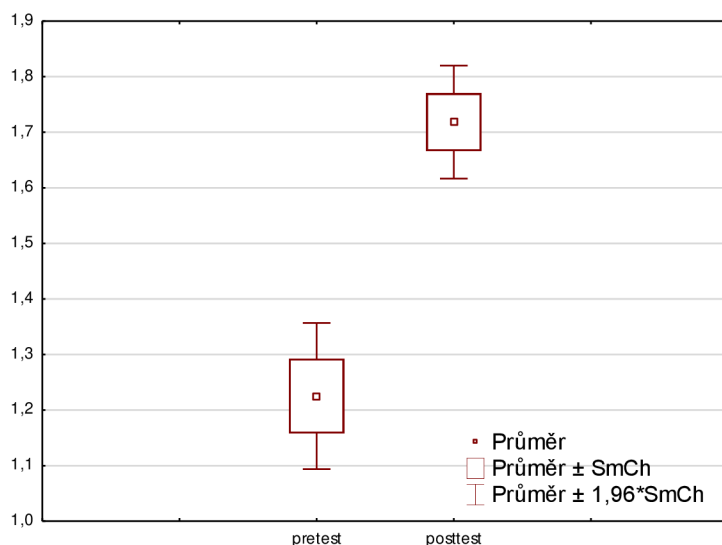
Obr. č. 14: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0), částečných odpovědí (hodnota 1) a plně správných odpovědí (hodnota 2) mezi pretesty a posttesty u druhé otázky: „Jaké látky vznikají při fotosyntéze?“.

### 4.3. Otázka číslo tři

V otázce číslo tři měli žáci za úkol srovnat výživu rostlin a živočichů. Principem bylo doplnění následujících vět. „Živočichové získávají živiny ke svému růstu z ...“. Správnou odpovědí byla potrava, cukry, tuky a bílkoviny a různé modifikace, ze kterých byla patrná správná odpověď. Druhá věta na doplnění zněla: „Rostliny získávají živiny ke svému růstu z ...“. Správnou odpovědí byl příjem minerálních látek rozpuštěných ve vodě, které jsou v procesu fotosyntézy přeměňovány na stejné organické látky, které využívají jako zdroj živin živočichové. Za správné odpovědi byly považovány samozřejmě různé modifikace, ze kterých bylo patrné, že žáci problematice rozumí. Většina žáků byla schopna uvést, kde získávají živiny

živočichové. Objevovaly se přesné i méně přesné odpovědi jako potrava, rostliny, voda, ostatní živočichové, jídlo, bílkoviny, tuky, sacharidy apod. V případě doplnění živin pro růst rostlin bylo pouze malé množství žáků schopno odpovědět komplexně. Mezi nejčastějšími odpověďmi žáků na příjem živin pro růst rostliny se objevovalo, že rostliny získávají živiny ze Slunce, mrtvých těl živočichů či rostlin, z kořenů, listů a buněk. Spoustu žáku bylo schopno uvést, že rostliny přijímají vodu s živinami nebo alespoň vodu z půdy (země). Nebyli však schopni propojit tyto přijímané látky s procesem fotosyntézy a vestavbou těchto anorganických látek do organické podoby. Žáci nebyli schopni uvést, že rostliny využívají cukry, tuky a bílkoviny, tak jako ostatní živé organismy, pouze si je vytvářejí sami v procesu fotosyntézy.

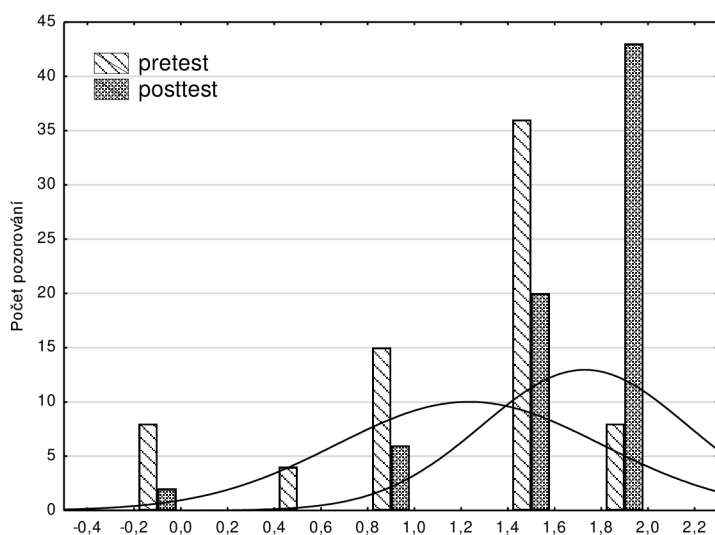
Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 15, provedený t-test závislých skupin prokázal statisticky významný vliv moderního experimentu na žákovské porozumění shodám a odlišnostem v příjmu živin u živočichů a rostlin. Zároveň měla výuka vliv na porozumění významu fotosyntézy v zabudovávání anorganických látek do rostlinného těla ( $t = - 7,20791$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ).



Obr. č. 15: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení třetí otázky, která spočívala v doplnění následujících vět: „Živočichové získávají živiny ke svému růstu z ...“ a „Rostliny získávají živiny ke svému růstu z ...“.

Hodnocení třetí otázky vzhledem ke své komplexnosti bylo poměrně náročné. Každá věta byla hodnocena v případě své úplné správnosti jedním bodem. Z toho vyplývá, že žáci mohli u třetí otázky získat maximální skóre dva body. Avšak žáci často nebyli schopni uvést plně komplexní odpověď, v takovém případě nelze považovat jejich

odpověď za nesprávnou, ale pouze za neúplnou. Z tohoto důvodu jejich částečné odpovědi byly hodnoceny půl bodem. Z toho důvodu došlo k rozdělení žáků do jednotlivých kategorií podle komplexnosti jejich odpovědí. Jak je patrné z histogramu na obr. č. 16, v pretestu osm žáků (11,27 %) nedokázalo správně doplnit ani jednu z výše uvedených vět. Čtyři žáci (5,63 %) v pretestu uvedli u jedné věty částečnou odpověď a získali půl bodu. Patnáct žáků (21,13 %) bylo schopno v pretestu doplnit alespoň jednu z vět a získalo jeden bod. Zpravidla žáci zvládli doplnit větu týkající se příjmu živin živočichů. Nejvíce žáků v pretestu dokázalo uvést způsob příjmu živin živočichů a alespoň částečně si uvědomit zisk živin u rostlin, i když ne ve své komplexnosti. Tito žáci byli ohodnoceni jedním a půl bodem. Takto odpovědělo třicet šest žáků (50,70 %). Plně správnou odpověď v pretestu znalo pouze osm žáků (11,27 %), ti získali dva body. V posttestu se nepodařilo doplnit věty pouze dvěma žákům (2,82 %). Šest žáků (8,45 %) v posttestu dokázalo doplnit pouze jednu z vět a získalo jeden bod. Dvacet žáků (28,17 %) v posttestu zvládlo doplnit jednu z vět, zpravidla týkající se zisku živin u živočichů, a částečně doplnit zisk živin rostlin. Po provedeném experimentu čtyřicet tři žáků (60,56 %) dokázalo doplnit obě z vět správně. I přesto jejich odpovědi byly často nejisté a zmatené.



Obr. č. 16: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0), částečných odpovědí (hodnoty 0,5; 1; 1,5) a plně správných odpovědí (hodnota 2) mezi pretesty a posttesty u třetí otázky, která spočívala v doplnění následujících vět: „Živočichové získávají živiny ke svému růstu z ...“ a „Rostliny získávají živiny ke svému růstu z ...“.

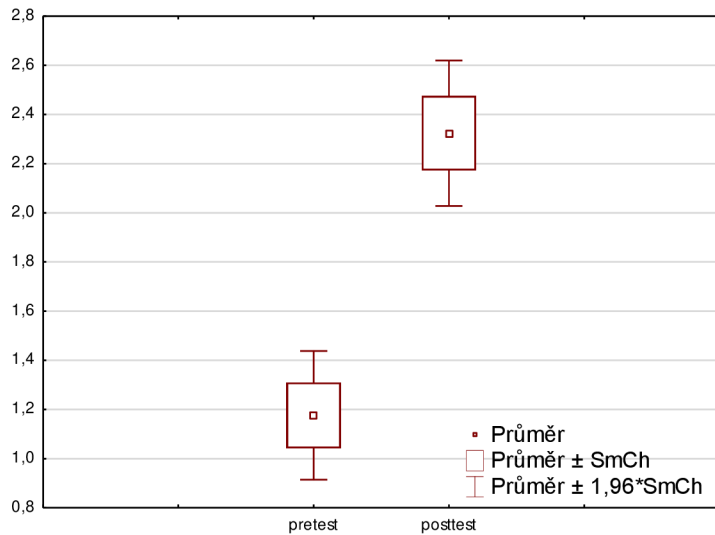
#### 4.4. Otázka číslo čtyři

Ve čtvrtém cvičení žáci do tabulky, kterou si lze prohlédnout v pretestu i posttestu v přílohách č. 2 a č. 3., vyplňovali, jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry nebo naopak vydávají do atmosféry během dne a noci. Toto cvičení bylo pro žáky velice náročné a často uváděli nesprávné a zmatené odpovědi. Velmi často napsali správnou i špatnou odpověď. Za každé správně vyplněné políčko získal respondent jeden bod. Celkem tedy bylo možné za tabulku získat čtyři body. Správné vyplnění tabulky si lze prohlédnout níže v tabulce č. 1. K doplnění této tabulky bylo zapotřebí si uvědomit jaké plyny rostlina přijímá a vydává do atmosféry během fotosyntézy, dýchání a transpirace. Žádný z žáků vodní páru, která je rostlinou vydávána do atmosféry ve dne transpirací neuvedl. Vzhledem k charakteru výuky, která byla zaměřena na pochopení zejména procesu fotosyntézy, bylo i bez uvedení vodní páry políčko pro plyny, které vydávají rostliny průduchy do atmosféry ve dne, hodnoceno jedním bodem. Samozřejmě za splnění předpokladu, že žáci správně uvedli ostatní plyny, kterými jsou oxid uhličitý a kyslík.

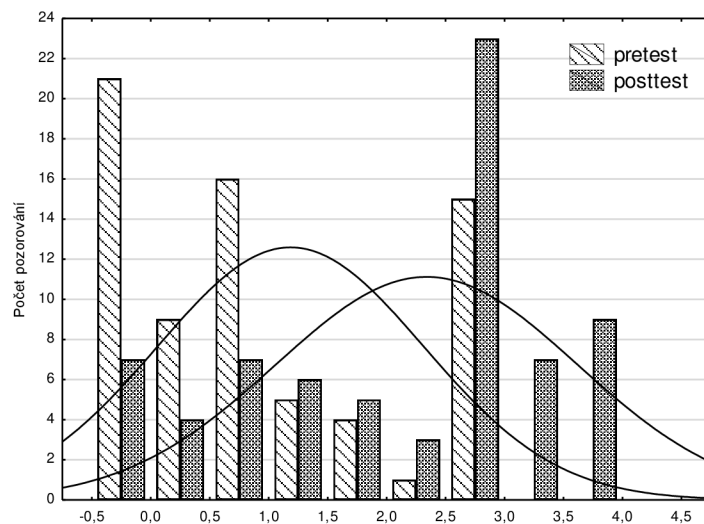
*Tabulka č. 1: Správné vyplnění tabulky u čtvrté otázky.*

	<b>Ve dne</b>	<b>V noci</b>
<b>Jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry</b>	Kyslík, oxid uhličitý	Kyslík
<b>Jaké plynné látky rostliny vydávají do atmosféry</b>	Oxid uhličitý, kyslík, vodní páru (ev. někdo možná zmíní i vonné látky či silice)	Oxid uhličitý

Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 17 provedená badatelsky orientovaná výuka za využití moderního experimentu měla prokazatelný vliv na žákovské porozumění tématu u čtvrté otázky ( $t = -7,70890$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ).



Obr. č. 17: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení celé tabulky ve čtvrté otázce.



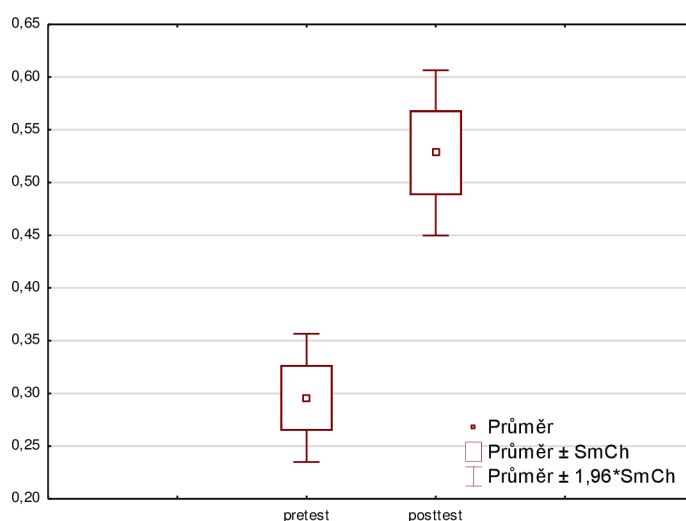
Obr. č. 18: Histogram zobrazující souhrmný rozdíl špatných odpovědi (hodnota 0), částečných odpovědi (hodnoty 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5) a plně správných odpovědi (hodnota 4) mezi pretesty a posttesty v tabulce pro doplnění výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou ve dne a v noci u čtvrté otázky.

Histogram na obr. č. 18 zobrazuje bodovou úspěšnost mezi pretesty a posttesty ve vyplňování tabulky u čtvrté otázky. Na histogramu si lze povšimnout, že zatímco v pretestu dvacet jedna žáků (29,58 %) nedokázalo správně vyplnit ani jedno políčko v tabulce, v posttestu se tento počet snížil na sedm žáků (9,86 %). V pretestu nikdo nedokázal tabulku vyplnit tak, aby byla úplně celá správně a mohl získat čtyři body. V posttestu se plný počet bodů podařilo získat devíti žákům (12,68 %). Dvacet tři

žáků (32,39 %) zvládlo v posttestu vyplnit tabulku tak, že obsahovala pouze jednu chybu. Tito žáci byli ohodnoceni třemi body.

Následující krabicové grafy a histogramy uvádějí úspěšnost žákovského vyplňování tabulky rozdělené do následujících kategorií: příjem plynů rostlinou ve dne, výdej plynů rostlinou ve dne, příjem plynů rostlinou v noci, výdej plynů rostlinou v noci.

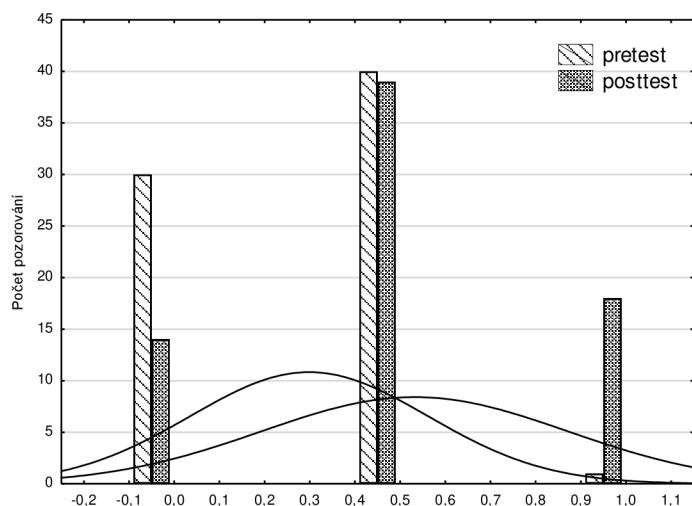
Dle provedeného t-testu závislého dle skupin došlo u žáku po provedení výuky s moderním experimentem ke statisticky prokazatelnému zvýšení porozumění tomu, které plyny rostlina přijímá během dne ( $t = -5,20291$ ; d. f. = 70;  $p = 2 \cdot 10^{-6}$ ). Statisticky významný rozdíl je zobrazen na krabicovém grafu na obr. č. 19.



Obr. č. 19: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení tabulky ve čtvrté otázce zohledňující pouze plyny, které rostliny z atmosféry přijímají během dne.

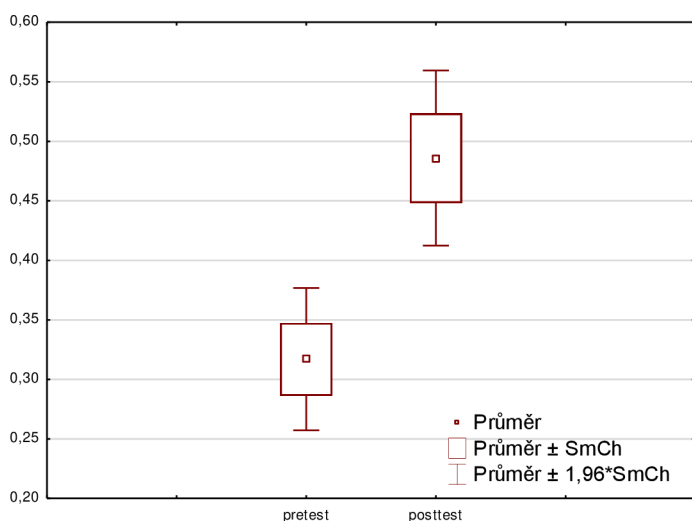
Z histogramu na obrázku č. 20 je patrné, že v pretestu byla většina, tedy čtyřicet žáků (56,34 %), schopna uvést, alespoň jeden plyn, který rostliny přijímají během dne a získalo tak půl bodu. Pouze jeden žák (1,41 %) byl v pretestu schopen uvést oxid uhličitý i kyslík a vyplnit tedy všechny plyny přijímané rostlinou ve dne. Takto správně vyplněné políčko bylo hodnoceno jedním bodem. Třicet žáků (42,25 %) v pretestu nebylo schopno uvést ani jeden plyn přijímaný rostlinou ve dne. Tito respondenti jsou v histogramu na obr. č. 20 obodováni číslem nula. V posttestu oba plyny přijímané rostlinou ve dne uvedlo osmnáct žáků (25,35 %). Přesto i v posttestu čtrnáct žáků (19,72 %) nebylo schopno uvést ani jeden plyn, který rostlina ve dne přijímá. Třicet devět žáků (54,92 %) v posttestu uvedlo pouze jeden plyn přijímaný rostlinou ve dne a získalo tak půl bodu.





Obr. č. 20: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0), částečné odpovědi (hodnota 0,5) a plně správných odpovědi (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty v tabulce čtvrté otázky pro doplnění výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou zohledňující pouze plyny přijímané rostlinou z atmosféry ve dne.

Z krabicového grafu na obr. č. 21 je patrné, že výuka měla prokazatelně pozitivní vliv také na schopnost uvést v posttestu plyny, které rostliny vydávají do atmosféry ve dne ( $t = -4,35901$ ; d. f. = 70;  $p = 0,000044$ ).



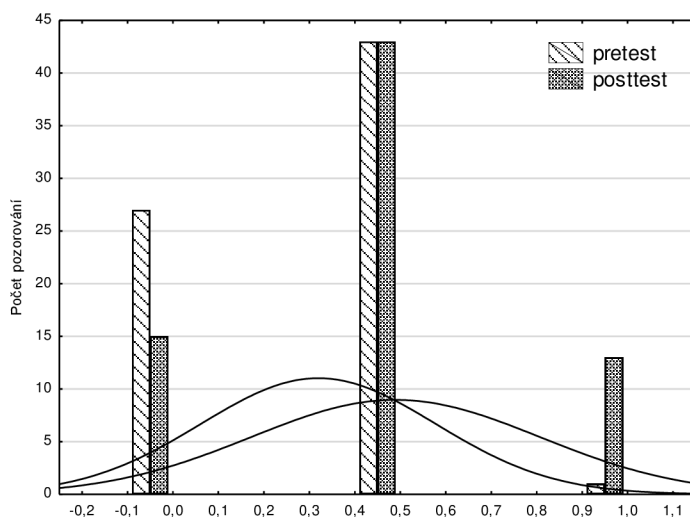
Obr. č. 21: Krabicový graf zobrazující zhodnocení tabulky ve čtvrté otázce zohledňující pouze plyny, které rostliny vydávají do atmosféry během dne.

U tohoto políčka, kde měli žáci zaznamenat plyny, které rostliny vydávají do atmosféry ve dne, získali plný počet bodů ti žáci, kteří doplnili do tabulky kyslík a oxid uhličitý. Ani jeden z žáků neuvedl vodní páru či různé silice. Vzhledem



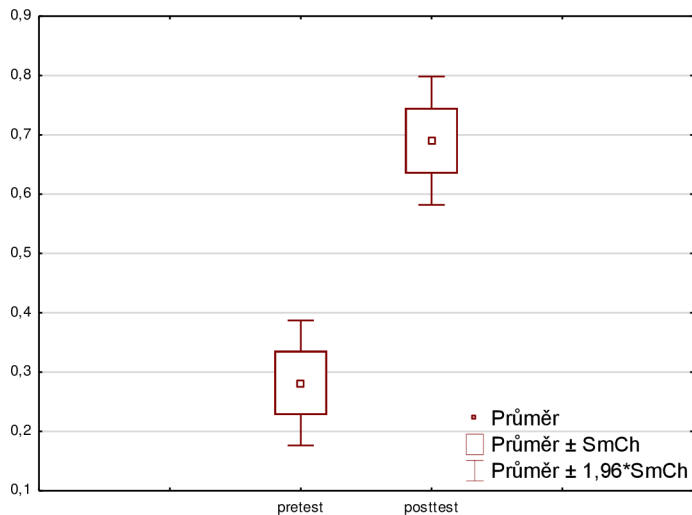
k charakteru výuky a zaměření na fotosyntézu byl udělen žákům plný počet, tedy jeden bod, pokud uvedli alespoň dva základní plyny, které rostlina vydává do atmosféry ve dne – kyslík a oxid uhličitý.

Z histogramu na obr. č. 22 je patrné, že zatímco v pretestu nedokázalo dvacet sedm žáků (9,86 %) uvést ani jeden plyn, který je rostlinou ve dne vydáván do atmosféry, v posttestu se počet těchto žáků snížil na patnáct (21,13 %). Jak je patrné z grafu, většina žáků (60,56 %) již v pretestu dokázala uvést alespoň jeden plyn, který je do atmosféry rostlinou vydáván ve dne. Stejný počet, tedy čtyřicet tři žáků (60,56 %), uvedlo alespoň jeden plyn i v posttestu. Zatímco v pretestu byl oba plyny schopen uvést pouze jeden žák (1,41 %), v posttestu oba plyny správně uvedlo třináct žáků (18,31 %).

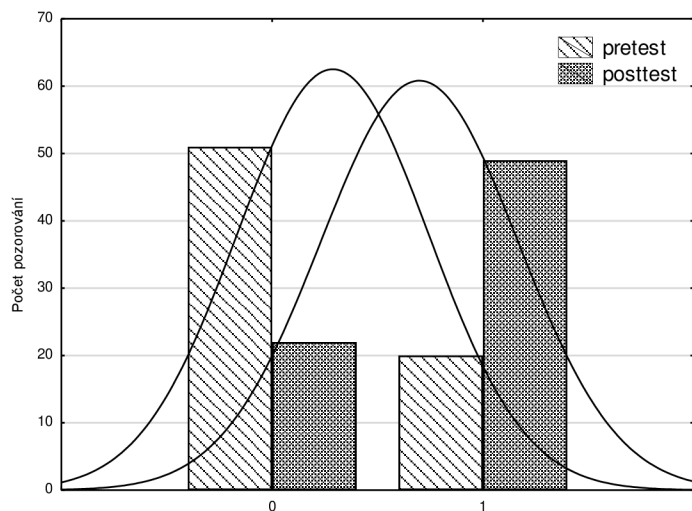


Obr. č. 22: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0), částečné odpovědi (hodnota 0,5) a plně správných odpovědi (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty v tabulce čtvrté otázky pro doplnění výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou zohledňující pouze plyny vydávané rostlinou do atmosféry ve dne.

Krabicový graf na obr. č. 23 zobrazuje rozdíl mezi pretesty a posttesty zohledňující pouze plyny, které rostlina přijímá během noci. Z provedeného t-testu závislého dle skupin byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi pretesty a posttesty na schopnost žáků doplnit do tohoto políčka tabulky pouze jediný plyn, kterým byl kyslík ( $t = -6,26054$ ; d. f. 70;  $p < 10^{-6}$ ).



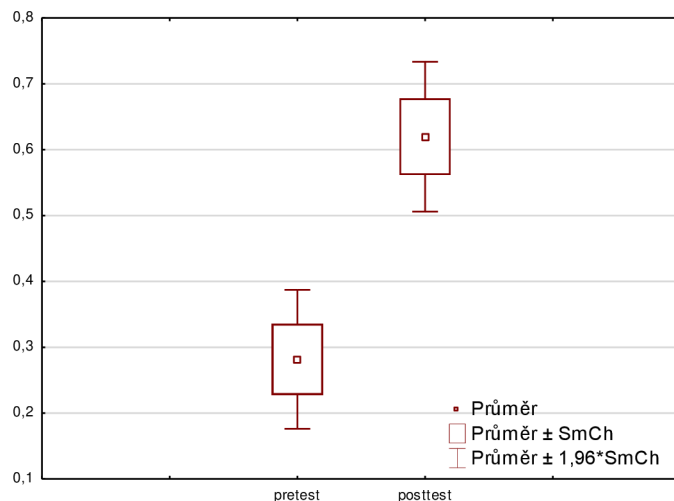
Obr. č. 23: Krabicový graf zobrazující zhodnocení tabulky ve čtvrté otázce zohledňující pouze plyny, které rostliny přijímají z atmosféry v noci.



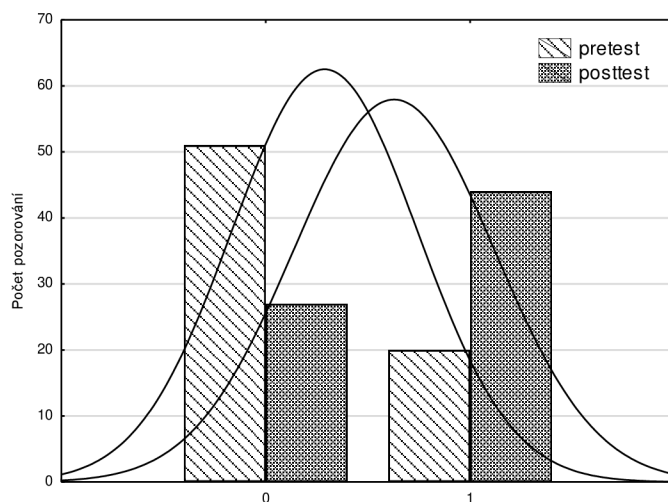
Obr. č. 24: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0) a správných odpovědí (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty v tabulce čtvrté otázky pro doplnění výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou zohledňující pouze plyny přijímané rostlinou z atmosféry v noci.

Histogram na obr. č. 24 zobrazuje bodové hodnocení v pretestu a posttestu v tabulce zohledňující pouze plyny, které rostlina přijímá v noci. Zatímco v pretestu bylo schopno uvést správnou odpověď dvacet žáků (28,17 %). V posttestu uvedlo, že rostliny v noci přijímají pouze kyslík čtyřicet devět žáků (69,01 %). Přesto i v posttestu dvacet žáků (28,17 %) nevedlo správnou odpověď.

Krabicový graf na obr. č. 25 zobrazuje rozdíl mezi pretesty a posttesty u čtvrté otázky, avšak zohledňuje pouze plyny, které rostlina pomocí průduchů vydává do atmosféry v noci. Provedený t-test závislý dle skupin prokázal statisticky významný vliv badatelsky orientované výuky s využitím moderního měřicího přístroje na porozumění dané problematice ( $t = -5,63454$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ).



Obr. č. 25: Krabicový graf zobrazující zhodnocení tabulky ve čtvrté otázce zohledňující pouze plyny, které rostliny vydávají do atmosféry v noci.



Obr. č. 26: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0) a správných odpovědí (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty v tabulce čtvrté otázky pro doplnění výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou zohledňující pouze plyny vydávané rostlinou do atmosféry v noci.

Prokazatelný vliv na schopnost uvést oxid uhličitý jako plyn, který rostlina pomocí průduchů vydává v noci do atmosféry si lze prohlédnout také na histogramu na obr. č. 26. Zatímco v pretestu uvedlo správnou odpověď dvacet žáků (28,17 %), v posttestu uvedlo správnou odpověď čtyřicet čtyři žáků (56,34 %). Došlo k procentuálnímu zlepšení o 28,17 %. I přesto neuvedlo dvacet sedm žáků (38,03 %) v posttestu oxid uhličitý, jako plyn, který rostlina vydechuje v noci do atmosféry.

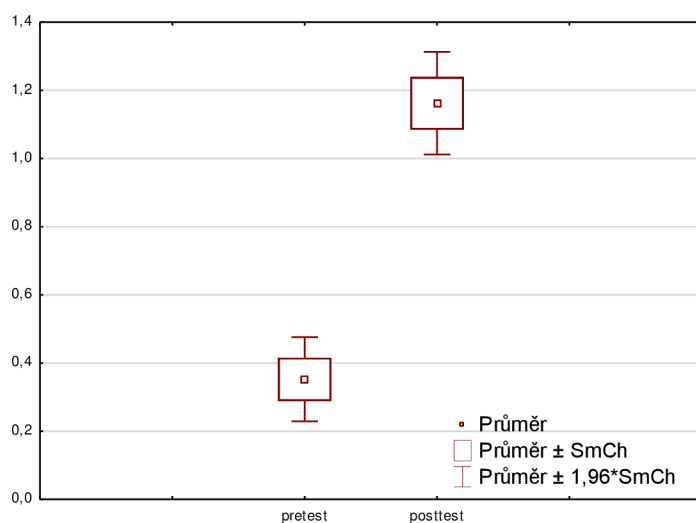
#### 4.5. Otázka číslo pět

I pátá otázka byla otevřená. Její znění je: „V létě se na mnoha vodních nádržích vytváří tzv. vodní květ. Zodpovězte tyto otázky:

a) Jaké organismy vytvářejí vodní květ?

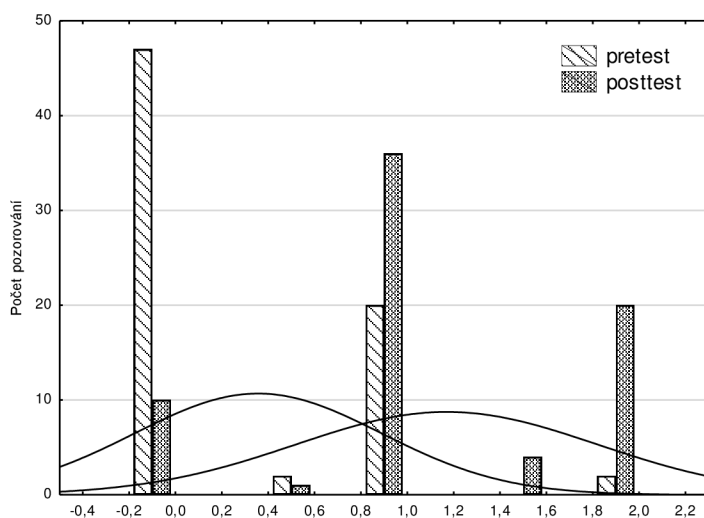
b) Proč vzniká vodní květ?

Správné odpovědi byly, že vodní květ vytvářejí řasy či sinice. Příčinou vzniku je nadbytek živin ve vodě, tedy eutrofizace vod. Někteří žáci byli schopni uvést, že za vodní květ mohou sinice nebo řasy. Zjištěné mylné představy u žáků byly, že vodní květ je tvořen spadaným materiálem, zbytky odumřelých rostlin, že se jedná o spadané listí či se jedná o bahno. Mezi nesprávnými odpověďmi na otázku: „Proč vzniká vodní květ?“ žáci nejčastěji psali, že nevědí. Pokud respondenti uvedli správnou odpověď na obě otázky, získali dva body. Pokud znali odpověď pouze na jednu otázku, získali bod jeden.



Obr. č. 27: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení páté otázky: „Jaké organismy vytvářejí vodní květ? Proč vzniká vodní květ?“.

Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 27, výuka měla statisticky prokazatelný vliv na schopnost odpovědět na pátou otázku ( $t = -8,79060$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ).



Obr. č. 28: Histogram zobrazující bodový rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0) částečných odpovědí (hodnota 0,5; 1; 1,5) a plně správných odpovědí (hodnota 2) mezi pretesty a posttesty u páté otázky: „Jaké organismy vytvářejí vodní květ? Proč vzniká vodní květ?“.

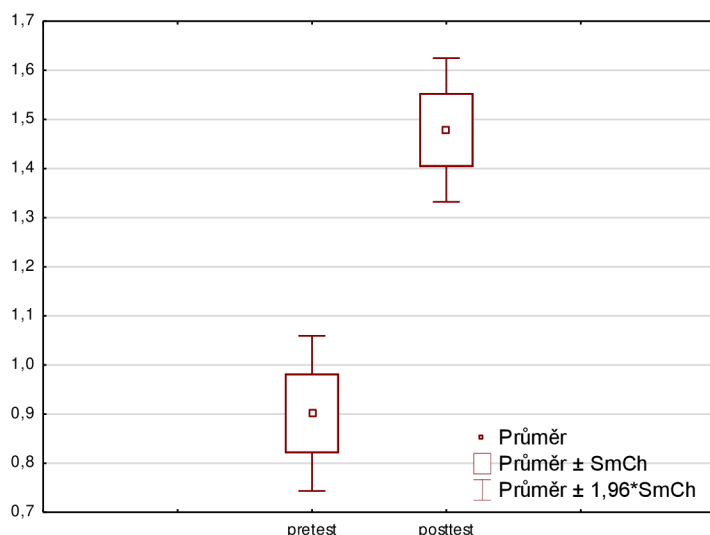
Bodové hodnocení u páté otázky si lze prohlédnout na histogramu na obr. č. 28. V pretestu nedokázalo na pátou otázku odpovědět čtyřicet sedm žáků (66,20 %). Dva žáci (2,82 %) uvedli v odpovědích nepřesnou odpověď, kterou však nelze pokládat za špatnou, protože uvedli, že vodní květ je tvořen rostlinami. Za svou odpověď, která přesně neurčovala organismy, které se na vodním květu podílejí, získali půl bodu. Jeden bod získali ti žáci, kteří uvedli jako organismus, který je odpovědný za vodní květ sinici, případně řasu. Jeden bod získali také ti žáci, kteří sice neuvedli organismus, ale uvedli příčinu vzniku vodního květu. Těchto žáků bylo zanedbatelné množství. Počet žáků, kteří v pretestu získali jeden bod byl dvacet, což je 28,20 %. V pretestu správně na obě položené otázky odpověděli pouze dva žáci (2,82 %). V posttestu nebylo na otázku číslo pět schopno odpovědět deset žáků (14,08 %). Půl bodu za nepřesné specifikování organismu, který se podílí na tvorbě vodního květu získal jeden žák, který opět uvedl rostliny. Třicet šest (50,70 %) žáků bylo v posttestu schopno odpovědět na otázku, které organismy jsou součástí vodního květu. Většinou však žáci nebyli schopni uvést, co je příčinou vodního květu. Čtyři žáci (5,63 %) byli obodováni jedním a půl bodem. Opět se jednalo o odpověď, kterou nelze považovat za plně špatnou. Jejich odpovědi byly příznivé podmínky či příznivá teplota, což nelze

považovat za mylné, ale pouze za neúplné odpovědi. Dvacet žáků (28,20 %) bylo v posttestu schopno uvést plně správnou odpověď, tedy uvést jak organismus, tak důvod, proč se vodní květ objevuje.

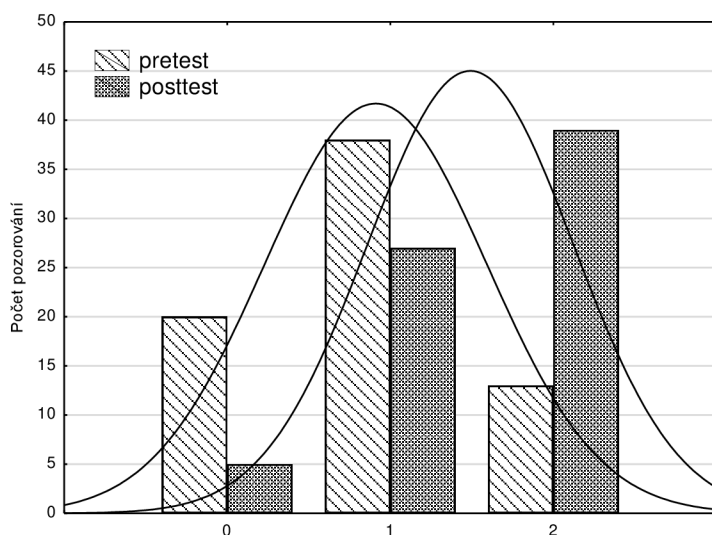
#### 4.6. Otázka číslo šest

Otázka číslo šest byla uzavřená. Žáci nejprve z uvedených možností vybírali jedno pravdivé tvrzení a následně opět z uvedených možností vybírali jeden z důvodů, proč toto tvrzení vybrali. Žáci vybírali z následujících tvrzení. Správnou odpovědí byla možnost A: „Během dne je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a méně oxidu uhličitého než v noci“. Nesprávnými možnostmi byly varianty B: „V noci je ve vodě rybníka s vodními rostlinami více kyslíku a více oxidu uhličitého než ve dne“ a možnost C: „Ve dne a v noci je množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě rybníka s vodními rostlinami vyrovnané“. Následně žáci vybírali, z následujících možností, proč považují tvrzení za pravdivé. První možností bylo, protože: „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.“. Druhým zdůvodněním bylo, že: „Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý.“. Třetí variantou bylo zdůvodnění, že: „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 variantou, jak zdůvodnit svou volbu bylo, že: „Vodní rostliny množství kyslíku ani oxidu uhličitého ve vodě neovlivňují, protože pod vodou nemohou dýchat.“. Správným zdůvodněním byla druhá možnost. Pokud žáci odpověděli na obě otázky správně, získali dva body. Pokud odpověděli správně pouze na jednu kroužkovací variantu, získali pouze jeden bod. Pokud obě odpovědi byly špatné, žáci nezískali bod žádný.

Jak je patrné z krabicového grafu na obr. č. 29, po provedené badatelsky orientované výuce s moderním měřicím zařízením, kterým bylo optické čidlo pro měření množství kyslíku a pH ve vodě, došlo ke statisticky prokazatelnému zlepšení ( $t = -5,91784$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ).



Obr. č. 29: Krabicový graf zobrazující statistické zhodnocení šesté otázky, ve které žáci vybírali správné tvrzení a zdůvodnění své volby z nabídnutých možností (viz příloha 2 a přílohy 3).



Obr. č. 30: Histogram zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u šesté otázky.

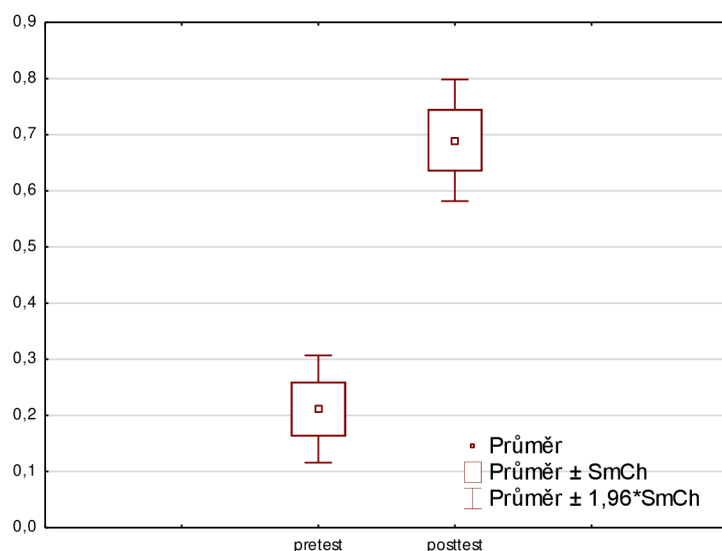
Histogram na obr. č. 30 zobrazuje bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty u šesté otázky. Jak je patrné z histogramu, v pretestu bylo schopno vybrat správné tvrzení i správné odůvodnění pouze třináct žáků (18,31 %), v posttestu se úspěšnost zvýšila a obě správné varianty zvolilo třicet devět žáků (54,93 %). Již v pretestu dokázalo třicet osm žáků (53,52 %) zvolit správné tvrzení nebo alespoň odůvodnění. V posttestu získalo jeden bod dvacet sedm žáků (38,03 %), což je méně než v pretestu. Nižší počet žáků je způsobem nárůstem počtu žáků, kteří dokázali odpovědět správně na obě

kroužkovací varianty a získali tak dva body. Úplně špatné volby provedlo v pretestu dvacet žáků (28,17 %), v posttestu se nepodařilo zaškrtnout ani jednu správnou možnost jen pěti žákům (7,04 %).

#### 4.7. Otázka číslo sedm

Sedmá otázka byla opět otevřená a její znění je: „Jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu?“. Velkým problémem v této otázce bylo, že žáci pojem „biomasa“ před výukou většinou neznali. Biomasu lze definovat dle Vobořila (2017) jako veškerou organickou hmotu na naší planetě, která se účastní koloběhu živin v biosféře. Primárním producentem této biomasy jsou právě rostliny, které vytváří biomasu v procesu fotosyntézy. Takto vytvořená biomasa je poté předávána do dalších trofických úrovní (Ryplová, 2014).

Z nasbíraných dat je patrné, že většina žáků nebyla schopna před výukou na otázku odpovědět. Mezi chybnými odpověďmi se vyskytovala odpověď růst, kvetení či dýchání. Dle provedeného t-testu závislého dle skupin měla provedená výuka prokazatelný vliv na schopnost žáků odpovědět na sedmou otázku ( $t = -6,93197$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ). Rozdíl mezi pretesty a posttesty si lze prohlédnout na krabicovém grafu na obr. č. 31.

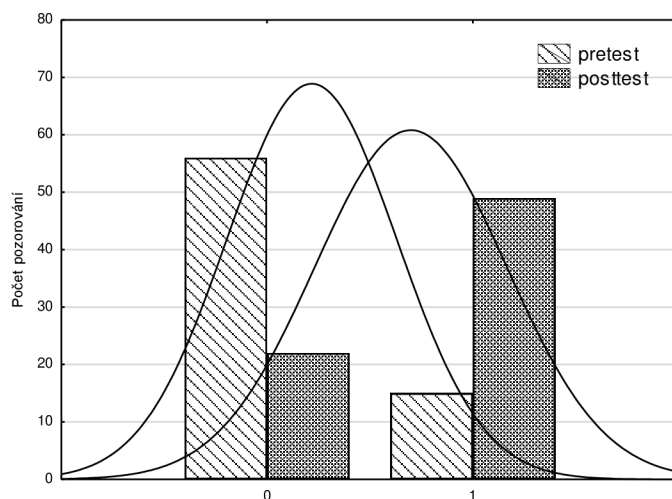


Obr. č. 31: Krabicový graf zobrazující zhodnocení sedmé otázky: „Jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu?“.

Na histogramu na obr. č. 32 si lze prohlédnout bodovou úspěšnost v pretestu a posttestu u sedmé otázky. Jak je patrné z histogramu, v pretestu dokázalo



pojmenovat děj, díky kterému je tvořena rostlinná biomasa, pouze patnáct žáků (21,13 %). V posttestu se úspěšnost zvýšila a správnou odpověď uvedlo čtyřicet devět žáků (69,01 %). Úspěšnost se u této otázky zvýšila o 47,88 %.

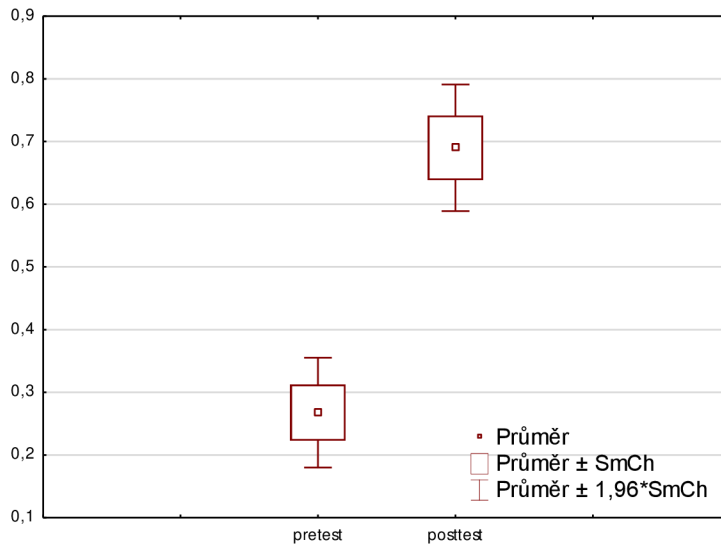


Obr. č. 32: Histogram zobrazující rozdíl špatných odpovědí (hodnota 0) a správných odpovědí (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty u sedmé otázky: „Jak se jmenuje proces, díky němuž rostlina roste a vytváří svou biomasu?“.

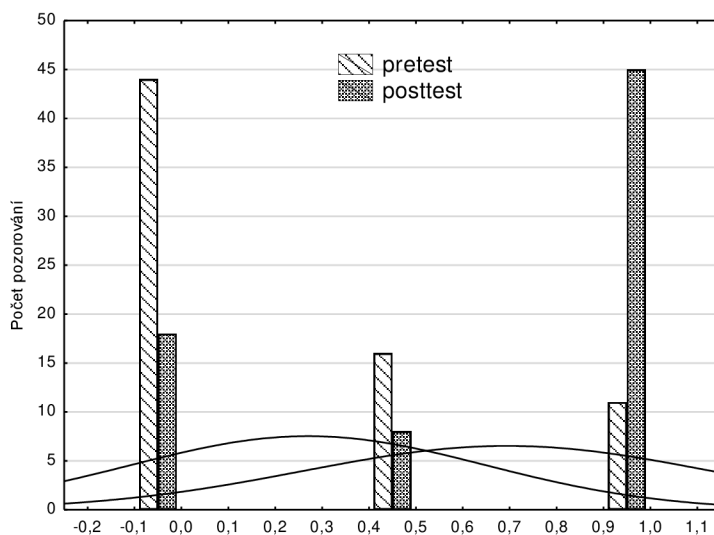
#### 4.8. Otázka číslo osm

Znění poslední osmé otázky je: „Jaký význam mají řasy v rybníce?“. Jednalo se o otevřenou otázku. Jak je patrné z grafu na obr. č. 33, mnoho žáků po provedené výuce bylo schopno uvést správnou odpověď, že řasy procesem fotosyntézy uvolňují do vody kyslík. Za tuto správnou odpověď byl žákům udělen jeden bod. Jako jeden z významů uváděli žáci také živiny pro ryby a jiné živočichy. I tato možnost byla uznávána jako správná. Ale vzhledem k charakteru výuky, pokud byla uvedena pouze tato možnost, žák získal pouze půl bodu. Z provedené výuky si žáci měli zejména zapamatovat, že řasy fotosyntetizují, čímž produkují kyslík a samozřejmě také vytvářejí svou biomasu (viz. otázka č. 7).

Dle provedeného t-testu závislých skupin došlo ke statisticky prokazatelnému zlepšení po provedené badatelsky orientované výuce s využitím moderního měřicího zařízení ( $t = -7,48831$ ; d. f. = 70;  $p < 10^{-6}$ ). Tento vliv si lze prohlédnout i na krabicovém grafu na obr. č. 33.



Obr. č. 33: Krabicový graf zobrazující zhodnocení osmé otázky: „Jaký význam mají řasy v rybníce?“.



Obr. č. 34: Histogram zobrazující bodový rozdíl špatných odpovědi (hodnota 0), odpovědi netýkající se fotosyntézy (hodnota 0,5) a plně správné odpovědi (hodnota 1) mezi pretesty a posttesty u osmé otázky: „Jaký význam mají řasy v rybníce?“.

Na histogramu na obr. č. 34 lze pozorovat bodovou úspěšnost v pretestu a po provedené výuce v posttestu. Před výukou neznalo odpověď čtyřicet čtyři žáků (61,97 %), šestnáct žáků (22,54 %) odpovědělo, že řasy slouží jako potrava pro ryby či jiné organismy a získalo tak půl bodu. Význam řas jako producentů kyslíku znalo v pretestu pouze jedenáct žáků (15,49 %). V posttestu se bodová úspěšnost zvýšila. Přesto osmnáct žáků (25,35 %) ani po absolvovaném vyučování nebylo schopno uvést význam řas v rybníce. Osm žáků (11,27 %) uvedlo jako význam potravu

pro ryby a získalo půl bodu. Produkci kyslíku uvedlo v posttestu čtyřicet pět žáků (63,38 %) a bylo ohodnoceno maximálním počtem, tedy jedním bodem.

#### 4.9. Výzkum žakovských názorů na atraktivitu výuky

Kromě již výše uvedených otázek, které byly shodné v pretestu i posttestu, posttest obsahoval navíc otázku na zhodnocení výuky. Žáci na stupnici od jedné do pěti hodnotili, jak se jim provedená výuka líbila. Hodnocení číslem jedna znamenalo, že se jim výuka velmi líbila. Označení čísla pět značilo, že se žákům výuka vůbec nelíbila. Následně mohli žáci uvést konkrétní důvody, proč se jim výuka líbila a naopak nelíbila. Z nasbíraných dat provedená badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřicího přístroje získala průměrnou známku  $1,56 \pm 0,69$  (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka).

Následně žáci pomocí stejné stupnice hodnotili různé klasické i moderní způsoby k výuce a prostředky využívané ve výuce přírodopisu. V posttestu byla zadána otázka: „Jaká výuka o rostlinách by Tě bavila?“. U každé z položek, které jsou uvedeny v tabulce č. 2, žáci zaškrtovali stupeň na stupnici, který nejlépe vyjadřuje jejich názor. Známkovali jako ve škole. Označení hodnoty jedna znamenalo, že tento přístup k výuce by se jim líbil nejvíce. Hodnota pět znamenala, že se žákům tento přístup k výuce vůbec nelíbí. Získané průměrné hodnoty se směrodatnými odchylkami pro jednotlivé položky si lze prohlédnout v tabulce č. 2.

*Tabulka č. 2: Hodnocení způsobů a prostředků využívaných ve výuce přírodopisu na základních školách.*

<b>Položka</b>	<b>Průměrné hodnocení <math>\pm</math> Směrodatná odchylka</b>
Klasická výuka s výkladem učitele.	$2,77 \pm 1,42$
Využití interaktivní výukové aplikace.	$1,69 \pm 0,88$
Terénní úlohy s měřením za pomoci moderních přístrojů.	$1,62 \pm 0,88$
Terénní či laboratorní úlohy bez využití přístrojů.	$2,21 \pm 1,22$
Laboratorní úlohy s využitím moderních přístrojů.	$1,45 \pm 0,75$
Výuková videa.	$2,04 \pm 1,03$
Kvízy na PC, tabletu, mobilu.	$1,62 \pm 0,94$

Získaná data ukazují, že žáci dávají přednost jiným způsobům vedení hodin přírodopisu, než je klasická výuka s výkladem učitele. Tento způsob výuky získal průměrné hodnocení na škálové stupnici  $2,77 \pm 1,42$ . Z tabulky č. 2 je patrné, že nejlépe žáci hodnotili laboratorní úlohy s využitím moderních přístrojů.

#### 4.10. Zhodnocení pracovních listů

Pracovní list, který měli žáci po celou dobu výuky k dispozici, si lze prohlédnout v příloze č. 1. Pracovní list sloužil jako podpora během celé výuky. Vzhledem k tomu, že výuka bez vyplňování pretestů a posttestů byla koncipována na sedmdesát minut, i vyplňování úkolů v pracovním listě žákům zabralo zhruba tento čas. Výuky se zúčastnilo sedmdesát jedna žáků, avšak pět žáků odevzdalo plně nevyplněný pracovní list. Všichni žáci se výuky účastnili, dva však měli zlomenou ruku a od vyplňování pracovního listu byli osvobozeni. Tři žáci odevzdali pracovní list prázdný. Jejich odůvodnění bylo takové, že se jim výuka docela líbila, ale vyplňovat a psát do pracovního listu je nebaví.

Nejprve došlo k přečtení úvodního textu v pracovním listě. Po přečtení úvodu v pracovním listě nahlas před celou třídou měli žáci za úkol napsat hypotézu (domněnku), proč v lahvi obsahující vodní flóru, která byla ponechána na slunečním záření, vznikly bublinky. Tento úkol žákům zpravidla nečinil problém a většina žáků byla svými slovy schopna uvést, že rostliny na slunečním svitu fotosyntetizovaly, což vedlo k tvorbě kyslíku, který způsobil ony bublinky v lahvi. Následovala diskuse ve dvojicích a poté v malých skupinkách (asi po čtyřech žácích). Tento způsob eliminoval neschopnost jednotlivce vytvořit domněnku, protože si žáci ve skupině mohli vzájemně pomoci. Následně byly žáky navržené domněnky přečteny zástupci skupin nahlas.

Na základě své domněnky měli žáci navrhnout pokus, kterým by svoji domněnku ověřili. Ani s návrhem pokusu většina z nich neměla problém. Většinou již ve vytvořených skupinách zvládli vymyslet pokus, kterým by svoji hypotézu ověřili. Žáci snadno a rychle pochopili princip, jak měřit s optickým čidlem pro měření kyslíku a pH ve vodě, a proto jim nečinilo problémy naměřit data a doplnit hodnoty do pracovního listu.

Velkým problémem v pracovním listu bylo uvedení rovnice fotosyntézy. Většina žáků ji neznala. Někteří žáci odpovídali, že o fotosyntéze slyšeli, ale rovnici nikdy neviděli,

jen si zmiňovali princip. Žáci většinou nebyli schopni ani slovně dát dohromady látky výchozí a látky vznikající v procesu fotosyntézy. Kromě třech žáků jsem všem ostatním s rovnicí pomohla. Pomoc spočívala v dotazování a diskusi, která byla vedena na téma výchozích a výstupních látek v procesu fotosyntézy. Některým žákům bylo potřeba rovnici přímo nadiktovat.

Největším problémem v pracovním listu byl však přepočítání naměřených dat na vzniklou biomasu. Žáci měli v pracovním listě k dispozici zadané hodnoty molárních hmotností. V tomto úkolu bylo potřeba, aby žáci využili interdisciplinárního propojení svých znalostí z chemie. Přepočítání se podařilo jen třem žákům. Většina z nich nevěděla, co přesně má dělat a jak s hodnotami pracovat. Spoustu z nich nechápalo, k čemu jim zadané hodnoty jsou. Někteří se o výpočet ani nepokusili se slovy, že matematika do přírodopisu nepatří. Problémem byl také výpočet hodnoty, kolik sluneční energie se do biomasy navázalo. I při tomto výpočtu bylo potřeba mezipředmětového propojení s fyzikou či chemií. Tak jako u předchozího výpočtu se žákům výpočet nedařil, počítání je nebavilo či nevěděli, jak postupovat. Po provedené výuce jsme provedli výpočet společně na tabuli. Hodnoty jim přišly zajímavé, avšak stále opakovali, že jim výpočty, které nejsou zadány klasickým způsobem jako v matematice, činí problémy. Tento fakt může poukazovat na to, že jednotlivé předměty jsou vyučovány izolovaně a žákům činí velké problémy si následně spojovat probrané látky do souvislostí. Činčera a kol. (2019) uvádí, že právě mezipředmětové vztahy jsou ve výuce všech předmětů často podceňovány.

Během toho, co žáci čekali na proběhnutí pokusu, probíhal nácvik s optickým čidlem pro měření kyslíku a pH ve vodě pomocí jednoduchého pokusu, který spočíval ve foukání vzduchu pomocí brčka do vody. Jak je patrné z pracovního listu v příloze č. 1, žáci postupovali podle předem připraveného návodu. Učitel jim nejprve ukázal jak se optické čidlo pro měření kyslíku a pH zapíná, jak s ním manipulovat a měřit data. Následně žáci postupovali podle návodu s nácvikem měření sami. Pokud žáci potřebovali pomoci, učitel korigoval a pomáhal s jejich vlastním měřením. Tento pokus žáky bavil nejvíce. Žákům nečinilo problém zaznamenat naměřená data pomocí optického čidla pro měření kyslíku a pH ve vodě.

Problém jim nečinila také odpověď na otázku, která navazovala na předchozí úkol: „Co se děje s množstvím kyslíku a pH, pokud do vody dýcháme?“. Žáci byli schopni

odvodit, že vydechují oxid uhličitý, a že dochází ke snižování množství kyslíku a také hodnoty pH.

Většina žáků samostatně či s malou nápovědou dokázala správně odpovědět i na následující otázku: „Dýchají také vodní rostliny? V jakou denní/noční dobu?“. Správnou odpovědí bylo, že rostliny dýchají ve dne i v noci. Pokud žáci předpokládali, že rostliny dýchají pouze v noci, položila jsem jim otázku, zda si myslí, že rostlina celý den v podstatě „zadržuje dech“. Samozřejmě jsme si vysvětlili, že dýchání rostlin je odlišné od živočichů, ale v principu musí všechny organismy dýchat jak ve dne, tak v noci.

Na otázku: „Jakými dalšími procesy kromě dýchání mohou rostliny ovlivnit množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě v rybníce? Jak to souvisí s pH v rybníce?“, byla většina žáků schopna odpovědět. Nejčastěji žáci uvedli, že procesem ovlivňujícím tyto charakteristiky je fotosyntéza. Většina žáků také dokázala odvodit, jak se mění množství kyslíku a oxidu uhličitého. Problém jim činilo odvodit změnu pH ve vodě při fotosyntéze. Na základě naměřených dat s foukáním vzduchu do kohoutkové vody brčkem u předchozího pokusu nebo s využitím získaných dat z vlastního navrženého pokusu, byli žáci schopni uvést i to, jak se mění hodnota pH. Většinou jsme si však tuto změnu uvedli ústně a z toho důvodu mnoho žáků odpověď do pracovního listu nezaznamenalo. S některými žáky, kteří se v procesu fotosyntézy orientovali jsme okrajově diskutovali i fotorespiraci.

Poslední otázka týkající se významu vodních rostlin pro život v rybníce žákům nečinila problém. Většina odpověděla, že vodní rostliny při fotosyntéze uvolňují do vody kyslík.

Vyplnění celého pracovního listu se povedlo jen malému množství žáků. Většinou chyběl výpočet nebo neuvedli některá naměřená data. Samotný výpočet považují za nejproblematičtější. Žáci nevěděli, jak při výpočtu postupovat, zároveň ale o výpočet nejevili ani zájem. Tyto výpočty řadili do výuky matematiky či do hodin chemie a fyziky, ne do přírodopisu. Když byly žákům pokládány otázky z pracovního listu, bez problémů odpovídali. Avšak samotné vyplňování pracovních listů je příliš nebavilo a často úkoly v pracovním listu odevzdávali nevyplněné.

## 5. Diskuse

Z nasbíraných dat lze předpokládat, že badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřicího zařízení, kterým bylo optické čidlo pro měření množství kyslíku a pH ve vodě, jež byla připravena kolektivem autorů TAČR: TL0500150 s názvem: *Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině*, by mohla mít vliv na žákovské porozumění těžce pochopitelnému a abstraktnímu tématu fotosyntézy. Atraktivitu výuky žáci hodnotili pomocí škály, na které bylo možné hodnotit výuku stejným způsobem, kterým jsou oni sami známkováni ve škole. Z nasbíraných dat vyšlo, že provedená výuka získala průměrné hodnocení  $1,56 \pm 0,69$  (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka). V otázkách, proč se provedená výuka žákům líbila se nejčastěji objevovaly odpovědi uvádějící, že žáky bavily pokusy, zkoumání, měření množství kyslíku a pH či foukání do vody. Líbilo se jim také, že výuka probíhala venku, nebo uváděli, že výuka byla jiná a vyzkoušeli si něco nového. Mezi důvody, proč se jim výuka nelíbila žáci uvedli, že bylo obtížné se vystřídat pouze u jednoho optického čidla a trvalo dlouho, než si měření mohli vyzkoušet všichni. Podle odpovědí se někteří žáci vzájemně k měření nechtěli pustit. Další negativní důvod, který žáci uváděli, se týkal zejména vyplňování pretestů, posttestů a pracovních listů, nebo že v provedené výuce bylo příliš mnoho psaní. Poslední kategorie, která byla uváděna v políčku, proč se mi výuka nelíbila, se netýká úplně výuky samotné, ale zejména prostředí a kolektivu. Žáci uváděli, že jim bylo horko, že jim svítilo sluníčko nebo světlo do očí nebo měli problém s kamarádem.

U otázky číslo jedna došlo ke statisticky průkaznému zlepšení v žákovském porozumění tématu. Mnoho žáků bylo schopno již v pretestu správně odpovědět na otázku, odkud rostliny berou energii. Odpověď na tuto otázku žáci sami pozorovali během navrženého pokusu, kdy se nechalo jednoduše odvodit, že jediným zdrojem energie pro proces probíhající fotosyntézy je Slunce. V případě, že výuka probíhala kvůli špatnému počasí ve třídě, bylo Slunce nahrazeno zdrojem světla. Žákům nečinilo problém přijmout umělý zdroj jako náhradu za sluneční záření. U této otázky v mnou provedené sondě nebyl zaznamenán signifikantní problém, jako tomu bylo například ve výzkumech Galvina a kol. (2015), které zaznamenaly, že žáci mylně předpokládají, že zdrojem energie pro rostliny je oxid uhličitý.



Ke statisticky prokazatelnému zlepšení došlo i otázky číslo dva. Z nasbíraných dat vyplývá, že většina žáků v pretestu dokázala uvést alespoň jeden produkt, který vzniká během fotosyntézy. Zpravidla žáci uvedli pouze kyslík. Často žáci uváděli kyslík a oxid uhličitý společně, z čehož lze soudit, že žáci mají nejasnosti a mylné představy o procesu fotosyntézy. V posttestu byla většina žáků schopna uvést oba produkty vznikající během fotosyntézy, tedy jak kyslík, tak cukr (sacharid, glukózu). A to i přesto, že během provedené BOV s využitím moderního měřicího zařízení, měli žáci možnost měřit optickým čidlem pouze vznikající kyslík. Vznik biomasy byl s žáky pouze diskutován a následně přepočítáván v pracovním listu, kde se jim výpočet nedařil. Zřejmě z tohoto důvodu stále poměrně velké množství žáků uvedlo jako jediný produkt fotosyntézy kyslík i v posttestu. Stejně výsledky jako představují nasbíraná data v této práci uvádí i Pavlátová a kol. (2019). Žáci většinou vědí, že rostliny během fotosyntézy produkují kyslík, ale vnik sacharidu, jako hlavního produktu fotosyntézy nepředpokládají.

I u třetí otázky došlo k prokazatelnému zlepšení. Žáci neměli problém uvést, kde berou živiny živočichové. Problémem pro žáky však bylo uvedení, kde berou živiny rostliny. Většina žáků uvedla, že rostliny berou živiny z půdy, případně je přijímají rozpuštěné ve vodě. Rostliny sice tímto způsobem získávají látky, které však následně v procesu fotosyntézy zabudovávají v podobě organických látek do svého těla. Živinami pro rostliny jsou tedy stejné látky jako u živočichů (Ryplová, 2014). Žákovskou miskoncepcí tedy je, že si žáci neuvědomují, že rostliny využívají stejné živiny jako živočichové, pouze si je umí vyrobit v procesu fotosyntézy. Pouze malé množství žáků bylo schopno propojit přijímané minerální látky rostlinou s procesem fotosyntézy. Látky rostliny nezískávají ze Slunce, vody, kořeny, jak žáci mylně uvádějí, ale využívají cukry, tuky, bílkoviny, tak jako ostatní živé organismy. Stejná miskoncepce byla pozorována také u vysokoškolských studentů ve výzkumu Södervika a kol. (2015), kteří uváděli, že rostliny přijímají potravu z půdy pomocí kořenů. Také ve výzkumech Čipkové a Karolčika (2017) se objevily stejné problémy v žákovské neschopnosti považovat rostliny za autotrofní organismy. Keleş a Kefeli (2010) rovněž upozorňují, že většina žáků předpokládá, že nárůst hmotnosti rostlin je způsoben přijímanou vodou s minerálními látkami z půdy a nespojují si tedy proces fotosyntézy s výživou rostlin.



Čtvrtá otázka, ve které žáci vyplňovali tabulku výměny plynů mezi rostlinou a atmosférou ve dne a v noci, byla žáky hodnocena jako nejobtížnější. Žáci většinou věděli, že se jedná o výměnu kyslíku a oxidu uhličitého, avšak nebyli si jisti, jakým způsobem. Žáci často plyny uváděli v opačném pořadí, z čehož by vyplývalo, že během fotosyntézy vzniká oxid uhličitý. Velké množství žáků si také neuvědomovalo, že rostliny dýchají ve dne i v noci. Většinou uvedli, že rostliny ve dne přijímají pouze oxid uhličitý, který využívají k fotosyntéze. Rostliny však ve dne přijímají také kyslík, který dýchají. To samé platilo o políčku, kde měli žáci zapsat, jaké plyny jsou rostlinou vydávány do atmosféry ve dne. Žáci většinou uvedli pouze kyslík. Rostliny však i ve dne dýchají a do atmosféry tedy uvolňují i oxid uhličitý. Vyplnění políček tabulky pro plyny, které jsou přijímány a vydávány rostlinou do atmosféry v noci žákům dělalo menší problém. V tomto případě se jednalo o příjem kyslíku a vydechování oxidu uhličitého. Vyplňování této tabulky považují pro žáky jako velice složité. Velmi často žáci plyny prohazovali, jejich odpověď byla nekompletní či žáci vypsali správný i špatný plyn. Kromě různě proházených odpovědí obsahujících kyslík a oxid uhličitý, někteří žáci chybně uvedli výměnu uhlíku a dusíku. Stejně miskoncepce, týkající se zaměňování procesů fotosyntézy a dýchání a jejich spojování či nepochopení, byly zjištěny i u výzkumů Čipkové a Karolčika (2017), Keleşe a Kefeli (2010) či Svandové (2014), které se zabývají problematikou výuky fotosyntézy a dýchání.

BOV s využitím moderního měřicího zařízení měla dle t-testu závislých skupin vliv také na schopnost odpovědět na pátou otázku. V této otázce byl největším problémem samotný pojem „vodní květ“. Žáci většinou nevěděli, co to je a již při vyplňování pretestu se dotazovali, co si pod pojmem mají představit. Většina si myslela, že se jedná o leknín. Protože většina žáků nevěděla, co to vodní květ je, nebyla schopna odpovědět ani na otázku, proč vodní květ vzniká. Tuto skutečnost lze přisuzovat tomu, že o sinicích a řasách se dle doporučení RVP ZV (2021) žáci učí většinou v šestém ročníku. Provedená BOV s moderním experimentem a měřicím zařízením však probíhala v ročníku devátém. Tento časový odstup bez opakování a propojování následně probíraných témat, může vést k zapomínání již probrané látky. Po provedené výuce byla většina žáků schopna uvést, že vodní květ vytvářejí sinice a řasy, často však stále nedokázali uvést důvod. Neschopnost odůvodnit vznik vodního květu může být způsobena tím, že během výuky nebyla tato problematika dostatečně probrána. Žádným způsobem nebyl důvod prakticky pozorován a ani v textu v pracovním listu

nebyl důvod vzniku vodního květu uváděn. Důvod byl pouze pomocí návodných otázek zjišťován od žáků, kteří však většinou na důvod nepřišli, a proto byl většinou sdělen učitelem. Čáp a Mareš (2001) uvádějí, že z pohledu žáka se probrané učivo stává starým, kterým není potřeba se zabývat. Je úkolem učitele, aby nově probírané učivo propojoval se starším, pomáhal žákům hledat vzájemné vztahy a naučil žáky využívat tyto znalosti v praktickém životě.

Výběr správného tvrzení a odůvodnění po provedené BOV se prokazatelně zlepšil také u šesté a sedmé otázky, které byly zaměřeny přímo na proces fotosyntézy. Všichni žáci o fotosyntéze během výuky na základní škole slyšeli. Málo z nich si však pod tímto pojmem dokázalo představit nějaký konkrétní děj. Po provedené výuce byla většina žáků schopna vybrat správné tvrzení, jak se mění množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě ve dne a v noci. Většina také dokázala zvolit správné odůvodnění, jakými procesy a jakým způsobem rostliny ovlivňují množství kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě ve dne a v noci. Tento fakt lze přisoudit tomu, že výuka byla zaměřena na proces fotosyntézy. Sami žáci si mohli ověřit pomocí optického čidla změny v množství kyslíku, čímž potvrdili, jaký plyn během fotosyntézy vzniká. V následné diskusi byla data porovnávána s výměnou plynů během dýchání rostlin. U sedmé otázky byla velkým problémem neznalost pojmu „biomasa“. Během výuky bylo potřeba tento pojem žákům vysvětlit, aby si pod tímto slovem mohli představit konkrétní nárůst hmoty rostlinného těla. Zjednodušeně tedy žákům biomasu přiblížit jako nově vznikající hmotu během růstu rostlin. Také Vágnerová a kol. (2019) uvádějí, že kritická místa ve výuce přírodopisu jsou spojena právě s cizími pojmy, kterým žáci špatně rozumí a často jim nejsou v hodinách ani vysvětleny. Po provedené BOV byla většina žáků schopna spojit pojem fotosyntézy s růstem rostlin a spojit fotosyntézu s tvorbou biomasy. Přesto u některých žáků nedošlo k tomuto propojení. Během výuky nebylo možné nárůst biomasy měřit ani pozorovat. Neschopnost žáků před výukou si proces fotosyntézy spojit s růstem biomasy je shodný s výsledky výzkumu Čipkové a Karolčika (2017), kteří uvádějí, že proces fotosyntézy společně s dýcháním bývá často učiteli i žáky vnímán pouze jako proces uskutečňující výměnu plynů. Pro dlouhodobé pokusy ve třídě by se nechalo využít gravimetrických metod, které by po spálení rostliny do konstantní hmotnosti dokázaly žákům názorně ukázat, kolik biomasy díky fotosyntéze vzniklo za určitou časovou jednotku (Ryplová, 2014).

I u poslední osmé otázky došlo ke statisticky prokazatelnému zlepšení. Sami žáci si měli možnost ověřit pomocí optického čidla pro měření množství kyslíku a pH, změnu hodnot kyslíku vznikajícího v lahvi, z čehož snadno odvodili, že řasy, které byly v lahvích na Slunci, produkují kyslík. Vznikající kyslík je důležitým plynem, který dýchají i ostatní vodní organismy.

Z žakovského hodnocení jednotlivých modifikací výuky (viz posttest v příloze č. 3) vyplývá, že nejvíce žáků dává přednost laboratorním úlohám s využitím moderních přístrojů. Tento typ výuky byl hodnocen lépe než provedený moderní experiment. Další přístupy k výuce, které by žáky v přírodopisu bavili lze zařadit terénní úlohy s měřením za pomoci moderních přístrojů, využití interaktivní výukové aplikace a kvízy na počítači, tabletu či mobilu. Nejméně atraktivní se pro žáky jeví klasická výuka s výkladem učitele, terénní či laboratorní úlohy bez využití přístrojů a výuková videa.

Cílem mé práce bylo ověřit moderní experiment, který nesl prvky badatelsky orientované výuky s využitím moderního měřicího zařízení, kterým bylo optické čidlo pro měření obsahu kyslíku a pH ve vodě. Dle výše uvedených výsledků je patrné, že moderní experiment může mít kladný vliv na žakovské porozumění abstraktnímu a složitému tématu fotosyntézy. Dle nasbíraných dat ze škálového hodnocení, může moderní experiment pomoci zatraktivizovat výuku přírodopisu a vést k odstranění miskonceptí. Kladný vliv badatelsky orientovaného vyučování ve snižování fenoménu „plant blindness“ uvádí také Ward a kol. (2014). Výuku provázela předem neočekávaná bariéra, která se týkala žakovského problému mezipředmětově propojovat učivo. Tento problém je společný i pro jiné studie. McCright a kol. (2013) ve své studii uvádějí, že žáci nejsou schopni propojovat znalosti z různých předmětů, což jim neumožňuje pochopit složité děje v komplexním měřítku. Ruibal-Villasenor a kol. (2007) uvádějí, že právě žakovské experimenty, které napodobují činnost vědců, mají kladný vliv na mezioborové propojování.

Výsledky mé diplomové práce ukazují, že téma fotosyntézy je na základních školách u devátých ročníků spojeno s velkým množstvím mylných představ a miskonceptí. S ohledem na současné problémy lokálního i globálního charakteru a s ohledem na trvale udržitelný rozvoj a Zelenou dohodu je vhodné věnovat botanickým tématům více pozornosti. Moderní experimenty a praktická činnost žáků je v souladu se

Strategií vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+, proto se jeví zařazení moderních technologií a moderních přístupů k výuce zaměřených na žáka jako vhodné pro vzdělávání budoucích generací. Má diplomová práce je pilotní verzí, proto se v budoucnu nabízí další navazující výzkumy, které by porovnávali BOV s využitím moderních měřících zařízení a BOV bez využití moderního měřícího zařízení. Další výzkumy by mohly srovnat tuto výuku s klasickou frontální výukou, která je z nasbíraných dat žáky v hodinách přírodopisu sice hodnocena nejhůře. Znamka, kterou však klasická frontální výuka získala je průměrnou známkou na škále. Tato práce je sondou, která ověřila, že žáci devátých ročníků jsou schopni porozumět procesu fotosyntézy s využitím moderního experimentu. Další výzkumy mohou přinést zpřesnění výsledků.



*Obr. č. 35: Žákovské měření množství kyslíku v lahvi s řasami.*



*Obr. č. 36: Žákovské měření množství kyslíku v lahvi s kohoutkovou vodou po probublání brčkem.*

## 6. Závěr

Fotosyntéza je považována za jedno z nejtěžších témat na žákovské porozumění, a to zejména díky velké míře abstrakce a nemožnosti ve školním prostředí přímo, jednoduše a názorně ukázat tento děj. Dotazníkové šetření prokázalo, že provedená badatelsky orientovaná výuka s využitím moderního měřicího přístroje, kterým bylo optické čidlo pro měření kyslíku a pH ve vodě, by mohla pomoci zvýšit znalosti žáků devátých ročníků na toto téma. Tento způsob výuky umožňuje měření obsahu kyslíku a pH ve vodě jednoduše přímo ve školním prostředí, a tím by mohl pomoci odbourávat nepředstavitelnost a abstrakci děje. Ke statistickému zhodnocení bylo využito pretestů, které měřily znalosti žáků těsně před provedenou výukou a posttestů, které ověřovaly znalosti těsně po provedené badatelsky orientované výuce s využitím moderního experimentu. Výsledky ukazují, že po výuce došlo k signifikantnímu zvýšení znalostí žáků v tématu fotosyntéza. Data nasbíraná na škálovém hodnocení v posttestu poukazují, že moderní experiment a využití různých moderních přístrojů a technologií ve výuce je pro žáky atraktivní a mohlo by pomoci ke zvýšení obliby nejen botanických témat. Odhaleny byly také některé žákovské miskoncepce. K nim lze zařadit žákovský předpoklad, že během fotosyntézy vzniká pouze kyslík. Vznik biomasy žáci většinou nepředpokládají. Dále mají žáci mylné představy o výživě rostlin, nechápou také výměnu plynů během fotosyntézy a dýchání. Mylnou představou je také, že rostliny dýchají pouze v noci.

## 7. Seznam literatury

- Adamec L., 2003: Fotosyntéza u ponořených vodních rostlin: Biochemické a anatomické adaptace a výměna plynů. *Živa* (2), 59 – 61 s.
- Amprazis A., Papadopoulou P., 2020: Plant blindness: a faddish research interest of a substantive impediment to achieve sustainable development goals? *Environmental Education Research*, **26**(2), 1 – 24 s.
- Atwell B. J., Kriedemann P. E., Turnbull C. G. N., 1999: *Plants in action: Adaptation in nature performance in cultivation*. South Yarra: Macmillan Education Australia, 649 s.
- Brčáková T. 2021: Reflexe vzdělávací metodiky pro ZŠ. Sborník abstraktů z konference Slunce – voda – vegetace – klima. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné online: [https://projekty.pf.jcu.cz/svv/files/Sbornik\\_abstraktu\\_z\\_konference.pdf](https://projekty.pf.jcu.cz/svv/files/Sbornik_abstraktu_z_konference.pdf)
- Buck L. B., Bretz S. L., Towns M. H., 2008: Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Research and Teaching*, 52 – 58 s.
- Cimer A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, 7(3), 61 – 71 s.
- Cyrus P., Slabý A., Bílek M., 1997: *Informační technologie v přípravě středoškolských učitelů technických předmětů*. Hradec Králové, Gaudeamus.
- Čatský J., 1960: Determination of Water Deficit in Disks Cut out from Leaf Blades. Praha: *Biologia Plantarum* **2**(1), 76 – 78 s.
- Čáp J., Mareš J., 2001: *Psychologie pro učitele*. Praha: Portál, 655 s.
- Činčera J., Štindl P., Bílek M., Králíček I., Loudová I., Machková V., Musílek M., Švarcová E., Vizek L., 2019: Interdisciplinární přístup. Metodický text pro studenty učitelství. Gaudeamus: Hradec Králové, 40 s.
- Čipková E., Karolčík Š., 2017: Korekcia miskoncepcii žiakov o fotosyntéze a dýchání rastlín prostredníctvom bádateľsky orientovaného vyučovania. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislavě, Přírodovědecká fakulta: Biologie, chemie, zeměpis (3)26, 24 – 34 s.

Dostál J., 2015: Badatelsky orientovaná výuka: pojetí, podstata, význam a přínosy. Křížkovského 8, 771 47 Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 151 s.

Ellison D., Morris C. E., Locatelli B., Sheil D., Cohen J., Murdiyarso D., Gutierrez V., Noordwijk van Meine., Creed I. F., Pokorný J., Gaveau D., Spracklen D. V., Tobella A. B., Ilstedt U., Teuling A. J., Gebrehiwot S. G., Sands D. C., Muys B., Verbist B., Springgay E., Sugandi Y., Sullivan C. A., 2017: Trees, forests and water: Cool insights for a hot word. Elsevier: Global Environmental Change: ScienceDirect. 43 51 – 61 s.

EU, 2019: Zelená dohoda pro Evropu. Brusel, Evropská komise, [cit. 10. 6. 2022], dostupné online z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

Friesen S., Scott D., 2013: Inquiry-Based Learning: Literature Review Inquiry-Based Learning: A Review of the Research Literature. Academia, 32 s.

Fryč J., Matušková Z., Katzová P., Kovář K., Beran J., Valachová I., Seifert L., Běťáková M., Hrdlička F. a kol., 2020: Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+. Praha, Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 118 s.

Galvin E., Mooney Simmie G., O'Grady A., 2015: Identification of Misconceptions in the Teaching of Biology: A Pedagogical Cycle of Recognition, Reduction and Removal. Higher Education of Social Science, 8(1). Canadian Research & Development Center of Sciences and Cultures, 8 s.

Hershey D. R., 2006: Avoid Misconception When Teaching about Plants. [cit. 10. 6. 2022], dostupné online z: [https://www.thevespiary.org/library/Files\\_Uploaded\\_by\\_Users/llamabox/Botany/Avoid%20Misconceptions%20When%20Teaching%20about%20Plants%20by%20David%20R.%20H...pdf](https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/llamabox/Botany/Avoid%20Misconceptions%20When%20Teaching%20about%20Plants%20by%20David%20R.%20H...pdf)

Huntley R., Sobel D., 2019: When Nature Gives You Ticks, Create a Tick Curriculum. Green Schools Catalyst Quarterly, 6(2), 47 – 59 s.

Jose S. B., Wu Chih-Hang, Kamoun S., 2019: Overcoming plant blindness in science, education and society. Plants People Planet, 1(3), 169 — 172 s.



Kai Wah Chu S., Zhang Y., Chen K., Keung Chan Ch., Wing Yi Lee C., Zou E., Lau W., 2017: The effectiveness of wikis for project-based learning in different disciplines in higher education. Elsevier: Internet and Higher Education, 33, 49 – 60 s.

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 s.

Kincl M., Faustus L., 1977: Základy fyziologie rostlin. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 168 s.

Kotrba T., Lacina L., 2007: Praktické využití aktivizačních metod ve výuce. Brno: Společnost pro odbornou literaturu – Barrister and Principal, 186 s.

Kovaříková L., 2019: Chyby při využívání digitálních technologií ve výuce. Metodický portál RVP ZV. [cit. 1.5.2022]. Dostupné online: <https://clanky.rvp.cz/clanek/s/Z/22252/CHYBY-PRI-VYUZIVANI-TECHNOLOGII-VE-VYUCE.html>

Kratochvílová J., 2006: Teorie a praxe projektové výuky. Brno, Masarykova univerzita. 160 s.

Kubiatko M., Vlčková J., 2020: Návrh výzkumného nástroje na zkoumání postojů žáků 2. stupně ZŠ k přírodopisu. Scientia in Educatione, 2(1), 49 – 67 s.

Larcher W., 1995: Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Third Edition. Springer. 448 s.

Maňák J., Švec V., 2003: Výukové metody. Brno: Paido, 219 s.

Marmaroti P., Galanopoulou D., 2006: Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. International Journal of Science education, 28, 383 – 403 s.

McCright A. M., O'Shea B. W., Sweeder R. D., Urquhart G. R., Zeleke A., 2013: Promoting interdisciplinarity through climate change education. Nature climate change 3 (2013). [cit. 15. 5. 2022] Dostupné online z: [www.nature.com/natureclimatechange](http://www.nature.com/natureclimatechange)



Millerová K., 2020: Generace X, Y, Z? Kam patříte Vy? [cit. 30. 4. 2022] Dostupné online: <https://hcpracovat.info/generace-x-y-nebo-z-kam-patrite-vy-2-dil/>

Millar R., 2004: The role of practical work in the teaching and learning of science. New York, University of New York, Department of educational studies,

Minner D. D., Levy A. J., Century J., 2010: Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474 – 496 s.

Nobel P. S., 2005: *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. United States of America, Elsevier Academic Press, 3. vydání, 567 s.

Papáček M., 2010: Limity a šance zavádění badatelsky orientovaného vyučování přírodopisu a biologie v České republice. In: Papáček M. (ed.): *Didaktika biologie 51 v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování: sborník příspěvků semináře*. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice, 145 – 162 s.

Pavlasová L., Janštová V., Lindner M., 2017: Skills of Pre-Service Biology Teachers to Solve an Inquiry-Based Task. In: Rusek M., Vojíš K. (Eds.): *Project-Based Education in Science Education: Empirical texts*, XV, Praha, Karlova univerzita, Pedagogická fakulta, 74 – 82 s.

Pavlátová, V., 2019: Dětská pojetí vybraných environmentálních fenoménů u žáků 1. a 2. stupně základní školy. *Envigogika*, 14(1), 19 s.

Pavlátová V., Kroufek R., 2018: Pohled učitelů na obtížnost vybraných environmentálních fenoménů v učebnicích pro základní školy. *Scientia in educatione*, 9(2), 57 – 79 s.

Pazourek J., 2001: *Vyprávění o rostlinách*. Praha: Academia, 159 s.

Pedersen O., Colmer T. D., Sand-Jensen K., 2013: Underwater photosynthesis of submerged plants – recent advances and methods. *Frontiers in Plant Science*, 4(140), 19 s.

Pokorný J., 2014: *Hospodaření s vodou v krajině – hospodaření ekosystémů*. Ústí nad Labem, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 103 s.

Pokorný J., Hesslerová P., Jirka V., Huryna H., Seják J., 2018: Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. Urbanismus a územní rozvoj: Ústav územního rozvoje. XXI (1) 26 – 37 s.

Procházka S., Macháčková I., Krekule J., Šebánek J. a kol., 1998: Fyziologie rostlin. Praha: Academia, 484 s.

Prokop P., Prokop M., Tunnicliffe S. D., 2010: Is biology boring? Student attitudes toward biology. Journal of biological education, 36 – 39 s.

Pšenčík J., 2018: Proč je důležité studovat fotosyntézu? Department of Chemical and Optics, Karlova univerzita, [cit. 27.5. 2022], dostupné online: <https://physics.mff.cuni.cz/kchfo/oos/jakub/uvod.htm>

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání. Praha: MŠMT, 2021 [cit. 26. 5. 2022]. Dostupné online: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcovy-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>

Ruibal-Villasenor M., Etkina E., Karelina A., Rosengrant D., Jordan R., Van Heuvelen A., 2007: From Physics to Biology: Helping Students Attain All-Terain Knowledge. In: Hsu L., Henderson C., McCullough (eds): Physics Education Research Conference, 96 – 99 s.

Rusek M., Gabriel Š., 2013: Moderní aktivizační metody ve výuce přírodovědných předmětů. In: Rusek M., Stárková D. (eds.): Projektové vyučování v přírodovědných předmětech: Mezinárodní vědecký výbor konference XI., Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova, Praha, 164 s.

Ryplová R., 2019: Inquiry Education in Botany – A Way to Cope with Plant Blindness? In: Rusek M., Vojíř K. (Eds): Project-based Education ins Science Education: Empirical texts XV, Praha: Karlova univerzita v Praze, Pedagogická fakluta, 120 – 128 s.

Ryplová R., 2014: Fyziologie rostlin. Skriptum pro studující Učitelství přírodopisu pro 2. stupeň ZŠ. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, 113 s.

Ryplová R., Pokorný J., Hotařová N., 2020: Jak a proč učit o distribuci sluneční energie v krajině: využití termovize a dalších digitálních technologií v rámci inovace

výuky přírodopisu na ZŠ. In: Klement M., Šaloun P., Dostál J., Sedláček M., Částková P., Basler J. (eds.): Trendy ve vzdělávání 2020: Sborník abstraktů mezinárodní konference, Olomouc, 43 s.

Sanders M., 1993: Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 919 - 934 s.

Semken S., Freeman C. B., 2008: Sense of Place in the Practise and Assessment of Place-Based Science Teaching. *Academia, Science Education, Wiley InterScience*. 1043 — 1057 s.

Sharkey T. D., Loreto F., Delwiche C. F., 1991: High carbon dioxide and sun/shade effects on isoprene emission from oak and aspen tree leaves. *Plant, Cell and Environment*, 14(3), 333 – 338 s.

Södervik I., Virtanen V., Mikkilä-Erdmann M., 2015: Challenges in Undersnading Photosynthesis in a University Introductory Biosciences Class. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 733 — 750 s.

Smith G. A., 2002: Place-Based Education: Learning to be where we are. *PDK International*, 83(8), dostupné online z: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/003172170208300806?journalCode=pdk>

Sumatokhin S., Petrova O., Serovayskaya D., Chistiakov F., 2020: Digitalization of School Biological Education: Problems and Solution. *International Scientific and Practical Conference „Theory and Practise of Project Management in Education; in: SHS Web Conferences, Vol. 79. 1 — 6 s.*

Svandova K., 2014: Secondary School Students' Mischonceptions about Photosynthesis and Plant Respiration: Preliminary Results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, Masarykova Univerzita, Česká republika*. 10(4), 59 – 67 s.

Špička J. 2004: *Biochemie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta*, 150 s.

Ulfa K., Anggraeni S., Supriatno B., 2017: How to Improve the Mastery of Students' Concept on Photosynthesis Topic? *Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Mathematics and Science Education*, Series 895, 4 s.

Uno G. E., 2009: Botanical literacy: What and how should students learn about plants? *American Journal of Botany*, 96(10), 1753 – 1759 s.

Uno G. E., 2018: Plant blindness, science illiteracy, and the future of botany. *South African Journal of Botany*. 277 s.

Vácha Z., Ditrich T., 2016: Efektivita badatelsky orientovaného vyučování na primárním stupni základních škol v přírodovědném vzdělávání v České republice s využitím prostředí školních zahrad. *Scientia in educatione*, 7(1), 65 – 79 s.

Vágnerová P., Benediktová L., Kout J., 2019: Kritická místa ve výuce přírodopisu — jejich identifikace a příčiny. *Arnica* (9)1, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 39 — 50 s.

Vlčková J., 2015: Possible Barriers and Benefits of Project-Based Learning in Biology Lessons. In: Rusek M. (Ed.): *Project-Based Education in Science Education XIII*, The international student conference is held under patronage of dean of the Faculty of Education, Charles University in Prague Prof. Dr. Radka Wildová, Ph.D., Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra chemie a didaktiky chemie, 184 s.

Vobořil D., 2017: Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *Oenergetice.cz*, [cit. 25. 5. 2020]. Dostupné online z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>

Wandersee J. H., Schussler E. E., 1999: Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher: University of California Press*, 61(2), 82 – 86 s.

Ward J. R., Clarke H. D., Horton J. L., 2014: Effects of a Research-Infused Botanical Curriculum on Undergraduates' Content Knowledge, STEM Competencies and Attitudes toward Plant Science. Asheville: University of North Carolina: Biology Department. 387 – 396 s.

Warner A. J., Myers B. E., 2008: Implementing Inquiry-based Teaching Methods. University of Florida: IFAS Extension, 1- 3 s.

Yenilmez A., Tekkaya C., 2006: Enhancing Students' Understanding of Photosynthesis and Respiration in Plant Through Conceptual Change Approach. *Journal of Science Education and Technology*. (1)15, 81 – 87 s.

Yustina, Syafii W., Vebrianto R., 2020: The Effects of Blended Learning and Project-based Learning on Pre-service Biology Teachers' Creative Thinking through Online Learning in the Covid-19 Pandemic. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(3), 408 – 420 s.

Závodská R., 2006: *Biologie buněk: základy cytologie, bakteriologie, virologie*. Scientia, Praha, 159 s.

Zormanová L., 2010: Výukové metody aktivizující. Metodický portál RVP ZV. [cit. 1.6.2022]. Dostupné online: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/s/15017/VYUKOVE-METODY-AKTIVIZUJICI.html>

## 8. Přílohy

### 8.1. Seznam příloh

**Příloha 1:** Pracovní list aplikovaný během badatelsky orientovaného vyučování s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

**Příloha 2:** Pretest aplikovaný před badatelsky orientovaným vyučováním s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

**Příloha 3:** Posttest aplikovaný po badatelsky orientovaným vyučováním s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

**Příloha 1:** Pracovní list aplikovaný během badatelsky orientovaného vyučování s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

### Pracovní list

Z rybníka jsme nabrali vodu do dvou plastových láhví. V jedné láhvi byla voda s vodními rostlinami (řasami), v druhé láhvi byla voda bez viditelných rostlin. Obě láhve jsme nechali ležet na slunci. Asi po 40 minutách jsme zjistili, že v láhvi s řasami vznikly drobné bublinky. Co je jejich příčinou a jak vznikly? Naopak v láhvi bez rostliny bublinky nebyly.



**2 po 40 min na světle**



Jak vznikly bublinky ve vodě s vodními rostlinami 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 krabicí).

Návrh pokusu:

Naměřené hodnoty:

Závěr pokusu:

Kolik kyslíku vodní rostliny za dobu trvání pokusu vyprodukovaly? Kolik své biomasy za tu dobu vytvořily? (tedy o kolik povyroستly?) (K výpočtu využijte základní rovnici fotosyntézy). Zapište základní rovnici fotosyntézy:

Základní rovnice fotosyntézy:

Nápověda:  $6\text{CO}_2$  ( $6 \times 44$ ) = 264;  $6\text{H}_2\text{O}$  ( $6 \times 18$ ) = 108;  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  = 180;  $6\text{O}_2$  = ( $6 \times 32$ ) = 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 v rybníce? Jak to souvisí s pH v rybníce? (odpověď konzultujte s vyučujícím)

Odpověď:

Závěrečné shrnutí: Uveďte, jaký význam mají vodní rostliny pro život v rybníce

Odpověď:

**Příloha 2:** Pretest aplikovaný před badatelsky orientovaným vyučováním s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

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 živiny ke svému růstu z .....

Rostliny získávají živiny 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) 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 považuji za pravdivé, protože:*

- i) 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
- ii) Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý
- iii) 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
- i) 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 aplikovaný po badatelsky orientovaným vyučováním s využitím moderního experimentu na téma fotosyntéza

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 živiny ke svému růstu z .....

Rostliny získávají živiny 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:**

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

*Toto tvrzení považuji za pravdivé, protože:*

- iv) 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
- v) Vodní rostliny dýchají ve dne i v noci, ale ve dne zároveň při fotosyntéze také uvolňují kyslík a spotřebovávají oxid uhličitý
- vi) 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
- ii) 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*