



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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



T A
Č R

FOTO
SYNTEZA



FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLIÍ
ČVUT V PRAZE

Biomasa v trvale udržitelné krajině – digitální technologie, aktuální trendy a výzvy ve výuce

Sborník příspěvků z konference
Renata Ryplová, Tereza Brčáková (Eds.)

13.12. 2023 | České Budějovice

Konference proběhla s podporou TAČR v rámci projektu TL05000150 Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině

Vědecký výbor konference:

RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.

doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

Ing. Monika Borkovcová, Ph.D.

PhDr. Zbyněk Vácha, Ph.D.

Ing. Štěpánka Chmelová, Ph.D.

RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D.

Ing. Marek Baxa, Ph.D.

Sborník je vydáván s podporou TAČR v rámci projektu TL05000150 Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině

Texty neprošly jazykovou úpravou, za jazykovou korekci ručí autoři jednotlivých příspěvků

ISBN 978-80-7694-050-5

Slovo úvodem

Vážení přátelé,

otevíráte *Sborník příspěvků z konference Biomasa v trvale udržitelné krajině – digitální technologie, aktuální trendy a výzvy ve výuce, konané dne 13. 12. 2023 na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.*

*Proč biomasa v trvale udržitelné krajině? Rostlinná biomasa jak suchozemských, tak i vodních rostlin má v naší krajině řadu nezastupitelných funkcí. Stojí na začátku potravních řetězců v ekosystémech stejně tak jako na začátku koloběhu vody v krajině, má nezastupitelnou roli i v koloběhu minerálních látek. Je také důležitým obnovitelným zdrojem energie. Pro budoucnost lidstva je proto důležité procesům tvorby biomasy, a především jejímu ekologickému významu v krajině dobře rozumět. Rostlinná biomasa vzniká díky **FOTOSYNTÉZE**. Mezioborové téma fotosyntézy však v oblasti školního vzdělávání patří k těm nejobtížnějším. Kromě toho všeobecný zájem jak veřejnosti, tak i studentů škol všech stupňů je nízký, projevuje se zde celosvětově rozšířený fenomén tzv. „plant blindness“, tedy lidské ignorace rostlin a jejich role v krajině. Pedagogové proto hledají stále nové a **AKTIVIZAČNÍ VÝUKOVÉ PŘÍSTUPY**, kterými by svým žákům a studentům pochopení klíčového procesu fotosyntézy usnadnili a atraktivnili. Řadu nových možností poskytují v současné době **MODERNÍ DIGITÁLNÍ TECHNOLOGIE**, jako jsou počítačové vizualizace, interaktivní učebnice, 3D tisk, moderní měřicí přístroje pro žákovské experimenty a další. Na konferenci se proto setkávají akademičtí pracovníci, učitelé z praxe i odborníci v oblasti pedagogiky, environmentalistiky, ekologie a vzdělávacích technologií. Zaznívají příspěvky z oblasti didaktiky přírodovědných oborů, digitálních technologií a jejich využití v moderní výuce ale také příspěvky z oblasti ekologie krajiny a botaniky.*

Významnou součástí konference je představení nové digitální platformy pro výuku fotosyntézy na základních i středních školách vytvořené řešitelským týmem projektu TAČR TL 05000150 složeným z pracovníků katedry biologie Pedagogické fakulty JU v Českých Budějovicích, ENKI, o.p.s. Třeboň a Fakulty informačních technologií ČVUT Praha. Autoři z řad členů projektového týmu ve svých příspěvcích představují výsledky svých výzkumných studií, z nichž vycházeli při tvorbě nové interaktivní učebnice k výuce fotosyntézy suchozemských i vodních rostlin k poznání jejich role v krajině.

Neméně zajímavé jsou příspěvky účastníků z dalších akademických pracovišť představujících výsledky jejich výzkumné činnosti. Začíst se tak můžete do didakticky zaměřených příspěvků z oblasti využití moderních technologií ve výuce, jako jsou např. 2D – 3D vizualizace v chemii nebo 3D tisk ve výuce řas či seznámit s nejnovějšími poznatky v oblasti monitoringu ekologické role rostlinné biomasy v krajině.

Nechť jsou vám poznatky načerpané z konference i tohoto sborníku užitečnou inspirací pro další práci

Renata Ryplová

Obsah

Proč učit roli biomasy v trvale udržitelné krajině za pomoci digitálních technologií.....	1
Digitální vzdělávací platforma	7
Animace a jejich využití při výuce tématu fotosyntéza	12
Fotosyntetická tvorba biomasy v kontextu trvale udržitelné krajiny – aktuální vědecké poznatky, principy a podklady pro výuku	18
Funkce vegetačního pokryvu v malém povodí. Distribuce sluneční energie, bilance vody a látek – 25 let monitoringu tří experimentálních povodí: odvodňená pastvina, mokřady, les.....	27
Cesta Marie (<i>Dafnie</i>) a Karla (<i>Aphanizomenou</i>) od základního výzkumu do učebnice.....	33
3D tisk ve výuce – možnosti integrované výuky tématu sinic a řas	45
Evaluace elektronické učebnice fotosyntézy v prostředí středních škol.....	50
Testování interaktivní učebnice pro výuku fotosyntézy na základních školách.....	55
Výuka fotosyntézy vodních rostlin za využití nové digitální učebnice – její vliv a názory budoucích učitelů přírodopisu	62

Proč učit roli biomasy v trvale udržitelné krajině za pomoci digitálních technologií

RNDr. R. Ryplová, Ing. Š. Chmelová, Ph.D., PhDr. Z. Vácha, Ph.D., Ing., Mgr. Matěj Novák, Mgr. T. Brčáková

Abstrakt

Rostlinná biomasa hraje klíčovou roli ve všech ekosystémech na Zemi. Zároveň je také v rámci evropské koncepce Zelená dohoda pro Evropu často zmiňovaným obnovitelným energetickým zdrojem. Příspěvek přináší výsledky sondy zaměřené na porozumění tématu fotosyntetické produkce rostlinné biomasy a její role v krajině mezi žáky ZŠ. Příspěvek zdůrazňuje zásadní neznalosti mezi žáky ZŠ i v souvislosti s všeobecně rozšířeným fenoménem „plant blindness“. Dále jsou prezentovány výsledky průzkumu názorů učitelů přírodopisu pro ZŠ na možnost využití digitálních technologií pro výuku fotosyntézy v ekologických souvislostech a na základě literární rešerše nastíněny možnosti, které tato výuka poskytuje.

Klíčová slova

Biomasa; Fotosyntéza; Plant blindness

ÚVOD

Rostlinná biomasa hraje klíčovou roli ve všech ekosystémech na Zemi. V prosinci 2019 představila Evropská komise Zelenou dohodu pro Evropu (The European Green Deal, Evropská komise, 2019), soubor strategických opatření směřujících k dosažení klimatické neutrality a transformaci směrem k trvale udržitelné ekonomice. V rámci této koncepce je mimo jiné kladen důraz na roli trvale udržitelné biomasy v bezemisní ekonomice. Evropská komise dále zdůrazňuje, že rozvoj a rychlost zavedení transformace závisí na tom, do jaké míry se občané stanou jejími aktivními účastníky. Zdůrazňuje proto nutnost moderního vzdělávání v tomto směru a poskytnutí informací široké veřejnosti (Evropská komise, 2019).

Rostlinná biomasa se vytváří díky fotosyntéze. O tomto rostlinném ději se veřejnost dozvídá již během výuky přírodopisu na základních školách, téma je součástí Rámcového vzdělávacího plánu pro základní vzdělávání (RVP ZV). Téma fotosyntézy je však zároveň dle četných zahraničních studií považováno jak pedagogy, tak i žáky za jedno z nejobtížnějších (Carlsson, 2002, Marmaroti & Galanopoulou 2006). Nedostatečné pochopení procesu fotosyntézy pak vede k často k miskonceptům o celkové roli rostlin v ekosystému, které si s sebou žáci a studenti odnášejí do života i po skončení školní docházky (Keles & Kefeli, 2010, Carlsson, 2002). Diskutovanými příčinami jsou pro žáky přílišná abstraktnost fotosyntetických dějů, které jsou pouhým okem nepozorovatelné (Hershey, 2005), pojetí výuky založené pouze na teorii a pouhém memorování obtížných pojmů a chemických rovnic (da Silva a kol., 2016), vytržení z ekologického kontextu role rostlin v krajině (Carlsson, 2002) a celková izolovanost

vyučovaných fotosyntetických principů od reálného života (da Silva a kol., 2016). Dlouhodobou snahou pedagogů je proto najít inovativní výukové metody a přístupy, které porozumění tomuto tématu usnadňují. Jednou z aktuálních možností je využití moderní digitálních technologií, jako jsou interaktivní učebnice, počítačové vizualizace či animace. Výsledky mezinárodních studií dokladují, že použití digitálních technologií v přírodovědném vzdělávání usnadňuje pochopení přírodních jevů (Tran a kol., 2017) či procesů a posiluje schopnosti interpretovat vědecká data (Barton, 2005).

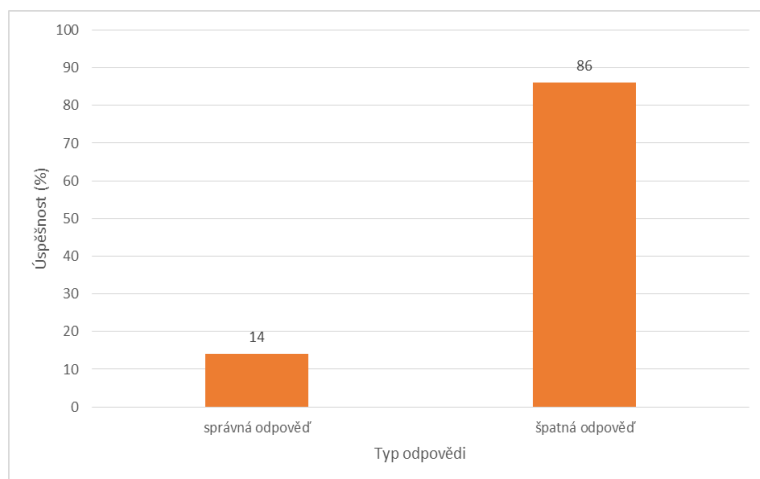
V českém prostředí doposud nebyl proveden výzkum úrovně porozumění problematice trvale udržitelné biomasy, její fotosyntetické produkce a role v krajině. Z toho důvodu byla v úvodu projektu podporovaném TAČR TL 05000150 Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině. provedena studie těchto znalostí mezi žáky ZŠ jejíž výsledky tento příspěvek přináší. Vzhledem k zaměření projektu - vytvořit digitální vzdělávací platformu - byla provedena také sonda mezi učiteli přírodopisu, sledující názory a požadavky na připravovanou digitální vzdělávací platformu.

METODIKA

V roce 2021 byla provedena sonda mezi 896 žáky ZŠ, osmých a devátých ročníků a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií celkově ze 32 škol. Výzkumným nástrojem byl dotazník obsahující celkově 15 otázek zaměřených na 3 oblasti: porozumění procesu fotosyntézy, porozumění problematice biomasa a energie skrytá v biomase a pochopení ekologické role biomasy. Zároveň byla provedena sonda názorů mezi 30 učiteli přírodopisu z 10 různých ZŠ. Získaná data byla statisticky zpracována pomocí programu MS Excel a Statistica. Vzhledem k omezenému rozsahu obsahuje následující příspěvek pouze výtah z výsledků a závěrů těchto sond .

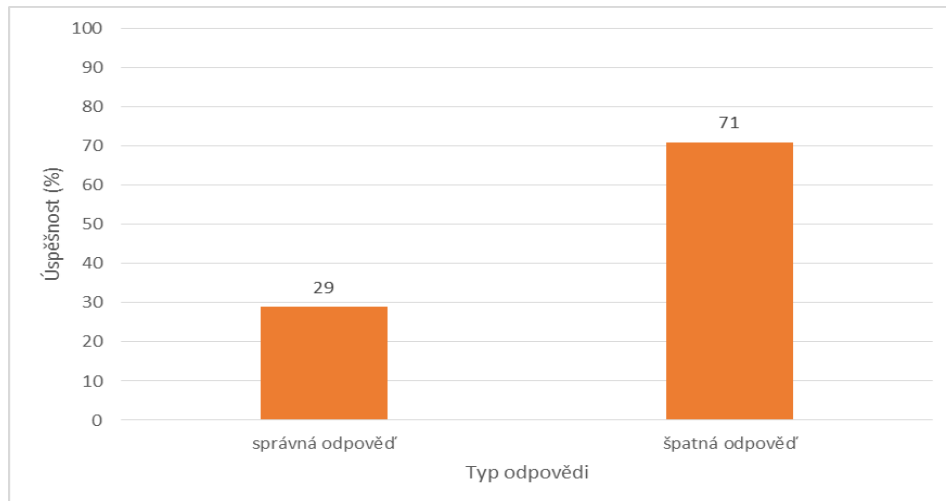
VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky sondy odhalily, že žáci osmých a devátých ročníků základních škol mají velmi limitované znalosti o tématu biomasa. Pouze 14 % ze všech respondentů odpovědělo správně na otázku :“Biomasa je považována za obnovitelný zdroj energie. Odkud pochází energie, která je v biomase skryta?“ (Obr.1). Jako chybnou odpověď uváděli žáci často „z cukrů“, „z oxidu uhličitého“, „z půdy“.



Obr. 1 Analýza odpovědí na otázku: „Biomasa je považována za obnovitelný zdroj energie. Odkud pochází energie, která je v biomase skryta?“, N=896

Jen 29 % respondentů odpovědělo správně na otázku „Co je to rostlinná biomasa?“ (Za správné byly považovány odpovědi typu „souhrn všech organických látek z rostlin (z živých organismů), organické látky z rostlin, biopalivo/palivo, obnovitelný zdroj energie/energie), (Obr.2). Mezi nejčastějšími chybnými odpověďmi často figurovali pojmy „kompost“, „humus“, „hnijící zbytky“.

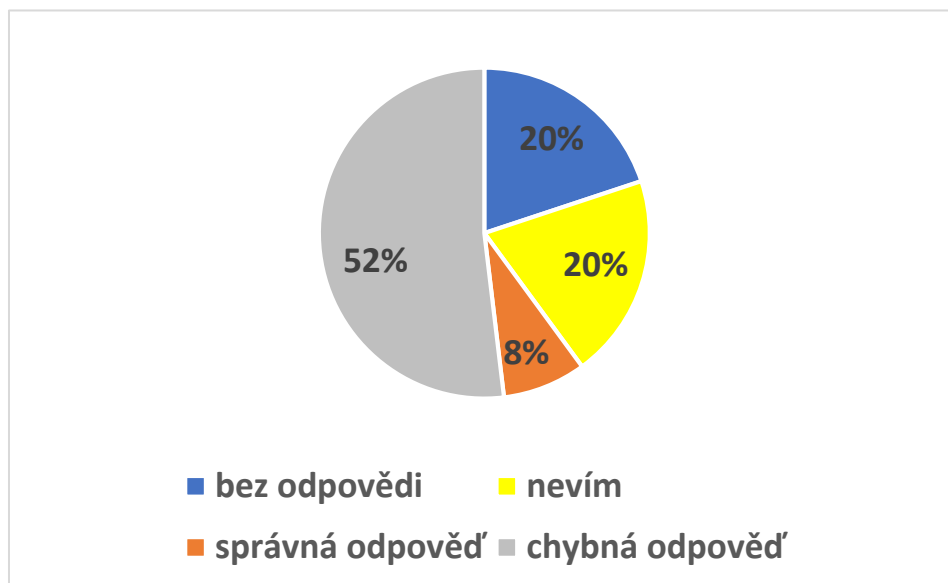


Obr. 2 Analýza odpovědí na otázku: „„Co je to rostlinná biomasa?“ N=896

Pouze 4 žáci z 896 dokázali spočítat za pomoci nápovědy, kolik dřeva potřebují pro vytopení běžné domácnosti, avšak ani jeden respondent již nedokázal odhadnout, jaká plocha půdy je potřebná k vypěstování této biomasy.

Velmi nízká byla i úroveň znalostí o fotosyntetické produkci biomasy vodních rostlin a její ekologické roli ve vodě. Jen 8 % respondentů chápe správně pojem vodní květ jako porost sinic vzniklý díky

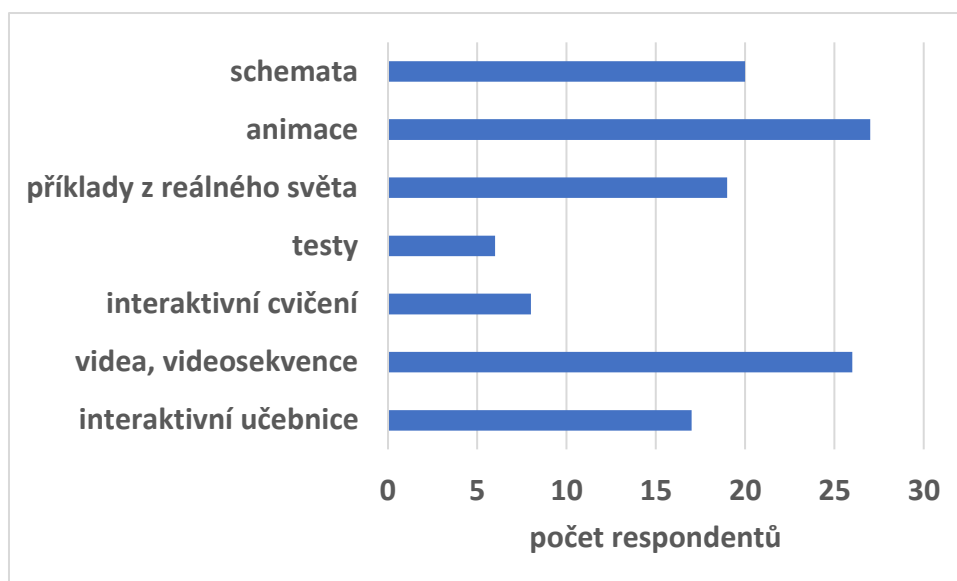
vysokému obsahu živin ve vodě. Žáci nejčastěji chybně charakterizovali vodní květ jako leknín, žabinec, pyl nebo mechy.



Obr. 3 Analýza odpovědí na otázku: „„Co je to vodní květ?““ N=896.

Výsledky sondy tedy naznačují, že neznalosti problematiky rostlinné biomasy a její role v krajině jsou velmi zásadní. Vzhledem k tomu, že se ani v mezinárodní literatuře nepodařilo dohledat data informující o úrovni znalostí obdobné problematiky v zahraničí, nelze závěry naší studie porovnat s jinými pracemi. Tyto výsledky však mohou souviset se všeobecně rozšířeným fenoménem „plant blindness“ (Wandersee & Schussler, 1999), označujícím lidskou ignoranci rostlin a jejich úlohy v životním prostředí člověka. Na existenci tohoto fenoménu a jeho negativní důsledky pro trvale udržitelný rozvoj poukazuje také Amprazis & Pappadopoulou, (2020).

V druhé části sondy byly zjišťovány názory učitelů přírodopisu na možnost využití digitální vzdělávací platformy pro výuku fotosyntézy v ekologických souvislostech. Naprostá většina učitelů (24 ze 30) uvedla, že by vhodný digitální zdroj k výuce tématu fotosyntézy v ekologických souvislostech rádi využívala. Co se týče obsahu digitální vzdělávací platformy, učitelé by nejvíce přivítali výuková videa a videoshoty, animace, schémata a příklady z reálného světa (Obr.4).



Obr. 4 Analýza názoru učitelů přírodopisu ZŠ na obsah digitální vzdělávací platformy k tématu biomasa v trvale udržitelné krajině, N=30.

Z výsledků sondy mezi učiteli vyplývá, že preferují takové součásti digitální vzdělávací platformy, které umožňují vizualizace procesů (video, vizualizace). Pozitivní význam vizualizací pro výuku fotosyntézy v rámci výuky chemie dokladuje Teplá a kol.,(2021). Další preference učitelů směřují k zařazení příkladů z okolního světa. I tento požadavek je v souladu s dalšími výzkumy, přínos výuky fotosyntézy v ekologických souvislostech pro žákovské porozumění této problematice zdůrazňuje již Carlsson, (2002).

ZÁVĚR

Z výsledků studie vyplývá, že žákovské znalosti problematiky biomasy a její role v trvale udržitelné krajině jsou na velmi nízké úrovni. Výuku této problematiky za pomoci digitální vzdělávací platformy by učitelé přírodopisu ZŠ vítali, jako její součásti preferují především videoshoty, animace, vizualizace a příklady z reálného světa.

Poděkování

Příspěvek byl připraven s podporou TAČR v rámci projektu TL0500150

LITERATURA

Amprazis, A. & Papadopoulou, P. (2020). Plant blindness: a faddish research interest or a substantive impediment to achieve sustainable development goals? *Environmental Education Research*, DOI: 10.1080/13504622.2020.1768225

Barton, R. (2005). Supporting teachers in making innovative changes in the use of computer-aided practical work to support concept development in physics education. *International Journal of Science Education*, 27(3), 345–365. <https://doi.org/10.1080/0950069042000230794>

Carlsson, B. (2002). Ecological understanding 1: ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science education*, 24, 681-699.

da Silva, J.R.S., Guimarães, F., Sano, P. T. (2016). Teaching of Botany in higher education: representations and discussions of undergraduate students. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 15(3), 380-393.

Evropská komise, 2019: Zelená dohoda pro Evropu (The European Green Deal), dostupné on line https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF

Hershey, D.R. (2005). Avoid misconceptions when teaching about plants. *California Journal of Science Education* 5 (2), 69–84.

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, 3111-3118. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.474>

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.

Teplá, M., Šmejkal, P., Šrámek, M., Šarboch, D. & Teplý, P. (2021). The influence of 3D models and animations on students’ motivation in chemistry and biology – The results of the pilot study. In M. Rusek, M. Tóthová & K. Vojíř (Eds.), *Project-based Education and Other Activating Strategies in Science Education XVIII*. (pp. 140-148). UK PedF

Tran, T., van den Berg, E., Ellermeijer, T., & Beishuizen, J. (2017). Learning to teach inquiry with ICT. *Physics Education*, 53(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa8a4f>

Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing plant blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), 84-86. <https://doi.org/10.2307/4450624>

Kontaktní adresa

RNDr. Renata Ryplová¹,

¹Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích
Jeronymova 10, 370 01 České Budějovice 6, Česká republika

Email: ryplova@pf.jcu.cz

Digitální vzdělávací platforma

Monika Borkovcová, Michal Valenta, Tomáš Stejskal, Igor Červený

Abstrakt

Článek popisuje proces technického vývoje webové aplikace, která slouží jako platforma pro vytváření interaktivních učebnic a didaktického materiálu. Aplikace umožňuje uživatelům integrovat bohaté multimediální prvky, jako jsou obrázky, animace a rozsáhlý výkladový text, do strukturovaných učebních materiálů. Platforma se soustředí na implementaci technologií umožňujících snadnou tvorbu a editaci obsahu, optimalizaci pro různá zařízení a zajištění uživatelsky přívětivého prostředí pro interakci s výukovými materiály. Navrhovaná aplikace slouží jako prostředek pro efektivní vytváření a distribuci vzdělávacích materiálů s důrazem na bohaté multimediální prvky, což posiluje interaktivitu a zapojení studentů do vzdělávacího procesu. Digitální vzdělávací platforma (DVP) se nezaměřuje pouze na prezentaci informací, ale na aktivní interakci studentů s obsahem, což umožňuje vytváření učebnic a didaktického materiálu s ohledem na principy vzdělávací teorie a zároveň využívá moderních technologických prostředků. Cílem DVP je tak propojení pedagogické teorie s vývojem software tak, aby vytvářela prostředí podporující aktivní a efektivní učení. Tím dochází k synergii v aplikaci moderních technologií se zásadami didaktiky, posilující interaktivitu, zapojení studentů a efektivitu vzdělávacího procesu.

Klíčová slova

Učební materiály; Digitální vzdělávací platforma; Strukturovaný učební obsah

ÚVOD

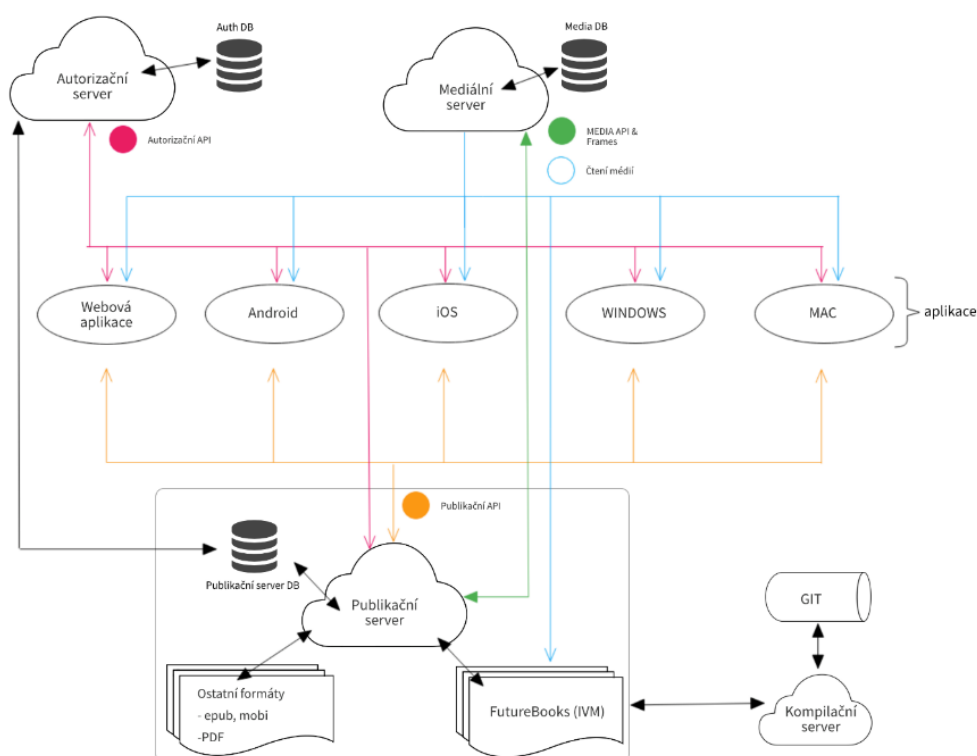
Efektivní vyučování a učení je dnes nepředstavitelné bez použití různých technik založených na moderních ICT a inovacích v tzv. „digitální“ pedagogice. Multimédia jsou ve vysokotechnologickém vzdělávacím prostředí jedním z mocných nástrojů, které pomáhají učitelům zlepšovat jejich profesní kapacitu a studentům dosahovat jejich vzdělávacích cílů (Incedayi, 2018, p.2). Multimediální technologie se tak stávají klíčovým prvkem v procesu vzdělávání, zejména ve vztahu k jejich schopnosti integrovat text, zvuk, obrázky a animace do jednotného celku, což zlepšuje způsoby, jakými se studenti učí a jak učitelé vyučují. (Díaz, 2019, p.24). Digitální výuka je důležitou součástí vzdělávání a představuje důležitou reformu tradičního vyučování. (Liu, 2021, p.3). Použití multimédií v procesu vzdělávání je dnes tak považováno za samozřejmost. Většina univerzit a mnoho středních škol má vytvořeno mnoho e-learningové kurzů, ve kterých jsou začleněny multimediální prvky (Kuna & Vozár, 2014, p.2). Integrace multimediálních prvků pro stěžejní části předmětů ZŠ a SŠ, jejichž obsah je obtížně žáky chápán, se tak stává významnou volbou v procesu učení. Vytvoření komplexního řešení jako je digitální

vzdělávací platforma a její využití v rámci školního kurikula může otevřít nové cesty učení pro studenty (Sambiran, 2019, p.5).

DVP a multimediální prvky

Hlavním cílem DVP je implementace různých interaktivních prvků a zpřístupnění uživatelům práci s obsahem včetně vyhledávání v médiích dle meta atributů. Zároveň digitální vzdělávací zdroje zpřístupňují uživatelům funkce pro nastavení zobrazení, jakou jsou změna velikosti, barvy a typu písma, barevného schématu celé publikace, režimu celé obrazovky. Digitální vzdělávací platforma pro výuku fotosyntézy vznikla na základě výsledků průzkumu požadavků, jejichž podklad zahrnoval i dotazníkové šetření mezi žáky a učiteli.

Základním technickým požadavkem je umístění digitálního vzdělávacího zdroje na webovém serveru s možností přístupu online. Dalšími klíčovými technickými požadavky jsou vrstva formou komponent, které bude možnost hromadně aktualizovat, dále přístupný a responzivní design a také celková tvorba DVP dle pravidel pro validní zdrojový kód webu a kódovacích standardů.



Obr. 1 Architektura Digitální vzdělávací platformy (Borkovcová, 2023)

Multidisciplinární spolupráce a tvorba multimediálního prvku

V rámci tvorby DVP byl kladen důraz převážně na výběr takových multimediálních prvků, které zaujmou cílovou skupinu. Z tohoto důvodu bylo úsilí soustředěno na tvorbu animací s důrazem na obecné

porozumění řešené problematiky. V rámci multidisciplinární spolupráci byl realizován a ověřen proces tvorby jednotlivých multimediálních prvků, který lze po zhodnotit jako velmi přínosný. V rámci tohoto článku je takový postup ukázán na tvorbě multimediálního prvku typu animace. Animace jsou takovým médiem, který umožňuje převést hlavní části výkladu do pohybu, ale zároveň mají schopnost oživení studijních materiálů, které doplní o spoustu emocí a dojmů. Animace tak nejsou pouze o pohybu, ale také o schopnosti vyjádřit emoce, sdělit příběh a ponořit čtenáře hlouběji do studia.

Samotnou tvorbu tak můžeme rozdělit do několika částí, a to od prvního náčrtu až po finální produkci. V rámci celého procesu je potřeba se soustředit na každý detail, aby výsledek byl co nejdělejší a vypovídající.

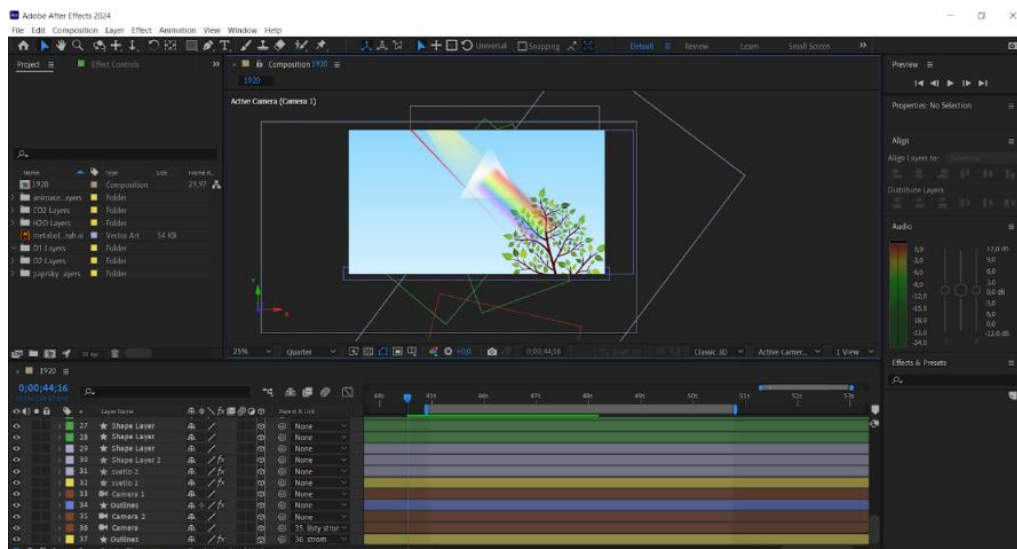
Samotný proces se skládá z následujících kroků:

- dodání podkladů,
- překreslení a příprava podkladů našimi grafiky,
- oživení podkladů,
- umístění animace pro čtenáře do knihy.

Prvním krokem při tvorbě animací je samotné vyjádření základní myšlenky, tento vstupní krok může mít mnoho podob. My jsme se vydali formou jednoduchých obrázků, které vyjadřují základní myšlenku. Tento postup usnadnil pochopení hlavního cíle dané animace a ukázal na hlavní obsahová sdělení. Zároveň byly základní grafické prvky doplněny o bohaté texty, které vysvětlovaly průběh animace.

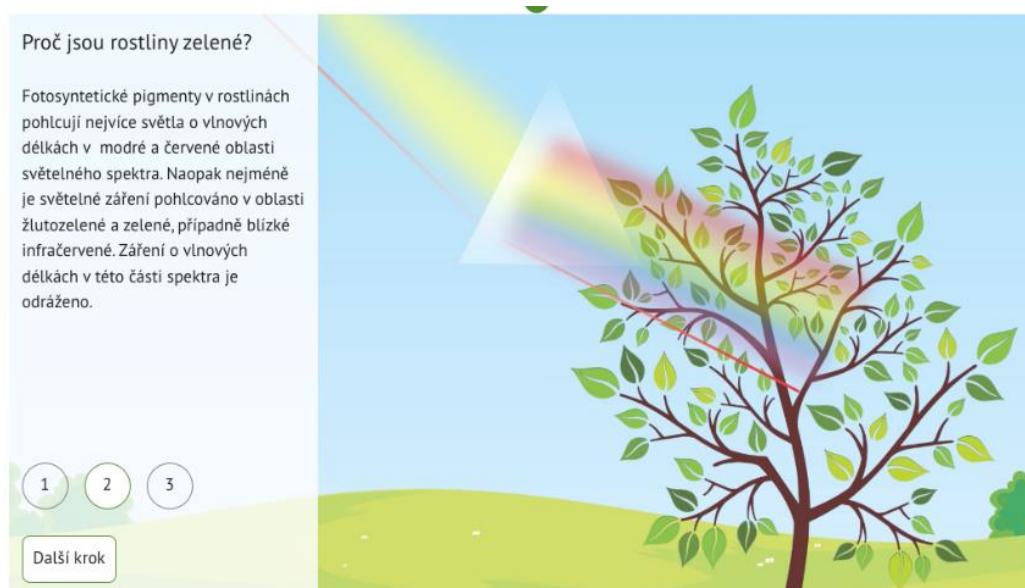
Po dodání podkladů od pedagogů je grafický tým přetvořil do profesionálních grafických výstupů. Při jejich tvorbě bylo cílem na první pohled zaujmout čtenáře, dodržet pestré zpracování, ale také zachovat hlavní myšlenku, názornost a přehlednost animace. K tvorbě podkladů pro animace byl využit webový nástroj pro design a prototypování Figma. Ten kromě svého hlavního účelu umožňuje i sdílení grafických návrhů mezi členy týmu v reálném čase. Díky tomu mohli být k tvorbě přizváni autoři podkladů a jejich připomínky a komentáře mohly být zapracovány již v rané fázi tvorby, což přineslo mnoho výhod, převážně tím bylo zajištěno rychlejší vytváření výsledných animací.

Další fází je oživení překreslených grafických podkladů, kdy v tomto bodě byl využit profesionální nástroj Adobe After Effects. Jeho široké možnosti využití jsou známé, ale v našem případě jsme jej používali pro tvorbu a úpravu pohyblivých grafik, vizuálních efektů a celkových kompozic. Hlavním účelem tohoto kroku bylo tak přispět k lepšímu pochopení a vyjádření problematiky daného tématu, kterým se zabývá animace. V tomto případě se celková animace skládá ze tří souborů, které byly exportovány ve vhodném formátu pro další zpracování.



Obr. 2 Ukázka tvorby pomocí nástroje Adobe After Effects (Borkovcová, 2023)

Závěrečným krokem bylo umístění exportovaných souborů s animacemi do komponenty v elektronické knize, která byla speciálně vytvořena pro tento účel. Komponenta umožňuje kompletní prezentaci cílové skupině žáků a využití ovládání tohoto prvku. Ke každé animaci byla následně doplněna textová část, která obsahovala nadpis a výkladový text. Výhodou interaktivní komponenty v DVP je možnost nastavení ovládacích prvků a krokování v animacích.



Obr. 3 Ukázka výsledné animace v DVP (Borkovcová, 2023)

ZÁVĚR

Proces realizace DVP ukazuje, že integrace multimediálních technologií a vznik digitálních platforem do vzdělávacího procesu má pozitivní dopad na výsledky studentů na základních a středních školách. Použití multimédií tak zvyšuje zapojení studentů a podporuje efektivnější a interaktivnější učení.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory a v rámci projektu TAČR TL 05000150 - Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině.

LITERATURA

Incedayi, N. (2018). The impact of using multimedia technologies on students academic achievement in the Bakirköy Final College. *International Journal of Humanities, Social Sciences and Education*, 5(1), 40-47. <http://dx.doi.org/10.20431/2349-0381.0501007>

Liu, J., Wang, C., & Wu, Y. (2021). Construction and optimization of higher education management system based on Internet video online technology. *Scientific Programming*, 2021, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2021/5520662>

Kuna, P., & Vozár, M. (2014, December). The impact of multimedia on students' knowledge of Discrete Mathematics in applied informatics. In 2014 IEEE 12th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA) (pp. 277-281). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICETA.2014.7107598>

Sambiran, A., & Soenarto, S. (2019, April). Using Mayer's Principles in Designing Mobile-Based Learning Module: Implementation in the subject of Simulation and Digital Communication For Vocational High School. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Science and Technology for an Internet of Things*, 20 October 2018, Yogyakarta, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.4108/eai.19-10-2018.2281718>

Díaz, P., Ioannou, A., Bhagat, K. K., & Spector, J. M. (Eds.). (2019). Learning in a digital world: perspective on interactive technologies for formal and informal education. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9>

Kontaktní adresa

Ing. Monika Borkovcová, Ph.D., Ing. Michal Valenta, Ph.D., Bc. Tomáš Stejskal, Bc. Igor Červený

Katedra softwarového inženýrství, Fakulta informačních technologií, České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 9, 160 00 Praha 6, Česká republika

Email: monika.borkovcova@cvut.cz

Animace a jejich využití při výuce tématu fotosyntéza

Milada Teplá

Abstrakt

Fotosyntéza je jedno z nejnáročnějších témat vyučovaných na středních školách. Téma si žádá nejen interdisciplinární přístup, ale též nároky na vysokou míru abstraktního uvažování. Vzhledem k možné tvorbě nežádoucích miskoncepcí je následně nezbytné téma co nejvíce žákům přiblížit a konkretizovat prostřednictvím vizualizace, jako jsou např. animace. Příspěvek si klade za cíle seznámit čtenáře se sérií animací, které na téma Fotosyntéza byly vytvořeny, a které jsou volně přístupné na webu www.studiumbiochemie.cz. Animace jsou primárně určeny pro středoškolské učitele, kteří mohou vybírat ty kapitoly, které jsou pro jejich výuky podstatné. K animacím byl vytvořen doprovodný studijní text.

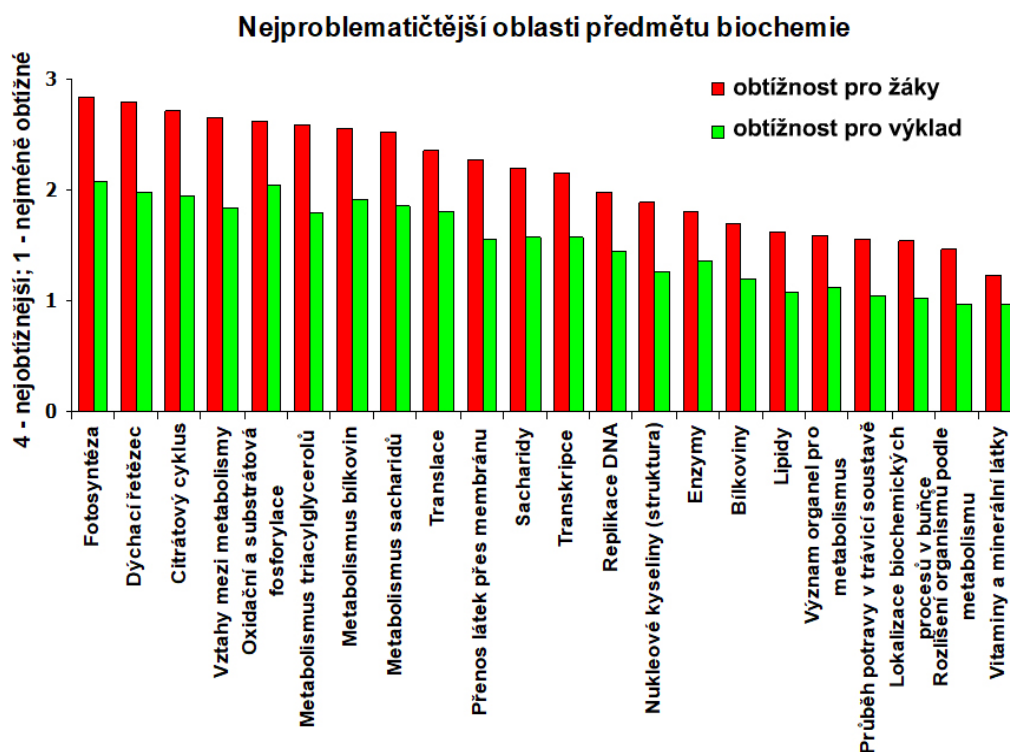
Klíčová slova

Fotosyntéza; Animace; Biochemie; Studiumbiochemie; Vizualizace

ÚVOD

Fotosyntéza je téma, které se objevuje již v učivu prvouky a následně přírodovědy na prvním stupni základních škol. Dále bývá začleněna do učiva přírodopisu a chemie na 2. stupni základní školy a na střední škole pak zpravidla do prvního ročníku předmětu biologie (v rámci biologie buňky) a následně též do učiva předmětu chemie (v rámci biochemie), který je většinou vyučován ve 3. ročníku střední školy.

Vzhledem ke komplexnosti celého procesu, je téma velmi náročné na žákovo pochopení, ale též i pro učitelův výklad, což dokládají výsledky dotazníkového šetření, kterého se zúčastnilo 104 středoškolských učitelů (Teplá & Klímová, 2011). Z šetření vyplynulo, že téma fotosyntéza je dokonce z nabídky témat předmětu biochemie nejnáročnější ve vztahu k výuce na středních školách gymnaziálního typu.



Obr. 1 Nejproblématictější oblasti předmětu biochemie na střední škole. Graf znázorňuje 22 dotazovaných biochemických témat seřazených od nejvíce obtížných témat pro žáky po témata nejméně obtížná (Teplá & Klímová, 2011).

VÝUKOVÝ PROGRAM FOTOSYNTÉZA V DYNAMICKÝCH ANIMACÍCH

Z výše uvedených důvodů se autorka práce rozhodla vytvořit přehledné animace, které by téma konkretizovaly. Animace je dynamická vizualizace, při které v průběhu času dochází ke změnám. Z toho důvodu je animace prospěšná především u biologických dynamických procesů (Berney & Bétrancourt, 2016). Dokonce biochemie je typickým oborem, který se bez vizualizačních prostředků neobejde (Schönborn & Anderson, 2006).

Významnou roli při výuce abstraktních témat hraje nepochybně prostorová představivost (Höffler & Leutner, 2011). Autoři výzkumné studie dospěli k závěru, že žáci s horší prostorovou představivostí dosahují mnohem lepších výsledků, když se učí prostřednictvím animací (Höffler & Leutner, 2011).

Výsledkem autorčiny práce byl výukový program s názvem *Fotosyntéza v dynamických animacích*, který byl vytvořen v programu Macromedia Flash Professional 8.0 s využitím programovacího jazyka ActionScript 2.0, v průběhu let byl následně upraven v programu Adobe Animate a doplněn o dynamické prvky (obr. č. 2).

Program je tvořen ze 14 dílčích na sebe navazujících dynamických animací a byl publikován v českém (Roštejská & Klímová, 2008) i anglickém jazyce (Teplá & Klímová, 2014). Výukový program je určen pro žáky chemicky zaměřených středních škol a středních škol gymnaziálního typu (vyšší stupeň), popř. studentům vysokých škol, a jeho hlavním smyslem je umožnit žákům hlubší porozumění procesu

fotosyntézy prostřednictvím pohyblivých animací, které názorně simulují biochemický proces ve vytvořeném modelu rostlinné buňky (Roštejnská & Klímová, 2008).

Učivo a očekávané výstupy vytvořených animací

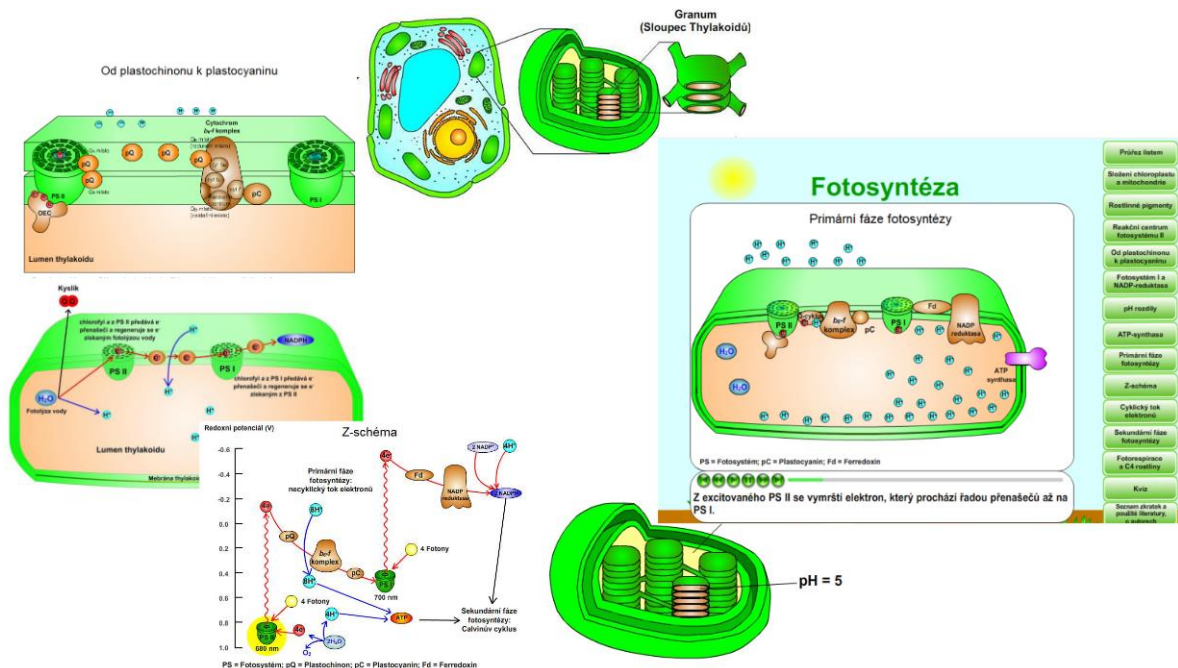
Dále v textu je charakterizováno učivo a očekávané výstupy výukového programu (Roštejnská, 2008).

Učivo vzhledem k RVP G je: Biochemie: sacharidy; Obecná biologie: buňka; Biologie rostlin: fotosyntéza.

Očekávané výstupy výukového programu jsou: Žák ...

- ... vysvětlí podstatu, průběh a funkci fotosyntézy jako jednoho z nejdůležitějších dějů na Zemi;
- ... popíše strukturu chloroplastu a lokalizuje důležité fotosyntetické pochody (primární část fotosyntézy, sekundární část fotosyntézy) v eukaryotní buňce;
- ... vysvětlí podstatu přeměny sluneční energie v energii chemickou;
- ... uvede látky, které se na této přeměně podílejí;
- ... popíše, jak vzniká molekula ATP a molekula NADPH v primárním ději fotosyntézy, a objasní jejich funkci v sekundárním ději fotosyntézy;
- ... objasní funkci vody a oxidu uhličitého pro fotosyntetizující organismy;
- ... popíše průběh syntézy molekuly kyslíku u vyšších rostlin.

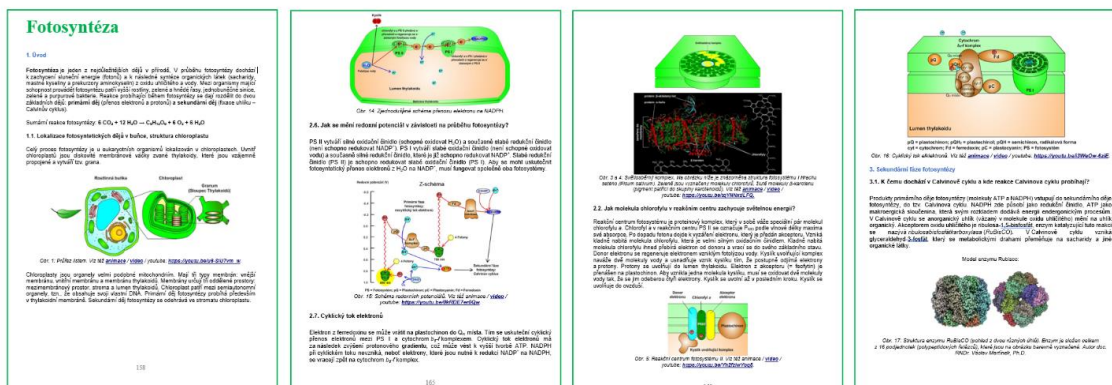
Obsah animací a doprovodného studijního textu se soustředí především na vysvětlení **chemických pochodů** - významu dílčích reakcí a postupných chemických kroků s vazbou na bioenergetiku.



Obr. 2 Výukový program Fotosyntéza v dynamických animacích - úvodní animace a 13 na sebe navazujících dílčích animací včetně interaktivního kvízu.

Studijní text

K výukovému programu byl dopsán doprovodný studijní text (obr. č. 3), který se skládá ze tří hlavních výkladových kapitol (Úvod, Primární fáze fotosyntézy a Sekundární fáze fotosyntézy) a následně představuje kvíz, seznam zkratk (včetně použitého znázornění buněčných struktur a chemických sloučenin) a použitou literaturu.



Obr. 3 Doprovodný studijní text k výukovému programu Fotosyntéza v dynamických animacích.

WWW.STUDIUMBIOCHEMIE.CZ

Výukové materiály - animace (především ve formě videí) a studijní text - jsou volně dostupné na webových stránkách www.studiumbiochemie.cz v českém (http://www.studiumbiochemie.cz/fotosynteza.html) i v anglickém jazyce (http://www.studiumbiochemie.cz/photosynthesis.html) - viz obr. č. 4.

www.studiumbiochemie.cz

Milada Teplá
KUDCH, PFF UK v Praze
email: milada.tepla@natur.cuni.cz

O portálu **Biochemie - základní kapitoly** **Biochemie - mezioborová témata** **Organická chemie**

Další materiály (aplikace / webové nástroje / únikové hry / pokusy pro nejmenší) **DVPP + odkazy**

Biochemie - základní kapitoly

Buňka - úvod

Buňka

Prokaryotní buňka

Eukaryotní buňka

Transport látek přes

Výukové materiály

Nukleové kyseliny a proteosyntéza

Struktura DNA a RNA

Chromosom

Genetická informace

Fotosyntéza - úvod

Pro běžnou výuku ve vyšších ročnících gymnázia / střední školy doporučuji následující materiály (videa a studijní text):

Videa:

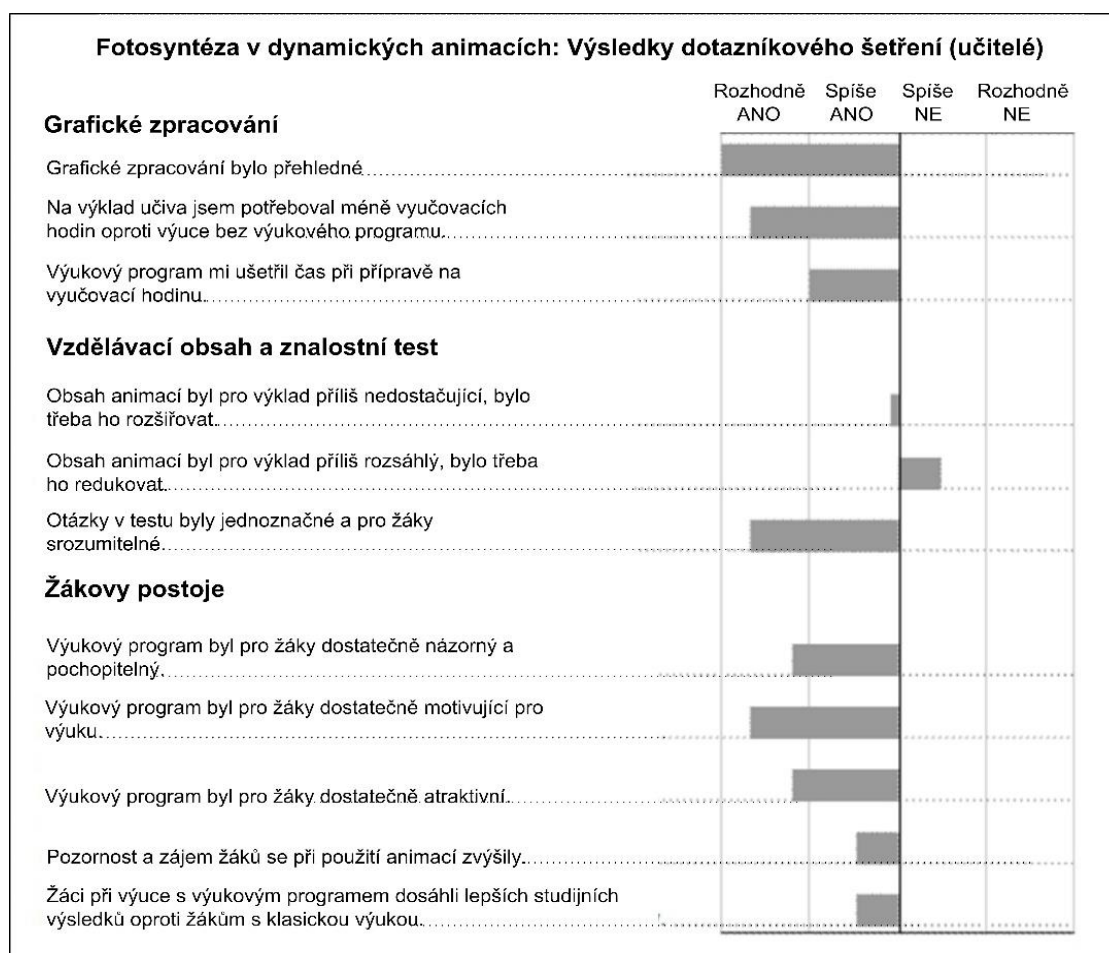
Průřez listem - [video](#), [youtube](#)

Složení chloroplastu - [video](#), [youtube](#)

Obr. 4 Webové stránky www.studiumbiochemie.cz a ukázka kapitoly Fotosyntéza.

OVĚŘENÍ MATERIÁLŮ VE ŠKOLNÍ PRAXI

Výukový program *Fotosyntéza v dynamických animacích* byl poskytnut osmi středoškolským učitelům chemie, kteří výukový program vyzkoušeli ve školní praxi (odučili podle něj celé téma fotosyntéza) a následně prostřednictvím dotazníkového šetření a výstupních rozhovorů hodnotili grafické zpracování animací, výběr biochemického učiva, žákovy postoje a vhodnost výukového materiálu pro výuku biochemie na střední škole (Roštejnská & Klímová, 2009). Výsledky orientačního šetření jsou uvedeny na obr. č. 5. Z realizovaného šetření vyplynulo, že výukový program je vhodný pro výukové účely. Většina dotázaných učitelů potvrdila, že používání tohoto programu snižuje náročnost přípravy hodin. Bylo také zjištěno, že program je pro žáky přehledný, snadno pochopitelný a též atraktivní. V neposlední řadě bylo zjištěno, že žáci dosahovali lepších studijních výsledků než tradičně vzdělávání žáci, zvýšila se jejich pozornost a také motivace k dosahování lepších výsledků (Roštejnská & Klímová, 2009; Teplá & Klímová, 2014).



Obr. 4 Hodnocení výukového programu *Fotosyntéza v dynamických animacích*. Výsledky dotazníkového šetření určeného pro učitele (upraveno dle: Teplá & Klímová, 2014).

ZÁVĚR

Fotosyntéza je tématem velmi náročným jak pro žákovu porozumění, taktéž pro učitelův výklad. Důvodem je komplexnost, mezioborovost a především vysoká abstraktnost tématu.

Vhodným řešením pro zefektivnění procesu výuky se ukázaly být dynamické animace, které jsou podpořeny studijním textem.

Přestože animace s doprovodným textem vznikly před více jak 10 lety (v českém jazyce), stále jsou mezi učiteli středních škol oblíbené a používané.

LITERATURA

Berney, S. & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 101, 150-167. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005>

Höffler, T. N. & Leutner, D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations— Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 209–216. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.chb.2010.07.042>

Roštejnská, M. (2008). Biochemie ve středoškolském vzdělávání [disertační práce]. Univerzita Karlova v Praze.

Roštejnská, M. & Klímová, H. (2008). Fotosyntéza v dynamických animacích. In: *Current Trends in Chemical Curricula: Sborník příspěvků z konference (s. 73-76)*. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze (1. vyd.). https://web.natur.cuni.cz/ctcc/CTCC_Proceedings.pdf

Roštejnská, M. & Klímová, H. (2009). Simulace fotosyntetických pochodů prostřednictvím programu Macromedia flash. In: J. Kmeťová & M. Lichvárová (Eds.). *Súčasnost a perspektívy didaktiky chémie II: Sborník příspěvků z konference (p. 81-84)*. Banská Bystrica, SR: Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela Banská Bystrica (1. vyd.).

https://www.researchgate.net/publication/344750692_SIMULACE_FOTOSYNTETICKYCH_POCHODU_PROSTREDNICTVIM_PROGRAMU_MACROMEDIA_FLASH_SIMULATION_OF_THE_PROCESS_OF_PHOTOSYNTHESIS_IN_MACROMEDIA_FLASH

Schönborn, K. J. & Anderson, T. R. (2006). The importance of visual literacy in the education of biochemists. *Biochemistry and molecular biology education*. 34(2), 94-102. <https://doi.org/10.1002/bmb.2006.49403402094>

Teplá, M. & Klímová, H. (2011). Obsah učiva biochemie a používání počítačové technologie na středních školách v ČR - výsledky dotazníkového šetření. *Media4u Magazine*. 8(X3), 122-128. https://www.researchgate.net/publication/344750501_Media4u_Magazine

Teplá, M. & Klímová, H. (2014). Photosynthesis in dynamic animations. *Journal of Chemical Education*. 91, 149-150. <https://doi.org/10.1021/ed300213h>

Kontaktní adresa

Doc. RNDr. Milada Teplá, Ph.D.

Katedra učitelství a didaktiky chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika

Email: milada.tepla@natur.cuni.cz

Fotosyntetická tvorba biomasy v kontextu trvale udržitelné krajiny – aktuální vědecké poznatky, principy a podklady pro výuku

Jan Pokorný, Petra Hesslerová

Abstrakt

Příspěvek přináší aktuální vědecké poznatky o roli biomasy v distribuci sluneční energie v krajině založené na výzkumu a monitoringu energetických toků v krajině, který dlouhodobě provádí ENKI, o.p.s. Úvodem je vysvětlena distribuce sluneční energie v kulturní krajině a její podíl vázaný v rostlinné biomase fotosyntézou a množství vázané do vodní páry transpirací rostlin. Průměrné měsíční sumy sluneční energie ukazují 5x vyšší příkon v letních měsících oproti zimě. Na grafu je ukázán zásadní vliv oblačnosti na příkon sluneční energie. Pojmy čistá a hrubá primární produkce jsou vysvětleny na příkladu měření fotosyntézy metodou světlých a tmavých lahví a s využitím rovnice fotosyntézy vypočtena produkce biomasy z naměřených hodnot koncentrací kyslíku. Limity využívání biomasy jako zdroje energie ukázány na příkladu spotřeby energie průměrné domácnosti. Příspěvek uzavírá schéma toků vody, energie a látek v kulturní krajině.

Klíčová slova sluneční energie, fotosyntéza, transpirace, primární produkce, oběh vody, klima

ÚVOD

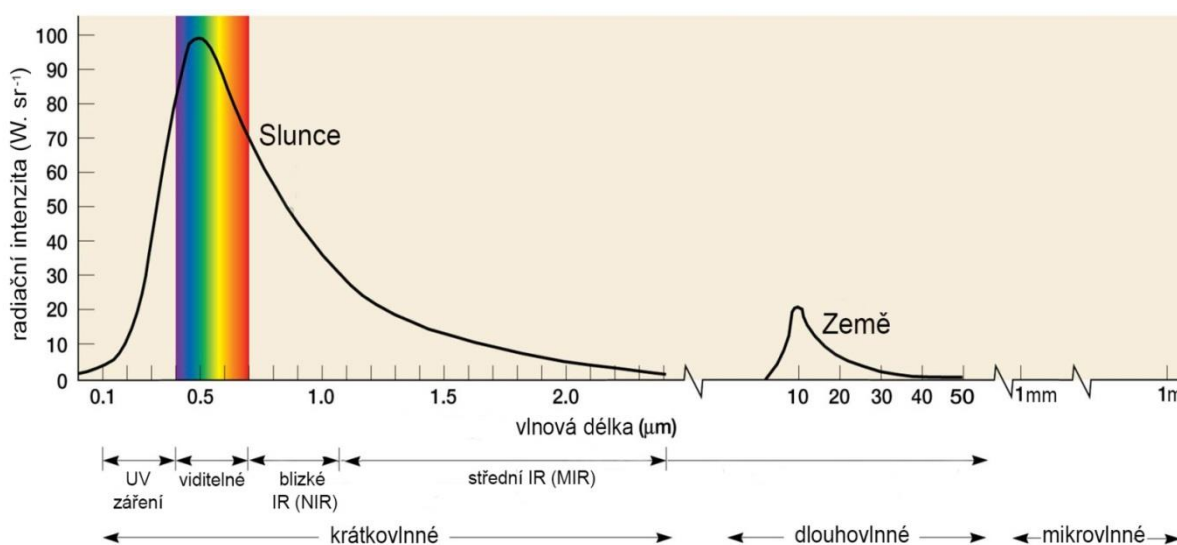
V tomto příspěvku shrneme znalosti o příkonu a distribuci sluneční energie, o množství energie vázané v biomase rostlin a jejím přenosu v potravním řetězci, o schopnosti rostlin chladit sebe a své okolí výparem vody a vyrovnávat tak rozdíly teplot i udržovat v chodu oběh vody a zajišťovat přísun vlhkého vzduchu od oceánů na pevninu. Výklad je na úrovni základních znalostí fyziky, chemie a biologie.

Zaměřujeme se na základní pojmy a fakta o sluneční energii a její přeměny zprostředkované vodou a vegetací. Slunce ohřívá naši planetu o 290 °C. Slunce má povrchovou teplotu okolo 6000 K a vysílá krátkovlnné záření, jehož podstatnou část tvoří světlo. Sluneční energie se částečně odráží, ohřívá povrch terénu a ten vyzařuje dlouhovlnné záření do atmosféry. Další osud sluneční energie záleží na tom, zda je přítomna voda. Suchý povrch se ohřívá a od něj se ohřívá vzduch, zatímco z vlhkého povrchu se vypařuje voda a sluneční energie se váže do skupenského/latentního/skrytého tepla vodní páry. Rostliny zásobené vodou vypařují vodu průduchy, ochlazují se tak a menší část sluneční energie váží do biomasy, kterou vytvářejí fotosyntézou z oxidu uhličitého.

Sluneční energie a její přeměny

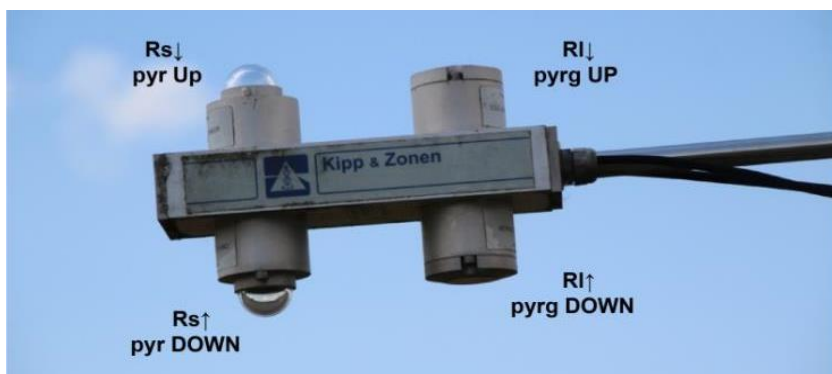
V průběhu roku přichází na vnější vrstvu zemské atmosféry $1351 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ až $1431 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sluneční energie, podle vzdálenosti Země od Slunce na její eliptické dráze. Solární konstanta je příkonem sluneční energie v konstantní vzdálenosti od Slunce, její hodnota je $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, dlouhodobé výkyvy jsou několik $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (0.1 %). Hodnoty solární konstanty udávané v literatuře se liší v rozsahu několika $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, důvodem je, že sluneční energii nelze měřit s přesností jednoho wattu, tedy s přesností na jedno promile.

Slunce ohřívá naši planetu o cca $290 \text{ }^\circ\text{C}$, bez sluneční energie by byla atmosféra tuhá a neexistoval by život. Na obr. 1 je znázorněno spektrum slunečního záření s největším podílem v oblasti viditelného záření (světlo) a dále blízké a střední záření infračervené (tepelné) a UV záření ve vlnových délkách kratších než 400nm . Země, která má povrchovou teplotu $20\times$ nižší (290 K) nežli je povrchová teplota Slunce vysílá dlouhovlnné (tepelné záření v oblasti okolo $10\ 000\text{nm}$ ($10\mu\text{m}$)). Sluneční energie tedy ohřívá Zemi a ta vyzařuje do chladného vesmíru dlouhovlnné záření (teplo), rychlost chladnutí omezuje atmosféra, která částečně pohlcuje dlouhovlnné záření (Pokorný et al. 2021).

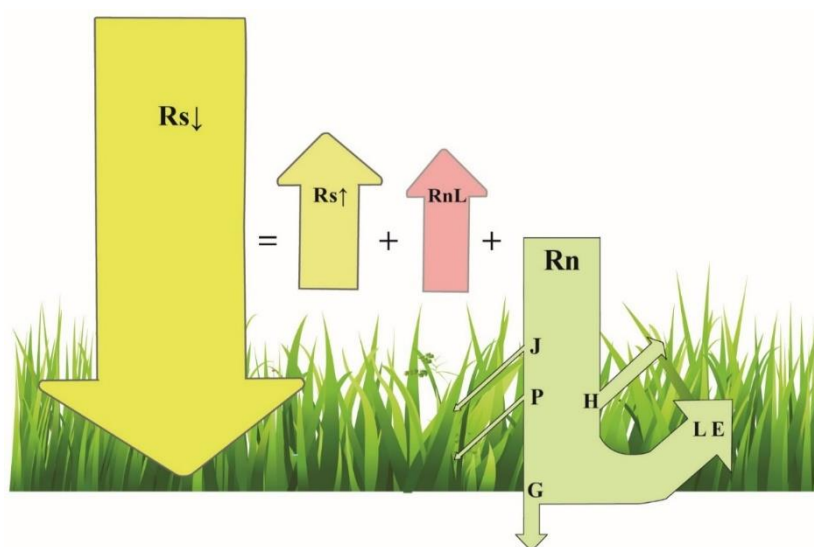


Obr. 1 Intenzita radičního toku slunečního záření (krátkovlnné) a tepelného záření Země (dlouhovlnné) (McKnight a Hess 2007, upraveno).

Sluneční záření (krátkovlnné) se měří tzv. solarimetrem (pyranometrem) a dlouhovlnné (tepelné) záření se měří pyrgeometrem. Název pyranometr je složen z řeckých slov "pyr", znamenajícím oheň a "ano" označující oblohu. Pyrgeometr je přístroj pro měření efektivního dlouhovlnného vyzařování. Těleso (čidlo) má teplotu okolního vzduchu a vyzařuje dlouhovlnné záření do oblohy, případně druhé vyzařuje vůči zemi.

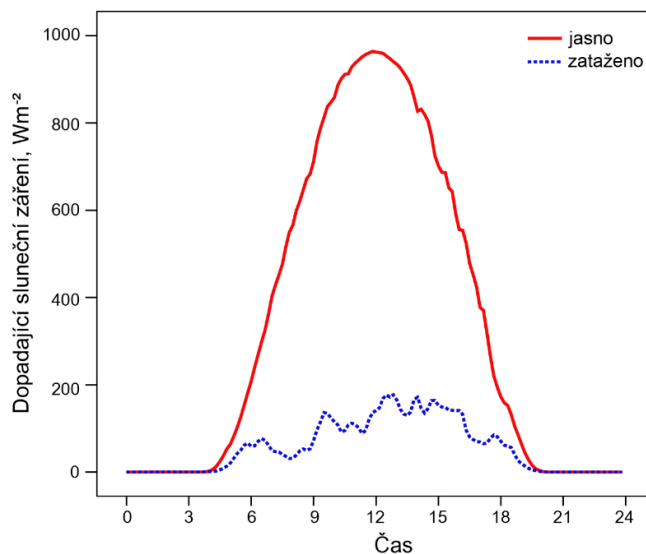


Obr. 2 Netradiometer měří dopadající sluneční záření ($R_{s\downarrow}$), odražené sluneční záření ($R_{s\uparrow}$), tok tepla do atmosféry (dlouhovlnné R_{nL}), který sestává z toku dlouhovlnného záření mezi čidlem (pyrg UP) a oblohou a mezi čidlem (pyrg DOWN) a povrchem země (Pokorný et al. 2023).

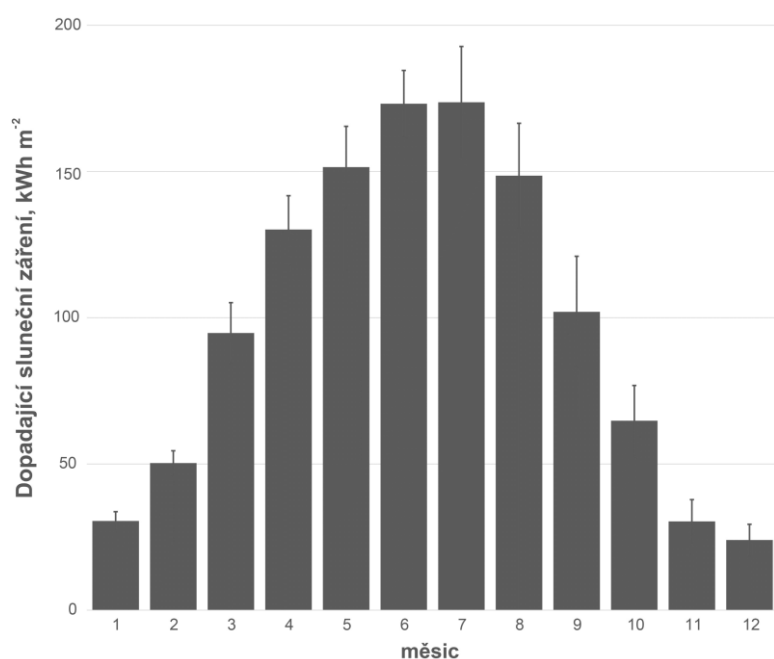


Obr. 3 Schéma toků sluneční energie dopadající ($R_{s\downarrow}$), odražené ($R_{s\uparrow}$) a toku dlouhovlnného záření (R_{nL}) od povrchu země do atmosféry. R_n je čistá energie (net radiation), LE = latentní výparné teplo vody, H = zjevné teplo, J = ohřev porostu, P = fotosyntéza, G = tok tepla do půdy (Pokorný et al. 2023).

Množství dopadající sluneční energie v daném období roku závisí na oblačnosti. Oblaka tlumí příkon sluneční energie. Na obr. 4 je uveden příklad příkonu sluneční energie za jasné a zatažené oblohy. Množství dopadající sluneční energie se podstatně mění podle úhlu Slunce nad obzorem a tím i délky sluneční expozice. Na obrázku 5 jsou průměrné měsíční sumy dopadající sluneční energie na experimentální stanici Domanín u Třeboně, za období 2012–2022. Je zřejmé, že v listopadu, prosinci a lednu přichází 5x méně sluneční energie nežli od května do září. Na území ČR přichází za rok okolo 1100 kWh.m⁻². Množství přicházející sluneční energie se od konce 20. století zvyšuje, což je způsobeno úbytkem oblačnosti. V tropických oblastech dopadá nejvíce sluneční energie v pouštích (Niger 2400 kWh.m⁻², Kongo, Amazonie 1700 kWh.m⁻²). Odkaz na dostupné mapy celoročního příkonu sluneční energie viz: Open Street Map (2024).



Obr. 4 Průměrné denní průměry dopadajícího slunečního záření za jasné a zatažené oblohy ($W \cdot m^{-2}$) na meteorologické stanici ENKI v Domaníně.



Obr. 5 Průměrné měsíční úhrny dopadajícího slunečního záření ($kWh \cdot m^{-2}$) z období 2012–2022 na meteorologické stanici ENKI v Domaníně.

Sluneční energie vázaná v biomase rostlin.

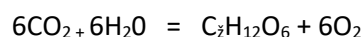
Fotosyntézou do se do rostlinné biomasy váže velmi malý podíl sluneční energie. V našich podmínkách mírného pásma se za rok fotosyntézou vytvoří za optimálních podmínek 1kg biomasy na jednom metru čtverečním. 1 kg suché rostlinné biomasy sestávající hlavně z polysacharidů (celulóza, škrob), dále bílkovin na tuků má energetický obsah (spalné teplo) okolo 18 MJ. kg^{-1} (5 kWh. kg^{-1}). Protože na $1m^2$ přichází za rok u nás okolo 1100 kWh sluneční energie, je zřejmé, že se fotosyntézou do biomasy váže

nejvýše 0,5 %. Tuto skutečnost je nutné mít na mysli při úvahách o využívání rostlinné biomasy jako zdroje energie. V této souvislosti nutno zdůraznit, že fotosyntéza suchozemských (terestrických rostlin) je provázána výparem vody. Na každou molekulu přijatého oxidu uhličitého se uvolní jedna molekula kyslíku a vypaří se (transpiruje) stovky molekul vody. Zatímco do fotosyntézy se váží za slunného dne jednotky wattů na metr čtverečný na výpar vody se spotřebovávají a do vodní páry se váží stovky wattů na metru čtverečném porostu.

Energetický obsah biomasy (spalné teplo, entalpie) se liší podle podílu jednotlivých látek, které tvoří tělo rostliny. Nejmenší obsah energie mají cukry (glukóza 15,4 kJ. g⁻¹, sacharóza 16,5 kJ. g⁻¹). Škrob má kolem 17,4 kJ. g⁻¹, celulóza 17,6 kJ. g⁻¹, lignin 26,3 kJ. g⁻¹. Obecně mají uhlovodíky energetický obsah (spalné teplo) okolo 17,2 kJ. g⁻¹, bílkoviny 23,7 kJ. g⁻¹ a tuky 39,6 kJ. g⁻¹. Často se setkáváme s údajem hmotnosti rostlinné biomasy vyjádřené v množství uhlíku. Protože největší podíl rostlinné biomasy tvoří polysacharidy, vycházíme v přepočtu na biomasu ze sumárního vzorce C₆H₁₂O₆ a uvažujeme 40 % uhlíku v biomase.

ČISTÁ A HRUBÁ PRIMÁRNÍ PRODUKCE

Čistá primární produkce, představuje celkovou energii vázanou rostlinami procesem fotosyntézy. Čistou primární produkci stanovujeme jako přírůstek biomasy na určité ploše nebo v určitém objemu za čas. Stanovuje se též jako spotřebovaný oxid uhličitý, nebo množství vyloučeného kyslíku. Množství vytvořené biomasy se počítá ze sumární stechiometrické rovnice fotosyntézy:



Současně s fotosyntézou probíhá dýchání/respirace v mitochondriích. Fotosyntéza je tedy vyšší, nežli odpovídá množství vytvořené biomasy či produkci kyslíku/spotřebě oxidu uhličitého. Fotosyntéza ještě kompenzuje spotřebu biomasy (cukrů) při dýchání. Tato celková fotosyntéza (primární produkce) se nazývá hrubá.

Příklad stanovení čisté a hrubé fotosyntézy a temnostního dýchání

Měříme fotosyntézu řas v tmavé a světlé lahvi. Počáteční koncentrace kyslíku je 9 mg. l⁻¹. Po hodině expozice na světle stoupla koncentrace kyslíku ve světlé lahvi o 3 mg na 12 mg. l⁻¹ a v tmavé lahvi klesala koncentrace kyslíku na 8,0 mg. l⁻¹. Čistá fotosyntéza je 3 mg na litr za hodinu, hrubá fotosyntéza je 4 mg na litr za hodinu. Přepočet z množství naměřeného kyslíku na biomasu je jednoduchý a opět vychází ze sumární rovnice fotosyntézy:

- 6 molekul kyslíku má molekulovou hmotnost 192
- molekula šesti-uhlíkatého cukru (hexóza) má hmotnost 180

- produkce 180 gramů kyslíku odpovídá syntéze 192 gramů cukru (biomasy)
- produkce 3 mg kyslíku tedy odpovídá nárůstu biomasy o 3,2mg

Je zřejmé, že množství vyprodukovaného kyslíku odpovídá zhruba množství vyprodukované biomasy, tedy čisté primární produkci.

Kolik kyslíku se produkuje a kolik oxidu uhličitého se váže na metru čtverečním případně na 1 ha za rok?

Pro názornost a jednoduchost vycházíme z optimální rostlinné produkce 1 kg biomasy (sušiny) za rok na 1 m². Během roční produkce 1 kg sušiny se uvolní přibližně 1 x 192/180 kg kyslíku. Produkce 1 kg sušiny je tedy provázena produkcí 1,06 kg kyslíku, což podle Avogadrova zákona odpovídá cca 700 litrům kyslíku (1 mol kyslíku (32 g) zaujímá objem 22,4 litru). 6 CO₂ má hmotnost 264 g, a ze 6 CO₂ se vytvoří 180 g C₃H₁₂O₆. Na vytvoření 1 kg biomasy je tedy potřeba 264/180 x více CO₂, tedy 1,46 kg.

Zde se nabízí vysvětlit termín ekosystémová služba. Při fotosyntéze se uvolňuje kyslík vysoké čistoty, na molekulární úrovni. 1 kg kyslíku má objem 700 litrů. Jaká je cena litru čistého medicijního kyslíku? I při velmi nízké ceně 1 litru kyslíku za 1 Kč, je vytvoření 1 kg biomasy provázeno produkcí 700 litrů čistého kyslíku, který má cenu 700 Kč. Tuto „službu“ dostáváme zdarma. Ve skutečnosti je cena kyslíku v různých baleních pro inhalace několika násobná.

BIOMASA JAKO OBNOVITELNÝ ZDROJ ENERGIE

Kolik sluneční energie se naváže fotosyntézou na jednom hektaru louky, lesa, pole, kolik jí sklídíme ve formě biomasy? Jaká je spotřeba energie vaší domácnosti za rok? Kolik domácností lze zásobit energií biomasy sklizené z 1 hektaru?

Na jednom metru čtverečním naroste za rok až 1 kg rostlinné biomasy a naváže se tak až 5 kWh sluneční energie. Na jednom hektaru naroste za rok tedy až 10 000 kg rostlinné biomasy, která obsahuje až 50 000 kWh energie (50 MWh. ha⁻¹). Z této biomasy sklídíme ovšem jen část, protože nesklízíme kořeny a oddenky a část biomasy během vegetační sezóny opadá nebo je spotřebována herbivory a hmyzem. Dále je nutné uvažovat tzv. dodatkovou energii, což jsou hnojiva, pohonné hmoty spotřebované na agrotechniku, sklizeň a dopravu biomasy, počítá se i energie spotřebovaná na výrobu strojů. Je zásadní rozdíl v energetické účinnosti zemědělské produkce v rozvinutých zemích a zemích rozvojových. V rozvinutých zemích je zaměstnáno méně lidí, avšak dodatková energie je vysoká a může být vyšší nežli energie obsažená ve sklizené biomase. Dodatková energie v našich podmínkách je 30–50 GJ. ha⁻¹ (8–13 MWh. ha⁻¹).

- Sklídíme například 6 tun biomasy (60 metrických centů, 6000 kg) = 30 MWh

- Odečtu 10 MWh dodatkovou energii.
- Zbývá 20 MWh. ha⁻¹ ke spálení s „nějakou účinností“.

Dle profesora F. Hrdličky (ČVUT, ústní sdělení) je průměrná energetická spotřeba domácnosti v ČR 13,5 MWh. Takže 1 ha poskytne energii nanejvýš 2 domácnostem.

POTRAVNÍ ŘETĚZEC

Rostlinná biomasa vytvořená fotosyntézou se uplatňuje zejména v potravním řetězci. Býložravci se živí rostlinnou potravou. Ve vodních ekosystémech se řasami živí drobní korýši – perloočky (zooplankton se živí fytoplanktonem) a dalším stupněm potravního řetězce jsou ryby, které se živí zooplanktonem, nejnámější je kapr. Účinnost přenosu energie je okolo 10 %. Z 1 kg sušiny řas tedy vznikne 0,1 kg sušiny perlooček a 0,01 kg biomasy kapra. Autotrofní organismy (řasy, sinice) jsou požírány zooplanktonem (perloočky = *Cladocera*) a ten je požírán rybami (kapr, bělice, karas, střevlička východní) a ty jsou požírány dravou rybou (predátoři – okoun, štika, candát). Na vrcholu tzv. potravní pyramidy jsou volavka, kormorán, vydra.

V rybnících je většinou rychlost fotosyntézy, tvorba biomasy rychlá, protože je v nich dostatek živin. Rybníky jsou úživné = eutrofní. Za slunného dne lze rychlost fotosyntézy stanovit měřením změny koncentrace kyslíku přímo v rybníku ve vertikálním profilu vodního sloupce, tedy měřením koncentrace kyslíku v několika hloubkách od hladiny ke dnu a z nárůstu koncentrací kyslíku v určité vrstvě vypočítat rychlost tvorby biomasy. Například ve v poledne ve 12 hodin byla v hloubce 20 cm koncentrace kyslíku 12 mg. l⁻¹ a ve 13 hodin 13,3 mg. l⁻¹. Ve vrstvě 20 cm se vytvořilo 1,3 mg kyslíku na litr. V této vrstvě se tedy vytvořilo přibližně 1,3 mg sušiny rostlinné biomasy v každém litru vody.

ZÁVĚR

Sluneční energie za slunného dne přichází v intenzitě až 1000 W.m⁻². Přibližně 20 % se odráží, ohřívá se krajinný povrch, který vyzařuje dlouhovlnné záření (teplo) do oblohy v celodenní bilanci okolo 30 %. Méně než 1 % sluneční energie se váže fotosyntézou do biomasy a nejvýše několik % ohřívá půdu. Pokud jsou přítomny rostliny a voda, váže se podstatná část (desítky %) sluneční energie do latentního tepla výparu, tedy do vodní páry. Pokud voda přítomná není, ohřívá se povrch terénu na teplotu i vyšší než 40 °C, od přehřátého povrchu se ohřívá vzduch, který rychle stoupá vzhůru a strhává sebou vzduch a vlhkost z okolí. Pokud bychom chtěli využívat biomasu jako obnovitelný zdroj energie, musíme si uvědomit následující čísla. Na jednom hektaru naroste za rok až 10 000 kg rostlinné biomasy, která obsahuje až 50 000 kWh energie (50 MWh. ha⁻¹). Vše však nesklidíme, něco spotřebují jiné organismy, odečteme dodatkovou energii na její zpracování a účinnosti a máme k dispozici 20 MWh. ha⁻¹. Tato energie biomasy, sklizená z 1 ha poskytne energii nanejvýš 2 domácnostem za rok.

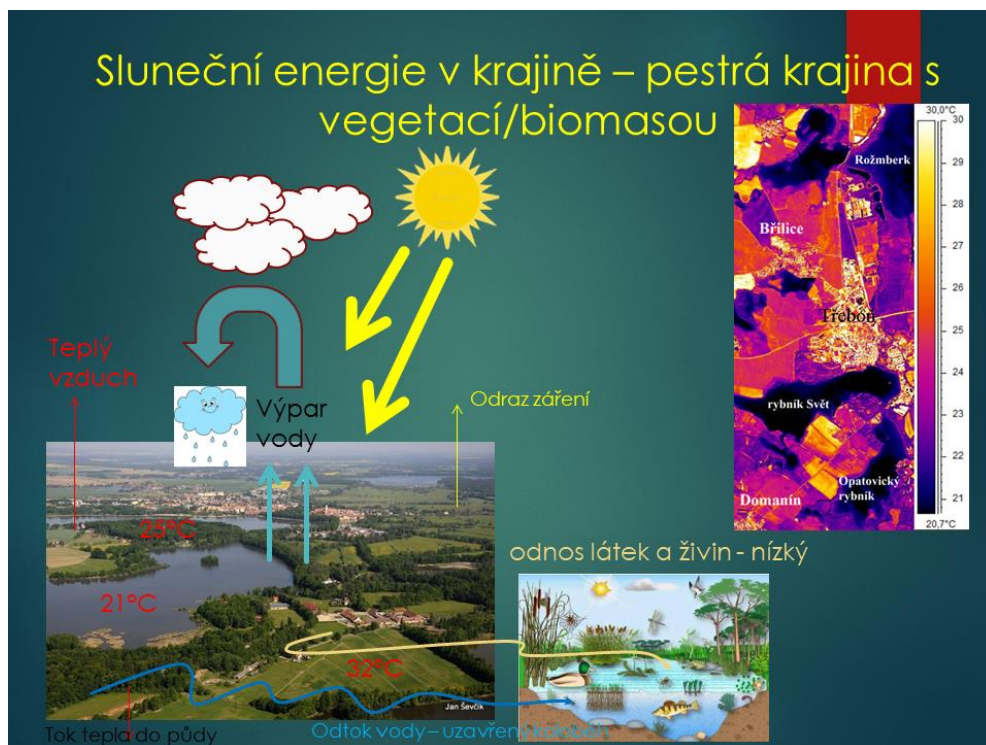
Fotosyntézou staví rostliny svá těla a současně utváří svoje prostředí. Teplotnost neboli homoiotermie je schopnost živočichů zajišťovat **teplotní** homeostázu, tedy udržovat svou tělesnou teplotu na konstantní úrovni. Rostliny udržují teplotu svojí a okolí větší intenzitou nežli teplokrevní živočichové, rostliny dokáží chladit intenzitou několik set wattů na metru čtverečném procesem paralelním s fotosyntézou – průduchy přijímají oxid uhličitý, vylučují kyslík a vypařují vodu. Na obrázku 6 je termovizní snímek divizny, která na plném slunečním svitu udržuje svoji teplotu pod 30 °C, zatímco povrchová teplota půdy v těsné blízkosti přesahuje 60 °C. Ve stínu stromů v parku vytvářeném výparem vody (transpirace) je teplota nižší než 30 °C. Postavy mají vyšší povrchovou teplotu a cítí se zde příjemně.



Obr. 6. termovizní snímek divizny a teplotní poměry ve stínu stromů v parku.

Na obrázku č. 7 je znázorněn holistický pohled na toky energie, vody a látek v kulturní krajině. Termovizní snímek ukazuje rozložení povrchových teplot za slunného dne. Nejnížší teploty má vodní hladina a rostoucí vegetace zásobená vodou, nejvyšší povrchovou teplotu mají střechy domů, odvodněné a vydlážděné plochy ale i sklizené pole bez rostlin. Vzduch se ohřívá na odvodněných a přehřátých plochách, stoupá rychle vzhůru a nasává i okolní vzduch a vynáší vlhkost vysoko do atmosféry. Naproti tomu z rybníků a vegetace zásobené vodou se vypařuje voda, sluneční energie se neuvolňuje jako tzv. teplo zjevné, ale je vázána ve vodní páře. Vzduch s vodní párou (vysoká relativní vlhkost) stoupá zvolna vzhůru a po několika stech metrech dosahuje teplota rosného bodu, tvoří se mrak a místní déšť, voda se vrací zpět ve formě deště. Současně poklesne tlak v okolí oblaků, ze kterých prší. Pokud převládají odvodněné a přehřáté plochy, krajina se vysušuje stoupavými proudy přehřátého vzduchu. Vegetace zásobená vodou, rybníky a další mokřady poskytují podmínky pro

fotosyntézu, primární produkci, biodiverzitu, zadržují živiny v biomase a současně upravují místní klima.



Obr. 7. Rozložení povrchových teplot podle krajinného pokryvu za slunečního dne v kulturní krajině. Oběh vody a stoupavé proudy ohřátého vzduchu nad odvodněnými plochami.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen TACŘ 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.

LITERATURA

Open Street Map (2024, den, měsíc). Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/map>

McKnight, W., S. & Hess, D. (2007). *Physical geography: a landscape appreciation* (9th ed.). Upper Saddle River.

Pokorný, J., Ryplová, R., Hesslerová, P., Jirka, V., & Vácha, Z., (2021). *Slunce – voda – rostliny – klima. Podklady k poznání a výuce*. ENKI, o.p.s. Třeboň. <https://projekty.pf.jcu.cz/svv/>

Pokorný, J., Procházka, J., Jirka, V., Huryna, A., & Hesslerová, P. (2023). Lze nárůst příkonu sluneční energie a teplot vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší? *Vodní hospodářství*, 73(12), 2-8.

Funkce vegetačního pokryvu v malém povodí. Distribuce sluneční energie, bilance vody a látek – 25 let monitoringu tří experimentálních povodí: odvodněná pastvina, mokřady, les

Jan Procházka, Martin Černý

Abstrakt

Příspěvek shrnuje význam vegetačního pokryvu, zejména pak nadzemní biomasy rostlin, pro utváření krajiny a jejich funkčních charakteristik. Na příkladu tří experimentálních povodí s rozdílným vegetačním pokryvem a využitím území jsou dokumentovány rozdíly v hodnocených parametrech, jakými jsou zejména odtok vody a ztráty látek z krajiny, rozdělení a vývoj dopadající sluneční energie a teplotních projevů povrchu krajiny. Odvodněné povodí Mlýnského potoka s převažujícími pastvinami je srovnáváno se zalesněným povodím Bukového potoka a povodím Horského potoka, jehož krajinný pokryv je tvořen krajinnou mozaikou s mokřady, lesem a loukami. Z povodí Mlýnského potoka s minimem nadzemní biomasy rostlin odchází nejvíce vody spadlé ve srážkách, nejvíce ve vodě rozpuštěných látek a plochy tohoto povodí se přes letní dny nejvíce přehřívají. Dokumentované rozdíly více než 25 let podrobného monitoringu tří experimentálních povodí jsou názorné pro další aplikovaný výzkum, krajinný management a pro oblast vzdělávání a výuky.

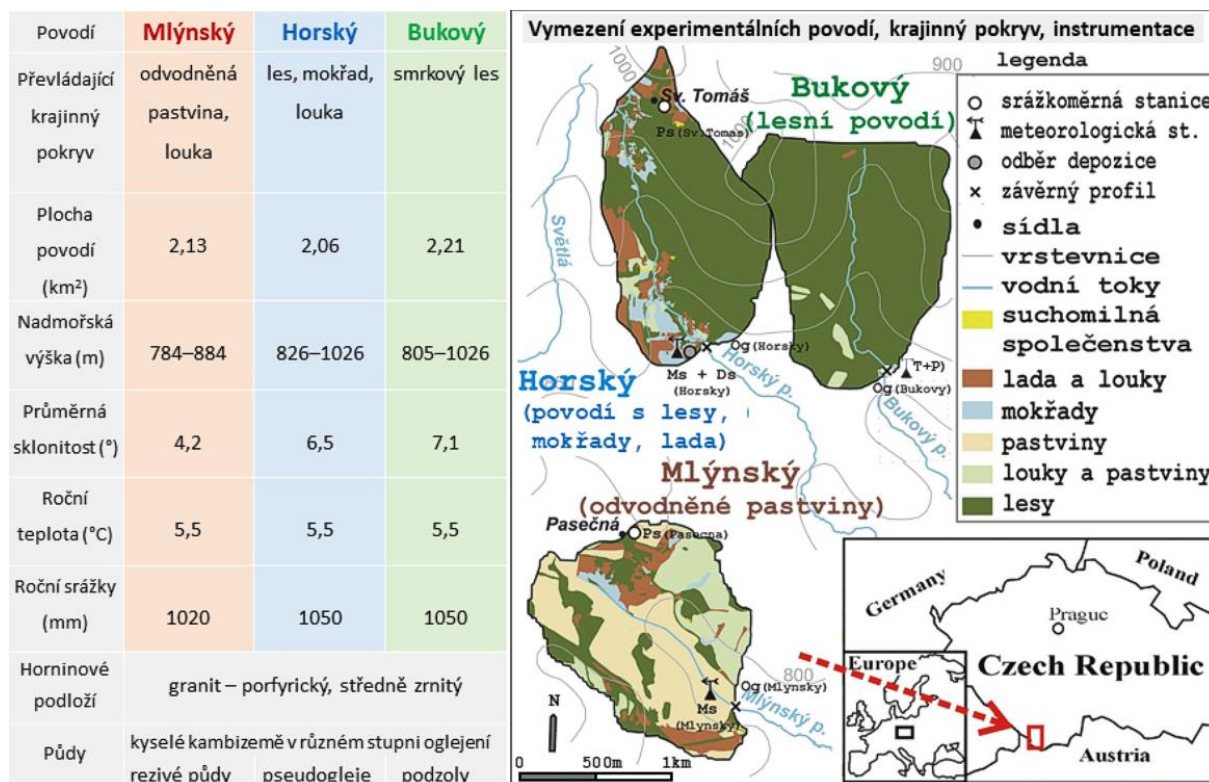
Klíčová slova

Malá experimentální povodí, vegetační pokryv, odvodnění, odtok, ztráty látek

ÚVOD

Dlouhodobý monitoring parametrů životního prostředí je nedílnou součástí vědeckého výzkumu a získávání poznatků pro praktický management krajiny. Procesy probíhající v okolním prostředí a ekosystémech jsou ovlivněny způsobem obhospodařování krajiny, stavem a typem krajinného pokryvu – vegetace. Množství a stav vegetace (biomasy rostlin) se významným způsobem podílí na usměrňování energetických, vodních a látkových toků v krajině. To se potvrzuje na příkladu tří malých experimentálních povodí o rozloze cca 2 km², která byla založena v oblasti tzv. Lipenského pravobřeží v blízkosti hranic s Rakouskem v průběhu roku 1997 (Obr. 1). V souvislosti s podrobnou dokumentací krajiny, zejména klimatu, vegetačního pokryvu, půd a hospodaření v jednotlivých povodích, jsou zde hodnoceny integrální parametry funkčnosti krajiny, kterými jsou v tomto případě teplotní projevy jejího povrchu, množství a dynamika odtoku vody, ztráty v podobě množství rozpuštěných látek v odtékající vodě. Pro účely tohoto příspěvku jsou zde prezentovány některé již publikované výsledky.

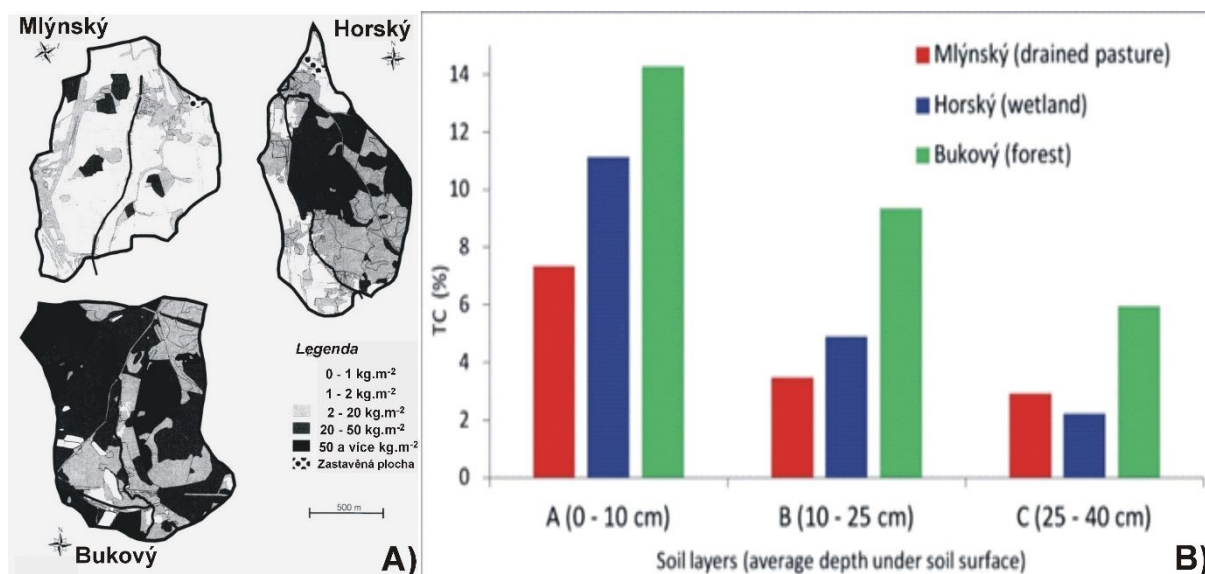
výzkumu na experimentálních povodích, zpravidla více formou upravených obrázkových výstupů s odkazy na použité zdroje.



Obr. 1. Základní charakteristika a vymezení experimentálních povodí (Procházka et al., 2023a).

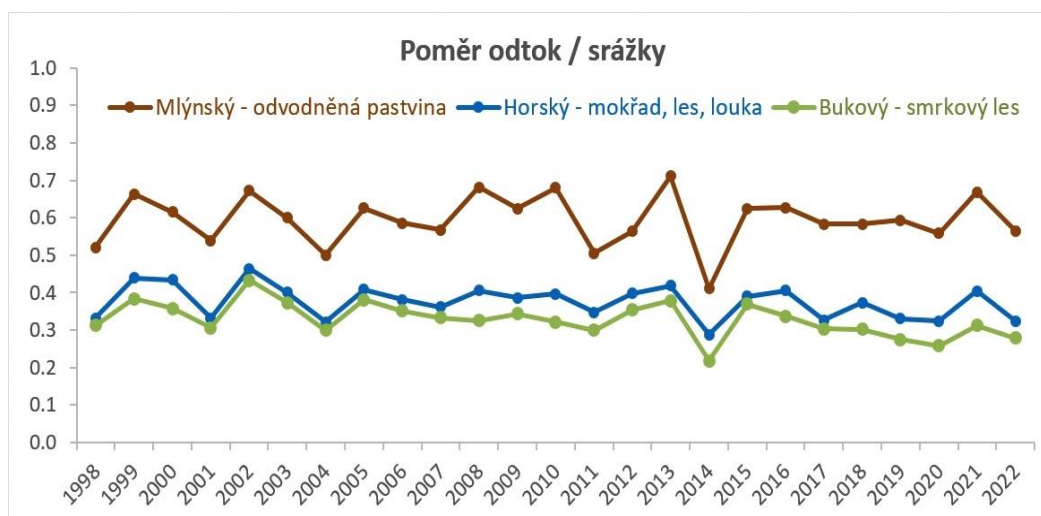
VÝSLEDKY

Stav vegetačního krytu má zásadní význam pro životní prostředí a krajinu, její vzhled, produkční i mimoprodukční funkce. Monitoringu vegetačního krytu a způsobu hospodaření na experimentálních povodích Mlýnského, Horského a Bukového potoka byl věnována od počátku náležitá pozornost. Na základě měření a dostupných údajů bylo vypočteno, že roční přírůstky nadzemní biomasy rostlin jsou na plošně téměř stejných povodích srovnatelné, většinou v průměru do 0,5 kg sušiny nadzemní biomasy na 1 m čtvereční (v živé biomase je to kolem 2 kg.m⁻²). Naproti tomu množství celkové nadzemní biomasy, která se dlouhodobě na povodích ve vegetační sezoně vyskytuje, se významně liší. Na povodí Mlýnského potoka (odvodněné pastviny s drobnými lesíky) je množství živé nadzemní biomasy rozpočítané na průměr z celé plochy povodí přibližně 5 kg.m⁻², na povodích Horského (krajinná mozaika s lesem, mokřady, loukami) a Bukového potoka (převažující smrkový les) je průměrné množství přibližně 25 resp. 30 kg.m⁻² (Obr. 2A). V půdě má kromě dalších vlastností zásadní vliv nejen pro růst vegetace, ale i bilanci vody a látek v krajině půdní organická hmota. V případě půdního organického uhlíku (SOC), který je hlavní složkou organických látek v půdě, bylo na základě odběrů, analýz a měření vypočteno, že v povodí Horského a Bukového potoka je zásoba SOC 1,5 až 2krát vyšší než v případě půd odvodněného povodí Mlýnského potoka (Obr. 2B).



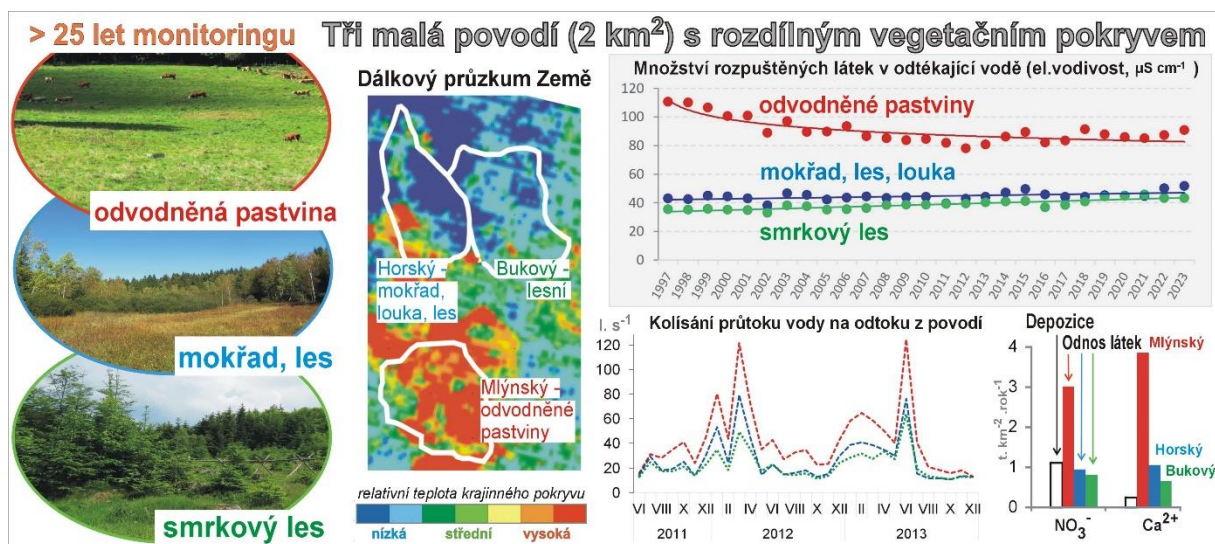
Obr. 2. A) Plošná distribuce živé nadzemní biomasy v jednotlivých povodích (upraveno podle Procházka et al., 2003; Procházka et al., 2006), B) podíl půdního organického uhlíku v hloubkových profilech půdy (Procházka et al., 2019).

Výsledky dlouhodobého monitoringu na povodích s rozdílným krajinným pokryvem ukázaly, že z povodí s minimem vegetace a ovlivněným vodním režimem (systematicky odvodněné pastviny povodí Mlýnského potoka) odtéká téměř 60 % vody spadlé ve srážkách (Obr. 3), průtok i teplota odtékající vody vykazuje vyšší rozkolísanost, z půdy odvodněného povodí se odtokem ztrácí podstatně více rozpuštěných látek, plochy v povodí se přes den výrazně více přehřívají. V porovnání s tímto jsou hodnocena povodí s převažujícím lesem (smrkový les povodí Bukového potoka) a povodí s typickou šumavskou krajinnou mozaikou lesa, luk, lad a mokřadů (povodí Horského potoka). Z těchto dvou povodí odtéká ve výsledku menší podíl vody spadlé ve srážkách (33, resp. 38 %), povrchové teploty jsou vyrovnanější. Ztráty látek jsou výrazně nižší (Obr. 4).

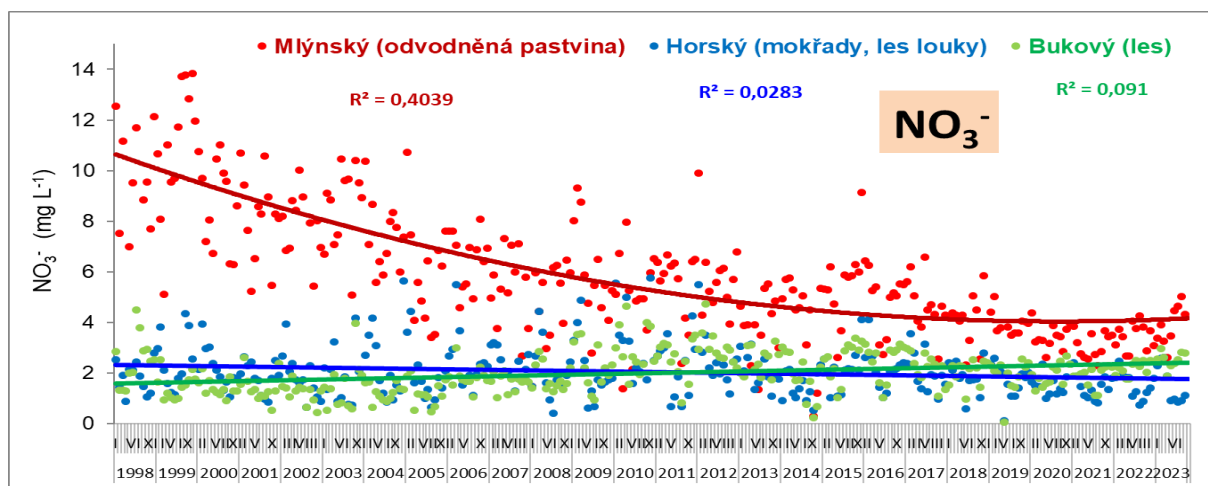


Obr. 3. Podíl množství odtoku vody z povodí závěrným profilem na jednotlivých potocích k celkovému úhrnu srážek spadlých do povodí (poměr odtok / srážky) za období 1998–2022.

Průměrné hodnoty elektrické vodivosti vyjadřující množství rozpuštěných látek v odtékající vodě jsou v těchto dvou povodích v rozmezí 38 až 44 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, zatímco v potoce na odvodněném povodí Mlýnského potoka se pohybují okolo 90 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Obr. 4). S tím korespondují například také koncentrace dusičnanů (Obr. 5), které jsou v prvním případě na srovnatelné průměrné hodnotě 2 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, zatímco z Mlýnského potoka odtékají rozpuštěné ionty NO_3^- o průměrné koncentraci několikrát vyšší, i když s významně klesajícím průběhem.



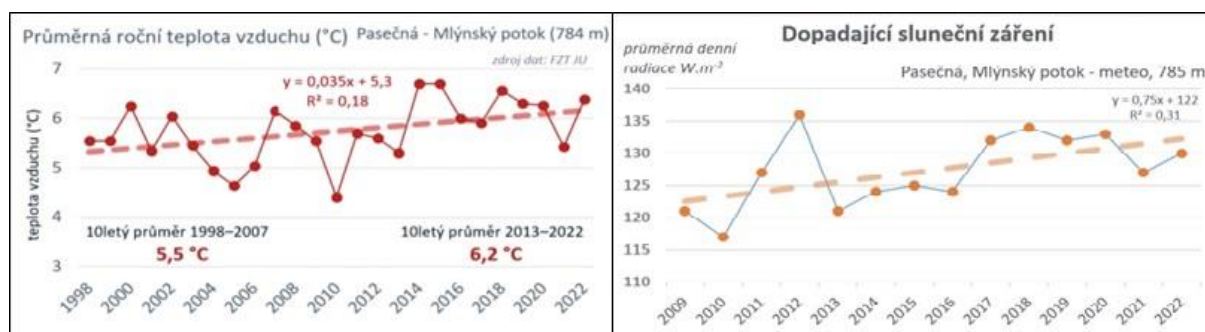
Obr. 4. Grafický abstrakt charakterizující dlouhodobý monitoring na třech povodích s vyjádřením rozdílů ve využití území (vegetační pokryv), teplotních projevech povrchu krajiny, odtoku vody a látek (upraveno podle Procházka et al., 2019).



Obr. 5. Rozdíly v koncentraci dusičnanů (NO_3^-) rozpuštěných v odtékající vodě z jednotlivých povodí za období 1998–2023 (upraveno podle Procházka et al., 2023b).

Pro měření teplotních projevů krajiny lze kromě pozemní sítě meteorologických stanic využít satelitní data dálkového průzkumu Země, která lze díky dostupnému archivu hodnotit i zpětně. Data termálních kanálů některých družic nám tak při použití výpočetních algoritmů umožnila porovnat experimentální povodí celoplošně a výsledky ukázaly významně vyšší přehřívání povrchů na odvodněném povodí Mlýnského potoka (Obr. 4).

Více než 25letý komplexní monitoring malých experimentálních povodí v oblasti JV Šumavy mimo jiné poukazuje při dokumentaci setrvalého stavu způsobu hospodaření v oblasti na vývoj parametrů prostředí související s klimatickou změnou. Jedná se například o rostoucí hodnoty průměrné teploty vzduchu (0,35 °C za dekádu) a dopadajícího slunečního záření (zvýšení průměrného denního toku energie o 7,5 W.m⁻² za dekádu), jež jsou společně s dalšími parametry měřeny na výzkumných povodích prostřednictvím experimentálních meteorologických stanic Pasečná, Mlýnský potok a Svatý Tomáš, Horský potok (Obr. 6).



Obr. 6. Lineární trend průměrné roční teploty vzduchu (°C) a průměrné denní intenzity dopadajícího slunečního záření (W.m⁻²) vycházející z hodnot měřených na experimentální meteorologické stanici Pasečná, Mlýnský potok.

ZÁVĚR

Výsledky dlouhodobého monitoringu tří malých experimentálních povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka poukazují na významný vliv vegetačního pokryvu (živé nadzemní biomasy rostlin) pro utváření vodních, látkových a energetických toků v krajině. Získané poznatky jsou významné jak pro další aplikovaný výzkum a praktický management krajiny, tak i pro oblast vzdělávání a výuky.

LITERATURA

Procházka, J., Pokorný, J., Hakrová, P., Kučera, Z., Wotavová, K., & Pechar, L. (2003): Annual budget of cations and biomass in three small mountains catchments. In: J. Vymazal (Ed.), *Wetlands, nutrients, metals and mass cycling*, Backhuys Publishers, Leiden (s. 281-291). Backhuys Publishers, The Netherlands.

Procházka, J., Včelák, V., Wotavová, K., Štíhová, J., & Pechar, L. (2006). Holistic concept of landscape assessment: case study of three small catchments in the Šumava mountains. *Ekológia*, 25(3), 5–17. https://www.researchgate.net/publication/289615046_Holistic_concept_of_landscape_assessment_Case_study_of_three_small_catchments_in_the_Sumava_mountains

Procházka, J., Pokorný, J., Vácha, A., Novotná, K., & Kobesová, M., 2019. Land cover effect on water discharge, matter losses and surface temperature: Results of 20 years monitoring in the Šumava Mts. *Ecological Engineering*, 127, 220–234.

Procházka, J., Černý, M., Tesařová, B., & Vácha, A. (2023a): Experimentální povodí s různým způsobem využití – 25 let monitoringu vodních a látkových toků na Šumavě. In: S. Hnilicová & M. Tesař (Eds.), *Hydrologie malého povodí 2023: Sborník příspěvků z konference* (s. 320-328). Praha, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v. v. i. https://www.ih.cas.cz/wp-content/uploads/2023/02/HMP2023_Sbornik.pdf

Procházka, J., Černý, M., Tesařová, B. & Novotná, K. (2023b). Mlýnský potok - 25 years since the revitalization of the stream bed. In I. Bufková, T. Píček, & Z. Urbanová, *The conference: Evaluating the success of wetlands and watercourses restoration* (pp. 22–22). LIFE for MIREs.
<https://life.npsumava.cz/wp-content/uploads/2023/12/Book-of-abstracts-Vodnany-2023.pdf>

Kontaktní adresa

Jan Procházka a Martin Černý

Katedra aplikované ekologie, Fakulta zemědělská a technologická, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Studentská 1668, 370 05 České Budějovice

Email: prochazkaj@fzt.jcu.cz, cernym11@fzt.jcu.cz

Cesta Marie (*Dafnie*) a Karla (*Aphanizomenon*) od základního výzkumu do učebnice

Marek Baxa, Martin Musil, Miroslav Kummel, Petr Hanzlík, Blanka Tesařová,
Libor Pechar, Jan Pokorný

Abstrakt

Příspěvek přináší metodologii a výsledky terénního experimentu měření fotosyntézy a respirace, který byl proveden v šesti válcích vložených do rybníka v jarním a letním období a je založen na monitoringu změn koncentrace kyslíku. Dále jsou uvedeny příklady denní dynamiky koncentrace kyslíku v rybnících s fytoplanktonem a velkými vodními rostlinami (makrofyty). Výsledky tohoto experimentu byly následně využity při tvorbě digitální vzdělávací platformy pro výuku tématu fotosyntéza vodních rostlin. Fotosyntéza a primární produkce fytoplanktonu ve vodních nádržích je popsána v souvislosti s funkcí potravního řetězce vodní nádrže, tj. navazující sekundární produkce zooplanktonu a dále ryb, jejichž množství a velikost zpětně ovlivňuje rozvoj fytoplanktonu. Efekt živin na rozvoj fytoplanktonu a efekt rybí obsádky na zooplankton a zpětně na fytoplankton je graficky znázorněn na třech schématech. Fotosyntéza fytoplanktonu je zde popsána v širších souvislostech primární produkce i efektu na koncentraci kyslíku, pH a zadržení živin v nádržích v kulturní krajině.

Klíčová slova:

fotosyntéza ve vodě, fytoplankton, zooplankton, koncentrace kyslíku, pH, potravní řetězec

ÚVOD

Fotosyntéza (primární produkce) fytoplanktonu, základ potravního řetězce a její vliv na vodní prostředí

Aphanizomenon je rod sinic, autotrofních bakterií, které vytvářejí fotosyntézou organické látky (Pokorný et al., 2008). Sinice byly prvními primárními producenty na Zemi, svoje těla utvářejí fotosyntézou. Stáří sinic se odhaduje na 3 miliardy let, právě sinice svojí existencí, tj. růstem založeným na fotolýze vody připravily podmínky pro vývoj aerobních organismů. Sinice svým růstem uvolnily do atmosféry kyslík z vody, který na Zemi přinesly komety ve formě ledu. Je pozoruhodné, jak bohatou a stálou „konzervou“ pro přepravu a udržení kyslíku je voda (H₂O), která obsahuje 89 % kyslíku. (Pokorný et al., 2017; Pokorný & Květ, 2004).

Sinice rostou rychle ve vodě s dostatkem živin, navíc mají schopnost využívat atmosférický dusík a získávají anorganický uhlík pro fotosyntézu i z těžko přístupných forem hydrogen uhlíčitanu a uhličitanu. Jsou to jednobuněčné bakterie, které se sdružují v kolonie a svazky, vzájemně se zastíňují a fungují na plném slunečním svitu i v šeru hluboké vody. Díky těmto vlastnostem sinice v našich na živiny bohatých (eutrofních) vodách často převládají nad řasami, které jsou vyšším vývojovým

stupněm, jejich buňky mají „pravé buněčné jádro“ (jsou eukaryotické) a mají vyvinuté chloroplasty. I když jsou sinice jednobuněčnými organismy, vytvářejí často shluky/vločky, které pro jejich velikost nemůže zooplankton využít jako potravu, což je další důvod jejich dominance.

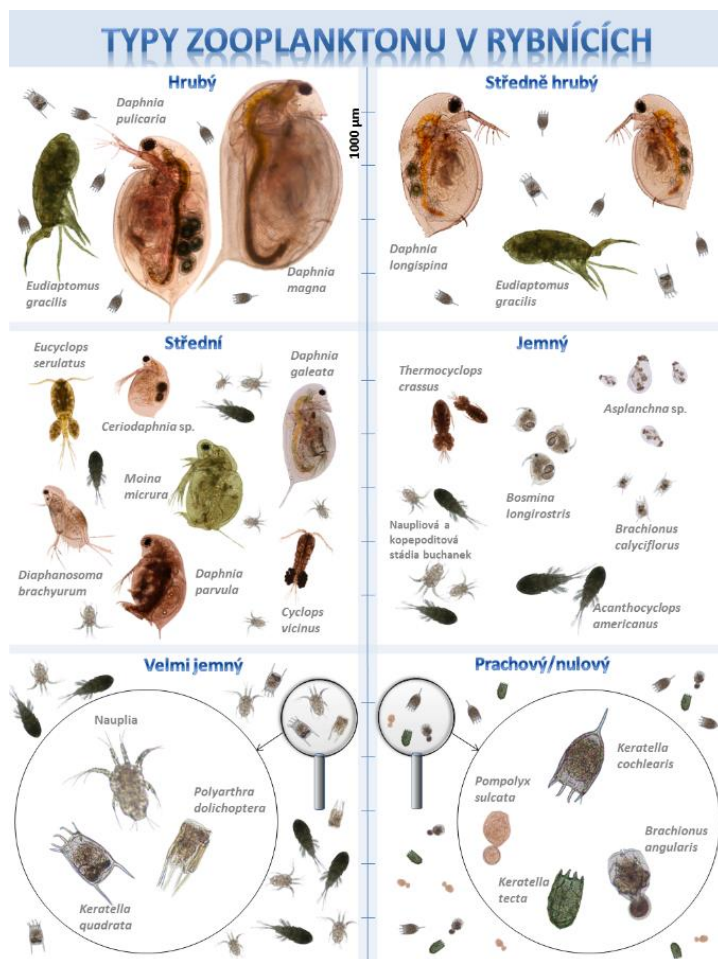
Drobné sinice a řasy volně se vznášející v prosvětlené vodě oceánů a dalších vodních ploch nazýváme fytoplanktonem. Primární produkce fytoplanktonu v úživných (eutrofních) vodách je velmi vysoká, srovnatelná s produkcí zemědělských plodin, které jsou k vysoké produkci šlechtěny a agrotechnicky ošetřovány. Ve vodě s dostatkem živin neexistuje stres suchem a fytoplankton si dokáže najít optimální osvětlení. Pokud se určitý druh fytoplanktonu nepřizpůsobí náhlé změně teploty, nastoupí jiné druhy. Sinice se aklimatizují v širokém rozmezí environmentálních podmínek.

Primární produkce se ve vodě rybníka sleduje poměrně snadno jako změny koncentrace rozpuštěného kyslíku. Podle fotosyntetické rovnice je množství vyprodukovaného kyslíku téměř shodné s množstvím vytvořené biomasy (primární produkce). Za slunného dne lze tedy měřením změn koncentrace kyslíku ve vodním sloupci sledovat primární produkci fytoplanktonu, který je potravou zooplanktonu (sekundární produkce), jehož typickým zástupcem jsou dafnie (hrotnatky) z řádu perlooček (*Cladocera*). Ve vegetační sezóně je délka generační doby sinic a řas řádově hodiny a perlooček řádově dny (Pokorný & Kvet, 2004). V „kapesní velikosti“ máme tedy i v malém rybníku pastevecký řetězec v přirozené podobě, který bychom v suchozemských podmínkách na slonech, antilopách v africké savaně exaktně těžko zvládli pozorovat.

Do poloviny 20. století byl růst velkých vodních rostlin (makrofyt) a fytoplanktonu na většině rybníků omezen (limitován) nedostatkem živin. V sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století bylo na území ČR meliorováno (odvodněno) více než milion hektarů zemědělských půd, a tím se zrychlil rozklad organických látek v půdě (mineralizace). Násobně se zvýšila koncentrace živin v povrchových vodách a tím i přirozená produkce rybníků. K tomu postupně přispělo i budování kanalizace v menších obcích. Mnohonásobně se tak naplnilo doporučení rybníkáře J. Šusty z konce 19. století – naše rybníky potřebují živiny, dělejte stružky z polí přes rákosiny, aby živiny přitekly (Pokorný et al., 2017).

Požadavkem dnešní doby je využít živiny přitékající do rybníka k produkci ryb při zachování podmínek rozvoje pro další organismy. Podmínkou je funkční potravní řetězec od primární produkce (sinice, řasy, makrofyta) přes zooplankton (dafnie) k rybám a dalším následným stupňům. Na obr. č. 1 jsou zachyceni hlavní zástupci klíčového stupně potravního řetězce, zooplanktonu. Pro přenos látek a energie od fytoplanktonu do ryb jsou nejdůležitější tzv. filtrující organismy, jejichž modelovými zástupci jsou dafnie, které se živí fytoplanktonem a slouží jako potravu ryb, v rybníkářství zejména kaprů. Pokud tento článek (dafnie, konzumenti fytoplanktonu) zmizí, tak se v eutrofní vodě namnoží fytoplankton, klesá průhlednost vody, u dna je nízká koncentrace kyslíku a při hladině naopak vysoká. Vysoké pH při

hladině svědčí o vyčerpaném oxidu uhličitým. Rybník se jeví jako bohatý na potravu ryb, ale není tomu tak, protože v rybníce chybí hlavní zdroj přirozené potravy ryb – zooplankton, který se živí fytoplanktonem. V rybnících je nadbytek sinic a řas, z našich ryb dokáží sinice a řasy jako potravu využít výjimečně a částečně jen tolstolobik (náleží sinic v trávicím traktu ryby neznamená, že ryba sinice využije pro svůj růst).



Obr. 1. Typy zooplanktonu v rybnících (Pokorný a kol. 2017)

METODIKA

Pokud jde o rozvoj fytoplanktonu, lze rozlišit dva krajní stavy: Vodní květ sinic, tvořený nejvýše několika druhy sinic a vegetační zákal řas tvořený desítkami druhů řas s menším podílem sinic. Hospodář vítá a usiluje o přítomnost většího zooplanktonu, který se živí druhově bohatým fytoplanktonem vytvářejícím vegetační zákal.

Fungování potravního řetězce ve vodě, tedy přenos energie a látek od fotosyntézy (primární produkce) přes zooplankton (sekundární produkce) do ryb a dále, lze sledovat a hodnotit podle výskytu zástupců jednotlivých článků potravního řetězce a podle změn chemismu vody. Mnohé lze měřit přímo ve vodě (*in situ*). Zásadní je zastoupení jednotlivých článků potravního řetězce. Fytoplankton stanovíme jako

průhlednost vody Secchiho deskou, exaktněji jako koncentraci chlorofylu v jednotce objemu vody, časově náročný je potom mikroskopický rozbor vzorků, určení druhů a počítání jedinců.

Elektrická vodivost vody je měřítkem koncentrace rozpuštěných solí/iontů. pH je měřítkem kyselosti vody, při fotosyntéze pH stoupá, protože se spotřebovává oxid uhličitý, který je kyselinotvorný, při vyšším pH odebírají rostliny CO₂ z hydrogenuhličitanu a uvolňuje se hydroxyl. Na větších vodních rostlinách (makrofyta) se sráží na jedné straně listu často vrstva uhličitanu vápenatého. Elektrická vodivost může klesat při vysokém asimilačním pH následkem právě srážením uhličitanu vápenatého. Naopak při respiraci se spotřebovává kyslík a uvolňuje oxid uhličitý – klesá koncentrace kyslíku a klesá pH. Nárůst koncentrace kyslíku ukazuje na produkci biomasy, pokles na dýchání. *In situ* je možné měřit i koncentraci chlorofylu, která je měřítkem množství fytoplanktonu. Teplota vody v mělkých nádržích má ve vegetační sezóně charakteristický průběh: během slunného dne voda při hladině absorbuje infračervené záření, ohřívá se a „nabývá na objemu“, zůstává na povrchu. Hluběji, kam nepřichází světlo se voda neohřívá (pod eufotickou zónou), převažuje tam respirace, která způsobuje nedostatek kyslíku. V prosvětlené vrstvě převládá fotosyntéza a koncentrace kyslíku je často vyšší, než odpovídá nasycení vzduchem (Pokorný et al., 2017; Pokorný & Kvet, 2004; Wetzel, 2001).

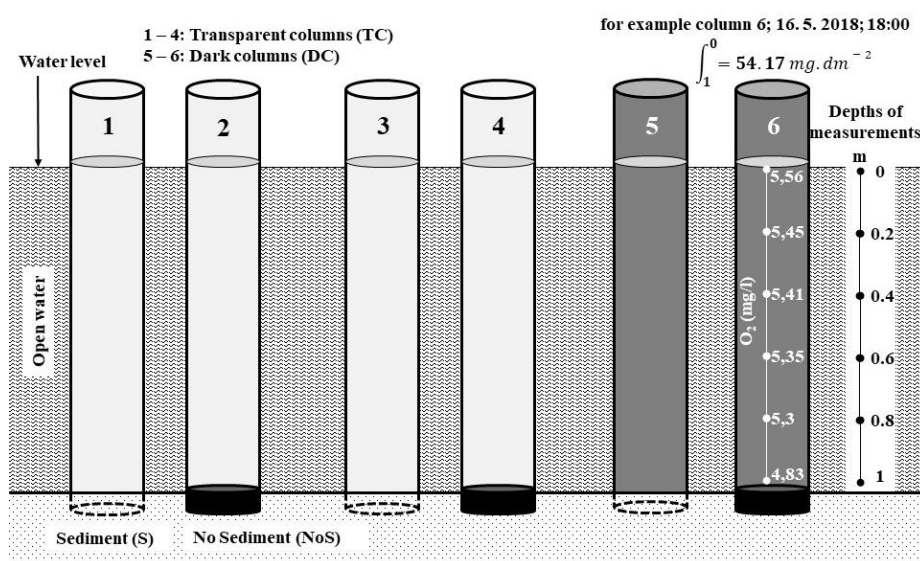
Experiment: měření dynamiky koncentrace kyslíku ve válcích vložených do rybníka

První mesokosmový experiment spočíval ve srovnávacím měření produkce kyslíku v šesti polyetylenových válcích (průměr 20 cm, délka 1 m). Válce byly instalovány do rybníka v hloubce vody 1 m, 100 m od břehu. Voda ve třech válcích měla přímý kontakt se sedimentem, zatímco ve zbývajících třech válcích byla voda oddělena od sedimentu vodotěsným plastovým krytem. Válce, které měly kontakt se sedimentem byly přímo vloženy do vody a jemně usazeny do sedimentu. Válce, kde plastový kryt odděloval vodu od sedimentu, byly jemně naplněny rybníční vodou nabranou bezprostředně vedle válce. Hladina vody ve všech válcích odpovídala hladině volné vody. Čtyři z válců byly průhledné a dva válce byly zcela neprůhledné, aby se eliminovala fotosyntetická produkce kyslíku. Ve válcích a ve volné vodě byly každých šest hodin měřeny teplota vody, koncentrace rozpuštěného kyslíku a pH v hloubkách 0,0 m, 0,2 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m a 1 m. Měření bylo prováděno robustním multimetrem Hach-HQ40d (Häck, M., 2006). Druhý experiment spočíval ve srovnání denní dynamiky koncentrace kyslíku v hloubce 0,2 m a 0,8 m v nádržích s různým typem vegetace.

Na základě výsledků těchto dvou experimentů byly připraveny podklady pro tvorbu animací interaktivní učebnice k výuce tématu fotosyntéza vodních rostlin a terénní úkoly pro žáky středních i základních škol. Výsledky sondy impaktu výuky za pomoci těchto materiálů na úroveň žákovského porozumění problematice významu fotosyntetické produkce biomasy vodních rostlin je součástí publikace Ryplová et al. (2023).

VÝSKEDKY A DISKUSE

Uspořádání provedených dvou experimentů je zobrazeno na obr. č. 2. Experiment s válci vloženými do rybníka ukázal kvantitativně fotosyntetickou produkci kyslíku v průhledných (transparentních = T) válcích. Dále byl prokázán efekt sedimentu na koncentraci kyslíku, která byla vyšší ve válcích oddělených od sedimentu, ve srovnání s vodou ve válcích, kde sediment od vody izolován nebyl a spotřebovával kyslík. Nejnižší koncentrace kyslíku, byly pochopitelně v neprůhledných (D = dark) válcích, protože zde neprobíhala fotosyntéza a ve válci s obnaženým sedimentem byla koncentrace ještě nižší.

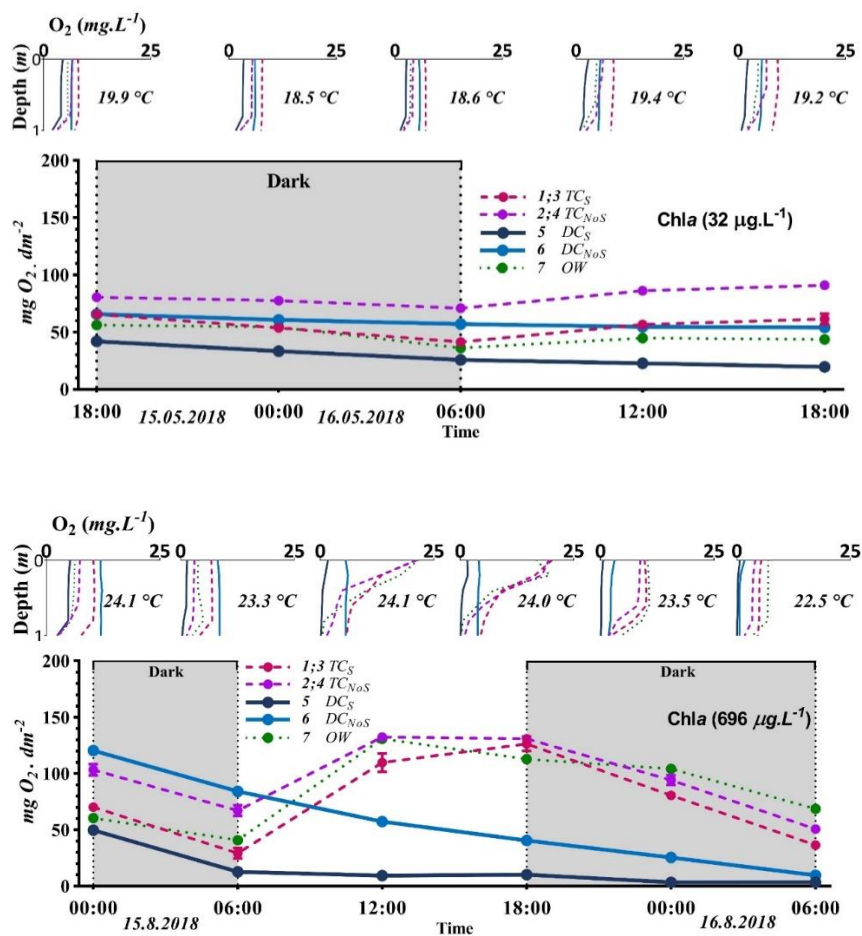


Obr. 2 Uspořádání pokusu pro měření denní dynamiky kyslíku v šesti polyetylenových válcích naplněných rybníční vodou a vložených do rybníka (Baxa et al., 2021).

Jezerní ekosystémy, tedy i ekosystémy rybníční mají typickou sezónní variabilitu. Na jaře je období čisté vody (vysoké průhlednosti), protože ustupují zimní druhy fytoplanktonu a jsou postupně nahrazovány fytoplanktonem teplomilnějším, navíc se projevuje aktivita rozvíjejícího se zooplanktonu, který se fytoplanktonem živí. Na obr. č. 3 jsou proto zobrazeny výsledky pokusu z jarního období (15.5.), kdy doznívá období čisté vody s vysokou průhledností (koncentrace chlorofylu $32 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) a z období rozvinutého vodního květu fytoplanktonu (15.8.), kdy byla koncentrace chlorofylu dvacetinásobná ($700 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$).

Množství fytoplanktonu (měřítkem je zde koncentrace chlorofylu) odpovídaly denní změny koncentrace kyslíku. V květnu, kdy bylo fytoplanktonu málo ($32 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ chlorofylu) dosahovala koncentrace kyslíku v průhledném válci s odděleným sedimentem úrovně nasycení vzduchem, tedy okolo $9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Naproti tomu ve tmavém válci se sedimentem klesla koncentrace kyslíku až k hodnotě $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, což je limitní hodnota pro aerobní dýchání.

V srpnu v době rozvoje vodního květu fytoplanktonu na úroveň $700\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ byly nejvyšší průměrné koncentrace kyslíku zaznamenány v průhledných válcích bez kontaktu se sedimentem $13,3\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, nižší průměrné koncentrace kyslíku byly zaznamenány v průhledných válcích se sedimentem a nejnižší koncentrace kyslíku byly zaznamenány ve tmavém válci se sedimentem ($3,4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Rychlost nočního poklesu a denního nárůstu koncentrace kyslíku byla během tohoto experimentu výrazně rychlejší než v experimentu s čistou vodou v květnu, projevila se jak fotosyntetická, tak respirační aktivita vysoké biomasy vodního květu fytoplanktonu.



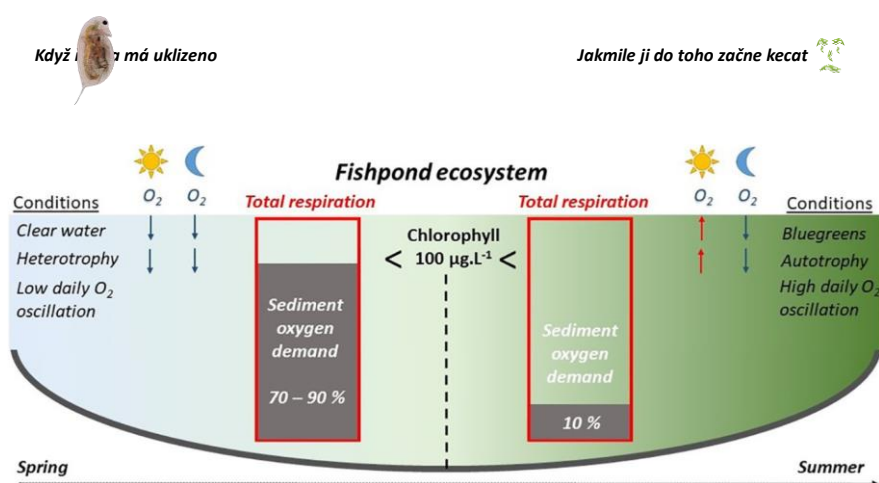
Obr. 3 Porovnání denního vývoje rozpuštěného kyslíku DO (dissolved oxygen $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) v experimentálních válcích během končícího období "čisté" vody (horní graf) a během letního vodního květu sinic (spodní graf). Průměrná koncentrace z průhledných válců se sedimentem (1;3 TC_S červená přerušovaná čára), z průhledných válců bez sedimentů (2;4 TC_{NoS} fialová přerušovaná čára), koncentrace DO v tmavých válcích (5 DC_S tmavě modrá čára, 6 DC_{NoS} světle modrá čára) a DO ve volné vodě (tečkovaná zelená čára) jsou ve spodní části obrázku. V horní části jsou zobrazeny horizontální profily měřeného DO. TC = transparent cylinder, DC = dark cylinder, S = sediment, NoS = no sediment, OW = open water (Baxa et al., 2021).

Závěrem prvního experimentu jsou výsledky zobrazené na obr. č. 4. Na základě výsledků měření změn koncentrace kyslíku ve válcích v jarním a letním období, lze odvodit rychlosti respirace v rybníce na jaře, kdy je hodně dafnií, málo fytoplanktonu (vyjádřeno jako koncentrace chlorofylu méně

než $100\mu\text{g.l}^{-1}$). Na jaře je vysoká průhlednost vody, protože je málo fytoplanktonu, je nízký vegetační zákal, proto je i nízká produkce kyslíku a jsou malé rozdíly v koncentraci kyslíku mezi dnem a nocí. Spotřeba kyslíku respirací je ve vodě nízká a hlavní podíl na úbytku kyslíku má sediment. Respirace se měří jako úbytek kyslíku v noci.

V létě, ve vodě s nízkou průhledností (vysokým vegetačním zákalem a koncentrací chlorofylu nad 100mg.l^{-1}) narůstá díky intenzivnější fotosyntéze koncentrace kyslíku během dne a v noci je též intenzivnější dýchání, protože ve vodě je hodně fytoplanktonu. Sediment na dně se podílí na respiraci jen z 10 %.

Co z toho plyne?



Obrázek 4 Podíl na spotřebě kyslíku (respirace, dýchání) sedimentu a planktonu při různém množství fytoplanktonu (Baxa et al., 2021).

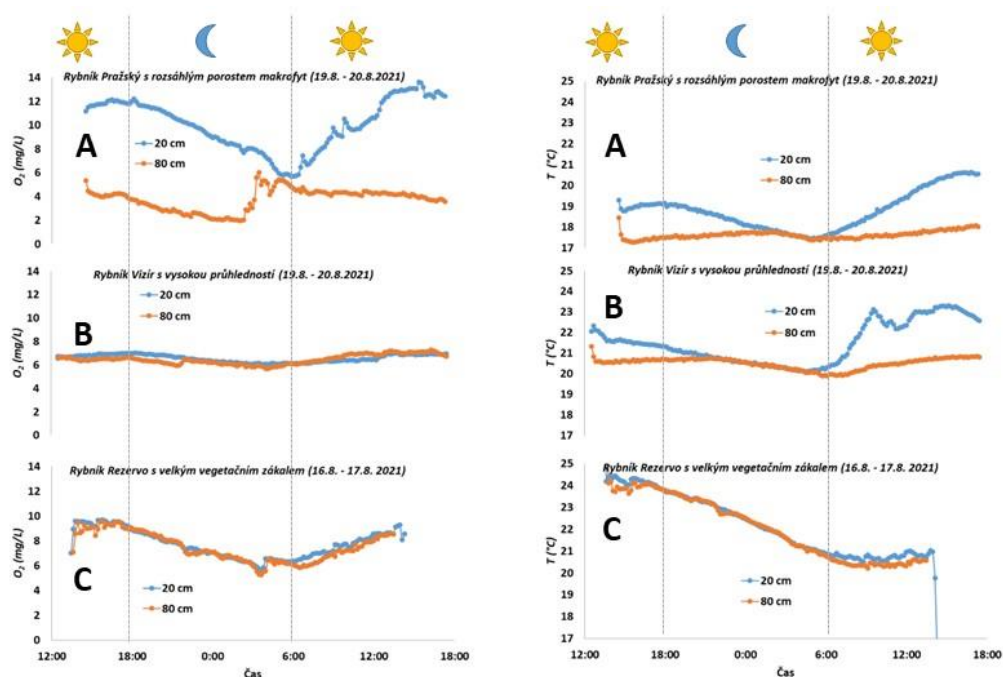
Výsledky druhého experimentu srovnávajícího denní dynamiku koncentrace kyslíku v hloubce 0,2 m a 0,8 m v nádržích s různým typem vegetace jsou zobrazeny na obr. č. 5. Měření bylo provedeno na třech lokalitách – rybník Pražský, rybník Vizír a vodní nádrž Rezervo.

V rybníku Pražský s rozsáhlým porostem makrofyt je v hloubce 0,8m koncentrace kyslíku po celých 24 hodin pod úrovní nasycení kyslíkem. Pozoruhodný je mírný nárůst koncentrace kyslíku v noci, kdy termickým mícháním se dostala do hloubky voda s vysokou koncentrací kyslíku od hladiny. V hloubce 0,2 m je zjevný nárůst koncentrace kyslíku během slunného dne až nad úroveň 100% nasycení vzduchem, naopak v noci biomasa velkých ponořených rostlin (makrofyt) kyslík odebírá k respiraci a koncentrace ve vodě klesá. Teplotní stratifikace, tj. zvyšující se teplota v při hladině (0,2 m) a pokles teploty v noci je patrná na grafu teploty (obr. č. 5).

Rybník Vizír měl v době měření vysokou průhlednost vody, tedy málo fytoplanktonu a makrofyt. Koncentrace kyslíku v 0,2 m a 0,8 m jsou téměř shodné a mírně pod hodnotu 100% nasycení vzduchem.

Podobně jako v rybníku Pražském se na grafu teplot projevuje teplotní rozvrstvení (stratifikace) během slunného dne, kdy se ohřívá voda v 0,2 m a zůstává při hladině. Voda se v mělké nádrži promíchá teplotně až v noci.

V nádrži Rezervo jsou koncentrace kyslíku v hloubce 0,2 m a 0,8 m téměř shodné v průběhu 24 hodin a v denních hodinách se koncentrace kyslíku zvýšila o cca 3mg ve srovnání s nocí. Nápadný je pokles teploty v čase v celém vertikálním profilu. Tato nádrž je průtočná a je zřejmé, že pokles teploty je způsoben přítokem vody, která doplňuje vodu odebranou pro technologické procesy. Data z těchto tří lokalit jsou patrná na obr. č. 5.



Obrázek 5: Denní chody koncentrace kyslíku a teploty v rybnících v hloubce 0,2 m (modrá linie) a 0,8 m (oranžová linie). Rybník Pražský, Vizír a nádrž Rezervo.

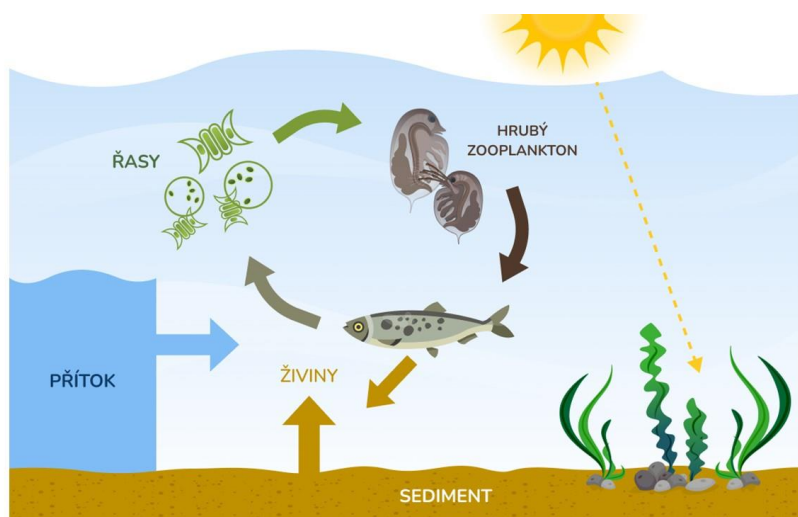
Naměřená data byla využita při tvorbě digitálních učebnic. Zde ukázka příkladů vývoje potravního řetězce v eutrofní nádrži. Produkce rostlin a dalších složek potravního řetězce ve vodách závisí v první řadě na množství dostupných živin. V jednoduchém přiblížení lze rozlišit tyto základní stupně:

- Oligo-trofie znamená málo/ nedostatek živin, který limituje již primární produkci, tj. rozvoj fytoplanktonu a makrofyt,
- Meso-trofie znamená střední (přiměřený) obsah živin,
- eu-trofie znamená dobrý obsah živin,
- hyper-trofie znamená extrémně vysoký obsah živin.

V limnologii (nauka o vnitrozemských stojatých a mírně tekoucích vodách) jsou pojmy eutrofie a hypertrofie zadány spíše pro vysoký a extrémně vysoký obsah živin, tedy podmínky, ve kterých není

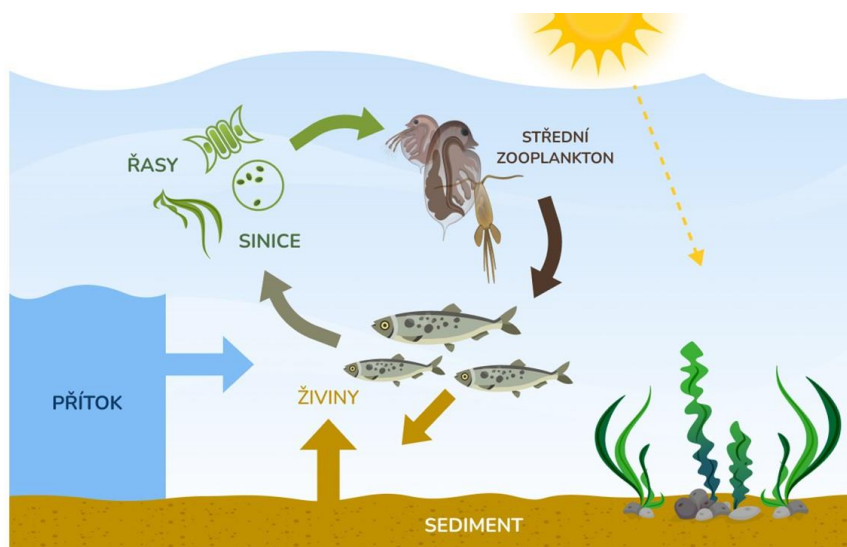
růst rostlin živinami limitován. V hypertrofních podmínkách nadměrný obsah živin může produkci i biodiverzitu omezovat.

Následující tři schémata (Obr. 6, 7, 8) platí pro vody bohatší na živiny, pro vody eutrofní. Množství a velikost ryb žijících se zooplanktonem (planktivorní) určuje tok živin a fungování potravního řetězce. Obr. č. 6 zobrazuje situaci, kdy přiměřená rybí obsádka spotřebovává zooplankton, který se živí fytoplanktonem; spotřeba je doplňována růstem řas i zooplanktonu. Vegetační zákal (průhlednost vody) umožňuje i existenci vodních makrofyt, na které je vázán hmyz, obojživelníci atd. Toto je žádoucí stav s optimálním využitím živin z povodí a sedimentů. Koncentrace kyslíku je blízka nasycení vzduchem, koncentrace je také vyrovnaná od hladiny ke dnu a jsou zde malé rozdíly mezi dnem a nocí (nejvýše několik mg.l^{-1}). Světlo prochází až ke dnu, sediment obsahuje organické látky, které se nerozkládají anaerobně. Takového stavu lze těžko dosáhnout při vysoké koncentraci živin.



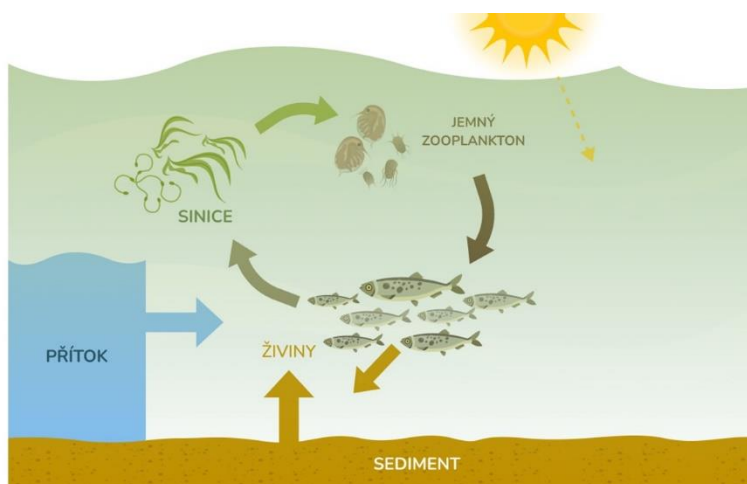
Obr. 6. Optimální stav vodní nádrže (optimální využití živin, vyrovnaná koncentrace kyslíku blízka nasycení vzduchem bez velkých výkyvů mezi dnem a nocí, světlo prochází ke dnu) (Ryplová et. al., 2024).

Obrázek č. 7 zobrazuje stav zesílené obsádky ryb, která svým vyžíráním spotřebovala velké druhy zooplanktonu. V nádrži zůstává převážně zooplankton střední velikosti, množství fytoplanktonu vzrůstá a zvyšuje se podíl sinic. To způsobuje snížení průhlednosti vody, čímž se zvětšují rozdíly v koncentraci kyslíku od hladiny ke dnu a rozdíly mezi dnem a nocí. Takový stav je typický při vyšší koncentraci živin. Zásadní je „uhlídat“, aby nedošlo ke spotřebování zooplanktonu a následně masovému rozvoji řas a sinic.



Obr. 7: Stav vodní nádrže při vyšší koncentraci živin (zesílená obsádka ryb spotřebovala velký zooplankton, vzrůstá podíl sinic, snižuje se průhlednost, zvýšené rozdíly v koncentraci kyslíku v prostoru i čase) (Ryplová et. al., 2024).

Poslední ze série těchto obrázků, jež jsou součástí animací nově vznikající digitální učebnice je obr. č. 8, který zobrazuje vodní nádrž (rybník) s vysokým obsahem živin (eutrofní až hypertrofní). Vysoká obsádka ryb spotřebovala velký a střední zooplankton. Biomasa fytoplanktonu je vysoká a tvořená převážně sinicemi. Průhlednost vody je nízká, světlo neprochází až ke dnu. Během dne se vytváří rozdíl v koncentraci kyslíku od hladiny ke dnu. V horních několika decimetrech je fotosyntéza fytoplanktonu vysoká, koncentrace kyslíku přesahuje úroveň nasycení vzduchem (vyšší než $9\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Nade dnem je koncentrace kyslíku nízká, nejvýše několik $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Termickým mícháním se v noci koncentrace kyslíku ve vertikálním profilu vyrovná, ale je nižší než úroveň nasycení vzduchem (například okolo $4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). V takových podmínkách se postupně snižuje koncentrace kyslíku v sedimentech, dochází k hypoxii (nedostatek kyslíku) až anoxii (koncentrace kyslíku neměřitelná) až anaerobióze, kdy se vytvářejí toxické produkty anaerobního metabolismu (amoniak, sulfan, metan atd.) a uvolňuje se fosfor do vody. Pokud se takový rybník nechá bez ryb, je fytoplankton spotřebován zooplanktonem, prosvětlená voda má nadbytek živin a rozvíjejí se velké vodní rostliny (makrofyta) a rybník se jejich biomasou za několik roků zaplní.



Obr. č. 8: Eutrofní až hypertrofní vodní nádrž (spotřebovány velké druhy zooplanktonu, převažují sinice, nízká průsvitnost, velké rozdíly v koncentraci kyslíku v prostoru i čase) (Ryplová et. al., 2024).

ZÁVĚR

Hospodářskými zásahy při porozumění principům a ověřování jejich efektu lze využít živin k produkci biomasy fotosyntézou a následným využitím v potravním řetězci. Primární produkci stanovujeme měřením koncentrace kyslíku a funkci potravního řetězce sledujeme podle indikačních organismů, tj. velikosti zooplanktonu a složení fytoplanktonu. Ve vodě bohaté živinami je vysoká primární produkce, fotosyntéza není omezena nedostatkem vody, proto produkce biomasy dosahuje za rok hodnot srovnatelných se zemědělskými plodinami i když se nádrž nehnojí – z povodí přichází dostatek živin z polí a obcí. Před 400 miliony roků přecházely rostliny z vody na souš. Zprvu to byly sinice, řasy a nižší rostliny, které snesou vysušení (poikilohydrické). Postupně se vyvinuly vyšší rostliny vytvářející ekosystémy, které zajišťují aktivně oběh vody na souši a od moří do kontinentů, proto řeky pravidelně tečou z lesnatých oblastí. Tyto rostliny, stromy zejména si udržují vnitřní prostředí (homoihydrické), svojí evapotranspirací transformují řádově více sluneční energie, nežli jí váží fotosyntézou do biomasy.

Poděkování:

Tento příspěvek byl podpořen TACŘ 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.

Literatura

Baxa, M., Musil, M., Kummel, M., Hanzlík, P., Tesařová, B., & Pechar, L. (2021). Dissolved oxygen deficits in a shallow eutrophic aquatic ecosystem (fishpond) – Sediment oxygen demand and water column respiration alternately drive the oxygen régime. *Science of the Total Environment*, 766, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142647>

Häck, M. (2006). Optical Measurement of Oxygen Concentration in Water (Application Report). *Hach Lange*, Düsseldorf. <https://cz.hach.com/cms/documents/parameter-4-downloads-1.pdf>

Pokorny, J., & Kvet, J. (2004). Aquatic plants and lake ecosystems. In: P. O'Sullivan, C. S. Reynolds (Eds.), *The lakes handbook* (pp. 309-340), 1, Blackwell Science and Blackwell Publication Malden.
<https://doi.org/10.1002/9780470999271>

Pokorny, J., Kvet, J., Dykyjova, D., Faina, R., Prikryl, I. & Lhotsky R. (2008). Aquatic and Marsh Plants in Hypertonic Fishponds – Overview. In: U. Mander: *Wetlands and Climate Change: New Challenges for Wetland Research. Publications Instituti Geographical Universitatis Tartuensis, 106, 73-78.*

Pokorný, J., Regenda, J., Musil, M., Příklad, J., Kučerová, A., & Květ, J. (2017). Rybníky. In: H. Čížková, L. Vlasáková, J. Květ (Eds.): *Mokřady, ekologie, ochrana a udržitelné využívání* (pp. 209-235). Natura, Episteme Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích.

Ryplova, R., Pokorny, J., & Baxa, M. (2023). Education for Sustainability: Innovative Teaching on Photosynthesis of Aquatic Plants in Ecological Context. *European Journal of Sustainable Development, 12*(4), 69. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2023.v12n4p69>

Ryplová, R., Pokorný, J., Borkovcová, M., Baxa, M., Hesslerová, P., et. al. (2024). *Biomasa v trvale udržitelné krajině: výuka fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině.*
<https://fotosyntezaokrajine.cz/>

Wetzel, R., G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd edition). Academic Press, San Diego.

Kontaktní adresa

Ing. M. Baxa, Ph.D., Ing. M. Musil, Ph.D., doc. M. Kummel, Ph.D., Ing. P. Hanzlík, Mgr. B. Tesařová, doc. RNDr. L. Pechar, CSc.

ENKI, o. p. s. Třeboň

Email: marek.baxa@prirodou.cz, pokorny@enki.cz

3D tisk ve výuce – možnosti integrované výuky tématu sinic a řas

Josef Juráň

Abstrakt

V současné době se technologie 3D tisku rozvíjí a stává se součástí vzdělávání na základních a středních školách s širokým potenciálem – tisk modelů a pomůcek k výuce, možnost vyzkoušet si 3D konstrukci studenty, rozvoj technických znalostí a dovedností studentů. S rozvojem 3D tisku na globální škále vznikají nové elektronické knihovny, které nabízejí velké množství modelů dostupných pro výuku. To všechno otevírá cestu k zařazení modelů do výuky biologie, ať už jakožto prostředku demonstrace stavby těla organismů, fyziologie, anatomie, nebo jako možného základu pro integrovanou výuku. Cílem tohoto konferenčního příspěvku je ukázat potenciál 3D modelů ve výuce tématu sinic a řas.

Klíčová slova

Výuka, 3D tisk, Řasy, Sinice, Modely

ÚVOD

Technologie 3D tisku představuje výrobní technologii umožňující tvorbu trojrozměrných pevných objektů, která je dnes poměrně rozšířená a dostupná (Stříteský et al., 2020). 3D tisk se uplatňuje v širokém spektru profesí – od průmyslu (konstrukce a prototypy, zbraňový průmysl, spotřební zboží) přes zdravotnictví, stavebnictví, umění, domácnosti až po školství (Gebhardt et al., 2019).

Detailně se problematice využití 3D tisku na základních a středních školách věnuje Dosedla et al. (2022) a to především v kontextu integrace této technologie do výuky – autoři vyzvedávají 3D modely jako užitečné výukové pomůcky, které podporují především názornost, zvyšují dostupnost a variabilitu modelů oproti komerčním výukovým pomůckám, a tím napomáhají efektivnějšímu rozvoji žáků. Zaměříme-li se na roli těchto pomůcek ve výuce přírodopisu nebo biologie, uvádí Dosedla et al. (2022) čtyři základní pozitiva:

1. názornější demonstrace mikroskopických organismů;
2. náhrada za velké struktury nebo organismy;
3. alternativa k těžko opatřitelným přírodninám;
4. náhrada za přírodniny, které nejsou k dispozici po celý rok.

Se zmiňovanou publikací je spojena také databáze volně dostupných tiskových šablon (BE3D Academy, 2024), zaměřená především na přírodovědně orientované předměty – biologii, chemii, fyziku, informatiku a geografii.

Tento konferenční příspěvek se zabývá možnostmi integrované výuky tématu sinic a řas, a to právě za pomoci 3D tištěných modelů.

VYUŽITÍ 3D MODELŮ VE VÝUCE BIOLOGIE

Některé oblasti biologie, například prokaryotická i eukaryotická mikrobiologie nebo buněčná biologie, mnohdy pracují s poměrně abstraktními a hůře představitelnými objekty, a právě 3D tištěné modely můžou pomoci k názornější demonstraci těchto objektů a lepšímu porozumění danému tématu.

3D modely v buněčné biologii

Monkovic et al. (2022) realizovali svoji studii se studenty 9. ročníku (věk cca 14 až 15 let), a to se dvěma třídami – kontrolní skupinou a skupinou experimentální, u níž bylo k vysvětlování tématu využito 3D modelů. Výzkum se zaměřil na téma imunity a homeostáze a studenti v experimentální skupině měli k dispozici k vysvětlení látky vytištěné modely některých virů (např. virus žloutenky typu B, adenovirus, virus horečky Dengue apod.) a příklady protilátek. Experimentální i kontrolní skupina absolvovaly kvíz na témata homeostázy a imunity před výukou a po ní. Porovnání testů ukázalo lepší výsledky u skupiny, do jejíž výuky byly zahrnuty 3D modely, ty podle studentů zvýšily atraktivitu tématu a také jim pomohly k lepšímu porozumění látce.

Další možné využití 3D modelů ve výuce buněčné biologie představili ve své studii Wollmuth et al. (2023), kteří sledovali efekt 3D modelů buněk vytištěných ve velikostním poměru (např. bakterie *Thiomargarita namibiensis* a *Escherichia coli*, lidský osteoblast apod.) jako podkladu pro diskusi k tématu buněčné biologie a zlepšení pochopení tématu u univerzitních studentů v rámci základního kurzu mikrobiologie. Efekt na pochopení látky byl hodnocen pomocí kvantitativních a kvalitativních dat odezvy studentů shromážděných před a po aktivitách v malých skupinách. Výsledky studie potvrdily lepší porozumění díky 3D modelům.

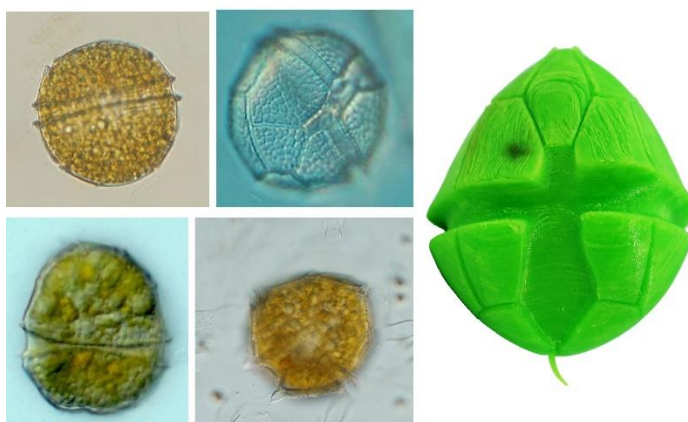
3D modely k tématu sinic a řas

Sinice představují evolučně starou skupinu bakterií, které jsou schopné oxygenní fotosyntézy, řasy naopak představují diverzifikovanou a nesourodou skupinu eukaryotických organismů, které se vyskytují napříč eukaryotickým stromem života. Ačkoliv historicky byly považovány za taxonomickou skupinu, dnes z jistotou víme, že se jedná o skupinu fylogeneticky nepříbuzných organismů, které mají společnou biologii a ekologii a která byla schopná osídlit prakticky všechna prostředí na naší planetě (Kalina & Váňa, 2005, Lee, 2018). A je to právě jejich velká ekologická, morfologická, fyziologická a jiná diverzita, která z nich dělá skupinu velice náročnou pro výuku – zde se přímo nabízí efektivní využití 3D modelů. V rámci projektu řešeného výzkumnou skupinou hydrobiologů vznikl unikátní, profesně zaměřený web, který nabízí ke stažení 3D modely vybraných zástupců řas (PANDORINA, 2024), které mohou posloužit ve výuce sinic a řas (obr. 1).



Obr. 1. 3D modely vybraných zástupců řas stažených z webu Pandorina (Jurář, 2023).

Modely mohou být jednoduše zařazeny při výkladu nebo praktických cvičeních k podpoře názornosti – některé struktury uváděné v učebnicích (např. struktura pancíře obrněnek, detaily křemičitých schránek rozsivek apod.) mohou být pro studenty těžko představitelné a v mikroskopu ne vždy patrné, právě zde může 3D model pomoci.



Obr. 2. Pohled na nezřetelnou strukturu pancíře obrněnky rodu *Peridinium* a prázdný pancíř (vpravo nahoře) v mikroskopu a model vytištěný na 3D tiskárně (fotografie z webu www.sinicearasy.cz, fotografie 3D modelu Jurář, 2023).

Využití 3D modelů řas však nabízí více možností integrace znalostí napříč různými obory, práce s tištěným trojrozměrným objektem představuje lepší podklad pro diskusi nad některými biologickými otázkami, nutné je doplnit modely dalšími materiály, například:

- 1. Proč se řasy hýbou?** Kombinující biologii (bičík a molekulární principy pohybu), fyziku/matematiku (rychlost pohybu) a ekologickou roli pohybu při hledání vhodných podmínek.

- 2. Proč řasy vypadají tak, jak vypadají?** V biologii platí obecné pravidlo, že poměr povrchu/objemu buňky řas ovlivňuje příjem živin, světla a uvolňování odpadních látek a tepla (Lewis, 1976), nejmenší poměr povrchu/objemu má z matematického hlediska koule, ale tvarová diverzita řas je mnohem větší (viz obr. 1). Zde se nabízí integrující badatelská úloha zohledňující fyziologii (příjem živin, osmóza), matematiku (poměry povrch/objem) nebo fyziku (rychlost sedimentace) s ekologickým přesahem spojeným s přírodním výběrem a konkurencí. Výsledkem takovéto úlohy může být zdůvodnění přítomnosti záhybů na povrchu buněk řas, různých výběžků apod., které mají za úkol zvětšovat povrch buňky a kompenzovat nevýhodný poměr povrchu/objemu v jejím základním tvaru.
- 3. Proč jsou řasy koloniální?** V návaznosti na výše uvedenou otázku lze propojit morfologickou variabilitu řas také s ekologickou rolí v omezení sedimentace ve vodním sloupci nebo snížení míry žíru zooplanktonem.

ZÁVĚR

Využití 3D modelů ve výuce představuje relativně levnou technologii s velkým potenciálem pro výuku přírodovědných předmětů. Díky rozrůstající se možnosti získávání tiskových šablon z webových galerií 3D tisk představuje nové možnosti pro badatelsky orientovanou výuku, integrovanou výuku apod. Zakomponování 3D modelů do výuky sinic a řas může sloužit jako vhodný příklad pro další výzkum této oblasti v prostředí základních a středních škol.

LITERATURA

- BE3D Academy. (2024, 10. 1.). *BE3D Academy*. <https://be3dacademy.ysoft.com/cs/>
- Dosedla, M., Hodis, Z., Jančová, M., Ledvinka, J., Lvovská, L., Malinka, K., Mísařová, D., Pitnerová, P., Schindler, V., Staněk, V., & Vodová, L. (2022). *Integrace technologie 3D tisku do výuky na základních a středních školách: ověřená metodika* (1. vydání). Masarykova univerzita.
- Gebhardt, A., Kessler, J., & Thurn, L. (2019). Applications of Additive Manufacturing. In: A. Gebhardt, J. Kessler, & L. Thurn, *3D Printing. Understanding Additive Manufacturing* (2. vydání, pp. 101-136). Hanser Publications. <http://dx.doi.org/10.3139/9781569907030.004>
- Kalina, T., & Váňa, J. (2005). *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Karolinum.
- Lee, R. E. (2018). *Phycology* (5. vydání). Cambridge University Press.
- Lewis, W. M. (1976). Surface/Volume Ratio: Implications for Phytoplankton Morphology. *Science*, 192(42), 885-887. <https://doi.org/10.1126/science.192.4242.885>
- Monkovic, J. M., Jones, S. M., Nicolas, M., Katyal, P., Punia, K., Noland, D., & Montclare, J. K. (2022). From concept to reality: the use and impact of 3D prints as academic tools for high school biology education. *Journal of Biological Education*, 56(5), 528-539. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858927>
- PANDORINA. (2024, 10.1). *PANDORINA*. <https://pandorina.org/>
- Stříteský, O., Průša, J., & Bach, M. (2020). *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Prusa research.

Wollmuth, E. M., Correa, A., Alvarado Obando, M., Smith, M. K., Buckley, D. H., Hefferon, K. L., & Angert, E. R. (2023). Helping students see bacteria in 3D: cellular models increase student learning about cell size and diffusion. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(3), 1-12.
<https://doi.org/10.1128/jmbe.00089-23>

Kontaktní adresa

Mgr. Josef Juráň, Ph.D.

Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Branišovská 1760, 370 05 České Budějovice, Česká republika

Email: juranj00@prf.jcu.cz

Evaluace elektronické učebnice fotosyntézy v prostředí středních škol

Zbyněk Vácha, Štěpánka Chmelová, Renata Ryplová, Tereza Brčáková & Matěj Novák

Abstrakt

Příspěvek popisuje výsledky evaluace elektronické učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině v prostředí středních škol. Šetření proběhlo na třech středoškolských institucích a participovalo na něm 128 studentů 1. ročníku. Data byla získávána na základě testování. Výsledky poukazují na skutečnost, že se elektronická učebnice jeví jako vhodný doplněk při výuce fotosyntetické problematiky z hlediska dosahování kognitivních i afektivních cílů výuky.

Klíčová slova

Fotosyntéza; elektronická učebnice; střední školy

ÚVOD

Fotosyntéza je jedním z nejvýznamnějších procesů, který na planetě Zemi probíhá, jelikož ovlivňuje všechny živé organismy (Ryplová, 2014). I přes tuto skutečnost je z existujících prací patrné, že o něm studenti moc neví, a především je fotosyntetická problematika chápána jako neatraktivní a složitá. Mezi hlavní důvody je řazeno užívání velkého množství odborných pojmů a složitost celého děje (Vágnerová et al., 2019). Hlavním cílem příspěvku je popsat evaluaci elektronické učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině v prostředí středních škol, která vznikla jako edukační nástroj, který by mohl do výuky o fotosyntéze vnést určitý prvek názornosti, zábavnosti a interaktivity.

METODIKA

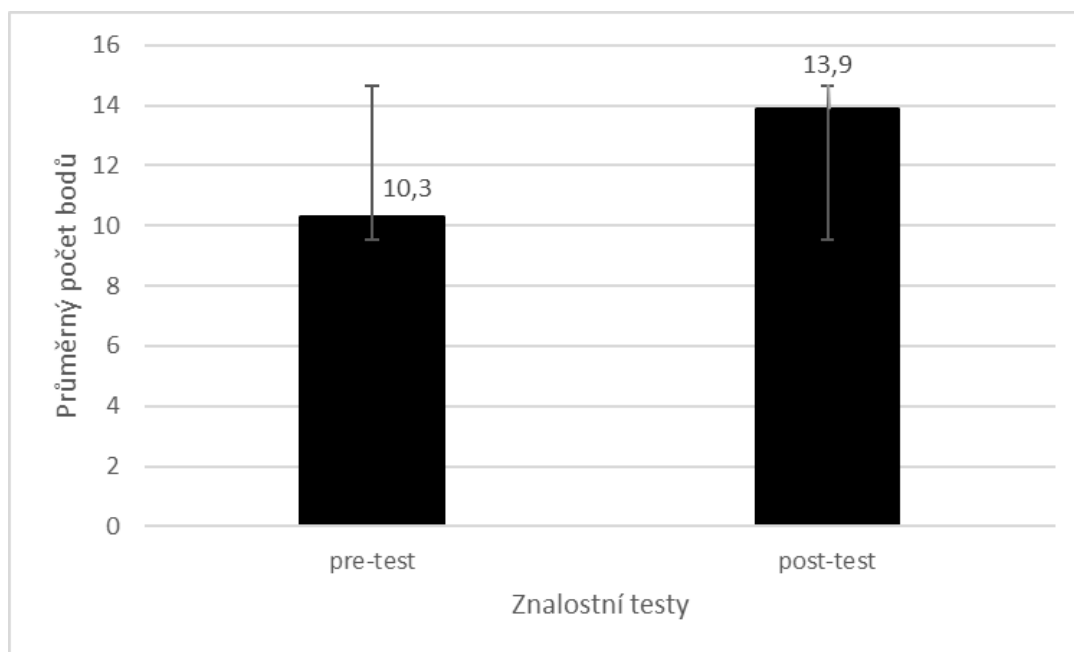
Pro účely výzkumného šetření bylo využito kvantitativního přístupu. Data byla získávána na základě kontrolovaného testování s využitím systému pre-test – post-test. Na výzkumu participovalo 128 středoškolských studentů z prvních ročníků.

Testy byly využity k ověření impaktu elektronické učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině na rozvoj kognitivních a afektivních cílů výuky u studentů středních škol. Test úvodních znalostí (pre-test) obsahoval 9 položek s většinou otevřenou možností odpovědi a byl studentům zadán před samotnou prací s elektronickou učebnicí. Sledoval tak startovací úroveň žákovských vědomostí. Přibližně týden po implikaci učebnice do výuky s časovou dotací 90 minut byl studentům zadán stejně postavený post-test, který obsahoval navíc ještě čtyři položky sledující ovlivnění afektivních cílů, postavených na principu Likertova škálování. Jednotlivé odpovědi byly následně zaznamenány do tabulek, kategorizovány a vyhodnoceny na základě četností výskytu.

VÝSLEDKY

Dosahování kognitivních cílů

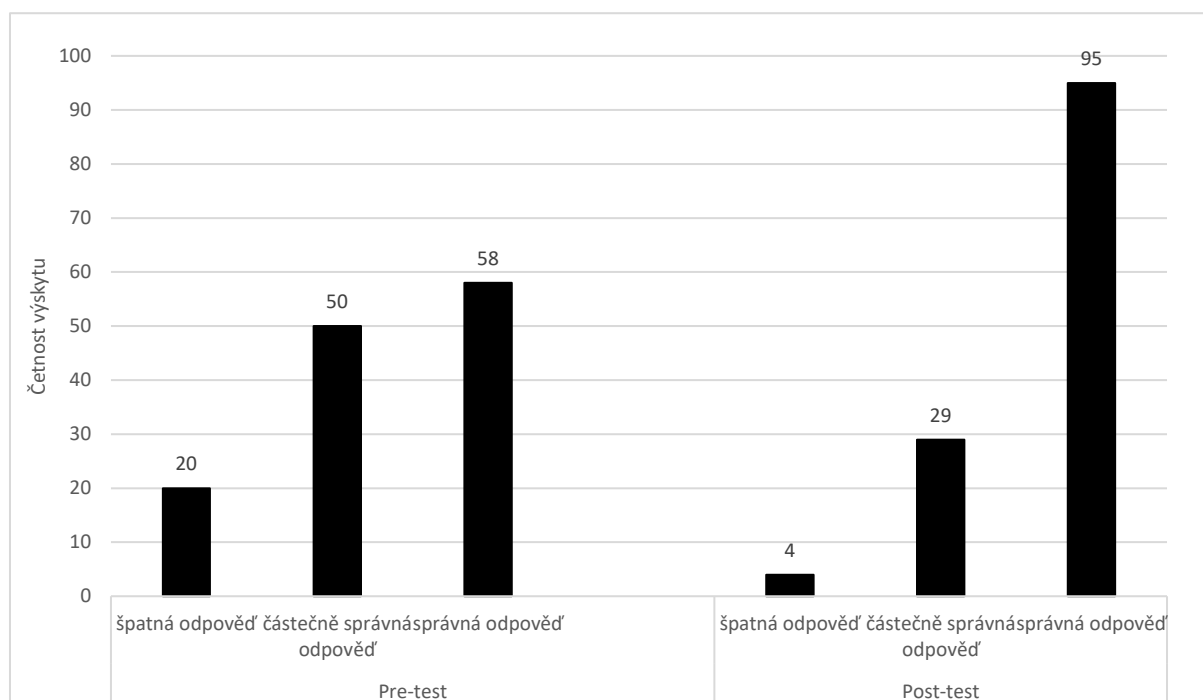
Vliv na rozvoj studentské kognice byl sledován na základě rozdílné výkonnosti v jednotlivých testech znalostí (pre-test – post-test). Participující mohli v rámci obou testů získat shodně maximálně 19 bodů. V rámci pre-testu dosáhli studenti průměrného skóru 10,3 bodu, v post-testu to pak bylo necelých 14 bodů (viz obr. 1).



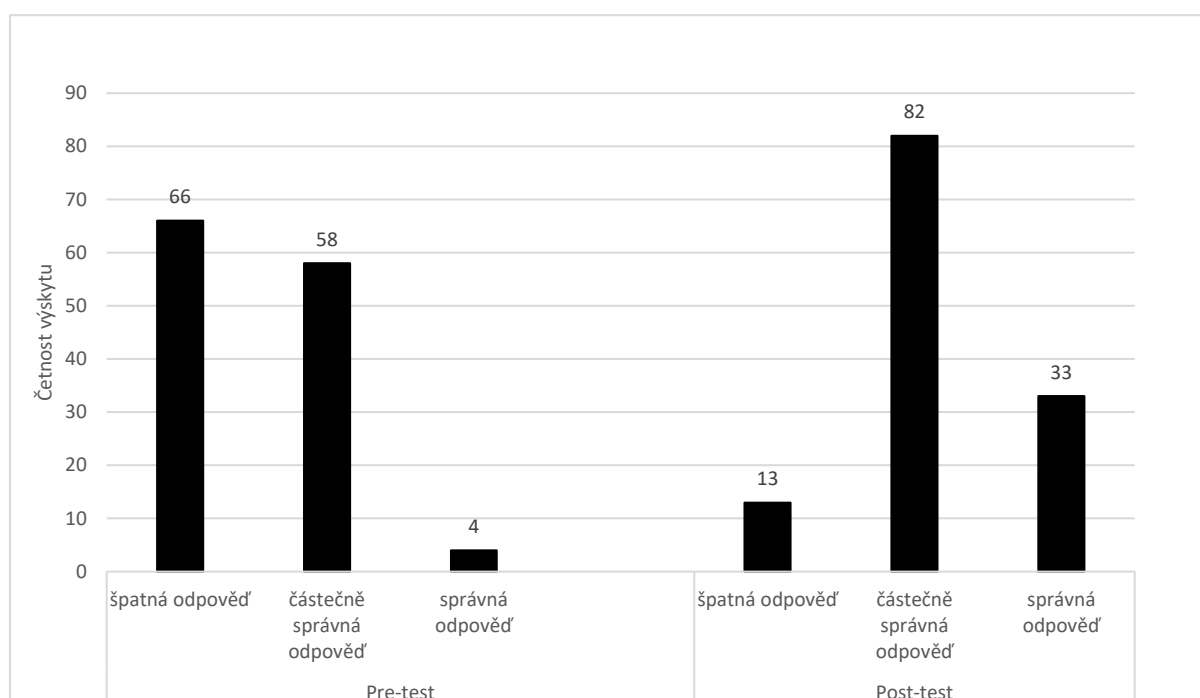
Obr. 1 Průměrné výsledky znalostních testů (zdroj vlastní)

Z obr. 1 je patrné, že využití elektronické učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině v prostředí středních škol mělo pozitivní vliv na rozvoj studentských vědomostí. V rámci průměrných hodnot došlo k nárůstu o 3,6 bodu. Z výsledků dále můžeme vyčíst, že studenti měli relativně dobré znalosti o fotosyntéze již před samotným testováním, což je povzbudivá informace v porovnání s dalšími výzkumy, v nichž je fotosyntéza často hodnocena jako abstraktní a složitá. S nepochopením je pak často spojena i nižší výkonnost (např. Keleş & Kefeli, 2010; Čípková et al., 2017; Pavlátová & Kroufek, 2018). Z hlubší analýzy pak vyplývá, že žákům nedělalo problém vysvětlit izolovaný jev. Příkladem mohou být odpovědi na otázku Co je to rostlinná biomasa? Z vybraných odpovědí můžeme uvést např.: organická hmota rostlinného původu, konzervovaná sluneční energie, obnovitelný zdroj energie ... Z responsí vidíme, že žáci mají dobré encyklopedické znalosti. Bohužel je ale neumí postavit do souvislosti. Šetření poukázalo na skutečnost, že si žáci jen velice těžko uvědomují souvislosti mezi fotosyntézou a růstem rostliny. Oba děje berou jako izolovaný jev. Stejně tak nedokáží oddělit proces rostlinného dýchání, který považují za totožný s fotosyntézou. Domnívají se, že probíhá také jen v období slunečního svitu. S tím souvisí i neznalost výměny plyných látek mezi rostlinou a okolím v průběhu dne a noci. Celkem

solidně dokáží vysvětlit jaké plynné látky během 24 hodin rostliny přijímají z atmosféry, horší je to již v otázce výdeje (viz obr. 2 a 3). Dalším negativním trendem je skutečnost, že si neuvědomují rozdíl mezi produkty fotosyntézy a minerálními látkami. Běžně si myslí, že rostliny získávají živiny (potravu) z půdy.



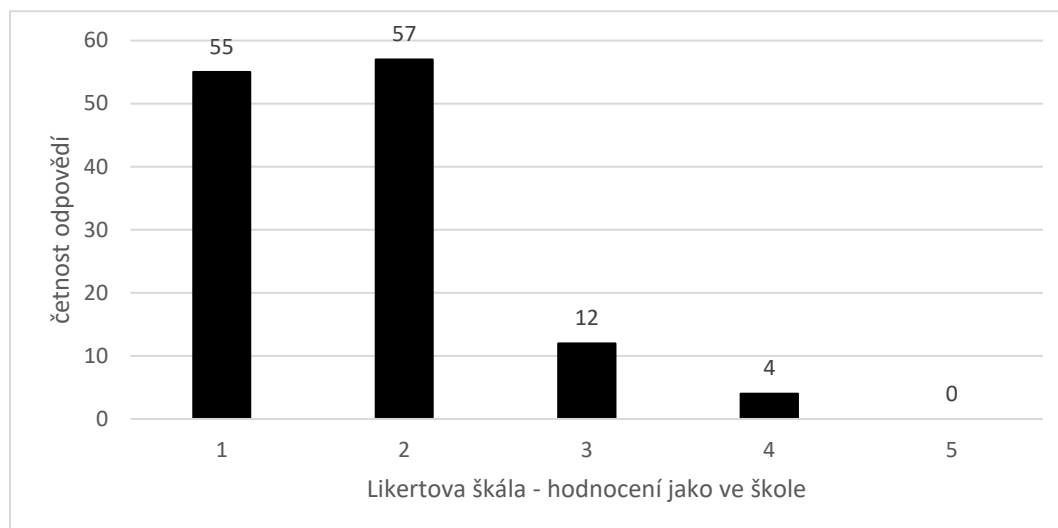
Obr. 2 Odpověď na otázku: Jaké plynné látky přijímají rostliny z atmosféry ve dne a v noci? (zdroj vlastní)



Obr. 3 Odpověď na otázku: Jaké plynné látky vydávají rostliny do atmosféry ve dne a v noci? (zdroj vlastní)

Dosahování afektivních cílů

Na základě vyhodnocení části post-testů, které sledovaly naplnění afektivních cílů můžeme konstatovat, že elektronická platforma Biomasa v trvale udržitelné krajině měla výrazně pozitivní vliv na závěrečné hodnocení výuky. Většině studentům se práce s elektronickou učebnicí líbila. Konkrétní výsledky jsou vizualizovány prostřednictvím obr. 4.



Obr. 4 Subjektivní odpověď na položku: Výuka o fotosyntéze pomocí interaktivní učebnice se mi líbila. (zdroj vlastní)

Hlavní pozitiva studenti spatřovali v povedených animacích, názornosti obrázků, interaktivitě, odlišném učebním stylu či možnosti snadnější aktualizace textu. Mezi negativy učebnice bylo zmíněno, že se některým žákům učí lépe z tištěné učebnice, je využívána příliš odborná terminologie a místy se vyskytuje příliš dlouhý text.

Téměř totožné výsledky můžeme pozorovat i v rámci subjektivních odpovědí na otázku: Chtěl by si se podobným způsobem učit častěji? Celkem 108 žáků vybralo odpověď 1 a 2. Právě tyto responze můžeme brát jako pozitivní výsledek, kdy mají studenti o výuku s využitím elektronické učebnice zájem i v budoucnu. Dvanáct participujících vybralo odpověď 3, čtyři dotazovaní 4 a 5 nevybral žádný.

ZÁVĚR

Z výsledků je patrně, že elektronická učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině může představovat efektivní vzdělávací nástroj ve středoškolském prostředí. V rámci evaluace výuky s využitím popisovaného interaktivního zdroje došlo k nárůstu kognitivních znalostí a výuka středoškolské studenty především i bavila. Zatraktivnění výuky by mohlo vést k odbourávání stereotypů, kdy je fotosyntetická problematika většinou přijímána jako složitá a nudná. Implikace aktivizačních zdrojů poznání (v tomto případě interaktivní učební text) do edukačního procesu je tak jedna z možných cest, jak vyučování pro studenty zatraktivnit.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen TACŘ 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.

LITERATURA

Čipková, E., Karolčík, Š., & Vörösová, N. (2017). Korekcia miskoncepcií žiakov o fotosyntéze a dýchaní rastlín prostredníctvom bádateľsky orientovaného vyučovania. *Biologie-Chemie-Zeměpis*, 26(3), 24–34. <https://doi.org/10.14712/25337556.2017.3.4>

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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.474>

Pavlátová, V., & Kroufek, R. (2018). Pohled učitelů na obtížnost vybraných environmentálních pojmů v učebnicích pro základní školy. *Scientia in education*, 9(2), 57–79. <https://doi.org/10.14712/18047106.1012>

Ryplová, R. (2014). Fyziologie rostlin: Skriptum pro studující Učitelství přírodopisu pro 2. stupeň ZŠ. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Vágnerová, P., Benediktová, L., & Kout, J. (2019). Kritická místa ve výuce přírodopisu – jejich identifikace a příčiny. *Arnica* 9(1), 39–50. https://www.arnica.zcu.cz/images/casopis/2019/Arnika_2019_1-4-Vagnerova-Benediktova-Kout-web.pdf

Kontaktní adresa

PhDr. Zbyněk Vácha, Ph.D., Ing. Štěpánka Chmelová, Ph.D., RNDr. Renata Ryplová, Ph.D, Mgr. Tereza Brčáková, Ing. Mgr. Matěj Novák

Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích
Jerónymova 10, 370 01 České Budějovice 6, Česká republika

Email: zvacha@pf.jcu.cz

Testování interaktivní učebnice pro výuku fotosyntézy na základních školách

Štěpánka Chmelová, Renata Ryplová, Zbyněk Vácha, Tereza Brčáková, Matěj Novák

Abstrakt

Cílem této studie byla evaluace navržené interaktivní učebnice přímo ve výuce v prostředí základních škol. Testování bylo se zaměřené na kognitivní a afektivní cíle. Výzkumný soubor tvořilo 451 žáků 9. ročníků základních škol v Jihočeském kraji. Rovněž byly zjišťovány subjektivní názory 15 učitelů na evaluovanou interaktivní učebnici.

Klíčová slova

Fotosyntéza; Interaktivní učebnice; Výuka na základní škole; Pre-test; Post-test

ÚVOD

Fotosyntéza je jeden z nejdůležitějších procesů probíhajících na Zemi. Ve výuce přírodopisu na základní škole je však tento proces řazen k těm nejobtížnějším a nejproblematičtějším (Marmaroti a Galanopoulou, 2006).

Energie získávaná v procesu fotosyntézy a uložená v biomase fosilních paliv je pro lidstvo i dnes velmi významným zdrojem energie (Pokorný, 2014). Proces fotosyntézy je důležitý i v zemědělství, a to zejména v pochopení nárůstu biomasy (Pšenčík, 2018; Ryplová, 2014). V souvislosti se Zelenou dohodou (New Green Deal) je vhodné, aby i budoucí generace znala principy tvorby biomasy a růstu rostlin (EU, 2019). Proces fotosyntézy je úzce spjat s transpirací rostlin, která se podílí na koloběhu vody v krajině (Ellison et al., 2017). Rostliny mají rovněž důležitou roli v potlačování dopadů globální klimatické změny a v souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje je potřeba změnit přístup veřejnosti k vegetaci v našem okolí (Jose et al., 2019).

Z výše uvedených důvodů je důležité, aby žáci během výuky fotosyntézy pochopili jednotlivé procesy a jejich dopad na Zemi v globálním měřítku a nedocházelo pouze k předávání abstraktních pojmů, které jsou pro žáky nepochopitelné (Pavlátová, 2019). Většina žáků je tímto tématem někdy až frustrována, poněvadž toto téma bývá stručně nebo naopak složitě vysvětlováno a často bývá doprovázeno kresleným schématem s cizími pojmy, kterým žáci nerozumí.

Fotosyntéza je jedním z kritických témat nejenom pro žáky různých typů škol, ale i pro samotné učitele přírodovědných předmětů (Vágnerová et al., 2019). Změnou přístupu k výuce v procesu učení napříč celým vzdělávacím systémem by se mohlo předejít tvorbě mnohých miskonceptů spojených právě s fotosyntézou (Pavlátová, 2019).

Cílem této studie byla evaluace inovativní digitální učebnice navržené v rámci projektu TAČR TL05000150: Biomasa v trvale udržitelné krajině: digitální platforma pro výuku fotosyntézy ve vodě a na souši k poznání úlohy rostlin v krajině, a zjistit efektivitu zapojení této formy ICT vzdělávání do výuky učiva o fotosyntéze suchozemských a vodních rostlin. Tato multimediální učebnice v sobě zahrnuje jednotlivé komponenty – text, fotografie, audio, video, animace a úlohy, to vše spojené dohromady v jeden celek. Digitální učebnici je možné používat na počítačích, noteboocích, tabletech nebo dalších digitálních zařízeních. Učebnici lze najít na odkazu <https://fotosyntezaVKrajine.cz/>.

METODIKA SBĚRU DAT

Přínos digitální učebnice ve výuce byl testován v roce 2023 na 11 základních školách v Jihočeském kraji. Výzkum probíhal v devátých třídách s celkovým počtem 451 žáků. Dotazníkové šetření bylo zcela anonymní, žáci uváděli pouze svůj věk a pohlaví.

Zjišťování kognitivních cílů učebnice probíhalo metodou kontrolovaného zadávání pre-testů a post-testů žákům. Pre-test, který ověřuje vstupní úroveň žákovy kognice, byl zadáván na začátku testování. Po vyplnění pre-testu proběhla 45minutová výuka tématu fotosyntézy suchozemských nebo vodních rostlin. Žákům byla předvedena práce s učebnicí na interaktivní tabuli a na počítači. Vše jim bylo vysvětleno jak po obsahové stránce, tak po metodické stránce, včetně práce s digitální učebnicí. Dále byl žákům dán přístup do učebnice (heslo). Žáci měli týden na to, aby doma s učebnicí na počítači samostatně pracovali. Po týdnu proběhla kontrola pomocí post-testů.

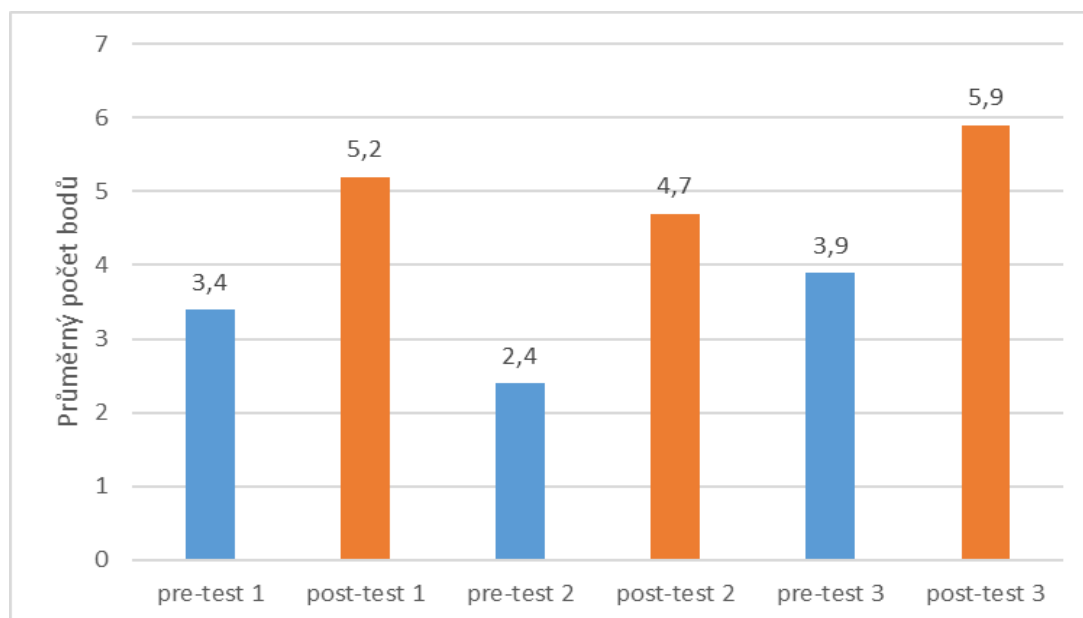
Testování bylo rozděleno na části dle výběru z kapitol o fotosyntéze suchozemských nebo vodních rostlin, byly vytvořeny 2. varianty testu. Pre-test evaluoval především kognitivní cíle (9 otázek k fotosyntéze suchozemských rostlin, 10 otázek k fotosyntéze vodních rostlin, otázky č. 1.-7. měly stejné znění pro obě varianty). Post-test byl doplněn o otázky k ověřování afektivních cílů (subjektivní názory žáků na interaktivní učebnici fotosyntézy – vždy 4 stejné otázky). Testování proběhlo ve dvou vlnách – na jaře a na podzim roku 2023. Na jaře bylo testování rozděleno právě na fotosyntézu suchozemských (N=151 žáků) rostlin a zvláště fotosyntézu vodních rostlin (N=150 žáků). Na podzim 2023 byly použity jen testy se zaměřením na fotosyntézu vodních rostlin (N=150 žáků), protože fotosyntéza vodních rostlin je ve výuce na základní škole úplně opomíjena.

Doplňkově byly zjišťovány ještě názory učitelů na digitální učebnici. Výzkumu metodou polostrukturovaného rozhovoru se zúčastnilo 15 učitelů přírodovědných předmětů ze sedmi základních škol. Jednalo se hlavně o učitele přírodopisu. Učitelé měli cca 14 dní na seznámení s učebnicí. Po této době byl s nimi realizován rozhovor, během něhož bylo každému z nich položeno těchto 7 základních otázek. Rozhovory byly nahrávány, následně proběhl jejich přepis a vyhodnocení tohoto kvalitativního výzkumu.

VÝSLEDKY

Kognitivní hodnocení učebnice

Výsledky studie jsou zde prezentovány souhrnně převážně z celého testování žáků (N= 451 žáků). Maximální bodový zisk v testu mohl činit až 18 bodů. Z celkového rozboru odpovědí jednotlivých otázek v testech bylo zjištěno malé povědomí žáků v základních znalostech, týkajících se například pojmů biomasa, rozdílů v rostlinném metabolismu během dne a noci. Žáci také neumí vysvětlit výživu rostlin. Z nasbíraných dat vyplývá, že většina žáků v pre-testu i post-testu uvedla, že jediný proces, který využívá sluneční energii, je fotosyntéza. Žáci si nedokázali proces fotosyntézy spojit s procesem růstu či s výparem. V post-testu se úspěšnost vždy zvýšila, animace v digitální učebnici pomohly některým žákům pochopit, že rostliny využívají sluneční energii k fotosyntéze a následně k růstu. Obrázek 1 ukazuje, že po výuce a práci s touto interaktivní učebnicí, se znalosti žáků v post-testech celkově zvýšily.

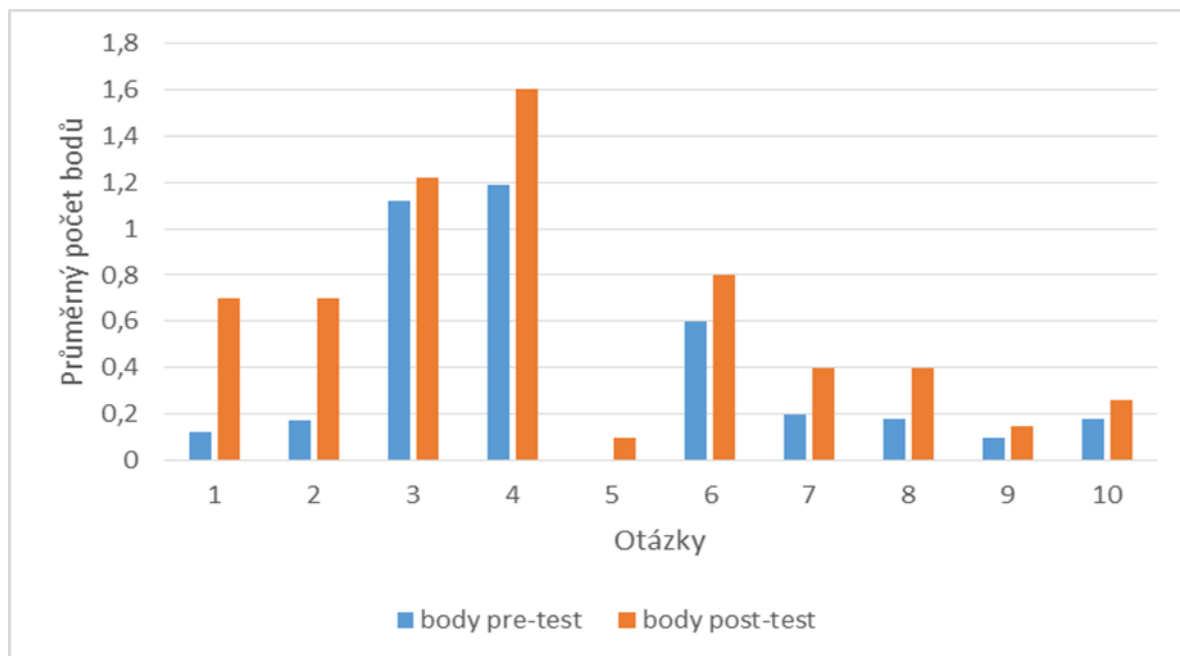


Obr. 1 Průměrné bodové výsledky jednotlivých sérií testování (Chmelová, 2023).

Výrazný posun najdeme u otázky zaměřené na srovnání výživy rostlin a živočichů. Ta byla rozdělena na dvě části. V první části žáci odpovídali na to, z čeho získávají živočichové organické látky ke svému růstu. Správná odpověď byla z potravy nebo organických látek (cukrů, tuků a bílkovin). V druhé části otázky žáci zase odpovídali na to, z čeho získávají organické látky ke svému růstu rostliny. V tomto případě byla správná odpověď pomocí fotosyntézy. Většina žáků byla schopna správně odpovědět na první část otázky, tedy „odkud získávají organické látky živočichové“. Nejčastěji byla zaznamenána odpověď: „z potravy“ a „z jídla“. U druhé podotázky, tedy z čeho získávají organické látky rostliny, žáci nejčastěji

odpovídali chybně „z půdy“. Tuto častou žákovskou miskocepci potvrzují rovněž i některé zahraniční výzkumy (Keleş & Kefeli, 2010; Galvin et al., 2015).

Na Obr. 2 můžeme vidět, že v post-testech se dále zvýšily znalosti žáků i právě z učiva o fotosyntéze vodních rostlin díky práci s digitální učebnicí.

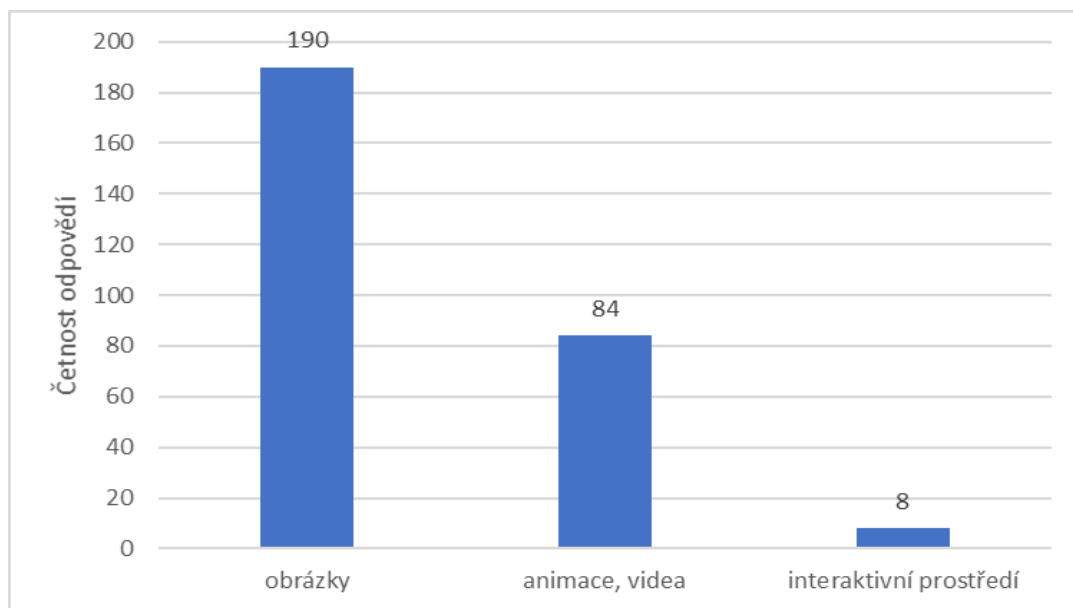


Obr. 2 Histogram zobrazující bodové hodnocení jednotlivých otázek v pre-testech a post-testech u finálního podzimního testování (N=150) (Chmelová, 2023).

Využití elektronické učebnice Biomasa v trvale udržitelné krajině v prostředí základních škol potvrzuje pozitivní vliv na rozvoj žákovských vědomostí. Dle Vágnerové (2019) a Hersheyho (2005) patří právě fotosyntéza mezi jedno z nejvíce kritických témat ve výuce přírodopisu a biologie.

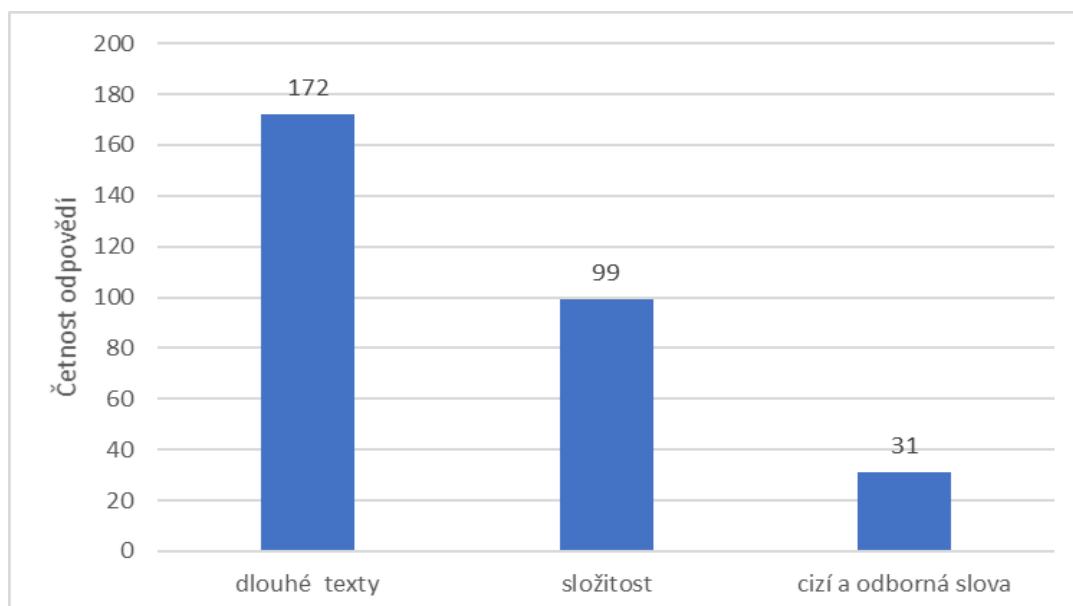
Afektivní hodnocení učebnice žáky

Žáci ve všech třech testováních uváděli nejčastěji, že se jim na učebnici líbí vysvětlující obrázky, dále videa a interaktivní animace. Rovněž si pochvalovali interaktivní prostředí a jednoduchý přístup k učebnici. Na Obr.3 jsou zobrazeny tři kategorizace nejčastějších odpovědí žáků.



Obr. 3 Histogram zobrazující vybrané pozitivní odpovědi žáků při hodnocení učebnice (N=451) (Chmelová, 2023).

Na otázku, co se jim na učebnici naopak nelíbí, hodnotili žáci většinou pro ně příliš dlouhé testy, složitost učebnice a časté užívání pro ně cizích a odborných slov (Obr. 4). Dále žáci uváděli, že jim v textu chyběl tučný text označující ty nejdůležitější informace nebo občasná nepřehlednost učebnice.



Obr. 4 Histogram zobrazující vybrané negativní odpovědi žáků při hodnocení učebnice (N=451) (Chmelová, 2023).

I přes výše uvedené některé výtky žáků k učebnici, převažovaly spíše pozitivní reakce žáků na práci s touto digitální učebnicí.

Hodnocení učebnice učiteli z praxe

Celkem bylo realizováno 15 rozhovorů s učiteli přírodovědných předmětů. Průměrná délka praxe respondentů činila 21 let. Výsledky tohoto kvalitativního výzkumu jsou zde shrnuty pouze do nejdůležitějších zjištění. Většina vyučujících plánuje využít učebnici ve vlastní výuce. Respondenti pozitivně hodnotili hlavně obrázky a animace, dále pak oceňovali kapitoly o ekologických souvislostech fotosyntézy. Většina z dotazovaných pedagogů by však doporučila zjednodušit texty pro žáky základních škol či použít učebnici spíše jako rozšiřující učivo či k vlastním přípravám na výuku.

ZÁVĚR

Po výuce s testovanou interaktivní učebnicí došlo k prokazatelnému zvýšení celkového průměrného bodového hodnocení v post-testech u žáků základních škol. Učebnice tak může pomoci žákům pochopit lépe proces fotosyntézy. Pozitivní dopad zařazení ICT do výuky ukazuje například studie Chandra & Lloyd (2008). Ideální je dle ČŠI (2016) umírněné využívání ICT ve výuce ve škole a při domácí přípravě žáků na ni. Pozitivně interaktivní učebnici po vizuální a obsahové stránce hodnotili jak žáci, tak učitelé z praxe.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen TACŘ 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.

LITERATURA

Česká školní inspekce. (2016). Žáci a ICT – Sekundární analýza výsledků šetření ICILS 2013 a PISA 2012. Praha: ČŠI.

https://www.csicr.cz/Csicr/media/Prilohy/PDF_el._publikace/Mezin%3%a1rodn%3%ad%20%c5%a1et%c5%99en%3%ad/PISA_ICILS_SA_ICT.pdf

Ellison, D., Morris, C., E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarsa, 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. *Global Environmental Change: human and policy dimensions*, (43), 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

EU (2019). Zelená dohoda pro Evropu. *Brusel, Evropská komise*. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

Galvin, E., Simmie, G. M. & 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(2), 1–8. <https://doi.org/10.3968/6519>.

Hershey, D., R. (2006). Avoid Misconceptions When Teaching about Plants. *California Journal of Science Education*. https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/llamabox/Botany/Avoid%20Misconceptions%20When%20Teaching%20about%20Plants%20by%20David%20R.%20H...pdf

Chandra, V., & Lloyd, M. (2008). The methodological nettle: ICT and student achievement. *British Journal of Educational Technology*, 39, 1087-1098. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00790.x>

Jose, S., B., Chih-Hang, W., Kamoun, S. (2019). Overcoming plant blindness in science, education, and society. *Plants People Planet*, 1(3), 169-172. <https://doi.org/10.1002/ppp3.51>

Keleş, E. & Kefeli, P. (2010). Determination of student's misconceptions in „photosynthesis and respiration” unit and correcting them with the help of cai materiál. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3111–3118. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.474>

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.

Pavlátová, V. (2019). Dětská pojetí vybraných environmentálních fenoménů u žáků 1. a 2. stupně základní školy. *Envigogika*, 14(1). <https://doi.org/10.14712/18023061.585>

Pokorný J. (2014). *Hospodaření s vodou v krajině – hospodaření ekosystémů*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí. http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/skripta/29e_final_tisk.pdf

Pšenčík, J. (2018). Proč je důležité studovat fotosyntézu? Department of Chemical Physics and Optics, Karlova Univerzita. <https://physics.mff.cuni.cz/kchfo/oos/jakub/uvod.htm>

Ryplová, R. (2014). *Fyziologie rostlin*. Skriptum pro studující Učitelství přírodopisu pro 2. stupeň ZŠ. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Vágnerová, P., Benediktová, L., Kout, J. (2019). Kritická místa ve výuce přírodopisu - jejich identifikace a příčiny. *Arnica 9(1)*, 39-50. https://www.arnica.zcu.cz/images/casopis/2019/Arnica_2019_1-4-Vagnerova-Benediktova-Kout-web.pdf

Kontaktní adresa

Ing. Štěpánka Chmelová, Ph.D., RNDr. Renata Ryplová, Ph.D., PhDr. Zbyněk Vácha, Ph.D., Mgr. Tereza Brčáková, Ing., Mgr. Matěj Novák

Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích
Jeronymova 10, 370 01 České Budějovice 6, Česká republika

Email: chmel@pf.jcu.cz

Výuka fotosyntézy vodních rostlin za využití nové digitální učebnice – její vliv a názory budoucích učitelů přírodopisu

Tereza Brčáková, Renata Ryplová, Štěpánka Chmelová, Zbyněk Vácha & Matěj Novák

Abstrakt

Cílem této studie bylo ověření vlivu nové digitální učebnice na znalosti budoucích učitelů (studentů pedagogické fakulty) v druhém a čtvrtém ročníku studia. Výzkum byl proveden formou pre-test a post-test. Zkoumán byl vliv učebnice na studentské znalosti v hlubším kontextu – za využití znalostního testu a konceptových map. Výzkum byl proveden celkem u 67 studentů. Dle vyhodnocení dat došlo ke statisticky průkaznému zlepšení znalostí v oblasti fotosyntézy vodních rostlin.

Klíčová slova

Fotosyntéza, digitální učebnice, vodní rostliny

ÚVOD

Fotosyntéza je základním procesem, který díky produkci organických látek a kyslíku podmiňuje současný život na Zemi (Šebánek, 1983). S procesem fotosyntézy se lze setkat v určitém rozsahu, v závislosti na vyučované věkové skupině, napříč celým vzdělávacím systémem v České republice. Zatímco v rámci vzdělávacího programu pro základní školy je výstupem uvedeno, že žák zná základní principy fotosyntézy, v rámci vzdělávacího programu pro gymnázia (potažmo střední školy) je kladen důraz na rostliny zejména jako na producenty biomasy (RVP ZV, 2023; RVP G, 2007). Mezi nejméně populární oblasti biologie, mimo učiva geologie, buňky a systému hmyzu, je řazena právě fotosyntéza (Rokos, 2023; Vágnerová et al., 2019). Velká míra abstrakce a složitá terminologie činí z fotosyntézy jedno z kritických míst přírodopisu a biologie (Métoui et al., 2015; Vágnerová et al., 2019). Neoblíbenost a nepochopení tohoto učiva se netýká pouze žáků základních a středních škol (Stavy et al., 1987), ale také studentů vysokých škol (Rokos, 2023; Södervik et al., 2015) či dokonce pedagogů (Prokop et al., 2007; Uno, 2009). Nezájem veřejnosti o botanické a fyziologické procesy rostlin často setrvává i v dospělosti. Tuto skutečnost lze považovat za součást fenoménu „Plant blindness“, který je považován za všeobecnou lidskou ignoranci rostlin v životním prostředí člověka. Tato ignorace nespočívá pouze v neschopnosti rozeznat rostliny navzájem, ale také v neznalosti vlivu rostlin na okolí (Uno, 2009, Wandersee & Schussler, 1999).

Znalost rostlin a jejich funkce v lokálním i globálním měřítku je nutným předpokladem pro trvale udržitelný rozvoj, který je považován za jeden z hlavních cílů pro budoucí generace (Blair et al., 2021). Česká republika se společně s EU připojila k Zelené dohodě, která si jako jeden z hlavních cílů klade právě trvale udržitelný rozvoj, jedním z bodů tohoto cíle je využívání biomasy (Evropská komise, 2021).

Biomasa je definována jako hmota organického původu, její vznik je spojen právě s procesem fotosyntézy (Blair et al., 2021). S ohledem na tuto skutečnost, je vhodné, aby studenti a žáci rozuměli těmto pojmům a procesům, což jim v budoucnosti umožní pracovat na stanovených cílech. Tyto znalosti by studenti a žáci měli mít i dle RVP ZV a RVP G. Avšak Pavlatova (2019) uvádí, že právě biomasa a její vznik je často přehlíženým aspektem fotosyntézy.

Fotosyntéza vodních rostlin

Většina povrchu naší planety je pokryta vodní plochou. Součástí mnoha vodních ploch jsou vodní rostliny, které díky jejich obrovskému zastoupení na naší planetě jsou neodmyslitelnými producenty biomasy. Vzhledem k rostoucí eutrofizaci vod, narůstá také význam tvorby biomasy vodními rostlinami (Pokorný, 2014). Z rámcově vzdělávacích programů nevyplývá, zda princip fotosyntézy má být vyučován u suchozemských či vodních rostlin (RVP ZV, 2023; RVP G, 2007). S ohledem na množství vodních ploch je role vodních rostlin v tvorbě biomasy nezanedbatelná. Avšak ve výzkumu Ryplové et al. (2023) bylo v učivu fotosyntézy vodních rostlin detekováno mnoho znaků, které jsou součástí fenoménu „Plant blindness“ (Wandersee & Schussler, 1999), či „Plant awareness disparity“ (Parsley, 2020).

METODIKA

Tato studie byla zaměřena na porozumění tématu fotosyntézy vodních rostlin a jejího ekologického dopadu u studentů druhého ročníku bakalářského studia učitelství přírodopisu a další jiné aprobace a studentů prvního ročníku magisterského studia učitelství přírodopisu a další jiné aprobace. Výzkum byl proveden v říjnu 2023. Studie se celkem zúčastnilo 67 studentů – 48 studentů druhého ročníku studia a 19 studentů čtvrtého ročníku studia. K výzkumu bylo využito dotazníkového šetření metodou pre-test a post-test.

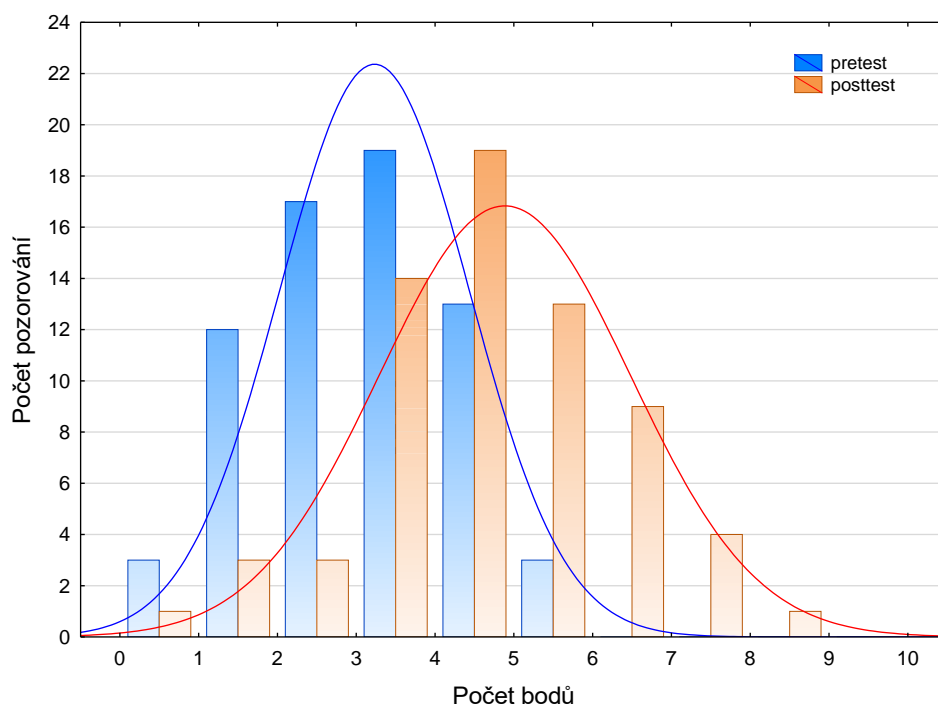
Využitý dotazník sledoval počáteční úroveň znalostí studentů učitelství přírodopisu pro druhý stupeň a jejich následnou změnu po provedené výuce. Pre-test i post-test obsahovaly sedm pojmů, které měli studenti za úkol vysvětlit – vodní květ, biomasa, formy uhlíku ve vodě, pH ve vodě, eutrofizace, kyslík ve vodě, světlo ve vodě (v tomto pořadí). Post-test obsahoval stejné pojmy ve stejném pořadí jako pre-test. Pro hlubší porozumění uvažování studentů měli studenti za úkol v pre-testu i post-testu z uvedených pojmů vytvořit konceptovou mapu. Sledováno bylo vzájemné propojení těchto pojmů. Studenti mohli doplnit také své vlastní pojmy, které se vážou k tématu a konceptovou mapu tak rozšířit. Mimo tyto dva úkoly obsahoval post-test také Likertovu škálu pro hodnocení proběhlé výuky.

Před výukou bylo studentům sděleno téma – fotosyntéza vodních rostlin a studenti vyplnili pre-test. Časová dotace na výuku byla 90 minut. Během této doby studenti pracovali s novou digitální učebnicí:

Biomasa v trvale udržitelné krajině (pro střední školy), která vznikla v rámci projektu TAČR TL 05000150. Učebnice určená pro žáky středních škol je dostupná na webových stránkách: <https://fotosyntezavkrajine.cz/>. Učitel byl během tohoto času pouhým průvodcem touto učebnicí, studenti pracovali samostatně. Během samostatné práce studenti pracovali s textem, obrazovým doprovodem i animacemi. Po výuce měli studenti k učebnici přístup celý následující týden. Po sedmi dnech studenti vyplnili post-test.

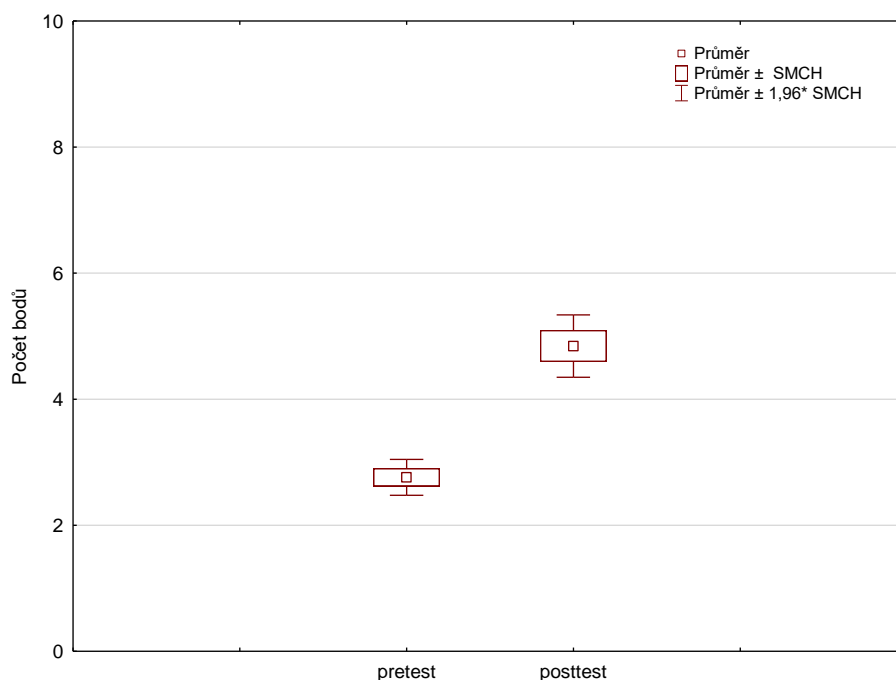
VÝSLEDKY A DISKUSE

K vyhodnocení nasbíraných dat byl využit Studentův T-test, který byl proveden v programu Statistica. Provedený test závislý dle skupin prokázal že práce s učebnicí má staticky prokazatelný vliv na nárůst znalostí tématu fotosyntézy vodních rostlin ($t = -8,7639$; $df = 66$; $p < 10^{-6}$). Zatímco v pre-testu studenti v průměru získali tři body, v post-testu se průměrná bodová úspěšnost zvýšila na pět bodů. Bodovou úspěšnost v pre-testech a post-testech všech dotázaných studentů si lze prohlédnout na histogramu na obr. č. 1.



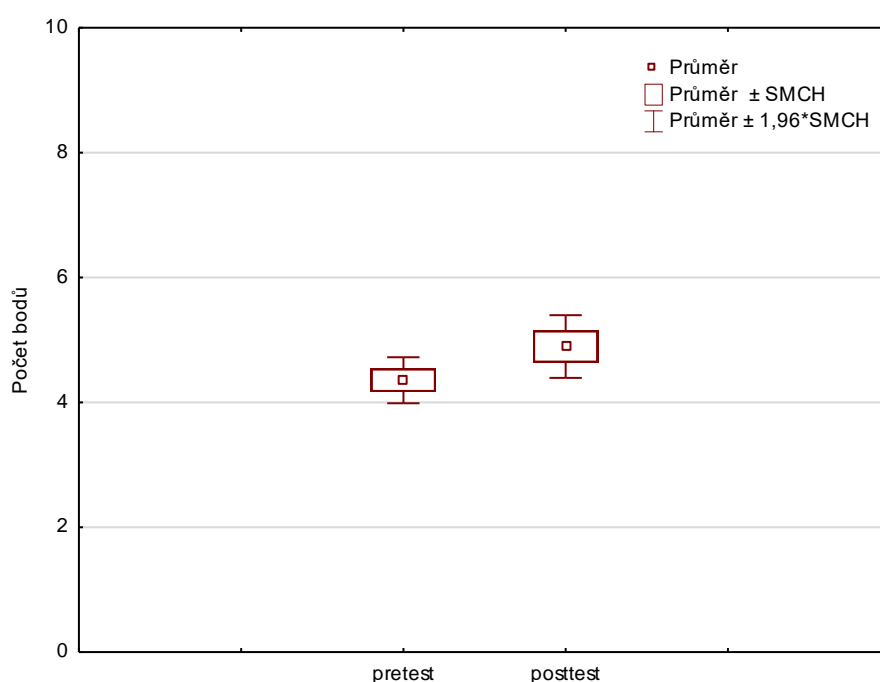
Obr. č. 1: Histogram zobrazující bodovou úspěšnost pro celkový počet respondentů (N = 67) pro pre-test a post-test.

Na grafech na obr. č. 2 a č. 3 si lze prohlédnout vliv práce s digitální učebnicí odděleně pro druhý a čtvrtý ročník studia učitelství. Jak je patrné z těchto grafů, u obou skupin došlo k pozitivnímu vlivu učebnice na studentské znalosti v dané oblasti. Jak je patrné z grafu č. 2, u druhého ročníku došlo k většímu nárůstu znalostí v dané tématice ($t = -9,8564$; $df = 47$; $p < 10^{-6}$). Studenti druhého ročníku v pretestu dosahovali v průměru tří bodů, v posttestu se jejich úspěšnost zvýšila na bodů pět.



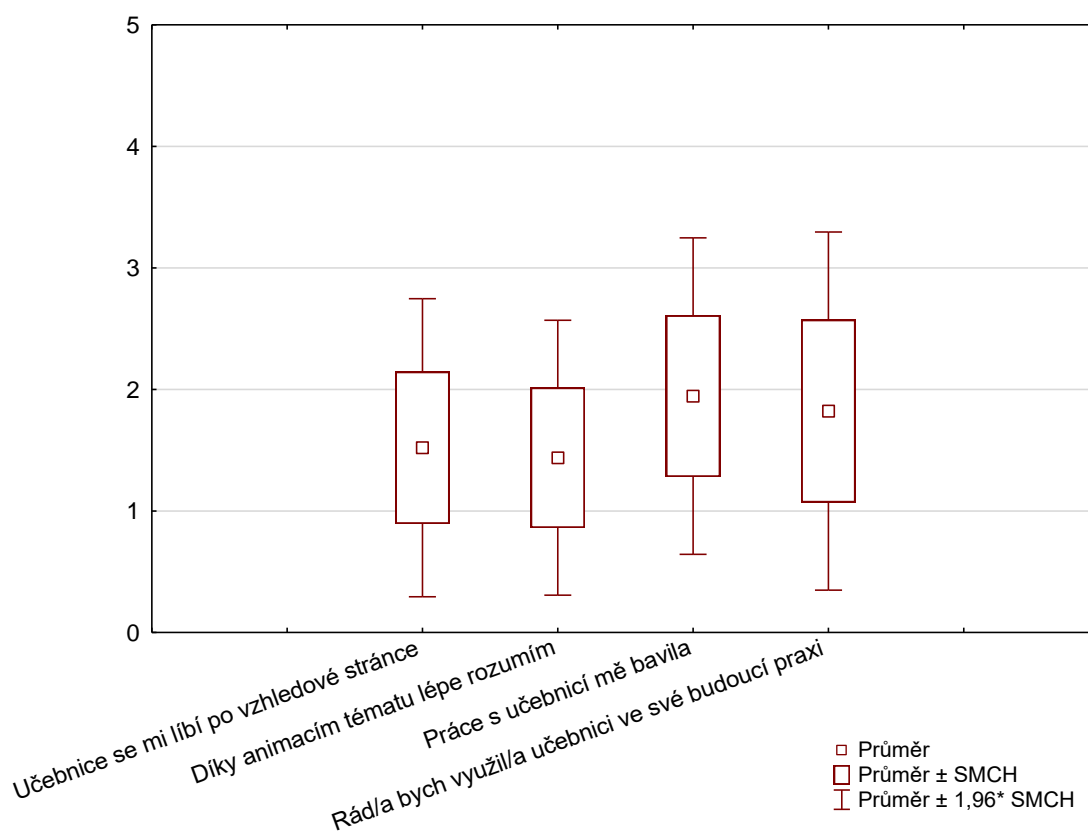
Obr. č. 2: Krabicový graf zobrazující celkové statistické zhodnocení pro 2. ročník.

Pozitivní vliv na znalosti měla také výuka u čtvrtého ročníku, nárůst zde však byl nižší ($t = -2.0956$; $df = 18$; $p = 0,05$). Zatímco v pre-testu studenti čtvrtého ročníku v průměru získali čtyři body, v post-testu bodů pět (graf. č. 3). Je nutné podotknout, že výzkum u čtvrtého ročníku byl proveden na menším počtu respondentů. Lze také předpokládat, že studenti vyšších mají více počátečních znalostí oproti ročníku druhému.



Obr. č. 3: Krabicový graf zobrazující celkové statistické zhodnocení pro 4. ročník.

Graf č. 4 zobrazuje studentské zhodnocení názorů na nově vzniklou digitální učebnici. K hodnocení učebnice byla využita Likertova škála s číselnými hodnotami, kde je význam číselných hodnot definován: 1 = naprosto souhlasím; 2 = spíše souhlasím; 3 = ani souhlasím, ani nesouhlasím; 4 = spíše nesouhlasím; 5 = rozhodně nesouhlasím. Jak je patrné z grafu č. 4, studenti ocenili zejména animace a vzhledovou stránku učebnice. Většina studentů (58 dotázaných) by učebnici ráda využila ve své budoucí praxi (studenti označili číselnou hodnotu na škále jedna nebo dva).

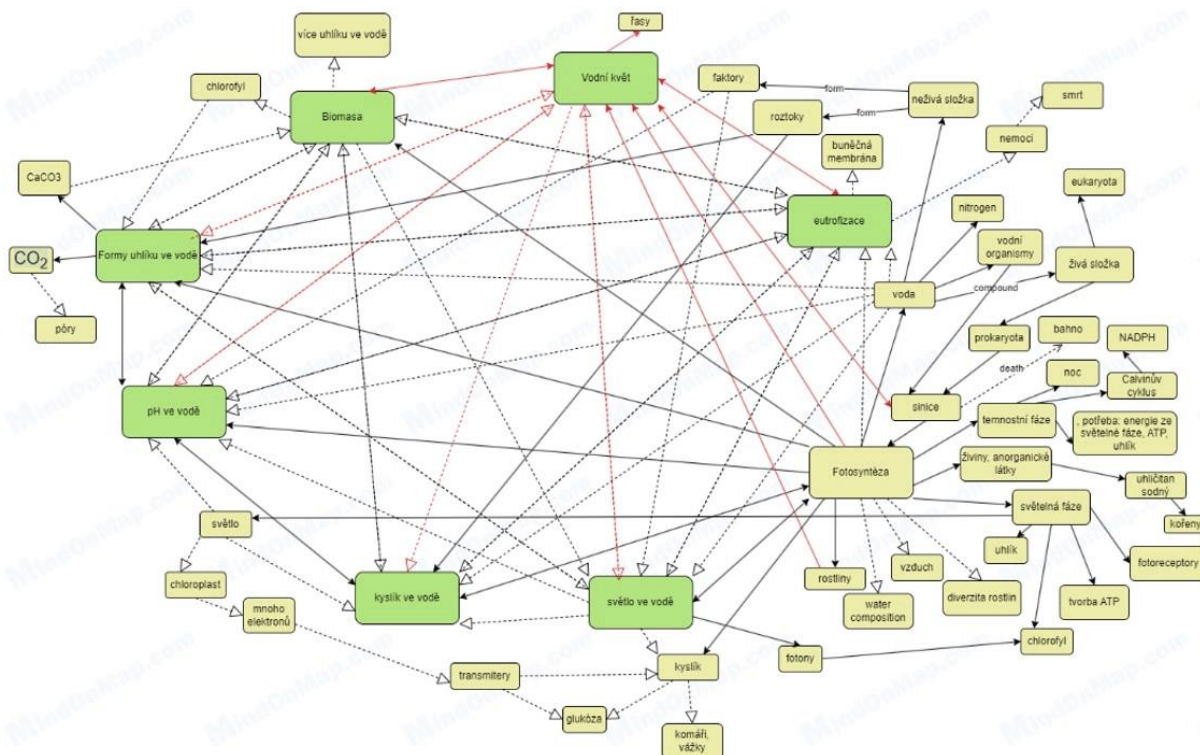


Obr. č. 4: Studentské hodnocení digitální učebnice na Likertově škále.

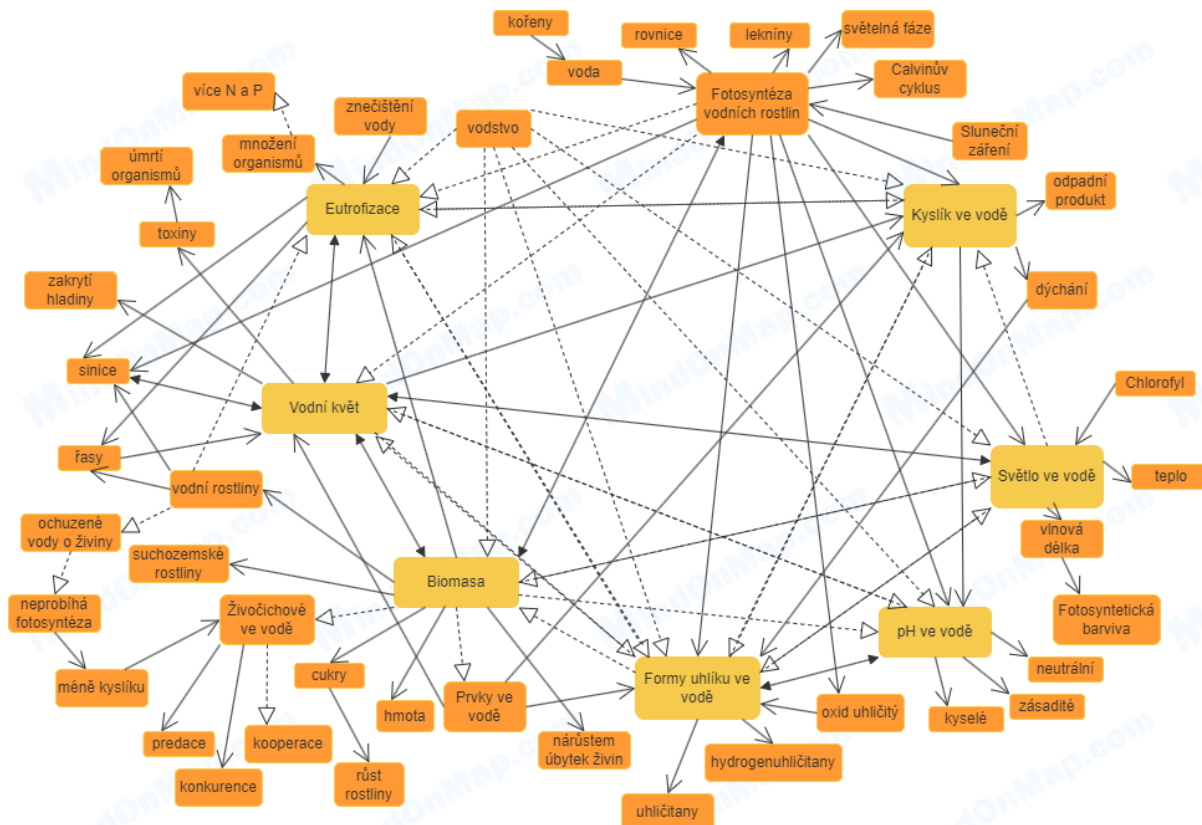
Z nasbíraných studentských konceptových map byly následně vytvořeny souhrnné konceptové mapy, které slouží jako doplňková obrazová dokumentace k pochopení studentského uvažování o problematice. Na obr. č. 5 je souhrnná konceptová mapa pro pre-test získaná od studentů druhého ročníku, na obr. č. 6 je souhrnná konceptová mapa pro pre-test získaná od studentů čtvrtého ročníku. Na grafech jsou znázorněny všechny pojmy, které žáci využili ve svých pre-testových konceptových mapách. Konceptové mapy obsahují dva typy šipek. Šipky s plnou čarou zobrazují správné spojení pojmů, naopak šipky přerušované uvádějí chybné propojení pojmů. Studenti nad jednotlivá propojení uváděli další spojující výrazy, nejčastěji slovesa. Tyto slova jsou z pojmových map vynechána pro jejich snadnější čtení. Studenti druhého ročníku v pojmových mapách v pretestu přidali 46 slov, v posttestu jich využili 58. Studenti čtvrtého ročníku studia v pre-testu přidali do konceptové mapy 43 slov, v post-

testu pouze 40. Tento fakt může být ovlivněn odlišným počtem respondentů v daných skupinách. V konceptových mapách bylo sledováno propojování jednotlivých pojmů. Na základě toho byly detekovány některé miskoncepce, které se objevily v pre-testech:

- „Při roustoucím pH rostliny lépe fotosyntetizují“,
- „Čím vyšší je teplota, tím stoupá rozpustnost kyslíku“
- „Biomasa je pouze rostlina (stonek, list)“.



Obr. č. 5: souhrnná konceptová mapa pro 2. ročník učitelství přírodopisu pro druhý stupeň základní školy– pre-test. Zeleně jsou zobrazeny zadané pojmy, žlutě jsou zobrazeny pojmy přidané. Plná čára šipky spojuje správně spojené pojmy, čára přerušovaná zobrazuje chybně spojené pojmy, N = 48.



Obr. č. 7: Souhrnná konceptová mapa pro 4. ročník učitelství přírodopisu pro druhý stupeň základní školy – pre-test. Žlutě jsou zobrazeny zadané pojmy, oranžově jsou zobrazeny pojmy přidané. Plná čára šipky spojuje správně spojené pojmy, čára přerušovaná zobrazuje chybně spojené pojmy, N = 19.

ZÁVĚR

Z výzkumu vyplývá, že zúčastnění studenti vysokých škol s oborem učitelství pro druhý stupeň mají nízké znalosti v oblasti fotosyntézy vodních rostlin. Ze statistického zpracování dat je patrné, že nová digitální učebnice má pozitivní vliv na porozumění tématu fotosyntézy vodních rostlin a může tak sloužit jako podpůrný materiál k výuce studentů vysokých škol. Studenti na učebnici ocenili její vzhled a animace, většina z nich by tuto učebnici ráda využila v budoucí praxi. Tato studie je pouze pilotní verzí a bylo by vhodné ji doplnit o další data.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen TACŘ 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.

LITERATURA

Blair, M., J., Gagnon, B., Klain, A., & Kulišić, B. (2021). Contribution of Biomass Supply Chains for Bioenergy to Sustainable Development Goals. *Land, 10*(2), 181. <https://doi.org/10.3390/land10020181>

- EU (2019). Zelená dohoda pro Evropu. *Brusel, Evropská komise*. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- Métiou, A., Matoussi, F., & Trudel, L. (2015). The Teaching of Photosynthesis in Secondary School: A History of Science Approach. *Journal of Biological Education, 50(3)*, 275-289. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085427>
- Parsley, K., M. (2020). "Plant Awareness Disparity: A Case for Renaming Plant Blindness." *Plants, People, Planet, 2(6)*, 598-601. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10153>
- Pavlatova, V. (2019). Dětská pojetí vybraných environmentálních fenoménů u žáků 1. a 2. stupně základní školy. *Envigogika, 14(1)*, 19. <https://doi.org/10.14712/18023061.585>
- Prokop, P. & Prokop M., Tunnicliffe, S., D., (2007). Is biology boring? Student attitudes toward biology. *Journal of biological education, 42(1)*, 36-39. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2007.9656105>
- Rámcově vzdělávací program pro základní školy (2023). *MŠMT*, 164. <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>
- Rámcově vzdělávací program pro gymnázia (2007), *MŠMT*, 100. <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia-rvp-g/>
- Rokos, L., (2023). Kritická místa kurikula ve výuce přírodopisu a biologie pohledem studentů učitelství. *Arnica, 13(1)*, 1-11. https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/54772/1/Arnica_2023-1_1-Rokos-web.pdf
- Ryplova, R., Pokorný, J., & Baxa, M., (2023). Education for Sustainability: Innovative Teaching on Photosynthesis of Aquatic Plants in Ecological Context. *European Journal of Sustainable Development, 12(4)*, 69-82. <http://dx.doi.org/10.14207/ejsd.2023.v12n4p69>
- Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D., (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education, 9(1)*, 105-115. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069870090111>
- Šebánek, J. (1983). *Fyziologie rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 558.
- Uno, G., E. (2009). Botanical literacy: How and what students should learn about plants. *American Journal of Botany, 96*, 1753-1759. <https://www.jstor.org/stable/27733513>
- Wandersee, J., H., Schussler, E., E. (1999). Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher, 61(2)*, 82-86. <https://doi.org/10.2307/4450624>

Kontaktní adresa

Mgr. Tereza Brčáková, RNDr. Renata Ryplová, Ph.D., Ing. Štěpánka Chmelová, Mgr. Zbyněk Vácha, Ph.D., Ing. Mgr. Matěj Novák

Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích
Jeronymova 10, 370 01 České Budějovice 6, Česká republika

Email: brackt00@jcu.cz, ryplova@pf.jcu.cz, chmel@pf.jcu.cz, zvacha@pf.jcu.cz, novakm56@jcu.cz

Vydalo nakladatelství: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

V roce 2023

ISBN 978-80-7694-050-5

ISBN 978-80-7694-050-5



9 788076 940505

