

## Opomíjená úloha vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu – sonda znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu

Renata Ryplová, Jan Pokorný

Envigogika 14 (1) – Recenzované články /Reviewed Articles

Published/ Publikováno 22. 06. 2019

DOI: [10.14712/18023061.586](https://doi.org/10.14712/18023061.586)

### Abstrakt

Z pohledu utváření klimatu a zachování dostatku vody v krajině hraje vegetace v životním prostředí člověka zcela klíčovou roli. Díky výparu vody (evapotranspiraci) přeměňuje většinu dopadající sluneční energie na skupenské teplo vody a chladí své okolí výkonem několik set  $W \cdot m^{-2}$ . Evapotranspirace snižuje teplotní gradienty a stojí na začátku tzv. krátkého cyklu vody, díky němuž se voda do krajiny opět vrací ve formě srážek. Vegetační kryt v krajině tak významně zmírňuje dopady globální klimatické změny a pro zachování dostatečného množství vody v krajině pro budoucí generace má klíčový význam. I přesto však je, bohužel, všeobecné povědomí o této úloze vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu poměrně nízké. Nedostatečná pozornost je tomuto tématu věnována již v rámci školní výuky. Následující článek přináší výsledky sondy, která jako první v českém prostředí mapuje znalosti začínajících studentů učitelství přírodopisu k tomuto tématu. Sonda odhalila velmi malé povědomí o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině u začínajících studentů přírodopisu na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Kritickými místy jsou zejména nedostatečná znalost principu transpirace a pochopení zákonitých souvislostí mezi fyzikálními a fyziologickými ději a úlohou rostlin v malém cyklu vody.

### Klíčová slova:

vegetace; voda v krajině; distribuce sluneční energie; přírodovědné vzdělávání

### Abstract:

In human environment, vegetation plays a key role for the local climate formation and water supply of the landscape. Due to evaporation of water (evapotranspiration) the vegetation convert the solar energy into the latent heat and cools the environment with a power of several hundred  $W \cdot m^{-2}$ . By this way the vegetation cover helps to mitigate the impact of global climate change and plays significant role for the maintenance of sufficient water supply for the next generations. Despite of this crucial importance the general knowledge of the role of vegetation in solar energy distribution and local climate formation seems to be poor. Insufficient attention is paid to this topic already at the schools. This contribution brings the results of the survey focused on the knowledge of novice pre – service science teachers of Faculty of Education, University of South Bohemia. According to the results of this survey,

the novice pre-service science teachers understanding of the role of vegetation in solar energy distribution and water cycle in the landscape is low. Critical points are insufficient knowledge of plant transpiration and proper understanding of the casual links between physical and physiological processes and the role of vegetation in a short water cycle. The contribution brings also brief didactic overview of the role of vegetation in water cycle and solar energy distribution in the landscape.

**Key words:**

Vegetation; Water in the landscape; Solar energy distribution; Science education

## Šířící se sucho a opomíjená role vegetace v krajině

Česká republika čelí v posledních letech stále rostoucí míře sucha. (Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, 2017). Z celosvětového pohledu je za hlavní příčinu nárůstu sucha všeobecně považováno globální oteplování způsobené především zvyšováním emisí oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů díky lidské činnosti (IPCC, 2018; 2014). Podstatně méně pozornosti se však věnuje roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině, ačkoliv pro zachování dostatku vody na kontinentech je správně fungující krajina s vegetací a dostatečnou retenční schopností zcela zásadní (Pokorný, 2019; Ellison a kol., 2017; Kravčík a kol., 2007). Podceňování významu role vegetace pro zmírnění dopadů globální klimatické změny je spojeno s všeobecně rozšířeným fenoménem přehlížení rostlin a jejich role v životním prostředí člověka, v angličtině označovaným jako „plant blindness“. Tento v mezinárodní botanické literatuře často diskutovaný jev byl poprvé zmíněn již v roce 1999, (Wandersee & Schussler, 1999), šíří se však bohužel celosvětově dodnes (Ryplová, 2017; Çil & Yanmaz, 2017; Uno, 2009; Allen, 2003).

„Plant blindness“ vyjadřuje neschopnost člověka vnímat rostliny ve svém prostředí spojenou s ignorancí jejich nepostradatelné role v lidském životním prostředí (Uno, 2009; Wandersee & Schussler, 1999). Rostliny jsou člověkem registrovány pouze jako jakási zelená kulisa bez hlubšího významu. Zvykli jsme si chápat je jako samozřejmou součást našeho každodenního prostředí, jako cosi, co nás běžně obklopuje tak jako například nábytek v našem obývacím pokoji. Nevěnujeme však pozornost tomu, jakou zásadní úlohu tyto zdánlivě běžné součásti našeho okolního prostředí pro zachování našeho života mají. Nezájem pak zákonitě vede i k neznalosti – „botanical illiteracy“ (Uno, 2009), která však může mít pro lidstvo dalekosáhlé následky. Díky neznalosti základních rostlinných fyziologických funkcí a s nimi souvisejícího významu rostlin v krajině může docházet k neuváženým zásahům do vegetačního krytu, které mají výrazný dopad na životní prostředí člověka. Jedním z těchto dopadů, který se v poslední době projevuje velmi negativně a pro existenci lidstva má zásadní význam, je rozšiřující se sucho. Pro zachování dostatku vody do budoucna potřebuje proto společnost mladé zemědělce, lesníky, krajinné architekty, urbanisty ale i ekonomy a energetiky, mající základní povědomí o fyziologické funkci vegetace v koloběhu vody a distribuci sluneční energie v krajině. K zajištění informovanosti široké veřejnosti je proto důležité, aby tato environmentální problematika byla součástí výuky již na školách. Předpokladem pro kvalitní výuku je pak především odpovídající vysokoškolská příprava budoucích pedagogů, která zajistí dostatečnou informovanost nastupující generace učitelů přírodovědných disciplín. Aby mohla být vysokoškolská výuka dostatečně efektivní, je potřeba znát úroveň znalostí, s nimiž začínající studenti pedagogicky orientovaných přírodovědných oborů do vysokoškolského studia vstupují. Doposud však nebyla provedena studie, která by úroveň znalostí a povědomí začínajících studentů učitelství přírodopisu o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině mapovala. Proto byla provedena pilotní sonda, jejíž výsledky přináší následující příspěvek. Cílem sondy bylo zjistit, jaká je vstupní úroveň znalostí výše zmíněného tématu, s nimiž studenti pedagogicky orientovaných oborů na katedře biologie PF JU nastupují do vysokoškolské výuky po absolvování středních škol.

## Základní principy funkce vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině

Osud sluneční energie dopadající na zemský povrch pokrytý vegetací se výrazně liší od osudu sluneční energie dopadající na zemský povrch bez vegetace.

Sluneční energie je zdrojem veškerého života na Zemi. Na vnější hranici zemské atmosféry přichází v průběhu roku  $1\,321\text{--}1\,412\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , podle vzdálenosti Země od Slunce na její eliptické dráze. Pro průměrnou vzdálenost Země od Slunce se počítá příkon slunečního záření  $1\,367\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (solární konstanta), Země potom dostává od Slunce na  $180\,000\text{ TW}$

energie, která ohřívá planetu Zemi přibližně o 287 °C (Kopp a kol. 2005). Sluneční energie udržuje atmosféru v plynném stavu, pohání oběh vody, společně s rotačním pohybem Země dává sílu hurikánům. Díky sluneční energii se vyvíjí život, jako reakce na gradient teplot mezi Sluncem (6 000 K) a Zemí (300 K). Termodynamika otevřených systémů vysvětluje existenci rostlin a vývoj ekosystémů jako schopnost využívat sluneční energii a snižovat gradienty (rozdíly teplot, tlaku vzduchu), (Schneider & Sagan, 2005).

Za slunného dne přichází po průchodu atmosférou na povrch Země až 1 000 W.m<sup>-2</sup> sluneční energie. Na 10 km<sup>2</sup> tedy přichází množství energie srovnatelné s výkonem všech elektráren v ČR (10 000 MW). Je podstatný rozdíl v distribuci sluneční energie mezi porosty dostatečně zásobenými vodou a odvodněnými plochami. Vegetace se chladí výparem vody (evapotranspirace) a přeměňuje většinu sluneční energie na skupenské teplo vody: sluneční energie se váže do vodní páry a uvolňuje zpět, když se vodní pára sráží na vodu. Tak se vyrovnávají teploty mezi místy i v čase. Pokud se z jednoho m<sup>2</sup> vypaří za den například 3 litry vody, naváže se do vodní páry cca 2,1 kWh sluneční energie. Vegetace zásobená vodou tak chladí sebe a okolí výkonem několik set W.m<sup>-2</sup>. Část vody se vrací zpět ve formě drobných a častých srážek, což je typickým rysem krátkého/uzavřeného oběhu vody. (Pokorný a kol. 2010; Pokorný, 2014; Šarapatka a kol., 2010).

Pokud není k dispozici voda, povrch se ohřívá, až na 50 °C, od takového povrchu se ohřívá vzduch, který rychle stoupá vzhůru do atmosféry, vysušuje okolí, krajina vysychá. Pokud jsou odvodněny velké plochy, vytváří se oblasti vysokého tlaku, které brání přísunu vlhkého vzduchu od moře (Ellison a kol., 2017; Hesslerová a kol., 2013; Makarieva & Gorshkov, 2010).

Nesprávné hospodářské zásahy v krajině vedoucí k vytvoření rozsáhlých ploch bez vegetace ať už v zemědělské krajině či v urbánním prostředí tedy prohlubují dopady klimatické změny a mají dalekosáhlé následky způsobující oteplování regionálního klimatu a rozšiřování sucha (Pokorný a kol., 2018; Huryňa & Pokorný, 2016, Pokorný 2014, Hesslerová & Pokorný, 2010). Pro zachování dostatečného množství vody v krajině do budoucna je proto důležité, aby výše zmíněné principy vstoupily do povědomí široké veřejnosti. Předpokladem pro to je efektivní a správně cílená výuka tohoto tématu již na základních a středních školách.

## **Téma role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině v českém přírodovědném vzdělávání**

Role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině se zdá být v současném českém základním i středním školství opomíjena. Přitom se jedná o vysoce významné děje, jejichž znalost je důležitá pro dostatečné zásobení krajiny vodou pro budoucí generace.

Problematika vztahů mezi vegetací, solární energií a vodou v krajině v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (RVP - G) i v Rámcovém vzdělávacím programu pro základní vzdělávání (RVP – ZV) svým obsahem náleží do průřezového tématu Environmentální výchova. K pochopení jsou potřeba znalosti rostlinné fyziologie (vodní režim rostlin, transpirace), termodynamiky (energie, skupenské teplo, vypařování a kapalnění), k hlubšímu pochopení na gymnáziu i chemie (Avogadrovův zákon) a biogeografie a klimatologie (Slunce, Země, atmosféra). V RVP – G v rámci průřezového tématu Environmentální výchova spadá tato problematika jak do tematického okruhu Člověk a životní prostředí, tak i do tematického okruhu Problematika vztahů organismů a prostředí (tok energie a látek v biosféře a v ekosystému), (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007).

Také v RVP – ZV naplňuje zmiňované téma podstatu průřezového tématu Environmentální výchova a to zejména ve vzdělávacích oblastech Člověk a příroda, „...*pochopení objektivní platnosti základních přírodních zákonitostí, dynamických souvislostí od nejméně složitých ekosystémů až po biosféru jako celek, ...*“, Člověk a svět práce „...*Učí pozorovat, citlivě vnímat a hodnotit důsledky jednání lidí...*“ a Člověk a společnost „...*souvislosti mezi ekologickými, technickoekonomickými a sociálními jevy s důrazem na význam preventivní obezřetnosti v jednání a další principy udržitelnosti rozvoje*“ (RVP pro základní vzdělávání, MŠMT, 2017, s.135–136). V rámci průřezového tématu Environmentální výchova spadá dané téma do tematických okruhů Ekosystémy, Základní podmínky života (voda, energie).

Pro výuku tohoto tématu je zcela klíčové pochopení fyziologického děje transpirace rostlin. V RVP – G je tato problematika součástí učiva biologie rostlin. Také očekávané výstupy v geografii požadují „...objasnit velký a malý oběh vody a rozlišit jednotlivé složky hydrosféry a jejich funkci v krajině...“ (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007, s. 34). Zejména pro objasnění malého oběhu vody je pochopení transpirace a celého vodního režimu rostlin nezbytným předpokladem.

RVP – ZV výuku tématu transpirace nezahrnuje. Z oblasti fyziologie rostlin jsou do výuky na ZŠ zahrnuty pouze „... základní principy fotosyntézy, dýchání, růstu, rozmnožování...“ Učivo v oblasti anatomie a morfologie rostlin však zahrnuje „...stavbu a význam jednotlivých částí těla vyšších rostlin...“ (RVP pro základní vzdělávání, MŠMT, 2017, s. 73). Význam listu jako transpiračního orgánu rostlin pro životní prostředí člověka je v koloběhu vody zcela zásadní, téma transpirace a vodního režimu rostliny by proto mělo být alespoň v základních principech zmíněno. Bez znalosti tohoto fyziologického děje pak žák nemůže ani zcela pochopit např. význam ekosystému lesa, či tropického deštného lesa jak požaduje průřezové téma environmentální výchova. Většina učebnic pro ZŠ se však omezuje na pouhé konstatování, že „list (rostlina, průduch event. les) odpařuje vodu“, význam výparu pro termoregulaci rostliny a ochlazování okolí však většinou zmíněn není. Analýzou šesti řad českých na základních školách aktuálně používaných učebnic přírodopisu provedenou v rámci řešení bakalářské práce (Čekal, 2012), bylo zjištěno, že vztahy mezi rostlinami a okolní atmosférou bývají popisovány především z pohledu výměny oxidu uhličitého a kyslíku. Význam odpařování vody z rostlin (listů, průduchů) je zmiňován ve smyslu zvlhčování ovzduší. Význam vegetace pro zadržování vody v krajině je většinou pouze konstatován v souvislosti s ekologickou funkcí lesa v krajině, aniž by byl blíže vysvětlen. O tom, že vegetace významně ochlazuje své okolí se učebnice, (až na výjimku - učebnice pro 9. ročník nakladatelství Scientia, viz Čekal, 2012), nezmiňují. Vysvětlení vztahu mezi odpařováním vody z listů a distribucí sluneční energie v krajině chybí zcela.

Znalosti studentů středních škol k tématu vodního režimu rostlin a jeho vztahu k funkci rostlin v krajině jsou podle předcházejících studií nízké (Ryplová, 2017; Ryplová & Bezpalcová, 2016). Příčiny je možné hledat například v postojích studentů i vyučujících k tématu transpirace. Botanická témata obecně bývají v rámci výuky biologie žáky méně oblíbená (Balas & Momsen, 2014; Prokop a kol., 2007), jsou považována za náročná (da Silva a kol., 2016; Prokop a kol., 2007), nezajímavá a odtržená od života (da Silva a kol., 2016). Studie Fančovičové a Kubiátka, (2015), prokázala, že žáci druhého stupně základních škol projevují o botanická témata menší zájem než o zoologická. I toto souvisí s výše zmíněným problémem „plant blindness“. Mezinárodní studie poukazují také na to, že při výuce botanických témat převažuje náročná terminologie a memorování, vedoucí k nepochopení, miskoncepcím, či frustraci z náročnosti tématu (Behar & Polat, 2007). Výuková témata z oblasti fyziologie rostlin jsou obecně ve srovnání s jinými biologickými disciplínami studenty považována za příliš obtížná a abstraktní (Özay & Öztas, 2003). Některé zahraniční studie poukazují i na negativní postoj samotných učitelů přírodopisu vůči těmto tématům a také na nedostatečnou pedagogickou znalost jejich obsahu (Lombaard, 2015). Transpirace rostlin je však fyziologický děj, s jehož projevy se žáci v životním prostředí každodenně setkávají, aniž

by si je uvědomovali. Jedná se ovšem o snadno demonstrovatelné a moderními a cenově dostupnými přístroji rychle měřitelné děje.

## Metodika

Cílem prováděné sondy bylo najít odpověď na základní výzkumnou otázku: Jaká je úroveň znalostí o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině u začínajících studentů učitelství na začátku jejich vysokoškolského studia? Kde jsou „kritická místa“ na která je potřeba se zaměřit ve vysokoškolské výuce?

Dotazníkové šetření probíhalo mezi studenty prvního ročníku oborů Přírodopis se zaměřením na vzdělání a Přírodovědná a ekologická výchova na začátku jejich studia. Výzkum byl prováděn na začátku akademického roku 2017/18 a 2018/19. Celkově bylo dotazováno 100 respondentů, 84 žen, 16 mužů, průměrný věk respondenta 21,7 roku, 64% byli absolventi gymnázií. Dotazník byl tvořen celkově sedmi otázkami, z nichž čtyři byly otevřené, dvě uzavřené a jedna otázka byla polouzavřená. Obsahová validita byla testována pěti nezávislými odborníky – učiteli gymnázií, z nichž tři byli učiteli biologie a dva učiteli fyziky. Byla sledována adekvátnost dotazníkových položek vzhledem k obsahu gymnaziálního učiva. Dotazník byl pilotně ověřen mezi 23 studenty na počátku 2. ročníku téhož oboru a znění bylo adekvátně upraveno dle výsledků pilotáže.

### ***Otázka č. 1: Jak rostliny svými životními projevy ovlivňují zemskou atmosféru a klima? Uved'te co nejvíc možností (otevřená otázka)***

Cílem otázky bylo zjistit a) celkové povědomí respondentů o významu rostlin pro atmosféru vůbec, b) jak velké procento respondentů vnímá vegetaci jako chladící prvek v atmosféře. Otázka byla formulována na základě předcházející studie provedené v uplynulých letech mezi celkově 426 respondenty na českých základních a středních školách (Ryplová, 2017), která sledovala mimo jiné i znalosti významu rostlin v životním prostředí člověka vůbec. Výsledky této studie naznačily, že povědomí českých studentů o významu vegetace pro životní prostředí člověka a zejména pro atmosféru, která nás obklopuje, je velmi nízké.

### ***Otázka č. 2: V rovníkových oblastech (tedy přibližně ve stejných zeměpisných šířkách) se na Zemi vyskytují tropické deštné lesy i pouště. Co víte o denním chodu teplot v oblasti pouští a tropického deštného lesa? Vyberte z následujících tvrzení jedno správné a doplňte***

- V denním průběhu teplot **nejsou** mezi pouští a tropickým deštným lesem žádné rozdíly, **protože...**
- V denním průběhu teplot **jsou** mezi pouští a tropickým deštným lesem tyto rozdíly: ...protože...

Tato polouzavřená otázka byla zaměřena na znalost významu evapotranspirace pro snižování teplotních gradientů. (Pokorný a kol., 2017 a; Pokorný a kol., 2017 b; Ripl, 2003). Byť se studenti s pojmem evapotranspirace na střední škole neseťkávají, problematika denního chodu teplot na pouštích a v tropických deštných lesích bývá zmiňována v rámci výuky geografie.

Správná odpověď je b) V denním průběhu teplot **jsou** mezi pouští a tropickým deštným lesem tyto rozdíly: Na poušti jsou velké rozdíly mezi denními a nočními teplotami, protože zde není přítomna voda a vegetace zásobená vodou. V tropickém deštném lese jsou rozdíly mezi denní a noční teplotou malé, protože na výpar vody z půdy i vegetace se přes den spotřebovává velká část sluneční energie, která se tak nemůže přeměnit na zjevné teplo.



V noci, kdy vodní pára v chladnějším vzduchu kondenzuje, naopak uvolněná energie ohřívá vzduch. Díky přechodům mezi skupenstvím plynným a kapalným tak voda v tropickém dešt-ném lese snižuje teplotní rozdíl mezi dnem a nocí. (Jako správné byly posuzovány všechny odpovědi významově vystihující tuto podstatu).

Následující dvě otázky byly zaměřené na znalosti vodního provozu rostlin:

**Otázka č. 3: K čemu všemu potřebuje rostlina vodu? Uveďte co nejvíce možností (otevřená otázka)**

(Správné odpovědi např. termoregulace, příjem a rozvod živin, rozvod asimilátů, prostředí chemických dějů a metabolických reakcí, fotosyntéza a růst, udržení tvaru těla – turgor buněk)

**Otázka č. 4: Již na základní škole jste se učili, že voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven?**

- a) Ne, veškerá voda je rostlinou spotřebována
- b) Ne, část vody je spotřebována a přebytečná část je rostlinou uložena ve vakuole
- c) Ano, a to... (uveďte, jakým způsobem se dle vašeho názoru voda dostává ven z rostliny)

(Správná odpověď c) Ano, a to transpirací /výparem přes průduchy/ listy)

Cílem dalších dvou uzavřených otázek bylo zjistit, jaké jsou představy respondentů o celkovém množství sluneční energie dopadající na povrch krajiny a o procentuálním využití této energie pro fotosyntézu.

**Otázka č. 5: Množství sluneční energie dopadající za jasného letního dne na zemský povrch je cca:**

- a) 10 W /m<sup>2</sup>
- b) 100 W /m<sup>2</sup>
- c) 1000W /m<sup>2</sup>
- d) 10 000W /m<sup>2</sup>

Správná odpověď c) viz např. Atlas podnebí Česka (kolektiv autorů, 2007)

**Otázka č. 6: Jaké množství sluneční energie dopadající na zemský povrch je využito rostlinami pro fotosyntézu?**

- a) Méně než 5 %
- b) 5 % - 10 %
- c) 10 % - 50 %
- d) Více než 50 %

Správná odpověď a) (viz např. Britanica.com; Zhu a kol., 2012; Šarapatka a kol., 2010)

Poslední otázka byla postavena na obdobném principu jako otázka č. 2, zjišťovala tedy míru znalostí a správného pochopení významu evapotranspirace pro místní klima. Tentokrát šlo o to, zjistit, zda si respondenti uvědomují, že podstatná část sluneční energie dopadající na povrch městské krajiny může být spotřebována na výpar z vegetace. Není-li vegetace přítomna, (dlážděné náměstí) většina sluneční energie ohřívá okolní vzduch. V parku s tráv-níkem a vzrostlými stromy se většina sluneční energie využije na výpar, teplota v parku je

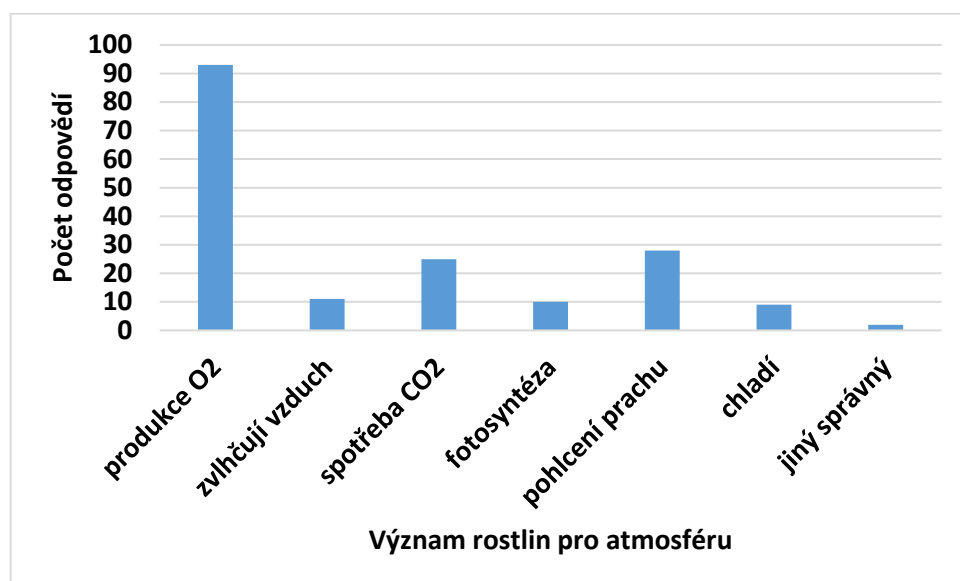
tedy výrazně nižší. (Pokorný a kol., 2018). Správná odpověď tedy a) s vysvětlením významově odpovídajícím uvedenému.

**Otázka č. 7: Je nějaký rozdíl v osudu (distribuci) sluneční energie na dlážděném náměstí a sousedním parku s trávnikem a vzrostlými stromy?**

- a) Ano, protože...
- b) Ne, protože...

## Výsledky

Odpovědi respondentů na otázku č. 1 byly roztrženy celkem do sedmi kategorií (obr. č. 1). Nejvíce odpovědi se týkalo uvolňování kyslíku do atmosféry rostlinami (93 %), odpovědi uvádějící spotřebu CO<sub>2</sub> či odstraňování CO<sub>2</sub> z atmosféry se objevily v 25 % případů. 10 % respondentů pouze uvedlo termín fotosyntéza bez bližší konkretizace významu pro atmosféru. 28 % respondentů uvedlo pohlcování/odstraňování prachu. Celkem 9 % uvedlo, že rostliny chladí, a 11 % uvedlo, že zvlhčují vzduch. Objevily se i 2 významy, které byly společně zahrnuty do kategorie „jiný správný“ (rostliny uvolňují vonné látky, odstraňují polutanty – bez specifikace zda se jedná o prachové částice). 8 odpovědí, které uváděly význam rostlin netýkající se atmosféry, nebylo do celkového vyhodnocení zahrnuto (většinou se jednalo o odpovědi zmiňující význam rostlin jako primárních producentů biomasy). Průměrný počet uvedených správných významů rostlin pro atmosféru na jednoho respondenta byl 1,78.

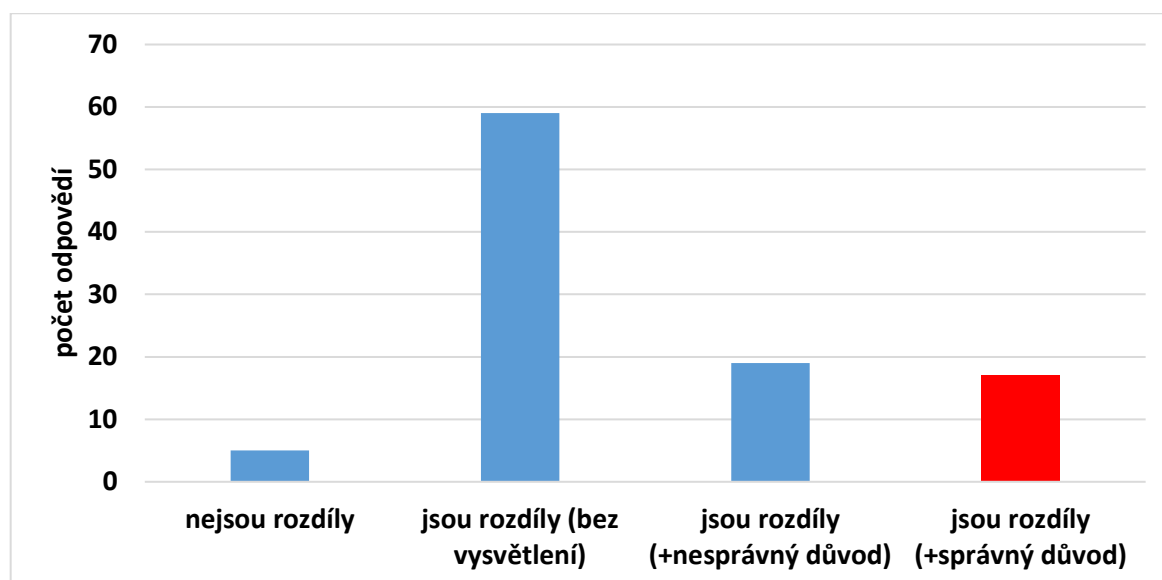


**Obr. č. 1:** Analýza odpovědí na otázku č. 1: Jak rostliny svými životními projevy ovlivňují zemskou atmosféru a klima? N = 100

V odpovědi na otázku č. 2 většina respondentů (95 %) správně uváděla odpovědi typu „na poušti jsou velké rozdíly mezi denní a noční teplotou“. Pouze 5 % respondentů se nesprávně domnívalo, že rozdíly v denním chodu teplot mezi pouští a tropickým deštným lesem nejsou. Jen malá část respondentů (celkem 17 %) však dokázala správně vysvětlit příčinu těchto rozdílů. Respondenti většinou ponechali rozdíly bez jakéhokoliv vysvětlení (59 %) nebo uváděli nesprávná vysvětlení (19 %), (obr. č. 2). Mezi těmito nesprávnými vysvětleními bylo nejčastěji uváděno, že v tropickém deštném lese je chladněji, protože rostliny

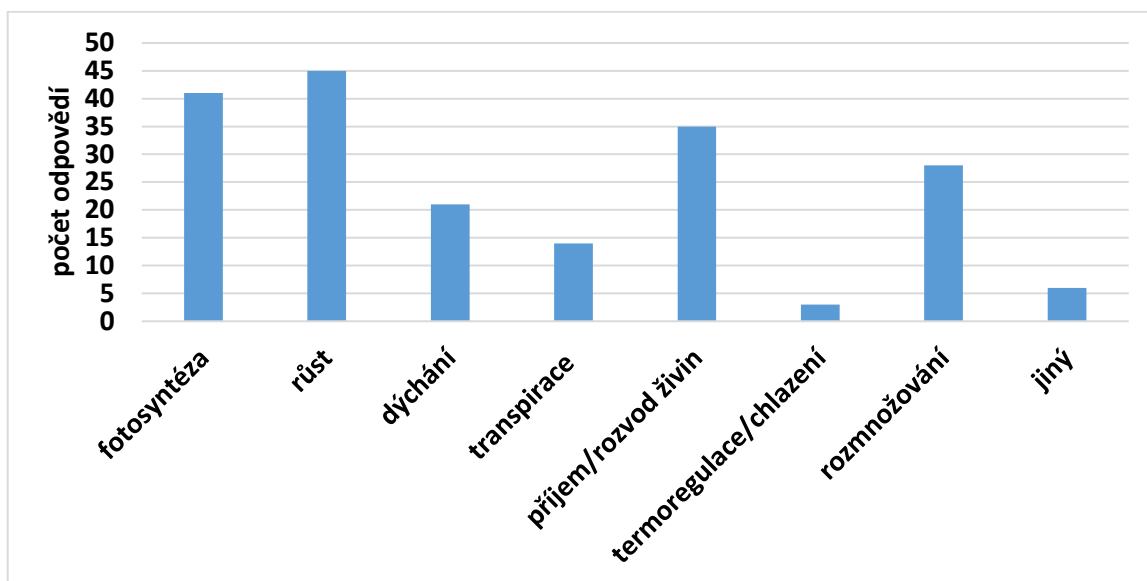


hodně stíní a v dolních patrech je proto málo světla a tepla. Tuto odpověď je sice možno chápat jako částečně pravdivou, nezahrnuje však hlavní princip – tj. vázání energie do latentního tepla vody. Další často uváděný důvod byla spotřeba sluneční energie vegetací tropického deštného lesa pro fotosyntézu, na poušti vegetace chybí, nespotřebovává se sluneční energie pro fotosyntézu a proto je tam větší teplo. Ani tato odpověď nebyla považována za správnou, protože pro fotosyntézu je využito jen minimum dopadající sluneční energie (cca 1 %, viz výše), ani v této odpovědi tedy hlavní princip postižen nebyl.



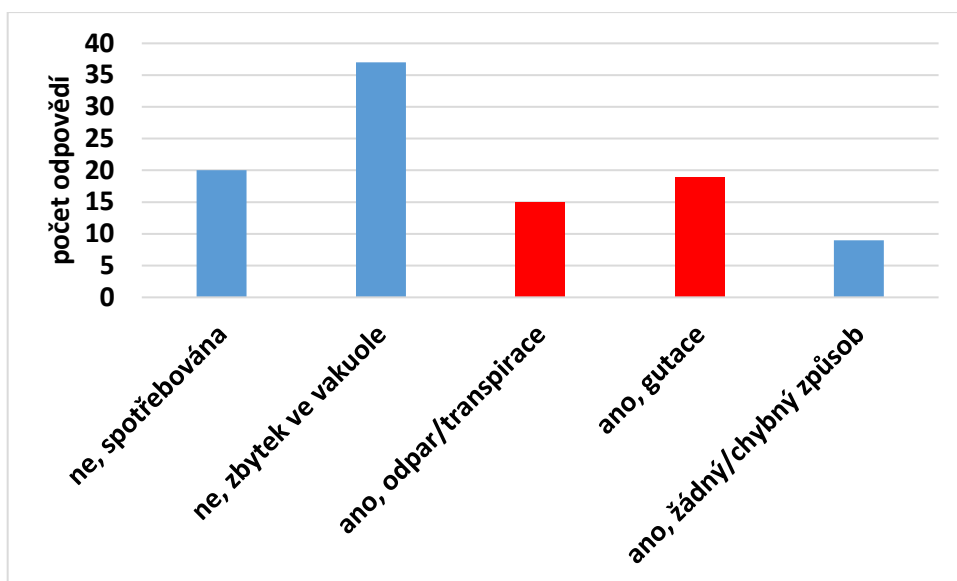
**Obr. č. 2:** Analýza odpovědí na otázku č. 2: V rovníkových oblastech (tedy přibližně ve stejných zeměpisných šířkách) se na Zemi vyskytují tropické deštné lesy i pouště. Co víte o denním chodu teplot v oblasti pouští a tropického deštného lesa? Vyberte jedno z následujících tvrzení a doplňte: a) V denním průběhu teplot **nejsou** mezi pouští a tropickým deštným lesem žádné rozdíly, protože..., b) V denním průběhu teplot **jsou** mezi pouští a tropickým deštným lesem tyto rozdíly, protože...

Analýzou otázek zjišťujících znalosti studentů o vodním režimu rostlin resp. významu vody pro rostlinu bylo zjištěno, že většina studentů zatím nezná mnohostranný význam vody pro život rostliny. V průměru uváděli respondenti pouze dva významy vody. Získané odpovědi byly rozříděny do 8 kategorií, (obr. č. 3). Nejvíce respondentů uvedlo, že rostlina potřebuje vodu pro růst (45 %), dále pro fotosyntézu (41 %), (většinou uváděli respondenti fotosyntézu a růst odděleně), dále pro příjem a rozvod živin (35 %), rozmnožování (většinou uvedeno ve smyslu roznosu semen a plodů vodou – 28 %), dýchání či respirace 21 %. Transpiraci nebo odpar bez souvislostí s termoregulací uvedlo 14 % respondentů, termoregulaci či chlazení jen 3 %. Zbývající významy (např. odpovědi typu „pro metabolismus...“ nebo „...aby neuvadly...“) byly zahrnuty do kategorie „jiný“.



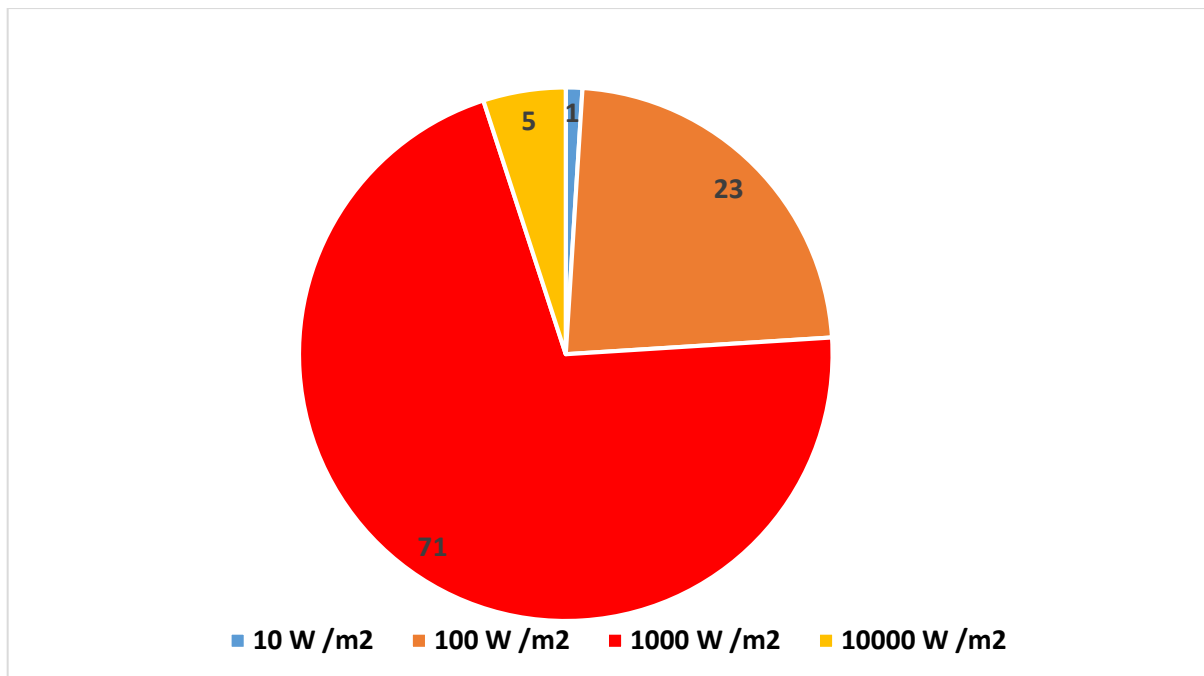
**Obr. č. 3:** Analýza odpovědí na otázku č. 3: K čemu všemu potřebuje rostlina vodu? Uvedte co nejvíce možností

O malé znalosti procesu transpirace vypovídá i analýza otázky č. 4., (obr. č. 4). Je zarážející, že nadpoloviční většina (57 %) respondentů uvedla, že z rostliny žádná voda ven neodchází. Z toho 20 % se domnívá, že veškerá přijatá voda je rostlinou beze zbytku spotřebována, dalších 37 % si myslí, že přebytečnou vodu ukládá rostlina ve vakuole. Transpiraci nebo odpar jako cestu odvodu vody z rostliny uvedlo pouze 15 % respondentů, více respondentů (19 %) uvedlo gutaci, která se však oproti transpiraci podílí na odvodu vody z rostliny minimálně. Celkem 8 % respondentů uvedlo, že voda z rostliny ven odchází, avšak bez bližší specifikace jakým způsobem, jeden respondent uvedl, že voda se ukládá do plodů, tento způsob byl považován za chybný.



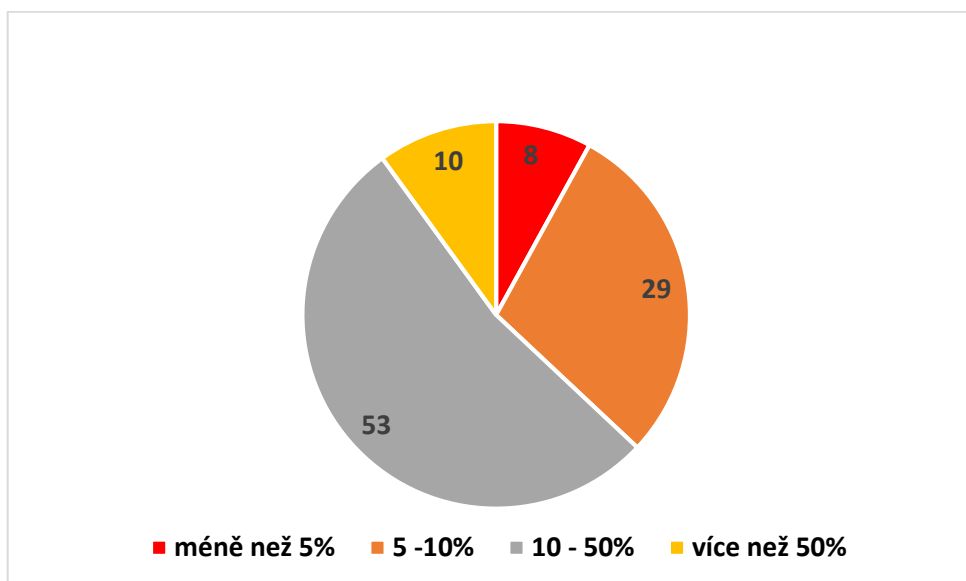
**Obr. č. 4:** Analýza odpovědí na otázku č. 4: Je veškerá voda v rostlině spotřebována nebo existuje nějaký způsob, kudy se voda dostává z rostliny ven? Výběr z možností

Naprostá většina studentů (71 %) odpověděla správně na otázku č. 5 a odhadla množství sluneční energie dopadající za jasného letního dne na zemský povrch v ČR na 1000 W /m<sup>2</sup>, (obr. č. 5).



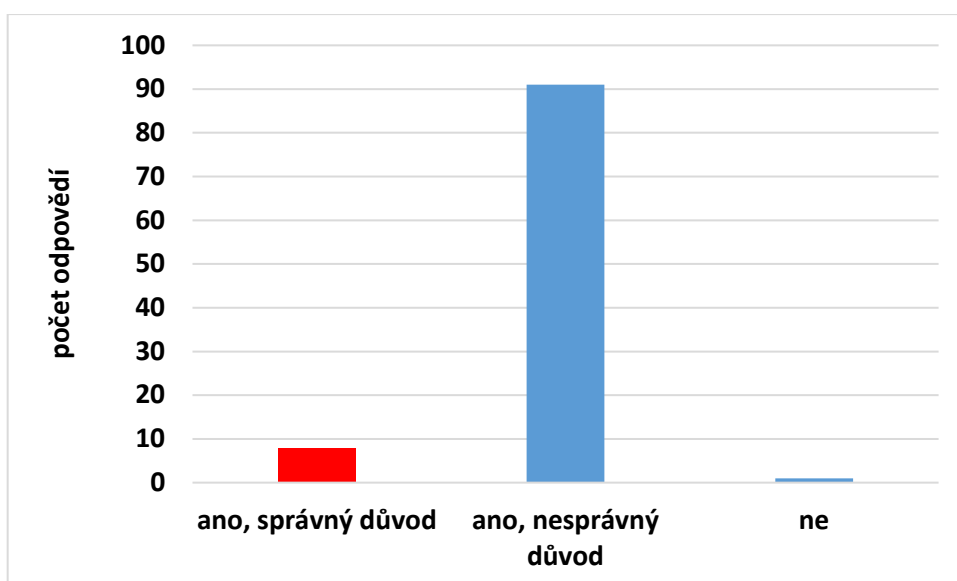
**Obr. č. 5:** Analýza odpovědí na otázku č. 5: Množství sluneční energie dopadající za jasného letního dne na zemský povrch v České republice je cca 10 W /m<sup>2</sup>, 100 W /m<sup>2</sup>, 1000W /m<sup>2</sup> nebo 10 000W /m<sup>2</sup>?

Z analýzy odpovědí na otázku č. 6. vyplynulo, že respondenti předpokládali výrazně větší podíl fotosyntézy v celkovém využití sluneční energie dopadající na zemský povrch. Správnou odpověď (méně než 5 %) považovali respondenti za nejméně pravděpodobnou, uvedlo ji pouze 8 % respondentů. Naprostá většina respondentů přisuzovala fotosyntéze podstatně větší význam v celkové distribuci sluneční energie. Respondenti vybírali nejčastěji možnosti ze středové části spektra nabídky: 53 % respondentů se domnívalo, že pro fotosyntézu je využito 10–50 %, 29 % respondentů odhadovalo 5–10 %. Více jak 50 % sluneční energie spotřebované pro fotosyntézu uvedlo pouze 10 % respondentů, (obr. č. 6). Z analýzy otázek č. 5 a č. 6 tedy vyplývá, že respondenti mají reálné představy o celkovém množství sluneční energie dopadající na povrch krajiny (71 % správných odpovědí), avšak výrazně přeceňují význam fotosyntézy v celkové distribuci sluneční energie v krajině.



**Obr. č. 6:** Analýza odpovědí na otázku č. 6: Jaké množství sluneční energie dopadající na zemský povrch je využito rostlinami pro fotosyntézu? (Výběr z možnosti)

Většina respondentů, (99 %), si dle otázky č. 7 správně uvědomuje, že osud sluneční energie dopadající na park se vzrostlými stromy a na dlážděné náměstí se liší. Pouze jeden respondent uvedl nesprávnou zápornou odpověď, bez dalšího vysvětlení svého názoru. Jako správná vysvětlení byly posuzovány odpovědi, které kromě spotřeby sluneční energie pro fotosyntézu uváděly, že část energie je spotřebována na odpar, neboť v parku se stromy je obsažena voda a na dlážděném náměstí nikoliv. Pokud byla uvedena pouze spotřeba energie pro fotosyntézu, bylo to považováno za nesprávný důvod, vzhledem k tomu, že fotosyntéza, jak již bylo výše uvedeno, se na distribuci sluneční energie v parku podílí pouze minimálně, (obr. č. 7).



**Obr. č. 7:** Analýza odpovědí na otázku č. 7: Je nějaký rozdíl v osudu/distribuci sluneční energie na dlážděném náměstí a sousedním parku s trávníkem a vzrostlými stromy?

## Diskuse

Z výsledků sondy vyplývá, že úroveň znalostí o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině u začínajících studentů učitelství na začátku jejich vysokoškolského studia je značně limitovaná. Byly odhaleny i některé miskoncepce. Začínající studenti mají po absolutoriu střední školy sice reálnou představu o množství slunečního záření dopadajícího na povrch krajiny, (obr. č. 5), domnívají se však, že rostliny tuto energii využívají převážně pro fotosyntézu (obr. č. 6). Z celkové analýzy výsledků vyplývá podcenění či neznalost ekologického významu transpirace rostlin. Fotosyntézu respondenti považují za dominantní fyziologický děj pro distribuci solární energie v krajině. Naopak význam transpirace a spotřeba sluneční energie pro výpar vody evapotranspirací jim v naprosté většině nejsou známy (obr. č. 2 a 7) ačkoliv evapotranspirace se v celkové distribuci sluneční energie projevuje mnohonásobně výrazněji (Pokorný a kol., 2017a; Pokorný a kol., 2017b; Šarapatka, 2010). Jedním z důvodů může být to, že v předcházející výuce na střední škole a předtím i na základní škole se s tématem transpirace setkávali jen okrajově. Rámcové vzdělávací programy kladou důraz především na fotosyntézu, v povědomí studentů je tedy přirozeně považována za hlavní fyziologický děj, který sluneční energii využívá. Na nízkou informovanost žáků o významu evapotranspirace pro ochlazování místního klimatu mohou mít vliv i média, která se soustřeďují v souvislosti s oteplováním klimatu a vysoušením krajiny téměř výhradně na skleníkový efekt a zvýšenou koncentraci CO<sub>2</sub> a přímou úlohu rostlin v tomto směru ignorují.

V očekávaných výstupech RVP – G převažují spíše popisné charakteristiky rostlinné morfologie, anatomie, systematiky a ekologie "...žák popíše stavbu těl rostlin, stavbu a funkci rostlinných orgánů, objasní princip životních cyklů a způsoby rozmnožování rostlin, porovná společné a rozdílné vlastnosti stélkatých a cévnatých rostlin, pozná a pojmenuje (s možným využitím různých informačních zdrojů) významné rostlinné druhy a uvede jejich ekologické nároky..." (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007, s. 32). Z ekologicky významných fyziologických dějů je v očekávaných výstupech zahrnuta opět jen fotosyntéza, je požadována schopnost zhodnocení rostlin jako producentů biomasy. Je proto pravděpodobné, že výuka na gymnáziích se v praxi zaměřuje zejména na fotosyntézu – tedy tvorbu biomasy.

Vzhledem k výraznému environmentálnímu významu transpirace by však bylo žádoucí, kdyby ve výstupu požadujícím schopnost popsat stavbu a funkci rostlinných orgánů byl u funkce listu kromě fotosyntézy kladen důraz i na transpiraci. Znalost transpirace je nezbytná i pro naplnění jednoho z Očekávaných výstupů z geografie, a to *"...objasnit velký a malý oběh vody a rozlišit jednotlivé složky hydrosféry a jejich funkci v krajině..."* (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007, s. 34) Na začátku malého oběhu vody stojí evapotranspirace, již je transpirace zásadní složkou. Bez znalosti procesu transpirace není možné malému (krátkému) cyklu vody dostatečně porozumět.

Znalosti vodního režimu rostliny nejsou příliš velké. Představy respondentů o vlastním významu vody pro rostlinu jsou nedokonalé, (obr. č. 3). Vodu považují za důležitou pro rostlinu z hlediska růstu, fotosyntézy, (přičemž zřejmě fotosyntetickou tvorbu biomasy nepovažují za růst, neboť tyto dva procesy byly většinou uváděny odděleně), rozvodu živin a rozmnožování. Termoregulační funkce vody v rostlinném těle známa není (uvedli ji pouze 3 respondenti ze 100). Zajímavý je poměrně velký počet odpovědí uvádějící význam vody pro „respiraci“ (14 respondentů ze 100), dalších 7 respondentů uvedlo význam vody pro „dýchání“. Oproti tomu termín transpirace uvedlo pouze 6 respondentů, dalších 8 označilo stejný proces českými ekvivalenty „výpar“ nebo „odpar“. Na tomto místě můžeme tedy spekulovat, zda respondenti nezaměnili obdobně znějící termíny transpirace – respirace?

O neznalosti transpirace svědčí i analýza otázky č. 4 (obr. č. 4). Zjištění, že nadpoloviční většina začínajících studentů učitelství přírodopisu se domnívá, že z rostlinného těla

žádná voda neodchází, lze považovat za alarmující. K podobným závěrům došel již Barker, (1998), v jehož studii se 37 % respondentů domnívalo, že rostliny spotřebovávají veškerou vodu, žádnou z těla ven neuvolňují. Téma vodního provozu rostlin je všeobecně považováno za náročné, Problémy v úrovni žákovských znalostí byly zjištěny již v předcházejících zahraničních (Wang, 2004; Barker, 1998) či domácích studiích, (Ryplová & Bezpalcová, 2016). Také Vitharana, (2015), ve studii mapující znalosti žáků o transportu látek v rostlinném těle uvádí, že právě proces transpirace je zdrojem nepochopení a řady miskoncepcí.

Z výsledků našeho výzkumného šetření dále vyplývá, že studenti si dostatečně neuvědomují souvislosti mezi znalostmi získanými ve fyzice základní školy (tepelné změny související se změnou skupenství - spotřeba tepelné energie pro výpar, uvolnění tepelné energie při kondenzaci) a znalostmi o transpiraci získanými ve výuce přírodopisu. Mají problémy aplikovat poznatky z obou dvou těchto disciplín pro vysvětlení jevů, s nimiž se setkávají v reálném světě. Uvědomují si, že v městském parku je chladněji než na dlážděném náměstí, (obr. č. 7), avšak neumí to správně vysvětlit pomocí fyzikálních principů vázaných na rostlinný metabolismus a ekosystémy vůbec (transpirace, evapotranspirace). Vědí, že v denním chodu teplot jsou mezi pouští a tropickým deštným lesem rozdíly, (obr. č. 2), avšak neumí aplikovat své znalosti z přírodopisu a fyziky základní školy, aby to vysvětlili. Další vysokoškolská výuka by se tedy měla zaměřit více na posílení mezipředmětových vztahů v této oblasti a na pochopení zákonitých souvislostí a aplikaci získaných poznatků ze všech přírodovědných disciplín (fyzika, chemie, geografie) v praxi.

Toto umožňují moderní výukové metody, kladoucí důraz na samostatné vyvozování závěrů studenty (tzv. „student centered education“) jako je badatelská výuka (Dostál, 2013; Ryplová & Reháková, 2011; Papáček, 2010), či projektová výuka (Bílek & Machková, 2014). Pro poznání a pochopení dějů v našem životním prostředí má pak nezastupitelný význam terénní výuka (Tal, 2016; Lindner, 2014).

Respondenti v této studii také neprokázali dostatečné znalosti o mnohostranném významu vegetace pro naši atmosféru (průměrný počet uvedených různých významů rostlin pro atmosféru na jednoho respondenta je pouze 1,78). Zcela převažuje znalost významu vegetace jako zdroje kyslíku. Je zajímavé, že ačkoliv si respondenti dobře uvědomují význam fotosyntézy pro okysličování atmosféry, fotosyntéza jako proces snižující hladinu CO<sub>2</sub> v atmosféře cestou jeho asimilace už tak často uvažována není. Klimatizační funkce vegetace, jejíž environmentální význam je obzvláště v době globální změny klimatu velký, však bohužel není většinou respondentům známa vůbec (pouze 9 % respondentů ví, že rostliny chladí a 11 % ví, že zvlhčují vzduch, obr. č 1).

RVP - G klade v Očekávaných výstupech důraz především na vliv okolního prostředí na rostliny, („... posoudí vliv životních podmínek na stavbu a funkci rostlinného těla, zhodnotí problematiku ohrožených rostlinných druhů a možnosti jejich ochrany...“), (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007, s. 32). Opačný náhled na vzájemné interakce mezi rostlinami a životním prostředím dokumentující vliv rostlin na různé aspekty životního prostředí již tak zdůrazňován není. Znalost vlivu rostlin na životní prostředí člověka je požadována pouze ve výstupu „... zhodnotí rostliny jako primární producenty biomasy a možnosti využití rostlin v různých odvětvích lidské činnosti...“, (RVP pro gymnázia, MŠMT, 2007, s. 32). Vysokoškolskou výuku budoucích učitelů přírodopisu je proto potřeba zaměřit tak, aby si uvědomovali i další významy rostlin. Na vztahy mezi rostlinami a jejich okolním prostředím není možno nahlížet jednostranně. V době šířícího se sucha a globálního oteplování je zejména důležité zdůraznění významu rostlin pro zachování vody v krajině v souvislosti s významem evapotranspirace jako základního předpokladu malého vodního cyklu. Je důležité, aby studenti pochopili, že rozsáhlé odlesňování, odvodňování zemědělské krajiny vede k oteplování místního klimatu a přerušování malého oběhu vody (Sheil, 2018; Ellison a kol., 2017; Kravčík a kol. 2007).



Rostliny nejsou pouze pasivním subjektem klimatické změny. Naopak. Kromě produkce kyslíku se na utváření klimatu podílí jeho ochlazením a zvlhčováním díky evapotranspiraci, produkcí těkavých organických látek, které v atmosféře reagují a přispívají k tvorbě sekundárních aerosolů, odstraňováním prachových částic z ovzduší atd. Pro potlačení všeobecně rozšířeného fenoménu „Plant blindness“ je potřeba o těchto fyziologických projevech vegetace, které přímo ovlivňují naše klima, školní mládež informovat.

Téma distribuce solárního záření ve vztahu ke koloběhu vody a vegetaci v současné výuce na základních školách a gymnáziích chybí. Toto téma patří k obtížným a není doposud didakticky zpracováno. Principy metody stanovení distribuce slunečního záření jsou vědcům známy od dvacátých let minulého století, ve druhé polovině 20. století pak byly vyvinuty poměrně náročné instrumentace na stanovení evapotranspirace a dalších toků sluneční energie v krajině. V současné době jsou díky pokrokům vědy a techniky již k dispozici spolehlivé a cenově dostupné měřicí přístroje didakticky využitelné k žákovské terénní výuce. Vzhledem k aktuálně se šířícímu suchu a klimatické změně (vysoké teploty) se jedná o téma vysoce aktuální. Proto je potřeba v souladu s inovací výuky vědecké poznatky posledních desetiletí v této oblasti za pomoci vhodných didaktických metod implementovat do přípravy budoucích učitelů a jejich prostřednictvím pak do výuky na základních školách.

V návaznosti na výsledky této studie autoři tohoto příspěvku nyní v rámci projektu podporovaného Technologickou agenturou ČR pracují na vývoji vzdělávací metodiky pro vysokoškolské vzdělávání učitelů i pro výuku na základních školách k tématu role vegetace v distribuce sluneční energie a koloběhu vody v krajině

## Závěry

- Začínající studenti oboru Přírodopis se zaměřením na vzdělání a Přírodovědná a ekologická výchova o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině nemají téměř žádné povědomí
- Význam rostlin pro atmosféru vidí téměř výlučně ve fotosyntetické produkci kyslíku
- Nejsou jim známy základní principy distribuce sluneční energie v krajině. Přeceňují množství sluneční energie využívané rostlinami pro fotosyntézu, neznají princip spotřeby sluneční energie pro evapotranspiraci
- Kritickými místy jsou **a)** nedostatečná znalost transpirace, a to jak z hlediska fyziologie rostliny, tak i z hlediska jejího významu pro utváření místního klimatu a **b)** pochopení zákonitých souvislostí mezi fyzikálními ději (spotřeba energie pro výpar – uvolnění při kondenzaci) a úlohy rostlin v malém cyklu vody

## Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu podporovaného Technologickou agenturou ČR TL1000294

## Literatura

- Allen W. (2003). Plant Blindness, *BioScience*, 53(10). [online]. [cit. 3. 2. 2019]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0926:PB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0926:PB]2.0.CO;2)
- Balas, B., Momsen, J. (2014). Attention “Blinks” Differently for Plants and Animals. *CBE-Life Science Education*, 13, 437–443.

- Barker, M. (1998). Understanding transpiration – more than meets the eye. *Journal of Biological Education* 1, 17 – 20. [online]. [cit. 17. 1. 2019]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00219266.1998.9655631>
- Behar, M; Polat, P. (2007). The science topics perceived difficult by pupils of primary 6-8 classes. Diagnosing the problems and remedy solutions. *Educational Sciences: Theory and Practice*. 7(3), 1113-1130.
- Bilek, M. & Machkova, V. (2014). Inquiry on Project Oriented Science Education or Project Orientation of IBSE? In M. Rusek, D. Starkova & I. Metelkova (Eds.): *Project Based Education in Science Education XII*, Charles University Prague, 10-20.
- Britanica.com. (2019). Efficiency of solar energy utilization [online]. [cit. 13. 2. 2019]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/biosphere/Efficiency-of-solar-energy-utilization>.
- Çil, E., Yanmaz, D. (2017). Determination of pre-service teachers' awareness of plants. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 7(2), 84-93.
- Čekal T. (2012). Tématika vztahů mezi rostlinami a atmosférou v aktuální výuce přírodopisu na 2.stupni ZŠ. *Bakalářská práce PF JU v Českých Budějovicích*, 58s.
- 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.
- Dostál, J. (2013). Badatelsky orientovaná výuka jako trend soudobého vzdělávání. *e-Pedagogium* 2013(3). 81 – 94.
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarsa, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., 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, S.A. (2017). Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environ. Change* 43, 51–61.
- Fančovičová, J. & Kubiátko, M. (2015). Záujem žiakov nižšieho sekundárneho vzdelávania o biologické vedy. *Scientia in educatione* 6(1), 2–13. <https://ojs.cuni.cz/scied/article/view/151/144>
- Hesslerová, P. & Pokorný, J. (2010). Forest clearing, water loss, and land surface heating as development costs. *Int. J. Water*, 5 (4), 401 - 418.
- Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková – Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural Landscape: consequences for the local climate. *Ecological Engineering* 54, 145 - 154.
- Huryna, H., Pokorný, J. (2016). Role of water and vegetation in distribution of solar energy and local climate: a review, *Folia Geobot* <https://doi.org/10.1007/s12224-016-9261->
- IPCC, (2014). *Souhrnná zpráva páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu* [online]. [cit. 3. 1. 2019]. dostupné z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna\\_zprava\\_ipcc\\_2015/\\$FILE/OEOK-IPCC\\_SYR\\_report\\_CZ-20150504.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna_zprava_ipcc_2015/$FILE/OEOK-IPCC_SYR_report_CZ-20150504.pdf)

- IPCC, (2018). Global warming of 1,5oC. [online]. [cit. 3. 1. 2019]. dostupné z <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Kolektiv autorů, (2007). Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a Univerzita Palackého v Olomouci
- Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, (2017). [online]. [cit. 3. 2. 2019]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucho.html>
- Kopp, G., Lawrence, G., Rottman G., (2005). The total irradiance monitor (TIM): science results, *Solar Phys*, 1, 19 – 140.
- Kravčík, M., J. Pokorný, J., Kohutiar, M., Kováč, E., Tóth (2007). Water for the recovery of the climate - A New Water Paradigm. [online]. [cit. 1. 2. 2019]. Dostupné z: <http://www.waterparadigm.org>.
- Lindner M. (2014). Outdoor Projects in STEM: Results of a Research on Students' Learning and Motivation. In M. Rusek, D. Starkova & I. Metelkova (Eds.): Project Based Education in Science Education XII, Charles University Prague, 21 – 27.
- Lombard D. (2015). Natural Science teacher attitudes and pedagogical content knowledge for teaching botany. Ph.D. thesis, University of Pretoria, 134s.
- Makarieva, A.M. & Gorshkov, V., G. (2010). The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. *Int. J. Water*, 5(4), 365 –385.
- Özay, E, Öztas, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*. 37(2) 68-70.
- Papáček, M. (2010). Badatelsky orientované přírodovědné vzdělávání – cesta pro vzdělávání generací Y, Z a alfa? *Scientia in Education*, 1(1), 33–49.
- Pokorný, J. (2014). Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů. *UJEP Ústí nad Labem*, 103s.
- Pokorný, J. (2019). Evapotranspiration. In: Fath, B.D. (editor in chief) *Encyclopedia of Ecology*, 2nd edition, vol. 2, Oxford: Elsevier, 292–303.
- Pokorný, J., Brom, J., Čermák, Hesslerová, P., J., Huryna, H., Nadezhdina, N., Rejšková, A. (2010). Solar energy dissipation and temperature control by water and plants, *Int. J. Water* 5(4), 311 – 336.
- Pokorný J., Hesslerová P., Huryna H., Harper D., (2017a). Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima – část I. *Vodní hospodářství* 67(6).
- Pokorný J., Hesslerová P., Huryna H., Harper D., (2017b). Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima – část II. *Vodní hospodářství* 67(7).
- Pokorný J., Hesslerová P., Jirka V., Huryna H., Seják J. (2018). Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj* 20(1), 1 – 12.
- Prokop, P., Prokop, M., Tunnicliffe, S.D..(2007). Is biology boring? Student attitudes towards biology. *Journal of biological education* 42 (1), 36-39.

- Ripl, W. (2003). Water - the bloodstream of the biosphere. In: M. Falkenmark & C. Folke:
- Freshwater and welfare fragility - syndromes, vulnerability and challenges. Freshwater Special Issue. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 358, 1921-1934.
- RVP pro gymnázia. MŠMT (2007). [online]. [cit. 20. 12. 2018]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/file/159>
- RVP pro základní vzdělávání. MŠMT (2017). [online]. [cit. 20. 12. 2018]. Dostupné z: <http://www.msmt.cz/file/43792/>
- Ryplová, R. & Reháková, J. (2011). Přínos badatelsky orientovaného vyučování (BOV) pro environmentální výchovu: Případová studie implementace BOV do výuky na ZŠ. *Envigogika* 6(3). <https://doi.org/10.14712/18023061.65>
- Ryplová R. & Bezpalcová E. (2016). An impact of guided inquiry on students understanding of plant water metabolism – a case study. 9th annual International Conference of Education, Research and Innovation, (ICERI), 14-16 November, 2016, Seville, Spain, 7533-7538, doi: 10.21125/iceri.2016.0717
- Ryplová R. (2017). Inquiry education in botany – a way to cope with plant blindness? In M. Rusek, Vojtíš K.(Eds.). *Project-based Education in Science Education: Empirical texts XV*, Charles University in Prague, Faculty of Education, 120 – 128. [online]. [cit. 14. 2. 2019]. Dostupné z: [http://pages.pedf.cuni.cz/pvch/files/2018/05/PBE\\_2018\\_final.pdf](http://pages.pedf.cuni.cz/pvch/files/2018/05/PBE_2018_final.pdf)
- Sheil, D. (2018). Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. *Forest Ecosystems* 5 (19) [online]. [cit. 3. 2. 2019]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0138-y>
- Schneider, D. E. & Sagan, D. (2005). *Into the Cool. Energy Flow, Thermodynamics, and Life*. The University of Chicago Press, Chicago and London, 362 s.
- Šarapatka, B. a kol. (2010). *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Kapitola 6: Energie v agroekosystémech*. Bioinstitut, o.p.s., 119 – 137.
- Tal T. (2016). From Schools to Nature: Bridging Learning Environments in Israel. In: M.H. Chiu, MH. (ed.) *Science Education Research and Practice in Asia*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0847-4\\_29](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0847-4_29)
- Uno, G. E. (2009). Botanical literacy: How and what students should learn about plants. *American Journal of Botany*, 96, pp. 1753-1759.
- Wandersee, J. H., & Schussler, E. E. (1999). Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher*, 61(2), pp. 82-86.
- Vitharana, P.R.K.A. (2015). Student misconceptions about plant transport – a Sri Lankan Example. *European Journal of Science and Mathematics Education* 3(3), 275 – 288.
- Wang, J. (2004). Development and validation of a two-tier instrument to examine understanding of internal transport in plants and the human circulatory system *International Journal of Science and Mathematics Education* 2(2), 131 - 157.

- Zhu, X.G., Long S.P., Ort, D.R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Curr Opin Biotech* 19. 153 – 159.