



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra biologie

Bakalářská práce

Role vegetace v distribuci solární energie
a koloběhu vody v krajině – vliv
badatelské výuky na úroveň žákovského
porozumění tématu

Vypracovala: Tereza Brčáková
Vedoucí práce: RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.

České Budějovice 2020

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

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

Datum:

Podpis studenta:

Poděkování

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

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

Abstrakt

Tato práce přináší výsledky výzkumu vlivu badatelsky orientovaného vyučování na žákovské znalosti tématu role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině, který byl realizován na čtyřech školách. V úvodu práce je představena problematika role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině. Práce se dále věnuje problematice badatelsky orientované výuky a také zařazení badatelsky orientované přírodovědné výuky na toto téma do výuky na základních školách a víceletých gymnáziích s ohledem na didaktické učebnice. Závěr práce přináší výsledky dotazníkového šetření provedeného formou pretestů a posttestů. Výsledky provedené badatelsky orientované výuky ukazují, že u žáků došlo ke zlepšení znalostí v daném tématu. Znalosti problematiky distribuce solární energie rostlinami jsou důležité pro porozumění koloběhu vody v krajině a ke správnému hospodaření s vodou, které může zabránit ztrátám vody v lokálním měřítku a následným suchům.

Klíčová slova: badatelsky orientovaná přírodovědná výuka, transpirace, evapotranspirace, vegetace, sluneční energie, koloběh vody

Abstract

This article brings the results of the survey aimed on the impact of inquiry based education on the students' knowledge of the role of vegetation in the solar energy distribution and the water cycle in the landscape, which was realized at four schools. The introduction presented the issue of the role of vegetation in the solar energy distribution and the water cycle in the landscape. Further, the bachelor thesis presents problems of inquiry based education, and also implementation of inquiry based science education on this theme in elementary schools education and grammar schools education relating to didactic textbooks. The outcome of the thesis brings the results of the survey made by pretest and posttest forms. From the data collected follows that inquiry based education increases the pupils' knowledge of this topic. Knowledge regarding distribution solar energy by plants is important for undertan-

ding water cycle in landscape and evidence based water economy, which can reduce losses of water in a local measure and mitigate subsequent drought.

Key words: inquiry based science education, transpiration, evapotranspiration, vegetation, solar energy, water cycle

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární přehled.....	1
2.1. Role sluneční energie v koloběhu vody v krajině	1
2.1.1. Slunce.....	2
2.1.2. Spektrální složení slunečního záření.....	3
2.1.3. Sluneční záření dopadající na zemský povrch.....	4
2.2. Role vegetace v distribuci solární radiace na Zemi.....	8
2.2.1. Využití slunečního záření rostlinami	12
2.2.2. Koloběh vody a hospodaření rostlin s vodou.....	14
2.2.3. Pohyb vody v rostlinném těle.....	16
2.2.4. Výdej vody.....	17
2.2.5. Důležitost vegetace v antropologické krajině	19
2.3. Badatelsky orientovaná výuka.....	20
2.4. Didaktické učebnice	22
3. Metodika	25
4. Výsledky	27
4.1.1. Otázka číslo jedna	31
4.1.2. Otázka číslo dva	32
4.1.3. Otázka číslo tři	33
4.1.4. Otázka číslo čtyři.....	34
4.1.5. Otázka číslo pět.....	36
4.1.6. Otázka číslo šest.....	37
4.1.7. Otázka číslo sedm	39
4.1.8. Otázka číslo osm	40
4.1.9. Zhodnocení pracovních listů	41

5. Diskuze.....	44
6. Závěr	48
7. Seznam literatury	49
8. Přílohy.....	54
8.1. Seznam příloh.....	54

1. Úvod

Cílem mé práce bylo ověřit ve výuce badatelsky orientovaný výukový program k tématu role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině pro žáky devátých ročníků základních škol a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií a pomocí dotazníkového šetření zjistit vliv této výuky na úroveň žákovských znalostí zmíněného tématu. V době klimatických změn a teplotních výkyvů je důležité znát mechanismy, které by mohly pomoci k obnovení klimatické rovnováhy a zajistit dostatek vody na Zemi. Klíčovou rolí v těchto globálních problémech mají rostliny, které jsou součástí tzv. lokálního koloběhu vody v krajině. V globálním měřítku samozřejmě není vegetace jediným činitelem, který ovlivňuje tyto procesy. Dle Ellisona a kol. (2017) je oteplování či ochlazování planety ovlivňováno mnoha faktory, jako je například podíl evapotranspirace, akumulace uhlíku, albedo a změny povrchu krajiny, aerosoly a reaktivní plyny. Snahou mé práce je přiblížit roli vegetace ve využívání slunečního záření a její vliv na koloběh vody v krajině a lokální teplotní výkyvy. K seznámení žáků s tímto tématem byla využita pilotní verze metodiky výuky tohoto tématu a pilotní verze badatelsky orientovaného výukového programu vytvořeného ředitelským kolektivem projektu TAČR TL01000294. Badatelsky orientovaný způsob výuky se jeví jako vhodný, protože vychází ze zkušeností z běžného života. Každý ví, že je v lese chladněji, ale je potřeba porozumět i proč. Vzhledem k tomu, že se jedná o interdisciplinární téma, které využívá znalostí z různých předmětů, prostudovala jsem vybrané didaktické učebnice z fyziky, ve kterých jsem se pokusila najít odkazy k dané tematice. Na základě těchto učebnic bylo navrženo zařazení tématu do RVP. Principy tohoto přírodovědného tématu jsou závislé nejen na fyzikálních a biologických principech, přesah mají i do dalších předmětů, jako je chemie a zeměpis.

2. Literární přehled

2.1. Role sluneční energie v koloběhu vody v krajině

Sluneční energie je hnací silou koloběhu vody v krajině i procesů probíhajících v rostlinném těle, které zajišťují rovnovážné pohyby biosféry (Pokorný a kol., 2010). Podle Šíra a kol. (2005) je z pohledu kybernetiky zemská biosféra globálním autoregulačním systémem, kde roli regulátoru hrají živé organismy. Autoregulace klimatu (a hydrologického cyklu) na Zemi se děje ve dvou časově odlišných cyklech.

Pomalá regulace je ovlivněna skleníkovým efektem, který je ovlivňován chemickým složením zemské atmosféry. Rychlá autoregulace klimatu je zajišťována schopností rostlin, které se vyskytují na zemském povrchu, distribuovat sluneční energii (Šír a kol., 2005). Distribuce přicházející sluneční energie za pomoci vegetace by mohla být klíčem ke stabilizaci zásob vody na zemském povrchu a zabránění výkyvů teplot během letních měsíců.

2.1.1. Slunce

Slunce je pro Zemi nejbližší hvězda, která je vzdálená přibližně $156 \cdot 10^9$ kilometrů (Cenek a kol., 2001). Maximální vzdálenost Země od Slunce je asi $152 \cdot 10^9$ kilometrů a minimální vzdálenost $147 \cdot 10^9$ kilometrů (Bednář, 2003). Sluneční záření je zdrojem energie pro všechny procesy, které probíhají v atmosféře i na zemském povrchu. Slunce je zdrojem světla a tepla na Zemi, které jsou důležité nejen pro život, ale ovlivňují i pohyb vzduchu, srážky, klimatické podmínky aj. Bez Slunce by na Zemi byla tma, atmosféra by byla tuhá a teplota na Zemi by byla hluboko pod bodem mrazu.

Energie ze Slunce se na Zemi dostává v podobě elektromagnetického záření o různých vlnových délkách. Než paprsek dopadne na Zemský povrch, uběhne asi 8,5 minuty. Ve skutečnosti je však foton, který je vyzářen z povrchu Slunce mnohem starší. Na Slunci probíhá termonukleární reakce, při které se čtyři vodíková jádra za extrémních podmínek slučují v jedno jádro atomu helia. Záření uvolněné při této reakci je řádově 10^{25} Herzů. Není to však energie, která dopadá na zemský povrch. Tento foton je následně srážen dalšími částicemi a při těchto srážkách předává svou energii okolí. Uběhne nejméně deset miliónů let, než je foton ze slunečního povrchu vyzářen. Jeho energie je několikanásobně menší, přibližně 10^{16} Herzů (Cenek a kol., 2001).

Intenzita sluneční energie měřená nad atmosférou kolmo na sluneční paprsky se nazývá solární konstanta. Dle NASA (National Aeronautics and Space Administration) je hodnota solární konstanty $1\,353 \pm 21 \text{ W/m}^2$ (Thekaekara, 1974). Světová meteorologická organizace WMO (World Meteorological Organisation) uvádí pro solární konstantu hodnotu $1\,367 \text{ W/m}^2$. Dle nejnovějších měření je v souladu s ASTM (American Society for Testing and Materials) hodnota solární konstanty $1\,366,1 \text{ W/m}^2$. Solární konstanta je velmi stabilní, během jedenáctileté periody

slunečního cyklu, tzv. Schwabeova slunečního cyklu, se mění zhruba o $\pm 1,3 \text{ W/m}^2$ (Gueymard, 2003). Přímé ozáření horní vrstvy atmosféry Země se také mění během roku v závislosti na vzdálenosti Země, pohybující se po eliptické dráze, od Slunce. Solární energie přicházející ze slunce ohřívá Zemi na průměrnou teplotu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (Pokorný a kol., 2010). Přestože teplota Slunce je v jádru asi $15^9 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota se vzdáleností od jádra Slunce klesá. Sluneční záření vysílané Sluncem má teplotu asi $5\,500 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.1.2. Spektrální složení slunečního záření

Spektrum slunečního záření zahrnuje, kromě nejznámějšího a energeticky nejdůležitějšího světelného spektra, široký rozsah elektromagnetických vln od záření gama až k záření rádiovému. Část záření je však pohlcena atmosférou (Kleczek, 2011). Rösemann (2020) věnuje pozornost zejména třem základním oblastem — ultrafialovému, viditelnému a infračervenému záření. Ultrafialové záření (UV záření) je krátkovlnné záření tvořené vlnovými délkami, které jsou menší než 400 nm . Ultrafialové záření tvoří asi 7% energie vydávané Sluncem. Většinu tohoto záření absorbují plyny v atmosféře. UV vlny lze rozdělit na tři oblasti — UV C, UV B a UV A záření. UV C záření dosahuje vlnových délek $100 - 280 \text{ nm}$, veškeré množství tohoto typu ultrafialového záření je pohlceno atmosférou. Velmi biologicky aktivní UV B záření, které se pohybuje v intervalu vlnových délek $280 - 315 \text{ nm}$, je atmosférou pohlceno z 90% . V intervalu vlnových délek $315 - 400 \text{ nm}$ se pohybuje UV A záření, kterého na zemský povrch dopadá největší množství, biologicky však velmi aktivní není (Bednář, 2003; Malý, 2008; Rösemann, 2020).

Viditelné záření (VIS) též spadá do krátkovlnné oblasti a je tvořeno elektromagnetickými vlnami v rozmezí $400 - 780 \text{ nm}$. Viditelné záření tvoří 48% energie slunečního záření před vstupem do atmosféry (Bednář, 2003; Malý, 2008).

Infračervené záření (IR záření), nazývané také dlouhovlnné záření, je tvořeno vlnovými délkami, které jsou větší než 780 nm . Infračervené záření je klasifikováno více způsoby. Dle Malého (2008) se infračervené záření dělí na blízké infračervené záření (NIR), které spadá do intervalu $700 - 1\,000 \text{ nm}$, infračervené krátké vlny (SWIR) o vlnových délkách $1 - 3 \text{ } \mu\text{m}$, infračervené střední vlny (MWIR) o vlnových délkách $3 - 5 \text{ } \mu\text{m}$, infračervené dlouhé vlny (LWIR) s intervalem vlnových délek $5 - 14 \text{ } \mu\text{m}$, infračervené velmi dlouhé vlny (VLWIR) s vlnovými délkami

14 – 30 μm a dalekou infračervenou oblast (FIR) o vlnových délkách 100 – 1 000 μm . Dle Rösemanna (2020) lze infračervené záření dělit na blízké infračervené záření (NIR) obsahující vlnové délky 780 nm – 3 μm , což je tepelné záření pocházející ze Slunce. Druhým typem je dlouhovlnné infračervené záření (FIR), jež je definováno intervalem 3 μm – 50 μm a pochází z atmosféry, mraků, země a okolí (Rösemann, 2020).

Infračervené (tepelné) záření je vyzařováno všemi předměty, které mají teplotu vyšší než je absolutní nula. Toto záření je projevem teploty tělesa. Dle Planckova zákona (1900) roste intenzita tepelného vyzařování těles se čtvrtou mocninou povrchové teploty tělesa. Černé těleso má emisivitu rovnou jedné, tedy pohlcuje veškeré dopadající záření. Ve skutečnosti však všechna reálná tělesa vyzařují i při stejné teplotě jako černé těleso méně záření. Hodnoty dlouhovlnného záření vydávaného tělesem jsou závislé i na tom, zda je energie přeměněna na zjevné (pocitové) nebo latentní (spící) teplo. Měření elektromagnetických vln, které jsou vysílány předměty, a jsou závislé na energetických přeměnách, je základem pro měření pomocí termokamery (Pokorný a kol., 2018, Pokorný, 2019).

2.1.3. Sluneční záření dopadající na zemský povrch

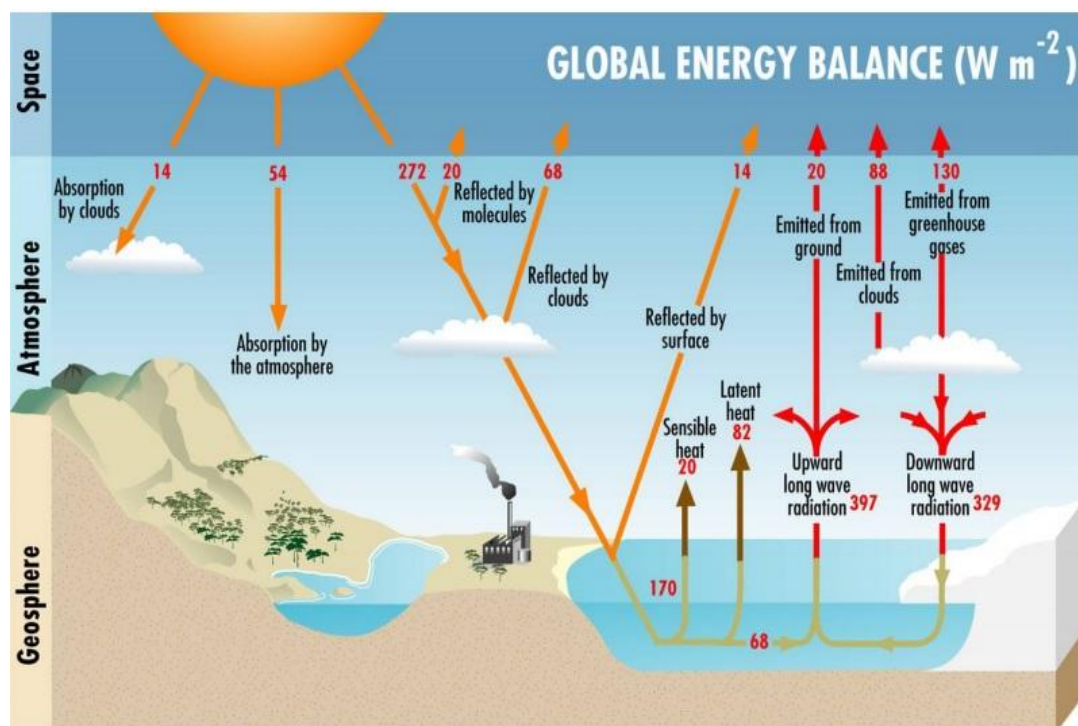
Sluneční záření před dopadem na Zemi mění svou kvantitu i kvalitu. Dopadající radiace je velmi proměnlivá, bývá ovlivňována ročním obdobím, podnebným pásmem, zeměpisnou polohou, sezónností, zeměpisnou šířkou a dalšími faktory (Kleczek, 2011). Záření dopadající na Zemi se nazývá globální záření a je tvořeno přímým a rozptýleným (difúzním) zářením. Kvůli velké vzdálenosti mezi Zemí a Sluncem dopadá přímé záření na Zemi v téměř rovnoběžných paprscích. Přímé sluneční záření je popisováno veličinou zvanou intenzita, což je množství zářivé energie, která za jednotku času dopadne na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům. Přímé sluneční záření je v atmosféře zeslabováno absorpcí a rozptylem a vzniká tak rozptýlené (difúzní) záření. Rozptyl je nejčastěji způsoben oblačností, aerosoly, molekulami plynu, vodními kapičkami a ledovými krystaly, které jsou přítomné v atmosféře (Bednář, 2003). Za horkého letního dne může solární energie, dopadající na zemský povrch o rozloze 2 km^2 , dosahovat ekvivalentních hodnot jako energie generovaná rozsáhlou jadernou elektrárnou. Průměrné maximální ozáření povrchu Země tropického a subtropického pásu je 800 – 1 000 W/m^2 (Pokorný a kol., 2010). V České republice je průměrná hodnota dopadajícího slunečního záření

620 W/m². Za horkého letního dne je však kvantita dopadajícího záření mnohem větší, může přesáhnout i 1 000 W/m² (Cenek a kol, 2001). Intenzita záření je při vysoké oblačnosti významně nižší, dosahuje řádově stovek W/m², v místnostech dokonce jednotek či desítek W/m² (Pokorný, 2019).

Jak je již uvedeno výše, množství energie, které dopadá na Zemi, nedosahuje hodnot solární konstanty. Pokles dopadající energie je způsoben atmosférou, která část energie, přicházející na horní vrstvu atmosféry, odrazí, rozptýlí nebo absorbuje. Množství energie absorbované atmosférou je závislé na délce trasy, kterou paprsek absolvuje při cestě skrz atmosféru a na přítomnosti látek, které radiaci absorbují. Nejčastěji je solární radiace absorbována plyny, převážně vodní párou, ozonem, etanem, kyslíkem, oxidem dusným, oxidem uhličitým a oxidem uhelnatým (Geiger a kol., 2003; Pokorný a kol., 2010). Dle Penky (1985) je až jedna třetina přicházejícího slunečního záření odrazena, menší část záření je poté rozptýlena nebo absorbována.

2.1.3.1. Energetická bilance Země

Bednář (2003) definuje celkovou radiační bilanci povrchu Země, která je zobrazena na obr. č. 1, jako rozdíl absorbovaného slunečního záření a efektivního vyzařování, které způsobuje radiační ochlazování povrchu Země, a proto v noci, kdy chybí sluneční záření, může dojít ke vzniku přízemních mrazíků radiačního původu. Efektivní záření roste se zvyšující se teplotou povrchu Země, naopak je zeslabováno oblačností a vodní párou v atmosféře (Bednář, 2003). Ve dne je většinou radiační bilance povrchu kladná, protože na povrch Země přichází dostatek solární radiace a dopadající energie je distribuována a využita zejména na výpar vody z rostlin, půdy i vodních ploch, zjevné teplo, které stoupá turbulentním tokem tepla vzhůru, nebo na tok tepla do hlubších vrstev půdy. Množství energie, které je využito pro fotosyntézu lze v celkové radiační bilanci Země považovat za zanedbatelné. V noci je radiační bilance povrchu z pravidla záporná. Teplotní pokles je vyrovnáván zpětnou kondenzací latentního tepla za vzniku rosy, jinovatky aj. a uvolňováním tepla z půdy (Bednář, 2003; Geiger, 2003). Sluneční záření dopadá na zemský povrch časově nerovnoměrně a tím pohání hydrologický cyklus.



Obrázek č. 1: Energetická bilance Země. (Forgan B. W, 2011)

Jak je viditelné z obrázku č. 1, část energie ze Slunce je absorbována mraky (Absorption by clouds) a atmosférou (Absorption by the Atmosphere). Nezanedbatelné množství energie je odraženo molekulami (Reflected by molecules), které jsou obsažené v atmosféře a mraky (Reflected by clouds). Část energie dopadající na Zemi je ihned po dopadu na povrch odražena zpět (Reflected by surface). Poměr mezi dopadajícím a odraženým zářením se nazývá albedo (odrazivost). Albedo je závislé na úhlu dopadu slunečního záření a fyzikálních vlastnostech povrchu, u rostlin závisí i na stáří a kondici (Bednář, 2003). Bennett a kol. (2018) upozorňují, že je albedo někdy vysvětlováno nesprávně tak, že odlesňování, které se projevuje vznikem světlých ploch na Zemi, je považováno za kladný efekt na teplotu Země, protože světlé povrchy pohltnou méně energie než povrchy tmavé. Ve skutečnosti vede odlesnění ke zvýšení albeda. Tmavé povrchy jako je voda, vlhká půda a vegetace, která v sobě zadržuje vodu, jsou schopny absorbovat mnohem více radiace než světlé plochy, jako je sníh a písek, které záření hlavně odráží (Pokorný a kol, 2010; Penka, 1985). Sníh je schopen odrazit 70 % a více přicházejícího slunečního záření. Půda a vegetace má hodnotu odrazivosti menší, v průměru 5 – 30 %. Poměr mezi slunečním zářením, které je odraženo Zemí, a množstvím slunečního záření, vstupujícího na horní hranici atmosféry, se nazývá planetární albedo, jehož hodnota je asi 30 %. Nejvíce záření je

odraženo mraky, jejichž albedo je 50 – 80 %. Dále je planetární albedo ovlivňováno zejména plyny v atmosféře a v oblastech bez oblačnosti také albedem povrchu (Bednář, 2003).

Po odečtení solární radiace, jež je odražena Zemí, získáme čisté sluneční záření (R_n), které lze vypočítat ze vztahu:

$$R_n = J + P + G + H + L * E$$

,kde J představuje ohřev vegetace, P fotosyntézu, G tok tepla do půdy, H zjevné teplo, L latentní teplo, jež je násobeno E, představující evapotranspiraci (Pokorný, 2019).

Sluneční radiace se po dopadu na zemský povrch projevuje jako zjevné (pocitové) teplo, nebo je přeměňována na latentní (spící) teplo (na obr. č. 1 – Sensible heat, Latent heat). Přicházející energie, která je pohlcena půdou, rostlinami, asfaltem, nebo jakýmkoliv povrchem na Zemi, může být ihned ve stejném množství vyzářena zpět jako zjevné teplo, které ohřívá okolí a my ho vnímáme jako teplo pocitové (Pokorný a kol., 2017). Dle Pokorného a kol. (2010) je zjevné teplo suma všech tepelných přeměn mezi zemským povrchem a okolím vedením a prouděním. Zjevné teplo má pozitivní vliv, když je okolí chladnější než povrch Země, v takovém případě se teplo ze Země ztrácí. Pokud je povrch suchý, teplý a bez vody, zjevné teplo dosahuje i několika stovek W/m^2 , ohřívá okolní vzduch a zároveň vzniká turbulentní pohyb vzduchu, který způsobuje nestabilitu atmosféry. Rostliny však mají schopnost přicházející energii přeměnit na latentní (spící) teplo, které je využito na výpar vody z rostliny (transpiraci) nebo na výpar vody z půdy (evaporaci). Na přeměnu vody v páru je využita energie slunečního záření, stejné množství energie je poté uvolněno při kondenzaci, tedy přeměně vodní páry zpět ve vodu kapalnou, ke které dochází na chladnějších místech (Šír a kol., 2005). Do latentního (spícího) tepla je tedy sluneční energie uschována. Přeměna vody v páru (výpar) je endotermický děj, při němž je energie spotřebovávána ve formě latentního tepla. Kondenzace je naopak exotermický děj. Energie uvolňující se při kondenzaci ohřívá okolí, a tím se vyrovnávají teplotní rozdíly na Zemi. Ke kondenzaci dochází na chladnějších místech na Zemi, zejména v noci, když poklesne okolní teplota, nebo voda kondenzuje v atmosféře. Tento cyklus vody je většinou nelokální, protože ke kondenzaci často dochází na jiném místě, než na kterém došlo k výparu (Šír a kol., 2005; Pokorný a kol., 2010).

Velmi důležitý je tzv. Bowenův poměr (β), který představuje poměr mezi zjevným teplem (H) a latentním teplem (L), jež je vynásobeno hodnotou evapotranspirace (E):

$$\beta = \frac{H}{L * E}$$

Optimální hodnota Bowenova poměru je pět desetin (Pokorný, 2019). Je-li povrch vlhký, většina slunečního záření se uplatní jako skupenské teplo výparu vody a Bowenův poměr bude mít nízkou hodnotu. Penka (1985) uvádí, že povrch dobře zásobený vodou má hodnotu Bowenova poměru dvě desetiny. Je-li však vody v půdě nedostatek, rostliny uzavřou průduchy a nedochází k transpiraci. V takovém případě je hodnota Bowenova poměru vysoká (Penka, 1985).

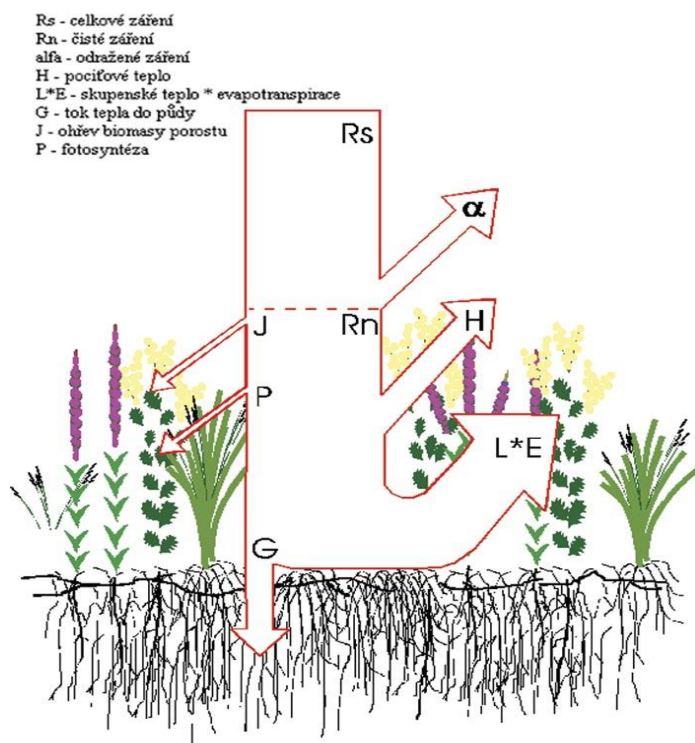
2.2. Role vegetace v distribuci solární radiace na Zemi

Každým rokem se z 600 000 km² špatně využitých ploch stává poušť, na 200 000 km² plochy je vegetace pokácena a půda je odvodněna (Pokorný a kol., 2010). Zemský povrch je ze 41 % pokryt suchými plochami, které jsou charakteristické nedostatkem vody. Dostupnost vody v těchto oblastech je v průměru o jednu třetinu nižší než minimální zásoba vody vhodná pro dlouhodobě udržitelný rozvoj (FAO, 2016). Ke zlepšení situace by mohlo pomoci správné zacházení s vegetací, která ovlivňuje koloběh vody na Zemi. Vegetace a zejména stromy jsou často považovány za dárce kyslíku a díky fotosyntetické fixaci oxidu uhličitého také pomocníky v boji proti zvyšujícímu se množství skleníkových plynů v atmosféře. Stromy však mají kladný vliv i v mnoha dalších ohledech, mimo jiné zadržují vodu a ovlivňují koloběh vody v krajině, podílí se na krátkém koloběhu vody a celkové rovnováze zásob vody na Zemi.

Oxid uhličitý, uvolňující se při spalování fosilních paliv, se díky fotosyntéze váže v podobě biomasy v rostlinách a půdě. Množství oxidu uhličitého je však v atmosféře mnohem vyšší než je vegetace a půda schopna pojmout. Při fotosyntéze je využíván oxid uhličitý společně s vodou a světelnou energií a za přítomnosti chlorofylu A vzniká celulóza, voda a kyslík. Celulóza je zdrojem pro stavbu polysacharidů rostlin, jako je například škrob. Fotosyntéza, při níž vzniká kyslík jako odpadní látka a je fixován oxid uhličitý, je nenahraditelná. Přestože je využívání sluneční energie nejčastěji spojováno s fotosyntetickou fixací oxidu uhličitého, voda v rostlinách je schopna pohltit mnohem větší množství této energie (Pokorný a kol., 2010). Jak

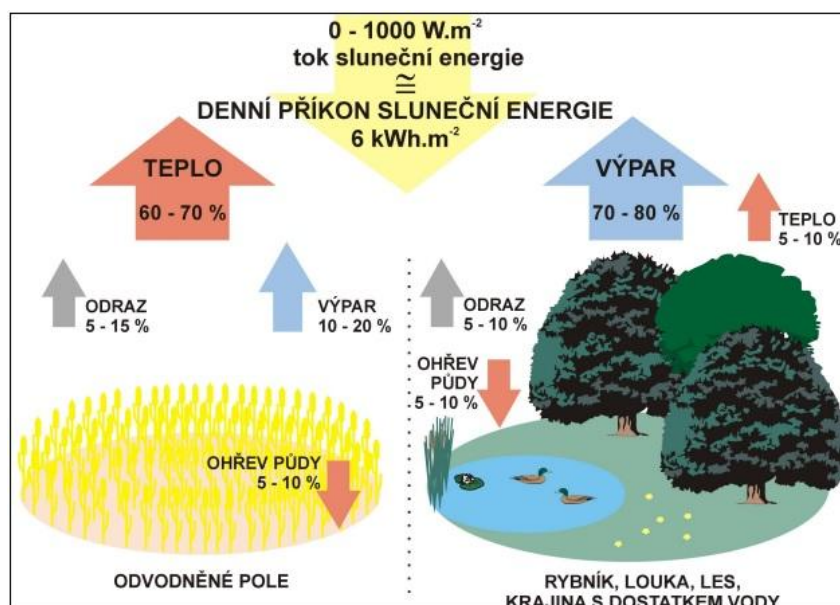
uvádí Pokorný (2019), ze všech dějů probíhajících v rostlině je na fotosyntézu využito pouze 1 % energie.

Jestliže během letního dne dopadá na Zemi $1\,000\text{ W/m}^2$ slunečního záření, jedná se o poloviční množství výkonu jaderné elektrárny. Po dopadu slunečního záření na Zemi je energie distribuována. Energie může být pohlcena půdou, využita na odraz, přeměněna ve zjevné teplo nebo pomocí evapotranspirace na latentní teplo (Pokorný a kol., 2018). Na obr. č. 2 je znázorněna distribuce solární radiace rostlinami. Zpět do atmosféry je odraženo je 5 – 10 % přicházejícího slunečního záření. Po odrazu tohoto množství energie vzniká čisté záření, které je dále distribuováno. Odraz je závislý na typu povrchu, na který sluneční záření dopadá. Vegetace odráží asi 150 W/m^2 , za dostatku vody i méně. V porovnání s vegetací je reflektance vodní plochy menší, naopak nejvíce odrážejí betonové a asfaltové plochy. Na tok tepla do půdy je využito také 5 – 10 % energie, což se projeví zejména zvýšením teploty půdy (Pokorný, 2019). Pohlcení tepla půdou je závislé na tepelné vodivosti půdy. Čím je tepelná vodivost půdy vyšší, tím více tepla je schopna odvádět z povrchu do hlubších vrstev a povrch půdy se méně ohřívá. Kyprá suchá půda (zemědělsky obdělávaná aj.) vykazuje poměrně vysoké teploty, protože má nízkou vodivost, způsobenou vzduchovými póry. Vlhká půda má větší vodivost a vykazuje nižší nárůsty a poklesy teplot, než je tomu u suché půdy téhož druhu. Mimo jiné se u vlhké půdy projeví i výpar (evaporace), čímž je okolí ochlazováno (Penka, 1985). Teplota povrchu Země a s tím související teplota půdy je ovlivněna oběhem Slunce okolo Země v periodických cyklech, nejvyšších teplot dosahuje v červenci, nejnižších v lednu (Bednář, 2003).



Obr. č. 2: Distribuce solární radiace vegetací. Vysvětlení zkratk: R_s — celkové záření, R_n — čisté záření, α — odražené záření, H — pocitové teplo, $L * E$ — skupenské teplo * evapotranspirace, G — tok tepla do půdy, J — ohřev biomasy porostu, P — fotosyntéza (Pokorný a kol., 2017).

Distribuce zbývající solární energie na Zemi je závislá na typu povrchu, na který radiace dopadá (viz obr. č. 3).



Obr. č. 3: Využití sluneční energie na odvodněné zemědělské půdě a v krajině s trvalou vegetací s dostatkem vodních zásob (Pokorný, 2001)

Kromě výše zmíněného odrazu a toku energie do půdy, které zpravidla dosahují podobných hodnot na různých typech povrchů, je distribuce zbývající energie závislá na typu povrchu. V levé části obr. č. 3 se nachází zemědělsky obdělávaná půda s homogenní vegetací, která není dostatečně zásobená vodou. Pouze 10 – 20 % energie je v tomto typu krajiny využito na evapotranspiraci. V tomto případě je 60 – 70 % sluneční energie přeměněno na zjevné teplo, které ohřívá okolí. Z vyprahlé půdy se může uvolňovat i několik stovek W/m^2 zjevného tepla.

Opačný poměr v distribuci sluneční energie probíhá v krajině s vegetací, lesy, rybníky a tůněmi, která je dobře zásobená vodou. Tento typ krajiny je znázorněn v pravé části obr. č. 2. Až 80 % energie je krajinou využito na výpar, protože vegetace s dostatkem vody během transpirace přeměňuje sluneční energii na latentní teplo. Důležitou roli hrají stromy s hlubokými kořeny, které jsou schopny transpirovat vodu i v případě dlouhotrvajícího sucha. Zatímco v létě se vegetace, která je dobře zásobovaná vodou, podílí na ochlazování okolí, v zimě snižuje albedo (Ellison a kol., 2017). Mimo transpiraci probíhá také výpar i z půdy (evaporace). Evapotranspirací jsou rostliny schopny vyrovnávat teplotní rozdíly mezi dnem a nocí a zároveň ovlivňovat proudění vzduchu (Pokorný a kol., 2010; Pokorný a kol., 2018). Ohřev povrchu Země je evapotranspirací tlumen natolik, že v létě je povrch s vegetací v průměru o 10 °C chladnější než povrch bez vegetace. Vegetace je důležitá i v noci, neboť zabraňuje nadměrným ztrátám tepla z půdy. V zimě před ztrátou tepla z povrchu Země chrání sníh, který má nízkou vodivost (Bednář, 2003). Urbanizované zastavěné oblasti či zoraná pole vykazují nízkou hodnotu evapotranspirace, nejvíce energie je v těchto oblastech využito na tvorbu zjevného tepla, což je znatelné na snímcích z termokamer, protože tyto oblasti dosahují nejvyšších teplot. Pole s homogenní vegetací sice vykazuje velkou míru evapotranspirace a nízké hodnoty zjevného tepla, ale vypařená voda z této oblasti se zpět nevrací a je součástí velkého koloběhu vody. Nejméně zjevného tepla je vytvořeno lesy a heterogenními přírodními porosty, kde je nejvíce energie využito na evapotranspiraci. Takto evapotranspirovaná voda je vrácena zpět lokálním koloběhem vody. Dojde-li však k odstranění vegetace (nejčastěji odlesněním), je narušena rovnováha a nedochází k vázání latentního tepla, energie je přeměněna v teplo zjevné. Ochlazování planety za horkých, teplých dnů je závislé na schopnosti a kapacitě vegetace zachytit a redistribuovat sluneční energii (Ellison a kol., 2017).

2.2.1. Využití slunečního záření rostlinami

Energie ze Slunce je přeměňována v systému půda — rostlina — atmosféra. Tyto přeměny ovlivňují koloběh vody a srážky, ochlazování a oteplování povrchu Země, vznik větru aj. (Penka, 1985). Sluneční záření přicházející na list rostliny může být odraženo, absorbováno, přeměněno, nebo je propuštěno (listem prochází). Všechny tyto děje se vzájemně ovlivňují a často probíhají současně. Na každý děj je však využíváno jiné množství energie v závislosti na vlastnostech listu. Děje jsou ovlivněny zejména úhlem dopadu solární radiace, členitostí a charakterem listu, což může být tloušťka listu, matnost aj. Z počátku je dopadající radiací rostlina ohřívána a energie je přeměňována na zjevné teplo. Pokud není odvod zjevného tepla dostatečný, rostlina se přehřátí brání transpirací, což má za následek ochlazení okolí rostliny, protože je spotřebováváno latentní teplo — skupenské výparné teplo (Šír a kol., 2005).

List rostliny má vysokou absorpci viditelného záření. Ta je způsobena chlorofylem, ale i dalšími pigmenty (karotenoidy, xantofyly, antokyany aj.), které vykazují silnou absorpci viditelného záření. Reflektance (schopnost odrazet) viditelného záření o vlnových délkách 0,4 – 0,7 μm je nízká, asi 10 %. Reflektance infračerveného záření je závislá na vlnových délkách. List rostliny vykazuje reflektanci blízkého infračerveného záření přibližně 50 % mezi vlnovými délkami 0,7 – 1,3 μm . Tato vysoká reflektance je způsobena vnitřní stavbou listu. Avšak reflektance vzdáleného infračerveného záření (dlouhovlnného) nad 1,3 μm je relativně nízká, protože jsou tyto délky značně absorbovány. Hodnota reflektance v této oblasti je pouze 5 %. Vysoká absorpce nad 1,3 μm je způsobena vodou, neboť chlorofyl a další pigmenty jsou pro infračervené záření průsvitné. Voda vyplňuje vzduchové dutiny a tvoří tak kontinuální kapalnou fázové médium v celém listu. Důležité je celkové množství rozhraní mezi vzduchovými komůrkami a ne celkový objem dutin, protože poté co infračervené záření projde přes kutikulu, epidermis a stěny palisádových dutin do listu, je silně rozptýleno. Z výše uvedeného vyplývá, že absorpce slunečního záření je vysoká v oblasti viditelného a infračerveného záření nad 1,3 μm , ale téměř nulová u infračerveného záření v intervalu od 0,7 – 1,3 μm . Absorpce infračerveného záření listem je variabilní. Závisí na stresu, zdravotním stavu i stáří rostliny. Vzhledem k těmto podmínkám někdy klesá, jindy se zvyšuje. Dosáhne-li rostlina pokročilého stádia stárnutí, nebo pokud je list dehydratovaný, většina infračerveného záření (i nad 1,3 μm) je odraženo. Reflektance přicházejícího slunečního záření rostlinou je modifikována nehomogenní solární radiací a změnami

v úhlu osvětlení, strukturou rostliny, orientací listu, stínem, odrazem neolistěného pozadí, což je zpravidla půda aj. (Knipling, 1970).

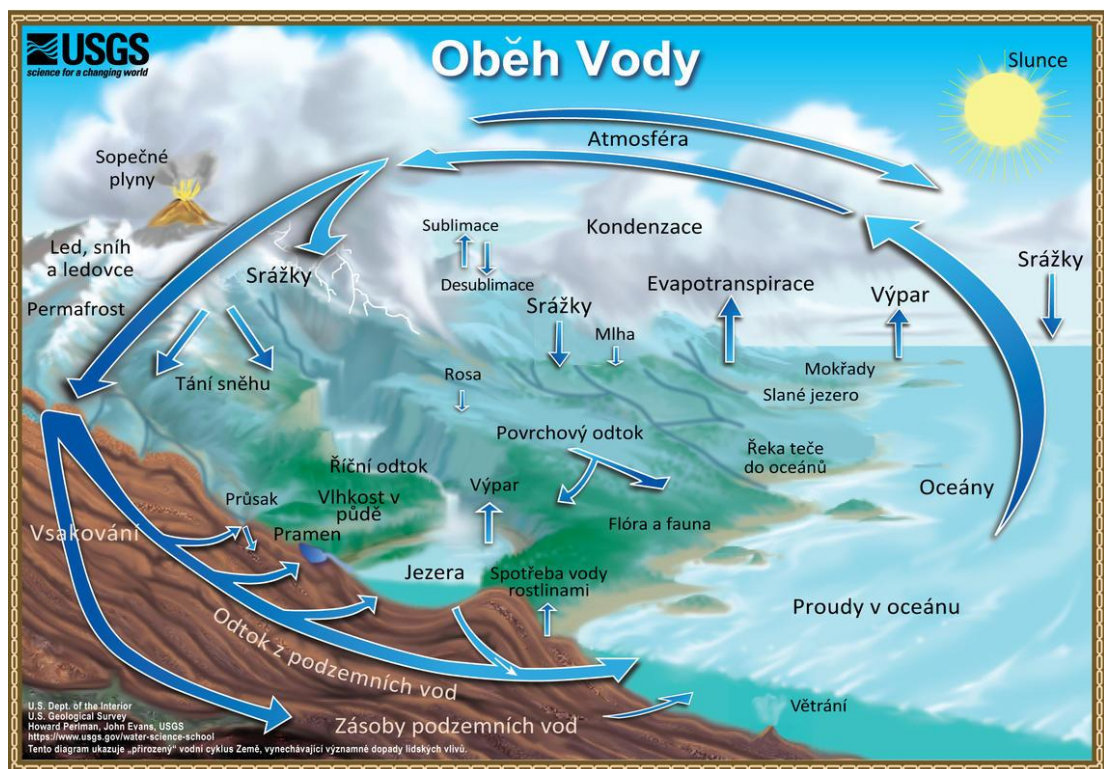
Na absorpci infračerveného záření rostlinami má tedy největší vliv voda, jež je využita na výpar, který ochlazuje okolí rostliny. Aby se vypařil 1 litr vody při 20 °C je potřeba 2 439 kJ, což je 0,68 kWh. Z 1 litru vody získáme až 1 200 litrů vodní páry. Energie dopadající na zemský povrch nemizí, ale je využita na přeměnu kapalně vody v plynnou vodní páru, kde je uschována v podobě kinetické energie. Následně je energie, vázaná ve vodní páře, uvolněna ve formě skupenského tepla při kondenzaci, ke které dochází na chladnějších místech (Pokorný a kol., 2010; Pokorný a kol., 2018; Pokorný, 2019). Na kontinentech se na vypařování podílí rostliny a půda, které v sobě kumulují vodu. Až 40 % dešťů na kontinentech je způsobeno vodní párou, která se dostává do atmosféry evapotranspirací a následně cirkuluje pomocí větrů nad kontinenty a oceány (Ellison a kol., 2017).

Ellison a kol. (2017) uvádí, že evropské lesy mají majoritní vliv na uspořádání a tvorbu srážkových mračen. Vzduch vanoucí nad lesy obsahuje dvakrát více dešťových srážek než vzduch nad řídkou vegetací. Vyšší relativní vlhkost vzduchu zvedá pravděpodobnost srážek v dané oblasti. K tvorbě srážek musí být v atmosféře dosaženo rosného bodu, což je teplota, kdy jsou páry ve vzduchu právě nasyceny (Ellison a kol., 2017; Penka, 1985). K ochlazení většinou dochází kvůli vzestupnému pohybu teplého vzduchu, který má nižší hustotu a stoupá od povrchu Země vzhůru. Během vzestupného pohybu se vzduchová hmota rozpíná a ochlazuje, až dosáhne kondenzační hladiny, která vede ke vzniku oblačnosti. Mraky vznikají také při izobarickém ochlazení, což znamená, že teplota poklesne pod hodnotu rosného bodu (Bednář, 2003; Makarieva a kol., 2010). Při dosažení kondenzační hladiny se vzduch stává nasyceným a začíná se tvořit velké množství oblačných kapiček. Klíčovým bodem je tedy dostatek vodní páry v atmosféře, která se sráží nebo desublimuje na kondenzačních jádrech, které jsou často produkovány rostlinami, může se jednat o aerosoly, bakterie, pyl aj. Výsledkem kondenzace či desublimace na kondenzačních jádrech jsou srážkové mraky (Ellison a kol., 2017). Je-li při nasycení vodní párou dosaženo právě rosného bodu, vrací se voda zpět na zem v podobě rosy. Voda, jež se vrací během jedné noci zpět v podobě rosy, tvoří v mírném podnebném pásmu asi 1 – 5 % z denního výparu. V období sucha se v podobě rosy vrací i větší množství vody (Penka, 1985). Rosa dopadající na zemský povrch ohřívá tělesa, na kterých se

sráží, protože uvolňuje sluneční energii, která byla do vodní páry navázána ve formě skupenského tepla (Pokorný J., 2011). Ellison a kol. (2017) uvádí, že odlesnění má negativní dopad na srážky a v kombinaci s oteplováním přispívá ke klimatickým zvrátům a destabilizaci koloběhu vody, což může mít za následek sucha i požáry.

2.2.2. Koloběh vody a hospodaření rostlin s vodou

Pro život na zemi je důležité, aby rostliny, které jsou zdrojem biomasy, potravy a kyslíku, čistí vzduch, zabraňují erozi, zadržují vodu aj., měly dostatek vody a vlhkosti k růstu. Voda z povrchu Země odtéká do nižších nadmořských výšek a končí v mořích a oceánech. Kdyby neexistoval způsob, jakým se voda vrací zpět na pevninu a kontinenty, přirozeným odtokem by zmizela z kontinentů za několik let (Makarieva a kol., 2010). Rostliny získávají vodu, kterou následně transpirují, z půdy a tím vzniká oběh vody zvaný biotický hydrologický cyklus. Je-li vody v půdě nedostatek, nedochází k transpiraci, rostliny se nechladí a atmosféra se ohřívá. Rostliny v tomto případě neovlivňují koloběh vody, jedná se o tzv. abiotický hydrologický cyklus, při němž jsou oběhy vody a tepla na sobě nezávislé (Šír a spol., 2005). Abiotický hydrologický cyklus je typický pro místa, kde chybí rostliny, a kde je nedostatek vody (městské dlážděné a asfaltové plochy, sklizená pole bez vegetace apod.).



Obr. č. 4: Krátký a dlouhý koloběh vody na Zemi (Periman H., Evans J., 2017)

Obr. č. 4 znázorňuje krátký a dlouhý koloběh vody na Zemi. Hnací silou obou cyklů je sluneční energie, jež způsobuje výpar vody z oceánů, moří, vodních ploch kontinentů i výpar vody z rostlin a půdy. Zjednodušeně je během dlouhého koloběhu vody vypařená voda ve formě vodní páry nesena cirkulující vzduchovou hmotou. Během tohoto pohybu může vodní pára kondenzovat nebo desublimovat a v podobě srážek se voda dostává zpět na Zemi. Srážky jsou povrchovým odtokem odvedeny zpět do oceánů, nebo infiltrovány do půdy, kde tvoří zásobu podzemních vod. Zápaly jsou projevem nesprávného hospodaření s krajinou. Během záplav většina vody odeče do moří a oceánů a nemůže být využita na evapotranspiraci. Na zmírnění záplav se podílí z velké části stromy, které zadržují vodu kořenovým systémem. Odstranění lesního porostu vede ke zpevnění a těžknutí půdy a následným erozím, špatné infiltraci a ke zvýšení odtoku vody, který často způsobuje záplavy (Ellison a kol., 2017).

Voda, která je vázána v rostlinách, je velmi často považována za využitou či ztracenou. Tato voda poté velmi často není brána v potaz při koloběhu vody v krajině. Kromě výparu z oceánů probíhá výpar i na kontinentech, na němž se podílí zejména voda zadržovaná v rostlinách a půdě. Evapotranspirací je vegetace schopna regulovat množství vody v krajině a napomáhat cirkulaci vody v atmosféře, a proto je důležitou součástí hydrologického cyklu. Rozsáhlá kořenová soustava pomáhá rostlinám zadržovat vodu v krajině a získávat ji i ze zásob podzemních vod. Stromy jsou hlavní součástí tzv. malého (krátkého, uzavřeného) koloběhu vody (Ellison a kol., 2017; Makarieva a kol., 2010). V kontinentálních oblastech je výpar z vegetace velmi důležitý, protože se podílí na tvorbě oblačnosti. Srážky zajišťují návrat vody zpět do půdy, kde ji rostliny opět přijmou společně s živinami. Na kontinentech je nejvíce vody vypařeno zejména z lesních ekosystémů a vodních ploch (Penka, 1985). Také Ellison a kol. (2017) upozorňují na obrovskou schopnost lesů chladit, zadržovat vodu a regulovat pohyb atmosférické vlhkosti a dešťů, čímž ovlivňují klima, ekosystém i celkovou udržitelnost života na Zemi.

Lesy se podílí na transportu vody v podobě vodní páry v lokálním i globálním měřítku, což je principem teorie biotické pumpy (Makarieva a kol., 2010), která vysvětluje, jak je voda transportována zpět na kontinenty, a jak zajistit stabilní tok vody na kontinenty. Biotická pumpa zajišťuje přenos atmosférické vlhkosti na kontinenty v podobě srážek. Tento proces je poháněn nízkým tlakem, který vytváří rostliny transpirací vody a její následnou kondenzací, což má za následek tvorbu větru,

jež přináší vlhký vzduch od oceánů do středů pevniny. Souvislý lesní porost je schopen dopravit srážky na pevninu. Odlesnění způsobuje zvrát větrných proudů a tím i narušení vodních srážek (Ellison a kol., 2017; Makarieva a kol., 2010). Dle Zbořilové (2005) obnovení vykácených lesů, zlepšení druhové pestrosti lesů a přeměna orné půdy na louky s trvalou vegetací může navrátit srážky zpět do vnitrozemí, zabránit prudkým odtokům, ztrátám vody a usnadnit infiltraci, protože kořeny stromů zpevňují půdní strukturu a vytváří cesty pro vsak vody do půdy.

Principem biotické pumpy jsou srážky přenášeny z místa označovaného jako donor, do místa, které se nazývá akceptor. Evapotranspirace probíhá v obou oblastech, do oblasti označované jako dárce se přesouvá od akceptoru teplý vzduch a srážky padají pouze v místě nazývaném akceptor. Tomuto principu pohybu srážek nelze zabránit, lze ho ovlivnit zalesňováním, jež může pomoci k ustálení koloběhu vody v krajině (Ellison a kol., 2017; Makarieva a kol., 2010). Tento velký vliv vegetace, zejména stromů, byl znám již dávno v historii. Jak uvádí Bennett a kol., (2018) již ve starém Řecku byla zaznamenána klimatická změna způsobená odvodněním močálů a nárůstem zemědělství.

2.2.3. Pohyb vody v rostlinném těle

Voda z půdy je rostlinou rozváděna od kořenových vlásků pomocí pletiv až k vrcholovému částem rostliny. Pohyb vody v rostlině není jednosměrný. Od kořenů z půdy je voda vedena speciálními vodivými pletivy do nadzemních částí rostliny (stonek, list), kde může docházet k fotosyntéze a transpiraci. Voda vodivými pletivy postupuje na základě koheze, adheze, kapilarity, kořenového vztlaku a transpiračního proudu. Nejvíce vody jsou kořeny schopny pojmout kořenovými vlásky, což jsou útvary s velmi tenkou svrchní vrstvou, jež několikanásobně zvětšují absorpční povrch kořenového systému. Opačným tokem je vedení dešťové vody dolů do půdy, kde voda nemůže být snadno vypařena. V obou směrech toku vody jsou důležité kořeny, které zajišťují komunikaci mezi půdou a rostlinou (Ellison a kol., 2017; Pazourek, 2001; Penka, 1985). Kořeny aktivně nasávají vodu a vzniká kořenový vztlak, který tlačí vodu rostlinou vzhůru až k listům. Jedná se o aktivní pohyb za spotřeby energie. Transpirační proud patří mezi pasivní způsob pohybu vody v rostlinách. Je způsoben vypařováním vody z rostliny. Čím více rostlina vypařuje vodu pomocí průduchů, tím více potřebuje rostlina vodu, a tím je transpirační proud rychlejší (Procházka a kol., 1994).

2.2.4. Výdej vody

Rostliny jsou schopny ztrácet vodu v kapalně i plynné formě. Kapalná ztráta vody probíhá krvácením z poraněných míst rostliny nebo gutací, při níž je voda vytlačována hydátodami. Ve formě vodní páry se voda z rostliny ztrácí transpirací (Pazourek, 2001; Penka, 1985).

2.2.4.1. Transpirace

Výdej vody z rostlin ve formě vodní páry se nazývá transpirace. Jedná se o nepřímý výdej půdní vody. Transpirace je z největší části zajištěna průduchy (stomaty) na listech – transpirace stomatární. Menší část transpirace probíhá ostatními útvary na rostlině mimo průduchy – transpirace kutikulární. Transpirace rostlin je jednou z hnacích sil, napomáhajících v pohybu vody v rostlině (Penka, 1985). Pazourek (2001) uvádí, že je transpirace spouštěna poklesem relativní vlhkosti vzduchu, což je nejčastěji způsobeno zahřátím nebo prouděním vzduchu. Za takových podmínek je narušena rovnováha a rostliny otevírají průduchy. Transpirace je ovlivňována teplotou, vlhkostí vzduchu i půdy, kvantitou i kvalitou přicházející sluneční energie, druhem a stářím rostliny a dalšími faktory (Penka, 1985). Jedním z důležitých faktorů je tvar listu. Stromy s širokou listovou čepelí jsou schopny ochlazovat okolí mnohem více než listy jehlicovité, které mají menší povrch. Navíc koruny stromů s jehlicovitými listy bývají řidší než koruny stromů s širokými listovými čepelími (Ellison a kol., 2017; Pokorný a kol., 2010). Rychlost transpirace se v závislosti na vnějších i vnitřních faktorech mění i během dne. Ráno je transpirace malá a během dne roste, maximálních hodnot dosahuje dopoledne nebo později odpoledne. Prudký pokles transpirace nastává se západem Slunce (Penka, 1985). V našich zeměpisných šířkách dochází v letních měsících v poledních a popoledních hodinách k dočasnému poklesu transpirace, způsobenému uzavíráním průduchů kvůli vysoké teplotě a vysoušení půdy a s tím související potřebou rostliny šetřit vodou (Procházka a kol., 1994)

Kutikulární transpirace, která probíhá přes trhliny a póry na různých místech rostliny, představuje pouze malé procento výparu vody z rostlin. Kutikulární transpirace sice může u stromů na začátku vegetačního období dosahovat stejných hodnot jako stomatární transpirace, v letních měsících však tvoří 10 – 25 % z celkového množství vypařené vody. U keřů a bylin, jež jsou zastíněny ostatní vegetací, může kutikulární transpirace dosahovat až 75 % (Penka, 1985).

Pokožka rostlin (epidermis), která může být zpevněna kutikulou či sekundární kůrou, neumožňuje dostatečnou komunikaci rostliny s okolím. Průduchy (stomata) jsou útvary, které zajišťují vstup oxidu uhličitého a výstup kyslíku při fotosyntéze, při respiraci zajišťují vstup kyslíku a výdej oxidu uhličitého, během transpirace přes průduchy vystupuje vodní pára. Průduch je složen ze dvou svěracích buněk, mezi nimiž je průduchová štěrbina, která se otevírá dovnitř do dýchací dutiny. Otevírání a zavírání svěracích buněk je ovlivněno především turgorem, který je způsoben vodou, světlem a teplotou. Průduchy jsou přítomny na stonku i řapíku, ale nejdůležitější jsou na čepelích listů. Na listu se nachází v průměru 50 – 300 stomat/mm². Jejich počet je druhově odlišný. Rozdíl je i v umístění průduchů, ty mohou být pouze na svrchní straně listu (epistomatické rostliny), pouze na spodní straně (hypostomatické rostliny) nebo na obou stranách (amfistomatické rostliny), u kterých je zpravidla více průduchů na spodní straně. (Pazourek, 2001).

Průduchy jsou důležité při fotosyntéze, která je důležitým zdrojem biomasy na zemi. I přestože jsou průduchy spojovány převážně s průchodem oxidu uhličitého, během transpirace průduchy projde až dvakrát větší množství vodních molekul než molekul oxidu uhličitého. Průduchy jsou otevřené, pokud má rostlina dostatek vody. Když je vody nedostatek, průduchy se zavřou, aby nedocházelo ke ztrátám způsobeným transpirací, tím je ovlivněn i chod fotosyntézy (Pazourek, 2001). Na otevírání a zavírání průduchů má vliv i oxid uhličitý, pokud je ho v okolním vzduchu malé množství, průduchy se otevírají a naopak (Penka, 1985). Transpirace průduchy je často nesprávně považována za doplňkový proces, vnímána negativně a spojována se ztrátou vody (Pokorný a kol., 2010). Vypařená voda z rostlin se ale neztrácí, protože je hlavní součástí tzv. krátkého (uzavřeného) cyklu vody. Krátký koloběh vody je typický pro klimaxová stádia s vegetací a dostatkem vody. Vypařená voda se sráží na povrchu rostlin či se vrací v podobě srážek a může být opakovaně využívána pro transpiraci (Ryplová a Pokorný, 2019)

2.2.4.2. Evaporace

Evaporace je definována jako výpar vody z půdy. Představuje přímý výdej vody z půdy a závisí převážně na výšce hladiny podzemní vody, vlastnostech půdy, reliéfu a jeho expozici, klimatických a meteorologických poměrech a také na vlastnostech druhu porostu. Z tmavé půdy je vypařeno více vody než z půdy světlé. Evaporaci zvyšuje orba zemědělských ploch, vítr i vysoká teplota (Penka, 1985).

Pro udržení stálé hladiny podzemní vody je důležitá vegetace. Holá půda bez vegetace není schopna vodu vsakovat a většina vody odtéká z krajiny do povrchových toků. Kořeny rostlin jsou schopny zadržovat vodu a zvyšovat půdní infiltraci. Odlesňování může vést k narušení základních pochodů v krajině a během suchých období vést ke snížení zásob podzemní vody. Využití půdy pro zemědělské účely nebo pastviny vede k ochuzení půdy, což většinou způsobuje horší infiltraci (Ellison a kol., 2017). Penka (1985) uvádí, že množství vody, jež se vsákne do půdy je ovlivněno i druhem a typem půdy. Písčité půdy jsou pro vodu velmi dobře propustné, zatímco jílovité půdy málo propustné.

2.2.4.3. Evapotranspirace

Evaporace je přímý způsob výdeje půdní vody, zatímco transpirace je nepřímý způsob výdeje půdní vody pomocí rostlinného těla (Penka, 1985). Pokorný (2010) definuje evapotranspiraci jako výpar vody z půdy i rostlin, které zachycují vodu. Evapotranspirace z rostlin zásobených vodou může představovat i několik vypařených litrů na metr čtvereční. Na evapotranspiraci je spotřebováno 400 W/m^2 a více sluneční energie. Pokud je dostatek vody platí, že čím více je energie, tím vyšší je i výpar z rostlin a tím více se ochlazuje okolí (Pokorný a kol., 2018). Stromové porosty, jež dosahují vysokých hodnot evapotranspirace, jsou schopny značně ochlazovat okolí a způsobují velkou atmosférickou vlhkost, která je schopna tvořit dešťové srážky (Ellison a kol., 2017).

2.2.5. Důležitost vegetace v antropologické krajině

K největším problémům, s využitím vegetace a sluneční energie k ochlazování okolí, dochází ve velkých městech s malým podílem zeleně. Městská vegetace zajišťuje záchyt prachových částic, zvlhčuje vzduch, produkuje kyslík a zajišťuje další neméně důležité funkce. Často opomíjená je schopnost vegetace ochlazovat okolí. Různé městské rostlinné plochy, jako jsou městské parky, lesní plochy, trávníky nebo zelené střechy, mají různý ochlazovací efekt. Nejmenší schopnost chladit okolí mají travnaté plochy, jejichž kořeny zadržují nejméně vody, mají menší povrch pro výpar a nejsou patrovitě členěny. Nejvíce chladí stromové porosty, jejich chladicímu efektu se nevyrovná ani dobře zalévaný trávník. Vzhledem k neustále se zvyšující urbanizaci narůstá počet měst označovaných jako „městské tepelné ostrovy“, název pocházející z anglického označení „urban heat islands“. Městskými teplenými ostrovy se nejčastěji stávají velká města a průmyslové aglomerace s velkým podílem

povrchů, které nepropouštějí vodu a mají velkou tepelnou kapacitu, což je často asfalt a beton (Pokorný a kol., 2018; Zhedong a kol., 2019). Dle Ellisona a kol. (2017) mohou stromy, které jsou schopny za horkých letních dnů vytvářet chladnější mikroklima, navrátit krajinnou rovnováhu do měst. Zhedong a kol. (2019) uvádějí, že jediný strom dokáže ušetřit 12 – 14 % energie pro chlazení jednopatrové budovy.

V horkých letních dnech může být vegetace ve městech považována za jakési klimatické zařízení, které spotřebovává pouze přicházející sluneční energii. Evapotranspirující vegetace je schopna ochlazovat okolí a vyrovnávat teplotní rozdíly. Koruna stromu s povrchem 100 m² vypaří za den až 200 litrů vody a spotřebuje asi 140 kWh energie, která je vázána ve vodní páře a neuvolňuje se jako zjevné teplo (Pokorný a kol., 2018). Ve velkých městech severní Číny stoupala každých deset mezi léty 1961 – 2000 teplota vzduchu o 0,16 °C. Ke zmírnění těchto teplotních změn může přispět právě vegetace a městská zeleň (Zhedong Z., 2019).

Změny způsobené lidskou činností, vysokou urbanizací i zemědělskou činností mají většinou za následek ztrátu vegetace v dané oblasti. Tím se naruší rovnováha a to má za následek teplotní výkyvy způsobené turbulentním pohybem suchého teplého vzduchu (Pokorný a kol., 2010). Odlesnění vede v lokálním měřítku k oteplení krajiny a změnám dešťových a vodních režimů. Krajina s nedostatečným zastoupením vegetace na zemském povrchu může způsobovat klimatické změny a nedostatek vody. Tyto problémy ovlivňují úrodu a dostatek zásob potravin pro obyvatelstvo. (Ellison a kol., 2017). Udržení zdravých, přírodních lesů pomáhá ke stabilním teplotním podmínkám v krajině a poskytuje dobré podmínky pro udržení vody v krajině, včetně udržení stálé hladiny podzemních vod.

2.3. Badatelsky orientovaná výuka

Znalost tematiky role vegetace v distribuci sluneční energie je důležitá pro pochopení globálních problémů. Výuka přírodopisu je úzce spojena s environmentální výukou, která je jedním z průřezových témat RVP (MŠMT, 2017), která má mimo jiné žáky seznámit právě s globálními problémy lidstva. Často je však tato environmentální část přírodovědné výuky opomíjená, a to i přesto, že se současná doba potýká s celosvětovými problémy, jako jsou globální změny klimatu, ekologická krize, zdroje energie na zemi, vypalování a kácení lesů, nedostatek vody atp. (Ryplová a Pokorný, 2019). Pro řešení těchto problémů v neustále se měnících podmínkách je důležité

environmentální vzdělání žáků (budoucích občanů). Zájem o přírodovědné vzdělání u žáků v České republice však klesá. Ukazuje se, že odmítání přírodovědných předmětů je větší u žáků druhého stupně a středních škol než u žáků na prvním stupni základních škol. České školství často neklade důraz na schopnost řešit problémy a experimentovat. Nižší obliba těchto předmětů může být způsobena zvýšenou obtížností a náročností s velkou mírou abstrakce (Papáček., 2010a; 2010b). Dle Evropské komise je nižší zájem o přírodovědnou výuku způsoben převážně deduktivní metodikou výuky. Dosavadní výzkumy ukazují, že povědomí žáků o environmentálních problémech, kam se řadí i distribuce sluneční energie rostlinami a koloběh vody v krajině, je malé (Ryplová a Pokorný, 2019). Také se ukazuje, že žáci mívají dostatečné přírodovědné znalosti, ale problém jim dělá utváření hypotéz a řešení konkrétních přírodovědných problémů. Badatelky orientovaná výuka by mohla být řešením této problematiky (Ryplová a Reháková, 2011).

Zařazení badatelsky orientovaného vyučování s tematikou role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině do RVP je závislé na předchozích znalostech žáků z ostatních předmětů. Žáci by měli mít základní znalosti z fyziky o skupenských přeměnách, změnách energií a měrném skupenském teple vypařování. Důležité jsou i znalosti z přírodopisu, jako je znalost základní anatomie rostlin, fotosyntézy, transpirace či ekologie. Neméně důležité jsou znalosti zeměpisu týkající se Slunce, Země nebo atmosféry a znalosti z chemie jako Avogadrova konstanta, skupenství aj. Toto téma bývá opomíjené ve všech těchto předmětech (Ryplová a Pokorný, 2019). Ověřovaný výukový program vytvořený autorským kolektivem v rámci projektu podporovaného TAČR 01000294 je určen pro žáky devátých ročníků ZŠ a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií. V těchto ročnících žáci probírají meteorologii, vesmír včetně Slunce, mají osvojené základní znalosti o elektromagnetických vlnách včetně záření vysílaného Sluncem. V biologii poté žáci probírají ekologii. Žáci by dle RVP (MŠMT, 2017) ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda v přírodopise v bloku ekologie měli být seznámeni s učivem mj. přírodních i umělých ekosystémů, o rovnováze ekosystémů, globálních problémech a jejich řešení. V deváté třídě by žák měl mít ucelený náhled na problémy globálního měřítka a z předchozích ročníků znát základy energetických přeměn, které jsou zařazeny do učiva fyziky (MŠMT, 2017). Vzhledem k výše uvedenému se jeví vhodnou problematiku distribuce solární energie rostlinami zařadit do učiva přírodopisu devátých ročníků s odkazem na problematiku

v jiných předmětech (chemie, fyzika, zeměpis aj.), kde jsou probírány základy této problematiky (Ryplová a Pokorný, 2019).

Badatelsky orientovaná výuka (Inquiry based education) je dle Papáčka (2010b) definována jako aktivizující metoda problémového vyučování, kdy učivo není učitelem předáváno v hotové podobě, založená na řešení problémů pomocí systematicky kladených otázek. Jiní autoři definují badatelskou výuku jako cílevědomý proces formulování problémů, kritické experimentování, posuzování alternativ, plánování, zkoumání a ověřování, vyvozování závěrů, vyhledávání informací, vytváření modelů studovaných dějů, rozpravy s ostatními a formování koherentních argumentů (Stuchlíková, 2010). Badatelky orientované přírodovědné vyučování (IBSE – Inquiry-based science education) používá praktické aktivity, které motivují žáky k osvojení přírodovědných konceptů (Minner a kol., 2009). Metoda je založena na podobnosti s reálným výzkumem. Žák se od formulace hypotéz, přes metody řešení, získávání výsledků a diskuzi dostává k závěrům řešené problematiky. Během výuky žáci získávají dovednosti, znalosti a komunikační kompetence. Při metodě je kladen důraz na samostatnost žáka, komunikaci s ostatními žáky a experimentální postupy (Papáček, 2010b). Dle některých autorů je tento typ výuky složen z těchto komponentů. Žákům je položena přírodovědně orientovaná otázka, žáci dávají přednost důkazům, které jim dávají možnost najít vysvětlení. Na základě důkazů žáci formulují odpovědi na přírodovědné otázky, zvažují alternativní odpovědi na otázky, komunikují mezi sebou a zdůvodňují, proč se tak rozhodli (Minner a kol., 2009).

Problémy badatelsky orientovaného vyučování se v České republice ukazují zejména v nedostatku didaktických materiálů pro výuku biologie (resp. přírodopisu) zabývajících se touto aktivizující metodou. Příprava na výuku metodou BOV je pro učitele náročná a zahrnuje množství experimentů, ověřování a času. Mimo jiné je zapotřebí i motivace a iniciativa učitele na straně jedné, na druhé straně i investice ze strany školy či učitele do přístrojů a laboratoří potřebných k výuce. V neposlední řadě je potřeba připravenosti, dostatečné zkušenosti a flexibility ze strany učitele, ale i motivace a výchozí znalosti žáků (Papáček, 2010 b; Skalková, 2010).

2.4. Didaktické učebnice

Problematika distribuce solární energie rostlinami a koloběh vody v krajině je interdisciplinární téma, které zahrnuje znalosti z oblasti přírodopisu, fyziky, chemie

i zeměpisu. I přesto, že se jedná o velice důležité téma, bývá v současné době často opomenuto. MŠMT (RVP –ZV, 2017) zařazuje tematiku do rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP – ZV) do tematických okruhů Ekosystémy a Základní podmínky života, které jsou součástí průřezového tématu environmentální výchova. V rámci RVP – ZV lze téma dále zařadit zejména do vzdělávacích oblastí Člověk a příroda, Člověk a svět práce a Člověk a společnost. Dle MŠMT by žák v přírodopise na základní škole měl zvládnout učivo fyziologie rostlin, které obsahuje fotosyntézu, dýchání a růst (RVP – ZV, 2017). Transpirace a evapotranspirace dle RVP – ZV do učiva na základní škole zahrnuta není. Naopak v rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (RVP G) je transpirace součástí učiva biologie rostlin. Znalost transpirace rostlin je důležitá pro pochopení témat, která jsou součástí průřezového tématu environmentální výchovy i na základních školách, jako je například ekosystém lesa či koloběh vody v krajině (Ryplová a kol., 2019). Vzhledem k výše uvedenému by bylo vhodné do výuky přírodopisu na základních školách zařadit téma transpirace a distribuce solární energie rostlinami s odkazem na koloběh vody v krajině.

V rámci své bakalářské práce jsem prostudovala vybrané didaktické učebnice z fyziky. Zaměřila jsem se na hledání informací zejména o koloběhu vody v krajině, vypařování a kondenzaci vody, skupenském výparném teple, sluneční energii a infračerveném (tepelném) záření.

První didaktická řada učebnic z fyziky je od vydavatele Prometheus. Autory všech dílů jsou doc. RNDr. Růžena Kolářová, CSc. a Jiří Bohuněk, v posledním díle určeném pro deváté ročníky jsou spoluautory i doc. ing. Ivan Štoll, CSc., doc. RNDr. Miroslav Svoboda, CSc. a doc. RNDr. Marek Wolf, CSc. Jedná se o ucelenou řadu učebnic od šesté po devátou třídu, která je schválena MŠMT a je zařazena do seznamu učebnic pro základní školy. Z celkového hlediska se tato řada učebnic dané problematice příliš nevěnuje. Při posouzení celé řady učebnic fyziky od Kolářové R. a Bohuňka J. lze uvést, že obsahuje základní informace, které jsou potřebné pro pochopení problematiky distribuce sluneční energie a koloběh vody v krajině. V žádném dílu však není přímý odkaz na tuto problematiku a spojení slunečního záření s koloběhem vody. Avšak jsou zde kapitoly, zejména pak v osmém a devátém ročníku, do kterých lze snadno tuto problematiku zařadit. V detailnějším pohledu na tuto řadu didaktických učebnic lze nalézt informace, které jsou důležité

pro pochopení dané problematiky, v těchto dílech. V druhém díle, který je určen pro sedmý ročník, jsou v kapitole o světelných jevech uvedeny základní znalosti o slunečním záření, jako je rychlost světla, schopnost povrchů odrážet a absorbovat energii v závislosti na jejich barvě (tmavý, světlý povrch) a přímočaré šíření světla a jeho odraz od částic v atmosféře. Další díl, který je určený pro osmý ročník základní školy seznamuje žáky se základy tepelné výměny, s měrnou tepelnou kapacitou látky, výparem, kondenzací nebo s pohybem vzduchu v závislosti na teplotě, zejména upozorňuje na stoupající teplý vzduch a klesající studený vzduch. Tato učebnice se zmiňuje i o slunečním záření a o využití této energie na Zemi. Avšak využití energie rostlinami zmiňováno není. Poslední kapitola tohoto dílu se týká počasí a seznamuje žáky se základními vlastnostmi atmosféry, vysvětluje princip kapalnění vodní páry a vznik mraků. Nechybí ani popis skleníkového efektu. Oteplování planety je však přisuzováno pouze skleníkovým plynům. Vliv vegetace na oteplování lokálního klimatu a koloběh vody na Zemi zmíněn není. Poslední čtvrtý díl je určen pro devátý ročník základní školy. Ta žáky v kapitole o elektromagnetickém záření seznamuje s druhy elektromagnetických vln. Zejména se zaměřuje na rádiové vlny, viditelné a UV záření. Zmiňuje se i o infračerveném záření a upozorňuje zejména na jeho tepelné účinky. V souvislosti s tepelnými přeměnami je zmíněno i Slunce jako zdroj záření a jeho obrovská energie, kterou zahřívá Zemi. Učebnice pro devátý ročník obsahuje také kapitolu „Země a vesmír“, jež obsahuje základní informace o Slunci. Osud sluneční energie po dopadu na povrch v krajině však zmíněn není.

Druhou řadou prostudovaných učebnic z fyziky je řada od autorů PaedDr. Jiřího Tesaře, Ph. D. a PaedDr. Františka Jáchima. Jedná se o ucelenou řadu učebnic, která je zařazena MŠMT do seznamu učebnic pro základní vzdělávání. Tato řada obsahuje šest dílů. První díl nese název: „Fyzikální veličiny a jejich měření“ a seznamuje žáky se základními fyzikálními jednotkami a jejich měřením. Učebnice neobsahuje žádnou souvislost s hledanou tematikou. Za klíčové však považuji osvojení si práce s teploměrem a jinými zařízeními pro měření veličin, jež žákům usnadní práci během badatelské výuky na téma distribuce solární energie a koloběh vody v krajině. Informace k dané problematice lze nalézt v těchto dílech. Třetí díl této řady učebnic s názvem „Světelné jevy, mechanické vlastnosti látek“ žáky seznamuje se světelnými zdroji, odrazem a pohlcováním záření, s přímým a rozptýleným světlem a s elektromagnetickým zářením, včetně záření infračerveného. Čtvrtý díl je

pojmenován „Elektromagnetické děje“ a poskytuje informace zejména o elektrickém proudu a jeho vlastnostech. Důležité informace jsou uvedeny v kapitole o výrobě a přenosu elektrické energie v postranním oddílu, který obsahuje doplňkové informace. Zde je vysvětlena solární konstanta, uvedena je i její hodnota. Pátý díl s názvem „Energie“ se jeví jako nejvhodnější pro zařazení problematiky role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině. V prvním oddíle učebnice v postranní části, která obsahuje zejména zajímavosti, jsou obsaženy informace o procesu fotosyntézy a vysvětlení měrného skupenského tepla vypařování. Je zde zmíněna i nízká spotřeba energie pro fotosyntézu a informace o dopadajícím záření, jeho odrazu a absorpci atmosférou. Opomenut není ani princip snímků z termokamer. Dále se tato publikace věnuje i množství energie, která dopadá na povrch Země či skleníkovému efektu, vypařování kapalin — včetně výparu vody z rostlin. Kapitola o meteorologii poté uvádí princip vzniku mraků, nebo vysvětluje, co je to rosa, jinovatka aj.

V prostudovaných učebnicích z fyziky jsou uvedeny základy potřebné pro pochopení problematiky distribuce solární energie vegetací a principu vlivu vegetace na koloběh vody v krajině. Při porovnání těchto dvou řad učebnic, jsou detailnější informace, které ke koloběhu vody v krajině směřují, v řadě učebnic od Tesaře J. a Jáchima F. V žádné z učebnic není uvedeno schéma koloběhu vody v krajině či schéma distribuce dopadající energie rostlinami a jinými povrchy. V učebnicích fyziky je probírána zejména skleníkový efekt jako hlavní příčina globálního oteplování. Vliv chybějící vegetace na lokální oteplování a vysoušení krajiny zmiňován není.

3. Metodika

Přínos badatelsky orientované výuky byl testován v červnu 2019 na čtyřech školách v šesti třídách s celkovým počtem sto šest žáků. Pro testování byli náhodným výběrem vybráni žáci devátých ročníků. Žáci vyplnili sto šest pretestů a sto pět posttestů. Posttestů je o jeden méně, protože jeden z žáků z osobních důvodů výuku opustil. Vzhledem k tomu, že dotazníkové šetření bylo zcela anonymní, pretest žáka byl ponechán. Pro větší přehlednost přikládám tabulku č. 1, která znázorňuje počet žáků ve třídě včetně časové dotace a varianty praktické části.

Tabulka č. 1: Tabulka k dotazníkovému šetření, která zobrazuje počet žáků včetně počtu vyplněných pretestů a posttestů, časovou dotaci a variantu praktické části.

Škola	Počet žáků	Počet vyplněných pretestů	Počet vyplněných posttestů	Časová dotace [min]	Varianta praktické části
I.	21	21	21	90	Venkovní
II.	32	32	31	45	Vnitřní
III.	42	42	42	45	Venkovní
IV.	11	11	11	90	Venkovní

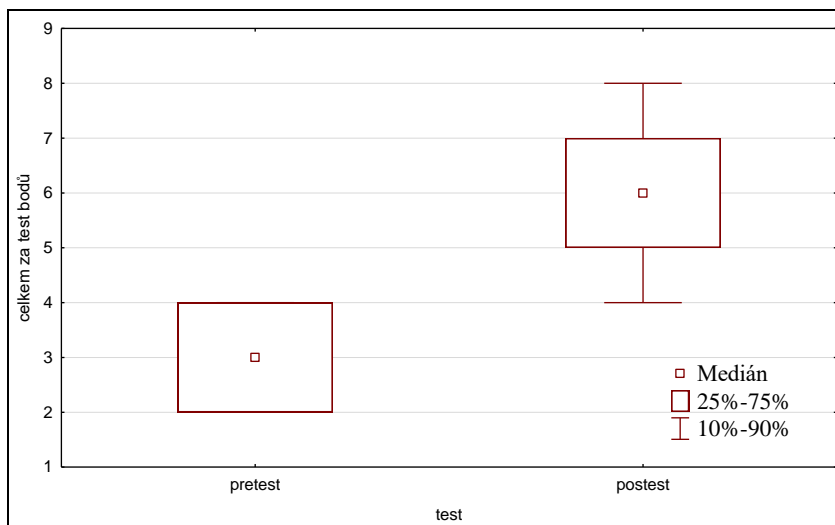
Výukový program „Role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině“ obsahující badatelskou výuku, pracovní listy a dotazníkové šetření byl vytvořený autorským kolektivem v rámci projektu podporovaného TAČR 01000294. Výukový program byl testován ve dvou časových variantách. První varianta byla provedena s časovou dotací jedna vyučovací hodina (čtyřicet pět minut), druhá varianta trvala dvě vyučovací hodiny (devadesát minut). Varianta byla zvolena v závislosti na časových možnostech školy. V dlouhé variantě měli žáci mnohem více času na terénní měření a ověření výsledků. Jak je patrné z tabulky č. 1, byla výuka dále rozdělena na dvě varianty i z hlediska prostorového (venkovní/vnitřní). Zda byla provedena vnitřní či venkovní varianta bylo závislé na počasí. Během celé výuky měli žáci k dispozici pracovní listy, do kterých si zaznamenávali své poznatky (vzor venkovní varianty pracovního listu viz příloha č. 3, vzor vnitřní varianty pracovního listu viz příloha č. 4). Před výukou a těsně po výuce žáci vyplňovali test (vzor pretestu viz příloha č. 1, vzor posttestu viz příloha č. 2), které zaznamenávají změny ve znalostech na dané téma. Test byl zcela anonymní, žáci zaznamenali pouze své pohlaví a věk. Test obsahoval osm otázek k tématu role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině, vyplnit ho trvalo pět až sedm minut. Posttest navíc obsahoval hodnocení provedené výuky (zda se líbila/nelíbila a proč – viz zhodnocení pracovních listů) a možnost vyjádřit se k náročnosti tématu, nadbytku či nedostatku podaných informací.

Testovaný výukový program, který byl vytvořen jako jedna z pilotních verzí autorským kolektivem projektu TAČR TL01000294 v rámci vývoje nové metodiky výuky tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině, podléhá autorským právům. Finální verze upraveného výukového programu bude brzy zveřejněna na webových stránkách katedry biologie. Používaný výukový program byl zahájen úvodní motivační otázkou: „Jak se liší stín stromu a slunečnicku?“ následovanou brainstormingem. Ve fázi získávání informací žáci pracovali s dodanými nápovědami a na jejich základě formulovali hypotézu, která byla následně korigována v diskusi s vyučujícím. Hypotéza byla ověřována experimentem, který žáci navrhovali. Experiment probíhal buď v terénu v těsném okolí školy nebo ve třídě v závislosti na variantě výuky (venkovní/vnitřní) s ohledem na aktuální počasí. Z výsledků experimentu žáci vyvozovali závěry, které následně znovu ověřovali v dalších situacích v terénu (venkovní varianta) nebo v dalších experimentech (vnitřní varianta). Výuka byla uzavřena společnou diskusí nad vyvozenými závěry a shrnutím vyučujícího. Jak je patrné z tabulky č. 1, vnitřní varianty se zúčastnilo 32 žáků a venkovní 74 žáků.

4. Výsledky

Vzhledem k tomu, že dotazníkové šetření bylo zcela anonymní, k vyhodnocení výsledků pretestů a posttestů jsem využila statistickou metodu T-testu nezávislého dle skupin. Síla tohoto statistického testu je slabší než síla testu se závislými proměnnými. T-test prokázal, že provedená badatelsky orientovaná výuka na téma vliv vegetace na distribuci solární energie a koloběh vody v krajině má statisticky prokazatelný vliv na porozumění žáků danému tématu ($t = -15,6144$, d. f. = 209, $p < 10^{-17}$). Maximální počet bodů, kterého žáci mohli v testech (v pretestu i posttestu) dosáhnout, byl devět bodů. Bodovou úspěšnost žáků si lze prohlédnout na krabicovém grafu na obr. č. 5. Jak je viditelné z grafu, v pretestu 50 % žáků dosáhlo bodového rozpětí mezi dvěma a čtyřmi body. V pretestu žáci dosahovali v průměru tří bodů (přesného průměru 2,98 bodů), v posttestu se bodová úspěšnost zvýšila v průměru na bodů šest (přesnou bodovou hodnotu 6,07 bodů), úspěšnost žáků se zvýšila v průměru o tři body. Zatímco žáci v pretestu dosáhli střední hodnoty 33,11 %, v posttestu se procentuální úspěšnost zvýšila na 67,44 %. V posttestu pouze 10 % žáků dosáhlo méně než čtyř bodů a u 50 % žáků se bodová úspěšnost pohybovala mezi pěti a sedmi bo-

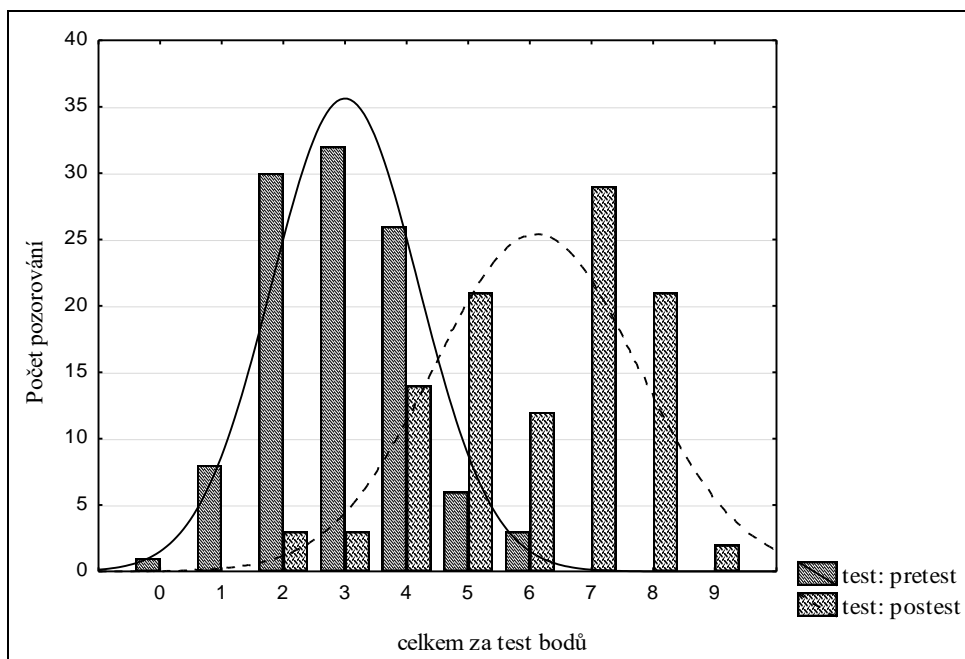
dy. Více než osm bodů v posttestu získalo 10 % žáků a dosáhlo tak maximálního počtu bodů.



Obr. č. 5: Krabicový graf zobrazující bodový rozdíl mezi pretesty a posttesty bez ohledu na varianty měření (vnitřní i venkovní měření dohromady, obě časové dotace).

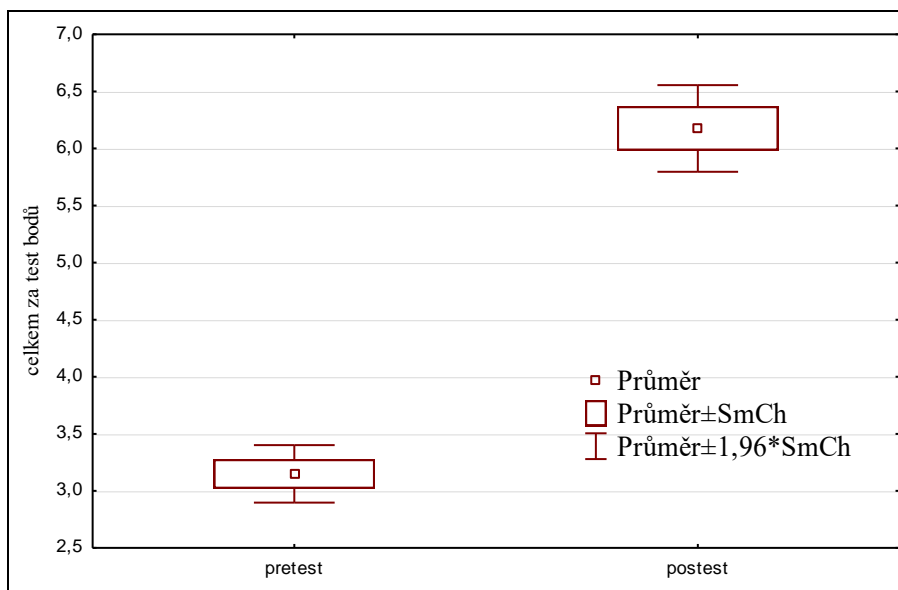
Histogram (obr. č. 6) vyjadřuje bodové hodnoty získané v testech před badatelsky orientovanou výukou a po ní. Na histogramu je viditelné, že v pretestech nejvíce žáků (třicet dva žáků z celkového počtu sto šesti žáků) dosáhlo tří bodů. Téměř shodné množství žáků (třicet jedinců) dosáhlo bodů dvou a o téměř zanedbatelné menší množství žáků (dvacet šest jedinců) dosáhlo bodů čtyř. Nejvyšší bodová hodnota dosažená v pretestu byla šest bodů.

V posttestu nejčastěji dosaženým skórem bylo sedm bodů, kterého dosáhlo dvacet devět jedinců ze sto pěti dotázaných v posttestech. Dalšími nejčastějšími bodovými hodnotami bylo bodů pět a osm, každé z těchto bodových hodnot dosáhlo dvacet jedna žáků. Žáci v posttestech nezískali nula bodů nebo jeden bod. Nejnižší dosažená hodnota v posttestu jsou dva body.

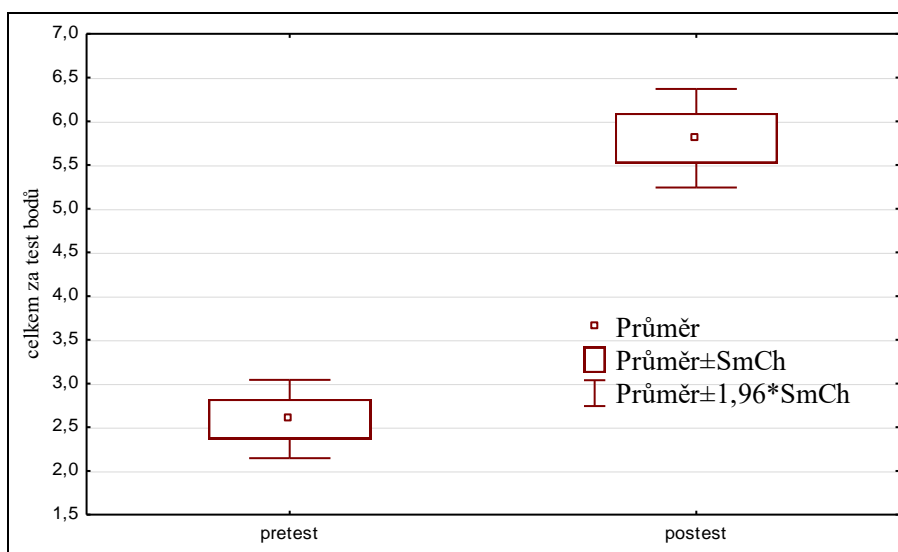


Obr. č. 6: Histogram vyjadřující rozdíl v bodovém zastoupení v pretestech a posttestech pro vnitřní i venkovní variantu dohromady a pro obě časové dotace.

Na obrázcích č. 7 a č. 8 je zobrazen rozdíl mezi pretesty a posttesty venkovní varianty (obr. č. 7) a vnitřní varianty (obr. č. 8). Jak je vidět na krabicovém grafu venkovní varianty (obr. č. 7), při měření provedeném mimo budovu žáci v průměru v pretestu dosahovali tří bodů (přesně 3,15 bodů), v posttestu se průměr zvýšil na bodů šest (přesně 6,18 bodů). U venkovní varianty došlo ke zlepšení o 44,78 %, z 23,88 % v průměru dosažených v pretestu na 68,66 % v průměru dosažených v posttestu. Na obr. č. 8 je viditelný rozdíl mezi pretesty a posttesty u žáků, kteří měření provedli uvnitř budovy kvůli špatnému počasí (vnitřní varianta). Došlo k podobnému zlepšení. V posttestu žáci dosahovali lepších výsledků o 38,67 %, úspěšnost se zvýšila z 28,77 % v pretestu na 64,44 % v posttestu (v pretestech průměrně dosáhli přesně 2,59 bodů, v posttestech 5,80 bodů).



Obr. č. 7: Krabicový graf zobrazující celkový bodový rozdíl pretestů a posttestů při provedení venkovní varianty praktické části.



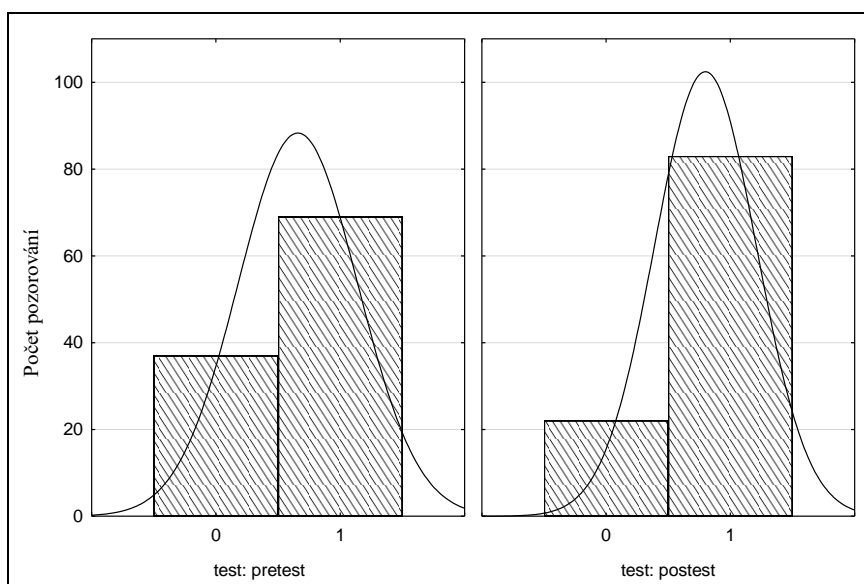
Obr. č. 8: Krabicový graf zobrazující celkový bodový rozdíl pretestů a posttestů při provedení vnitřní varianty praktické části.

Ke statisticky významnému zlepšení došlo jak u venkovní varianty měření ($t = -13,02$; d. f. = 146; $p < 10^{-17}$), tak i u vnitřní varianty ($t = -8,78$; d. f. = 61; $p < 10^{-17}$). Rozdíl ve výsledcích mezi žáky, kteří absolvovali vnitřní a mezi těmi, kteří si vyzkoušeli venkovní variantu měření je neprůkazný ($t = 1,54$; d.f. = 209, $p = 0,12$). Z výše uvedených hodnot lze předpokládat, že výuka není ovlivněna tím, zda probíhá uvnitř nebo venku.

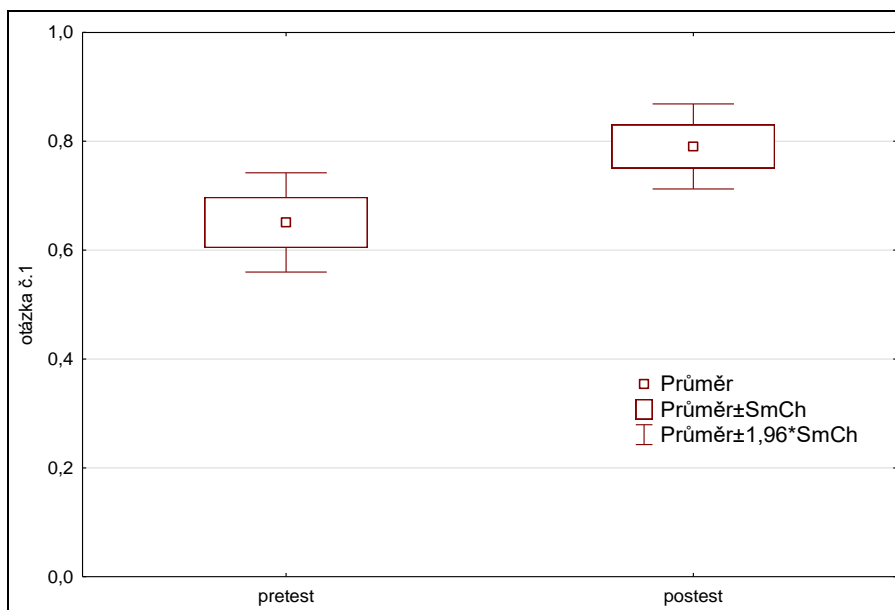
4.1.1. Otázka číslo jedna

První otázka byla uzavřená, žáci měli vybrat a zakroužkovat takové slovo, aby vytvořili správné znění následující věty: „Intenzita slunečního záření dopadajícího za jasného slunečního dne na travnatou plochu je větší/menší (*zakroužkuj správnou možnost*) než 600 W/m^2 . (Pro srovnání – 600 W je výkon menší rychlovarné konvice).“. Při volbě slova „větší“ (správná odpověď) žáci získali jeden bod. Pokud zvolili špatnou variantu nebo nezvolili žádnou z možností, body nezískali.

Dle provedeného T-testu, měla provedená badatelská výuka kladný efekt ($t = -2,27$; d. f. = 209, $p = 0,02$). Z grafů (viz obr. č. 9, 10) lze vyčíst, že zatímco v pretestu na tuto otázku správně odpovědělo šedesát devět žáků, v posttestu bylo správných odpovědí osmdesát tři. Došlo ke zlepšení o 13,96 %. V pretestu správně odpovědělo 65,09 % žáků, v posttestu se procentuelní úspěšnost zvýšila na 79,05 %.



Obr. č. 9: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo jedna.

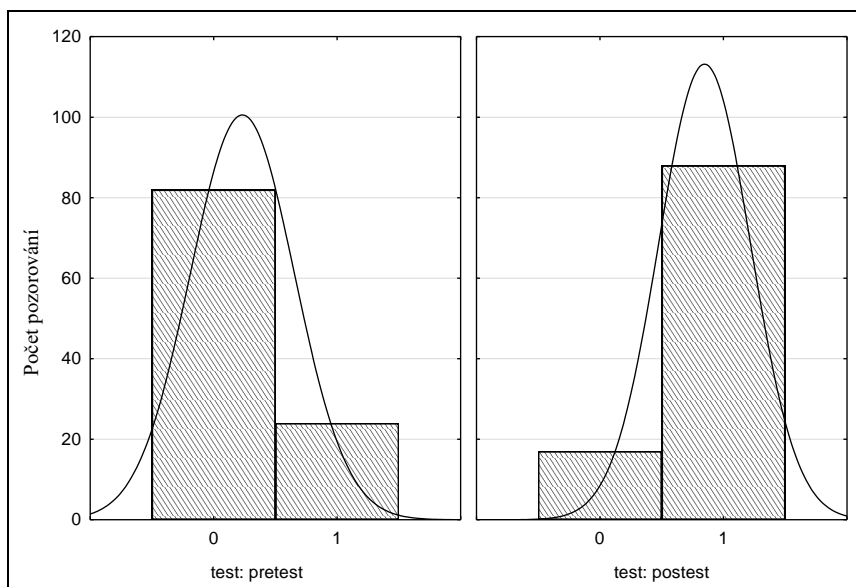


Obr. č. 10: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo jedna: „Intenzita slunečního záření dopadajícího za jasného slunečního dne na travnatou plochu je větší/menší (zakroužkuj správnou možnost) než 600 W/m^2 (pro srovnání – 600 W je výkon menší rychlovarné konvice).“.

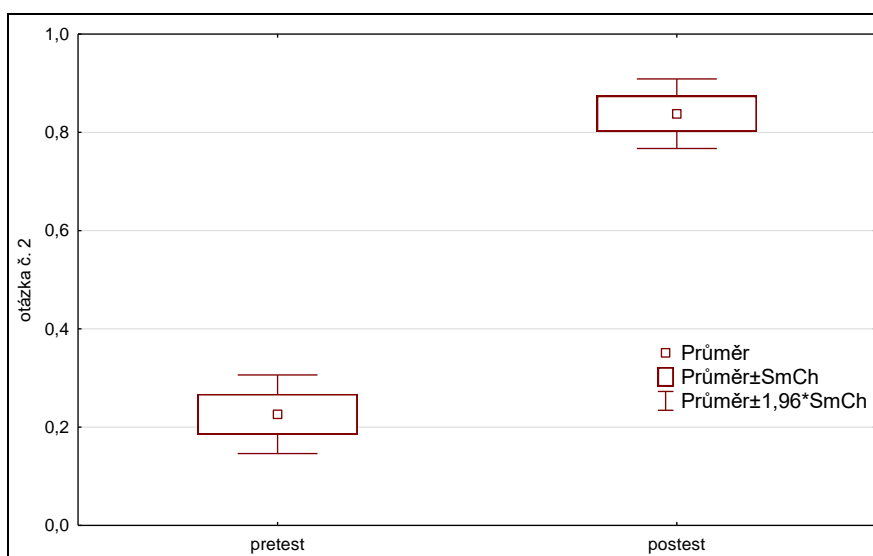
4.1.2. Otázka číslo dva

I otázka číslo dva se týkala výběru správného slova z dvojice možností pro vytvoření vyhovující věty. Věta pro výběr možnosti zní: „Z celkového množství sluneční energie, která dopadne na zemský povrch, spotřebují rostliny pro fotosyntézu více/méně (zakroužkuj správnou možnost) než 10 %.“. Za správnou odpověď (volba slova „menší“) žáci získali jeden bod, při zakroužkování možnosti méně nebo žádné odpovědi, body nezískali.

Provedený T-test prokázal velké staticky prokazatelné zlepšení u druhé otázky ($t = -11,21$; d. f. = 209, $p < 10^{-17}$). Na grafech na obr. č. 11 a č. 12 si lze prohlédnout, kolik žáků znalo správnou odpověď již v pretestu a jak se úspěšnost zvýšila po provedené badatelsky orientované výuce, tedy kolik žáků znalo správnou odpověď v posttestu. V pretestu správnou odpověď zakroužkovalo pouze dvacet čtyři žáků, v posttestu se zvýšil počet správných odpovědí na osmdesát osm. Tedy se úspěšnost zvýšila o 61,17 % (z 22,64 % v pretestu na 83,81 % v posttestu).



Obr. č. 11: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo dva.

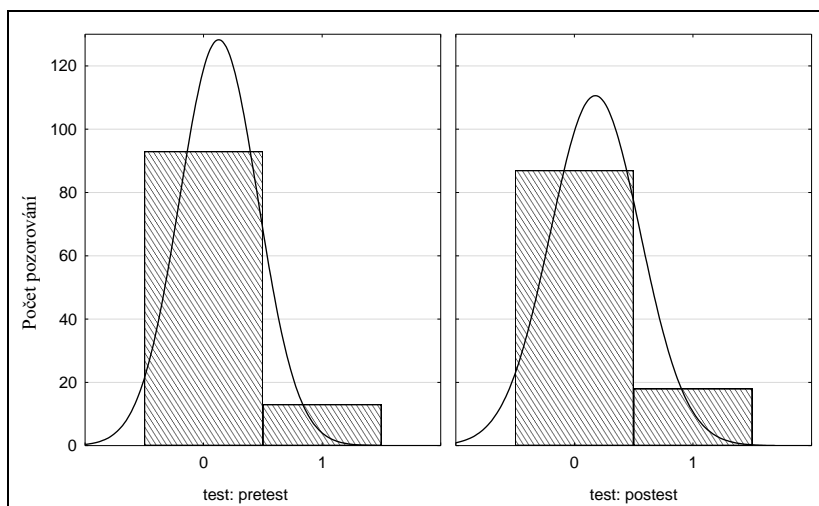


Obr. č. 12: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo dva: „Z celkového množství sluneční energie, která dopadne na zemský povrch, spotřebují rostliny pro fotosyntézu více/méně (zakroužkuj správnou možnost) než 10 %.“.

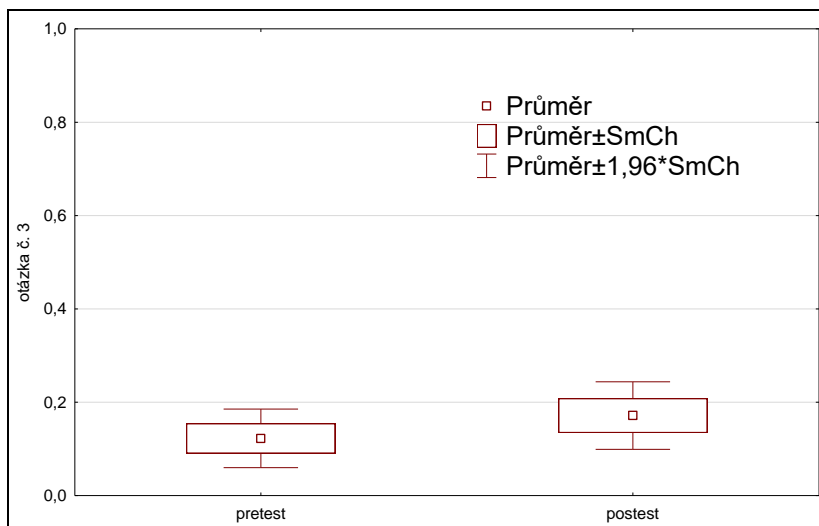
4.1.3. Otázka číslo tři

„Ranní rosa ohřívá/ochlazuje (zakroužkuj správnou možnost) tělesa, na nichž se sráží.“, v tomto znění třetí otázky žáci opět kroužkují správnou možnost pro vytvoření korektní věty. Při výběru varianty „ohřívá“ (správná odpověď) žáci získali jeden bod. Za špatnou nebo žádnou odpověď žáci body nezískali.

Jak je zřejmé z grafů (viz obr. č. 13, 14), v této otázce nedošlo ke statisticky prokazatelnému zlepšení ($t = -1,00$; d. f. = 209, $p = 0,32$). Ale i tak lze na grafech (viz obr. č. 13, 14) pozorovat malé zlepšení. V pretestu odpovědělo správně třináct žáků (12,26 %), v posttestu správnou odpověď zvolilo osmnáct žáků (17,14 %). V průměru došlo ke zlepšení o 4,88 % po absolvování badatelské výuky.



Obr. č. 13: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo tři.



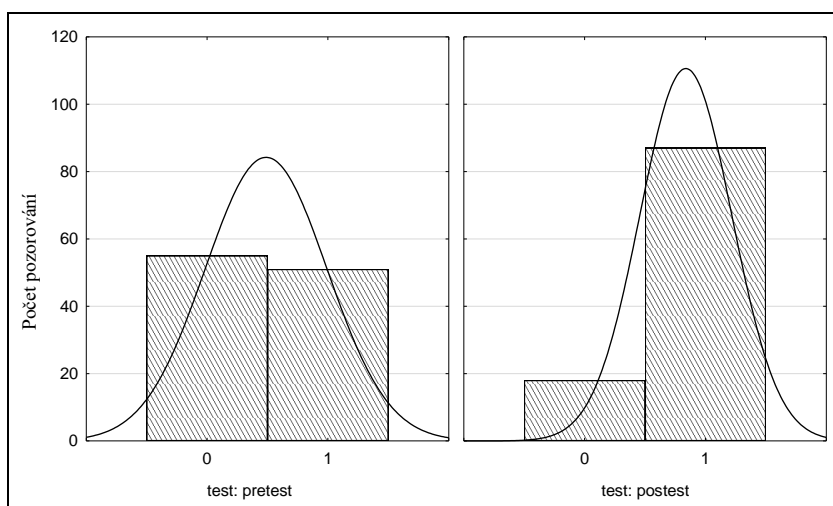
Obr. č. 14: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo tři: „Ranní rosa ohřívá/ochlazuje (zakroužkuj správnou možnost) tělesa, na nichž se sráží.“.

4.1.4. Otázka číslo čtyři

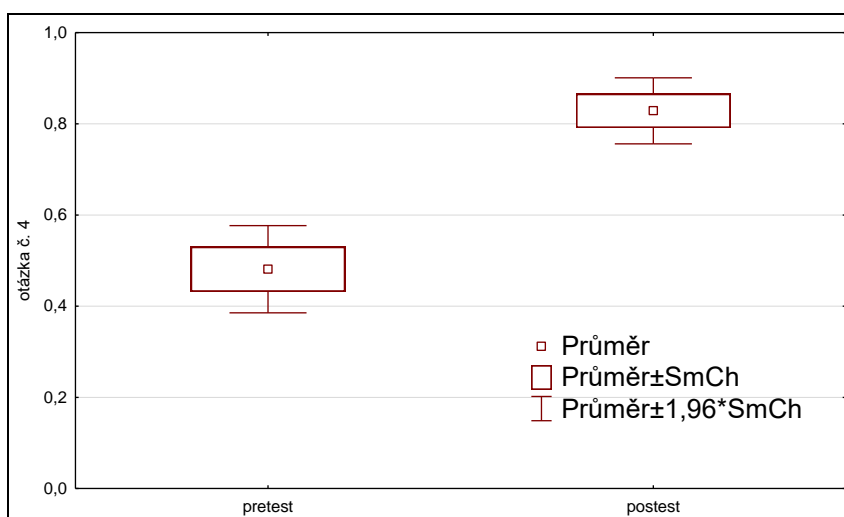
Otázka číslo čtyři: „Rostliny mají/nemají (zakroužkuj správnou možnost) schopnost termoregulace“, se opět týkala výběru správného slova pro vytvoření korektní věty.

Při výběru slova „mají“ (korektní odpověď) žáci získali jeden bod. Pokud však zvolili variantu „nemají“, nebo nezvolili ani jednu z možností body nezískali.

V této otázce došlo ke statisticky významnému zlepšení ($t = - 5,67$; d. f. = 209; $p = 4,68 \cdot 10^{-8}$). Velký rozdíl ve výsledcích je viditelný i na histogramu (viz obr. č. 15) a krabicovém grafu (viz obr. č. 16). V pretestu správnou odpověď znalo padesát jedna žáků, v posttestu osmdesát osm žáků. Procentuální úspěšnost se zvýšila ze 48,11 % úspěšných respondentů v pretestu na 83,81 % v posttestu, tedy o 35,7 %.



Obr. č. 15: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo čtyři.

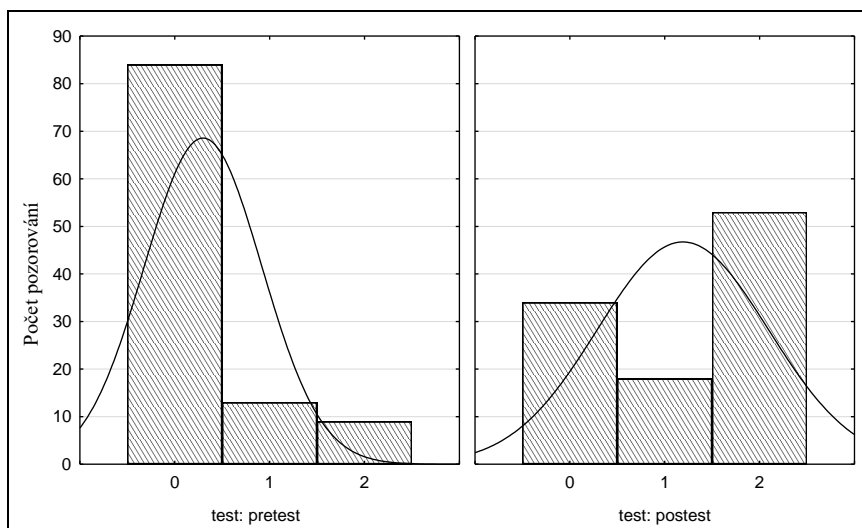


Obr. č. 16: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo čtyři: „Rostliny mají / nemají (zakroužkuj správnou možnost) schopnost termoregulace.“

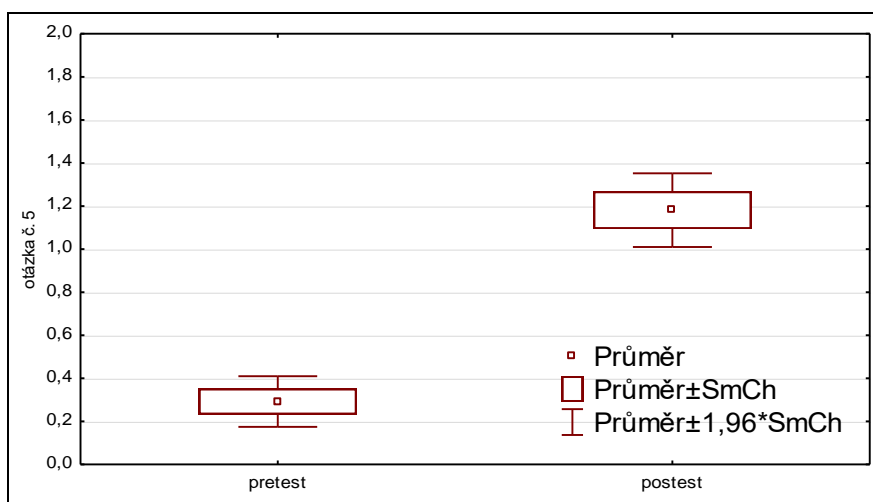
4.1.5. Otázka číslo pět

Pátá otázka byla z části otevřená a žáci se museli zamyslet a sami vytvořit odpověď. Otázka zní: „Voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven? (*zakroužkuj správnou možnost*).“ Žáci měli na výběr z několika možností. Možnost za A: „Ne, veškerá voda je rostlinou spotřebována“, za B: „Ne část vody je spotřebována a přebytečná část je rostlinou uložena ve vakuole.“. Třetí možností byla odpověď C: „ano, a to ...“, kde žáci měli doplnit, jakým způsobem se voda dostane z rostliny ven. Pokud žáci zvolili správnou odpověď (možnost C), ale nenapsali, nebo napsali špatný způsob, jakým se voda dostane z rostliny ven, získali jeden bod. Pokud napsali i správnou odpověď, za kterou jsou považovány různé podoby slov transpirace, výpar, průduchy a listy, získali body dva. Za zvolení špatné varianty (možnost A, B) body nezískali.

Na grafech (viz obr. č. 17, 18) je viditelný velký rozdíl mezi pretesty a posttesty. Zlepšení po provedené badatelské výuce je v této otázce statisticky prokazatelné ($t = -8,39$; d. f. = 209; $p < 7,04 \cdot 10^{-14}$). V pretestu bylo schopno vyplnit způsob, kterým se z rostlin ztrácí voda pouze devět žáků (8,49 %). Jako způsob ztráty vody žáci uvedli slova listy, odpařování a póry. Dalších třináct žáků (12,26 %) v pretestu vědělo, že jsou rostliny schopny vodu ztrácet, ale neznalo způsob, nebo napsali špatnou odpověď. Nejčastěji špatně zvolená slova pro ztrátu vody z rostliny byla fotosyntéza a rosa. Většina dotázaných žáků (osmdesát čtyři respondentů) v pretestu označilo chybnou odpověď, jedná se o 79,25 % žáků. V posttestech se úspěšnost zvýšila. Padesát tři žáků (50,48 %) bylo schopno zakroužkovat správnou odpověď a napsat způsob, kterým se voda ztrácí z rostliny. Objevili se zde všechny správné odpovědi — průduchy, listy, odpařování i transpirace. Osmnáct žáků (17,14 %) zakroužkovalo správnou odpověď, ale nepoznámeneali nebo zaznamenali špatný způsob ztráty vody z rostliny. Celkem tedy sedmdesát jedna žáků (67,62 %) bylo schopno zaznamenat, že jsou rostliny schopny ztrácet vodu. Zbýlých třicet čtyři žáků (32,38 %) si i v posttestu myslelo, že neexistuje cesta, kterou by rostlina ztrácela vodu.



Obr. č. 17: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo pět.



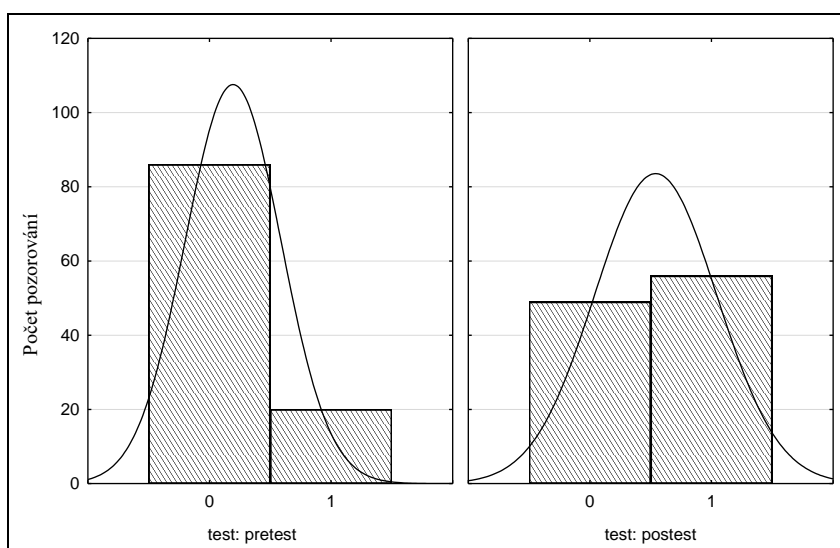
Obr. č. 18: Statistické zhodnocení odpovědi na otázku číslo pět: „Voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven? (zakroužkuj správnou možnost).“.

4.1.6. Otázka číslo šest

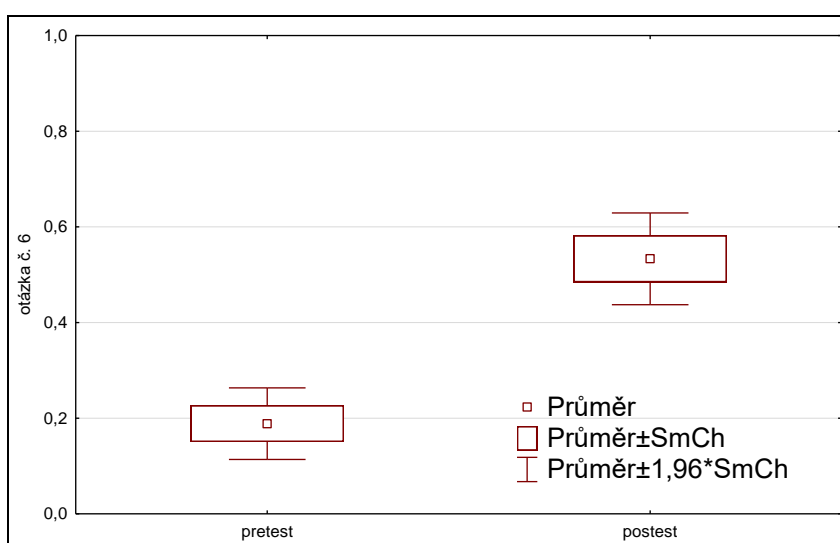
V šesté otázce, která byla opět uzavřená, žáci vybírali ze tří možností takovou variantu, aby vzniklo správné znění věty: „Na pouštích jsou velké rozdíly mezi denní a noční teplotou, protože:“. Na výběr měli z variant za A: „se nacházejí v oblasti tropů a subtropů, pro které je rozdíl v denních a nočních teplotách typický“, nebo za B: „tam chybí voda a rostliny“, či za C: „ve dne je extrémně silné sluneční záření a naopak v noci tam silně proudí chladný vzduch, který povrch výrazně ochlazuje“. Pokud

zvolili správnou odpověď (možnost B), získali jeden bod. Za špatnou odpověď body nezískali.

Dle T-testu nezávislých dle skupin došlo ke statisticky průkaznému zlepšení po provedené výuce ($t = -5,56$; d. f. = 209; $p = 8,18 \cdot 10^{-8}$). Z grafů (viz obr. č. 19, 20) je patrné, že zatímco v pretestu správně odpovědělo dvacet žáků (18,87 %), v posttestu došlo téměř k vyrovnání správných a špatných odpovědí. V posttestu správnou odpověď znalo padesát šest žáků (53,33 %), špatnou odpověď zakroužkovalo čtyřicet devět žáků (46,66 %).



Obr. č. 19: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo šest.

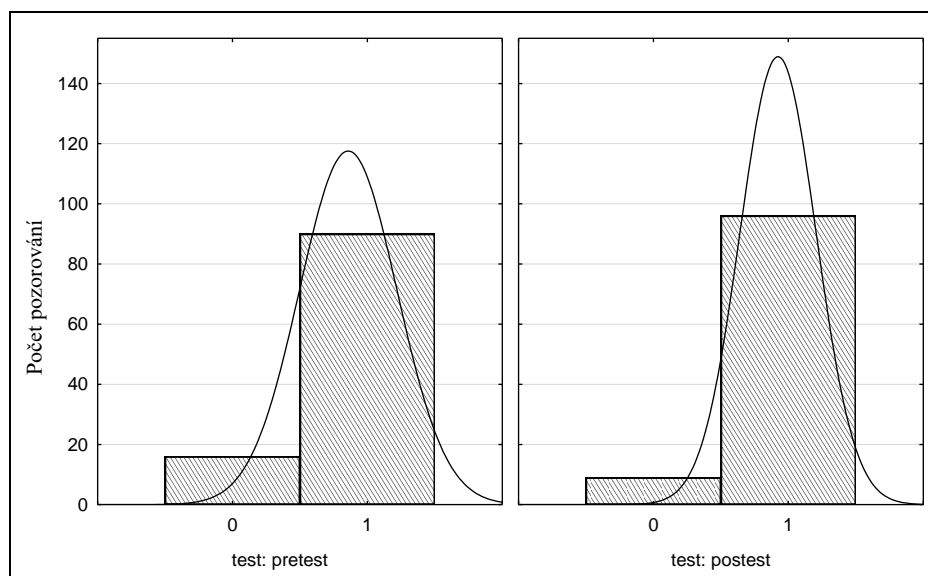


Obr. č. 20: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo šest: „Na pouštích jsou velké rozdíly mezi denní a noční teplotou, protože (vyber správnou možnost).“.

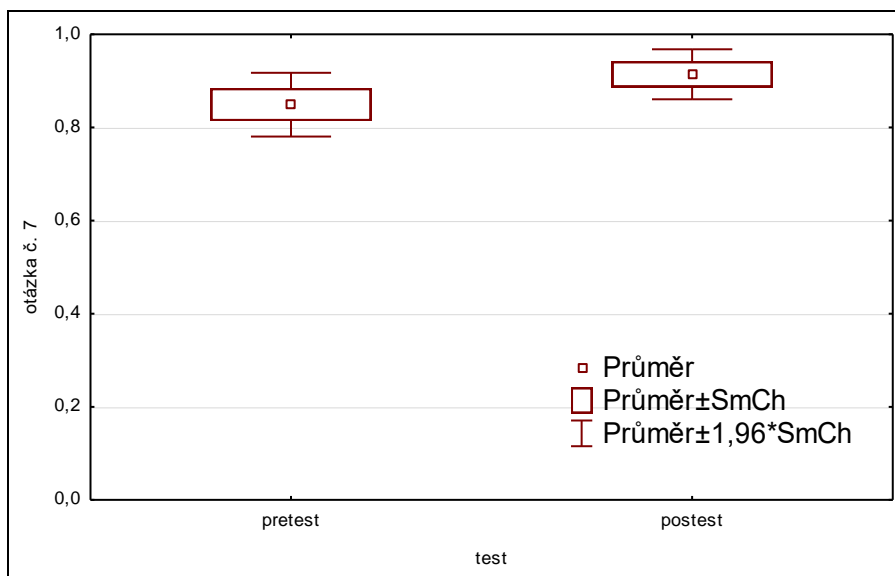
4.1.7. Otázka číslo sedm

„Co se stane, pokud vykácíme les?“ Na tuto otázku žáci vybírali odpověď ze tří možných odpovědí. První odpovědí byla možnost A: „Místní klima se ochladí, protože lesy jsou na povrchu zeměkoule tmavé plochy, které se nejvíce ohřívají. Pokud je vykácíme, povrch Země zesvětlíme, sníží se globální oteplování a na Zemi bude více vody.“. Druhou možností byla odpověď B: „V krajině zůstane více vody, protože ubudou stromy, které vodu vypařují a tak ji z krajiny odčerpávají.“. Třetí možnost C zní: „Místní klima se oteplí, protože sluneční energie nebude spotřebovávána na výpar vody z lesů, ale na ohřev povrchu a vzduchu. Jestliže se voda nebude pomalu vypařovat, nebude se ani zpět do této krajiny vracet ve formě deště a mlhy. V krajině tak ubude voda.“. Pokud žáci zvolili správnou odpověď (možnost C) získali jeden bod. Když zvolili špatnou nebo žádnou odpověď, body nezískali.

Níže uvedený histogram (obr. č. 21) a krabicový graf (obr. č. 22) ukazují, že již v pretestu znalo správnou odpověď devadesát žáků (84,91 %), v posttestu se počet správných odpovědí zvýšil na devadesát šest (91,43 %). Jedná se o nárůst o 6,52 %. U této otázky nebyl prokázán statisticky významný vliv BOV ($t = -1,47$; d. f. = 209; $p = 0,14$).



Obr. č. 21: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestu u otázky číslo sedm.

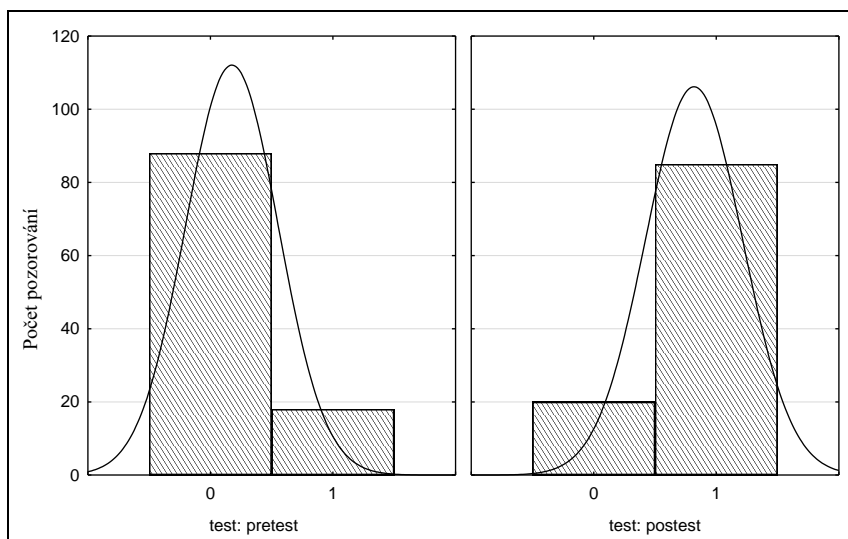


Obr. č. 22: Statistické zhodnocení odpovědí na otázku číslo sedm: „Co se stane, pokud vykáčíme les?“.

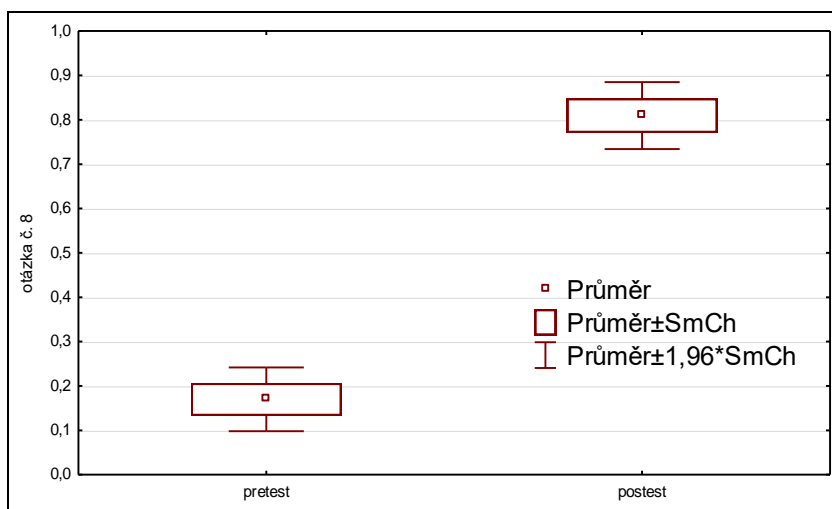
4.1.8. Otázka číslo osm

I u poslední otázky: „Hlavním důvodem toho, že za horkého letního dne je v parku se vzrostlými stromy chladněji, než na vydlážděném náměstí je to, že:“, měli žáci na výběr správné odpovědi ze tří možností. První variantou je možnost A: „Stromy část sluneční energie spotřebují pro fotosyntézu.“ Druhá možnost B zní: „Stromy mají hodně listů, celkový povrch listů je mnohem větší než povrch dlážděného náměstí, a proto se z povrchu listové plochy odrazí větší množství slunečního záření. Méně sluneční energie se tak přemění v pocitové teplo.“. Třetí a poslední variantou je možnost C: „Stromy odpařují z listů vodu a na výpar vody spotřebují hodně sluneční energie, která se tak nemůže přeměnit na pocitové teplo.“. Za označení správné odpovědi (varianta C) žáci získali jeden bod. Špatná nebo žádná odpověď byla ohodnocena nula body.

Správnou odpověď v pretestu zvolilo osmnáct žáků (16,98 %), v posttestu odpovědělo správně osmdesát pět žáků (80,95 %). V posttestu se tedy úspěšnost žáků zvýšila o 63,97 %. Velký bodový rozdíl je viditelný i na grafech na obr. č. 23 a č. 24. V otázce číslo osm došlo k významnému prokazatelnému zlepšení v závislosti na provedené výuce ($t = -12,04$; d. f. = 209; $p < 10^{-17}$).



Obr. č. 23: Histogram zobrazující bodový rozdíl pretestů a posttestů u otázky číslo osm.



Obr. č. 24: Statistické zhodnocení odpovědi na otázku číslo osm: „Hlavním důvodem toho, že za horkého letního dne je v parku se vzrostlými stromy chladněji, než na vydlážděném náměstí je to, že (vyber správnou možnost).“.

4.1.9. Zhodnocení pracovních listů

Během celé badatelské výuky měli žáci pracovní listy, kam si zaznamenávali poznatky, odpovědi na otázky, výsledky měření aj. Pracovní listy jim pomáhaly ve správném postupu k ověření vlastní hypotézy, kterou si vytvořili v úvodu hodiny. V příloze č. 3 přikládám ukázkou pracovního listu pro venkovní variantu a v příloze č. 4 přikládám ukázkou pracovních listů pro vnitřní variantu.

Venkovní varianta byla provedena v časové dotaci čtyřicet pět i devadesát minut. Žáci stihli absolvovat výuku i během čtyřiceti pěti minut, avšak vyplnění pracovních listů v této časové dotaci nebylo vždy úplné a přesné. Úkol číslo jedna žákům nedělal potíže. V pracovním listě snadno odpověděli na první otázku a většina žáků napsala správnou odpověď, tedy že je pod stromem větší chlad. Avšak formulace domněnky (hypotézy), která by vysvětlila, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku, žákům i přes poskytnuté nápovědy a spolupráci ve skupině činila problémy. Žáci často neznali význam slova hypotéza. Po vysvětlení významu a nastínění toho, jak domněnku (hypotézu) vytvořit, se žákům i přes počáteční nevědomost podařilo ve skupinách hypotézu vytvořit. Neschopnost tvorby hypotézy lze přisoudit tomu, že se žáci většinou s badatelským typem výuky nesetkali. Domněnku, kterou vytvořila skupina, poté zástupce ze skupiny představil zbytku třídy. Dále žáci měli navrhnout pokus za využití dvou stejných zelených ručníků, vody, infračerveného bezdotykového teploměru a slunce venku před školou. Tento úkol žákům většinou nedělal velký problém a ve skupině snadno přišli na správný princip tohoto pokusu. Žáci se poté přesunuli ven před školu a sami si vyzkoušeli pokus s měřením. V další části žáci zakreslovali pomocí šipek, co se děje s přicházejícím slunečním zářením pokud dopadá na slunečnick (obrázek A – slunečnick na dlážděném náměstí), nebo zda dopadá na strom (obrázek B – strom v parku). Obrázky si lze prohlédnout v pracovních listech v příloze č. 3 a v příloze č. 4. Schéma s přeměnami sluneční energie žáci viděli během krátké komentované prezentace a také na nápovědě D. I přesto žákům zakreslení šipek do obrázků činilo velké potíže. Ti, kteří byli schopni vyplnit celé schéma, včetně procentuelního zastoupení přeměn slunečního záření, si často vypomohli v nápovědách. Sami schéma nebyli schopni dokreslit. Někteří dokázali pomocí šipek zakreslit, k jakým přeměnám dochází a určit přeměnu, na kterou se spotřebuje největší množství energie, přesná procenta energie potřebné k daným přeměnám si však většinou nepamatovali. Neúspěch v tomto úkolu může být způsoben velkým množstvím čísel a dat, které si žáci měli zapamatovat za poměrně krátkou dobu. Pokud žáci měli určit, na co se v daném obrázku využije energie nejvíce a nejméně, zpravidla odpověděli dobře.

V úkolu číslo dva žáci pomocí infračerveného bezdotykového teploměru a přístroje na měření přicházejícího slunečního záření měřili hodnoty na různých místech v okolí školy. Měření pomocí přístrojů, se kterými většinou neměli zkušenost, žáky

bavilo nejvíce. Hodnota intenzity přicházejícího slunečního záření naměřená žáky se pohybovala v intervalu $600 - 800 \text{ W/m}^2$, což odpovídá průměrným letním hodnotám pro Českou republiku (Cenek, a kol., 2001). Žáci byli schopni tento úkol zvládnout velmi rychle a bezproblémově.

U úkolu číslo tři žáci velmi dobře zvládali vysvětlit rozdíl v intenzitě dopadajícího slunečního záření na povrch koruny stromu a pod jeho korunu. Problém jim nedělala ani odpověď na nejteplejší změřený povrch a zdůvodnění, proč byl nejteplejší. Často však žáci zapomněli poznamenat rozdíl v intenzitě dopadajícího slunečního záření.

Nejhůře zpracovaný byl čtvrtý úkol. Téměř zanedbatelné množství žáků bylo schopno spočítat, jakým výkonem chladí své okolí strom v parku. Většina žáků se o výpočet ani nepokusila. Žáci výpočty a číselné hodnoty během celé výuky celkově nevnímali. Dle jejich názoru se již nejedná o biologii, ale tyto výpočty spadají pod jiné předměty, jako je například matematika a fyzika.

Vnitřní varianta pracovního listu připravená pro nepříznivé počasí byla využita pouze na jedné škole (viz tabulka č. 1 – škola II), kde se BOV zúčastnilo třicet dva žáků. Vnitřní varianta byla provedena pouze s časovou dotací čtyřicet pět minut (jedna vyučovací hodina). Úkol číslo jedna v pracovním listu pro vnitřní variantu byl stejný jako pro variantu venkovní. Žáci opět neměli problém najít rozdíl mezi stínem slunečnicku a stínem stromu, potíže jim však opět dělala tvorba hypotézy. I zde žáci pracovali ve čtyřech skupinách a k vytvoření hypotézy měli čtyři nápovědy (A – D). Tak jako u předchozí varianty i zde byl obrázek pro doplnění energetických přeměn. Opět tato část pracovního listu byla pro žáky náročná. Následně měla každá skupina vymyslet pokus (zadání viz příloha č. 4) a poté ho prezentovat před třídou. S malou nápovědnou otázkou byli žáci schopni navrhnout a provést všechny pokusy. Experimentování během pokusů a měření je bavilo. Všichni žáci si pomocí přístrojů mohli vyzkoušet měření. Z časového hlediska však často nevyplnili návrhy, výsledky a závěry u všech pokusů, a to i přesto, že pokusy provedli správně a naměřili správné hodnoty.

Vyplnění celého pracovního listu se povedlo pouze malému množství respondentů. Žáci problematiku distribuce solární energie pomocí rostlin a koloběh vody většinou pochopili, avšak o vyplňování pracovních listů nejevili zájem. Pokud jsem otázku z pracovního listu položila nahlas v rámci diskuze, žáci odpovídali správně, pracovní

list však poté odevzdali bez odpovědi. Největší problém žákům činilo zakreslení šipek znázorňujících přeměny sluneční energie do obrázků slunečnicku a stromu, většinou bylo potřeba položit pomocné otázky. Úplně nejhůře poté dopadl výpočet výkonu, kterým strom chladí své okolí. Výpočet zvládl zanedbatelný počet žáků. Většina z žáků se o výpočet ani nepokusila. Obdobně jako u předchozí varianty pracovního listu žáci nevěděli jak výkon spočítat. V následné diskuzi o způsobu jak příklad vypočítat, žáci zařazovali tuto otázku do jiných předmětů, zejména fyziky.

5. Diskuze

Z nasbíraných dat lze předpokládat, že by badatelsky orientovaná výuka podle připraveného výukového programu mohla zvyšovat znalost žáků v tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině. Žáci hodnotí provedenou výuku kladně – 95,24 % se líbila. V následujících řádcích cituji některá z kladných hodnocení žáků: „Dozvěděla jsem se, jak jsou rostliny důležité. Zajímavé je, o kolik stupňů je ve stínu stromu chladněji než pod slunečnickem.“, „Rád jsem se dozvěděl věci týkající se přírody. Jsem rád, že to nebyla jen promarněná hodina.“, „Bylo to zajímavé, něco jiného a nebyla to nuda.“. Pouze pěti žákům ze sto pěti dotázaných se výuka nelíbila. Jako důvod proč je výuka nebavila, uvedli: „Nezajímá mě chemie, přírodopis. Tento program by měl smysl pro 6. – 7. třídu.“, nebo „Není to tak, že by se mi typ přednášení nelíbil, pouze mne to nezajímá.“. Žáci měli možnost napsat i připomínky, názory a rady, čeho by ve výuce mělo být více či méně. Většina žáků uvedla, že se dozvěděli vše, co potřebovali, nebo nevědí, co by se chtěli dozvědět více. Nejčastěji by se poté žáci rádi dozvěděli o globálním oteplování, o kácení lesů a jejich budoucnosti, nebo také o tom, jak se o přírodu správně starat. Zajímali je tedy spíše témata rozvíjející danou problematiku a témata, které do provedené badatelské výuky zapadají v širším měřítku.

U otázek číslo jedna, dva a osm došlo k velkým statisticky průkazným změnám. Odpověď na první otázku si žáci mohli sami ověřit. Během svého experimentálního bádání žáci měřili množství přicházející sluneční energie na různých místech v okolí školy pomocí přístroje měřícího množství přicházejícího slunečního záření. U vnitřní varianty pomocí tohoto přístroje měřili intenzitu záření, které bylo vydáváno světlem, jež bylo použito jako náhrada za sluneční záření. Velké zlepšení v této otázce lze přisoudit právě praktickému cvičení a diskuzi ve skupinách. S. Shapiro (1992)

v pyramidě učení vyjádřil, že praktické cvičení má až 70 % účinnost a diskuze 50 % účinnost na zapamatování si vyučované látky. Díky těmto vyučovacím metodám by mohl být tento badatelsky orientovaný výukový program účinnou metodou pro zapamatování si a pochopení přírodních a environmentálních problémů.

I u otázky číslo dva došlo v posttestu k významnému zlepšení. Skutečnost, že rostliny spotřebovávají pouze velmi malé množství sluneční energie pro fotosyntézu, žáky velmi překvapilo. Žáci většinou velmi dobře znali mechanismus i význam fotosyntézy, která představuje jeden ze základních zdrojů organických látek na zemi. Neznali však energetické přeměny dopadajícího slunečního záření a procentuální zastoupení množství energie potřebné pro přeměnu. I přesto, že žáci měli potíže se zakreslováním přeměn energie do schématu v pracovním listě (viz kapitola: vyhodnocení pracovních listů), v posttestu většinou byli schopni určit, že na fotosyntézu se spotřebovává menší množství energie než 10 %.

Největší problém pro žáky tvořila otázka číslo tři. Celý výukový program byl zaměřen na distribuci solární energie a zejména na chladicí efekt vegetace. Během výuky při vysvětlování a diskuzi o fyzikálních přeměnách, které se dějí s vypařující se vodou, zazněla správná odpověď na otázku. I přesto žáci veškeré vypařující i kondenzující vodě většinou přisuzovali chladicí efekt. Tento neúspěch přisuzují celkovému zaměření výuky převážně na chladicí efekt rostlin. Mimo jiné může být neúspěch ovlivněn také silně se projevujícím nezájmem žáků o problematiku, která v rámci výuky zapadá do jiných předmětů. Z výše uvedeného vyplývá, že žáci zřejmě nejsou zvyklí chápat vyučované jevy v interdisciplinárních souvislostech. Také Činčera a kol. (2019) uvádí, že mezipředmětové vztahy jsou ve výuce často podceňovány. Žáci často při výkladu této části nespolečně pracovali, problémy jim činilo také propojování poznatků z různých předmětů. Malá úspěšnost v této otázce může být také způsobena tím, že žáci měli možnost tuto informaci pouze slyšet a sami ji nemohli ověřit. Dle pyramidy učení S. Shapiho (1992) je přednáška (slyšené slovo) účinné pro zapamatování pouze z 5 %. Nebylo výjimkou, že žákům devátých ročníku a odpovídajících ročníků gymnázia dělaly fyzikální přeměny, které se probírají v šesté, popřípadě sedmé třídě základní školy, problémy.

U otázky číslo čtyři došlo ke statisticky průkaznému zlepšení po provedení BOV. Již před provedením BOV téměř polovina žáků věděla, že rostliny jsou schopny

termoregulace. Po provedené BOV se úspěšnost zvedla. Někteří žáci však nedokázali spojit pojem termoregulace se ztrátou vody z rostliny a ochlazováním okolí.

V otázce číslo pět měli žáci možnost sami napsat způsob, jakým se voda ztrácí z rostliny. V této otázce došlo k velkému statistickému zlepšení. Žáci před výukou většinou slyšeli pojem průduchy, ale nikdy je neviděli a nevěděli, k čemu je rostliny mají. Velké množství žáků zvolilo správnou odpověď na otázku, ale nenapsali způsob, jak se voda z rostliny dostane ven. Tuto skutečnost přisuzují tomu, že otázka byla otevřená. Když mají žáci na výběr z několika již předem daných možností, výběr je pro ně snadnější.

I u šesté otázky se projevil statisticky prokazatelný vliv výukového programu, a to i přesto, že po realizované výuce téměř polovina žáků stále neznala správnou odpověď. Dle mého názoru se žákům krátká odpověď – „Chybí tam voda a rostliny.“ – jevila jako příliš jednoduchá, a proto často zvolili delší variantu. Nejčastější špatná odpověď byla spojována s přirozenými (avšak blíže nevysvětlenými) výkyvy teplot v pouštích.

Statisticky neprokazatelný vliv výuky se projevil u otázky číslo sedm. V posttestech sice došlo ke zvýšení počtu správných odpovědí, ale nárůst byl malý. Způsobeno to může být tím, že již v pretestu většina žáků znala správnou odpověď. Lze tedy usuzovat, že žáci o tématu otázky měli dobré znalosti už před výukovým programem. Žáci se s tímto tématem mohli setkat v ekologii, biologii rostlin, nebo mohou čerpat znalosti z reálného života.

U poslední osmé otázky došlo k velkému statisticky prokazatelnému zlepšení po absolvování výuky. Osmá otázka žákům v posttestu nečinila velké potíže. Správná odpověď na otázku je podobná hypotéze, která byla tvořena během výukového programu. Pokud žáci správně postupovali ve svém experimentálním bádání, odpověď na tuto otázku znali. Pomoci v této otázce jim mohlo měření teplot pomocí infračerveného bezdotykového teploměru. Dle S. Shapiho (1992) a jeho pyramidy učení se opět mohl projevit vliv praktického cvičení, které může mít účinnost až 70 %.

Cílem práce bylo ověření projektu týkajícího se vlivu badatelské výuky na porozumění tématu role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

Tento typ výuky se dle výše uvedených výsledků jeví jako vhodný způsob k výuce tohoto tématu. Díky badatelky orientované přírodovědné výuce si žáci devátých ročníků a víceletých gymnázií mohou lépe osvojit či zdokonalit znalosti tohoto tématu, a to i přestože běžně dle RVP – ZV (MŠMT, 2017) toto téma není součástí výuky na základních školách. Wardová a kol. (2014) ve svých výzkumech uvádí, že badatelsky orientované přírodovědné vyučování může mít kladný vliv zejména na praktické dovednosti, tvorbu hypotéz a celkově může pomoci snižovat fenomén tzv. plant blindness, což je dle Wanderse a Schusslera (1998) lidská tendence opomíjet schopnosti rostlin v lidském životním prostředí. Autoři McCright a kol. (2013), se ve studii zabývají výukovým konceptem STEM, zkratka anglických slov Science (přírodní vědy), Technology (technologie), Engineering (technika) a Mathematics (matematika), který se zaměřuje na společné vyučování těchto předmětů na základě jejich příbuznosti. Autoři se zabývají zejména výukou globálních problémů na vysokých školách. Uvádějí, že tyto předměty se často vyučují odděleně, což neumožňuje dostatečné interdisciplinární propojení. Studenti bez propojení znalostí z různých předmětů nejsou schopni pochopit složitosti ve změnách klimatu a nejsou schopni použít znalosti z různých předmětů při řešení problémů (McCright a kol., 2013). I při ověřování programu přírodovědné badatelsky orientované výuky na základních školách a odpovídajících ročníků víceletých gymnáziích měli žáci problém s propojováním znalostí z různých předmětů. Mezipředmětovým vztahům se věnuje velké množství autorů (viz např. Janás J., Podroužek L., Spousta V. aj.). Ruibal-Villasenorová a kol. (2007) se věnují mezioborovým vztahům fyzika – biologie. Ve svých studiích uvádějí, že studenti, kteří postupují na základě svých vlastních experimentů, které napodobují vědeckou činnost, jsou v používání těchto znalostí v jiných konceptech úspěšnější, než studenti, kteří následují při pokusech napsané pokyny (Ruibal-Villasenor a kol., 2007). Ryplová a Pokorný (2019) se zabývali znalostmi v tématu role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině u začínajících studentů učitelství přírodopisu. V tomto výzkumu bylo dosaženo podobných výsledků, jako u mnou ověřované badatelsky orientované výuky na základních školách. Pro obě studie je společné, že žáci (studenti) mají povědomí o množstvím přicházející energie, předpokládají však, že je většina využita na fotosyntézu, principy transpirace jim většinou známé nejsou. Stejně je také to, že žáci neumí dostatečně propojovat znalosti z jiných předmětů, v tomto případě zejména z fyziky. Také Barker (1998) zjistil,

že studenti mají problém s pochopením transpirace a vodního provozu vůbec. Celková obliba rostlinné části biologie není příliš vysoká (Prokop a kol., 2007).

Jak ukazují výsledky výuka na téma role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině na základních školách a gymnáziích většinou chybí. S ohledem na současnou situaci a globální problémy se jedná o aktuální téma a bylo by vhodné zařadit tuto problematiku do výuky budoucích občanů. Vzhledem k tomu, že má práce přináší pouze výsledky ověřovaného projektu, nabízí se v budoucnu další možnosti výzkumu, které by srovnali výsledky badatelsky orientované přírodovědné výuky s frontální výukou na dané téma, při které jsou předávány učitelem již hotové informace. Práce je sondou, která ověřila, že žáci v dané věkové kategorii jsou schopni tomuto tématu porozumět. Dalšími výzkumy lze zpřesnit výsledky, a to například testy, které na sobě budou závislé.

6. Závěr

Globální oteplování a s tím související rozšiřující se sucho je nejčastěji přisuzováno zvyšující se koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu, jako jednomu z nejznámějších skleníkových plynů, a role vegetace je velmi často opomíjená. Díky dotazníkovému šetření bylo ověřeno, že provedená badatelská výuka by mohla zvyšovat znalost žáků devátých ročníků základních škol a víceletých gymnázií o dané problematice. Pomocí pretestů a posttestů byly porovnávány znalosti žáků před výukovým programem a těsně po něm. Výsledky výzkumu ukazují, že po badatelsky orientovaném výukovém programu došlo k signifikantnímu zlepšení znalostí žáků v tématice role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

7. Seznam literatury

Baker M., 1998: Understanding transpiration — more than meets the eye. *Journal of biological Education*. **1**, 17 — 20 s. [cit. 17. 1. 2019]. Dostupné z: <http://doi.org/10.1080/00219266.1998.9655631>

Bednář J., 2003: *Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Praha: Portál, 224 s.

Bennett B. M., Barton G. A., 2018: The enduring link between forest cover and rainfall: a historical perspective on science and policy discussions. *Forest ecosystems: Springer open [online]* **5(1)** 9 s.

Cenek M., Beranovský J., Brož K., Filakovský K., Kalandra P., Kazelle J., Kloz M., Orel V., Pastorek Z., Siegl M., Šamánek L., Šoch J., Truxa J., Vojtěchovský K., 2001: *Obnovitelné zdroje energie. Druhé, upravené a doplněné vydání*. Praha: FCC Public, 208 s.

Činčera J., Štindl P., Bílek M., Králíček I., Loudová I., Machková V., Musílek M., Švarcová E., Vizek L., 2019: *Interdisciplinární přístup. Metodický text pro studenty učitelství*. Gaudeamus: Hradec Králové, 40 s.

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

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2016: *Trees, forests and land use in drylands. The first global assessment*. Řím, 40 s.

Forgan B. W., 2011: *Solar Radiation Measurement*. Melbourne: WMO RAV Meteorology Workshop. [cit.: 19. 4. 2020] Dostupné online z: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/TrainingMat/2011-Melbourne/Doc_5_1_Solar-Radiation_BForgan.pdf

Geiger R., Aron R., H., Todhunter P., 2003: The Climate near the ground. New York: Oxford: Rowman and Littlefield Publishers, INC. 584 s.

Gueymard Ch. A., 2003: The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. In: Solar energy [cit. 19. 4. 2020]. Dostupné z: www.sciencedirect.com

Kleczek J., 2011: Život se Sluncem a ve vesmíru, Praha: Paseka, 296 s.

Knipling E. B., 1970: Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. American Elsevier Publishing Company, Inc. Agricultural Research Service, USDA, Gainesville. Florida, 155 — 159 s.

Kolářová R., Bohuněk J., 2010: Fyzika pro 6. ročník základní školy. Praha: Prometheus spol. s r. o., 162 s.

Kolářová R., Bohuněk J., 2013: Fyzika pro 7. ročník základní školy. Praha: Prometheus spol. s r. o., 203 s.

Kolářová R., Bohuněk J., 2013: Fyzika pro 8. ročník základní školy. Praha: Prometheus spol. s r. o., 227 s.

Kolářová R., Bohuněk J., Štoll I., Svoboda M., Wolf M., 2003: Fyzika pro 9. ročník základní školy. Praha: Prometheus spol. s r. o., 232 s.

Makarieva A. M., Gorshkov V. G., 2010: The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. St. Petersburg, Rusko: Int. J. Water **5(4)** 365 — 385 s.

Malý P., 2008: Optika. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 368 s.

McCright A. M., O'Shea B. W., Sweeder R. D., Urquhart G. R., Zeleke A., 2013: Promoting interdisciplinarity through climate change education. Nature climate change **3** (2013). [cit. 20. 4. 2020] Dostupné online z: www.nature.com/natureclimatechange

Papáček M. 2010a: Badatelsky orientované přírodovědné vyučování — cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa? Scientia in educatione, 1(1), 33 — 49 s.

Papáček M. 2010b: Limity a šance zavádění badatelsky orientovaného vyučování přírodopisu a biologie v České republice. In: Papáček M. (ed.): Didaktika biologie

v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování: sborník příspěvků semináře. pp. 145 – 162. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice

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

Penka M., 1985: Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Praha: Academia, 250 s.

Periman H., Evans J., 2017, USGS [cit. 30. 3. 2020], dostupné online: <https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech>

Pokorný J., 2001: Dissipation of solar energy in landscape – controlled by management of water and vegetation. In: Renewable Energy. **24** (2001) 641 – 645 s.

Pokorný J., Brom J., Čermák J., Hesslerová P., Huryňa H., Nadezhdina N., Rejšková A., 2010: Solar energy dissipation and temperature kontrol by water and plants.

Pokorný J., 2011: Co dokáže strom, In: Kleczek, J. (ed.) Kniha o vodě. Praha: Radioservis 429 – 431 s.

Pokorný J., Hesslerová P., Huryňa H., Harper D., 2017: Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima – část 1. Vodní hospodářství spol. s. r. o: Čkyně. **67(6)** 2 – 5 s.

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

Pokorný J., 2019: Opomíjená úloha vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu. Akademie věd ČR v Praze 1: Mimořádná přednáška Učené společnosti České republiky 9. 4. 2019. [dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=AEtepYuvwyk>]

Procházka S., Šebánek J., Sladký Z., Repka J., 1994: Morfologie a fyziologie rostlin. Brno: Vysoká škola zemědělská, 222 s.

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

Rösemann R.: Solar Radiation Measurement. Kipp and Zonen. [cit. 18. 4. 2020] Dostupné z: <https://www.kippzonen.com/>

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

RVP pro gymnázia. MŠMT (2007). [online]. [cit. 30. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.nuv.cz/file/159>

RVP pro základní vzdělávání. MŠMT (2017). [online]. [cit. 30. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.msmt.cz/file/43792>

Ryplová R., Pokorný J., 2019: Opomíjená úloha vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu – sonda znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu. Praha: Envigogika, **14(1)** 19 s. [cit. 19. 4. 2020] Dostupné z: <http://www.evigogika.cuni.cz/>

Ryplová R., Reháková J. 2011: Přínos badatelsky orientované vyučování (BOV) pro enviromentální výchovu: Případová studie implementace BOV do výuky na ZŠ. Praha: Envigogika, **6(3)**, 1 – 9 s.

Stuchlíková I., 2010: O badatelsky orientovaném vyučování. In: Papáček M. (ed.) Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování: sborník příspěvků semináře. pp. 129 – 135. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice

Šír M., Lichner L', Tesař M.: 2005. Transpirace rostlin a autoregulace hydrologického cyklu. Ústav pro hydrodynamiku AVČR. Praha, 299 – 306 s.

Tesař J., Jáchim F., 2007: Fyzika 1 pro základní školu: fyzikální veličiny a jejich měření. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 72 s.

Tesař J., Jáchim F., 2015: Fyzika 2 pro základní školu: síla a její účinky, pohyb těles. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 88 s.

Tesař J., Jáchim F., 2009: Fyzika 3 pro základní školu: světelné jevy, mechanické vlastnosti látek. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 120 s.

Tesař J., Jáchim F., 2009: Fyzika 4 pro základní školu: elektromagnetické děje. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 112 s.

Tesař J., Jáchim F., 2016: Fyzika 5 pro základní školu: energie. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 112 s.

Tesař J., Jáchim F., 2011: Fyzika 6 pro základní školu: zvukové jevy, vesmír. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 115 s.

Thekaekara M. P. 1974: Solar energy monitor in space (SEMIS). Greenbelt, Maryland: NASA: Goddard space flight center, 36 s.

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

Zbořilová H. 2005: Zadržování vody v krajině zvýšením její infiltrační schopnosti. Tvář naší země – krajina domova [3. ročník konference o krajině: Svazek 4 – Naše krajina v přírodní krajině Evropy: Praha Průhonice 8. – 10. března 2005]. Lomnice nad Popelkou pro Společnost pro krajinu: Jaroslav Bárta Studio JB. 55 – 58 s.

Zhedong Z., Yajun Y., Guo Y. Q. 2019: Quantifying the Evapotranspiration Rate and Its Cooling Effects of Urban Hedges Based on Three-Temperature Model and Infrared Remote Sensing. China: Lab of Environmental and Energy Information Engineering, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School. Remote Sensing [online] **11** (2) 1 – 18 s.

8. Přílohy

8.1. Seznam příloh

Příloha 1: Pretest využitý při badatelsky orientovaném vyučování na téma role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

Příloha 2: Posttest využitý při badatelky orientovaném vyučování na téma role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

Příloha 3: Venkovní varianta pracovního listu.

Příloha 4: Vnitřní varianta pracovního listu.

Příloha 1: Pretest využitý při badatelsky orientovaném vyučování na téma role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

(V pretestu byly použity otázky ze širšího dotazníkového šetření vytvořené autorským kolektivem projektu TAČR TL 01000294. Sestavení pretestu nebylo součástí této bakalářské práce)

Prosím, uveď svůj věk

.....
.....

Pohlaví: Dívka Chlapec

V následující tvrzeních vyber jednu z nabízených možností tak, aby tvrzení bylo pravdivé, vybranou možnost zakroužkuj

- 1) Intenzita slunečního záření dopadajícího za jasného slunečního dne na travnatou plochu je **větší / menší** (zakroužkuj správnou možnost) než 600 W/m^2 (Pro srovnání – 600 W je výkon menší rychlovarné konvice).
- 2) Z celkového množství sluneční energie, která dopadne na zemský povrch, spotřebují rostliny pro fotosyntézu **více / méně** (zakroužkuj správnou možnost) než 10%.
- 3) Ranní rosa **ohřívá / ochlazuje** (zakroužkuj správnou možnost) tělesa, na nichž se sráží.
- 4) Rostliny **mají / nemají** (zakroužkuj správnou možnost) schopnost termoregulace.
- 5) **Voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven?** (zakroužkuj správnou možnost)
 - 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.....
..... (uveď, jakým způsobem a jakou částí rostlinného těla se dle tvého názoru voda dostává ven z rostliny)
- 6) Na pouštích jsou velké rozdíly mezi denní a noční teplotou, protože:
 - a) se nacházejí v oblasti tropů a subtropů, pro které je rozdíl v denních a nočních teplotách typický
 - b) tam chybí voda a rostliny

- c) ve dne je extrémně silné sluneční záření a naopak v noci tam silně proudí chladný vzduch, který povrch výrazně ochlazuje
- 7) Co se stane, pokud vykácíme les?
- a) místní klima se ochladí, protože lesy jsou na povrchu zeměkoule tmavé plochy, které se nejvíce ohřívají. Pokud je vykácíme, povrch Země zesvětlíme, sníží se globální oteplování a na Zemi bude více vody.
 - b) V krajině zůstane více vody, protože ubudou stromy, které vodu vypařují a tak ji z krajiny odčerpávají
 - c) Místní klima se oteplí, protože sluneční energie nebude spotřebovávána na výpar vody z lesů, ale na ohřev povrchu a vzduchu. Jestliže se voda nebude pomalu vypařovat, nebude se ani zpět do této krajiny vracet ve formě dešťů a mlhy. V krajině tak ubude voda.
- 8) Hlavním důvodem proto, že za horkého letního dne je v parku se vzrostlými stromy chladněji, než na vydlážděném náměstí je to, že:
- a) stromy část sluneční energie spotřebují pro fotosyntézu
 - b) Stromy mají hodně listů, celkový povrch listů je mnohem větší než povrch dlážděného náměstí a proto se z povrchu listové plochy odrazí větší množství slunečního záření. Méně sluneční energie se tak přemění v pocitové teplo.
 - c) Stromy odpařují z listů vodu a na výpar vody spotřebují hodně sluneční energie, která se tak nemůže přeměnit na pocitové teplo.

Příloha č. 2: Posttest využitý při badatelky orientovaném vyučování na téma role vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině.

(V posttestu byly použity otázky ze širšího dotazníkového šetření vytvořené autorským kolektivem projektu TAČR TL 01000294. Sestavení posttestu nebylo součástí této bakalářské práce)

Prosím, uveď svůj věk

.....
.....

Pohlaví: Dívka Chlapec

V následující tvrzeních vyber jednu z nabízených možností tak, aby tvrzení bylo pravdivé, vybranou možnost zakroužkuj

- 1) Intenzita slunečního záření dopadajícího za jasného slunečního dne na travnatou plochu je **větší / menší** (zakroužkuj správnou možnost) než 600 W/m^2 (Pro srovnání – 600 W je výkon menší rychlovarné konvice)
- 2) Z celkového množství sluneční energie, která dopadne na zemský povrch, spotřebují rostliny pro fotosyntézu **více / méně** (zakroužkuj správnou možnost) než 10%.
- 3) Ranní rosa **ohřívá / ochlazuje** (zakroužkuj správnou možnost) tělesa, na nichž se sráží
- 4) Rostliny **mají / nemají** (zakroužkuj správnou možnost) schopnost termoregulace
- 5) Voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven? (zakroužkuj správnou možnost)
 - 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.....
..... (uveď, jakým způsobem a jakou částí rostlinného těla se dle tvého názoru voda dostává ven z rostliny)
- 6) Na pouštích jsou velké rozdíly mezi denní a noční teplotou, protože:
 - a) se nacházejí v oblasti tropů a subtropů, pro které je rozdíl v denních a nočních teplotách typický
 - b) tam chybí voda a rostliny
 - c) ve dne je extrémně silné sluneční záření a naopak v noci tam silně proudí chladný vzduch, který povrch výrazně ochlazuje

- 7) Co se stane, pokud vykácíme les?
- a) místní klima se ochladí, protože lesy jsou na povrchu zeměkoule tmavé plochy, které se nejvíce ohřívají. Pokud je vykácíme, povrch Země zesvětlíme, sníží se globální oteplování a na Zemi bude více vody.
 - b) V krajině zůstane více vody, protože ubudou stromy, které vodu vypařují a tak ji z krajiny odčerpávají
 - c) Místní klima se oteplí, protože sluneční energie nebude spotřebovávána na výpar vody z lesů, ale na ohřev povrchu a vzduchu. Jestliže se voda nebude pomalu vypařovat, nebude se ani zpět do této krajiny vracet ve formě dešťů a mlhy. V krajině tak ubyde voda.

- 8) Hlavním důvodem proto, že za horkého letního dne je v parku se vzrostlými stromy chladněji, než na vydlážděném náměstí je to, že:
- a) stromy část sluneční energie spotřebují pro fotosyntézu
 - b) Stromy mají hodně listů, celkový povrch listů je mnohem větší než povrch dlážděného náměstí a proto se z povrchu listové plochy odrazí větší množství slunečního záření. Méně sluneční energie se tak přemění v pocitové teplo.
 - c) Stromy odpařují z listů vodu a na výpar vody spotřebují hodně sluneční energie, která se tak nemůže přeměnit na pocitové teplo.

9) Líbila se Ti dnešní výuka?

ANO Proč?.....

NE

Proč?.....

10) Co by ses k tomuto tématu ještě rád dozvěděl / a

**Příloha č. 3: Venkovní varianta pracovního listu****Pracovní list pro badatelskou terénní výuku***(pilotní verze)***Sluneční energie, voda v krajině, vegetace****1. Jak se liší stín stromu a slunečnicku? V letním rozpáleném městě se cítíme příjemněji ve stínu stromu, než ve stínu slunečnicku.***Zkuste se zamyslet nad příčinou a navrhnete odpověď.*.....
.....**Otázka: Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?***Pracujte ve skupinách dle pokynů učitele:**Za pomoci nápověd se pokuste navrhnout hypotézu (domněnku), vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?**Nápovědy: (Každá z nápověd je umístěna v jednom z rohů učebny i s obrázkem. Postupně dle pokynů učitele projděte ve skupinách všechny rohy učebny, zamyslete se nad souvislostmi všech nápověd).*

- *Nápověda A: Na 1 m² povrchu krajiny (např. trávníku ve městě, koruny stromů v lese, pšeničného lánu, dlážděného parku) dopadá po průchodu atmosférou za jasného letního dne až 1000 W sluneční energie. Lidské oko vnímá pouze část spektra slunečního záření – a to jako viditelné světelné záření. Ve skutečnosti je ale spektrum slunečního záření složeno i z několika částí, které nevidíme.*
- *Nápověda B: Na povrchu listů jsou průduchy, kterými rostliny odpařují vodu. Otevření a uzavření průduchů může rostlina regulovat. Na 1 mm² je v listu až 100 průduchů. Vzrostlý strom s korunou o poloměru 4m odpaří během jasného letního dne cca 200l vody.*
- *Nápověda C: Víme, že skupenské výparné teplo vody je při běžné teplotě 20° C 2,45 MJ/l. To je přibližně 0,68 kWh sluneční energie.*
- *Nápověda D: Sluneční energie se po dopadu na zemský povrch podle zákona o zachování energie mění v několik různých forem. Po dopadu na povrch krajiny porostlé vegetací dostatečně zásobenou vodou se 5 – 10% sluneční energie odrazí zpět do atmosféry, 5 – 10% se přemění na pocitové teplo (Sluneční energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch), 5 -10% ohřeje půdu a zůstává v ní tak „uschováno“ (akumulace tepla půdou). Vegetace spotřebuje pro fotosyntézu max. 1% z celkového dopadajícího slunečního záření. Co se stane se zbývající sluneční energií*



Tento pracovní list byl vypracován s podporou projektu TAČR TL 01000294

Formulujte domněnku (hypotézu) vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

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

Navrhněte pokus, kterým tuto hypotézu ověříte. K pokusu můžete využít dva stejné zelené ručníky, vodu, infračervený bezdotykový teploměr a slunce venku před školou. (Při zatažené obloze lze slunce nahradit přenosnou halogenovou lampou a pokus provést ve třídě)

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

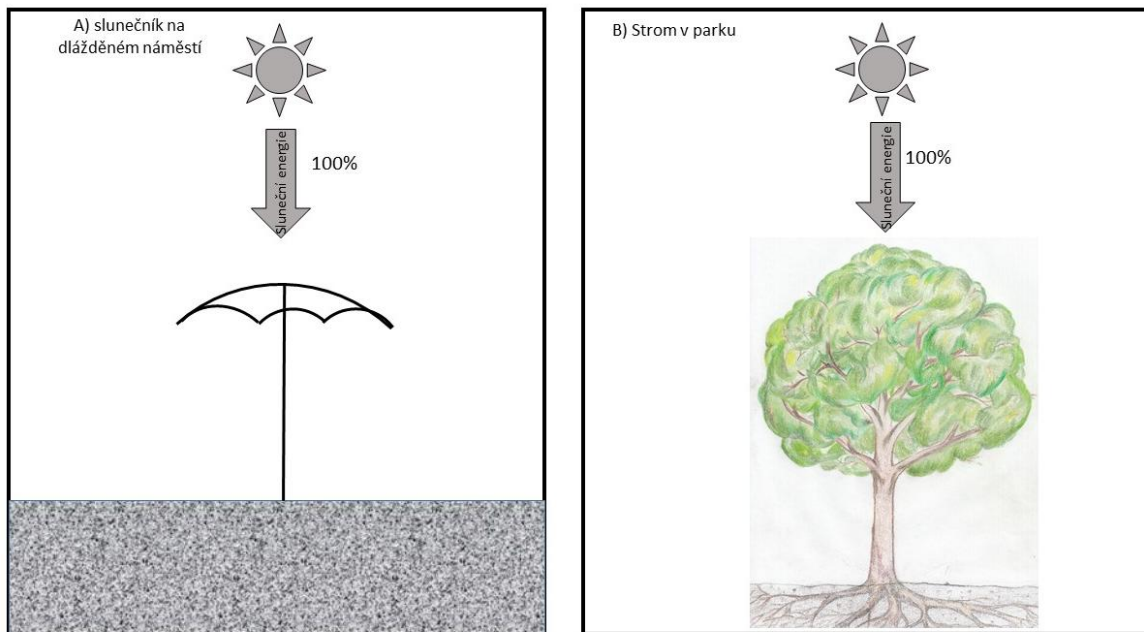
Závěr pokusu:

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

Znázněte do připravených obrázků vysvětlení, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

*Na základě dosud zjištěných informací domalujte a popište do připravených schémat šipky, znázorňující, jak se liší přeměna sluneční energie na jednotlivé další formy (tedy distribuce sluneční energie) po dopadu na: **a**) povrch slunečnicku a **b**) korunu stromu. U každé šipky doplň číselný údaj určující, kolik procent sluneční energie se do konkrétní formy energie dle tvého názoru přibližně převede.*

Tento pracovní list byl vypracován s podporou projektu TAČR TL 01000294



2. Zjištěné závěry ověřte v terénu v blízkosti školy. Pomocí měřiče intenzity slunečního záření změřte množství dopadající sluneční energie na různých místech zemského povrchu dle následující tabulky. Na každém místě pomocí bezdotykového IR teploměru změřte zároveň i teplotu povrchu.

Stanoviště	Intenzita dopadajícího slunečního záření [W/m^2]	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]
volné prostranství, dlažba, asfalt		
volné prostranství, trávník		
povrch koruny stromu		
pod korunou stromu		

3) Spočítejte rozdíl v intenzitě slunečního záření dopadajícího na povrch koruny stromu a pod jeho korunu. Pokuste se zodpovědět následující otázky:

- a) Jak velký rozdíl jste zjistili mezi intenzitou slunečního záření dopadajícího na povrch stromu a pod strom? Kam se „ztratila“ či jak byla využita energie odpovídající zjištěnému rozdílu?



Tento pracovní list byl vypracován s podporou projektu TAČR TL 01000294

Zjištěný rozdíl v intenzitě dopadajícího slunečního záření:.....

Vysvětlení:.....

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

b) Který z měřených povrchů byl nejteplejší a proč?

.....
.....

4) *Spočítejte, jakým výkonem chladil své okolí vzrostlý strom v parku, jestliže za 1 hodinu se z něj prostřednictvím prúdů odpařilo 10l vody? (Počítejte s hodnotou skupenského výparného tepla vody při teplotě při 20 °C – tj. 0,68kWh)*

.....
.....

Závěr: Na základě získaných zkušeností v dnešní výuce vyjádřete vlastními slovy, proč je důležitá vegetace v krajině:

**Příloha č. 4: Vnitřní varianta pracovního listu****Pracovní list pro badatelskou výuku ve třídě***(pilotní verze)***Sluneční energie, voda v krajině, vegetace****2. Jak se liší stín stromu a slunečnicku? V letním rozpáleném městě se cítíme příjemněji ve stínu stromu, než ve stínu slunečnicku.***Zkuste se zamyslet nad příčinou a navrhnete odpověď.*

.....

.....

Otázka: Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?*Pracujte ve skupinách dle pokynů učitele:**Za pomoci nápověd se pokuste navrhnout hypotézu (domněnku) vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?**Nápovědy: (Každá z nápověd je umístěna v jednom z rohů učebny i s obrázkem. Postupně dle pokynů učitele projděte ve skupinách všechny rohy učebny, zamyslete se nad souvislostmi všech nápověd).*

- *Nápověda A: Na 1 m² povrchu krajiny (např. trávníku ve městě, koruny stromů v lese, pšeničného lánu, dlážděného parku) dopadá po průchodu atmosférou za jasného letního dne až 1000 W sluneční energie. Lidské oko vnímá pouze část spektra slunečního záření – a to jako viditelné světelné záření. Ve skutečnosti je ale spektrum slunečního záření složeno i z několika částí, které nevidíme.*
- *Nápověda B: Na povrchu listů jsou průduchy, kterými rostliny odpařují vodu. Otevření a uzavření průduchů může rostlina regulovat. Na 1 mm² je v listu až 100 průduchů. Vzrostlý strom s korunou o poloměru 4m odpaří během jasného letního dne cca 200l vody.*
- *Nápověda C: Víme, že skupenské výparné teplo vody je při běžné teplotě 20° C 2,45 MJ/l. To je přibližně 0,68 kWh sluneční energie.*
- *Nápověda D: Sluneční energie se po dopadu na zemský povrch podle zákona o zachování energie mění v několik různých forem. Po dopadu na povrch krajiny porostlé vegetací dostatečně zásobenou vodou se 5 – 10% sluneční energie odrazí zpět do atmosféry, 5 – 10% se přemění na pocitové teplo (Sluneční energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch), 5 -10% ohřeje půdu a zůstává v ní tak „uschováno“ (akumulace tepla půdou). Vegetace spotřebuje pro fotosyntézu max. 1% z celkového dopadajícího slunečního záření. Co se stane se zbývající sluneční energií*



Tento pracovní list byl vypracován s podporou projektu TAČR TL 01000294

Formulujte domněnku (hypotézu) vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

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

Navrhněte pokus, kterým tuto hypotézu ověříte. K pokusu můžete využít dva stejné zelené ručníky, vodu, infračervený bezdotykový teploměr a slunce venku před školou. (Při zatažené obloze lze slunce nahradit přenosnou halogenovou lampou a pokus provést ve třídě)

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

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

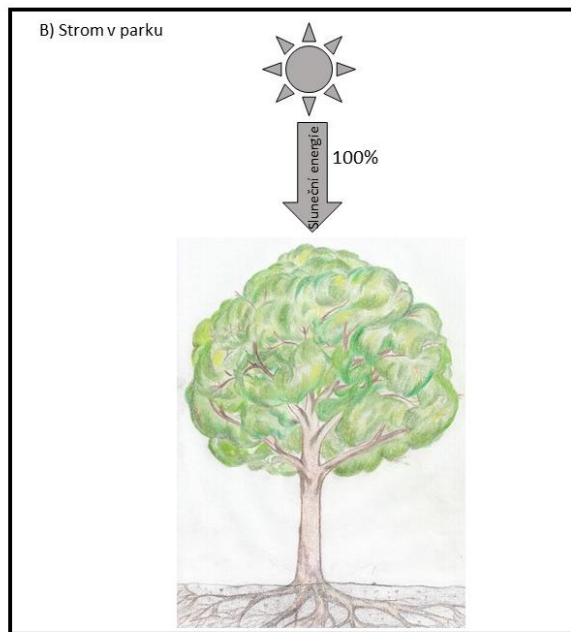
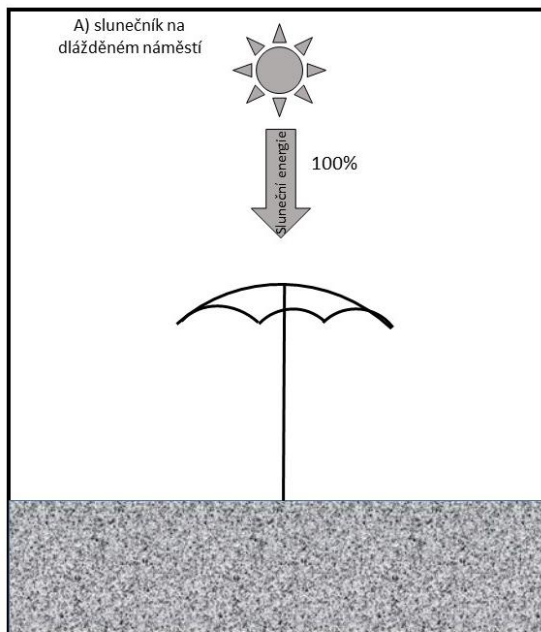
Závěr pokusu:

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

Znázněte do připravených obrázků vysvětlení, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

*Na základě dosud zjištěných informací domalujte a popište do připravených schémat šipky, znázorňující, jak se liší přeměna sluneční energie na jednotlivé další formy (tedy distribuce sluneční energie) po dopadu na: **a**) povrch slunečnicku a **b**) korunu stromu. U každé šipky doplň číselný údaj určující, kolik procent sluneční energie se do konkrétní formy energie dle tvého názoru přibližně převede.*

Tento pracovní list byl vypracován s podporou projektu TAČR TL 01000294



Spočítejte, jakým výkonem chladil své okolí vzrostlý strom v parku, jestliže za 1 hodinu se z něj prostřednictvím průduchů odpařilo 10l vody? (Počítejte s hodnotou skupenského výparného tepla vody při teplotě při 20 °C – tj. 0,68kWh)

.....
.....

Každá pracovní skupina provede pouze jeden z následujících pokusů. Ostatní skupiny vždy sledují spolužáky a zapisují výsledky pokusů do pracovních listů

2) Navrhněte a proveďte pokus, kterým ve třídě ověříte, že rostliny chladí své okolí. K dispozici máte živou a dobře zalitou rostlinu v květináči, podobnou rostlinu umělou, bezdotykový IR teploměr, přenosnou halogenovou lampu.

Návrh pokusu:

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



Výsledky měření:

Závěr pokusu:

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

3) Lesy představují na povrchu Země nejtmaší plochy. Souhlasíte s názorem, že lesy je potřeba vykácet, protože tak zesvětlíme povrch Země a snížíme globální oteplování klimatu? Své tvrzení odůvodněte pomocí experimentu. K dispozici máte tmavý a světlý ručník, bezdotykový IR teploměr, přenosnou halogenovou lampu a vodu.

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

Závěr pokusu:

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



4) *Navrhněte a proved'te pokus, kterým ve třídě ověříte, že vodní nádrže na rozdíl od sklizených polí s holou půdou chladí své okolí. K dispozici máte dvě stejné mis-ky, zeminu, vodu bezdotykový IR teploměr a přenosnou halogenovou lampu*

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

Závěr pokusu:

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

Závěr: Na základě získaných zkušeností v dnešní výuce vyjádřete vlastními slovy, proč je důležitá vegetace v krajině:

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