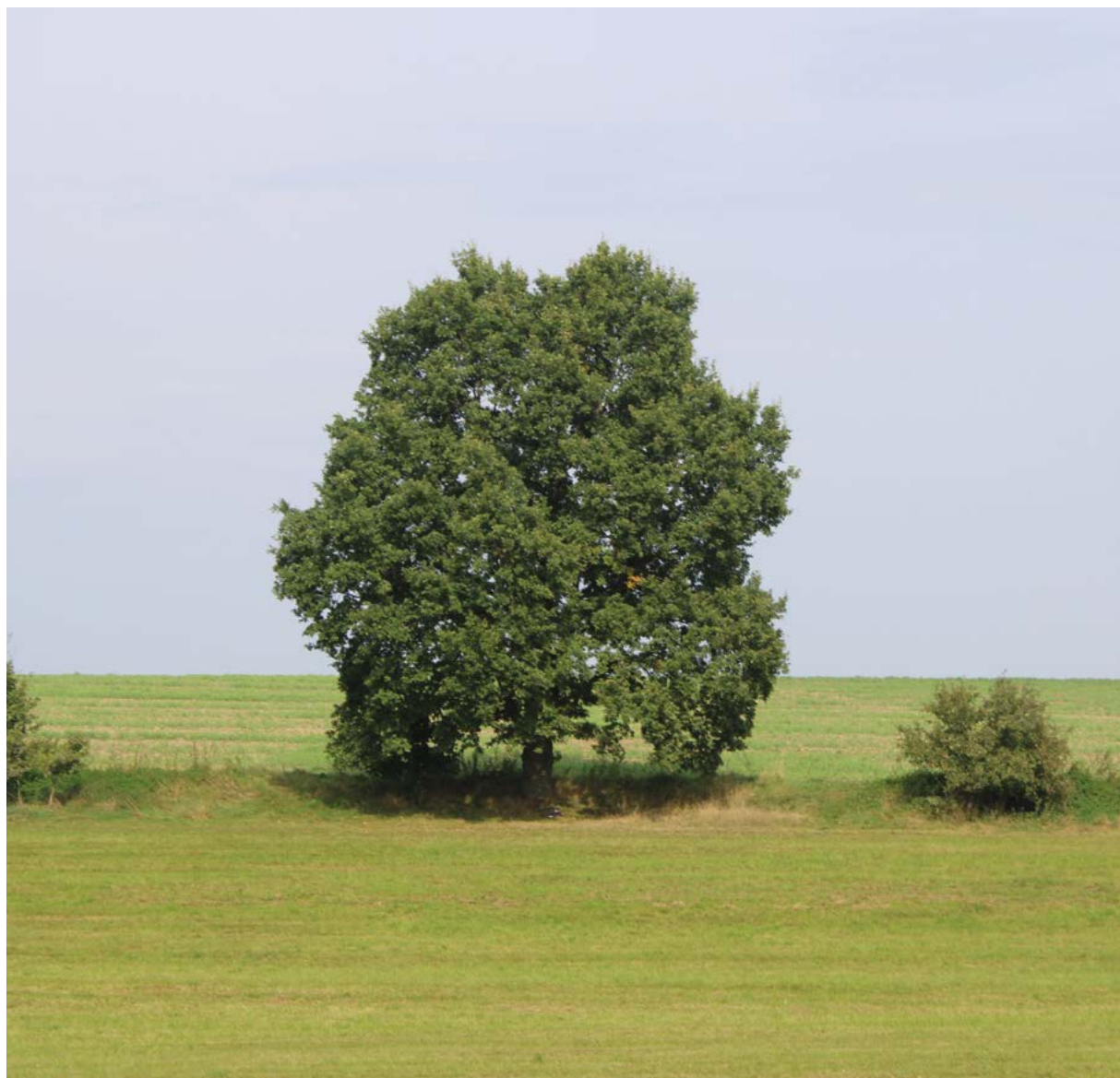


Metodika výuky k tématu

Sluneční energie – voda v krajině – vegetace

pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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



Tato metodika byla vytvořena s finanční podporou TAČR v rámci Projektu TL01000294:
*Sluneční energie, voda v krajině, vegetace: nová metodika vzdělávání pracovníků městských úřadů
a inovace školní výuky k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima.*

Autorský kolektiv:

RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.

Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D.

Ing. Vladimír Jirka, CSc.

Mgr. Zbyněk Vácha, Ph.D.

Fotografie: Archiv ENKI, o.p.s., R. Ryplová, Z. Vácha

V roce 2021 vydalo ENKI, o.p.s., Třeboň

© 2021 Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích a ENKI, o.p.s.

ISBN 978-80-908090-0-0

Obsah

1. Úvodem	4
2. Cíle, obsah a způsob tvorby metodiky	4
3. Zjištěné žákovské miskoncepce k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině	6
4. Začlenění tématu do kurikula ZŠ	7
5. Teoretické základy problematiky	7
5.1. Sluneční energie	7
5.2. Distribuce sluneční energie v krajině	8
5.3. Výpar a kondenzace vody, fyzikální principy v biologii rostlin	10
5.4. Role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině	11
5.5. Jak vegetace vrací vodu do krajiny	13
5.6. Transpirace jako součást vodního režimu rostliny	14
5.7. Příklady klimatizační role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině	18
6. Metodické listy pro učitele	21
6.1. Přehled měřených fyzikálních veličin a jednotek, přístroje k jejich měření a další pomůcky pro výuku	21
6.2. Videonahrávky pro použití ve výuce	31
6.3. Návrh ppt prezentace s komentářem pro použití ve výuce	31
6.4. Modelové úlohy pro výuku	36
6.5. Rozšiřující úlohy	65
7. Seznam použité literatury	70
8. Publikace autorského kolektivu předcházející vydání této metodiky	71
9. Přílohy	71
Poděkování	72

1. Úvodem

Metodika výuky k tématu Sluneční energie – voda v krajině – vegetace pro žáky 9.ročníků ZŠ a víceletých gymnázií vznikla v reakci na naléhavou potřebu zařazení tohoto tématu do výuky na základních školách.

Vegetace hraje v životním prostředí člověka z pohledu utváření klimatu a zachování dostatku vody v krajině zcela klíčovou roli. Díky výparu vody (evapotranspiraci) přeměňuje většinu dopadající sluneční energie na skupenské teplo vody a chladí své okolí výkonem až několik set $W \cdot m^{-2}$. Evapotranspirace snižuje teplotní gradienty v našem životním prostředí a stojí na začátku tzv. krátkého cyklu vody, díky němuž se voda do krajiny opět vrací ve formě srážek. Vegetační kryt v krajině má proto klíčový význam pro zachování dostatečného množství vody pro budoucí generace a významně zmírňuje dopady globální klimatické změny. I přesto však je, bohužel, všeobecné povědomí o této úloze vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu poměrně nízké. Vzhledem k všeobecné neznalosti základních rostlinných fyziologických funkcí a s nimi souvisejícího významu rostlin v krajině, pak dochází k neuváženým zásahům do vegetačního krytu, které mají výrazný dopad na životní prostředí člověka. Jedním z těchto dopadů, který se v poslední době projevuje velmi negativně a pro existenci lidstva má zásadní význam, je rozšiřující se sucho i tepelné ostrovy měst.

Pro zachování dostatečného množství vody v krajině potřebuje společnost do budoucna mladé erudované zemědělce, lesníky, krajinné architekty, urbanisty ale i ekonomy a energetiky, mající základní povědomí o fyziologické funkci vegetace v koloběhu vody a distribuci sluneční energie v krajině. K zajištění informovanosti široké veřejnosti je proto důležité, aby tato, doposud opomenutá, environmentální problematika byla součástí výuky již na základních školách.

2. Cíle, obsah a způsob tvorby metodiky

Cílem metodiky je poskytnout učitelům přírodopisu základních škol a víceletých gymnázií v praxi ověřené podklady pro výuku doposud opomíjeného, avšak celospolečensky velmi významného tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a s tím souvisejícím koloběhem vody v krajině.

Metodika pro učitele základních škol a víceletých gymnázií obsahuje v úvodní části **stručné teoretické základy** problematiky role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině, shrnující znalosti nutné k didaktickému využití této problematiky v pedagogické praxi. Hlubší teoretické znalosti lze získat v publikaci „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“ dostupné online zdarma zde: <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>. V metodických listech jsou pak uvedeny **konkrétní modelové úlohy zpracované moderními didaktickými metodami (badatelská výuka, projektová výuka)** doprovázené **pracovními listy** pro žáky v příloze. Těžištěm všech uvedených návrhů je terénní výuka zahrnující žákovská měření a pokusy s využitím moderní měřicí techniky. Pro účely této výuky byly vybrány, a ve

výuce ověřeny **vhodné, uživatelsky přívětivé a cenově dostupné měřicí přístroje**, jejichž seznam spolu s **popisem a nácvikem jejich užívání** v terénních úlohách je další součástí této metodiky. Pro motivaci žáků, badatelskou i projektovou výuku je možné využít **videonahrávku**, k dispozici je i vzorová **ppt prezentace a pdf verze ověřených pracovních listů pro žáky** k přímému použití ve výuce pro použití ve výuce. Vše ke stažení <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

Metodika byla vytvářena během tříletého projektu podporovaného Technologickou agenturou České republiky v rámci programu Éta, *TL01000294: Sluneční energie, voda v krajině, vegetace: nová metodika vzdělávání pracovníků městských úřadů a inovace školní výuky k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima*. Při její tvorbě spojili síly pedagogičtí odborníci z Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích s vědci z výzkumné organizace ENKI, o.p.s. v Třeboni, kteří jsou mezinárodně uznávanými odborníky v oboru ekofyziologie rostlin a úlohy vegetace v klimatu. Výzkumná organizace ENKI, o.p.s. provádí dlouhodobé výzkumy v oblasti distribuce sluneční energie v krajině v souvislosti s vegetací a koloběhem vody a poskytla pro tuto metodiku vědecká data i odborné know-how.

Pro oblast školního vzdělávání byla vytvořena metodika výuky ve dvou verzích: a) Metodika určená pro výuku žáků základních škol a víceletých gymnázií b) Metodika určená pro vysokoškolskou výuku budoucích či stávajících učitelů ZŠ a víceletých gymnázií, Obě tyto metodiky spolu úzce souvisejí. Metodika pro výuku žáků ZŠ je jakousi didaktickou rukověť pro učitele pro užití v praxi. Je zaměřena na konkrétní didaktické využití cílového tématu na úrovni základních škol a obsahuje náměty na jednotlivé výukové aktivity pro školskou praxi, zpracované s využitím moderních didaktických metod (badatelská výuka, projektová výuka). Cílem vysokoškolské metodiky pak je vytvořit u studentů učitelství přírodopisu tzv. technicko - didaktickou znalost obsahu (z angličtiny TPACK). Teoretický rámec pro obě metodiky poskytuje již výše zmíněná publikace „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“, kde mohou vyučující všech typů škol i široká veřejnost čerpat hlubší informace k tomuto tématu.

Na začátku tvorby této metodiky v roce 2018 stála sonda znalostí k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině provedená mezi žáky devátých ročníků základních škol a kvarty osmiletých gymnázií. Na základě závěrů této sondy vytvořil autorský kolektiv projektu nejprve pilotní verzi metodiky, která pak byla v následujících dvou letech (2019 a po přerušení způsobeném pandemií Covid-19 znovu v roce 2021) opakovaně ověřována v praxi v průběhu workshopů na školách. V průběhu tvorby metodiky její autoři jednotlivé části průběžně konzultovali s učiteli z praxe. Autoři touto cestou vyjadřují velký dík za umožnění ověření této metodiky, cenné rady a konzultace na školách, které působily jako aplikační garanti tohoto projektu, jmenovitě Gymnázium Jírovцова 8, České Budějovice, Gymnázium J.V. Jirsíka, České Budějovice a ZŠ Nerudova, České Budějovice.

3. Zjištěné žákovské miskoncepce k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině

Didaktické šetření úrovně žákovských znalostí, provedené na začátku tvorby metodiky odhalilo velmi slabé povědomí o roli vegetace v koloběhu vody a distribuci sluneční energie v krajině jak u žáků devátých ročníků ZŠ, tak i studentů kvarty osmiletých gymnázií. Detailní výsledky výzkumu jsou uvedeny v knize „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“. Bylo zjištěno několik zásadních miskonceptů (mylného pojetí - pochopení učiva), na jejichž odstranění je potřeba se při výuce dle této metodiky zaměřit. Uvádíme je proto ve stručném přehledu:

Zjištěné miskoncepce:

- **Rostliny využívají většinu dopadající sluneční energie pro fotosyntézu**

Ve skutečnosti vegetace využívá pouze cca 1 % z dopadající sluneční energie pro fotosyntézu. Podstatná část (i přes 50 %) dopadajícího slunečního záření je naopak využíváno na výpar (evapotranspiraci) z rostlin a z půdy. Žákům je potřeba připomenout, že spektrum slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, má kromě viditelného záření, které vnímáme lidským okem a jehož část je využita pro fotosyntézu i další složky. Pro koloběh vody je důležité záření infračervené, s delšími vlnovými délkami, než má viditelné světlo (mezipředmětové vztahy přírodopis – fyzika – zeměpis).

- **Rostliny nemají schopnost termoregulace**

Opak je pravdou. Tím, že rostliny využívají významnou část sluneční energie pro výpar (latentní teplo) ochlazují nejen sebe, ale i své okolí. Tato chladící schopnost je ale podmíněna podmínkami životního prostředí, především dostupností vody v půdě. Výpar rostliny regulují otevíráním a zavíráním průduchů, které závisí na řadě podmínek vnějšího prostředí.

- **Rostliny spotřebovávají všechnu vodu, kterou nasají kořeny pro svůj růst nebo ji ukládají ve vakuolách, žádná voda není z těla vydávána.**

Naprostá většina žáků, kteří se účastnili úvodních výzkumů znalostí před výukou, nechápala souvislost mezi příjmem vody kořeny a výparem vody z listů.

- **Stín stromu je chladný proto, že strom spotřebuje sluneční energii na fotosyntézu a pohltí sluneční záření svými listy.**

Za hlavní a většinou i jediný děj, kterým strom spotřebovává sluneční energii, považují žáci fotosyntézu. Je samozřejmě pravda, že strom má velkou pokryvnost listoví. Hlavním chladícím faktorem ale není fotosyntéza. Na každou molekulu oxidu uhličitého je uvolněno mnohonásobně více molekul vody transpirací, která využívá teplo a je příčinou chladného stínu stromu.

4. Začlenění tématu do kurikula ZŠ

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

Problematika vztahů mezi vegetací, solární energií a vodou v krajině je interdisciplinární téma. V Rámcovém vzdělávacím programu pro základní vzdělávání (RVP – ZV) svým obsahem nejlépe přísluší do průřezového tématu Environmentální výchova a to zejména ve vzdělávacích oblastech Člověk a příroda, Člověk a svět práce a Člověk a společnost. V rámci průřezového tématu Environmentální výchova spadá dané téma do tematických okruhů Ekosystémy, Základní podmínky života (voda, energie). K pochopení jsou potřeba znalosti z oblasti přírodopisu (vodní režim rostlin, výpar vody z listu, list a jeho funkce, průdch), fyziky (termodynamika, energie, skupenské teplo, vypařování a kapalnění) a geografie (Slunce, Země, atmosféra). Proto může být daná metodika využita při výuce všech zmíněných předmětů. Vzhledem ke svému interdisciplinárnímu charakteru, odpovídá téma i modernímu trendu posilování mezipředmětových vztahů ve výuce.

Pro výuku tématu je zcela klíčové propojení znalostí fyzikálních jevů se znalostmi rostlinné biologie a klimatologie. Stěžejní je správné pochopení přenosu tepelné energie vodou vypařovanou vegetací (transpirací) a to prostřednictvím změny ze skupenství kapalného na plynné při výparu a naopak zpět při kondenzaci ze skupenství plynného na skupenství kapalné. Ačkoliv proces transpirace bohužel v současné době v RVP - ZV zahrnut není, v rámci učiva o stavbě a funkci listu je výpar vody rostlinou v učebnicích zmiňován. Pochopení ekologické funkce transpirace je také předpokladem porozumění koloběhu vody v přírodě.

Metodika je koncipována pro žáky devátých ročníků ZŠ a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií.

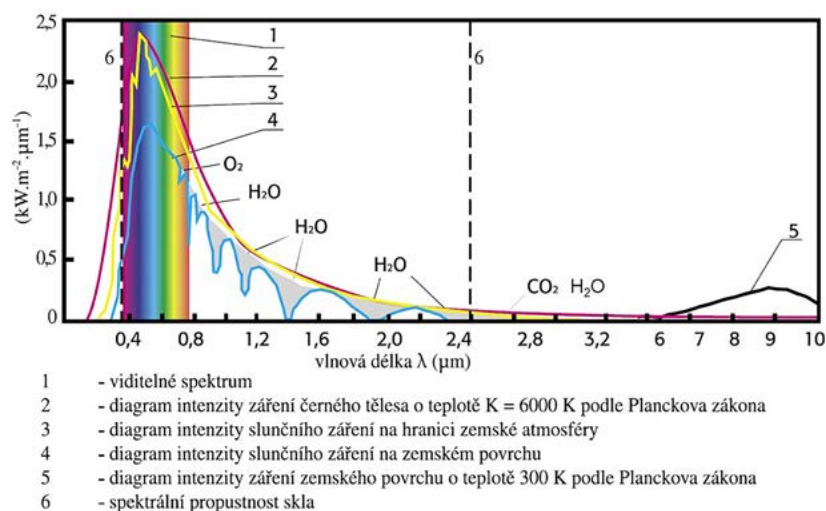
5. Teoretické základy problematiky

Učitelé ZŠ mohou pro přípravu výuky čerpat hlubší informace z publikace „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“, na tomto místě uvádíme jen stručný přehled stěžejních pojmů a procesů, nutné k pochopení vyučované problematiky.

5.1. Sluneční energie

Na hranici zemské atmosféry prochází plochou 1 m^2 průměrně 1367 W slunečního záření. Tuto energii nazýváme solární konstantou, protože pro průměrnou vzdálenost Země od Slunce je její hodnota stálá. Podle

polohy Země na její eliptické dráze kolem Slunce se hodnoty množství sluneční energie přicházející na povrch atmosféry v průběhu roku pohybují od 1438 do 1345 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Při průchodu atmosférou se absorbuje nejméně jedna třetina slunečního záření (ve vodní páře, rozptyluje se a odráží v mracích, na částicích a aerosolech). Veškeré sluneční záření přicházející na zemský povrch se nazývá globální, zahrnuje přímé i rozptýlené záření všech vlnových délek. Při zatažené obloze postrádá sluneční světlo dopadající na zemský povrch složku záření přímého, je tvořeno pouze zářením rozptýleným. Hustá oblačnost odráží a pohlcuje velkou část slunečního záření. Zatímco při jasné letní obloze přichází na zemský povrch až $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ slunečního záření, při husté oblačnosti prochází pouze několik desítek $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Za jasného letního dne přichází na 1 km^2 až 1000 MW , na 2 km^2 tedy přichází energie srovnatelná s výkonem jaderné elektrárny Temelín.

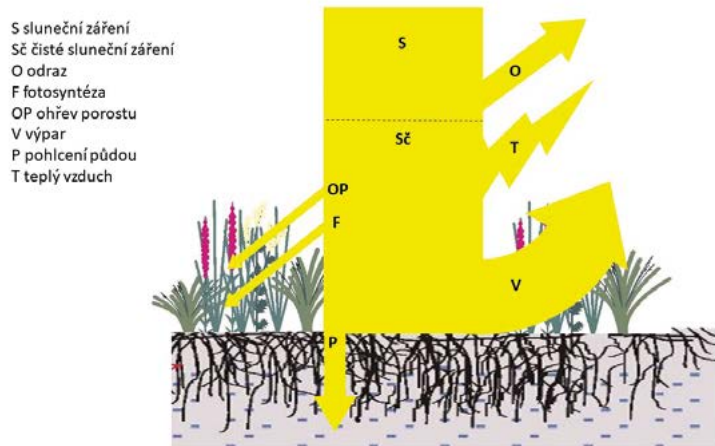


Obr. 1: Sluneční spektrum vypočítané podle Planckova zákona (2), měřené na vnější hranici zemské atmosféry (3), na zemském povrchu (4). V $3 - 10 \mu\text{m}$ je znázorněno dlouhovlnné záření vysílané zemským povrchem. Sklo propouští krátkovlnné sluneční záření do vlnové délky přibližně $2,4 \mu\text{m}$ a nepropouští záření dlouhovlnné/teplo (6). Z přicházející sluneční energie má největší intenzitu oblast viditelného spektra (světlo). Sluneční záření obsahuje za viditelným spektrem ještě infračervenou část. Na diagramu č. 4 jsou znázorněny absorpční pásy vodní páry a kyslíku. Vodní pára absorbuje též dlouhovlnné záření podobně jako CO_2 (Rosenberg 1974; Cihelka 1997).

5.2. Distribuce sluneční energie v krajině

Sluneční záření, které dopadá po průchodu atmosférou na zemský povrch, se částečně **odráží**, částečně **ohřívá zemský povrch** a od něj se **ohřívá vzduch**. Ten turbulentně proudí vzhůru (**zjevné teplo**), část energie spotřebovaná na výpar vody z půdy (evaporace) a z rostlin (transpirace) se označuje jako latentní, skryté teplo **evapotranspirace**, a část přechází do země (**tok tepla do půdy**).

Osud sluneční energie dopadající na povrch s vegetací...



Obř. 2: Distribuce sluneční energie v krajině (podle Šarapatka a kol. 2010)

S: Globální sluneční záření nebo-li globální (celková) sluneční radiace (používaný vědecký termín ISR, „incoming solar radiation“) dopadající na zemský povrch obsahuje přímé i rozptýlené záření všech vlnových délek. Při zatažené obloze postrádá sluneční světlo dopadající na zemský povrch složku záření přímého, je tvořeno pouze zářením rozptýleným. Hustá oblačnost pohlcuje velkou část slunečního záření.

O: Odražené záření (vědecky R_r , „radiation reflected“): Poměr mezi zářením odraženým a dopadajícím se nazývá albedo (α). Vysoké albedo (vysoký odraz) má světlý, suchý povrch. Naopak nízké albedo má tmavý povrch, zejména voda a tedy i vlhká vegetace. Ve slunných dnech odráží světlá betonová plocha až 30 % energie, zatímco vodní hladina rybníka odráží nanejvýš 10 %. Odraz různých typů vegetace se příliš neliší a pohybuje se okolo 20 %, relativně méně odráží po většinu roku vegetace dobře zásobená vodou.

Sč: Čisté sluneční záření (vědecky R_n „net radiation“). Tok krátkovlnného a dlouhovlnného záření mezi zemským povrchem a atmosférou přes jednotku plochy se nazývá čistá radiace (čisté záření). Je to rozdíl sumy veškeré přicházející energie a sumy veškeré energie odcházející (vyzařované, emitované). Sluneční záření se odráží (albedo) a ohřívá povrch, který potom vyzařuje/emituje dlouhovlnné záření. Je tedy nutné rozlišovat odraz a vyzařování.

T: Teplý vzduch (vědecky H , „sensible heat“, zjevné teplo): Sluneční energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch, který turbulentním prouděním stoupá vzhůru. Vzrůstající teplotu povrchu i vzduchu vnímáme a můžeme ji měřit teploměrem, proto se nazývá teplem zjevným (citelné, pocitové). Letci znají vzestupné proudění ohřátého vzduchu pod pojmem termika.

V: Výpar (skupenské teplo, vědecky L^*E , „latent heat“, latentní, skryté teplo evapotranspirace) je energie využitá k přeměně skupenství kapalného na skupenství plynné. Při kondenzaci vodní páry zpět na kapalinu na chladných místech nebo v atmosféře se skupenské teplo opět uvolňuje.

P: Tok tepla do půdy (vedení tepla, vědecky G , „ground heat“). V létě se půda postupně ohřívá (tok tepla je kladný), v zimě nebo během chladné noci v létě půda chladne (tok tepla je záporný).

F: Fotosyntéza (vědecky P , „photosynthesis“). Tok sluneční energie fotosyntézou do biomasy rostlin tvoří velmi malou část celkové energetické bilance (max. 1 %). Počítá se jako množství sluneční energie vázané ve vznikající biomase. V našich podmínkách činí za slunného počasí a dostatku vody denní přírůstek sušiny přibližně $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, což odpovídá průměrnému energetickému toku $4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

OP: Ohřev porostu (vědecky J , „canopy warming“). Množství energie spotřebované na ohřev porostu závisí na množství biomasy a obsahu vody v této biomase ($4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} = 1,16 \text{ Wh}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$, dříve $1 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

Tělesa vyzařují dlouhovlnné záření. Teplejší těleso předává teplo tělesu chladnějším. Podle Stefanova–Boltzmannova zákona intenzita vyzařování černého tělesa roste se čtvrtou mocninou teploty zářícího tělesa ($I = \sigma T^4$). Prakticky to například znamená, že povrch země chladne v noci rychleji proti chladné jasné obloze nežli při zatažené obloze. Mraky mají vyšší teplotu nežli jasná obloha bez mraků. Intenzitu toku energie dlouhovlnného záření lze na základě Stefanova–Boltzmannova zákona odhadnout: rozdíl $1 \text{ }^\circ\text{C}$ představuje tok přibližně $5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, rozdíl $10 \text{ }^\circ\text{C}$ představuje potom tok $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

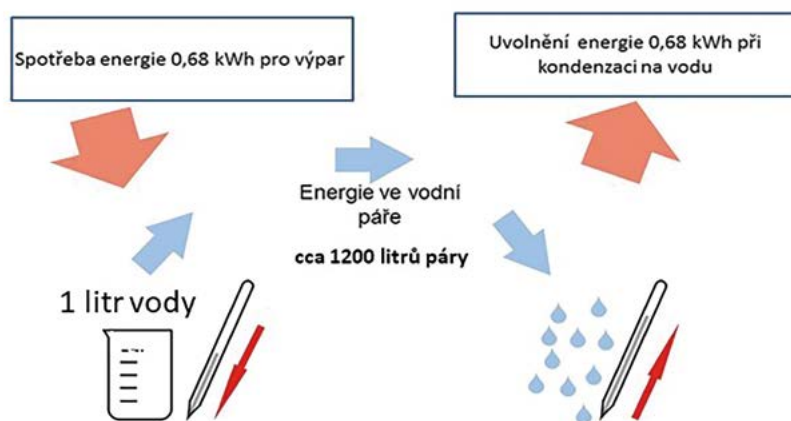
5.3. Výpar a kondenzace vody, fyzikální principy v biologii rostlin

O roli vegetace v distribuci slunečního záření a koloběhu vody v krajině se mluví také jako o „klimatizačním efektu“ vegetace v krajině. Pro jeho pochopení je nutná aplikace elementárních fyzikálních principů – přenos tepelné energie související se změnami skupenství vody z kapalného na plynné a naopak.

Skupenské výparné teplo vody udává, kolik energie je potřeba dodat k výparu 1 l vody. Skupenské výparné teplo vody je při běžné teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $2,45 \text{ MJ/l}$. To je přibližně $0,68 \text{ kWh}$ sluneční energie (přepočít $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$, $2450 : 3600 = 0,68 \text{ kWh}$). Při výparu 1 litru vody je tedy ve vodní páře „uschováno“ přibližně $0,68 \text{ kWh}$ sluneční energie. Při poklesu teploty dochází ke kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Energie vázaná ve vodní páře se opět uvolňuje a ohřívá povrchy, na nichž se vodní pára sráží.

S výparem a kondenzací souvisí i mírné změny tlaku vzduchu. Z 1 litru vody se vytvoří 1245 litrů vodní páry (standardní molární objem $V_m = 22,414 \text{ dm}^3$ při $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a normálním tlaku), 1 l vody obsahuje 55,55 mol vody.

Molární hmotnost vody je $16 + 2 = 18$ g. Při výparu tlak vzduchu roste, při kondenzaci tlak vzduchu klesá.



Obr. 3: Schematické znázornění energetických změn při výparu a kondenzaci vody

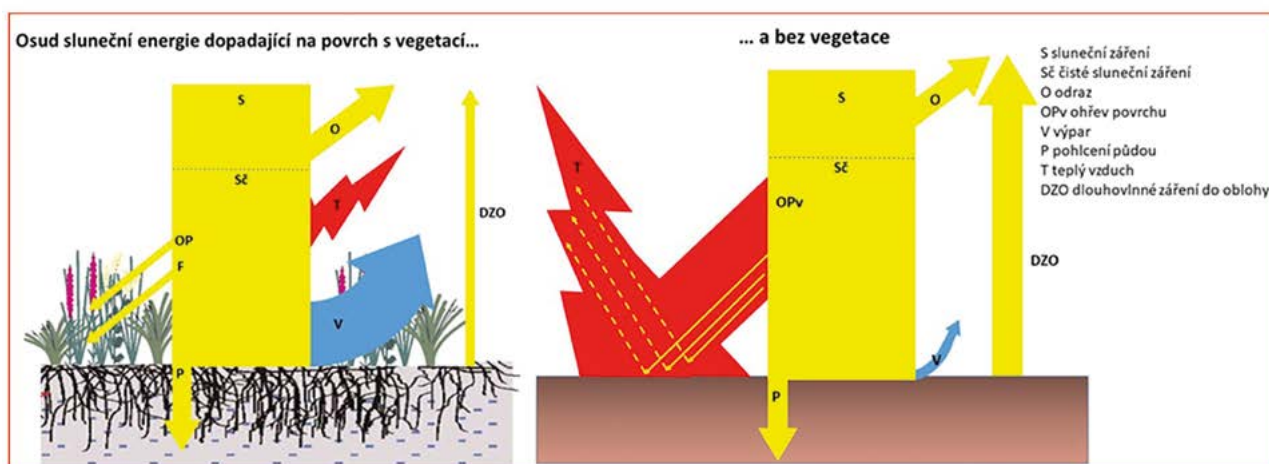


Obr. 4: Žákům známé příklady výparu a kondenzace v okolním světě

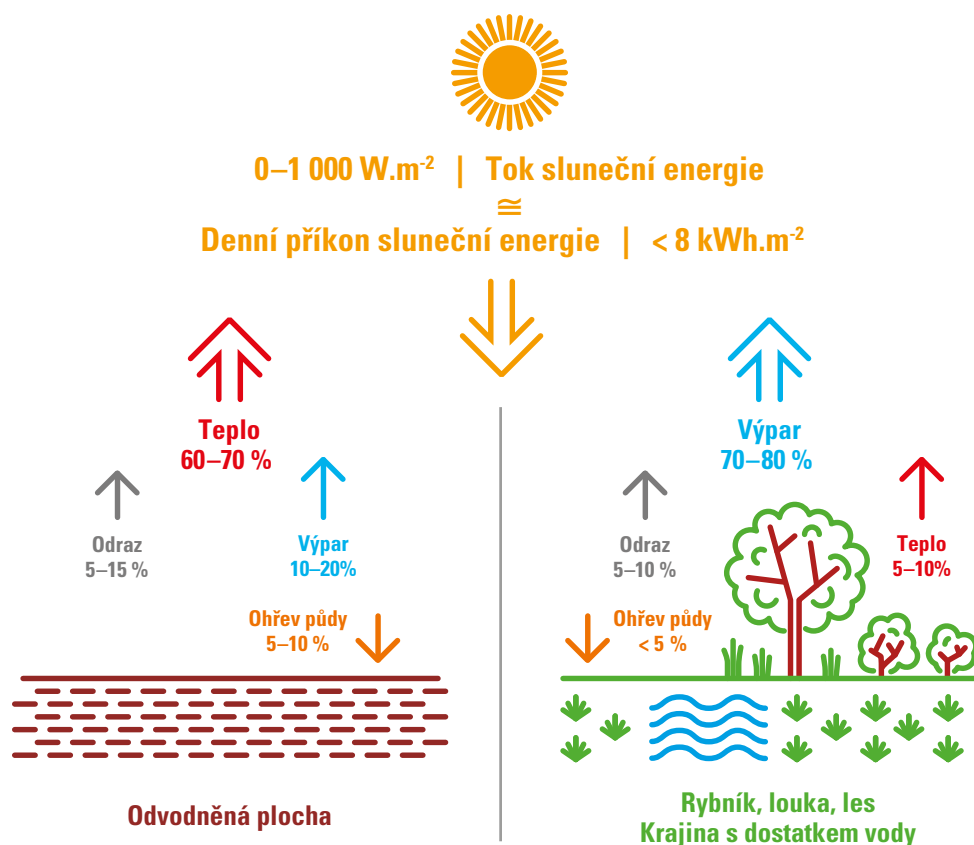
5.4. Role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině

Osud sluneční energie dopadající na zemský povrch se významně liší v krajině s dostatkem vegetace zásobené vodou a v krajině s nedostatečným vegetačním krytem. Jednoduchým měřením a za použití níže doporučené měřicí techniky je možné se přesvědčit, že v našich podmínkách dopadá za jasného letního

dne až $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Pokud sluneční energie přichází na suchý povrch bez vegetace, přeměňuje se převážně na zjevné teplo (obr. 5). Od ohřátého povrchu se pak ohřívá vzduch. Lehký teplý vzduch stoupá vzhůru. Zrychluje se tak i proudění vzduchu. V krajině zásobené vodou a pokryté vegetací se však podstatná část slunečního záření (např. 80 %) spotřebovává na výpar vody (obr. 6). Rozdíl v distribuci sluneční energie na odvodněné ploše a ve vegetaci dobře zásobené vodou je ve slunném dnu v rozsahu několika set $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Na evapotranspiraci se spotřebovává $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ i více v závislosti na vlastnostech porostu, stupni zásobení vodou apod. Již víme, že na výpar jednoho litru vody o teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ se spotřebuje $2,45 \text{ MJ} \approx 0,68 \text{ kWh}$ sluneční energie. Vzrostlý strom zásobený vodou s poloměrem koruny 4 m za jasného dne odpaří cca 200 l vody. Na výpar tedy spotřebuje 136 kWh sluneční energie. Tato energie se neuvolní jako zjevné (pocitové) teplo. Stromy (a vegetace jako taková) tímto způsobem chladí sebe i své okolí. Evapotranspirace má navíc dvojnásobný klimatizační efekt – ochlazuje výparem a ohřívá kondenzací (obzvláště v noci), přispívá tedy k vyrovnávání teplotních gradientů v krajině. Ohřev díky kondenzaci má pro zemědělce, sadaře a vinaře velký význam např. v období náhlých jarních mrazů.



Obr. 5: Schematické znázornění distribuce sluneční energie v krajině s vegetací a bez vegetace. Na schématech je patrný rozdíl ve velikosti šipek představujících výpar a teplý vzduch. V krajině s vegetací představuje největší šipka V – tedy velký výpar (evapotranspiraci), tzn. většina sluneční energie se váže do vodní páry jako tzv. „latentní teplo“ a pro ohřev vzduchu (šipka T) od povrchu zůstává tak méně energie. Naopak v krajině bez vegetace chybí voda, která by mohla vázat energii pro výpar, odpařuje se malé množství vody z půdy (malá šipka V), většina energie je tak využita pro ohřev povrchu a od něj se ohřívá vzduch (velká šipka T), (podle Šarapatka a kol. 2010, upraveno).



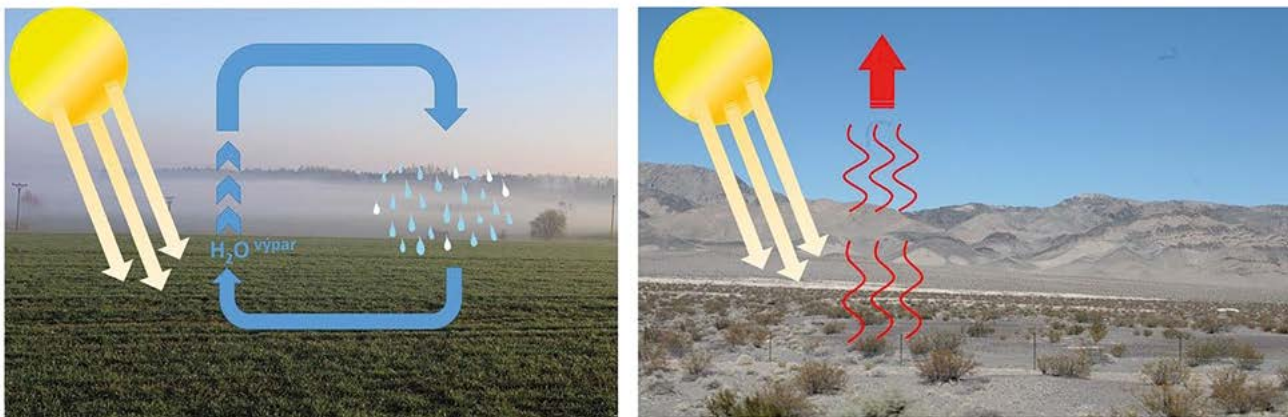
Obr 6: Rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a suché krajině bez vegetačního krytu a vodních nádrží. Odvodněná plocha s nedostatkem vegetace se přehřívá, ohřátý vzduch stoupá vzhůru a nasává vlhkost i z okolí. Krajina s vegetací a dostatkem vody se chladí výparem vody, chladný vzduch stoupá zvolna vzhůru a brzo dosáhne rosného bodu, tvoří se mraky, mlha, voda se vrátí jako drobný déšť.

5.5. Jak vegetace vrací vodu do krajiny

Výpar z vegetačního krytu stojí na začátku tzv. krátkého cyklu vody, kterým se odpařená voda z krajiny vrací zase zpět (obr. 7). Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se na chladných místech (výše v atmosféře, v noci, ráno) potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Vodní pára se sráží na kapičky vody, které vytvářejí oblačnost, ze které vypadávají mírné srážky. Územní výpar zvýšený působením vegetačního krytu tedy zvyšuje tvorbu oblačnosti a srážek v území, čímž dochází k navrácení vody zpět do krajiny. Nejkratší cestou návratu vody z atmosféry zpět do krajiny je tvorba horizontálních (usazených) srážek, zejména rosy a jinovatky. Navíc mlha a oblačnost zásadním způsobem snižují průnik slunečního záření na zemský povrch (o tom se mohou žáci přesvědčit měřením intenzity slunečního záření za jasného a oblačného dne – popis měření uveden níže). Naopak na místech bez vegetačního krytu se většina sluneční energie přemění na teplo, suchý teplý vzduch rychle stoupá vzhůru od ohřátého suchého povrchu, zrychluje se vzestupné proudění vzduchu, které krajinu dále vysouší. Ohřátý vzduch pojme násobně více vody nežli vzduch chladný. Ohřátý vzduch odnáší vzhůru do atmosféry vodní páru,

která se sráží až vysoko v atmosféře. Nevrací se proto zpět ve formě mlhy, rosy nebo drobného deště. 1 m³ vzduchu o teplotě 21°C pojme při normálním atmosférickém tlaku cca 18 gramů vodní páry, zatímco vzduch o teplotě 40°C pojme cca 50 gramů vodní páry při 100% nasycení, tedy maximální absolutní vlhkosti vzduchu. Vzduch o teplotě 40°C, který obsahuje 18 gramů vodní páry má relativní vlhkost 36 % a vynese stejné množství vodní páry mnohem výše nežli vzduch o teplotě 21 °C .

Pochopení krátkého cyklu vody je důležité k vyvrácení jedné ze žakovských miskoncepcí, a sice že vegetace odvádí díky výparu vodu z krajiny.



Obr. 7: Význam tzv. krátkého cyklu vody v krajině. Výpar vody z listů rostlin je někdy mylně označován jako „ztráta vody“. Z krajiny s vegetací na obrázku vlevo se však voda neztrácí. Těžký vzduch s vodní párou stoupá pomalu vzhůru, po kondenzaci vodní páry se voda vrací zpět jako mlha nebo déšť. Říkáme tomu krátký cyklus vody. Naopak krajina bez vegetace na obrázku vpravo se dále vysušuje. I zdánlivě „suchá půda“ obsahuje malé množství vody. Od rozpáleného povrchu se ohřívá vzduch, lehký teplý vzduch s malým množstvím vodní páry rychle proudí vzhůru, zrychluje se proudění vzduchu, krajina dále vysychá. Krátký cyklus vody se přerušil. Na obr. vlevo jihočeská krajina s lesy a ranními mlhami způsobenými kondenzací vodní páry ve vzduchu. Vpravo Death Valley, Kalifornie, USA, jedno z nejteplejších a nejsušších míst na Zemi.

5.6. Transpirace jako součást vodního režimu rostliny

Role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině je založena na fyziologickém ději transpirace. Principy transpirace nejsou součástí výuky na základních školách, avšak z hlediska pedagogovy didaktické znalosti obsahu zejména během terénních didaktických experimentů považujeme za důležité připomenout na tomto místě alespoň stručně základy tohoto fyziologického děje.

Význam vody pro rostlinu

Voda tvoří většinu objemu rostlinného těla. Představuje pro rostlinu jednu z nezbytných existenčních podmínek. Pokud je zásobování vodou omezeno, dochází ke snížení aktivity enzymů, zpomalení všech fyziologických dějů v rostlinném těle a následně k celkovému zpomalení vývoje rostliny. Extrémní

vysušení nebo dlouhodobě omezený přísun vody může mít pro rostlinu letální účinky. Jak již bylo uvedeno, voda je pro rostlinu důležitým **termoregulačním činitelem**. Díky průduchy regulovatelné transpiraci, při které je přebytečná tepelná energie spotřebována k přeměně vody ze skupenství kapalného na skupenství plynné (vodní pára) je zamezeno přehřívání rostlinného organismu. Tímto způsobem zpracuje rostlina i více než 50 % sluneční energie dopadající na její povrch. Pomocí vody jsou v rámci rostlinného těla roznášeny jak živiny, tak i produkty fotosyntézy a další metabolity. Proto je voda důležitým **transportním prostředkem** v rostlinném těle. Je **rozpuštědlem** chemických látek podílejících se na metabolismu a **chemickým prostředím** všech metabolických reakcí v rostlinném těle probíhajících. Udržuje tvar rostliny. Je **zdrojem kyslíku a vodíku pro fotosyntézu**. Z molekuly vody pochází také kyslík, který se uvolňuje při fotosyntéze do ovzduší.

Souvislost výparu a nasávání vody kořeny

Jak je možné, že se voda dostane z kořenů až do nejvyšších listů např. dvacetimetrového stromu? Jak překoná zemskou přitažlivost?

Pohyb vody rostlinným tělem i ve směru proti zemské přitažlivosti je způsoben gradientem tzv. vodního potenciálu. Vodní potenciál je fyziologická veličina, jejíž velikost je závislá na řadě dílčích faktorů (bližší vysvětlení viz kniha „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“). Zjednodušeně lze vodní potenciál charakterizovat jako veličinu určující schopnost buňky nasávat vodu (tzv. savá síla buňky). Teoreticky vzato, největší savou sílu by dle definice vodního potenciálu měla zcela suchá buňka, nejmenší savou sílu naopak buňka plně nasycená vodou. V rámci rostlinného těla tedy místa s větší savou silou nasávají vodu z míst s menší savou silou, protože vodní potenciál má tendenci se vyrovnávat. Gradient vodního potenciálu je těsně spjat s transpirací, která je hlavním odvodním mechanismem vody z rostliny. K transpiraci dochází průduchy v listech. Nejnižší vodní potenciál (a největší savou sílu) mají proto buňky v těsné blízkosti průduchů. Protože vodní potenciál má tendenci se vyrovnávat, nasávají tyto buňky vodu z buněk postavených níže, tedy dále od průduchu a tento proces se pak posouvá po celé délce rostlinného těla. Na základě rozdílů ve vodním potenciálu se tak voda může transpiračním proudem pohybovat proti směru působení gravitační síly i na vzdálenosti několika desítek metrů. Jednoduše shrnuto: Hnací silou pohybu vody stonkem je sluneční energie. Vodní pára se odpařuje průduchy a zároveň voda nasává kořeny a je vedena cévními svazky až do listů. Při omezení přísunu vody rostlina zavře průduchy, omezí výpar a přežije tak krátkodobý nedostatek vody. Dlouhodobý nedostatek vede ovšem k poškození.

Faktory ovlivňují transpiraci

Pro zdárný průběh didaktických experimentů a terénních měření v rámci výuky je nutné vědět, jaké vnější či vnitřní faktory transpiraci ovlivňují a s ohledem na ně potom tyto experimenty plánovat.

● Průduchy

Vodní pára odchází z listu prostřednictvím průduchů. Transpirace je tedy ovlivněna především průduchy, které se mohou otevírat či uzavírat v závislosti na řadě vnějších i vnitřních faktorů, se kterými musí být pedagog dobře obeznámen. Nebudou-li průduchy otevřené, didaktické pokusy zaměřené na chladičící efekt vegetace nebudou dobře proveditelné.

Průduchy jsou pokožkové útvary, jejichž hlavní funkcí je výměna plynů mezi rostlinou a prostředím. Nejdůležitějšími plyny, které přes průduchy procházejí, jsou oxid uhličitý vstupující do fotosyntézy a vystupující při procesu dýchání, kyslík důležitý pro dýchání a uvolňovaný při fotosyntéze a vodní pára, která odchází z rostliny při transpiraci. Prostřednictvím průduchů jsou tedy propojeny dva fyziologické děje – fotosyntéza a transpirace. Reaguje-li rostlina na stresové podmínky okolního prostředí zavřením průduchů, zmenší se rychlost fotosyntézy i transpirace a efekty měřitelné termovizní kamerou se snižují. Existuje několik typů průduchů, jejichž stavba se mírně odlišuje. Vždy je průduch tvořen dvěma svěracími buňkami, jež obklopují průduchovou štěrbinu, která může být pohybem těchto buněk uzavírána a otevírána. Svěrací buňky obsahují na rozdíl od pokožkových buněk chloroplasty. Pod průduchem je mezibuněčný prostor, zvaný vnitřní dýchací dutina. Průduchy jsou umístěny převážně na spodní straně listu, existuje však značné množství rostlin, včetně řady stromů, u kterých najdeme průduchy jak na spodní tak i na svrchní straně listu. Naopak vodní rostliny s listy plovoucími na hladině mají průduchy pouze na svrchní straně listu.

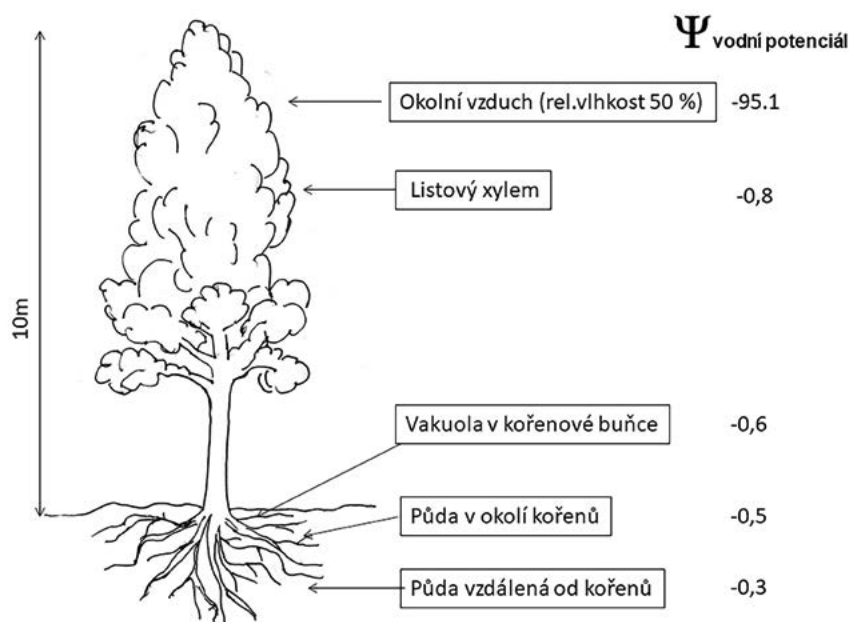
Otevření průduchů je závislé především na:

- **dostupnosti vody v půdě.** Jedná se o zásadní limitující faktor vnějšího prostředí. Při poklesu obsahu vody v půdě, klesá turgor (vnitřní napětí) v buňkách a svěrací buňky se zavírají. Pro didaktické účely dokumentující transpiraci je tedy potřeba zajistit dostatečné zásobení rostlinného materiálu vodou. Uzavření průduchů je ovlivněno stresovým hormonem ABA (kyselina abscisová), který se syntetizuje v kořenech, pokud rostlina pocítí nedostatek vody v půdě. Následně je tento hormon transportován do listů. V našich podmínkách proto v letním období v brzkých odpoledních hodinách u většiny rostlin klesá rychlost transpirace. Z didaktického hlediska je proto výhodnější provádět terénní experimenty a měření v horkých dnech spíše v dopoledních hodinách. Terénní měření v poledních a odpoledních hodinách nejsou pro žáky vhodná ani vzhledem k nebezpečí úžehu.
- **množství světla.** Otevírání a zavírání průduchů je pohyb vyznačující se denní rytmicitou. U většiny našich rostlin se průduchy ráno otevírají a večer zavírají. Světlo podmiňuje otevření průduchů. Tato podmínka může být limitující pro pokusy prováděné ve třídě. Intenzita běžného denního světla v učebně často není dostatečná pro otevření průduchů, doporučujeme umístit pokusné rostliny na okenní parapety orientované na jih.
- **teplotě.** Se zvyšující se teplotou se obecně zvyšuje výpar, rychlost transpirace se tedy zpočátku zvyšuje přímo úměrně se zvyšující se teplotou. Avšak v případě, že dojde vlivem vysoké teploty k vysušení půdy a dostupnost vody pro rostlinu je omezená, rostlina průduchy uzavře a dojde k poklesu transpirace.

- **vlhkosti vzduchu.** Vodní pára může přecházet do okolního vzduchu v případě, že není vodními parami nasycen. Čím sušší je tedy okolní vzduch, tím rychleji může být vodní pára z listu odváděna. Naopak je – li vzduch nasycen vodními parami (např. brzy ráno v obdobích, kdy se střídají vyšší denní teploty s poměrně chladnými nocemi) rostliny nemohou odvádět vodní páru průduchy při transpiraci. Transpirace pak bývá částečně nahrazena gutací. Na okrajích listů některých rostlin se objevují tzv. „gutační kapky vody. Je vhodné doplnit didaktické experimenty o měření relativní vlhkosti vzduchu.
- **rychlosti proudění vzduchu.** Prouděním vzduchu jsou rychleji odváděny vodní páry z okolí listu a vzduch se vysušuje. Rychlejší proudění okolního vzduchu tedy usnadňuje transpiraci. Z tohoto důvodu je možné některé níže uvedené didaktické aplikace doplnit formou rozšiřujících úloh o měření rychlosti větru anemometrem.
Je důležité si uvědomit, že reakce různých druhů rostlin na podmínky vnějšího prostředí se může lišit.

Měření pohybu vody rostlinným tělem.

Údaje o množství vody, které vegetace vydává do svého okolí pomocí transpirace, s nimiž tato metodika pracuje, byly získány na základě přesných vědeckých měření. Moderní věda dnes již umí přesně určit množství vody, které rostliny díky transpiraci vydávají do svého okolí. Rychlost transpirace lze měřit např. na úrovni listu pomocí infračervených plynových analyzátorů, jimiž se zároveň měří i rychlost fotosyntézy. Pro naše účely jsou vhodnější charakteristikou údaje o množství vody procházejícím např. kmeny stromů zjištěné metodou měření mízního toku („sap flow“). Blíže se věnujeme metodám měření vodního režimu rostlin v metodice pro VŠ studenty učitelství.



Obr. 8: Vedení vody rostlinou na základě rozdílů ve vodním potenciálu. Tzv. transpirační proud začínající v buňkách listu ovlivňuje nasávání vody kořeny. Uzavření průduchů proto znamená přerušování příjmu vody kořeny (údaje v MPa podle Taize a Zeigera, 2002, upraveno)

5.7. Příklady klimatizační role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině

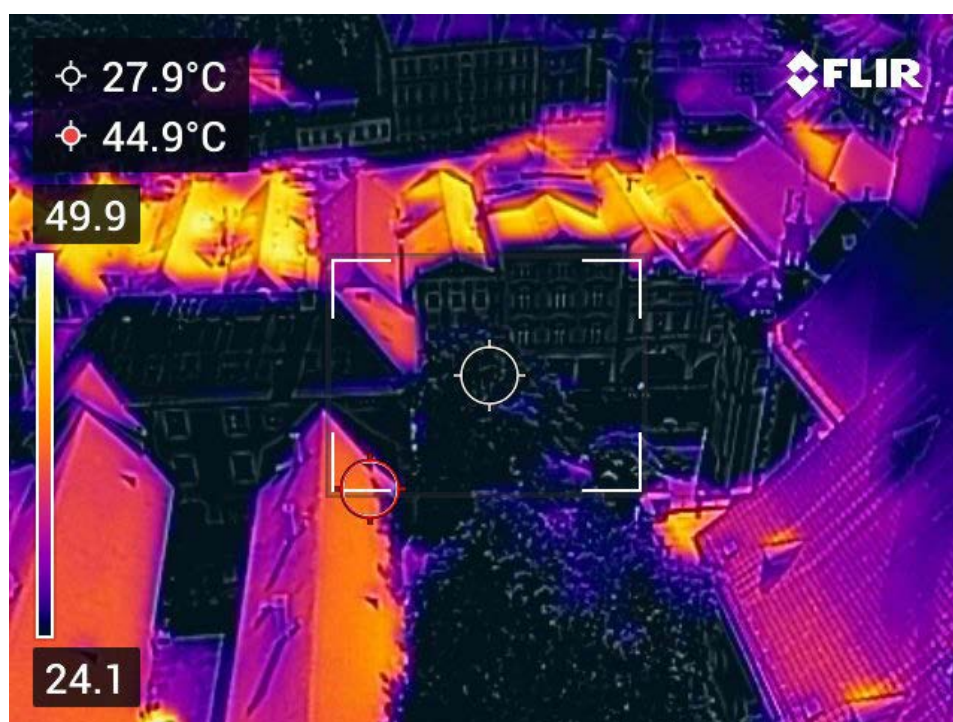
Chladicí schopnost vegetace lze nejlépe dokumentovat pomocí termovizních snímků nebo měření povrchové teploty pomocí infračervených teploměrů. Níže uvádíme několik termovizních snímků pořízených termovizními kamerami z archivu ENKI, o.p.s.



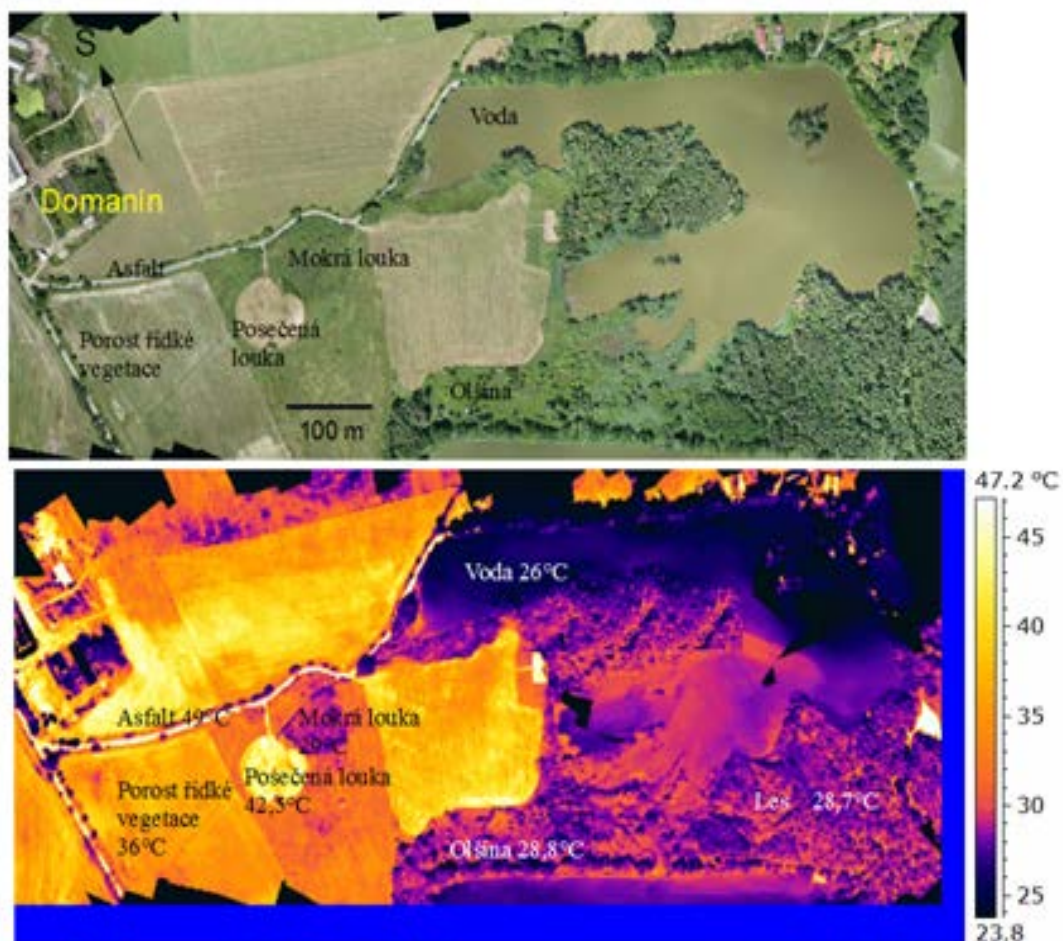
Obr. 9: Teplota na ulicích ve městě, které jsou chráněny stromořadím, se velmi liší od teploty na ulicích bez stromů. Na horním snímku je ulice bez stromů, kde je teplota povrchu silnice 50 °C, teplota chodníku 52 °C, strom na okraji má 34 °C. Poměrně vysoká je i radiční teplota nízko sečeného trávníku –45 °C. Na dolním snímku ulice se stromořadím je teplota chodníku ve stínu stromů 33 °C, teplota osluněného povrchu chodníku 47 °C. Teplota chodníku je zde nižší než teplota lidského těla, 36 °C, lidé se tedy ve stínu stromů chladí.



Obr. 10: Termovizní snímek náměstí Přemysla Otakara II. v Českých Budějovicích při pohledu z blízké Černé věže pořízen v srpnu 2020. Zatímco dlažba na většině náměstí o rozměru 1 ha dosahuje povrchové teploty nad 50 °C, stromy v blízkém parku (v horní části snímku) mají povrchovou teplotu kolem 25 °C. Nejchladnějším místem náměstí je voda v Samsonově kašně. Rozpálené střechy dosahují teploty až 54 °C. Od rozpálených povrchů se ohřívá vzduch a tím se zvyšuje pocitová teplota pro obyvatele města.



Obr. 11: Klimatizační efekt vegetace ve městě je zřetelný na termovizním snímku při pohledu z výšky na koruny stromů a střechy domů v jejich těsném sousedství. Povrchová teplota korun stromů 27,9 °C povrchová teplota střechy 44,9 °C



Obr. 12: Různý typ vegetačního krytu v krajině se projevuje rozdílnými povrchovými teplotami. Na termovizním snímku ze vzducholodi jsou patrné rozdíly: mokrá louka nesečená 29 °C, naopak posečená 42,5 °C, les 28,7 °C, porost řídké vegetace 36 °C. Asfalt 49 °C. Snímek z oblasti Domanína u Třeboně.

Shrnutí

Intenzita slunečního záření za jasné oblohy dosahuje několika set až 1 000 W.m⁻². V krajině s trvalou vegetací a dostatkem vody se sluneční energie váže převážně výparem vody (evapotranspirace) do vodní páry a uvolňuje se na chladných místech při kondenzaci vodní páry zpět na vodu kapalnou. Vodní pára z 1 litru vody zaujímá objem přibližně 1200 litrů. Výpar vody a kondenzace vodní páry zpět na vodu kapalnou jsou provázány změnami tlaku vzduchu.

Toky energie prostřednictvím výparu a kondenzace dosahují stovek W.m⁻². Odvodněné plochy se přehřívají, od nich ohřátý vzduch (zjevné teplo) stoupá vysoko do atmosféry a odnáší z krajiny vodní páru. Přehřáté odvodněné plochy vysušují i okolní lesy, mokřady a rybníky.

6. Metodické listy pro učitele

6.1. Přehled měřených fyzikálních veličin a jednotek, přístroje k jejich měření a další pomůcky pro výuku

Pro základní žákovská měření v rámci výukových aktivit je potřeba měřit intenzitu slunečního záření (ozáření) a teplotu. Obě tyto veličiny znají žáci devátého ročníku z výuky fyziky. Ačkoliv k měření těchto veličin se na odborné úrovni v meteorologických stanicích používají vysoce přesné a cenově náročné přístroje, díky stále pokračujícímu vědeckotechnickému pokroku jsou na trhu cenově dosažitelné a žákovsky ovladatelné přístroje, které lze pro účely výuky spolehlivě použít.

6.1.1. Sluneční záření

Pro výuku se osvědčily kompaktní ruční měřiče příkonu slunečního záření, solarimetry, založené na polovodičovém efektu. Jejich výhodou oproti většině luxmetrů je možnost odečtu intenzity slunečního záření přímo na displeji v energetických jednotkách ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). S jednotkou „Watt“ se žáci setkávají ve fyzice. Tento typ měřičů používají v praxi např. výrobci fotovoltaických elektráren. Při ověřování této metodiky používaný přístroj Extech měří sluneční záření ve spektrální oblasti 400-1100 nm v rozsahu 0 – 3990 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Rozsah druhého ověřeného přístroje CEM je o něco menší, nicméně pro didaktické účely dostatečný.

V meteorologických stanicích používané termočláňkové radiometry jsou sice dokonalejší, ale jejich cena je řádově vyšší a k vyhodnocení dat potřebují navíc přesný mikrovoltmetr nebo převodník, odečet naměřených dat je tedy pro žáky obtížný a málo názorný.

Žáky je potřeba před začátkem terénního měření upozornit, že přicházející sluneční energii měříme čidlem orientovaným vodorovně. Vyšší hodnotu naměříme při kolmém dopadu slunečních paprsků na čidlo, tak je ovšem orientována koruna stromu i listy trav.



Obř. 13. Měřiče intenzity slunečního záření (ozáření)

6.1.2. Teplota

Během výukových aktivit bude zjišťována povrchová teplota a teplota okolního vzduchu. Povrchová teplota bude měřena a) bezkontaktním infračerveným teploměrem (IR), b) kontaktním čidlem. Pro posouzení celkového teplotního obrazu, tedy rozložení teplot je vhodná termovizní kamera, jejíž ceny postupně klesají a jednodušší verze jsou cenově dostupné.

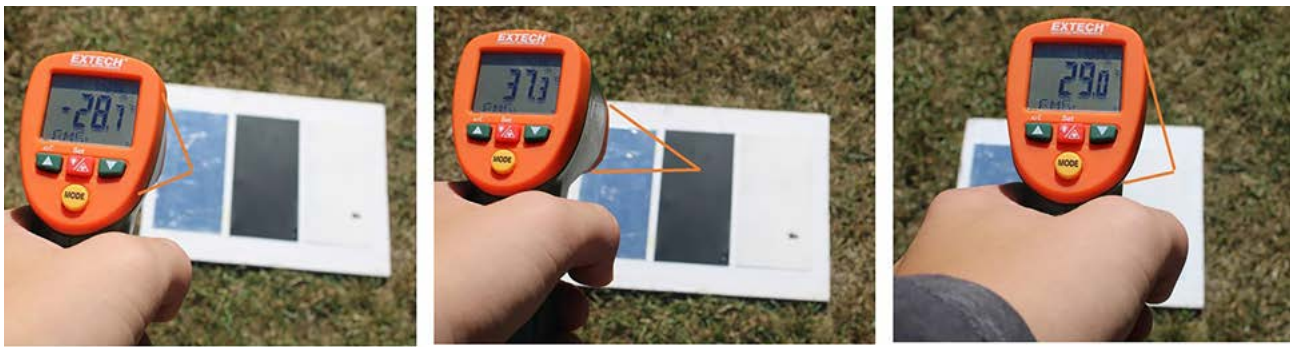
Přístroje k měření povrchové teploty:

- a. Infračervený teploměr (s kontaktním čidlem)
- b. Termovizní kamera

Infračervený bezkontaktní teploměr je dnes nejčastěji používaným typem teploměru. Žáci se s ním setkávají již od útlého dětství, například u lékaře. Je to nejpohodlnější a nejpřesnější přístroj na měření povrchové teploty. Infračervený teploměr (IČ = IR/infrared) měří radiační teplotu. Jeho čidlo (bolometr) je tvořeno kovem (nebo termistorem) s vysokým teplotním koeficientem. Kov chladne nebo se ohřívá při radiační interakci s měřeným objektem a mění se jeho elektrický odpor. Jeho výhodou je, že v podstatě nezávisí na makroskopické struktuře povrchu.

Pro správné měření s IR teploměrem je potřeba pochopit pojem **emisivita** (viz Metodika pro VŠ studenty učitelství přírodopisu, Metodický list č. 1), tedy nakolik se chová měřený objekt jako černé těleso. Chceme – li pochopit emisivitu, je důležité, aby používaný IR teploměr byl vybaven také dotykovou termočlávkovou sondou (lze dohledat u komerčních výrobků), kdy se například u lesklého plechu výrazně liší radiační teplota od skutečné teploty povrchu. V rámci terénních měření pomocí IR teploměru či termovizní kamery se totiž učitel může setkat se situací, kdy žáci naměří velmi nízké radiační teploty lesklých plechových povrchů. Pro vysvětlení tohoto jevu můžeme se žáky provést elementární experiment:

K jeho provedení je potřeba si předem připravit jednoduchou pomůcku, plechy s různým povrchem. Lesklé, bílé a černě nabarvené vzorky Al plechu nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy (dřevo, plast) se používají pro prezentaci pohltivosti, odrazu a emisivity. Povrchovou teplotu těchto plechů měříme IR teploměrem, ale následně také dotykovým termočlávkem, kterým bývá většina IR teploměrů vybavena. Žáci jsou velmi překvapeni, když naměří u lesklého (nenatřeného) plechu teplotu velmi nízkou, často i pod bodem mrazu (obr. 14). Teplota naměřená následně dotykovým teploměrem je však výrazně vyšší. Je nutné upozornit žáky, že při měření nesmějí svým tělem bránit přístupu slunečního záření („stínit“ svým tělem plechy).



Obr. 14: Povrchová (radiační) teplota lesklého plechu měřená IR teploměrem je nižší nežli teplota měřená dotykovým teploměrem, protože lesklý plech odráží směrem do IR teploměru záření oblohy, která je chladná, měříme vlastně teplotu oblohy. Chová se jako zrcadlo, tedy opačně nežli absolutně černé těleso. Černé těleso pohlcuje veškeré záření, podle množství pohlcené energie změní svojí teplotu a vyzařuje záření o vlnové délce odpovídající této teplotě. Odlišnost od absolutně černého tělesa je definována jako emisivita, což je poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Emisivita je bezrozměrná veličina nabývající hodnot od 0 do 1, přičemž absolutně černé těleso má emisivitu 1.

Pro naše následující měření IR teploměrem je důležité, že voda a povrchy obsahující vodu včetně rostlin a půdy mají emisivitu v rozsahu 0,9 – 0,95. Většina materiálů v přírodě má emisivitu nad 0,8 a jejich povrchové teploty můžeme spolehlivě měřit a porovnávat pomocí IR teploměru případně termovize. Pokud jsou na termovizním snímku povrchy s nápadně nízkou teplotou, bývají to materiály zrcadlící teplotu oblohy (lesklá plechová střecha, reflexní skla).

IR teploměry lze vybírat z velkého množství značek. Jsou vybaveny laserovým zaměřovačem. V každém případě je potřeba vybrat model s podsvíceným displejem, vzhledem k tomu, že měření často probíhá na slunci a nepodsvícený displej se pak stává nečitelným.



Obr. 15: Měření ozáření a povrchové teploty. Na volném prostranství je za jasného letního dne intenzita slunečního záření i teplota velmi vysoká. Ve stínu stromu je naměřená povrchová teplota i intenzita slunečního záření mnohem nižší. Obdobné hodnoty lze naměřit v těsném okolí jakékoli školy. Žáci se tak přesvědčí o chladící schopnosti stromu a se znalostí tohoto principu zvažují roli vegetace v krajině.

Finančně náročnější, avšak žáky velmi oblíbená je **termovizní kamera**. Některé modely jsou již dnes cenově dostupné. Její využití při výuce je výhodné z následujících důvodů:

- Zobrazuje teplotní scénu jako celek a ukazuje rozdíly teplot jednotlivých povrchů v daném okamžiku a souvislostech, na kterých je možné vysvětlit mnohé fyzikální děje, které okolo nás probíhají a ovlivňují teplotní pole (odraz, absorpce, výpar).
- Současná mladá generace moderní zobrazující technologie preferuje. Současní žáci patří k tzv. „touch screen generation“. Informace zprostředkované přes displej jsou jim blízké a jsou zvyklí je zpracovávat.
- U současných i jednoduchých a cenově dostupných kamer je možné informace (termosnímky) přenášet přes wi-fi rozhraní do tabletů či na interaktivní tabuli a lze s nimi tak dále pracovat.

Nejlevnější a snadno ovladatelnou variantou termovize je IR teploměr s termovizí (obr. 16)



Obr. 16: Vlevo IR teploměr s termovizí (v ceně kolem 10 tis. Kč), vpravo malá kapesní termokamera (cena kolem 20 tis. Kč). U termovizní kamery je nutné v zájmu přesnosti měření nastavit přibližnou teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, teplotu pozadí a vzdálenost měřeného objektu. Dále je nutné nastavit emisivitu, která je v přírodě v rozsahu 0,9 – 0,95. Emisivity různých povrchů odlišných materiálů byly změřeny a jejich hodnoty jsou uvedeny v návodu pro obsluhu termokamery.

U jednodušších typů termovizních kamer a u běžných IR teploměrů je emisivita nastavena na 0,95 a není jí tedy potřeba pro naše účely měnit.

Měření teploty a relativní vlhkosti okolního vzduchu

K dalším veličinám využitým v terénních experimentech patří teplota okolního vzduchu a relativní vzdušná vlhkost. Teplota vzduchu je veličina, se kterou se setkáváme při každé předpovědi počasí. Měření obou veličin zajišťují buď kombinovaná čidla, která je během měření vhodné mít umístěna v meteorologickém krytu, aby výsledek nebyl ovlivněn přímým osluněním, nebo moderní automatické „meteorologické stanice“, které se pro účely výuky na základní škole ukázaly jako nejnázornější. V rámci terénní výuky se i tyto malé meteorologické stanice snažíme umístit do výšky přibližně 2 m nad povrchem (což odpovídá standardnímu měření teploty v meteorologických stanicích) a také v tomto případě zabránit přístupu přímého slunečního záření. U moderních meteostanic lze pomocí bluetooth připojit i několik externích čidel, což v experimentech umožní umístit tato čidla na různá stanoviště například v prostoru školní zahrady.

Pomocí těchto dvou měřicích přístrojů lze na malém školním pozemku ukázat rozdíl mezi teplotou vzduchu, která je výslednicí působení všech okolních povrchů, oblohy a proudění vzduchu. Názorné jsou rozdíly extrémů teplot na osluněném holém povrchu, ve stínu a na vegetačním povrchu (vzrostlý trávník). Zařazení měření vlhkosti okolního vzduchu společně s měřením jeho teploty do terénní výuky na lokalitách s odlišným vegetačním krytem napomůže žákům uvědomit si souvislosti mezi výparem z vegetace (zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu) a snižováním teploty okolního vzduchu a vyrovnáváním teplotních rozdílů v krajině.

Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi okamžitým množstvím vodní páry ve vzduchu a množstvím páry, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Udává se v procentech (%). Relativní vlhkost vzduchu se též někdy označuje jako poměrná vlhkost.

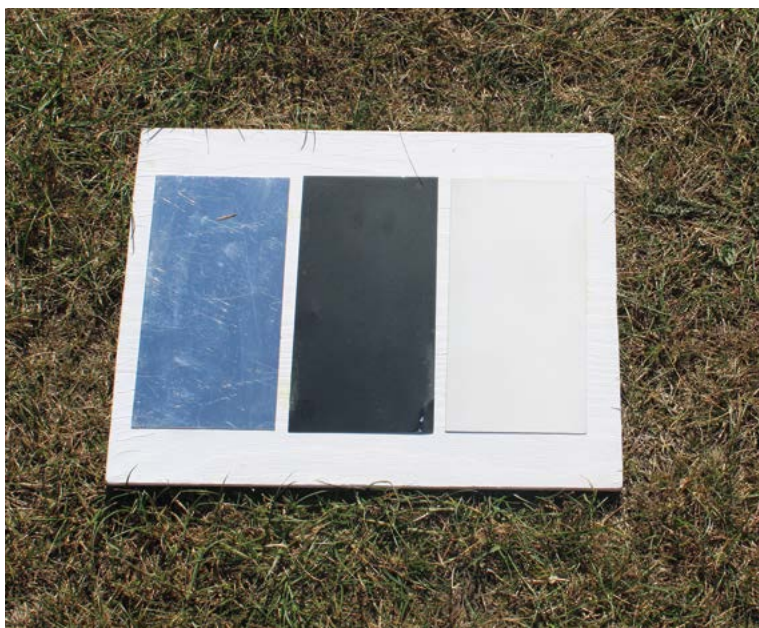
Naměřené hodnoty relativní vlhkosti nám pak umožňují vyhledat v tabulkách absolutní vlhkost, jinak řečeno hustotu vodní páry neboli měrnou hmotnost vodní páry, která vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. V meteorologii se udává nejčastěji v gramech vodní páry na metr krychlový vzduchu. Vzhledem k tomu, že množství sytých par (100% nasycení) závisí především na teplotě vzduchu, mění se relativní vlhkost vzduchu s jeho teplotou i přesto, že absolutní množství vodních par zůstává stejné. Tato vlastnost má velký význam při vzniku oblaků a tím i tvorbě počasí. Pro porozumění principu přenosu energie vodními parami v přírodě je také nutné pochopit pojem rosný bod. Rosný bod (teplota rosného bodu) je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami, relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100%. Pokud teplota klesne pod tento bod, vodní pára kondenzuje na vodu kapalnou. Teplota rosného bodu je odlišná pro různé absolutní vlhkosti vzduchu: čím více je vodní páry ve vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu, čili tím vyšší teplotu musí vzduch (a pára) mít, aby pára nezkondenzovala. Naopak, pokud je ve vzduchu vodní páry jen velmi málo, může být vzduch chladnější, aniž by pára kondenzovala.



Obr. 17: Příklad malé automatické „meteostanice“ ověřené ve výuce

6.1.3. Ostatní pomůcky pro prezentaci v přírodě

- Plechy s různým povrchem nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy např. ze dřeva či plastu (obr. 18). Jejich využití popsáno již výše u vysvětlení emisivity (obr. 14).



Obr. 18: Sada plechů s různým povrchem

- Textil – dva vzorky tmavě zbarvené nasákové tkaniny (kvůli rychlosti a kontrastu, osvědčil se froté ručník) nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy (dřevo, plast) se využívají pro prezentaci pohltivosti a výparu – vázání energie dopadajícího slunečního záření do skupenského tepla, které se projevuje snížením teploty tkaniny. Měřit lze IR teploměrem nebo termovizní kamerou. Dva nasákové vzorky zelené tkaniny, z nichž jeden je namočený a druhý suchý dokumentují chladicí schopnost výparu z rostlin (v tomto případě je zelená barva důležitá proto, že simuluje barvu rostlin). Doplněním o další vzorek látky stejné nasákovosti (např. bílý froté ručník) lze v experimentech dokumentovat po expozici na slunci, že suchý světlý povrch má na slunci vyšší teplotu než mokrý tmavý povrch (černý froté ručník) odpařující vodu (obr. 19 a 20).



Suchý černý ručník 34,7 °C



Suchý bílý ručník 29,3 °C



Moký černý ručník 17,1 °C

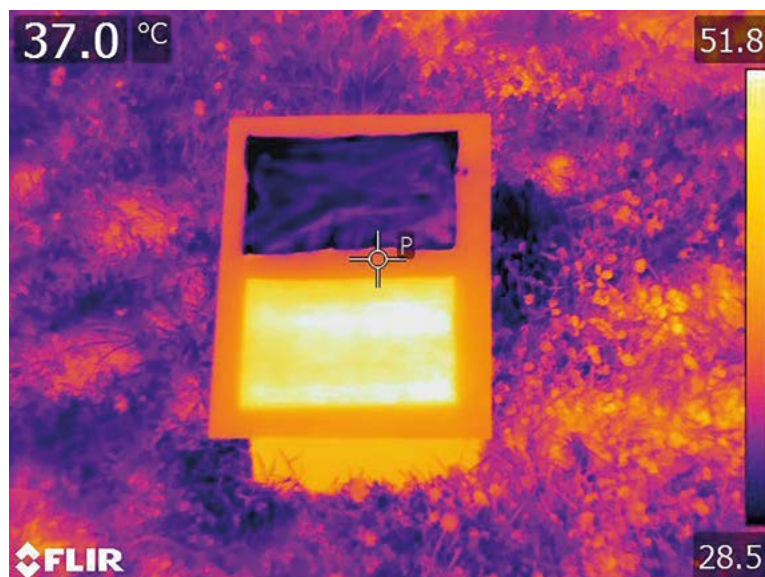


Suchý zelený ručník 34,1 °C



Moký zelený ručník 22,0 °C

Obr. 19: Měření povrchové teploty vzorků tkaniny pomocí IR teploměru



Obr. 20: Rozdíly radiačních teplotách mokrého (v horní části) a suchého (v dolní části) froté ručníku zobrazené termovizní kamerou při krátkodobém přímém oslunění za letního jasného dne:

Teplota vzduchu $T = 24 \text{ °C}$ Relativní vlhkost $Rh = 45 \%$

Ozářenost na vodorovnou plochu = 650 W. m^{-2} Nastavená emisivita $\epsilon = 0,95$

- Na slunci exponovaná umělá rostlina zelené barvy a živá rostlina podobné velikosti – ukázka efektu výparu vody (obr. 21). Živá rostlina se chladí výparem vody (transpirace), umělá rostlina netranspiruje, má tak vyšší povrchovou teplotu. Nevhodné jsou umělé rostliny s „panašovanými listy“



Obr. 21: Dvě vizuálně podobné rostliny břečťanu umístěné v totožných květináčích, nalevo živá rostlina, napravo její umělá varianta.

6.1.4. Sada doporučených měřících přístrojů

Během vývoje této metodiky byla testována řada měřících přístrojů, splňujících výše uvedené požadavky pro měření jednotlivých veličin. Nabídka na trhu je široká a stále se mění, uživatelé této metodiky tedy mohou vybírat z mnoha variant. Pro ilustraci níže uvádíme příklady některých ověřených přístrojů, včetně jejich přibližných cen bez DPH v roce 2021. Snahou autorského kolektivu bylo uvést příklady přístrojů relativně levných, avšak spolehlivých, jejichž přesnost měření byla ověřena a které se pro účely metodiky osvědčily. Tyto příklady nelze chápat jako doporučení či propagaci konkrétních značek. Autoři metodiky prohlašují, že nejsou vázáni žádnými smluvními závazky s jednotlivými výrobci či prodejci uvedených značek.

Základní měření v žákovských terénních úlohách

Základní vybavení pro terénní měření není cenově náročné, skládá se z IR teploměru (nebo termovizní kamery) a měřiče intenzity slunečního záření (ozářenosti). Pro skupinovou terénní výuku je potřeba mít těchto přístrojů několik, dle počtu žáků ve třídě. Osvědčila se výuka v 3 – 4 členných skupinách.

Pro základní terénní žákovské úlohy je postačujícím a zároveň cenově nejpřívětivějším vybavením infračervený teploměr a měřič sluneční energie měřící ve W/m². Vzhledem k tomu, že měření probíhá především na slunci, je potřeba vybírat modely s podsvíceným displejem pro lepší čitelnost hodnot. např.

Měřič příkonu slunečního záření EXTECH SP 505.....3 800 Kč

solar power meter CEM DT 13071 200 Kč

Infračervený teploměr s kontaktním termočláňkovým čidlem

EXTECH IR 267 1 400 Kč

Nebo FLIR TG 565 200 Kč

Ve výuce se velmi osvědčilo a žáky i učiteli bylo velmi vítáno použití termovizní kamery či IR teploměru s termovizí. Doporučujeme proto volitelně:

Termovizní kamera:

IR teploměr s termovizí FLIR TG167 11 000 Kč

Termovizní kamera FLIR C3 s WiFi..... 15 000 Kč

Rozšiřující měření v žákovských úlohách

Měřič a záznamník teploty a relativní vlhkosti

EXTECH RHT50 (vlhkost, teplota a tlak vzduchu)..... 3 300 Kč

Malá meteostanice – např. GARNI 117 1 000 Kč

6.2. Videonahrávky pro použití ve výuce

Pro účely výuky byla vytvořena výuková videonahrávka. Pro flexibilní použití ve výuce byla videonahrávka rozdělena na dvě části. Úvodní cca třiminutová část vybízí žáky k zamyšlení nad jevy, které znají běžně ze svého okolí (chladný stín městského parku vs. rozpálená městská dlažba apod.), obsahuje i termovizní snímky, které navozují základní výzkumnou otázku, zaznívající v závěru videonahrávky: „Jak vlastně chladí rostliny?“. Tato část videonahrávky nemá úlohu vysvětlující, nýbrž jejím úkolem je vzbudit v žácích zájem o problematiku. Proto je videonahrávka vhodná pro úvodní motivaci a vzbuzení žákovského zájmu, navozuje tzv. „AHA efekt“. V následujících modelových úlohách je vzorově použita především na úvod badatelské výuky v rámci úlohy č. 1. Druhá část videonahrávky na otázku z první části „Jak vlastně chladí rostliny?“ odpovídá. Je věnována stromům, u nichž je chladicí efekt pro žáky nejlépe měřitelný doporučenými měřicími přístroji. Nenásilnou formou je v tomto, cca deseti minutovém filmu ústy odborníka a spoluautora této metodiky, doc. RNDr. Jana Pokorného, CSc., ENKI, o.p.s., který se tomuto tématu dlouhodobě a na mezinárodní úrovni věnuje, vysvětlen základní princip role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině. V uvedené části videonahrávky jsou žákům zároveň představeny i měřicí přístroje, které v popisované metodice doporučujeme a s jejichž pomocí mohou v další části výuky provádět samostatná terénní měření v blízkém okolí školy.

6.3. Návrh ppt prezentace s komentářem pro použití ve výuce

Pro účely výkladu nebo shrnutí učitelem při badatelské či projektové výuce byla vytvořena a ve výuce ověřena vzorová ppt prezentace. Samotná ppt prezentace je ve formátu pdf ke stažení zde: <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

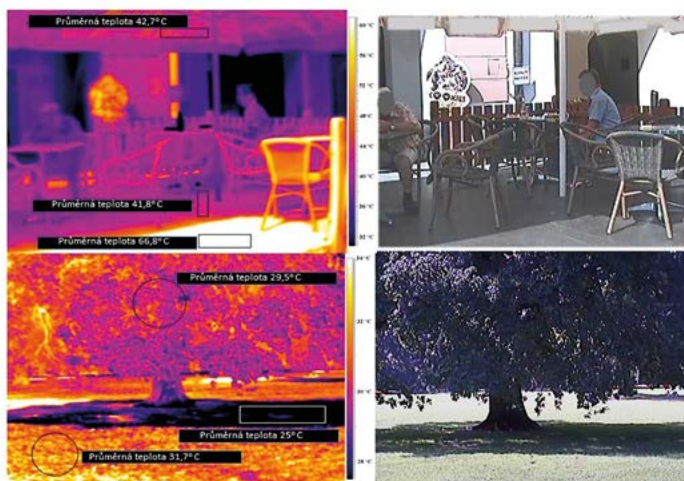
Snímek č. 1 je možno použít na úvod hodiny.



Snímek č. 1: Úvod

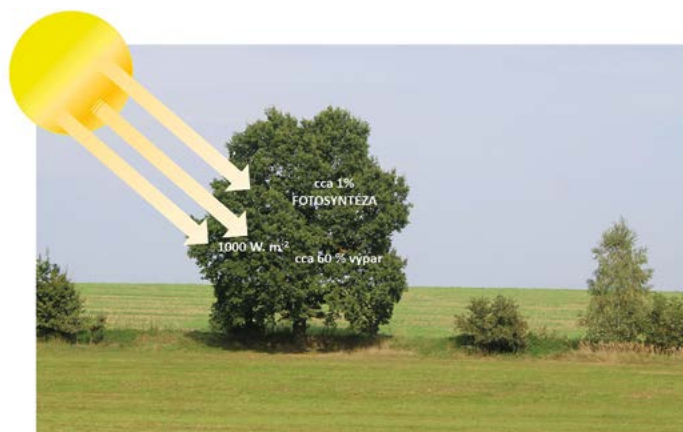
Snímek č. 2 navozuje úvodní otázku pro badatelskou výuku v úloze č. 1 a 2 a může být také využit pro motivaci žáků v úvodu jakékoliv jiné výuky tohoto tématu. Na snímku pořízeném termovizní kamerou jsou patrné rozdíly v teplotě pod slunečником v horní části snímku a ve stínu stromu v dolní části snímku.

PROČ JE STÍN STROMU CHLADNĚJŠÍ NEŽ STÍN SLUNEČNÍKU?



Snímek č. 2: Stín stromu a slunečniku.

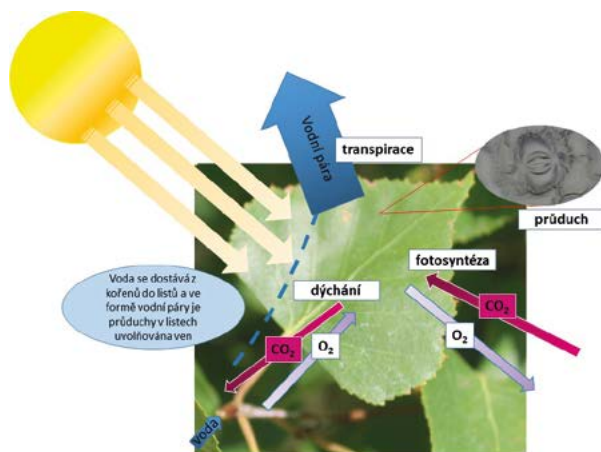
Snímek č. 3 upozorňuje na fakt, že většina dopadající sluneční energie je rostlinami využita na výpar, zatímco pro fotosyntézu je spotřebováno cca 1 %. Jak vyplývá z výzkumu znalostí předcházejícímu tvorbě této metodiky, většina žáků se domnívá, že převážná část slunečního záření je rostlinami využívána pro fotosyntézu. Naopak využití slunečního záření pro výpar si neuvědomují. Doplněna je i informace o maximálním množství slunečního záření dopadajícího v letním období na našem území na povrch krajiny.



Snímek č. 3: Přibližné procentuální využití sluneční energie stromem.

Možný komentář: „Za jasného letního dne je intenzita slunečního záření (neboli také ozářenost) dopadajícího na povrch krajiny na území České republiky přibližně $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Jak víme, sluneční záření obsahuje ve svém spektru kromě viditelného záření, které vnímá lidské oko i další složky, např. záření infračervené. Pro fotosyntézu využívá rostlina jen asi 1 % z celkového množství sluneční energie, které dopadá na její povrch. Převážnou část dopadající sluneční energie spotřebuje rostlina pro výpar vody z listů prostřednictvím průduchů“.

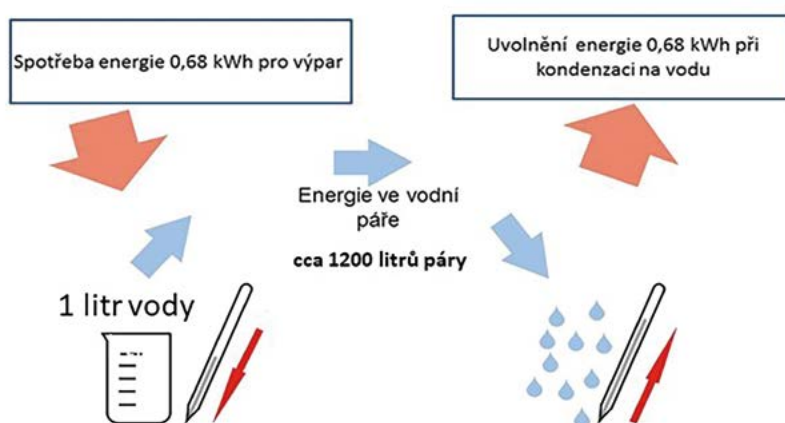
Snímek č. 4 zobrazuje transport látek přes průduchy v listu při fotosyntéze, dýchání a výparu (transpiraci). Žáci na ZŠ se mají seznámit s funkcí jednotlivých rostlinných orgánů. Hlavní důraz bývá kladem na fotosyntézu, zatímco výpar z listů i přes svůj velký význam pro koloběh vody v krajině bývá opomenut. Zobrazené schéma proto upozorňuje, že průduchy kromě kyslíku a oxidu uhličitého při fotosyntéze a dýchání odchází z listu také vodní pára.



Snímek č. 4

Možný komentář: „Průduchy jsou drobné otvory na povrchu listů, které rostlina může otevírat a zavírat. Prostřednictvím průduchů rostlina při fotosyntéze přijímá z atmosféry oxid uhličitý a vydává kyslík, naopak při dýchání kyslík přijímá a vydává oxid uhličitý. Zároveň prostřednictvím průduchů rostlina uvolňuje do atmosféry také vodní páru a to ve velkém množství. Na každou spotřebovanou molekulu oxidu uhličitého a vytvořenou molekulu kyslíku při fotosyntéze se uvolní několik set molekul vody výparem.“

Snímek č. 5 znázorňuje energetické změny při výparu a kondenzaci.



Snímek č. 5 je připomenutím mezipředmětových vztahů s fyzikou.

Možný komentář: „Při výparu se teplo spotřebovává, při kondenzaci se teplo uvolňuje. Množství energie potřebné pro výpar za určitého tlaku a teploty se nazývá měrné skupenské teplo výparu. Pro výpar 1 litru vody potřebujeme při normálním tlaku a teplotě 20 °C energii 2,45 MJ. V přepočtu na kWh je to cca 0,68 kWh. Toto množství energie je vlastně uschováno ve vodní páře, která vznikla z jednoho litru vody. Díky Avogadrovu zákonu umíme spočítat, že z jednoho litru vody vznikne cca 1200 litrů vodní páry. Při kondenzaci vodní páry zpět na vodu se toto množství energie opět uvolňuje“.

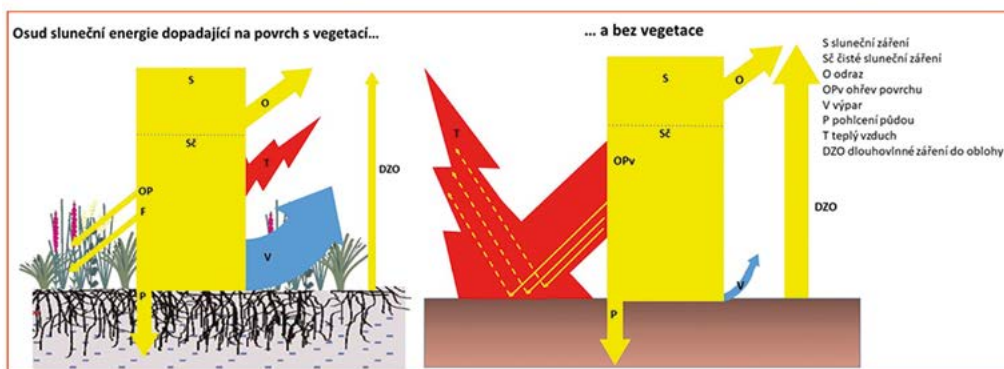
Snímek č. 6 pak přibližuje žákům situace, ve kterých se setkávají s energetickými změnami spojenými s výparem a kondenzací v každodenním životě.



Snímek č. 6 upozorňuje na příklady výparu a kondenzace, které žáci znají z běžného života.

Možný komentář: „S výparem a kondenzací se setkáváme všude kolem nás. Vaříme-li vodu na sporáku, vidíme, jak stoupá vodní pára. V tomto případě je ve vodní páře uschována energie dodaná vařičem. Na chladnější pokliče pak opět vodní pára kondenzuje na kapky vody. Energie uschovaná ve vodní páře ohřívá povrch pokličky. Obdobě vodní pára nad krytým bazénem kondenzuje na jeho střeše. Vegetace k výparu využívá namísto sporáku sluneční energii. Tím, že rostliny spotřebovávají sluneční energii na výpar, ochlazují sebe i své okolí. Voda vypařená z lesů, luk, mokřadů a vodních ploch na chladných místech v atmosféře kondenzuje na mírný déšť nebo mlhu“.

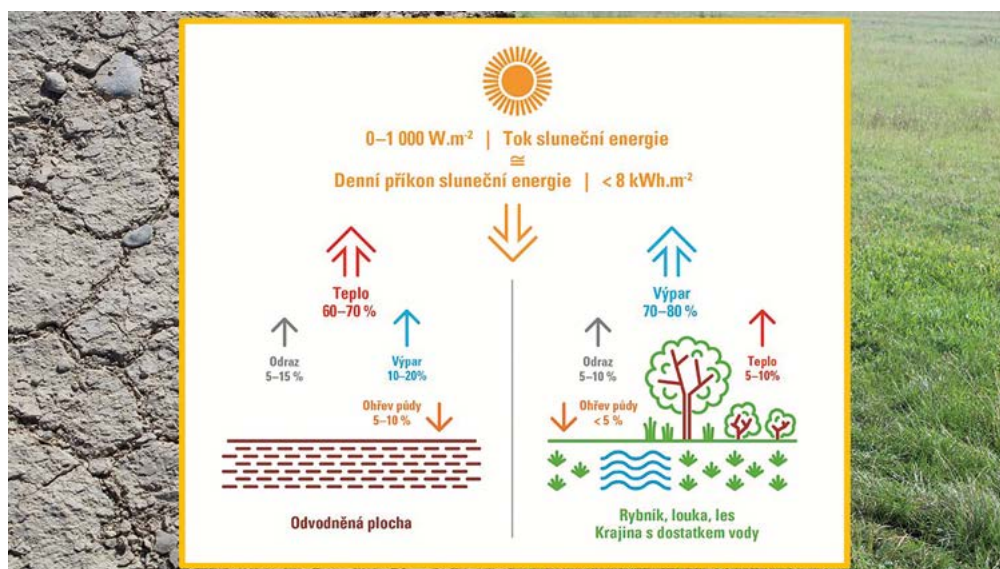
Snímek č. 7 zdůrazňuje základní rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a bez vegetace. Zjevného tepla je znázorněno červenou barvou, jeho nárůst v krajině bez vegetace díky poklesu výparu (modrá barva) je na tomto schématu markantní.



Snímek č. 7 schematicky znázorňuje distribuci sluneční energie v krajině s vegetací zásobenou vodou a bez vegetace.

Možný komentář: „Jaký je osud sluneční energie dopadající na povrch krajiny porostlé rostlinami dobře zásobenými vodou? Část sluneční energie dopadající na povrch se odrazí (O), velmi malá část ohřeje povrch rostlin (OP), jen asi 1 % je použito pro fotosyntézu (F), část energie je pohlcena půdou (P), největší část je spotřebována na výpar (V). Zbývající energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch, přeměňuje se tak na tzv. zjevné teplo (T), které můžeme měřit teploměrem. Pokud sluneční energie přichází na suchý povrch bez vegetace, nemůže být sluneční energie použita na výpar a přeměňuje se převážně na zjevné teplo“.

Snímek č. 8 pak rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací dobře zásobenou vodou a v krajině bez vegetace konkretizuje v přibližných procentech. Hodnoty jsou podloženy dlouhodobými měřeními ENKI, o.p.s.

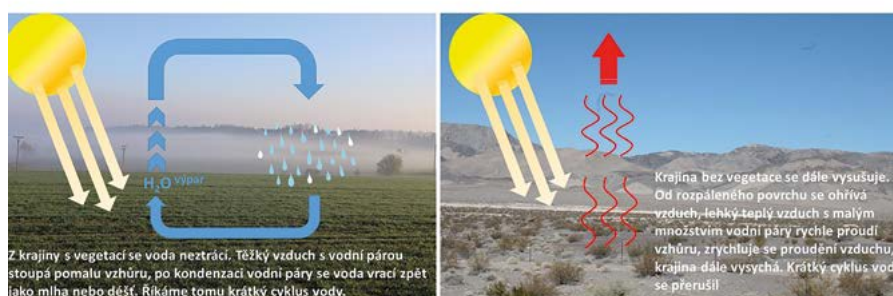


Snímek č. 8 přibližuje distribuci sluneční energie v krajině s vegetací zásobenou vodou a bez vegetace v přibližném procentuálním vyjádření.

Možný komentář: „V krajině bez vegetace se na zjevné teplo přeměňuje 60–70 % energie. Naopak v krajině s vegetací a vodou se 70–80 % dopadající sluneční energie uschová do vodní páry při výparu“.

Snímek č. 9 dává do souvislosti výpar z vegetačního krytu s koloběhem vody v krajině. Zařazení tohoto snímku je stěžejní pro vyvrácení domněnky o tom, že výpar vegetací krade vodu z krajiny.

Jak rostliny udržují vodu v krajině ?



Snímek č. 9 znázorňuje tzv. krátký cyklus vody v krajině s vegetací a vodou. Cílem je vyvrátit jednu ze zjištěných žákovských miskoncepcí, a sice, že vegetace výparem vysušuje krajinu.

Možný komentář: „Vegetace pomáhá udržet vodu v krajině. Voda vypařená vegetací se vrací zpět ve formě drobných a častých srážek, což je typickým rysem tzv. krátkého/uzavřeného oběhu vody. Pokud není k dispozici voda a vegetace dobře zásobená vodou, povrch se ohřívá, až na 50 °C, od takového povrchu se ohřívá vzduch, který rychle stoupá vzhůru do atmosféry, vysušuje okolí, krajina vysychá. V zalesněných územích se setkáváme s mlhami, které vracejí vodu do krajiny. Území bez vegetace a vody se dále vysušují.“

6.4. Modelové úlohy pro výuku

6.4.1. Badatelská výuka v terénu

Úloha č. 1 – Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku

Badatelská výuka s terénní částí v okolí školy

Časová dotace: 90 min

Cílová skupina: žáci devátých ročníků ZŠ či odpovídajících ročníků víceletých gymnázií

Potřebné vybavení: Měřič intenzity slunečního záření, IR teploměr či termovizní kamera, nasáková látky (např. froté ručník), voda

Prostorové vybavení: učebna a okolí školy se stromy a trávníkem (školní zahrada, přilehlý park či jakákoli plocha s vegetací)

Pracovní list č. 1 pro žáky v příloze

Celková charakteristika: Úloha je koncipována dle principu badatelské výuky. Během výuky žáci docházejí k osvojení poznatků vlastním bádáním obdobně, jako vědci provádějí svoji práci. Učitel nesděljuje poznatky v hotové podobě, nýbrž žáky pouze usměrňuje. Proces badatelské výuky sleduje několik kroků: Po úvodní motivaci s využitím videa, termovizního snímku a vytvoření výzkumné otázky žáci pracují ve skupinách a samostatně pod vedením učitele získávají informace z připravených nápověd v aktivitě „Kolotoč“. Získané informace analyzují a na jejich základě formulují hypotézu. Učitel koriguje. Následně žáci ve skupinové práci navrhnou terénní experiment, kterým svoji hypotézu ověří a formulují závěr. Závěr diskutují ve skupinách i s vyučujícím. Své závěry ověří dle zadání pracovního listu na jednotlivých situacích v terénu. Závěrečné shrnutí provede učitel (Podrobněji k badatelské výuce v publikaci „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“ dostupné online zdarma zde: <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>)
Výuka začíná v učebně s využitím dataprojektoru. Druhá část výuky probíhá v terénu v těsném okolí školy, kde je možno provést měření ve stínu vzrostlého stromu, ideálně na školní zahradě (je ale možno využít jakoukoli městskou zeleň, park se stromy, či jen strom na ulici před školou). Závěrečné shrnutí opět probíhá ve třídě. Ve výuce je možno využít motivační videonahrávky a vzorové výkladové ppt prezentace, obě dostupné zde: <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

Úvod

Na začátku hodiny učitel rozdá žákům pracovní listy a rozmístí karty s texty a obrázky k aktivitě Kolotoč. Úvodní motivace – videonahrávka 1. část „Jak chladí rostliny?“ nutí studenty zamyslet se nad principem běžných situací, se kterými se setkávají v každodenním životě – proč je chladněji v městském parku, lese apod. Videonahrávka končí větou “Jak vlastně chladí rostliny?” uvozující téma výuky.

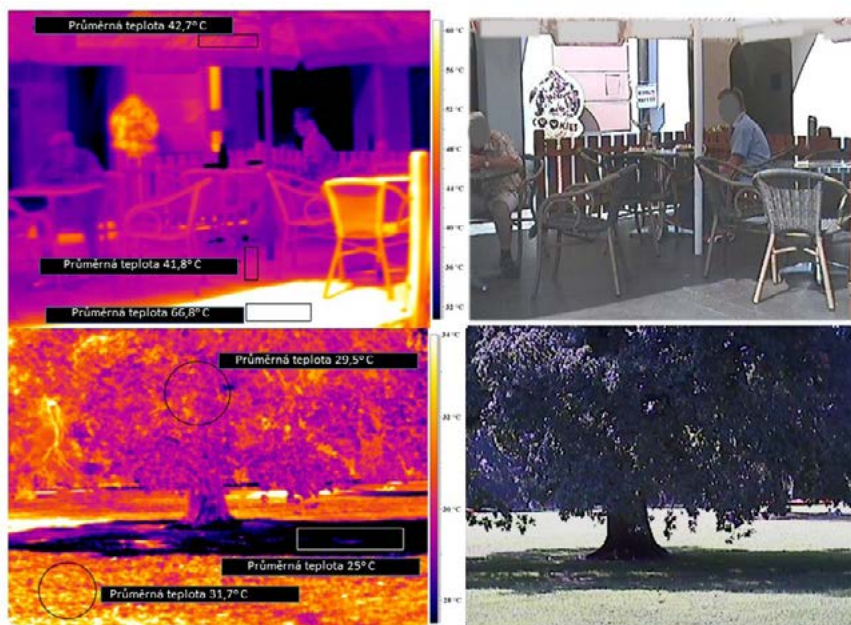
Situační výuka: Učitel „:Představte si horký letní den, jasnou oblohu a vy hledáte úkryt před rozpáleným sluncem ve městě. Vyberete si raději stín stromu nebo stín slunečnicku?“

Brainstorming, děti odpovídají.

5 min

Potom učitel promítne /ukáže termosnímek - stín stromu – slunečnicku a položí žákům úvodní otázku: Změříme- li teplotu povrchu ve stínu stromu a teplotu ve stínu slunečnicku pomocí termovizní kamery, zjistíme, že stín stromu je chladnější než stín slunečnicku. Ale proč tomu tak je? Potom vybědne žáky, aby po skupinách hledali odpověď v následující aktivitě „Kolotoč“

3 min



Aktivita „Kolotoč“ ve skupinách

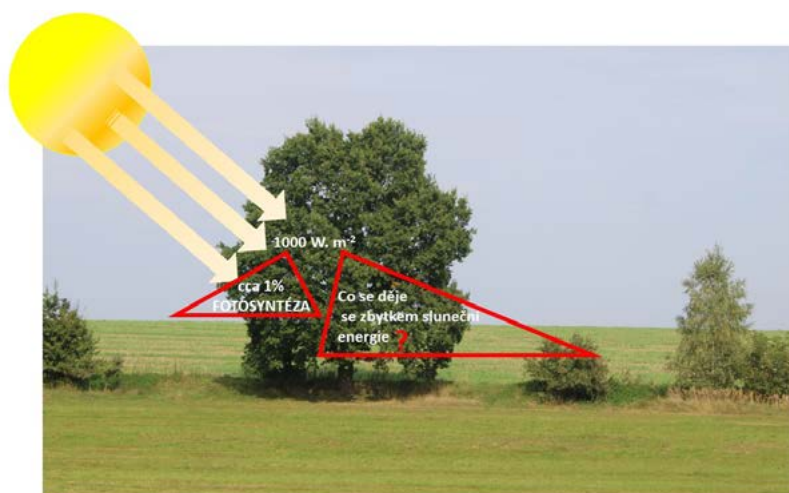
Následuje práce ve skupinách. Učitel rozdělí děti do 4 stejných skupin a vysvětlí princip rotace a práce ve skupinách:

Skupiny žáků postupně projdou všechna stanoviště ve třídě, na každém stanovišti nastudují jednu nápovědu (kartu) a stráví přesně stanovený čas (2 minuty). Po zaznění zvukového signálu přejdou žáci na další stanoviště ve třídě po směru hodinových ručiček - takto se postupně vymění na všech stanovištích všechny skupiny. Pak mají žáci další přesně vymezený čas na formulaci návrhů odpovědí (5 min), organizace 4 min, celá aktivita trvá tedy **17 min**

Za pomoci nápověd se pokuste pomocí jedné krátké a stručné věty formulovat domněnku, vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?

Nápovědy: Každá z nápověd i s obrázkem je umístěna na jednom ze stanovišť. Postupně dle pokynů učitele projděte ve skupinách všechna stanoviště, zamyslete se a poradte se ve skupině nad souvislostmi všech nápověd.

- **Nápověda A:** Na 1 m^2 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. Pro fotosyntézu strom využije jen asi 1% dopadajícího slunečního záření. Co se stane se zbývajícím slunečním energií? Vzpomeňte si, z jakých částí je složeno sluneční záření. Lidské oko vnímá pouze část spektra slunečního záření jako viditelné světelné záření. Ve skutečnosti je ale spektrum slunečního záření složeno i z několika částí, které nevidíme.



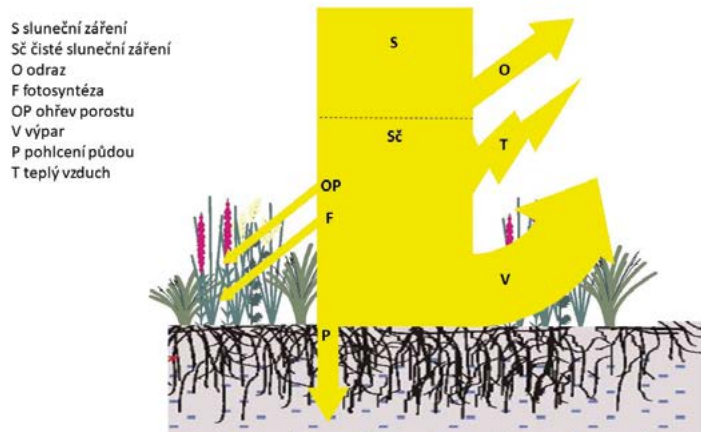
(V nápovědě A si žáci mají uvědomit, že rostliny využívají ze sluneční energie nejen světlo pro fotosyntézu, ale také teplo)

- **Nápověda B:** Na povrchu listů jsou průduchy, kterými rostliny přijímají a vydávají oxid uhličitý a kyslík a také odpařují vodu. Otevření a uzavření průduchů může rostlina regulovat. Na 1 mm^2 je v listu až 100 průduchů. Vzrostlý strom s korunou o poloměru 4 m odpaří během jasného letního dne cca 200 l vody.

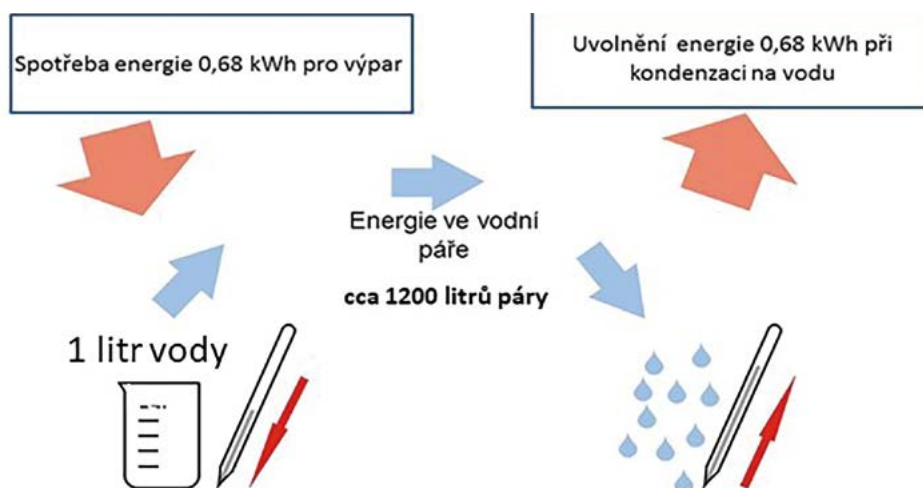


- **Nápověda C:** Sluneční energie se po dopadu na zemský povrch podle zákona o zachování energie mění v několik různých forem. Po dopadu na povrch krajiny porostlý vegetací dostatečně zásobenou vodou se 15 – 20 % sluneční energie odrazí zpět do atmosféry (O), 10 – 20 % se přemění na zjevné teplo (T) (sluneční energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch), 5 – 15 % ohřeje půdu a zůstává v ní tak „uschováno“ (P= akumulace tepla půdou). Vegetace spotřebuje pro fotosyntézu (F) max. 1% z celkového dopadajícího slunečního záření a přibližně stejné množství je spotřebováno na ohřev porostu (OP). Co se stane se zbývajícím slunečním energií?

Osud sluneční energie dopadající na povrch s vegetací...



- **Nápověda D:** Skupenské výparné teplo vody je množství energie, která je potřeba k tomu, aby se vypařil 1 litr vody. Víme, že skupenské výparné teplo vody je při běžné teplotě 20 o C 2,45 MJ/l. To je přibližně 0,68 kWh sluneční energie.



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

.....

.....

.....

Korekce hypotézy, shrnutí učitelem před terénní výukou, 2.část videonahrávky

Mluvčí každé skupiny přednese navrhovanou domněnku. Učitel zopakuje poznatky, se kterými se žáci seznámili v aktivitě Kolotoč a na základě toho koriguje přednesené návrhy hypotéz do správného znění: **Hypotéza:** Stín stromu je chladnější než stín slunečnicku, protože strom využívá sluneční energii k výparu vody. Následuje druhá část videonahrávky (10 min) nebo shrnující výklad poznatků z aktivity Kolotoč dle přiložené ppt prezentace.

20 min

Návrh pokusu

Další část výuky probíhá v terénu v těsném okolí školy. Pokračuje práce ve 4 skupinách. Učitel představí bezdotykový infračervený teploměr s laserovým zaměřovačem, kterým se měří povrchová teplota a předvede měření. Upozorní, že žáci si nesmí mířit navzájem na oči (laser). Dále žáky seznámí s měřičem intenzity slunečního záření (ozáření).

5 min

Navrhněte pokus, kterým tuto hypotézu ověříte. K pokusu můžete využít dva stejné zelené ručníky, vodu, infračervený bezdotykový teploměr a slunce venku před školou.

Děti přednesou své návrhy, učitel koriguje, společně pak v diskusi formulují správný návrh pokusu: Máme dva zelené ručníky (zelená barva představuje barvu listů stromu). Jeden z nich dobře namočíme vodou, druhý necháme suchý. Mokrý ručník představuje strom, který také obsahuje vodu. Suchý ručník představuje slunečnick, který vodu neobsahuje.

Pokud platí naše hypotéza, měla by povrchová teplota mokrého ručníku být nižší než povrchová teplota ručníku suchého. Žáci ověří měřením po exponování ručníků na slunci.

10 min

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

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

Závěr pokusu:

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

Zapište vysvětlení, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

Strom obsahuje vodu, kterou vypařuje, pro výpar vody spotřebovává energii, která by jinak ohřívala okolní vzduch.

5 min

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.

15 min

Stanoviště	Ozářenost [W/m ²]	Teplota [°C]
volné prostranství, dlažba, asfalt		
volné prostranství, trávník		
povrch koruny stromu		
pod korunou stromu		

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?

Zjištěný rozdíl v intenzitě dopadajícího slunečního záření:

Vysvětlení:

naprostá většina dopadající energie byla stromem využita na výpar vody (obdobně jako v našem experimentu s mokrým a suchým ručníkem). Část sluneční energie byla využita pro fotosyntézu, toto množství je však mnohonásobně nižší, než množství energie využitě pro výpar vody).

.....
.....

Který z měřených povrchů byl nejteplejší a proč?

.....
.....

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

.....správné řešení 6,8 kWh.....

Závěr výuky: *Kontrola pracovních listů, diskuse mezi skupinami řízená učitelem, shrnutí pedagoga.*

5 min

6.4.2. Badatelská výuka v učebně

Úloha č. 2 – Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku

Badatelská výuka v učebně

Časová dotace: 45 min

Cílová skupina: žáci devátých ročníků ZŠ či odpovídajících ročníků víceletých gymnázií

Potřebné vybavení: Měřič intenzity slunečního záření, IR teploměr či termovizní kamera, nasákavá látka (např. froté ručník), voda, halogenová lampa o výkonu min. 500 W

Prostorové vybavení: učebna

Pracovní list č. 2 pro žáky v příloze

Celková charakteristika: Úloha je modifikací předcházející terénní úlohy. Terénní výuka v úloze č. 1 je závislá na slunečném počasí. Protože však v praxi učitel musí respektovat rozvrh hodin bez ohledu na počasí, pro případ, kdy plánovanou výuku nelze provést v terénu, byla vypracována „dešťová varianta“ předcházející úlohy. V ní sluneční záření nahradíme v učebně přenosnou halogenovou lampou, osvědčila se lampa o výkonu 500 W. Úloha je opět koncipována dle principu badatelské výuky, neobsahuje však terénní část. Zkušenosti z praxe však ukázaly, že ověření závěrů výuky přímo v přírodě je velmi přínosné. Krátké měření v okolí školy proto doporučujeme provést příležitostně v rozsahu 15 min během následujících hodin přírodopisu v případě příznivého počasí (sluneční svit). Skupinová výuka, žáci pracují ve třech skupinách.

Řešený pracovní list

Úvod

Obdobně jako v předcházející úloze učitel na začátku hodiny rozdá žákům pracovní listy a rozmístí karty s texty a obrázky k aktivitě Kolotoč. V tomto případě má aktivita kolotoč pouze 3 stanoviště (s použitím karet s nápovědami A, B, C).

Úvodní brainstorming: „Představte si horký letní den, jasnou oblohu a vy hledáte úkryt před rozpáleným sluncem ve městě. Vyberete si raději stín stromu nebo stín slunečnicku?“

Žáci odpovídají. Následně je provedena úvodní motivace s pomocí termovizního snímku stín stromu – slunečnicku (obr. 25 v předcházející úloze, je součástí přiložené prezentace)

Úvodní otázka: Změříme-li teplotu povrchu ve stínu stromu a teplotu ve stínu slunečnicku pomocí termovizní kamery, zjistíme, že stín stromu je chladnější než stín slunečnicku. Ale proč tomu tak je? Potom vybídne žáky, aby po skupinách hledali odpověď v následující aktivitě „Kolotoč“

5 min

Aktivita „Kolotoč“ ve skupinách

Následuje práce ve skupinách. Učitel rozdělí děti do 3 stejných skupin a vysvětlí princip rotace a práce ve skupinách. Skupiny žáků postupně projdou všechna stanoviště ve třídě, na každém stanovišti nastudují jednu nápovědu (kartu) a stráví přesně stanovený čas (2 minuty). Po zaznění zvukového signálu přejdou žáci na další stanoviště ve třídě po směru hodinových ručiček - takto se postupně vymění na všech stanovištích všechny skupiny. Pak mají žáci další přesně vymezený čas na formulaci návrhů odpovědí (2 min), organizace 2 min, celá aktivita trvá tedy

10 min

Otázka: Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?

Pracujte ve skupinách dle pokynů učitele. Na stanovištích v učebně jsou umístěné nápovědy. Postupně dle pokynů učitele projděte ve skupinách všechna stanoviště a zamyslete se nad souvislostmi všech nápověd. Za pomoci nápověd se potom pokuste pomocí jedné krátké a stručné věty formulovat domněnku, vysvětlující, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku?

.....

.....

.....

- **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 4 m odpaří během jasného letního dne cca 200 l vody. 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 C:** Sluneční energie se po dopadu na zemský povrch podle zákona o zachování energie mění v několik různých forem. Po dopadu na povrch krajiny porostlý 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 zbývajícím sluneční energií?

Korekce hypotézy, shrnutí učitelem

Následuje práce ve skupinách. Učitel rozdělí děti do 3 stejných skupin a vysvětlí princip rotace a práce ve skupinách. Skupiny žáků postupně projdou všechna stanoviště ve třídě, na každém stanovišti nastudují jednu nápovědu (kartu) a stráví přesně stanovený čas (2 minuty). Po zaznění zvukového signálu přejdou žáci na další stanoviště ve třídě po směru hodinových ručiček - takto se postupně vymění na všech stanovištích všechny skupiny. Pak mají žáci další přesně vymezený čas na formulaci návrhů odpovědí (2 min), organizace 2 min, celá aktivita trvá tedy

10 min

Mluvčí každé skupiny přednese navrhovanou domněnku. Učitel zopakuje poznatky, se kterými se žáci seznámili v aktivitě Kolotoč. Koriguje přednesené návrhy hypotéz do správného znění. Hypotéza: „Stín stromu je chladnější než stín slunečnicku, protože strom využívá sluneční energii k výparu vody“. Následuje shrnující výklad poznatků z aktivity Kolotoč dle přiložené ppt prezentace. V závěru učitel seznámí žáky s měřením povrchové teploty a představí bezdotykový infračervený teploměr s laserovým zaměřovačem. Upozorní, že žáci si nesmí při měření mířit navzájem na oči (laser).

10 min

Ověření hypotézy pomocí pokusů ve skupinách

V další části výuky učitel přidělí každé skupině jeden z následujících pokusů. Úkolem každé pracovní skupiny je vymyslet provedení a předvést ostatním skupinám přidělený pokus. Všichni žáci si zapisují do pracovních listů všechny pokusy. Organizace 2 min, rozmyšlení pokusů ve skupinách 5 min předvedení pokusů 8 min – celkově

15 min

Pokus č. 1: Navrhněte pokus, kterým tuto hypotézu ověříte. K pokusu můžete využít dva stejné zelené ručníky, z nichž jeden bude představovat strom a druhý slunečník, vodu, infračervený bezdotykový teploměr a přenosnou halogenovou lampu simulující sluneční záření.

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

Závěr pokusu č. 1:
.....
.....

Žáci si musí uvědomit, že strom obsahuje vodu. Jeden ze zelených ručníků představující strom proto dostatečně smočí ve vodě. Druhý ručník, představující slunečník, nechají suchý. Po krátké expozici obou ručníků pod stejným úhlem vůči halogenové lampě změní pomocí IR teploměru povrchovou teplotu. U mokrého ručníku bude povrchová teplota nižší díky výparu vody.

10 min

Pokus č. 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 č. 2:
.....
.....

Vedle sebe umístíme v květináči živou i umělou rostlinu pod stejným úhlem osvítíme halogenovou lampou. Po krátké expozici vůči světelnému zdroji lze naměřit rozdíly v povrchové teplotě. Živá rostlina se chladí výparem, má nižší povrchovou teplotu. Nepoužíváme sukulentní rostliny, které mají omezený výpar vody z lisů. Rostlina musí být předem dobře zalitá. Z umělých rostlin využíváme modely se zelenými listy, bez „panašování“.

Pokus č. 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 č. 3:
.....
.....

Vedle sebe umístíme vzorek suché světlé, suché tmavé a mokré tmavé látky a exponujeme pod halogenovou lampou pod stejným úhlem. Ačkoliv povrchová teplota suché tmavé látky je skutečně výrazně vyšší než povrchová teplota suché světlé látky, teplota mokré tmavé látky je oproti suché tmavé výrazně nižší. Zastánci kácení lesů zapominají, že lesy nejsou jen tmavá místa na Zemi, ale že obsahují také vodu a jejím výparem chladí.

Závěr výuky

Shrnutí učitelem a zadání domácího úkolu

5 min

Domácí úkol:

Zapište vysvětlení, proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku:

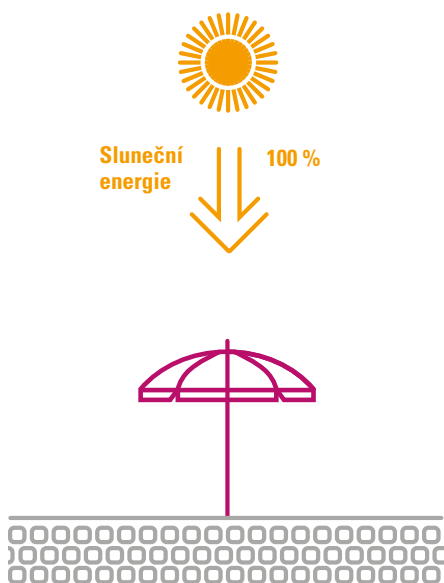
.....

.....

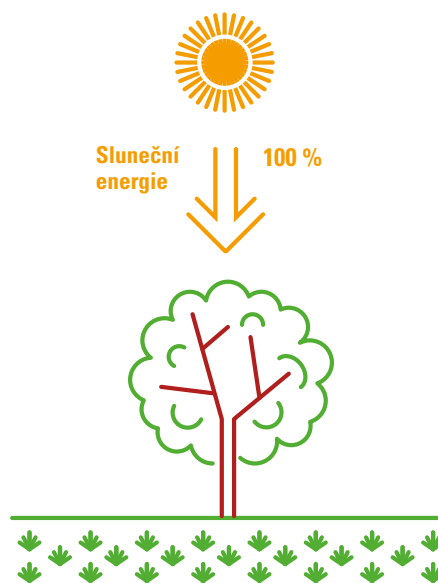
.....

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, **b)** korunu stromu. U každé šipky doplň číselný údaj určující, kolik procent sluneční energie se do konkrétní formy energie dle tvého názoru přibližně převede.

A) Slunečnick na dlážděném náměstí



B) Strom v parku



Spočítejte, jakým výkonem chladil své okolí vzrostlý strom v parku, jestliže za 1 hodinu se z něj prostřednictvím prúduchů odpařilo 10 l vody? Porovnejte s výkonem běžné klimatizační jednotky, který je cca 3,4 kWh. (Počítejte s hodnotou skupenského výparného tepla vody při teplotě při 20 °C – tj. 0,68 kWh)

(Správná odpověď: Strom chladil výkonem 6,8 kWh, tedy přibližně dvojnásobným výkonem, než chladí běžné klimatizační jednotky. Klimatizační jednotky chladí vnitřek budov, venkovní okolí budovy však naopak ohřívají. Strom přináší navíc i další benefity (např. filtruje prach, je domovem řady živočichů, zkrášluje okolí atd.). Pro hodnocení zakreslení šipek a procentuálního vyjádření jednotlivých forem energie do obrázku lze využít snímek č. 8 ve vzorové ppt prezentaci.

Závěr

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

Velmi se osvědčilo následné ověření získaných poznatků v terénu v blízkém okolí školy v některé z následujících hodin za slunečného dne.

6.4.3. Konvenční výuka s badatelskými prvky v terénní části v okolí školy

Úloha č. 3 – Proč je stín stromu chladnější než stín slunečníku

Konvenční výuka s badatelskými prvky v terénní části v okolí školy

Časová dotace: 45 min

Cílová skupina: žáci devátých ročníků ZŠ či odpovídajících ročníků víceletých gymnázií

Potřebné vybavení: Měřič intenzity slunečního záření, IR teploměr či termovizní kamera, nasákavá látka (např. froté ručník), voda

Prostorové vybavení: učebna a těsné okolí školy se stromy a trávníkem (školní zahrada, přilehlý park či jakákoli plocha s vegetací)

Pracovní list pro žáky v příloze č. 3

Celková charakteristika: oproti variantě a) je možné tuto výuku realizovat během jedné vyučovací hodiny. Výuka začíná v učebně s dataprojektorem a pokračuje v terénu v blízkém okolí školy. Po úvodní motivaci pomocí videonahrávky či termovizního snímku následuje výklad učitele (možno využít přiloženou ppt prezentaci). Výuka je zakončena experimentálním ověřením chladicí schopnosti vegetace samotnými žáky v těsném okolí školy (školní zahrada, park se stromy před školou apod.)

Úvodní motivace – videonahrávka 1. část „Jak chladí rostliny“

Videonahrávka končí větou „Jak vlastně chladí rostliny?“ uvozující téma výuky.

Učitel „ Jak bychom odpověděli na otázku, která zazněla na konci videa? Představte si horký letní den, jasnou oblohu a vy hledáte úkryt před rozpáleným sluncem ve městě. Vyberete si raději stín stromu nebo stín slunečníku? Jak se liší stín stromu a stín slunečníku?“

Brainstorming, děti odpovídají.

10 min

Výklad učitele / videonahrávka

Alternativně buď videonahrávka - 2. část – vysvětlení klimatizační schopnosti stromů a měření s měřicími přístroji s následným stručným shrnutím učitelem nebo výklad učitele s využitím navržené ppt prezentace

20 min

Přesun před školu (školní zahradu apod.; je potřeba vybírat místo s alespoň 1 vzrostlým listnatým stromem a trávničkem).

Terénní část, měření a vyplnění pracovního listu, závěrečná diskuse nad výsledky a shrnutí závěrů.

15 min

Řešený pracovní list pro terénní část výuky:

Úkol č. 1: Zjistěte, jak se liší povrchová teplota suché a mokré látky téže barvy. Rozdíl v povrchových teplotách se pokuste vysvětlit

Látka	Teplota [°C]
suchá	
mokrá	

Řešení: Z mokré látky se vypařuje voda, pro výpar se spotřebuje velká část dopadající sluneční energie (Teploto se „schovalo“ do vodní páry – latentní teplo). U suché látky většina dopadající sluneční energie ohřívá povrch.

Úkol č. 2: Zastánci kácení lesů argumentují, že lesy jsou tmavá místa na povrchu Země, která způsobují ohřívání klimatu, protože málo odrážejí sluneční záření. Proč nemají pravdu? Argumenty hledejte v následujícím úkolu:

Změřte povrchovou teplotu suché bílé látky a suché černé látky. Jak se liší a proč? Dále změřte povrchovou teplotu mokré černé látky. Jak se liší povrchová teplota mokré černé látky a suché bílé látky?

Látka	Teplota [°C]
suchá bílá	
suchá černá	
mokrá černá	

Která látka byla nejchladnější? Vysvětlete, proč nemají zastánci kácení tropických deštných lesů pravdu, když tvrdí, že tmavé plochy lesů na povrchu Země přispívají ke globálnímu oteplování?

Řešení: V tomto experimentu mokrá černá látka představuje lesy. Povrchová teplota je po expozici všech látek na slunci nejvyšší u suché černé látky, nejnižší u mokré černé látky, protože velké množství dopadající sluneční energie bylo využito na výpar. Zastánci kácení lesů zapominají, že lesy obsahují vodu.

Úkol č. 3: Pomocí IR teploměru najdete nejteplejší povrch v okolí. Změřte povrchovou teplotu na pěti různých osluněných površích (např. trávník, asfalt, dlažba, fasáda domu apod.). Neměřte ve stínu, ale pouze na osluněných místech. Vybírejte povrchy tak, abyste našli co nejteplejší a nejchladnější povrch. Určete pořadí (1= nejteplejší, 5= nejstudenější povrch).

Druh povrchu	Pořadí dle teploty povrchu	Teplota [°C]

Který z měřených povrchů byl nejteplejší a proč?

.....

.....

Řešení: Sluncem ozářené povrchy, které se nemohou chladit výparem vody, mají vyšší povrchovou teplotu. Vzrostlý trávník má např. nižší povrchovou teplotu než posekaný, koruna stromu má nižší povrchovou teplotu než střecha či fasáda domu apod.

Úkol č. 4: Pomocí infračerveného bezdotykového teploměru změřte povrchovou teplotu koruny stromu a potom povrchovou teplotu pod korunou stromu. Pomocí měřiče slunečního záření změřte také intenzitu slunečního záření (ozáření) dopadajícího na volné prostranství (odpovídá ozáření na povrchu koruny stromu) a pod korunou stromu. Spočítejte rozdíl v ozáření a povrchové teplotě na povrchu koruny stromu a pod jeho korunou.

Stanoviště	Ozáření [W.m ⁻²]	Teplota [°C]
povrch koruny stromu		
pod korunou stromu		
rozdíl		

Naměřená intenzita dopadajícího slunečního záření (ozářenost) na volném prostranství za jasného dne je v rozsahu hodnot 800–1000 W.m⁻². Ve stínu stromu je intenzita slunečního záření několikanásobně nižší než na volném prostranství na plném slunečním svitu. Ve stínu vzrostlého stromu naměříme hodnotu i pod 100 W.m⁻².

Vysvětlení: Plocha listů stromu nad jednotkou plošného průmětu je několikanásobná: nad jedním metrem čtverečním je několik čtverečních metrů listové plochy (pokryvnost listoví). Listy odpařují vodu průduchy a v malé míře i pokožkou. Většina sluneční energie dopadající na korunu stromu se spotřebuje na výpar vody (přeměnila se na latentní teplo výparu) a je doslova uschována ve vodní páře; jen minimální část dopadající sluneční energie byla využita pro fotosyntézu.

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?

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

Vysvětlení:.....

.....

.....

Naprostá většina dopadající energie byla stromem využita na výpar vody (obdobně jako v našem experimentu s mokrým a suchým ručníkem). Část sluneční energie byla využita pro fotosyntézu, toto množství je však mnohonásobně nižší, než množství energie využité pro výpar vody).

b) 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)

.....správné řešení 6,8 kWh.....

Závěr výuky: Kontrola pracovních listů, diskuse, shrnutí učitelem.

6.4.4. Projektová výuka

Úloha č. 4 – Proč nechladí všechny rostliny stejně?

Projektová výuka

Časová dotace: Výuka je řešena jako týdenní projekt vyžadující jednu výukovou hodinu na začátku a jednu na konci projektu a dále v průběhu týdne samostatnou každodenní skupinovou práci žáků (přibližně dvacet minut denně). Délku projektové výuky lze upravit, avšak minimální délka je 3–5 dnů. Časově náročnější je pouze příprava před zahájením pokusu (teoretický background + příprava rostlin – cca 45 min.).

Cílová skupina: žáci devátých ročníků ZŠ či odpovídajících ročníků víceletých gymnázií

Potřebné vybavení: Různé rostliny v květináčích zastupující druhy charakteristické pro odlišné biotopy či ekosystémy. V rámci pilotního testování úlohy se osvědčila jako zástupce mokřadní vegetace vrba, lesní vegetace buk, weigelie (městská vegetace) a netřesk (sukulentní rostlina). Z hlediska vyvození transparentních závěrů z naměřených experimentálních dat jsou od každé varianty nutné minimálně tři rostliny.

Nádoby na rostliny stejného tvaru a objemu, totožné misky na vodu, váhy (osvědčily se kuchyňské váhy s minimální vážitelností 2 kg – či dle velikosti pěstebních nádob), podložní miska pro ukládání rostlin na váhu (zabraňuje poničení váhy), kombinovaný měřič relativní vlhkosti a teploty vzduchu, ruční měřič intenzity slunečního záření.

Prostorové vybavení: Projekt lze realizovat jak ve vnitřním, tak ve venkovním prostředí. Provádíme-li experimentální aktivity projektu uvnitř budovy, je třeba vybrat osluněné místo v běžné třídě, laboratoři (jako vhodný se ukázal okenní parapet orientovaný jižním směrem). Rostliny není vhodné umísťovat do okolí radiátorů. Během pokusu je potřeba rostlinám zajistit ideální podmínky pro transpiraci – tedy dostatečné osvětlení, dostatečně vlhkou půdu, zabránit nadměrnému přehřátí rostlin v okolí radiátorů. Při realizaci experimentálních aktivit ve venkovním prostředí je třeba zabránit přístupu deště, aby nedošlo ke zkreslení množství vypařené vody.

Pracovní list č. 4 pro žáky v příloze

Celková charakteristika: Tuto úlohu je vhodné realizovat až po provedení jedné z předcházejících úloh, v nichž se žáci seznámili s principem „klimatizační funkce rostlin“ díky využití tepla pro výpar vody průduchy. V této úloze se přesvědčí o samotné existenci evapotranspirace, získají představu o rychlosti transpirace (tj. množství vody, které rostliny vypaří za časovou jednotku) a faktorech, které ji ovlivňují. Zjistí, že různé typy rostlin odpařují jiné množství vody. Experimentální úlohy jsou zasazeny do rámce projektové výuky s environmentální tematikou, v níž žáci řeší klimatizační úlohu

zeleně ve městě. V rámci úlohy jsou žáci aktivními elementy výuky, provádějí ve skupinách jednotlivá měření a učí se zaznamenávat a vyhodnocovat naměřená data. Prostřednictvím aktivního zapojení do výuky se tak seznamují s metodami vědecké práce (formulují hypotézu, designují ověřující experiment a formulují závěry, které následně diskutují s žáky v ostatních skupinách a s učitelem).

Klíčové otázky:

Dochází u rostlin k odpařování vody (evapotranspiraci)?

Odpařují všechny rostliny stejné množství vody (lesní vegetace, mokřadní vegetace, městská vegetace, sukulentní rostliny ...)? Při výuce namísto pro žáky náročného pojmu „evapotranspirace“ používáme pojem výpar – tedy „výpar z půdy“, „výpar z vegetace (rostliny, listů)“

Jaké rostliny ochlazují naše okolí nejlépe?

Získané znalosti a dovednosti:

Pochopí princip evapotranspirace.

Přesvědčí se, že rostlina odpařuje vodu.

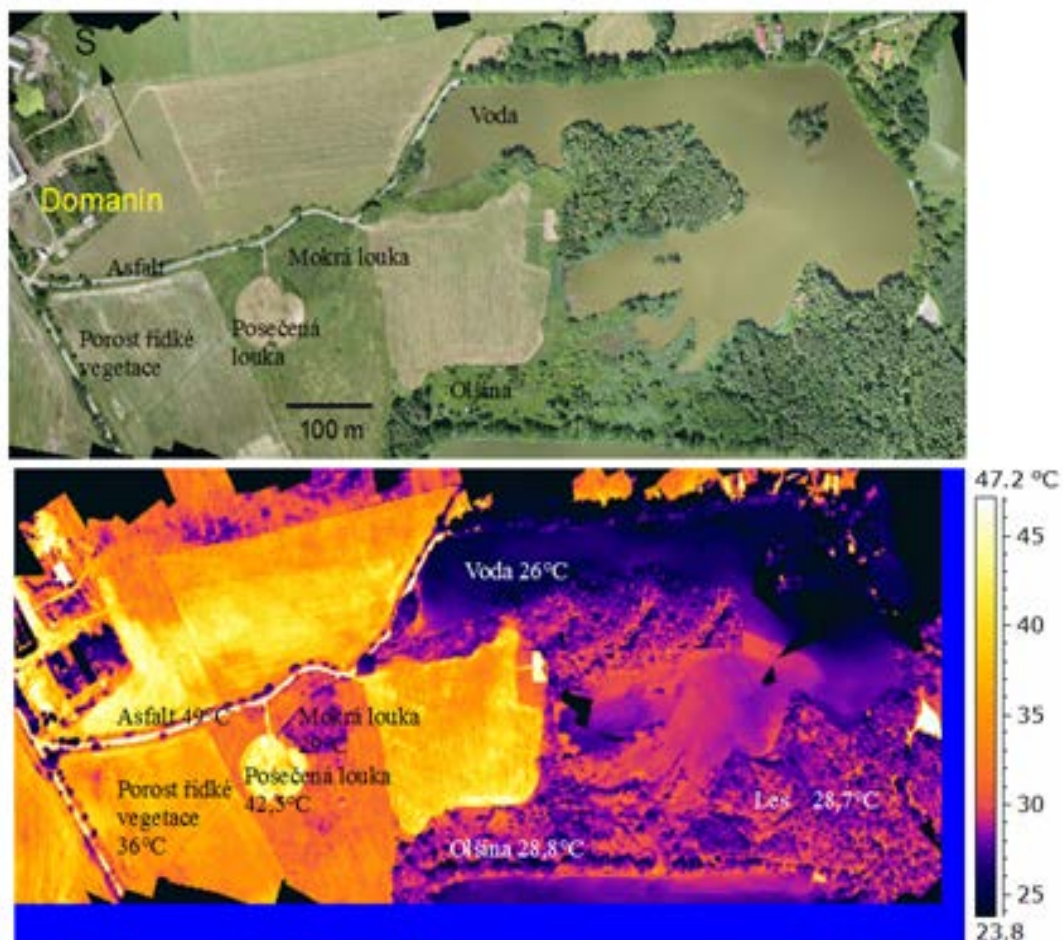
Zjistí, že nejvíce ochlazují naše okolí mokřadní rostliny, naopak sukulentní odpařují minimální množství vody a chladí proto nejméně.

Ověří vliv intenzity slunečního záření na intenzitu evapotranspirace.

Naučí se koncepčně experimentálně pracovat.

Část A: úvodní hodina

Úvodní motivace za pomoci termovizního snímku:



Na začátku hodiny učitel rozdá žákům pracovní listy. K úvodní motivaci a nastolení problému projektové výuky je využit termovizní snímek pořízený ze vzducholodi (zdroj ENKI, o.p.s.). Z tohoto snímku vyplývá, že různé povrchy s odlišným typem vegetace mají odlišnou povrchovou teplotu (olšina, les, mokrá louka, apod.) Jak je to možné? Chladí všechny rostliny stejně? Z předcházející výuky žáci vědí, že chladicí schopnost rostlin je způsobena tím, že odpařují vodu. Pod vedením učitele žáci formulují hypotézu – domněnku: Rostliny mají rozdílnou schopnost odpařovat vodu, proto i různě ochlazují své okolí.

5 min

Nastolení problému, který budou žáci řešit v rámci projektu.

Učitel uvede žáky do situace, kdy se v okrajové čtvrti jejich obce chystá výstavba nové rezidentní čtvrti. Developer navrhuje odstranění rybníka, včetně vykácení dřevin na jeho břehu, osázení nízkou bezúdržbovou vegetací (sukulentní rostliny v kamenech, termín „sukulentní“ vysvětlíme jako „kaktusovité“), mezi domy pravidelně sekaný trávník a domy opatřit rozsáhlými klimatizačními jednotkami o určitém výkonu. Úkolem žáků bude navrhnout konkurenční projekt, který za pomoci vegetace sníží pocitové teplo v nově vznikající rezidentní čtvrti. Žáci se tedy budou snažit vytipovat, které rostliny nejlépe chladí. K tomu potřebují ověřit již dříve formulovanou hypotézu. Ověření proběhne během experimentální aktivity ve skupinách v průběhu následujícího týdne. Zjištěné závěry z této aktivity pak pomohou žákům navrhnout řešení úvodního problému.

Část B: Experimentální aktivita

V závěrečné části první hodiny je naplánována a zahájena experimentální aktivita, na které budou následně pracovat jednotlivé skupiny během týdne samostatně. Každá skupina bude pracovat s jiným druhem rostliny. Učitel žáky rozdělí do stejně početných skupin (osvědčily se skupiny po max. 4–5 jedincích). Zároveň každé skupině zadá úvodní motivační otázku propojující tematiku učiva a situace z běžného života. Příklady otázek:

- 1) Jak se změní místní klima, pokud vykácíme les? – jako modelovou rostlinu pak může skupina dostat pro experimentální činnosti zástupce lesní vegetace, např. buk
- 2) Jak se změní místní klima, když místo městského parku postaví developer nákupní centrum s betonovým parkovištěm? – jako modelovou rostlinu pro pokusnictví může skupina dostat zástupce vegetace městských parků, např. weigeli
- 3) Jak se změní místní klima, když vysušíme mokřad a místo toho začneme pěstovat řepku? – jako modelovou rostlinu pro další pozorování může skupina dostat zástupce mokřadní vegetace, např. vrbu

Probíhá řízená diskuze mezi učitelem a jednotlivými skupinami. ...

Žáci by si měli uvědomit, že neadekvátní hospodářské zásahy v krajině, které podporují vznik rozsáhlých ploch bez vegetace či ovlivňující odvodňování území, mají za následek oteplování místního klimatu a rozšiřování sucha.

5 min

Pokračuje práce ve skupinách, kdy učitel představí či připomene žákům práci s ručním měřičem příkonu intenzity slunečního záření, kombinovaným měřičem relativní vlhkosti a teploty vzduchu a vysvětlí zásady při práci s vahami.

V rámci dalšího kroku se děti ve skupinách pokusí designovat samotný experiment s využitím rostlin a materiálu, který mají ve výuce k dispozici (viz materiální zabezpečení pokusu), k ověření výzkumné otázky: Chladí všechny rostliny stejně? Všechny návrhy jsou prodiskutovány mezi jednotlivými skupinami a s učitelem. Z diskuze pak vzejde správný návrh pokusu.

10 min

Návrh pokusu:

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

Výsledky měření:

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

Závěr pokusu:

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

Správný průběh experimentu zajišťujícího koordinované pozorování:

Přípravná fáze experimentu:

1) Nejprve musíme pořídit vhodné experimentální rostliny (nutno zdůraznit, že od každé rostliny jsou potřeba minimálně tři pokusné varianty, abychom mohli vypočítat průměrné hodnoty evapotranspirace a mohlo dojít k zobecnění výsledků) – osvědčily se: buk (lesní vegetace), weigelie (městská vegetace), vrba (mokřadní vegetace), netřesk (sukulentní rostlina) – každá skupina pak má na starost jednu rostlinnou variantu. Pokud je ve třídě více žáků, může se některá z variant v různých skupinách opakovat nebo může být využito více druhů rostlin.

- 2) Rostliny musí být předem pěstovány v květináčích jednotného tvaru a objemu (velmi důležité však je, aby rostliny v těchto květináčích již rostly min. měsíc před pokusem, rozhodně nedoporučujeme přesazovat je až těsně před pokusem, vzhledem k pravděpodobnému poškození kořenového systému při manipulaci).
- 3) Rostliny si pečlivě označíme, aby nedošlo k záměně jednotlivých variant v průběhu experimentu.
- 4) Před zahájením pokusu je potřeba zeminu zcela nasytit vodou. Toho docílíme ponecháním květináčů s rostlinami na 24 hodin v podmisce (boxu) naplněné vodou.



Obr. 22: Nasycení půdy vodou před zahájením experimentu

- 5) Po nasycení půdy vodou květináče s rostlinami zvažíme (pro školní účely se osvědčila kuchyňská váha s minimální vážitelností 2 kg). Zjištěnou hmotnost budeme brát jako hmotnost výchozí po celou dobu průběhu pokusu. Při vážení je důležité používat podložní misku, aby nedošlo k poškození vah.
- 6) Rostliny umístíme na finální stanoviště – osvětlené místo, (např. okenní parapet orientovaný na jižní stranu), dostatečně daleko od radiátorů (přílišné teplo působí negativně na rostliny a způsobuje jejich odumření). V případě využití venkovního prostředí pak kromě dostatečného osvětlení zajistíme i ochranu před deštěm.

15 min



Obr. 23 Umístění označených rostlin na finální místo

Průběh experimentu:

7) Rostliny každý den vážíme (minimálně 3–5 dní) – úbytek hmotnosti odpovídá vodě, která byla odpařena přes listy rostlin a z půdy, tedy při procesu evapotranspirace – všechny hodnoty přehledně zapisujeme do připravené tabulky v pracovním listu, tak aby bylo jasné, jaká hodnota patří k příslušné pokusné variantě (nejvíce vody budou odpařovat zástupci mokřadní vegetace, nejméně zástupci sukulentů (V tabulce v závěru úlohy jsou uvedeny příklady průměrných hodnot jednotlivých variant z experimentálního ověření úlohy – vrba denně cca 200 ml, buk cca 155 ml, z weigelie cca 105 ml a nejméně netřesk, cca 15 ml).



Obr. 24: Vážení pokusných rostlin

8) Po zvážení pak vždy každý den zalijeme všechny rostliny tak, aby jejich hmotnost odpovídala hmotnosti výchozí (to znamená hmotnosti navážené před zahájením pokusu po plném nasycení vodou – 1 ml vody \approx 1 g).

9) Každý den zapisujeme do připravené tabulky čas měření, počasí (jasno, polojasno, zataženo), měříme intenzitu slunečního záření v úrovni listů pokusných rostlin (pomocí ručního měřiče příkonu slunečního záření), teplotu a relativní vlhkost v místnosti (s využitím kombinovaného měřiče relativní vlhkosti a teploty vzduchu). Všechny údaje zaznamenáváme do připravené tabulky v pracovním listě.

Samotné měření a zaznamenávání hodnot zabere každý pokusný den cca 20 min.

Tabulka pro zaznamenávání naměřených hodnot (tabulku je možné modifikovat dle počtu pokusných variant a experimentálních dní).

Pro experimentální účely má naše skupina k dispozici (určete a napište název rostliny):	Den 0 (založení pokusu)	Den 1	Den 2	Den 3	Den 4	Den 5
Čas měření	×					
Počasí (jasno, polojasno ...)	×					
Teplota v místnosti (°C)	×					
Relativní vlhkost v místnosti (%)	×					
Intenzita slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$)	×					
Hmotnost rostliny 1 (g)						
Úbytek hmotnosti rostliny 1 (g)	×					
Hmotnost rostliny 2 (g)						
Úbytek hmotnosti rostliny 2 (g)	×					
Hmotnost rostliny 3 (g)						
Úbytek hmotnosti rostliny 3 (g)	×					
Průměrný úbytek hmotnosti (g)	×					
Množství doplněné vody rostlina 1 (l)	×					
Množství doplněné vody rostlina 2 (l)	×					
Množství doplněné vody rostlina 3 (l)						



Obr. 25: Měření intenzity slunečního záření

10) Spočítáme, jakým výkonem chladí pokusné rostliny své okolí. Vycházíme z naměřených průměrných hodnot pro jednotlivé typy rostlin. Pro výpočet využíváme hodnoty skupenského výparného tepla vody při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,68\text{ kWh} = 2439\text{ kJ}$ (protože $2439:3600$ (počet vteřin v hodině) = $0,68$). V kostce to znamená, že na výpar 1 l vody o teplotě 20 stupňů Celsia se spotřebuje $2,45\text{ MJ} \approx 0,68\text{ kWh}$ sluneční energie. Vypočítáme tak, kolik watthodin energie, který typ rostliny spotřeboval (o kolik watthodin energie ochladil své okolí).

Část C: závěrečná hodina po skončení týdenní experimentální aktivity

Všechny skupiny předloží své protokoly a průměrné výsledky zapíší do společné tabulky. Pod vedením učitele porovnájí množství vody odpařené jednotlivými rostlinami.

Jakým výkonem chladí jednotlivé pokusné rostliny své okolí? Vypočítané hodnoty zapíšte do tabulky.

Tabulka pro zaznamenání:

Varianta	Rostlina 1	Rostlina 2	Rostlina 3
Spotřeba vody za celou dobu pokusu (l)			
Spotřeba energie (Wh)			

Žáci mohou počítat každý den po měření či souhrnně na závěr pokusu. Z výsledků vypočítáme průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty a z experimentu se pokusíme odvodit, jak chladí mokřadní (vrba), lesní (buk), městská (weigelia) či sukulentní (netřesk) vegetace. Zapřemýšlíme, proč některý den rostliny od-

pařovaly více vody než v jiných dnech. Z výsledků je patrné (viz tabulka na koci úlohy), že nejvíce chladily své okolí rostliny v pořadí: vrba (cca 135 Wh), buk (cca 105 Wh), weigelia (71 Wh) a netřesk (10 Wh) (údaje pocházejí z pilotního ověření úlohy.)

Průměrná hodnota spotřeby energie u vaší pokusné varianty byla:

Proč se některý den vypařilo z rostlin více vody než v jiných dnech? Z naměřených hodnot příkonu slunečního záření se pokuste odvodit vztah mezi intenzitou slunečního záření a evapotranspirací

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

Ve vztahu intenzity slunečního záření a evapotranspirace platí přímá úměra, čím jasnější počasí, tím evapotranspirace rostlin roste.

Diskuze mezi jednotlivými skupinami, porovnání výsledků a stanovení závěrů.

Závěrečná diskuze nad úvodními motivačními otázkami a k návrhu konkurenčního projektu na snížení pocitového tepla v nově vznikající rezidentní čtvrti.

a) Jak se změní místní klima, pokud vykácíme les?

b) Jak se změní místní klima, když místo městského parku postaví developer nákupní centrum s betonovým parkovištěm?

c) Jak se změní místní klima, když vysušíme mokřad a místo toho začneme pěstovat řepku?

Z výsledků experimentu by mělo být jasně patrné, že pro snižování pocitového tepla jsou nejvhodnější mokřadní rostliny, které své okolí ochlazují nejefektivněji. Naopak sukulentní rostliny, se kterými bylo počítáno v návrhu developerské společnosti, snižují pocitové teplo minimálně. Žáci by tak měli docházet k závěrům, které budou naopak lobovat za zachování rybníka a okolní vegetace, za existenci ploch s nekosenými trávničky ...

Obecně lze na závěr říci, že hospodářské zásahy v krajině, které podporují vznik rozsáhlých ploch bez vegetace (výstavba nákupního střediska na úkor městského parku) či ovlivňující odvodňování území (vysušení původního mokřadu), mají za následek oteplování místního klimatu a rozšiřování sucha.

Kontrola pracovních listů a shrnutí experimentu a vyučování učitelem. Ukončení výuky.

Tab. Naměřené hodnoty v rámci pilotního testování úlohy

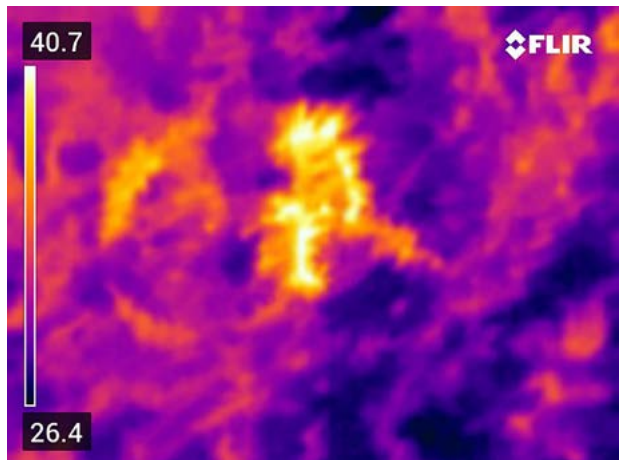
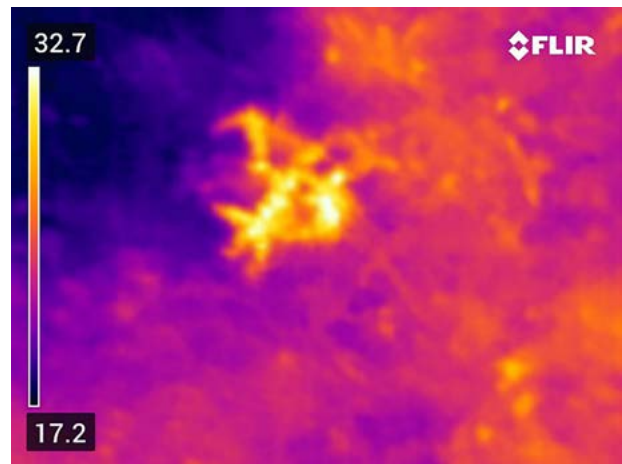
	Den	24. 9. 2019	25. 9. 2019	26. 9. 2019	27. 9. 2019	Průměrná hodnota (úbytek hmotnosti/den/varianta) (g)	Průměrná hodnota (úbytek hmotnosti/den/typ rostliny) (g)	Průměrná spotřeba energie (Wh)
	Čas měření	14:00	14:00	14:00	14:00			
	Počasí	jasno	polojasno	zataženo	jasno			
	Teplota v místnosti (° C)	20,4	20,2	19,5	20,6			
	Intenzita slunečního záření (W/m ²)	280	195	37	270			
Úbytek hmotnosti vrba (g)	R1	240	205	170	215	207,5	199,2	135,5
	R2	232	195	155	180	190,5		
	R3	243	200	160	195	199,5		
Úbytek hmotnosti buk (g)	R4	172	161	120	160	153,25	155,5	105,7
	R5	163	145	115	158	145,25		
	R6	180	156	úhyn	úhyn	168		
Úbytek hmotnosti Weigelia (g)	R7	115	108	89	114	106,6	104,9	71,3
	R8	122	116	96	107	110,25		
	R9	107	95	80	109	97,75		
Úbytek hmotnosti netřesk (g)	R10	22	16	7	15	15	14,42	9,8
	R11	19	14	9	13	13,75		
	R12	20	14	9	15	14,5		

6.5. Rozšiřující úlohy

6.5.1. „Najdi vetřelce“

Pro dokumentaci chladící role vegetace se v praxi na základních školách osvědčila aktivita, během níž žáci hledají pomocí termovizní kamery umělou rostlinu („vetřelce“) ukrytou v porostu vegetace. Umělá rostlina se zobrazuje jako teplejší místo ve vegetaci. Na rozdíl od okolní vegetace se neochlazuje prostřednictvím výparu z listů.

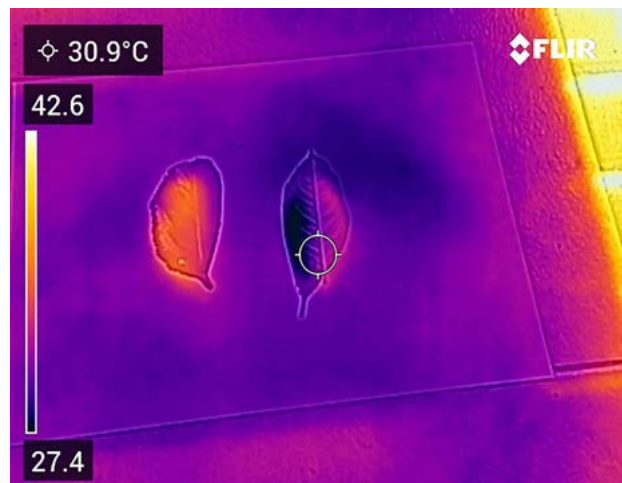
Návod: Umělou rostlinu umístěte do porostu vegetace dobře zásobené vodou. Provedte termovizní snímky za jasného letního dne v dopoledních hodinách. Popolední hodiny nejsou vhodné, vzhledem k tomu, že většina našich rostlin během letních dnů v této době omezuje transpiraci a chladící efekt by nebyl dobře viditelný.



Obr. 26: „Vetřelec“ umělá rostlina v trávníku (horní snímek) a v živém plotu zeravu západního (dolní snímek) odhalen pomocí termovizního snímku (termokamera FLIR C5).

6.5.2. Kde má rostlina průduchy?

Některé rostliny mají průduchy jak na spodní, tak i na svrchní straně listu, naopak jiné mají průduchy pouze na spodní straně listu. Pomocí termokamery můžeme snadno zjistit, kde má rostlina průduchy. Odhadnete jak? Zjistěte, na které straně listu má průduchy jabloň.



Obř. 27: Termovizní snímek svrchní a spodní strany listu jabloně (termokamera Flir C5).

Správné řešení: Víme už, že výpar snižuje povrchovou teplotu. Tedy u rostlin hypostomatických bude spodní strana listu, kde jsou průduchy, chladnější. U rostlin amfistomatických, které mají průduchy na obou stranách listu, nebude rozdíl měřitelný. Postup provedení viz metodika pro VŠ studenty učitelství na str. 46, dostupná zde: <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

6.5.3. Chytré zařízení pro chlazení a čištění vody? STROM v zahradě!

(Terénní výuka na školní zahradě)

Pomůcky: Větší igelitový sáček, provázek, kádinky, destilovaná voda, minerálka, konduktometr

Stromy díky procesu transpirace nejen ochlazují své okolí, ale také vodu čistí.

Snadno se o tom můžeme přesvědčit experimentem na školním pozemku. Pomocí konduktometru změříme konduktivitu (měrnou elektrickou vodivost) vody vytranspirované rostlinou. Konduktometr měří elektrickou vodivost vody, tedy schopnost vést elektrický proud. Vodivost je opačnou hodnotou elektrického odporu. Destilovaná voda má velmi nízkou elektrickou vodivost, protože má nízkou koncentraci rozpuštěných iontů. Voda obsahující rozpuštěné soli, má elektrickou vodivost vysokou. Elektrická vodivost se měří v jednotkách $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (mikrosiemens na centimetr).

Za slunného dne uzavřeme několik olistěných větví do igelitového sáčku na 24 hodin. Voda, která se přes den vypařila průduchy na listech, v noci zcondenzuje zpět do kapalného stavu. Opatrně ji slijeme do kádinky a změříme její vodivost kapesním konduktometrem. Porovnáme s vodivostí minerální vody, destilované vody a vody z vodovodního kohoutku ve škole.

Vodivost vody závisí na množství iontů ve vodě. Destilovaná voda má nejmenší vodivost (v našem případě 1). Vodivost minerální vody je velmi vysoká (v našem případě $1242 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), protože obsahuje velké množství iontů. Vodivost pitné vody z vodovodního kohoutku ve škole byla

200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Vodivost transpirační vody byla velmi nízká, 20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Strom většinu iontů využil pro svůj metabolismus. Stromy tedy výparem vody nejen ochlazují a zvlhčují své okolí, ale také čistí vodu téměř do kvality destilované vody.



Obr. 28: Terénní měření vodivosti kapesním konduktometrem

6.5.4. Vedení vody stonkem

Pro demonstraci vedení vody rostlinným stonkem lze použít květiny se světlými květy (tulipány, sněženky, narcisy), které ponoříme do roztoku inkoustu. Na obr. níže jsou rostliny bílého tulipánu ponechané po dobu 15 hodin v roztoku inkoustu zředěném v poměru 1:3 a pro srovnání též stejné tulipány, ponořené po stejnou dobu v čisté vodě. Inkoust je nasáván cévními svazky, které zbarvuje. Zbarvení je nejlépe viditelné v oblasti květů, ale dobře zvýrazněné jsou i cévní svazky v listech.



Obr. 29: Demonstrace vedení vody stonkem.

7. Seznam použité literatury

- Bannister, P. (1986). Water relations and stress. In: Moore, P. D. & Chapman S. B. (Eds.), *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications. s. 73-144.
- Brom, J. & Pokorný, J. (2017). Hydrologie mokřadů, vodní cyklus a klima. In: Čížková, H., Vlasáková, L. & Květ, J. (eds), *Mokřady: Ekologie, ochrana a udržitelné využívání*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. s. 313-332.
- Carin, A. A., Bass, J. E. & Contant, T. L. (2005). *Methods for teaching science as inquiry*. 9th ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Cihelka, J. (1997). *Solární tepelná technika*. Praha: Nakladatelství T. Malina.
- Čermák, J., Kučera, J. & Nadezhdina, N., (2004). Sap flow measurement with two thermodynamics methods, flow integration within trees and scaling up from trees to entire forest stands. *Trees – Structure and Function*, 18, s. 529 – 546. doi: 10.1007/s00468-004-0339-6
- Čermák, J., Nadezhdina, N., Trcala, M. & Simon, J. (2014). Open field-applicable instrumental methods for structural and functional assessment of whole trees and stands. *Lesnická a fřevařská fakulta. Mendelova univerzita v Brně*, 53 s.
- Dykyjová, D., a kol. (1989). *Metody studia ekosystémů*. Praha: Academia.
- Hesslerová, P. & Pokorný, J. (2010). Forest clearing, water loss and land surface heating as development costs. *Int. J. Water*, 5., s. 401–418.
- Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M. & Tóth, E. (2007). *Voda pre ozdravenie klímy – nová vodná paradigma*. Žilina: Municipalia.
- Kučera, J., Čermák, J. Penka, M. (1977). Improved thermal method of continua recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum*, 19(6), s. 413 – 420. doi: 10.1007/BF02922976
- Nadezhdina, N., David, T. S., David, J. S., Ferreira, M. I., Dohnal, M., Tesař, M., Gartner, K., Leitgeb, E., Nadezhdin, V., Čermák, J., Jimenez, M. S. & Morales, M. (2010). Trees never rest: the multiple faces of hydraulic redistribution. *Ecohydrology*, 3, s. 431 – 444. doi:10.1002/eco.148.
- Nadezhdina, N., Steppe, K., De Pauw, D. J., Bequet, R., Čermák, J. & Ceulemans, R. (2009). Stem-mediated hydraulic redistribution in large roots on opposing sides of a Douglas-fir tree following localized irrigation. *New Phytologist*, 184, s. 932–943. doi: 10.1111/j.1469.
- Pokorný, J. (2019). Evapotranspiration. In: Fath, B. D. (ed.), *Encyclopedia of Ecology, 2nd edition*. Oxford: Elsevier, s. 292–303.
- Pokorný, J. (2010). Energie v agroekosystémech. In: Šarapatka, B. a kol. (Eds.), *Agroekologie, východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Bioinstitut, Olomouc. S. 119 – 137.
- Pokorný, J., Brom, J., Čermák, J., Hesslerová, P., Huryna, H., Nadezhdina, N., Rejšková, A. (2010): Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. *International Journal of Water*. Vol. 5, No. 4, s. 311-336
- Pokorný, J. & Hesslerová, P. (2019). Jak vysycháme – aneb, opravdu „kazí rybníky hydrologickou bilancí“? Sborník referátů 5. ročníku Odborné konference konané v Českých Budějovicích 14. a 15. února 2019. Rybářské sdružení ČR, FROV, Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích. s. 37 – 43.
- Rosenberg, V. J., (1974). *Microclimate: the biological environment*. New York: Wiley.
- Ryplová, R. (2014). Fyziologie rostlin. *Skriptum pro studující učitelství přírodopisu pro 2. stupeň ZŠ*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 114 s.

8. Publikace autorského kolektivu předcházející vydání této metodiky

Ryplová, R. & Pokorný, J. (2019). Opomíjená úloha vegetace v distribuci sluneční energie a utváření klimatu – sonda znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu. *Envigogika*, 14(1). <https://doi.org/10.14712/18023061.586>

Vácha Z., Pokorný J. & Ryplová R. (2019). Efekt výuky s badatelskými prvky na pochopení ekologického významu evapotranspirace, In M. Rusek, M.Tóthová, & K. Vojíš (Eds.), *Project-based Education and Other Activating Strategies in Science Education XVII.* (s. 218-225). Prague: Charles University, Faculty of Education. available on line: https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2020/05/PBE_2019_final.pdf

Ryplová R., Pokorný J., (2020). Saving Water for the Future Via Increasing Plant Literacy of Pupils. *European Journal of Sustainable Development* (2020), 9, 3, 313-323 ISSN: 2239-5938 Doi: 10.14207/ejsd.2020.v9n3p313

Ryplová, R., & Pokorný, J. (2020). Fostering interdisciplinarity through technology enhanced learning of transpiration. In M. Rusek, M.Tóthová, & K. Vojíš (Eds.), *Project-based Education and Other Activating Strategies in Science Education XVII.* (pp. 245-252). Prague: Charles University, Faculty of Education. available on line: https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2020/05/PBE_2019_final.pdf

9. Přílohy

Přílohy ke stažení na <https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

1. Pracovní list pro žáky k úloze č. 1

2. Pracovní list pro žáky k úloze č. 2

3. Pracovní list pro žáky k úloze č. 3

4. Pracovní list pro žáky k úloze č. 4

Poděkování

Tato metodika byla vytvořena s finanční podporou TAČR v rámci řešení projektu TL 01000294.

Autoři děkují základním školám a víceletým gymnáziím spolupracujícím na pozici aplikačních garantů tohoto projektu za spolupráci při tvorbě a ověřování této metodiky:

Gymnázium Jírovcova České Budějovice
Gymnázium J.V. Jirsíka České Budějovice,
ZŠ Nerudova České Budějovice

Za cenné konzultace děkujeme zejména Mgr. Zuzaně Kalové, Gymnázium J.V. Jirsíka České Budějovice, Mgr. Janě Kittelové, ZŠ Nerudova České Budějovice, Mgr. Martinu Kostkovi, Ph.D. Gymnázium Jírovcova České Budějovice. Za cenné připomínky, konzultace a spolupráci při ověřování metodiky děkujeme též dačickým školám, jmenovitě Základní škole Dačice, Komenského 7 a paní ředitelce ing. E. Macků, ZŠ Dačice B. Němcové a paní učitelce Mgr. L. Janouškové, ZŠ Studená a paní ředitelce Mgr. J. Bučinové. Dík patří i řadě dalších nejmenovaných učitelů základních škol a víceletých gymnázií, kteří svými připomínkami přispěli ke zdárnému dokončení této metodiky.

Veškeré materiály k této metodice tj. videonahrávka, pracovní listy pro žáky, vzorová ppt prezentace, karty pro aktivitu Kolotoč k úloze č. 1 a 2 jsou dostupné zdarma na adrese:

<https://www.pf.jcu.cz/projekty/svv/>

Metodika výuky k tématu

Sluneční energie – voda v krajině – vegetace

pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií

Autorský kolektiv:

RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.¹

doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.²

RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D.²

ing. Vladimír Jirka, CSc.²

Mgr. Zbyněk Vácha, Ph.D.¹

¹Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích

Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice

²ENKI, o.p.s., Dukelská 145, Třeboň

Fotografie: Archiv ENKI, o.p.s., R. Ryplová, Z. Vácha

Grafická úprava: Barbora Solperová, Titty, s.r.o.

V roce 2021 vydalo ENKI, o.p.s., Třeboň

1. vydání

ISBN 978-80-908090-0-0