

Metodika výuky k tématu

Sluneční energie – voda v krajině – vegetace

pro VŠ studenty učitelství přírodopisu pro ZŠ a učitele z praxe



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. a R. Ryplová

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

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

ISBN: 978-80-905483-8-1

Obsah

1. Úvodem	4
2. Cíle, obsah a způsob tvorby metodiky	4
3. Výsledky sondy znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu	6
4. Začlenění tématu do VŠ výuky a její schéma	7
5. Teoretické základy problematiky	8
a. Sluneční energie	8
b. Distribuce sluneční energie v krajině	9
c. Výpar a kondenzace vody, fyzikální principy v biologii rostlin	10
d. Role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině	11
e. Metody stanovení evapotranspirace	13
f. Měření rychlosti transpirace	14
g. Biotická pumpa a obrácená biotická pumpa	16
6. Začlenění tématu do pedagogické praxe na ZŠ (RVP) a doporučené formy a metody výuky	18
7. Doporučená sestava přístrojů pro VŠ výuku	19
8. Metodické listy pro vysokoškolskou výuku na pedagogických fakultách	24
9. Příloha: Pracovní listy pro VŠ studenty učitelství přírodopisu ZŠ – neřešená varianta	50
10. Použitá literatura	50
11. Publikace autorského kolektivu předcházející vydání této metodiky	51

1. Úvodem

Metodika výuky k tématu Sluneční energie – voda v krajině – vegetace pro VŠ studenty učitelství přírodopisu pro ZŠ a učitele z praxe vznikla v reakci na naléhavou potřebu implementace 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.

Základem informovanosti budoucích generací a široké veřejnosti je školní výuka. Téma role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině je v ní však doposud opomenuto. Výuku tohoto tématu je potřeba posílit především v rámci inovace výuky přírodopisu. Jak známo, inovace ve vzdělávání žáků nutně musí začínat již u vzdělávání jejich učitelů. Nutnost vzdělávání budoucích i stávajících učitelů přírodopisu k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v přírodě tak vedla k vytvoření této metodiky vysokoškolské výuky pro potřeby především pedagogických fakult, ale i dalších pracovišť, která se na výuce pedagogů podílejí.

2. Cíle, obsah a způsob tvorby metodiky

Cílem této metodiky je přinést v praxi ověřený návrh výuky budoucích učitelů přírodopisu pro ZŠ na pedagogických fakultách k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině. Kromě studentů učitelství je metodika určena také pro již stávající učitele přírodopisu ZŠ a víceletých gymnázií, kteří mají zájem doplnit si v tomto směru své znalosti např. v rámci kurzů celoživotního vzdělávání.

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 vysokoškolskou výuku budoucích či stávajících učitelů ZŠ a víceletých gymnázií, b) Metodika určená pro výuku žáků základních škol a víceletých gymnázií. Obě tyto metodiky spolu úzce souvisejí. Metodika pro výuku žáků ZŠ je jakousi didaktickou rukověť pro učitele pro užití v praxi, se kterou je vhodné studenty učitelství přírodopisu seznámit již během studia na pedagogických fakultách. 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 publikace „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“, vycházející v říjnu 2021, kde mohou vyučující všech typů škol čerpat hlubší informace k tomuto tématu a je vhodné ji doporučit frekventantům vysokoškolské výuky jako studijní oporu.

Všechny tyto metodické materiály jsou dostupné online zdarma na stránce https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/veda-a-vyzkum/nejvyznamnejsi-projekty/tacr_slunecni_energie/.

Součástí této metodiky pro vysokoškolskou výuku je stručný teoretický úvod do problematiky, metodické listy pro VŠ výuku a pracovní listy pro VŠ studenty. Jak již bylo zmíněno, metodické listy pro VŠ výuku jsou provázány s metodickými listy pro výuku na základních školách. Těžištěm všech uvedených výukových aktivit je terénní měření zahrnující pokusy a pozorování s využitím moderní měřicí techniky. Je proto zařazena i doporučená sestava měřicích přístrojů pro VŠ výuku, které byly ve výuce ověřeny, včetně popisu práce s nimi. Tyto přístroje jsou na trhu v různých variantách a jsou cenově dostupné.

Na začátku tvorby této metodiky stála sonda znalostí k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině provedená mezi začínajícími studenty učitelství přírodopisu na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Na základě závěrů této sondy vytvořil autorský kolektiv projektu nejprve pilotní verzi metodiky, která pak byla v následujících dvou letech opakovaně ověřována ve výuce předmětu Fyziologie rostlin u studentů navazujícího magisterského studia učitelství přírodopisu pro ZŠ. Učitelé z praxe ověřovali a připomínkovali tuto metodiku během workshopů v letech 2019 – 2020.

3. Výsledky sondy znalostí začínajících studentů učitelství přírodopisu

Sonda dosavadních znalostí k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině byla provedena v roce 2018 mezi 100 nastupujícími studenty prvního ročníku oboru přírodopis se zaměřením na vzdělávání na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Odráží tedy znalosti, se kterými studenti nastupují na pedagogickou fakultu po absolutoriu středních škol. Konkrétní výsledky sondy jsou dostupné v publikaci Ryplová & Pokorný (2019). Povědomí o tomto tématu bylo zjišťováno i mezi pedagogy spolupracujících škol.

Z výsledků sondy vyplývá, že úroveň znalostí o roli vegetace v distribuci solární energie a koloběhu vody v krajině je u začínajících studentů učitelství přírodopisu značně limitovaná. Byly odhaleny i některé miskoncepce.

Ačkoliv studenti mají po absolutoriu střední školy reálnou představu o množství slunečního záření dopadajícího na povrch krajiny, jejich představy o dalším využití této energie jsou nejasné nebo mylné. Převládá názor, že většina dopadající sluneční energie je rostlinami využita pro fotosyntézu, ačkoliv reálně se jedná pouze o cca 1 % dopadající energie. Naopak spotřebu sluneční energie pro výpar vody evapotranspirací v naprosté většině neuvažují a není jim známa ani termoregulační funkce vody pro rostlinu a její okolí. Z celkové analýzy výsledků vyplývá podcenění či neznalost ekologického významu transpirace rostlin. Fotosyntézu respondenti považují za dominantní fyziologický děj pro distribuci solární energie v krajině. Studenti si dostatečně neuvědomují souvislosti mezi znalostmi získanými ve fyzice již na úrovni základní školy (tepelné změny související se změnou skupenství - spotřeba tepelné energie pro výpar, uvolnění tepelné energie při kondenzaci) a znalostmi o transpiraci získanými ve výuce přírodopisu na středních školách. Mají problémy aplikovat poznatky z obou dvou těchto disciplín pro vysvětlení jevů, s nimiž se setkávají v reálném světě. Uvědomují si, že v městském parku je chladněji než na dlážděném náměstí, avšak neumí správně vysvětlit fyzikální principy vázané na přeměny energie zprostředkované rostlinami, které to způsobují (transpirace, evapotranspirace). Ačkoliv transpirace je součástí středoškolské výuky, řada studentů zaměňuje proces transpirace s respirací a domnívá se, že výpar z listů je projevem rostlinného „dýchání“. Za alarmující lze považovat i zjištění, že nadpoloviční většina začínajících studentů učitelství přírodopisu neví, že rostliny do svého okolí uvolňují vodu v podobě páry. Předpokládají, že rostliny pro svůj metabolismus využívají veškerou vodu, kterou kořeny nasají, aniž by nějakou její část opět do svého okolí uvolňovaly.

Sondou provedenou mezi učiteli z praxe bylo zjištěno, že nikdo z nich se s touto problematikou v rámci své vysokoškolské přípravy nesetkal, dva respondenti absolvovali jednu z popularizačních přednášek uspořádaných na toto téma ENKI, o.p.s. Doposud nikdo z oslovených učitelů také však téma nezařadil do své výukové praxe na základní škole či víceletém gymnáziu. Tyto mezery ve vzdělání jsou alarmující v souvislosti s úsilím o zmírňování klimatických extrémů a adaptací na klimatickou změnu.

4. Začlenění tématu do VŠ výuky a její schéma

Tato metodika je primárně určena pro vyučující předmětu fyziologie rostlin (či obsahově ekvivalentních předmětů) na pedagogických fakultách. Je koncipována s cílem dosáhnout u absolventů výuky tzv. technicko-didaktické znalosti obsahu (i v české didaktice užívaná angl. zkratka **TPACK** – Technological pedagogical content knowledge).

Technicko-didaktickou znalostí obsahu v případě tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině rozumíme:

- hlubší pochopení fyziologické role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině, souvislost fyziologických dějů s fyzikálními principy termodynamických změn, souvislost s klimatologií
- zvládnutí metodologie výuky pro školskou praxi
- získání praktických dovedností měření potřebných veličin pomocí moderních, uživatelsky přívětivých a cenově dostupných měřicích přístrojů.

Role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině je založena na procesu evapotranspirace. Téma je proto vhodné zařadit do výuky fyziologie či ekofyziologie rostlin v rámci pregraduální přípravy studentů učitelství přírodopisu pro základní školy. Navazuje na předchozí znalosti studentů o vodním režimu rostlin, transpirace, fotosyntézy a dýchání rostlin a anatomie a morfologie rostlin. Může být inspirací i pro výuku fyziky. Po stránce didaktické metodika předpokládá teoretické znalosti pravidel badatelské, projektové a terénní výuky.

Na PF JU v Českých Budějovicích byla výuka ověřena ve formě modulu skládajícího se z úvodní přednášky v rozsahu dvou hodin a následujícího bloku terénních cvičení v celkovém rozsahu 6 hodin. Terénní výuka byla realizována částečně na fakultní výukové zahradě PF JU, kde je odpovídající technicko-didaktické zázemí, částečně v kampusu JU a s využitím přílehlé městské vegetace. Projektová výuka popsaná v Metodickém listu č. 5 byla ověřena v rámci vícedenního terénního cvičení.

Doporučené schéma vysokoškolské výuky:

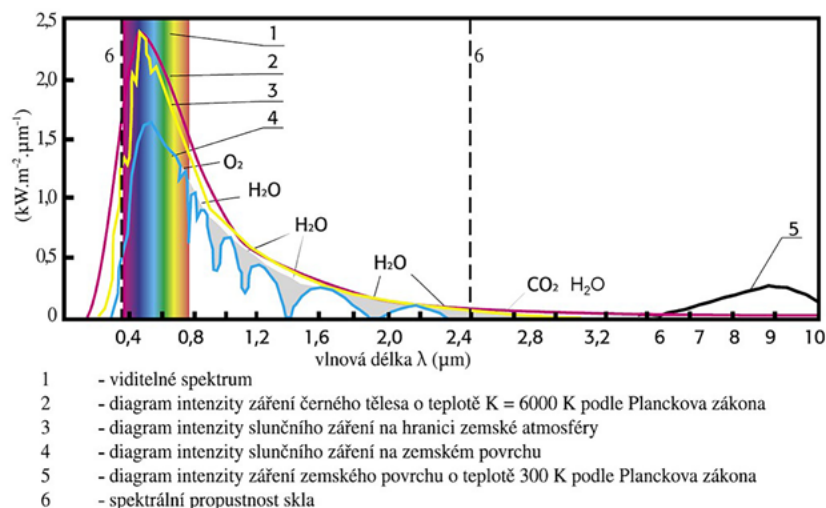
- a) Stručný teoretický výklad základů problematiky
- b) Seznámení s měřicí technikou a nácvik měření
- c) Představení doporučených metod a forem výuky
- d) Seznámení studentů s Metodikou výuky na ZŠ a vzorové náměty pro výuku
- e) Realizace terénních výukových aktivit dle Metodických listů pro VŠ výuku

5. Teoretické základy problematiky

Vyučující na vysokých školách 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, se kterými je potřeba studenty seznámit.

a. Sluneční energie

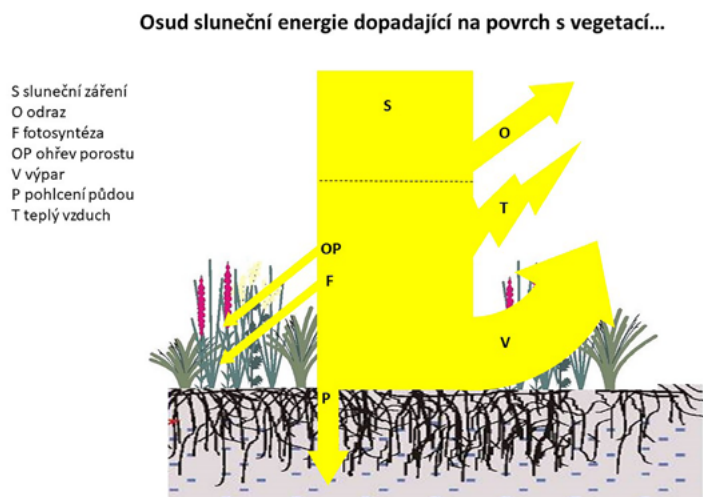
Na hranici zemské atmosféry prochází plochou 1 m^2 průměrně 1367 W slunečního záření. Tuto energii nazýváme solární konstantou, protože pro průměrnou vzdálenost Země od Slunce je její hodnota stálá. Podle polohy Země na její eliptické dráze kolem Slunce se hodnoty množství sluneční energie přicházející na povrch atmosféry v průběhu roku pohybují od 1438 do 1345 W.m^{-2} . Při průchodu atmosférou se absorbuje nejméně jedna třetina slunečního záření (ve vodní páře, rozptýluje 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 W.m^{-2} slunečního záření, při husté oblačnosti prochází pouze několik desítek W.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 $7 - 10 \mu\text{m}$ 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). 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).

b. 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**).



Obr. 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 (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 a zejména voda a tedy i vlhká vegetace. Ve slunných dnech odráží světlá betonová plocha cca 25 % 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).

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 $L \cdot E$, „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 $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

c. 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 (přepočet $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$, $2450 : 3600 = 0,68 \text{ kWh}$).

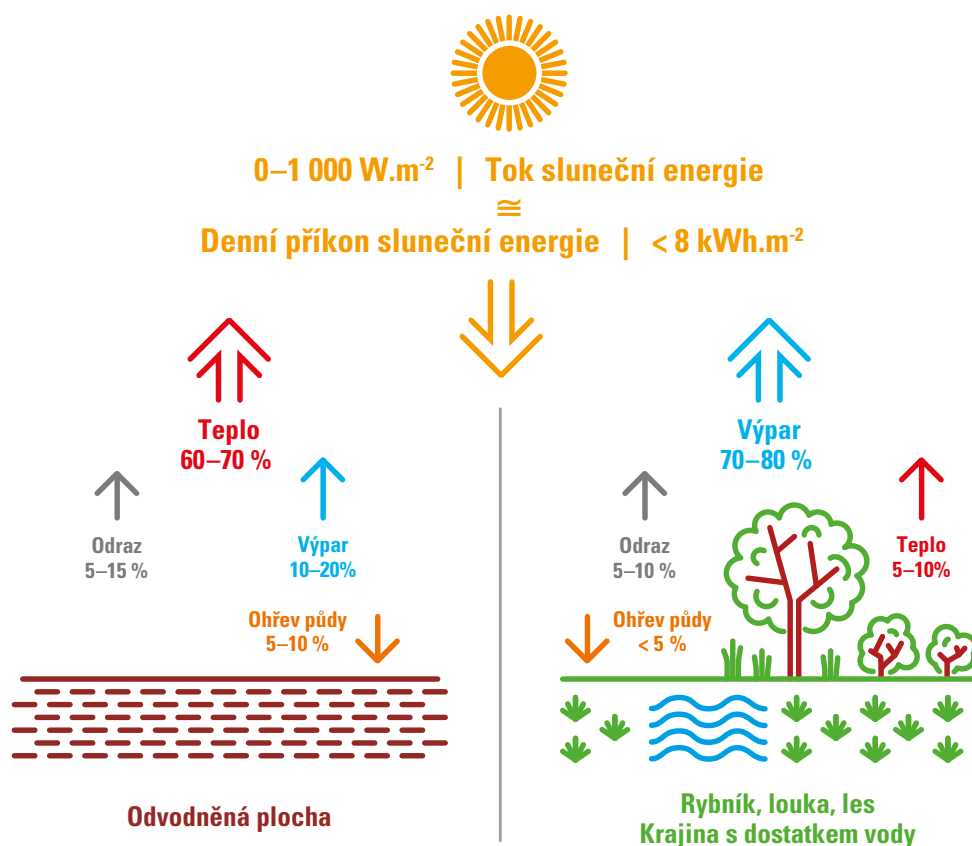
Při výparu 1 litru vody je tedy ve vodní páře „uschováno“ přibližně 0,68 kWh sluneční energie. Při poklesu teploty dochází ke kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Energie vázaná ve vodní páře se opět uvolňuje a ohřívá povrchy, na nichž se vodní pára sráží.

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.

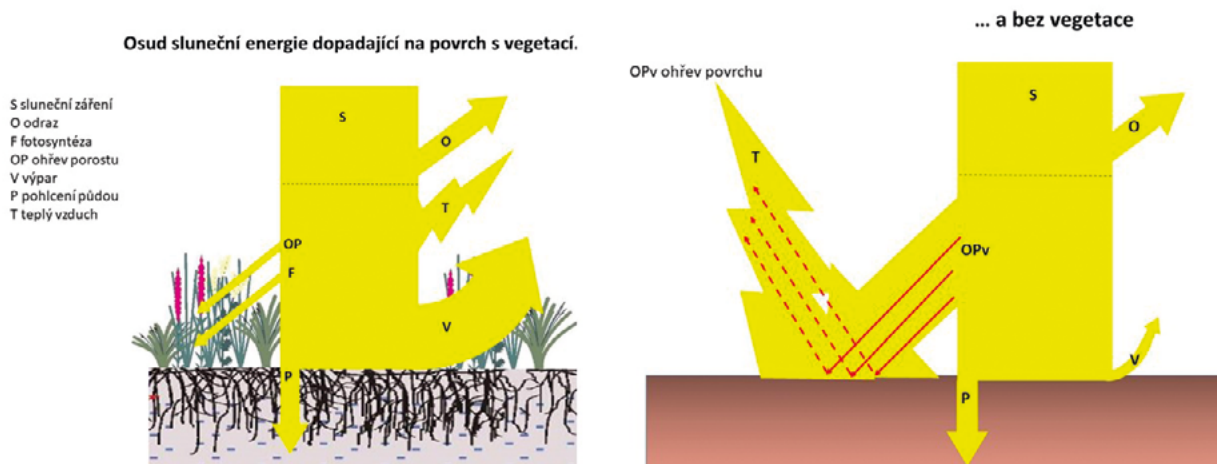
Molární hmotnost vody je $16+2 = 18 \text{ g}$. Při výparu tlak vzduchu roste, při kondenzaci tlak vzduchu klesá.

d. 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. 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. 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. 3: Rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a suché krajině bez vegetačního krytu a vodních nádrží. Odvodněná plocha s nedostkem 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.



Obr. 4: 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).

e. Metody stanovení evapotranspirace

Evapotranspirace porostu je úhrnné množství vody vypařené na určitém místě z půdního povrchu a povrchu rostlin (evaporace) a vydané průduchy rostlin (transpirace). Její intenzitu lze studovat pomocí různých metod, které lze rozdělit na přímé a nepřímé. Mezi přímé metody patří využití lyzimetrů a výparoměrů, mezi nepřímé pak řada mikrometeorologických metod a metody dálkového průzkumu Země.

1) Přímé metody

Lyzimetr je izolovaný blok porostu, v nejjednodušším případě kultivační nádoba s rostlinami. Sledují se změny hmotnosti půdního bloku s rostlinným pokryvem za určité časové období. Známe-li množství vody dodané do nádoby srážkami nebo zálivkou, je změna hmotnosti způsobena prakticky pouze evapotranspirací. Důležité je, aby se množství půdy, teplota a vlhkostní poměry kolem kořenů blížily podmínkám v porostu a aby lyzimetr byl umístěn v zápoji vegetace, jejíž evapotranspiraci zjišťujeme. Existuje mnoho různých typů lyzimetrů, některé o objemu až několika krychlových metrů umístěné v zemi, s kontinuálním sledováním jejich hmotnosti, vlhkosti půdy atp. U mokřadní vegetace lze místo změn hmotnosti využít sledování poklesu hladiny podzemní vody a změny vlhkosti v půdě.

Výparoměry (evaporimetry) jsou založeny na principu výparu buď z vodní plochy, nebo z referenčního výparného povrchu daných vlastností. Výpar z vodní plochy je sledován v nádobě naplněné vodou o dané ploše na principu měření změny vodní hladiny, např. meteorologické evaporimetry na bázi Rónova výparoměru. Měření výparu z referenčního výparného povrchu je založeno na principu výparu z porézního materiálu nasáklého vodou o dané ploše, např. z filtračního papíru – tzv. Pitcheův výparoměr.

2) Nepřímé metody

Evapotranspirace se zjišťuje výpočtem z naměřených meteorologických dat. **Mikrometeorologické metody** jsou vhodné pro studium evapotranspirace a ostatních energetických toků na úrovni ekosystémů. Jsou založeny na monitoringu fyzikálních parametrů prostředí, jako je sluneční záření, teplota a vlhkost vzduchu a půdy, rychlost větru, stabilita atmosféry a charakter mezní vrstvy atmosféry apod., v kombinaci s popisem porostu jako je např. odpor porostu k proudění vzduchu, architektura porostu, listová pokryvnost apod. Mezi mikrometeorologické metody patří řada metod, od jednoduchých až po metody instrumentálně a výpočetně značně složité. Mikrometeorologické metody se využívají pro zjišťování potenciální a aktuální evapotranspirace. Přičemž aktuální evapotranspirace je rychlost výdeje vody porostem naměřená a potenciální evapotranspirace je rychlost výdeje vody, kterou by porost dosáhl při optimálním zásobení vodou. Metody měření evapotranspirace se rozvíjely zejména v souvislosti s optimalizací závlahy při pěstování zemědělských plodin (Pokorný, 2019).

Nejčastěji se používají tři následující metody:

- a) energetická bilance stanoviště (tzv. metoda Bowenova poměru)
- b) metoda Penman-Monteithova
- c) metoda vířivé (eddy) kovariance.

Metoda Bowenova poměru je založena na kombinaci radiační bilance, gradientu teplot a gradientu obsahu vodní páry nad porostem. Do výpočtu je zahrnuta též informace o toku tepla do půdy. Jedná se o instrumentálně i výpočetně poměrně jednoduchou metodu.

Penman–Monteithova metoda do výpočtu zařazuje další členy, jako je teplota povrchu porostu, odpor mezní vrstvy atmosféry, odpor porostu, aerodynamické vlastnosti porostu a rychlost proudění vzduchu. Metoda je poněkud složitější jak technicky, tak i výpočetně. Oproti metodě Bowenova poměru, která bere v potaz pouze fyzikální parametry prostředí, zahrnuje Penman-Monteithova metoda přímo vlastní parametry porostu, jako je výška porostu, index listové plochy a vodivost průduchů. Metoda též využívá informaci o proudění vzduchu, který se při výparu uplatňuje jako dodatková energie.

Metoda vířivé (eddy) kovariance je založena na principu přímého spektroskopického měření obsahu vodní páry a CO₂ ve vzduchu v kombinaci s ultrasonickým měřením pohybu vzduchu v trojrozměrném prostoru. Hodnoty jsou zaznamenávány ve frekvenci 20 Hz a integrovány ve zpravidla 30 minutových intervalech. Jedná se o analytickou metodu, která je instrumentálně i výpočetně značně složitá. Používá se v současné době zejména na stanovení toků CO₂ v různých typech ekosystémů.

f. Měření rychlosti transpirace

Tato metodika byla vytvářena s předpokladem, že frekventanti studia již mají předcházející znalosti o problematice vodního provozu rostlin. Proto na tomto místě stručně připomínáme pouze základní pojmy.

Výdej vody rostlinou přes listy/jehlice se nazývá **transpirace**. Transpirace umožňuje zásobování částí rostlin vodou a minerálními látkami, ochlazuje povrch listů a umožňuje tak metabolické pochody. Rozlišujeme **transpiraci stomatární** (přes průduchy) a **kutikulární** (přes pokožku chráněnou hydrofobní vrstvou – kutikulou).

Voda se vypařuje převážně přes průduchy rostlin, které se při nedostatku vody (ale i pod vlivem dalších parametrů) zavírají. I po zavření průduchů se v menší míře voda vypařuje přes pokožku listů. U běžných rostlin (kromě sukulentů) se na jednu přijatou molekulu oxidu uhličitého a jednu vyloučenou molekulu kyslíku, vypaří několik set molekul vody. Kritériem nároků na vodu je tzv. **transpirační koeficient**. Transpirační koeficient je množství vody potřebné pro vytvoření jednoho kilogramu biomasy (sušiny), které rostlinou projde a přes listy se odpaří. Hodnoty transpiračního koeficientu dosahují několika set kilogramů vody. Velkým stromem tak projde za den i sto litrů vody. Z jednoho metru čtverečního porostu se běžně za slunného počasí odpařuje 100 mg vody za vteřinu, což odpovídá spotřebě sluneční energie 240 W.

Jednou z nejstarších metod studia transpirace a její intenzity je vážková (**gravimetrická**) metoda. Princip je založen na úbytku hmotnosti rostlinného orgánu, který je dán výparem z jeho povrchu. Metoda se hodí spíše pro laboratorní podmínky, ale lze ji použít i v terénu. Oddělený list ovšem odpařuje vodu mimo porost, kde je jiná vlhkost a jiné proudění vzduchu. Touto metodou se dá snadno ukázat transpirace jako jev i princip jejího kvantitativního stanovení.

Rychlost transpirace na úrovni listu v přirozených podmínkách je možné měřit tzv. **gazometricky**, tzn. přímým měřením výdeje vodní páry z části listu pomocí infračervených plynových analyzátorů (např. přístroj LI-COR LI-6400). Spektrofotometricky se určuje změna koncentrace vodní páry ve vzduchu po průchodu měřicí komůrkou, ve které je uzavřena přesně stanovená plocha listu za kontrolovaných konstantních podmínek osvětlení, vlhkosti vzduchu, teploty, rychlosti proudění vzduchu atd. Další metodou, jak odhadnout rychlost výparu, je měření vodivosti (odporu) listu pro difúzi vodní páry (a obdobně CO₂). Tyto hodnoty můžeme získat například **porometrickým** měřením. Přehled klasických metod pro měření výdeje vody a vodní bilance u rostlin uvádí např. Bannister (1986).

Další velmi vhodnou metodou pro účely pochopení klimatizační role vegetace, je **měření kontinuálního toku xylémové šťávy „sap flow“**, označovaná v češtině také jako metoda měření transpiračního toku. Používá se u stromů a výdej vody se měří na základě šíření teplotních pulsů kmenem. Ve světovém měřítku vypracoval a využívá této metody profesor Jan Čermák z Mendelovy univerzity v Brně.

Voda je přijímána kořeny, proudí dřevní částí cévních svazků (xylemem) kmenem vzhůru do listů a přes průduchy se odpařuje do atmosféry. Tato kapalina se nazývá míza. Obsahuje živiny přijaté kořenem a hormony jím produkované. Lýkem (floem) ve vnější části cévních svazků pak proudí směrem dolů ke kořenům především produkty fotosyntézy z listů. Funkční cévní svazky mají na řezu kmenem světlou barvu, česky se tato část nazývá běl (anglicky sap). Cévní svazky jsou funkční nejvýše několik let, postupně dřevnatí a mění se v tzv. tvrdé dřevo a nahrazují je nové svazky, nová běl. Přirůstající dřevo vytváří letokruhy.

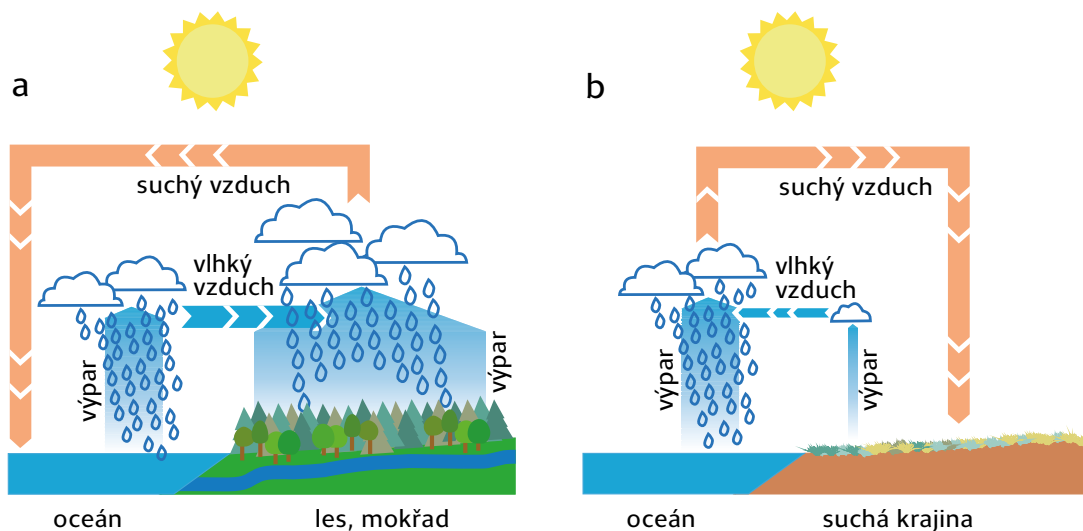
Rychlost proudění vody v cévních svazcích (běli) je úměrné množství vody, která se vypařuje listy (transpirace). Tok vody v běli se měří jako rozdíl teplot nad a pod elektrodou instalovanou do běle. Elektroda je zahřívána elektrickým proudem z baterie. Tento princip má několik variant. Rozvoj metody probíhal v ČR od 70. let s cílem využít naměřené hodnoty transpirace jednotlivých stromů na celý les. Dnes je pro měření transpiračního toku dostupná komerční instrumentace různého typu.

Tepelná bilance kmene („trunk heat balance“), se měří termočlánky umístěnými vertikálně nad a pod elektrodou zahřívající transpirační proud v běli. K dosažení větší přesnosti měření je potřeba ohřát a měřit větší část běle. Na obvodu kmene neproudí míza stejnou rychlostí. Proto se využívá jehlic, ve kterých je i několik termočlánků za sebou a je pak možné měřit teploty v různé hloubce běle a vyhodnotit rychlost toku prostorově. Jiná varianta metody sap flow pracuje s tepelnými pulsy.

Je snahou měřit též tzv. reverzní tok, v některých případech v noci teče voda ze zásobních prostor z kmene do kořenů. Jsou popsány i případy transportu vody mezi kořeny nebo z hluboko kořenujícího stromu do kořenů stromků mladých.

g. Biotická pumpa a obrácená biotická pumpa

Vegetační kryt může ovlivňovat množství vody na kontinentech i v globálním měřítku. Je historickou zkušeností, že odlesnění vede po čase k úbytku vody, srážek a vysychání. Logicky vzato, vegetace a stromy zejména vypařují vodu do atmosféry. Evapotranspirace je často mylně považována za ztrátu vody výparem. Nad lesními komplexy je ovšem více oblačnosti a jsou tam vyšší srážky. Funkci lesů v oběhu vody vysvětluje teorie tzv. biotické pumpy, kterou vytvořili Makarieva a Gorshkov (2007). Podle teorie Biotické pumpy záleží dodávka vody z oceánu na pevninu na stavu vegetačního pokryvu. Evoluce vyřešila dva zásadní a obtížné problémy: jak dopravit atmosférickou vlhkost daleko do vnitra pevniny a jak tento transport setrvale udržet. Les má vysokou pokryvnost listoví (listová plocha nad jedním metrem čtverečním) a má proto i vysokou evapotranspiraci (transpirace + evaporace z povrchu), která může být vyšší nežli evaporace z povrchu oceánu. Následkem intenzivní evapotranspirace obsahuje vzduch nad lesem vysoký obsah vodní páry, která v noci kondenzuje, jak vlhký vzduch adiabaticky (bez výměny tepla s okolím) stoupá vzhůru. Při kondenzaci vodní páry na vodu kapalnou klesá tlak vzduchu nad lesem. Například objem 22 400 ml vodní páry se při kondenzaci na vodu zmenší na 18 ml, voda ve stavu vodní páry má tedy více než 1000x vyšší objem nežli stejné množství vody v kapalném stavu (Avogadrův zákon). Pokles tlaku vzduchu má za následek vzestup vzduchu vzhůru nad les. Vzniká tak horizontální gradient tlaku, neboli díky sníženému tlaku vzduchu se nasává vzduch horizontálně z okolí, pokud je lesů dostatek (například 40 % plochy) nasává se vzduch z oceánů hluboko do kontinentů. Vlhký vzduch z oceánu zrychluje kondenzaci vodní páry nad lesem, což zesiluje transport vodní páry z oceánu na pevninu. Vzduch zbavený určitého množství vodní páry se vrací zpět nad oceán ve vyšší vrstvě atmosféry, nežli je proud vlhkého vzduchu z oceánu. Neboli vlhký vzduch přicházející z oceánu proudí v nižší vrstvě atmosféry nežli vzduch zbavený vlhkosti, který odchází k oceánu a uzavírá tak cyklus transportu vody z oceánu na pevninu (obr. 5). Je pozoruhodné, že směrem do nitra kontinentu přibývá podíl vody z malého oběhu ve srážkách a je prokázáno, že voda z Atlantiku se dostává přes Evropu a Sibiř až na sever Číny. Odlesňováním se ovšem tento transport narušuje. Odlesněná a odvodněná krajina se přehřívá.



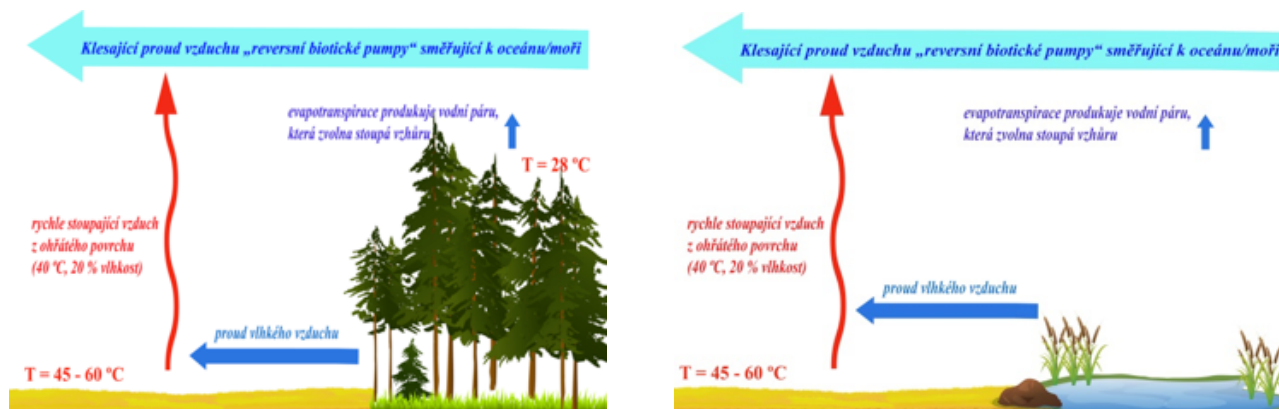
Obr. 5: a) Biotická pumpa a b) everzibilní biotická pumpa (Brom a Pokorný, 2017)

a) Intenzivní výpar nad lesními porosty → zvýšená kondenzace → snížení tlaku → pokles vertikálního tlakového gradientu → pohyb vzduchu mimo lesy → nasátí vzduchu od oceánů

- Vzduch od oceánů je vlhký → podpora procesů biotické pumpy
- Po vypadnutí srážky → suchý vzduch se vrací zpět nad oceány

b) Pokud krajinu odlesníme a odvodníme, probíhá kondenzace vodní páry převážně nad oceánem. Oceán tak odebírá („krade“) vodu kontinentu. To je mechanismus dlouhodobého vysychání oblastí, které člověk zbavil vegetace a vody.

Sluneční záření dosahující za jasného dne intenzity $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ohřívá povrch odvodněné plochy až na 60°C . Od přehřáté plochy se ohřívá vzduch a stoupá vzhůru. Tohoto vzestupného turbulentního proudění využívají ptáci, znají je dobře rogalisté a piloti malých i velkých letadel. Vzduch o teplotě 40°C a relativní vlhkosti 20 % obsahuje 10 g vody v m^3 ve formě vodní páry. I při velmi pomalém vzestupném proudění $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, vystoupá za jednu hodinu nad 1 m^2 do atmosféry 360 m^3 ohřátého vzduchu, který odnesl 3,6 kg vody. Je známo, že vzestupné proudění vzduchu z ohřátých ploch dosahuje běžně rychlosti několika metrů za sekundu; za hodinu potom vystoupá „se suchým“ ohřátým vzduchem vysoko do atmosféry 36 kg vody. Ohřáté plochy potom „nasávají“ vzduch z okolí, tedy ze sousedního lesa, mokřadu rybníka a teplý vzduch tak intenzivně vysouší okolí.



Obr. 6: Vysychání krajiny následkem odvodněných ploch, které se přehřívají. Ohřátý vzduch o nízké relativní vlhkosti stoupá vzhůru, nedosahuje rosného bodu a je odnášen do oceánu. Vzduch o teplotě 40°C a relativní vlhkosti 20 % obsahuje 10 g vody ve formě vodní páry. Za hodinu vytlačí vzestupné turbulentní proudění nad jedním metrem čtverečním do atmosféry řádově tisíce metrů krychlových vzduchu a s tím i desítky kilogramů vody. (Pokorný a Hesslerová, 2019)

6. Začlenění tématu do pedagogické praxe na ZŠ (RVP) a doporučené formy a metody výuky

Problematika vztahů mezi vegetací, solární energií a vodou v krajině je interdisciplinární téma. Je typickým příkladem tzv. STEM Education (Science, Technology, Engineering, Mathematics). K pochopení jsou potřeba znalosti z oblasti biologie (vodní režim rostlin, transpirace, list a jeho funkce, průduch), fyziky (termodynamika, energie, skupenské teplo, vypařování a kapalnění) či geografie (Slunce, Země, atmosféra), výpočty chladicího efektu vegetace předpokládají matematickou obratnost. Proto i zařazení tohoto tématu do výuky na základní škole odpovídá současnému trendu posilování mezipředmětových vztahů ve výuce, v tomto případě mezi přírodopisem – fyzikou – chemií – matematikou a geografii.

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).

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 vegetací zmiňován. Pochopení ekologické funkce transpirace je také předpokladem porozumění koloběhu vody v přírodě. Téma je v pedagogické praxi vhodné uplatňovat ve výuce v devátém ročníku ZŠ.

Při výuce tohoto tématu v praxi na základních školách a víceletých gymnáziích je vhodné využít aktivizačních přístupů a strategií. Téma přímo vybízí k uplatnění tzv. problémových metod a konstruktivistického přístupu k výuce. Při výuce je možné vycházet z reálných situací a každodenní životní zkušenosti. Každý ví, že na rozpáleném parkovišti nákupního centra je v létě tepleji než v lese, rozšiřující se sucho se stalo realitou našeho života, kterou si žáci základních škol uvědomují.

V rámci vysokoškolské přípravy učitelů přírodopisu pro základní školy je proto vhodné uvést konkrétní příklady výuky tohoto tématu realizované např. s pomocí badatelského přístupu (inquiry based science education) či projektové výuky. Teoretické poznatky je možno s žáky ověřit či kompletně celou výuku realizovat přímo v terénu a to většinou v těsném okolí školy. Uplatní se tedy zásady terénní výuky i princip tzv. „place based education“, kdy žáci poznávají hlouběji principy, na jejichž základě funguje vegetace v jejich bezprostředním okolí. Pochopí, proč koruna stromu před školou poskytuje v létě chladný stín či proč není dobře sekat v létě trávník na zahradě nakrátko. Téma je dobře uplatnitelné i v tzv. zahradní pedagogice. Školní zahrada je v tomto případě ideálním prostředím pro výuku, protože poskytuje patřičné technicko-didaktické zázemí pro její realizaci, vzrostlé stromy i další vegetaci, kterou je navíc možno pro výuku předem připravit.

Tyto moderní trendy byly zohledněny při přípravě konkrétních didaktických aktivit k výuce tématu na základních školách a jsou obsaženy ve výše zmíněné Metodice výuky pro základní školy. Práce s těmito výukovými aktivitami je součástí vysokoškolské přípravy budoucích / stávajících pedagogů. Vybrané úlohy z této metodiky jsou uplatněny i v následujících metodických listech pro vysokoškolskou výuku s cílem jejich hlubšího pochopení. Rozsáhlejší popis moderních didaktických přístupů vhodných pro výuku tohoto tématu je uveden v publikaci „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“.

7. Doporučená sestava přístrojů pro VŠ výuku

Během výuky bude potřeba sledovat následující veličiny:

1. Sluneční záření
2. Teplota
3. Vlhkost vzduchu, rosný bod

Sluneční záření

Pro naše účely se jeví nejvhodnějšími cenově dostupné, kompaktní ruční měřiče příkonu slunečního záření (tzv. solarimetry) založené na polovodičovém efektu. Intenzitu slunečního záření odečítáme přímo na displeji v energetických jednotkách ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) na rozdíl od většiny luxmetrů.

Při ověřování této metodiky používaný přístroj Extech měří sluneční záření (ozářenost) 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. Dokonalejší jsou termočláňkové radiometry, používané v meteorologických stanicích, ale jejich cena je řádově vyšší a ještě potřebují na vyhodnocení přesný mikrovoltmetr nebo převodník.

Teplota

Pro pochopení problematiky měření teplot a výuku je nezbytné měřit povrchovou teplotu infračerveným teploměrem, povrchovou teplotu kontaktním teploměrem, teplotu vzduchu teploměrem a dále i vlhkost vzduchu. 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 teploty:

- **Infračervený teploměr** s kontaktním čidlem je dnes nejčastěji používaným typem teploměru. Setkáváme se s ním již od dětských let například u lékaře. Je to nejpohodlnější a nejpřesnější přístroj na měření povrchové teploty. Infračervený teploměr (IČ = IR/infrared) měří radiační teplotu. Jeho čidlo (bolo-

metr) 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 nezáleží na makroskopické struktuře povrchu. Pro správné měření s IR teploměrem je potřeba pochopit pojem emisivita (viz 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 termočláňkovou sondou (lze dohledat u komerčních výrobků), kdy se například u lesklého plechu výrazně liší radiační teplota od skutečné teploty povrchu. Vybírat lze z velkého množství značek. IR teploměry 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.

- Dalším čidlem pro prezentaci a výuku je čidlo pro měření teploty vzduchu, kombinované se senzorem relativní vlhkosti vzduchu. Teplota vzduchu je veličina, se kterou se setkáváme při každé předpovědi počasí. Toto kombinované čidlo je vhodné mít v meteorologickém krytu, aby výsledek nebyl ovlivněn přímým osluněním.

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).

- 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 které ovlivňují teplotní pole (odraz, absorpce, výpar).
 - Současná mladá generace moderní zobrazující technologie preferuje. Informace zprostředkované přes displej jsou mladým lidem blízké a jsou zvyklí je zpracovávat.
 - U současných i jednoduchých a cenově dostupných kamer lze informace (termosnímky) předávat přes wi-fi rozhraní do tabletů a lze s nimi dále pracovat.

Nejlevnější a snadno ovladatelnou variantou termovize je IR teploměr s termovizí.

Relativní vlhkost a rosný bod

Pro měření vlhkosti vzduchu máme již k dispozici kombinovaný měřič relativní vlhkosti a teploty vzduchu. Tato čidla a jimi naměřená data využíváme následovně:

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.

Tyto naměřené hodnoty nám 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 vyjadřuje 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 pochopení podstaty 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 a relativní vlhkost vzduchu dosahuje 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 pára zkondenzuje.

Rychlost větru

Pro rozšiřující úlohy lze doporučit měření i další veličiny, se kterou se setkáváme v meteorologickém zpravodajství, a to rychlost větru. Existuje jednoduchý ruční měřicí přístroj, který v sobě zahrnuje vrtulový anemometr na měření rychlosti větru a také teploměr a vlhkoměr. Na displeji potom můžeme současně odečíst rychlost větru a teplotu a následně lze přepnout a odečíst hodnotu relativní vlhkosti vzduchu a také rosného bodu. Je to vhodný doplněk pro ucelený pohled na aktuální meteorologickou situaci bez dalšího dopočítávání zájmových veličin.

Ostatní pomůcky pro prezentaci v přírodě

- Plechy s různým povrchem: lesklé, bílé a černě nabarvené vzorky Al plechu nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy (dřevo, plast) pro prezentaci pohltivosti, odrazu a emisivity. Povrchovou teplotu těchto plechů měříme pyrometrem (IR teploměrem) a dotykovým termočlánkem a případně porovnáme s tepelným obrazem pořízeným termovizí (užití viz Metodický list č. 1 Úloha č. 1).
- Textil – dva nasákové vzorky tmavě zbarvené tkaniny (kvůli rychlosti a kontrastu) nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy (dřevo, plast) pro prezentaci pohltivosti a výparu – vázání energie dopadajícího slunečního záření do skupenského tepla, které se projevuje snížením teploty tkaniny. Měřeno IR teploměrem. Rozdíl teplot lze zobrazit termovizí.



Suchý zelený ručník 34,1 °C



Mokrý zelený ručník 22,0 °C

Obr. 7: Návuk měření s nasákvými látkami pomocí IR teploměru, vlevo teplota suché látky, vpravo teplota mokré látky

- Na slunci exponovaná umělá rostlina nejlépe zelené barvy a živá rostlina podobné velikosti – ukázka efektu výparu vody. Živá rostlina se chladí výparem vody (transpirace), umělá rostlina netranspiruje a tak má vyšší teplotu.

Příklady měřících přístrojů a dalších terénních pomůcek pro výuku a základy práce s nimi.

Během vývoje této metodiky byla testována řada měřících přístrojů, splňujících výše uvedené požadavky pro měření jednotlivých veličin. Nabídka na trhu je široká a neustále se vyvíjí, 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 2019. 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. Pokud jsou uvedeny dva nebo více přístrojů, jedná se o ověřené alternativy k výběru

Měřič sluneční energie měřící ve $W \cdot m^{-2}$, např.

Měřič výkonu slunečního záření EXTECH SP 505 3 200 Kč

Solar power meter CEM DT 1307 1 100 Kč

Infračervený teploměr s kontaktním termočláňkovým čidlem

EXTECH IR 267 1 200 Kč

FLIR TG 56 5 200 Kč

Termovizní kamera

IR teploměr s termovizí FLIR TG167	10 000 Kč
Termovizní kamera FLIR C3 s WiFi	15 000 Kč
Termovizní kamera FLIR C5 s WiFi	22 000 Kč

(výrazně lepší rozlišení termosnímků)

Měřič a záznamník teploty a relativní vlhkosti

LASCAR EL-USB-2 LCD+	2 400 Kč
EXTECH RHT50 (vlhkost, teplota a tlak vzduchu).....	3 300 Kč

Termoanemometr

EXTECH 45158	3 100 Kč
--------------------	----------

Meteostanice (pro měření teploty okolního vzduchu, relativní vlhkosti a tlaku vzduchu pro účely didaktických experimentů)

GARNI 117	1 000 Kč
-----------------	----------

8. Metodické listy pro vysokoškolskou výuku na pedagogických fakultách

Metodický list č. 1

Téma: Návuk práce s měřicími přístroji Fyzikální veličiny ve fyziologii rostlin

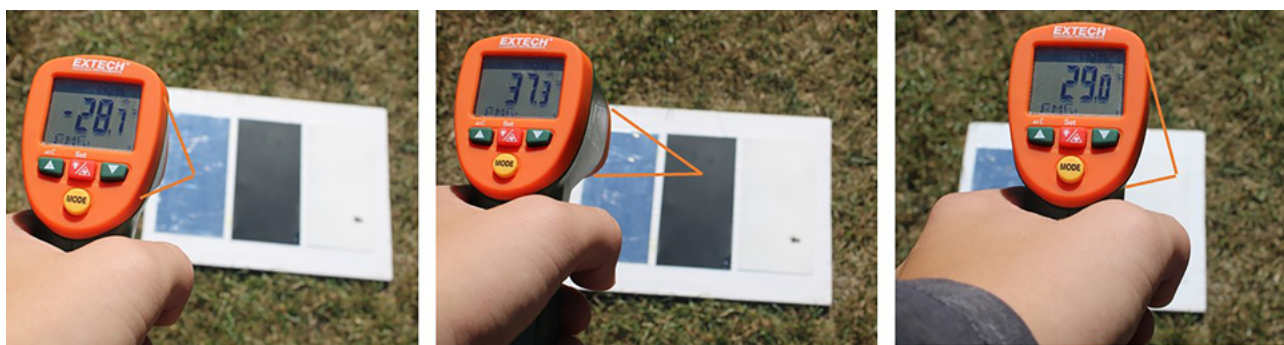
Cíl výuky: Naučit se používat základní měřicí přístroje v praxi. Pochopit fyzikální principy spojené s fyziologickou rolí vegetace v distribuci sluneční energie v krajině, zopakovat si základní pojmy termodynamiky

Přístroje a pomůcky: infračervený bezdotykový teploměr s kontaktním čidlem, měřič slunečního záření (ozářenosti), termovizní kamera, plechy s různým povrchem: lesklý, bílé a černě nabarvený vzorek Al plechu, všechny nalepené na málo vodivé podložce bílé barvy (dřevo, plast), suchá a vlhká textilní tkanina sloužící jako model povrchu odpařujícího vodu

Terénní výuka: Výuku je nutno realizovat za jasného dne vegetační sezóny.

Pracovní list č. 1 v příloze

Úkol č. 1: Změřte pomocí infračerveného bezdotykového teploměru povrchovou (radiační) teplotu černého, bílého a lesklého plechu. Změřte teplotu plechů také dotykovým teploměrem. Povrchové teploty lze případně změřit také pomocí termokamery. Pokuste se vysvětlit, proč se jednotlivé teploty liší.



Obr. 8: Měření povrchové teploty plechů pomocí IR teploměru

Barva plechu	Povrchová (radiační) teplota měřená IR teploměrem [°C]	Skutečná teplota povrchu měřená kontaktním čidlem [°C]
bílý		
černý		
stříbrný		

Vysvětlení: Povrchová teplota plechu bílé barvy je nižší nežli povrchová teplota plechu černého, protože bílá barva odráží více slunečního záření. Rozdíly teplot měřených kontaktním a IR teploměrem se jak u černého, tak u bílého plechu liší málo. Častěji naměříme velký rozdíl mezi radiační teplotou (měřenou IR teploměrem) a dotykovým teploměrem u lesklého plechu. U lesklého plechu lze naměřit záporné hodnoty povrchové teploty, což frekventanty výuky překvapuje.

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).

Shrnutí: IR teploměr měří spolehlivě teploty povrchu látek, které obsahují vodu a které mají nízkou odrazivost. Budoucí učitele přírodopisu je potřeba pro jejich praxi upozornit, že žáci mají při prvním seznámení s IR teploměrem tendenci měřit spontánně teplotu různých povrchů, navzájem si budou měřit teplotu povrchu rukou, paží atd. Zjistí, že pokožka nemá teplotu 36 °C, ale nižší (obnažená kůže se chladí vzduchem). Učitel je proto musí opakovaně upozornit, aby si navzájem nesvítili laserem do oka. Žáci si ověří, že povrchová teplota bílého oděvu je nižší nežli oděvu (trička) černé barvy.

O těchto radiačních vlastnostech povrchů je potřeba budoucí / stávající učitele přírodopisu informovat, aby sobě i svým žákům dokázali vysvětlit případně velmi nízké teploty některých povrchů na termovizním snímku způsobené zrcadlením oblohy.

Poznámka k nastavení parametrů termovizní kamery a IR teploměrů

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 ji tedy potřeba pro naše účely měnit.

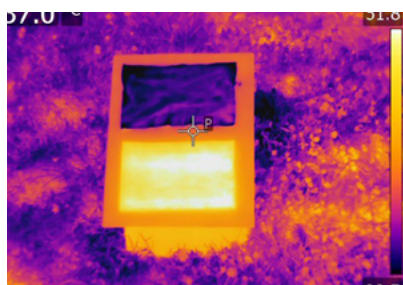
Úkol č. 2: Zjistěte, jak se liší povrchová teplota suché a mokré látky téže barvy po expozici na slunci. Rozdíl v povrchových teplotách se pokuste vysvětlit. Změřte ozáření za jasného dne venku na přímém slunci a uvnitř místnosti.

Látka	Teplota [°C]
suchá	
mokrá	

Prostředí	Ozáření [W.m ⁻²]
Volné prostranství	
Umělý zdroj uvnitř místnosti	

Vysvětlení: Úloha je koncipována pro měření na slunci. V případě nepříznivého počasí lze úkol provést i po expozici mokré, dobře nasákové (např. froté) a suché látky vůči umělému zdroji energie, jakým je žárovka o vysokém výkonu, vyzařující teplo. Osvědčila se halogenová žárovka o výkonu 450 či 500 W. Cílem je ukázat chlazení výparem. Ukazujeme, co je to skupenské (latentní/skryté teplo) a co zjevné teplo. Žáci změří dopadající radiaci solarimetrem jak při měření na slunci, tak při využití umělého zdroje. Uvědomí si, jak obtížné je dosáhnout z umělého zdroje intenzity slunečního záření.

Příklad termovizního měření:



Obř. 9: Rozdíly radičních teplot suché a mokré osušky zobrazené termovizí při krátkodobém přímém oslunění za letního jasného dne:

Teplota vzduchu $T = 24\text{ °C}$

Relativní vlhkost $R_h = 45\%$

Ozáření na vodorovnou plochu = 650 W.m^{-2}

Nastavená emisivita $\varepsilon = 0,95$

Úkol č. 3: Změřte intenzitu dopadajícího slunečního záření (ozářenost) na volném prostranství a ve stínu vzrostlého stromu. Vysvětlete rozdíl v naměřené intenzitě slunečního záření na volném prostranství a ve stínu stromu. V jakých jednotkách se tato veličina měří? Pro srovnání změřte intenzitu slunečního záření v učebně.



Obr. 10: Měření ozářenosti solarimetrem

Naměřená intenzita dopadajícího slunečního záření venku na volném prostranství za jasného dne je v rozsahu hodnot $800\text{--}1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Ve stínu stromu je intenzita slunečního záření několiknásobně nižší než na volném prostranství na plném slunečním svitu. Ve stínu vzrostlého stromu naměříme hodnotu i pod $100\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Vysvětlení: Plocha listů stromu nad jednotkou plošného průmětu je několiknásobná: 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.

V této souvislosti je nutné připomenout akomodační schopnost lidského oka. Na plném slunečním svitu naměříme až 1000 W , ve vnitřních prostorách se intenzita slunečního záření pohybuje nejvýše v desítkách $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ v místnostech s okny na sever. V místnostech s umělým osvětlením se intenzita záření pohybuje v jednotkách $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ a přitom nepocítujeme nedostatek světla. Dobře se orientujeme i v šeru, kde solarimeter ukazuje $0,1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Naše oko akomoduje, na slunci se zornička zužuje, na slabém světle rozšiřuje, takže vidíme v rozsahu 4 řádů světelné intenzity. Na straně druhé nás ovšem oko neinformuje o intenzitě světla, k tomu musíme použít měřidla.

Množství dopadajícího slunečního záření se měří na vodorovnou plochu, což odpovídá svislé poloze čidla. Nakloněním čidla směrem ke slunci naměříme vyšší hodnoty slunečního záření. Nejvyšší hodnotu naměříme při kolmém dopadu slunečních paprsků. Vegetace i fasády budov jsou v průběhu dne ozářeny

vyšší intenzitou, nežli naměříme na vodorovně situovaném čidle. Studenti si mohou vyzkoušet, jaká intenzita slunečního záření přichází na různě orientované části keřů, rostlin, koruny stromů atd.

Doplňkové otázky k fyzikálním zákonitostem

1. Dokážete spočítat množství energie nutné k ohřátí 1 litru vody o 50 °C? Porovnejte tuto hodnotu s množstvím energie potřebným k tomu, aby se tento litr vody vypařil. Který proces spotřebuje více energie?

Měrná tepelná kapacita vody, tj. teplo potřebné k ohřátí vody o 1 °C je cca 4,2 kJ, k ohřátí o 50 °C potřebujeme tedy 210 kJ.

Skupenské výparné teplo 1 litru vody je 2 400 kJ, tedy řádově více, to je důležité k akumulaci tepla v přírodě i v technologiích. Pozoruhodné je, že voda má přitom značně vyšší měrné teplo nežli beton, cihla, železo atd. V tabulkách měrných tepel různých látek jsou hodnoty udávány na 1kg.

2. Zkuste vysvětlit, proč bývá v zimě ráno na autě více namrzlé čelní sklo nežli boční skla u dveří?

Čelní sklo není ve svislé poloze, je nakloněno a předává teplo velmi chladné jasné obloze, jejíž efektivní teplota je pod bodem mrazu (běžně -20 až -30 °C). Postranní skla jsou ve svislé poloze a tepelně komunikují například se stěnami budov, které mají teplotu vyšší nežli obloha. Totéž platí pro spaní venku „pod širákem“, pod stromem máme pocit většího tepla nežli pod jasnou oblohou. Není to iluze, koruna stromu má teplotu až o několik desítek stupňů vyšší nežli jasná obloha.

3. Proč mají sadaři obavy z jasných nocí na jaře?

Za jasné oblohy hrozí na jaře přízemní mrazíky, které mohou poškodit květy. Naopak oblačnost udržuje teplo nad povrchem Země, brání toku tepla do chladné atmosféry, doslova chladnou atmosféru odstiňuje. Chladná obloha odebírá teplo povrchu Země. Teplejší těleso předává teplo tělesu chladnějším. Mraky mají vyšší teplotu nežli jasná obloha bez mraků. Podle Stefanova–Boltzmannova zákona intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou teploty zářícího tělesa ($I = \sigma T^4$). Podle tohoto zákona při rozdílu teplot 1 °C je tok 5 W.m⁻². Při rozdílu 20 °C jde tedy o tok přibližně 100 W.m⁻². O rozdílu teplot mezi oblohou a povrchem terénu se můžeme přesvědčit měřením IR teploměrem (podrobněji viz kniha Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce).

Metodický list č. 2

Téma: Jak chladí vegetace

Cíl výuky: Pochopit klimatizační efekt vegetace pomocí výparu. Přesvědčit se o vlivu různých druhů městské zeleně na životní prostředí člověka.

Přístroje a pomůcky: infračervený bezdotykový teploměr s kontaktním čidlem, měřič slunečního záření, termovizní kamera, umělá rostlina, plastová či dřevěná deska s připevněnou nasákavou černou a bílou látkou (osvědčil se froté ručník připevněný suchým zipem)

Terénní výuka: Výuku je nutno realizovat za jasného teplého dne.

Pracovní list č. 2

Úkol č. 1: V létě zažíváme zejména ve městech vysoké letní teploty. Hovoří se o městských tepelných ostrovech (UHI „urban heat islands“) a města zpracovávají strategie, jak se přehřívání bránit.

Používají se světlé odrazivé materiály, budovy s reflexními skly a žaluziemi na oknech.

V letních dnech bývá ve velkých městech vyšší spotřeba elektrické energie na chlazení nežli v zimě na otop. Přesvědčíme se měřením o vlivu barvy na teplotu a o chladícím efektu výparu vody, který je vysvětlitelný znalostmi fyziky na úrovni základní školy.

Vysoké letní teploty ve městě lze ztlumit kombinací vzrostlých stromů a trávníků.

a) Změřte povrchovou teplotu suché bílé látky a suché černé látky po krátké expozici na slunci.

Jak se liší a proč? Dále změřte povrchovou teplotu mokré černé látky po krátké expozici na slunci.

Jak se liší povrchová teplota mokré černé látky a suché bílé látky?

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



Suchý černý ručník 34,7 °C



Suchý bílý ručník 29,3 °C



Mokrý černý ručník 17,1 °C

Obr. 11: Povrchové teploty suché a mokré látky různých barev měřené po krátké expozici na slunci IR teploměrem.

b) Která látka byla nejchladnější? Vysvětlete, co se stane, když budou pokáceny vysoké stromy a zmenší se plocha trávníku například pro rozšíření parkoviště nebo stavbu velkého obchodního střediska. Jak se změní tepelné poměry? Ovlivní takový zásah spotřebu energie na chlazení v okolí?

Za sucha je povrchová teplota černé látky vyšší než povrchová teplota bílé látky. Pokud však černou látku namočíme, po krátké expozici na slunci je její povrchová teplota nižší než u bílé látky. Vlhký povrch je chladnější, chladí se výparem. Sluneční energie se navázala do vodní páry. Podobně se v krajině více ohřívají odvodněné plochy a od nich se ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru (termika, turbulentní proudění) a odnáší vzduch s vlhkostí z okolí. Za slunného počasí v létě se tak přehřívají a vysušují města. Vyrůstají náklady na klimatizaci budov. Studenty je možné i upozornit, aby si při pobytu v přírodě všimli, že ubývá mlhy a oblaků.

Úkol č. 2: *Pokud by se z mokré látky odpařilo 250 ml vody, kolik sluneční energie se navázalo do vodní páry? Jaký objem má vodní pára vzniklá z 250 ml vody tekuté? Zamyslete se nad pojmem tlak vzduchu. Může nějak souviset výpar vody z lesů s tlakem vzduchu nad nimi? Vysvětlete. Znáte nějaká technická zařízení využívající souvislost mezi výparem a tlakem vzduchu?*

250 ml vody má hmotnost přibližně 250 g. Výparné teplo 1 gramu vody je rovno 2,4 kJ, na vypaření 250 g vody se spotřebuje $2,4 \times 250 = 600$ kJ (167 Wh). Přepočítání kJ na Wh se provede vydělením hodnoty v J počtem sekund v hodině ($600\,000 : 3600 = 166,7$).

Mol látky v plynném stavu za normálního tlaku má podle Avogadrova zákona objem 22,4 l. Vypařením vody o hmotnosti 18 gramů (objem 18 ml) vzniká vodní pára o objemu 22,4 litru. To znamená, že voda v kapalném stavu má přibližně 1200 x menší objem než je objem vodní páry, která z ní vznikne. Ostatně, proto funguje parní stroj. Z 250 gramů (250 ml) vody vzniklo 311 l vodní páry. V přírodě probíhá tiše přeměna sluneční energie přes skupenské teplo vody a mění se i tlak vzduchu. Vodní pára vznikající transpirací stromů stoupá nad les. Během výstupu se ochlazuje, až dosáhne rosného bodu a sráží se na drobné kapky. Tím klesá tlak a ze stran se nasává vzduch. To je principem tzv. biotické pumpy vysvětlující skutečnost, že nad velkými lesními celky více prší.

Úkol č. 3: *Pomocí IR teploměru najděte 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]

Jaký povrch byl nejteplejší, jaký nejchladnější a proč?

Úkol č. 4: Pomocí IR teploměru nebo termokamery změřte povrchovou teplotu na chodníku nestíněném stromy a v městském parku s travnatou plochou ve stínu stromů. Změřte ozáření, teplotu a relativní vlhkost vzduchu a zjistěte rosný bod v obou lokalitách. Pomocí přiložené tabulky zjistěte přibližné množství vodní páry ve vzduchu na jednotlivých místech. Znáte aktuální hladinu CO₂ ve vzduchu? Srovnajte množství oxidu uhličitého a vody ve vzduchu. Vysvětlete proč je nižší teplota ve stínu stromů.

	Ozáření [W.m ⁻²]	Povrchová teplota	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Rosný bod
Nestíněný chodník					
Trávník ve stínu stromů v parku					

Tabulka č 1: Maximální hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu (100% vlhkost, rosný bod) při dané teplotě a za normálního tlaku vzduchu, vyjádřené v gramech na m³ a v objemových jednotkách ppm (ml.m⁻³) H₂O.

Teplota vzduchu [°C]	Max. absolutní vlhkost [gH ₂ O.m ⁻³]	ppm vodní páry [ml .m ⁻³]
0	4,8	5 970
5	6,8	8 400
10	9,4	11 600
15	12,8	15 900
20	17,3	21 500
25	23,0	28 600
30	30,4	37 800
35	39,6	49 200
40	51,1	63 500

Vysvětlení: Na osluněný chodník dopadá více sluneční energie, nechladí se výparem vody a proto má vysokou povrchovou teplotu. Ohřátý vzduch pojme více vody nežli vzduch chladný, proto má nad zahřátým chodníkem nižší relativní vlhkost nežli chladný vzduch ve stínu stromů. Rosný bod je teplota, při které je vzduch zcela nasycen vodní párou (100% nasycení) a vodní pára kondenzuje (sráží se) na kapky vody

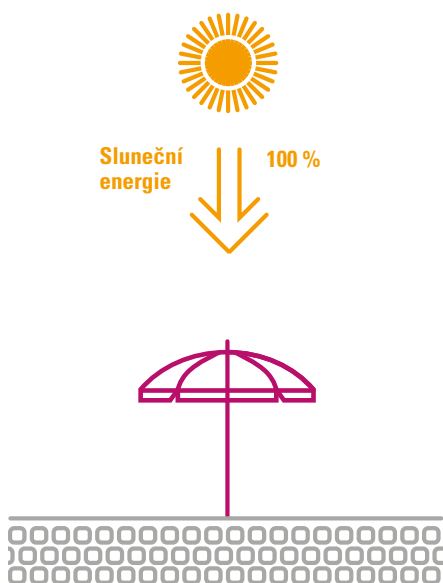
tekuté. Relativní vlhkost vzduchu ve stínu stromu je vyšší nežli relativní vlhkost vzduchu o vyšší teplotě nad chodníkem. Absolutní vlhkost vzduchu (hmotnost vodní páry ve vzduchu) je podobná a proto má podobnou hodnotu i teplota rosného bodu. Množství vodní páry při 100% nasycení vzduchu při různých teplotách je uvedeno v tabulce v gramech v metru krychlovém. Vidíme, že vzduch o teplotě 0 °C pojme 10 krát méně vody nežli vzduch o teplotě 50 °C. Pozor, množství vodní páry ve vzduchu se vyjadřuje jak v gramech (hmotnost), tak v objemových jednotkách ppm (ml v m³). Je patrné, že objemové koncentrace vodní páry se pohybují od tisíců ppm do desítek tisíc ppm. Aktuální hladina CO₂ ve vzduchu je asi 400 ppm.

Úkol č. 5: Na základě dosavadních znalostí vysvětlíte rozdíl teplot na předloženém termovizním snímku. Proč je stín stromu chladnější než stín slunečnicku? Na základě dosud zjištěných informací domalujte a popište do připravených schémat šipky, znázorňující, jak se liší přeměna sluneční energie na jednotlivé další formy (tedy distribuce sluneční energie) po dopadu na: a) povrch slunečnicku a b) korunu stromu. U každé šipky doplňte název děje a číselný údaj určující, kolik procent dopadající sluneční energie konkrétní forma energie představuje.

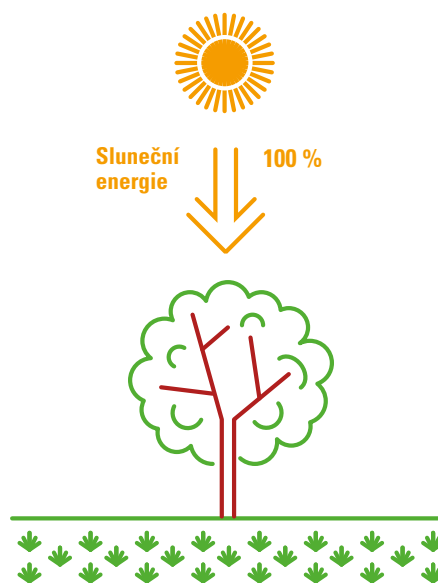
Výuková aktivita stín stromu – stín slunečnicku je obsažena v metodice výuky pro základní školy. Je to vhodný problém k řešení např. pro badatelské úlohy. Budoucí pedagogové by se měli na tomto úkolu naučit formulovat hypotézu, kterou potom budou s žáky ve školní praxi ověřovat: „Stín stromu je chladnější než stín slunečnicku, protože strom na rozdíl od slunečnicku vypařuje vodu“.

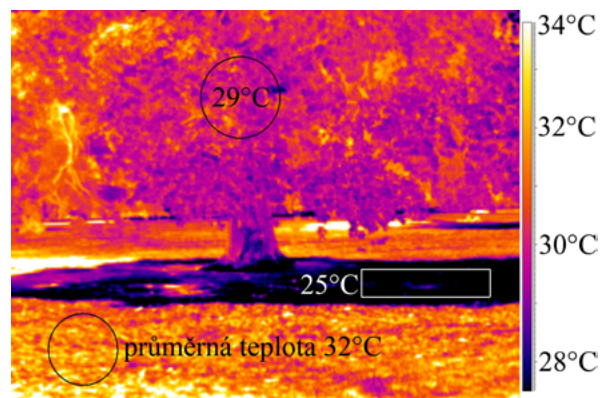
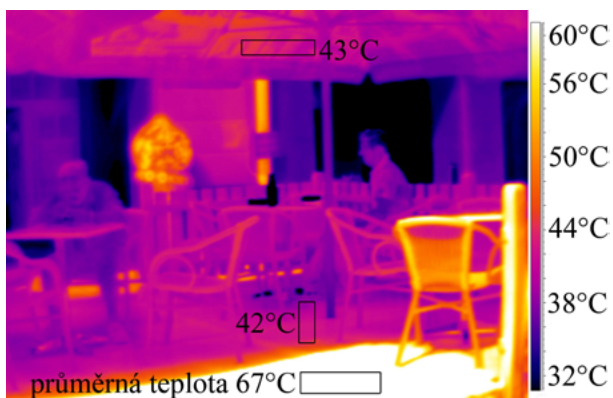
Správně domalované šipky distribuce sluneční energie by měly významově odpovídat obr. č. 3 v teoretické části této metodiky.

A) Slunečnick na dlážděném náměstí



B) Strom v parku





Úkol č. 6: Jakým výkonem chladil své okolí vzrostlý strom v parku, jestliže za 1 hodinu se z něj prostřednictvím prúdů odpařilo 10 l vody? (Počítejte s hodnotou skupenského výparného tepla vody při teplotě 20 °C – tj. 0,68 kWh). Víte, jaký výkon mají běžná klimatizační zařízení v budovách? Srovnajte!

Na výpar 10 litrů vody se spotřebovalo 6,8 kWh sluneční energie. Tato energie se spotřebovala za 1 hodinu, takže strom chladil výkonem 6,8 kW. Běžné klimatizační jednotky v kancelářích, hotelech, restauracích mají výkon 2–3 kW. Náš strom tedy chladil výkonem nejméně jako dvě klimatizační jednotky, které by za hodinu spotřebovaly 6,8 kWh. Počítáme-li cenu elektrické energie 3 Kč za 1 kWh potom bychom museli zaplatit za elektřinu klimatizačního zařízení $6,8 \times 3 = 20$ Kč, za 8 hodin takového denního výkonu je to již 160 Kč. Je ovšem podstatný rozdíl mezi efektem stromu na klima a technologickým klimatizačním zařízením, které chladí vnitřek místnosti a ohřívá svoje okolí podobně, jako chladnička ohřívá byt. Technologická zařízení tedy v konečném efektu ohřívají město. Strom chladí výparem vody sebe a své okolí, kde se uvolňuje teplo, které strom „uschoval“ do vodní páry.

Úkol č. 7: Na základě předchozích měření víme, že vegetace díky výparu své okolí ochlazuje. Existuje ale situace, kdy voda vypařená z vegetace může své okolí ohřívát? Ve kterém ročním období či denní době k tomu může dojít? Může to být člověku k něčemu užitečné?

Při kondenzaci vodní páry zpět na vodu dochází k uvolnění tepla. Ranní rosa ohřívá povrchy, na nichž se sráží. Po ránu, na jaře, na podzim. Ochrana před jarními mrazíky.

Úkol č. 8: Vysvětlete, proč odlesnění způsobuje vysychání v krajině?

Studenti nejčastěji reagují větou „Lesy zadržují vodu v krajině“. Tuto odpověď je potřeba rozvést. K pochopení může posloužit srovnání lesa s městskou vegetací. Lze vyjít ze zkušenosti studentů z obce/města. Ve městě je park se vzrostlými stromy a na jiném místě trávník a záhony. Zatímco park se v létě zalévat nemusí, trávník se záhony a dlažbou se zalévat musí. Jak je to možné, když dlažba nevypařuje vodu a stromy jí vypařují? Porost stromů se zápojem si udržuje vlhkost. Udržuje si nižší teplotu v podrostu, nežli v korunách. Díky tomu voda vypařená rostlinami nestoupá rychle do atmosféry, jako z trávníku a záhonů, které mají kolem sebe přehřátou dlažbu. Navíc stromy kořenují hluboko a využívají zásob vody v půdě. Proto musíme dbát na to, aby se dešťová voda zasakovala a neodtékala do kanalizace, kde při prudkém dešti vypláchne obsah kanálu dešťovými odlehčovači do řeky nebo rybníka, jak se říká do recipientu.

Metodický list č. 3

Téma: Didaktické aplikace – projektová výuka k tématu klimatizační role městské vegetace

Cíl výuky: Naučit se aplikovat získané poznatky k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině v praktické výuce na ZŠ s využitím moderní projektové výuky

Přístroje a pomůcky: infračervený bezdotykový teploměr, měřič intenzity slunečního záření, termovizní kamera

Začátek výuky probíhá v učebně s dataprojektorem. Následuje terénní skupinová výuka v blízkém okolí školy. Zakončení výuky opět v učebně.

Pracovní list č. 3

Předpokládáme, že studenti jsou seznámeni s pravidly projektové výuky. Začátek výuky probíhá v učebně, vyučující nastolí úvodní problém, který bude během výuky řešen. K úvodní motivaci a nastolení problému řešeného v průběhu projektu využije termovizní snímek náměstí Přemysla Otakara II. v Českých Budějovicích.



1. Motivace

Za jasného letního dne dopadá na náměstí Přemysla Otakara II. v Českých Budějovicích o ploše 1 ha sluneční energie $900 \text{ W}\cdot\text{m}^2$. Z termovizního snímku je zřejmé, že teploty na převážné ploše náměstí dosahují vysokých hodnot.

a) Zjistěte, jak velké množství energie dopadá v tento den na celkovou plochu náměstí?

Srovnajte toto množství energie s příkonem běžných vytápěcích elektrokotlů.

$1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$, $900 \text{ W} \times 10\,000 = 9\,000\,000 \text{ W} = 9000 \text{ kW} = 9 \text{ MW}$, běžný příkon elektrokotle pro domácnost se pohybuje v rozmezí 4–15 kW. Počítáme – li tedy elektrokotel o příkonu 9 kW, zjistíme, že na budějovické náměstí za jasného letního dne dopadá sluneční energie srovnatelná s příkonem 1 000 takových elektrokotlů.

b) V jakém rozmezí se přibližně pohybuje povrchová teplota dlažby?

Povrchová teplota dlažby je kolem $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

c) Může nějak ovlivnit okolní prostředí spotřebu vody v kašně?

Ano, od přehřátých ploch se ohřívá vzduch, který stoupá rychle vzhůru, „nasává“ vzduch a vlhkost z okolí. Vlhký vzduch nad kašnou je rychleji odváděn, vody v kašně a v okruhu s fontánou proto rychle ubývá. Hodně vody spotřebovávají též rostliny v květináčích umístěných na zahřáté dlažbě. Podobně ztrácejí vodu malé vodní nádrže v přehřáté krajině. Je to modelová situace, která nastává v suché přehřáté krajině, kdy ohřátý vzduch bere vlhkost okolním lesům, mokřadům i zemědělským plodinám. Hovoříme o opaku biotické pumpy (reverzní biotická pumpa).

d) Jaká místa na náměstí jsou nejchladnější a proč?

Nejchladnějším místem je kašna, protože výpar vody ochlazuje vzduch. Chladný je též stín domu na protilehlé straně náměstí. Tento stín ovšem vzniká díky osluněné a značně ohřáté střeše domu.

2. Skupinové aktivity v terénu

Studenti se rozdělí do 3 skupin. Nejprve se terénním měřením přesvědčí o chladicí funkci městské vegetace. Každé ze skupin bude přidělen jeden úkol, který v terénu zpracuje a s jeho výsledkem seznámí ostatní skupiny. Potom každá skupina připraví vlastní návrh osázení náměstí zelení. Vycházíme přitom ze skupenského výparného tepla vody 0,68 kW. Předpokládáme, že jeden vzrostlý strom o poloměru koruny 3 m vypaří 10 litrů vody za hodinu a chladí výkonem 6,8 kW (vycházíme z výdeje vody 100 mg za sekundu z jednoho metru čtverečního, což odpovídá toku latentního tepla $240 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), a 1 m^2 posečeného trávníku ztratí brzy vodu, přehřívá se a chladí výkonem nižším než $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Názorný je též úkol, při kterém žáci vyhodnotí efekt pokácení vzrostlých stromů a zmenšení plochy trávníku například pro stavbu supermarketu a navazujícího parkoviště.

Každá skupina zakreslí svůj návrh do mapy náměstí. Následně všichni společně diskutují nad návrhy a vybírají nejlepší z nich.

Skupina A: Změřte množství sluneční energie dopadající na trávník na otevřeném prostranství a na trávník ve stínu stromu. Změřte povrchovou teplotu trávníku na otevřeném prostranství a ve stínu stromu. Zjistěte rozdíly. Který trávník vyžaduje častější zálivku?

Druh povrchu	Ozářenost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Trávník otevřené prostranství		
Trávník ve stínu stromu		



Obr. 12: Ozářenost ve stínu stromu měřená solarimetrem

Skupina B: Pomocí termovizní kamery či IR teploměru zjistěte, zda je rozdíl mezi povrchovou teplotou nízko sečeného a nesečeného trávníku. Vysvětlete, jaký typ sečení je vhodnější pro městské trávníky z hlediska klimatizačního efektu trávníku pro obyvatele města.

Druh povrchu	Teplota [°C]
Sečený trávník	
Nesečený trávník	

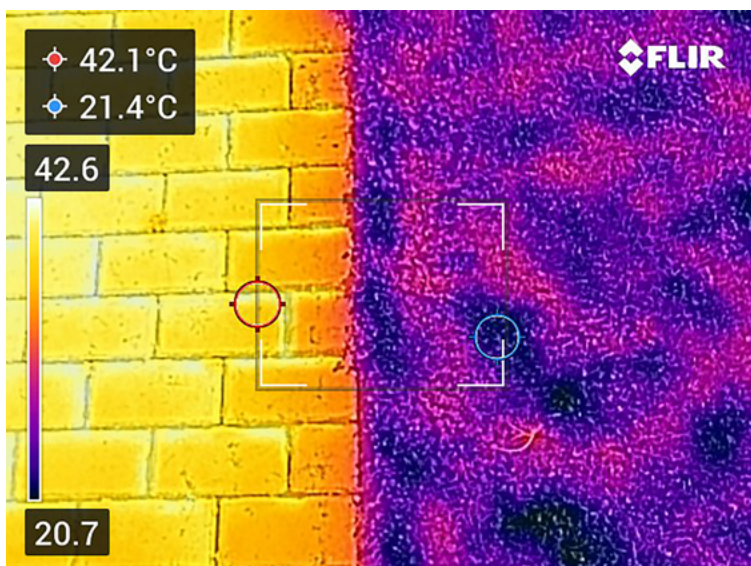
Vysvětlení: nízko sečený trávník má výrazně vyšší povrchovou teplotu než nesečený trávník, protože má malou listovou plochu a vypařuje málo vody. V horkých letních dnech je proto lepší trávníky nesekat, případně sekat na nejvyšší možnou výšku. Nutno vzít ovšem v úvahu případnou tvorbu alergenních pylů.

Skupina C: Pomocí IR teploměru či termokamery změřte povrchovou teplotu osluněného chodníku, trávníku na volném prostranství, koruny stromu, případně teploty ve stínu stromu pod korunou stromu a osluněné stěny budovy. Který povrch je nejchladnější? Vysvětlete.

Druh povrchu	Teplota [°C]	Pořadí od nejchladnějšího
Osluněný chodník		
Trávník na volném prostranství		
Koruna stromu		
Stín pod korunou stromu		
Stěna budovy		

Vysvětlete, proč byl povrch na prvním místě nejchladnější.

Vysvětlení: Zřejmě nejchladnější bude povrch koruny stromu, případně stín této koruny, protože odpařuje větší množství vody než trávník. Chodník ani stěna budovy neobsahují vodu, aktivně nechladí. Stín domu bývá chladný, protože se sluneční energií ohřívá střecha. Je to analogie rozdílu mezi stínem stromu a stínem slunečnicku. Zelené střechy a zelené fasády s živými rostlinami zásobovanými zadržovanou dešťovou vodou chladí aktivně výparem vody.



Obr. 13: Rozdíl v povrchových teplotách mezi dlažbou a nízko sečeným trávnikem. Měřeno termokamerou Flir C5

3. Prezentace výsledků jednotlivých skupin a diskuse mezi skupinami

4. Řešení úvodního problému:

a) V úvodu jsme zjistili, že náměstí Přemysla Otakara II. v Českých Budějovicích je velkým zdrojem tepla pro místní obyvatele. Vlastním měřením jste se přesvědčili, že městská vegetace chladí.

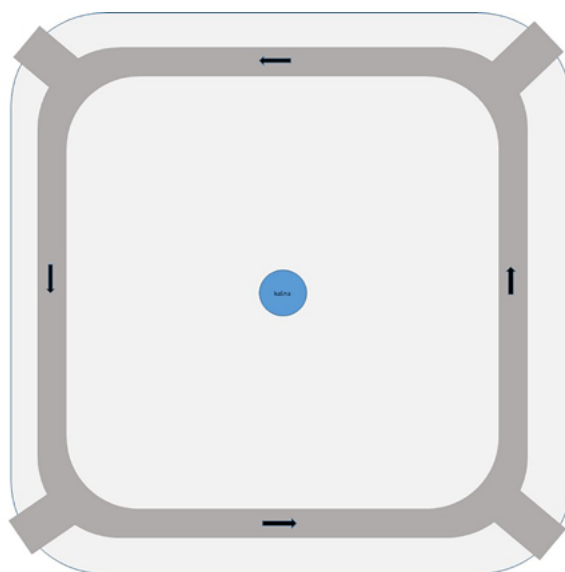
Představte si situaci, kdy developer chce na ploše jednoho hektaru (tj. plocha o stejném rozměru jako je zmíněné budějovické náměstí) pokácet vzrostlé stromy, odstranit travní plochy a namísto nich vybudovat vyasfaltované parkoviště. Ve skupinách si připravte argumentaci proti tomuto záměru podloženou odhady změny toku sluneční energie způsobenou pokácením vzrostlých stromů a zmenšením trávniku.

Návod: Nejjednodušší způsob odhadu je přes pokles evapotranspirace, která dosahuje ve vegetaci dobře zásobené vodou až $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Výpar 100 mg vody za sekundu z jednoho m^2 je v létě běžný a představuje $240 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$, tedy 240 W . Pokud takový výpar klesne například na pětinu (20 %), potom se odvodněná plocha bez vegetace přehřívá, protože na transpiraci se spotřebovává pouze $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $190 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ se neváže do vodní páry, ale uvolňuje se jako teplo. Jeden hektar ($10\,000 \text{ m}^2$) potom uvolňuje 1900 kW tepla tj. $1,9 \text{ MW}$.

b) Pokuste se vytvořit model osázení náměstí vegetací. Ve skupinách navrhnete projekt osázení náměstí stromy a trávnikem tak, aby se vegetace na náměstí chladila průměrně výkonem 200 kW. K dispozici máte stromy s rychlostí transpirace 10 litrů vody za hodinu a víte, že 1 m² posečeného trávniku vypařuje přibližně 0,1 l vody za hodinu. Stromy vyrůstají na travnaté ploše. Jak velký poloměr koruny musí mít přibližně stromy a kolik jich potřebujeme, na jak velkou část náměstí musíme zeleň vysadit? Počítejte opět s hodnotou evapotranspirace 100 mg vody za sekundu z jednoho m² - tj. změna toku sluneční energie 240 W. Vegetaci zakreslete do připraveného schématu náměstí. Je však potřeba si uvědomit, že osadit náměstí stromy a vegetací, která skutečně chladí, lze pouze modelově. Klima města ovlivňuje až vzrostlý strom s vyvinutou korunou a kořenovým systémem. Takový strom roste desítky let. I nákladně zasazené větší stromy takový efekt nemají.

Vysvětlení: Pracujeme s přibližnými odhady. Studenti musí odhadnout, jak velký musí být strom, aby odpařoval 10 litrů za hodinu a trávník pod ním 0,1 litru za hodinu. Strom 10 litrů za hodinu = 6,8 kWh, trávník 0,1 litru za hodinu = 68 Wh. Vydělíme požadovaný výkon stromu 6800 W tokem z jednoho metru čtverečního 240 W – tj. $6800 : 240 = 28$, potřebujeme plochu 28 m². Uvažujeme kruhový průmět koruny, a vzorec pro obsah kruhu – vyjde nám poloměr koruny přibližně 3 m. Požadovaný chladící výkon 200 kWh tedy dosáhne 30 stromů ($200\ 000:6800$) a trávník pod nimi, tato zeleň zabere plochu přibližně 1000 m², tj. jedna desetina náměstí o rozloze 1 ha.

5. Představení jednotlivých návrhů, diskuse a výběr nejlepšího řešení.



6. Závěrečné shrnutí vyučujícím

Metodický list č. 4

Téma: Souvislost klimatické funkce rostlin s fotosyntézou

Cíl výuky: Seznámit se s metodou gazometrického měření rychlosti fotosyntézy a transpirace. Pochopit souvislost mezi denním průběhem fotosyntézy a transpirace, množství oxidu uhličitého a vody procházející přes průduchy

Přístroje a pomůcky: IR gazometrický přístroj pro měření fotosyntézy a transpirace na úrovni listu (např. Licor LI-6400 XT), termokamera, umělá rostlina

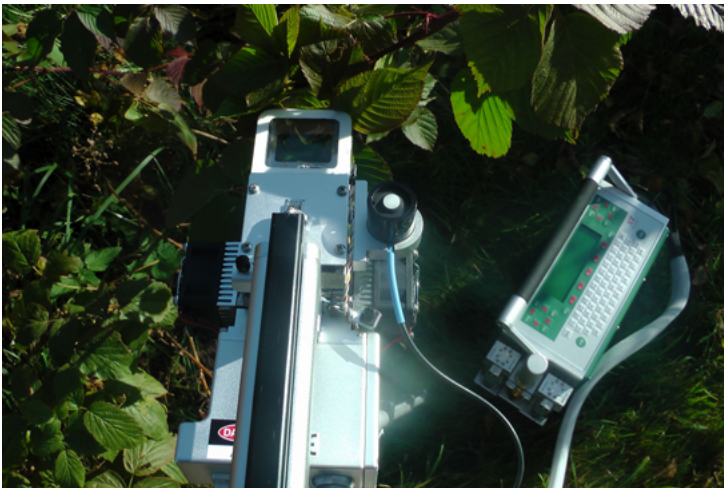
Terénní výuka: Ideálně v prostoru školní zahrady či univerzitního kampusu

Pracovní list č. 4

Transpirace se uskutečňuje především průduchy v listech. Průduchy jsou však zároveň vstupní bránou oxidu uhličitého pro fotosyntézu. Reaguje-li rostlina na stresové podmínky okolního prostředí zavřením průduchů, zmenší se rychlost fotosyntézy i transpirace a efekty měřitelné termokamerou se snižují. Toto je potřeba brát v potaz při provádění didaktických experimentů k tématu klimatické role vegetace v praxi.

Rychlost tzv. čisté fotosyntézy P_N je vyjádřena jako rychlost příjmu CO_2 jednotkou listové plochy za jednotku času. Rychlost transpirace E je vyjadřována jako množství vody vypařené jednotkou listové plochy za jednotku času. K určení těchto veličin se používá tzv. gazometrické měření fotosyntézy a transpirace pomocí infračervených plynových analyzátorů. Tato metoda využívá schopnosti CO_2 a vodní páry absorbovat infračervené záření. Infračervené plynové analyzátory určují koncentraci plynů v závislosti na množství tohoto záření pohlceného plynem. Připomínáme, že příjem oxidu uhličitého je provázen uvolněním stejného počtu molekul kyslíku. Relativní změny koncentrací oxidu uhličitého ve vzduchu jsou značné, protože koncentrace CO_2 ve vzduchu je aktuálně přibližně 0,04 % (400 ppm). Relativní změny obsahu kyslíku ve vzduchu působené fotosyntézou jsou nepatrné, protože koncentrace O_2 ve vzduchu je 21 %.

List měřené rostliny je uzavřen v měřicí komůrce. Přístroj pracuje na principu tzv. otevřeného systému, tj. měřicí komůrkou s listem je proháněn vzduch. Z rozdílu množství CO_2 a H_2O ve vzduchu, který vstupuje do komůrky a vzduchu, který z komůrky vystupuje je vypočítávána čistá fotosyntéza P_N a transpirace E . Výpočet obou těchto parametrů je prováděn automaticky pomocí softwaru nainstalovaného v přístroji. Během gazometrického měření nedojde k poškození rostliny, jedná se o tzv. metodu neinvazivní, což je její nespornou výhodou.

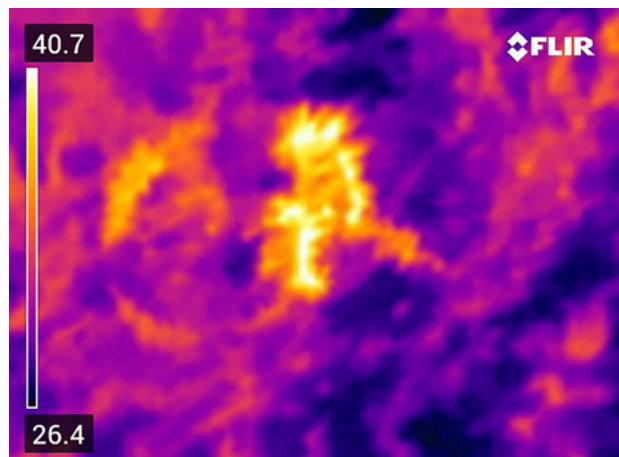
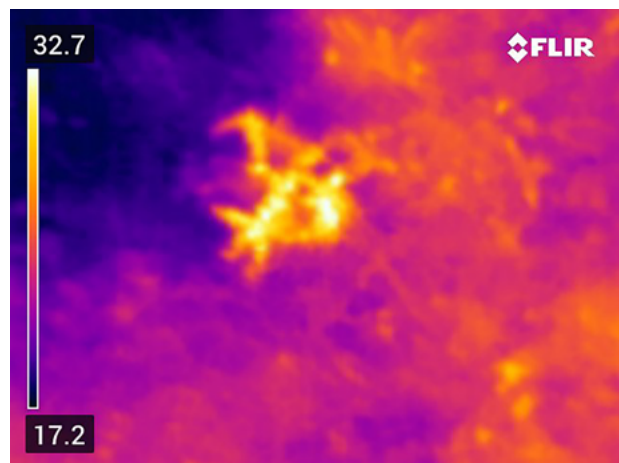


Obr. 14: Měřicí hlavice přístroje Li 6400 – XT. V měřicí komůrce tzv. „otevřeného systému“ je uzavřen list. Součástí komůrky je i čidlo pro měření teploty listu a čidlo pro měření kvantové ozáření vzorku, obě dvě veličiny průběh fotosyntézy ovlivňují.

Infračervený plynový analyzátor je velmi přesný přístroj určený pro odborné měření a ve školské praxi se s ním současní učitelé nesebkávají. Pro pochopení souvislostí mezi chladící funkcí rostlin a fotosyntézou se však ukázalo jako velmi vhodné, pokud mají možnost se s tímto přístrojem seznámit alespoň demonstrační formou. Vlastní měření s infračerveným plynovým analyzátozem vyžaduje zázvık. Vysokoškolskí studenti učitelství přírodopisu na PF JU se s tímto přístrojem setkávají v rámci výuky problematiky fotosyntézy. V této výukové aktivitě tedy předpokládáme, že studenti již základy práce s tímto měřicím přístrojem znají.

Úkol č. 1: Pro dokumentaci chladící role vegetace se v praxi na základních školách osvědčila aktivita „Najdi vetřelce“ (viz Metodika výuky k tématu Sluneční energie, voda v krajině a vegetace pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií). Během této aktivity žáci hledají pomocí termokamery umělou rostlinu ukrytou v porostu vegetace. Umělá rostlina se zobrazuje jako teplejší místo ve vegetaci. V odpoledních hodinách letních dnů je však tato aktivita špatně proveditelná. Co je důvodem? Ověřte v terénu.

Návod: Umělou rostlinu umístěte do porostu vegetace dobře zásobené vodou. Proveďte termovizní snímkování za jasného letního dne v dopoledních hodinách a poté v poledních či brzkých popoledních hodinách. Snímky porovnejte.



Obř. 15: „Vetřelec“ umělá rostlina v trávniku (horní snímek) a v živém plotu zeravu západního (dolní snímek) odhalen pomocí termovizního snímku (termokamera FLIR C5).

Zjištění: V poledních a popoledních hodinách nejsou rozdíly mezi umělou rostlinou a okolní vegetací tak dobře patrné, protože nízké porosty za slunného dne obvykle trpí nedostatkem vody a rostliny zavírají průduchy. Tento jev je znám pod pojmem „polední deprese“. K takové depresi nedochází v porostech s vysokou hladinou podzemní vody. Depresi lze zabránit záhlvkou porostu před tím, než do něho rostlinu umístíte.

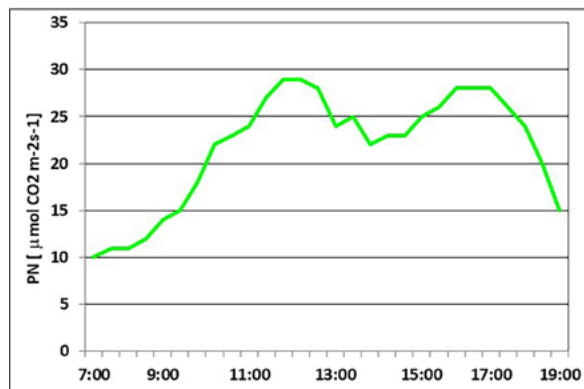
Úkol č. 2. Zjistěte aktuální hodnotu čisté fotosyntézy a rychlosti transpirace pomocí gazometrie (přístroj Licor Li – 6400 XT) v dopoledních hodinách (ideálně mezi 10 – 11 h) a v poledních či brzkých popoledních hodinách (ideálně mezi 13 – 14 h). Odečtěte vždy 5 hodnot v průběhu 30 minut a vypočtěte průměr. Do tabulky zapište hodnoty čisté fotosyntézy P_N a rychlosti transpirace E . Svá zjištění porovnejte s denní křivkou průběhu fotosyntézy a transpirace.

Komentář: Hodiny měření je nutno přizpůsobit aktuální meteorologické situaci. Pro měření je potřeba vybrat období s ideálními podmínkami pro fotosyntézu a období, kdy je rostlina vystavena teplotnímu stresu souvisejícímu s nedostatkem vody.

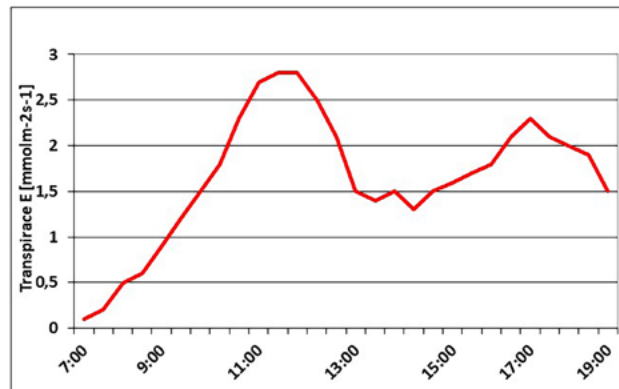
	P_N mmol m ⁻² s ⁻¹ dopoledne	E mmol m ⁻² s ⁻¹ dopoledne	P_N mmol m ⁻² s ⁻¹ poledne	E mmol m ⁻² s ⁻¹ poledne
1				
2				
3				
4				
5				
Průměr				

Zjištění: V odpoledních hodinách klesá čistá fotosyntéza i rychlost transpirace, projevuje se nedostatek vody. K tomuto jevu nemusí dojít, pokud je rostlina dostatečně zásobena vodou.

Křivka denního průběhu fotosyntézy



Křivka denního průběhu transpirace



Na předložených křivkách denního průběhu fotosyntézy a transpirace si všimněte, v jakých jednotkách přístroj udává množství asimilovaného oxidu uhličitého (P_N) a v jakých jednotkách rychlost transpirace (E). Porovnejte dosažené hodnoty čisté fotosyntézy a rychlosti transpirace v dopoledních hodinách.

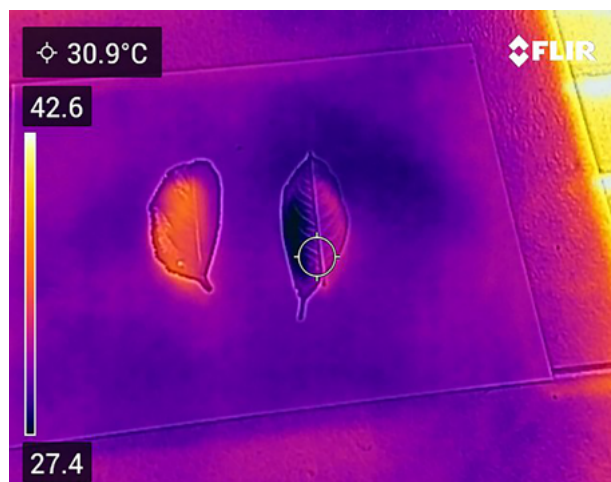
Zjištění: Množství asimilovaného oxidu uhličitého – čistá fotosyntéza, se udává v mikromolech na metr čtverečný za sekundu, naměřené hodnoty dosahovaly řádově desítek mikromolů, rychlost transpirace se udává v milimolech, hodnoty dosahovaly řádově jednotek milimolů, tedy množství vytranspirované vody je až stonásobně vyšší než množství přijatého oxidu uhličitého. Na jednu molekulu přijatého oxidu uhličitého a na jednu molekulu vydaného kyslíku připadá zhruba sto molekul vypařené vody. Transpirace v rozsahu 1 až 3 mmol vody na m² za sekundu vyjádřená v hmotových jednotkách odpovídá 18 mg.m⁻².s⁻¹ až 54 mg.m⁻².s⁻¹. Skupenské teplo jednoho mg vody je 2,4 J. Transpirací 50 mg. m⁻².s⁻¹ se přeměňuje 120 W sluneční energie. Plocha listů na stromě je několikrát vyšší nežli plocha průmětu koruny. Pokryvnost listoví je běžně 3 – 5. Rychlost transpirace 240 W.m⁻² koruny stromu, se kterou počítáme, odpovídá naměřeným hodnotám na jednom listu. Transpirace jednotlivých listů se liší podle ozáření. Listy v koruně stromu transpirují více nežli listy položené níže ve stínu. Rozhodující je dostupnost vody.

Úkol č. 3: Kde má rostlina průduchy?

Některé rostliny mají listy amfistomatické (průduchy jsou jak na spodní, tak i na svrchní straně listu) a jiné hypostomatické (průduchy jsou pouze na spodní straně listu)? Pomocí termokamery můžeme snadno zjistit, kde má rostlina průduchy. Odhadnete jak? Zjistěte, na které straně listu má průduchy jabloně.

Řešení: Víme už, že výpar snižuje povrchovou teplotu. Tedy u rostlin hypostomatických ta strana listu, kde jsou průduchy, bude chladnější. U rostlin amfistomatických nebude rozdíl měřitelný.

U jabloně jsou průduchy na spodní straně listu. Dva čerstvě utržené listy jabloně položíme na bílý papír vedle sebe, jeden svrchní a druhý spodní stranou vzhůru. Změříme jejich povrchovou teplotu pomocí termovize. Spodní strana listu je chladnější, protože jsou tam průduchy. Výsledek lze následně ověřit v laboratoři pod mikroskopem pomocí otiskového preparátu listové pokožky.



Obř. 16: Termovizní snímek svrchní a spodní strany listu jabloně (termokamera Flir C5).

Metodický list č. 5

Téma: Výuka v rámci vícedenního terénního kurzu – dvojitý klimatizační efekt vegetace, rozdíl mezi povrchovou teplotou a teplotou vzduchu, denní průběh teplot na různých stanovištích.

Cíl výuky: Pochopit význam vegetace pro vyrovnávání teploty v krajině. Přesvědčit se o rozdílech v teplotě a vlhkosti vzduchu v rozdílných biotopech.

Přístroje a pomůcky: USB čidla pro měření teploty a vlhkosti vzduchu, radiační kryty, tablet či notebook, IR teploměr

Charakteristika: Rozšiřující výuková aktivita vyžadující vícedenní měření (min. 2 – 3 dny), je proto vhodná např. pro týdenní výukový kurz v terénu, event. může být i realizována v campusu univerzity či rozlehlější fakultní výukové zahradě, pokud obsahuje stanoviště simulující rozdílné biotopy.

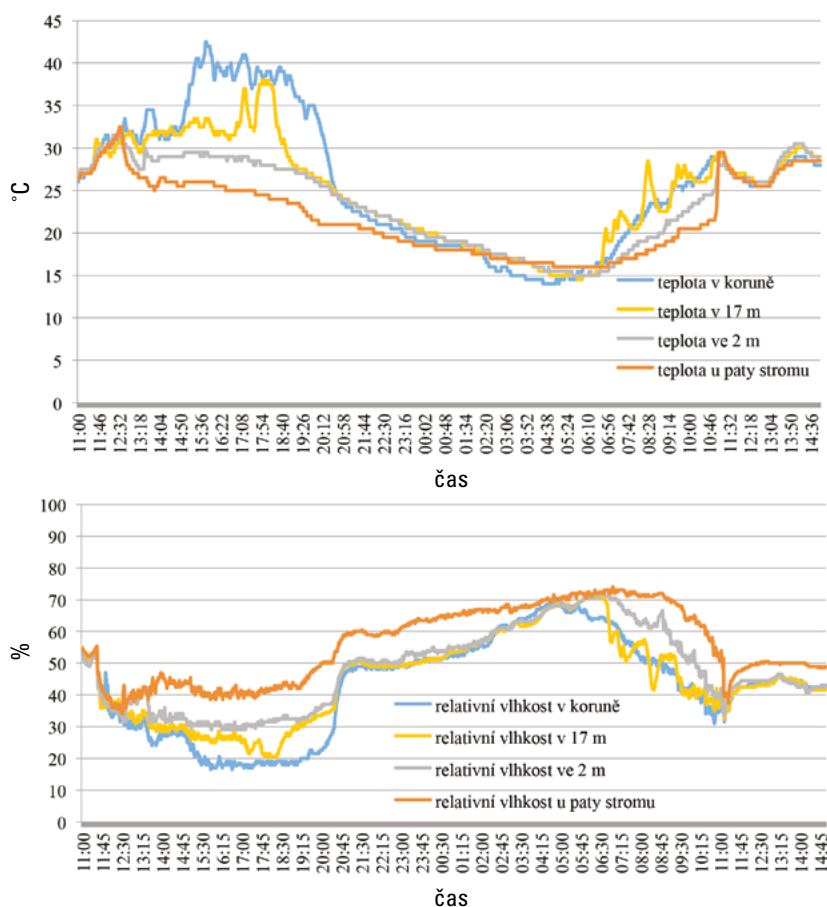
Studenti se naučí pracovat s čidly pro měření teploty a vlhkosti vzduchu (např. LASCAR EL-USB-2-LCD). Čidla jsou umístěná na různých lokalitách dle aktuálních možností terénu, kde měří teplotu vzduchu a vlhkost vzduchu. Čidla je potřeba umístit do výšky 2 m nad povrchem (standardní výška meteorologických měření teploty), u čidel umístěných na slunci je potřeba radiační kryt. Během nejméně 2 dnů je měřen průběh teploty a relativní vlhkosti vzduchu na jednotlivých lokalitách.



Obr. 17: Čidlo pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu s radiačním krytem (vlevo) a USB čidlo pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu umístěné u dubu

Možné aktivity:

- Čidla jsou umístěna na rozdílných lokalitách (v lesním porostu, nekosené louce, na betonovém prostranství). Studenti zjišťují rozdíly mezi denními a nočními hodnotami na jednotlivých lokalitách, porovnávají amplitudy. Zjišťují malé rozdíly mezi denními a nočními teplotami uvnitř lesního porostu oproti velkým rozdílům na vybetonovaných plochách. Porovnávají rozdíly v denních teplotách a relativní vzdušné vlhkosti v lesním porostu, na louce a dlážděném nádvoří bez vegetace.
- Porovnání povrchových teplot a teplot okolního vzduchu. Přesvědčí se o podstatných rozdílech. Čidlo umístěné v radičním krytu ve výšce 2 m nad zemí na dlážděném nádvoří univerzitního kampusu. Zde zjišťujeme rozdíly mezi nižší teplotou okolního vzduchu a povrchovou teplotou osluněné dlažby a sluncem exponovaných fasád. Právě těmto teplotám jsou vystaveni obyvatelé měst i okolní budovy a materiály.
- Porovnání denního průběhu relativní vlhkosti a teploty v různých patrech lesa. Čidla umístěná v lesním porostu těsně při zemi a v co nejvyšší výšce (dle možností terénu). Studenti vysvětlí rozdíly denních chodů teplot na různých místech. Pozoruhodné jsou například rozdíly denního maxima a minima pod stromem a na volném prostranství i rozdíly teploty vzduchu a povrchové teploty na místě vystaveném slunečnímu svitu.



Obř. 18: Příklad záznamu denního průběhu teploty vzduchu (horní graf) a relativní vlhkosti vzduchu (spodní graf) ve 4 různých výškách podél měřených stromů (zdroj Tomková, 2014).

Metodický list č. 6

Téma: Didaktické aplikace – badatelská výuka v terénu

Cíl výuky: Naučit se aplikovat získané poznatky k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině v praktické výuce na ZŠ s využitím moderního badatelského přístupu. Naučit se využívat Metodiku výuky k tématu Sluneční energie, voda v krajině a vegetace pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií.

Přístroje a pomůcky: infračervený bezdotykový teploměr, měřič intenzity slunečního záření, termovizní kamera, umělá květina, slunečník

V této části využíváme návrhu výuky z metodiky pro ZŠ

Terénní výuka: Výuku je nutno realizovat za jasného teplého dne.

Výuce předchází domácí příprava, je předpokládána znalost zásad badatelsky orientované výuky. Vyučující předem zadá studentům úkol k domácí přípravě:

Úkol: Připravte návrh badatelské výuky na téma klimatizační role rostlin. Využijte úvodní otázku „Proč je stín stromu chladnější než stín slunečníku?“

V návrhu využijte terénní měření s pomocí IR teploměru či termokamery.

V úvodu vlastní výuky pak vyučující představí studentům (učitelům z praxe) Metodiku výuky k tématu Sluneční energie, voda v krajině a vegetace pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií dostupnou na adrese https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/veda-a-vyzkum/nejvyznamnejsi-projekty/tacr_slunecni_energie/.

Studenti prezentují své návrhy badatelské výuky. Následně je realizována ukázka badatelsky orientované výuky dle úlohy č. 1 této metodiky – „Proč je stín stromu chladnější než stín slunečníku – varianta a) badatelská výuka s terénní částí v okolí školy.“

9. Příloha: Pracovní listy pro VŠ studenty učitelství přírodopisu ZŠ – neřešená varianta

Neřešená varianta pracovní listů je ke stažení na adrese: https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/veda-a-vyzkum/nejvyznamnejsi-projekty/tacr_slunecni_energie/.

10. Použitá literatura

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, ISBN: 978-80-7394-658-6.

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 dřevařská fakulta. Mendelova univerzita v Brně*, 53 s.

Dykyjová, D., a kol. (1989). *Metody studia ekosystémů*. Praha: Academia.

Harris, J., Mishra, P. & Koehler, M. (2009). Teachers' technological pedagogical content knowledge and learning activity types: Curriculum-based technology integration reframed. *Journal of Research on Technology in Education*, 41(4), s. 393–416.

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

Makarieva, A. M. & Gorshkov, V. G. (2007). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, s. 1013–1033.

Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. & Li, B. L. (2009). Precipitation on land versus distance from the ocean: Evidence for a forest pump of atmospheric moisture. *Ecological Complexity*, 6, s. 302-307.

- Makarieva, A. M., Gorshkov, V. G. & Li, B. L. (2006). Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecological Research*, 21, s. 897–906.
- 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. ISBN: 978-80-87371-10-7
- 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.
- Tomková, A. (2014). *Srovnání různých přístupů k hodnocení energetické bilance stromů*. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK Praha, Katedra experimentální biologie rostlin, 90 s.

11. Publikace autorského kolektivu předcházející vydání této metodiky

- Ryplová R. & Pokorný J. (2018). Using project-based education to develop pre-service biology teachers' knowledge of the cooling effect of vegetation. In: M. Rusek, K. Vojíš (Eds.), *Project-based Education and other activating strategies in Science Education XVI*, 105 – 113. dostupné z: https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2019/07/sbornikPBE2018_wos.pdf
- 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>
- Podrobnější informace k problematice shrnul autorský kolektiv v publikaci „Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce“, vycházející v říjnu 2021 a dostupné online zdarma na stránce https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/veda-a-vyzkum/nejvyznamnejsi-projekty/tacr_slunecni_energie/.

Poděkování

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

Autoři děkují vyučujícím základních škol a víceletých gymnázií spolupracujících na pozici aplikačních garantů tohoto projektu. Jmenovitě 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 konzultace. Dík patří i řadě dalších nejmenovaných učitelů základních škol a víceletých gymnázií, kteří svými připomínkami přispěli ke zdárnému dokončení této metodiky.

Metodika výuky k tématu

Sluneční energie – voda v krajině – vegetace

pro VŠ studenty učitelství přírodopisu pro ZŠ a učitele z praxe

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. a R. Ryplová

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

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

1. vydání

ISBN: 978-80-905483-8-1