

Slunce - voda - rostliny - místní klima

Vzdělávací metodika pro městské úřady

Sun - water - plants - local climate

Education methodology for municipal authority

Jan Pokorný¹, Renata Ryplová², Vladimír Jirka¹, Petra Hesslerová¹, Zbyněk Vácha²

¹ENKI, o.p.s., Dukelská 145, Třeboň; ²Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10

Abstrakt

Úloha vody a vegetace v distribuci sluneční energie a utváření místního klimatu je ve vytvořené metodice vzdělávání pracovníků městských úřadů jednoduše vysvětlena na základě současného vědeckého poznání. Cílem metodiky je podpořit zodpovědné rozhodování pracovníků městských úřadů v oblasti péče o zastavěná území, městskou zeleň i krajinu. Na praktických příkladech s využitím cenově dostupných přístrojů je ukázán rozdíl v povrchové teplotě vzrostlé vegetace zásobené vodou a odvodněné (vydlážděné) plochy. K procvičení a zamyšlení jsou formulovány návody k měření doporučenými přístroji. Chladicí efekt rostlin je popsán na základě metod fyziologie rostlin pro stanovení transpirace v pojmech skupenského tepla vody a toku sluneční energie ve $W \cdot m^{-2}$. Vyčíslen je efekt odvodnění/odstranění zeleně na uvolnění zjevného tepla a ohřev prostředí za slunných letních dnů.

Klíčová slova: sluneční záření, evapotranspirace, vegetace, zjevné teplo, vzdělávání

Abstract

Role of water and vegetation in distribution of solar energy and local climate is explained in developed educational methodology for municipal employees on basis of present scientific knowledge. The aim of the methodology is to support responsible decision-making by employees of municipal authorities in the field of management of built-up areas, urban greenery and the landscape. Using affordable field instrumentation differences in surface temperature of vegetation supplied with water and sealed surfaces is shown on a sunny day. Tasks are formulated for practising and measurements with portable devices. Cooling effect of plants is clearly explained in terms of latent heat of water and flux of solar radiation expressed in $W \cdot m^{-2}$.

Effect of drainage and removal of vegetation on release of sensible heat and environment warming is quantified for conditions of summer sunny days.

Keywords: solar radiation, evapotranspiration, vegetation, sensible heat, education

Úvod

Význam a úloha vegetace v hydrologii a klimatu byla známa a popisována již v minulosti (A. Humboldt, starověké Řecko), procesy evapotranspirace se dostávají do popředí zájmu ve 20. století (Bowen 1926; Monteith 1973). V současné době hovoříme o tzv. „plant/botany blindness“ (Wandersee a Schusler 1999), vyjadřující ignoranci rostlin člověkem. Všeobecné povědomí o ekofyziologické roli vegetace v krajině je nízké. Zapomněli jsme mimo jiné, jaký význam mají rostliny v distribuci slunečního záření a oběhu vody díky procesu evapotranspirace, nikoliv fotosyntézy, jak dokáží aktivně chladit sebe i okolí, přitahují vodu a utvářejí klima (Makarjeva a Gorshkov 2007). Jedním z důvodů těchto všeobecných neznalostí je i to, že funkce vegetace v distribuci sluneční energie a utváření místního klimatu a oběhu vody je opomíjena v základním i vyšším vzdělání (Ryplová a Pokorný 2020; 2019).

Význam evapotranspirace v tvorbě klimatu a oběhu vody se objevuje v literatuře v souvislosti s významem lesních ekosystémů (Sheil 2018), případně i změnou krajinného pokryvu (Pielke Sr. 2005; Duveiller a kol. 2020). Funkce rostlin v klimatu je často redukována na produkci/vázání skleníkových plynů (Myhre a kol. 2013; IPCC 2019; EC 2019). Neznalost základních fyziologických principů fungování vegetace (EC 2013) vede k zavádějící interpretaci výsledků modelů, které se zabývají tzv. biofyzikálním vlivem vegetace na klima, a vegetaci přisuzují oteplovací efekt pro její nízké albedo (Alkama a Cescati 2016; Bonan 2008; Williams a kol. 2021).

Cílem metodiky je seznámit pracovníky MěÚ se zásadní úlohou vegetace pro udržení vody v krajině a mírnění klimatických extrémů, aby byli sami schopni zodpovědně posuzovat navrhované hospodářské zásahy v krajině a městské zástavbě. Novost metodiky spočívá v přiblížení úlohy vegetace jednoduchou a praktickou formou. Uvádíme možnosti kvantifikace chladící schopnosti vegetace. Využíváme moderních metod měření v prostorovém kontextu (termovizní snímkování, zdokonalené přístrojové vybavení pro meteorologická měření a výpočty), které nahradily nedokonalá bodová měření. Na těchto základech pak pomocí moderních pedagogických metod vzdělávání dospělých formulujeme konkrétní vzdělávací situace řešící problémy z praxe pracovníků městských úřadů.

Metodika obsahuje v části teoretické přehled a stručné vysvětlení základních dějů v oblasti vztahů solární energie - vegetační kryt - voda v krajině a doporučuje vhodné měřicí přístroje

společně s popisem a nácvikem metodiky měření. Uvedeny jsou příklady bilance sluneční energie měření netradiometrem za jarního jasného dne, oblačného dne a zatažené oblohy při letním slunovratu, které dokumentují zásadní úlohu obsahu vodní páry a oblačnosti v příkonu sluneční energie v daném ročním období. V části praktické jsou uvedeny příklady měření v terénu spolu se způsoby hodnocení naměřených dat. Teoretická část metodiky vychází z připravované knižní publikace (Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce), kde budou veškeré zde zmíněné děje vysvětleny podrobněji. Tato publikace bude dostupná zdarma on-line koncem roku 2021.

Materiál a metody

Nová vzdělávací metodika pro pracovníky městských úřadů k tématu role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině byla vytvářena v průběhu 3 let v rámci řešení projektu TAČR TL 01000294 formou participativního výzkumu. Jedná se o složitou problematiku, kterou bylo nutno adekvátně uchopit a vzdělávací materiály přizpůsobit konkrétním potřebám cílové skupiny. Každoročně proto probíhaly workshopy pro pracovníky městských úřadů, na nichž byla metodika testována a na základě zpětné vazby následně upravována. V prvním roce bylo nutno nejprve zmapovat konkrétní požadavky, potřeby a úroveň poznání tématu cílové skupiny – pracovníků městských úřadů. Pomocí dotazníkového šetření provedeného mezi devadesáti čtyřmi respondenty, pracovníky MěÚ, bylo zjištěno, že cílová skupina je velmi různorodá, frekventanti mají různou úroveň a oblast absolvovaného vzdělání, liší se i ve zkušenostech v práci s měřicí technikou, mají různá zaměření od OŽP přes zemědělství až po technické obory a vzhledem k tomu požadují do metodiky zařadit aplikace pro velké spektrum situací (města, agrární krajina, lesy apod.). Na základě těchto poznatků byla vytvořena pilotní verze metodiky, podávající základní informace velmi názorně a detailně. Do metodiky byla zařazena série příkladů zahrnujících klimatizační efekt vegetace v různých prostředích společně s nácvikem techniky měření. Pro potřeby metodiky byl testován a navržen i soubor cenově dostupných a uživatelsky přívětivých přístrojů. V následujících dvou letech byla metodika ověřována, upravována a evaluována pomocí dotazníkových šetření a rozhovorů s respondenty během každoročních workshopů s pracovníky městských úřadů.

Metodika vychází z dlouhodobé expertní a výzkumné činnosti ENKI, o.p.s. a know-how v oblasti andragogiky pracovníků Pedagogické fakulty JU v Českých Budějovicích. Kombinujeme znalosti přeměny sluneční energie v ekosystémech (ekofyziologie rostlin) s technikami měření a výpočty energetické a radiační bilance z meteorologických dat, za

současného využití prostorové distribuce teploty. Zaměřujeme se na hodnocení a interpretaci výsledků vlivu krajinného pokryvu na oběh vody, teplotu a lokální klima.

Výsledky

Výsledné metodické listy pro pracovníky městských úřadů jsou k dispozici online (viz. Literatura). Jejich součástí je teoretický úvod do problematiky, doporučený soubor měřících přístrojů, terénní úlohy k nácviku měření a jednotlivé případové studie klimatické role vegetace v různých prostředích. Uvádíme stručný náhled do metodiky:

1. Teoretický úvod

1.1 Sluneční energie a její měření

Slunce je základem existence života na Zemi. Sluneční záření dodává energii stěžejním procesům, které v biosféře probíhají, jako je oběh vody a produkce biomasy. Bez sluneční energie by byla atmosféra v tuhém stavu a teplota okolo 10 K, tedy -263°C . Na hranici zemské atmosféry dopadá přibližně $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sluneční energie (tzv. solární konstanta). V průběhu roku se množství energie mění zhruba v rozsahu $1320 - 1410 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ podle vzdálenosti Země od Slunce na její eliptické dráze. Na povrch Země dopadá přibližně 180 000 TW sluneční energie. Přibližně 25 % - 40 % z tohoto záření se však ztrácí odrazem a absorpcí při průchodu atmosférou. Na jeden m^2 povrchu České republiky tak dopadá za jasného dne ve vegetační sezóně přibližně 800 – 1000 W sluneční energie; oblačnost snižuje množství přicházející sluneční energie násobně.

Bilance slunečního záření se měří tzv. netradiometrem (Obr. 1), který měří následující čtyři toky energie. Označení radiačních toků zachovává originální záznam netradiometru.

- **dopadající krátkovlnná globální radiace** (pyrUP, $\text{RS}\downarrow$) na vodorovnou plochu, měřená pyranometrem (305-2800 nm), orientovaným horizontálně do nadhlavníku ve výšce 2 m nad povrchem. Je ovlivněna ročním obdobím, tj. úhlem dopadu a délkou dráhy paprsku atmosférou, oblačností a znečištěním atmosféry, pohlcující sluneční záření.

- **odražená krátkovlnná radiace** (pyrDOWN, $\text{Rs}\uparrow$). Měří se totožným čidlem, pyranometrem (305-2800 nm), ale orientovaným k zemi. Rozdíl hodnot dopadající a odražené krátkovlnné radiace udává, kolik energie, dopadající ze Slunce na zemský povrch, vstupuje do fyzikálních a biologických pochodů na rozhraní porost (půda) - atmosféra. Nejčastěji je tato hodnota vyjádřena pomocí podílu mezi radiací odraženou a dopadající, tzv. albedem. Albedo v porostech dosahuje hodnot okolo 0,2; tedy okolo 20 % dopadající krátkovlnné sluneční radiace se odráží.

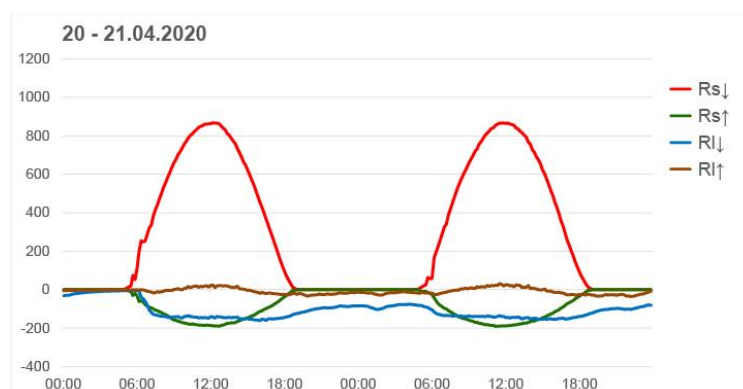
- **radiační tok** ($pyrgUP$, $Rl\downarrow$) je energetická výměna mezi čidlem (radiometrem) a oblohou ve spektrální oblasti 4500 - 42 000 nm (dlouhovlnné resp. tepelné záření). Tato hodnota slouží spolu s teplotou čidla (radiometru) k výpočtu zdánlivé radiační teploty oblohy s využitím Stefanova Boltzmannova zákona. Měřená hodnota toku tepla (dlouhovlnného záření) vůči obloze bývá většinou záporná, protože obloha bývá chladnější než čidlo a nabývá hodnot do -200 $W.m^{-2}$. Jasná obloha má zdánlivou teplotu hluboko pod $0^{\circ}C$. Podrobněji Jirka a kol. (2021).

- **radiační tok** ($pyrgDOWN$, $Rl\uparrow$) je energetická výměna mezi čidlem a povrchem porostu (půdy) ve spektrální oblasti (4500 - 42 000 nm; tepelné záření). Tato hodnota spolu s teplotou čidla (radiometru) při využití Stefanova Boltzmannova zákona slouží k výpočtu radiační teploty povrchu. Měřené tepelné záření nabývá kladných i záporných hodnot v rozmezí několika desítek $W.m^{-2}$.

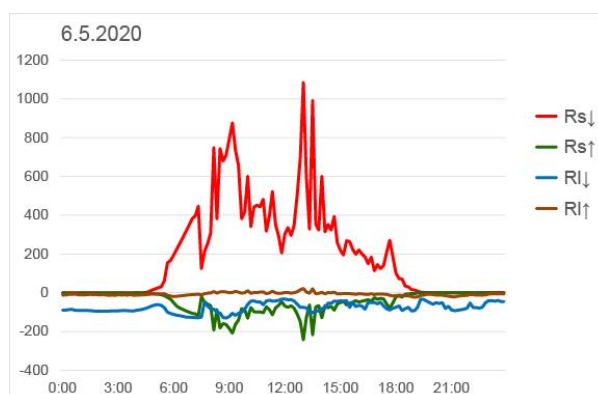


Obr. 1 Detail netradiometru s označenými čidly $pyrUP$, $pyrDOWN$ pro měření slunečního (krátkovlnného záření) a čidly $pyrgUP$, $pyrgDOWN$ pro měření dlouhovlnného záření (tepla)

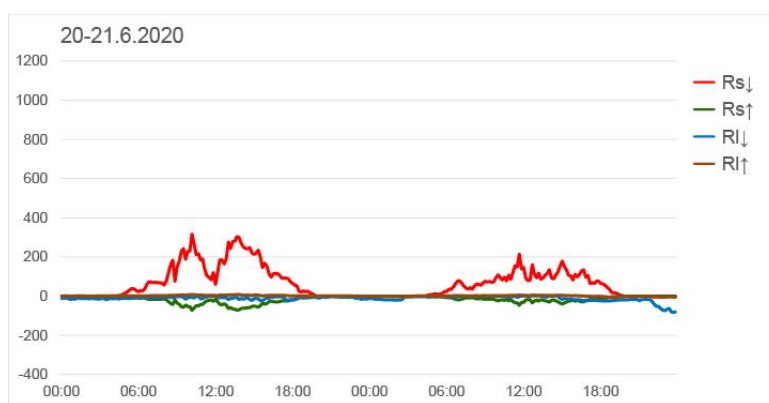
Na Obr. 2 – 4 a v Tab. 1 uvádíme příklady chodu radiace a celodenní energetické bilance za jasné, oblačné a zatažené oblohy. Je zřejmé, že oblačnost a množství vody v atmosféře významně ovlivňují jak množství přicházející sluneční energie, tak množství tepla, které se do oblohy vyzáří z povrchu země. Podrobněji Jirka a kol. (2021).



Obr. 2 Příklad jasného dne. Denní chod přicházejícího ($Rs\downarrow$, $PyrUP$) a odraženého ($Rs\uparrow$, $PyrDOWN$) slunečního záření ($W.m^{-2}$) a dlouhovlnného/tepelného záření mezi čidlem a oblohou ($Rl\downarrow$, $PyrgUP$) a dále mezi čidlem a povrchem země ($Rl\uparrow$, $PyrgDOWN$).



Obr. 3 Příklad oblačného dne. Přicházející (RS_{\downarrow} , PyrUP červená) a odražené (Rs_{\uparrow} , PyrDown, zelená) sluneční záření a dlouhovlnné záření odcházející od čidla do oblohy (RI_{\downarrow} , PyrgUP modrá) a od čidla k zemi (RI_{\uparrow} , PyrgDOWN, hnědá).



Obr. 4 Příklad zataženého dne. Denní chod přicházejícího (RS_{\downarrow} , pyr UP) a odraženého (Rs_{\uparrow} , pyrDOWN) slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$) a dlouhovlnného/tepelného záření mezi čidlem a oblohou (RI_{\downarrow} , pyrgUP) a mezi čidlem a povrchem země (RI_{\uparrow} , pyrgDOWN)

Tab. 1 Denní bilance sluneční energie na sečeném travnatém porostu (Domanín) ve vybraných dnech. $\sum Rs_{\downarrow}$ celkový/denní/noční úhrn dopadajícího slunečního záření; $\sum Rs_{\uparrow}$ celkový/denní/noční úhrn odraženého slunečního záření; $\sum RI_{\uparrow}$ celková/denní/noční bilance dlouhovlnného záření. $Rs_{\text{global Teor}}$ je teoretickou hodnotou denní sumy globálního záření pro daný jasný den.

20. 4. 2020 jasno

Sluneční záření ($Wh \cdot m^{-2}$)	24 hodin	den	noc
$\sum Rs_{\downarrow}$	7136	7136	0
$\sum Rs_{\uparrow}$	-1690	-1690	0
$\sum RI_{\uparrow}$	-2191	-1790	-401
$Rs_{\text{global Teor}}$	7028		

6. 5. 2020 oblačno

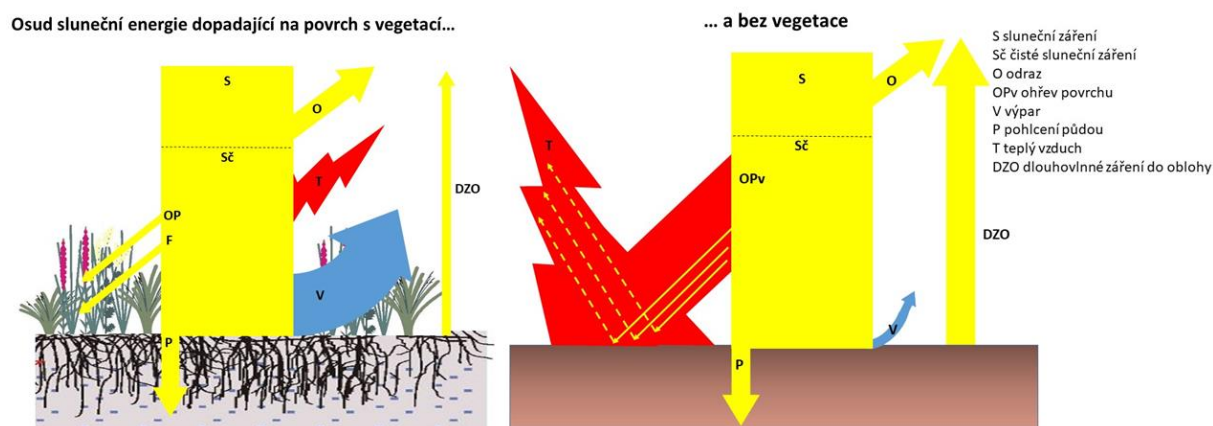
$\sum Rs_{\downarrow}$	4734	4734	0
$\sum Rs_{\uparrow}$	-1105	-1105	0
$\sum RI_{\uparrow}$	-1666	-1089	-577
$Rs_{\text{global Teor}}$	7837		

20. 6. 2020 zataženo

$\sum R_{s\downarrow}$	1955	1955	0
$\sum R_{s\uparrow}$	-472	-472	0
$\sum R_{I\downarrow}$	-290	-195	-95
Rs global Teor	8961		

Tělesa vyzařují dlouhovlnné záření. Teplejší těleso předává teplo tělesu chladnějšímu. Podle Stefanova – Boltzmannova zákona intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou teploty zářícího tělesa ($I = \sigma \cdot T^4$). 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 odhadnout: rozdíl 1°C představuje tok přibližně 5 W.m⁻², rozdíl 10°C odpovídá 50 W.m⁻². Např. 20. 4. 2020 se do jasné oblohy vyzářilo 2191 Wh.m⁻², což mělo za následek pokles teploty u země pod bod mrazu (na Jižní Moravě až -7°C) a zmrznutí květů ovocných stromů (meruněk).

V rámci teoretického úvodu je za pomoci zjednodušené terminologie (pro lepší srozumitelnost textu) vysvětlena distribuce sluneční energie v krajině a jsou charakterizovány její jednotlivé složky na Obr. 5.



Obr. 5 Schematické znázornění distribuce sluneční energie v krajině s vegetací a bez vegetace

1.2 Role vegetace v distribuci sluneční energie v krajině

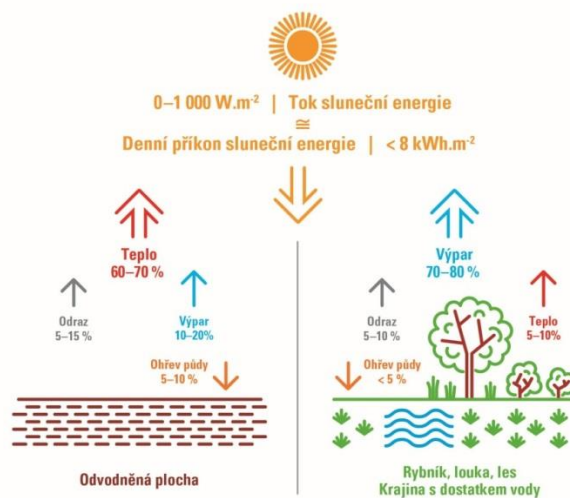
Osud sluneční energie dopadající na zemský povrch se významně liší v krajině s dostatkem vegetace zásobené vodou a v krajině s nedostatečným vegetačním krytem (Ellison a kol. 2017). Měřením se lze přesvědčit, že v našich podmínkách dopadá za jasného dne několik set až 1000 W.m⁻². Pokud sluneční energie přichází na suchý povrch bez vegetace, tak se tento povrch ohřívá a sluneční energie se přeměňuje 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 spotřebovává na výpar vody (Pokorný 2019). Rozdíl v distribuci sluneční energie na odvodněné ploše a ve vegetaci dobře zásobené vodou je ve slunném dnu v rozsahu několika set $W \cdot m^{-2}$. Při rychlosti výparu $100 \text{ mg} \cdot s^{-1}$ se do vodní páry váže $245 \text{ J} \cdot s^{-1}$, spotřebovává se tedy 245 W . Rychlost výparu z jednoho m^2 porostu je při dostatku vody za slunného dne i 200 mg . Na evapotranspiraci se spotřebovává $400 \text{ W} \cdot m^{-2}$ i více v závislosti na vlastnostech porostu, stupni zásobení vodou apod. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20°C se spotřebuje $2,45 \text{ MJ} \approx 0,68 \text{ kWh}$ sluneční energie. Vzrostlý strom dobře zásobený vodou s poloměrem koruny 4 m za jasného dne odpaří cca 150 l vody. Na výpar tedy spotřebuje 102 kWh sluneční energie. Tato energie se proto neuvolní jako zjevné (pocitové) teplo. Stromy (a vegetace jako taková) tímto způsobem chladí sebe a své okolí (Pokorný a kol. 2018; Hesslerová a kol. 2021). Evapotranspirace má navíc dvojitý klimatizační efekt – ochlazuje výparem a ohřívá kondenzací (obzvláště v noci), přispívá k vyrovnávání teplotních gradientů v krajině. Ohřev díky kondenzaci má pro zemědělce, sadaře, vinaře apod. velký význam např. v období náhlých jarních mrazů. Navíc noční mlha a oblaka brání vyzařování tepla vůči chladné obloze (Obr. 2 – 4, Tab. 1).

1.3 Proč vegetace vrací vodu do krajiny a odlesnění způsobuje vysychání

Výpar z vegetačního krytu stojí na začátku tzv. krátkého cyklu vody, kterým se odpařená voda z krajiny do ní zase vrací zpět. Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se na chladných místech (výše v atmosféře, v noci, ráno) potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Vodní pára se sráží na kapičky vody, které vytvářejí oblačnost, ze které vypadávají mírné srážky. Územní výpar zvýšený působením vegetačního krytu tedy zvyšuje tvorbu oblačnosti a srážek v území, čímž dochází k navracení vody zpět do krajiny. Nejkratší cestou návratu vody z atmosféry zpět do krajiny je tvorba horizontálních (usazených) srážek, zejména rosy a jinovatky. Navíc mlha a oblačnost zásadním způsobem snižují průnik slunečního záření na zemský povrch (Tab. 1, Obr. 2-4). Naopak na místech bez vegetačního krytu se většina sluneční energie přemění na teplo, suchý teplý vzduch rychle stoupá vzhůru od ohřátého suchého povrchu, zrychluje se vzestupné proudění vzduchu, které krajinu dále vysouší. Ohřátý vzduch pojme násobně více vody nežli vzduch chladný. Ohřátý vzduch odnáší vzhůru do atmosféry vodní páru, která se sráží až vysoko v atmosféře. Nevrací se proto zpět ve formě mlhy, rosy nebo drobného deště. 1 m^3 vzduchu o teplotě 21°C pojme při normálním atmosférickém tlaku cca 18 gramů vodní páry, zatímco vzduch o teplotě 40°C pojme cca 50 gramů vodní páry při 100% nasycení, tedy maximální absolutní vlhkosti vzduchu.

Vzduch o teplotě 40°C, který obsahuje 18 gramů vodní páry má relativní vlhkost 36 % a vynese stejné množství vodní páry mnohem výše nežli vzduch o teplotě 21°C .



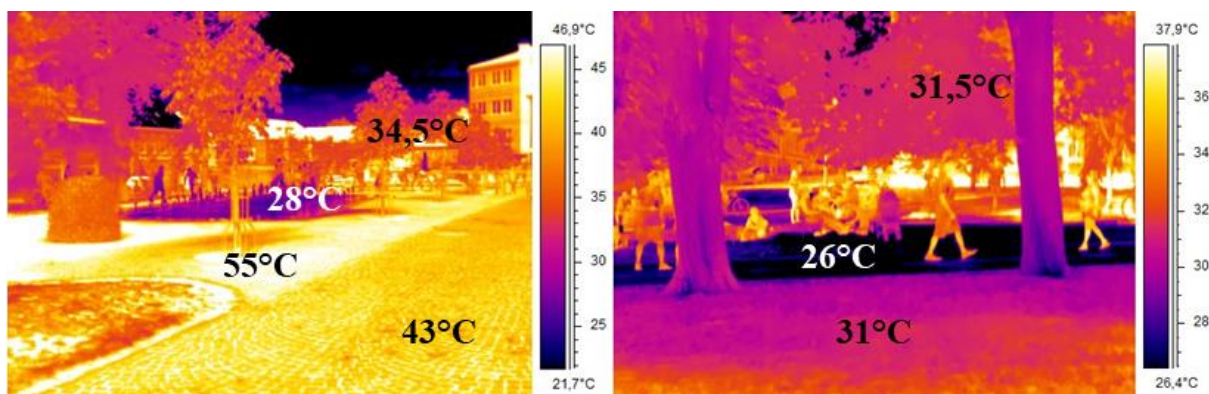
Obr. 6 Rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a suché krajině bez vegetačního krytu a vodních ploch

Vzhledem k tomu, že metodika je určena pro pracovníky městských úřadů s různorodým zaměřením a tomu odpovídajícím různým typem vzdělání, bylo nutno uvést přehled základních pojmů a veličin (sluneční záření, teplota, vlhkost vzduchu a rosný bod, atmosférický tlak, rychlost větru), jejichž měření je pro pochopení role vegetace v distribuci sluneční energie a koloběhu vody v krajině nezbytné. Součástí metodiky je i doporučený soubor měřicích přístrojů. Snahou autorského kolektivu bylo uvést příklady přístrojů relativně levných, avšak spolehlivých, jejichž spolehlivost a přesnost měření byla ověřena, a které se pro účely metodiky osvědčily, a to bez propagace konkrétních značek a bez smluvních závazků k jednotlivým výrobcům.

2. Návik měření a případové úlohy k procvičení a zamyšlení

Praktická část metodických listů je věnována náviku měření globálního slunečního záření a teploty pomocí infračerveného bezkontaktního teploměru či termovizní kamery. Pro tento účel byly vytvořeny případové vzdělávací úlohy řešící konkrétní problémy, s nimiž se pracovníci MěÚ v praxi setkávají. Účelem je na základě informací z teoretické části vysvětlit rozdíly v naměřené intenzitě globálního slunečního záření a teplotou pod korunou stromu a na volném prostranství. Návik měření je dále zaměřen na stanovení globálního záření, povrchové teploty, teploty vzduchu, relativní vlhkosti a množství vodní páry u čtyř rozdílných povrchů (asfalt, sklizené pole, nepokosená louka, les). Další úlohy jsou cíleny na měření a pochopení významu

teplotní inverze v porostech, rozdílu umělého a přírodního stínu (stromu), klimatizační funkci vegetace ve městech.



Obr. 7 Termovizní kameru lze využít pro hodnocení revitalizací veřejných prostranství ve městech. Příklad revitalizace Husových sadů v Jindřichově Hradci. Ve východní části byly odstraněny vzrostlé stromy, které nahradila dlažba s vodním prvkem. V horkém letním dni, s teplotami vzduchu nad 30°C dosahuje teplota dlažby průměrně 43°C, kovové prvky v okolí stromů dokonce 55°C. Původní část sadů se zachovalým travním podrostem si zachovává teploty kolem 31°C, stín vzrostlých stromů 26°C. Jak byste hodnotili úspěšnost této revitalizace? Kterou část parku vyhledávají lidé k odpočinku?

Obnova zapojeného stromového porostu trvá desítky let. Vysázené stromy je nutno zalévat pravidelně, zatímco zachované vzrostlé stromy závlivku nepotřebují a přitom vytvářejí chladný stín. Z dlažby dešťová voda převážně odtéká, zatímco trávníkem v okolí vzrostlých stromů dešťová voda prosakuje hluboko ke kořenům. Navíc ze zpevněných ploch odtéká dešťová voda často do smíšené kanalizace a nečištěné odpadní vody vytékají do toků.

Na základě provedených měření by pracovník MěÚ měl být schopen odpovědět na otázky v poslední části metodiky, např.:

V letních vedrech narůstají požadavky na klimatizaci nemocnic pro zajištění uspokojivých podmínek pro pobyt pacientů. Nemocnice č.1 je obklopena vzrostlým parkem a investuje do pěstování zeleně. Nemocnice č.2 preferuje strojově sekaný nízký trávník, který v letním období zcela vysychá. Započítáme – li finanční náročnost klimatizace, která nemocnice více ušetří?

Příklad odpovědi: vzrostlé stromy a trávník zásobený vodou se chladí výkonem několika set W.m-2. Vegetace zásobená vodou má povrchovou teplotu nejvýše 30°C, zatímco povrchová teplota posekaného trávníku se na přímém slunečním svitu blíží 50°C. Ohřátý vzduch stoupá k oknům nemocničních pokojů a navíc dlouhovlnné záření vysílané zahřátou plochou posekaného trávníku ohřívá budovu a okna intenzitou více než 100 W.m-2. Chladný povrch stromů a zalitého trávníku naopak přijímá teplo ohřáté budovy, protože je chladnější nežli povrch

osluněné budovy (Stefanův – Boltzmanův zákon). Mohli bychom vyjádřit chladicí efekt vegetace i peněžně (Pokorný a kol. 2018). Například 300 W.m⁻² po dobu 6 hodin představuje 1,8 kWh, což je při ceně 4 Kč za kWh 7,20 Kč. Při ploše parku 400 m² šetříme 2880 Kč denně za provoz klimatizace, která má v podobě parku chladicí výkon 720 kW (400 x 1,8 kW). Technická klimatizace by však své okolí touto energií ohřála.

Diskuse

Záznamy netradiometru ukazují významný vliv oblačnosti a vodní páry/mlhy na množství přicházející sluneční energie i na množství energie vyzářené do oblohy ve formě tepla. Ovlivňuje člověk svým hospodařením ve městech a v krajině množství vodní páry ve vzduchu a tvorbu oblačnosti? Více oblačnosti a mlh je nad lesy a nad mokřady. Rozsáhlé odvodněné plochy, parkoviště, supermarkety, sklady a silnice produkují za slunných dnů množství zjevného tepla. Když v červenci a srpnu v ČR sklídíme řepku a obilí, na 18 000 km² sníží se výpar a uvolňuje se 4 300 GW zjevného tepla (240 W.m⁻²). Pro srovnání, instalovaný výkon elektráren v ČR je cca 12 GW.

V průběhu testování metodiky na workshopech projevovali pracovníci městských úřadů o problematiku role vegetace v místním klimatu a koloběhu vody v krajině velký zájem, navrhovali další problémové situace z vlastní praxe. V dotazníkových šetřeních v rámci testování metodiky však většinou uváděli, že se s touto problematikou doposud nesetkali a to i přes jejich poměrně široké spektrum profesního zaměření a tomu odpovídajícího vzdělání. Tento poznatek dokumentuje všeobecně rozšířenou neznalost role vegetace pro místní klima a koloběh vody v krajině, mající kořeny již v absenci tohoto všeobecně důležitého tématu ve vzdělání na základních školách. Rámcový vzdělávací program pro základní školství nezahrnuje téma transpirace rostlin (RVP pro základní vzdělávání, MŠMT, 2017). Většina učebnic pro ZŠ se omezuje na pouhé konstatování, že „list (rostlina, prūdch event. les) odpařuje vodu“, význam výparu pro termoregulaci rostliny a ochlazování okolí však většinou zmíněn není (Ryplová a Pokorný 2019). Jak ukázala naše sonda provedená mezi 404 žáky českých škol (Ryplová a Pokorný 2020), základní školy opouštějí jejich absolventi bez znalostí klimatické role vegetace, znalosti distribuce sluneční energie v krajině jsou omezeny pouze na využití ve fotosyntéze, již je nesprávně připisována většina sluneční energie využitá rostlinou. Bohužel obdobné neznalosti vykazují i absolventi středních škol, jak zjistil výzkum mezi 100 začínajícími studenty prvního ročníku učitelství přírodopisu na Pedagogické fakultě JU (Ryplová a Pokorný 2019). Nejedná se však o problém ryze český, problém neznalosti a ignorance role vegetace v životním prostředí člověka, tzv. „Plant blindness“ je jev celosvětově

rozšířený a je považován za velkou překážku pro udržitelný rozvoj (Amprazis a Papadopoulou 2020).

Pracovníci městských úřadů s rozhodovacími pravomocemi pro schvalování procesů a strategií ovlivňujících budoucí ráz urbánní i agrární krajiny a tím i místní klima poznatky získané s využitím nové vzdělávací metodiky považují za důležité pro svou praxi. Poukazovali zejména na to, že doposud neměli podklady obsahující vyčíslení tzv. ekosystémových služeb jednotlivých typů vegetace, na základě jejichž využití by mohli svá rozhodnutí formálně odůvodňovat. Řada z nich také považuje tuto metodiku za využitelnou v rámci Adaptační strategie na klimatickou změnu, kterou obce v souladu s nařízeními EU připravují.

Závěr

- Rutinní měření netradiometrem prokazují: V daném ročním období je množství dopadající sluneční energie a množství tepla vyzářeného do oblohy závislé na oblačnosti a obsahu vodní páry ve vzduchu. Při zatažené obloze je denní suma sluneční energie dopadající na povrch země několikrát nižší nežli za jasného dne. Za jasné noci se do oblohy vyzáří vysoké více tepla (skleníkový efekt je nízký).
- Nová metodika vzdělávání pracovníků MěÚ na téma Sluneční energie - voda v krajině - vegetace k tématu efektu hospodářských zásahů na místní klima uvádí konkrétní případy klimatizační role vegetace, seznamuje s metodikou a umožňuje nácvik jejího měření. Doporučena je i sestava cenově dostupných měřících přístrojů. Metodika obsahuje vyčíslení klimatizačního efektu vegetace ve vybraných případech častých v praxi pracovníků MěÚ s rozhodovacími pravomocemi.
Dle výsledků evaluační analýzy je metodika považována pracovníky MěÚ za srozumitelnou a využitelnou v jejich praxi, např. v rámci adaptační strategie na klimatickou změnu
- Metodika je přístupná online široké veřejnosti zdarma, může tedy přispět k lepší informovanosti široké veřejnosti o roli vegetace v místním klimatu a koloběhu vody v krajině
- Pracovníci MěÚ doporučují uvést v Metodice argumenty o funkci vegetace a zejména stromů v lokálním klimatu v pojmech ekosystémových služeb, tedy peněžně, pro účinnou argumentaci

- Pokud se máme seriózně zabývat klimatickou změnou, musíme uvažovat důsledky úbytku vegetace v krajině, vedoucí k: snížení evapotranspirace (chlazení), snižování obsahu vodní páry, nárůstu zjevného tepla, gradientů teplot a tlaku vzduchu. Tyto gradienty se vyrovnávají dynamicky formou přívalových srážek, rychlého proudění vzduchu i trvalou tlakovou výší nad vysušeným územím.

Literatura

Alkama, R. a Cescatti, A. (2016): Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. *Science* 351, 600–604.

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

Bonan, G. B. (2008): Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320, 1444–1449.

Bowen, I.S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review* 27(6), 779 – 787.

Duveiller, G. a kol. (2020): Local biophysical effects of land use and land cover change: towards an assessment tool for policy makers. *Land Use Policy* 91, 104382.

EC (2013): Zelená infrastruktura – zlepšování přírodního kapitálu Evropy. COM(2013) 249 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0249> [online 2021-03-05]

EC (2019): The European Green Deal. COM(2019) 640 final: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> [online 2021-03-05]

Ellison, D. a kol. (2017): Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environmental Change* 43, 51 – 61.

Hesslerová, P. a kol. (2021): The impacts of greenery on urban climate and the options for use of thermal data in urban areas. *Progress in Planning*. 100545.

IPCC (2019): Climate Change and Land <https://www.ipcc.ch/srccl/> [online 2021-03-05]

Jirka V. a kol. (2021): Energetická výměna mezi zemským povrchem a atmosférou v závislosti na meteorologických podmínkách bez ohledu na obsah CO₂. *Vytápění, větrání, instalace*. In press - vyjde září 2021.

Makarjeva, A.M. a Gorshkov, V.G. (2007): Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11(2), 1013–1033.

Monteith, J.L. (1973): Principles of Environmental Physics. London, 241 s.

Myhre, G. D. a kol. (2013): Anthropogenic and natural radiative forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F. a kol. Eds. Cambridge University Press, 659-740. doi:10.1017/CBO9781107415324.018.

Pokorný, J. a kol. (2018): Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj* 1, 26 – 37.

Pokorný, J. (2019): Evapotranspiration. In: Fath, B.D.(Ed) *Encyclopedia of Ecology*, 2nd edition 2, 292–303. Oxford: Elsevier.

Pielke Sr., R.A. (2005): Land use and climate change. *Science* 5754(310), 1625-1626.

Ryplová, R. a 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>

Ryplová, R. a Pokorný, J. (2020): Saving Water for the Future Via Increasing Plant Literacy of Pupils. *European Journal of Sustainable Development* 9(3): 313-323.

Sheil, D.F. (2018): Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. *Forest Ecosystems* 5, 19.

Wandersee, J. H. a Schussler, E. E. (1999): Preventing Plant Blindness. *The American Biology Teacher* 61(2), 82-86.

Williams, Ch. A., Gu, H., Jiao, T. (2021): Climate impacts of U.S. forest loss span net warming to net cooling. *Science Advances* 7, 1-6.

Pilotní verze výukových materiálů jsou dostupné online:

https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/veda-a-vyzkum/nejvyznamnejsi-projekty/tacr_slunecni_energie/

Pokorný J. a kol. (2021): Nová metodika vzdělávání pracovníků MěÚ na téma Sluneční energie - voda v krajině - vegetace k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima

Ryplová, R. a kol. (2021): Metodika výuky k tématu Sluneční energie – voda v krajině – vegetace pro VŠ studenty učitelství přírodopisu pro ZŠ a učitele z praxe. ENKI, o.p.s., 51 s.

Ryplová, R. a kol. (2021): Metodika výuky k tématu Sluneční energie, voda v krajině a vegetace pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií

Pokorný J. a kol. Slunce – voda – rostliny – klima: Podklady k poznání a výuce (kniha bude zveřejněna zde v říjnu 2021)

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen s finanční podporou TAČR v rámci řešení projektu TL 01000294

Kontakt:

Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

ENKI, o.p.s.

Dukelská 145, 379 01 Třeboň

+420 384 706 173