

Úloha vegetace a vody v utváření klimatu I.

Biosféra po miliardy let svého vývoje reagovala na změny klimatu a významně se podílela na postupných přeměnách složení atmosféry. Cílem tohoto článku je uvést do souvislosti známá fakta a středoškolské znalosti a ukázat, že biosféra a její životní pochody dokonalým způsobem transformují sluneční energii a utvářejí tak klima.

Množství sluneční energie přicházející na hranici zemské atmosféry se v průběhu roku pohybuje od $1345 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ do $1438 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ podle polohy Země na její eliptické dráze kolem Slunce. Naše planeta dostává od Slunce $180\,000 \text{ TW}$ ($\text{TW} = \text{bilion wattů}$) energie. Uvádí se, že celosvětová ekonomika spotřebovává 10 TW (Klecsek 1981). Mírně tím energii, za kterou se platí, tedy energii z fosilních paliv, jadernou, alternativní i energii v potravinách. Bez sluneční energie by byl vzduch na Zemi kapalný, protože teplota by dosahovala hluboko pod 196°C . Díky sluneční energii se na naší planetě v průběhu miliard let mohl vyvíjet život a celá biosféra. Životní pochody ovšem ovlivňují distribuci sluneční energie na Zemi. Ke všeobecnému vzdělání patří vědět, že biosféra ovlivňuje složení atmosféry, že kyslík se v atmosféře objevil a udržuje se díky fotosyntéze. Evidentní je též úloha rostlin v cyklech dusíku a dalších prvků. V souvislosti se změnou klimatu je středem zájmu schopnost rostlin vázat oxid uhličitý. Ze vzdělanosti se však vytrácí zásadní úloha biosféry, zejména vody a rostlin, v utváření klimatu na Zemi.

Průchod slunečního záření atmosférou

Teplota povrchu Slunce je přibližně 6000 stupňů K, proto je maximum sluneční energie v oblasti viditelného záření (Wienův zákon). Při jasné obloze se v atmosféře zachycuje nejméně jedna třetina sluneční energie: část UV záření je pohlcována ozonem, četná pásma z celého spektra pohlcuje vodní pára, záření se rozptyluje na aerosolech a drobných částicích v atmosféře. Na zemský povrch se při jasné obloze dostává až $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ slunečního záření. Oblaka snižují průchod slunečního záření zásadním způsobem, řádově. Při zatažené obloze přichází na povrch Země i méně než $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Pokorný et al. 2010). Oblaka zachycují a rozptylují přímé záření, přes oblaka proniká k zemi pouze záření rozptýlené. Ve slunném letním dnu připadá na metr čtvereční vodorovného povrchu 6 až 8 kWh sluneční energie. Za rok je to v mírném pásmu na metr čtvereční 1000 – 1200 kWh sluneční energie (v subtropice a kolem rovníku až 2700 kWh , NASA).

Distribuce slunečního záření na zemském povrchu

Sluneční záření, které přichází na zemský

povrch země a od něj se ohřívá vzduch, který proudí vzhůru (zjevné teplo). Část energie se spotřebuje na výpar vody (latentní teplo, skryté teplo) a část přechází do země (tok tepla do podloží). Fotosyntéza a ohřev porostu spotřebovávají velmi nízký podíl sluneční energie ve srovnání s odrazem, výparem vody a zjevným teplem.

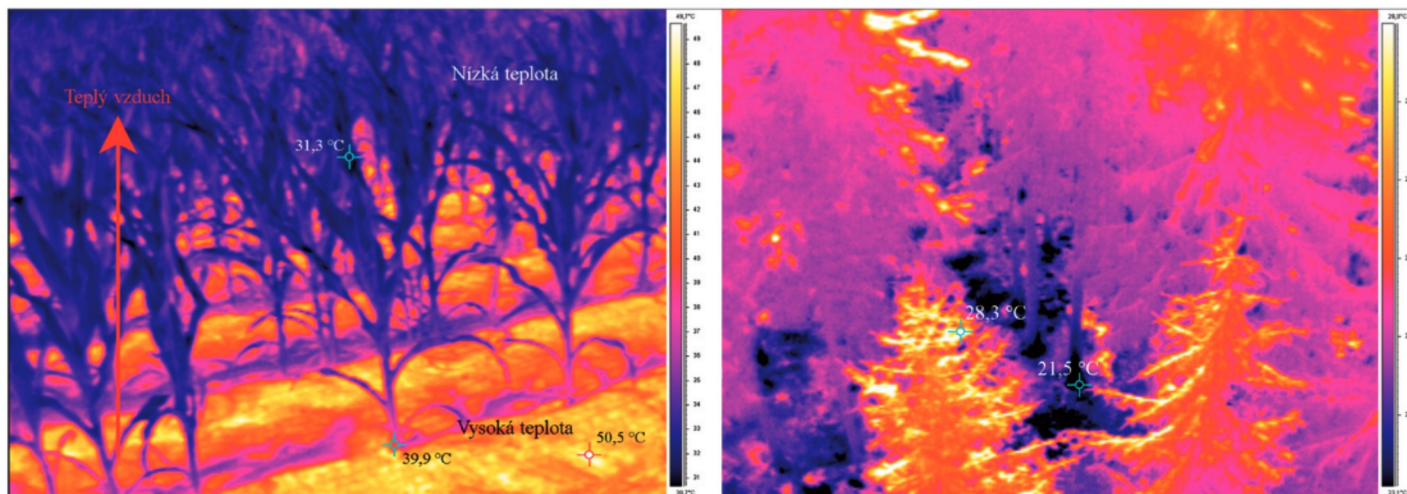
Voda odráží pouze asi 10% záření, vegetace přibližně 20% , zastavěné plochy a betonový povrch 25 – 30% . Zásadní význam mají dva toky energie, jejichž poměr závisí na množství dostupné vody – zjevné teplo a latentní teplo výparu vody. Suchý povrch se pohlcovanou sluneční energií ohřívá a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru – v meteorologické budce zaznamenáváme vzestup teploty (zjevné teplo). Vlhký povrch, listy rostlin se ohřívají méně – sluneční energie se spotřebovává na výpar vody.

V krajině zásobené vodou a pokryté vegetací se podstatná část slunečního záření spotřebovává na výpar vody. Rostliny totiž vypařují vodu přes průduchy (transpirace) a voda se vypařuje též přímo z půdy (evaporace). Výpar vody porostem se proto nazývá evapotranspirace. Rostlinami a půdou se z metru čtverečního za den odpaří až několik litrů vody. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20°C se spotřebuje $2,45 \text{ MJ} \approx 0,68 \text{ kWh}$ sluneční energie. Při odpaření 5 litrů se tedy do vodní páry váže $3,4 \text{ kWh}$, více než polovina dopadající sluneční energie. Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry, a to na chladných místech, na kterých se vodní pára sráží. Vázání sluneční energie výparem vody na místech s nadbytkem energie a uvolňování sluneční energie na místech chladných při kondenzaci vody je podstatou dokonalé přirozené klimatizace realizované vodou a rostlinami. Na pouhém jednom metru čtverečním může činit v létě rozdíl mezi energií vázanou ve vodní páře a energií uvolněnou jako teplo i několik kWh za den. Toky sluneční energie vázané při evapotranspiraci dosahují tedy až několika set wattů na m^2 .

Představa sluneční energie a rostlin je spojena hlavně s fotosyntézou a s následující tvorbou biomasy a růstem rostlin (primární produkce). Fotosyntéza však váže do biomasy necelé 1% sluneční energie dopadající na rostlinu. Za rok vytvoří rostliny v našich podmínkách nejvýše 1 kg biomasy (sušiny) na metru čtve-

(5 kWh) energie. Srovnáme-li toto množství energie v biomase s množstvím sluneční energie přicházející na 1 m^2 za rok (1100 kWh), je zřejmé, že se do biomasy váže nejvýše $0,5\%$. Spalujeme-li fosilní paliva, využíváme v nich nahromaděnou sluneční energii, která se fotosyntézou vázala podobně nízkou účinností. Započítáme-li energetické náklady spojené s těžbou, s dopravou a účinností, se kterou spalujeme a teplo případně převádíme, uvědomíme si, že při spalování fosilních paliv (stejně jako v případě biomasy) využíváme sluneční energii s účinností nanejvýš několika promile. Hlavním procesem přeměny sluneční energie v porostech není fotosyntéza, ale evapotranspirace, která účinně vyrovnává teplotní rozdíly v čase (mezi dnem a nocí) a v prostoru (mezi místy). Tomu odpovídá i poměr molekul přijímaného oxidu uhličitého a odpařované vody. Počet molekul vody, které rostlina přes průduchy odpařuje, je o dva řády vyšší než počet molekul oxidu uhličitého, které rostlina průduchy přijímá.

Z termodynamického hlediska jsou živé systémy otevřené a pod příkonem sluneční energie. Samovolně spějí do ustáleného stavu dynamické rovnováhy. Ta je podle Prigoginova teorému charakterizována produkcí entropie, která je ze všech možností nejnižší. Klasická termodynamika charakterizuje rovnovážný stav jako uspořádání, v němž nedochází k makroskopickým změnám stavových veličin a jehož entropie je z daných možností maximální. Vegetace a ekosystémy obecně reagují zpětnovazebně na množství přicházející sluneční energie tak, že tlumí vytváření teplotních rozdílů. S nástupem jara, tedy s růstem příkonu sluneční energie, začíná v mírném pásmu vegetační sezona a rostliny využívají sluneční energii k tvorbě biomasy a současně převádějí řádově vyšší množství energie evapotranspirací. Z měřených denních průběhů je zřejmé, jak se evapotranspirace během dne bezprostředně zvyšuje se zvýšeným příkonem sluneční energie. Biosféra udržuje v dynamické rovnováze složení atmosféry a podílí se na utváření klimatu – tlumí vytváření teplotních extrémů. Funkci biosféry při utváření klimatu si uvědomíme při srovnání teplotních výkyvů na poušti a v tropickém deštěném lese, ležícím v podobném zeměpisném pásmu. Nemusíme chodit až do tropů, stačí porovnat teploty a vlhkosti vzduchu v mírném pásmu na odvodněných plochách (městská zástavba,



Termovizní snímek zachycující vertikální rozložení teplot v různých typech porostů – v kukuřičném poli a v lese.

Zdroj: ENKI, o. p. s., Třeboň

lese. Uvědomíme si, že vegetace upravuje klima pro teplokrevné živočichy, aby mohli svoji tělesnou teplotu „doladit“ vlastní termoregulací.

Vertikální rozložení teplot v porostech

Vegetace obecně je tedy schopna tlumit teplotní extrém, snižovat teplotu zemského povrchu. Dalším důležitým faktorem, který má ve spojitosti s vegetací vliv na klima, je vertikální rozložení teplot v různých typech porostů, které souvisí s jejich patrovitostí.

Porosty s vyvinutou patrovitou strukturou se liší vertikálním rozložením teplot od jednoduchých monokultur, zejména od plodin. V lese se v průběhu slunného dne vytváří inverzní teplotní gradient: teplota v dolním bylinném a keřovitém patře je nižší nežli teplota v korunách stromů. Relativně těžší chladný vzduch se udržuje při zemi, nestoupá vzhůru. V dolních patrech porostu se tak udržuje vysoká vlhkost, často i ve formě rosy. V plodinách je vertikální profil teplot opačný. Při zemi, na povrchu půdy je za slunného počasí teplota výrazně vyšší než na povrchu porostu. Půda mezi

plodinami je holá, veškerá vegetace (plevele) se záměrně hubí herbicidy. Od ohřátého povrchu půdy se ohřívá vzduch a stoupá porostem vzhůru, teplý vzduch pojme vysoké množství vody, povrch půdy se rychle vysušuje a plodiny ztrácejí vodu, zatímco v patrovitém lesním porostu se díky inverzi teplot voda udržuje.

Efekt vegetace na teplotu lze snadno demonstrovat pomocí termovizních snímků. Na obrázku jsou termovizní snímky porostu kukuřice a vzrostlého lesa s patrovitou strukturou. Na první pohled je zřejmý rozdíl ve vertikálním rozložení teplot. Povrchové teploty korun stromů a horních listů kukuřice jsou podobné (stromy 28 °C, kukuřice 31 °C). Výrazně se ovšem liší teploty při zemi: povrch holé půdy v kukuřici dosahuje i 50 stupňů, zatímco v bylinném a keřovitém patru lesa je teplota kolem 22 °C.

Užitečná vegetace

Živé systémy využívají sluneční energii ke zdokonalování své organizace a přitom snižují teplotní rozdíly. Tuto skutečnost bychom měli mít na mysli při úvahách o klimatické změně a neměli bychom zanedbá-

vat zásadní úlohu biosféry v přeměnách sluneční energie. Úlohu ekosystémů v klimatu nelze hodnotit pouze podle odrazu slunečního záření a bilance oxidu uhličitého. Hlavní úloha ekosystémů a biosféry v tvorbě klimatu na Zemi spočívá v přímé přeměně přicházejícího slunečního záření, ve snižování teplotních rozdílů.

Větší teplotní amplitudy v krajině mají za následek růst turbulentního proudění, snížení evapotranspirace, vysušování krajiny, poškozování vegetace a zvýšený odnos látek. Hospodaření s vegetací a vodou má přímý vliv na regionální klima a hydrologii (Kravčík a kol. 2007). Setrvale udržitelné hospodaření by mělo integrovat aspekt uzavřeného koloběhu látek, vody a živin. Toho lze v kulturní krajině dosáhnout obnovou trvalé vegetace, jakou jsou především lesní porosty, mokřady či zaplavované říční nivy a zároveň zvýšením přirozené retenční schopnosti krajiny.

Jan Pokorný, Petra Hesslerová,
ENKI, o. p. s., Třeboň
pokorny@enki.cz

The Role of Vegetation and Water in Shaping Climate I. On average, Earth's atmosphere receives 1400 W.m⁻² of solar energy per year that is either absorbed or scattered. On a clear day, up to 1000W.m⁻² reaches the ground surface. Vegetation that is well supplied with water uses this energy for growth and cools surrounding landscapes through evapotranspiration. Water vapour then condensates on cool surfaces and releases latent heat. Draining landscapes and destroying permanent vegetation reduces evapotranspiration and plant production; leads to the overheating of landscapes, the formation of heat potentials and, consequently, contributes to extreme weather.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- KLECZEK, J. (1981): Úvod do helioenergetiky, SNTL, Praha. 192 s.
KRAVČÍK, M. a kol. (2007): Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma. Municipalia, Žilina. 93 s.
NASA: Surface meteorology and Solar Energy (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>)
POKORNÝ, J. et al. (2010): Solar energy dissipation and temperature control by water and plants. International Journal of Water 5, č. 4, s. 311–336.
ŠARAPATKA, B. a kol. (2010): Agroekologie: Východiska pro trvale udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut, o. p. s., Olomouc. 435 s.

APLIKACE DO VÝUKY:

1. Vysvětlete, s jakou účinností přeměny sluneční energie se vytváří fotosyntézou rostlinná biomasa.
2. Popište rozdíl v distribuci sluneční energie na suché ploše a v porostu dobře zásobeném vodou.
3. Vysvětlete, proč je i za slunného počasí ve vzrostlém lese vlhko.
4. Jaký je rozdíl mezi stínem stromu a stínem stejné velké slunečníku?
5. Uveďte příklad krajiny, která je schopna účinně přeměňovat sluneční energii a udržovat uzavřený koloběh vody a látek. Jak by vypadala krajina s opačnými charakteristikami?