

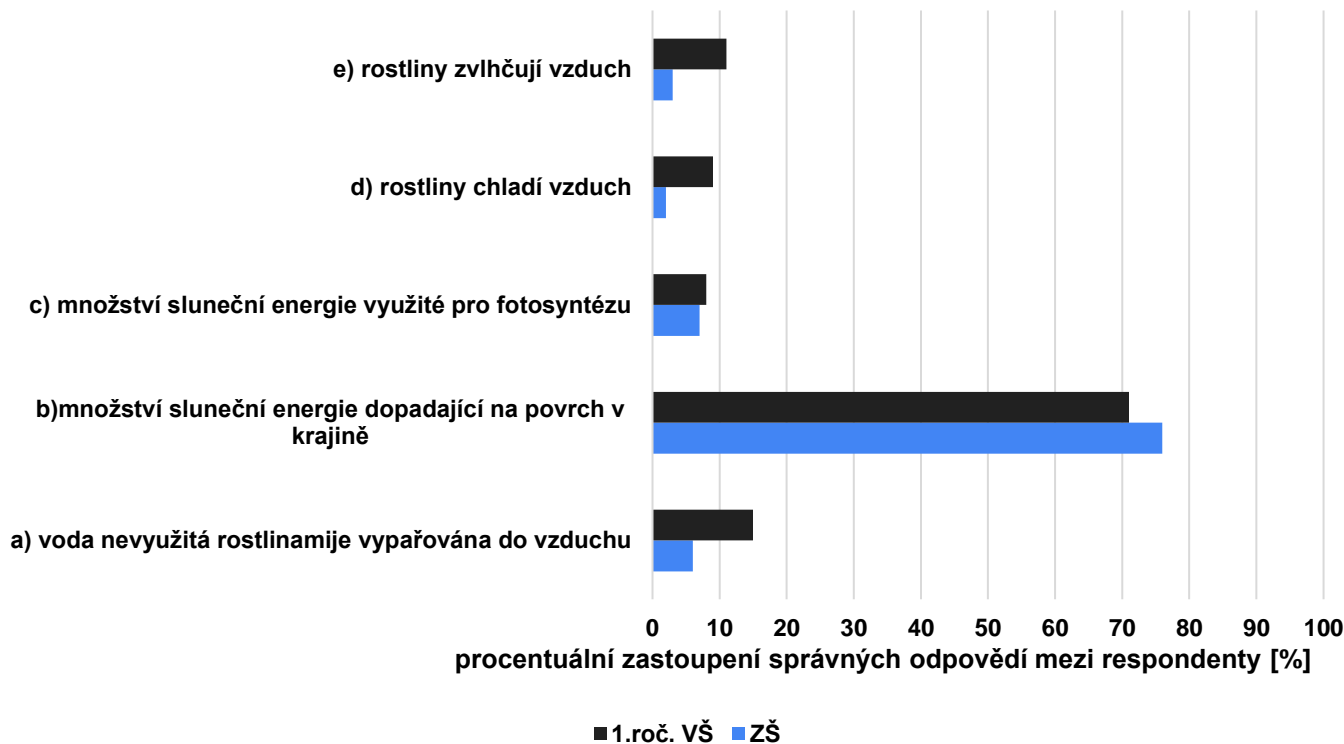
Chladící efekt stromů ve městě: principy, funkce a příklady měření

Magistrát hl.m. Prahy 15.12. 2022

Doc. RNDr. J. Pokorný, CSc., RNDr. P. Hesslerová, Ph.D.,
ing. V. Jirka, CSc., ENKI, o.p.s.

RNDr. R. Ryplová, Ph.D., Pedagogická fakulta Jihočeské
univerzity v Českých Budějovicích

Znalosti žáků ZŠ a studentů učitelství přírodopisu 1.roč. VŠ k tématu - vegetace - voda - sluneční energie

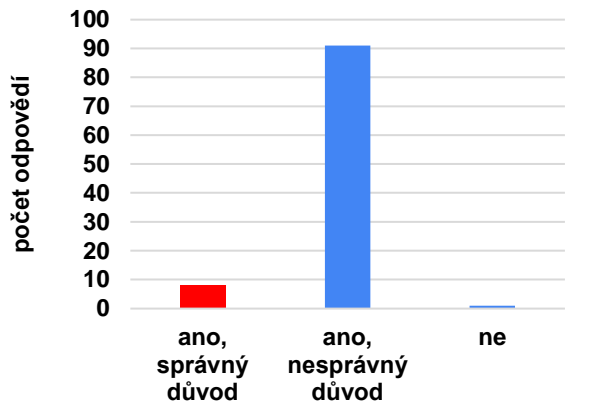


Výzkumný vzorek: 641 žáků ZŠ, 100 studentů VŠ

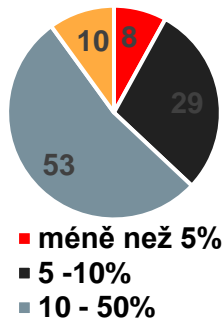
Výzkum znalostí u začínajících studentů učitelství přírodopisu PF JU (tedy ihned po absolutoriu SŠ a často i maturitě z biologie (100 respondentů, správné odpovědi červeně)

Otázka : *Je nějaký rozdíl v osudu (distribuci) sluneční energie na dlážděném náměstí a sousedním parku s trávnikem a vzrostlými stromy?*

- a) *Ano, protože...*
- b) *Ne, protože...*

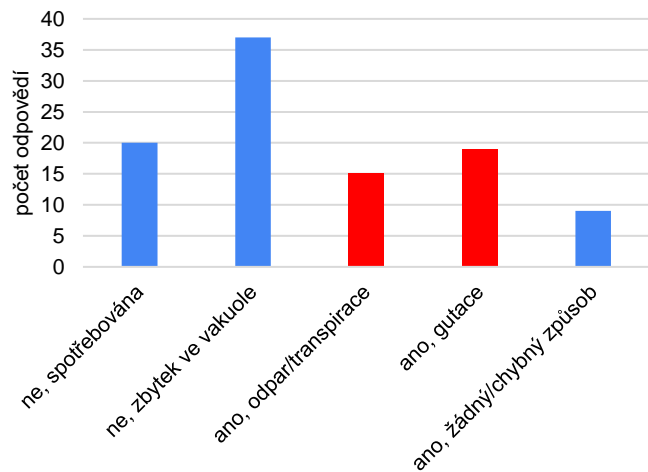


Otázka: *Jaké množství sluneční energie dopadající na zemský povrch je využito rostlinami pro fotosyntézu?*



Otázka : *Již na základní škole jste se učili, že voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven?*

- a) *Ne, veškerá voda je rostlinou spotřebována*
- b) *Ne, část vody je spotřebována a přebytečná část je rostlinou uložena ve vakuole*
- c) *Ano, a to... (uveďte, jakým způsobem se dle vašeho názoru voda dostává ven z rostliny)*



Měníme hospodářství kvůli klimatické změně.

- Nedostatečné znalosti o množství sluneční energie její distribuci
- Na základní škole se neučí o výparu vody rostlinami (transpirace) a jeho efektu na teplotu
- Do rostlinné biomasy se váže méně než 1% dopadající sluneční energie
- Jaký je rozdíl v toku sluneční energie na parkovišti a v parku se stromy?
- Rostliny vypařují vodu. Je to plýtvání vodou? Ztráta vody?

- Principy lze pochopit na základě znalostí fyziky ze základní školy
- Chladící (klimatizační výkon) stromu lze vyjádřit v energetických jednotkách a přesvědčit se měřením povrchové teploty

Zopakujme základní pojmy z fyziky

Tok sluneční energie měříme a vyjadřujeme ve
 $W \cdot m^{-2}$

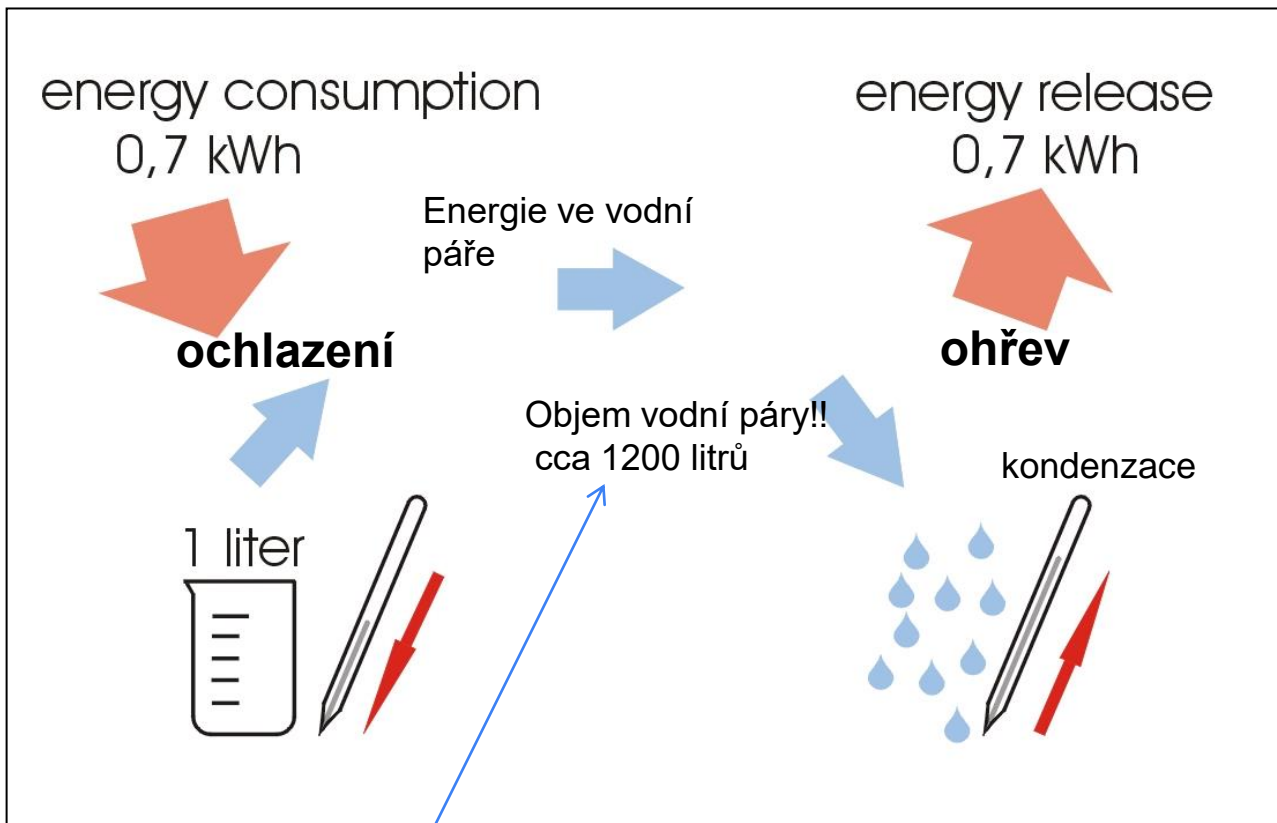
Za plného slunečního svitu přichází na m^2 až $1000W$. Při zatažené obloze je to $100W \cdot m^{-2}$ i méně. V místnosti je intenzita světelného záření nejvýše několik $W \cdot m^{-2}$.

**Na vypaření 1litru vody se spotřebuje
 $2440 \text{ kJ} = 0,68 \text{ kWh}$**

Při kondenzaci/srážení vodní páry zpět na kapalnou vodu se skupenské teplo uvolňuje

Vodní pára z 1litru vody má objem přibližně 1200 litrů

LATENTNÍ TEPLLO výparu se spotřebovává při výparu vody a uvolňuje při kondenzaci vodní páry na vodu kapalnou



Mírné změny tlaku vzduchu,

Vodní pára = úložiště energie

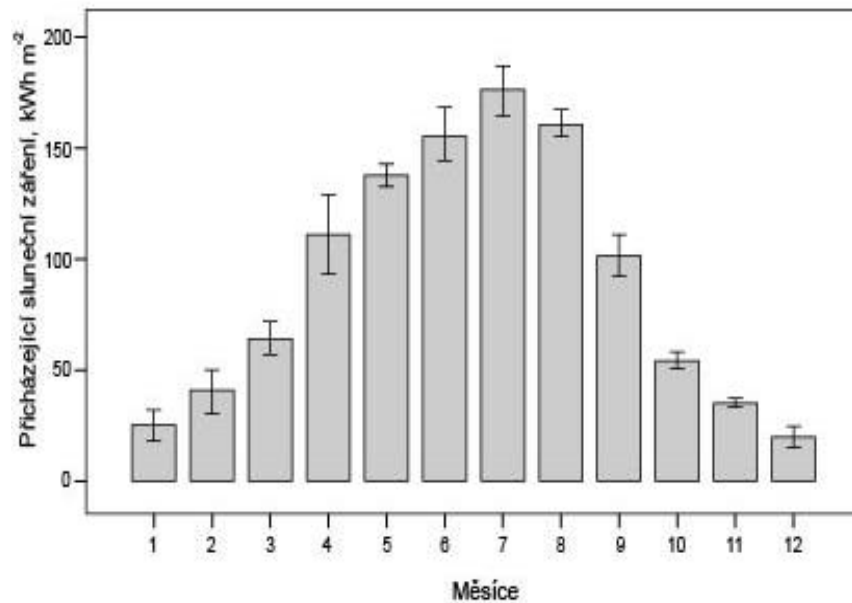
- Na vypaření 1 litru vody se spotřebuje **0,7kWh** sluneční energie.
- Autobaterie 12V, 60Ah má kapacitu 840Wh, **0,72 kWh**

Vodní pára z jednoho litru vody obsahuje energii (skupenské teplo) srovnatelné s kapacitou jedné autobaterie.

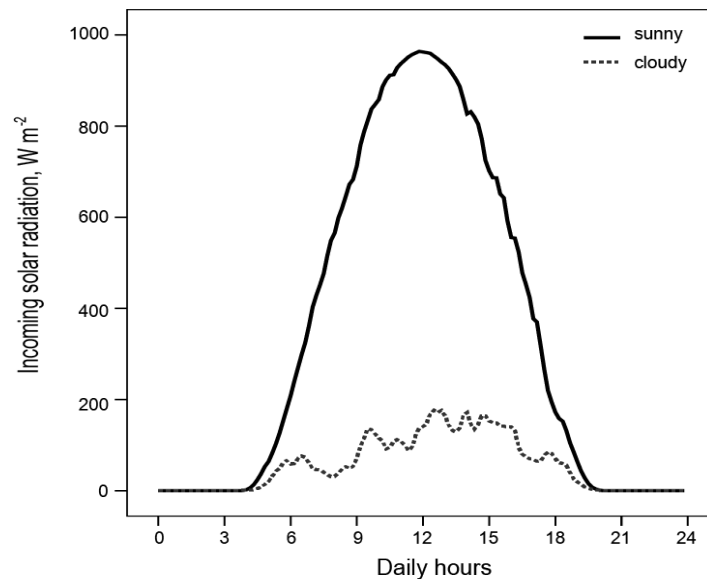
Vypaří se až několik litrů vody z 1m²



Měsíční sumy slunečního záření (Třeboňsko)



Sluneční energie přicházející za slunného a oblačného dne



Oblačnost redukuje příkon slunečního záření

Na osluněném chodníku měříme intenzitu slunečního záření $877\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a povrchovou teplotu $51\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Ve stínu stromu je povrchová teplota $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a intenzita slunečního záření $82\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
Strom vypařuje vodu (transpirace). Rychlost výparu $100\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) odpovídá 20 litrům za hodinu pro poloměr koruny 5m. Strom chladí výkonem 14 kW



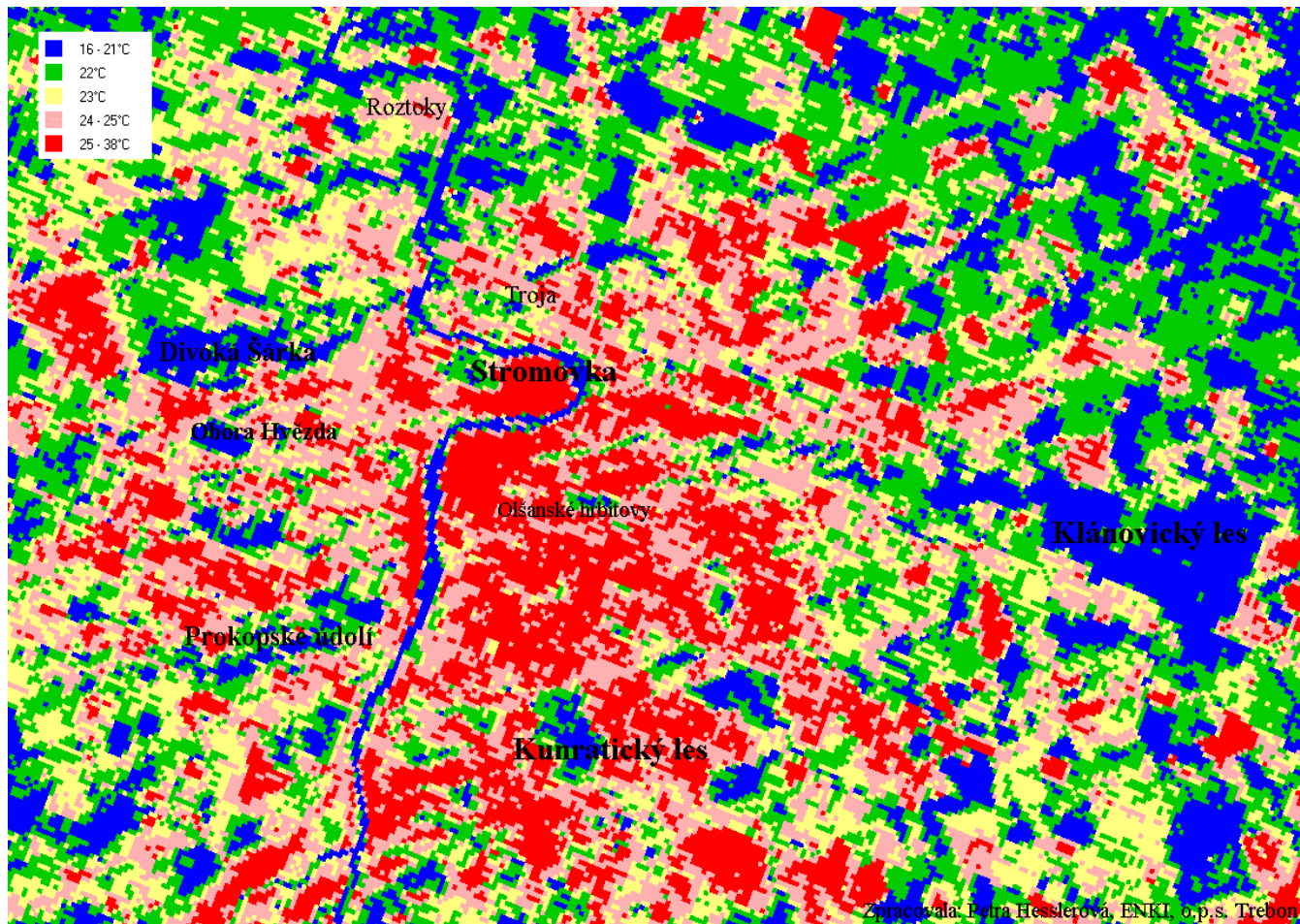
*Klimatizační jednotka na obrázku má příkon 3,4 kW
Klimatizace ohřívá okolí, podobně jako lednička ohřívá
místnost. „Kam posílá teplo strom, který chladí výparem?“*



Energie spotřebovaná na výpar vody vegetací (evapotranspirace)

- Různými metodami lze za slunného počasí naměřit rychlost výparu z rostlin/porostu například $100\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$
- Skupenské teplo výparu vody (při 25°C) je 2,4MJ.
- **Při rychlosti výparu vody $100\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ se spotřebovává 240W**
- Rychlost výparu vody $200\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ je reálná ($480\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- Rychlost výparu (evapotranspirace) se řídí intenzitou slunečního záření a dostupností vody
- **Jak měníme toky sluneční energie hospodářskými zásahy na velkých plochách?**

Satelitní teplotní snímek Prahy. Za slunného dne je rozsah povrchových teplot 16 °C až 40 °C



Snímáno
kolem
9:30

Termosnímký z telekomunikační věže na Žižkově



Praha z telekomunikační věže na Žižkově, slunný den

Od přehřátých odvodněných ploch se ohřívá vzduch a stoupá vzhůru

- IR obrázek 20 °C to 58 °C

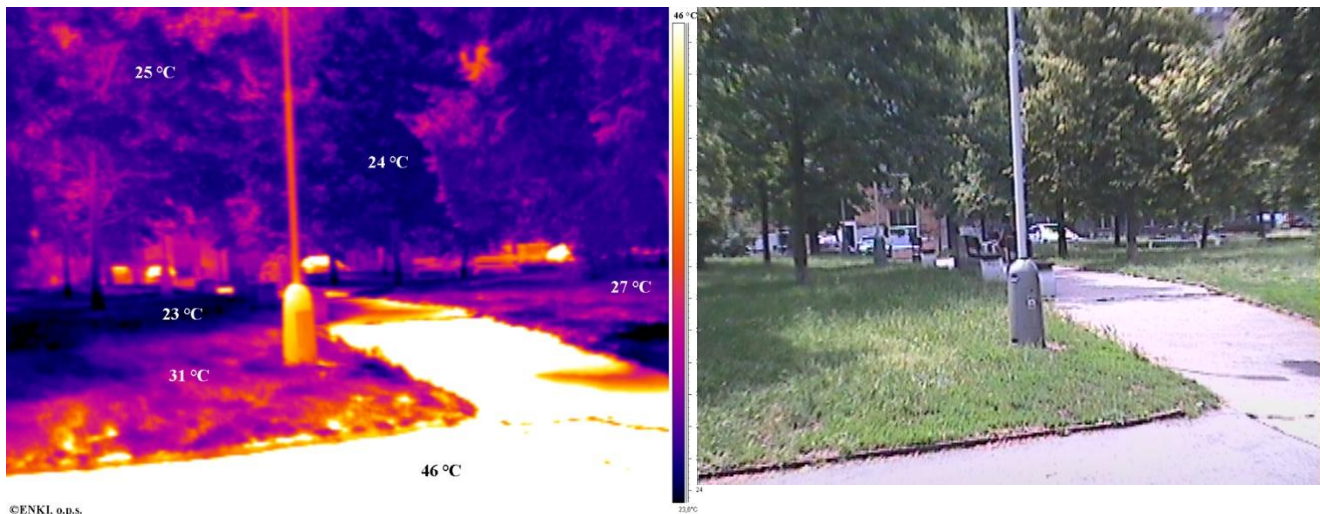
- Přehřáté střechy = urban heat island
- Městský tepelný ostrov



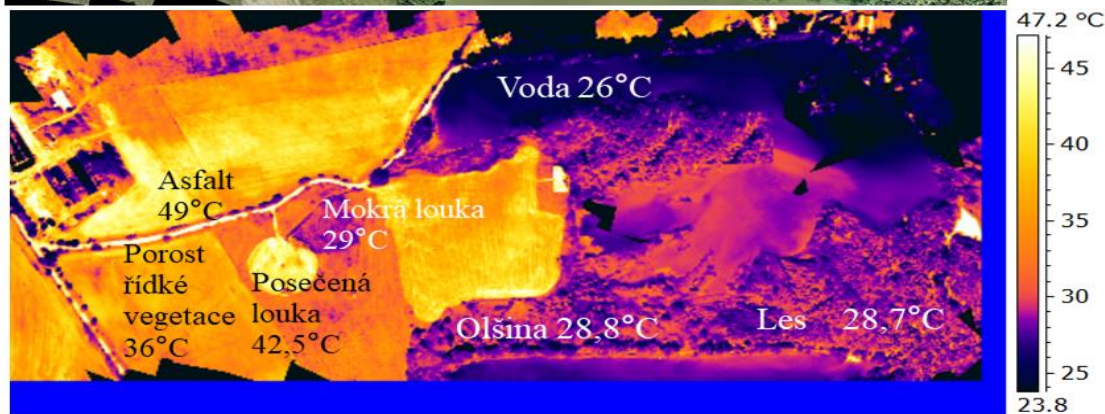
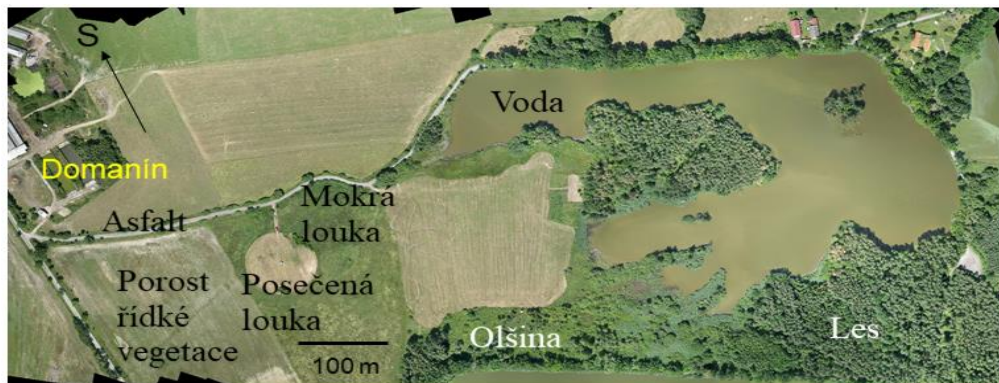
Mahlerovy sady pod telekomunikační věží

Teplota ve stínu stromů 23 °C – 25 °C

Stromy a trávník chladí výparem vody

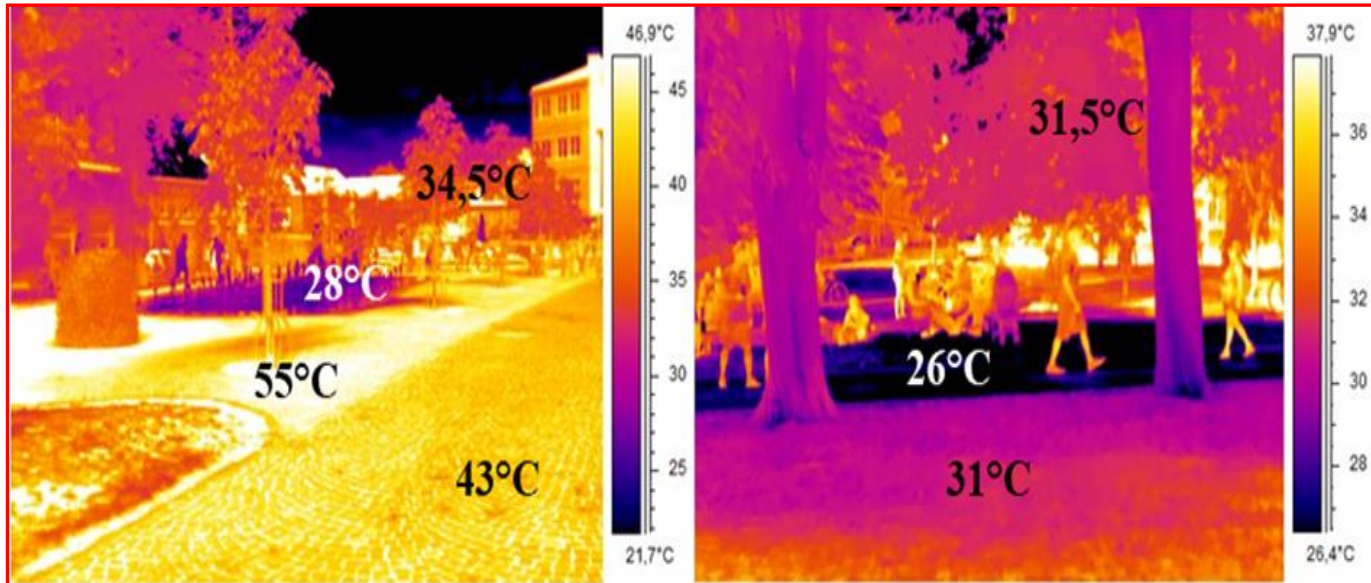


Letní povrchové teploty kulturní krajiny jsou v rozsahu více než 26 - 50 °C. O povrchové teplotě rozhoduje výpar vody (evapotranspirace), nikoli barva (odraz, albedo)



Termovizní snímek

**Odstranění stromů a trávniku vede k přehřátí za slunného počasí
Ztráta vegetace na 1ha způsobí ohřev (zjevné teplo) cca 2 400kW**



Teplota: obloha - 20,4 °C, mrak + 14,6 °C
vodní pára rozhoduje o příkonu slunečního
záření i o množství tepla, které proudí od Země
do oblohy



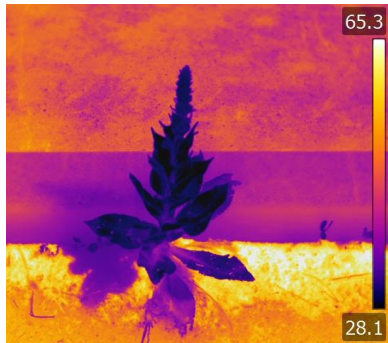
Energie spotřebovaná na výpar vody vegetací (evapotranspirace)

- Různými metodami lze za slunného počasí naměřit rychlost výparu z rostlin/porostu například $100\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$
- Skupenské teplo výparu vody (při 25°C) je 2,4MJ.
- **Při rychlosti výparu vody $100\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ se spotřebovává 240W**
- Rychlost výparu vody $200\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ je reálná ($480\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- Rychlost výparu (evapotranspirace) se řídí intenzitou slunečního záření a dostupností vody
- **Jak měníme toky sluneční energie hospodářskými zásahy na velkých plochách**

Education for Plant Literacy

<https://planteducation.eu>

6 project partners 5 EU countries 4 online publications with teaching materials on plant role in our environment appearing in 2024



OUR MISSION is to improve plant literacy of general public by more efficient and attractive botany teaching at all school levels which has to be reached via education of educators, i.e. innovative teachers' training.

Would you like to know...?

How can a tree cool our environment by the capacity higher than common air –conditioning system?

How can the forests pump the water from the sea into the continents?

Why is the shadow under a tree cooler than the shadow under an umbrella?

Why is the atmosphere above the forest smelling?

How to measure these principles at schools?

How to make botany teaching more attractive for students?

...and much more?



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



LAPIN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF LAPLAND

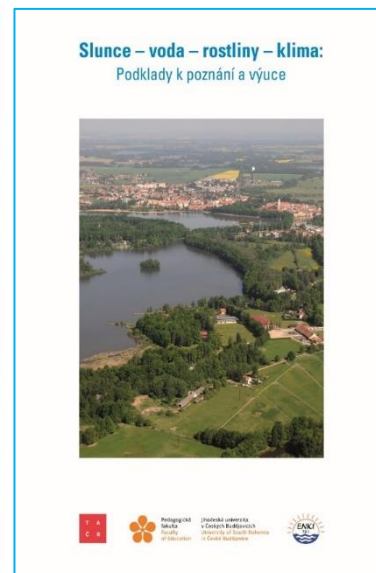
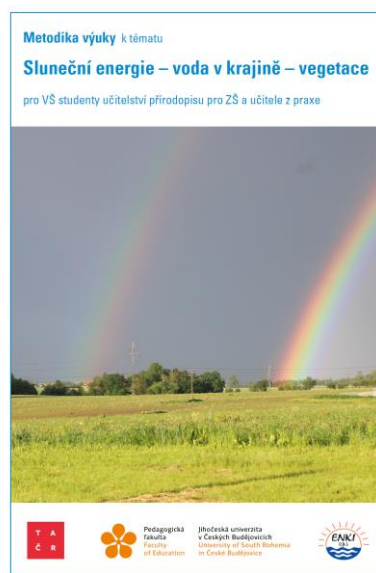
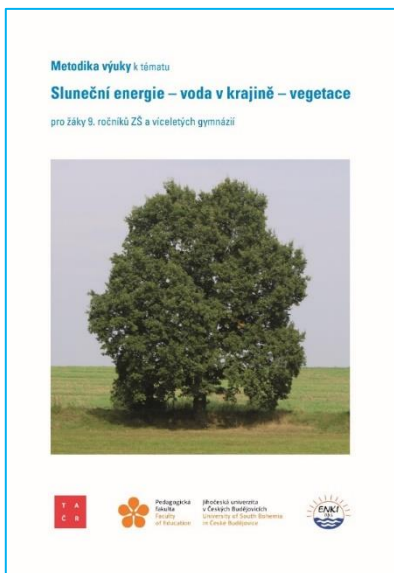
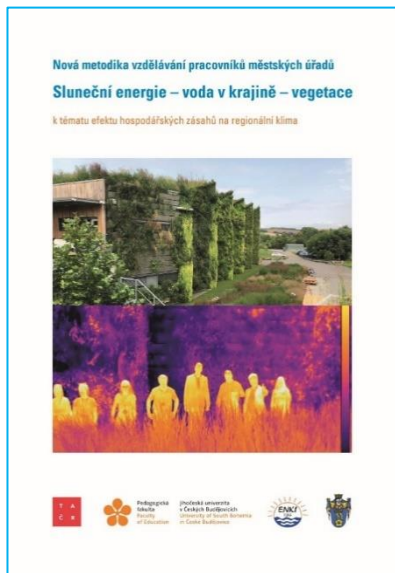


Sluneční energie, voda v krajině, vegetace: nová metodika vzdělávání pracovníků městských úřadů a inovace školní výuky k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima.

Projekt je řešen s finanční podporou TAČR

Řešitelé: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích ve spolupráci s ENKI, o.p.s., Město Dačice, Třeboň ověřuje

T A
Č R



Výpar vody ochlazuje



Suchý černý ručník 34,7°C

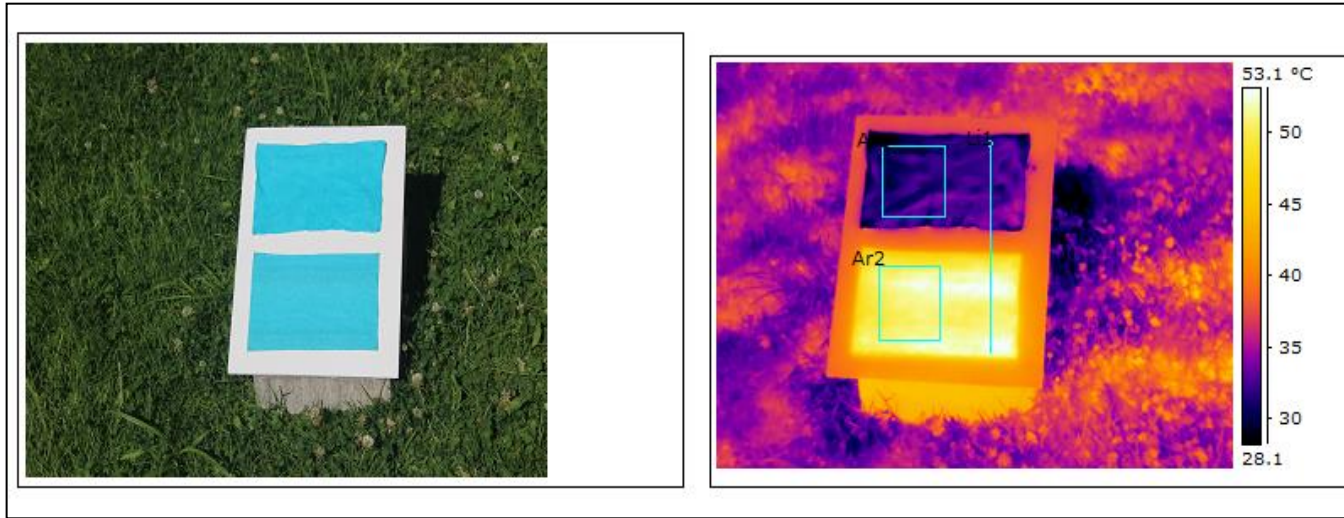


Suchý bílý ručník 29,3°C

Mokrý černý ručník 17,1°C

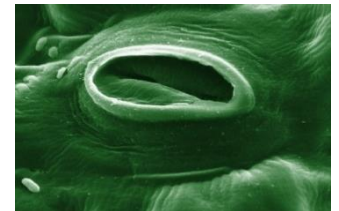


Ověření: Jakou teplotu má na slunci suchý a mokrý ručník?

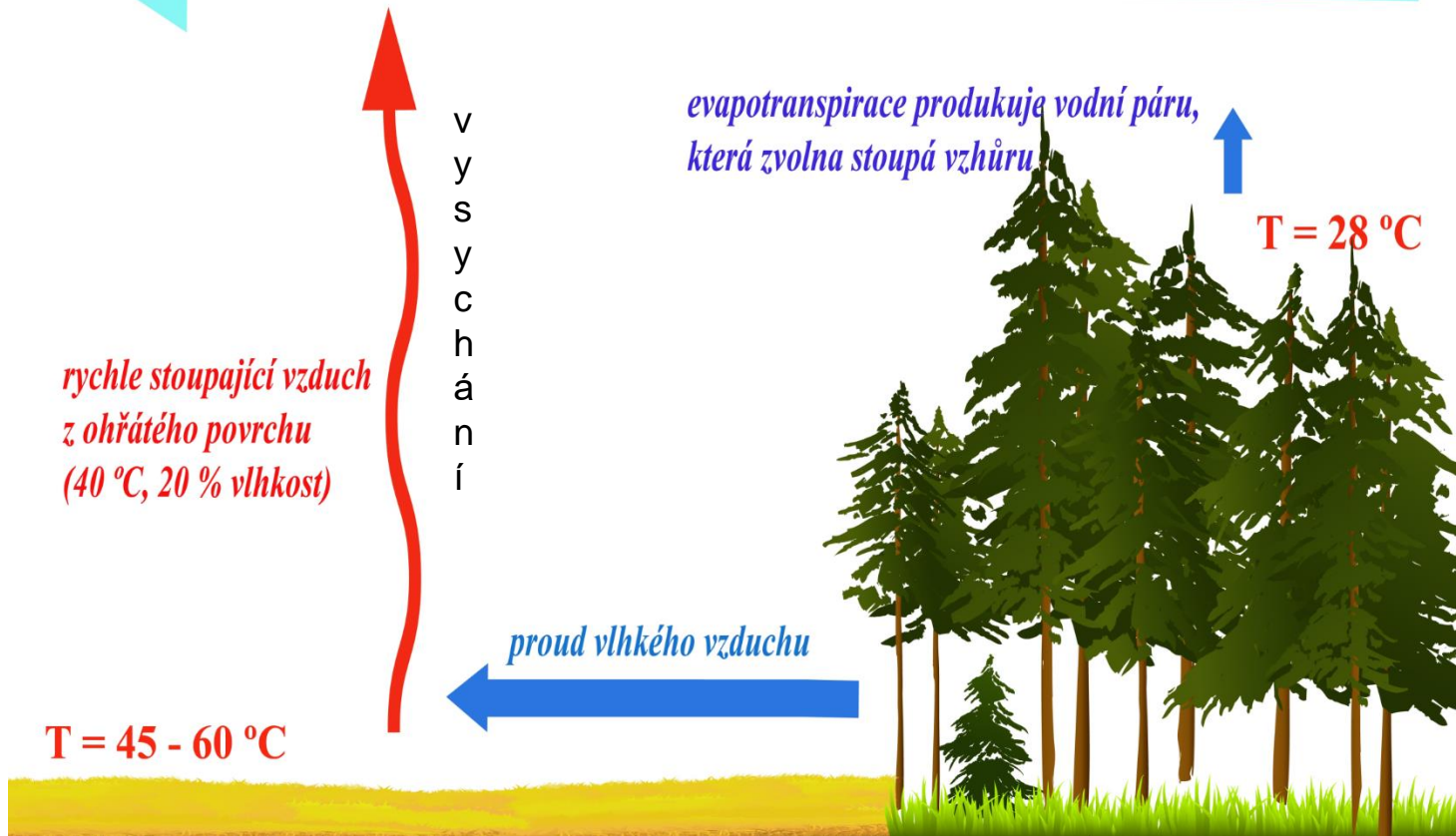


Venku při jasném dni na slunci, žáci měří InfraRed teploměrem teplotu suchého (v IR **žlutý 45°C**) a mokrého ručníku (v IR **modrý 30°C**). Ověřují si princip chlazení povrchu výparem vody. **Tak se chladí list rostliny**, voda se ovšem vypařuje přes **průduchy**, kterých je i několik set na mm^2 a působí jako ventily, regulují výpar vody a tedy i příjem oxidu uhličitého a výdej kyslíku.

Rostlinný průduch působí jako ventil, reaguje na teplotu, vlhkost vzduchu a množství vody v rostlině



Klesající proud vzduchu „reversní biotické pumpy“ směřující k oceánu/moři



1

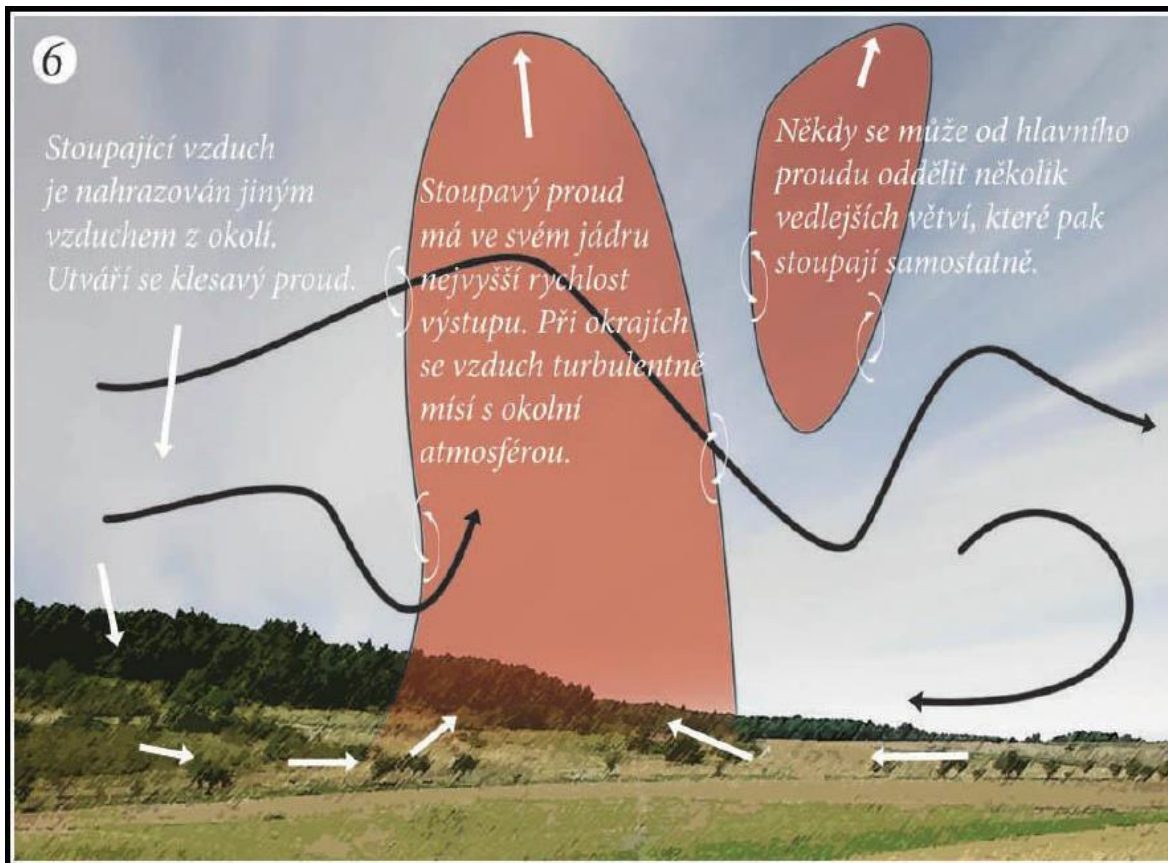
Proudění větru ve výšce není zatím ovlivněno termikou, která se u země připravuje.



Teplo se šíří od země do vzduchu radiací a turbulentní výměnou.



Přízemní turbulence se opticky projevuje jako „tetelení“ vzduchu.



10

Termika stoupá tak dlouho, dokud má energii překonávat svoji vlastní tíhu. Tuto energii jí dodává teplotní deficit mezi okolní atmosférou a vzduchem v termice. Jakmile termika dosáhne hladiny, kde je deficit nulový, nastane také nulový vztlak a výstup termiky se začíná zpomalovat a nakonec se zastaví.

Ve výšce je termika již mohutný stoupavý proud, vzniklý slitím menších bublin a proudů níže u země.

Dostupná potenciální energie konvekce CAPE pomáhá určit, jak výrazná konvekce bude; zejména však napoví, zda jsou podmínky vhodné pro tvorbu bouřek.

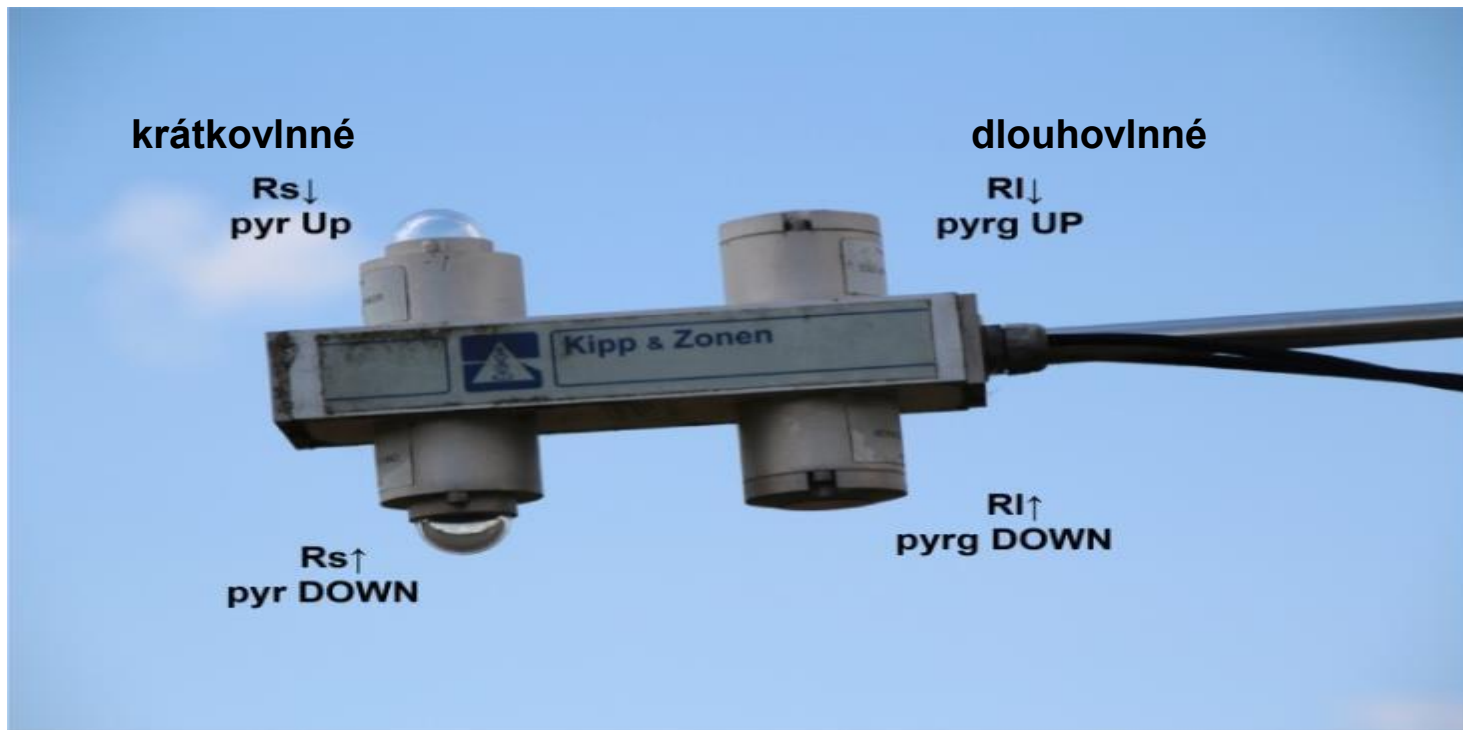
Vítr u země už nejeví známky předchozího odtrhu termiky.



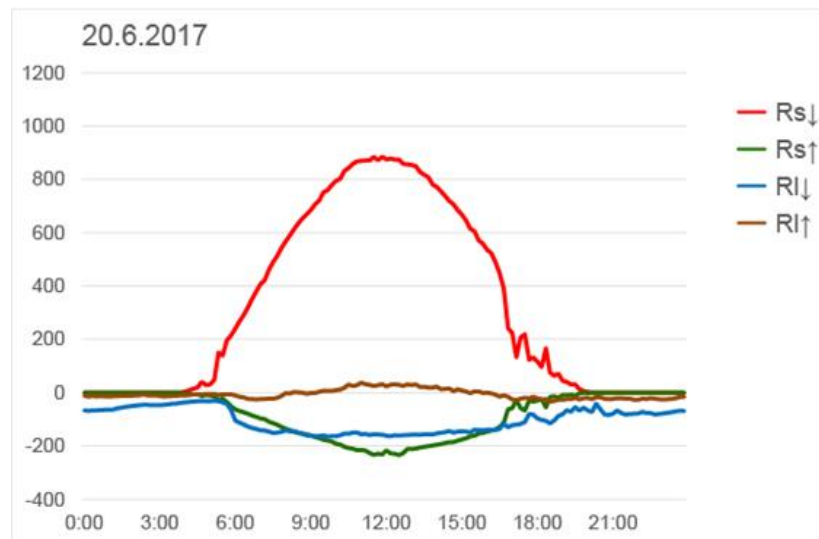
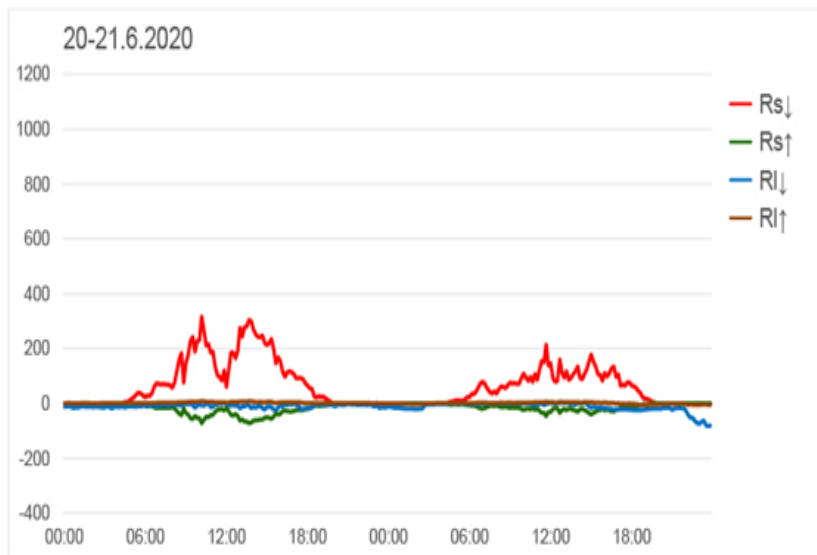
Ohřátý vzduch vysušuje

- Mokřady a lesy se chladí výparem vody, vodní pára pomalu stoupá vzhůru, relativní vlhkost vzduchu je vysoká (aktuální evapotranspirace (ET) je blízká potenciální ET). ET = několik mm za den
- Odvodněné plochy se ohřívají, ohřátý vzduch stoupá vzhůru a nedosahuje rosného bodu. Vzduch 40 °C obsahuje 50g vody v m³ (při 20% vlhkosti 10g).
Při rychlosti 1,0m/s se „z m²“ za 1hodinu transportuje vzhůru 36000g vody (36 litru) = mechanismus vysychání krajiny, tedy až stovky litrů za den

Netradiometer (skleníkový efekt)



Denní chod **přicházejícího ($R_{s\downarrow}$)** a **odraženého ($R_{s\uparrow}$)** slunečního záření ($W.m^{-2}$) a **dlouhovlnného/tepelného záření mezi čidlem a oblohou (RI_{\downarrow})** a **mezi čidlem a povrchem země (RI_{\uparrow})**.



Oblačnost rozhoduje

Oblačnost rozhoduje v dané roční době o množství přicházející sluneční energie a o množství tepla vyzářeného do atmosféry

20.6. 2020 dopadlo **1,2kWh.m⁻²** sluneční energie a do atmosféry se vyzářilo **0,3kWh.m⁻²**

20.6. 2017 dopadlo **7,8kWh.m⁻²** a vyzářilo se **1,7kWh.m⁻²**

20.4. 2020 dopadlo **7,1kWh.m⁻²** a vyzářilo se **2,2kWh.m⁻²**

Ovlivňuje člověk vlhkost vzduchu a oblačnost? Ano, odvodňováním snižujeme výpar a vlhkost vzduchu

Obnovou lesa v degradované krajině lze vrátit srážky, vodu, obnovit úrodnost a ztlumit extrémní počasí.

- Napodobování vertikální struktury lesa v kulturní krajině je strategií jejího setrvalého užívání, obnovený krátký oběh vody zaručuje distribuci sluneční energie přes výpar, vyrovnávání teplot, recyklaci živin, primární produkci, obnovu půdy (ukládání uhlíku): -
- Rajastan v Indii, zakládání terasovitých drobných vodních nádrží na dešťovou vodu, obnova lesa ze 7% na 40% pokryvu, 1000km² (Bhattacharya, 2015).
- Darewadi, Indie, na 1500ha aridní půdy byla obnovena trvalá vegetace, zadržování dešťové vody, zvýšila se hladina vody ve studních, obnovena zemědělská produkce, (Rao, Mathur 2012).
- Tamera (Portugalsko),
- Natural Sequence Farming Austrálie (Peter Andrews),
- Keňa (Macharia, Oserian Farm).
- <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=clearing-forests-may-transform-local-and-global-climate>
- Připravují se rozsáhlé projekty na Arabském poloostrově

Firma Liko-s ve Slavkově ve svém areálu vybuodovala dešťovou zahradu, zelenou střechu, zelená parkoviště i vertikální/fasádovou čistírnu odpadních vod na stěnách výrobní haly



Zelená fasáda sloužící k čištění odpadních vod. Vlevo červen 2019, vpravo 2021 (ing. Libor Musil – majitel firmy)



Liko-s Slavkov 2021, vegetací chlazené stěny. Klimatizační zařízení o výkonu 3kW nahradí vegetační stěna o ploše cca 10m²
Technologická klimatizace ovšem ohřívá své okolí, podobně jako lednička ohřívá místnost



Příklady odborných publikací autorů prezentace

Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Huryňa, H. and Seják, J. (2018) **Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí.** *Urbanismus a územní rozvoj* 1(21), 26-37.

Hesslerová, P., Pokorný, J., Huryňa, H., Seják, J., Jirka, V. (2021). The impacts of greenery on urban climate and the options for use of thermal data in urban areas., *Progress in Planning DOI* : [10.1016/j.progress.2021.100545](https://doi.org/10.1016/j.progress.2021.100545)

Jirka V., Hesslerová, P., Huryňa, H., Pokorný, J., 2021 **Energetická výměna mezi zemským povrchem a atmosférou** v závislosti na meteorologických podmínkách bez ohledu na obsah CO₂. Vytápění, větrání, instalace. 5/ 2021, str. 234 - 239

Seják, J., Pokorný, J., Seeley, K., Skene, K.R. 2022, **Why ecosystem services should be counter balanced by nature's thermodynamic costs**, *Ecosystem Services* 57, 101469

Sušník, J., Masia, S., Kravčík, M., Pokorný, J., & Hesslerová, P. (2022). **Costs and benefits of landscape-based water retention measures as nature-based solutions to mitigating climate impacts in eastern Germany, Czech Republic, and Slovakia.** *Land Degradation & Development*, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ldr.4373>

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

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

www.waterparadigm.org.

[No Trees, No Rain – YouTube](#)

[Jak chladí rostliny – https://www.youtube.com/watch?v=4RJoU_CxZ1E&t=4s](https://www.youtube.com/watch?v=4RJoU_CxZ1E&t=4s)

[Proč potřebujeme stromy - https://www.youtube.com/watch?v=zZ3akuLogQE](https://www.youtube.com/watch?v=zZ3akuLogQE)

Shrnutí a poděkování

- Slunce ohřívá Zemi o 280 °C (atmosféra by byla zmrzlá bez sluneční energie)
- Fotosyntézou do biomasy se váže < 1% sluneční energie (několik $W \cdot m^{-2}$)
- Vegetace se chladí výparem vody (stovky $W \cdot m^{-2}$), suché plochy se přehřívají
- Vodní pára vytváří mraky, které tlumí příkon sluneční energie i tok tepla do oblohy
- Odvodnění 1ha vede k uvolnění tisíců kW tepla za slunného dne = městský tepelný ostrov
- Z přehřátých ploch stoupá rychle ohřátý vzduch (termika) a odnáší vlhkost
- Úroveň znalostí o efektu hospodářských zásahů na oběh vody a distribuci sluneční energie je nedostatečná. PROČ?
- Vegetace zásobená vodou (ekosystémy) využívají sluneční energii k životním pochodům, utvářejí klima, vyrovnávají teplotní rozdíly. Nejsou pasivním subjektem „klimatické změny“

pokorny@enki.cz, www.enki.cz