

Úloha zeleně v klimatu města a hospodaření s vodou

Jan Pokorný¹, Renata Ryplová², Petra Hesslerová¹, Vladimír Jirka¹

ENKI, o.p.s. Třeboň¹, Pedagogická fakulta JU Č. Budějovice²

pokorny@enki.cz, ryplova@pf.jcu.cz,

**Webinář Svazu měst a obcí ČR věnovaný tématu udržitelného rozvoje z
pohledu obcí a měst**

15. prosince 2020

T A
Č R

Program **Éta**



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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

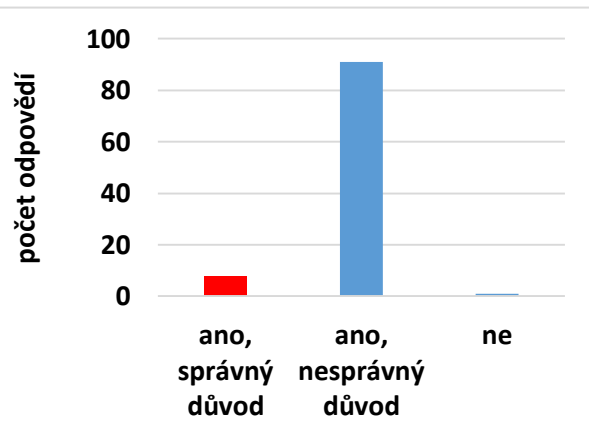
Obsah

- Nízká úroveň znalostí o vlivu rostlin na okolí (641 žáků, 100 studentů)
- Přeměny sluneční energie
- Strom versus technologická klimatizace
- Ukázky úprav zeleně „revitalizací“ (oživení?)
- Ekosystémové funkce
- Hodnocení funkce zeleně – ukázky z literatury
- Interaktivní termo-mapa HK funkční vzorek
- Zadržení vody a tlumení odtokové vlny/ dešťové odlehčovače

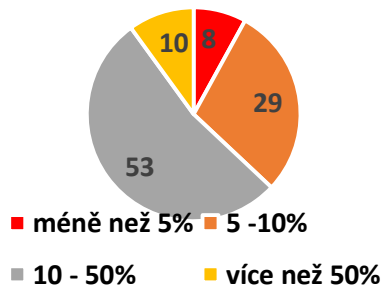
Výzkum znalostí u začínajících studentů učitelství přírodopisu PF JU (tedy ihned po absolutoriu SŠ a často i maturitě z biologie (100 respondentů))

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...

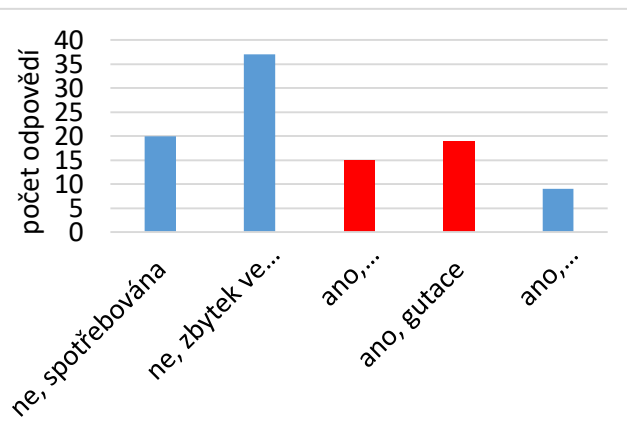


Otázka: *Jaké množství sluneční energie dopadající na zemský povrch je využito rostlinami pro fotosyntézu?*

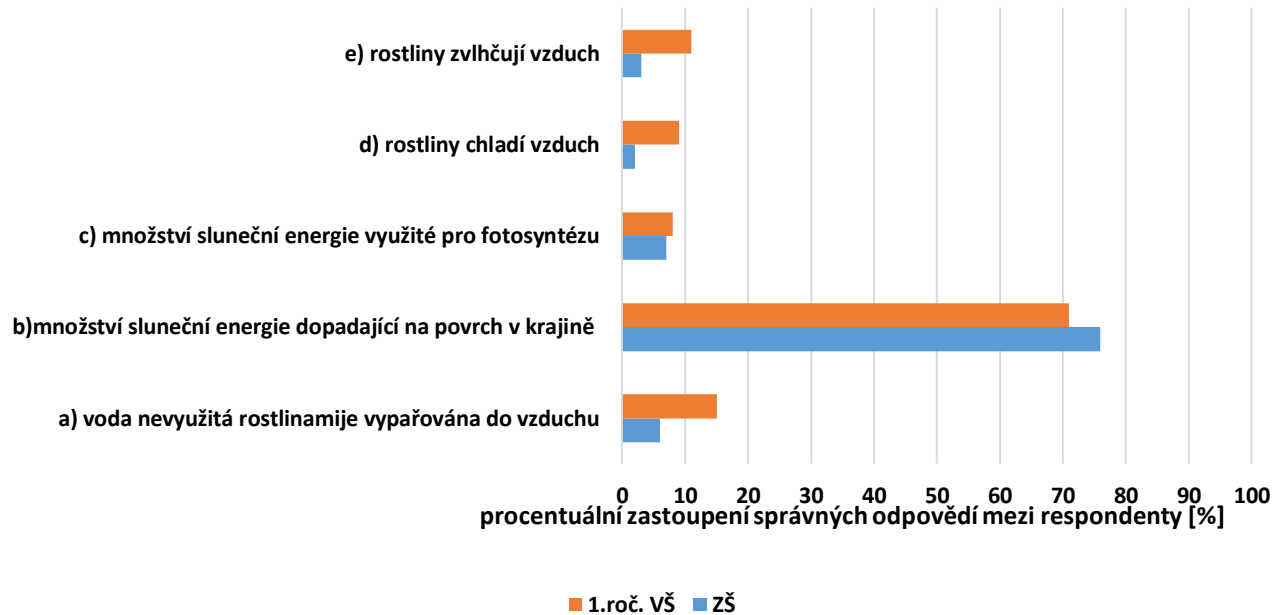


Otázka : *Již na základní škole jste se učili, že voda se dostává do rostlinného těla kořeny. Existuje ale nějaká cesta, kudy se voda dostává z rostliny ven?*

- 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)



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



Výzkumný vzorek: 641 žáků ZŠ, 100 studentů VŠ

- a) *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)

na grafu je procento respondentů, kteří uvedli, že se voda dostává z rostliny výparem (u VŠ to bylo 15 lidí ze sta)

otázka pro ZŠ byla v obdobném znění – Víme, že voda se dostává do rostlinného těla kořeny.....

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

a) Méně než 5 %

b) 5 % - 10 %

c) 10 % - 50 %

d) Více než 50 %

vědělo správně - 8 VŠ ze sta

c) *Množství sluneční energie dopadající za jasného letního dne na zemský povrch je cca:*

10 W /m²

100 W /m²

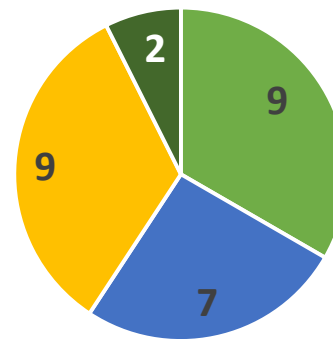
1000W /m²

10 000W /m²

znají solární konstantu, z toho to možná odvodili

Výzkum mezi 27 učiteli přírodopisu z praxe

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



■ méně než 5 % ■ 5-10 %

Jak můžeme rozhodovat o využití biomasy k energetickým účelům, když nevíme s jakou účinností se tvoří a kolik energie obsahuje?

Pouze 1/3 odpověděla správně

Výukou o funkci rostlin navracet vodu do krajiny a tlumit extrémny klimatu

Hrozí nedostatek vody

Vzestup teploty a extrémů počasí

x

Podceňovaná/ignorovaná úloha vegetace ve vodním cyklu v krajině

Neznalosti o fyziologických funkcích vegetace v prostředí a kulturní krajině vedou ke chybným koncepcím hospodaření a vysychání krajiny

V učebních osnovách (nejenom v ČR) chybí výuka o distribuci sluneční energie v krajině s souvislostí s krajinným pokryvem (vyrovnávání teplot výparem vody atd.)





Slunce ohřívá planetu o c. 290 K

Bez sluneční energie by atmosféra byla tuhá!

180 000 TW

Tok sluneční energie k Zemi

Měníme toky sluneční energie ve svém okolí?

10 TW

Tok energie v ekonomice – co si platíme

Zopakujme základní pojmy z fyziky

Tok sluneční energie měříme a vyjadřujeme ve

$W m^{-2}$

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

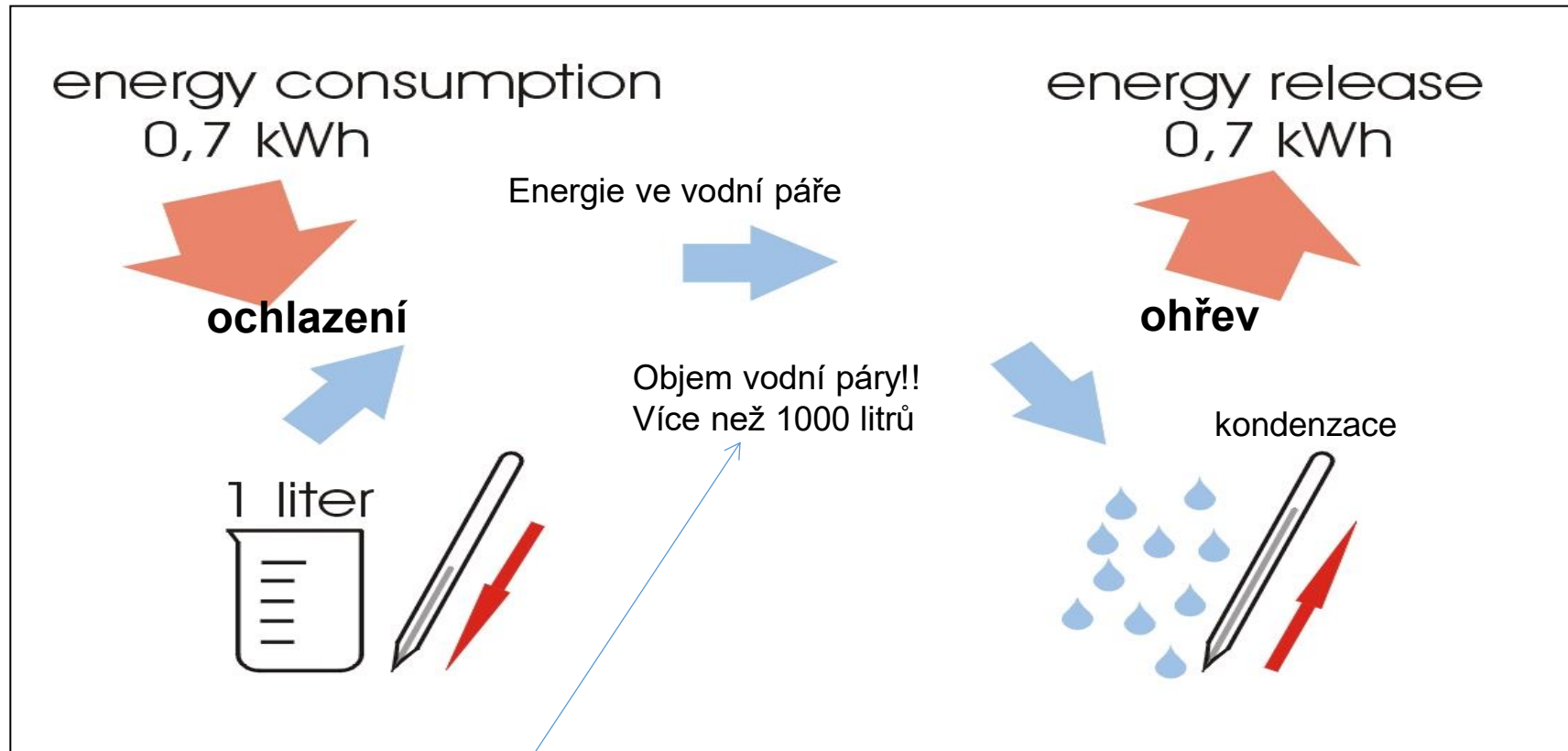
Na vypaření 1litru vody se spotřebuje

$2440 kJ = 0,68 kWh$

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

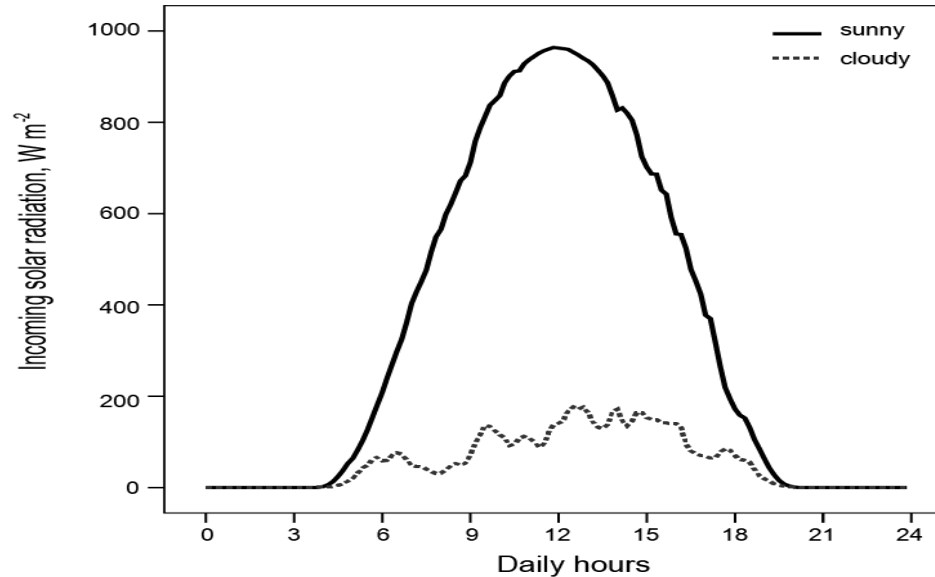
Vodní pára z 1litru vody má objem přibližně 1200 litrů

LATENTNÍ TEPLLO se spotřebovává při výparu vody a uvolňuje při kondenzaci



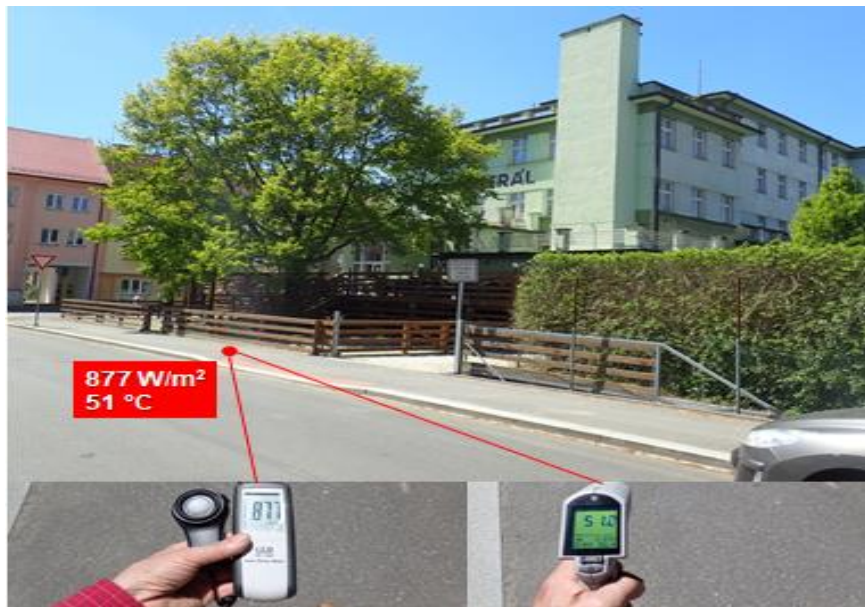
Mírné změny tlaku vzduchu,

Sluneční energie přicházející na povrch země za slunného dne (až 1000Wm^{-2})
a při zatažené obloze (max 200Wm^{-2})

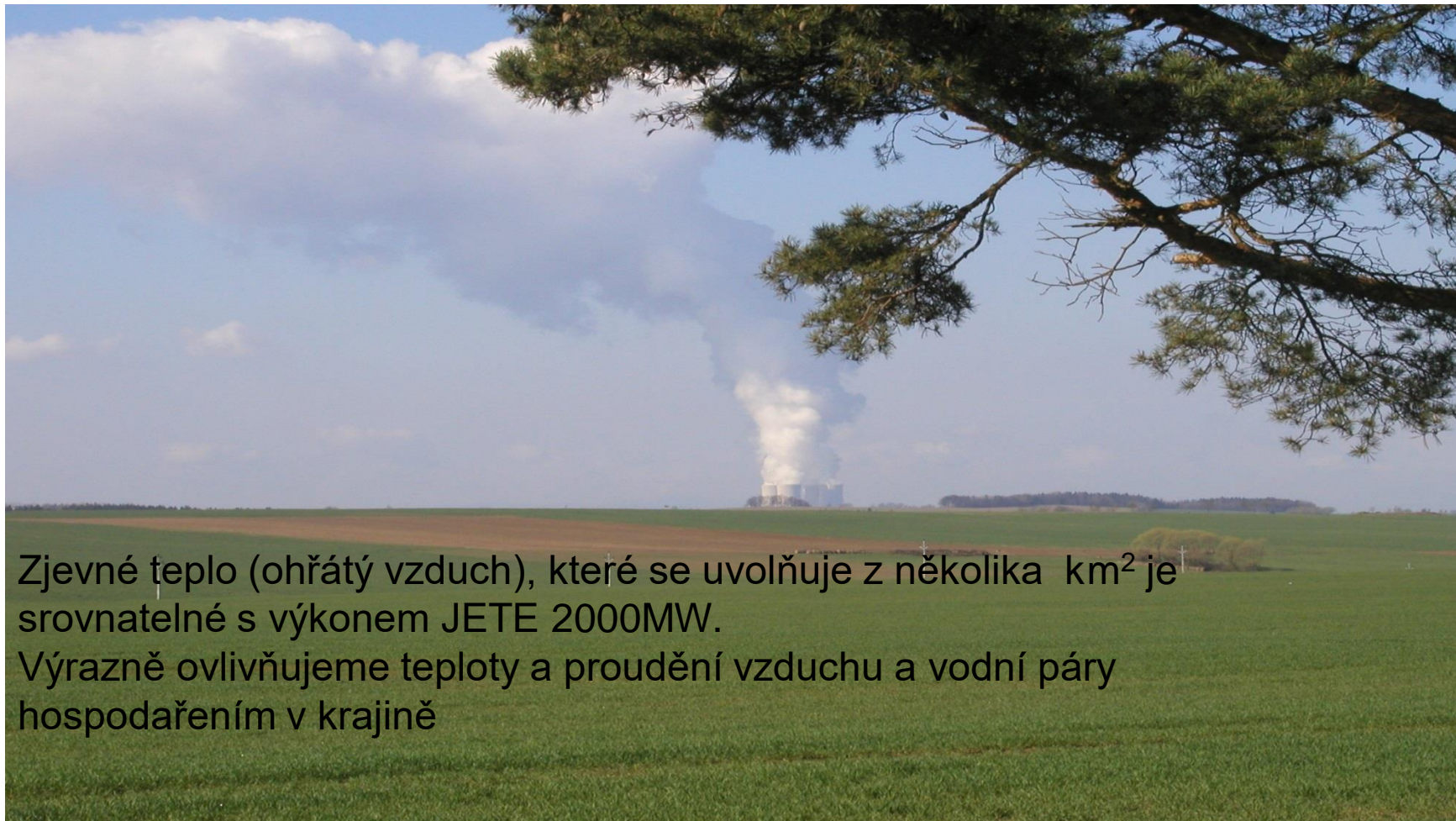


Oblačnost redukuje příkon slunečního záření

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 $82\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Pod stromem je intenzita slunečního záření 10x nižší a teplota o $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší nežli na osluněném chodníku, jak to vysvětlíme? Strom se chladí



Tento strom chladí výkonem 14kW
a převádí sluneční energii do vodní páry



Zjevné teplo (ohřátý vzduch), které se uvolňuje z několika km² je srovnatelné s výkonem JETE 2000MW.

Výrazně ovlivňujeme teploty a proudění vzduchu a vodní páry hospodařením v krajině

ENERGIE V BIOMASE

Roční produkce **biomasy**

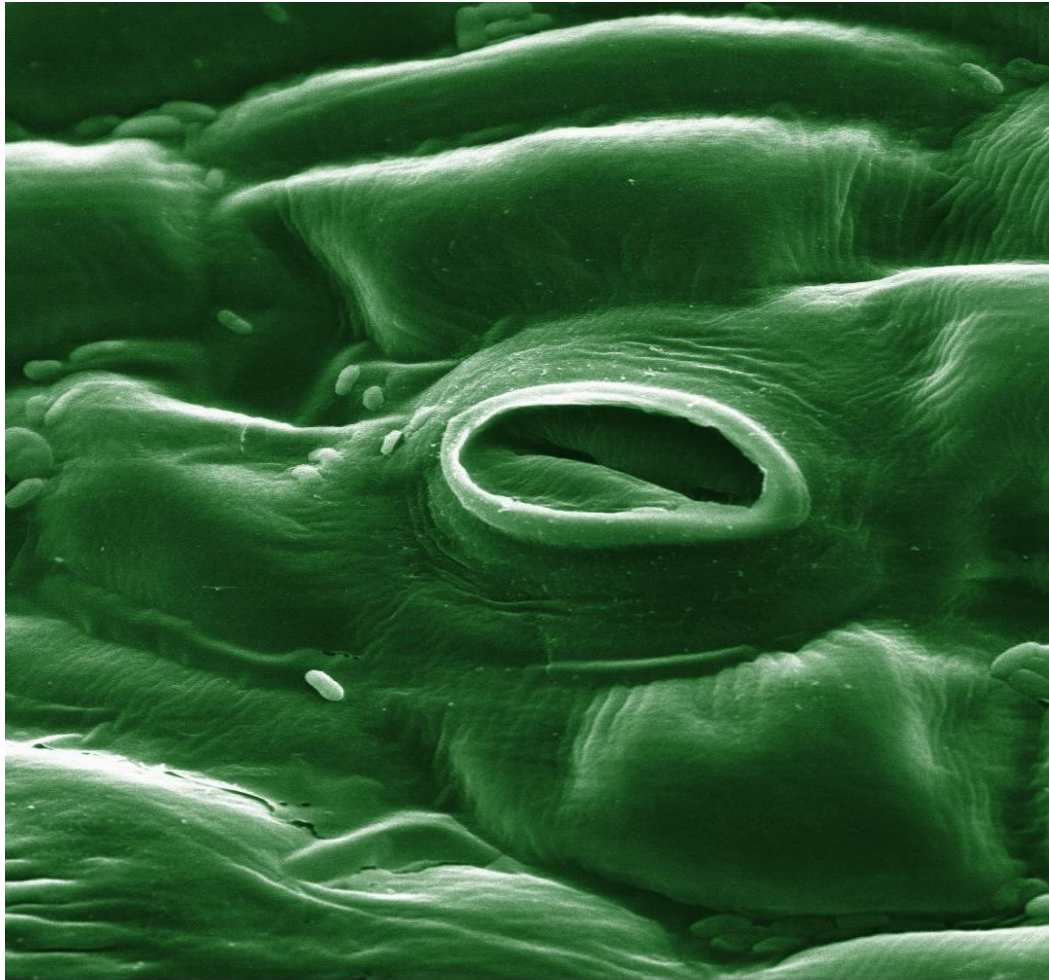
0,5 %

z celkového množství energie přicházející za rok
1100kWh/m².rok

Produkce: 1 kg sušiny z 1 m²

1 kg obsahuje 5 kWh, využijeme 1 – 2kWh

Tj. 10 – 20MWh z 1ha (kolik spotřebuje rodina)?



Tomato leaf stomate 1

1/14/0 REMF

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

50 – 100 průduchů na mm²

Na každou molekulu přijatého oxidu uhličitého se vyloučí molekula kyslíku (rozloží dvě molekuly vody) a z listu se odpaří několik stovek molekul vody.

T A
Č R

Program **Éta**

Projekt 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

Metodické listy pro pracovníky městských úřadů – pilotní verze

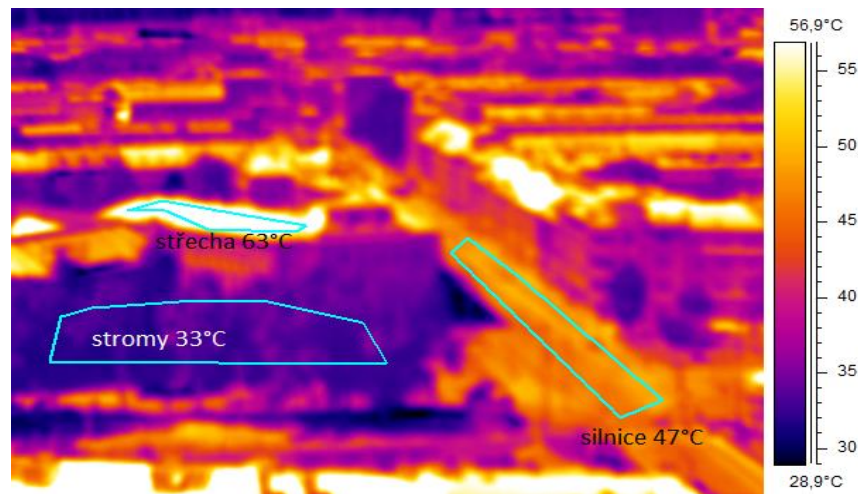
*(Program na podporu aplikovaného společenskovevědního a humanitního výzkumu, experimentálního vývoje a inovací
TAČR ÉTA)*

Řešitelé: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích (RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.)
ENKI, o.p.s. (doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.)
Město Dačice (ing. Jiří Müller, ing. L. Skořepa)

<https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/wp-content/uploads/2020/01/metodické-listy-pro-pracovníky-MěÚ-pro-web.pdf>

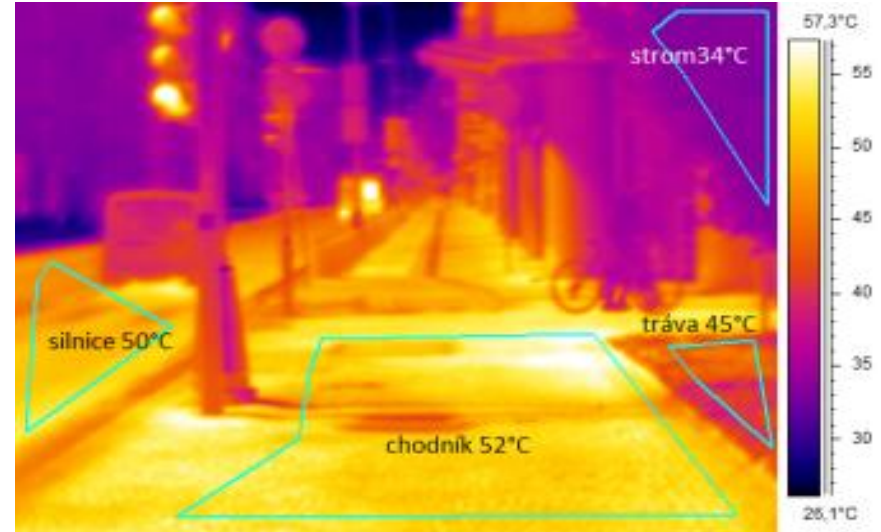
Hradec Králové

Pohled z Bílé věže na Gočárovu třídu, která postrádá liniovou zeleň



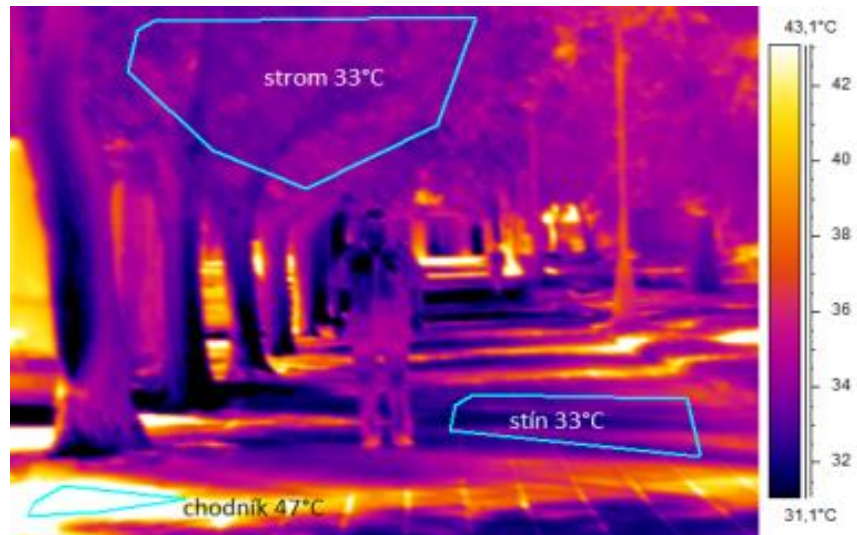
Povrch silnice a chodníku na Gočárově třídě má teplotu 47 °C

Gočárova třída téměř bez stromů



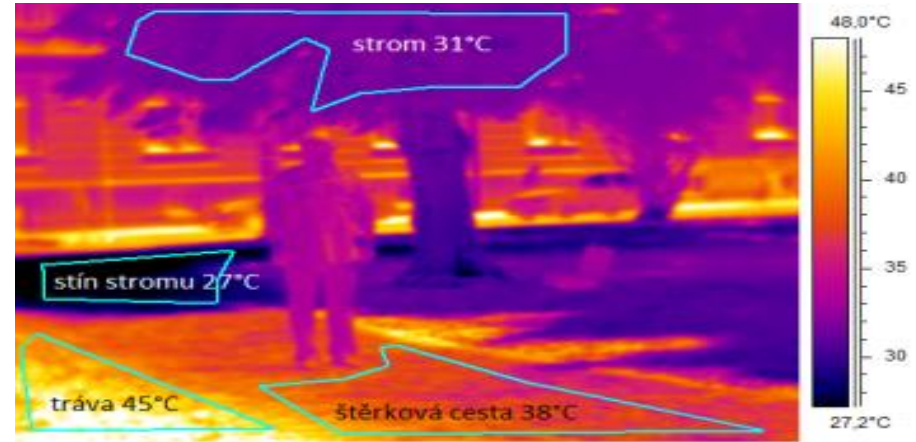
Teplota povrchu silnice 50 °C, teplota chodníku 52 °C, strom na okraji má 34 °C

Třída Karla IV. s alejí stromů.



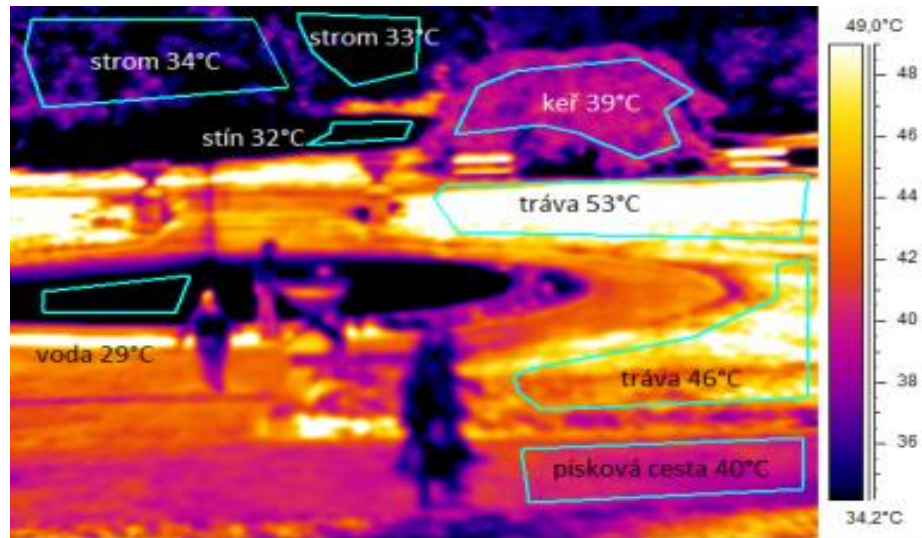
Teplota chodníku ve stínu stromů 33 °C, teplota osluněného povrchu chodníku 47 °C, teplota povrchu stromu 33 °C.

Vcházíme do Žižkových sadů a porovnáváme povrchovou teplotu osoby s teplotou osluněného trávníku a stínu stromu.



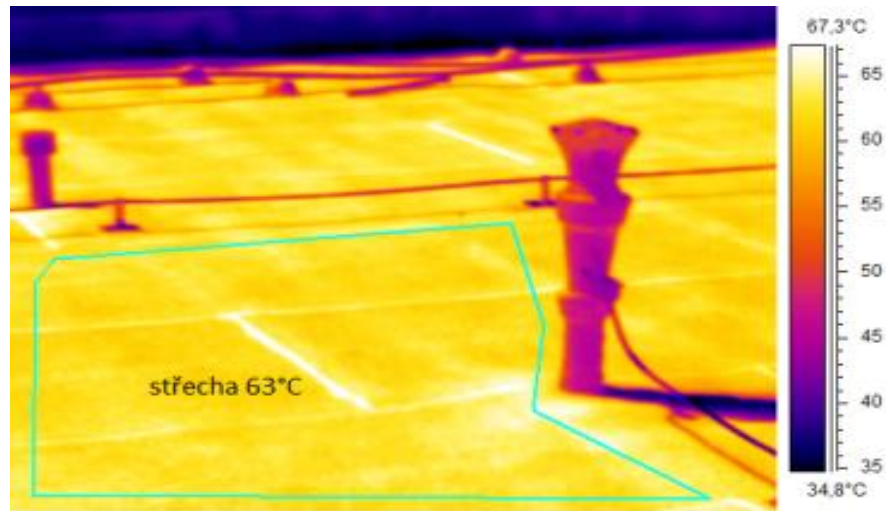
Teplota v trávníku ve stínu stromu je 27 °C,
teplota trávníku na slunci je 45 °C,
teplota povrchu cesty 38 °C, teplota povrchu stromu 31 °C.

Hledíme ze Severních teras na trávník a fontánu v Žižkových sadech



Lidské postavy jsou nápadně chladnější nežli okolí.
Pokosený trávník 53 °C, tráva 46 °C, písková cesta 40 °C.
Voda 29 °C, stín pod stromy 32 – 34 °C, keř 39 °C.

22.7. 2015 pohled přes střechu Magistrátu k Severním terasám



Povrch střechy má teplotu 63 °C

Jak chladí stromy na Severních terasách ve srovnání s technologickou klimatizací? *Klimatizační jednotka na obrázku má příkon 3,4 kW*



Model: RAV-SM50A1-E
Nominal capacity: 5.0 kW
Nominal power input: 3.4 kW
Nominal power output: 4.51 kW
SEER: 5.0
SCOP: 4.51

Cooling capacity (kW)	Cooling capacity (kW)		Cooling capacity (kW)		Cooling capacity (kW)	
	27°C	25°C	23°C	21°C	19°C	17°C
5.0	5.0	4.7	4.4	4.1	3.8	3.5
4.5	4.5	4.2	3.9	3.6	3.3	3.0
4.0	4.0	3.7	3.4	3.1	2.8	2.5
3.5	3.5	3.2	2.9	2.6	2.3	2.0
3.0	3.0	2.7	2.4	2.1	1.8	1.5
2.5	2.5	2.2	1.9	1.6	1.3	1.0
2.0	2.0	1.7	1.4	1.1	0.8	0.5
1.5	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	0.0
1.0	1.0	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.5
0.5	0.5	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0
0.0	0.0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5
-0.5	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.7	-2.0
-1.0	-1.0	-1.3	-1.6	-1.9	-2.2	-2.5
-1.5	-1.5	-1.8	-2.1	-2.4	-2.7	-3.0
-2.0	-2.0	-2.3	-2.6	-2.9	-3.2	-3.5
-2.5	-2.5	-2.8	-3.1	-3.4	-3.7	-4.0
-3.0	-3.0	-3.3	-3.6	-3.9	-4.2	-4.5
-3.5	-3.5	-3.8	-4.1	-4.4	-4.7	-5.0
-4.0	-4.0	-4.3	-4.6	-4.9	-5.2	-5.5
-4.5	-4.5	-4.8	-5.1	-5.4	-5.7	-6.0
-5.0	-5.0	-5.3	-5.6	-5.9	-6.2	-6.5

Zapojené porosty Severní terasy o ploše cca 5000 m² **chladily** v době naší návštěvy nejméně **výkonem 1500 kW** (300 W/m² evapotranspirace). Je to **ekvivalent 440 klimatizačních zařízení umístěných na budově Magistrátu**. Víme, co činíme, když chceme odstranit vzrostlou zeleň Severní terasy? Je to revitalizace?

Pokud strom vypařil za den 3 litry vody na m² plošného průmětu, přeměnilo se do skupenského tepla **2,1 kWh denně na m²**. Na ploše 5000 m² to představuje 10500 kWh skupenského tepla výparu, o toto množství energie se neohřál povrch Severních teras. Kdybychom myšlenkově nahradili stromy technologickým klimatizačním zařízením, spotřebovala by klimatizační zařízení **za den na chlazení 10500kWh, což představuje cenu elektrické energie cca 21000 Kč za den.**

Klimatizační zařízení je ovšem ve srovnání se stromy nedokonalé, protože chladí a současně na druhé straně vzduch ohřívá. Vodní pára uvolněná při transpiraci stromů částečně unikla do atmosféry, částečně se srazí v noci na listech zpět a teplo se uvolní v noci. (*viz: Co dokáže strom, www.enki.cz*)

Vodoretenční a vodočistící služba dotčených stromů:

5000 m² ploch korun x 300 litrů/m² x 2,85 Kč/litr destil. vody =
4 275 000 Kč

Jeden hektar listnatého opadavého lesa v podmínkách mírného pásma vyprodukuje za rok průměrně 10 tun kyslíku. Pro přepočítání mezi kilogramy a litry O_2 platí vztah $1,429 \text{ kg/m}^3$ neboli 1 kg O_2 představuje 700 litrů O_2 (32 gramů O_2 má za normálního tlaku objem 22,4 litru). **Roční služba produkce kyslíku** dotčených stromů je tudíž odhadnutelná následujícím způsobem:

$$0,5 \text{ ha} \times 10\,000 \text{ kg kyslíku} \times 700 \text{ litrů/kg} \times 0,50 \text{ Kč/litr} = 1\,750\,000 \text{ Kč}$$

**Celkem každoroční hodnota tří ekosystémových služeb
lesního parku činí 10 225 000 Kč (ve spolupráci
s doc. J. Sejákem, CSc.)**

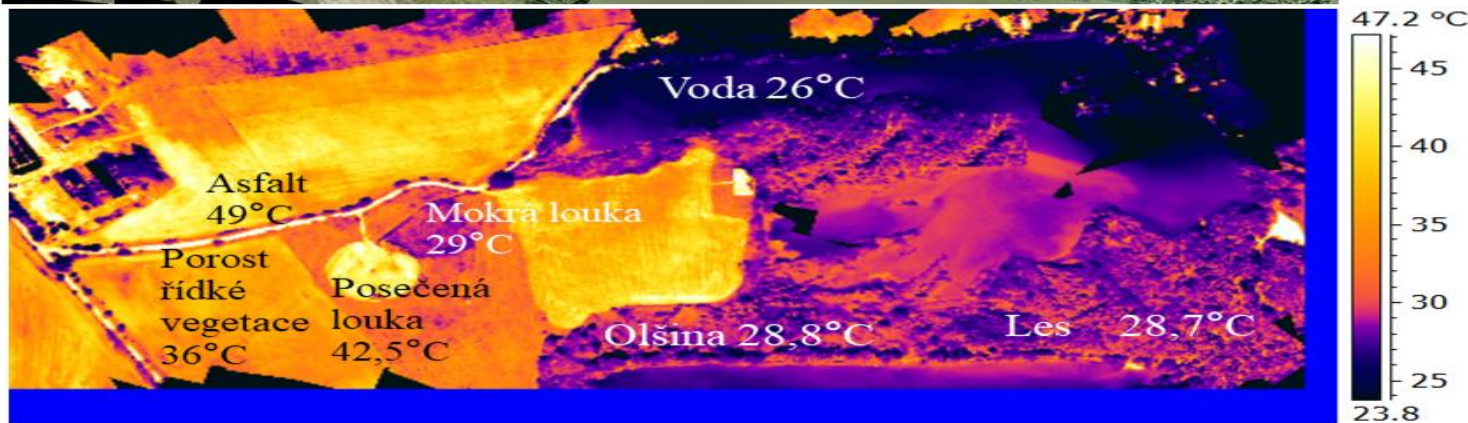
**Smýcením dotčené městské vegetace na ploše 5 tis. m² budou
občané Hradce Králové dlouhodobě přicházet každý rok o
přibližně 10 mil. Kč základních klimatizačních, vodozadržných a
kyslíkotvorných služeb.**

*Nepočítáme: antidepresiva ve volatilních organických látkách, filtraci
prachu, estetické vjemy, biodiverzitu, sekvestraci CO₂, antivirové
působení terpenoidů.*

Tepelné ostrovy

Jak vysycháme

Letní povrchové teploty kulturní krajiny jsou v rozsahu více než 20 °C (snímáno termovizní kamerou nesenou vzducholodí)



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

*evapotranspirace produkuje vodní páru,
která zvolna stoupá vzhůru*

T = 28 °C

*rychle stoupající vzduch
z ohřátého povrchu
(40 °C, 20 % vlhkost)*

proud vlhkého vzduchu

T = 45 - 60 °C



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

*evapotranspirace produkuje vodní páru,
která zvolna stoupá vzhůru*

*rychle stoupající vzduch
z ohřátého povrchu
(40 °C, 20 % vlhkost)*

proud vlhkého vzduchu

T = 45 - 60 °C



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.

6

Stoupající vzduch je nahrazován jiným vzduchem z okolí. Utváří se klesavý proud.

Stoupavý proud má ve svém jádru nejvyšší rychlost výstupu. Při okrajích se vzduch turbulentně mísí s okolní atmosférou.

Někdy se může od hlavního proudu oddělit několik vedlejších větví, které pak stoupají samostatně.



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 litrů) = mechanismus vysychání krajiny, tedy až stovky litrů za den**

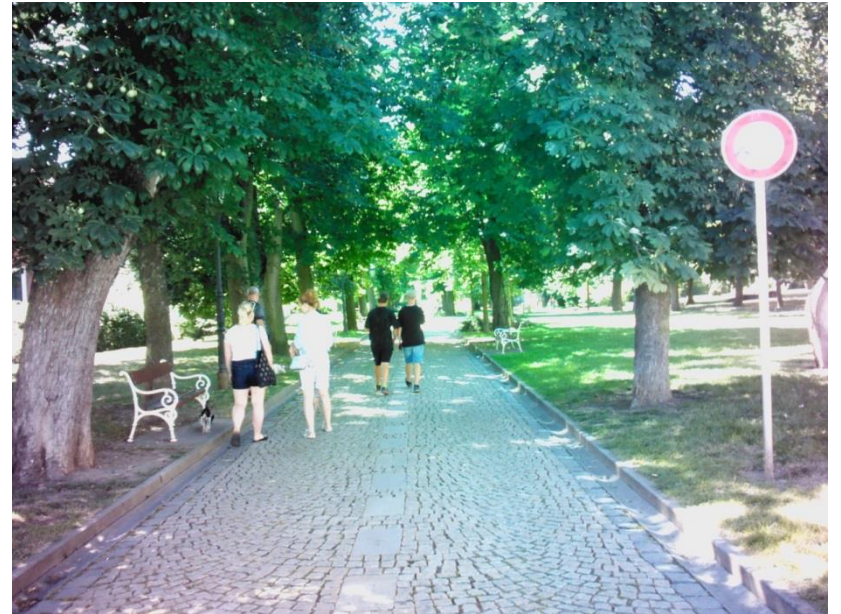
Revitalizace Husových sadů v J. Hradci

1. etapa celkem 10 milionů Kč + 60 tisíc Kč na každoroční údržbu
2. a 3. etapa má stát dalších 8,5 milionu Kč + každoroční náklady na údržbu 90 tisíc Kč.

Plocha 1. uskutečněné etapy je 2109m², plocha 2. a 3. etapy je 6900m², celkem c. 9000m².

Na ekosystémových službách (klíma, kyslík, sekvestrace oxidu uhličitého atd.) budou občané ochuzeni o dalších c. 10 milionů Kč ročně (*Urbanismus a územní plánování 2018/2*)

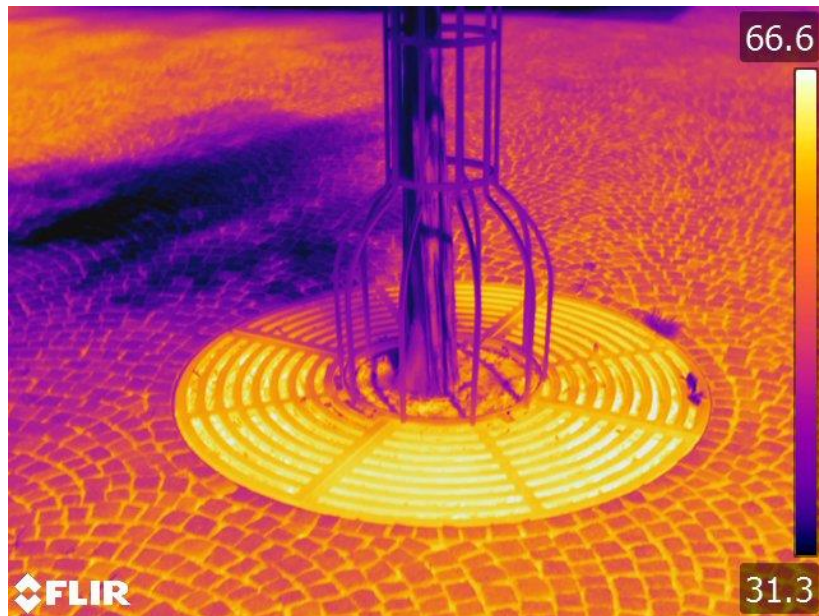
Povrchová teplota osob je vyšší nežli teplota v okolí – stín vzrostlých stromů ochlazuje



Povrchová teplota osob je nižší nežli teplota okolí – „revitalizovaná“ část se přehřívá



Vzrostlé stromy byly poraženy a nahrazeny novými
ochráněnými kovovou ochranou, která se ohřívá na slunci na
více než 60 C.



Je obdivuhodné, že strom vysazený do dlažby a s kmenem v kovové obruči přežívá. To je revitalizace?



„Revitalizovaná“ část Husových sadů
povrchová teplota dlažby 44 °C
21. červen 2019



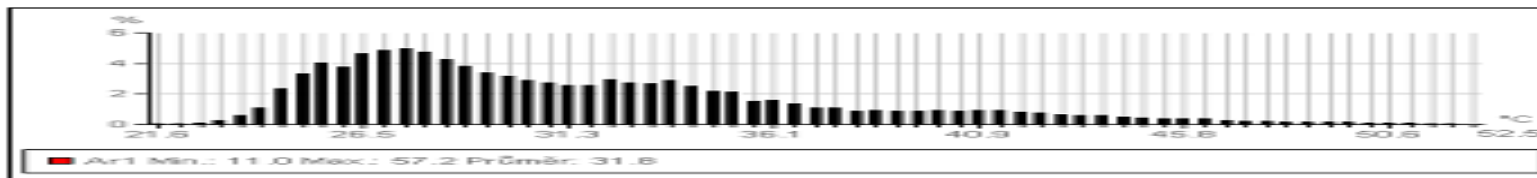
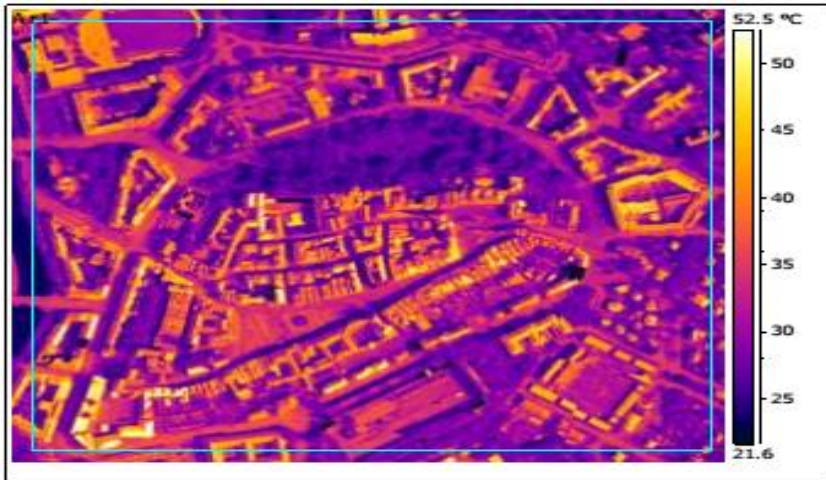
Dosud nerevitalizovaná část Husových sadů. Stromy budou poraženy. Povrchová teplota dlažby 21 °C. Nejvyšší teplotu 36 °C mají osoby, okolí je ochlazuje.



Střed města Hradce Králové

Žižkovy sady- Velké náměstí [http: hradeckralove.org](http://hradeckralove.org), nalétnuto

1.8.2017



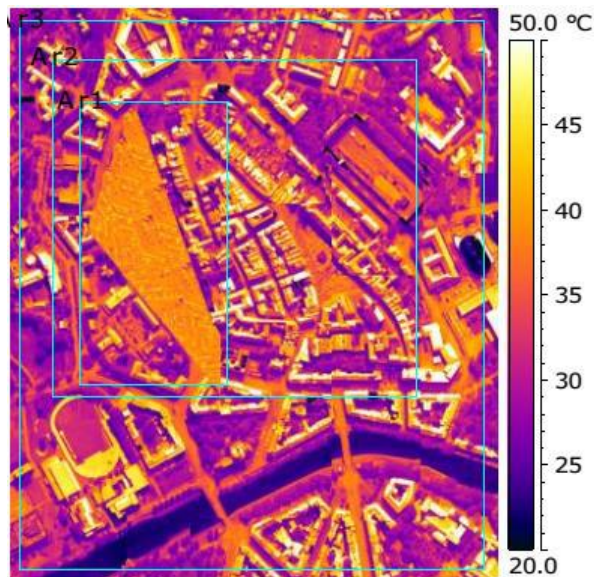
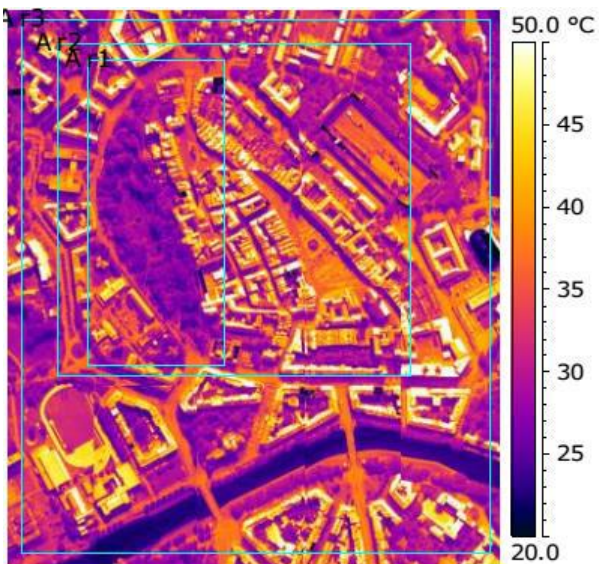
Na histogramu je znázorněna četnost výskytu radiačních teplot povrchu v centru Hradce Králové. Lze pozorovat 3 charakteristické oblasti výskytu obdobných teplot, které lze specifikovat porovnáním leteckou mapou města:

22°C - 27°C - pásmo městské zeleně a zastíněné území, zastoupené se značnou četností

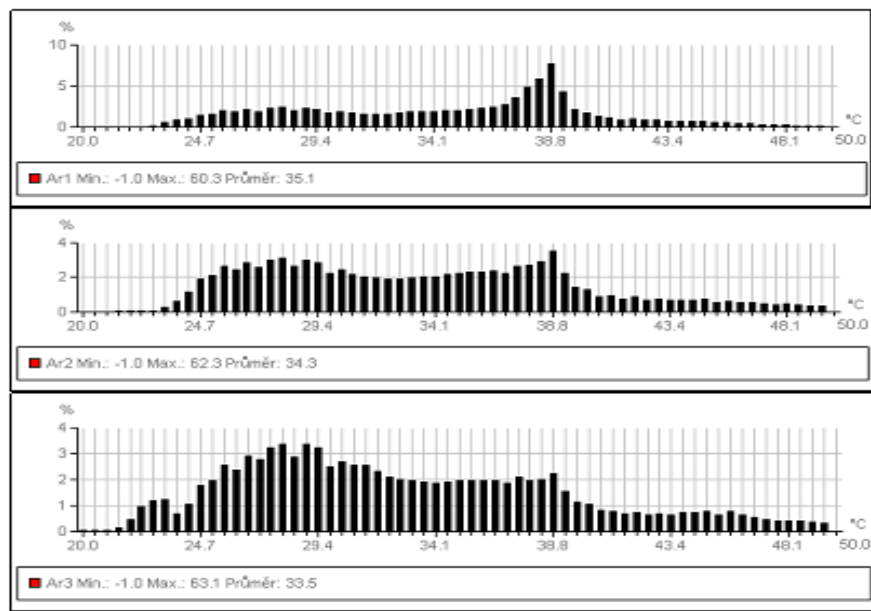
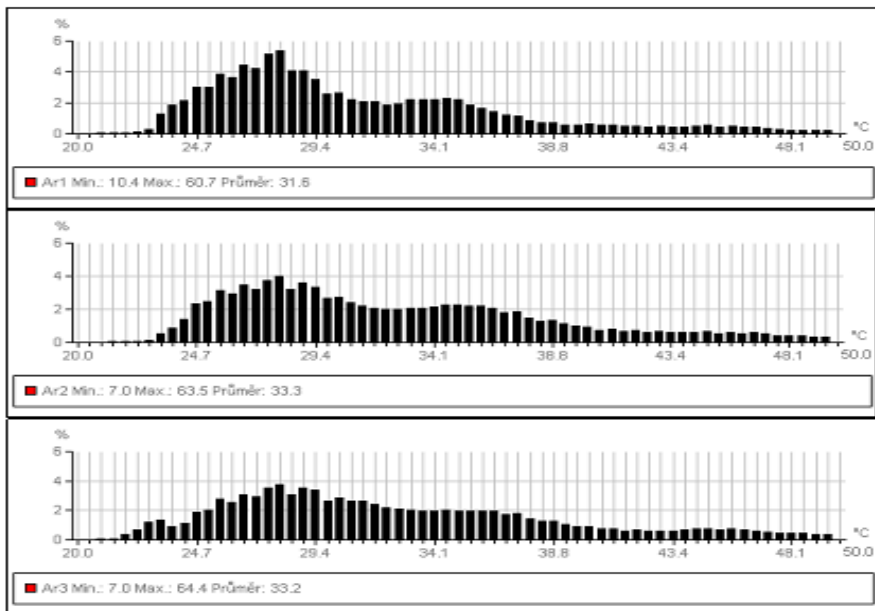
27°C - 37°C - místní komunikace a plochy s dlážděné nebo s živičným povrchem

37°C – 52°C – osluněné střechy v závislosti na povrchu a orientaci

Interaktivní a georeferencovaná teplotní mapa umožňuje jednoduše ukázat vliv urbanistického zásahu (záměna parku za živičný povrch) na teplotní pole v bezprostředním i vzdálenějším okolí na základě statistického rozdělení teplot.



Porovnání teplotního dopadu odstranění vegetace -pohled letecký



Z níže uvedených histogramů vyplývá, že při odstranění vegetace průměrná teplota stoupne:

- v okolí magistrátu v průměru o **3.5 °C**
- v historickém centru v průměru o **1 °C**
- v širším středu města o **0.3 °C**

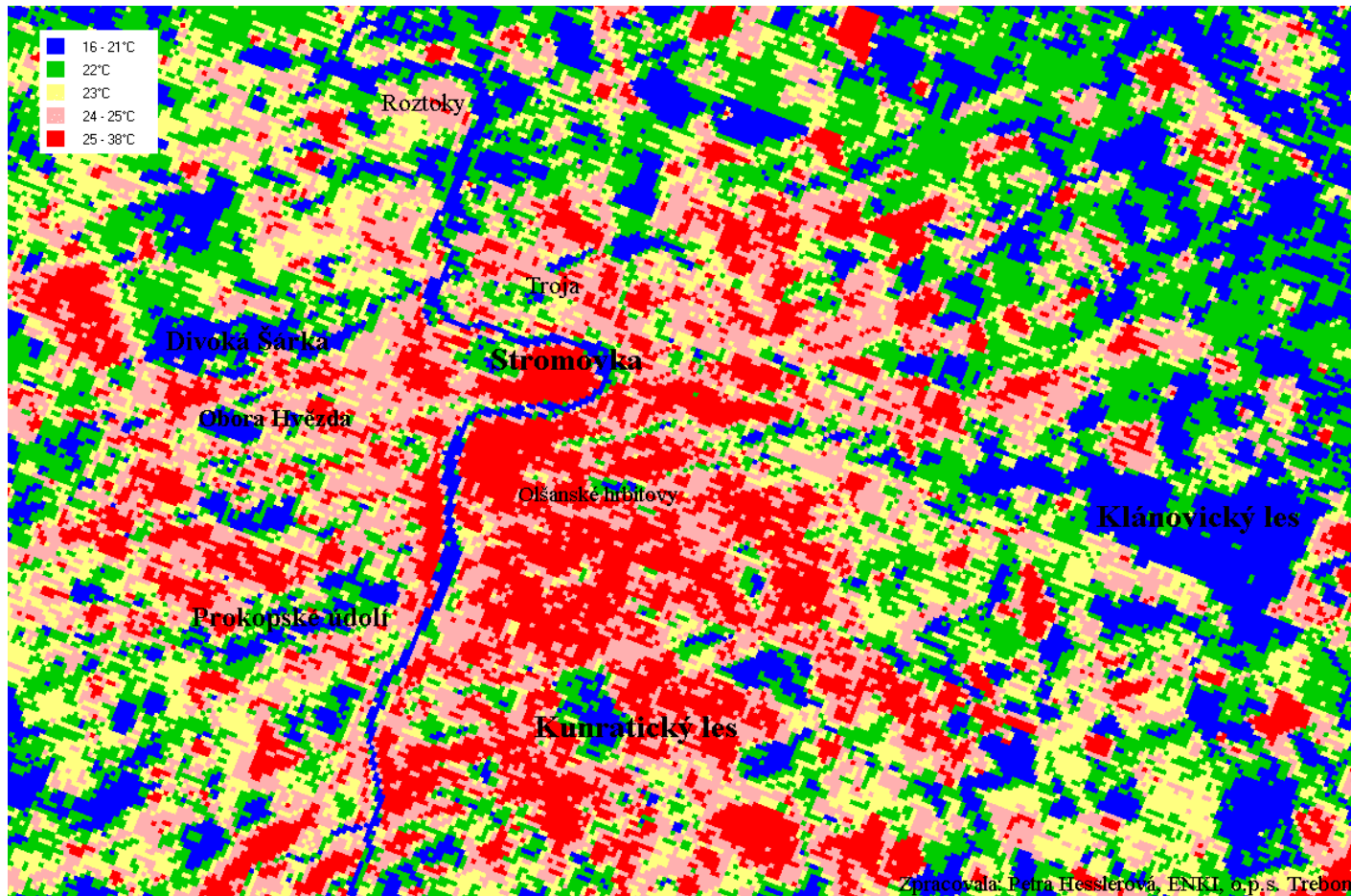
Nástroje pro architekty a územní plánovače

- Využívá se poměrně složitých modelů městského klimatu (*Masson et al. 2020; Schau-Noppel et al. 2020*) e.g. *UrbClimTM* (*De Ridder et al. 2015*), *TARGET* (*Broadbent et al. 2018*), *WRF model* (*Skamarock et al., 2008*), *MUKLIMO_3* (*Sievert 2012, 2016*), vyžadujících vysoký počet vstupních parametrů: družicová data, meteodata ze stanic, (dopadající sluneční záření, rychlost a směr větru, relativní vlhkost, tlak vzduchu, atd). lidarová data- digitální model povrchu atd.
- Modely jsou obtížně využitelné a často neposkytují reálný obraz
- Vycházíme z fyziologických pochodů vegetace, exaktně vyjadřujeme chladicí výkon (výpar vody/chlazení, zadržování vody, produkce kyslíku, sekvestrace CO₂), hodnotíme ekosystémové služby. Tento samozřejmý přístup lze považovat za ojedinělý. Protože ze vzdělání zmizela znalost základních procesů přeměn sluneční energie
- Efekt vegetace na distribuci slunečního záření (teploty, vítr) není v EIA

Dešťová voda rychle odtéká ze zpevněných ploch a vyplachuje nečištěnou odpadní vodu z kanalizace přes tzv. dešťové odlehčovače. To je zásadní zdroj znečištění toků. **Vegetace, zásakové pásy zpomalují odtok vody a snižují znečištění vod.**



Praha – snímek z družice Landsat 5

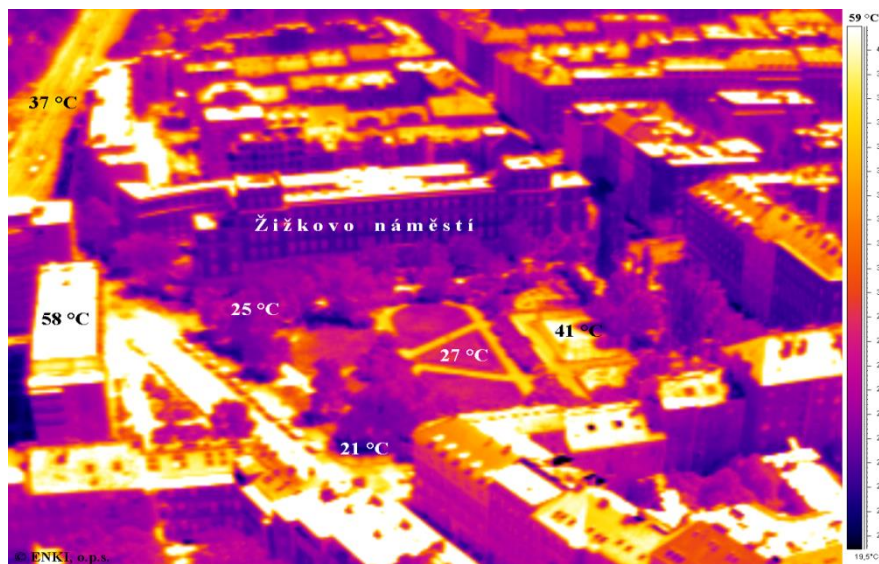


Termosnímky z telekomunikační věže na Žižkově



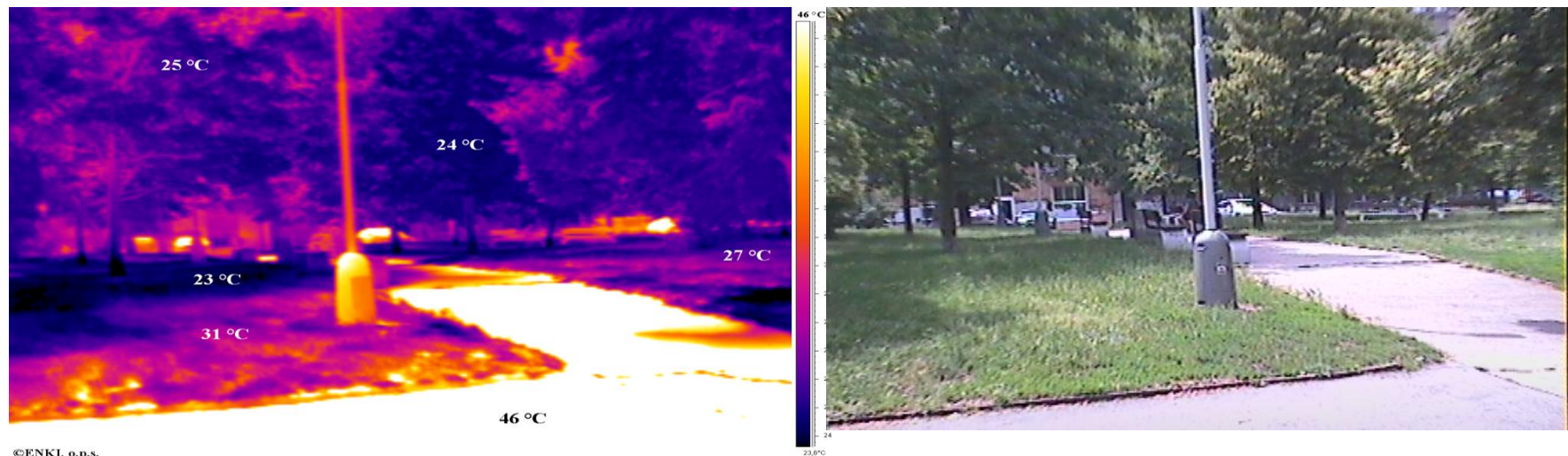
Praha z telekomunikační věže na Žižkově

IR picture, 20 to 58 °C

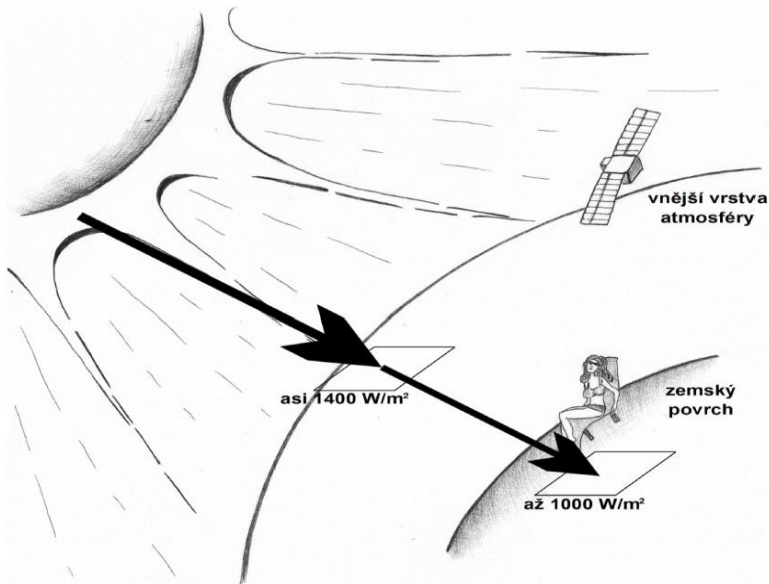


Mahlerovy sady

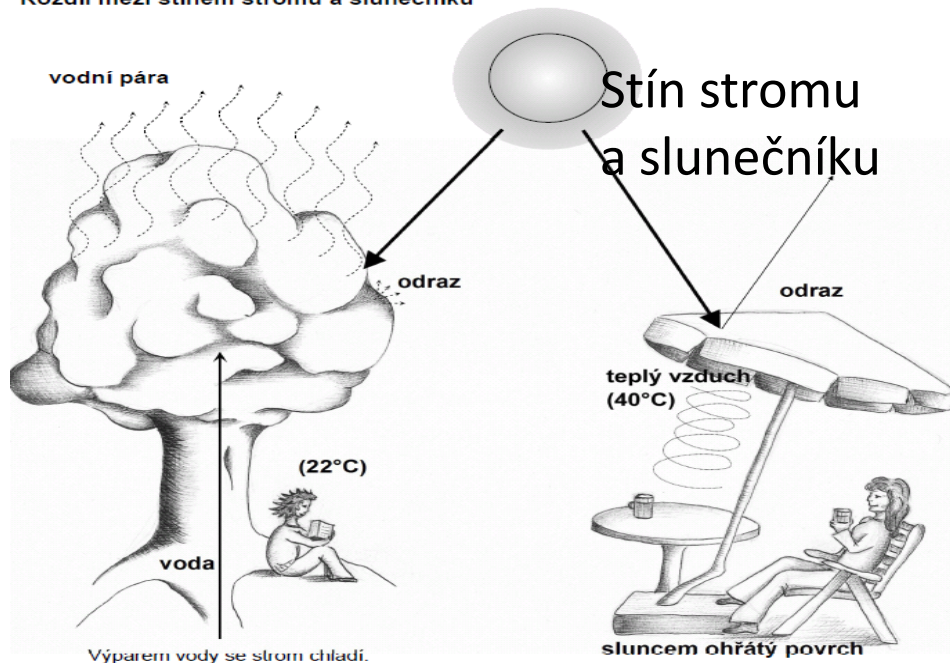
Teplota ve stínu stromů 23 – 25 °C



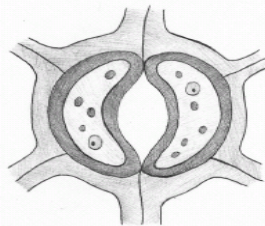
Množství sluneční energie na hranici atmosféry a na povrchu země za jasného dne



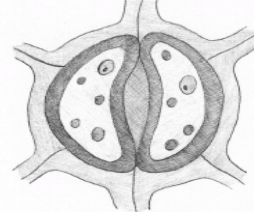
Rozdíl mezi stínem stromu a slunečniku



otevřený průduch



uzavřený průduch



Takových průduchů je přibližně 100 na mm² plochy listu. Každý průduch se skládá ze dvou buněk ve tvaru fazole, které uzavírají a otevírají průduch a tím regulují výdej vody rostlinou v závislosti na množství vody v listu a na okolní teplotě a vlhkosti vzduchu.

T A
Č R

Program **Éta**

Projekt 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

Metodické listy pro pracovníky městských úřadů – pilotní verze

*(Program na podporu aplikovaného společenskovědního a humanitního výzkumu, experimentálního vývoje a inovací
TAČR ÉTA)*

Řešitelé: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích (RNDr. Renata Ryplová, Ph.D.)
ENKI, o.p.s. (doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.)
Město Dačice (ing. Jiří Müller, ing. L. Skořepa)

<https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kbi/wp-content/uploads/2020/01/metodické-listy-pro-pracovníky-MěÚ-pro-web.pdf>