

Jak stromy chladí a utvářejí místní klima

Wie Bäume kühlen und das lokale Klima beeinflussen

doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

doc. Dipl.-Ing. Jakub Brom, Ph.D.

ENKI, o.p.s. Třeboň

**Klimatická zeleň Adaptace na klimatické
změny pomocí zelené infrastruktury**

Středa 9. května 2018

Universitätsforschungszentrum Tulln (UFT

SINE SOLE NIHIL SUM

bez Slunce nejsem nic





Slunce ohřívá planetu o c. 290 K

Bez sluneční energie by atmosféra byla tuhá!

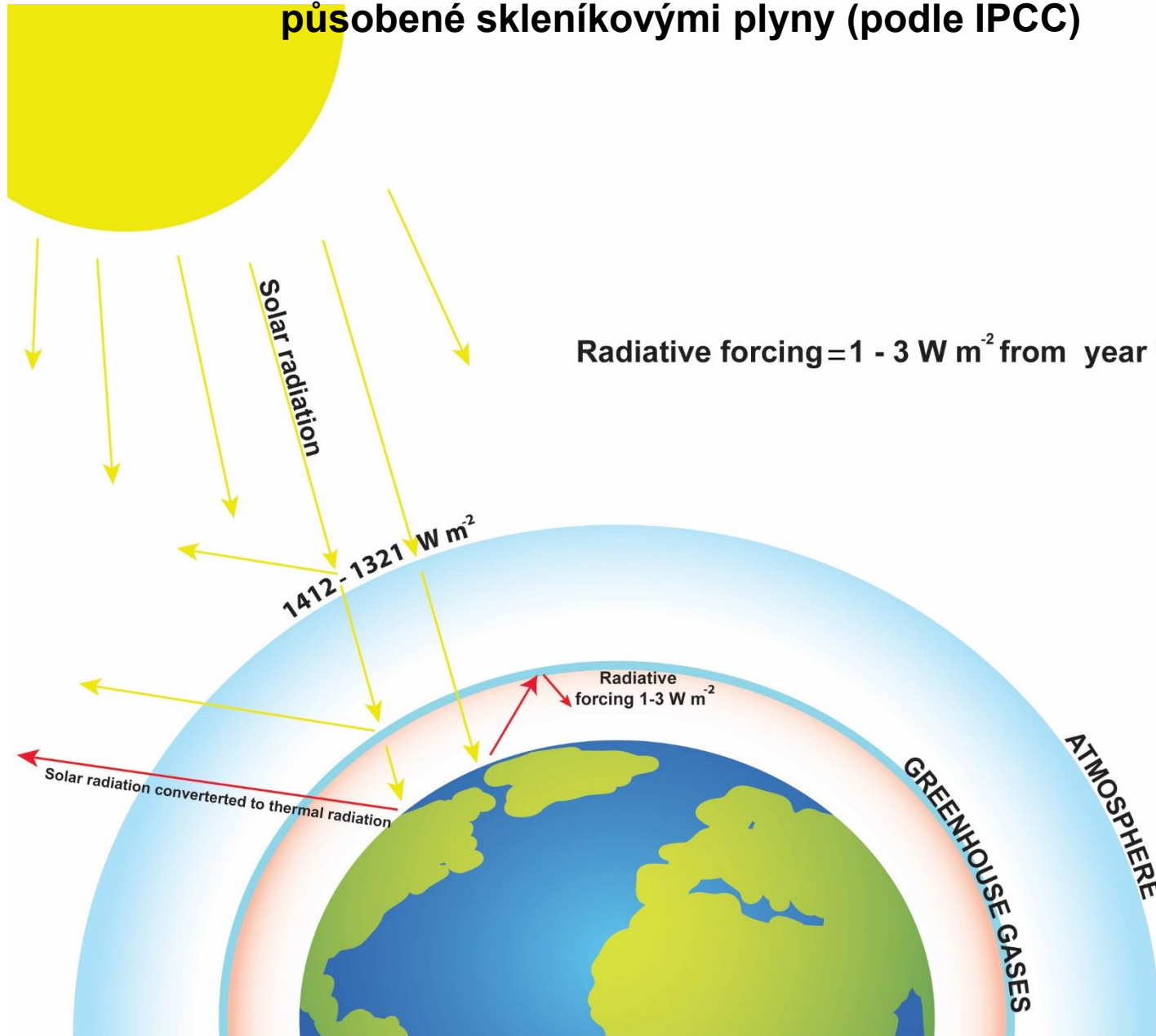
180 000 TW Tok sluneční energie k Zemi

Působíme na tuto energii??

10 TW

Tok energie v ekonomice – co si platíme

Sluneční energie přicházející na hranici atmosféry a radiální zesílení působené skleníkovými plyny (podle IPCC)

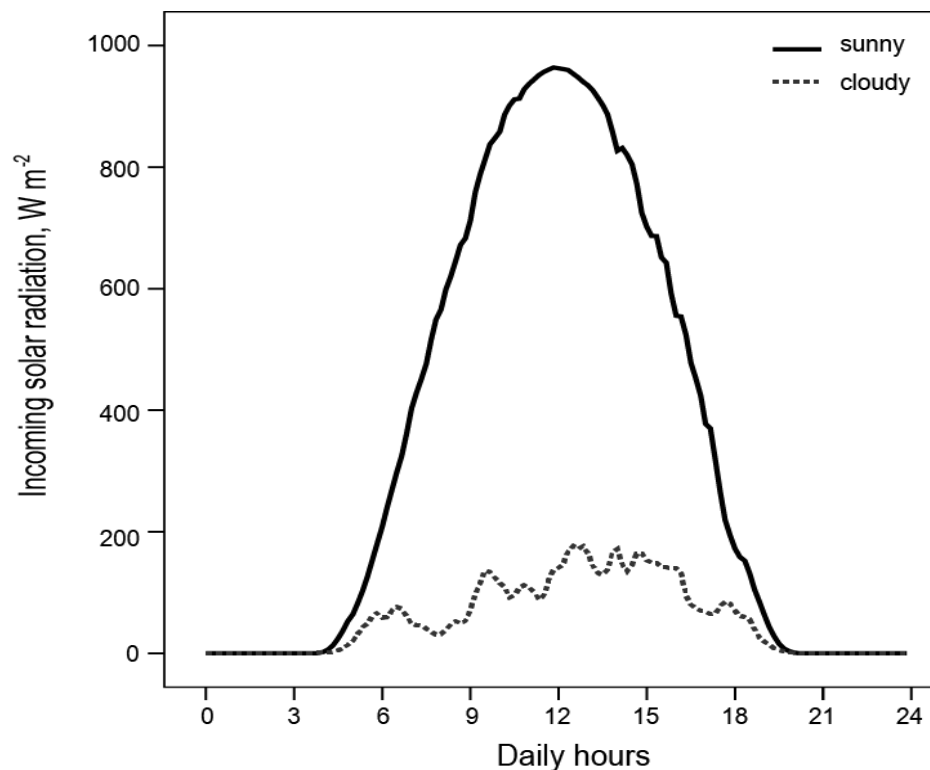


Radiative forcing = 1 - 3 W m⁻² from year 1750

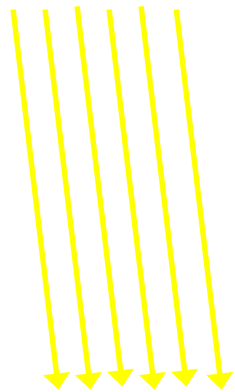
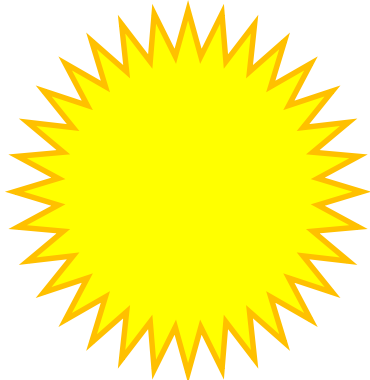
Sluneční energie ohřívá Zemi téměř o 300 stupňů Celsia

- Slunce udržuje atmosféru v plynném stavu
- Energie vodních elektráren – Sluncem vypařovaná voda
- Energie větru – proudění vzduchu působené teplotními rozdíly
- Energie biomasy (dřevo) i uhlí a nafta vznikla fotosyntézou
- Za jasné oblohy přichází na 1m^2 až 1000W sluneční energie
- Na fasádu o $10\text{m} \times 5\text{m}$ přichází až 50kW

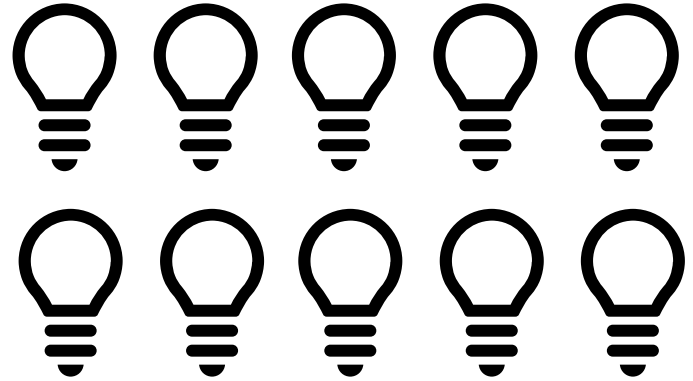
Sluneční energie přicházející na povrch země za slunného dne (až 1000Wm^{-2}) a při zatažené obloze (max 200Wm^{-2})



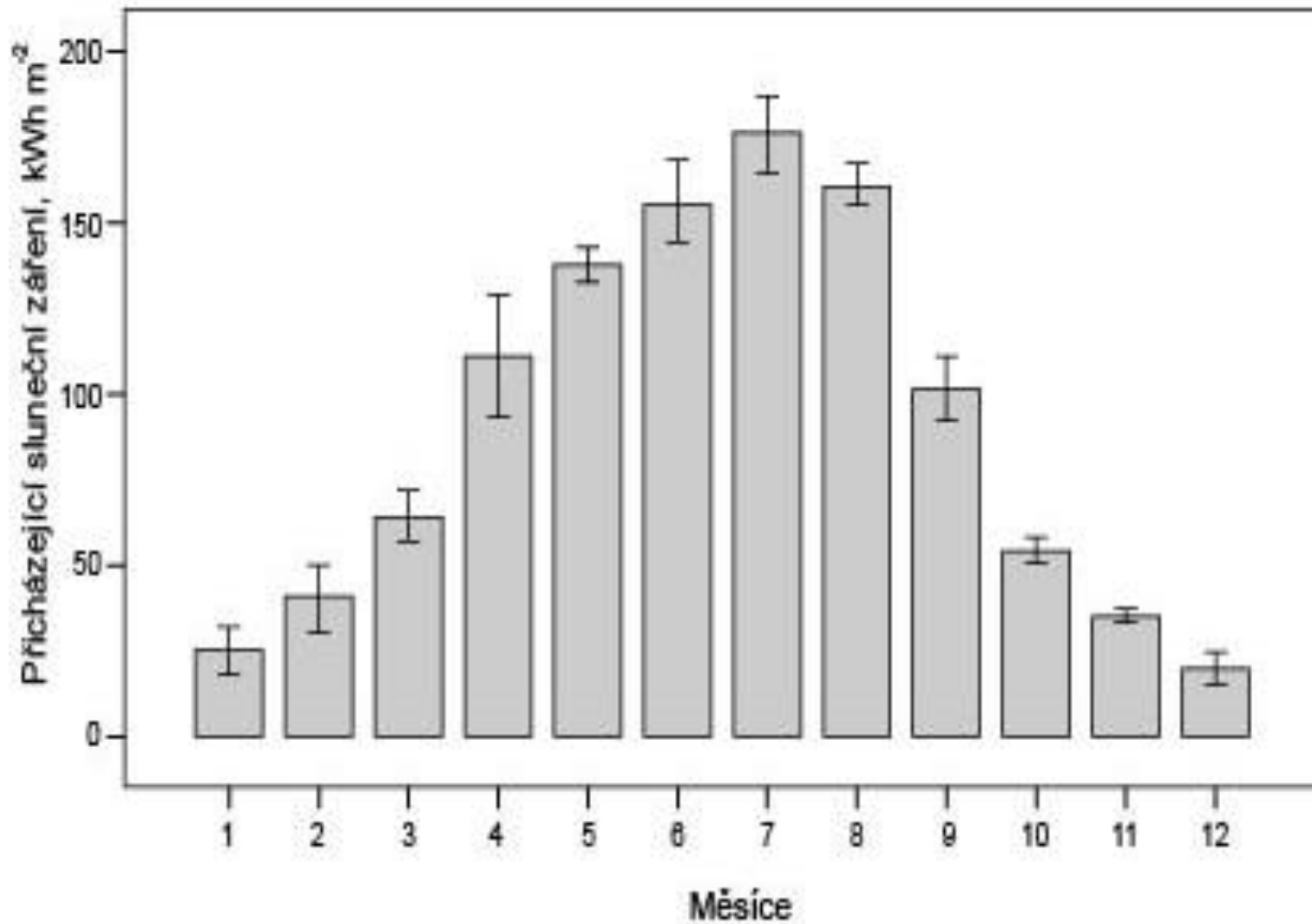
Oblačnost redukuje příkon slunečního záření



1000 W



Měsíční sumy slunečního záření (Třeboňsko)

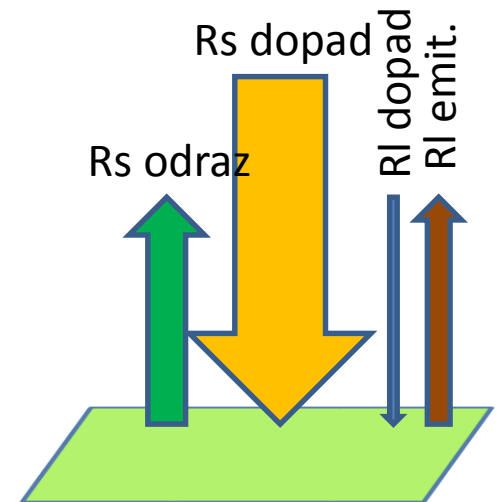
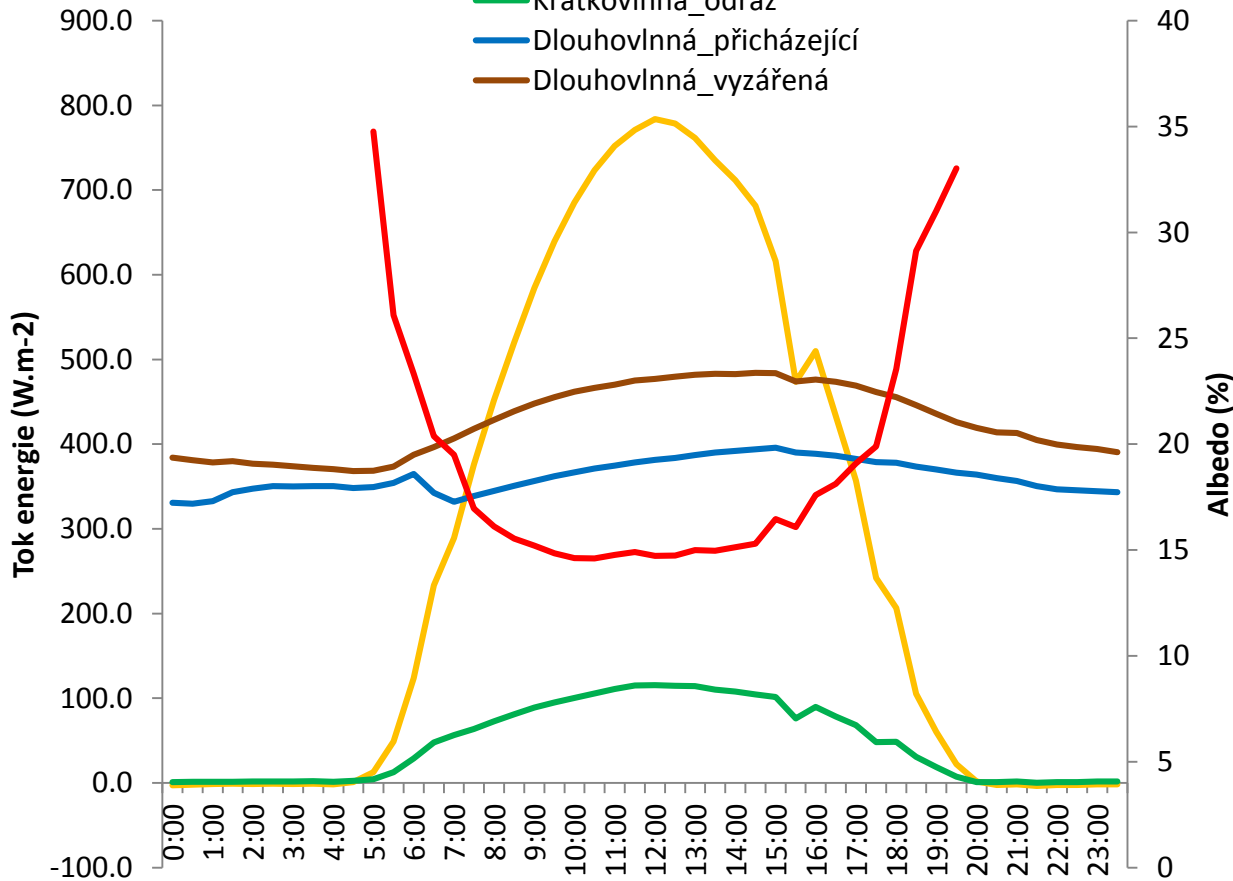


Co se s energií děje?

$$R_n = R_s \text{ dopad} - R_s \text{ odraz} + R_l \text{ dopad} - R_l \text{ emit.}$$

Radiační bilance

- Krátkovlnná_dopad
- Krátkovlnná_odraz
- Dlouhovlnná_přicházející
- Dlouhovlnná_vyzářená

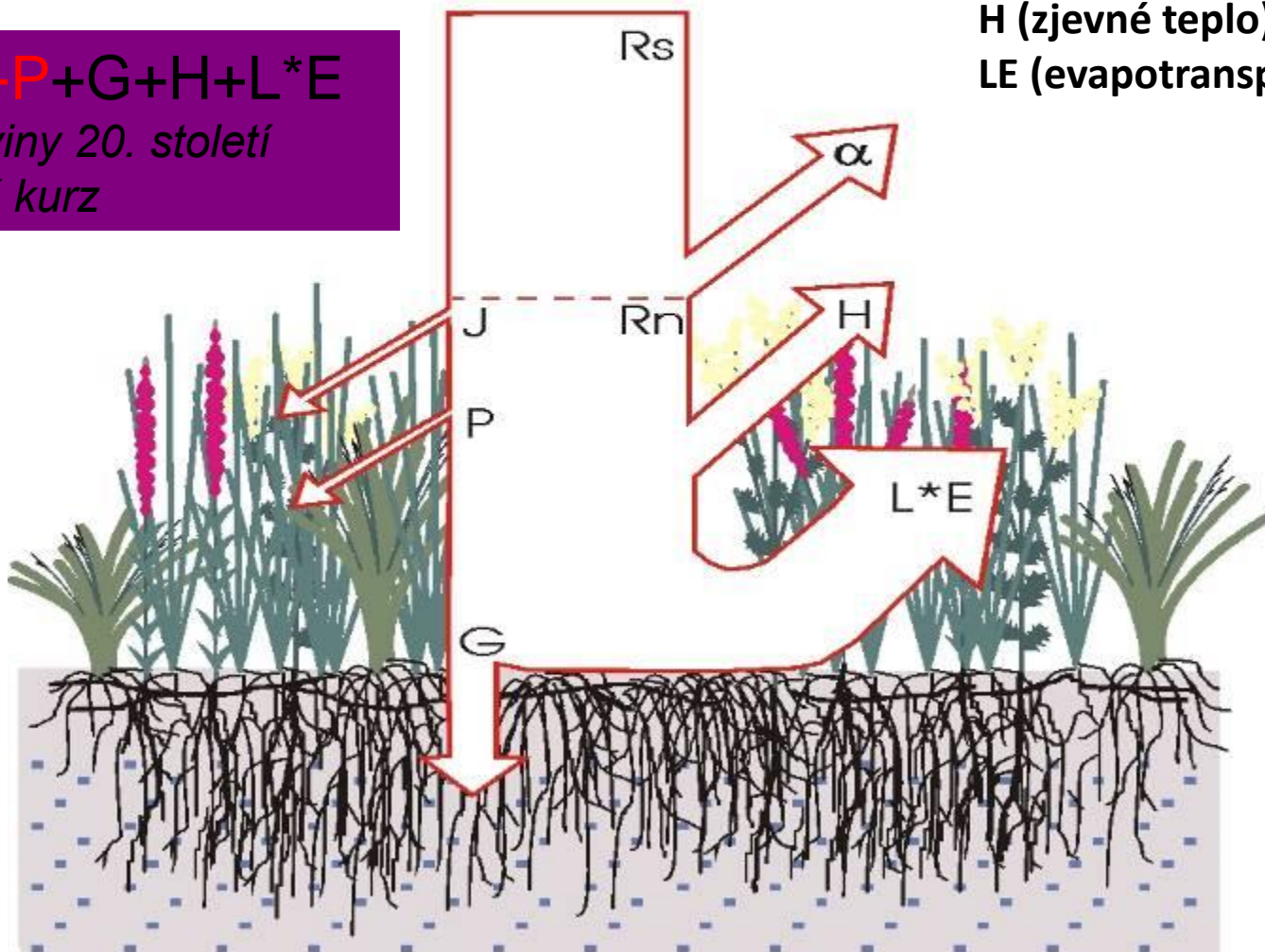


Rs - Globální záření
Rn - Čisté záření
 α - Odraz (albedo)
H - Uvolněné pocitové teplo
L x E - Skupenské teplo x Evapotranspirace
G - Tok tepla do půdy
P - Fotosyntéza
J - Akumulované teplo v biomase

$$R_n = J + P + G + H + L * E$$

*od poloviny 20. století
základní kurz*

Zásadní je poměr mezi
H (zjevné teplo) a
LE (evapotranspirací)



Vyrovňávání teplot na Zemi
LATENTNÍ TEPLŮ se spotřebovává při výparu vody a uvolňuje při kondenzaci

energy consumption
0,7 kWh

energy release
0,7 kWh

Energie ve vodní páře

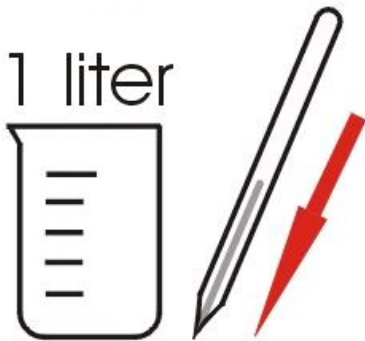
ochlazení

ohřev

Objem vodní páry!!
Více než 1000 litrů

kondenzace

1 liter

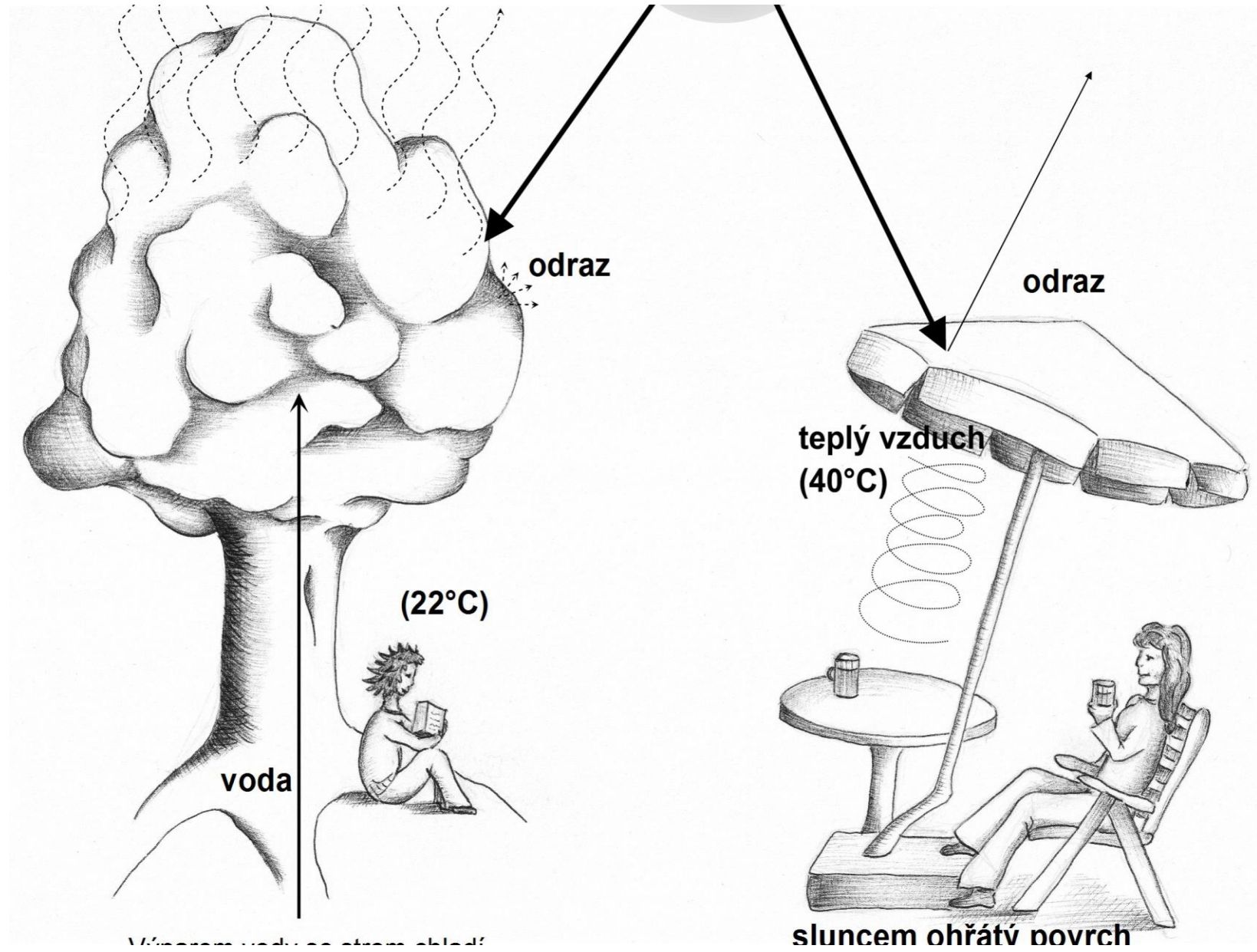


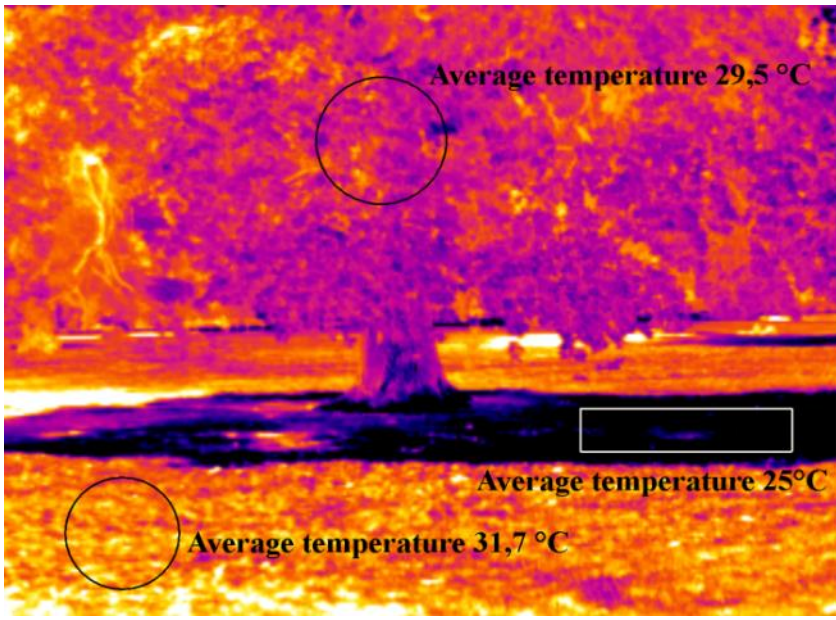
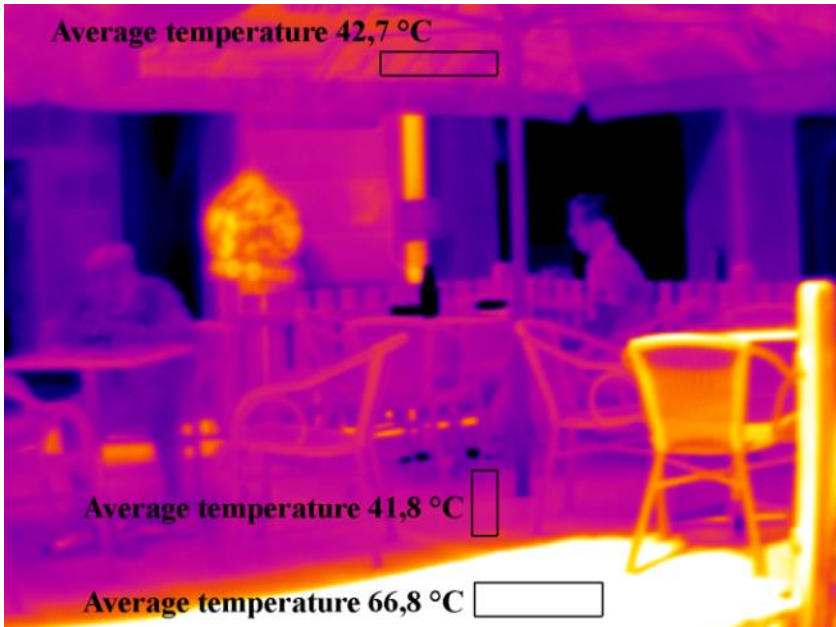
Mírné změny tlaku vzduchu

Jaký je rozdíl mezi stínem stromu a stínem slunečnicku stejného rozměru (průměru)?

Stín stromu a stín slunečníku

Slunce



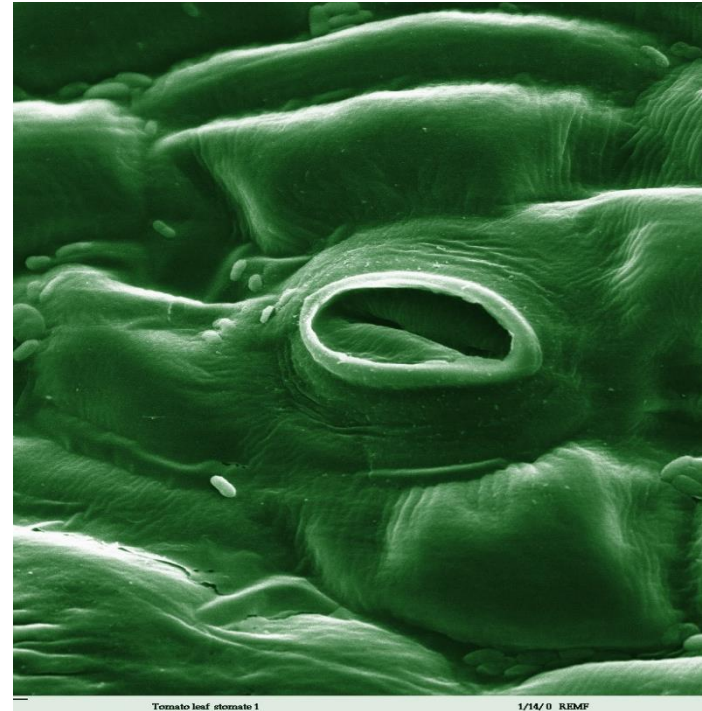


Eiseltoová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W. (2012): Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability. In: Irmak A. (ed.) *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*. InTech, pp. 305 – 328.
 Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/evapotranspiration-a-driving-force-in-landscape-sustainability>

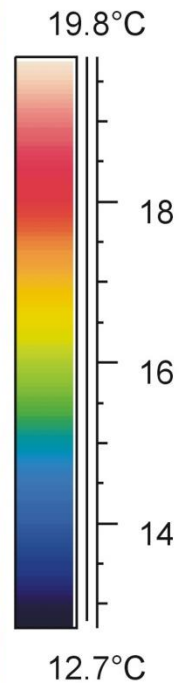
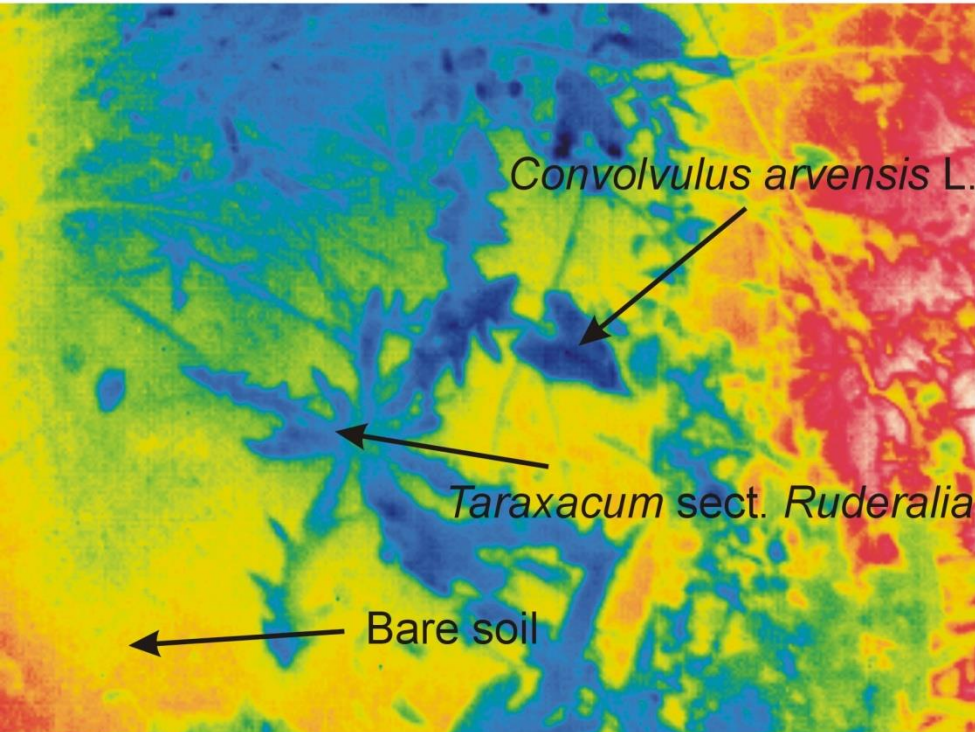
Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G. (2007) Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol Earth Syst Sci* 11(2), 1013–1033.

Princip?

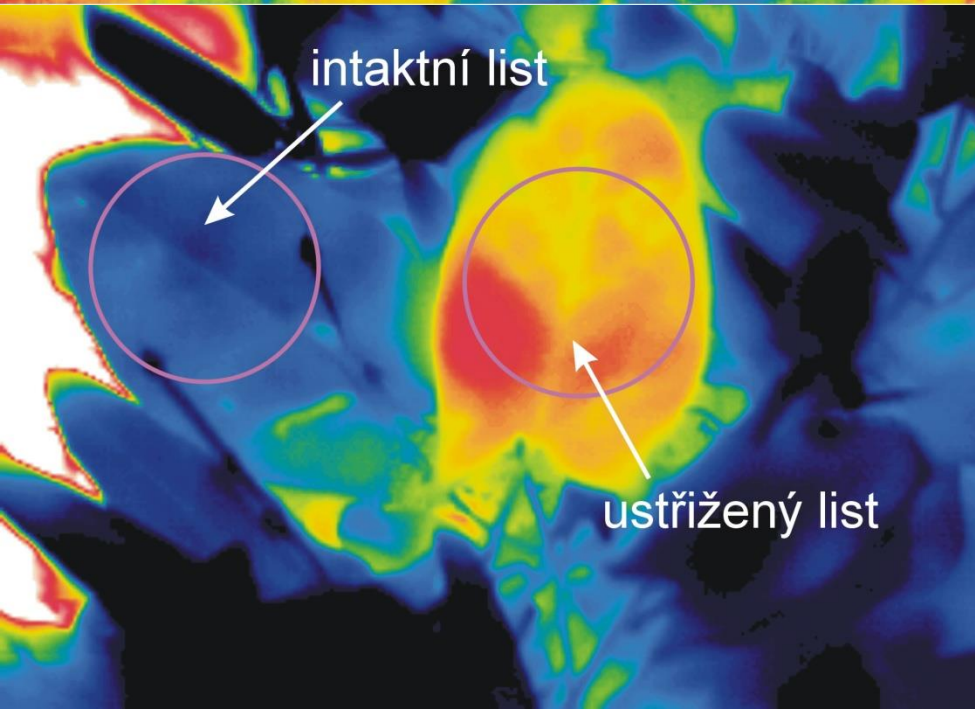
- Vegetace spotřebovává energii při transpiraci (ca 2500 J/g vody = 0,7 kWh/l)
- Strom transpiruje až 6 l vody na 1 m čtvereční za den
- Rostliny regulují výpar prostřednictvím průduchů – až několik stovek na 1 m²
- Díky spotřebě energie při výparu funguje strom jako air-condition



- Každý průduch působí jako ventil. Reaguje na teplotu, vlhkost vzduchu a obsah vody v rostlině



Funkční vegetace do značné míry aktivně ovlivňuje teplotu svého povrchu díky transpiraci



Má-li vegetace limitovaný přísun vody, dochází k vodnímu stresu a rostlinný povrch se přehřívá

Stín stromu

- Na chodník přichází právě 877Wm^{-2}
- Povrch chodníku má teplotu $51\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Ve stínu stromu je $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a množství sluneční se snížilo na méně než desetinu: 82Wm^{-2}
- Strom dokonale chladí výparem vody sebe a své okolí. Sluneční energie se váže do vodní páry uvolní se opět při kondenzaci vodní páry zpět na vodu
- Takový strom chladí výkonem c. 14 kW



877 W/m²
51 °C

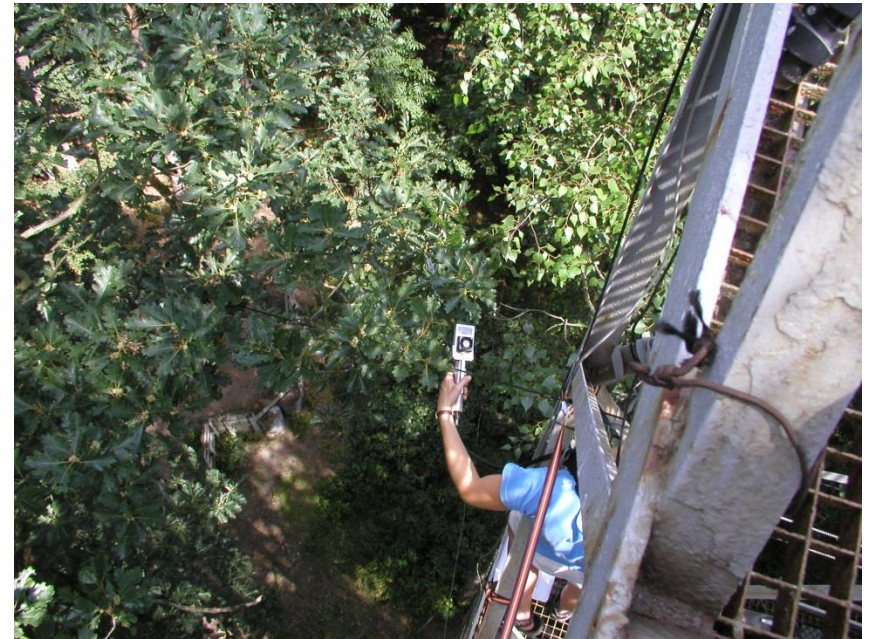


20 litrů za hodinu
14kW chlazení

82 W/m²
26,9 °C



Měření výdeje vody (transpirace listů? Tok vody ve kmeni – prof. J. Čermák, A. Tomková)



Měření:

- **transpirace listů**
- **transpirace stromů**
- povrchové teploty listů
- tloušťky listů
- slunečního záření
- meteorologických podmínek
- efektivní teploty oblohy



tepelná bilance kmene –
měření transpiračního proudu

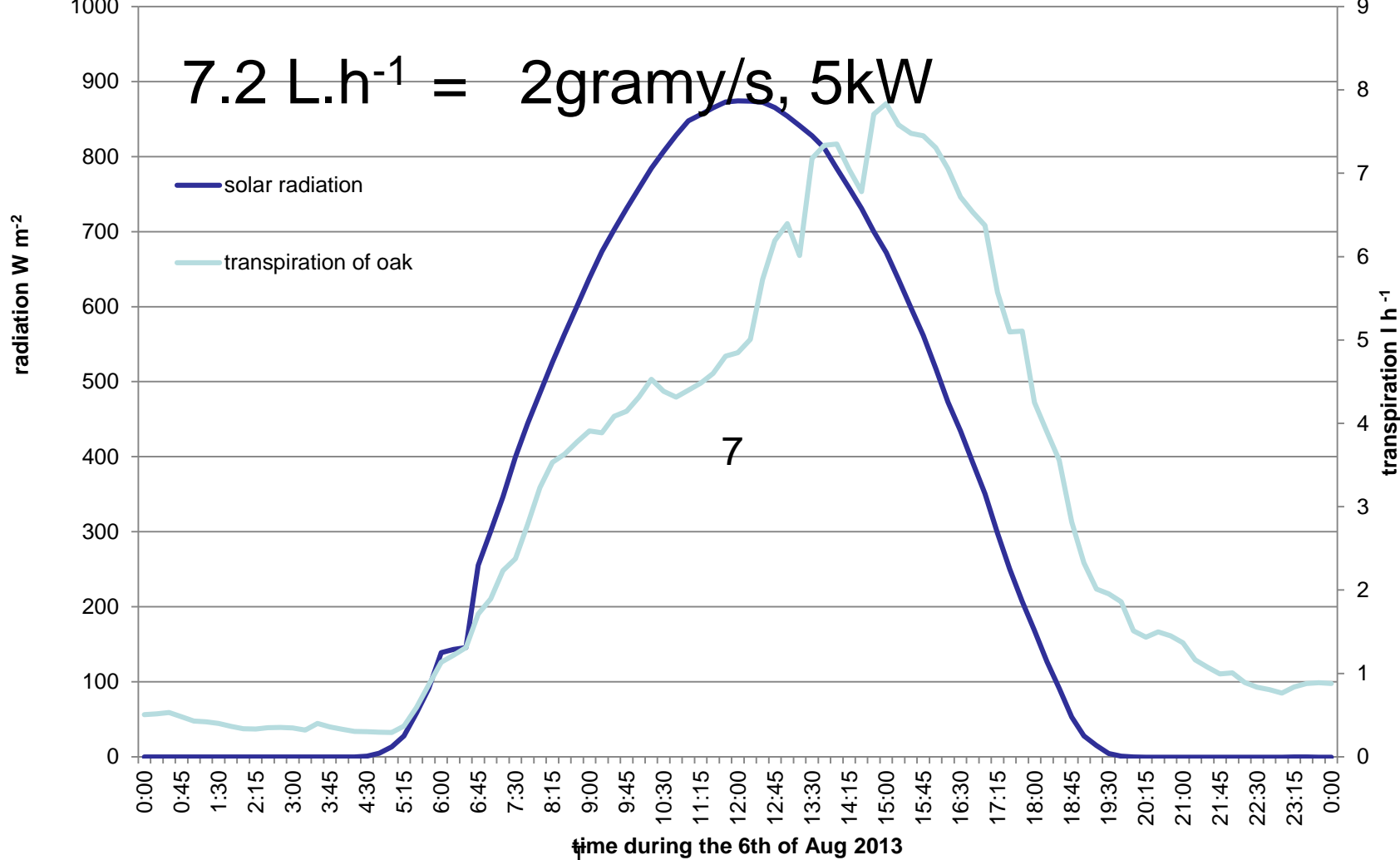


Přístroj TPS-1
- transpirace jednotlivých
listů



W m⁻² Sluneční záření a transpirace/výdej vody

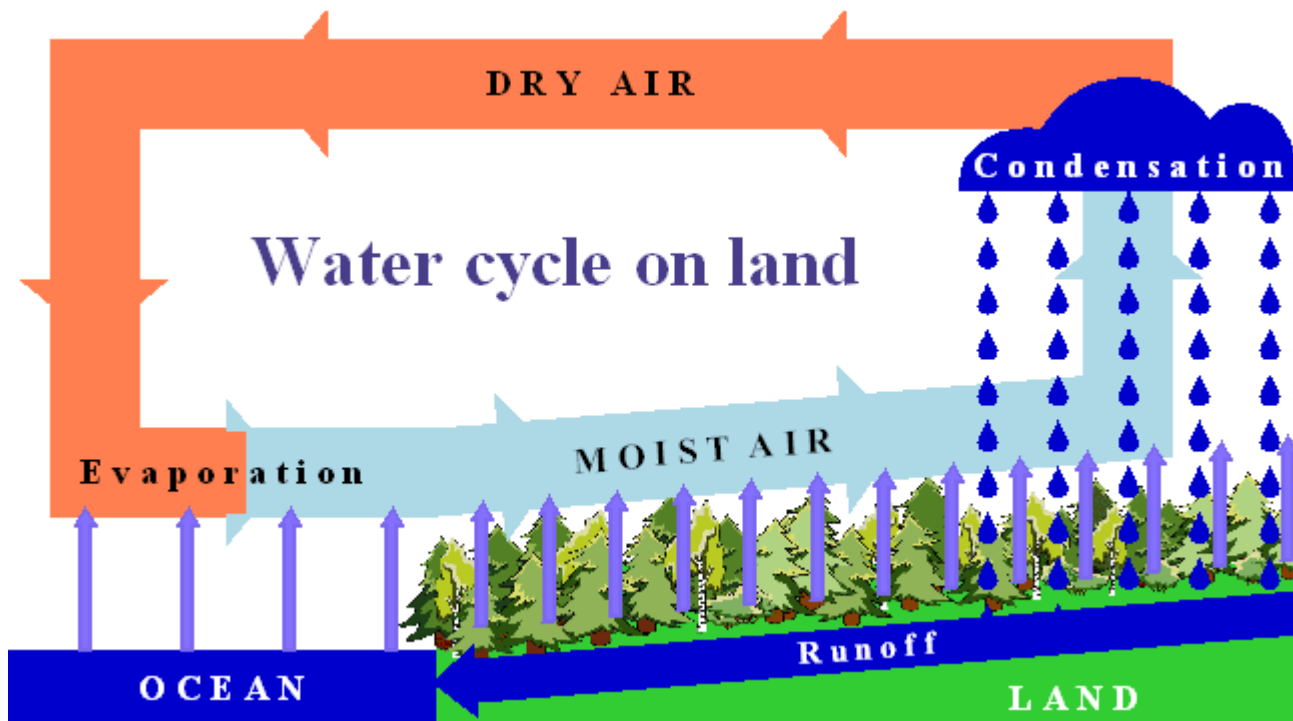
L.h⁻¹



6. Srpen 2013

Skupenské teplo výparu ja 2,5kJ/g. Gram/s = 2,5kW

Stromy (vegetace) a klima

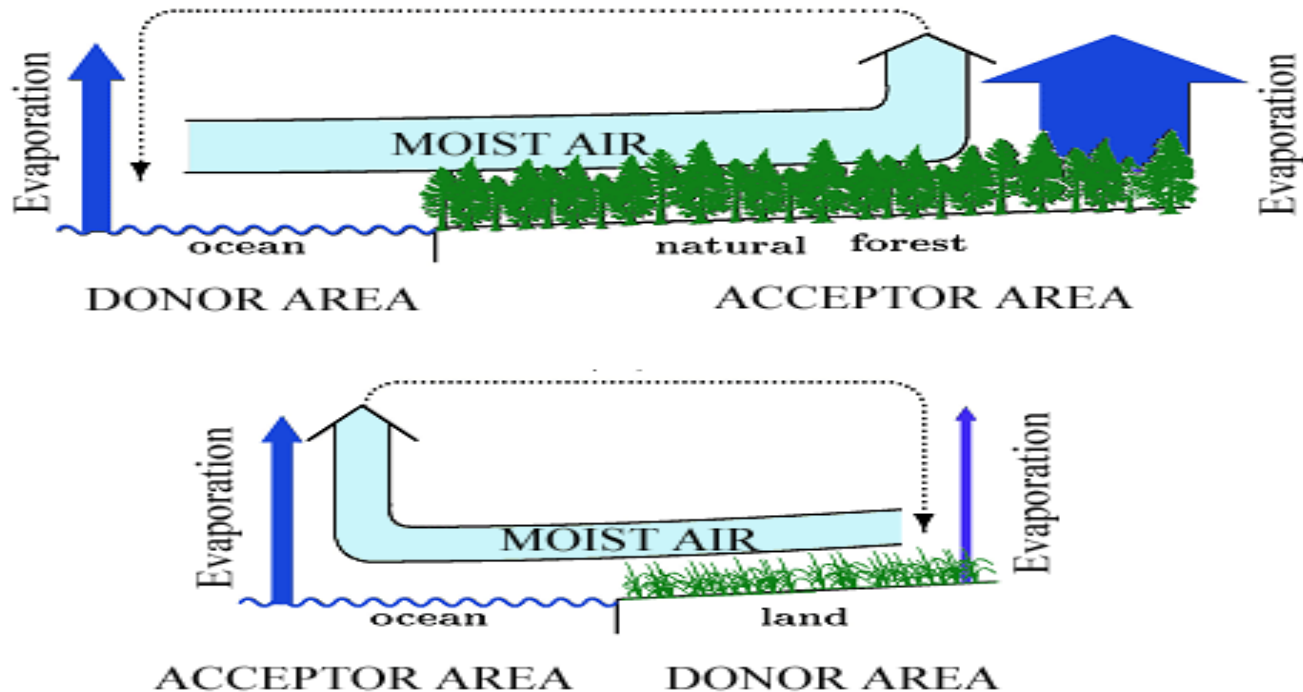


Pevnina je nad mořskou hladinou a gravitací z ní voda odtéká

- Na pevnině je málo vody, odtekla by během několika let
- Voda na pevnině se doplňuje z oceánu vzdušným prouděním v nižší troposféře
- Vítr přináší vodu odpařovanou v oceánu
- Vlhký vzduch stoupá nad pevninu, ochlazuje se vodní pára kondenzuje, prší
- („na suché pole neprší“)

Přetahování o vodu

Nad chladnou vegetací je nižší tlak vzduchu a proudí nad ní vzduch. Pokud je pevnina suchá, bez vegetace, tak odevzdává vodu oceánu a vysychá



Chceme vodu přijímat nebo odevzdávat?

- Vznik **AKCEPTORSKÝCH** (nízký tlak vzduchu, převládá vzestupné adiabatické proudění) a **DONORSKÝCH** (vysoký tlak, převládá sestupné adiabatické proudění) oblastí
- Rozdíl teploty mezi oblastmi se vzestupným a sestupným prouděním (až 3°C)
- Rozdělení atmosféry do oblastí se srážkami a bez srážek
- **DONORSKÉ** a **AKCEPTORSKÉ** oblasti jsou spojeny horizontálním prouděním

Vliv vegetace na tvorbu oblačnosti a stabilizaci klimatu

- Vegetace dobře zásobená vodou snižuje odrazivost -> teoreticky negativní vliv na klima
- Zvýšený výpar ovlivňuje tvorbu konvektivní oblačnosti -> menší ohřev povrchu, větší odraz -> pozitivní vliv
- Vegetace během dne snižuje teplotu vlivem výparu, v noci naopak teplotu zvyšuje vlivem kondenzace -> stabilizace teplotního režimu

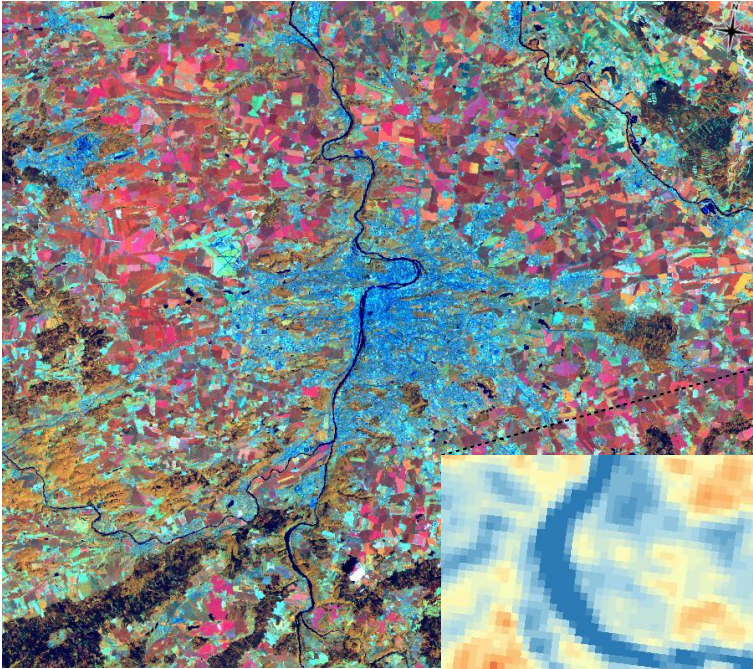
Ekosystémová služba stromu

- Strom transpiruje/vypaří např. 200 litrů za den
- 0.7 kWh/l skupenské teplo výparu vody
- $200 \times 0.7 = 140$ kWh
- 140 kWh se neuvolnilo jako zjevné teplo. Strom „uchladil“ 140kWh.
- Kolik bychom zaplatili za elektrickou energii 140kWh spotřebované klimatizačním zařízením? (c.420 Kč)
- Strom má dvojí klimatizační efekt (a) chladí, b) ohřívá mísa chladná

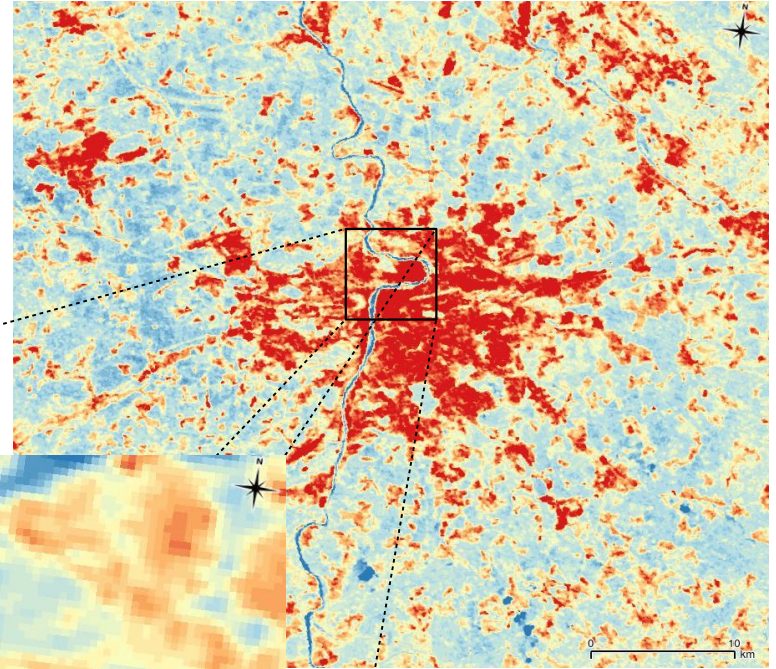
Případové studie

Stromy a městské mikroklima

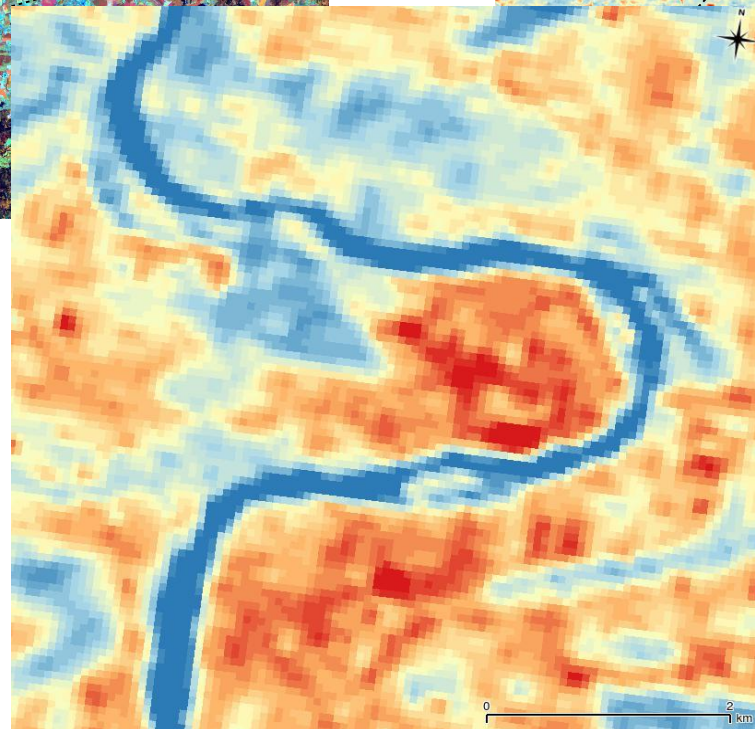
Tepelný ostrov města (Praha 18. 6. 2002)

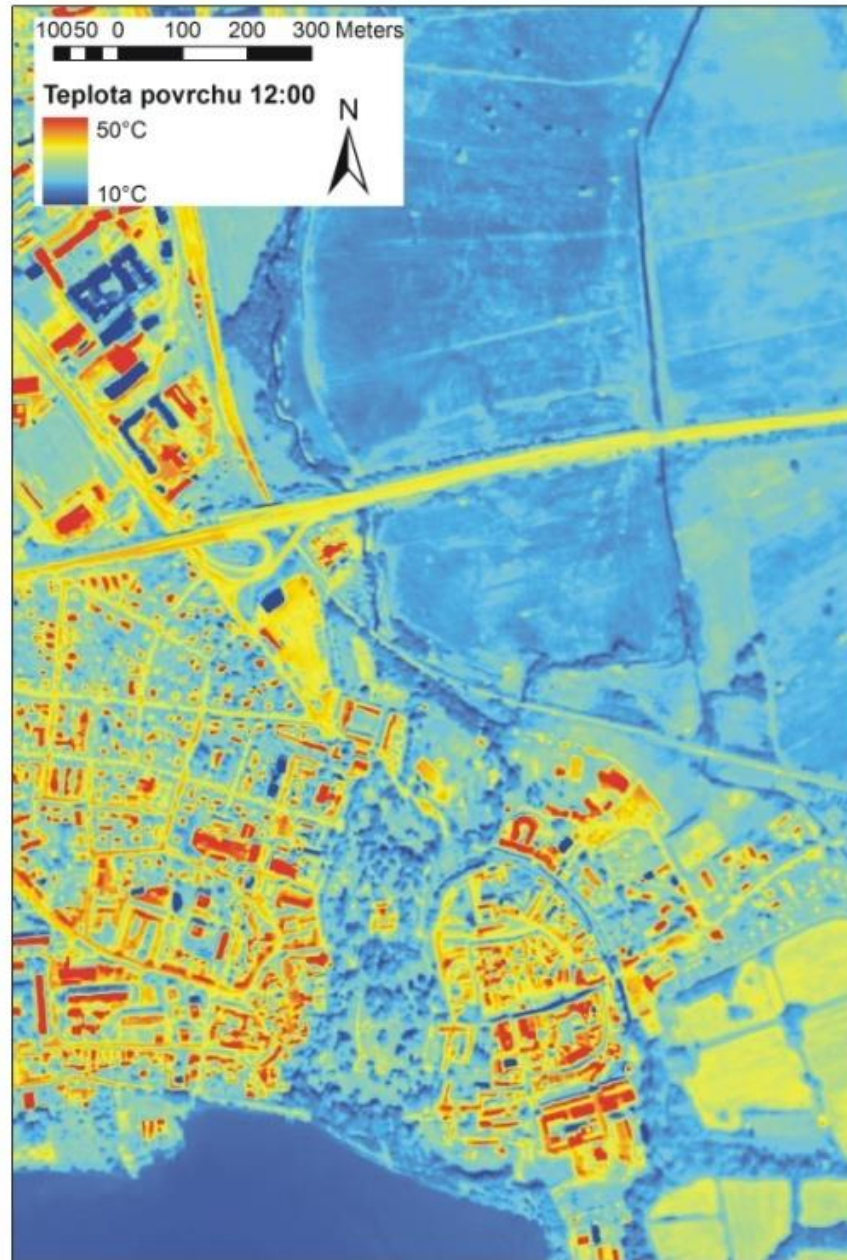
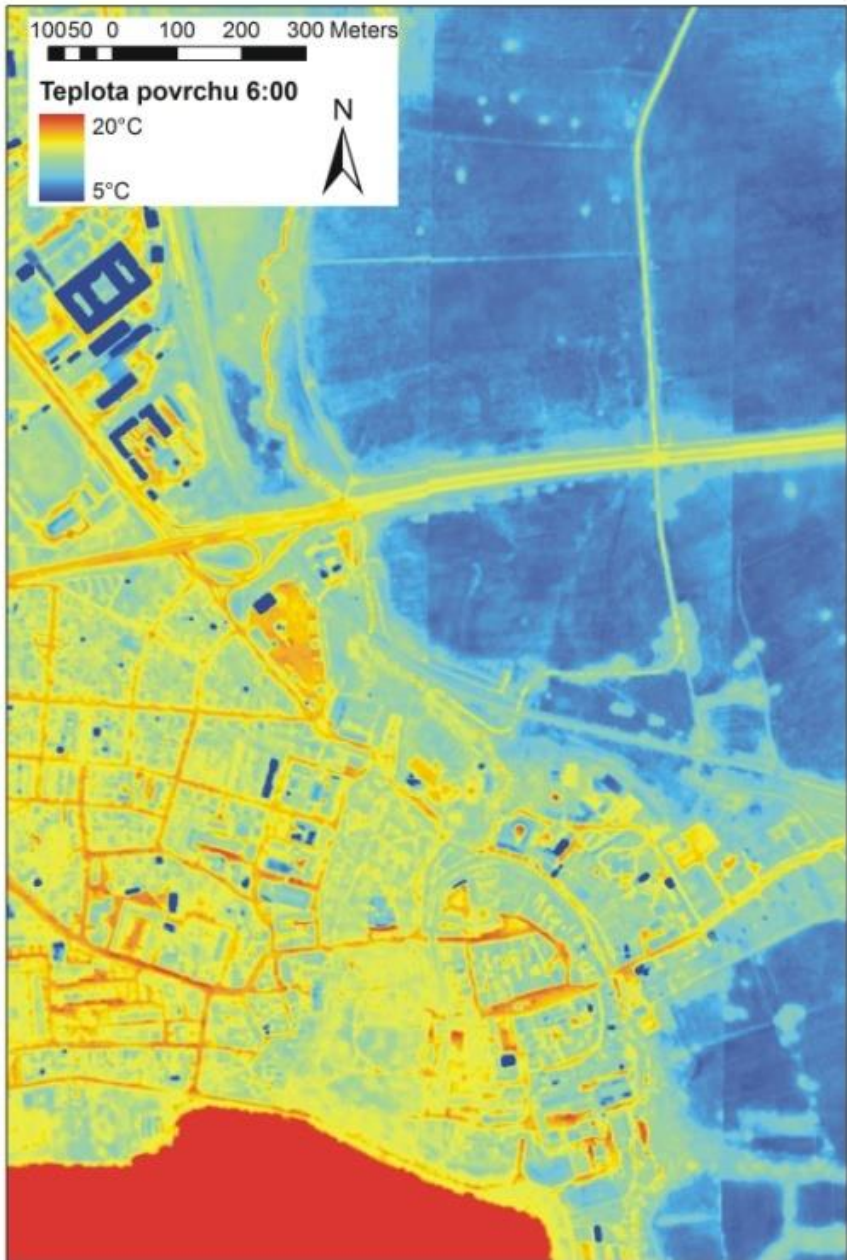


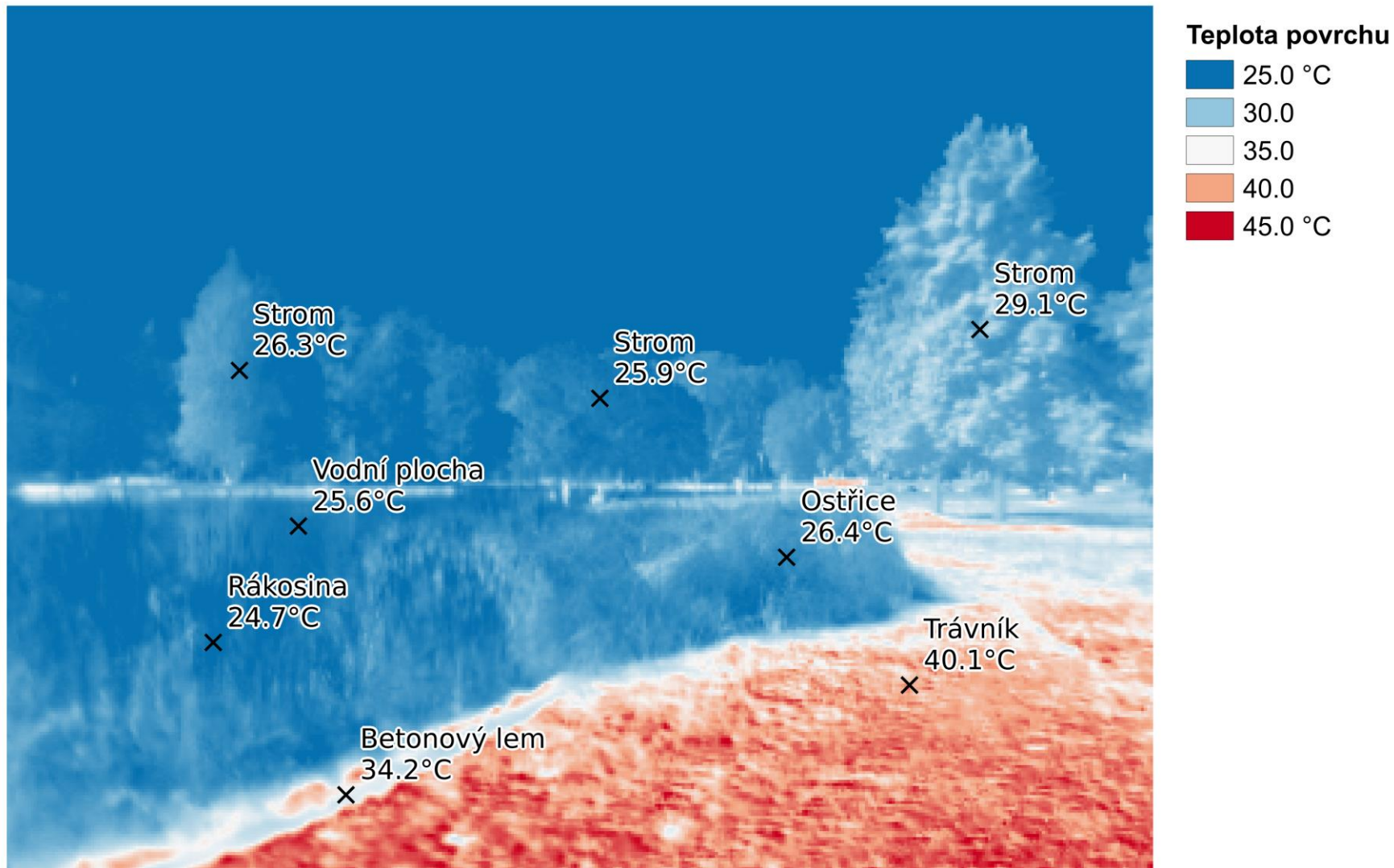
Landsat 5 TM, RGB 453



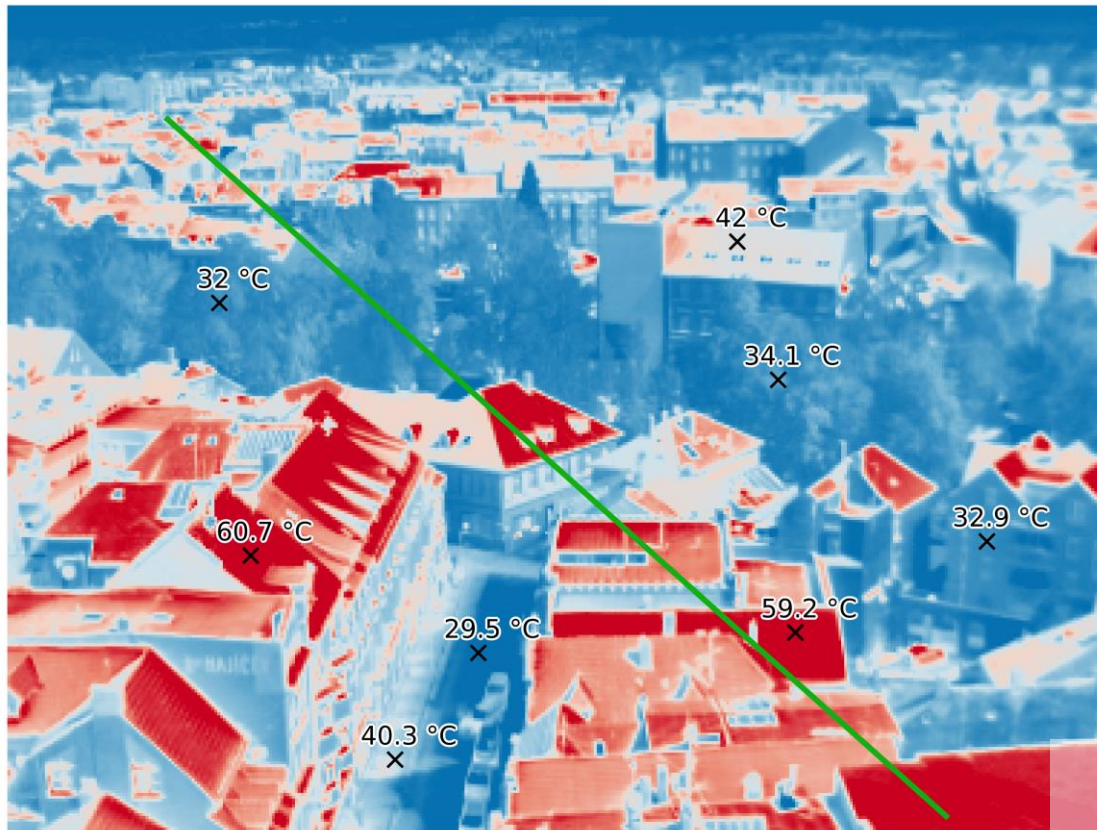
Landsat 5 TM, TIR



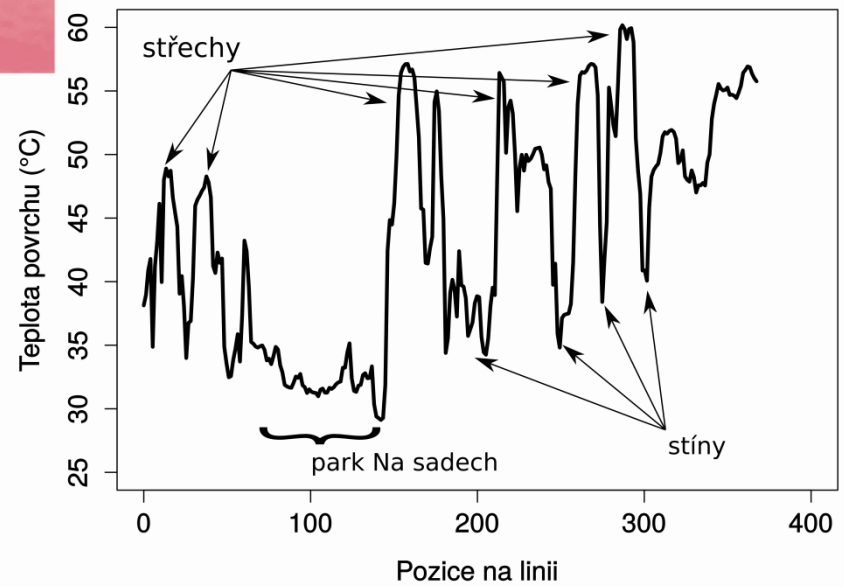
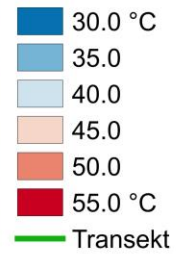




Park Stromovka 13. 8. 2015



Teplota povrchu

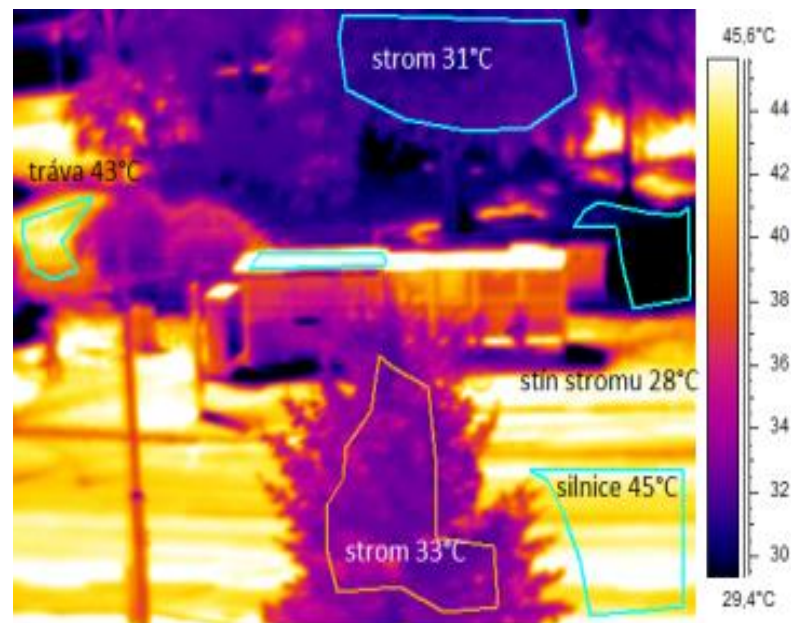


Studie pro Magistrát Hradec Králové

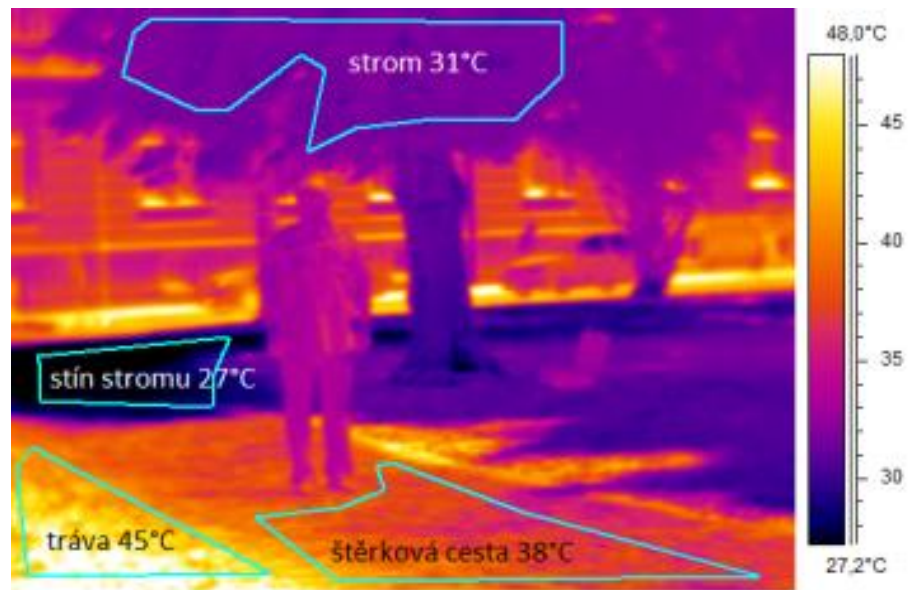
Severní terasy a jejich vliv na místní
klíma. Vykácení cca 100 stromů?

červenec 2015

Strom před budovou magistrátu má teplotu 33 °C, stromy v Žižkových sadech mají teplotu 31 °C, trávník na svahu Severní terasy 43 °C, ve stínu stromu 28 °C.

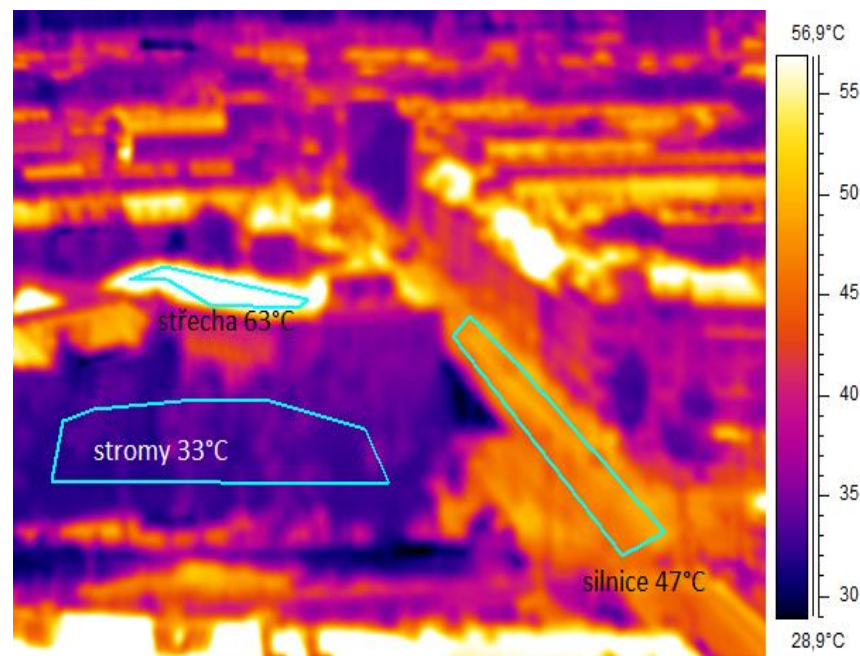


Vcházíme do Žižkových sadů a porovnáváme povrchovou teplotu osoby s teplotou osluněného trávníku a stínu stromu.



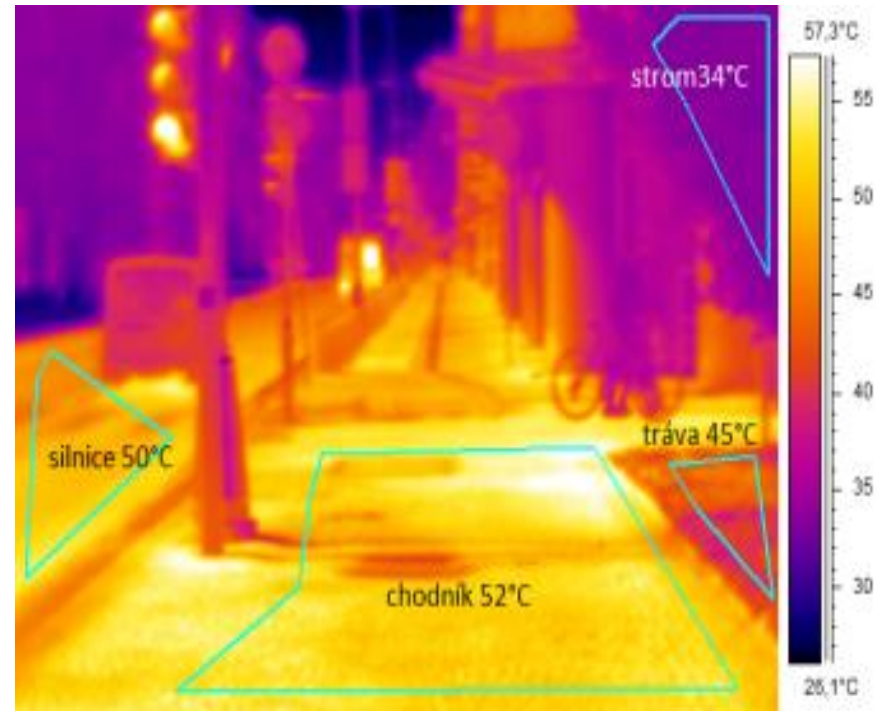
Teplota v trávníku ve stínu stromu je 27 °C,
teplota trávníku na slunci je 45 °C,
teplota povrchu cesty 38 °C, teplota povrchu stromu 31 °C.

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



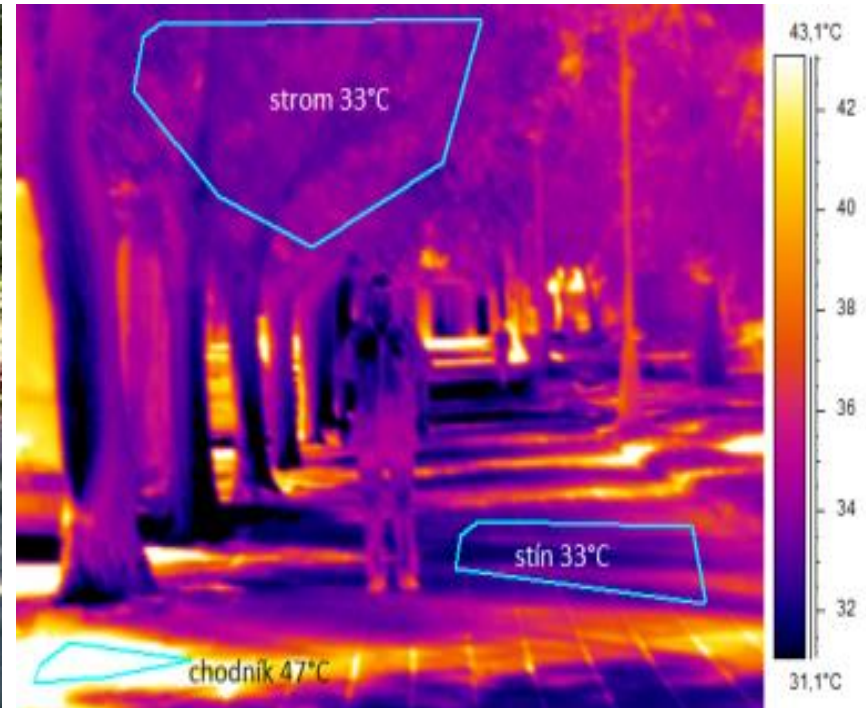
Povrch silnice a chodníku na Gočarově třídě má teplotu 47 °C

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.

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



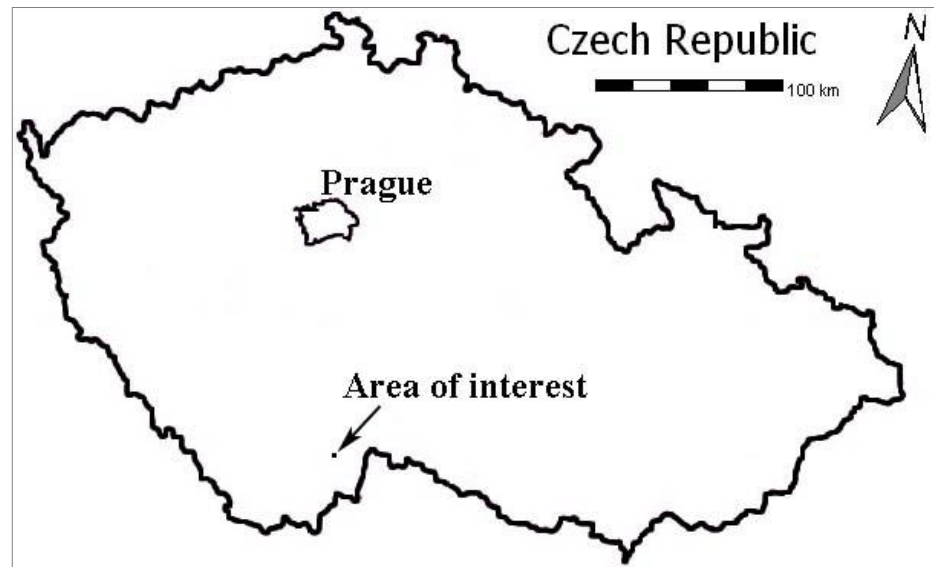
Zapojené porosty Severní terasy o ploše cca 5000 m² **chladily** v době naší návštěvy nejméně **výkonem 1500 kW** (počítám, že se na metr čtvereční spotřebovává 300 W na evapotranspiraci). Je to **ekvivalent 440 klimatizačních zařízení umístěných na budově Magistrátu**. Víme, co činíme, když chceme odstranit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

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*)

Třeboňsko

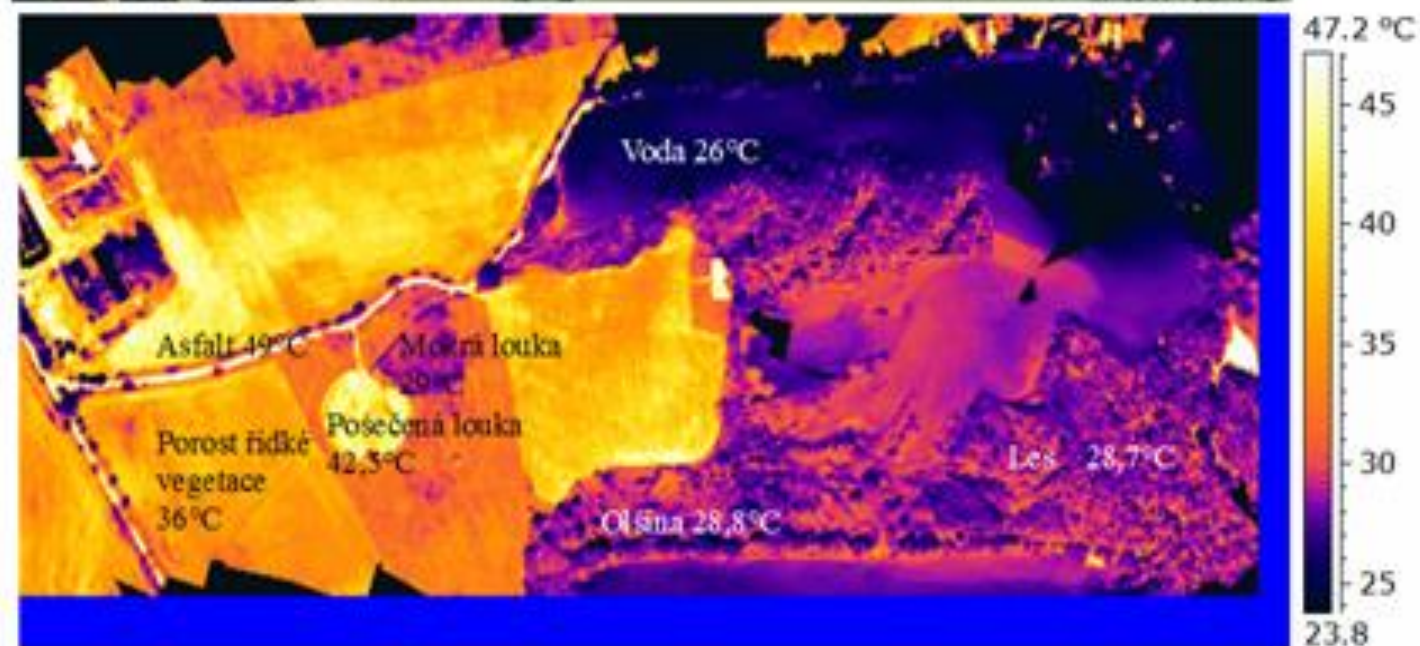
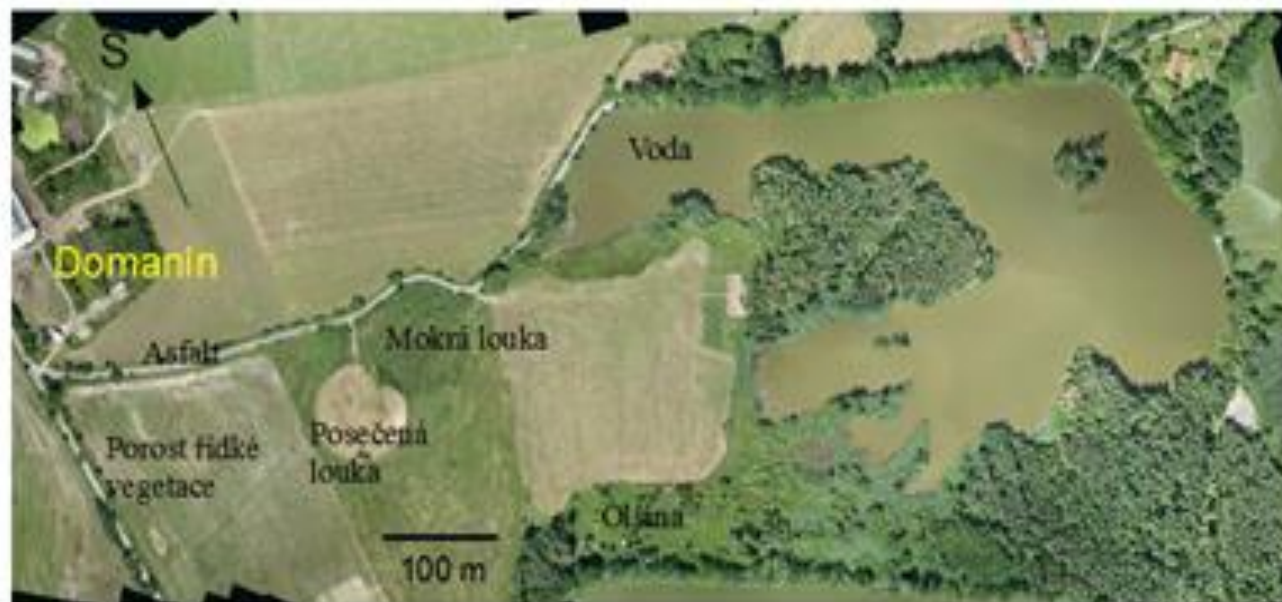


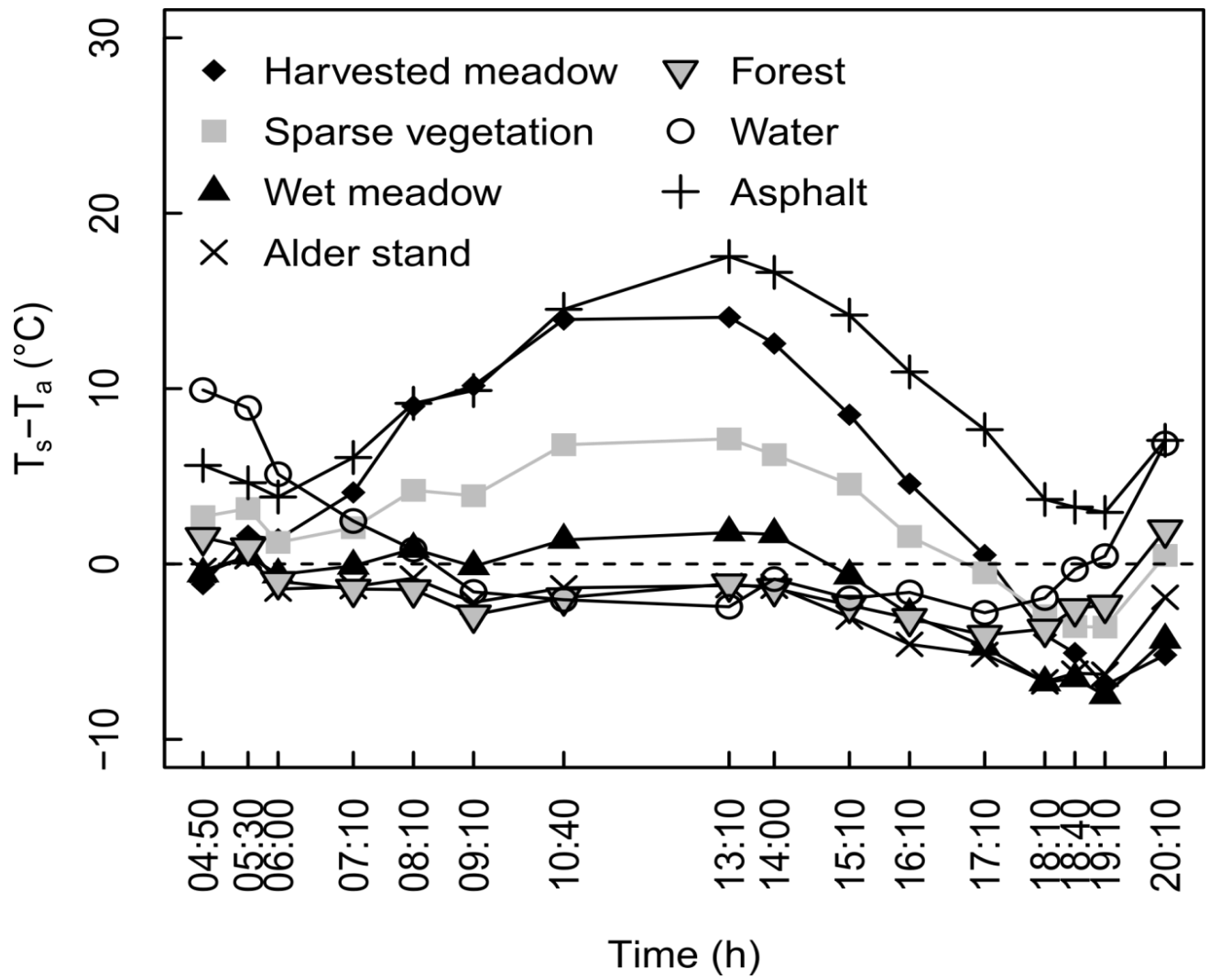
16x snímkování během
9.7.2010
od 4:50 do 20:10



ChKO Třeboňsko, okolí obce Domanín
rovinatá kulturní krajina je ideální pro
dálkový průzkum země

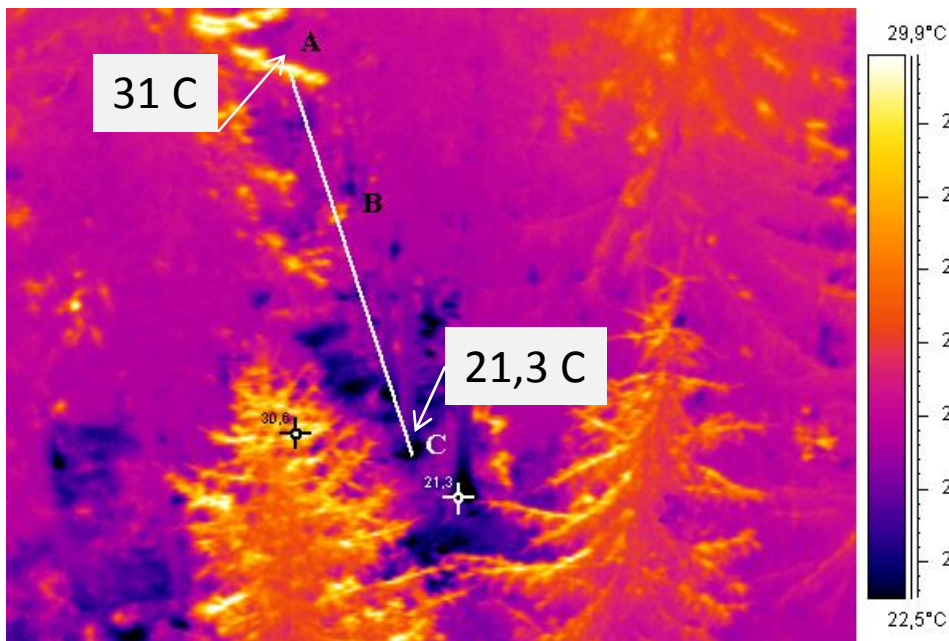




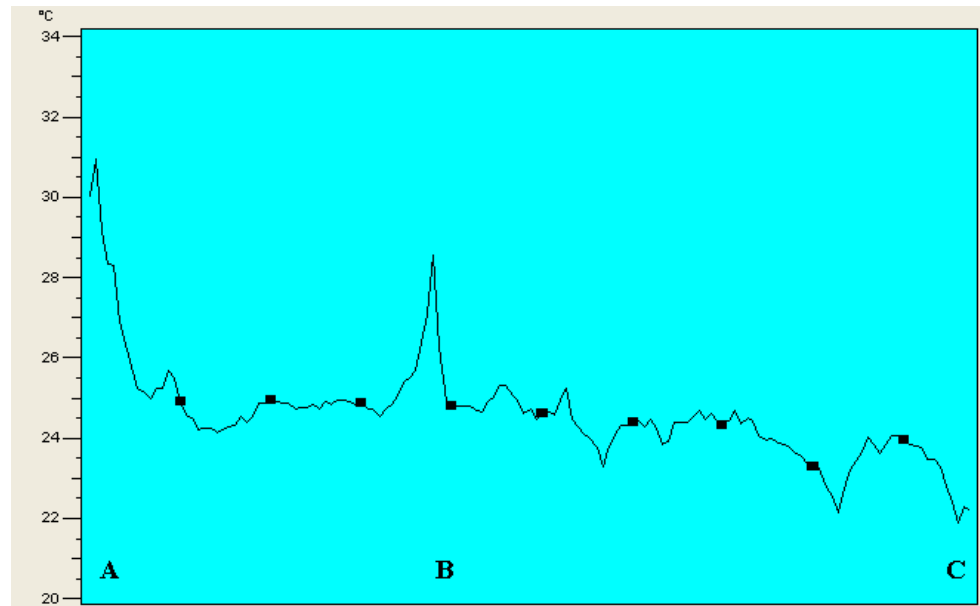


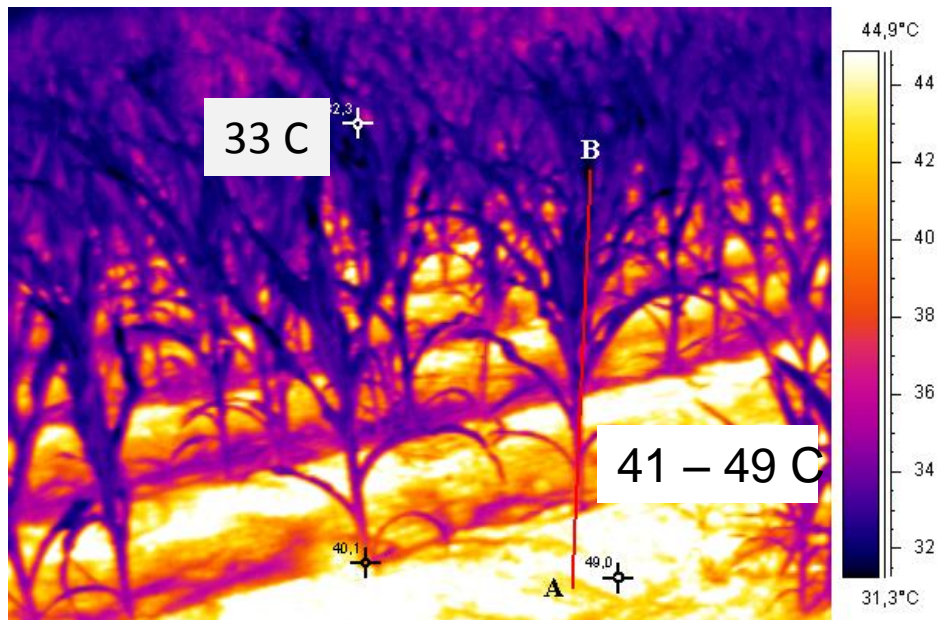
5. Teploty v lese a na poli

- Plýtvají stromy vodou? Kradou stromy vodu?

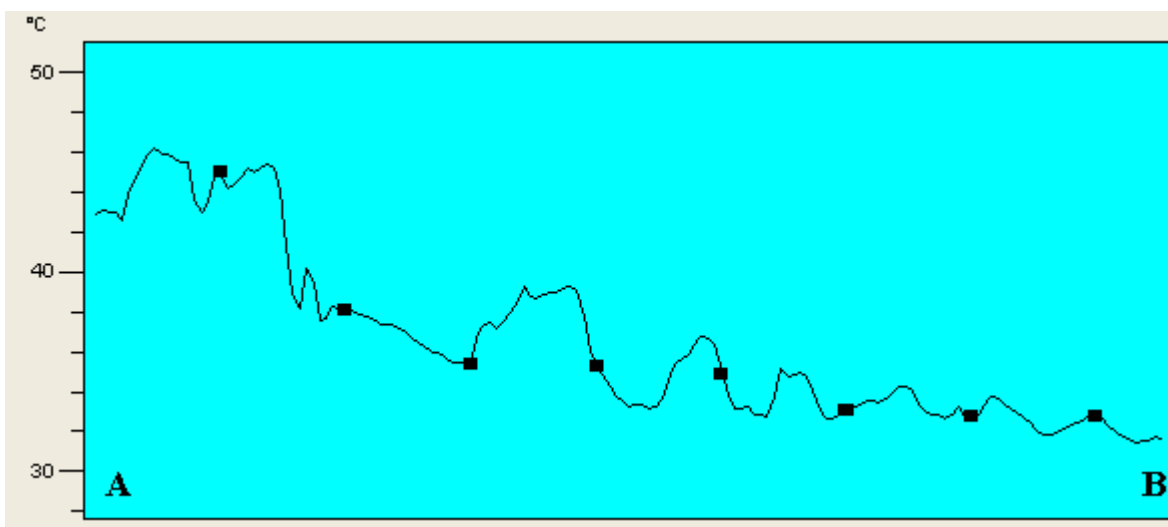


**Inverze teplot
ve dne v lese
udrzuje vodu
v porostu
V korunách 31 C
Při zemi 21 C**





Teplý vzduch unáší vodní páru vzhůru – porost se vysušuje



Teplota na povrchu porostu 33 C, teplota půdy až 49 C

Víme co činíme se sluneční energií v krajině?

Srpen 2015, září 2016, srpen 2017

- 1 800 000ha (18 000km²) sklizených ploch řepky a obilí.
- Snížení výparu = zvýšení toku zjevného tepla (např o 300W/m²)
- V letním dnu uvolňování zjevného tepla 5400 GW, vysoký tlak vzduchu, zablokování postupu srážek
- Ohřátý vzduch stresuje okolní lesy (kůrovec na kraji lesa, vysychání mokřadů) Expanze „jižní Morava“ na západ.

Ašchabád, Turkmenistán 6. 6. 2017 (Irán, Sýrie)
trávník 28,5 °C, obnažená půda kolem stromků až 60 °C



Ohřátý vzduch vysušuje

- Mokřady a lesy se chladí výparem vody, vodní pára pomalu stoupá vzhůru, relativní vlhkost vzduchu je vysoká (aktuální ET je blízké 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 1m/s se „z m²“ za 1hodinu transportuje vzhůru 36 000g vody (36 litrů) = mechanismus vysychání krajiny**
- **Destabilizace klimatu**

Odstranění vegetačního krytu vede k:

- Destabilizaci teplotního a vlhkostního režimu území
- Omezení srážkové činnosti – menší dlouhodobé úhrny (např. Amazonie), extrémní srážky, monzuny
- Narušení půdy
 - Degradace půdní struktury (oxidativní rozklad organické hmoty, zasolování, změna půdní sorpce atd.), eroze, vyplavování živin
- Urychlení odtoku vody z území (záplavy)
- Nebezpečí sucha

Lokální a regionální efekt změn vegetačního krytu a vodního režimu má větší efekt než globální změny

→ Environmentální a ekonomické důsledky

Při hospodaření v krajině a s krajinou je potřeba mít na paměti, že každý zásah se projeví změnou klimatu!

- Vytváříme z krajiny step a poušť a divíme se, že se krajina tak chová (odvodněno na 1500 000 ha, rozoráno 800 000 km mezí, 14 000 km upravených malých toků, 120 000 km polních cest, 30 000 km liniové zeleně, 35 000 ha remízků)
- Stromy jsou exponovány vysoké povrchové teplotě a ohřátému suchému vzduchu. Usychají
- Potřebujeme ochladit krajinu zadržením vody a podporou trvalé vegetace, která chladí
- Nárůst koncentrace skleníkových plynů způsobil navýšení toku tepla o 1- 3W.m⁻², vysušením zvyšujeme tok tepla o stovky W.m⁻²

Staré a nové paradigma

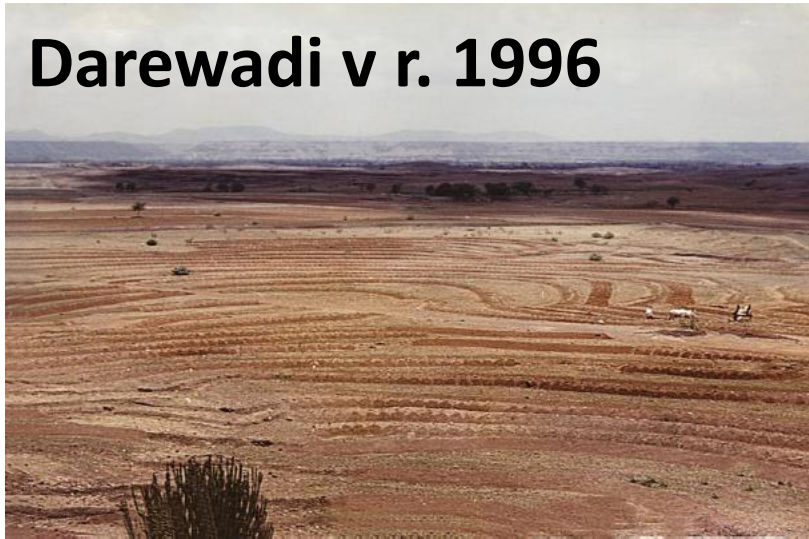
- **Voda v krajině nemá vliv na klima**
- **Zkoumá se vliv klimatické změny na oběh vody**
- **Rozsah urbanizace a lidské činnosti má minimální vliv na oběh vody**
- **Vliv člověka na oběh vody je nepatrný**
- **Nepříznivé klimatické trendy se budou stupňovat, zmírnění lze očekávat za staletí**
- **Dominuje zájem o velký oběh vody**
- **Příčinou růstu extrémů klimatu je globální oteplení**
- **Odvodnění vede k přehřívání**
- **Zkoumá se vliv změn vodního cyklu na klima**
- **Urbanizace a odvodnění má zásadní vliv na oběh vody**
- **Člověk zásadně mění oběh vody**
- **Obnova oběhu vody pozitivně ovlivní klima**
- **Dominuje zájem o krátký oběh vody**
- **Příčinou narůstání extrémů jsou změny oběhu vody**

Pozitivní vize

- Klimatickou změnu (sucho, povodně, extrémny) lze tlumit obnovou vodního oběhu, obnovou vegetačního krytu.
- Vegetace je perfektní klimatizační zařízení.
- Rozdíly teplot a tlaků způsobují klimatickou změnu, nikoli teplota průměrná

O. Hermann Bacher : „Ak to pôjde v Darewadi, tak to pôjde kdekoľvek...“

Darewadi v r. 1996

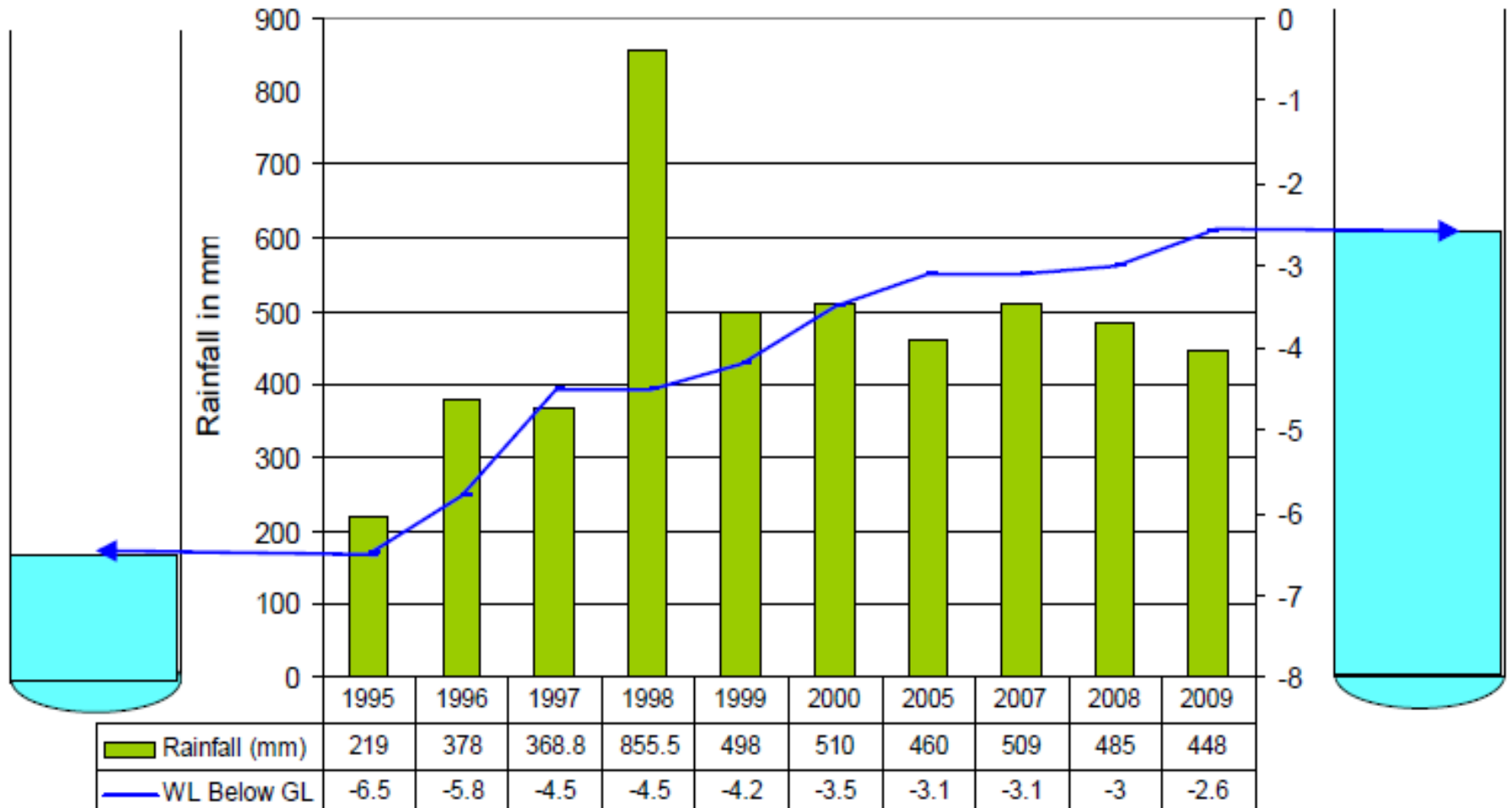


...a v r. 2009



- - náklady v Darewadi (1500 ha) boli len 12 miliónov rupií (cca 270.000 € v kurzoch v r. 1996)
- Výnosy z poľnohospodárstva stúpili približne 6x a dosiahli 56 miliónov rupií (cca 850.000 €)
- Počet studní stúpol 20x, plocha poľnohospodársky obrábanej pôdy 2x, vlastníci televízorov 40x, motorky z 0 na 83. Objavili sa i prvé štyri traktory.
- obyvateľstvo sa začalo vracat' späť z miest

Zvyšovanie hladiny podzemnej vody (Darewadi) increase of underground water level



Zastavit desertifikaci a vrátit zpět funkční vegetaci:

- Zlepšení klimatu a dostatek vody
- Více biomasy, více potravy
- Zvýšení biodiverzity
- Sekvestrace uhlíku
- Recyklace a zadržení živin, úrodnost půdy
- zaměstnanost
- **Nějaký negativní efekt??**

Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J. et al: 2009, Water for Recovery of Climate
www.waterparadigm.org

Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W. 2011 Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability In: Ayse Irmak (ed.)Evapotranspiration – Remote Sensing and Modeling, InTechopen, pp 305 – 328, Rijeka, Croatia

Jihočeská krajina s rybníky – pozitivní příklad

Děkuji za pozornost



Fishponds – artificial lakes were constructed in 16th century