

počítáme
s vodou



MEZINÁRODNÍ KONFERENCE O HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU
POČÍTÁME S VODOU 2021
Celostní pohled na město při plánování modro-zelené infrastruktury
11. 11. 2021

Voda a vegetace tlumí extrémny klimatu - principy a výukové materiály

Jan Pokorný, ENKI, o.p.s.

Organizátor



Hlavní partner



Mediální partneři

ekolist.cz

vodní hospodářství

7.G

SOVAK

Tretiruka.cz

tzinfo

ODPADOVÉ FÓRUM

EnviWeb

moderní obec

Podporující organizace

projekt

CZWA

Trenerka

Konferenci pořádá 01/71 ZO ČSOP Koniklec, p. s., v rámci projektu Počítáme s vodou, jehož cílem je informovat především zástupce veřejné správy a občany o principech přírodě blízkého hospodaření s dešťovými vodami (HDV) a prosazovat systémy decentralizovaného odvodnění a využívání dešťové vody. Je nutné, aby se nejen v odborných kruzích vědělo, co HDV je a jaký má společenský význam, a aby bylo vnímané jako perspektivní řešení odvodnění urbanizovaných území v duchu udržitelného rozvoje.

Konference se koná v rámci projektu Počítáme s vodou, spolufinancovaného Státním fondem životního prostředí České republiky na základě rozhodnutí ministra životního prostředí.



Ministerstvo životního prostředí

SINE SOLE NIHIL SUM

bez Slunce nejsem nic

- Slunce ohřívá Zemi o 290 °C
- bez Slunce by bylo na Zemi 10 K (-263 °C)
- Co děláme v krajině se sluneční energií prostřednictvím vody a rostlin?
- Zemědělec a lesník, územní plánovač určují množství a kvalitu odtékající vody a ovlivňují místní klima

T A

Program **Éta**

Č R

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**

Projekt TL01000294 je řešen s finanční podporou TA ČR

*(Program na podporu aplikovaného společenskovedního a humanitního výzkumu, experimentálního
vývoje a inovací
TAČR ETA)*

Řešitelé: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích (RNDr. Renata Ryplová,
Ph.D.)

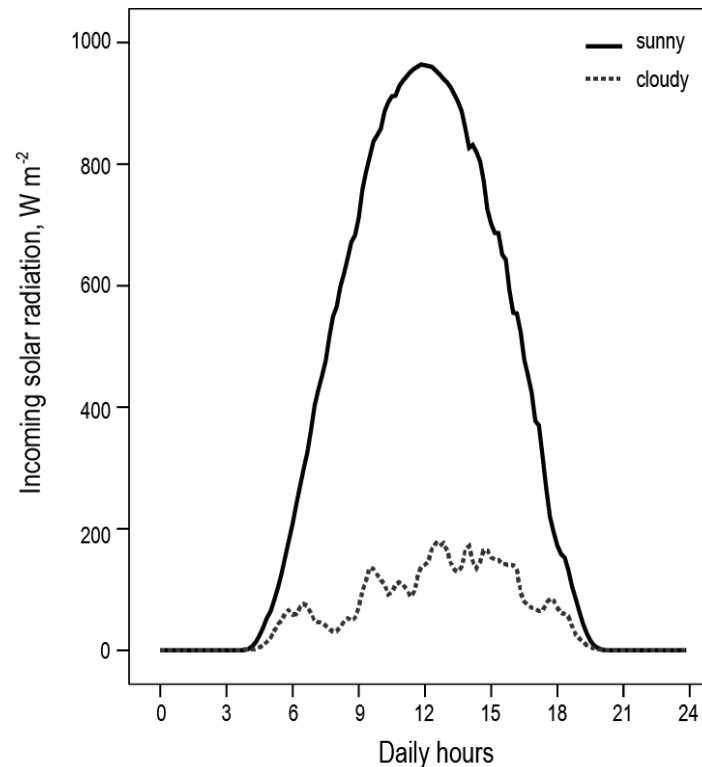
ENKI, o.p.s. (doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.)

Město Dačice (ing. Jiří Müller)

Sluneční energie přicházející na vnější vrstvu atmosféry

- V průběhu roku:
 1321 W m^{-2} až 1412 W.m^{-2}
(+,- 3%) eliptická trajektorie
- Dlouhodobě stabilní výkyvy několik **W.m^{-2}**
(0.1%) my ovšem měříme s přesností několik % spíše 5% a více
- **Solární konstanta = 1367 W.m^{-2} (v konstatntní vzdálenosti od Slunce)**

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



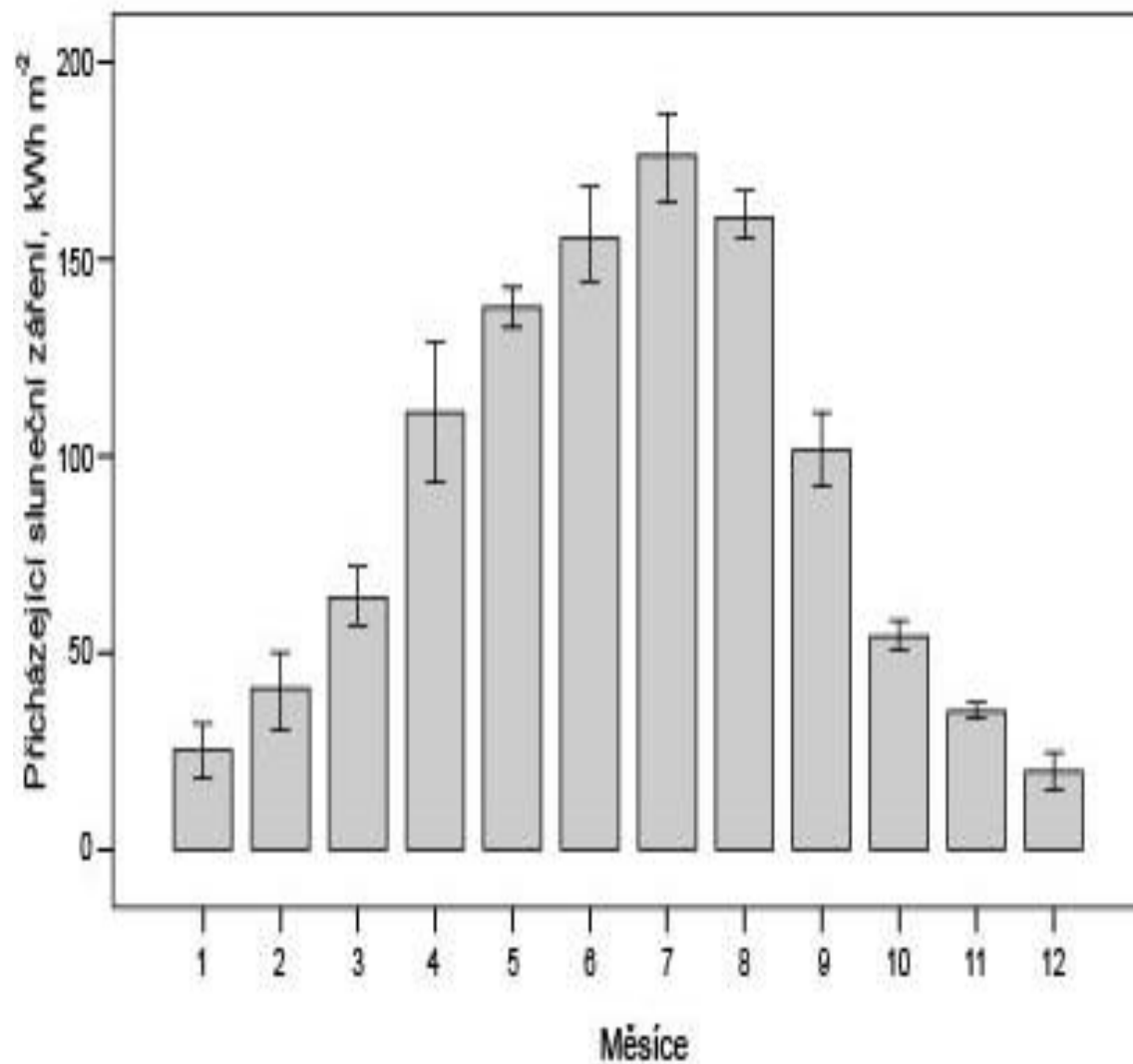
**Oblačnost redukuje příkon slunečního
záření**



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

Měsíční sumy slunečního záření (Třeboňsko)



Zopakujme základní pojmy z fyziky

Tok sluneční energie měříme a
vyjadřujeme ve

$$\text{W m}^{-2}$$

**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

$$2440 \text{ kJ} = 0,68 \text{ kWh}$$

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

**Vodní pára z 1litru vody má objem přibližně 1200
litrů**

Skupenské teplo výparné vody

- Na vypaření 1litru vody při 20 °C se spotřebuje 2439 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 a je v ní „uschováno“ 0,7kWh energie** (= kapacita jedné autobaterie)
- Výpar vody a kondenzace vodní páry zpět na vodu kapalnou jsou perfektní procesy vyrovnávající teplotní rozdíly na Zemi.

ENERGIE V BIOMASE

Roční produkce **biomasy** (tedy i
uhlí)

0,5 %

z celkového množství energie
přicházející za rok

Produkce: 1 kg sušiny z 1 m²

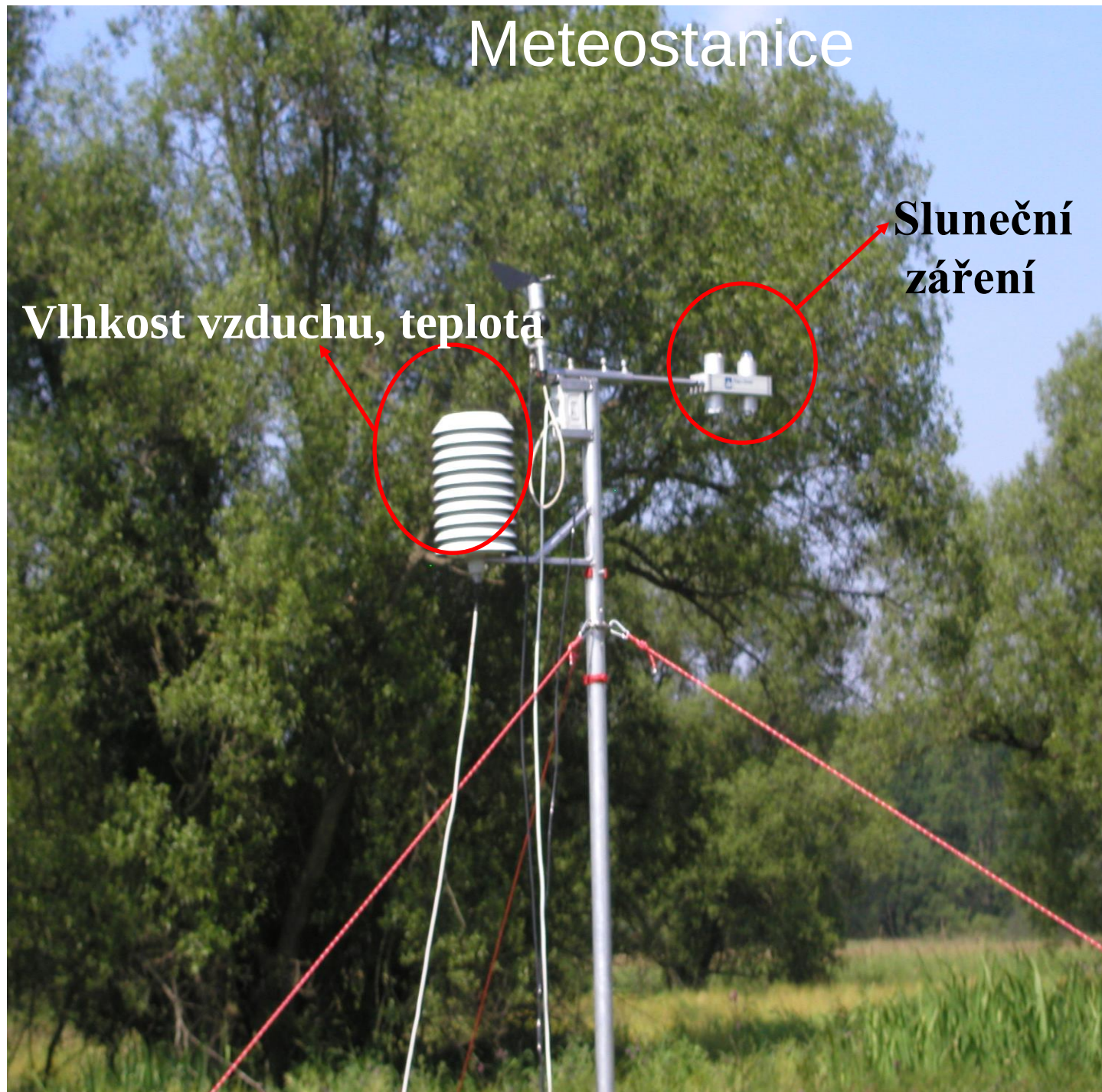
1 kg obsahuje 5 – 6 kWh, využijeme 1 – 2 kWh

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

Meteostanice

Vlhkost vzduchu, teplota

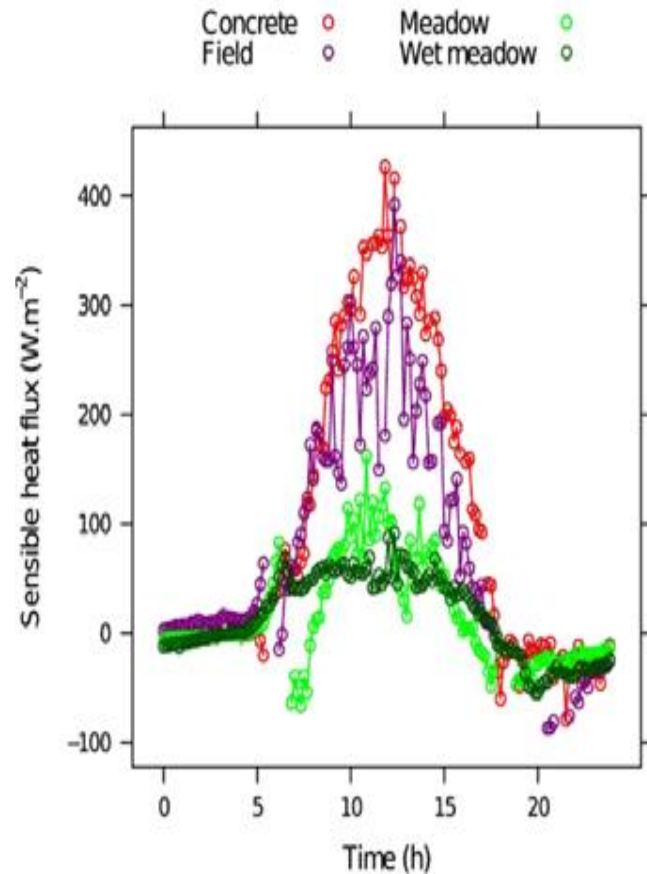
Sluneční
záření



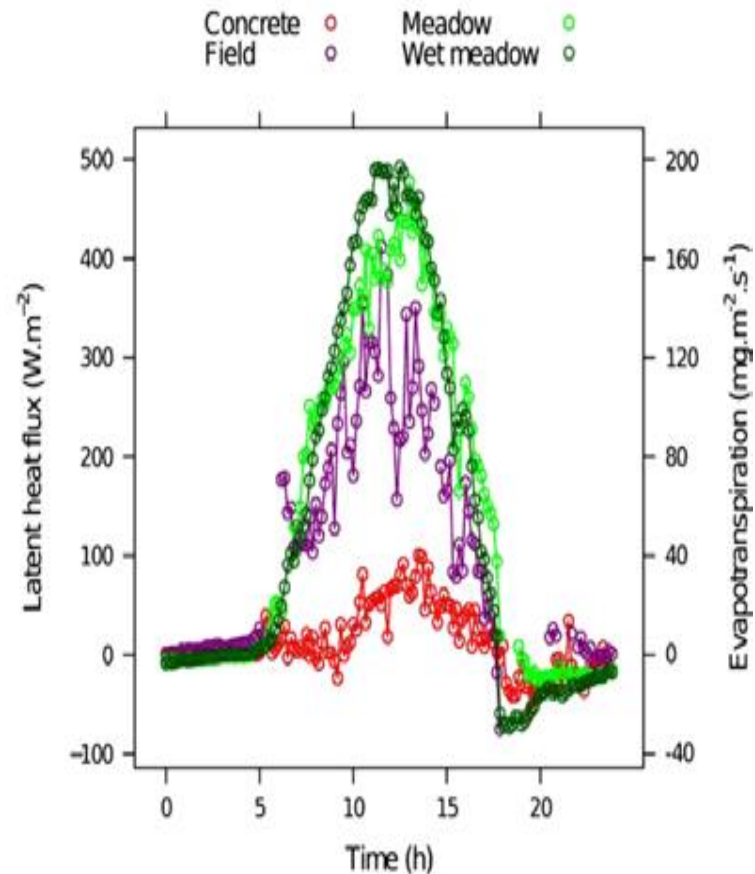
Sensible and latent heat fluxes

Toky zjevného a latentního tepla

Pokorný et al 2011, Internat Journal of Water



Uvolnění tepla

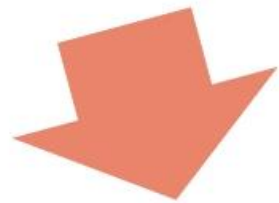


**Klimatizační efekt až 500
 W.m^{-2}**

Vyrovňávání teplot na Zemi

LATENTNÍ TEPLŮ se spotřebovává při výparu vody a uvolňuje při kondenzaci

energy consumption
0,7 kWh

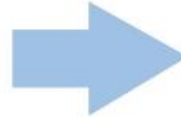


ochlazení

1 liter



Energie ve vodní
páře



energy release
0,7 kWh



ohřev

Objem vodní páry!!
Více než 1000 litrů



kondenzace



Mírné změny tlaku vzduchu

0 - 1000 W.m⁻²
tok sluneční energie

≈
DENNÍ PŘÍKON SLUNEČNÍ ENERGIE
6 kWh.m⁻²

TEPLO

60 - 70 %

ODRAZ

5 - 15 %

VÝPAR

10 - 20 %

OHŘEV PŮDY

5 - 10 %

Teplý povrch

ODVODNĚNÁ PLOCHA

VÝPAR

70 - 80 %

TEPLO

5 - 10 %

ODRAZ

5 - 10 %

OHŘEV PŮDY

5 - 10 %

Chladný povrch

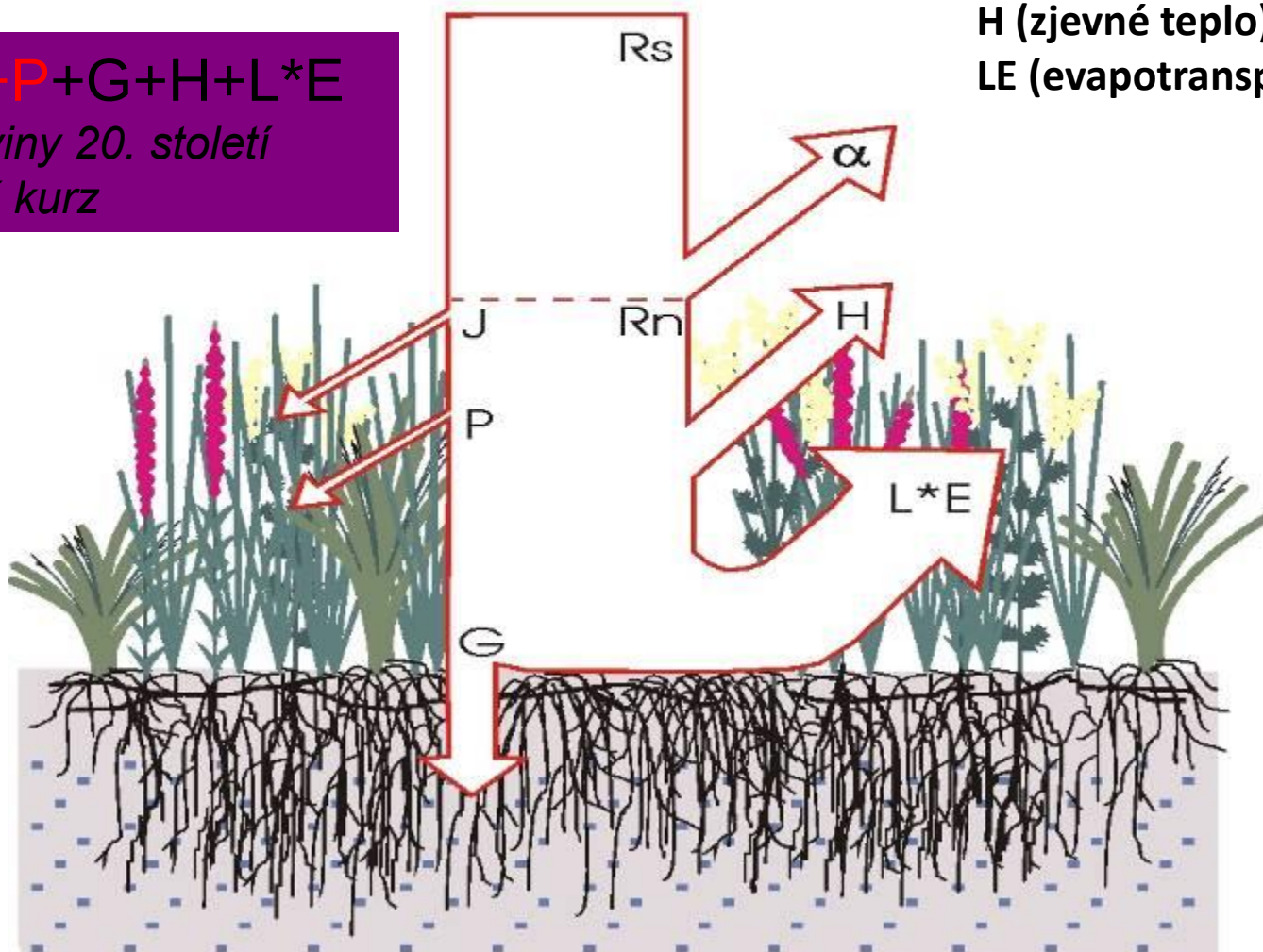
RYBNÍK, LOUKA, LES,
KRAJINA S DOSTATKEM VODY

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

$$R_n = J + P + G + H + L \cdot E$$

od poloviny 20. století
 základní kurz

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



Rozdíl v příkonu sluneční energie za oblačného a jasného dne

- **Sluneční energie za jasného dne**

- *cca 8 kW m^{-2}*

- *maximální tok: 1000 W m^{-2}*

je řádově vyšší nežli při zatažené obloze

- *např. 0.78 kWh m^{-2}*

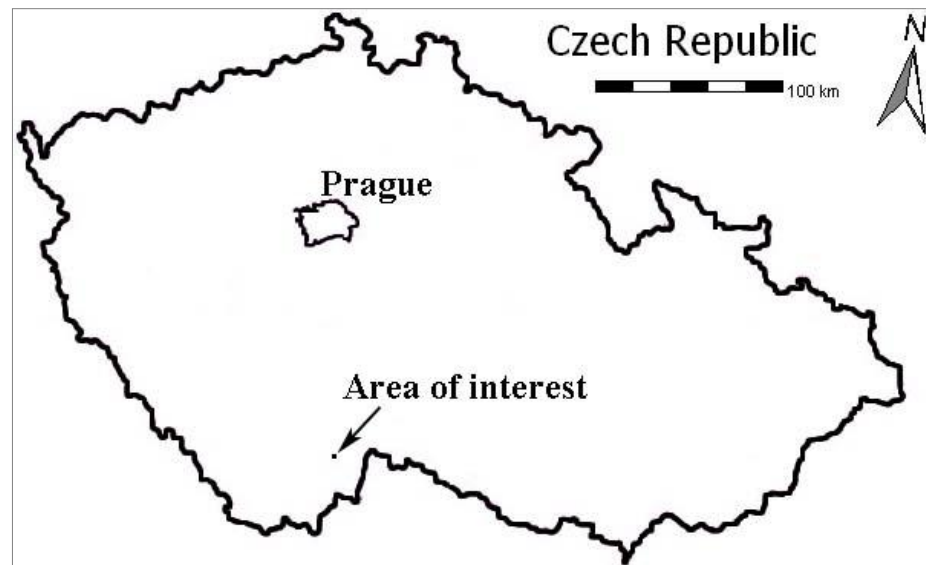
- *maximální tok 100 W m^{-2})*

Sluneční energie ohřívá Zemi téměř o 300 stupňů

- 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
- Na fasádu o 10m x 5m přichází až 50kW



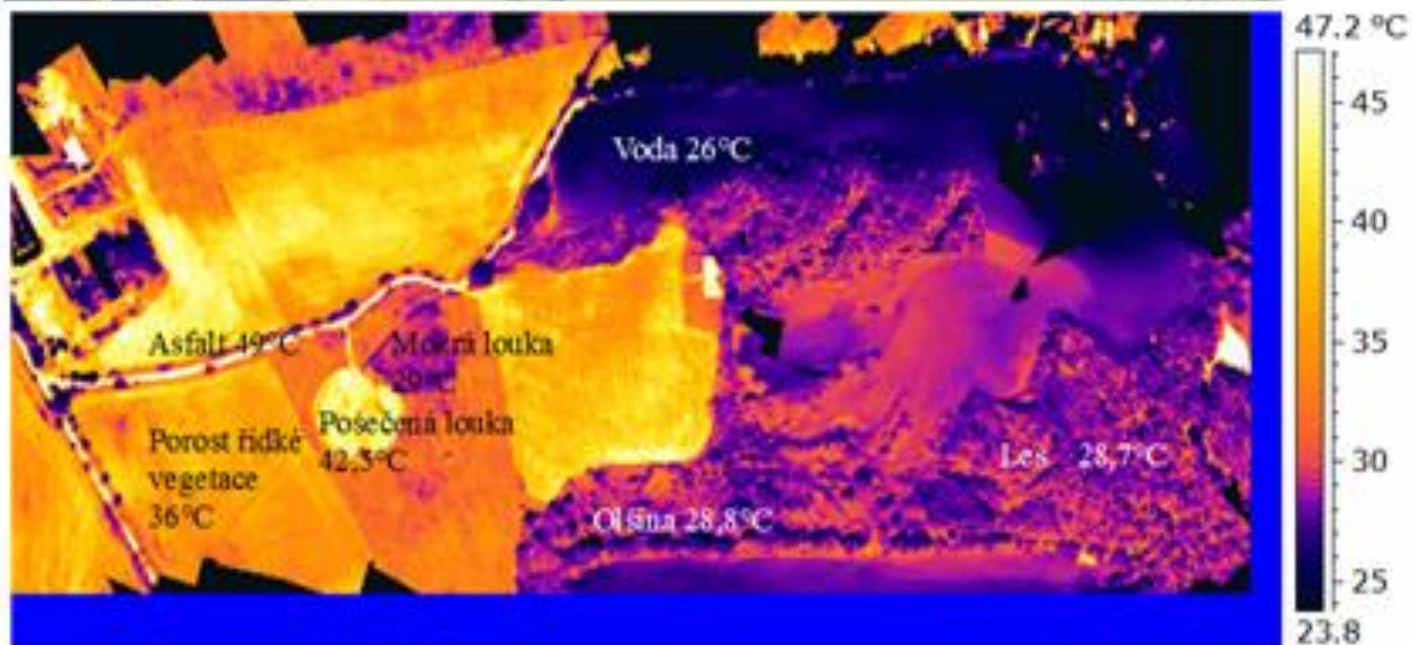
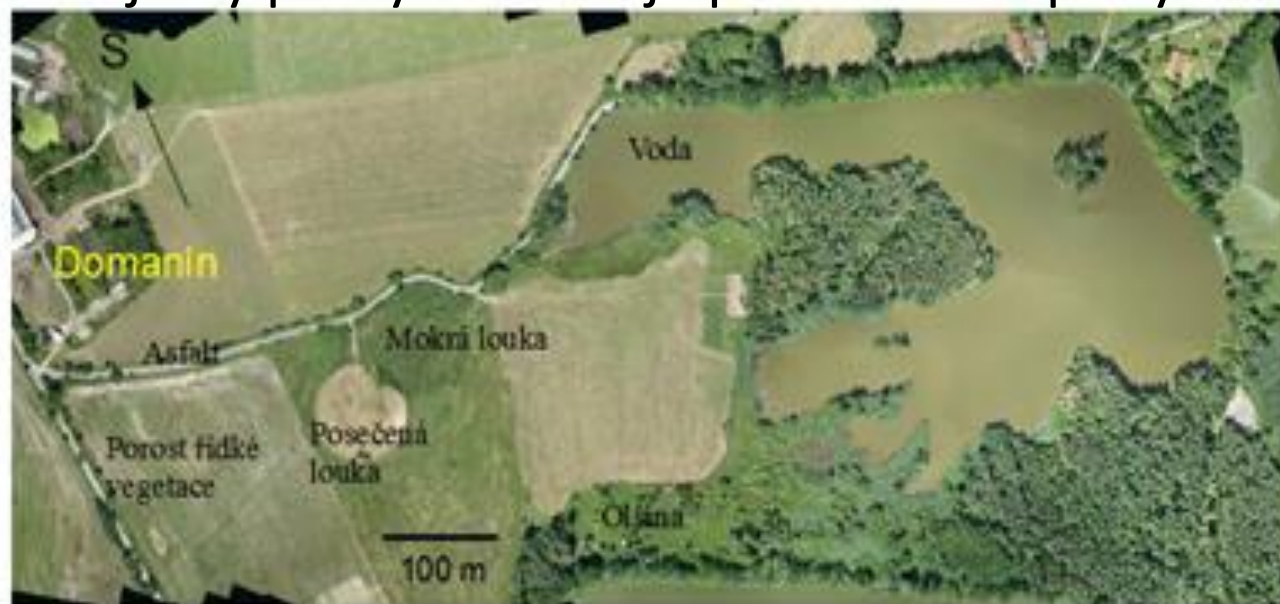
16x snímkování během
9.7.2010
od 4:50 do 20:10



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

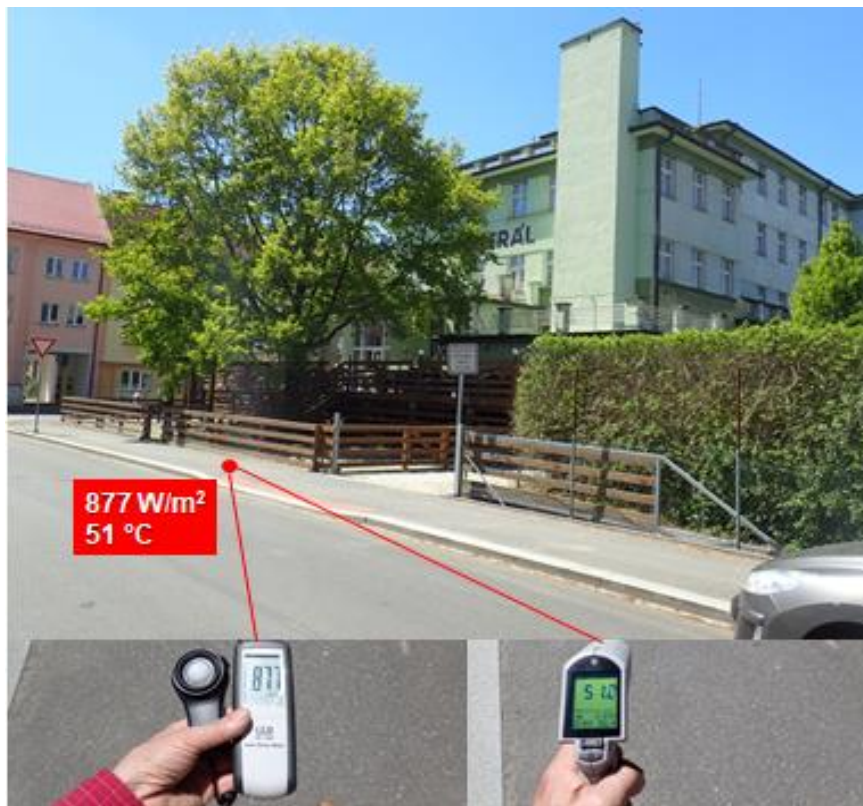


Krajinný pokryv ovlivňuje povrchové teploty



- **Odvodnění a odstraňování vegetace** má za následek vzrůst povrchových teplot v letních dnech s nízkou oblačností. Tento vzestup teplot není zaznamenán standardním měřením teploty v meteorologické budce.
- **aneb**
- **změny teplot jsou vyšší nežli zaznamenaná teploměr „v meteorologické budce“**

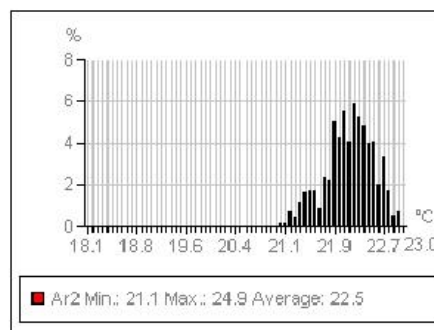
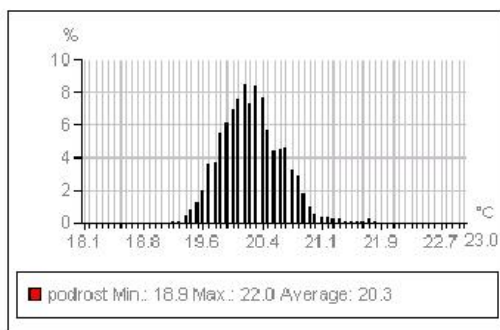
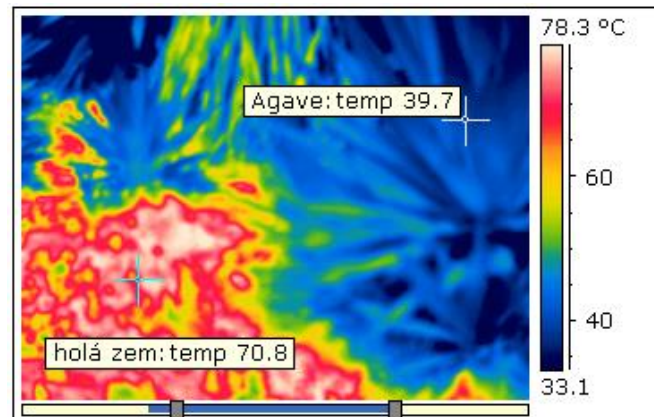
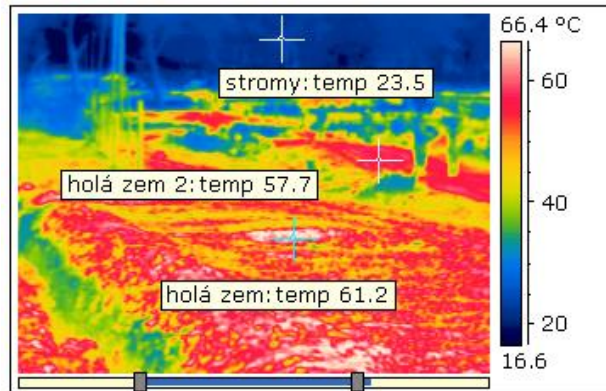
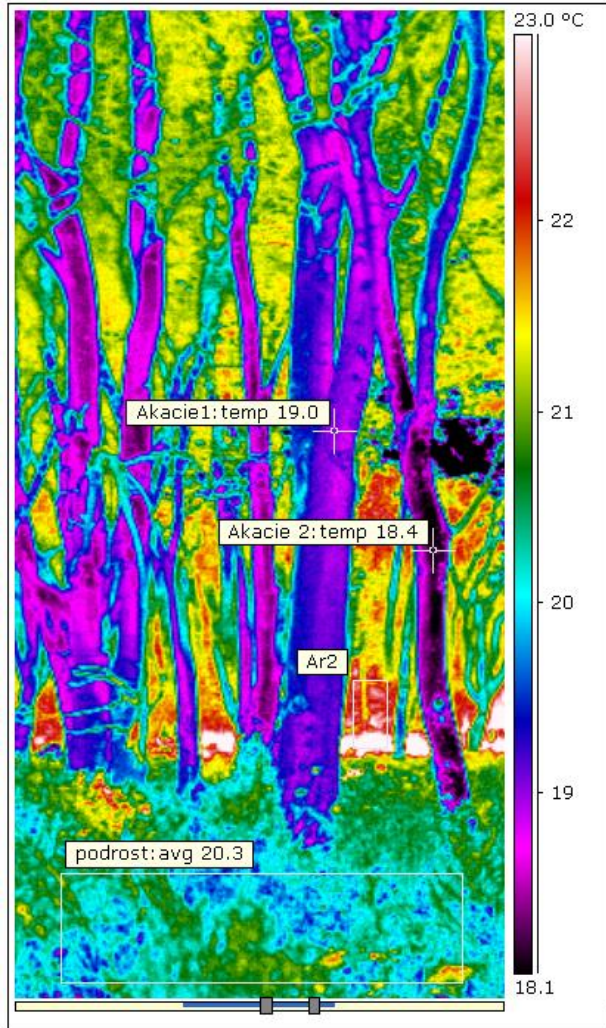
Na osluněném chodníku měříme intenzitu slunečního záření $877 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a povrchovou teplotu 51°C . Ve stínu stromu je povrchová teplota $26,9^\circ \text{C}$ a intenzita slunečního záření $82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Pod stromem je intenzita slunečního záření 10x nižší a teplota o 24°C nižší nežli na osluněném chodníku, jak to vysvětlíme? Strom se chladí



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

Ekosystémová služba stromu

- Strom transpiruje/vypaří např. 200 litrů za den
- 0.7 kWh/l skupenské teplo výparu vody
- $200 \times 0.7 = 140 \text{ kWh}$
- 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



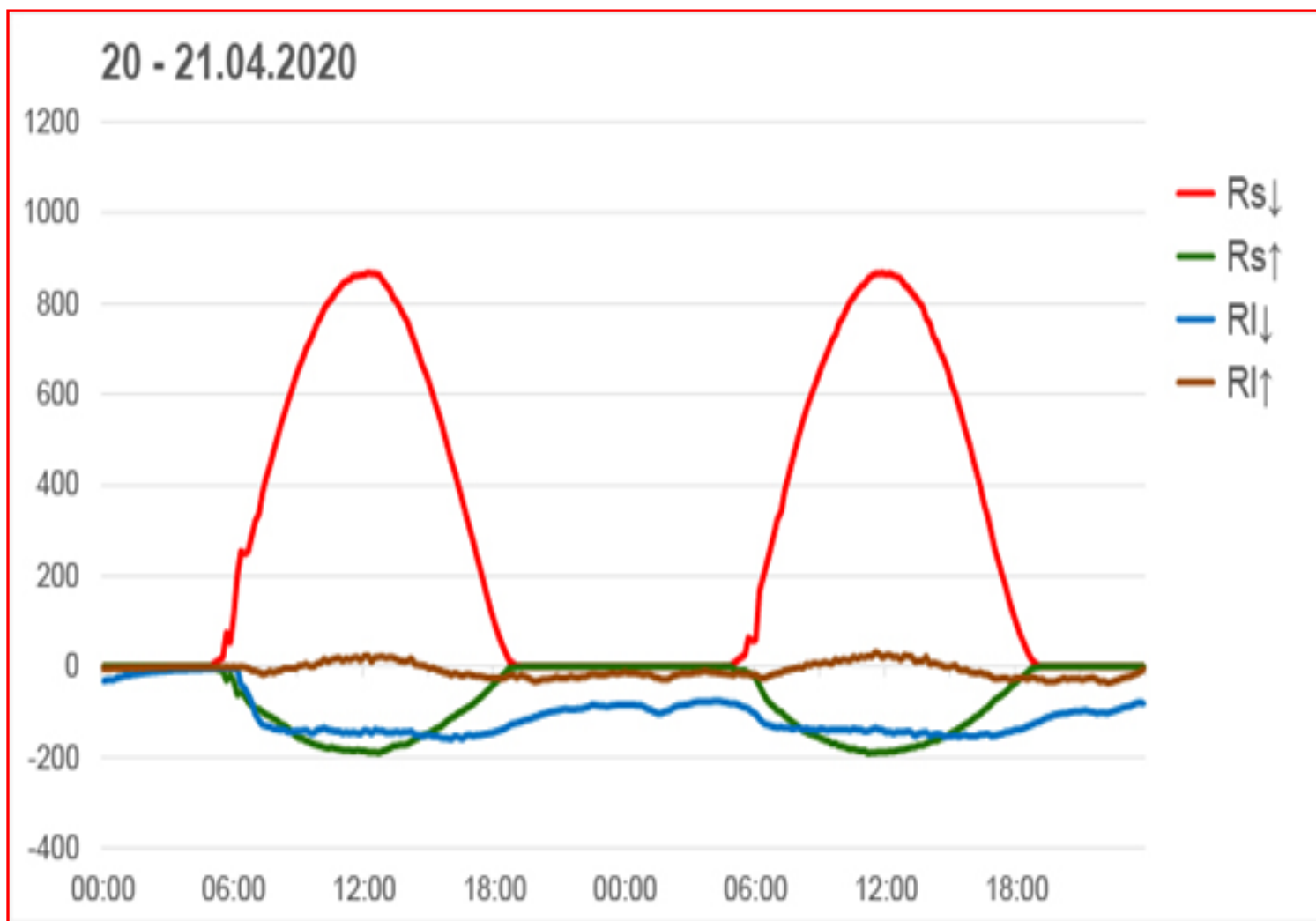
Vegetace chladí:
Porost akacie: 20 C
holá půda, písek: až 70 C

Bilance slunečního záření (viz plakát)

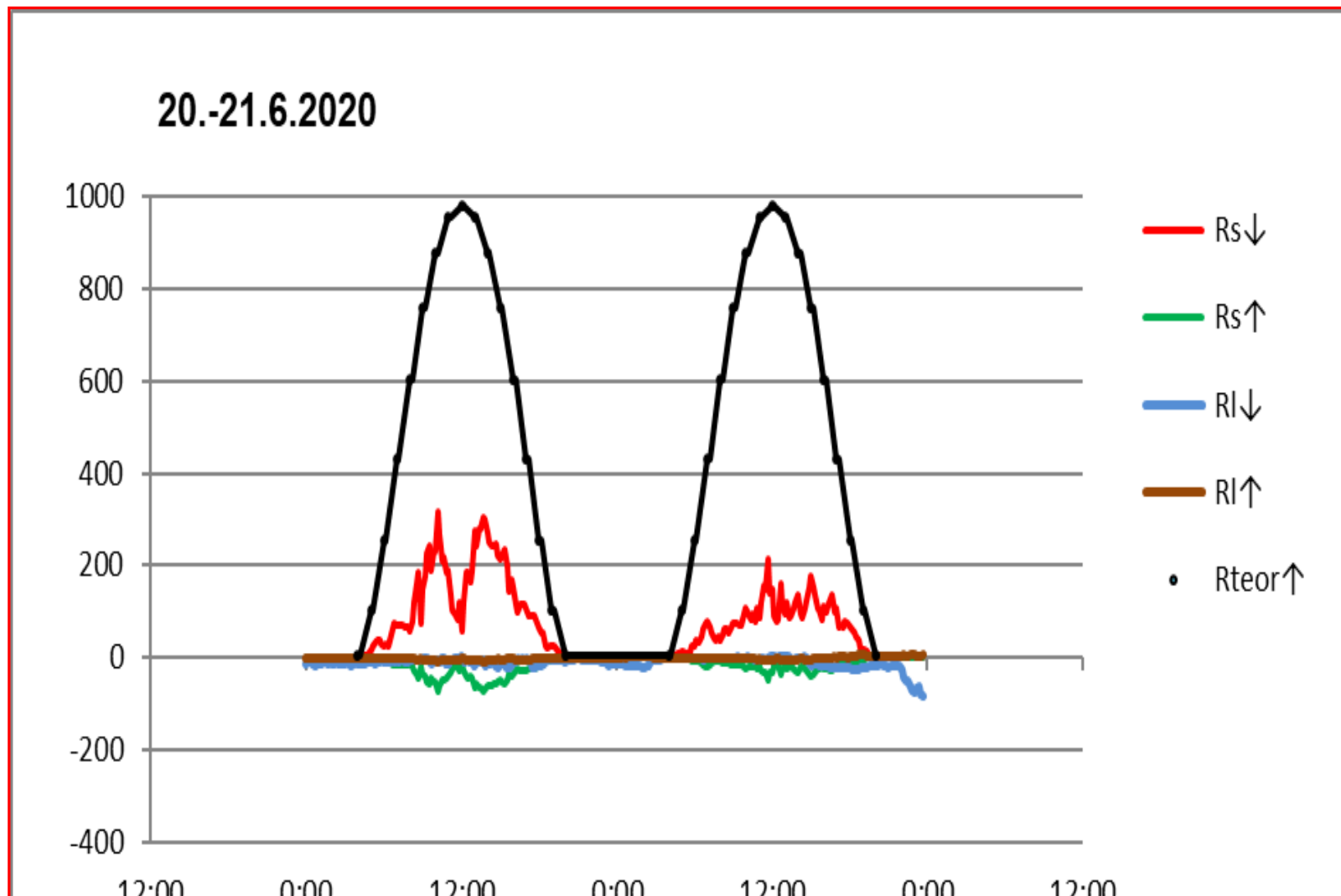


- **Obr. 2 Detail netradiometru.** Čidla pro měření **dopadající krátkovlnné globální radiace** ($RS_{\downarrow}$) a **odražené krátkovlnné radiace** $RS_{\uparrow}$ (pyranometr 305-2800 nm) a **radiačních toků dlouhovlnného záření (tepla)** $RI_{\downarrow}$, $RI_{\uparrow}$ (4500 - 42 000 nm). ($RI_{\downarrow}$ = energetická výměna mezi čidlem a oblohou, využívá se pro výpočet zdánlivé **radiační teploty oblohy**. 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} . $RI_{\uparrow}$ = energetická výměna mezi čidlem a povrchem porostu (půdy), využívá se pro výpočet **radiační teploty povrchu**. Měřené tepelné záření nabývá kladných i záporných hodnot v rozmezí několika desítek W.m^{-2} , Netradiometr je umístěn ve výšce 2 m nad povrchem.

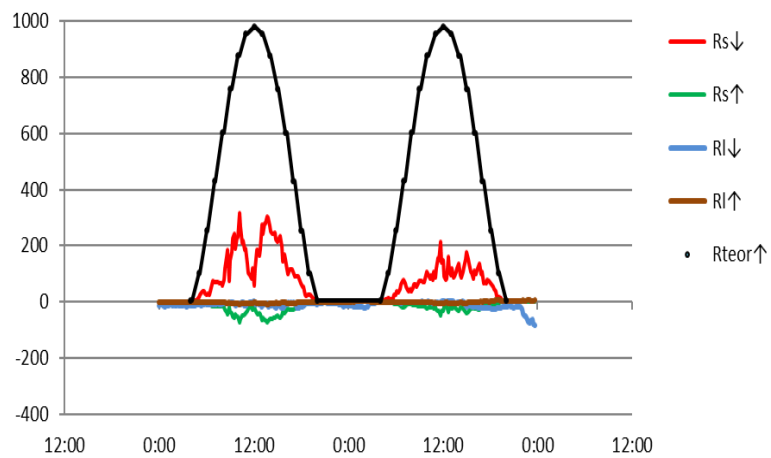
Toky sluneční energie a tepla ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) 20. dubna 2020, kdy zmrzly květy meruněk atp.



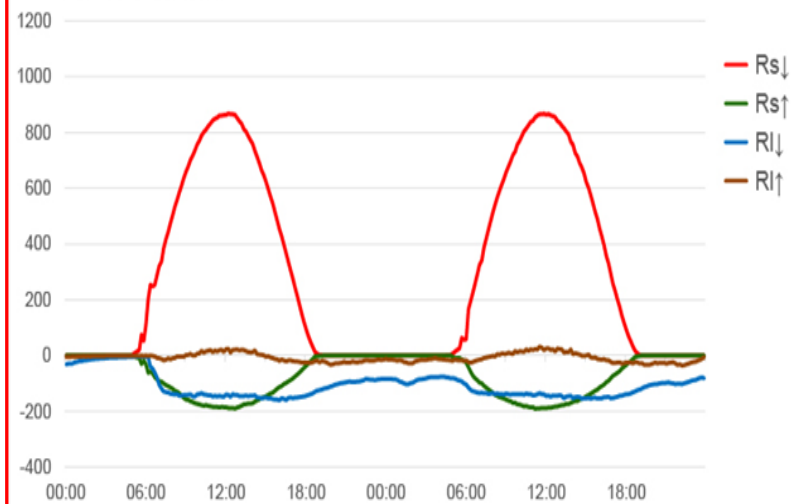
Toky sluneční energie a tepla (W.m^{-2}) v letním
slunovratu
vyznačen denní průběh sluneční energie za jasného
dne (R_{teor})



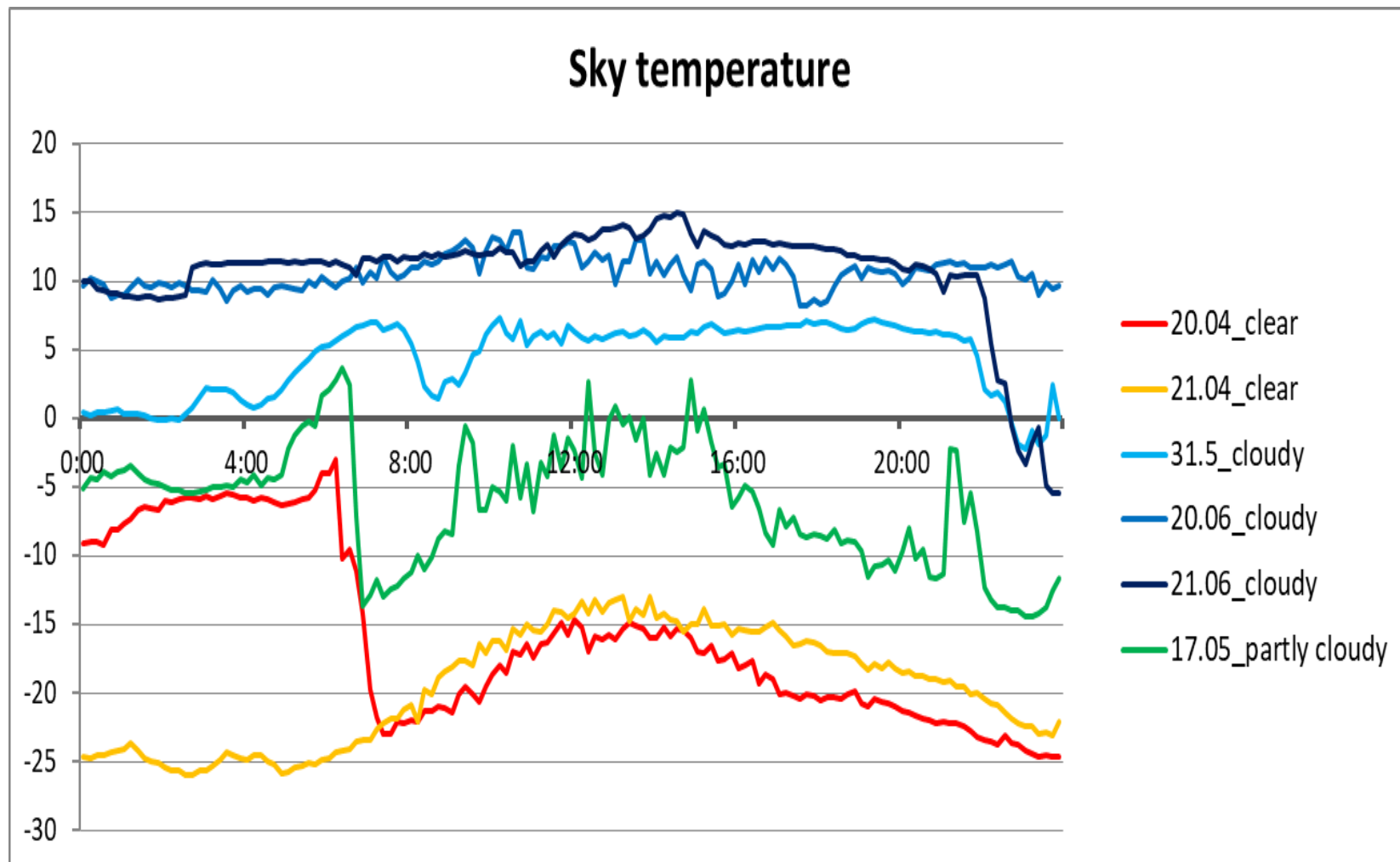
20.-21.6.2020



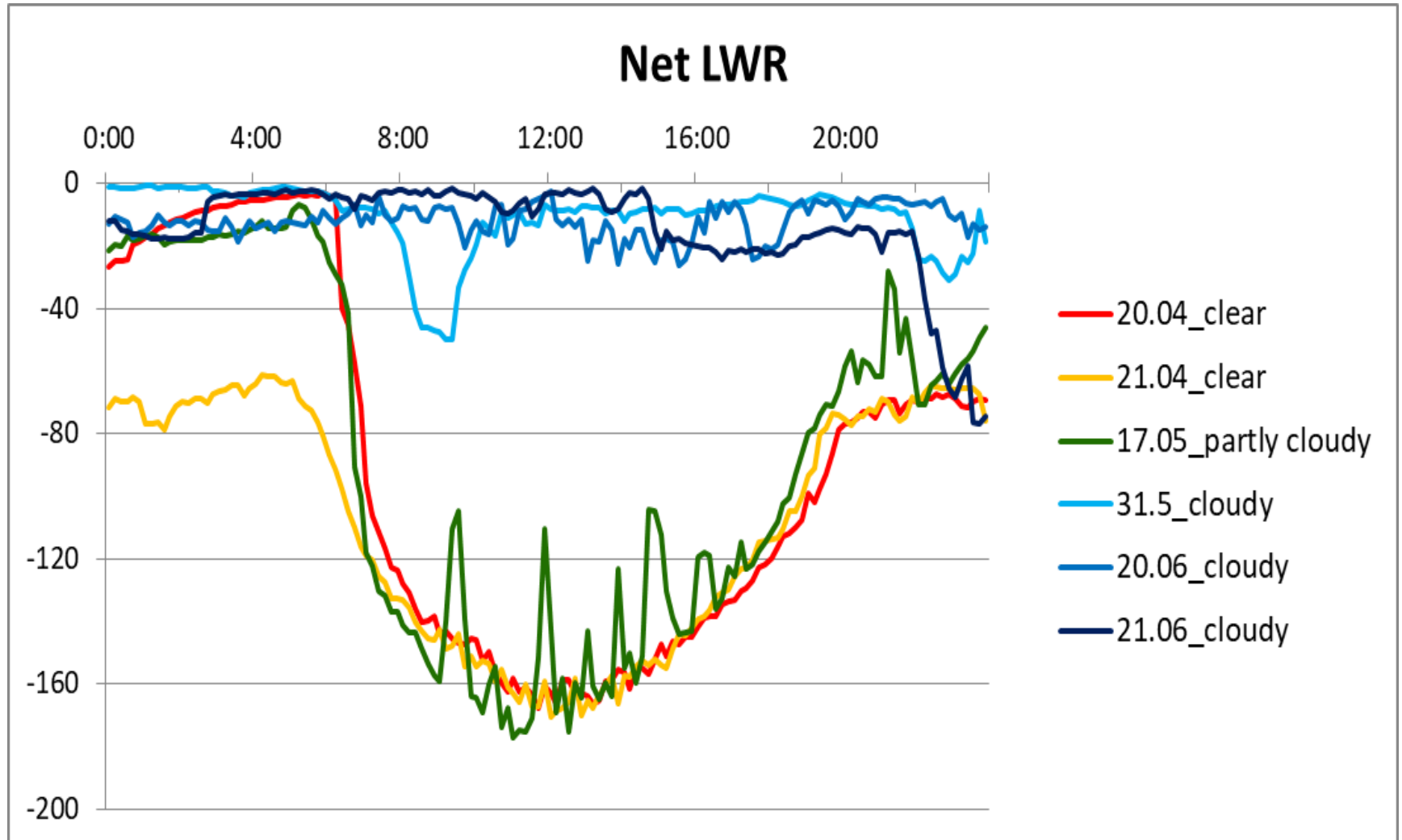
20 - 21.04.2020



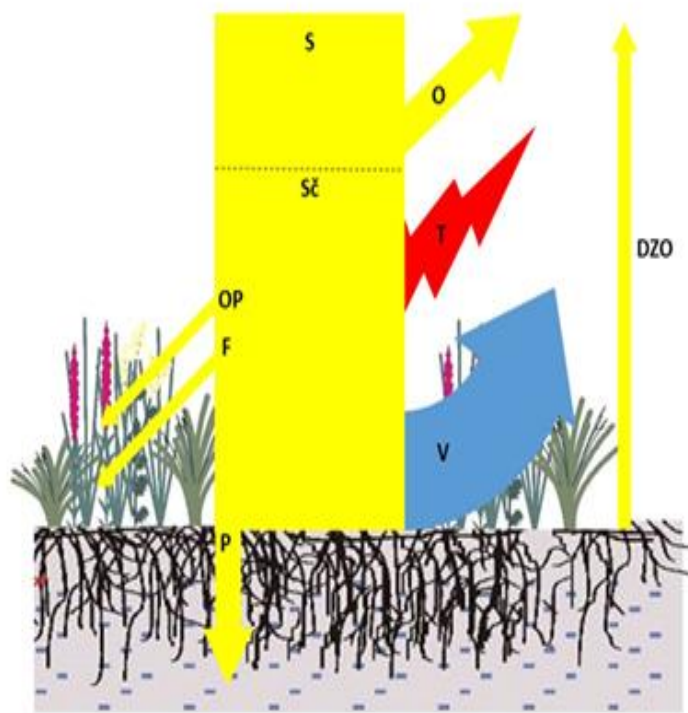
Teplota oblohy při různé oblačnosti



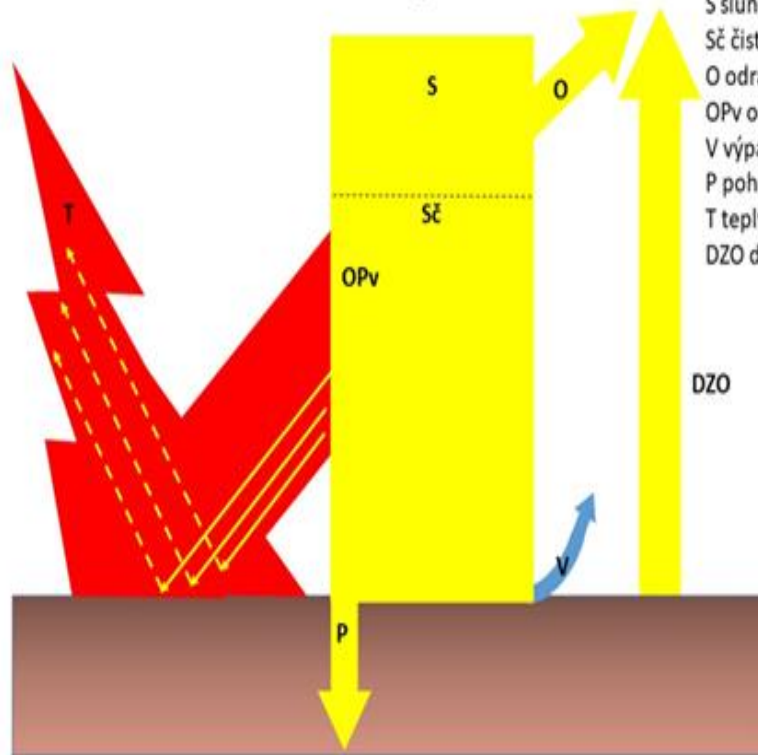
Tok tepla (dlouhovlnné záření) mezi oblohou a povrchem krajiny (trávník)



Osud sluneční energie dopadající na povrch s vegetací...



... a bez vegetace



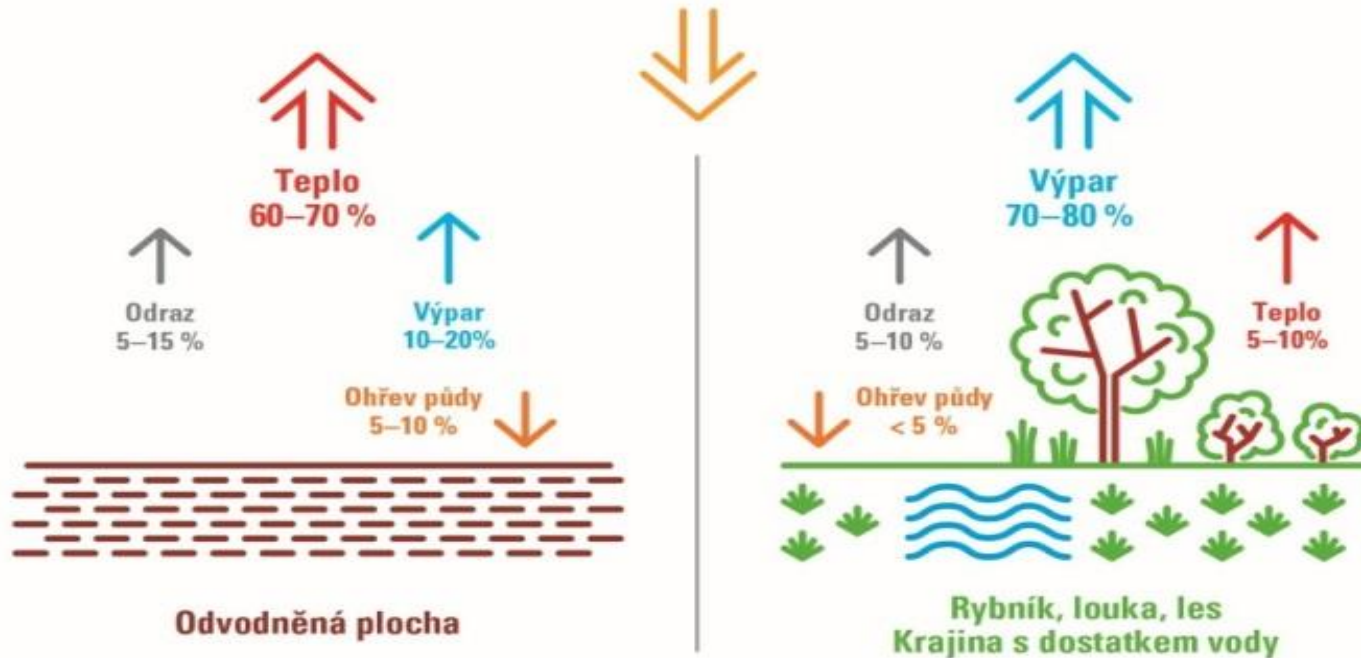
S sluneční záření
 Sč čisté sluneční záření
 O odraz
 OPv ohřev povrchu
 V výpar
 P pohlcení půdou
 T teplý vzduch
 DZO dlouhovlnné záření do oblohy



$0-1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ | Tok sluneční energie

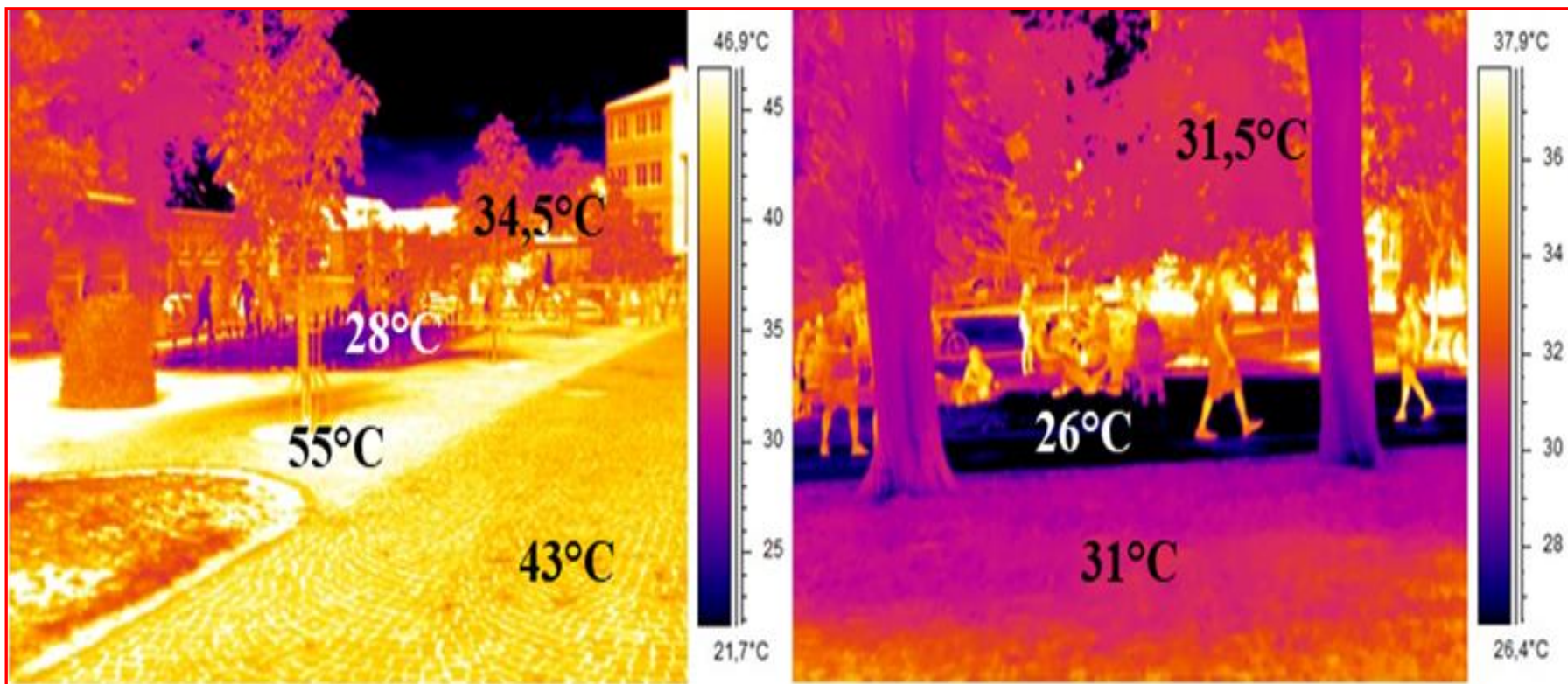
$\cong$

Denní příkon sluneční energie | $< 8\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$



- Máme-li se seriózně zabývat klimatickou změnou, musíme uvažovat důsledky úbytku vegetace v krajině, vedoucí k:
 - snížení evapotranspirace (chlazení)
 - snižování obsahu vodní páry, nárůstu zjevného tepla
 - zvýšení gradientů teplot a tlaku vzduchu. Tyto gradienty se vyrovnávají dynamicky formou přívalových srážek, rychlého proudění vzduchu.





- Za jasného dne přichází 700 – 1000 W sluneční energie na 1 m², oblačnost snižuje intenzitu i pod 100 W na 1 m².
- Výparné teplo vody při 20 °C je 2,45 kJ / kg tj. 680 Wh/kg. Z jednoho litru vody vznikne cca 1200 litrů vodní páry.
- Reálná hodnota výparu z 1 m² porostu vegetace je 100 mg . s⁻¹ za spotřeby energie 245 W. Tedy za hodinu se vypaří z 1 m² 360 g vody. Rostliny regulují rychlost výparu průduchy podle intenzity sluneční energie a dostupnosti vody.
- Pokud voda a vegetace chybí, ohřívá se terén a vzduch (zjevné teplo).

- **1000 m² stromů a trávníku** za slunného dne chladí cca výkonem **245 kW**, což odpovídá **70 klimatizacím** o výkonu 3,5 kW. Při ceně 4 Kč za 1 kWh bychom za jediný den zaplatili za elektřinu na takové chlazení **9 800 Kč**. Technická klimatizace ochlazuje místnost a ohřívá okolí, strom teploty vyrovnává.
- Na **1000 m² porostu** se vytvoří za slunný den **10 kg biomasy** a uvolní **10 kg kyslíku**, který má hodnotu **3 500 Kč**.
- Zdravá vegetace čistí vzduch, zbavuje ho prachu, zvyšuje vlhkost, brání vzniku vzestupných vysušujících proudů.

Zásadní rozpor v chápání výparu vody z rostlinných porostů (evapotranspirace)

Evapotranspiraci je třeba omezit, je to „plýtvání vodou“ (cíl: nízký transpirační koeficient, co nejnížší spotřeba vody)

X

Evapotranspirace chladí, vyrovnává teploty v čase a prostoru a přitahuje vodu

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

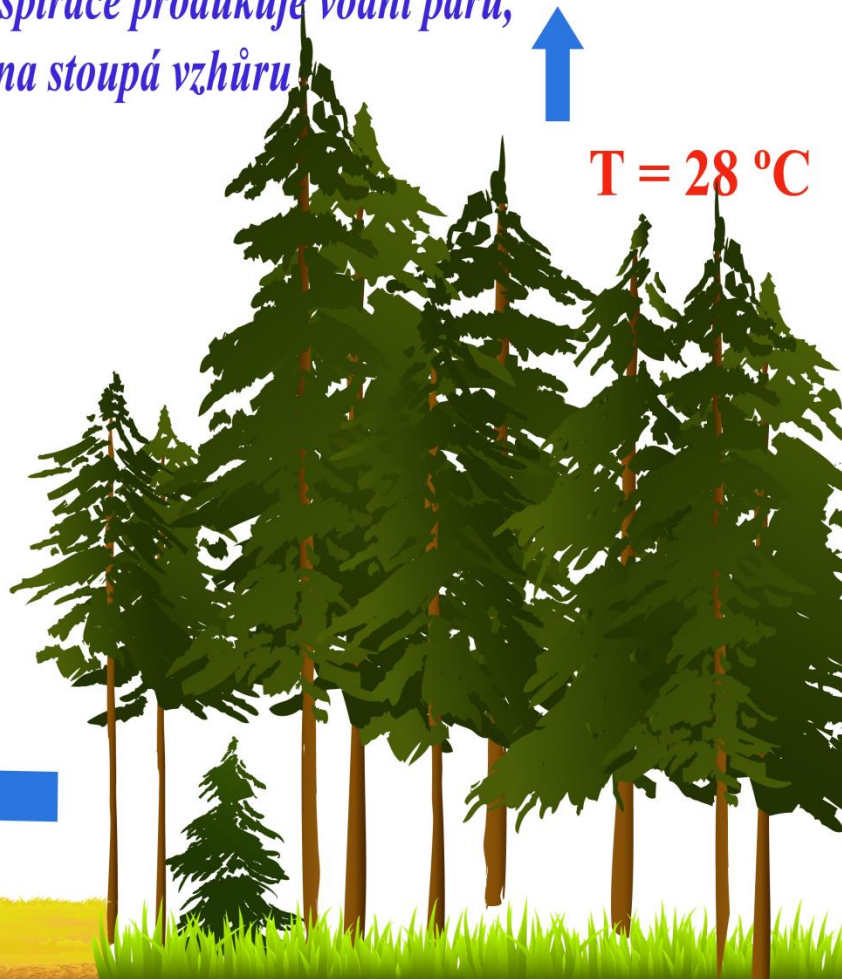
*evapotranspirace produkuje vodní páru,
která zvolna stoupá vzhůru*

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.

Vitr 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 blízka 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**

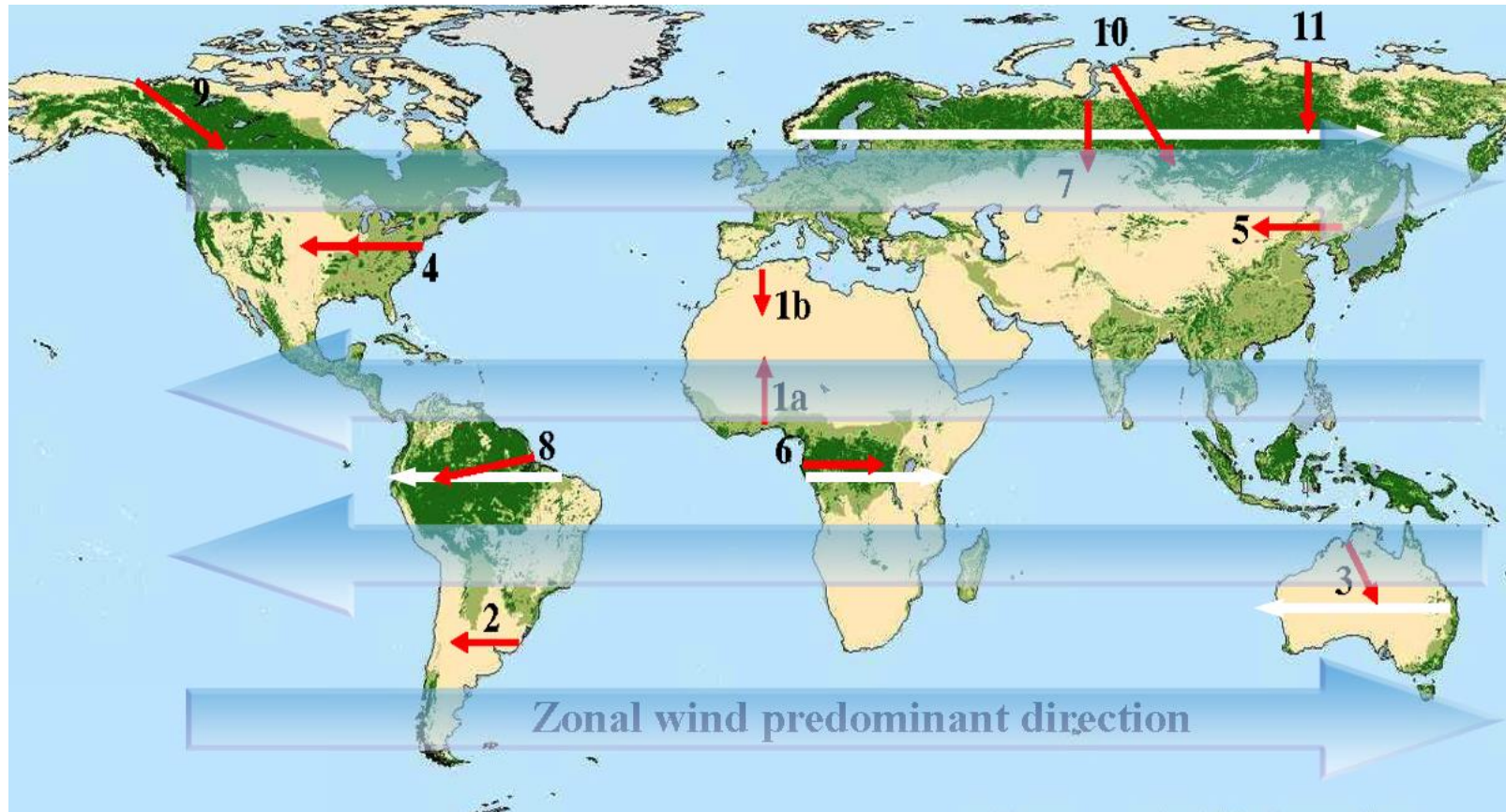
Shrnutí: odvodněním, odlesněním měníme zásadně toky sluneční energie ve stovkách wattů na metr čtverečný.

Suché plochy se ohřívají stoupá z nich teplý vzduch (zjevné teplo). Vegetace zásobená vodou se chladí výparem vody (latentní, skupenské teplo)

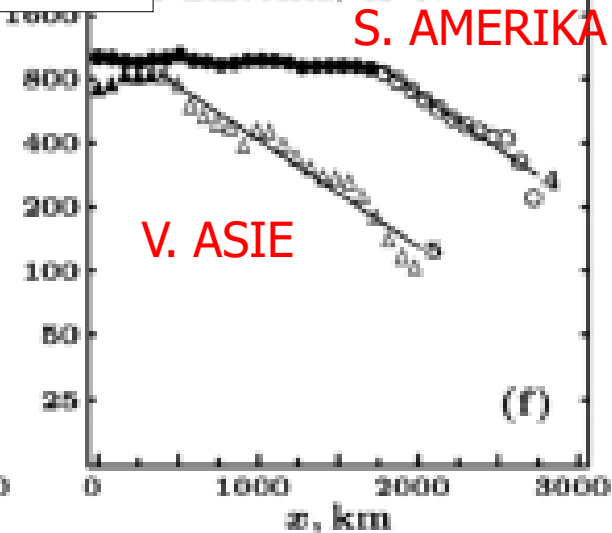
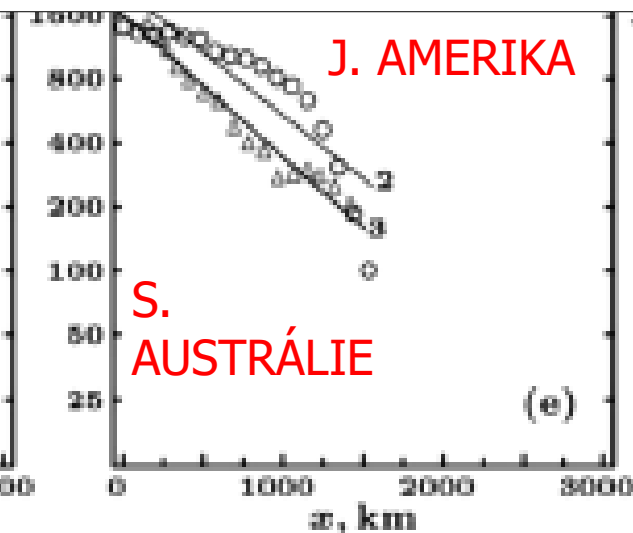
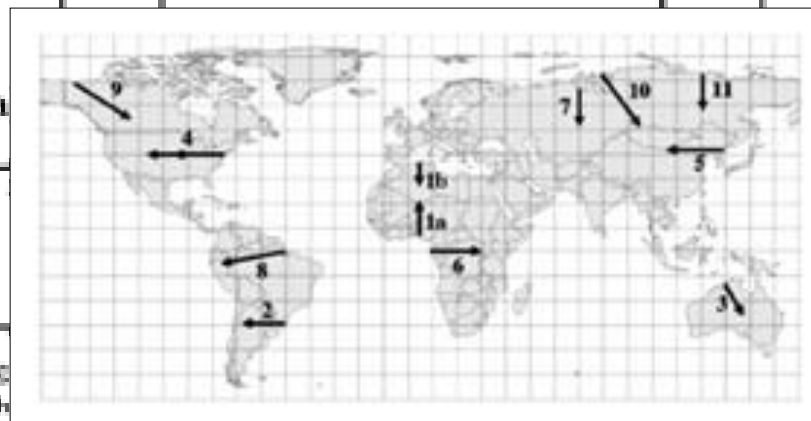
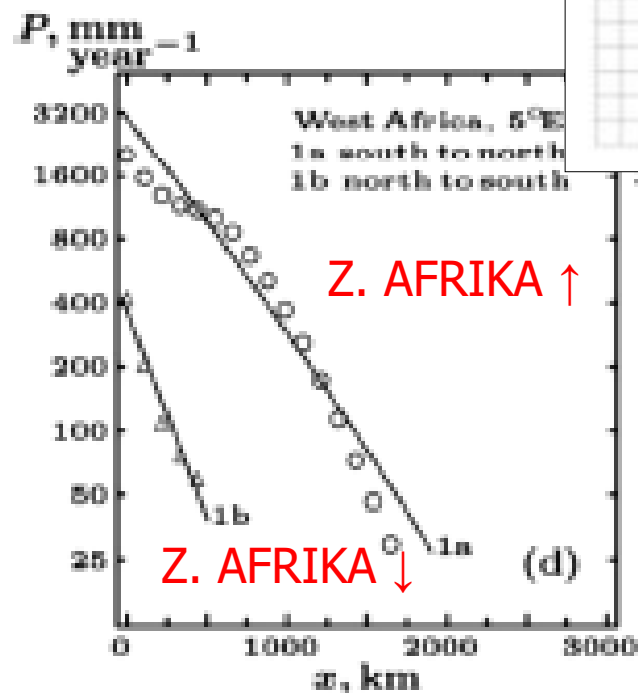
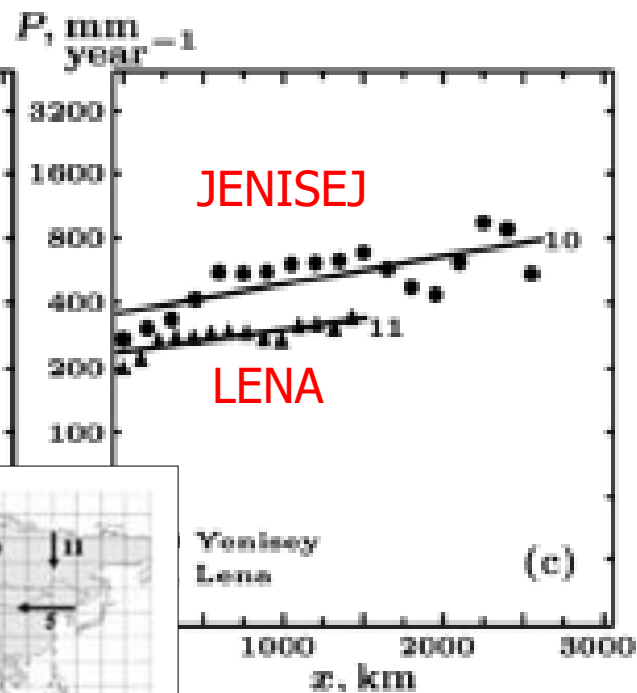
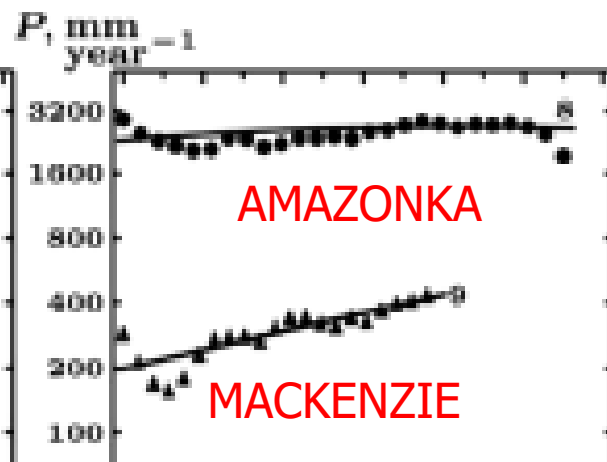
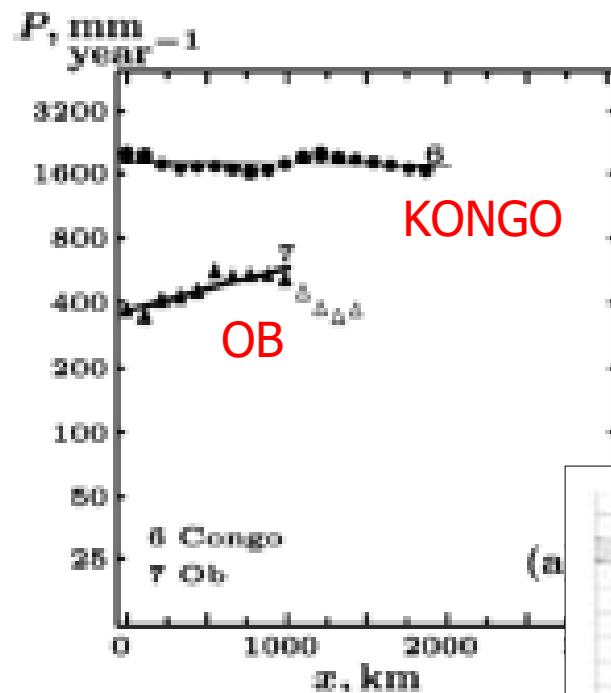
Zásadní úloha lesa

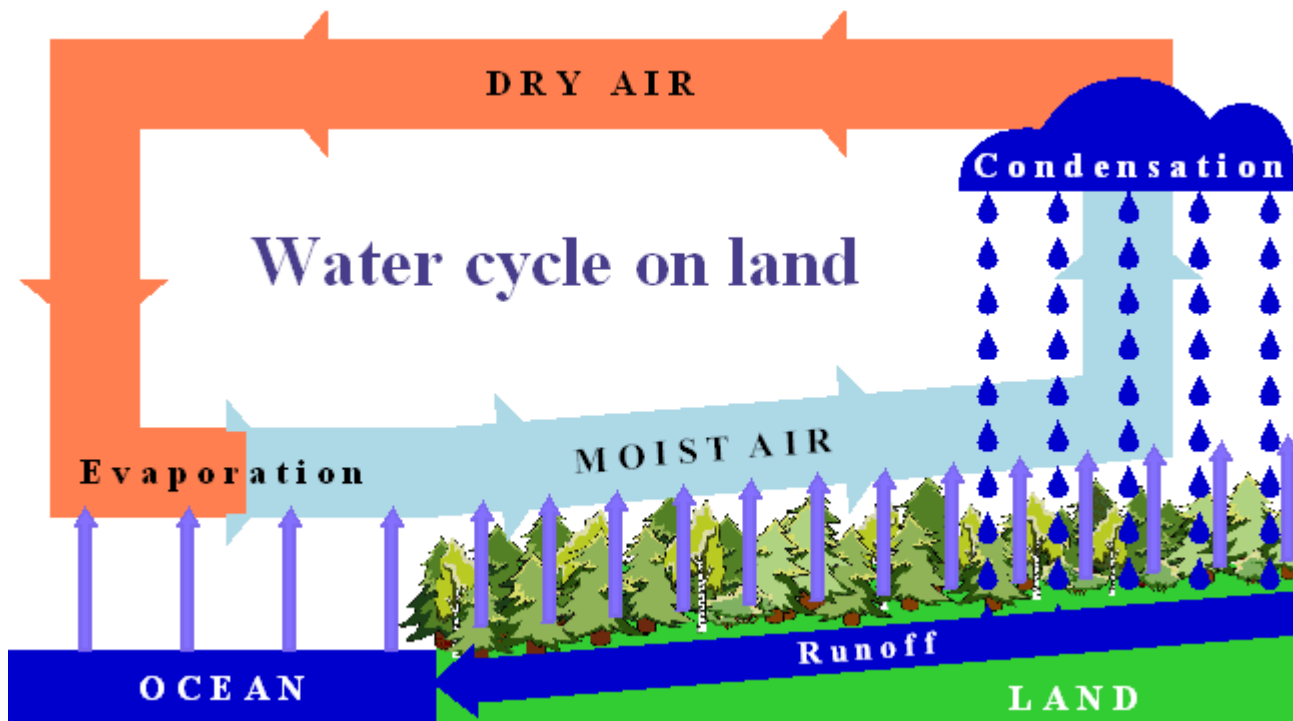
- Biotic pump – Makarieva, Gorshkov
- Mechanizmus „nasávání“ vody lesem z oceánů.
- Souvislé lesní porosty udržují vysoké dešťové srážky hluboko do vnitrozemí
- a) inverze teplot
- b) pokles tlaku nad lesy po kondenzaci vodní páry

How does precipitation vary in space and time in world's forested versus unforested regions?



Red numbered arrows: transects from Fig. 2 of Makarieva, Gorshkov, Li (2009) Ecol. Complexity 6: 302
White arrows: transects from Fig. 6 of Makarieva, Gorshkov, Li (2013) Theor. Appl. Climatol. 111: 79



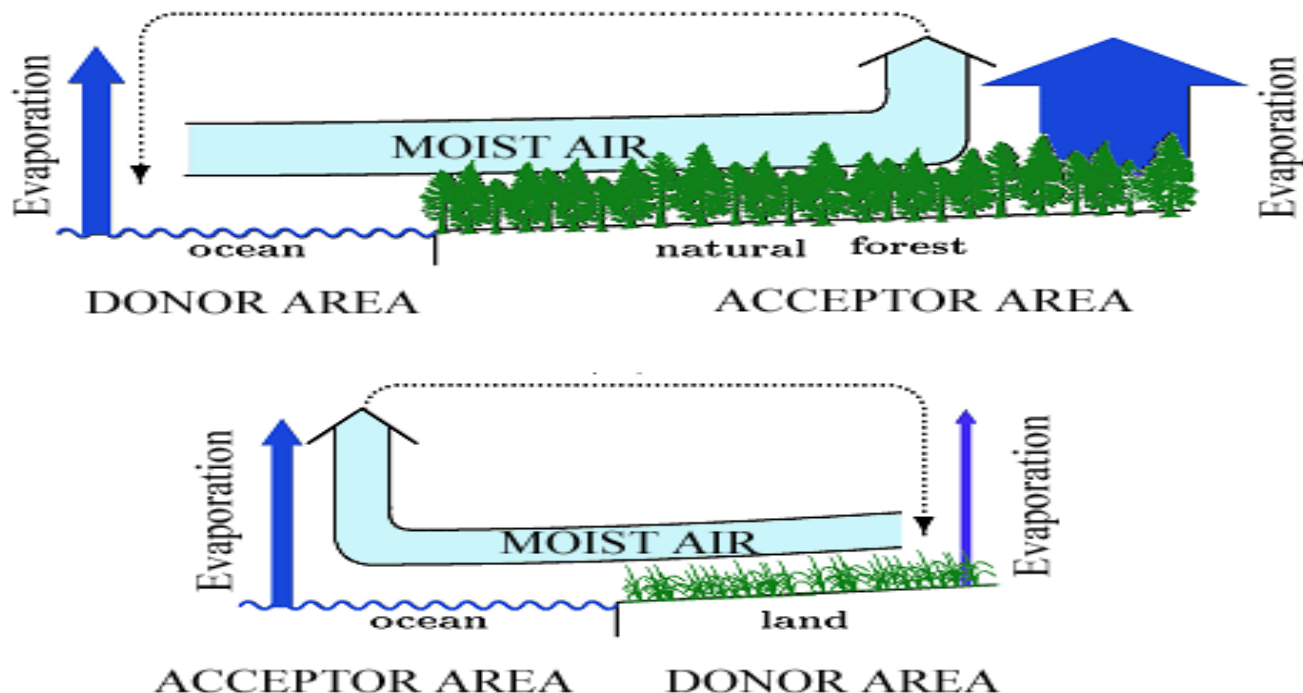


Pevnina je nad mořskou hladinou a gravitací z ní voda odtéká

- 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“)

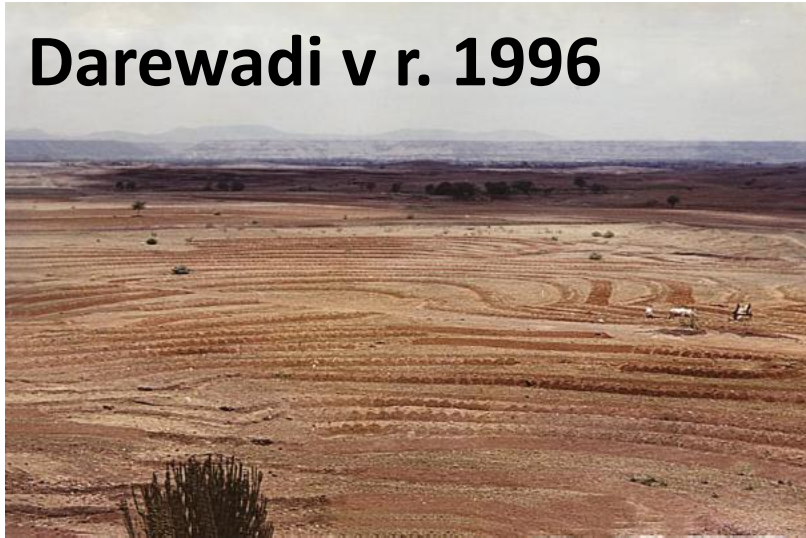
Přetahování o vodu

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



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

Darewadi v r. 1996

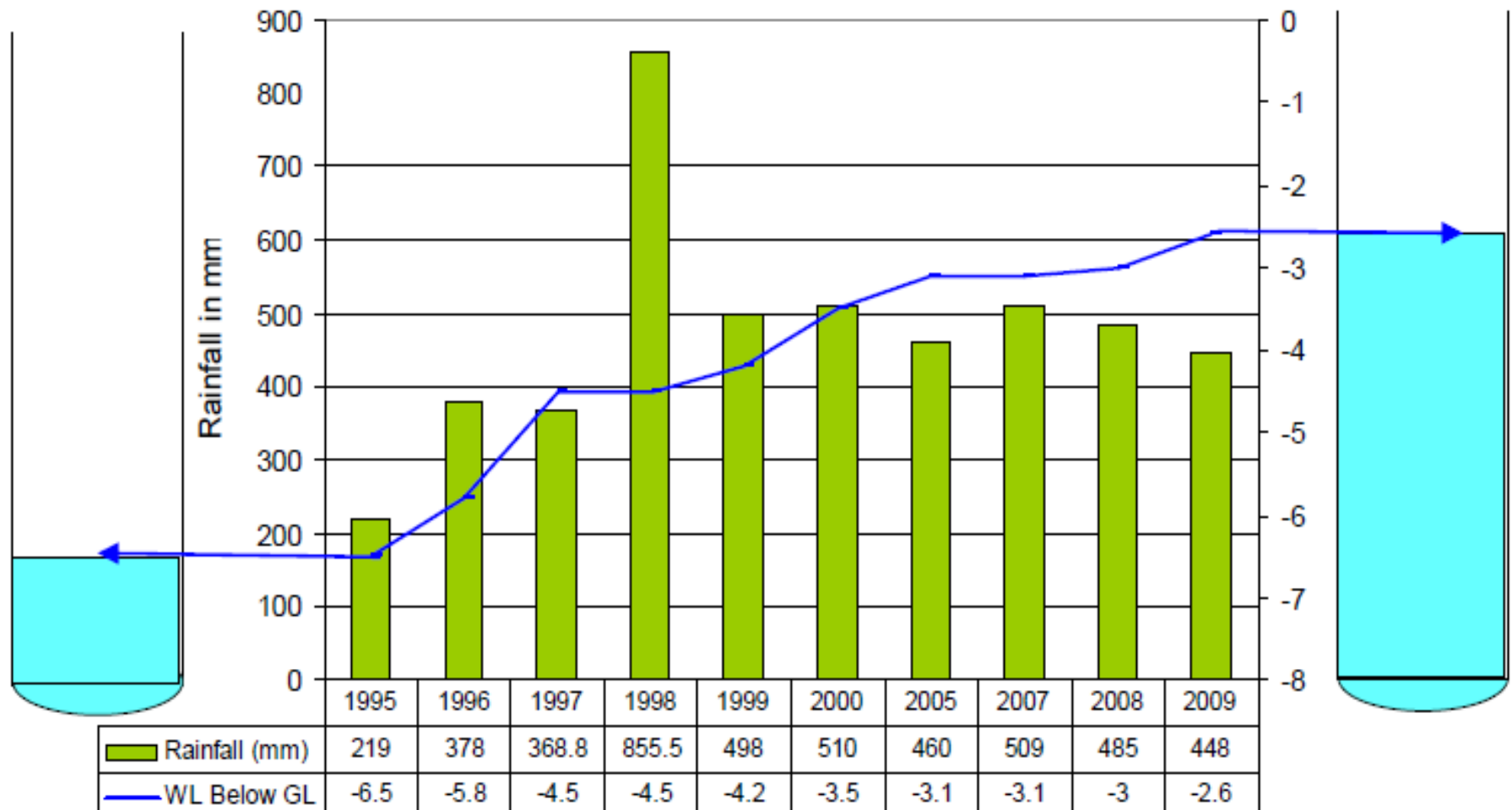


...a v r. 2009



- - 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 vracieť späť z miest

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



Les chladí sebe a své okolí, tlumí extrémní teploty a tlumí extrémní vodní režim evapotranspirací

- Odlesnění vede k vysychání krajiny, extrémům teplot, zrychluje se odtok vody. Zkušenost historických civilizací prokázala opakovaně pozitivní úlohu lesa v klimatu, proto je tato funkce zakotvena v Lesním zákonu od počátku.
- Alexander von Humboldt, G.P. Marsh 1864 (Man and Nature), mostem k moderní vědě o klimatu lesa jsou postupně vydání monografie R.Geigera (Climate near the Ground), 4 vydání Environmental Physics (Monteith, Unsworth). V. Úlehla (Napojme prameny – O utrpení našich lesů, 1947). Funkce lesa shrnuty v PolicyBrief pro COP21 v Paříži 2015.

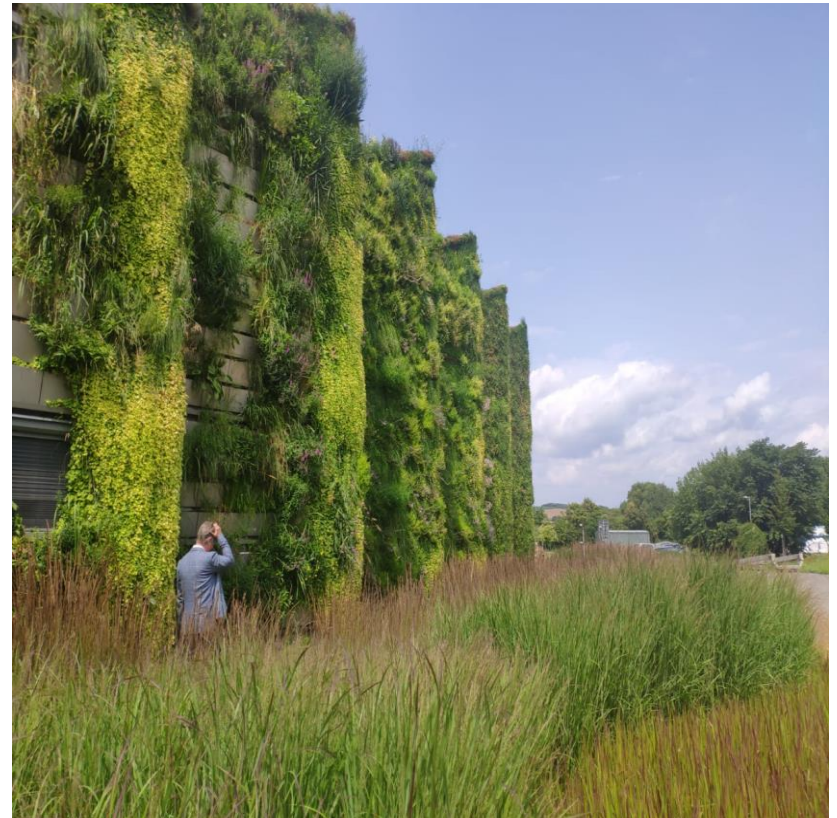
Obnovou lesa v degradované krajině lze vrátit srážky, vodu, obnovit úrodnost a ztlumit extrémní počasí.

- 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).
- Vykácej les (Sci Am), FG review, INTECOL 2018)
- Připravují se rozsáhlé projekty na Arabském poloostrově

Firma Liko-s Slavkov, výrobní hala se zelenou střechou a zelenou fasádou, čištění a recyklace odpadních vod



Zelená fasáda výrobní haly (čištění odpadních vod)



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??**

K porozumění a vzdělání přispějí vytvořené Metodiky a kniha

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

www.waterparadigm.org

počítáme
s vodou



MEZINÁRODNÍ KONFERENCE O HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU

POČÍTÁME S VODOU 2021

Celostní pohled na město při plánování modro-zelené infrastruktury

11. 11. 2021



Děkuji za pozornost

Jan Pokorný

pokorny@enki.cz. www.enki.cz

Organizátor



Hlavní partner



Mediální partneři

ekolist.cz

vodní
hospodářství

7.G

SOVAK

Tretiruka

tzbinfo

ODPADOVÉ
FÓRUM

Envi
Web

moderní
obec

Podporující organizace

projekt
CZWA

Trasovka

Konferenci pořádá 01/71 ZO ČSOP Koniklec, p. s., v rámci projektu Počítáme s vodou, jehož cílem je informovat především zástupce veřejné správy a občany o principech přírodě blízkého hospodaření s dešťovými vodami (HDV) a prosazovat systémy decentralizovaného odvodnění a využívání dešťové vody. Je nutné, aby se nejen v odborných kruzích vědělo, co HDV je a jaký má společenský význam, a aby bylo vnímané jako perspektivní řešení odvodnění urbanizovaných území v duchu udržitelného rozvoje.

Konference se koná v rámci projektu Počítáme s vodou, spolufinancovaného Státním fondem životního prostředí České republiky na základě rozhodnutí ministra životního prostředí.



Ministerstvo životního prostředí