

BILANCE SLUNEČNÍ ENERGIE VE MĚSTECH A KRAJINĚ

Jan Pokorný a kol.
ENKI, o.p.s. Třeboň

SINE SOLE NIHIL SUM

bez Slunce nejsem nic

- Slunce ohřívá Zemi o 290 °C
- bez Slunce by bylo na Zemi 10 K (-263 °C)
- Distribuce sluneční energie v krajině
- % využití sluneční energie
- Co děláme v krajině se sluneční energií prostřednictvím vody a rostlin?



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

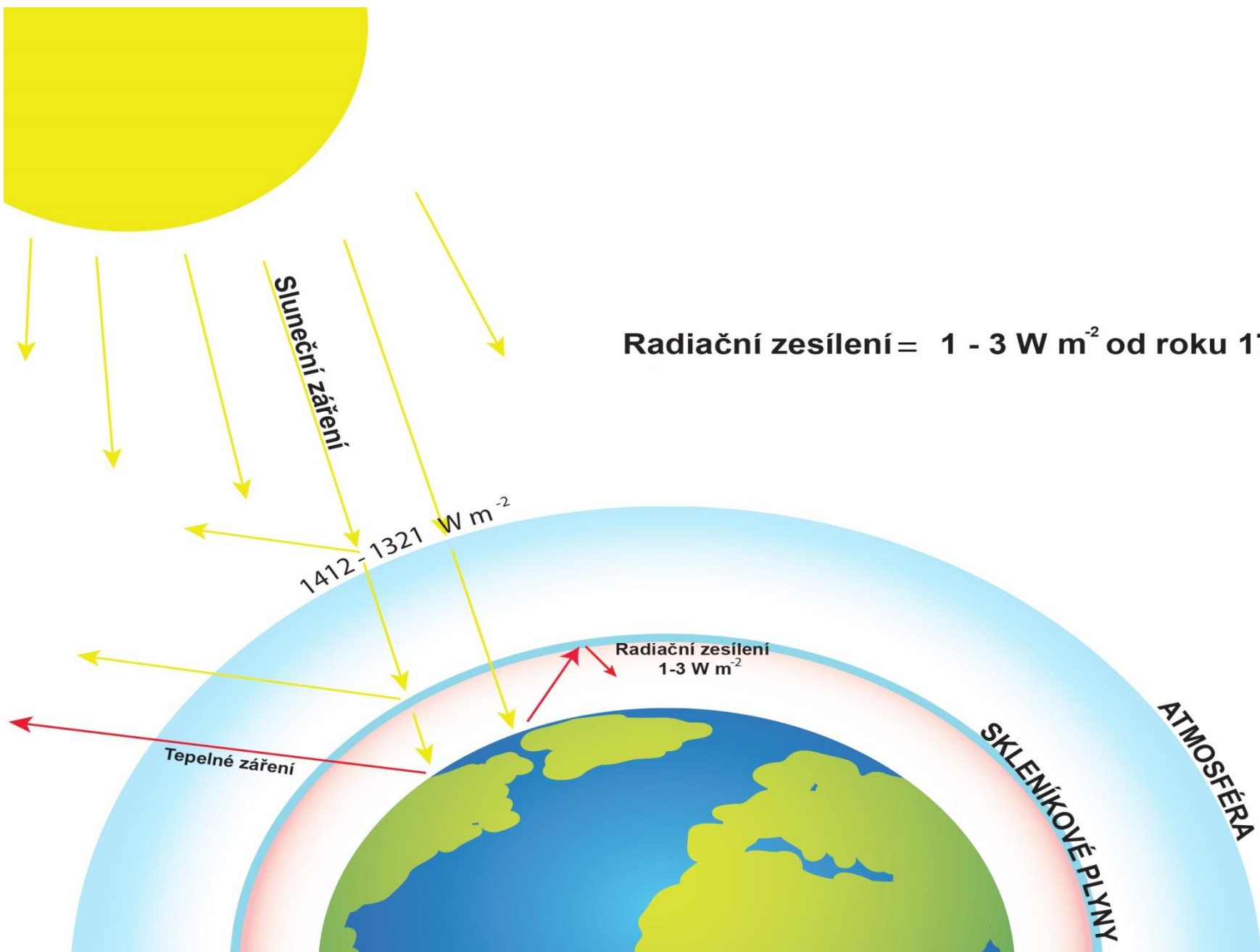
Sluneční energie přicházející na vnější vrstvu atmosféry

- 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)**

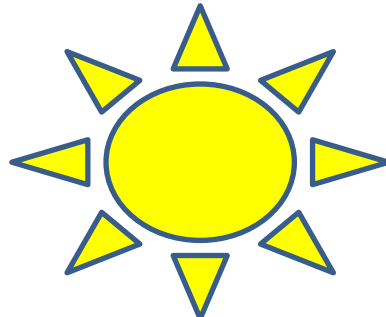


Radiační zesílení = 1 - 3 W m⁻² od roku 1750

A photograph of the Jette Nuclear Power Plant, featuring four large, white, hyperboloid cooling towers. Thick white steam is rising from the towers into a clear blue sky. In the foreground, there is a green grassy field and a paved road that curves to the right. Two cars, a red one and a silver one, are driving on the road. A small white sign with a black symbol is visible on the grass near the road.

JETE
2000 MW vyrábí
(6600MW tepelný
výkon)

energie přicházející na 2 km² za slunného dne
(ohřátý vzduch) uvolňované na několika km² suché půdy



Využití sluneční energie (slunný den)

1000Wm^{-2}

80%

< 1%

13,6%

KLIMA

Výpar stovky
 Wm^{-2}

nebo
Zjevné teplo

FVE

130Wm^{-2}
(40Wm^{-2})

Termální
kolektory

až 300Wm^{-2}

Fotosyntéza
několik Wm^{-2}

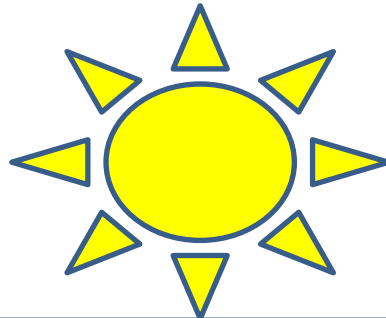
Tvorba funkční
biomasy

Štěpka
(spalování)
0,48%

Kukuřice
(bioplyn)
0,38%

ČOV (kaly,
bioplyn)

Využití sluneční Energie, roční bilance



1100 kWh/m².rok

80%

Výparem

< 1%

13,6%

Zjevné
teplo

FVE

13,6% (4%)

Termální
kolektory
až 30%

Fotosyntéza

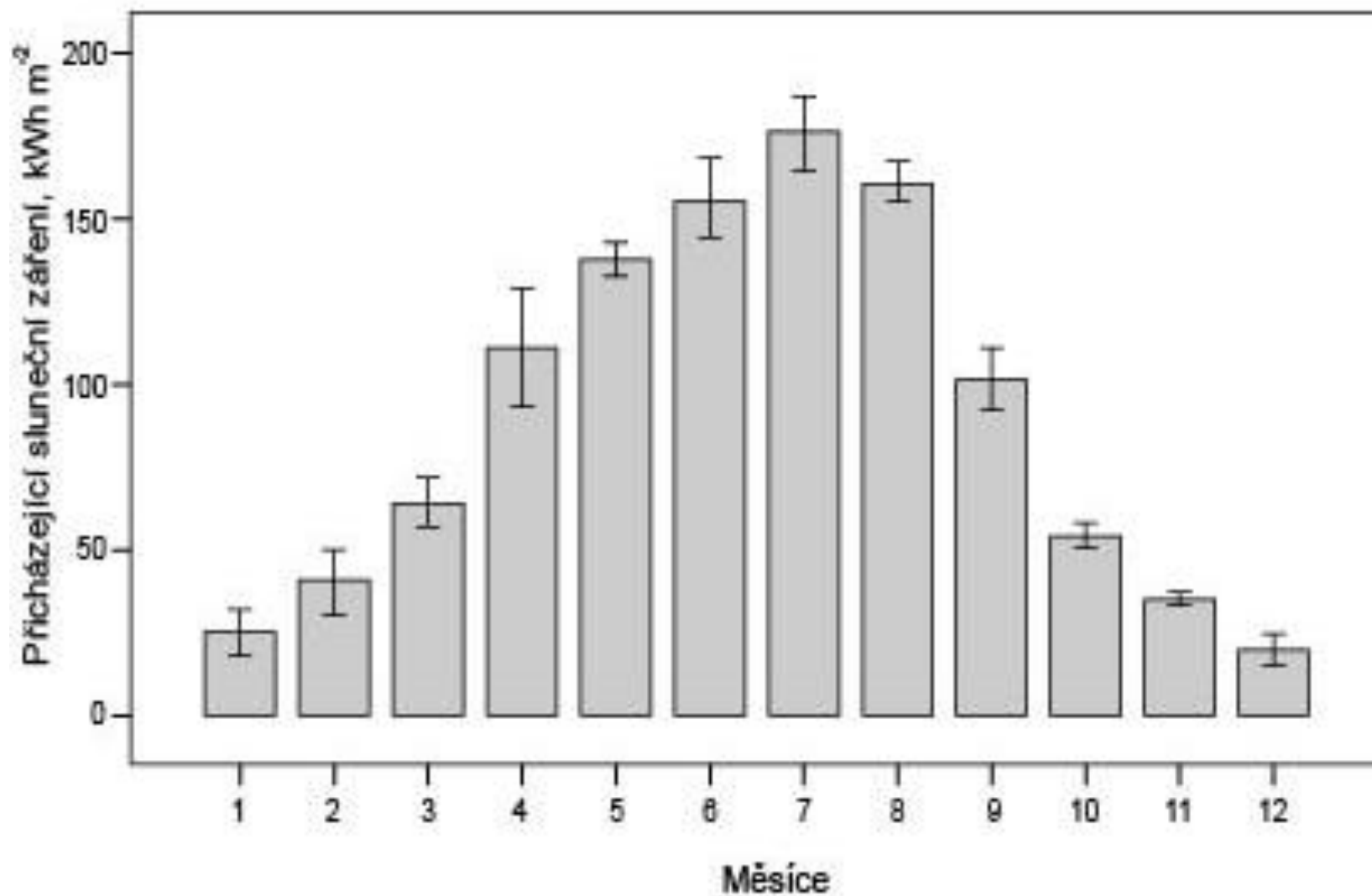
Tvorba funkční
biomasy

Štěpka
(spalování)
0,48%

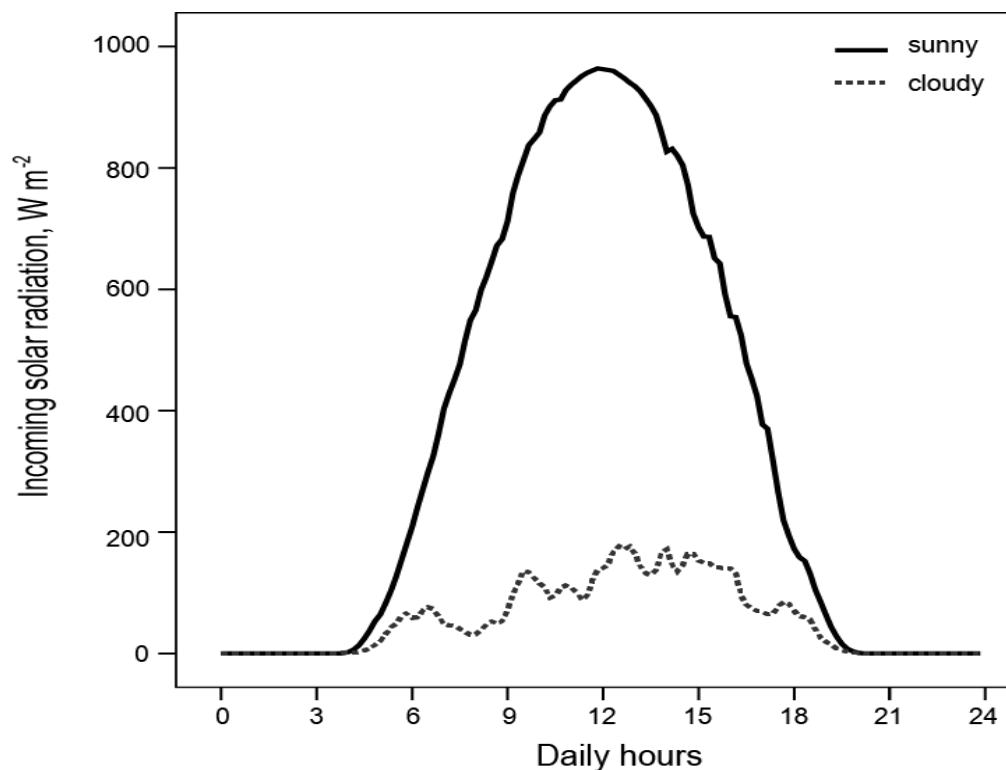
Kukuřice
(bioplyn)
0,38%

ČOV (kaly,
bioplyn)

Měsíční sumy slunečního záření (Třeboňsko)



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

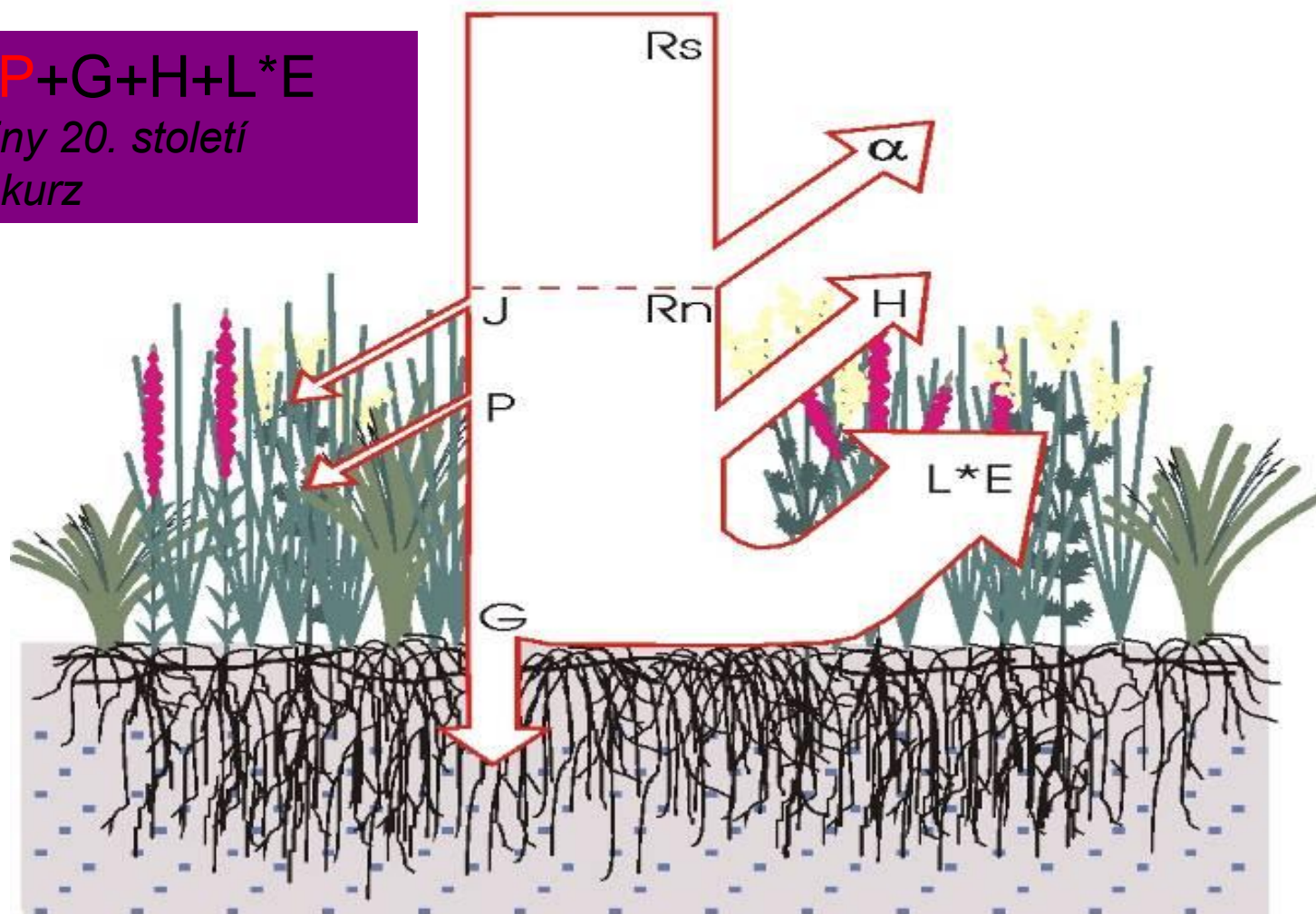


Oblačnost redukuje příkon slunečního záření

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





Fotovoltaika (V. Kučeravý. Trnobranský) Trvalý monitoring

Plocha FV panelů	142,83 m ²
Reálná roční výroba	22 511, 86 kWh
Roční energetický zisk z m ²	157,61 kWh
Roční úhrn sluneční energie dopadající na m ²	1 159 kWh
Účinnost FVE Děbolín	13,59 %

FVE Děbolín (<http://www.solarenavi.cz/r-163-fve-9-87-10-80-kwp-debolin-.html>)
(Trnobranský 2015, DP)

Účinnost FVE Děbolín v jednotlivých měsících a průměrné měsíční teploty a vlhkosti vzduchu v roce 2013 a 2014.

měsíc	Účinnost	Výroba (průměrná) v kWh	Průměrná teplota vzduchu	Průměrná vlhkost vzduchu
Leden	10, 81 %	417,09	0,6 °C	85,7 %
Únor	13, 70 %	1135, 26	1,4 °C	81,0 %
Březen	18, 16 %	2179, 11	4,4 °C	71,5 %
Duben	13, 48 %	2408, 38	10,7 °C	68,4 %
Květen	10, 12 %	2515, 60	13,9 °C	71,0 %
Červen	11, 78 %	2946, 15	17,8 °C	63,8 %
Červenec	13, 85 %	3167, 05	21,0 °C	62,5 %
Srpen	12, 45 %	2647,50	18,5 °C	68,5 %
Září	16, 03 %	2083, 71	14,5 °C	76,9 %
Říjen	17, 64 %	1637, 68	10,9 °C	80,1 %
Listopad	15, 60 %	669, 05	6,0 °C	81,5 %
Prosinec	23, 52 %	705, 29	2,1°C	78,4 %



Letecké foto FV elektrárny Ševětín, autor David Sochr, 5. 3. 2011

Účinnost FVE Ševětín

Plocha FV panelů	197 879,2m ²
Reálná roční výroba	32 000 000 kWh
Roční energetický zisk z m ²	167,71 kWh
Roční úhrn sluneční energie dopadající na m ²	1 159 kWh
Účinnost FVE Ševětín	13,95 %

Účinnost FVE Ševětín při započtení celkové plochy elektrárny

Celková plocha FV elektrárny	680 000 m ²
Reálná roční výroba	32 000 000 kWh
Roční úhrn sluneční energie dopadající na m ²	1 159 kWh
Účinnost FVE Ševětín při započtení celkové plochy elektrárny	4,06 %

FVE Ševětín 13,95 % (účinnost panelů)

- **Účinnost FVE Ševětín při započtení celkové plochy elektrárny 4,06 %**
- **Roční energetický zisk z 1 ha FVE 474 574 kWh**
- **Účinnost FVE Děbolín 13,59 %**

Tabulka 25 Účinnost FVE Děbolín při optimalizovaném náklonu a orientaci FV panelů ke Slunci pro rok 2013

Měsíc	Dopadající záření v kWh na m²	Skutečná výroba v kWh na m²	Průměrná teplota pod FV panelem	Účinnost
Leden	37,20	0,61	- 1 °C	1,60 %
Únor	33,60	4,49	- 2 °C	13,36 %
Březen	93,00	12,68	2 °C	13,63 %
Duben	126,00	16,09	12 °C	12,76 %
Květen	119,04	17,01	14 °C	14,28 %
Červen	162,00	18,78	18 °C	11,59 %
Červenec	215,76	24,14	27 °C	11,18 %
Srpen	178,56	20,87	23 °C	11,68 %
Září	115,20	14,48	14 °C	12,56 %
Říjen	111,60	14,75	10 °C	13,21 %
Listopad	36,00	5,15	3 °C	14,30 %
Prosinec	40,92	6,06	0 °C	14,80 %

Tabulka 27 Účinnost FVE Děbolín při optimalizovaném náklonu a orientaci FV panelů ke Slunci pro rok 2014

Měsíc	Dopadající záření v kWh na m²	Skutečná výroba v kWh na m²	Průměrná teplota pod FV panelem	Účinnost
Leden	40,92	4,96	- 1 °C	12,12 %
Únor	80,64	10,23	1 °C	12,68 %
Březen	133,92	17,83	8 °C	13,31 %
Duben	140,40	17,62	12 °C	12,54 %
Květen	145,08	18,21	14 °C	12,55 %
Červen	187,20	22,47	22 °C	12,00 %
Červenec	204,60	20,19	23 °C	9,80 %
Srpen	130,20	16,20	18 °C	12, 44 %
Září	118,80	14,69	13,5 °C	12,36 %
Říjen	66,96	8,17	9 °C	12,20 %
Listopad	32,40	4,21	5 °C	12,99 %
Prosinec	29,76	3,81	0 °C	12,80 %

- **Celkový objem skla ve FVE v ČR dle FVE Ševětín
115 380 t**
- **Celkový objem skla ve FVE v ČR dle odhadu ing.
Kučeravého 86 000 t**
- **Za rok se v ČR vybere cca 1 200 000 tun skla**

- **Množství skla ve fotovoltaických elektrárnách v ČR k roku 2015 je cca 100 000 tun.** Toto sklo nelze ovšem tavit, protože je potaženo polyvinyl acetátem, který vytváří toxické zplodiny při hoření. Jedním ze způsobů recyklace, který se připravuje je odbroušení této vrstvy organického materiálu. Nadějným způsobem pro budoucnost se jeví užití silikanů, které se taví společně se sklem (obojí na bázi křemíku).
- v ČR ročně vybráno 1 200 000 tun skla - 12x více nežli množství skla vázaného ve všech FVE v ČR

- Účinnost FVE je cca 10 krát vyšší než u zbylých dvou zařízení
- Energetický zisk z jednotky plochy (metru čtverečního) u obou FVE okolo 160 kWh ročně.
- proměnnost účinnosti FVE během roku - nejvyšší účinnosti (13 – 18 %) během jara a podzimu
- v ČR ročně vybráno 1 200 000 tun skla - 12x více nežli množství skla vázaného ve všech FVE v ČR

výtěžnost z jednotky plochy

- využívání biomasy bioplynovou stanicí asi 20 krát menší
- využívání spalování dřevní masy asi 8 krát menší
- světová energetická budoucnost mimo jiné právě ve fotovoltaice
- **BIOMASA, bioplyn konzervují energii. Započítáme-li náklady na baterie, hodnota biomasy vzroste násobně**

Bioplynová stanice v Třeboni



- **Účinnost bioplynové stanice 0,38 %**

Energie dřevní biomasy

- **Průměrný roční výnos dřevní biomasy
z 1 ha 15, 85 t.ha-1**
- **průměrná roční výhřevnost dřevní biomasy sklizené z
1 hektaru cca 56 600 kWh**
- **Účinnost energetické přeměny slunečního záření do
dřevní masy 0,49 % (nezapočítána redukce na
účinnost kotle)**

Roční energetický zisk z m² zemědělské plochy je 4,4kWh
 roční úhrn slunečního záření 1160kWhm⁻², účinnost = 0,38%
 (bez redukce na dodatkovou energii/hnojiva, transport)

Technické parametry bioplynové stanice v Třeboni		
Výrobní kapacity	Instalovaný elektrický výkon výroba BPS	175 kW _{el}
	Instalovaný elektrický výkon bioteplárna Aurora	844 kW _{el}
	Instalovaný tepelný výkon bioteplárna Aurora	874 kW
	Výroba bioplynu	3 760 000 m ³ /rok
	Výroba elektřiny	8 000 MWh/rok
	Výroba tepla	20 000 GJ/rok
Vstupní suroviny	Kukuřičná siláž	14 500 t/rok
	Travní siláž	4 300 t/rok
	Kejda	3 500 t/rok

Průměrný ročního výnos dřevní masy z hektaru

(Energetická produkce
plantáží rychle rostoucích topolů na plantáži v lokalitě Chlumská, Celjak et al., 2010

první těžba po 4 letech	59,36 t.ha-1
druhá těžba po 4 letech	67,47 t.ha-1
Celkový počet let zahrnující obě sklizně	8 let
Průměrný roční výnos dřevní biomasy z 1 ha	15, 85 t.ha-1

Energie dřevní biomasy (rychle rostoucí topoly)

Průměrná roční výhřevnost dřevní biomasy sklizené z 1 ha	56 667 kWh
Průměrná roční výhřevnost dřevní biomasy sklizené z 1 m ²	5,666 kWh
Roční úhrn slunečního záření dopadající na m ²	1 159 kWh
Účinnost energetické přeměny slunečního záření do dřevní masy (nutná kontrola vlhkosti!)	0,49 %

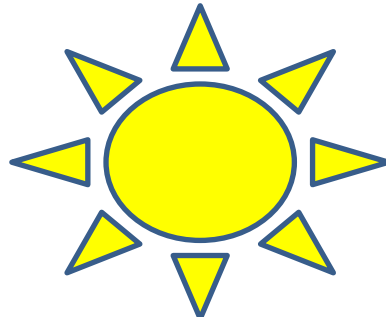
Energie získaná za rok z obnovitelných zdrojů na hektar

	Energie získaná z 1 ha v kWh	Energie po odečtu energetických vstupů v kWh	Elektřina a teplo z 1ha v kWh
FV elektrárna	474 574	474 574	474 574
Bioplynová stanice	44 000	26 180	23 562 ^x
Energie dřevní masy	56 660	54 660	46 461

x hodnota zahrnuje energii elektrickou i tepelnou

- výroba FV panelů cca 1 100 000 kWh/ha (návratnost 2,3 roku)
- Účinnost FVE je cca 10 krát vyšší než u bioplynu a dřevní štěpky
- Enegetický zisk z jednotky plochy (metru čtverečního) u obou FVE okolo 160 kWh ročně.
- proměnnost účinnosti FVE během roku - nejvyšší účinnosti (13 – 18 %) během jara a podzimu
- v ČR ročně vybráno 1 200 000 tun skla - 12x více nežli množství skla vázaného ve všech FVE v ČR

- Současnou zásadní výhodou biomasy je skladovatelnost, hodnota biomasy by mnohonásobně stoupla, kdybychom započítávali současnou cenu baterií nutných k uchování „uskladnění energie z FVE.
-



Využití sluneční energie (slunný den)

1000Wm^{-2}

80%

< 1%

13,6%

KLIMA

Výpar stovky

Wm^{-2}

nebo

Zjevné teplo

FVE

130Wm^{-2}
(40Wm^{-2})

Termální
kolektory

až 300Wm^{-2}

Fotosyntéza
několik Wm^{-2}

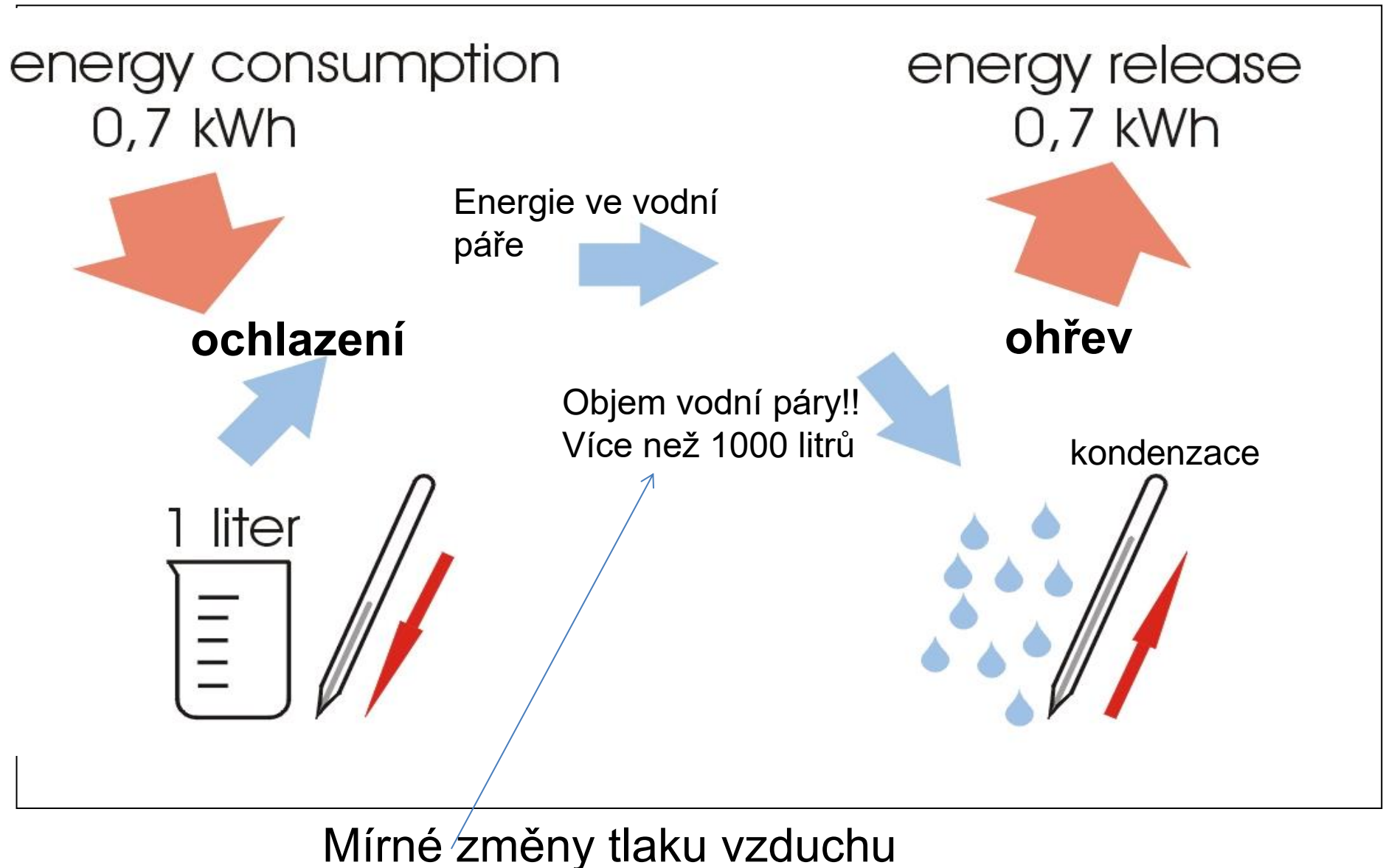
Tvorba funkční
biomasy

Štěpka
(spalování)
0,48%

Kukuřice
(bioplyn)
0,38%

ČOV (kaly,
bioplyn)

LATENTNÍ TEPLLO se spotřebovává při výparu vody a uvolňuje při kondenzaci



$0 - 1000 \text{ W.m}^{-2}$
tok sluneční energie

\approx
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 %

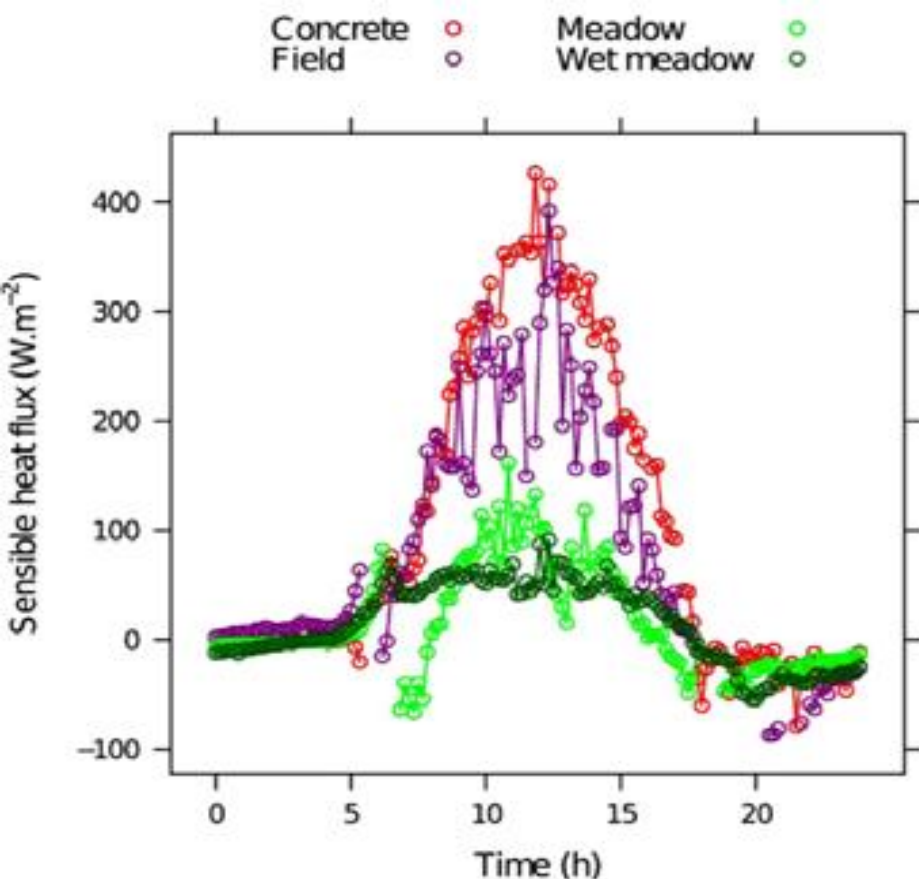
OHŘEV PŮDY
5 - 10 %

Chladný povrch

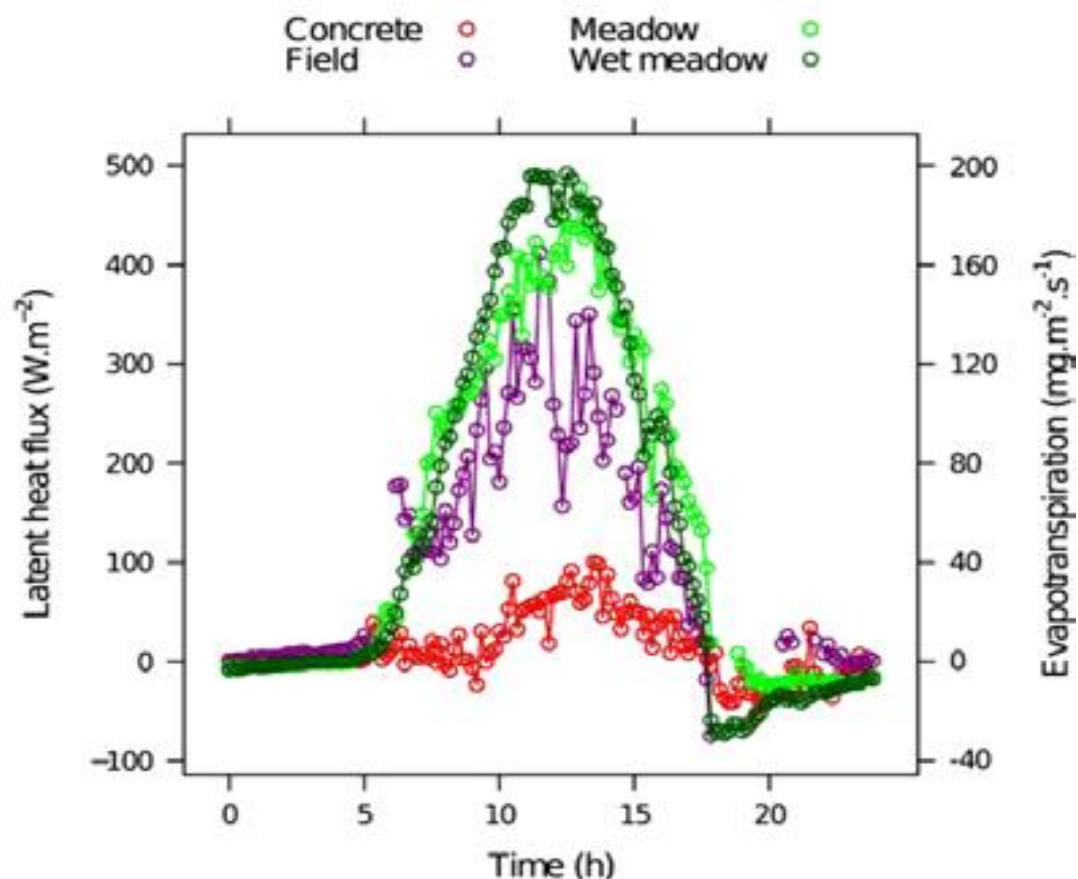
RYBNÍK, LOUKA, LES,
KRAJINA S DOSTATKEM VODY

Toky zjevného a skupenského/latentního tepla

Krajinný pokryv ovlivňuje toky stovek W m^{-2}



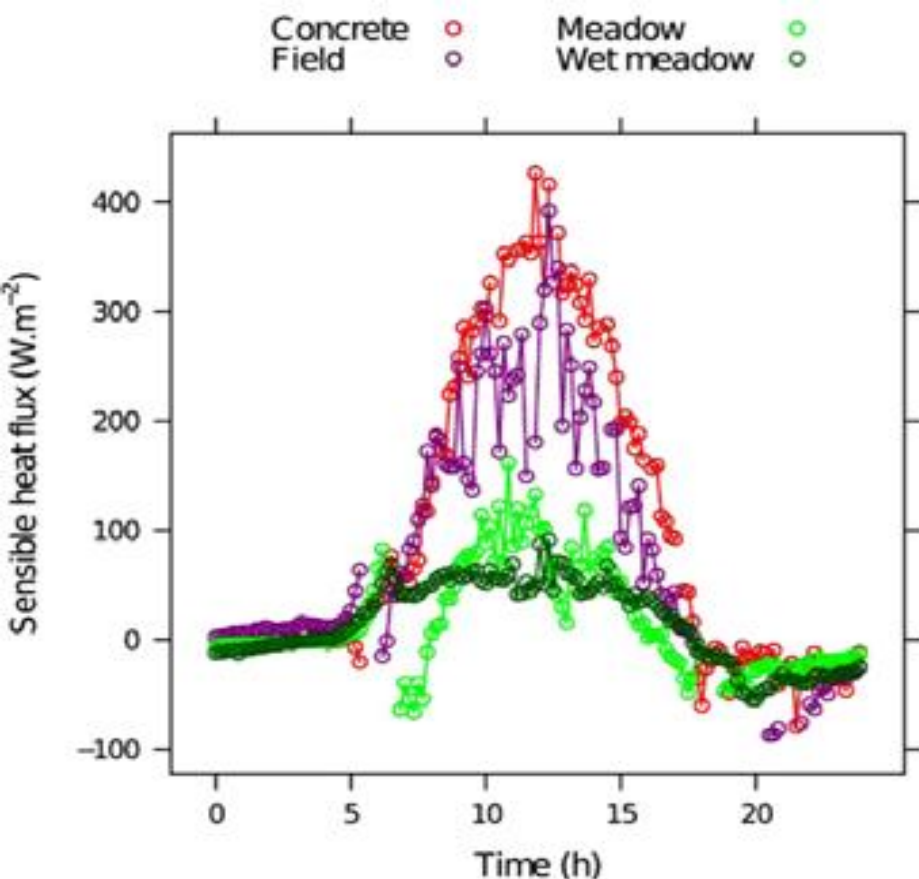
Zjevné teplo



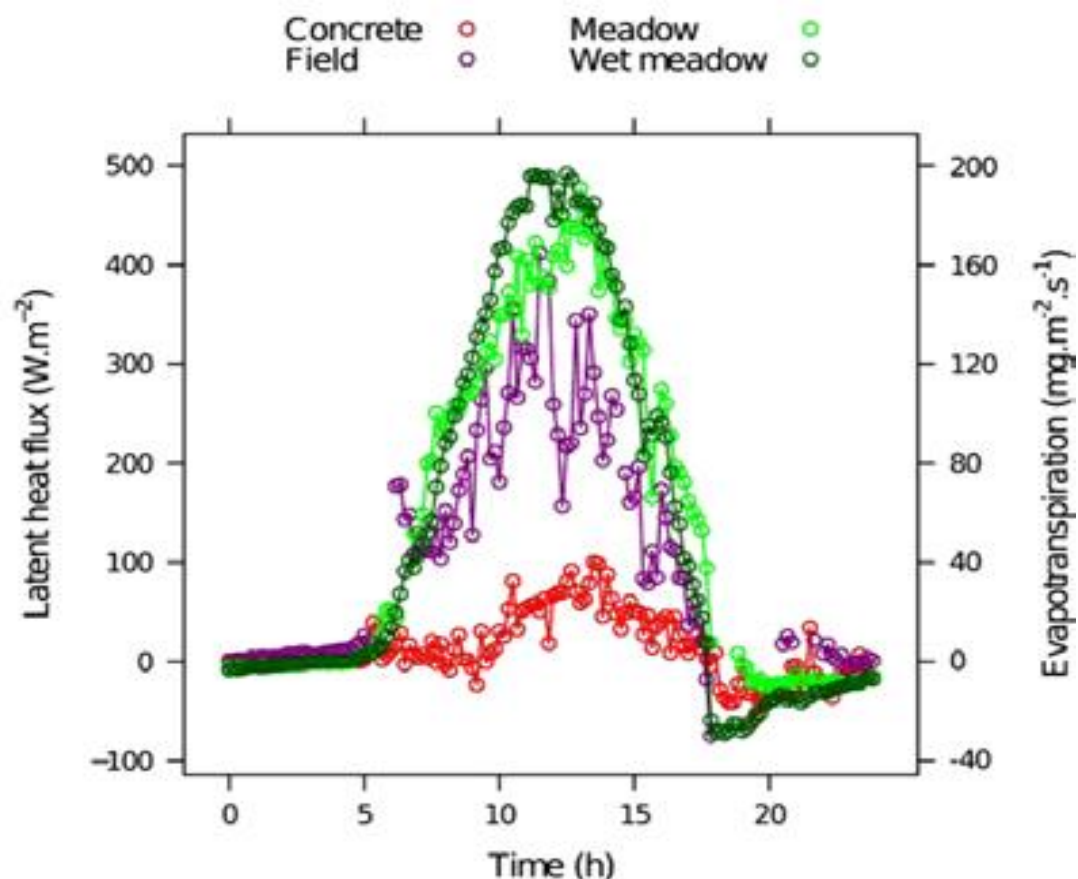
Chlazení výparem vody

Toky zjevného a skupenského/latentního tepla

Krajinný pokryv ovlivňuje toky stovek W m^{-2}



Zjevné teplo



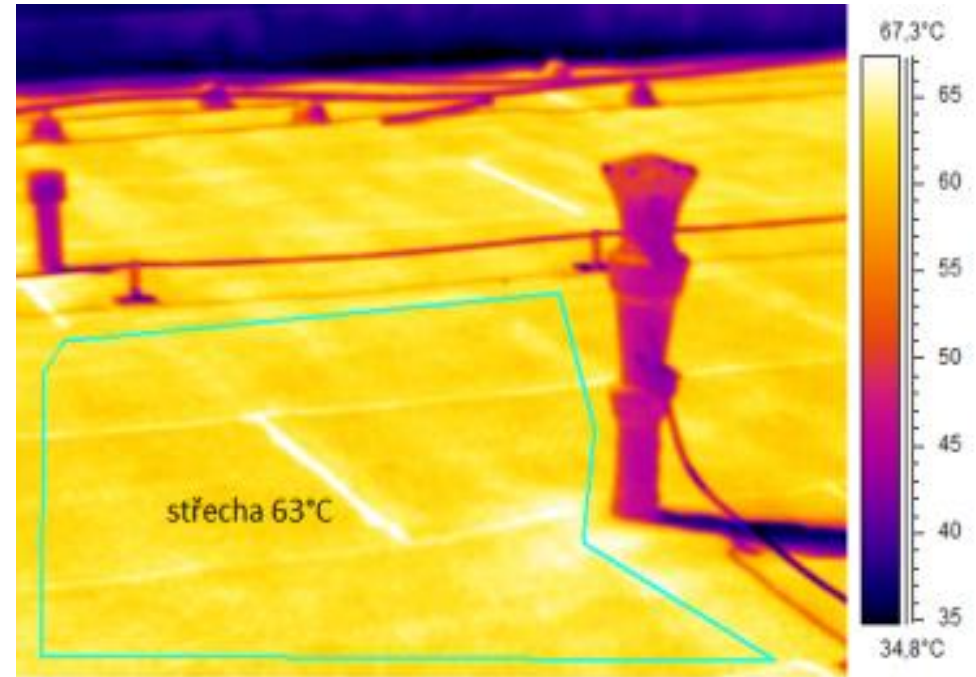
Chlazení výparem vody

Studie pro Magistrát Hradec Králové

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

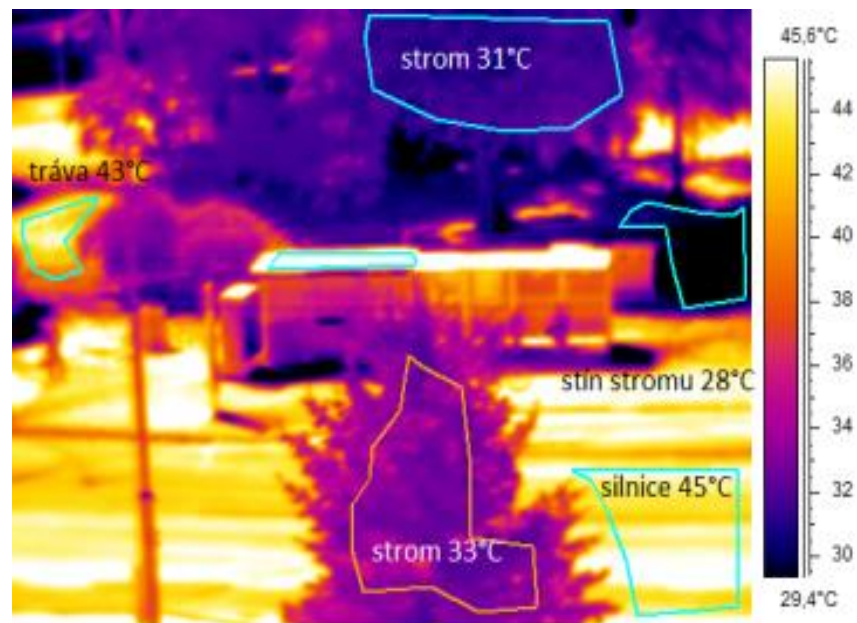
červenec 2015

22.7. 2015 pohled přes střechu Magistrátu k Severním terasám

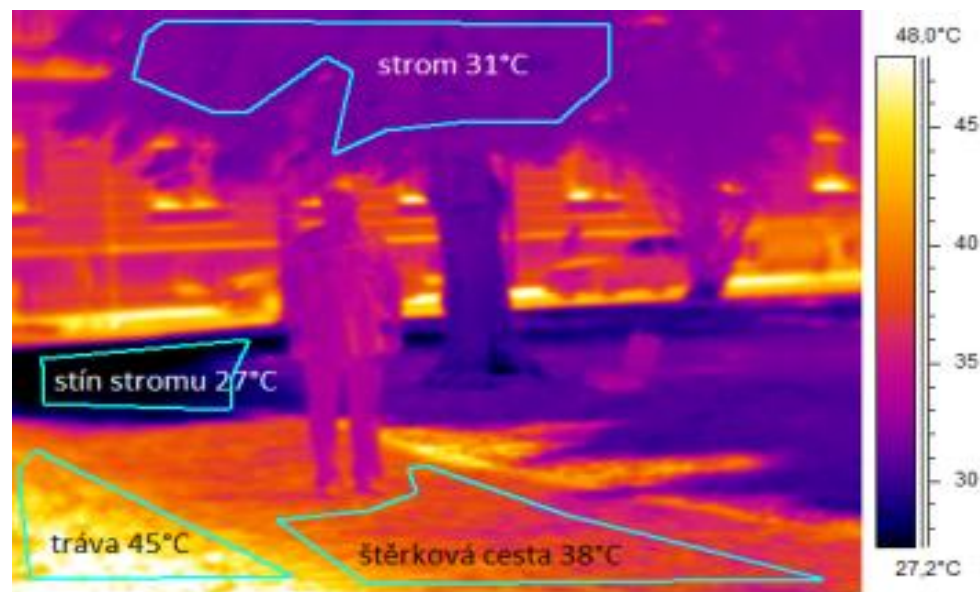


Povrch střechy má teplotu 63 C

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.

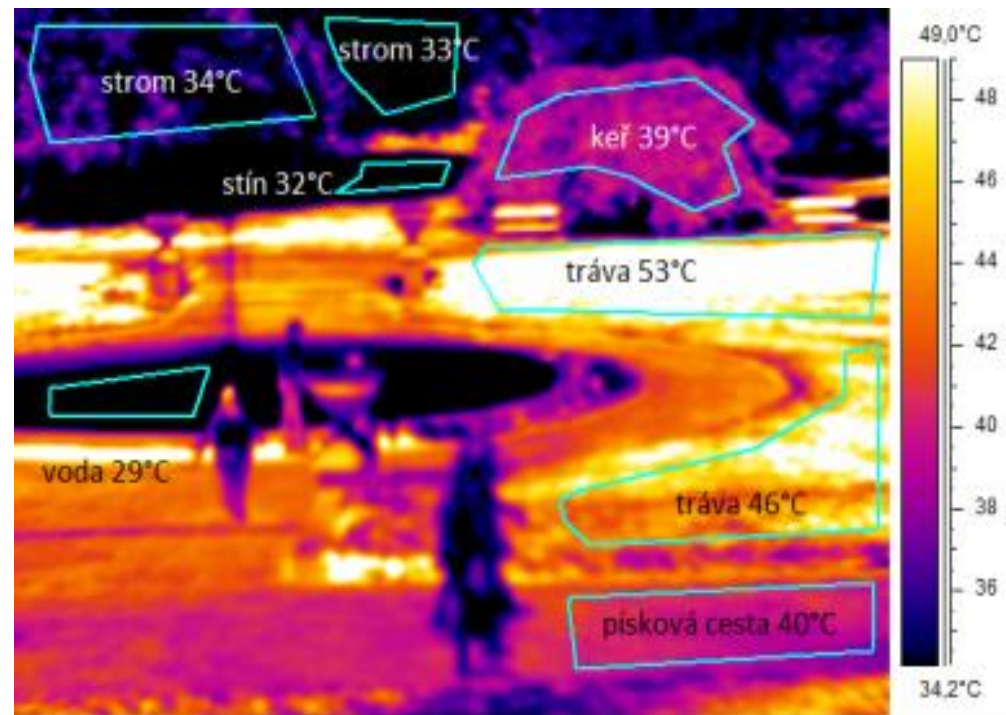


Vcházíme do Žižkových sadů a porovnáváme povrchovou teplotu osoby s teplotou osluněného trávníku a stínu stromu.



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.

Hledíme ze Severních teras na trávník a fontánu v Žižkovských sadech



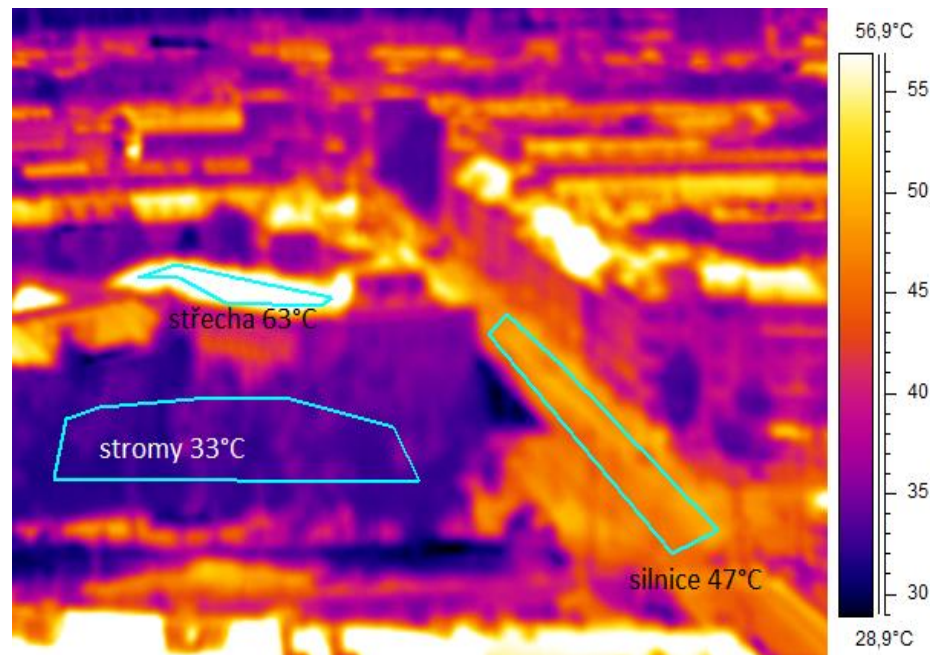
Lidské postavy jsou nápadně chladnější nežli okolí.
Pokosený trávník 53 °C, tráva 46 °C, písková cesta 40 °C.
Voda 29 °C, stín pod stromy 32 – 34 °C, keř 39 °C.

Hledíme z Bílé věže směrem ke třídě Karla IV, která je lemována alejí stromů.
Zajímá nás teplota stromořadí ve městské zástavbě.



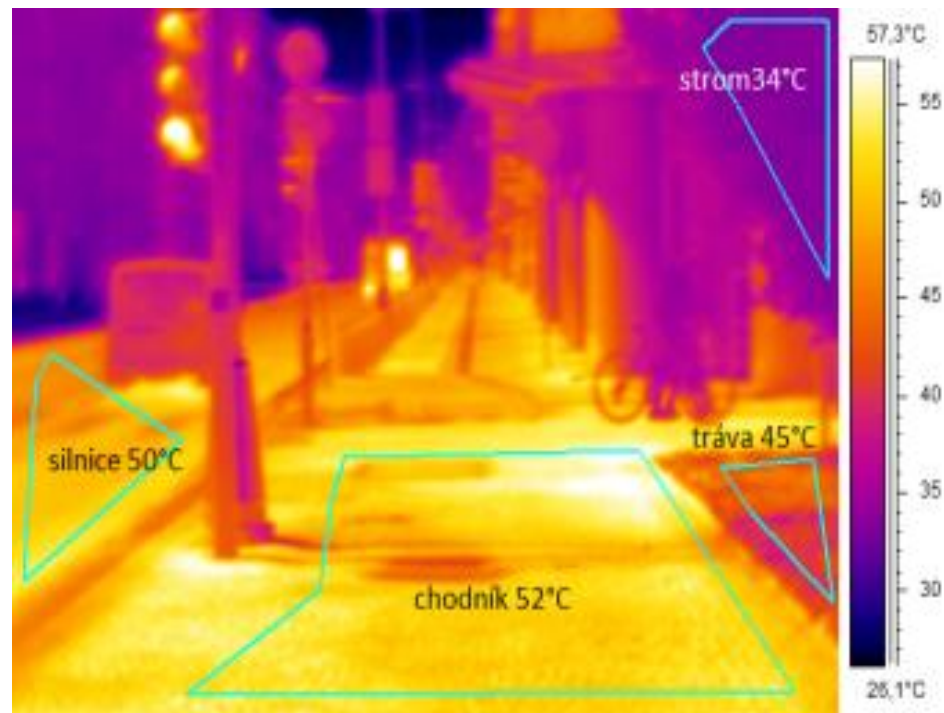
Střechy domů dosahují teploty 63 °C, povrch stromů v aleji 35 °C.

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



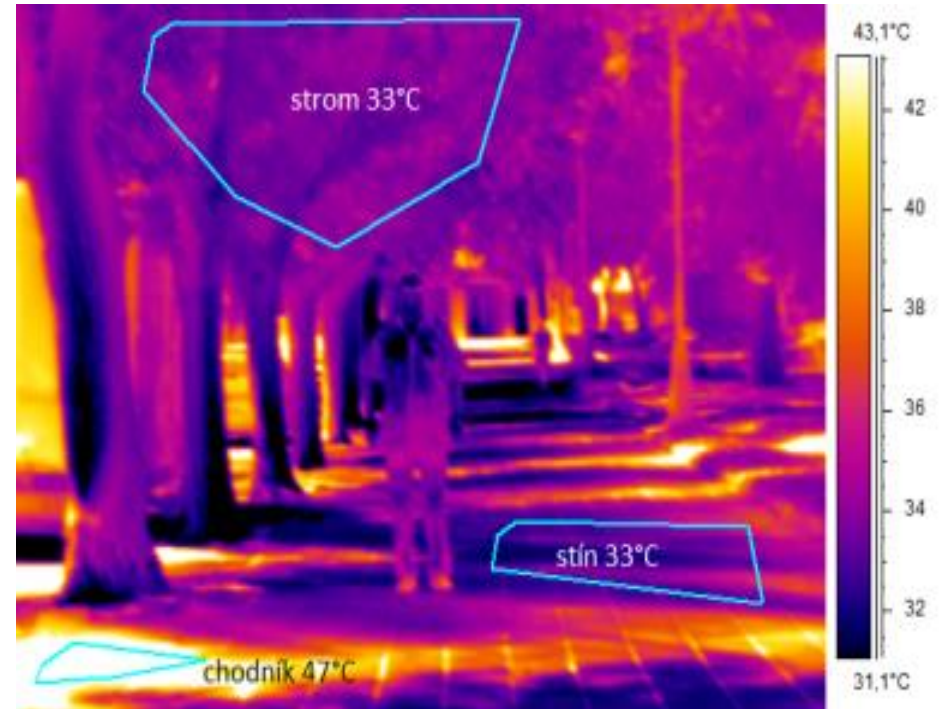
Povrch silnice a chodníku na Gočárově třídě má teplotu 47 °C

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.

Dosud jsou Severní terasy chlazeny zápojem vzrostlých stromů a keřů.

Jediný **strom chladí** za slunného počasí **výkonem až několika desítek kW.**

Vzrostlý strom totiž vypaří přes průduchy i **několik stovek litrů vody za den.**

(skupenské teplo jednoho litru vody je 0,7kWh)

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*)

Respektuje EIA změny toků sluneční energie působené odvodněním, odlesněním?

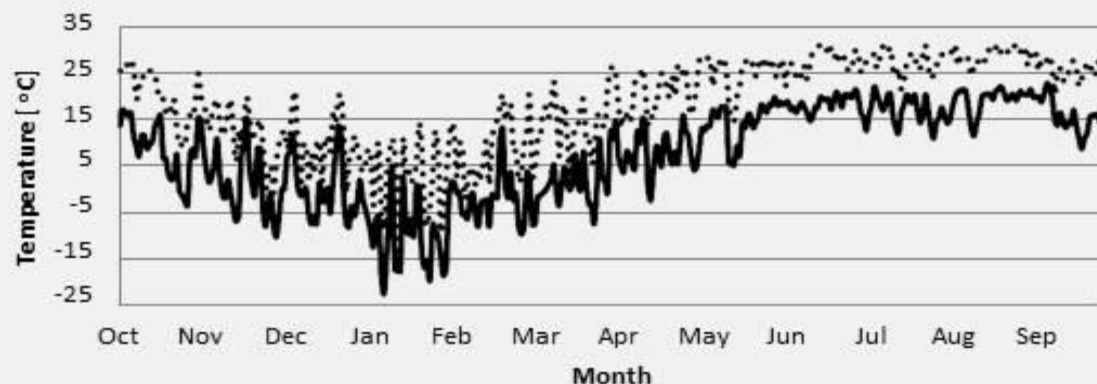
- V srpnu 2015, září 2016 byla sklizena řepka a obilí na 1 800 000ha polí
- do atmosféry z nich proudilo teplo cca 9000GW (12 GW je instalovaný výkon elektráren v ČR, z toho JE Temelín má 2GW).

V Severní Americe se následkem odvodnění mokřadů uvolňuje na 180 000GW.

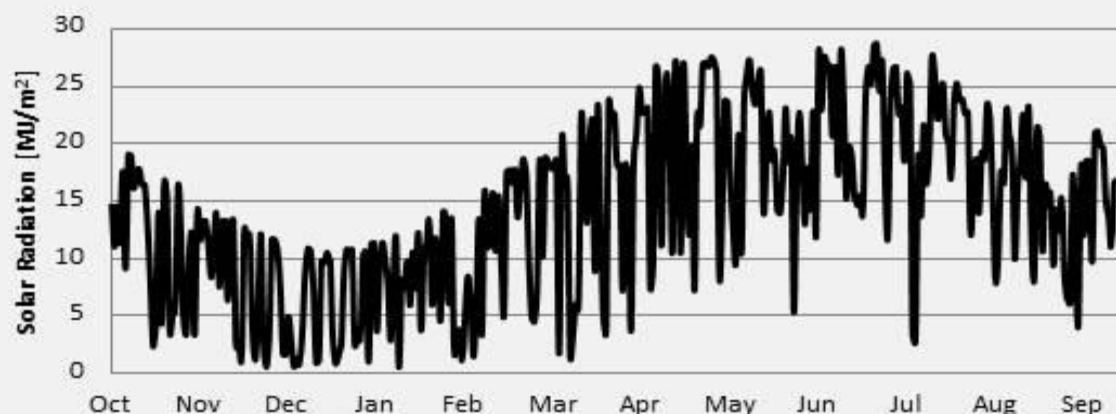


Energy Signature

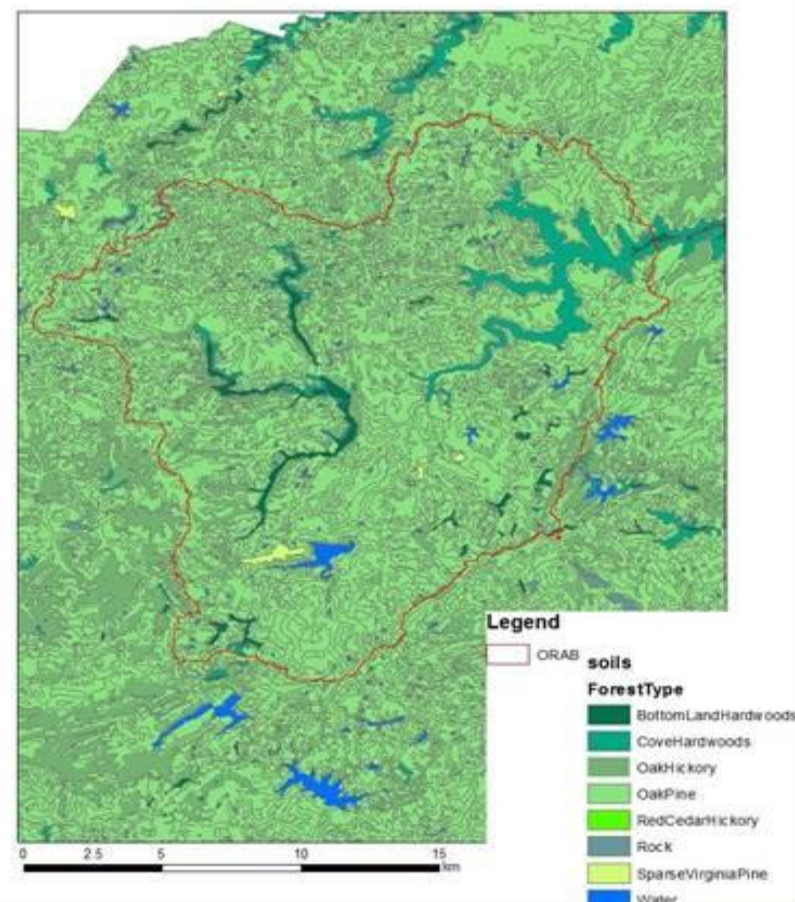
Daily Temperature, Crossville, TN, WY2014



Solar Radiation, Crossville, TN, WY2014



Vegetation Based on Soils Cumberland County, Tennessee

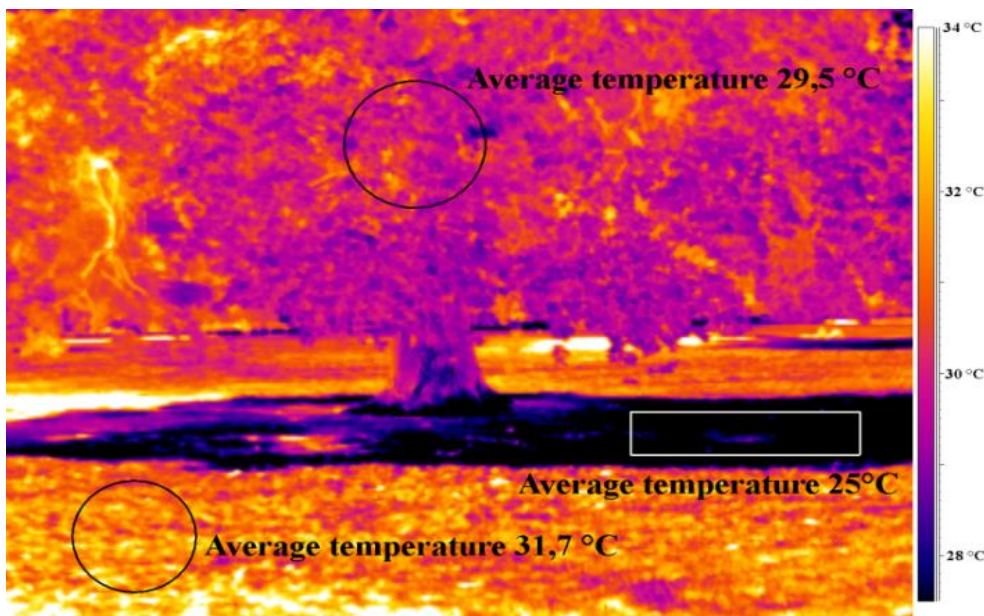
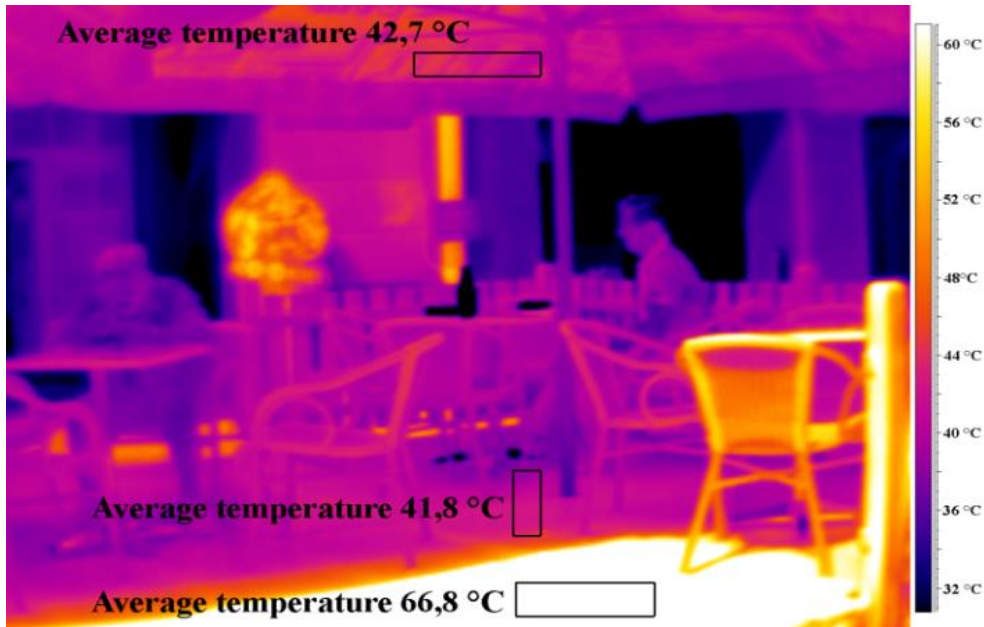


22MAR16

Ecological and Landscape Engineering Principles Incorporated into
Evaluation of Rainfall-Runoff Relationship Changes

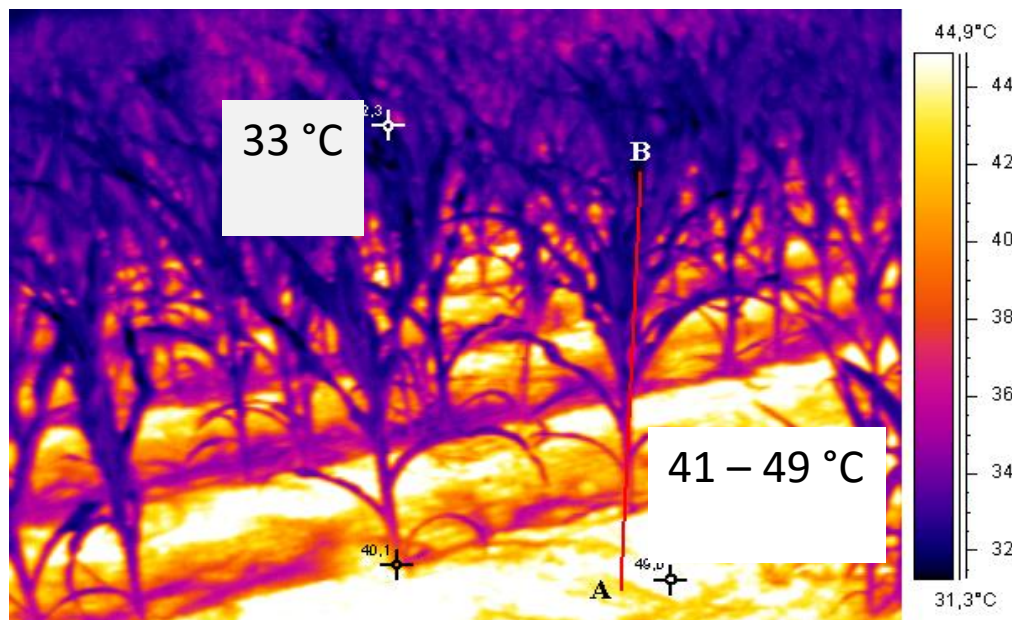
25

TN

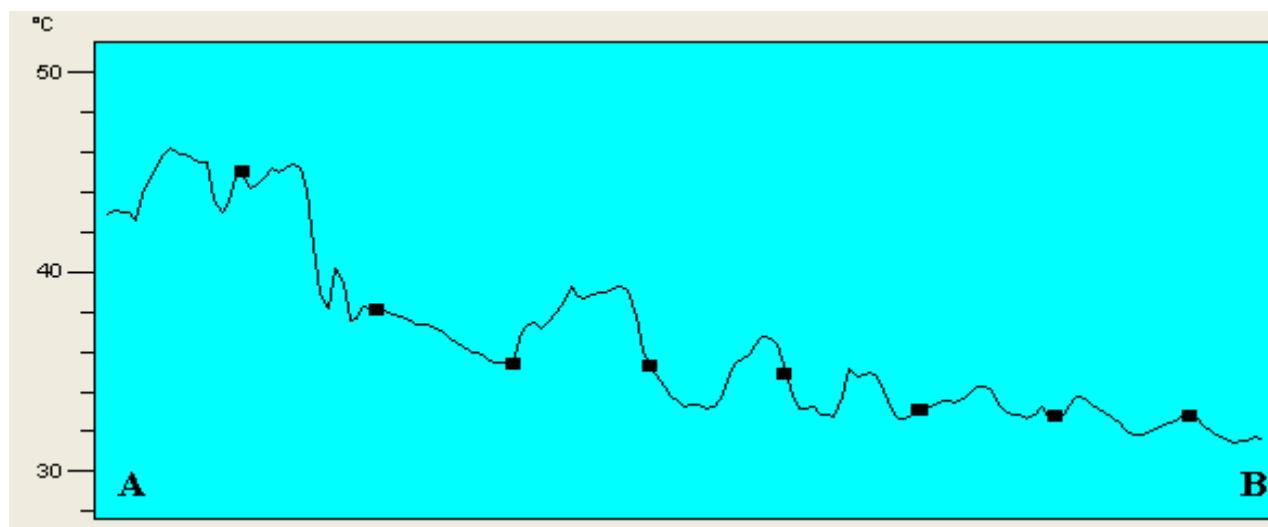


Eiseltoová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W. (2012): Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability. In: Irmak A. (ed.) *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*. InTech, pp. 305 – 328.
 Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/evapotranspiration-a-driving-force-in-landscape-sustainability>

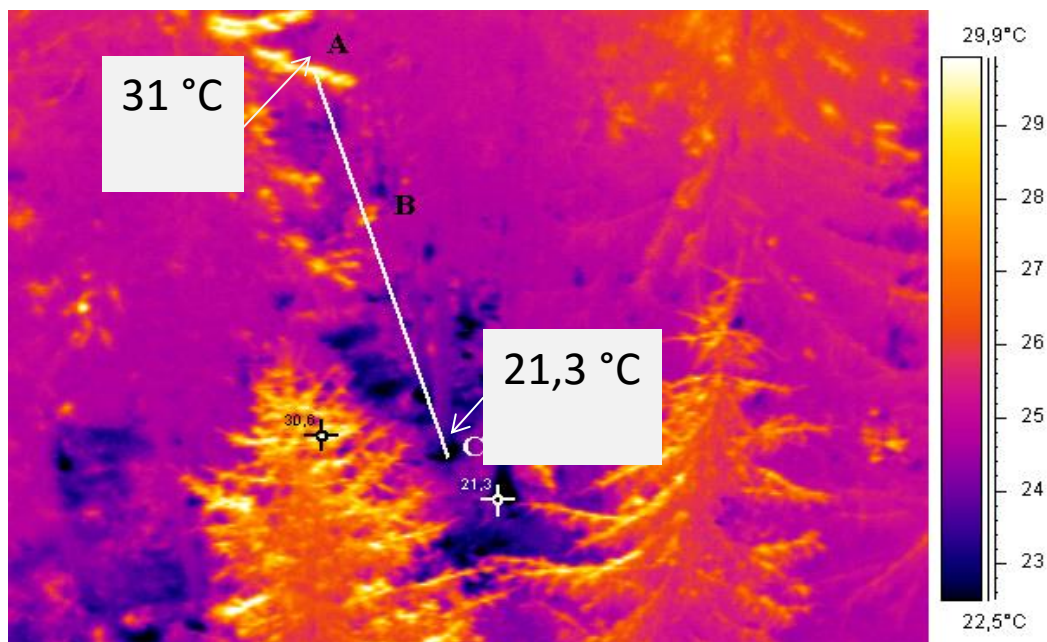
Makarieva, A.M., Gorshkov, V.G. (2007) Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol Earth Syst Sci* 11(2), 1013–1033.



Teplý vzduch unáší vodní páru vzhůru – porost se vysušuje

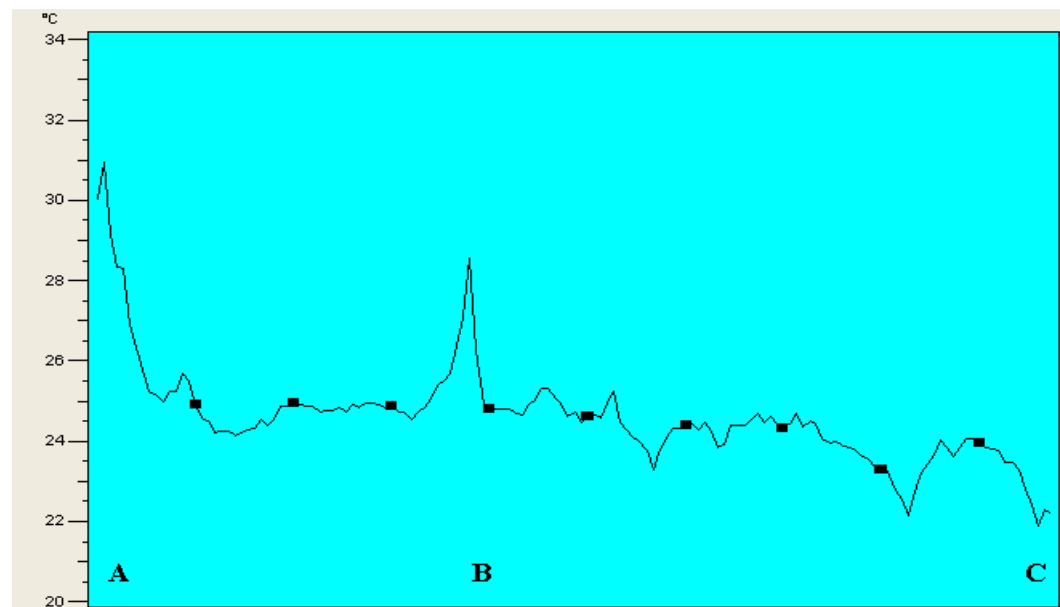


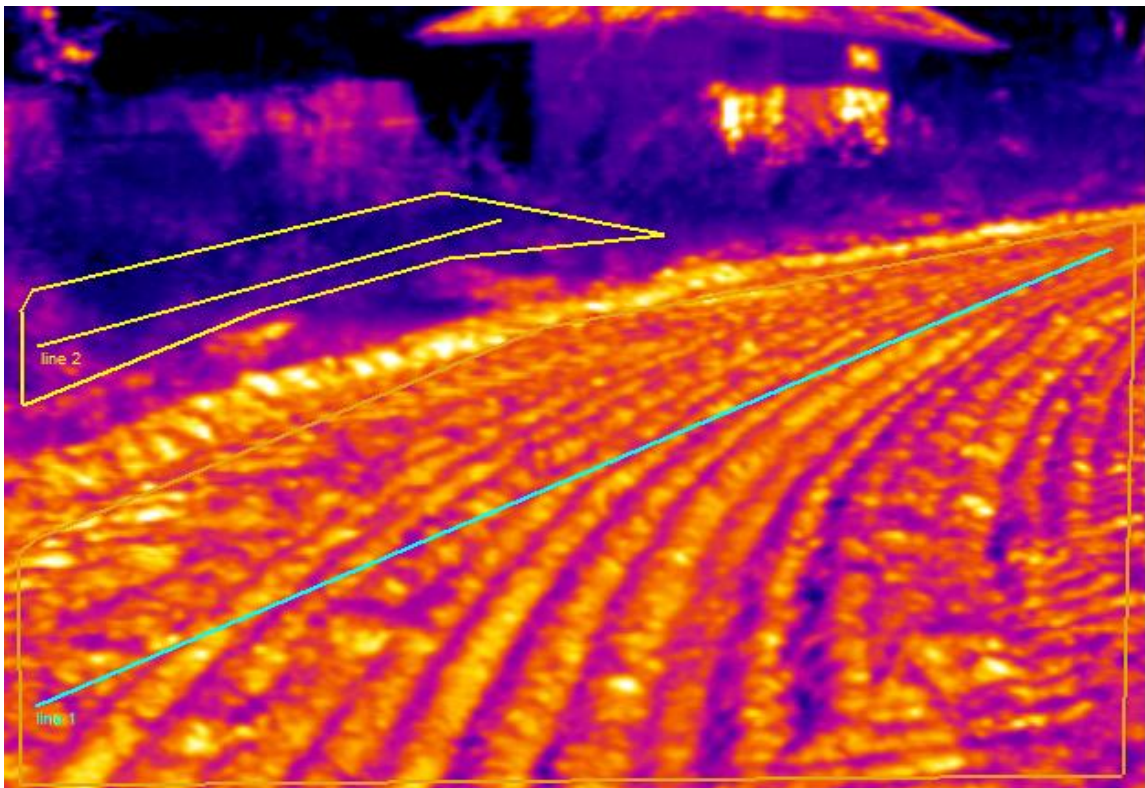
Teplota na povrchu porostu 33 C, teplota půdy až 49 C



**Inverze teplot
ve dne v lese
udrží vodu
v porostu
v korunách 31 °C**

Při zemi 21 °C

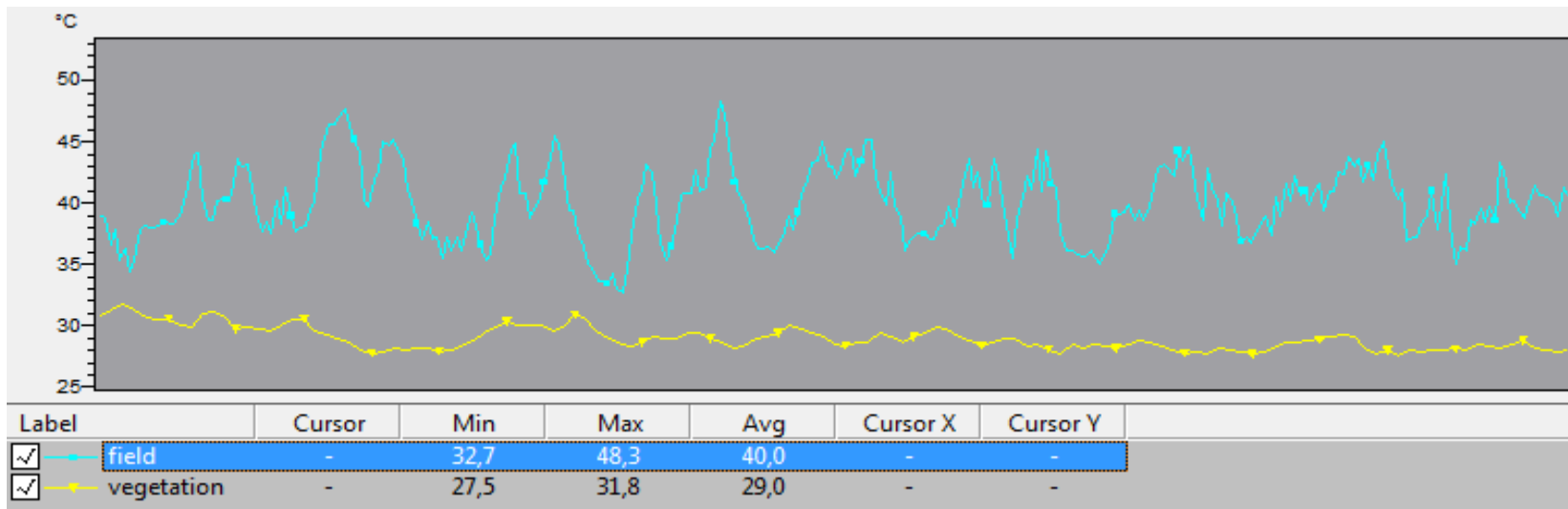


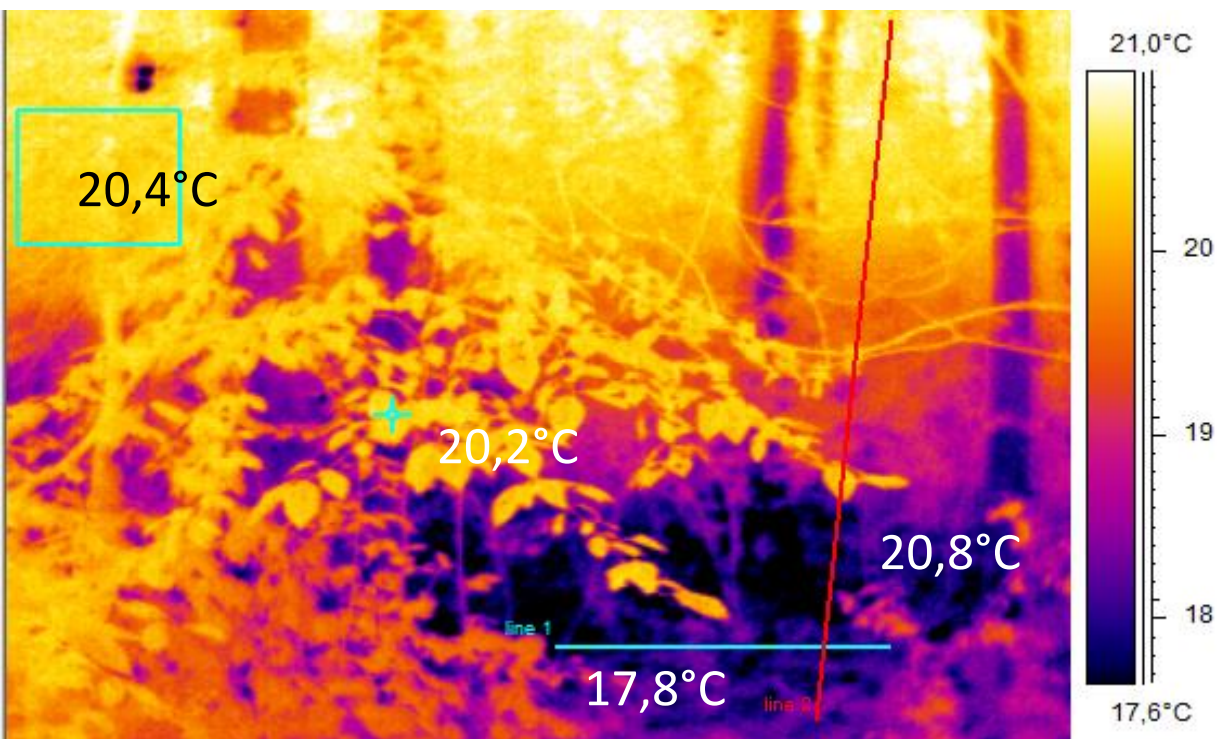


Zorané pole

Průměrná teplota 39,5°C

Sousední vegetace 29,3 °C



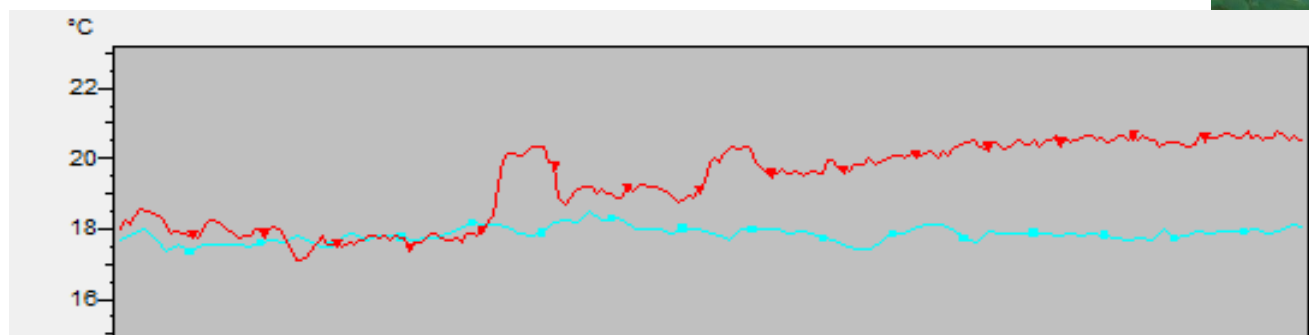


Olšina

Průměrná teplota 19,5°C

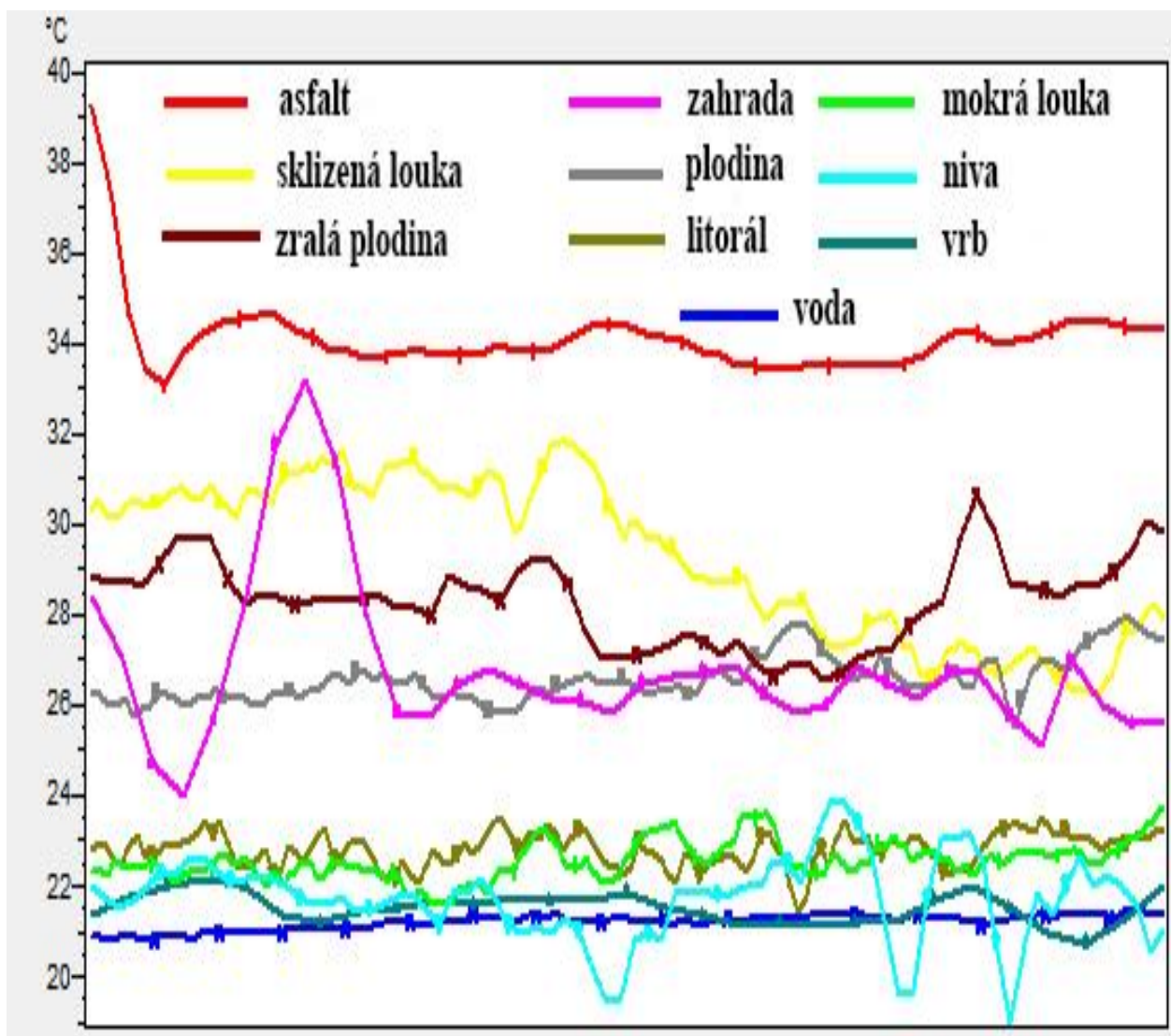
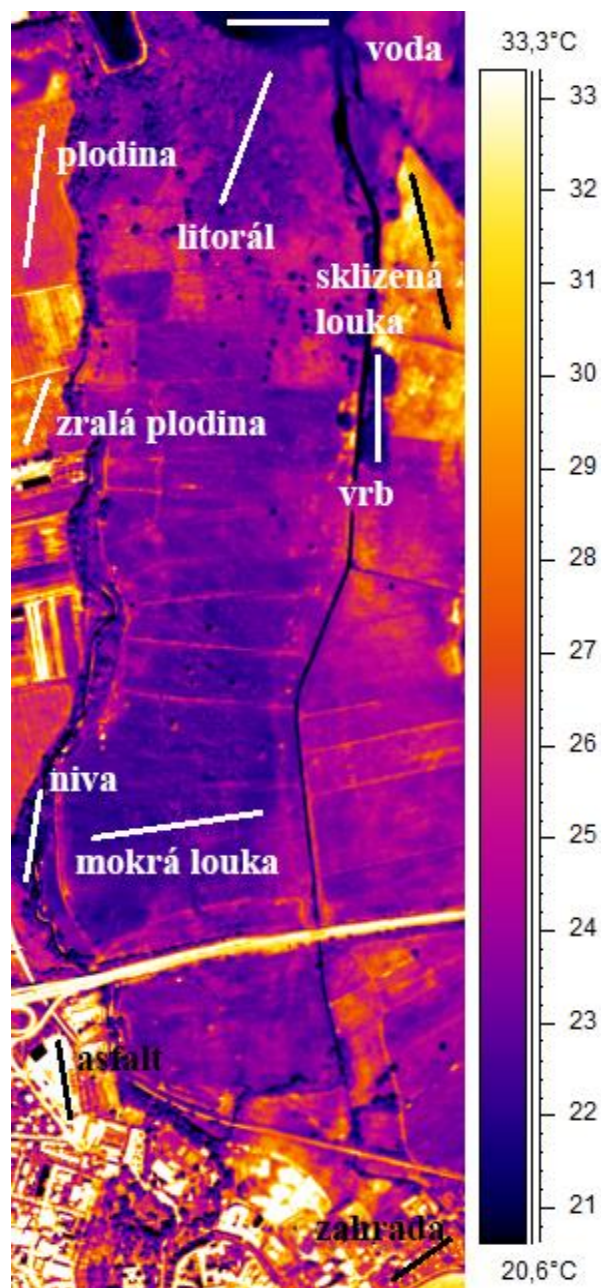
Min. 15,7°C

Max. 22°C



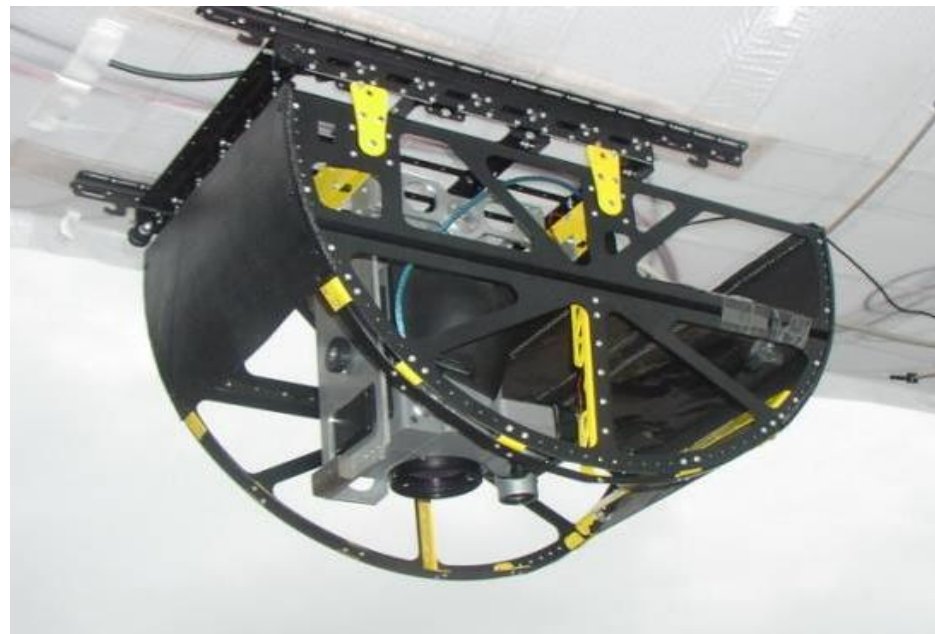
Label	Cursor	Min	Max	Avg	Cursor X	Cursor Y
<input checked="" type="checkbox"/> line 1	-	17,3	18,5	17,8	-	-
<input checked="" type="checkbox"/> line 2	-	17,1	20,8	19,3	-	-

- Energetické nároky na výrobu fotovoltaického panelu se přibližně rovnají energii, kterou tento panel vyrobí za dva roky
- Na metru čtverečním naroste za rok 1kg rostlinné biomasy o energetickém obsahu 5kWh. Takové množství energie se spotřebuje na výpar 7,2 litrů vody, to vypaří porost z m² za dva dny.
- Rostliny jsou velmi účinné klimatizační zařízení, na jehož „výrobu“ se spotřebuje velmi málo energie. My je pálíme!



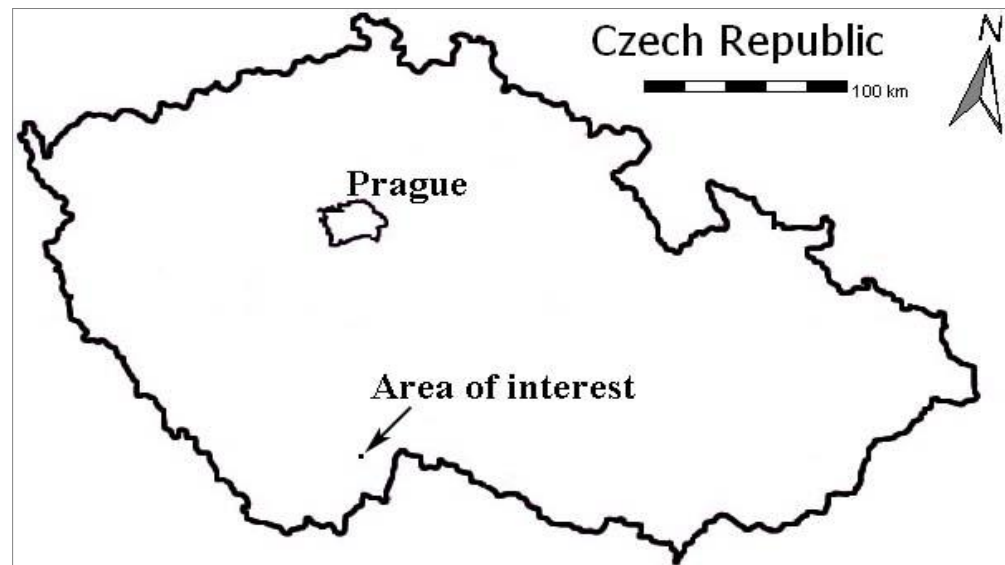
Termovizní kamera nesená vzducholodí

Heliem plněná vzducholod', délka 8m. Vybavená řídicím a navigačním systémem, výškoměrem a GPS navigačním systémem. Elektromotor poháněný z akumulátoru. Pracovní rychlost 5 m/s; výška do 1000 m, maximální doba letu 30 minut. Závěs na gondole udržuje termovizi v pravém úhlu k povrchu zemskému. Frekvence snímání se řídí rychlostí letu. Užitný vzor Jirka a kol 2011 (NPV 2B06023)



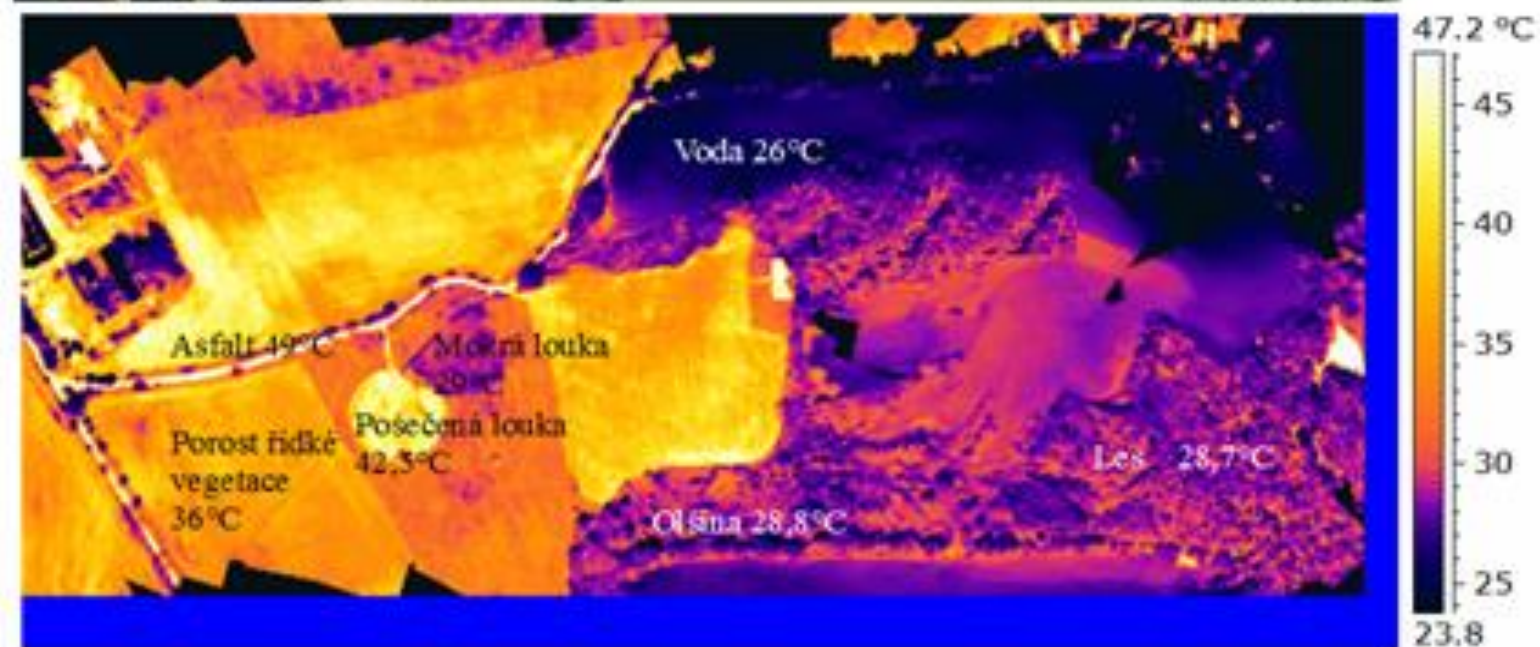
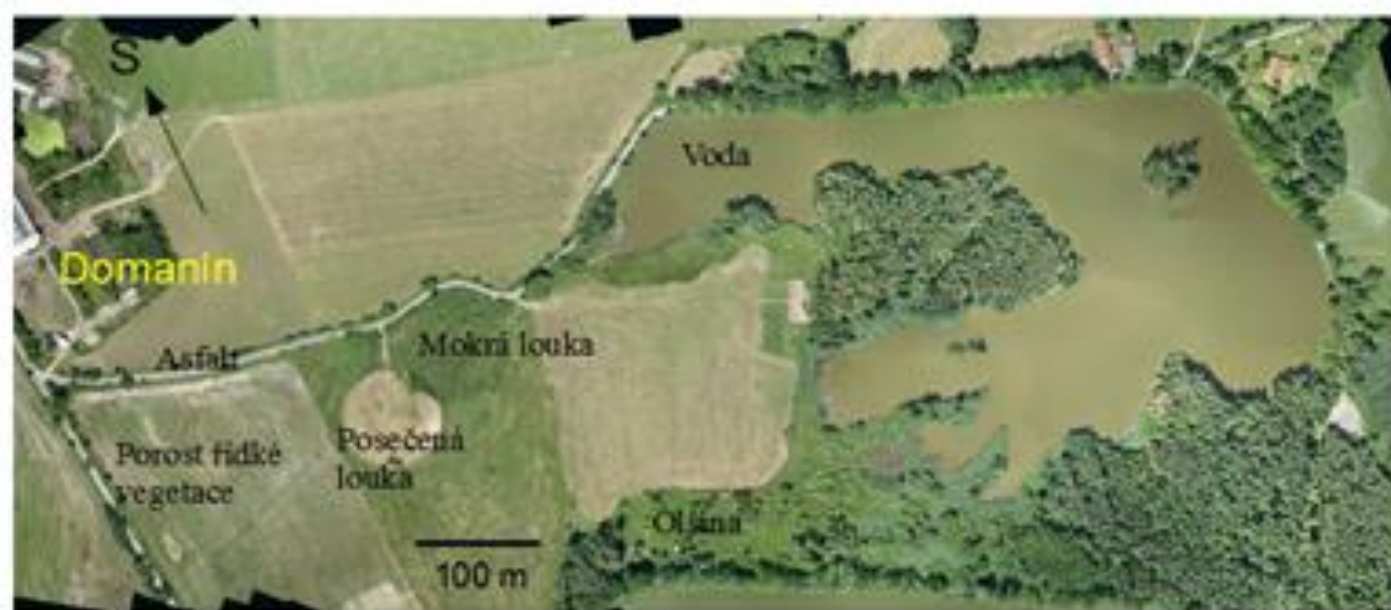


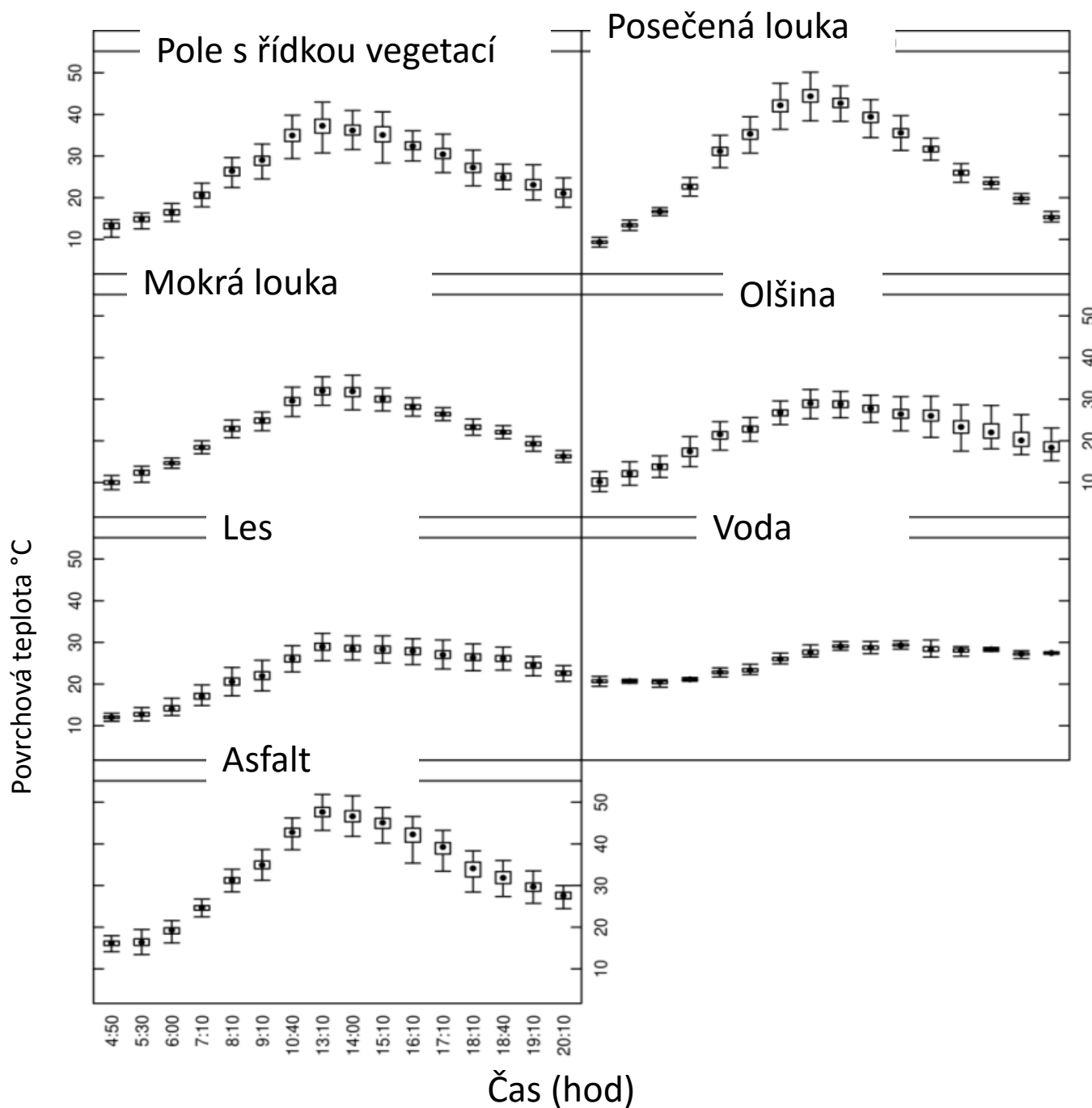
16x snímkování během
9.7.2010
od 4:50 do 20:10



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



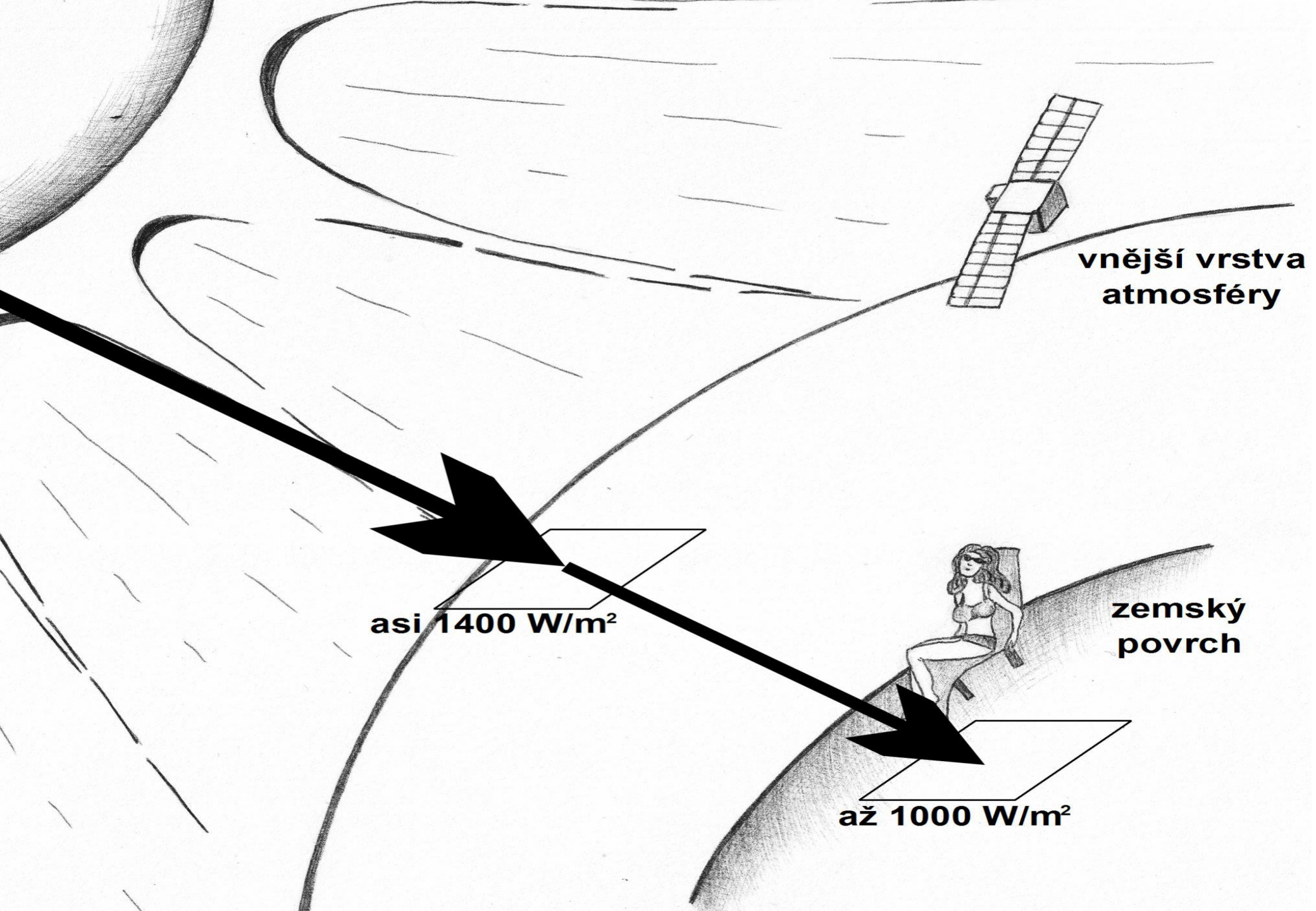




Denní průběhy povrchové teploty různých typů krajinného pokryvu;

V poledních hodinách teploty posečené louky a asfaltu dosahují téměř **50°C**, povrchu s vegetací a vodou (les, mokrá louka, olšina) nepřesahují **30°C**

Rozdíl povrchové teploty a teploty vzduchu měřené v meteo-budce dosahuje v těsně po poledních hodinách až 20°C



**vnější vrstva
atmosféry**

asi 1400 W/m²

**zemský
povrch**

až 1000 W/m²

Stín stromu a stín slunečníku

Slunce

