

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Inženýrství životního prostředí



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv chladných střech na městské klima v  
podmínkách ČR

Vyhotovil: **Bc. Vojtěch Brabec**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.**

Praha 2019



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Brabec Jméno: Vojtěch Osobní číslo: 395693

Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie

Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3904T007) Inženýrství životního prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv chladných střech na městské klima v podmínkách ČR

Název diplomové práce anglicky: Impacts of cool roofs on urban built environment in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

Tato studie by měla zahrnovat:

- Rozbor problematiky tepelného ostrova městských aglomerací.
- Rešerši dosavadních přístupů navrhování chladných střech a stanovení jejich environmentálních dopadů.
- Využití existujících meteorologických pozorování pro odhad vlivu chladných střech na klima v podmínkách ČR.
- Hodnocení analyzovaných poznatků v širších environmentálních souvislostech.

Seznam doporučené literatury:

IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. The fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, Geneva.

Rosenzweig, C., Gaffin, S., Parshall, L. (2006): Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, 59 pp.

Santamouris, M. (2001): Energy and climate in the urban built environment. Routledge, New York, 399 pp.

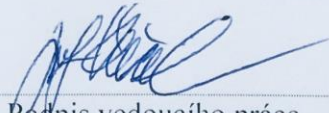
Shaw, E.M. (2011): Hydrology in practice. 4th edition, Span Press, London, 560 pp.

Jméno vedoucího diplomové práce: Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

  
Podpis vedoucího práce

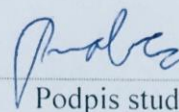
  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

8.10.2018

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv chladných střech na městské klima v podmínkách ČR** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ...

.....

Jméno Příjmení

## Poděkování

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Josefu Křečkovi, CSc. za odborné vedení a pomoc při zpracování diplomové práce. Mé poděkování patří také Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D za odborné konzultace. V neposlední řadě děkuji mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

# VLIV CHLADNÝCH STŘECH NA MĚSTSKÉ KLIMA V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou klimatické zátěže urbanizovaných oblastí. Praktická část studie vychází z naměřených hodnot experimentu na třech variantách střešních fólií. Srovnávány jsou: běžná fólie na bázi lepenky, hydroizolační šedá fólie a speciální vysoceodrazivá fólie. Výsledky stanovení radiační a tepelné bilance potvrzují teoretické předpoklady o účinnosti vysoceodrazivé fólie, která snižuje tepelnou zátěž prostředí o desítky procent, což představuje u aglomerací s rozsáhlou střešní plochou značný přínos nejenom na redukci tepelného ostrova a životnost konstrukcí budov, ale i na energetické nároky na klimatizaci objektů. Oproti této „chladné střeše“ mají „zelené střechy“ řadu výhod (environmentální a estetický efekt), ale výhodou v této práci zkoumané chladné střechy je ekonomické hledisko spojené i s nutností dimenzování celé konstrukce budovy na vyšší zatížení. Odrazivá fólie je finančně dostupnější a je tak zajímavou alternativou a důležitým mezistupněm mezi konvenčními „černými“ krytinami a „zelenou střechou“, a může proto být pro investory velmi atraktivní.

Klíčová slova: městské klima, tepelné ostrovy, chladné střechy

# IMPACTS OF COOL ROOFS ON URBAN BUILT ENVIRONMENT IN THE CZECH REPUBLIC

## Summary

This thesis deals with the issue of climatic loads of urbanized areas. The practical part is based on measured experimental values on three variants of roof foils. They are compared: conventional cardboard-based foil, waterproof gray foil and special high-shear foils. The results of the radiation and thermal balance confirm the theoretical assumptions about the efficiency of a highly efficient film that reduces the thermal load of the environment by tens of percent, which in the case of agglomerations with a large roof cladding makes a significant contribution not only to the reduction of the thermal island and the lifetime of buildings but also to the energy demands on the air- . Compared to this "cool roof," the "green roof" has a number of advantages, but the advantage of this work is the cold cold roof, which is connected with the economic point of view connected with the necessity of dimensioning the whole structure of the building to a higher load. Reflective film is affordable and is an interesting alternative and an important intermediate step between conventional "black" roofing and "green roofs" and can therefore be very attractive for investors.

**Key words:** urban climate, thermal islands, cool roofs

# OBSAH

<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>KLIMA MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍ .....</b>	<b>6</b>
2.1.	ENERGETICKÁ BILANCE AKTIVNÍHO POVRCHU .....	9
2.2.	TEPELNÝ OSTROV MĚSTA .....	12
2.3.	MOŽNOSTI REGULACE MĚSTSKÉHO KLIMATU.....	14
2.4.	CHLADNÉ STŘECHY .....	14
<b>3.</b>	<b>POUŽITÁ METODIKA .....</b>	<b>17</b>
3.1.	POUŽITÝ MATERIÁL STŘEŠNÍ KONSTRUKCE.....	17
3.2.	METODIKA MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT .....	19
<b>4.</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>ŠIRŠÍ SOUVISLOSTI APLIKACE CHLADNÝCH STŘECH.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>VLIV NA INTERIÉR STAVBY A PROSTŘEDÍ .....</b>	<b>35</b>
5.2	HODNOCENÍ VLIVU NA MIKROKLIMA A TEPELNOU BILANCI.....	36
<b>5.3</b>	<b>VLIV NA HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU .....</b>	<b>37</b>
5.4.	POROVNÁNÍ CHLADNÝCH A VEGETAČNÍCH STŘECH .....	37
5.5.	SOUČASNÁ APLIKACE CHLADNÝCH STŘECH V ČESKÉ REPUBLICCE A VE SVĚTĚ .....	42
<b>5.6</b>	<b>LEGISLATIVNÍ RÁMEC .....</b>	<b>43</b>
	<i>Normy v USA.....</i>	<i>44</i>

<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>ZDROJE.....</b>	<b>47</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....</b>	<b>51</b>



# 1. Úvod

Problematika tepelné zátěže měst byla dlouhou dobu na okraji zájmu odborné i laické veřejnosti. V posledních letech jí však začíná být věnováno stále více pozornosti v souvislosti s globálním oteplováním a nedostatkem vody [19][21]. Zejména v letních měsících s často dlouhotrvajícím suchem, kdy dochází ke snížení komfortu obyvatelstva, je patrná potřeba změny dosud praktikovaného urbanistického směru. Elegantním řešením, které využívá přirozených přírodních principů a zákonitostí bez nadměrné investiční zátěže, je využití chladných střech (střech s vysokou odrazivostí slunečního záření).

Cílem této diplomové práce je analýza aktuálně nabízených systémů chladných střech a zhodnocení jejich potenciálního přínosu pomocí vlastního experimentu pro urbanistické oblasti s vysokým tepelným zatížením (tepelné ostrovy). Chladné střechy jsou zde analyzovány s ohledem na konstrukci materiálu, jeho vlastnosti, cenu a legislativu tak, aby závěry této studie přesahovaly i do praxe. Závěry tohoto výzkumu jsou porovnány s konceptem zelené střechy, která v současné době zažívá velký nárůst popularity a kromě funkce „ochlazení města“ plní i estetickou a environmentální roli.

## 2. Klima městských aglomerací

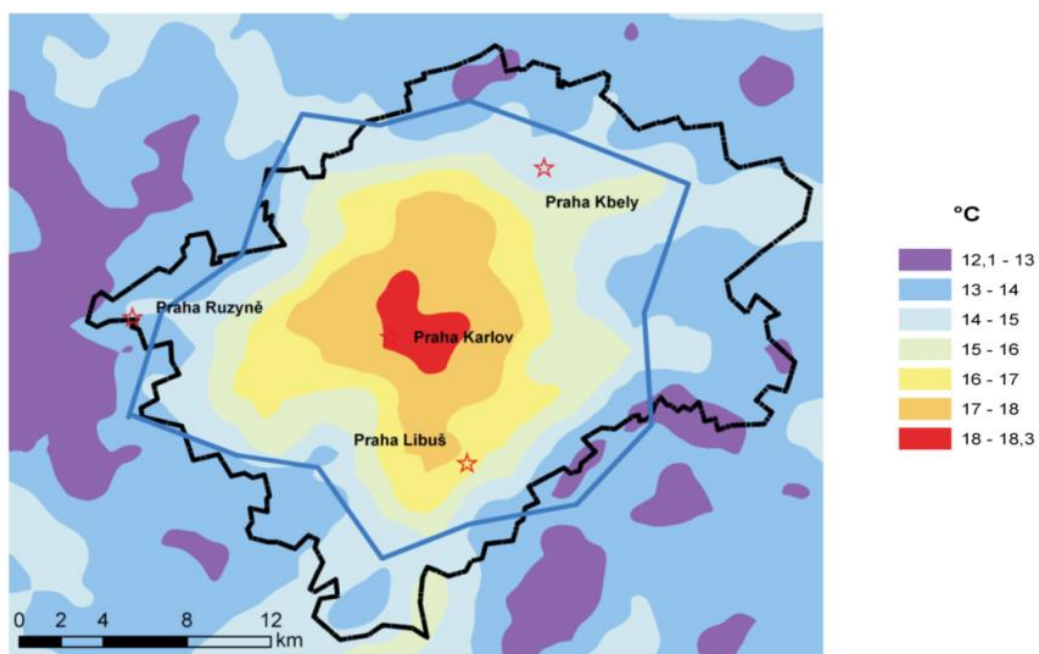
Klima v městských aglomeracích bylo dlouhá léta opomíjeno jako problematická součást měst. Naléhavá potřeba zlepšení klimatu v urbanizovaných oblastech je v současné době diskutováno odbornou i laickou veřejností. Mezi hlavní nedostatky městského prostředí patří nedostatek zeleně, rozsáhlé dlážděné plochy a rychlé odvádění srážkové vody do kanalizační sítě. [6]

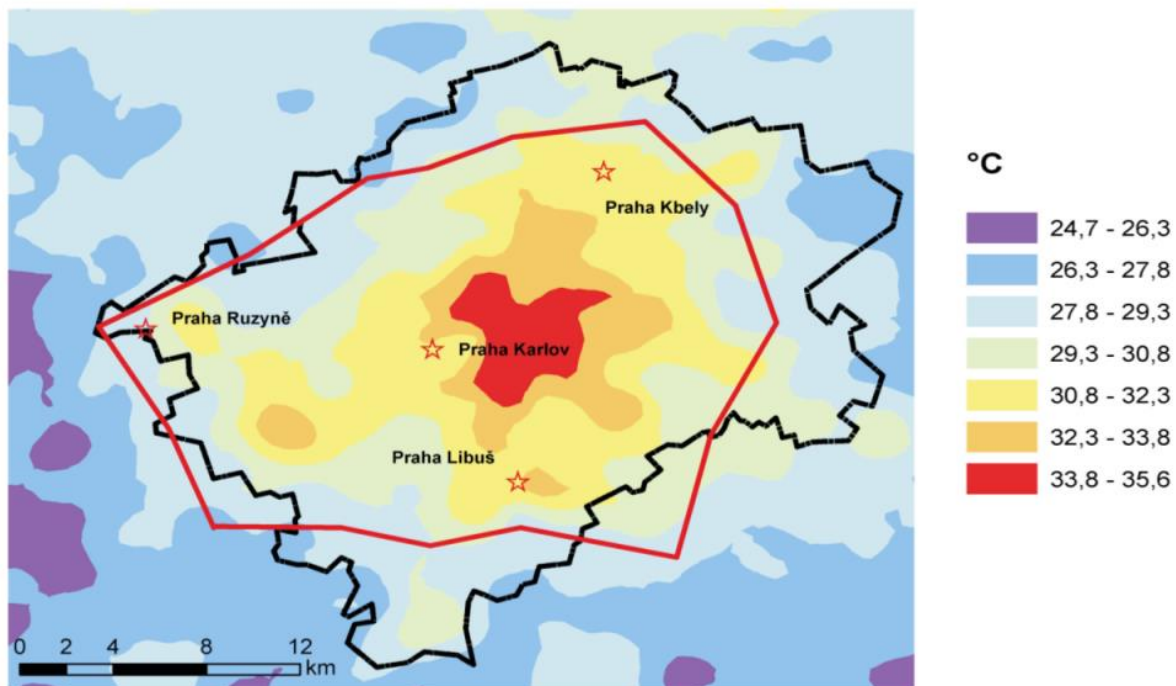
Řešením tohoto problému je snižování tepelné zátěže zvyšováním vysoce odrazivých a zelených ploch v městských aglomeracích. V praxi se používají konstrukce chladných a zelených (vegetačních) střech, případně dochází k přeměně celých starých průmyslových oblastí na parky nebo lesoparky.

Tepelná zátěž městského prostředí je vyjadřována s ohledem na koncentraci obyvatelstva. V ČR je míra urbanizace obyvatelstva 75 %, což patří ve světovém měřítku k vysokým hodnotám [1], [2]. Velký vliv na urbanizaci má též velké procento HDP, které je vázáno na městské oblasti. [13]

Přizpůsobení současným a budoucím změnám globálního klimatu je diskutováno s cílem snížení materiálních škod a negativních vlivů na životy a zdraví obyvatelstva. Tepelné ostrovy měst jsou v ČR řešeny v souvislosti s celkovou zranitelností prostředí vůči oteplování a nárůstu extrémních hydrometeorologických jevů [21] - jedná se o zejména o hrozby záplav a déletrvajících suchých period. Pro urbanismus městských oblastí je současnou výzvou projektovat města, která by přispěla ke stabilitě prostředí tlumením meteorologických výkyvů [1], obrázek 1,2.

Obrázek 1 - Tepelný ostrov v průměrné teplotě povrchu z družicových dat MODIS na Terra a Aqua, červenec 2013 a 2014, noční hodnoty [11]





Obrázek 2 - Tepelný ostrov v průměrné teplotě povrchu z družicových dat MODIS na Terra a Aqua, červenec 2013 a 2014, denní hodnoty [11]

## 2.1. Energetická bilance aktivního povrchu

Energetickou bilanci aktivního povrchu charakterizuje rovnice (1) pro případ dostatečně homogenního a rozsáhlého povrchu, kde lze zanedbat hodnotu advekce [9], [22].

$$R_n = H + L + G \quad [\text{W m}^2] \quad (1)$$

$R_n$  ... radiační bilance povrchu ("net radiation") [ $\text{W m}^2$ ],

$H$  ... tok zjevného (sensibilního) tepla do atmosféry: ohřev atmosféry na úkor energie aktivního povrchu [ $\text{W m}^2$ ],

$L$  ... tok latentního tepla do ovzduší (ztráta energie výparem) [ $\text{W m}^2$ ],

$E$  ... intenzita výparu [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ],

$\lambda$  ... latentní výparné teplo,  $\lambda \approx 2.5 \times 10^6$  [ $\text{J kg}^{-1}$ ].

Hodnotu radiační bilance  $R_n$  je možné vyjádřit vztahem (2)

$$R_n = R_g (1 - \alpha) + L \quad (2)$$

$R_g$  ... globální radiace (krátkovlnná) [ $\text{W m}^2$ ],

$\alpha$  ... albedo [-],

L ... dlouhovlnná radiace z atmosféry (rozdíl vyzařované atmosférou a aktivním povrchem) [ $\text{W m}^2$ ].

Pro vstup dlouhovlnné radiace uvádí [23]

$$L = (0.605 + 0.048 e^{0.5}) \sigma T_a - \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (3)$$

$T_s$  ... teplota vyzařujícího povrchu [ $^\circ\text{K}$ ],

$T_a$  ... teplota vzduchu [ $^\circ\text{K}$ ],

$e$  ... napětí vodních par [mm],

$\sigma$  ... Stefan-Boltzmanova konstanta [ $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ],

$\epsilon_s$  – emisivita povrchu (-)

Pro tok tepla do systému budovy  $G$  je uvažován přenos tepelné energie na základě Fourierova zákona tepelné kondukce:

$$G = -k \, dT/dz \quad (4)$$

$G$  ... vertikální tok tepla dolů v ose  $z$  [ $\text{W m}^{-2}$ ],

$k$  ... tepelná vodivost [ $\text{J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ].

Sensibilní tok tepla do atmosféry  $H$  lze vyjádřit vztahem (5) podle [22]

$$H = \rho c_p K_H \Delta T / \Delta z$$

(5)

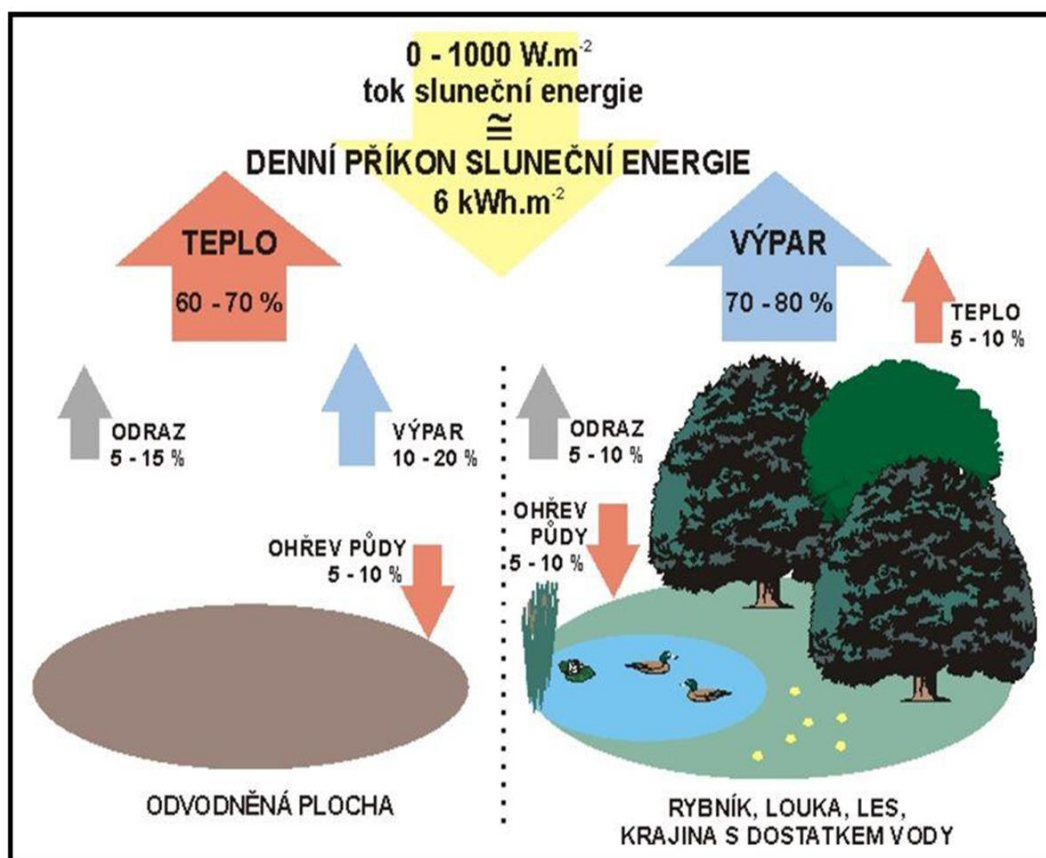
$\rho$  ... je hustota vzduchu [ $\text{kg m}^{-3}$ ],

$c_p$  ... specifické teplo vzduchu [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ],

$K_h$  ... koeficient přenosu tepla [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ]

$\Delta T / \Delta z$  ... změna teploty vzduchu s výškou [ $\text{K m}^{-1}$ ].

Obecně vegetace ovlivňuje tepelnou bilanci aktivního povrchu úměrně mocnosti nadzemní biomasy, obrázek 3, [10], kde hodnota energie, spotřebovaná na výpar (latentní teplo) dosahuje 70-80 % celkové radiační bilance.



Obrázek 3 Vliv vegetace na tepelnou bilanci povrchu.

## 2.2. Tepelný ostrov města

V současné době pokrývají významnou plochu městských aglomerací materiály, které mají vysokou schopnost akumulovat tepelnou energii (beton, asfalt). Rychlá výstavba budov, bez ohledu na zvýšení přítomnosti zeleně vedla též k vysoušení území a jeho ohřevu (tepelných ostrovů) měst [1], [11]. Tento problém je násoben povrchem komunikací (silnic a chodníků) z materiálů, které nepropouští vlhkost a urychlují odtok srážkových vod, a přispívají k intenzitě tepelných ostrovů.



Dosud jsou v městské výstavbě používány nejčastěji materiály s nízkou odrazivostí. Dochází tak k navyšování hodnot radiační bilance povrchu a akumulaci tepelné energie. Ve městech při minimální spotřebě energie na výpar (latentní teplo) dochází k významnému ohřívání budov a přízemní vrstvy atmosféry [23]. Současně nepropustný povrch ve městech zamezuje vsaku srážkové vody a navyšuje deficit regionálních zásob podzemních vod. Urychlování odtoku srážkové vody do kanalizačního systému zvyšuje riziko povodňových průtoků a škod záplavami. Vyšší teploty ve městech podporují tvorbu přízemního ozonu a smogu včetně jeho zdravotních rizik [21], [23]. V některých městech jsou popsány v návaznosti na tepelné ostrovy výskyty extrémních situací – statických vzduchových kotlin a naopak prachových vírů [11]. Městské tepelné ostrovy snižují tepelnou pohodu obyvatel [21] - dochází zde k narušení termoregulačního systému člověka a častějším výskytům kardiovaskulárního a respiračního onemocnění.

### **2.3. Možnosti regulace městského klimatu**

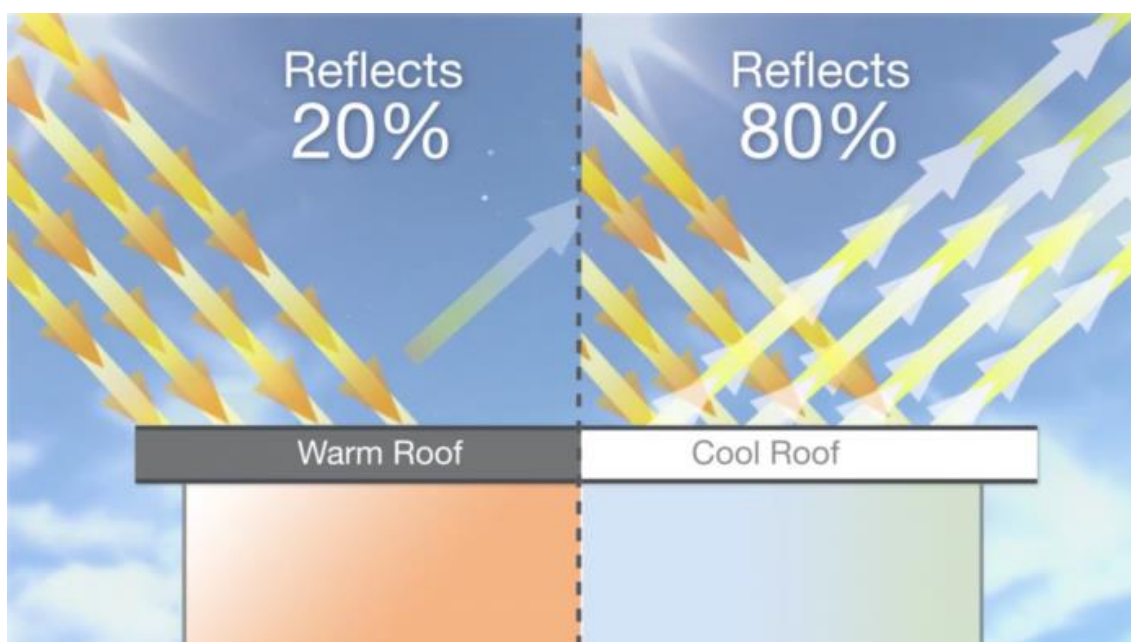
Možnosti regulace městského klimatu nejčastěji narážejí na omezené finanční možnosti. Mezi navrhovaná opatření patří větší zastoupení zeleně (parků, lesoparků) a budování vsakovacích ploch k redukci rychlého odtoku městského území do recipientu (například parkoviště mohou být odvodněna do zatravněného okolí, popřípadě do podzemních vsakovacích nádrží), [19]. Podzemní vsakovací nádrže mohou být dále využity na skladování vody, která může být využita v období sucha. Zelené střechy, případně zelené fasády, jsou možností regulace teploty a vlhkosti vzduchu v hustě zastavěných oblastech [14], [15], [16]. Naproti tomu chladné střechy (střešní konstrukce s vysoceodrazivými povrchy, které odrážejí sedmdesát procent globálního záření) přispívají k výrazně nižšímu tepelnému zatížení konstrukce budov a vykazují relativně nižší pořizovací a provozní náklady. Základním předpokladem zlepšení městského klimatu je změna myšlení obyvatel, ke kterému přispívají i účelově zaměřené studie s předložením průkazných výsledků.

### **2.4. Chladné střechy**

Nejdále s využíváním střech s vysokou odrazivostí jsou ve Spojených státech, přesněji v jedné státě v teplé oblasti a tím je Kalifornie. Můžeme se zde setkat s mnoha variantami střech s vysokou odrazivostí. Nejjednodušší je nástřík stávající střešní krytiny. Tato varianta je poměrně efektivní, ale bohužel nemá takovou trvanlivost, jako speciální folie. Hlavní nevýhodou je zanášení pigmentu nečistotami, které celý povrch postupně ztmavují a snižují jeho účinnost. Samozřejmě záleží na podkladu, na který je nástřík aplikován. Nejvhodnější je hladká střecha, která i podporuje smyv nečistot ze střechy. U nástříku není důležitý sklon střech z hlediska funkčnosti, ale když se na to podíváme z ohledu nečistot, tak šikmá střecha je bezkonkurenčně nejlepší. Jako nedostatek mnoha výrobců je omezenost barev střech. Logicky se předpokládá, že světlé barvy odráží více záření než tmavé. Jsou však vyvíjeny speciální nástříky s velkou škálou barev, které obsahují speciální složku, která odráží infračervené záření.

Druhou možností jsou již zmíněné odrazivé folie, které jsou používány na ploché střechy, tak i na šikmé střechy. Když se podíváme na kalifornská města, tak si můžeme všimnout, že velké množství střech má světlou barvu. Z toho můžeme usuzovat, že je to často používaná varianta pasivně čelit vysokým teplotám a slunečnímu záření dopadajícím na povrchy střech.

Jedná se o speciální povrch střech, který odráží 80% slunečního záření proti směru dopadu paprsků. Tento způsob je velmi efektivní v ochraně konstrukce proti extrémním změnám teplot.



**Obrázek 4 – Srovnání odrazivosti klasické (teplé) a studené střechy [12]**

Jsou hlavní dva způsoby, jak konstruovat tento typ střech. Jako levnější a méně účinná varianta je nástřik a účinnější je potažení střechy speciálně vyráběnou folií. Fólie s vysokou odrazivostí slunečního záření se používá pro vytvoření jednovrstvé, hydroizolace plochých střech. Používají se i k izolaci šikmých a strmých střech. Fólie má dobrou odrazivost záření. Tato vlastnost snižuje tepelné zatížení fólie a prodlužuje tak její životnost. Fólie zvyšuje účinnost solárních panelů.

Střešní hydroizolační fólie je střešní fólie vyrobená z PVC. Fólie je vyztužená polyesterovou mřížkou. Fólie má bílou barvu a na horním povrchu má speciální úpravu. Kombinace těchto vlastností dodává fólii vysokou odrazivost slunečních paprsků. Fólie se používá jako jednovrstvá, mechanicky kotvená povlaková hydroizolace plochých střech. Fólie má odrazivost záření až 90 %. Část energie, která dopadá na solární panely, se odráží od střešní fólie. U střech s fólií, která má albedo více než 0,8, je zvýšení účinnosti solárních panelů o 5 %. Fólie má nižší teplotu povrchu až o 45°C. Díky tomu se sníží teplota i v okolí solárních panelů a zvýší se jejich účinnost.

Díky vysoké solární odrazivosti fólie je sníženo pohlcování slunečního záření přeměněného na tepelnou energii. Povrchová teplota fólie je nižší až o 45°C než u srovnatelné fólie s tmavším povrchem. Při nižší povrchové teplotě nedochází tolik k zatížení fólie výkyvy teplot během dne a noci a tím je vyšší trvanlivost fólie. Nižší povrchová teplota střechy v letním období také pozitivně ovlivňuje teplotu interiéru. [4], [5].

Konstrukce střechy s vysokou odrazivostí se nijak výrazně neliší od běžně používaných. Jediný zásadnější rozdíl můžeme vidět v konstrukcích izolace v různých částech světa. V oblastech, kde v zimních měsících neklesá teplota pod 10 °C může být používána slabší vrstva tepelné izolace. Záleží to na požadavcích na kategorii budovy. Při použití odrazivé folie není tolik zatížená konstrukce budovy teplotními výkyvy, protože se ani nemůže více ohřát, díky svým vlastnostem. Tato schopnost je doložena na výše uvedených grafech, kde se výrazně liší teplota na běžně používaných hydroizolačních konstrukcích oproti odrazivým.

Vlastní konstrukce střechy s vysokou odrazivostí se liší svrchní hydroizolační plachtou nebo odrazivým nástřikem na stávající nebo novou konstrukci střechy.

## **3. Použitá metodika**

### **3.1. Použitý materiál střešní konstrukce**

Pro měření byly zhotoveny tři stejně velké obdélníkové plochy na ploché střeše budovy. Každá oblast byla z jiného materiálu hydroizolace ploché střechy. První byl zhotoven z černé folie Folie černá-1-PIR-PVC , druhý ze speciální odrazivé folie Odrazivá folie-1-R-PVC a třetí z šedé hydroizolační folie Folie šedá-1-PIR-PVC. [20]



Obrázek 5 Testované střešní povrchy

### 3.2. Metodika měření a zpracování dat

V období březen – srpen 2017 probíhalo v 15-ti minutovém intervalu měření povrchové teploty (snímač Pt1000 s přesností A; převodník PPL 112, výrobce Rawet) studovaných tří střešních povrchů a příjmu globálního záření (pyranometr: SR 20-T1, výrobce Hukseflux). Hodnoty radiační a tepelné bilance byly vyčísleny v hodinových, denních a měsíčních intervalech pomocí vztahů (1), (2), (3), (4) a (5).

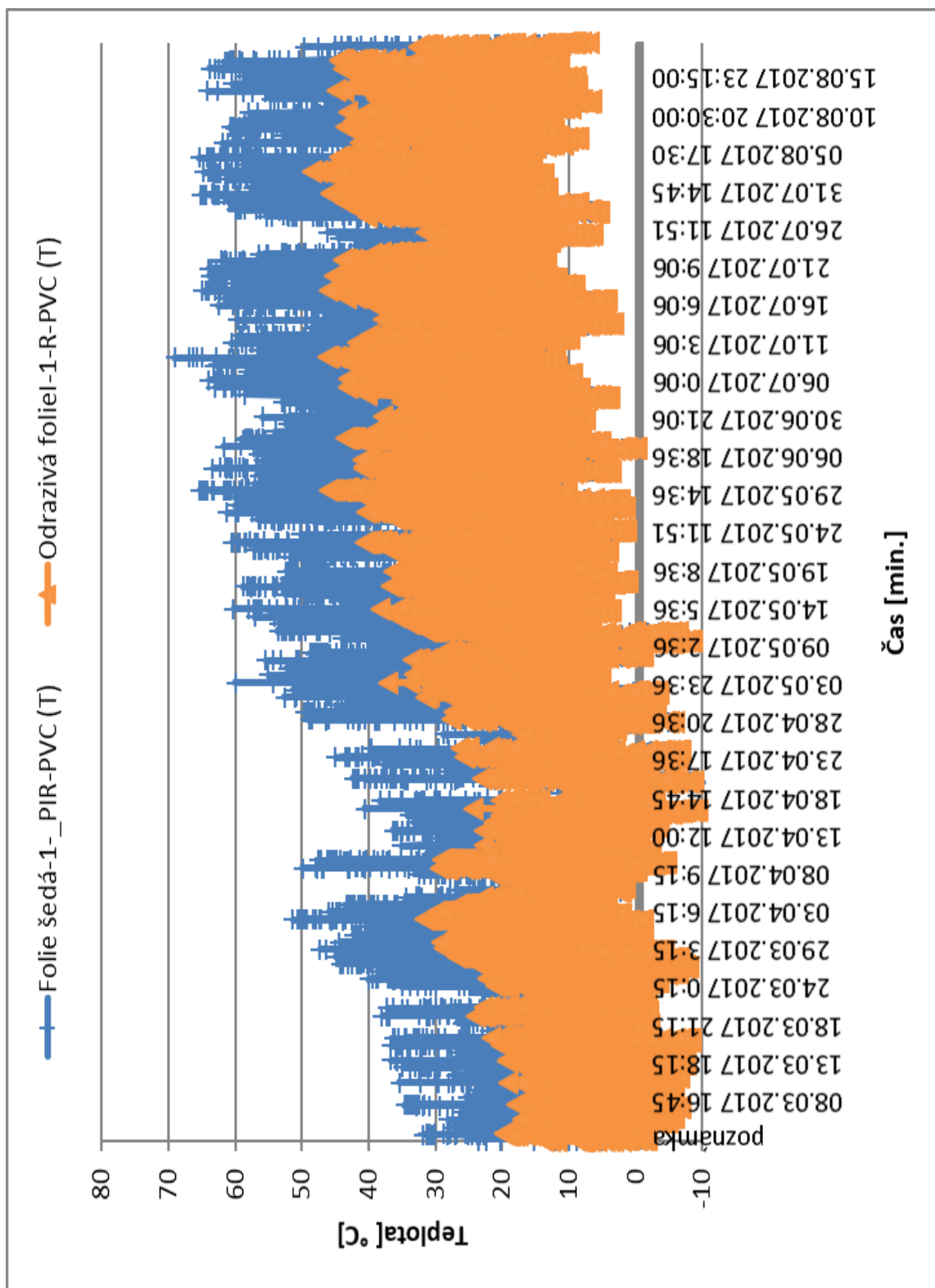
Při absenci registrace teplotního profilu nad aktivním povrchem a nereálného použití rovnice (5) v případě městského klimatu [23] jsem použil pro tok zjevného tepla do atmosféry nepřímý výpočet z rovnice tepelné bilance (1) s pomocí odhadu latentního tepla na základě počtu deštivých dnů a Penmanův vztah pro bilanci dlouhovlnného záření [9].

Neblížejší základní meteorologickou stanicí v okolí tohoto experimentu je stanice Brno-Tuřany B2BTUR01. Z této observace jsem převzal hodnoty denních srážkových údajů, průměrných denních teplot a vlhkostí vzduchu, a doby slunečního svitu.

## 4. Výsledky a diskuze

Průběh měřených povrchových teplot v období březen – říjen 2017 je uveden v grafech – obrázek 7, 8 a 9. Prvním povrchem je běžně používaná střešní hydroizolační folie a druhá je hydroizolační folie se schopností odrážet až 80% slunečního záření. Rozdíl teplot na povrchu střechy se pohybuje od 15 do 25 °C.





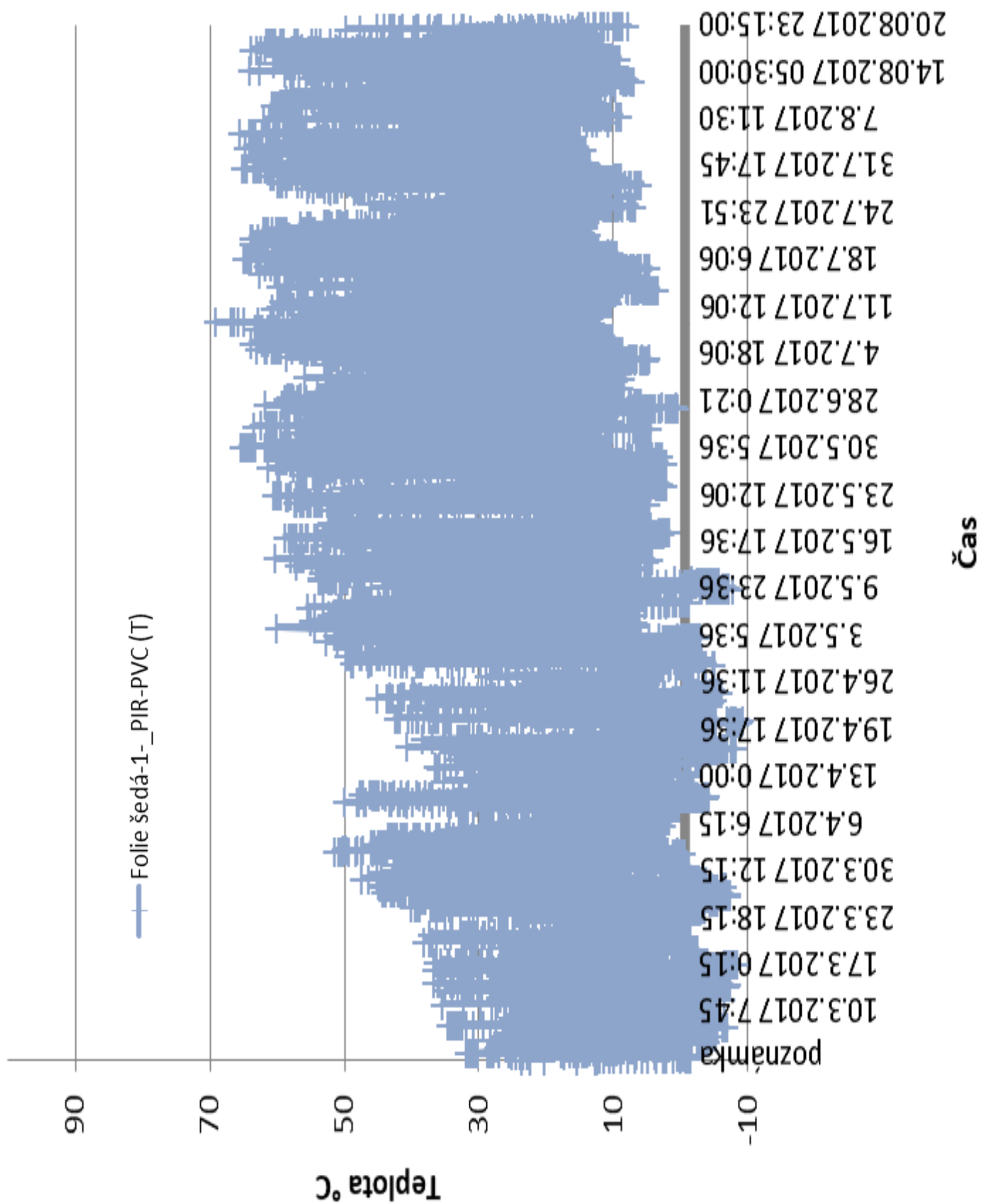
Obrázek

6

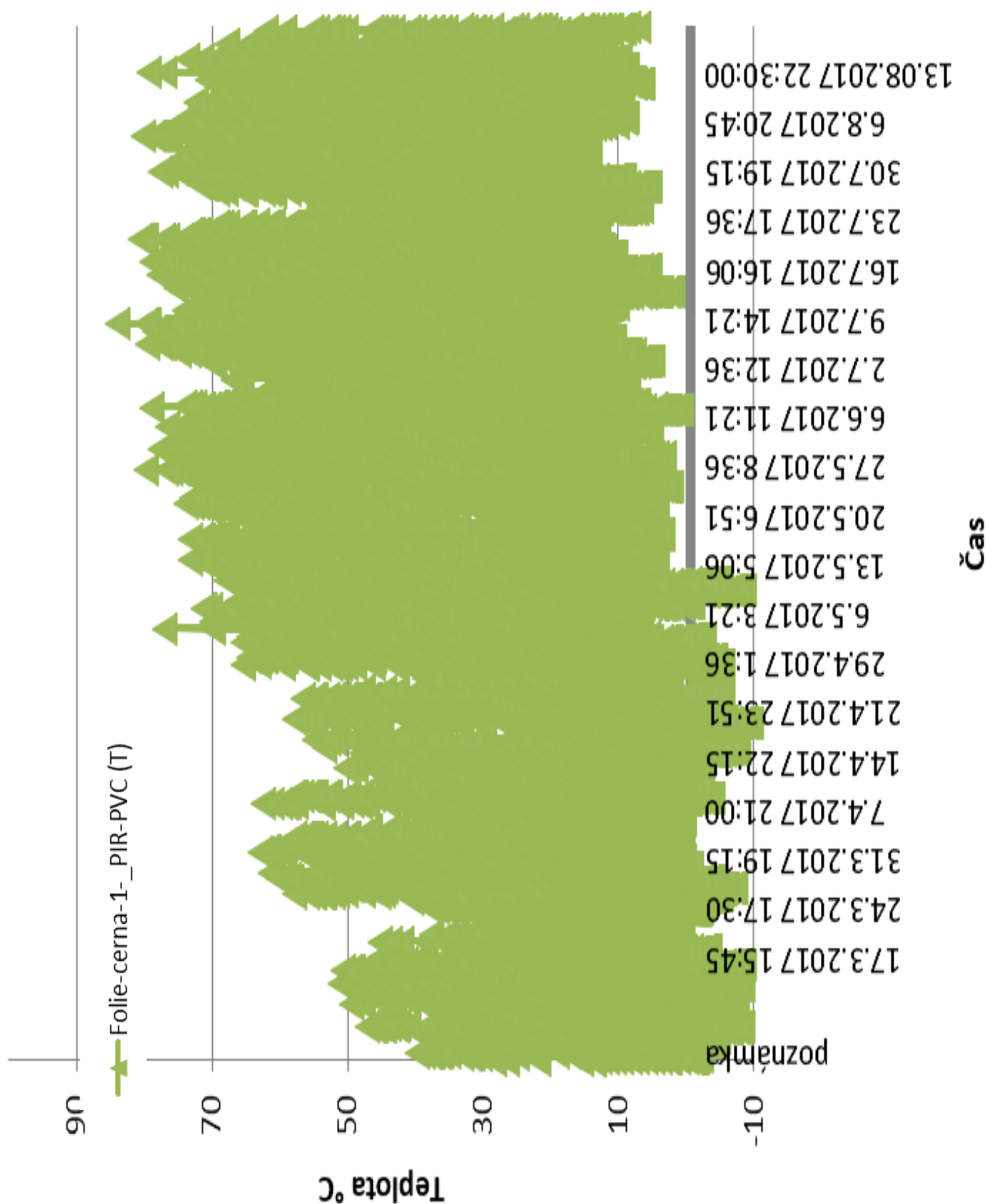
Porovnání

povrchových

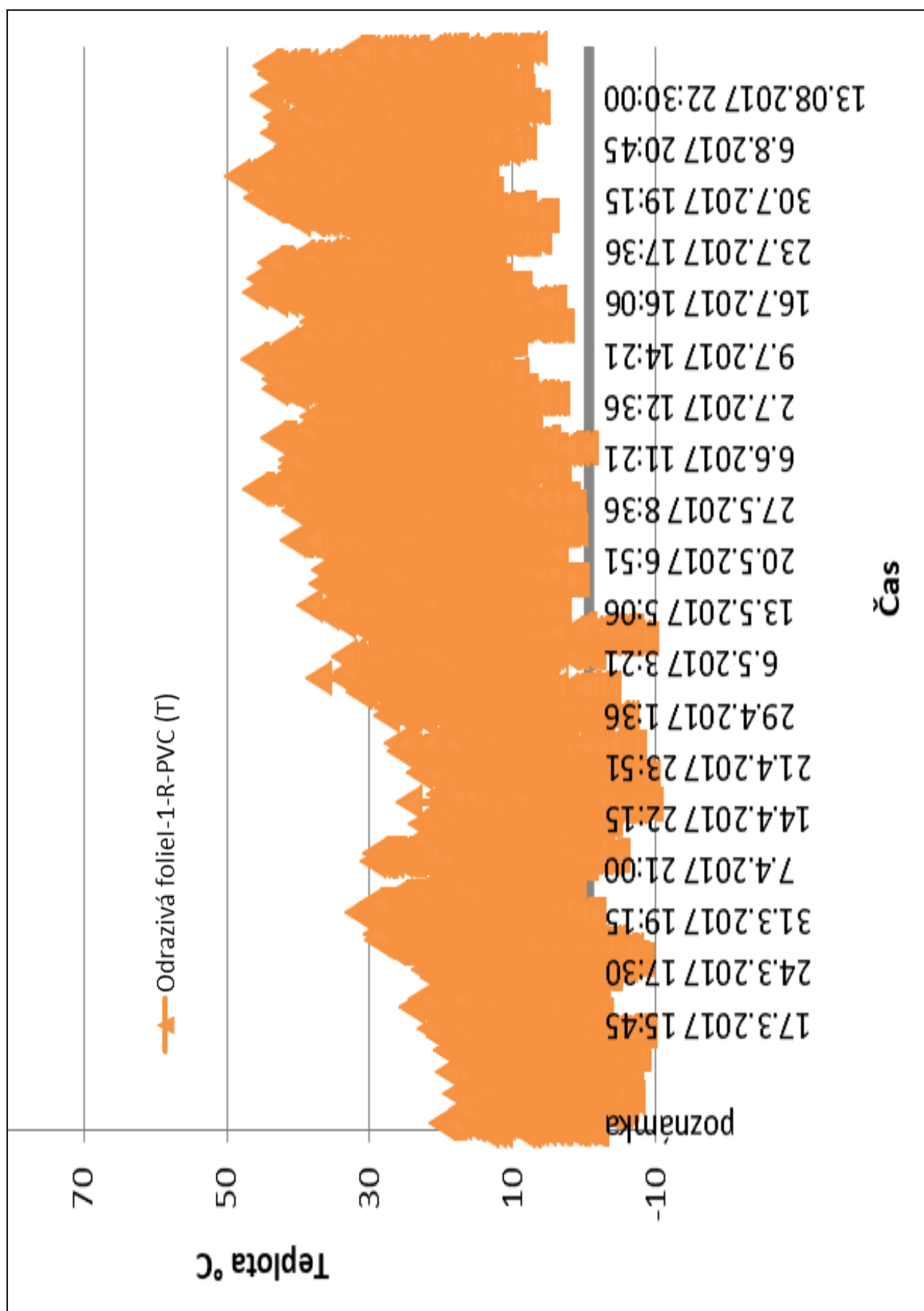
teplot



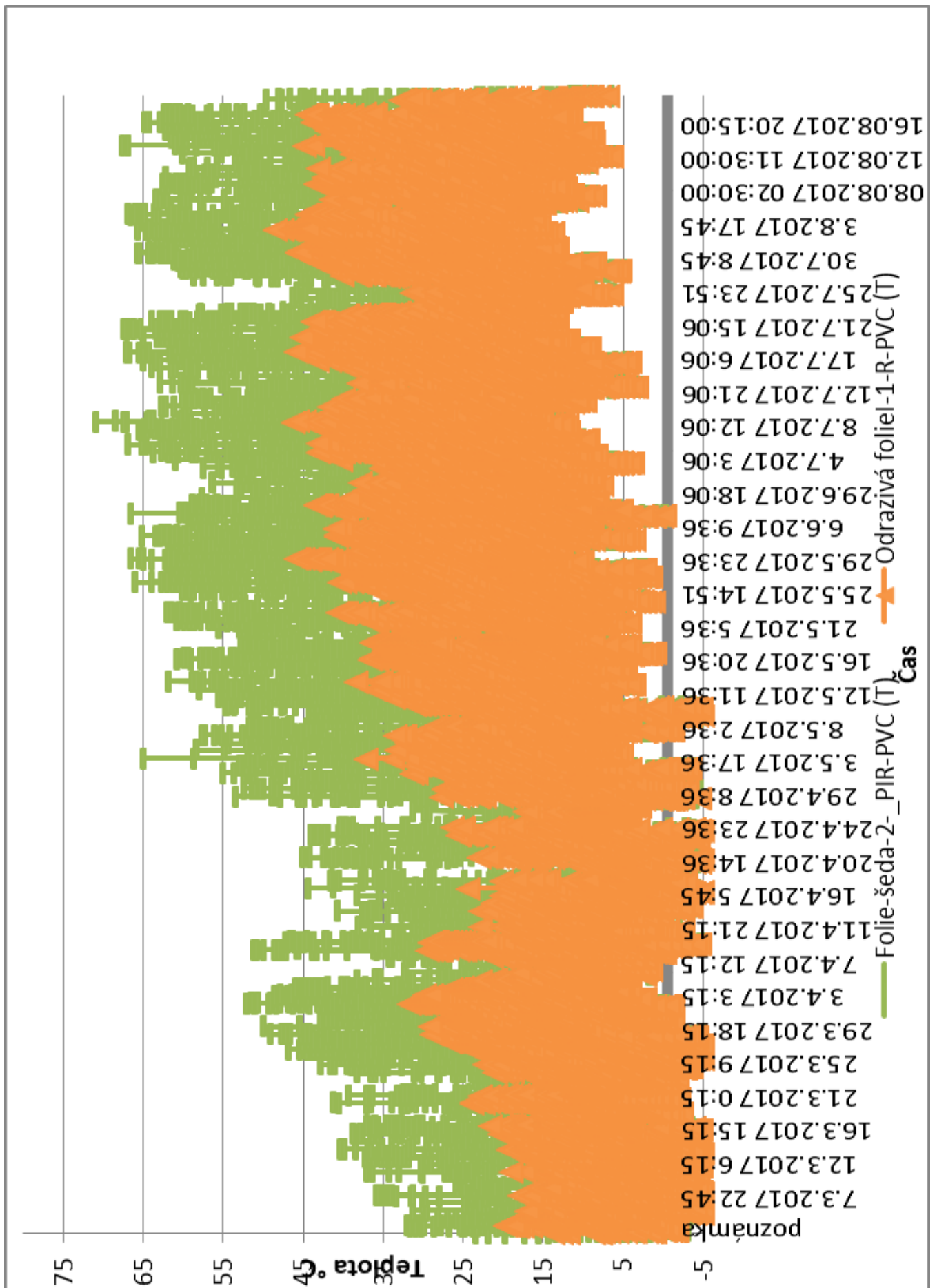
Obrázek 7 Folie šedá-1-PIR-PVC (T) [12]



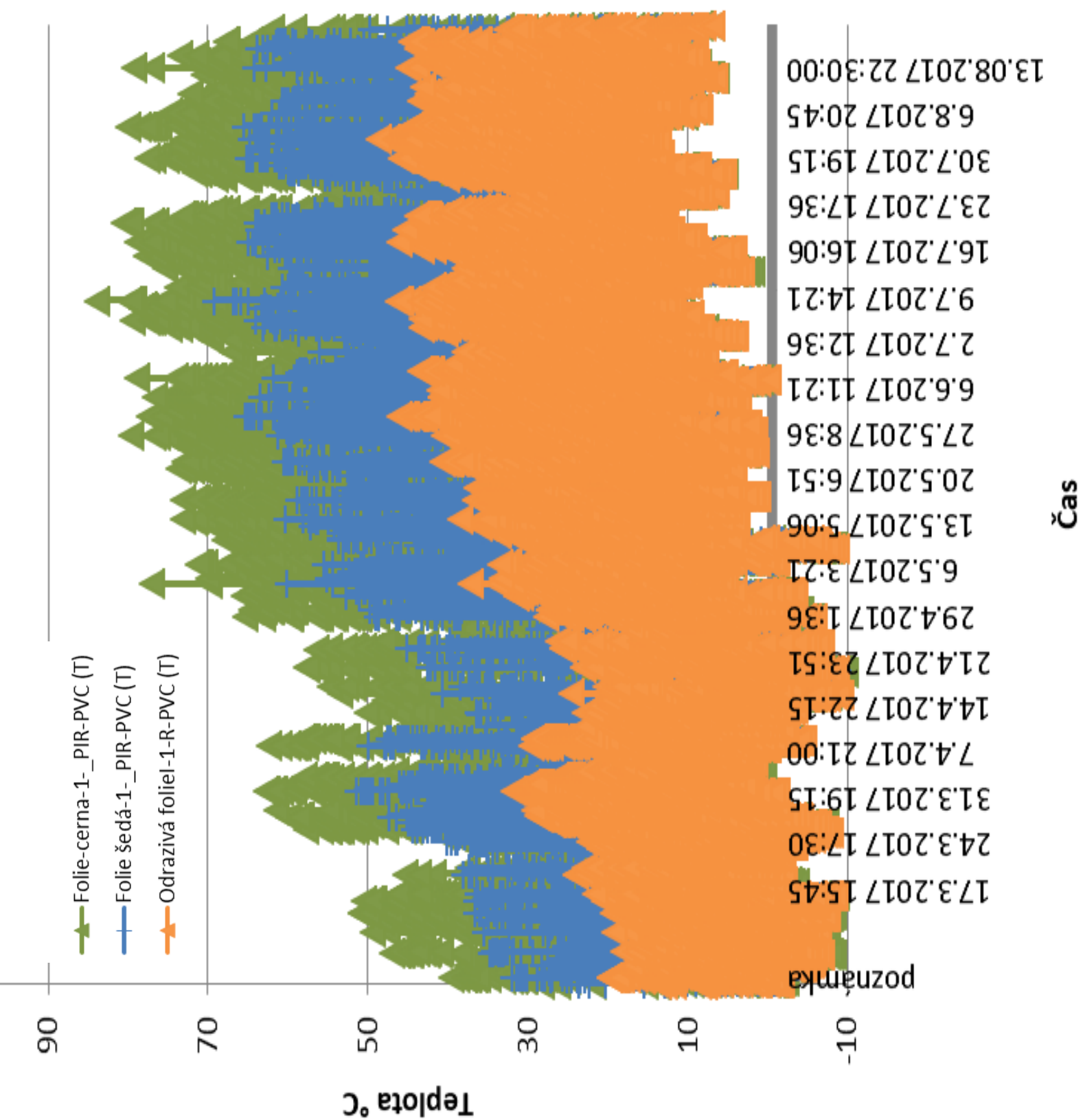
Obrázek 8 Folie černá-1-PIR-PVC (T)



Obrázek 9 Odrazivá folie-1-R-PVC (T)

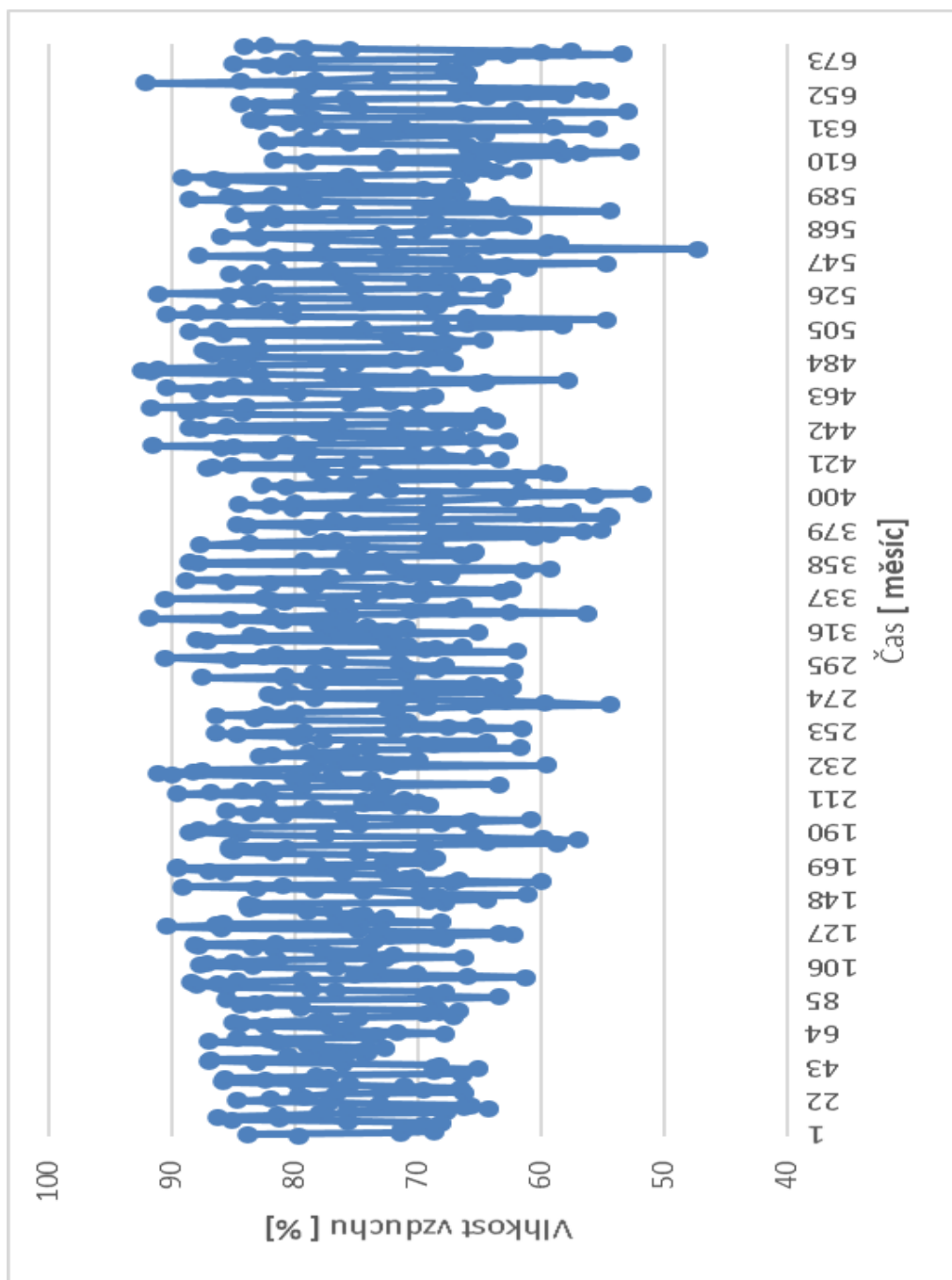


Obrázek 10 - Porovnání teplot na odrazivé a šedé folii



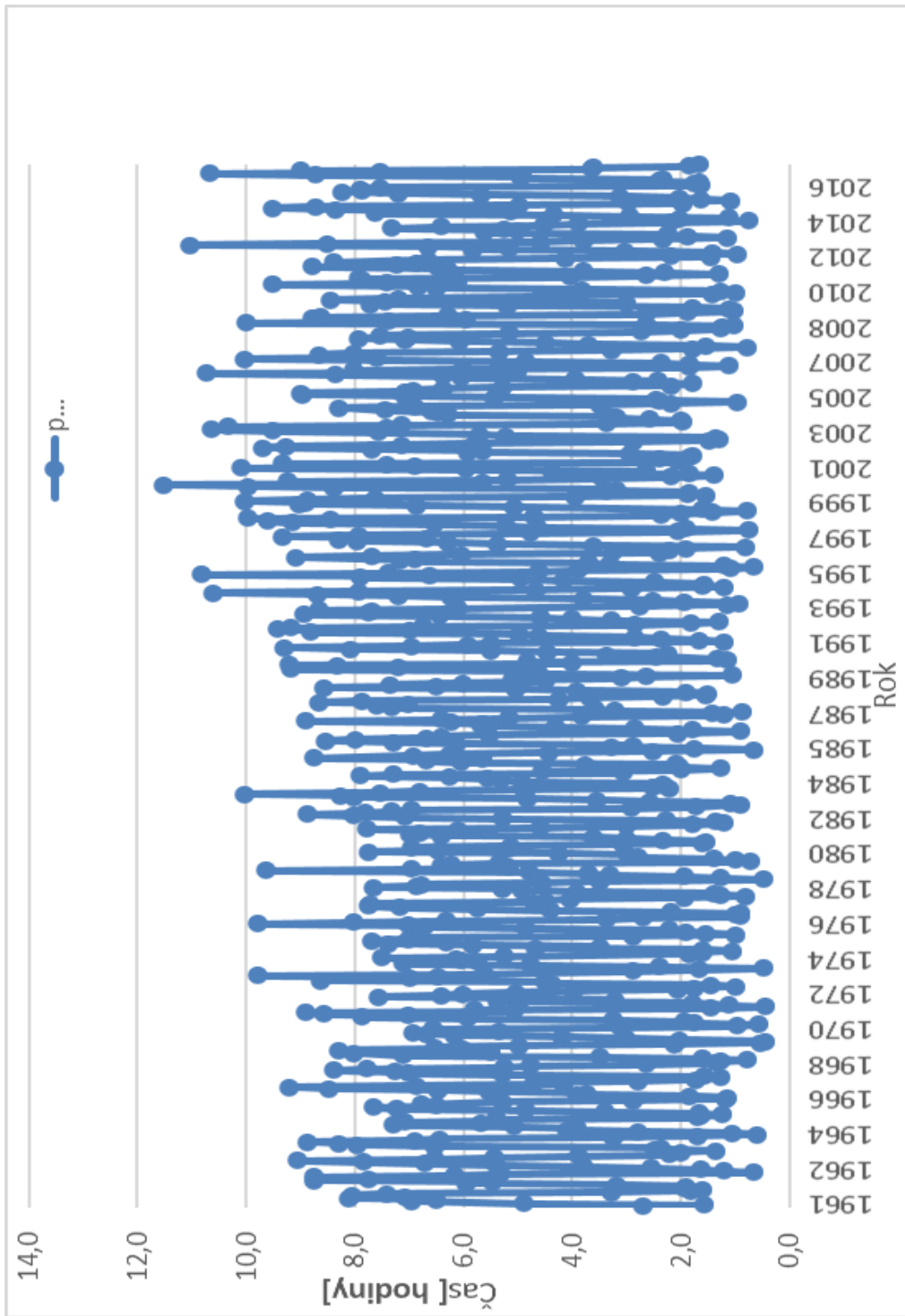
Obrázek 11 Porovnání folií

Průběh meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, srážkový úhrn a doba slunečního svitu), pozorovaných na stanici Brno-Tuřany je uveden v grafech – obrázek 12, 13, 14.

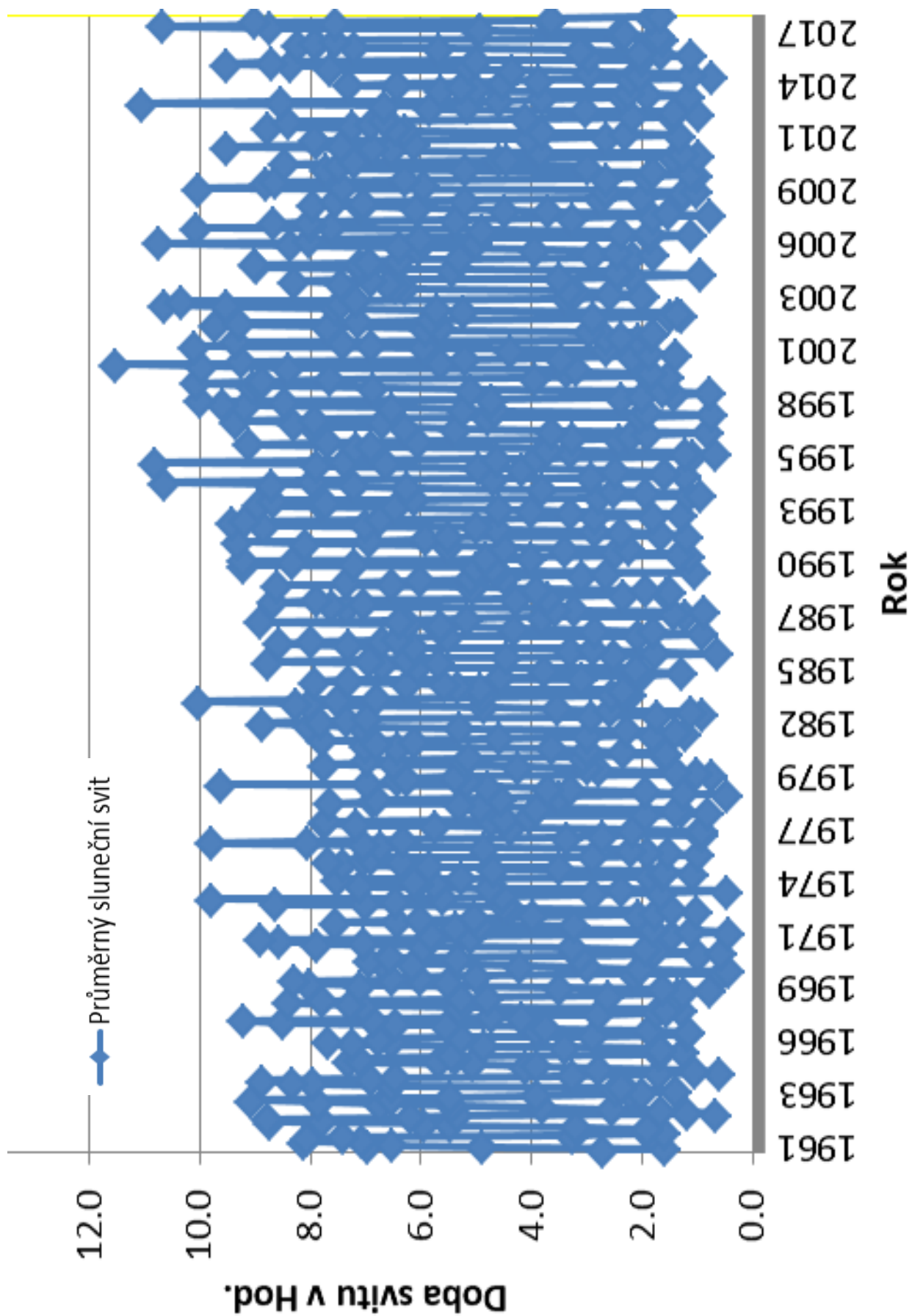


Obrázek 12- Vlhkost vzduchu po měsíci od roku 1961 do 2017





Obrázek 13 - průměrný sluneční svit v letech 1961-2017



Obrázek 14 - Průměrný denní sluneční svit od roku 1961-2017

Měsíční hodnoty radiační a tepelné bilance tří testovaných střešních povrchů jsou uvedeny přehledně v Tab. 1, 2.

**Tab. 1.** Sezónní průběh globální radiace  $R_G$ : březen – říjen 2019

Měsíc	Měsíční podíl radiačního úhrnu $R_G$ (III – X)	
	(%)	
březen	12	
duben	10	
květen	19	
červen	27	
červenec	16	
srpen	16	

Z výsledků Tab.1 vyplývá, že k nejvyššímu příjmu sluneční radiace dochází v červnu.

Měsíc	Měsíční podíl radiačního úhrnu $aR_G$ (III – X)		
	1 (%)	2 (%)	3 (%)
březen	13	18	13
duben	10	15	11
květen	20	28	21
červen	29	40	30
červenec	17	24	18
srpen	17	25	18

**Tab. 2****Sensibilní teplo v procentech v měsících březen – srpen**

<b>Měsíc</b>	<b>Měsíční podíl radičního úhrnu H (III – X)</b>		
	1 %	2 %	3 %
březen	14	13	10
duben	12	16	7
květen	20	20	22
červen	25	25	31
červenec	13	14	12
srpen	16	16	17

Z výsledků lze vyčíst, že rozložení sensibilního tepla během pěti měsíců je podobné, ale u povrchu 3 je jasně vidět, že má lepší schopnost odrážet záření. Schopnost odrážení záření se nejvíce projevuje v letních měsících, kdy je hodnota globálního záření největší.

Měsíc	$R_G$			a $R_G$			$L_R$			$R_n$			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
březen	257	31	51	205	41	28	23	179	171	26			
duben	211	25	42	169	26	21	21	155	142	21			
květen	400	48	80	320	67	44	26	272	256	52			
červen	576	69	115	461	132	98	34	357	334	78			
červenec	343	41	69	275	91	67	28	202	197	39			
srpen	351	42	70	281	73	49	23	225	210	44			
<b>Suma</b>	<b>2138</b>	<b>257</b>	<b>428</b>	<b>1710</b>	<b>430</b>	<b>308</b>	<b>155</b>	<b>1391</b>	<b>1311</b>	<b>259</b>			

Obrázek 15 Tabulka 1 Radiační bilance

Tabulka 1 Radiační bilance

Tabulka 2 Tepelné bilance

Měsíc	R <sub>n</sub>			G			L			H			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup> MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
březen	179	171	26	3	3	3	3	3	3	2	174	166	21
duben	155	142	21	3	3	3	3	3	3	4	149	136	14
květen	272	256	52	16	6	2	6	2	2	4	252	246	46
červen	357	334	78	36	17	9	17	9	9	4	318	313	65
červenec	202	197	39	25	12	6	12	6	6	8	169	177	25
srpen	225	210	44	21	11	5	11	5	5	3	201	196	36
<b>Suma</b>	<b>1391</b>	<b>1311</b>	<b>259</b>	<b>104</b>	<b>51</b>	<b>27</b>	<b>51</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>1262</b>	<b>1234</b>	<b>207</b>

Obrázek 16 Tabulka 2 Tepelné bilance

## 5. Širší souvislosti aplikace chladných střech

### 5.1 Vliv na interiér stavby a prostředí

Hlavním důvodem, který nutí projektanty navrhovat alternativní střešní konstrukce je snížení zátěže konstrukce vlivem změn teplot. U konstrukcí, které se v současné době používají, je zásadní problém ten, že se řeší vliv tepla až po ohřátí nebo ochlazení vrchní vrstvy konstrukce. Je to řešeno tepelnou izolací pod konstrukcí střechy. Tento způsob neřeší ohřívání vlastní střešní krytiny. Střešní krytina hraje zásadní roli v tepelných vlastnostech konstrukce a vnitřního prostředí. Použití chladných střešních fólií se schopností odrážet většinu slunečního záření se výrazně snižuje zatěžování konstrukce vysokými teplotami. Jiná varianta je využití vegetačních střech, které mohou být intenzivní nebo extenzivní. Vegetační střechy jsou sice nákladnější, ale v hustě zastavěných oblastech jsou nepostradatelné. Snižují teplotní změny v konstrukci budovy, zadržují vodu a zlepšují lokální klima výparem. Zadržování vody u vegetačních střech cenným bonusem těchto konstrukcí, protože zpomalují odtok dešťové vody z území a nezatěžují kanalizační systém města. [8] [18]

Z měření na jednotlivých površích jsou velmi dobře vidět rozdíly teplot na přiložených grafech. Na klasických hydroizolačních materiálech můžeme vidět, jak se během slunečného období přehřívá celá konstrukce a ohřívá se tím i vnitřní prostor. Na rozdíl u odrazivé střešní hydroizolace povrchu se teplota v interiéru budovy sníží a klade tím výrazně menší nároky na větrání a klimatizace objektu.

## 5.2 Hodnocení vlivu na mikroklima a tepelnou bilanci

V diplomové práci jsou využita data z měření teploty na povrchu budovy. Budova se nachází v zastavěné oblasti na předměstí Brna. Střecha je umístěna na jižní Moravě, protože je to teplá oblast, a proto se zde můžou projevit vlastnosti zkoumaných povrchů. Bylo porovnáváno na třech různých površích – černá hydroizolační folie, běžně používanou šedá hydroizolační střešní fólii a speciální bílou fólii s vysokou odrazivostí.

Rozdíl příjmu a výdeje tepla povrchu střechy je u každé střešní konstrukce jiný. Bilance teplot u zkoumaných střech je diametrálně odlišná. U klasické hydroizolace plochých střech tato folie nemá schopnost ve větší míře odrážet sluneční záření, proto se vlastní folie a potom i konstrukce pod folií ohřívá a zhoršuje podmínky uvnitř budovy. [8] [17] [18]



### 5.3 Vliv na hospodaření s dešťovou vodou

Když si budeme klást otázku, co vše ovlivňuje hospodaření se srážkovou vodou, tak je potřeba zmínit konstrukci střechy. Střecha domu je první místo, kam dopadá srážková voda a ovlivňuje, jak rychle ze střechy odteče. Nejdélší dobu odtoku srážkové vody můžeme sledovat u extenzivních vegetačních střech, kde je velká vrstva půdy a vegetace a nejkratší dobu odtoku u šikmých střech. K simulaci srážko-odtokového vztahu na zelených střechách byl odvozen [23] model Green Roof Infrastructure Stormwater Model (NYGRM).

Uvědomuji si, že není možné mít každou střešní konstrukci s vegetační střechou, proto se zabývám finančně přívětivějšími materiály, které mají srovnatelné vlastnosti v oblasti ochrany střechy před extrémními změnami teplot. Tyto střechy s odrazivou folií však nijak nezpomalují odtok srážkové vody ze zkoumané oblasti. Proto je potřeba navrhovat retenční nádrže, které mají schopnost zadržovat vodu a umožňují její vsak do podloží. Setkáváme se s nádržemi, které zachytávají vodu, ale provozovatel tuto vodu může postupně vypouštět do dešťové kanalizace, což je podle mého názoru plýtvání kvalitní vodou ze srážek. [7]

### 5.4. Porovnání chladných a vegetačních střech

Pokud budeme přemýšlet o výhodách chladných a vegetačních střech, tak se v mnoha vlastnostech shodují. Pokud se vegetační nebo střechy s vysokou odrazivostí budou používat ve větší míře, tak se sníží maximální teplota v centrech měst, kde budou tyto střechy zkonstruovány. [21]. [23] uvádí detailní COST-BENEFIT Analysis pro různé typy střech.

Když budeme přemýšlet, nad cenou těchto dvou variant, tak nám vždy vyjde střecha s vysokou odrazivostí lépe. Bohužel nemá takové environmentální benefity jako

vegetační střecha.

### **Vegetační střecha**

Vegetační střecha je speciální střešní konstrukce, která je používána jako alternativa ke klasickým páleným, betonovým, plechovým, nebo plochým hydroizolačním střechám. V současné době, už vegetační střecha není omezena sklonem střechy, protože jsou možnosti, jak konstruovat vegetační střechy na velmi šikmých plochách.



**Obrázek 17** Vegetační střecha

Základní dělení vegetačních střech je podle intenzity využití a osázení. Dělí se na intenzivní a extenzivní. Intenzivní střechy se vyznačují silnou vrstvou půdy, ve které

mohou růst i vzrostlé stromy a nahrazovat tak chybějící zelené plochy ve městech. Je s tím však spojená intenzivní záливka a péče. Naproti tomu extenzivní střecha je velmi nenáročná na péči, protože se vyznačuje malou vrstvou půdy a rostlinami, které nevyžadují téměř žádnou péči. [3] [7] [14] [15]

#### Klady:

Zpomalení odtoku srážkové vody, zvlhčení okolního vzduchu, snížení teploty, snížení zatížení konstrukce teplotními změnami, estetická funkce, trvanlivost střechy i konstrukce budovy. [16]

#### Zápory:

Finanční náročnost, důraz na kvalitu provedení.



**Obrázek 18 Vegetační střecha**

## Střecha s vysoko odrazivostí

### Klady:

Méně nákladná než vegetační střecha, jednodušší konstrukce, odražení až 80 % záření.



**Obrázek 19 Chladná střecha [24]**

### Zápory:

Nehospodář s vodou, není esteticky zajímavá, nedostatečná trvanlivost efektu odrazivosti.

## **5.5. Současná aplikace chladných střech v České Republice a ve světě**

V současné době se v ČR používají střešní krytiny se schopností odrazet většinu slunečního světla velmi zřídka. Do jisté míry to byla dáno tím, že nebyla taková potřeba využívat tuto technologii, protože zde bylo mírné klima. Zvyšování průměrné teploty a větší výskyt extrémních teplot nás nutí využívat tuto technologii. Využití chladných střech je možné využívat od rodinných domů až po velké výrobní haly nebo skladové prostory. Největší výhodou této konstrukce je její cena a jednoduchá instalace srovnatelná s běžnými plochými nebo šikmými střechami. [4]

Během zkoumání využitelnosti střech jsem získal hodnoty měření teploty na povrchu běžné ploché střechy a střechy s odrazivou folií. Z těch to hodnot je možné vidět rozdíl teploty na povrchu střechy. Měření probíhalo i v neklimatizovaném interiéru, kde rozdíl teplot byl také značný. [17] [18]

## 5.6 Legislativní rámec

Legislativa týkající se odrazivých střech nebo vegetačních střech se liší podle státu a klimatu v dané oblasti. Při porovnání legislativy v ČR a v USA můžeme vyčíst, že oproti legislativě USA to v ČR zatím není nijak více řešeno. Oproti legislative v USA není v ČR dostatečně využívána možnost používání odrazivých střech, protože zde není tolik slunečního svitu jako například v Kalifornii. Je tu však možnost tyto střechy používat i v ČR protože v letních měsících se budovy velmi přehřívají a tyto střechy by to z velké části vyřešily.

V Kalifornii jsou již předpisy, které přesně určují, jaké plochy a na jakých budovách musí být odrazivé střechy instalovány. Je to dáno tím, že z pohledu vegetačních střech je v oblasti jižní Kalifornie nedostatek vláhy, proto se údržba střech nevyplatí.

- Hydroizolace vegetační střechy - ČSN P 73 0600
- Hydroizolace - ČSN 73 1901
- Hydroizolační pásy a fólie - ČSN EN 13948
- Zelené střechy - ČSN 731901

## **Normy v USA**

- EPA (US Environmental Protection Agency) (2007) Roof Products Criteria for US EPA Energy Star Program, [www.energystar.gov/index.cfm?c=roof\\_prods.pr\\_crit\\_roof\\_products](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=roof_prods.pr_crit_roof_products)
- CEC (California Energy Commission) (2001) 2001 Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings, P400-01-024, California Energy Commission, Sacramento, CA
- GBC (2002) Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System for New Construction and Major Renovations (LEED-NC), Version 2.1, US Green Building Council, [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org)



## 6. Závěr a doporučení

Praktická část diplomové práce je založena na získaných naměřených hodnotách z experimentálních měření třech variant fólií používaných jako svrchní střešní krytina, kde první je běžná fólie černé barvy, druhou je hydroizolační šedá fólie a poslední je speciální vysokoreflexivní fólie s vysokým indexem odrazivosti slunečního záření.

Výpočtem byla posuzována environmentální vhodnost zmíněných druhů hydroizolace na plochých střeších, kde nejlépe vyšla takzvaná chladná střecha: hodnoty  $1710 \text{ MJ/m}^2$  a  $80 \%$  z  $R_G$ . Oproti klasické střeše chladná střecha snižuje hodnoty radiační bilance o  $80 \%$  a zároveň sedmkrát zvyšuje odrazivost povrchu. Při porovnání senzibilního tepla u jednotlivých povrchů jsou jasně patrné její výhody, kdy vykázala  $207 \text{ MJ/m}^2$ , černá hydroizolační fólie pak  $1262 \text{ MJ/m}^2$  a šedá fólie  $1234 \text{ MJ/m}^2$ .

Výsledky měření potvrzují a kvantifikují teoretické závěry o příznivosti fólie s vysokou odrazivostí na tepelné namáhání střechy, které se za běžných podmínek snižuje o desítky procent, což zejména u budov s rozsáhlou střešní plochou hraje velký přínos nejenom na životnost celé konstrukce budovy, ale i na energetické nároky na klimatizaci, které ve výrobních či skladovacích halách mohou být nezanedbatelné. Navíc myšlenka udržitelného rozvoje s důrazem na ekologii, kterou tyto moderní střešní systémy díky svým vlastnostem bezesporu podporují, může být pro mnohé investory velmi atraktivní.

Nicméně na území ČR zatím není legislativně zakotvena povinnost používání odrazivých střech, jako je tomu například v některých oblastech USA, protože u nás intenzita slunečního svitu nedosahuje takové úrovně jako například v Kalifornii.

V diplomové práci byl taktéž kladen důraz na porovnání střešní krytiny z vysokoreflexní fólie se zelenou střechou, která je v poslední době velmi atraktivní variantou pro budovy z pravidla s vyšším rozpočtovým zatížením. Zelená střecha má bezesporu několik dalších velmi podstatných výhod, jako je environmentální a estetický efekt, ale překážkou pro větší míru užití bývá ekonomické hledisko spojené i s nutností dimenzování celé konstrukce budovy na vyšší zatížení. Odrazivá fólie je oproti tomu finančně dostupnější, což může přinášet zajímavou alternativu a jakýsi mezistupeň mezi konvenčními „černými“ krytinami a vegetační střechou.

## 7. Zdroje

- [1] Tepelné ostrovy, (11.10.2018), (Online), Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/mestske-tepelne-ostrovy/>
- [2] Městské klima, (18.10.2018), (Online), Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/dopady-zmeny-klimatu-v-cr-mestske-postredi/>
- [3] Vegetační střechy, 21.10.2018.(online), Dostupné z: [https://atelier-dek.cz/docs/atelier\\_dek\\_cz/publikace/PROJEKCNI-PRIRUCKY/vegetacni-strechy-2009-02.pdf](https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/PROJEKCNI-PRIRUCKY/vegetacni-strechy-2009-02.pdf)
- [4] Hydroizolační folie 21.10.2018.(online), Dostupné z: [https://www.dek.cz/docs/technicke/tl\\_alkorbright.pdf](https://www.dek.cz/docs/technicke/tl_alkorbright.pdf)
- [5] Hydroizolační folie 21.10.2018.(online), Dostupné z: [https://atelier-dek.cz/docs/atelier\\_dek\\_cz/publikace/MONTAZNI-NAVODY/dekplan-stresni-folie-2016-01.pdf](https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/MONTAZNI-NAVODY/dekplan-stresni-folie-2016-01.pdf)
- [6] IPCC (2013) Climate change 2013: The physical science basis. The fifth assessment report of intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, Geneva.
- [7] Rosenzweig, C., Gaffin, S., Parshall, L. (2006): Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institut for Space Studies, New York, 59 pp.

- [8] Santamouris, M. (2001): Energy and climate in the urban built environment. Routledge, New York, 399 pp.
- [9] Shaw, E.M.(2011):Hydrology in practice. 4th edition, Span Pree, Lomdon, 560 pp.
- [10] Sluneční záření, (2.12.2018), (Online), Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18\\_Zaklady-ekologie\\_48-49/48\\_IUT/113\\_Slunecni-energie---Benedikt---P0.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18_Zaklady-ekologie_48-49/48_IUT/113_Slunecni-energie---Benedikt---P0.pdf)
- [11] Tepelný ostrov, (2.12.2018), (Online), Dostupné z: [http://kfa.mff.cuni.cz/?page\\_id=951](http://kfa.mff.cuni.cz/?page_id=951)
- [12] Cool roof, (2.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://smmirror.com/2017/08/board-supervisors-takes-first-step-toward-energy-saving-cool-roofs-built/>
- [13] Wang, J., Bras, R.L. (1998): A new method for estimation of sensible heat flux from air temperature. Water Resources Research, 34: 2281-2288
- [14] Zelené střechy, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <http://www.zelenestrechy.info/cs/strechy/zelene-strechy/publikace/>
- [15] Vegetační střechy, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://www.dek.cz/obsah/technicka-podpora/vegetacni-strechy>
- [16] Vegetační střechy podniková norma , (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://www.acre.cz/UserFiles/File/Podnikov%C3%A1%20norma%20-%20slo%C5%BEen%C3%AD%20substr%C3%A1tu%20ACRE.pdf>

- [17] Cool Roof, 15.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-home-design/cool-roofs>
- [18] Cool Roof, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <http://www.polyglass.com/IT-EN/cool-roof.aspx>
- [19] Hospodaření s dešťovou vodou, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/hospodareni-s-destovou-vodou-v-cr-idea-vs-realita/>
- [20] Hydroizolační folie, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://www.dek.cz>
- [21] Změna klimatu, (15.12.2018), (Online), Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/IPCC\\_WG2AR5\\_SPM\\_Approved\\_CZ.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved_CZ.pdf)
- [22] A review of benefits and limitations of static and switchable cool roof systems, Jenna Testa, Moncef Krarti, Building Systems Program, College of Engineering & Applied Science, University of Colorado, Boulder, CO 80303, USA, September 2017, Pages 451-460

- [23] Green Roofs in the New York Metropolitan Region, Research Report, Cyntia Rosenzweig, Stuard Gaffin, Lily Parshall, Cokumbia University Center For Climata Systems Research NASA Goddard Institute for Space Studies, 59 stran
- [24] Cool roof, (2.12.2018), (Online), Dostupné z: <https://archinect.com/news/article/143997037/cool-roofs-substantially-reduce-temperatures-during-a-heat-wave-according-to-new-study>

## 8. Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1 - Tepelný ostrov v průměrné teplotě povrchu z družicových dat MODIS na Terra a Aqua, červenec 2013 a 2014, noční hodnoty [11] .....	7
Obrázek 2 - Tepelný ostrov v průměrné teplotě povrchu z družicových dat MODIS na Terra a Aqua, červenec 2013 a 2014, denní hodnoty [11] .....	8
Obrázek 3 Vliv vegetace na tepelnou bilanci povrchu. ....	12
Obrázek 4 – Srovnání odrazivosti klasické (teplé) a studené střechy [12] .....	15
Obrázek 5 Testované střešní povrchy .....	18
Obrázek 6 Porovnání povrchových teplot.....	21
Obrázek 7 Folie šedá-1-PIR-PVC (T) [12] .....	22
Obrázek 8 Folie černá-1-PIR-PVC (T) .....	23
Obrázek 9 Odrazivá fóle-1-R-PVC (T).....	24
Obrázek 10 - Porovnání teplot na odrazivé a šedé folii .....	25
Obrázek 11 Porovnání folií .....	26
Obrázek 12- Vlhkost vzduchu po měsíci od roku 1961 do 2017.....	28

Obrázek 13 - průměrný sluneční svit v letech 1961-2017 .....	29
Obrázek 14 - Průměrný denní sluneční svit od roku 1961-2017 .....	30
Obrázek 15 Tabulka 1 Radiační bilance .....	33
Obrázek 16 Tabulka 2 Tepelné bilance.....	34
Obrázek 17 Vegetační střecha.....	38
Obrázek 18 Vegetační střecha.....	40
Obrázek 19 Chladná střecha [24].....	41