

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Měření rozptýleného slunečního světla

diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Josef Zeman, Ph. D.

Autor práce: Bc. Jakub Svoboda

PRAHA 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra fyziky
Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Svoboda Jakub

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Měření rozptýleného slunečního světla

Anglický název

Measurement of diffused sun light

Cíle práce

Pokračovat ve vývoji dříve fakultou patentovaného zařízení pro animání dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry. Vyřečit jeho vytápění.

Metodika

Analyzovat předchozí zkušenosti. Navrhnout a realizovat nový postup vuhřívání polokoule. Udržet zařízení další rok v chodu.

Osnova práce

Popis konstrukce zařízení.

Popis možností využití dat z něj získatelných a získaných.

Analýza současného provozu a rozbor důsledků stávající konstrukce.

Návrh nové konstrukce.

Realizace nové konstrukce.

Udržení chodu.

Zhodnocení zkušeností s provozem.

Rozsah textové části

do 80ti stran

Klíčová slova

rozptýlené záření, spektrum, gammut

Doporučené zdroje informací

Kobzová, E.: Počasí, Rubico, 1998, ISBN 80-85839-26-11

Still, M.: The Definitive Guide to ImageMagick, The Experts Voice, Apres, NY 2006, ISBN 1-59059-590-4

Vedoucí práce

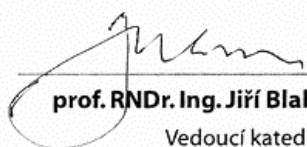
Zeman Josef, Mgr., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012

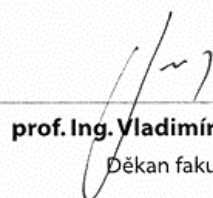


prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 4.2.2011



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Měření rozptýleného slunečního světla“ vypracoval zcela samostatně a použil jsem jen pramenů citovaných v přiložené bibliografii.

V Praze dne 4. 4. 2012

.....

Jakub Svoboda

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Mgr. Josefu Zemanovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování této diplomové práce a RNDr. Přemyslu Jedličkovi, Ph.D. za pomoc při tvorbě programu pro zpracování naměřených dat.

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo pokračovat ve vývoji zařízení určeného pro snímání dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry. Analyzovat předchozí zkušenosti a navrhnout nový postup vyhřívání polokoule, včetně jeho realizace. Teoretická část je zaměřena na vysvětlení základních pojmů souvisejících se slunečním zářením, způsoby měření slunečního záření a rovněž je zde vysvětlena problematika zakřivených zrcadel a gamutu. Praktická část je zaměřena na rozbor konstrukce původního zařízení, realizaci nového zařízení, analýzu provozu a rozboru důsledků současného zařízení, výsledky měření barevnosti rozptýleného světla z nebeské polosféry a jejich zhodnocení.

Klíčová slova: rozptýlené záření, spektrum, gamut, zpracování obrazu, vyhřívání optika

Measurement of diffused sun light

Summary: The aim of this thesis was to continue in development of a device made for capturing dispersed light from sky hemisphere. Analyzing of previous experiences and to suggest new way of heating up the hemisphere, including its realisation. The teoretical part is focused on explaining basic terms concerning sun radiance, the ways of measuring it as well as explaining the issue of curved mirrors and gamut. The practical part is focused on analyzing the construction of the original device, realisation of new device and its run and describing the outputs of the current device, the results of measuring the color spectrum of diffused light from sky hemisphere and their evaluation.

Key words: diffused radiation, spectrum, gamut, image processing, heated optics

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	SEZNÁMENÍ SE ZÁKLADNÍMI POJMY A FAKTY.....	2
2.1	Sluneční záření	2
2.1.1	Přímé sluneční záření	5
2.1.2	Rozptýlené záření	5
2.1.3	Globální záření	5
2.1.4	Odražené záření	7
2.1.5	Cirkumglobální záření	7
2.1.6	Záření Země a atmosféry	8
2.1.7	Geometrie slunečního záření	9
2.2	Měření slunečního záření	10
2.2.1	Měření přímého slunečního záření	10
2.2.2	Měření globálního slunečního záření.....	12
2.2.3	Měření rozptýleného slunečního záření	14
2.2.4	Měření odraženého slunečního záření	14
2.2.5	Měření celkového slunečního a tepelného záření	15
2.2.6	Měření doby trvání slunečního svitu	15
2.3	Zakřivená zrcadla.....	17
2.4	Gamut	17
3	KONSTRUKCE VYHŘÍVANÉ OPTIKY	21
3.1	Konstrukce bez vyhřívání optiky	21
3.2	Původní konstrukce vyhřívání optiky	22
3.2.1	Železné rameno a držák fotoaparátu	23
3.2.2	Zrcadlová polokoule a vyhřívání.....	24
3.2.3	Digitální fotoaparát a záznam získaných dat	27
3.2.4	Analýza a rozbor důsledků původní konstrukce	27

3.3	Realizace nové konstrukce vyhřívané optiky	30
3.3.1	Zrcadlová polokoule.....	30
3.3.2	Výroba polokoule z montážní pěny.....	32
3.3.3	Instalace topného kabelu a čidel.....	34
3.3.4	Železné rameno a držák fotoaparátu	36
3.3.5	Ovládání vyhřívání polokoule.....	37
3.3.6	Měření teploty uvnitř polokoule	39
3.3.7	Záznam informací.....	41
3.3.8	Pořizovací náklady	42
3.4	Technické zázemí	42
4	ANALÝZA SOUČASNÉHO PROVOZU	45
4.1	Zkušenosti s provozem	45
4.2	Účinnost vyhřívání polokoule	47
4.3	On-line prezentace dat na internetu	49
4.4	Monitoring slunečního záření pyranometrem	49
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	53
5.1	Zpracování naměřených dat	53
5.2	Prezentace získaných hodnot.....	54
6	ZÁVĚR	59
7	SEZNAM LITERATURY	61
8	SEZNAMY POUŽITÝCH ZKRATEK, OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	64
9	PŘÍLOHY	68

1 ÚVOD

Slunce se svým zářením je už od pradávna jedním ze základních faktorů, které podmínili vznik života na zemi a neustále přispívá k jeho udržování a rozvoji. Existence života na Zemi je podmíněna fotosyntézou zelených rostlin, které produkují kyslík a právě sluneční záření je nezastupitelným zdrojem energie pro tento biochemický proces. Lidé si stále více uvědomují, že na udržení a další rozvoj společenských, ekonomických a technických oblastí je potřeba najít náhradu za neobnovitelné zdroje energie a právě proto, se začíná věnovat stále větší pozornost energetickému využívání slunečního záření. Podrobné poznatky o složení a množství slunečního záření v určité geografické oblasti jsou důležité jednak v oblasti energetiky, při využívání solární energie její fototermickou přeměnou na teplo nebo fotovoltaickou přeměnou na elektrický proud, ale i v oblasti zemědělství a lesnictví pro zvyšování produkce.

Diplomová práce obsahuje souhrnné poznatky o zdrojích, vlastnostech a způsobech měření slunečního záření, konstrukci vyhřívané optiky pro snímání prostorového rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry a možnostech využití získaných dat.

V první části jsou popsány základní pojmy a fakta související s danou problematikou. Jedná se konkrétně o vlastnosti a druhy slunečního záření, způsoby měření slunečního záření, vlastnosti zakřivených zrcadel, gamut a barevný model RGB.

Druhá část podrobně popisuje konstrukci a instalaci původní a nové verze vyhřívané optiky, která byla v rámci této práce realizována. Rovněž je zde uveden rozbor důsledků původní konstrukce, způsob měření teploty uvnitř polokoule a záznam získaných dat.

Třetí část práce obsahuje analýzu současného provozu nové verze vyhřívané optiky, monitoring slunečního záření pyranometrem, způsob zpracování naměřených dat barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry a prezentaci získaných hodnot.

2 SEZNÁMENÍ SE ZÁKLADNÍMI POJMY A FAKTY

Seznámení se základními pojmy a fakty je důležité pro pochopení problematiky snímání prostorového rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry. Proto je součástí této kapitoly přehled různých druhů záření vyskytujících se na Zemi a způsob jejich měření. Kapitola dále pojednává o zakřivených zrcadlech a barevném modelu RGB, v rámci kterého jsou data zkonstruovaným zařízením snímána.

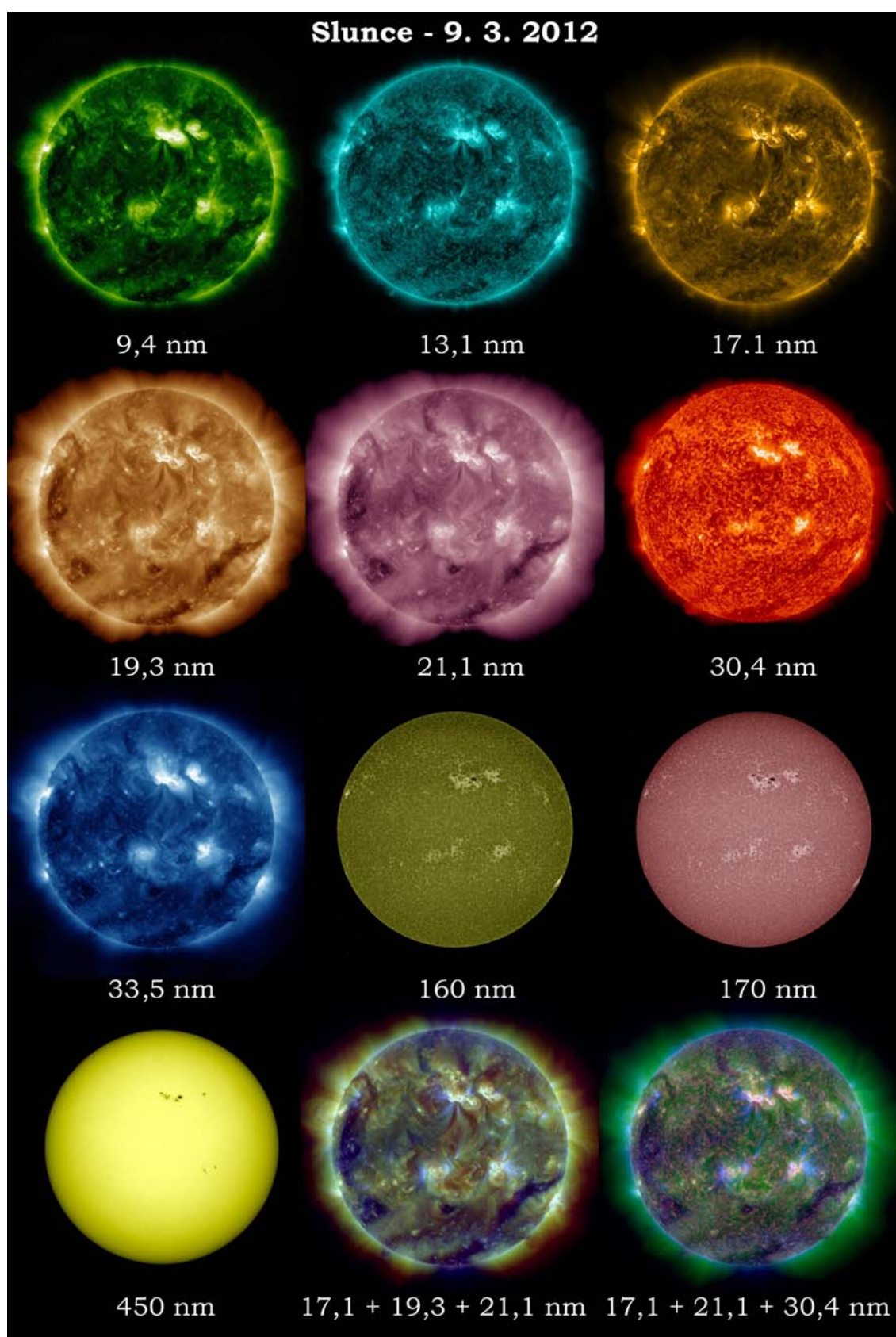
2.1 Sluneční záření

Mezi základní zdroje energie záření patří Slunce a planeta Země s atmosférou. Ostatní vesmírná tělesa, jako jsou hvězdy a Měsíc nebo kosmické záření, mají energii záření z hlediska energetické bilance Země zanedbatelnou [1].

Slunce je hvězda hlavní posloupnosti, spektrální třídy G2, třídy svítivosti V a nachází se ve střední vzdálenosti 149 597 870 kilometrů (1 AU) od Země. Stáří Slunce je přibližně 4,6 miliard let a jeho životnost je odhadována ještě na dalších 5 až 7 miliard let. Je to koule žhavého plazmatu o průměru 1 400 000 km s hmotností $1,989 \cdot 10^{30}$ kg a průměrnou hustotou $1\,400\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Teplota povrchu Slunce je přibližně 5 800 K a teplota jádra $1,5 \cdot 10^7$ K. Celkový výkon Slunce činí zhruba $4 \cdot 10^{26}$ W a tok sluneční energie u Země je $1,4\text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Hlavním zdrojem energie ve Slunci je termonukleární reakce typu proton – proton, při které se každou sekundu přemění 700 milionů tun vodíku na 695 milionů tun hélia a postupně i na jiné těžší prvky, přičemž se uvolňuje obrovské množství energie. Fotony záření, které vznikají při reakci, se pomocí složitého procesu postupně dostávají až do fotosféry, odkud jsou vyzářeny do vesmírného prostoru [2].

Na obrázku 1 jsou záběry pořízené družicí SDO (Solar Dynamics Observatory), která sleduje Slunce v různých vlnových délkách. Družici vypustila NASA v únoru roku 2010.

Obr. 1 – Záběry Slunce z 9. 3. 2012 v různých vlnových délkách [3]



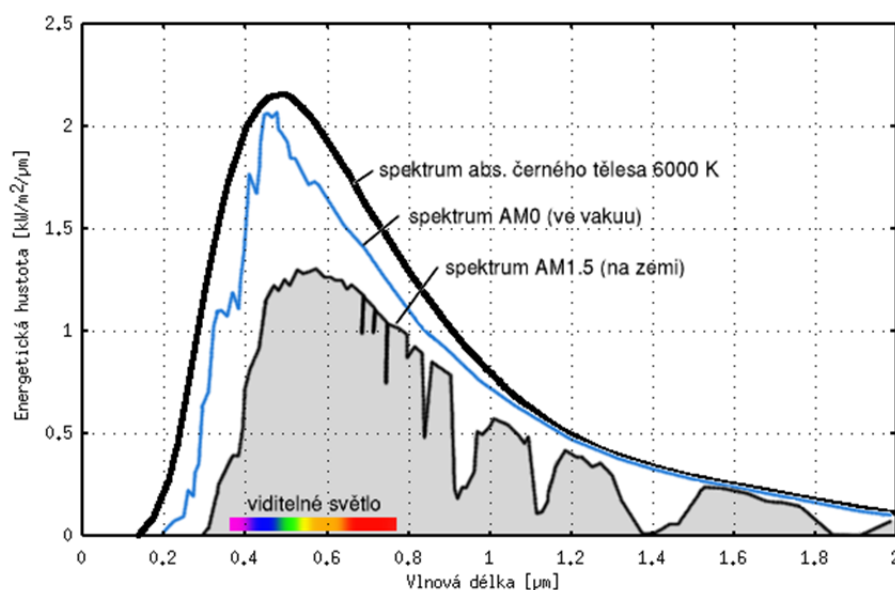
Sluneční konstanta

Sluneční konstanta je základním údajem, který charakterizuje Slunce a jeho záření. V důsledku neustálých změn vzdálenosti Země od Slunce, se velikost slunečního záření plynule mění. Sluneční konstanta tedy představuje průměrnou roční hodnotu slunečního záření na hranici zemské atmosféry. Je definována jako plošná hustota zářivého toku slunečního záření, která dopadá na jednotkovou plochu kolmou na směr slunečních paprsků, umístěnou na vnější straně zemské atmosféry, při střední vzdálenosti Země od Slunce. V roce 1981 byla Světovou meteorologickou organizací určena hodnota sluneční konstanty na $1\,367 \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [4].

Průchod slunečního záření atmosférou

Při průchodu atmosférou je část záření odražena zpět do vesmíru, další části jsou pohlcovány, rozptylovány nebo prochází až k zemskému povrchu. Přibližně 26 % záření se od atmosféry a mraků odráží zpět do vesmíru, 19 % je atmosférou pohlceno a zahřívá ji, 51 % dopadá na povrch Země a je jím pohlceno a 4 % se odráží od zemského povrchu zpět do atmosféry. Atmosféra Země chrání planetu před účinky krátkovlnných záření a pohlcuje většinu ultrafialového, rentgenového a gama záření. Na obrázku 2 je zobrazeno sluneční spektrum v různých vzdálenostech od Slunce [5].

Obr. 2 – Sluneční spektrum [6]



2.1.1 Přímé sluneční záření

Přímé sluneční záření je tok rovnoběžných paprsků, které pronikají od Slunce na zemský povrch a podle orientace povrchu čidla vůči zářivému toku se rozděluje na přímé sluneční záření dopadající na kolmo orientovanou plochu, vodorovně orientovanou plochu a na obecně orientovanou plochu. V přízemní vrstvě atmosféry je záření zeslabováno v důsledku zvýšeného obsahu vodních par a příměsí, nejčastěji vyjadřovanými pomocí Linkeho zákalového činitele atmosféry. Tato veličina představuje počet čistých suchých atmosfér, které by zeslabily energii přímého slunečního záření stejně jako reálná atmosféra nad místem měření. Hodnota Linkeho koeficientu se v České republice pohybuje v rozmezí 4 až 5 a nejvyšší hodnoty intenzity přímého slunečního záření dopadající na kolmo orientovanou plochu se pohybují okolo 880 W.m^{-2} .

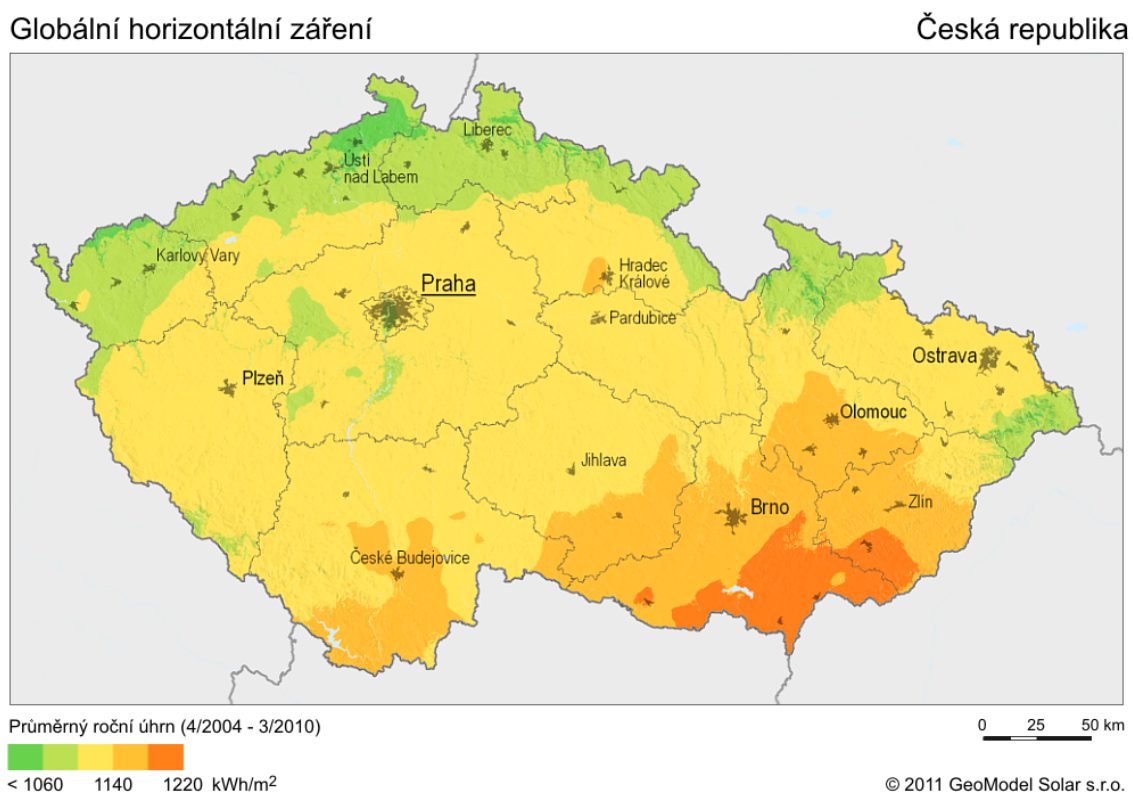
2.1.2 Rozptýlené záření

Rozptýlené záření, které je někdy nazýváno jako difuzní záření, je tok záření dopadající na vodorovnou plochu ze všech směrů po předcházejícím rozptylu a odrazu na molekulách vzduchu a částic, které jsou obsaženy v atmosféře. Intenzita rozptýleného záření je značně závislá na délce dráhy při průchodu atmosférou a na množství rozptylujících částic obsažených ve vzduchu. V klimatických podmínkách České republiky nepřesahují maximální hodnoty rozptýleného záření 500 W.m^{-2} .

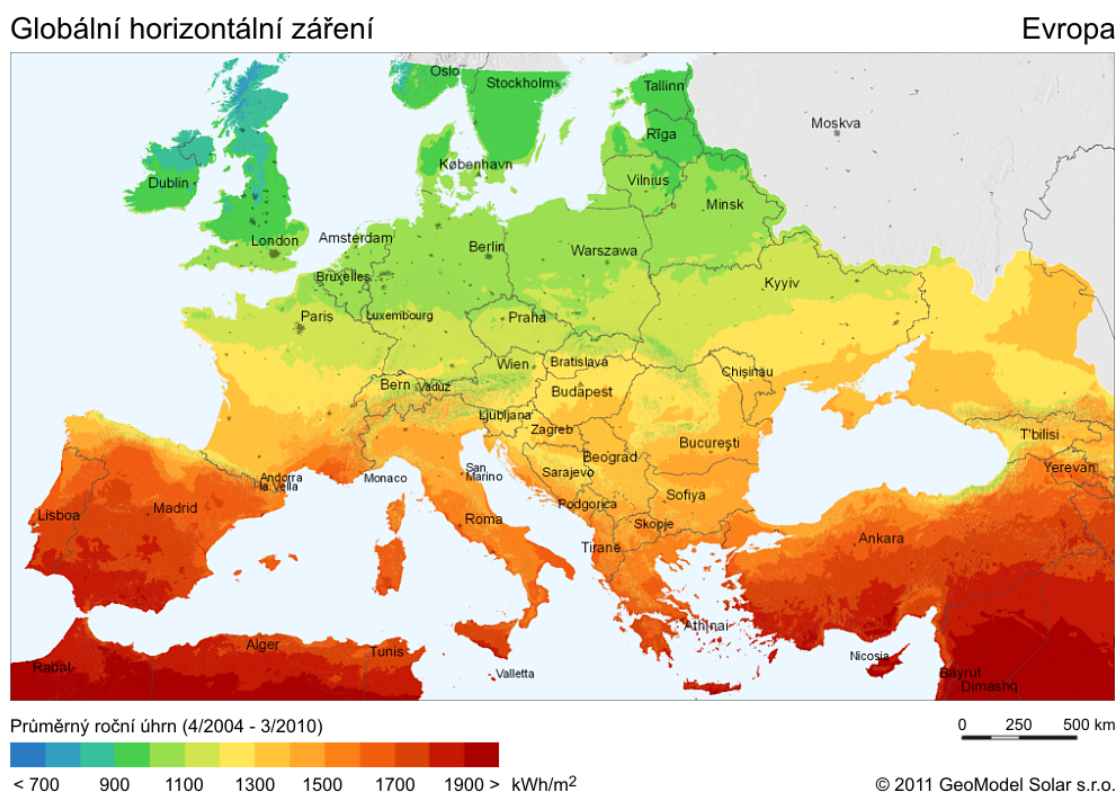
2.1.3 Globální záření

Globální záření je tok slunečního záření dopadající na horizontální povrch a v přirozených podmínkách je tvořen přímým slunečním zářením dopadajícím na vodorovnou plochu a rozptýleným zářením. Pokud je Slunce zakryto oblačností, je globální záření tvořeno pouze rozptýleným zářením. Globální záření je hlavním zdrojem ohřívání zemského povrchu a v České republice dosahuje hodnoty až $1\,100 \text{ W.m}^{-2}$. Na obrázku 3 je zobrazen průměrný roční úhrn globálního horizontálního záření v České republice a na obrázku 4 v Evropě. V příloze 2 je zobrazeno průměrné globální sluneční záření na celé Zemi [1].

Obr. 3 – Globální horizontální záření v České republice [7]



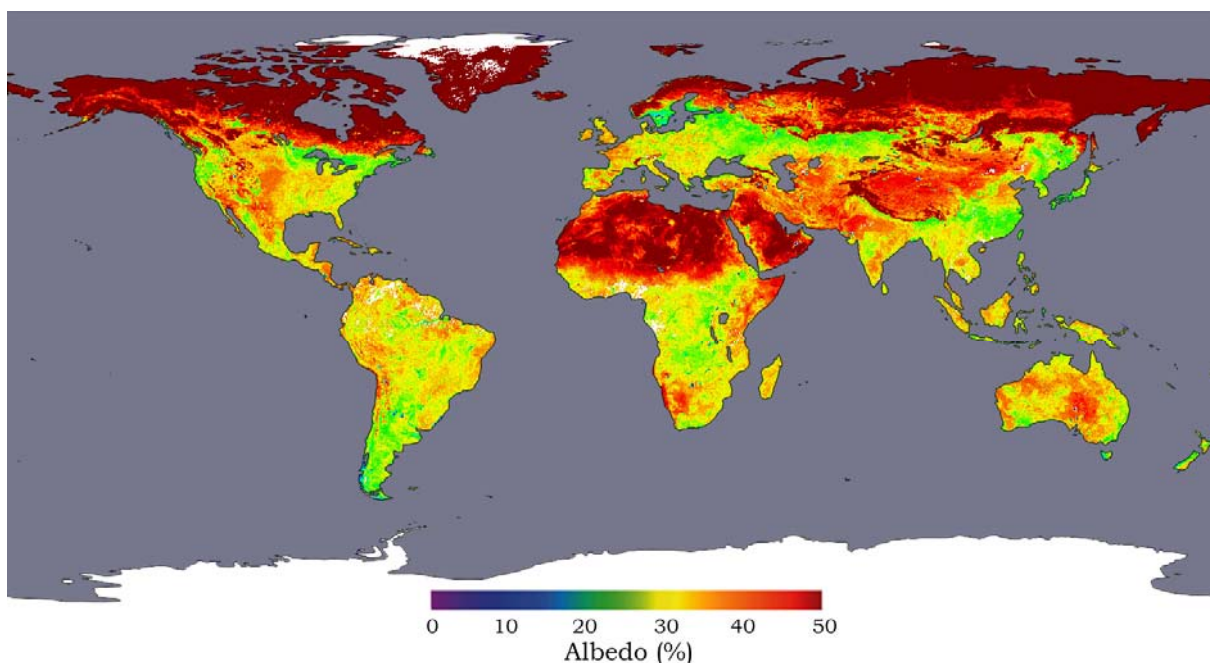
Obr. 4 – Globální horizontální záření v Evropě [7]



2.1.4 Odražené záření

Odražené záření je část globálního záření odraženého od aktivního povrchu v závislosti na jeho odrazivých vlastnostech zpět do atmosféry. Množství odraženého záření bývá vyjadřováno buď absolutně, nebo relativně tzv. albedem, což je poměr záření, které odráží daná plocha k zářivému toku na ni dopadající. Velikost albeda je také závislá na charakteru povrchu. Na obrázku 5 je zobrazeno albedo zemského povrchu měřené družicí TERRA od 7. 4. do 22. 4. 2002 [1].

Obr. 5 – Globální albedo [8]



2.1.5 Cirkumglobální záření

Cirkumglobální záření je definováno jako krátkovlnné záření dopadající na kulový povrch a je tvořeno součtem přímého, rozptýleného a odraženého záření. Měření záření dosahuje menší přesnosti z důvodu započítávání odraženého krátkovlnného záření, které je výrazně ovlivňováno charakterem povrchu v okolí přístroje. Je však velmi důležité při hodnocení intenzity ozařování rostlin a má tak svoje opodstatnění zejména v agrometeorologii a bioklimatologii. Pravděpodobně jediným možným způsobem jak měřit energii záření dopadající na rostliny umístěné ve fytotronech, je pomocí

cirkumglobálního záření. Fytotron je komora pro pěstování rostlin za kontrolovaných a programově regulovatelných klimatických podmínek, která slouží ke studiu životních projevů rostlin za podmínek umělého osvětlení.

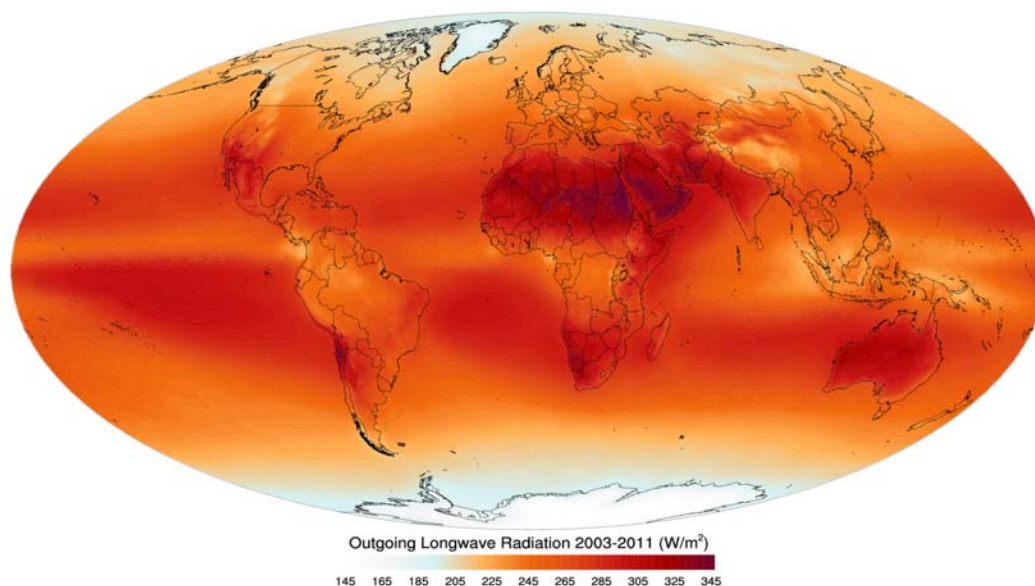
2.1.6 Záření Země a atmosféry

Z meteorologického hlediska jsou dalším zdrojem zářivé energie planeta Země a atmosféra. Energie vyzařovaná Zemí a její atmosférou se kvalitativně i kvantitativně liší od slunečního záření a bývá souhrnně nazývána jako dlouhovlnné záření. Tyto radiační toky v blízkosti zemského povrchu se rozlišují na vyzařování Země, zpětné záření atmosféry a odražené dlouhovlnné záření.

Vyzařování Země je zářivý tok vyzařovaný aktivním povrchem (půdou, vodou, ledem, vegetací atd.), který probíhá neustále ve dne i v noci, a jeho prostřednictvím je dlouhodobě zajišťována tepelná rovnováha Země (obr. 6).

Zpětné záření atmosféry je tok záření dopadající na vodorovný povrch z atmosféry, která v horních vrstvách absorbuje přibližně 15 % dopadajícího slunečního záření a v dolních vrstvách pohlcuje větší část energie vyzařované zemským povrchem. Přibližně 30 až 40 % energie vyzářené atmosférou uniká do vesmírného prostoru a zbytek dopadá zpět na zemský povrch. Zpětné záření atmosféry je z 90 až 99 % absorbováno aktivním povrchem a zbylé odražené záření je označováno jako odražené dlouhovlnné záření [1].

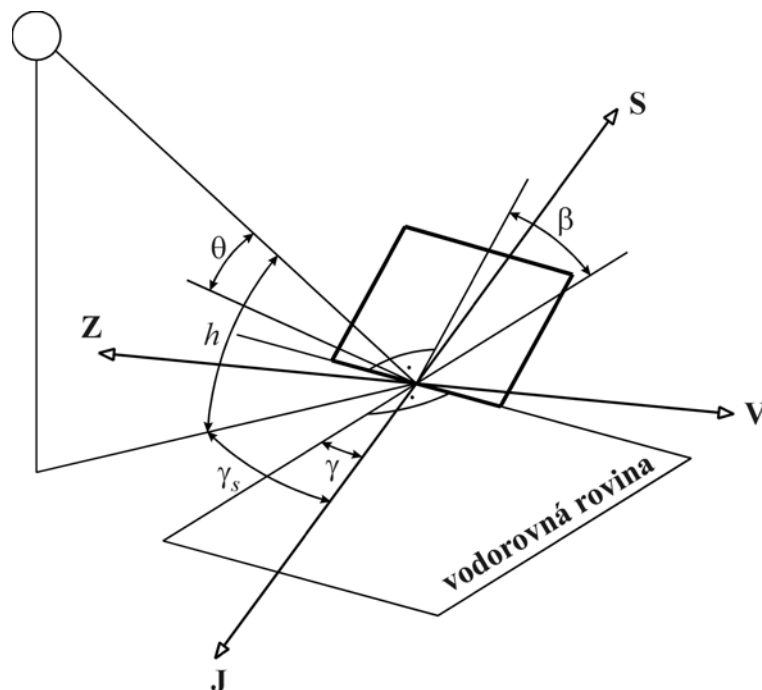
Obr. 6 – Průměrné roční množství infračerveného záření opouštějící Zemi [9]



2.1.7 Geometrie slunečního záření

Na obrázku 7 je zobrazena geometrie slunečního záření dopadajícího na obecnou plochu.

Obr. 7 – Geometrie slunečního záření [10]



Zeměpisná šířka ϕ – úhlové umístění severně nebo jižně od rovníku.

Úhel sklonu β – úhel mezi vodorovnou rovinou a rovinou plochy.

Úhel orientace plochy γ – úhel mezi průmětem normály plochy a lokálním poledníkem.

Sluneční časový úhel τ – úhel zdánlivého posunu Slunce nad místními poledníky vlivem rotace.

Sluneční deklinace δ – úhel, který svírá spojnice středů Země a Slunce s rovinou zemského rovníku.

Sluneční azimut γ_s – úhlový rozdíl mezi průmětem slunečního paprsku a jihem.

Úhel slunečního zenitu θ_z – úhel sevřený spojnici pozorovatele, Slunce a svislicí nad pozorovatelem.

Výška Slunce nad obzorem h – úhel sevřený spojnici pozorovatele a Slunce a horizontálou.

Úhel dopadu slunečního záření θ – úhel mezi spojnici středu Slunce a ozářené plochy a normály plochy [10].

2.2 Měření slunečního záření

Přibližně 99 % elektromagnetického záření vysílaného Sluncem dopadajícího na zemský povrch má vlnovou délku v rozsahu od 0,3 do 3 μm . Podle vlnových délek lze rozdělit Sluneční záření na ultrafialové UVA (315 nm – 400 nm), ultrafialové UVB (280 nm – 315 nm), viditelné záření (380 nm – 720 nm) a infračervené (nad 720 nm). Běžně se provádí měření přímého, difuzního a globálního slunečního záření.

2.2.1 Měření přímého slunečního záření

Pyrheliometr

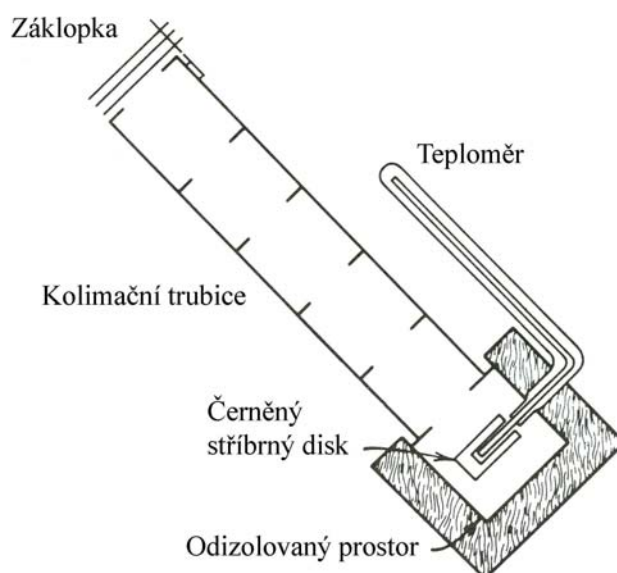
Pyrheliometr je absolutní přístroj měřící přímé sluneční záření na kolmo orientovanou plochu, podle kterého se kalibrují ostatní přístroje a slouží jako primární etalon.

Princip měření vychází z Abbotova pyrheliometru zkonstruovaného v roce 1908. Přístroj se skládal z válcové štěrbiny, která se chovala jako černé těleso a pohlcovala záření přicházející kolimační tubicí. Kolem absorpční štěrbiny protékala voda a pomocí měření rozdílu teplot a průtoku se stanovila pohlcená energie. Tento systém byl později modifikován konstrukcí skládající se ze dvou tepelně identických komor, okolo kterých protékala chladicí voda. Jedna komora byla zahřívána elektricky a druhá zahřívána slunečním zářením. Z rovnováhy přísunu tepla do obou komor, bylo možné z měřeného příkonu elektricky vytápěné komory usuzovat pohlcený sluneční zářivý tok ve druhé komoře.

Jako sekundární etalony se využívají Abbotův pyrheliometr se stříbrným diskem a Angstromův kompenzační pyrheliometr. Sekundárním etalonem nazýváme etalon v hierarchii etalonů podřazený etalonu primárnímu, od něhož také přímo nebo nepřímo odvozuje svou hodnotu. V Abbotově pyrheliometru slouží jako absorbér slunečního záření stříbrný disk o průměru 38 mm a tloušťce 7 mm. Strana disku vystavená slunečnímu záření je načerněna a v otvoru na straně disku je vložen konec přesného rtuťového teploměru. Disk je pomocí drátků pružně uložen na konci kolimační trubice v měděném válci vloženém v dřevěném válcovém

pouzdrů s izolací, jak je zobrazeno na obrázku 8. Clona střídavě vpouští a stíní záření v pravidelných intervalech a z odpovídajících změn měřené teploty disku se stanoví množství pohlceného záření [10].

Obr. 8 – Abbotův pyrhelimetr se stříbrným diskem [10]



V současné době se jako sekundární etalony pro kalibraci měřících přístrojů v USA používají Eppley Normal Incidence Pyrheliometr a v Evropě CHP 1 pyrheliometer od firmy Kipp & Zonen B. V., který je zobrazen na obrázku 9 [10].

Obr. 9 – Pyrheliometr CHP 1 [11]



Aktinometr

Aktinometr je relativní přístroj měřící přímé sluneční záření dopadající na kolmo orientovanou plochu, který potřebuje kalibrační konstantu a na rozdíl od pyrhelimetru neumožňuje měření intenzity slunečního záření přímo v absolutních fyzikálních jednotkách. Aktinometr umožňující registrační záznam se označuje jako aktinograf [1].

2.2.2 Měření globálního slunečního záření

Pyranometr

Pyranometr je přístroj určený pro měření globálního záření dopadajícího na horizontální povrch, které je tvořeno přímým slunečním zářením a rozptýleným zářením. Zařízení obsahuje senzor, který musí mít odezvu nezávislou na vlnové délce v celém solárním spektru od 0,3 do 3 μm a na úhlu dopadu slunečního záření. Senzor je krytý jedním nebo dvěma polokulovými kryty pro zabránění vlivu dlouhovlnného záření a ochlazování čidla vlivem okolního prostředí. Kryty musí mít rovnoměrnou tloušťku, aby nedocházelo k nerovnoměrné distribuci slunečního záření na čidlo. Zařízení se dále skládá z krytu a vysoušecí nádoby, která zajišťuje stálé prostředí. Nejčastěji se používají senzory termočláňkové nebo polovodičové.

Termočláňkové pyranometry vyhodnocují sluneční záření na základě teplotní difference vzniklé slunečním zářením na bílé a černé ploše (segmentový pyranometr) nebo načerněným povrchem a okolní teplotou (Moll-Gorczynskiho pyranometr).

Segmentový pyranometr (obr. 10) má čidlo složené z 12 tenkých měděných radiálních střídavě černých a bílých segmentů. Každý segment obsahuje 6 termočláňků, celkem tedy 72. Jsou-li segmenty vystaveny slunečnímu záření, dochází mezi nimi k teplotnímu rozdílu a tento teplotní rozdíl je přímo úměrný slunečnímu záření a není závislý na teplotě okolí [10].

Obr. 10 – Segmentový pyranometr [12]



Moll-Gorczynskiho pyranometr (obr. 11) využívá Mollův článek pro měření teplotního rozdílu mezi černým povrchem čidla a tělem přístroje. Tělo přístroje si udržuje rovnoměrnou teplotu okolí a je chráněno krytem před slunečním zářením.

Obr. 11 – Moll-Gorczynskiho pyranometr [11]



Polovodičové pyranometry jsou levnější alternativou k termočláňkovým pyranometrům a k vyhodnocování slunečního záření používají fotodiody, fototranzistory nebo fotovoltaické články. Nevýhodou fotovoltaických článků je jejich spektrálně odlišná odezva od rozložení solárního spektra. Na obrázku 12 je zobrazen senzor s monokrystalickou solární buňkou.

Obr. 12 – Senzor s monokrystalickou solární buňkou [13]



Pyranometry jsou běžně kalibrovány pomocí etalonových pyrliometrů a nejsou-li umístěny vodorovně, mění se podmínky volného proudění uvnitř skleněné kupole s čidlem a přenos tepla z termočláňku na kryt, následkem čehož může zařízení měřit nepřesně. Proto je nutné provádět korekci sklonu pyranometru [10].

2.2.3 Měření rozptýleného slunečního záření

Rozptýlené sluneční záření je měřeno pomocí pyranometrů se stíněním přístroje před přímou složkou záření. Nejčastěji se používá stínící prstenec z černě eloxovaného hliníku o průměru přibližně 60 cm a šířce 7,5 cm, který umožňuje kontinuální měření difúzní složky bez neustálého přestavování stínícího zařízení. Přestavuje se pouze při změně deklinace jednou za několik dní. Další možností je použití zařízení pro sledování polohy Slunce se stínícím terčíkem, které je zobrazeno na obrázku 13.

Obr. 13 – Zařízení pro měření rozptýleného slunečního záření [11]



2.2.4 Měření odraženého slunečního záření

Albedometr

Albedometr (obr. 14) se používá při měření odraženého slunečního záření a skládá se ze dvou pyranometrů. První z nich měří globální záření dopadající na horizontální povrch a druhý je natočen čelem vůči povrchu a přijímá pouze záření z něj odražené. Údaje z obou pyranometrů jsou zaznamenávány a odražené sluneční záření se určí jako poměr záření odraženého a dopadajícího [10].

Obr. 14 – Albedometr [11]



2.2.5 Měření celkového slunečního a tepelného záření

Pyrradiometr

Pyrradiometr se používá pro měření celkového záření v krátkovlnné a dlouhovlnné části spektra ($0,3 - 30 \mu\text{m}$). Zařízení se skládá ze dvou odděleně pracujících černých čidel a z vestavěného odporového čidla referenční teploty. Čidla mají devadesátinásobné termočlánky pohlcující záření dopadající z horní a ze spodní strany. Kryt senzorů je vyrobený z lupolenu, který propouští záření ve vlnových délkách od $0,3$ do 60 mm [14].

2.2.6 Měření doby trvání slunečního svitu

Pro dlouhodobé sledování solárních dat je důležité znát dobu trvání jasného slunečního svitu, tedy dobu přímého slunečního záření dopadajícího na plochu kolmou ke slunečním paprskům, kdy tok záření je větší nebo roven 120 W/m^2 . Doba trvání slunečního svitu nezávisí jen na délce astronomického dne, ale i na výskytu oblačnosti, mlh a překážkách v okolí místa pozorování. Udává se v hodinách a desetinách hodiny a nepopisuje energii slunečního záření, ale umožňuje určovat sluneční záření nepřímo.

Campbell-Stokesův slunoměr (obr. 15) je více než sto let staré zařízení, pomocí kterého se měří doba trvání slunečního záření. Skládá se ze skleněné koule o průměru 10 cm , která vytváří obraz slunečního kotouče na protilehlém povrchu koule soustředěnými slunečními paprsky a registračního pásku z tenkého ztuženého papíru, do kterého solární obraz

vypaluje stopu. Stopa je vypalována po délce pásku během dne tak, jak se pohybuje ohnisko čočky s pohybem Slunce po obloze a délka vypálené stopy udává dobu trvání slunečního svitu [10].

Obr. 15 – Campbell-Stokesův slunoměr [15]



Mezi elektronické typy zařízení pro měření doby trvání slunečního svitu patří slunoměry s bimetalickými senzory, které jsou tvořeny šesti bimetalickými pásky zahříváné a deformované přímým slunečním zářením nebo slunoměry štěrbinové s šestnácti fotodiodami (obr. 16), které jsou postupně ozařovány přímým slunečním zářením [10].

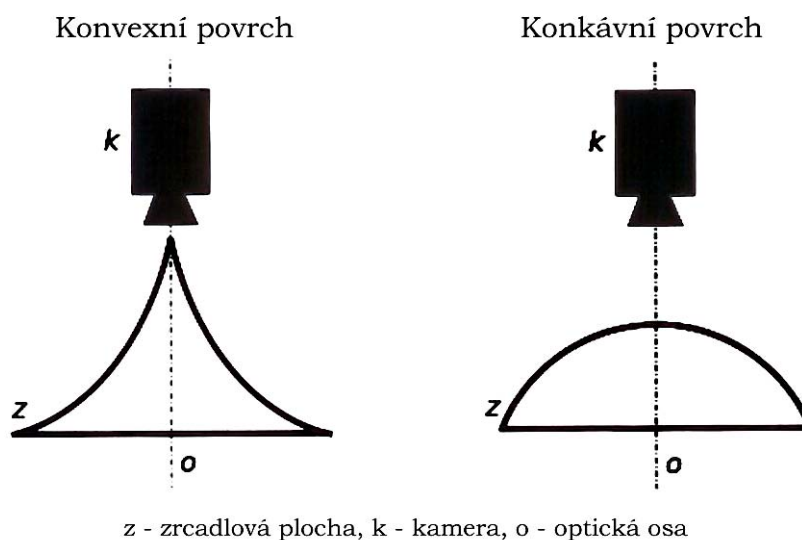
Obr. 16 – Elektronický slunoměr BF5 s fotodiodami [16]



2.3 Zakřivená zrcadla

Použití zakřivených zrcadel je vhodné v situacích, kdy je potřeba snímat pod velmi širokým úhlem, dokonce i pod úhlem 180° . Objektivy s tímto zorným úhlem jsou velmi drahé a minimálně při okrajích mají neakceptovatelné chromatické vady. V těchto případech je tedy vhodné zvážit použití zakřivených zrcadel. Existují dva typy zakřivení pro zobrazení poloprostoru vhodné k tomuto účelu. Konkávní a konvexní zakřivení (obr. 17), kdy obě tyto konstrukce zobrazují ve středu zorného pole zaznamenávací zařízení, tedy fotoaparát. Konvexní zakřivení je vhodné pro zobrazení hranice poloprostoru, tedy obzoru a konkávní zakřivení zobrazení celého poloprostoru. Výhodou konkávních zrcadel je jejich nižší cena a možnost snadné výroby oproti konvexním, nevýhodou pak nízké rozlišení v oblasti horizontu [17].

Obr. 17 – Možná zakřivení zrcadel pro zobrazení poloprostoru [17]

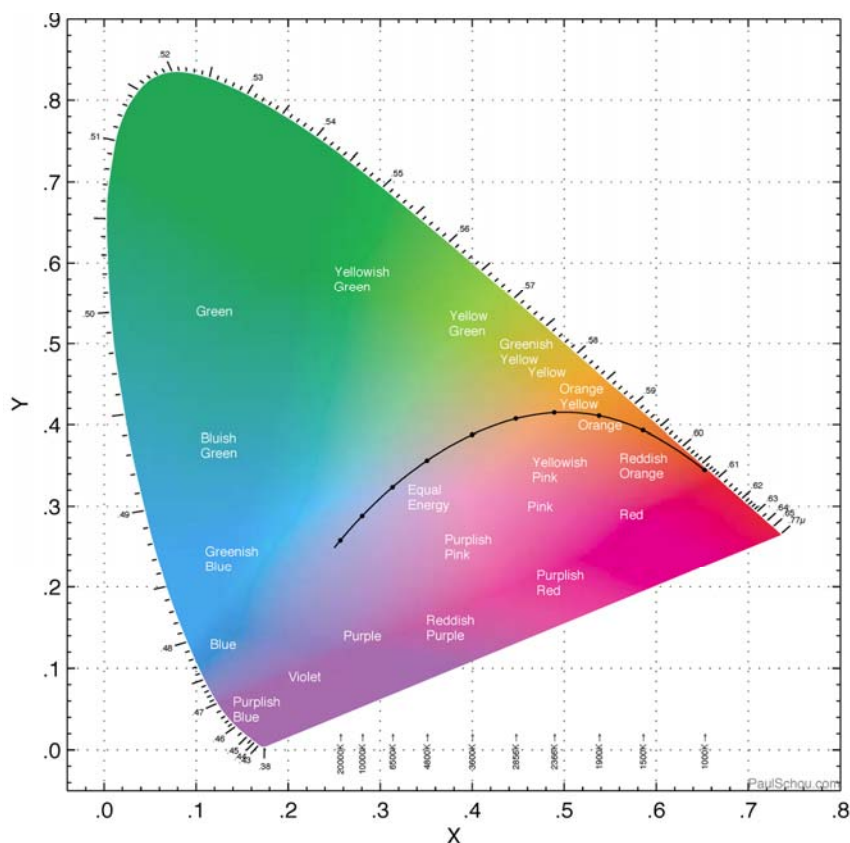


2.4 Gamut

Gamut je oblast barev dosažitelná v určitém barevném prostoru a barvy ležící mimo tuto oblast, lze v daném prostoru zobrazit jen přibližně. Dále také popisuje, jaké barvy je dané zařízení schopno reprodukovat nebo zaznamenat.

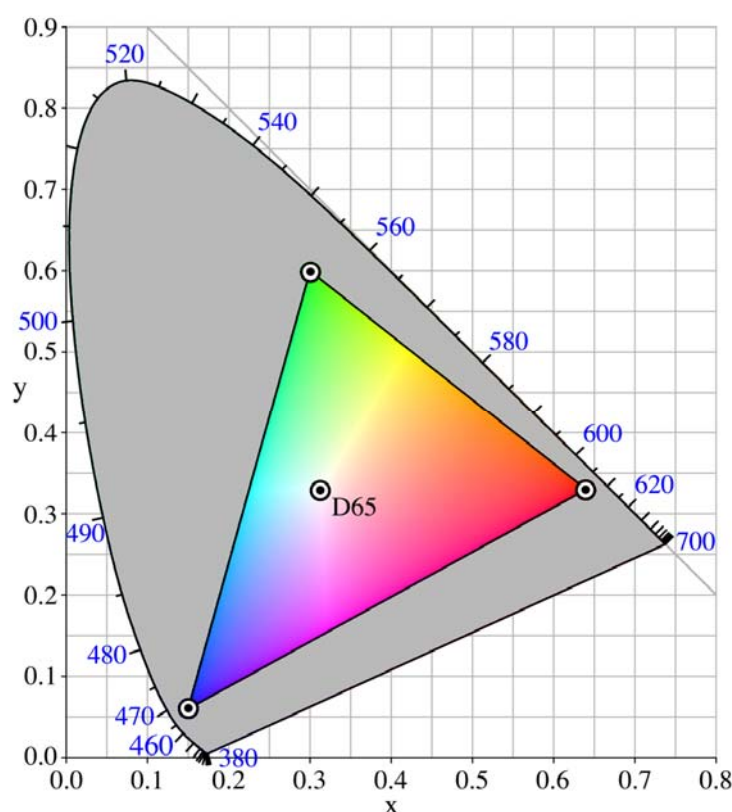
Gamut se nejčastěji graficky zobrazuje jako podmnožina tzv. CIE chromatického diagramu (dále jen CIE), což je množina všech barev rozlišených lidským okem, která byla sestavena úřadem International Commission on Illumination v roce 1931. Diagram je zobrazen v rovině a nezabývá se jasem, ale pouze barvou a její sytostí. Vnější hranice je tvořena spektrálními barvami a vnitřek všemi barvami, které rozlišuje lidské oko. Každou barvu je možné vyjádřit dvojicí čísel (souřadnicemi x a y). Na obrázku 18 je zobrazen CIE 1931 chromatický diagram s popsanými barvami pigmentů používaných při tisku. Žádné reálné zařízení však není schopné všechny tyto barvy věrně zobrazit [18].

Obr. 18 – CIE 1931 chromatický diagram [19]



Pro zpracování digitálního obrazu je nejlepší barevný model RGB, který je založen na aditivním míchání tří základních barev (červené, zelené a modré). Pokud jsou tyto základní barvy umístěny do CIE diagramu, vytvoří trojúhelník, jehož plocha určí gamut tohoto RGB modelu neboli barevný prostor. Na obrázku 19 je zobrazen gamut barevného modelu sRGB, který má definovaný standard bílé jako D65 [18].

Obr. 19 – Gamut RGB modelu [20]

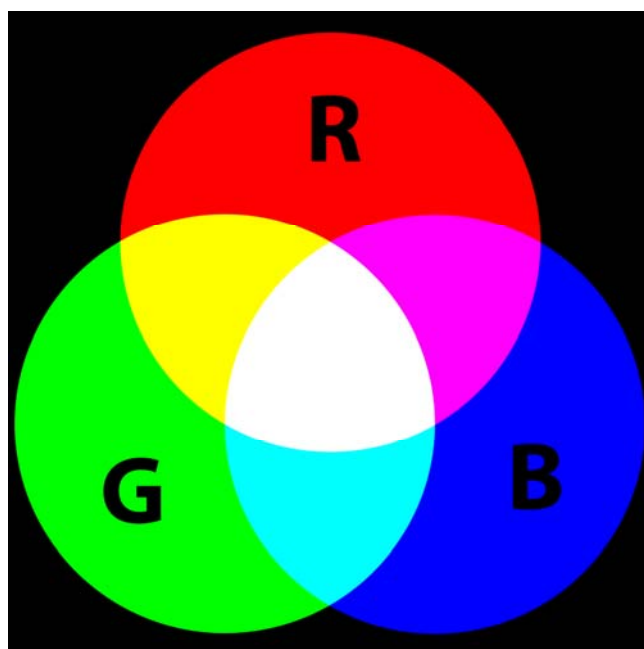


Zařízení pracující na principu tří barev RGB má gamut určený trojúhelníkem uvnitř barevného diagramu a vrcholy tohoto trojúhelníka jsou definovány primárními barvami RGB použitých v daném zařízení. Barvy ležící mimo tento trojúhelník nemohou být zařízením zaznamenány nebo reprodukovány a každé zařízení používá v praxi jiné základní barvy RGB, které jsou například u fotoaparátů určeny konkrétním provedením Bayerovy masky [21].

Barevný model RGB

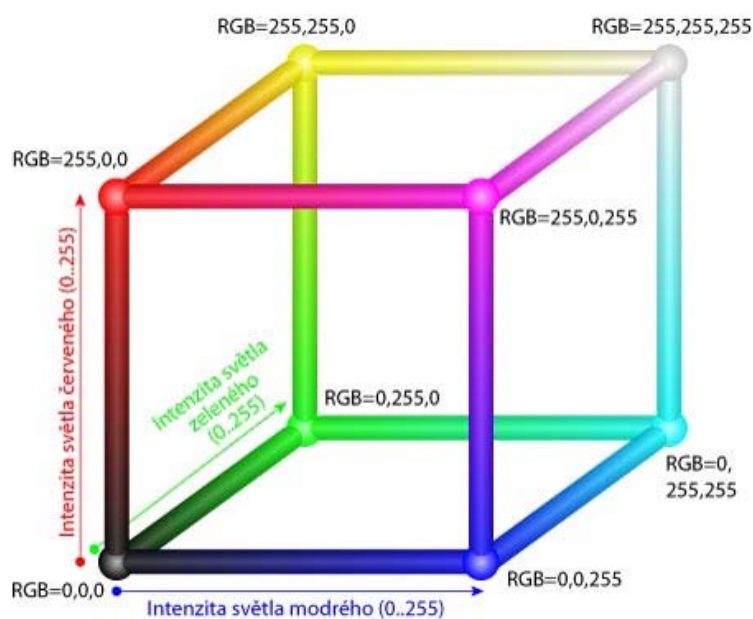
RGB model nejpřirozeněji vyjadřuje to, co vidí naše oči a zjednodušeně vyjadřuje, jak moc je drážděn, červený, zelený a modrý receptor oka. Vychází z adaptivního systému míchání barev, kde je smícháno společně červené, zelené a modré světlo (obr. 20). RGB model udává sílu původního světla rozloženého na sílu jeho tří barevných kanálů a hodí se pro zařízení, které do tmavého podkladu přidávají světla a tím vytvářejí barvy. Sada tří čísel RGB tedy určuje barvu a intenzitu světla. Minimální hodnota je 0, kdy barva nesvítí a maximální 255, při které je maximální svit barvy [22].

Obr. 20 – Adaptivní míchání barev [23]



RGB model lze také zobrazit jako krychle, kde každá z kolmých hran udává škálu mohutnosti barevných složek a libovolný bod se souřadnicemi (x, y, z) udává hodnotu výsledné barvy. RGB krychle je zobrazena na obrázku 21 [22].

Obr. 21 – RGB krychle [22]



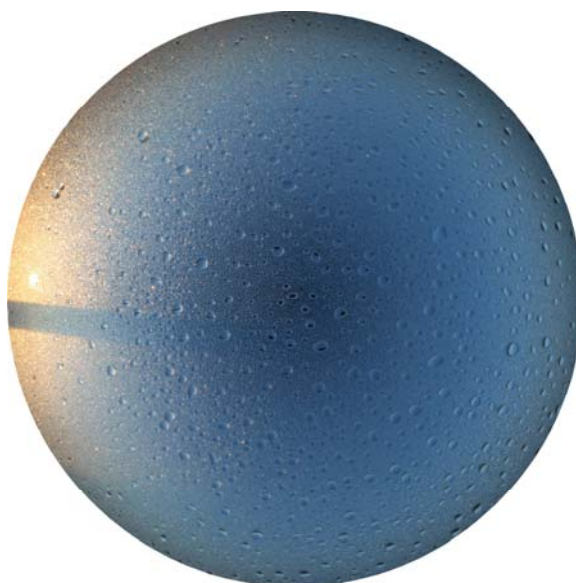
3 KONSTRUKCE VYHŘÍVANÉ OPTIKY

Zařízení, které slouží pro snímání prostorového rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry, je umístěno na střeše budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze ve výšce 306 metrů nad mořem. GPS poloha je: 50°7'48.119"N, 14°22'24.130"E. Toto umístění bylo zvoleno z důvodu velkého výškového rozdílu nad okolním terénem, čímž dochází k minimálnímu stínění předměty a poskytuje dobrý výhled na oblohu. Je zde menší světelné znečištění a zároveň je zařízení snadno dostupné pro pravidelnou údržbu.

3.1 Konstrukce bez vyhřívání optiky

Nejdůležitější a zároveň nejvíce problematickou částí celého zařízení byla zrcadlová polokoule, která sloužila jako odrazová plocha pro fotoaparát. Vzhledem k tomu, že polokoule byla umístěna ve volném prostoru, kde byla vystavena nepříznivým povětrnostním vlivům, jako je déšť či sníh, docházelo tak ke srážení vody, hromadění sněhu a vzniku námrazy na jejím povrchu. Bylo tedy rozhodnuto, že polokoule bude vybavena systémem vyhřívání, který zajistí její funkčnost i v těchto špatných podmínkách. Na obrázku 22 je zobrazena polokoule pokrytá ranní rosou, na obrázku 23 námrazou a na obrázku 24 vrstvou sněhu.

Obr. 22 – Polokoule pokrytá ranní rosou



Obr. 23 – Polokoule pokrytá námrazou



Obr. 24 – Polokoule pokrytá sněhem



3.2 Původní konstrukce vyhřívané optiky

Původní zařízení s vyhřívanou optikou, které bylo jako druhé v pořadí nainstalováno v březnu roku 2010, je zobrazeno na obrázku 25 (snímek pořízen dne 25. 3. 2010). Toto zařízení vycházelo z první pokusné verze zkonstruované v roce 2006 bez vyhřívané optiky a s fotoaparátem nižší kvality.

Obr. 25 – Původní konstrukce vyhřívané optiky



3.2.1 Železné rameno a držák fotoaparátu

Zařízení bylo uchyceno pomocí železného ramena k betonovému podstavci požárního hlásiče na střeše budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze. Na konci železného ramena byl otvor pro nasazení železného podstavce sloužícího k uchycení spodního krytu zrcadlové polokoule (obr. 26).

Obr. 26 – Betonový podstavec



Fotoaparát pro snímání byl umístěn v nerezovém pouzdře (obr. 27), které mělo tvar kvádru s jednou otevřenou stranou a bylo přichyceno pomocí ramena k železnému podstavci zrcadlové polokoule. Pouzdro mělo za úkol chránit fotoaparát před nepříznivými povětrnostními vlivy, jako jsou vítr a déšť.

Obr. 27 – Nerezové pouzdro fotoaparátu



3.2.2 Zrcadlová polokoule a vyhřívání

Původní skelet polokoule, vyrobený z tenkého plastu o tloušťce přibližně 2 mm, který je velmi měkký, byl vyztužen pomocí montážní pěny nanesené na jeho povrch (obr. 28).

Obr. 28 – Vyplnění vnitřku polokoule montážní pěnou



Vyhřívání polokoule bylo řešeno pomocí odporového drátu s odporem 178,5 Ω , který byl pomocí silikonové hmoty o teplotní odolnosti až 200°C připevněn k montážní pěně nanesené na vnitřním povrchu polokoule (obr. 29). Odporový drát byl vyveden mimo zrcadlo pomocí dvou zaizolovaných drátů o průměru 1,5 mm.

Obr. 29 – Přilepení odporového drátu pomocí silikonové hmoty



Vzhledem k tomu, že zařízení bylo v provozu během celého roku, kdy se venkovní teploty v našich klimatických podmínkách běžně pohybují od - 20°C do + 30°C, bylo nutné teplotu uvnitř polokoule měřit a regulovat. Z toho důvodu byly uvnitř polokoule, přibližně v dolní třetině zrcadla, nainstalovány dva termistory pro měření teploty (obr. 30).

Obr. 30 – Čidlo pro měření teploty uvnitř zrcadla



Po instalaci odporového drátu a termistorů byl vnitřek polokoule postupně po jednotlivých vrstvách vyplněn montážní pěnou, která se nechala vždy důkladně vytvrdnout (obr. 31). Následně byla k polokouli připevněna kruhová pertinaxová deska pomocí deseti šroubů s maticemi a pružnými podložkami umístěných po obvodu. V desce byl provrtán otvor pro vyvedení drátů ven z polokoule. Deska s polokoulí byla připevněna pomocí čtyř šroubů k železnému podstavci a obvod polokoule byl natřen černou barvou, aby se zabránilo přebytečným odrazům slunečních paprsků.

Obr. 31 – Plně vyplněný vnitřek zrcadla



Ovládání vyhřívání polokoule bylo řešeno pomocí elektronické stavebnice MK138 od firmy Velleman Components Inc., která v pravidelných intervalech měřila teplotu uvnitř polokoule a nedosahovala-li teplota uvnitř polokoule 20°C, zajišťovala její vyhřívání na požadovanou teplotu pomocí odporového drátu. Teplota 20°C měla být dostačující pro pozvolné odpařování vody ulpívající na polokouli za deště a pro odtávání sněhu v zimě. Vyhřívání bylo napájeno ze zabezpečeného zdroje 24 V.

3.2.3 Digitální fotoaparát a záznam získaných dat

Pro záznam snímků byla zvolena DSLR zrcadlovka Canon EOS 350D s objektivem Canon EF-S 18 – 55 mm f/3,5-5,6 IS, kterou lze externě napájet a dálkově ovládat pomocí USB kabelu. Fotoaparát má CMOS snímač o velikosti APS-C (22,2 x 14,8 mm) s efektivním rozlišením 8 Mpx a umí pořizovat snímky do formátu JPEG a RAW (obr. 32). [1]

Obr. 32 – DSLR zrcadlovka Canon EOS 350D



Pro ovládání fotoaparátu byl zvolen program DSLR Remote Pro od firmy Breeze Systems Ltd. Získávaná data byla v pravidelných šestiminutových intervalech automaticky přenášena z fotoaparátu pomocí USB kabelu a nahrávána na pevný disk počítače. Fotoaparát pořídil za 24 hodin 240 snímků ve formátu RAW a JPEG o celkové velikosti přibližně 2,4 GB [24].

3.2.4 Analýza a rozbor důsledků původní konstrukce

Cílem analýzy a rozboru důsledků původní konstrukce je získání přehledu o vlastnostech a chování zkonstruovaného zařízení při jeho provozu. Získané poznatky budou použity pro realizaci a vylepšení nové konstrukce vyhrávané optiky.

Železné rameno a držák fotoaparátu

Z pořízených snímků bylo zjištěno, že při nízké nebo nulové intenzitě slunečního světla (v noci nebo při zatažené obloze), docházelo k rozmazávání snímků. Pouzdro s fotoaparátem bylo umístěno na konci železného ramena o délce jednoho metru, které bylo přimontováno k podstavci zrcadlové polokoule. Snímky se rozmazávaly vlivem větru, při kterém docházelo k průhybu ramena a tím k chvění pouzdra s fotoaparátem.

Zrcadlová polokoule a vyhřívání

V srpnu roku 2010 se na polokouli začali objevovat první drobné známky poškození zrcadlové vrstvy. Poškozená plocha se postupně zvětšovala a koncem září byla již značně viditelná (obr. 33). Vzhledem k tomu, že byla nad a v úrovni horizontu, bránila správné funkci zrcadla. V prosinci již byla poškozena přibližně čtvrtina celkové plochy a zrcadlo tak bylo prakticky nepoužitelné (obr. 33). Pořizování snímku bylo zastaveno 24. 2. 2011 a celé zařízení bylo vypnuto.

Obr. 33 – Snímek polokoule ze září a prosince roku 2010



Září 2010



Prosinec 2010

Na obrázku 34 je zobrazena zrcadlová polokoule před demontáží dne 12. 8. 2011. Jak je na první pohled vidět, zrcadlová vrstva je zcela zničená, místy úplně odlepená od plastové polokoule a připečena k montážní pěně. K poškození zrcadlové vrstvy tedy docházelo samovolně, i když bylo vyhřívání vypnuto.

Obr. 34 – Snímek polokoule před demontáží dne 12. 8. 2011



Po demontáži byla ze zrcadlové polokoule odmontována pertinaxová deska a vyndána polokoule z montážní pěny (obr. 35), která byla detailně prozkoumána. Bylo zjištěno, že montážní pěna nanesená přímo na vnitřní část zrcadlové polokoule narušuje tenkou hliníkovou vrstvu, která tvoří odrazovou plochu zrcadla a vlivem působení tepla se odlupuje ze skeletu polokoule a vytváří tak slepá místa na zrcadle.

Obr. 35 – Polokoule z montážní pěny



K poškozování zrcadlové vrstvy docházelo také v důsledku přehřívání zrcadlové polokoule v letních měsících, způsobené nesprávnou funkcí elektronické stavebnice MK138, která sloužila k ovládání vyhřívání. Ovládání také nedostatečně regulovalo teplotu v zimních měsících, kdy docházelo k pokrývání zrcadla vrstvou ledu.

3.3 Realizace nové konstrukce vyhřívané optiky

Při realizaci nové konstrukce vyhřívané optiky, se vycházelo ze zařízení, které bylo zkonstruováno v roce 2010. Vzhledem k nedostatkům v původní verzi zařízení, bylo přistoupeno k sérii vylepšení, které tyto nedostatky odstraňují.

Použitá zařízení a součástky:

- zrcadlová polokoule o průměru 600 mm
- termostat Auraton TH-2 s externím čidlem
- topný kabel Deviflex DTIP 10 – 6 m / 60 W
- USB teploměr TEMPer2 s externím čidlem
- digitální fotoaparát Canon EOS 350D s externím napájením
- montážní pěna
- lepidlo na polystyren a polyuretan
- nerezový držák fotoaparátu
- železná konstrukce pro uchycení polokoule k betonovému podstavci
- další různé kabely a drobné součástky.

3.3.1 Zrcadlová polokoule

Zrcadlová polokoule o průměru 600 mm (typ 600/360°) od firmy Megaplast Kladno s.r.o., která je z materiálu PLEXIGLASS XT vyráběného firmou Rhöm GmbH, se osvědčila jako vhodná a cenově dostupná odrazová plocha pro fotoaparát (obr. 36). Cena polokoule je 1 680,- Kč s DPH. Vzhledem k tomu, že je polokoule vyráběna s přesným poloměrem zakřivení kontrolovaným laserovými optickými čidly, nedochází na okraji polokoule ke zkreslení a je tak umožněn přesný odhad vzdálenosti pozorovaného předmětu. Zrcadlová vrstva se nanáší na vnitřní povrch polokoule

a je vyráběna pomocí odpařování hliníku na technologicky složitém zařízení. Oproti vrstvám vyrobených odpařováním stříbra tato zrcadlová vrstva nereaguje se vzduchem, nečerná a neodlepuje se. Pomocí této technologie lze zajistit vysoký koeficient odrazu a dobrou adhezi. Hlavní nevýhodou této zrcadlové plastové polokoule je její vnější povrch, který se vlivem působení nepříznivých povětrnostních vlivů snadno poškrábe a dochází tak ke snížení kvality pořízených snímků. Nejvyšší odolnost proti nepříznivým povětrnostním vlivům by zajistila polokoule vyrobená ze skla, její výroba by však byla velmi obtížná a finančně nákladná.

Obr. 36 – Zrcadlová polokoule, vnější pohled



Vnitřní povrch polokoule

Vnitřní zrcadlová vrstva je velmi tenká a může se snadno poškodit, je z výroby pokryta vrstvou vodou ředitelné šedivé barvy, která díky svému složení nenarušuje zrcadlovou vrstvu (obr. 37). Vzhledem k tomu, že je polokoule vystavena extrémním podmínkám, je nutné vnitřní vrstvu barvy ještě více zesílit, aby se zabránilo případnému odlupování zrcadlové vrstvy při průhybu polokoule a vnitřní povrch se celkově zpevnil. Vnitřní povrch polokoule byl postupně natřen osmi vrstvami vodou ředitelné bílé barvy a každá vrstva se nechala minimálně 12 hodin zasychat.

Obr. 37 – Zrcadlová polokoule, vnitřní pohled



3.3.2 Výroba polokoule z montážní pěny

Polokoule z montážní pěny slouží k uchycení topného kabelu. Byla vyrobena pomocí zrcadlové polokoule, která sloužila jako forma, do které se nanášela montážní pěna. Nejprve byl vnitřní prostor zrcadlové polokoule pokryt několika vrstvami tenkého igelitu, s cílem zabránit poškození a znečištění zrcadlové polokoule. Následně se postupně od středu ke kraji spirálovitě nanášela základní vrstva montážní pěny, která se nechala 24 hodin vytvrdit (obr. 38).

Obr. 38 – Základní vrstva montážní pěny



Po vytvrdnutí základní vrstvy se vnitřek nově vzniklé polokoule z montážní pěny postupně úplně vyplnil a polokoule se nechala tři dny vytvrdnout. Následně byla vyndána z formy, byl z ní odstraněn ochranný igelit a nechala se vytvrdit další tři dny. Spodní část polokoule byla seříznuta do roviny a získal se tak výsledný výrobek, který je zobrazen na obrázku 39 a 40.

Obr. 39 – Polokoule z montážní pěny, pohled shora



Obr. 40 – Polokoule z montážní pěny, pohled ze spodní části



3.3.3 Instalace topného kabelu a čidel

Polokoule z montážní pěny byla přilepena k pertinaxové desce, která zajišťuje uchycení zrcadlové polokoule k železnému ramenu. Po obvodu polokoule bylo vyřezáno pět kruhovitých drážek pro umístění topného kabelu a prostupy mezi jednotlivými drážkami (obr. 41). Drážky byly vyřezány pomocí nože s odlamovací čepelí, který dobře proniká do materiálu a snadno jej řeže. Celková délka drážek pro kabel je 5,82 m a byla zjištěna pomocí provázku, který byl do nich spirálovitě navinut.

Obr. 41 – Polokoule z montážní pěny s vyřezanými drážkami



Do drážek byl umístěn topný kabel Deviflex DTIP 10 o délce 6 metrů a výkonu 60 Wattů. Dvoužilový topný kabel má třídu krytí IP 67, ochranné stínění, jeden studený přívod a je napájen jmenovitým napětím 230 V. Průměr kabelu je 7 mm a měrný topný výkon je 10 W na metr. Dále byl v pertinaxové desce provrtán otvor, kterým byl protažen konec topného kabelu (obr. 42).

Obr. 42 – Topný kabel vložený do vyřezaných drážek



Kabel byl upevněn k polokouli pomocí speciálního lepidla na polystyren a polyuretan. Poblíž středu pertinaxové desky byla vyvrtána díra končící na vrcholu polokoule z montážní pěny, kterou byla protažena plastová trubička určená pro uložení kabelů čidel teploty (obr. 43). Čidla byly umístěny do vrcholu kruhové výseče zrcadlové polokoule, těsně pod povrchovou vrstvou (obr. 44). Zrcadlová polokoule je přimontována k pertinaxové desce pomocí deseti šroubů s maticemi a pružnými podložkami umístěnými po obvodu. Obvod polokoule je přetřen černou barvou, aby se zabránilo přebytečným odrazům slunečních paprsků.

Obr. 43 – Polokoule z montážní pěny s topným kabelem



Obr. 44 – Detail umístění čidel teploty



3.3.4 Železné rameno a držák fotoaparátu

Pro uchycení zařízení je použito železné rameno, které je přimontováno k betonovému podstavci požárního hlásiče na střeše budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze. Na konci železného ramena je otvor, který slouží k přimontování spodního krytu zrcadlové polokoule. Deska s polokoulí je připevněna pomocí čtyř šroubů k železnému podstavci.

Fotoaparát pro snímání je umístěn v nerezovém pouzdře, které má tvar kvádrů a je přimontováno pomocí ramena k železnému podstavci zrcadlové polokoule. Pouzdro je přestříkáno černou barvou, aby se zabránilo přebytečným odrazům slunečních paprsků. Z boční strany pouzdra, je vyvrtán otvor, který slouží k protažení USB kabelu a napájení fotoaparátu. Kabel pak dále pokračuje vnitřní částí železného ramena do dolní části polokoule.

Pro zvýšení pevnosti konstrukce a pro snížení chvění nerezového pouzdra s fotoaparátem, byla nainstalována železná rozpěrná tyč o délce 146 cm, která je jedním koncem přišroubována k železnému rameni pro uchycení fotoaparátu a druhým k železnému podstavci pyranometru (obr. 45).

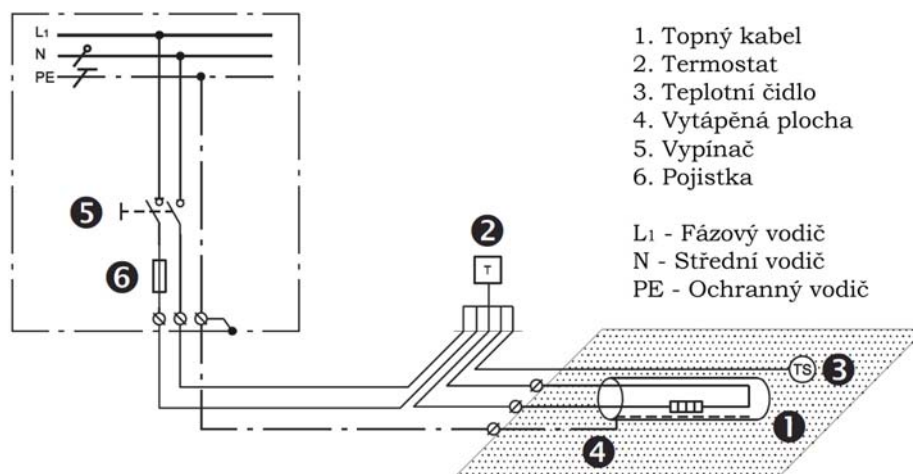
Obr. 45 – Konstrukce s rozpěrnou tyčí a pyranometrem



3.3.5 Ovládání vyhřívání polokoule

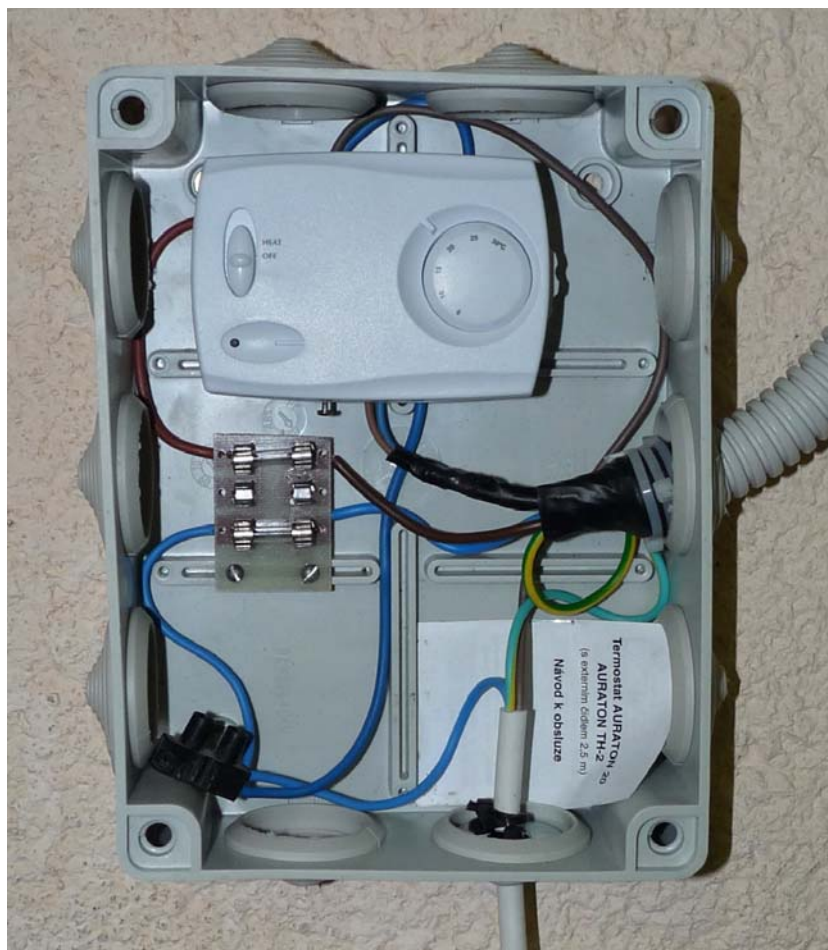
Ovládání topného kabelu určeného pro vyhřívání polokoule je řešeno pomocí termostatu Auraton TH-2. Tento uživatelsky jednoduše obsluhovaný termostat umožňuje automatické zapnutí nebo vypnutí topného systému podle předem nastavené teploty. Má malé rozměry (91 x 62 mm), LED indikaci pracovních režimů a elektronické snímání teploty, které umožňuje kvalitní regulaci topného systému. Prodloužené čidlo umožňuje snímání teploty uvnitř polokoule a její regulaci. Rozsah řízení teploty termostatem je od 5 do 30°C s přesností měření 0,5°C a je navrhnuto pro spínání 230 V/7 A. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 46.

Obr. 46 – Schéma zapojení termostatu a topného kabelu



Ovládání vyhřívání polokoule je nainstalováno do plastového rozvaděče, který je umístěn v technické místnosti v sedmém patře budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze (obr. 47). Ochrana elektrického zařízení proti přetížení nebo zkratu je provedena pomocí dvou skleněných pojistek 5 x 20 mm, 2 A.

Obr. 47 – Detail plastového rozvaděče

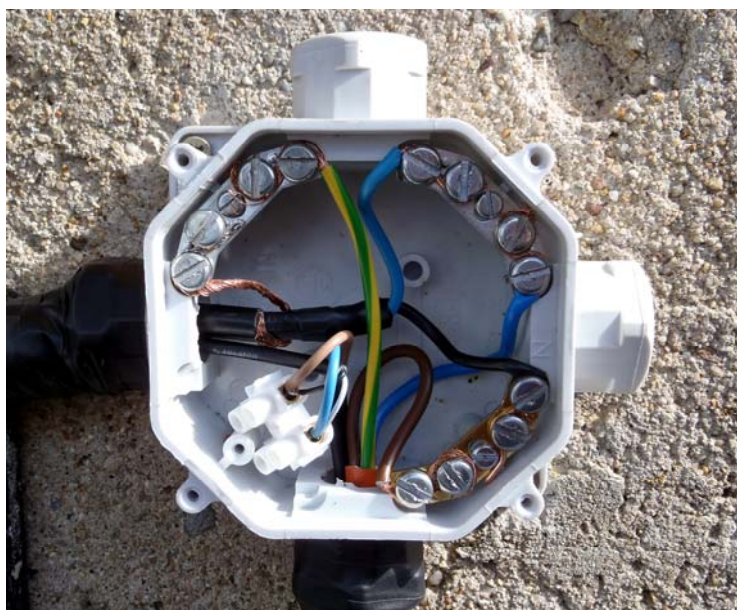


Pomocí elektroinstalačního kabelu H05VV-F 3 x 1,5 mm o délce 5 m, který je umístěn v plastové chráničce, je zajištěno propojení elektroinstalační krabice s věnečkem umístěné na střeše a plastového rozvaděče s ovládáním (obr. 48). Do elektroinstalační krabice je přiveden napájecí kabel topného kabelu (obr. 49). Stejným způsobem a pomocí kabelu H03VVH2-F 2 x 0,75 je zajištěno připojení měřicího čidla k termostatu Auraton TH-2. Polokoule je vyhřívána na teplotu 25°C, která je dostatečná pro pozvolné odpařování vody ulpívající na polokouli za deště nebo pro odtávání sněhu a námrazy v zimě.

Obr. 48 – Zapojení systému vyhřívání na střeše budovy



Obr. 49 – Detail elektroinstalační krabice



3.3.6 Měření teploty uvnitř polokoule

Měření teploty uvnitř polokoule je prováděno prostřednictvím dvou zařízení. První zařízení pro měření teploty je digitální teploměr s externím čidlem na kabelu, které je umístěno do vrcholu kruhové výseče zrcadlové polokoule, těsně pod povrchovou vrstvou. Digitální teploměr je umístěn

na mřížce větrání u poklopu pro vstup na střechu budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze (obr. 50). Digitální teploměr je určen pro zobrazování aktuální teploty uvnitř zrcadlové polokoule a okolní teploty.

Obr. 50 – Digitální teploměr



Druhým zařízením je USB teploměr TEMPer2 s externím čidlem od firmy RDing Technology Co., Ltd., který má rozsah měřících teplot od -40°C do $+120^{\circ}\text{C}$ a rozlišovací schopnost $0,06^{\circ}\text{C}$. USB teploměr je umístěn na železném rameni pod pertinaxovou deskou a pomocí USB kabelu je připojen k počítači (obr. 51). Externí čidlo je umístěno do vrcholu kruhové výseče zrcadlové polokoule, těsně pod povrchovou vrstvou. USB teploměr je určen pro měření teploty uvnitř zrcadlové polokoule a okolní venkovní teploty. Naměřená data jsou zaznamenávána do počítače s možností posílat naměřená data na email a vyhodnocovat průběh teplot graficky pomocí přiloženého programu.

Obr. 51 – Umístění USB teploměru na železném rameni



3.3.7 Záznam informací

Informace ze zařízení jsou přenášeny do počítače, který je umístěn v technické místnosti v sedmém patře budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze. Počítač má procesor Intel Pentium 4 o frekvenci 2,8 GHz, 1024 MB paměti RAM, interní pevný disk s kapacitou 300 GB. Vzhledem k tomu, že zařízení zaznamená za jeden měsíc přibližně 75 GB dat, jsou k počítači externě připojeny další dva pevné disky s kapacitou 1 000 GB a 750 GB, které slouží pro jejich zálohu. Komunikace je zajišťována pomocí síťového rozhraní LAN o rychlosti 100 Mbit/s s připojením do akademické sítě a Internetu. Před výpadky elektrické energie je počítač chráněn pomocí záložního zdroje APC Back-UPS ES 350.

Ke snímání dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry je použita DSLR zrcadlovka Canon EOS 350D s nasazeným objektivem Canon EF-S 18 – 55mm f/3,5–5,6 IS, kterou lze externě napájet a dálkově ovládat pomocí USB kabelu. Fotoaparát má CMOS snímač o velikosti APS-C (22,2 x 14,8 mm) s efektivním rozlišením 8 Mpx a umí pořizovat snímky do formátu JPEG a RAW.

Fotoaparát je ovládán pomocí program DSLR Remote Pro od firmy Breeze Systems Ltd., který komunikuje po USB kabelu s fotoaparátem a v šesti minutových intervalech snímá nebeskou polosféru. Pořízené snímky jsou ukládány ve formátu RAW a JPEG na pevný disk počítače. Fotoaparát pořídí za 24 hodin 240 snímků o celkové velikosti přibližně 2,4 GB.

Záznam teploty uvnitř zrcadlové polokoule a okolní venkovní teploty je prováděn pomocí USB teploměru, který je ovládán programem TEMPer2 V23.3. Program zaznamenává obě dvě teploty každých šest minut a data ukládá na pevný disk počítače.

Na počítači je dále nainstalovaný program TeamViewer, který umožňuje vzdálené ovládání počítače z jakéhokoli místa na světě, FTP server pro stahování pořízených snímků prostřednictvím počítačové sítě a program Integrator 3.1.0.0, který slouží k záznamu dat pořízených pyranometrem nainstalovaným na střeše budovy rektorátu.

3.3.8 Pořizovací náklady

Přehled pořizovacích nákladů s DPH na konstrukci nové verze vyhřívané optiky jsou zobrazeny v tabulce 1. Jedná se hlavně o náklady na materiál a nově použité součástky. Vzhledem k tomu, že některé součástky a zařízení byly použity z původní konstrukce, nejsou tyto náklady celkové a nejsou v nich také započítány náklady na práci a dopravu.

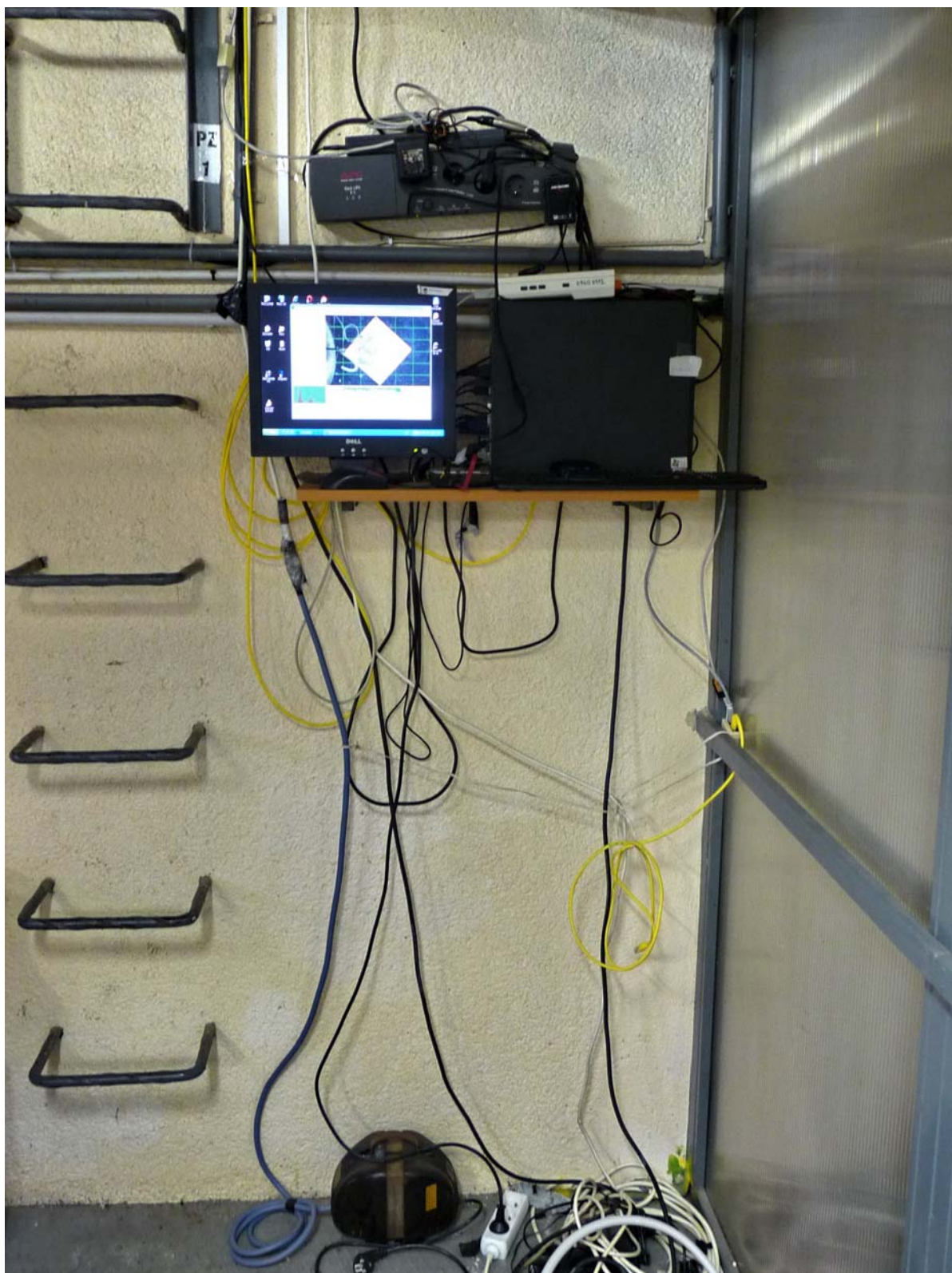
Tab. 1 – Náklady na konstrukci nové verze vyhřívané optiky

Popis	Cena
Zrcadlová polokoule o průměr 600mm	1 680 Kč
Topný kabel Deviflex DTIP 10 - 6m / 60 W	1 154 Kč
Termostat Auraton TH-2 + čidlo	441 Kč
USB teploměr TEMPer2 s externím čidlem	266 Kč
Montážní pěna	198 Kč
Profilová ocel průřezu L 25x25x3	53 Kč
Kabel USB 2.0	53 Kč
Lepidlo na polystyren a polyuretan	58 Kč
Digitální teploměr	60 Kč
Instalační krabice	159 Kč
Chranička kabelu	39 Kč
Kabely	160 Kč
Šrouby, matice, podložky	25 Kč
Ostatní	450 Kč
Celkem	4 796 Kč

3.4 Technické zázemí

Na obrázku 52 je zobrazeno umístění počítače a ovládání vyhřívání zrcadlové polokoule v technické místnosti v sedmém patře budovy rektorátu České zemědělské univerzity v Praze před rekonstrukcí a na obrázku 53 je zobrazen současný stav.

Obr. 52 – Technické zázemí před rekonstrukcí



Obr. 53 – Technické zázemí po rekonstrukci



4 ANALÝZA SOUČASNÉHO PROVOZU

Nová konstrukce vyhřívané optiky byla nainstalována 13. 10. 2011 a vychází ze zařízení, které bylo zkonstruováno v roce 2010 v rámci bakalářské práce na téma Snímání směrového rozložení barevnosti. Zařízení snímá v šesti minutových intervalech prostorové rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry a pořízená data ukládá na pevný disk počítače. Na obrázku 54 je nová konstrukce vyhřívané optiky.

Obr. 54 – Nová konstrukce vyhřívané optiky



4.1 Zkušenosti s provozem

U předchozí konstrukce zařízení docházelo vlivem větru k průhybu ramena a chvění pouzdra s fotoaparátem, což mělo za následek rozmazávání snímků. Pro zvýšení pevnosti konstrukce byla nainstalována železná rozpěrná tyč, která tato chvění pouzdra podstatně minimalizovala a snímky jsou nyní ostré i při nízké intenzitě slunečního světla. Při nulové intenzitě slunečního světla (v noci) přesto dochází při silném větru k mírnému rozmazávání snímků, kterému lze ovšem obtížně zabránit, vzhledem k expozičnímu času fotoaparátu (až 30 sekund) a provedením konstrukce zařízení.

Vyhřívání zrcadlové polokoule pomocí odporového drátu, které se u předchozí konstrukce neosvědčilo, jelikož docházelo k poškození zrcadlové vrstvy, bylo nahrazeno topným kabelem, který se běžně používá pro podlahové vytápění. Toto řešení se osvědčilo, vzhledem k tomu, že nyní k poškození zrcadlové vrstvy nedochází, zrcadlová polokoule je celkově lépe vytápěna a dochází k odpařování vody ulpívající na polokouli (příloha 3).

Problémy s vyhříváním polokoule způsobené nesprávnou funkcí elektronické stavebnice MK138, která špatně regulovala teplotu a docházelo tak ke srážení vody, hromadění sněhu a vzniku námrazy na jejím povrchu, byly úspěšně vyřešeny pomocí termostatu Auraton TH-2 s externím čidlem, který se také běžně používá pro podlahové vytápění.

Bylo zjištěno, že skelet polokoule je dostatečně pevný a může být tedy použit i bez zpevnění pomocí montážní pěny nebo jiného materiálu, tak jak tomu bylo u předchozí konstrukce. Na obrázku 55 je zobrazen skelet polokoule.

Obr. 55 – Skelet polokoule



Pro snímání dopadajícího rozptýleného světla je použita DSLR zrcadlovka Canon EOS 350D s efektivním rozlišením 8 Mpx, což odpovídá rozměrům snímku 3456 x 2304 pixelů a 12-bit zpracováním obrazu. Po oříznutí snímku, se toto rozlišení sníží na 5,3 Mpx (2304 x 2304 pixelů) a při vynechání nepoužitelných částí až na 4,17 Mpx. Vzhledem k rozměrům plochy zrcadlové polokoule a velikosti snímaného poloprostoru je toto rozlišení nedostatečné pro kvalitní a detailní snímky. Řešením by bylo použít

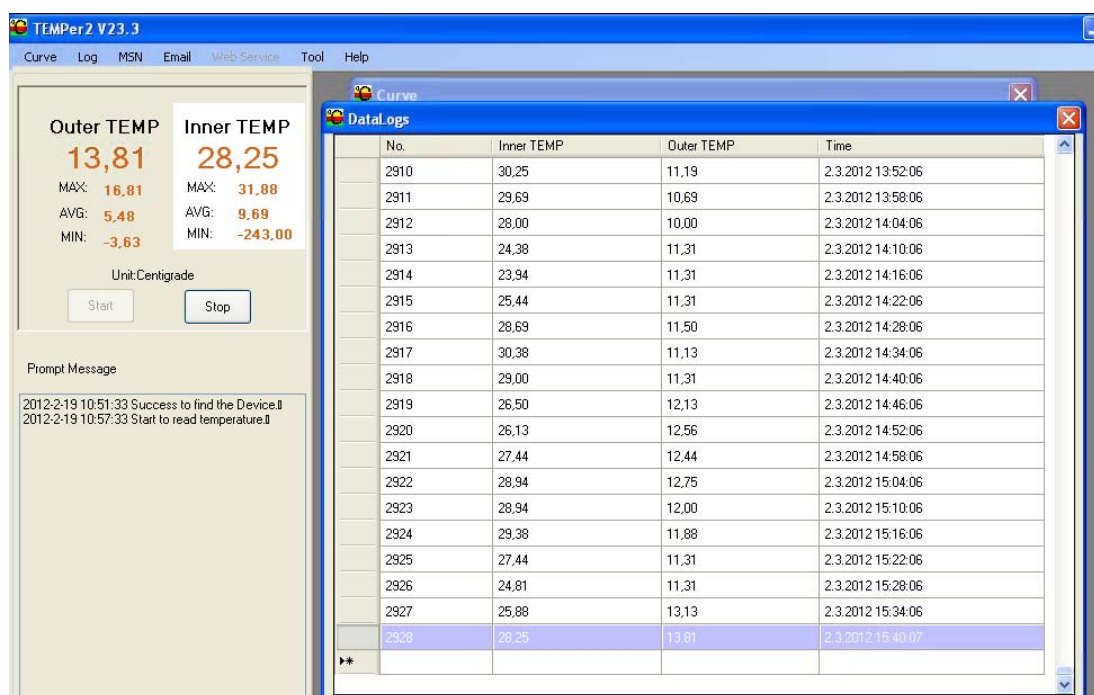
fotoaparát s vyšším rozlišením, například Canon EOS 600D s efektivním rozlišením 18 Mpx a 14-bit zpracováním obrazu, který by po oříznutí a vynechání nepoužitelných částí poskytoval snímky s rozlišením 9,4 Mpx.

4.2 Účinnost vyhřívání polokoule

Účinnost vyhřívání polokoule je měřena pomocí dvou zařízení. První z nich je digitální teploměr a zobrazuje aktuální teplotu uvnitř polokoule na LCD displeji umístěném na mřížce větrání u poklopu pro vstup na střechu budovy rektorátu.

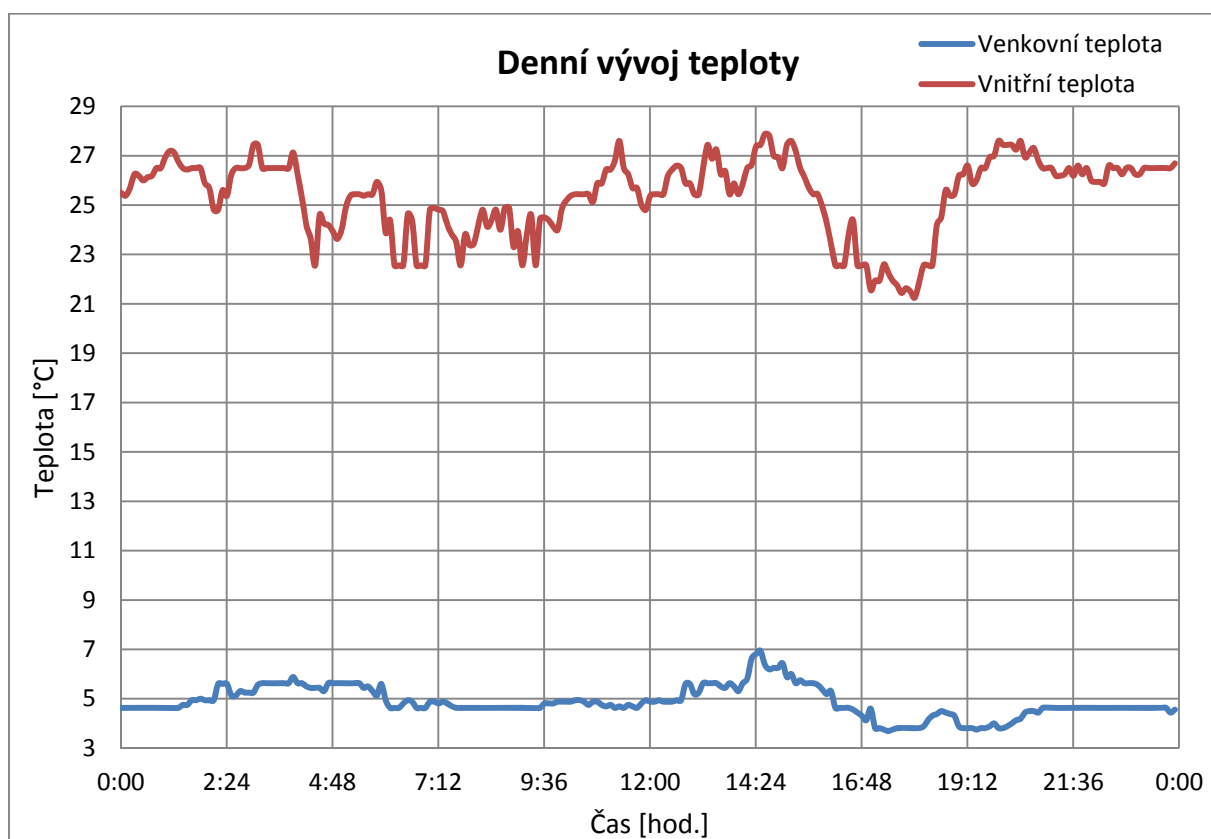
Druhým zařízením je USB teploměr, který je pomocí USB kabelu připojen k počítači a pomocí programu TEMPer2 v23.3 (obr. 56) zaznamenává každých šest minut aktuální teplotu na pevný disk. Naměřená data lze statisticky zpracovávat a získat tak dlouhodobý přehled o průběhu teploty uvnitř polokoule v závislosti na teplotě venkovní.

Obr. 56 – Program TEMPer2 v23.3

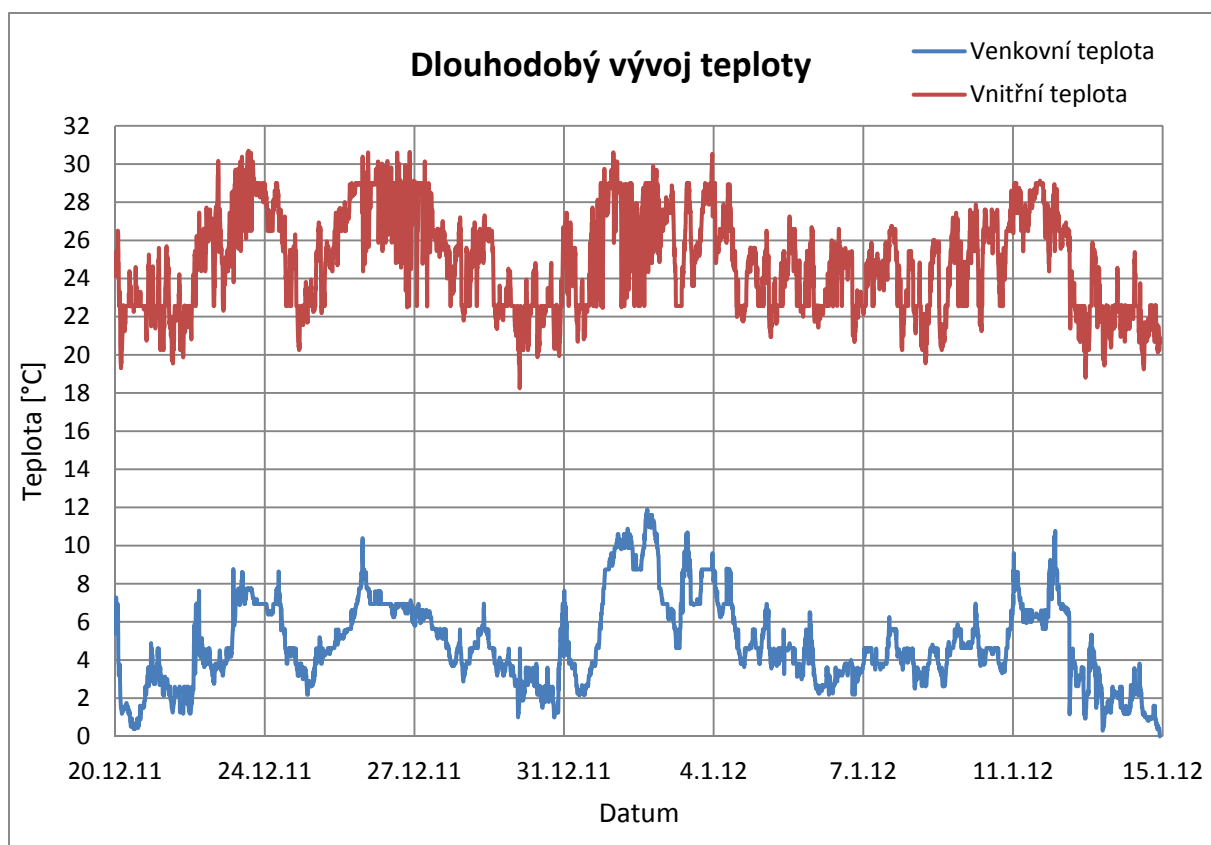


Vyhřívání polokoule je nastaveno na teplotu přibližně 25°C a jak je vidět v grafu 1, který zobrazuje průběh teploty uvnitř a vně polokoule dne 10. 1. 2012 (podrobné naměřené hodnoty jsou v příloze 6), je teplota uvnitř polokoule skutečně udržována okolo 25°C a vyhřívání funguje správně. V grafu 2 je zobrazen vývoj teploty od 20. 12. 2011 do 15. 1. 2012.

Graf 1 – Vývoj teploty dne 10. 1. 2012



Graf 2 – Vývoj teploty od 20. 12. 2011 do 15. 1. 2012



4.3 On-line prezentace dat na internetu

Snímky pořízené fotoaparátem jsou pomocí služby FTP automaticky stahovány na výpočetní server, který je zpracuje a odešle na webový server. Aktuální snímky jsou tak dostupné on-line na internetové adrese <http://nebe.jakubsvoboda.com> a galerie snímků je k dispozici na <http://kamery.hydronet.cz/suchdol/photo/gallery/>. Zařízení tedy slouží i jako webová kamera, pomocí které lze sledovat aktuální počasí v městské části Praha – Suchdol.

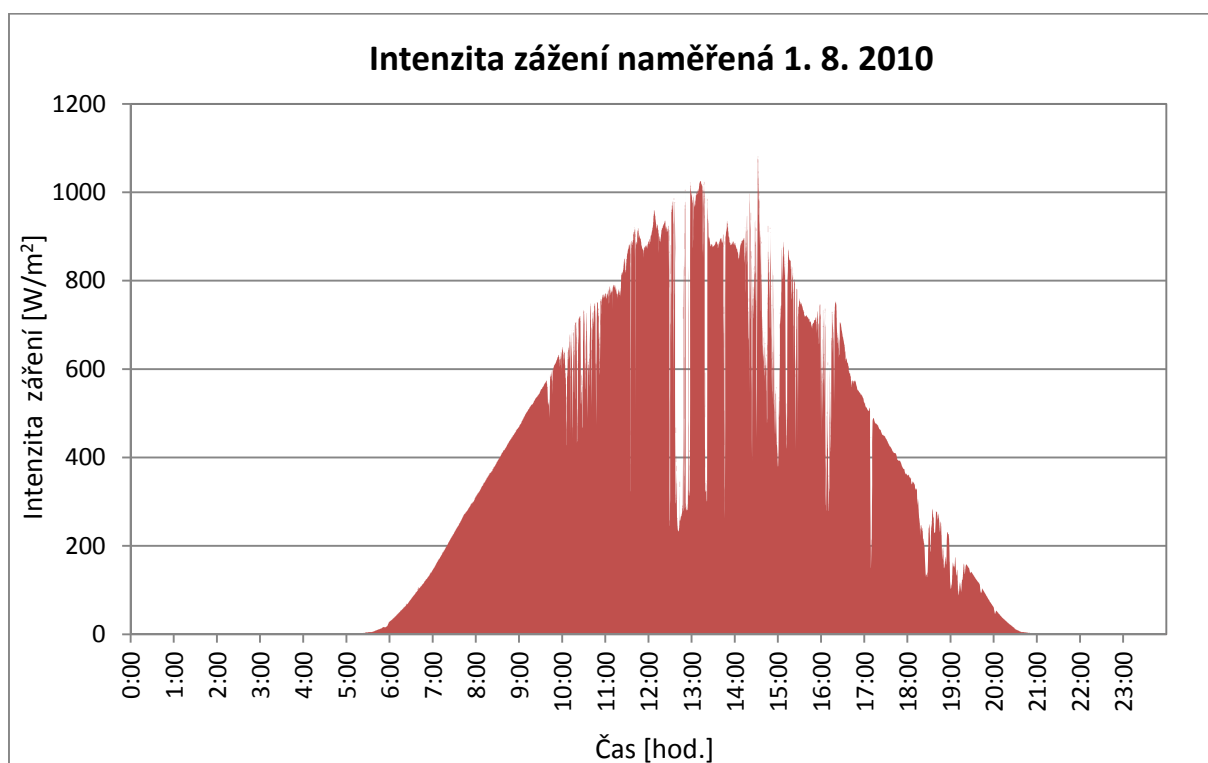
4.4 Monitoring slunečního záření pyranometrem

Pro možnost porovnání dat naměřených zařízením pro prostorové snímání rozložení barevnosti s kalibrovaným přístrojem, je současně prováděno měření pomocí Pyranometru CMP 11 od firmy Kipp & Zonen B. V. (obr. 57), který měří intenzitu slunečního záření ve Wattech dopadajících na metr čtvereční každé dvě sekundy. Pyranometr má spektrální rozsah 285 – 2800 nm, měřicí rozsah 0 – 4000 W/m² a citlivost 7 – 14 μV/W/m². Na grafu 3 je vidět naměřená intenzita slunečního záření a na obrázku 58 záběry pořízené fotoaparátem v létě. Na grafu 4 a obrázku 59 v zimě.

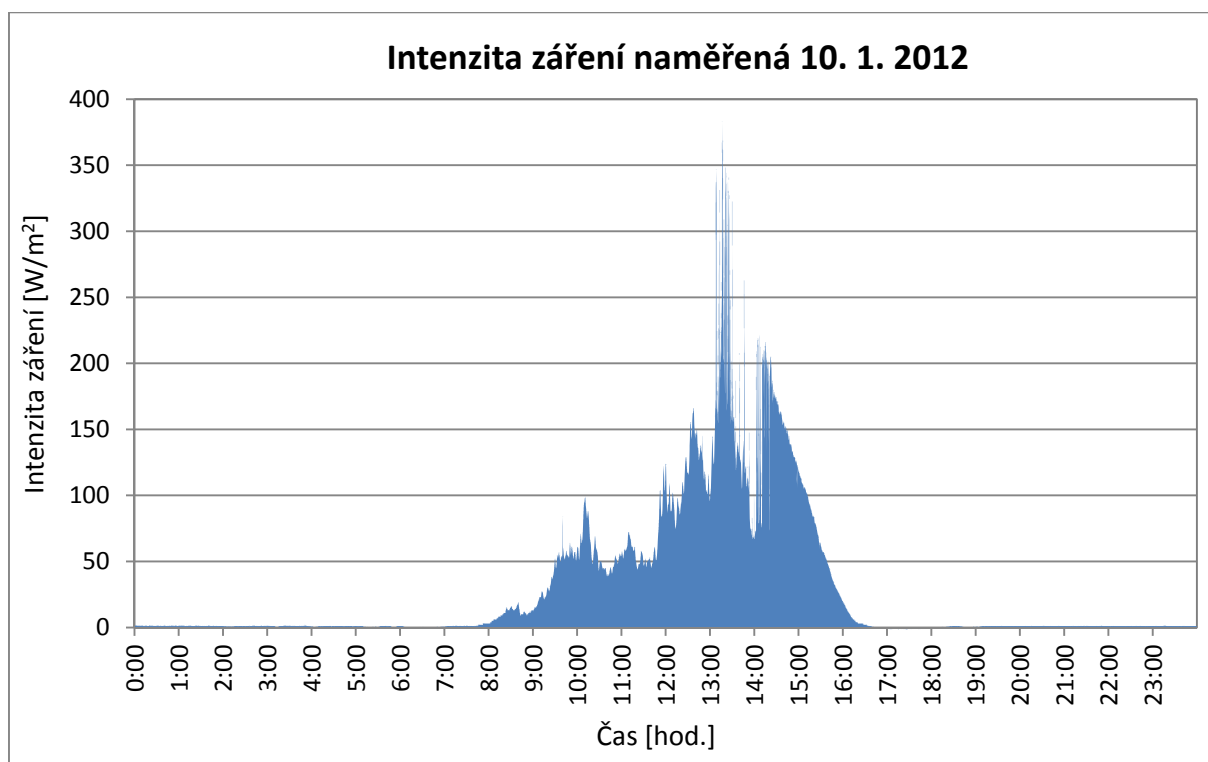
Obr. 57 – Pyranometr CMP 11 umístěný na střeše rektorátu ČZU



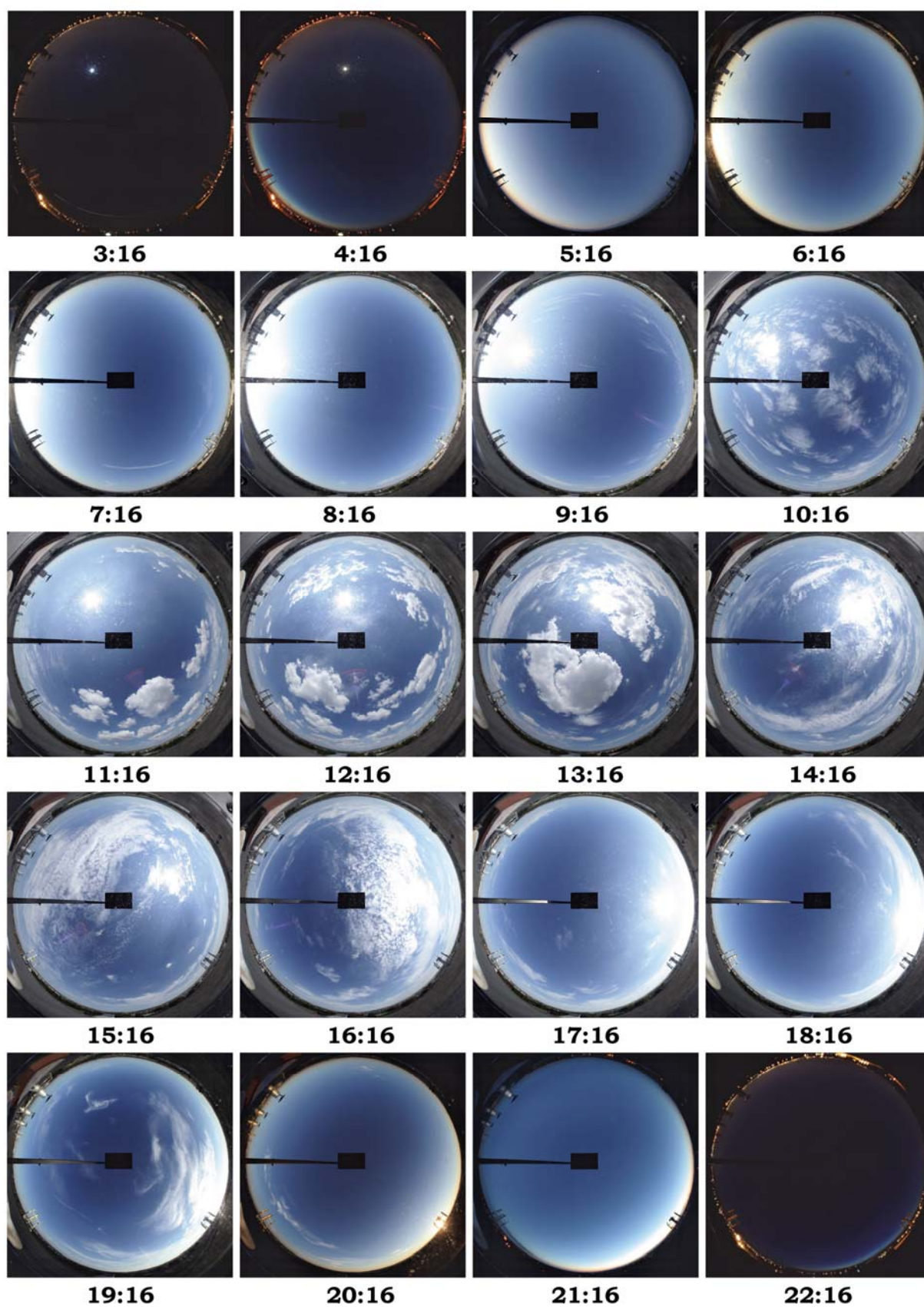
Graf 3 – Intenzita slunečního záření 1. 8. 2010



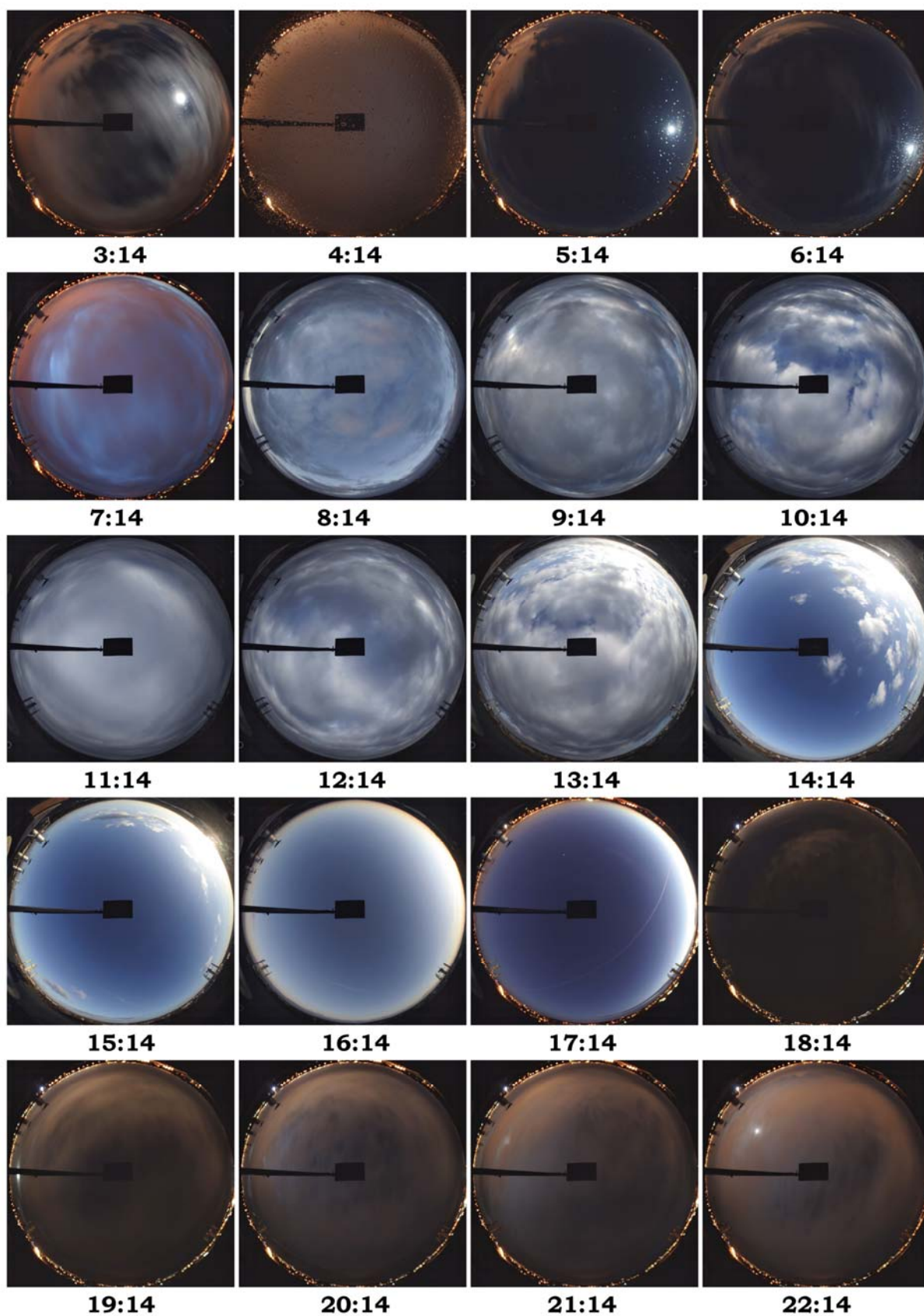
Graf 4 – Intenzita slunečního záření 10. 1. 2012



Obr. 58 – Záběry pořízené fotoaparátem 1. 8. 2010



Obr. 59 – Záběry pořízené fotoaparátem 10. 1. 2012



5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

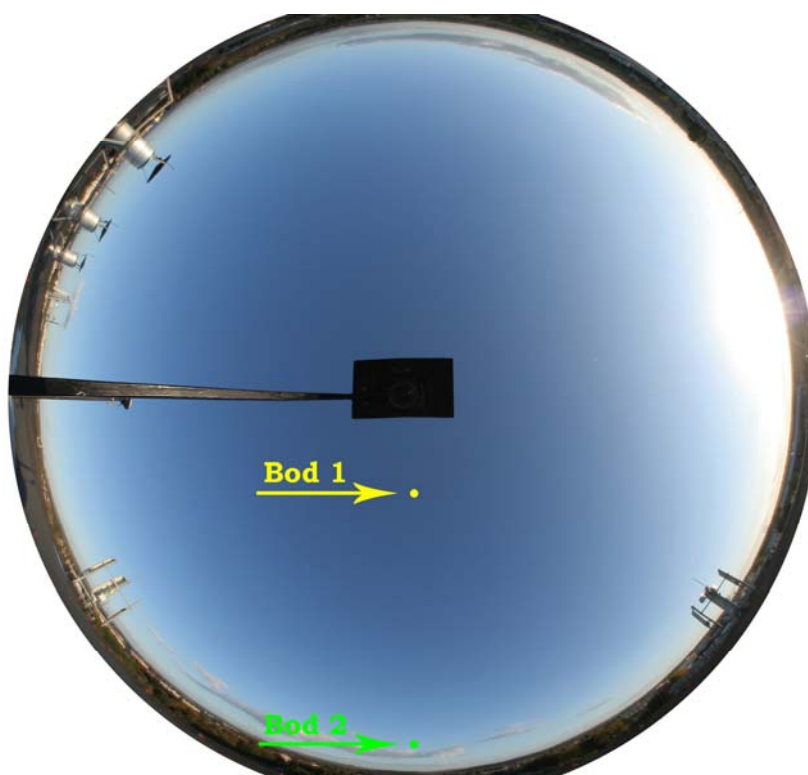
5.1 Zpracování naměřených dat

Výpočet prostorového rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry byl prováděn pomocí programu, jehož zdrojový kód vytvořil RNDr. Přemysl Jedlička Ph.D. z katedry matematiky Technické fakulty ČZU v Praze. Program, zjednodušeně řečeno, zjišťuje hodnoty červené, zelené a modré složky slunečního světla, které poté vynásobí expozičním časem a clonovým číslem použitým při záznamu daného snímku. Výpočet probíhal na počítači s operačním systémem Debian s jádrem Linux.

Vzhledem k tomu, že fotoaparát pořídí za 24 hodin 240 snímků, byl také stejný počet snímků použitý pro výpočet hodnot v rámci jednoho dne. Pro výpočet byly zvoleny snímky se slunečnou a zataženou oblohou v letních a zimních měsících.

Výpočet byl prováděn ve dvou bodech (obr. 60). Bod č. 1 je umístěn v oblasti zenitu a má souřadnice $x = 1728$ px, $y = 1440$ px. Bod č. 2 je umístěn v oblasti horizontu a má souřadnice $x = 1728$ px, $y = 2220$ px.

Obr. 60 – Umístění měřicích bodů



Horizont představuje optickou hraniční čáru mezi viditelným povrchem planety Země a oblohou. Zenit je průsečík kolmice na horizontální rovinu pozorovacího místa s nebeskou sférou.

Vypočtené hodnoty byly ukládány do textového dokumentu, který obsahuje název snímku, hodnotu červené, zelené a modré složky rozptýleného světla z nebeské polosféry, hodnotu červené, zelené a modré složky v barevném prostoru RGB, clonu a čas expozice snímku (viz tab. 2).

Tab. 2 – Ukázka vypočtených dat

Soubor	Červená	Zelená	Modrá	Červená (RGB)	Zelená (RGB)	Modrá (RGB)	Clona	Čas expozice
IMG_001.JPG	0,018	0,014	0,016	11	9	10	3.50	30 s
IMG_071.JPG	1,292	2,369	3,685	54	99	154	3.50	2 s
IMG_073.JPG	11,867	19,906	29,094	62	104	152	3.50	1/4 s
IMG_075.JPG	77,759	123,218	177,051	65	103	148	3.50	1/25 s
IMG_077.JPG	257,080	383,643	533,936	65	97	135	4.50	1/50 s
IMG_079.JPG	558,600	872,200	1 244,600	57	89	127	5.60	1/80 s
IMG_082.JPG	1 353,784	2 092,212	3 027,554	55	85	123	7.10	1/125 s
IMG_092.JPG	3 050,250	4 300,000	6 300,000	61	86	126	8.00	1/200 s
IMG_093.JPG	3 750,178	4 950,000	6 650,000	75	99	133	8.00	1/200 s
IMG_099.JPG	2 700,478	3 900,000	6 100,000	54	78	122	8.00	1/200 s
IMG_113.JPG	3 733,594	5 505,469	8 036,719	59	87	127	9.00	1/200 s
IMG_125.JPG	3 923,438	5 695,313	8 226,563	62	90	130	9.00	1/200 s
IMG_157.JPG	2 205,438	3 056,106	4 410,875	70	97	140	7.10	1/160 s
IMG_165.JPG	852,715	1 302,328	1 829,461	55	84	118	6.30	1/100 s
IMG_169.JPG	261,035	371,777	526,025	66	94	133	4.50	1/50 s
IMG_171.JPG	60,293	100,488	146,426	63	105	153	3.50	1/20 s
IMG_173.JPG	11,867	20,863	29,285	62	109	153	3.50	1/4 s
IMG_174.JPG	5,838	10,240	14,930	61	107	156	3.50	1/2 s
IMG_175.JPG	1,244	2,393	3,493	52	100	146	3.50	2 s
IMG_177.JPG	0,155	0,269	0,438	42	73	119	3.50	13 s
IMG_178.JPG	0,073	0,107	0,176	38	56	92	3.50	25 s

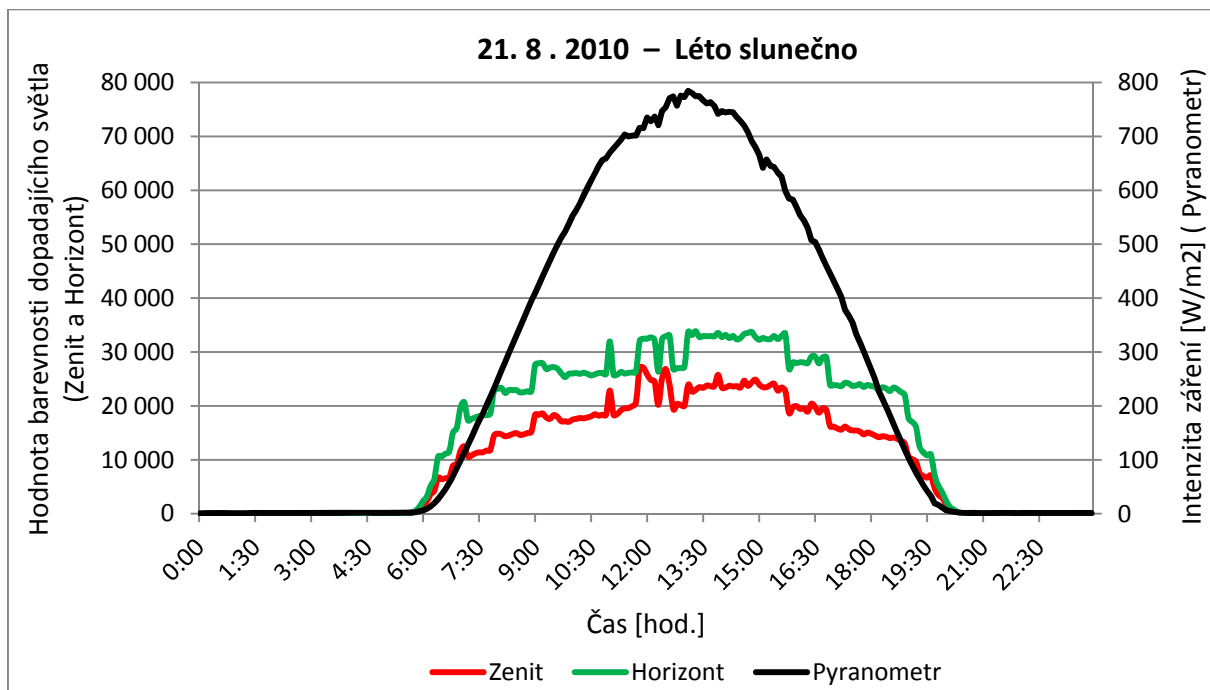
5.2 Prezentace získaných hodnot

Z vypočtených hodnot bylo v tabulkovém procesoru Excel 2010 od firmy Microsoft zpracováno celkem osm grafů. První čtyři grafy (tj. graf 5, graf 6, graf 7 a graf 8) byly vytvořeny pomocí spojnicového grafu. Na ose x byl vynesena čas v hodinách a na ose y součet hodnot červené, zelené a modré složky rozptýleného světla z nebeské polosféry pro zenit a horizont, společně s hodnotami intenzity slunečního záření pořízených pyranometrem ve W na m².

Druhé čtyři grafy (tj. graf 9, graf 10, graf 11 a graf 12) byly vytvořeny pomocí skládaného plošného grafu. Na ose x byl vynesena čas pořízení snímku v hodinách a na ose y součet hodnot červené, zelené a modré složky rozptýleného světla z nebeské polosféry.

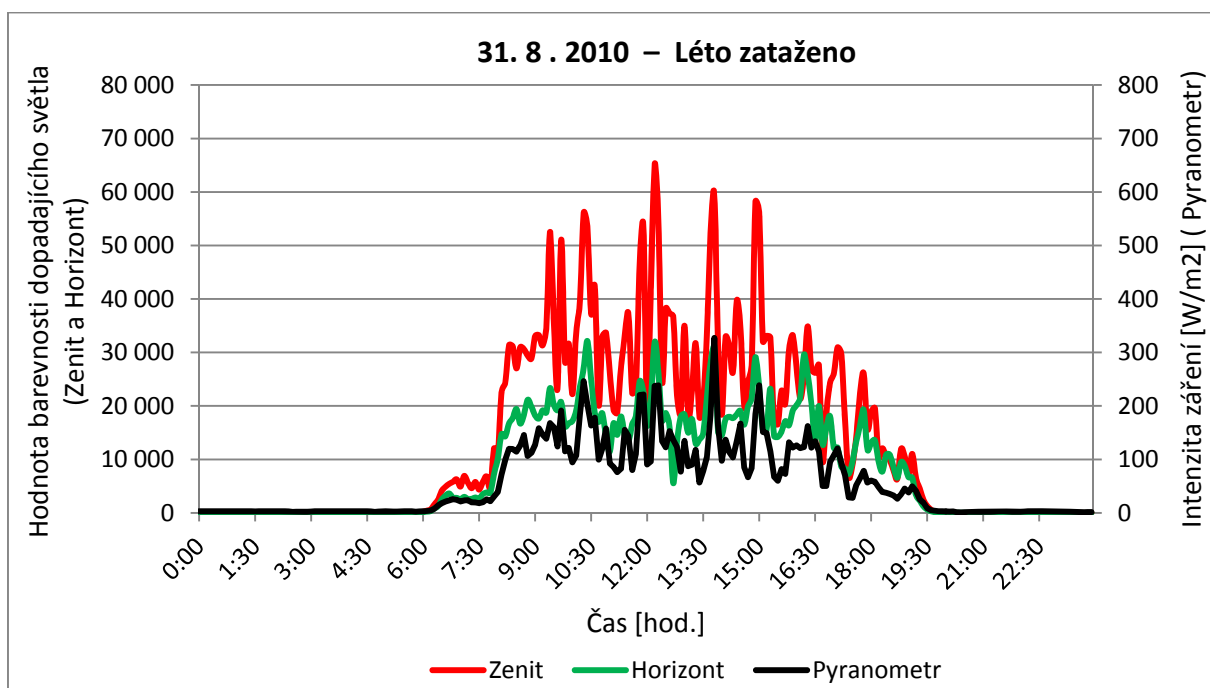
V grafu 5 jsou zobrazeny hodnoty barevnosti dopadajícího světla a intenzity záření naměřené v létě při slunečné obloze (21. 8. 2010).

Graf 5 – Hodnoty naměřené 21. 8. 2010



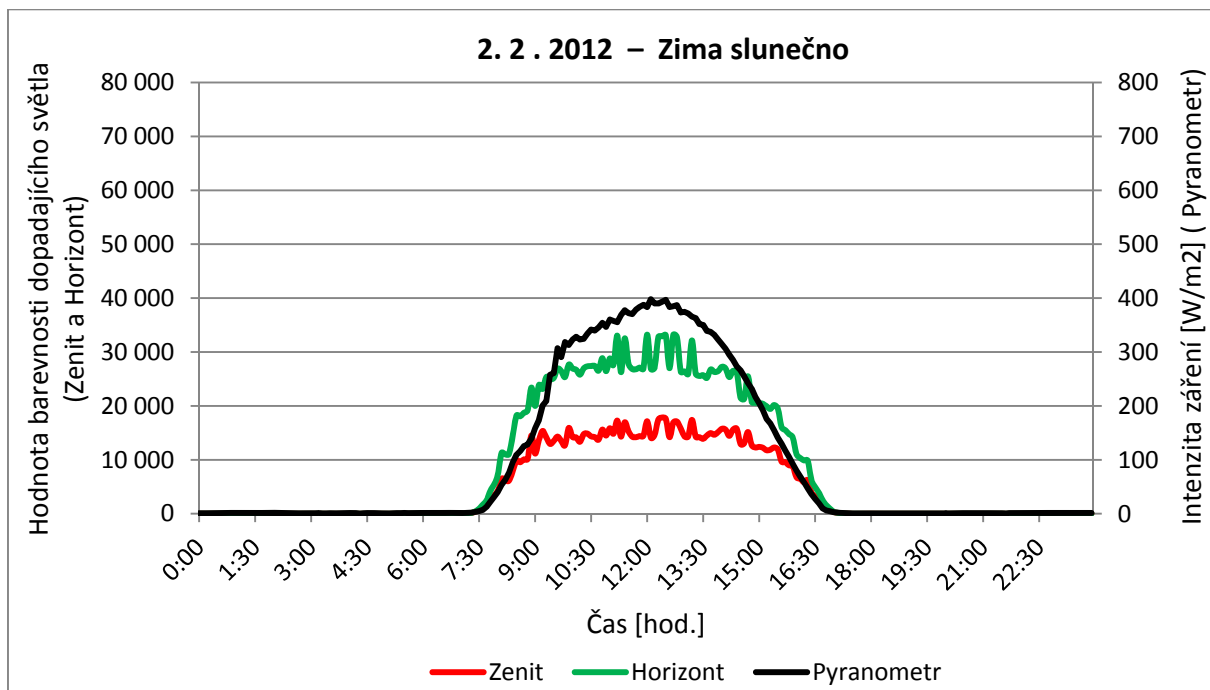
V grafu 6 jsou zobrazeny hodnoty barevnosti dopadajícího světla a intenzity záření naměřené v létě při zatažené obloze (31. 8. 2010).

Graf 6 – Hodnoty naměřené 31. 8. 2010



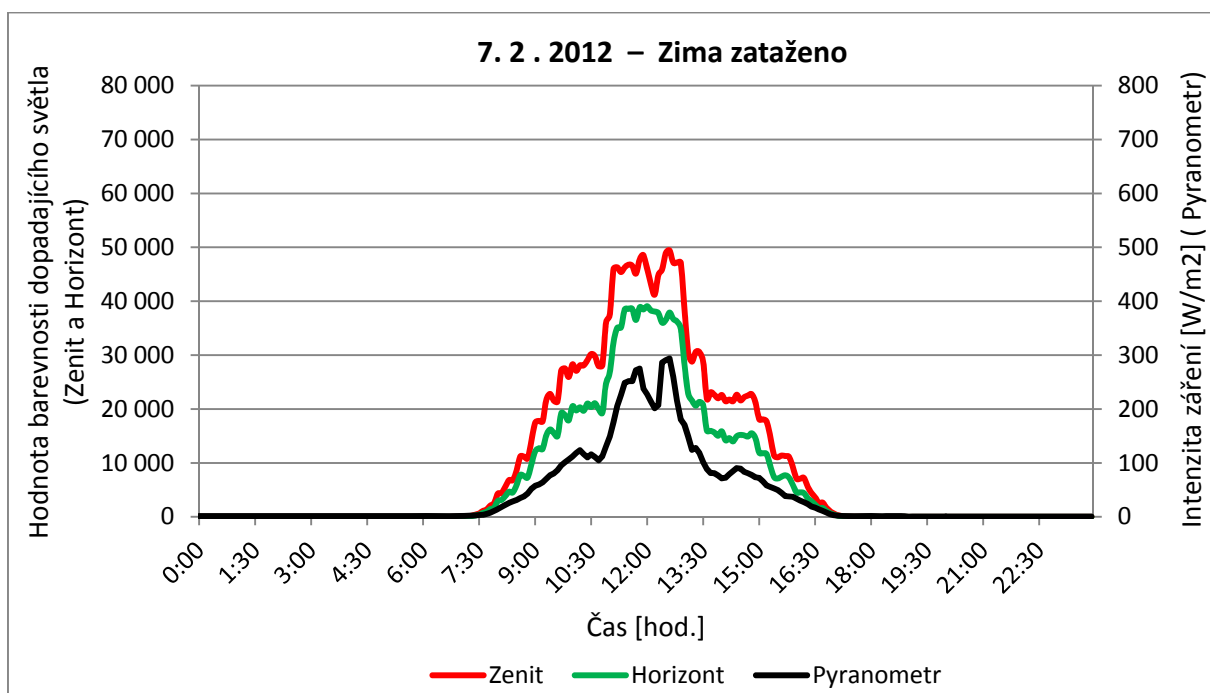
V grafu 7 jsou zobrazeny hodnoty barevnosti dopadajícího světla a intenzity záření naměřené v zimě při slunečné obloze (2. 2. 2012).

Graf 7 – Hodnoty naměřené 2. 2. 2012



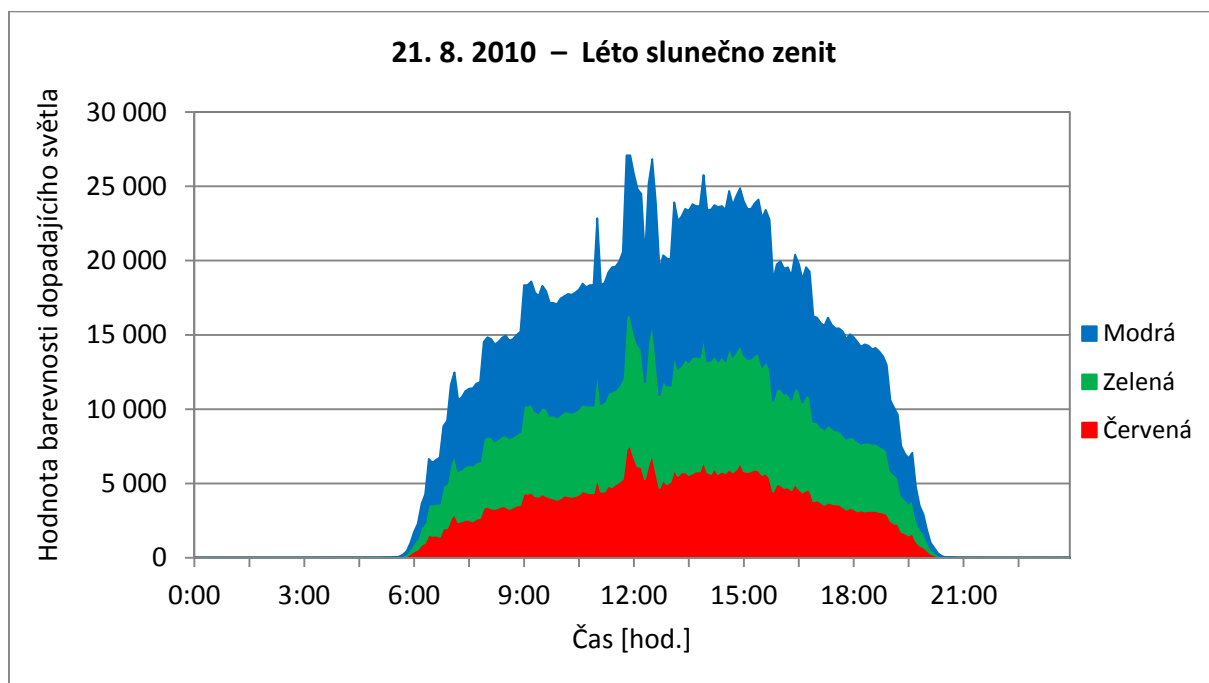
V grafu 8 jsou zobrazeny hodnoty barevnosti dopadajícího světla a intenzity záření naměřené v zimě při slunečné obloze (7. 2. 2012).

Graf 8 – Hodnoty naměřené 7. 2. 2012



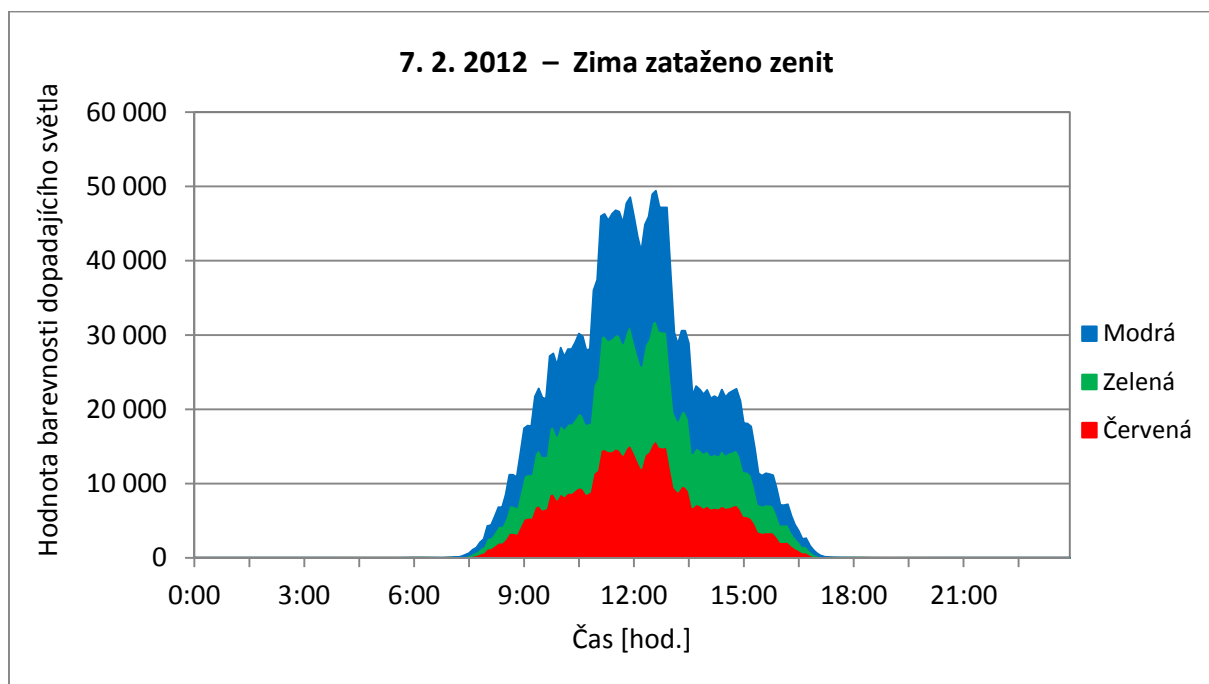
V grafu 9 je zobrazen součet hodnot červené, zelené a modré složky barevnosti dopadajícího světla v létě při slunečné obloze (21. 8. 2010).

Graf 9 – Hodnoty naměřené 21. 8. 2010 v bodě 1



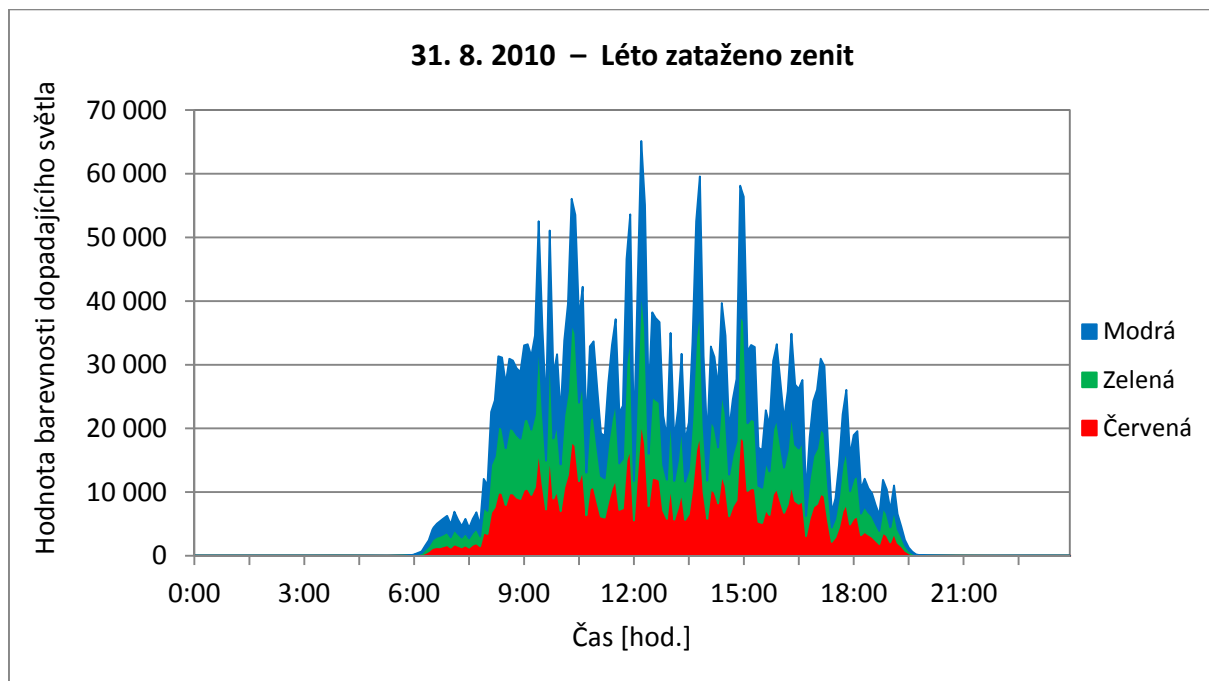
V grafu 10 je zobrazen součet hodnot červené, zelené a modré složky barevnosti dopadajícího světla v zimě při zatažené obloze (7. 2. 2012).

Graf 10 – Hodnoty naměřené 7. 2. 2012 v bodě 1



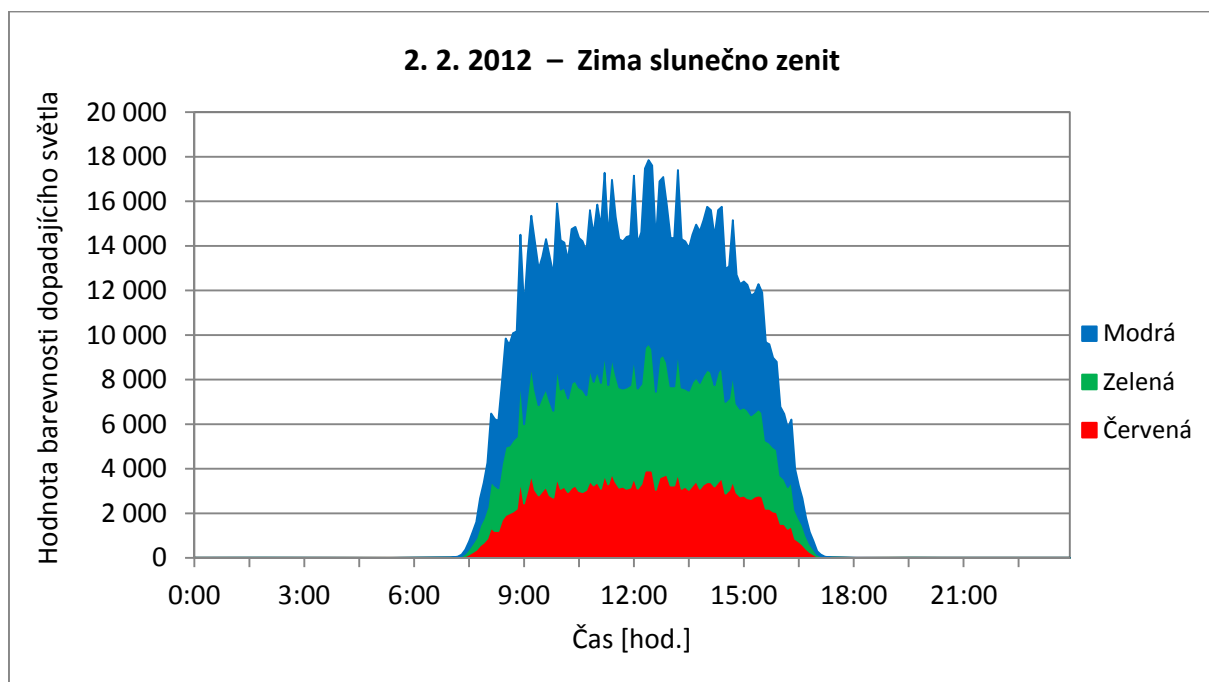
V grafu 11 je zobrazen součet hodnot červené, zelené a modré složky barevnosti dopadajícího světla v létě při zatažené obloze (31. 8. 2010).

Graf 11 – Hodnoty naměřené 31. 8. 2010 v bodě 1



V grafu 12 je zobrazen součet hodnot červené, zelené a modré složky barevnosti dopadajícího světla v zimě při slunečné obloze (2. 2. 2012).

Graf 12 – Hodnoty naměřené 2. 2. 2012 v bodě 1



6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat nový postup vyhřívání pro zařízení snímající prostorové rozložení barevnosti dopadajícího rozptýleného světla z nebeské polosféry.

V rámci práce byla vytvořena nová verze konstrukce vyhřívané optiky, kterou provedl autor práce. Použitá vylepšení vycházela ze zkušeností získaných při provozu předchozí verze tohoto zařízení, u kterého došlo k poškození zrcadlové vrstvy polokoule vlivem nesprávné funkce systému vyhřívání. Zařízení se podařilo vybavit novým, automatickým a spolehlivým systémem vyhřívání, které umožňuje rozšířit možnost jeho nasazení také v náročnějších klimatických podmínkách a pořídit tak data i v obdobích, ve kterých byla dosud nedostupná.

V první části práce jsou popsány vlastnosti a druhy slunečního záření, způsoby měření slunečního záření, vlastnosti zakřivených zrcadel, gamut a barevný model RGB.

V druhé části práce je popsána konstrukce a instalace původní a nové verze vyhřívané optiky. Rovněž je zde uveden rozbor důsledků původní konstrukce, způsob měření teploty uvnitř polokoule a způsob záznamu získaných informací.

V třetí části je uvedena analýza současného provozu nové verze zařízení, monitoring záření pyranometrem a výsledky měření.

Pomocí zařízení lze zkoumat časové, spektrální a prostorové rozložení slunečního rozptýleného světla. V této práci jsou uvedeny první příklady vyhodnocení získaných dat, přestože jsou možnosti jejich zpracování teprve v počátcích.

Vzhledem k tomu, že zastoupení jednotlivých spektrálních částí, respektive jeho vzájemné poměry budou ve velké míře závislé na lokalitě, mohlo by postupné mapování Zemského povrchu tímto přístrojem přinést cenné informace o charakteru osvětlení a tím i o jeho optimální využitelnosti v dané lokalitě pro biologické nebo industriální objekty. Získaná data

by mohla být použita například při pěstování rostlin, pro optimalizaci jejich zastínění a zjištění barevnosti dopadajícího světla, které vybrané rostliny potřebují. Dále se ukázalo, že data získaná z tohoto zařízení by mohla být cenná i v ornitologii, astronomii (příloha 4) a oblasti zabezpečovací techniky vzhledem k tomu, že kvalitní záběry celého poloprostoru (příloha 5) v jeden okamžik lze obtížně pořídit za srovnatelnou cenu.

Tato práce tedy připravuje přístrojovou půdu pro vytvoření dalších studií zabývajících se jak sběrem, tak i zpracováním získatelných dat pomocí tohoto unikátního přístroje. V neposlední řadě lze uvést, že se během této práce podařilo zařízení udržet v chodu další rok, stejně jako zapůjčený pyranometr a pořídit tak z lokality Suchdola další cennou sérii dat.

7 SEZNAM LITERATURY

[1]

KLABZUBA, Jiří a Věra KOŽNAROVÁ. *Zářivá energie jako faktor mikroklimatu porostu*. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1991, 116 s. ISBN 80-213-0117-1.

[2]

Slunce – naše hvězda. *Hvězdárna v Rokycanech* [online]. 2007 – 2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://hvr.cz/slunce/hvezda/>

[3]

The Sun Now. NASA. *SDO – Solar Dynamics Observatory* [online]. 2012 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

[4]

KITTLER, Richard a Josef MIKLER. *Základy využívania slnečného žiarenia*. Bratislava: VEDA, 1986, 150 s.

[5]

KUSALA, Jaroslav. Solární energie. ČEZ [online]. 2006 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>

[6]

Nejekologičtější zdroj nevyčerpatelné energie. SOLARTEC. *Solartec* [online]. 1993 – 2012 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/nejekologictejsi-zdroj-energie.html>

[7]

Free Download of Solar Radiation Maps. GEOMODEL SOLAR. *SolarGIS :: Online data and tools for solar energy projects* [online]. 2010 – 2012 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://solargis.info/doc/71>

[8]

Global Albedo : Image of the Day. NASA. *NASA Earth Observatory* [online]. 10. 7. 2002 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=2599>

[9]

Data Groups for Project AIRS. NASA. *Mirador Earth Science Data Search Tool* [online]. 2012 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>

[10]

MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelná technika* [online]. Praha, 2009 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: www.fsid.cvut.cz/~matustom/skriptaSTT_2009.pdf

[11]

Kipp & Zonen – Solar Radiation Measurement [online]. 2012 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.kippzonen.com>

[12]

STOJAN, Radek. *Záření pro měření intenzity slunečního záření* [online]. Brno, 2008 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8280. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[13]

Irradiance Sensor. *Meteocontrol Energy & Weather Services* [online]. 2012 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.meteocontrol.com/solar-services/3-operational-phase/remote-monitoring/industrial-line/sensor-system/irradiance-sensor/>

[14]

240-8111 Pyrradiometer. *NovaLynx Corporation* [online]. 1988 – 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.novalynx.com/240-8111.html>

[15]

Héliographe de Campbell-Stokes. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 – 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9liographe_de_Campbell-Stokes

[16]

Sunshine Sensor BF5. *Delta-T Devices* [online]. 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: [http://www.delta-t.co.uk/product-display.asp?id=BF5Product&div=Meteorology and Solar](http://www.delta-t.co.uk/product-display.asp?id=BF5Product&div=Meteorology%20and%20Solar)

[17]

SVOBODA, Jakub a Josef ZEMAN. Monitoring poloprostoru. *Security magazín*. Praha: Security Media, s.r.o., 2012, leden / únor.

[18]

PIHAN, Roman. Vše o světle – 10. Správa barev (color management). *Fotografovani.cz* [online]. 30. 3. 2007 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_10_colormanag.html

[19]

CIE 1931 color space. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 – 2012 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space

[20]

RGB color model. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 – 2012 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model

[21]

LOBAZ, Petr. Základy colorimetrie. *FotoRoman* [online]. 29. 6. 2005 [cit. 2010-02-10]. Dostupné z: http://fotoroman.cz/techniques2/light_color.htm

[22]

ROMAN, Pihan. Vše o světle – 5. Barevné modely. *Fotografovani.cz* [online]. 23. 2. 2007 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_05_colormodels.html

[23]

Those Pesky Profiles. In: *BPI Inc.* [online]. 16. 11. 2011 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://bpiinc.wordpress.com/2011/11/16/those-pesky-profiles/>

[24]

SVOBODA, Jakub. *Snímání směrového rozložení barevnosti*. Praha, 2010. Bakalářská práce. ČZU v Praze. Vedoucí práce Mgr. Josef Zeman, Ph. D.

8 SEZNAMY POUŽITÝCH ZKRATEK, OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Seznam zkratek:

APS-C	z angl. Advanced Photo System type-C (označení formátu snímacích čipů používaných v digitálních fotoaparátech)
AU	z angl. astronomical unit (jednotka vzdálenosti používaná v astronomii)
CCD	z angl. Charge-Coupled Device (druh snímacího senzoru)
CIE	z fran. Commission internationale de l'éclairage (Mezinárodní komise pro osvětlování)
CMOS	z angl. Complementary Metal–Oxide–Semiconductor (doplňující se kov-oxid-polovodič)
DPH	daň z přidané hodnoty
DSLR	z angl. Digital Single-Lens Reflex camera (digitální zrcadlovka)
FTP	z angl. File Transfer Protocol (protokol pro přenos souborů mezi počítači pomocí počítačové sítě)
GPS	z angl. Global Positioning System (vojenský globální družicový polohový systém)
IP 67	z angl. Ingress Protection (odolnost elektrospotřebiče proti vniknutí cizího tělesa a kapalin)
JPEG	z angl. Joint Photographics Experts Group (standardní metoda ztrátové komprese používané pro ukládání počítačových obrázků)
LAN	z angl. Local Area Network (počítačová síť, která pokrývá malé geografické území)
LCD	z angl. Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
LED	z angl. Light-Emitting Diode (dioda emitující světlo)
NAS	z angl. Network Attached Storage (datové úložiště připojené k místní síti LAN)
NASA	z angl. National Aeronautics and Space Administration (americký národní úřad pro letectví a kosmonautiku)

RAM	z angl. Random Access Memory (paměť s přímým přístupem)
RAW	z angl. raw (soubor obsahující minimálně zpracovaná data ze snímače digitálního fotoaparátu)
RGB	z angl. Red, Green, Blue (barevný model založený na aditivní způsob míchání barev červené, zelené a modré)
SDO	z angl. Solar Dynamics Observatory (vesmírná observatoř pro výzkum Slunce)
sRGB	z angl. Standart Red, Green, Blue (barevný prostor vytvořený ve spolupráci firem Hewlett-Packard a Microsoft pro použití na monitorech, tiskárnách a Internetu)
USB	z angl. Universal Serial Bus (způsob připojení periférií k počítači)
UVA	z angl. Ultraviolet ageing (elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 315 do 400 nm)
UVB	z angl. Ultraviolet burning (elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 280 do 315 nm)

Seznam obrázků:

- Obr. 1 – Záběry Slunce z 9. 3. 2012 v různých vlnových délkách
- Obr. 2 – Sluneční spektrum
- Obr. 3 – Globální horizontální záření v České republice
- Obr. 4 – Globální horizontální záření v Evropě
- Obr. 5 – Globální albedo
- Obr. 6 – Průměrné roční množství infračerveného záření opouštějící Zemi
- Obr. 7 – Geometrie slunečního záření
- Obr. 8 – Abbotův pyrhelioметр se stříbrným diskem
- Obr. 9 – Pyrhelioметр CHP 1
- Obr. 10 – Segmentový pyranometr
- Obr. 11 – Moll-Gorczynskiho pyranometr
- Obr. 12 – Senzor s monokrystalickou solární buňkou
- Obr. 13 – Zařízení pro měření rozptýleného slunečního záření
- Obr. 14 – Albedometr
- Obr. 15 – Campbell-Stokesův slunoměr

Obr. 16 – Elektronický slunoměr BF5 s fotodiodami
Obr. 17 – Možná zakřivení zrcadel pro zobrazení poloprostoru
Obr. 18 – CIE 1931 chromatický diagram
Obr. 19 – Gamut RGB modelu
Obr. 20 – Adaptivní míchání barev
Obr. 21 – RGB krychle
Obr. 22 – Polokoule pokrytá ranní rosou
Obr. 23 – Polokoule pokrytá námrazou
Obr. 24 – Polokoule pokrytá sněhem
Obr. 25 – Původní konstrukce vyhřívané optiky
Obr. 26 – Betonový podstavec
Obr. 27 – Nerezové pouzdro fotoaparátu
Obr. 28 – Vyplnění vnitřku polokoule montážní pěnou
Obr. 29 – Přilepení odporového drátu pomocí silikonové hmoty
Obr. 30 – Čidlo pro měření teploty uvnitř zrcadla
Obr. 31 – Plně vyplněný vnitřek zrcadla
Obr. 32 – DSLR zrcadlovka Canon EOS 350D
Obr. 33 – Snímek polokoule ze září a prosince roku 2010
Obr. 34 – Snímek polokoule před demontáží dne 12. 8. 2011
Obr. 35 – Polokoule z montážní pěny
Obr. 36 – Zrcadlová polokoule, vnější pohled
Obr. 37 – Zrcadlová polokoule, vnitřní pohled
Obr. 38 – Základní vrstva montážní pěny
Obr. 39 – Polokoule z montážní pěny, pohled shora
Obr. 40 – Polokoule z montážní pěny, pohled ze spodní části
Obr. 41 – Polokoule z montážní pěny s vyřezanými drážkami
Obr. 42 – Topný kabel vložený do vyřezaných drážek
Obr. 43 – Polokoule z montážní pěny s topným kabelem
Obr. 44 – Detail umístění čidel teploty
Obr. 45 – Konstrukce s rozpěrnou tyčí a pyranometrem
Obr. 46 – Schéma zapojení termostatu a topného kabelu
Obr. 47 – Detail plastového rozvaděče
Obr. 48 – Zapojení systému vyhřívání na střeše budovy

Obr. 49 – Detail elektroinstalační krabice
Obr. 50 – Digitální teploměr
Obr. 51 – Umístění USB teploměru na železném rameni
Obr. 52 – Technické zázemí před rekonstrukcí
Obr. 53 – Technické zázemí po rekonstrukci
Obr. 54 – Nová konstrukce vyhřívané optiky
Obr. 55 – Skelet polokoule
Obr. 56 – Program TEMPer2 v23.3
Obr. 57 – Pyranometr CMP 11 umístěný na střeše rektorátu ČZU
Obr. 58 – Záběry pořízené fotoaparátem 1. 8. 2010
Obr. 59 – Záběry pořízené fotoaparátem 10. 1. 2012
Obr. 60 – Umístění měřících bodů

Seznam tabulek:

Tab. 1 – Náklady na konstrukci nové verze vyhřívané optiky
Tab. 2 – Ukázka vypočtených dat

Seznam grafů:

Graf 1 – Vývoj teploty dne 10. 1. 2012
Graf 2 – Vývoj teploty od 20. 12. 2011 do 15. 1. 2012
Graf 3 – Intenzita slunečního záření 1. 8. 2010
Graf 4 – Intenzita slunečního záření 10. 1. 2012
Graf 5 – Hodnoty naměřené 21. 8. 2010
Graf 6 – Hodnoty naměřené 31. 8. 2010
Graf 7 – Hodnoty naměřené 2. 2. 2012
Graf 8 – Hodnoty naměřené 7. 2. 2012
Graf 9 – Hodnoty naměřené 21. 8. 2010 v bodě 1
Graf 10 – Hodnoty naměřené 7. 2. 2012 v bodě 1
Graf 11 – Hodnoty naměřené 31. 8. 2010 v bodě 1
Graf 12 – Hodnoty naměřené 2. 2. 2012 v bodě 1

9 PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha 1: Článek publikovaný v magazínu Security 1/2012

Příloha 2: Průměrné globální sluneční záření

Příloha 3: Ukázka odpařování vody ulpívající na polokouli po dešti

Příloha 4: Snímek noční oblohy se zakreslenými souhvězdími zvěrokruhu

Příloha 5: Zajímavé snímky pořízené fotoaparátem

Příloha 6: Teploty naměřené uvnitř a vně polokoule dne 10. 1. 2012

Monitoring poloprostoru

SOUHRN

Článek pojednává o alternativě k širokoúhlým objektivům, o nasazení zakřivených zrcadel a zkušenostech s nimi při nasazení v exteriéru. Rozebírá problém s rosením zrcadla a transformaci na pás. Zmiňuje se o oborech, pro které je podobný monitoring cenným zdrojem informací.

Klíčová slova:

zobrazení zrcadlem, monitoring poloprostoru, snímání s vysokým rozlišením, rosení.

ÚVOD

→ V některých situacích je třeba snímat pod velmi širokým úhlem. Dokonce pod úhlem 180°. Objektivy s tímto zorným úhlem jsou však velmi drahé a mají minimálně při okrajích často neakceptovatelné chromatické vady. V tomto případě je možné zvážit nasazení zakřivených zrcadel. V principu jsou známy dva typy zakřivení vhodné k tomuto účelu. Jedná se o zakřivení konkávní a konvexní, viz obrázek 1. Obě tyto konstrukce zobrazují ve středu zorného pole (v pólu poloviny) samotné zaznamenávací zařízení, tedy kameru. Obě mají své výhody i nevýhody. My se zde budeme zabývat toliko konkávní konstrukcí. Přesto, že pro mnoho aplikací je důležitý spíše obzor, tedy hranice poloprostoru a tedy plocha konvexní, je pro jiné aplikace vhodnější použití kulové výseče. Někdy je důležitý i faktor ceny, kdy cena kulových zrcadel je pro

snadnost výroby i jejich rozšíření jen zlomkem ceny zrcadel konvexních.

Při exteriérovém využití se také konkávní plocha lépe vytápí, neboť zrcadlo principiálně odráží všechno dopadající záření a je tak vždy nejlhůdnějším místem v okolí. Tento fakt byl v prvních letech vývoje problémem zvláště v zimních měsících, kdy se zrcadlo pokrývalo silnou vrstvou ledu. To bylo s úspěchem vyřešeno aplikací komerčního podlahového vytápění do prostoru kulové výseče. Přestože aplikace byla původně navržena pro nasazení v základním výzkumu pro zjištění lokálního časového spektrálního a intenzitního rozložení dopadajícího slunečního záření v rámci RGB gamutu a 14bitové hloubky v rámci každého snímku, ukázalo se, že její využití je širší, než bylo původně zamýšleno. Nachází uplatnění jak v astronomii při hledání meteoritů, entomologii, a v neposlední řadě právě i v zabezpečovací technice, neboť na rozdíl od pohyblivých kamer snímá strážný prostor celý v jeden okamžik a dále absence pohyblivých prvků zvyšuje spolehlivost systému. Krom toho lze provádět detailní porovnání i časově odlehlejších snímků, neboť i přes širší záběr jde stále o stacionární záběr.

POPIS KONSTRUKCE

Celkový pohled na konstrukci je na obrázku 2. Pro vlastní konstrukci bylo použito plastového hliníkem pokoveného zrcadla o průměru 60 cm, vyhřívaného podlahovým vytápěčem

o maximálním příkonu 50 W opatřeným standardním termostatem, jehož čidlo bylo umístěno do vrcholu kulové výseče těsně pod povrchovou vrstvou. V tomto místě byla termostatovaná teplota nastavena na 25° C, viz obrázek 3.

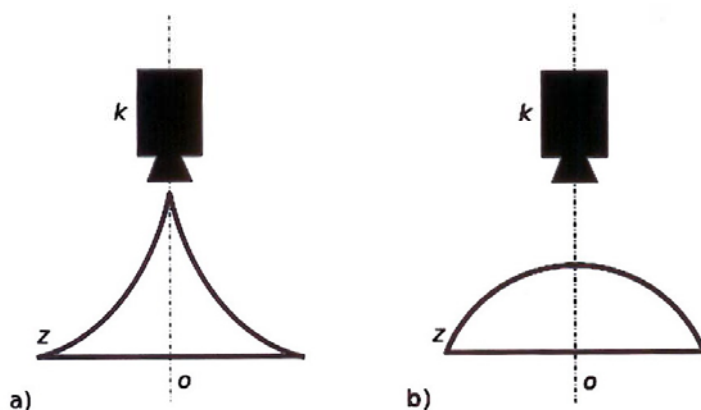


Obrázek 2. Celkový pohled na konstrukci externího snímače poloprostoru.

Ve vhodné výšce je v polouzavřeném krytu umístěna kamera s běžným objektivem. Nosníkem kamery jsou současně přivedeny vodiče napájení a datová linka kamery.

Zrcadlo je přichyceno na pertinaxový kruh, jenž je šrouby spojen s ocelovým nosníkem. Zrcadlo je lépe připojovat přípravkem, neboť jeho životnost je podle našich zkušeností kolem jednoho roku. I tak je vhodnější jej připínat na kopyto vyplňující dutinu. Zrcadlo pak lépe snáší otřesy a působení větších krup není tak znát.

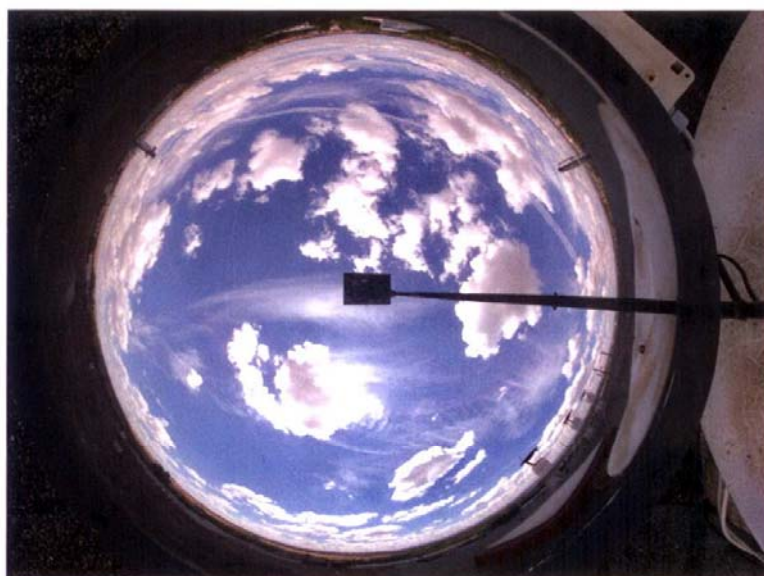
Zkušenosti s celoročním provozem v exteriéru. Kameru je třeba zaostřovat ručně, aby neostříla ani za mlhy na znečištěný povrch zrcadla. Naopak s výhodou lze použít clonovou automatiku kamery. Tímto způsobem se zvětší mezisnímkový rozsah světelnosti o dalších 5 bitů. Automatická redukce citlivosti snímáče se nám neosvědčila, při vyšších citlivostech je mezisnímkové porovnání dosti obtížné. Celé roky provozujeme kameru zespodu nechráněnou bez známek její devastace, a to nezávisle na ročním období. Bohužel blesk zničí pou-



Obrázek 1. Možná zakřivení zrcadel pro zobrazení poloprostoru: a) konvexní, b) konkávní povrch. Označení: z – zrcadlová plocha, k – kamera, o – optická osa.



Obrázek 3. Regulátor vnitřní teploty zrcadla.



Obrázek 4. Snímek zrcadlové projekce poloprostoru.



Obrázek 5. Ukázka rozvinutí snímku do pásu.

žitou elektroniku i zrcadlo relativně snadno. Za pět let tento efekt nastal již 2x. Nutno ovšem poznamenat, že instalace se nachází na velmi exponovaném místě. V okolí několika kilometrů není vyššího bodu.

ZÍSKÁVANÉ VÝSLEDKY

Okamžitá galerie snímků získaných touto kamerou je dostupná on-line na <http://kamery.hydronet.cz/suchdol/photo/gallery/> nebo na <http://nebe.jakubsvoboda.com/>. Na snímky lze nahlížet přímo jako na zploštělou projekci poloprostoru na kouli, viz obrázek 4. Nebo lze provést matematickou transformaci těchto snímků na pás a sledovat mapový pohled. Jeho ukázkou můžeme vidět na obrázku 5. Zajímavé jsou i noční snímky, které díky automatické třicetisekundové expozici zobrazují i souhvězdí.

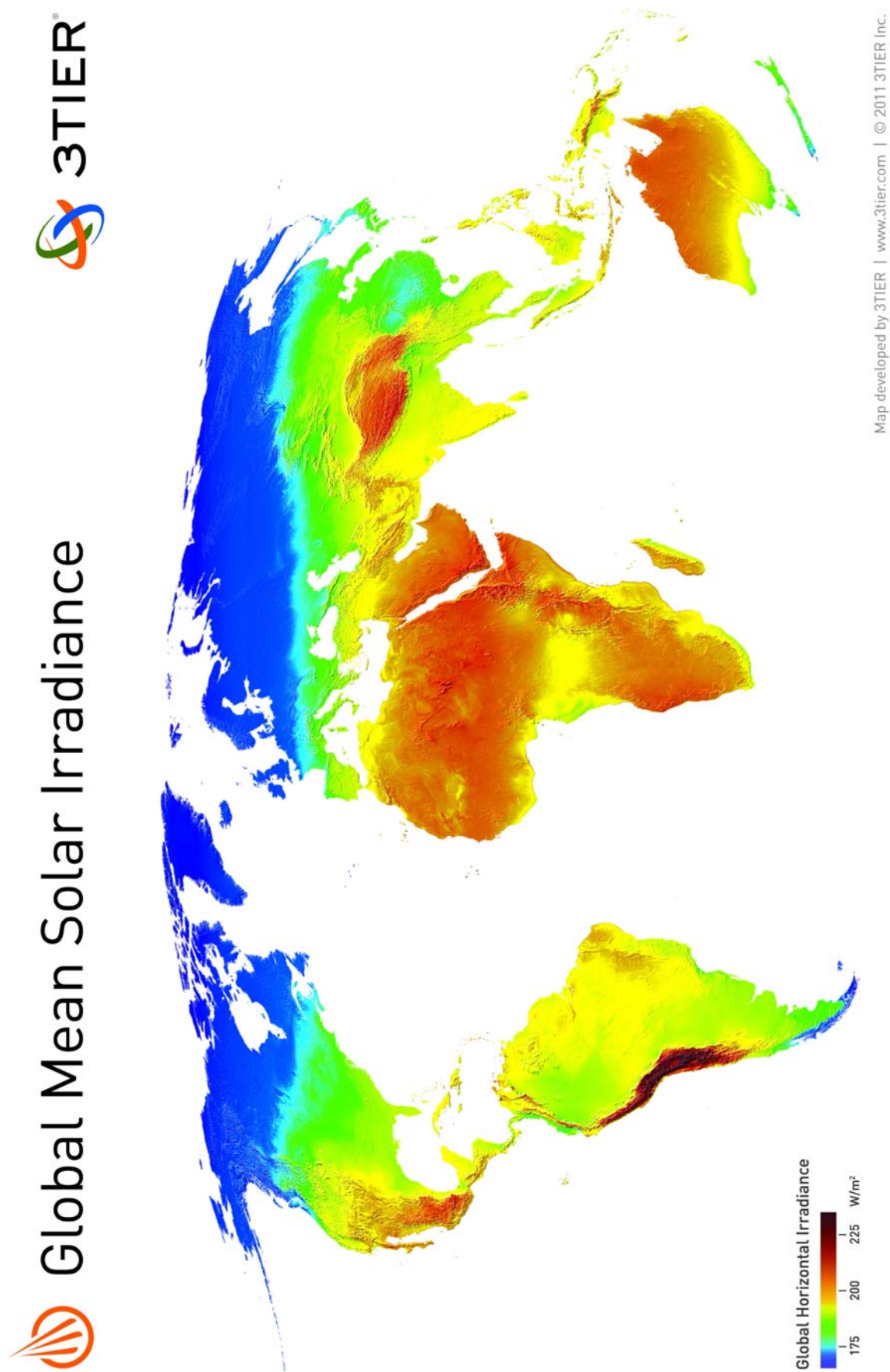
Zpracování na pás je nicméně časově poměrně náročné a nedaří se nám jej provést v čase kratším než jedna minuta. Je výhodné, aby řez nosníkem procházel okrajem snímku. Pól pak je možné ze snímku zcela odříznout.

ZÁVĚR

Přesto, že se úloha zobrazování poloprostoru vyvinula z akademické potřeby snímat nebe, ukázalo se, že záběry tohoto systému jsou cenné i pro ornitology, astronomy, i bezpečnostní techniky. Myslíme si, že kvalitní záběry celého poloprostoru v jeden okamžik lze obtížně pořídit za srovnatelnou cenu. Také se ukázalo, že pokud je zrcadlo vyhříváno, je možné jej v exteriéru provozovat celoročně i s možností publikace on-line snímků na internetu. Omezujícím faktorem samozřejmě stále zůstává nižší rozlišení podél horizontu a malá disková kapacita současných disků.

*Bc. Jakub Svoboda
Josef Zeman PhD.
zeman@dzeta.cz*

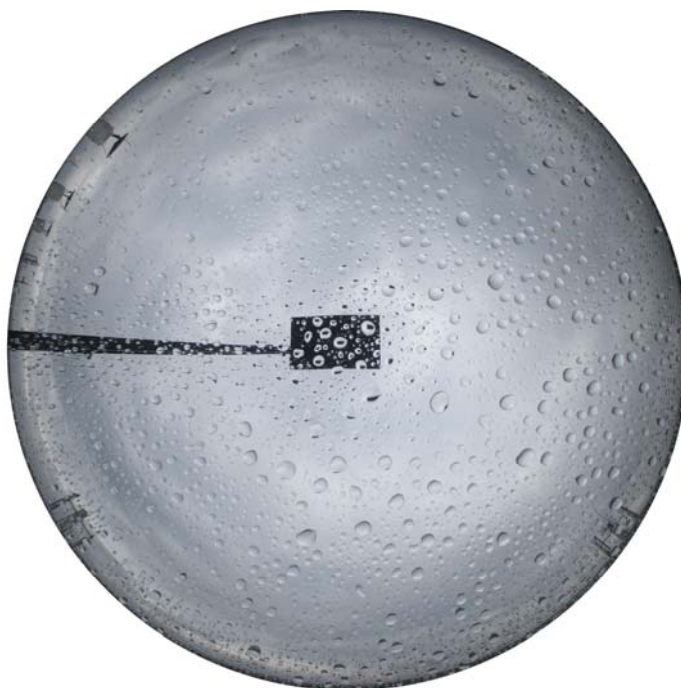
Příloha 2: Průměrné globální sluneční záření



Příloha 3: Ukázka odpařování vody ulpívající na polokouli po dešti

Na obrázku I je zobrazen povrch polokoule, který je pokrytý kapkami vody po dešti a na obrázku II je zobrazen povrch polokoule po 36 minutách. Při porovnání těchto dvou snímků je zřejmé, že se kapky vody odpařili a zařízení je opět schopné pořizovat kvalitní snímky.

Obr. I – Čas: 11:58 hod. (30. 3. 2012)

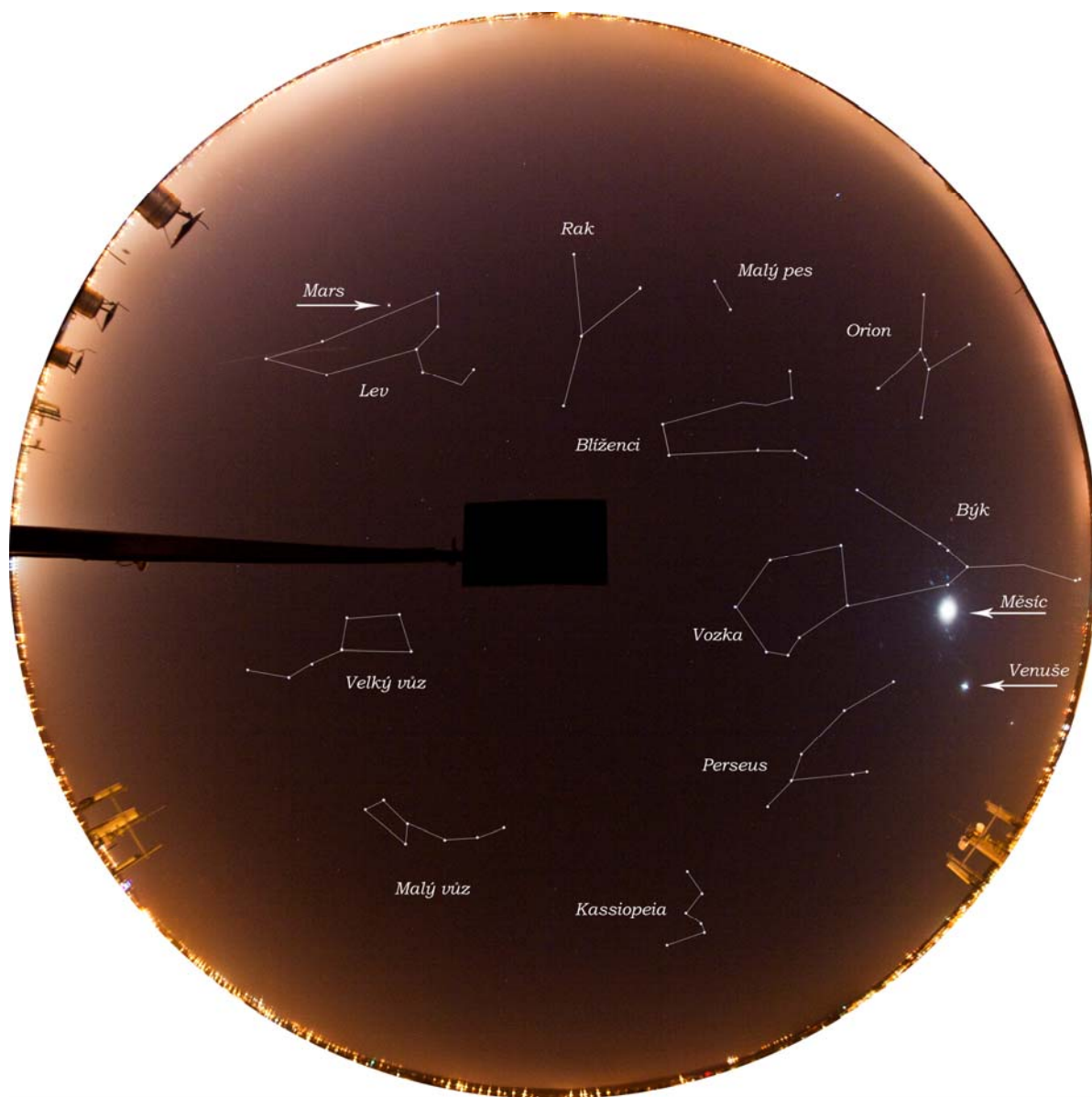


Obr. II – Čas: 12:34 hod. (30. 3. 2012)



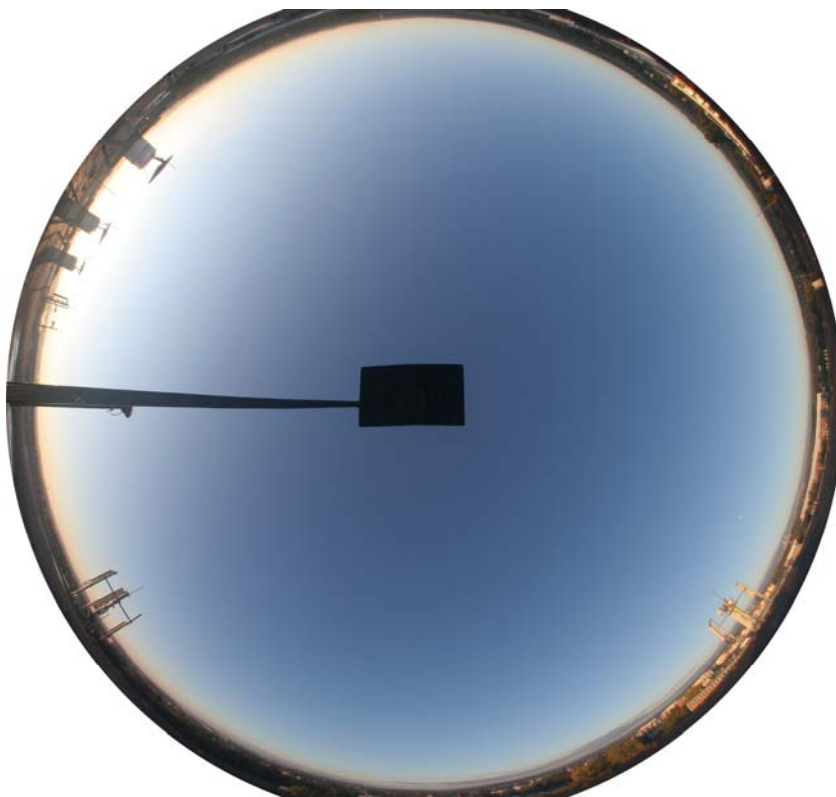
Příloha 4: Snímek noční oblohy se zakreslenými souhvězdími zvěrokruhu

Obr. III – Noční obloha a hvězdy v 20:16 hod. (27. 3. 2012)



Příloha 5: Zajímavé snímky pořízené fotoaparátem

Obr. IV – Východ slunce v 7:53 hod. (14. 10. 2011)



Obr. V – Polojasná obloha v 12:35 hod. (14. 10. 2011)



Obr. VI – Přelet ptáků nad zrcadlem v 13:46 hod. (2. 4. 2012)



Obr. VII – Západ slunce a přelet letadla v 18:59 hod. (21. 10. 2011)



Příloha 6: Teploty naměřené uvnitř a vně polokoule dne 10. 1. 2012

Čas	Venkovní teplota (°C)	Vnitřní teplota (°C)	Čas	Venkovní teplota (°C)	Vnitřní teplota (°C)
0:00	4,63	25,50	0:06	4,63	25,38
0:12	4,63	25,69	0:18	4,63	26,25
0:24	4,63	26,19	0:30	4,63	26,00
0:36	4,63	26,13	0:42	4,63	26,19
0:48	4,63	26,50	0:54	4,63	26,50
1:00	4,63	26,94	1:06	4,63	27,19
1:12	4,63	27,13	1:18	4,63	26,75
1:24	4,75	26,50	1:30	4,75	26,44
1:36	4,94	26,50	1:42	4,94	26,50
1:48	5,00	26,50	1:54	4,94	25,88
1:54	4,94	25,88	2:00	4,94	25,69
2:06	4,94	24,81	2:12	5,60	24,81
2:18	5,60	25,60	2:24	5,60	25,38
2:30	5,13	26,25	2:36	5,13	26,50
2:42	5,31	26,50	2:48	5,25	26,50
2:54	5,25	26,63	3:00	5,25	27,44
3:06	5,56	27,44	3:12	5,63	26,50
3:18	5,63	26,50	3:24	5,63	26,50
3:30	5,63	26,50	3:36	5,63	26,50
3:42	5,63	26,50	3:48	5,63	26,50
3:54	5,88	27,13	4:00	5,63	26,25
4:06	5,63	25,31	4:12	5,50	24,19
4:18	5,44	23,63	4:24	5,44	22,56
4:30	5,44	24,60	4:36	5,31	24,25
4:42	5,63	24,19	4:48	5,63	23,94
4:54	5,63	23,63	5:00	5,63	24,00
5:06	5,63	24,94	5:12	5,63	25,38
5:18	5,63	25,44	5:24	5,63	25,44
5:30	5,44	25,38	5:36	5,50	25,44
5:42	5,31	25,44	5:48	5,13	25,94
5:54	5,60	25,60	6:00	4,94	23,88
6:06	4,63	24,38	6:12	4,63	22,56
6:18	4,63	22,56	6:24	4,81	22,56
6:30	4,94	24,63	6:36	4,88	24,38
6:42	4,63	22,56	6:48	4,63	22,56
6:54	4,63	22,56	7:00	4,88	24,81
7:06	4,88	24,88	7:12	4,81	24,81
7:18	4,88	24,75	7:24	4,81	24,19
7:30	4,69	23,81	7:36	4,63	23,50
7:42	4,63	22,56	7:48	4,63	23,81
7:54	4,63	23,38	8:00	4,63	23,44
8:06	4,63	24,19	8:12	4,63	24,81
8:18	4,63	24,13	8:24	4,63	24,38
8:30	4,63	24,81	8:36	4,63	24,00
8:42	4,63	24,88	8:48	4,63	24,88
8:54	4,63	23,31	9:00	4,63	23,94
9:06	4,63	22,56	9:12	4,63	23,81
9:18	4,63	24,60	9:24	4,63	22,56
9:30	4,63	24,44	9:36	4,81	24,50
9:42	4,81	24,38	9:48	4,81	24,13
9:54	4,88	24,00	10:00	4,88	24,88
10:06	4,88	25,19	10:12	4,88	25,38
10:18	4,94	25,44	10:24	4,94	25,44
10:30	4,88	25,44	10:36	4,75	25,44
10:42	4,88	25,13	10:48	4,88	25,88
10:54	4,75	25,88	11:00	4,69	26,44
11:06	4,75	26,44	11:12	4,63	26,81
11:18	4,69	27,60	11:24	4,63	26,50
11:30	4,75	26,25	11:36	4,69	25,69
11:42	4,63	25,69	11:48	4,81	25,00
11:54	4,94	24,81	12:00	4,88	25,38

12:06	4,88	25,44	12:12	4,94	25,44
12:18	4,88	25,44	12:24	4,88	26,19
12:30	4,88	26,44	12:36	4,94	26,60
12:42	4,94	26,50	12:48	5,60	25,88
12:54	5,60	25,88	13:00	5,19	25,44
13:06	5,25	25,44	13:12	5,63	26,50
13:18	5,63	27,44	13:24	5,63	26,88
13:30	5,63	27,25	13:36	5,50	26,25
13:42	5,44	26,38	13:48	5,63	25,44
13:54	5,50	25,88	14:00	5,31	25,44
14:06	5,63	25,88	14:12	5,81	26,50
14:18	6,63	26,63	14:24	6,81	27,38
14:30	6,94	27,44	14:36	6,38	27,88
14:42	6,19	27,81	14:48	6,25	27,00
14:54	6,25	26,94	15:00	6,44	26,50
15:06	5,88	27,44	15:12	6,00	27,60
15:18	5,63	27,19	15:24	5,75	26,50
15:30	5,63	26,13	15:36	5,63	25,69
15:42	5,63	25,44	15:48	5,56	25,44
15:54	5,38	24,94	16:00	5,19	24,31
16:06	5,31	23,44	16:12	4,63	22,56
16:18	4,63	22,56	16:24	4,63	22,56
16:30	4,63	23,81	16:36	4,56	24,38
16:42	4,44	22,56	16:48	4,31	22,56
16:54	4,13	22,56	17:00	4,60	21,56
17:06	3,81	21,94	17:12	3,81	21,94
17:18	3,75	22,60	17:24	3,69	22,25
17:30	3,75	21,94	17:36	3,81	21,75
17:42	3,81	21,44	17:48	3,81	21,63
17:54	3,81	21,50	18:00	3,81	21,25
18:06	3,81	21,88	18:12	3,88	22,56
18:18	4,13	22,56	18:24	4,31	22,56
18:30	4,38	24,19	18:36	4,50	24,50
18:42	4,44	25,60	18:48	4,38	25,38
18:54	4,31	25,44	19:00	3,88	26,19
19:06	3,81	26,25	19:12	3,81	26,60
19:18	3,81	25,88	19:24	3,75	26,00
19:30	3,81	26,50	19:36	3,81	26,50
19:42	3,88	26,94	19:48	4,00	27,00
19:54	3,81	27,60	20:00	3,81	27,44
20:06	3,88	27,44	20:12	4,00	27,44
20:18	4,13	27,25	20:24	4,19	27,60
20:30	4,44	26,94	20:36	4,50	27,13
20:42	4,50	27,31	20:48	4,44	26,81
20:54	4,63	26,50	21:00	4,63	26,50
21:06	4,63	26,50	21:12	4,63	26,19
21:18	4,63	26,19	21:24	4,63	26,25
21:30	4,63	26,50	21:36	4,63	26,19
21:42	4,63	26,60	21:48	4,63	26,25
21:54	4,63	26,50	22:00	4,63	26,00
22:06	4,63	25,94	22:12	4,63	25,94
22:18	4,63	25,88	22:24	4,63	26,60
22:30	4,63	26,50	22:36	4,63	26,50
22:42	4,63	26,25	22:48	4,63	26,50
22:54	4,63	26,50	23:00	4,63	26,25
23:06	4,63	26,25	23:12	4,63	26,50
23:18	4,63	26,50	23:24	4,63	26,50
23:30	4,63	26,50	23:36	4,63	26,50
23:42	4,63	26,50	23:48	4,44	26,50
23:54	4,56	26,69			