



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## MONITOROVÁNÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU KOLEM FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ

MONITORING OF AIR FLOW AROUND PHOTOVOLTAIC MODULES

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Herman

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Michal Herman

**ID:** 203152

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

## NÁZEV TÉMATU:

### Monitorování proudění vzduchu kolem fotovoltaických modulů

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku fotovoltaických systémů a vlivu teploty na celkový výkon. Zaměřte se na teorii, vhodnou pro návrh systému pro monitorování proudění vzduchu kolem fotovoltaických modulů. Systém by měl obsahovat měření teplotního rozložení a rychlosti proudění vzduchu. Data dlouhodobě ukládejte do databázového systému a následně je vyhodnoťte.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 25.5.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá prouděním vzduchu kolem fotovoltaických modulů a s ním spojený vliv na jejich teplotu a celkový výkon. V práci je navrženo zařízení pro snímání zmíněných veličin a je porovnáno s podobnými typy zařízení z hlediska ceny, rozměrů a přesnosti. Dále je v práci popsáno umístění jednotlivých čidel a interval snímání jednotlivých veličin. Dlouhodobě ukládaná data jsou v druhé části práce vynesena do grafů a je vyhodnocena míra, do které fotovoltaický systém ovlivňují.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaické systémy, solární panely, vliv teploty, proudění vzduchu, účinnost

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the flow of air around photovoltaic modules and the associated effect on their temperature and overall performance. In the thesis, a device for sensing the mentioned quantities is designed and it is compared with similar types of devices in terms of price, dimensions and accuracy. Furthermore, the thesis describes the placement of individual sensors and sensing interval of quantities. In the second part of the thesis, long-term stored data are plotted in graphs and the extent to which they affect the photovoltaic system is evaluated.

## **Key words**

Photovoltaic systems, solar panels, the effect of temperature, air flow, efficiency

## **Bibliografická citace**

HERMAN, Michal. *Monitorování proudění vzduchu kolem fotovoltaických modulů* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142739>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.



# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** *Bc. Michal Herman*

**VUT ID studenta:** *203152*

**Typ práce:** *Diplomová práce*

**Akademický rok:** *2021/22*

**Téma závěrečné práce:** *Monitorování proudění vzduchu kolem  
fotovoltaických modulů*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za metodickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji panu doc. Ing. Petru Krivíkovi Ph.D. a panu Martinovi Šturmovi za pomoc při zprovoznování měřících pracovišť.

V Brně dne: .....

-----

podpis autora

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Úvod do fotovoltaiky</b> .....	<b>2</b>
2.1 Princip fungování fotovoltaických článků .....	2
2.2 Technologie FV článků .....	3
2.2.1 Monokrystalické křemíkové články .....	3
2.2.2 Polykrystalické křemíkové články .....	4
2.2.3 Amorfni křemíkové články .....	5
<b>3. Faktory ovlivňující výkon fotovoltaických modulů</b> .....	<b>7</b>
3.1 Teplotní vliv .....	7
3.2 Intenzita slunečního záření.....	8
3.3 Zastínění.....	10
<b>4. Konstrukční uspořádání solárních panelů</b> .....	<b>11</b>
4.1 Odvod tepla z okolí FV panelů pomoci odvětrávání střešních prostor .....	11
4.2 Další metody odvádění tepla.....	13
<b>5. Vznik proudění vzduchu a jeho monitorování</b> .....	<b>15</b>
5.1 Rychlostní sondy .....	15
5.2 Pitotova trubice .....	15
5.3 Prandtlova trubice .....	16
5.4 Žhavený anemometr.....	16
5.5 Tří-miskový anemometr.....	17
<b>6. Návrh metodiky měření a dlouhodobého ukládání dat</b> .....	<b>18</b>
6.1 Miskový Anemometr C552.....	18
6.2 Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660.....	19
6.3 Lopatkový Anemometr PCE, PCE-ADL 11 .....	21
6.4 Arduino Shield .....	22
6.5 Teploměr vodotěsný – sonda DS 18B20 + adaptér pro Arduino .....	24
6.6 Technoline MA10001 Starter Set.....	25
6.7 Teplotní čidlo Technoline MA10100.....	26
6.8 Pyranometr SG420.....	26
6.9 Cena komponentů .....	29
6.10 Závěr pro výběr zařízení .....	30
<b>7. Realizace monitorovacího systému</b> .....	<b>31</b>
7.1 Zapojení měřícího pracoviště.....	31
7.2 Program pro Arduino .....	35
7.3 Program Agilent VEE .....	39

<b>8. Vyhodnocení naměřených hodnot.....</b>	<b>42</b>
8.1 Vyhodnocení naměřených hodnot z osmi období .....	42
8.1.1 Vyhodnocení naměřených hodnot z 1. období.....	42
8.1.2 Vyhodnocení naměřených hodnot z 2. období.....	46
8.1.3 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 3. období .....	49
8.1.4 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 4. období .....	53
8.1.5 Vyhodnocení naměřených hodnot z 5. období.....	56
8.1.6 Vyhodnocení naměřených hodnot z 6. období.....	60
8.1.7 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 7. období .....	63
8.1.8 Vyhodnocení naměřených hodnot z 8. období.....	66
<b>9. Zhodnocení výsledků měření.....</b>	<b>70</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>72</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>73</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>77</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>80</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk.....</b>	<b>81</b>

# 1. Úvod

Z důvodu neustálého nárustu lidské populace a úbytku tradičních zdrojů pro výrobu elektrické energie je hledání nových zdrojů nevyhnutelné. S postupnou industrializací, která má negativní dopad na životní prostředí je taktéž potřeba klást důraz na výrobu energie, která nezanechává uhlíkovou stopu. V sektoru obnovitelných zdrojů energie dochází k výraznému růstu zejména v oblasti solárních energetických systémů. Tyto systémy zažívají v posledních letech veliký rozmach a pro mnohé uživatele představují zajímavou alternativu, jak využít této čisté a potencionálně nekonečné energie.

Účinnost těchto systémů a s ní spojená celková výnosnost je však závislá na okolních podmínkách (zejména na teplotě, která je do určité míry ovlivňována proudem vzduchu). V rámci této diplomové práce budeme tyto vlivy dlouhodobě snímat a v závěru vyhodnotíme míru, do jaké výkon modulů ovlivňují.

Jako základ pro správný výběr anemometru nám posloužily teoreticky popsané metody snímání proudu vzduchu v úvodní části práce. Na základě volby anemometru byl následně zvolen systém ukládání dat z anemometru společně s teplotou, která je snímána pomocí dvou teplotních čidel. Tento systém je následně porovnán s několika dalšími variantami z hlediska přesnosti měření veličin, ceny a rozměrů. Při volbě bylo taktéž zohledněno, zdali je systém možno do budoucna aplikovat na odlišná (méně přístupná) místa (například do střešních prostor v okolí fotovoltaických střešních tašek). Pro vyhodnocení míry vlivu teploty a proudu vzduchu je zapotřebí taktéž snímat napětí a intenzitu dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický modul. To je realizováno pomocí měřicí ústředny Agilent 34980A v kombinaci s pyranometrem SG420.

V druhé části práce jsou pro zvolené systémy popsány programy a taktéž je zde graficky znázorněno zapojení jednotlivých čidel a jejich následné umístění k FV panelu A-130. Snímané (dlouhodobě ukládané) hodnoty jsou každý týden zpracovány do grafické podoby, kde jsou jednotlivé vlivy diskutovány. V průběhu měření jsou pod FV moduly taktéž vkládány předměty s odlišnou tepelnou vodivostí a odrazivostí dopadající intenzity slunečního záření, které by měly námi snímané veličiny ovlivnit. Konkrétně se jedná o plech a dřevěnou desku bílé barvy.

## 2. Úvod do fotovoltaiky

Fotovoltaika je výjimečným oborem, za jejíž počátek můžeme považovat rok 1839. Tohoto roku se podařilo francouzskému fyzikovi Alexandru Edmondnu Becquerelovi objevit fotoelektrický jev, který byl roku 1905 teoreticky popsán Albertem Einsteinem a roku 1916 experimentálně potvrzen Robertem Andrewsem Millikanem. V roce 1884 byl americkým vynálezcem Charlesem Frittssem sestroyen první solární článek, tedy o 45 let později od objevu samotného jevu. Sestrojený článek měl však účinnost pouhé 1 % a byl vyroben ze seleniového polovodiče potaženého slabou vrstvou zlata. Výroba tohoto článku však byla velice nákladná a s účinností pouhé 1 % neměla šanci na uplatnění [3].

Solární článek tak jak ho známe dnes byl vynalezen americkým inženýrem Russellem Ohlem. Tomu se roku 1939 podařilo objevit PN přechod, což je pásmo na rozhraní P a N typu polovodiče. Tohoto jevu se využívá v polovodičových součástkách, zejména diodách a tranzistorech. Při zkoumání materiálů pro výrobu těchto polovodičových součástek došlo k vynálezu právě solárního článku, tehdy pojmenovaného jako „světlocitlivé zařízení“. Roku 1946 si Russell Ohl nechal tento vynález patentovat. Solární články se od roku 1958 začaly využívat na orbitálních družicích a dodnes jsou ve vesmírných programech využívány jako zdroj elektrické energie [9].

V dnešní době máme k dispozici hned několik typů fotovoltaických článků, které se liší především účinností, barvou, cenou, rychlostí degradace a technologií výroby. Mezi ty nejznámější patří monokrystalické a polykrystalické křemíkové články.

### 2.1 Princip fungování fotovoltaických článků

Solární článek je v podstatě polovodičová dioda, která funguje na principu PN přechodu. Článek je tvořen tenkou křemíkovou destičkou s vodivostí typu P, na níž se při výrobě vytvoří vrstva polovodiče typu N. Při osvětlení článku vzniká v polovodiči tzv. vnitřní fotoelektrický jev a z krystalové mřížky se postupně začínou uvolňovat záporné elektrony. Na P-N přechodu dojde k vytvoření elektrického napětí, které dosahuje hodnoty 0,5 V. Světelná energie dopadající na fotovoltaický článek se mění na elektrickou energii a po připojení externího spotřebiče začne docházet k vyrovnávání

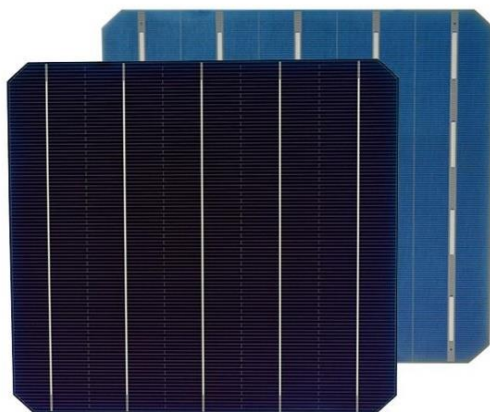
kladného a záporného náboje. Obvodem začne procházet elektrický proud, který je možno navýšit připojením dalšího článku (sériově nebo paralelně) čímž vytvoříme fotovoltaický panel [12].

## 2.2 Technologie FV článků

FV články jsou neustále zdokonalovány, se snahou zvýšení jejich celkové účinnosti a snížení nákladů na výrobu. V dnešní době rozlišujeme hned několik článků, které se liší barvou, účinností a cenou.

### 2.2.1 Monokrystalické křemíkové články

Jak je již z názvu patrné, monokrystalické křemíkové články jsou tvořeny pouze jedním (velice čistým) krystalem křemíku. Jak je zobrazeno na *Obr. 2-1*, tyto články se vyrábějí nejčastěji ve tvaru osmiúhelníku (čtverce se zkosenými hranami) s rozměry hrany 100 mm, 125 mm a 150 mm. Jsou zejména černé nebo tmavě modré barvy, což je způsobeno rozdílnými druhy antireflexních vrstev. Jedná se o nejhojněji využívaný typ fotovoltaických článků jejichž energetická návratnost (EnergyPaybackTime) je v průměru 2,7 let. Průměrná účinnost tohoto typu článku dosahuje zhruba 15-17 % [3].



*Obr. 2-1 Monokrystalické křemíkové články [14]*

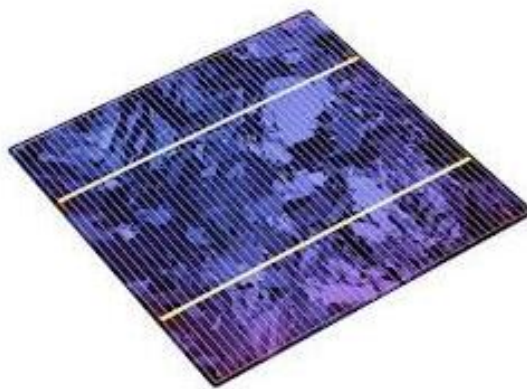
Pro výrobu monokrystalických článků se využívá několik procesů. Ten nejvyužívanější z nich se nazývá Czokralskiho proces [3]. V úvodu tohoto procesu

dochází k roztavení složek krystalů, které jsou umístěné v nádobě schopné odolávat vysokým teplotám. Tato nádoba je vložena do pece, v níž je pečlivě sledovaná teplota pomocí několika senzorů. Pokud by během procesu došlo k nechtěnému nárůstu či poklesu teploty pod/nad požadovanou hodnotu, proces selže a musel by se opakovat. Při překročení teploty by došlo k předčasnému rozpuštění zárodka krystalu, naopak při nízké teplotě by docházelo k předčasné krystalizaci rozpuštěného média s následným popraskáním. Po zahřátí na požadovanou úroveň je do nádoby mechanicky zpuštěna tyč se zárodkem krystalu. Poté dochází k velice pomalému povytahování a otáčení tyče, přičemž na tyči vzniká tuhá matrice. Výsledným produktem je tuhý materiál, který se upraví na požadovaný tvar a velikost. Většinou se jedná o tence nařezané destičky o průměru 0,3 mm, na které je nanosená kontaktní a antireflexní vrstva [4].

U dalšího procesu dochází k ohřevu drceného křemene v obloukové peci, kde dochází k rozkladu substrátu na křemík a oxid uhličitý. Čistota křemíku, který je vytvořen touto metodou se však pohybuje okolo 1 %, což je pro výrobu fotovoltaických článků zcela nedostačující. Proto je nutné tuto metodu několikrát opakovat, přičemž čistota křemíku stoupá s každým další provedeným procesem.

### 2.2.2 Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické křemíkové články jsou velice snadno rozlišitelné od monokrystalických křemíkových článků, a to zejména svou zřetelnou krystalickou strukturou (*Obr. 2-2*).



*Obr. 2-2 Polykrystalický křemíkový článek [16]*



Rozměry těchto panelů se vyrábí ve velikostech 100 mm, 125 mm, 150 mm, 156 mm a 210 mm. Na výrobu se využívá křemík, který však není tak čistý jako u monokrystalických článků. Náklady na výrobu jsou nižší než u monokrystalických FV článků a jejich účinnost se pohybuje okolo 15 %. Nižší účinnost je způsobena zejména rekombinací na hranách krystalů. [3]

Výroba polykrystalických solárních článků probíhá roztavením a ochlazováním granulí křemíku umístěných v tavících pecích. V prvním kroku je křemík umístěn do nádoby, která je schopna odolávat vysokým teplotám a poté je v peci roztaven na tekutou hmotu. Následně je hmota postupně ochlazována, přičemž dochází k její krystalizaci. Po ochlazení je odlitek nařezán na požadovanou velikost a tvar. Bloky nařezané z odlitku mají většinou tvar cihly a jsou z nich dále řezány tenké plátky neboli wafery<sup>1</sup>. [11]

### 2.2.3 Amorfni křemíkové články

*„Amorfni křemíkové články netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, ale neuspořádanou síť.“* [3] Dále taktéž obsahují určitý podíl vodíku. V porovnání s monokrystalickými a polykrystalickými články spotřebují během výroby mnohem méně materiálu, což je jedna z výhod z hlediska úspory nákladů.



*Obr. 2-3 Amorfni křemíkový článek [30]*

---

<sup>1</sup> wafer – disk kruhového tvaru z vysoce čistého křemíkového materiálu. [25]

Proces výroby spočívá v rozkladu sloučenin křemíku nebo silanu ve vodíkové atmosféře a výsledkem je velice tenká vrstva křemíku, která je nanesena na skleněné či plastové podložky. Struktura FV panelu je vyobrazena na *Obr. 2-3*. Využívají se například pro kalkulačky nebo nabíjení akumulátorů a pro jejich ohebnost taky jako krycí fólie na střechy nebo ostatní podkladové materiály. Dále disponují schopností fungovat i při velice nízkých úrovních osvětlení (200 luxů).

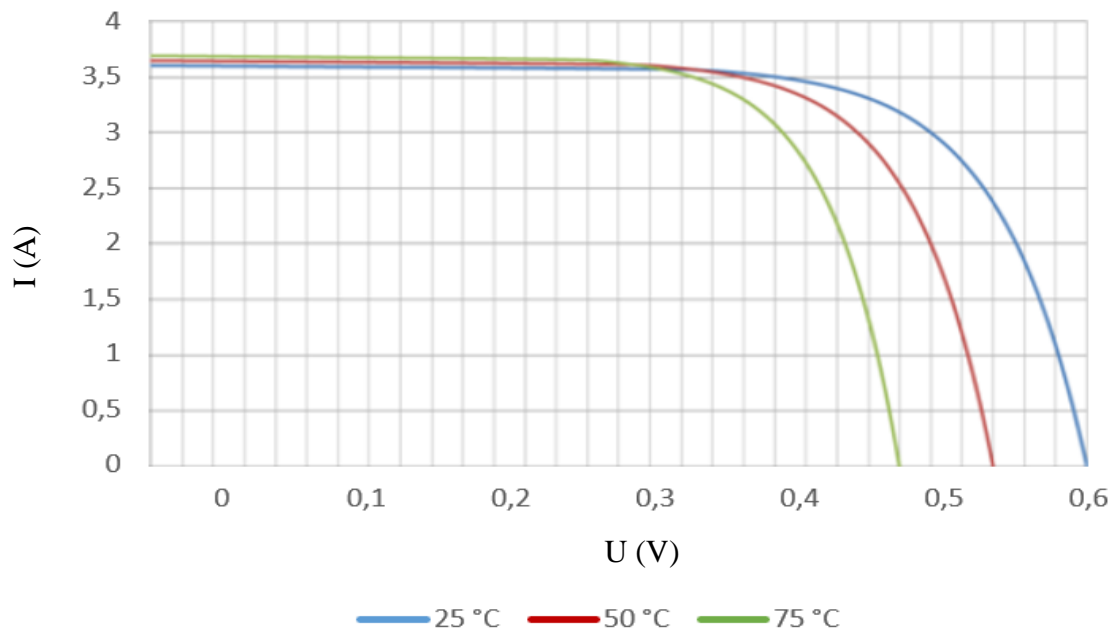
Podstatně nižší cena těchto panelů indikuje, že jejich výsledná účinnost je nižší, než je tomu u monokrystalických a polykrystalických článků. To je způsobeno nepravidelnou strukturou s množstvím poruch. Některé atomy křemíku kolem sebe nemají sousedy, se kterými by mohly utvořit vazbu. [3]

### 3. Faktory ovlivňující výkon fotovoltaických modulů

Vliv na celkový výkon FV panelů může mít mnoho faktorů. Mezi některé z nich patří například vliv okolní teploty, kdy může docházet k přehřívání panelů. Dále se jedná o celkové či částečné zastínění panelů nebo intenzitu slunečního záření, která závisí na geografické oblasti. V neposlední řadě může výkonnost ovlivnit čistota, respektive kvalita ovzduší, která má taktéž mírný dopad na celkovou výnosnost.

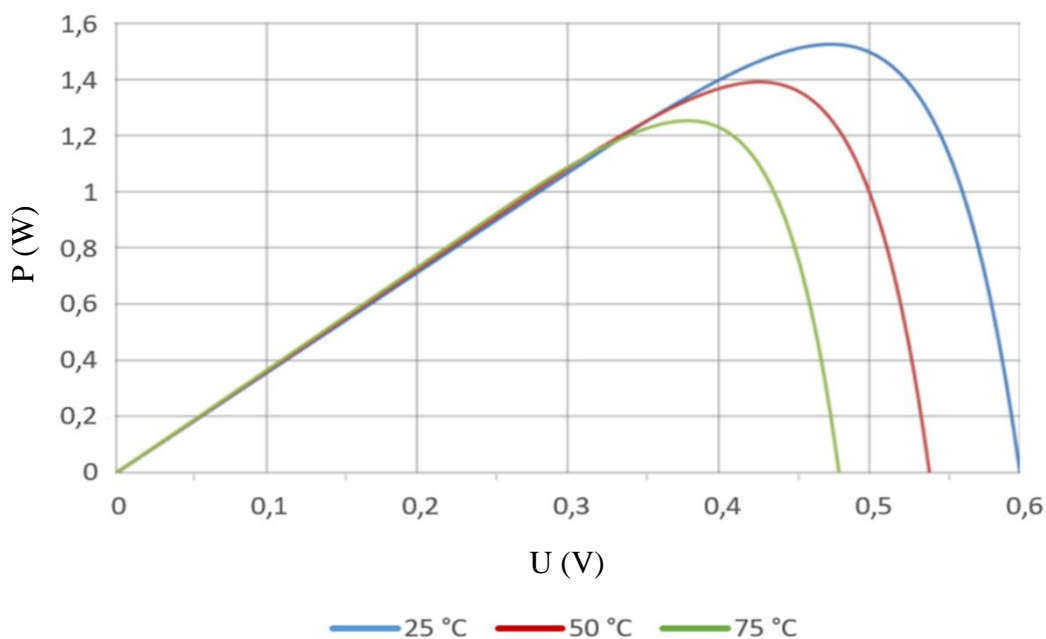
#### 3.1 Teplotní vliv

S dlouhodobým působením slunečního záření na FV panely dochází během dlouhých letních dnů k růstu jejich teploty. Veškerá sluneční energie není převedena na energii elektrickou, ale energii tepelnou. To způsobuje nadměrné zahřívání FV panelů a ovlivňuje nejen jejich výstupní svorkové napětí (*Obr. 3-1*), ale taktéž celkový výkon dodávaný do sítě (*Obr. 3-2*) (proud nakrátko je teplotou ovlivněn pouze minimálně). Teploty panelů mohou během letních dnů dosáhnout až 80 °C, což vede ke značnému zhoršení jejich vlastností.



*Obr. 3-1 Teplotní vliv na V-A charakteristiku FV článku [3]*

Při takto vysokých teplotách dochází ve střídači k omezení výkonu panelů, aby nedošlo k jejich poškození. Měřeními bylo zjištěno, že zvýšení teploty panelu o 1 °C vede ke snížení účinnosti o 0,6 %. Panely mohou tedy během letních dnů přijít až o 25 % účinnosti. Panely obecně dosahují nejvyšší účinnosti při chladných a jasných dnech. Maximální jmenovitý výkon je pak měřen při 25 °C při osvitu 1000 w/m<sup>2</sup> [3].



Obr. 3-2 Teplotní vliv na výkon FV článku [3]

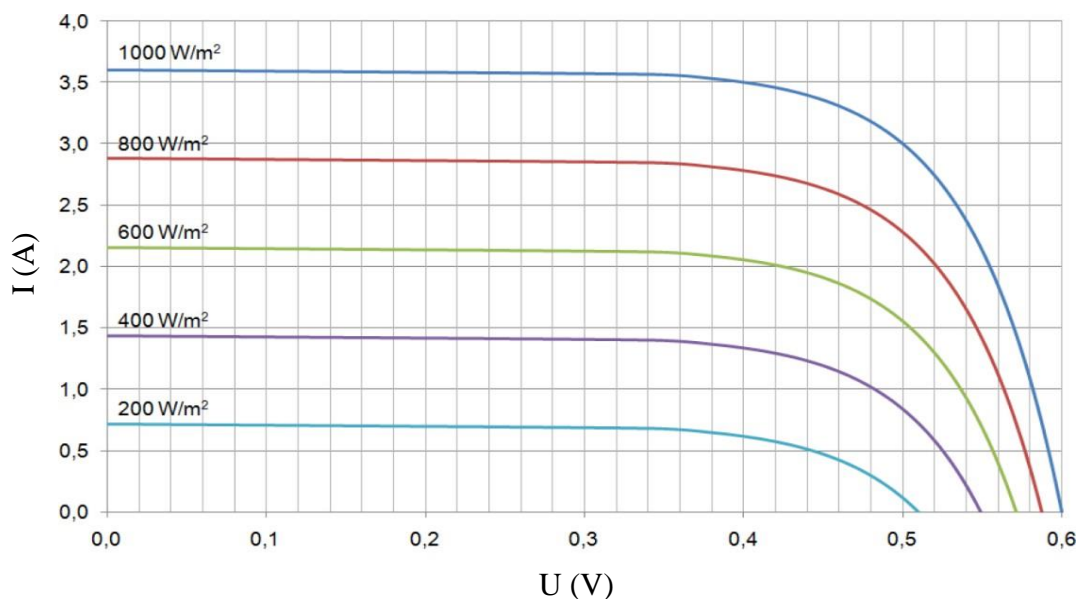
### 3.2 Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření je udávána ve W/m<sup>2</sup> a jedná se o množství energie dopadající na 1m<sup>2</sup> plochy. V rámci ovlivnění produkce FV elektráren se jedná o nejpodstatnější ukazatel. Sluneční záření dělíme na přímé (při jasné obloze dopadá sluneční záření na zemský povrch, aniž by změnilo směr) a difúzní (dojde ke změně směru záření odrazem od mraků nebo srážkami z molekuly obsaženými v atmosféře). [3]

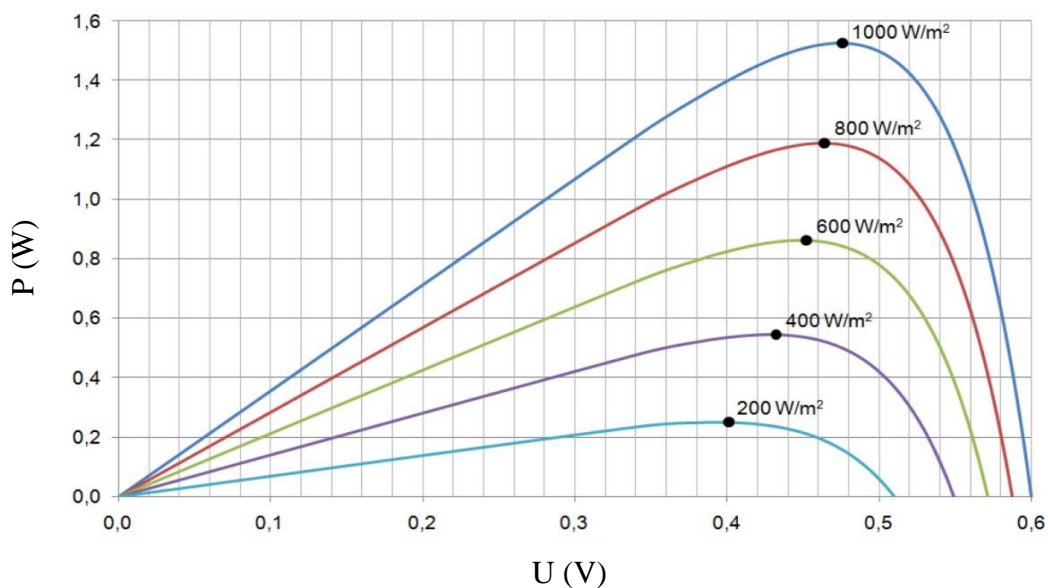
$$I = I_p + I_D \quad [A] \quad (3.1)$$

I	intenzita slunečního záření	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>p</sub>	intenzita přímého slunečního záření	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>D</sub>	intenzita difúzního záření	[W/m <sup>2</sup> ]

Přímého záření využívají především monokrystalické a polykrystalické křemíkové články. Monokrystalické články využijí až 90 % přímé složky záření a polykrystalické články až 75 %. Toto záření jsme dále schopni koncentrovat a zvýšit tak celkový výkon a účinnost FV elektráren. Největší podíl difúzní složky (80-90 %) jsou na druhou stranu schopny využít články z amorfního křemíku. Vliv intenzity slunečního záření na voltampérovou charakteristiku a výkon FV článku jsou vyobrazeny na Obr. 3-3 a Obr. 3-4. [3]



Obr. 3-3 Vliv intenzity slunečního záření na VA charakteristiku FV článku [3]



Obr. 3-4 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [3]

### 3.3 Zastínění

Zastínění je dalším nežádoucím jevem, který významně ovlivňuje výkon FV panelů. K zastínění může dojít z různých důvodů. Jeden z nich souvisí s atmosférickými podmínkami, jako je prach. Dalším důvodem jsou stavby, stromy, či jiné objekty nacházející se v blízkosti FV panelů, které mohou v průběhu dne částečně či úplně zastínit FV panely.

Sebemensi zastínění FV panelů vede v konečném důsledku k výraznému poklesu výkonu. Důvodem je, že FV panel se skládá z řady jednotlivých FV článků zapojených do série a proudový výstup je omezen na proud procházející nejslabším článkem. Pokud tedy dojde k celkovému zastínění jednoho článku, výstupní výkon bude nulový. Zastíněný článek se bude chovat jako odpor a vyrobená elektrická energie okolními články bude přeměněna na teplo. [3]

Aby nedocházelo k poklesu výkonu a poškození FV článků vlivem tepla, jsou do FV panelů integrovány přemostující (bypass) diody. Funkce diod spočívá v odpojení článků, v případě že dojde k jejich zastínění. Nevýhodou bypass diod je, že způsobují ztrátový proud, což je jedním z důvodů, proč se nezapojují ke každému FV článku individuálně. Dnes se bypass diody využívají k překlenutí 18–24 FV článků (2–3 diody na panel) a jsou integrovány vně panelu nebo spojovací skříňky. [31]

*„Využitím polovodičové technologie mohou být bypassové diody také integrovány přímo do solárních článků. Solární panely s takto integrovanými diodami vykazují menší ztráty vlivem nesouměrného ozáření, ale jejich cena je stále značně vysoká.“ [31]*

## 4. Konstrukční uspořádání solárních panelů

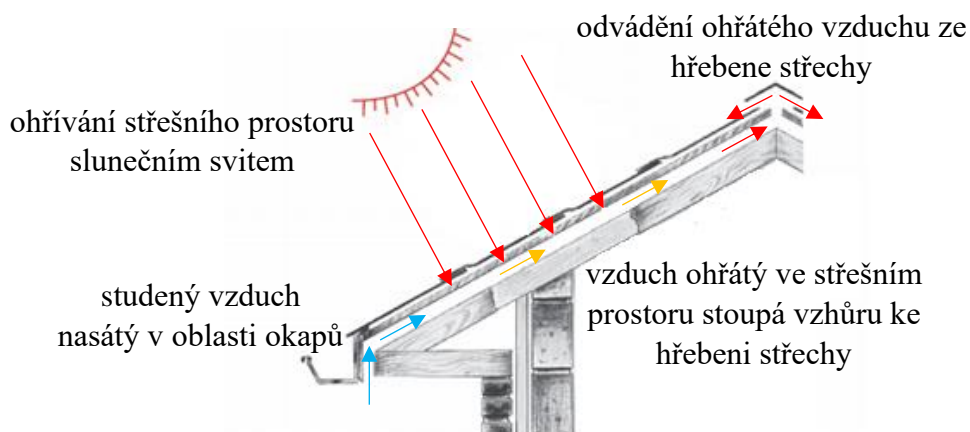
Provozní teplota patří mezi nejdůležitější faktory v kontextu účinnosti solárních panelů a taktéž FV střešních tašek. V dnešní době je mnohými horké podnebí spojováno s lepší účinností FV systémů, ale toto vnímání je chybné. Ve skutečnosti je vysoká okolní teplota příčinou poklesu výkonu a může mít vliv na snížení celkových výnosů energie.

Upevňování solárních panelů na střechy domů je v dnešní době velmi rozšířené. Velkou výhodou je zejména úspora místa na uživatelském pozemku a levnější upevnění k již existující střešní struktuře. Mezi nevýhody se řadí hlavně vyšší teplota panelů, která je způsobena hromaděním tepla v okolí střechy a může v horkých letních dnech znamenat nižší účinnost. Prvním z pasivních druhů chlazení je zanechání minimálního rozestupu mezi střechou a panely, který činí 15 cm. Na druhou stranu volba příliš velkého rozestupu by mohla vézt k hromadění listů, větviček a dalších předmětů pod panely a mohlo by dojít k jejich poškození. Mezi další způsoby snížení teploty se řadí odstín střešní krytiny. Světlá nebo bílá barva totiž odráží sluneční světlo a nezahřívají se do vysokých teplot jako tmavé odstíny střešních krytin. Mezi aktivní způsoby chlazení se řadí například použití ventilátorů vyfukujících vzduch přes panely nebo cirkulace studené vody skrze panely. Volba a konstrukční řešení solárních panelů tedy silně závisí na podnebí, ve kterém bude daný systém pracovat. Rozdíly teplot mezi střešní a pozemní konstrukcí mohou činit až 10 °C, což ve výsledné účinnosti hraje velkou roli [20].

### 4.1 Odvod tepla z okolí FV panelů pomocí odvětrávání střešních prostor

Další metodou odvodu tepla z oblasti FV panelů je odvětrávání. Odvětrávání je velice důležité a uplatní se zejména v létě, kdy teploty dosahují vysokých hodnot. Tato pasivní funkce je jednou z možností, jak zamezit přehřívání FV panelů a zvýšit tak jejich účinnost. Odvětrávání můžeme popsat jako prostor (průduch) mezi střešní krytinou a prostorem podkroví, který zabraňuje přehřívání střešní krytiny, odvádí vlhkost a snižuje rozdíly v teplotách (*Obr. 4-1*). Při konstrukčním řešení střechy je proto nezbytné klást na odvětrávání velký důraz, zejména když zde uvažujeme o umístění FV panelů, jejichž účinnost je závislá na okolní teplotě [17].

Odvětrávaná mezera je vytvořena položením takzvaných kontratát na krokve. Šířka kontratát se liší, nejčastěji se však používá šířka 4 cm. Do takto vytvořeného prostoru se z důvodu správné cirkulace vzduchu nekládají žádné předměty, které by mohly tuto funkci narušit. Tento cirkulační proces je zajištěn vytvořením mezery v oblasti okapů, kde je vzduch nasáván a poté je odváděn ze hřebene [17].



Obr. 4-1 Odvětrávání střechy [17]

Střechy, které vzduchovou mezeru nemají, mohou využít odvětrávání za pomoci větracích tašek, větracích pásů nebo ventilačních turbín. Větrací tašky se umísťují do druhé řady od hřebene a dále je jejich rozmístění stanoveno výpočtem podle plochy střechy. Tyto tašky zajišťují cirkulaci vzduchu od okapového prostoru až po hřeben střechy a průměr odvětrávacích průřezů se pohybuje od 12–25 cm<sup>2</sup>. Dalším odvětrávacím prvkem je větrací pás, který je umístěn na hřebenu střechy. Kromě zajištění odvádění vzduchu je jeho výhodou dobrá tvarovatelnost a je vyráběn z hliníku nebo kovu [18]. Posledním odvětrávacím prvkem jsou ventilační turbíny. Funkce těchto turbín spočívá ve vytváření podtlaku a odsávání vzduchu ze střešních prostorů. Ventilační turbíny jsou tvořeny rotační hlavicí (složenou z lopatek a ložisek), stavitelným kloubem zajišťujícím vodorovnost rotační hlavicí (uplatňuje se zejména v šikmých střeších) a univerzální šestihrannou základnou. Tyto turbíny jsou velice stabilní a jsou schopny odolávat větru v nárazech až 200 km/hod [19].



## 4.2 Další metody odvádění tepla

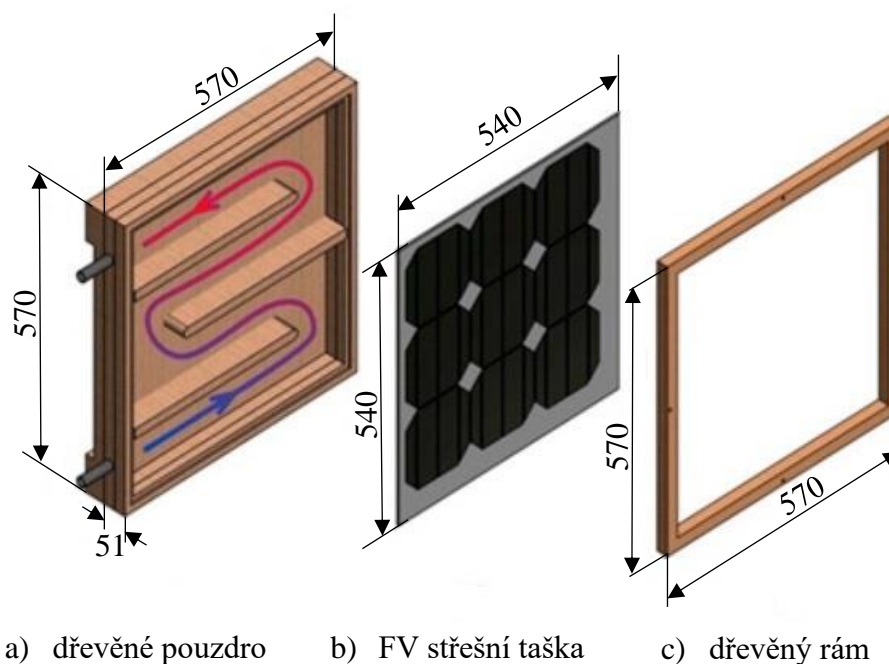
Teo a kol. [21] ve svém výzkumu předvedli systém, jenž chladí FV panely použitím vzduchových kanálů, do kterých je pracovní médium vháněno pomocí dmyhadla. Pro vyšší účinnost tohoto experimentu byla do potrubí namontována žebra, která umožňují rychlejší přenos tepla z FV panelů na pohybující se médium. K rovnoměrné distribuci proudu vzduchu byl následně použit vstupní a výstupní rozdělovač. Díky tomuto aktivnímu způsobu chlazení se v průběhu experimentu podařilo dosáhnout elektrické účinnosti 12–14 %, zatímco panely neochlazované dosahovaly účinnosti 8–9 %. Pracovní teplota panelů se podařila snížit o 30 °C a to z 68 °C na 38 °C. Teo a kol. taktéž ve své práci uvádí, že optimální rychlost proudění pracovního média (v tomto případě vzduchu) je 0,055 kg/s. Během této rychlosti bylo v experimentu dosaženo nejlepších výsledků, co se absorpce tepla z FV modulů týče [21].

Při dalším výzkumu byla pro účel chlazení použita voda. Rahman a kol. [22] demonstrovali účinnost tohoto chlazení na FV panelu vyrobeného z monokrystalických křemíkových článků. K chlazení byl použit žebrovaný výměník tepla, vyroben z měděné trubky o průměru 22 mm. Během testování klesla teplota povrchu panelu z 88,1 °C na 65,75 °C a účinnost se zvýšila z 4,5 % na 5,73 % [22]. Výzkum spojený s chlazením za použití vody jako pracovního média provedl taktéž Hachiha a kol. [23]. Při experimentu bylo zkoumáno, zdali je lepší a účinnější chladit přední, nebo zadní stranu panelu. Dosáhnuté výsledky poukazují, že chlazení přední strany je účinnější. Při ochlazování zadní strany bylo dosaženo ochlazení pouze o 2 %, naopak u chlazení přední strany klesla teplota o 11 %. Jako nejideálnější řešení je chlazení obou stran zároveň, přičemž došlo ke snížení teploty o 18 % a zvýšení elektrické účinnosti o 4 %.

Způsobům ochlazování se taktéž věnovali Wajs a kol., kteří se však věnují výzkumu ochlazování FV střešních tašek [24]. Tento experiment je téměř shodný s již dříve popsáním odvodem tepla pomocí odvětrávání, který je běžně využíván. Zde je však dosaženo konkrétních a detailnějších výsledků pro další výzkum.

Při tomto experimentu byla FV střešní taška umístěna do speciálního dřevěného pláště, který podle Wajse a kol. nejlépe napodobuje dřevěný rám, na kterém jsou FV střešní tašky běžně upevněny. Pro imitaci slunečního světla byl použit simulátor, který byl schopen nasimulovat reprodukovatelné hodnoty slunečního záření, a navíc úpravou

napájecího napětí bylo možno přesně řídit světelný paprsek. Pro tento účel bylo použito 20 žárovek o výkonu 10 kW. Toto simulované sluneční záření bylo měřeno pomocí solimetru<sup>2</sup>, který byl umístěn na dřevěném pouzdře kolmo k slunečnímu simulátoru. Nosná konstrukce simulátoru měla sférický tvar, jež zajišťoval zaostření paprsků na zkoumanou plochu a byla vzdálená 1,5 m od FV střešní tašky. Dřevěné pouzdro, které můžeme vidět na *Obr. 4-2* tvoří se vstupem a výstupem kanál, kterým proudí vzduch průměrnou rychlostí 3 m/s a ochlazuje tak zadní stěnu tašky. Wajs a kol. taktéž tvrdí, že vyšší hodnota rychlosti vzduchu zajišťuje účinnější chlazení panelů. Pro lepší přenos tepla a směrování proudu vzduchu, byla použita již dříve popsaná žebra. Během experimentu byla taška ochlazená ze 79,6 °C na 72,2 °C což znamenalo zvýšení výkonu o 9 % a zvýšení účinnosti o 9,5 %. Maximální celková účinnost chlazené FV tašky byla 23,5 %. Wajs a kol. tímto experimentem naznačují nutnost chlazení FV střešních tašek za nepříznivých pracovních podmínek [24].



*Obr. 4-2 3D model pláště FV střešní tašky [24]*

<sup>2</sup> solimetr – přístroj používaný k měření toku slunečního záření [26]

## 5. Vznik proudění vzduchu a jeho monitorování

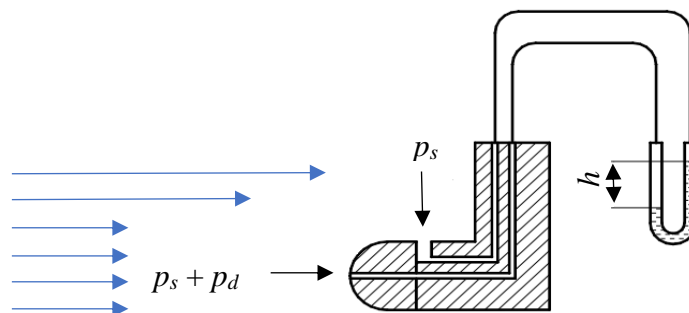
Hlavním důvodem pohybu vzduchu a následným vznikem větru je síla tlakového gradientu, která je zapříčiněna rozdílem tlaků vzduchu na odlišných místech naší planety. Vítr se pohybuje z míst vyššího tlaku vzduchu do míst s nižším tlakem vzduchu, přičemž síla tlakového gradientu se snaží tyto rozdíly eliminovat. Rozdíly v tlaku vzduchu jsou zapříčiněny zejména nesteromným zahříváním vzduchu v odlišných částech světa, kdy teplejší vzduch je lehčí a chladnější vzduch je těžší. Čím větší je rozdíl těchto teplot, tím silnější je vítr. Rychlost větru se udává zejména v metrech za sekundu (někdy v uzlech nebo kilometrech za hodinu). Přístroje, které se využívají k měření rychlosti proudění vzduchu (rychlosti a směru proudění vzduchu) se nazývají anemometry [1].

### 5.1 Rychlostní sondy

Rychlostní sondy jsou zařízení používaná k měření průtoků vzduchu, par, kouřových plynů nebo tekutin. Pro měření rychlosti proudění se využívá snímání odrazu laserového paprsku od částic v měřeném médiu nebo změna kinetické energie na tlakovou. Mezi rychlostní sondy patří např. Pitotova trubice, Prandtlova trubice, žhavený anemometr nebo Laser-Doplerův anemometr [2].

### 5.2 Pitotova trubice

Mezi jednu z nejstarších a nejjednodušších rychlostních sond patří Pitotova trubice, jež původní tvar byl navržen v roce 1732. Jedná se o trubici, jejíž hrdlo je zahnuto o  $90^\circ$  a je umístěno kolmo ke směru proudění měřeného média (*Obr. 5-1*) [2].



*Obr. 5-1 Pitotova trubice [15]*

Pomocí Pitotovy trubice snímáme statický tlak ( $p_s$ ) a celkový tlak ( $p_c$ ). Výsledný tlak je součtem statického a dynamického tlaku [10].

$$p_c = p_s + p_d = p_s + \frac{\rho \cdot v^2}{2} [\text{Pa}] \quad (5.1)$$

### 5.3 Prandtlova trubice

Prandtlova trubice je pozměněná Pitotova trubice. U Prandtlovy trubice se měří statický i celkový tlak v jednom místě. Celkový tlak je měřen otvorem situovaným na konci trubice a je natočen proti směru proudění snímaného média. Statický tlak je pak měřen v otvoru situovaném v kulovité části měřící sondy. Diferenciální snímač poté měří rozdíl obou tlaků, což je dynamický tlak, který závisí na rychlosti proudění a hustotě plynu. Nejvyužívanější tvar Prandtlovy sondy je válcovitý, nejideálnější je však paraboloid, který je velice obtížný z hlediska výroby [2].

Mezi výhody měření pomocí Prandtlovy trubice patří zejména jednoduchost. Je mechanicky odolná, stabilní, dobře odolává vnějším vlivům, vysokým teplotám a silně znečištěným plynům. Kontrola funkčnosti je ve většině případů velice rychlá, jelikož Prandtlova trubice neobsahuje žádná ložiska, lopatky ani další části, u kterých by mohlo dojít k zanesení či jiné poruše [5].

### 5.4 Žhavený anemometr

Pro měření žhaveným anemometrem se používá tenký drát (v řádech mikrometrů), který se průchozím elektrickým proudem zahřeje na konstantní teplotu, která je vyšší, než je teplota okolí. Nejčastěji využívaný materiál je wolfram, který velice dobře odolává vysokým teplotám a zachovává si svoji pevnost. Při nižších teplotách dobře odolává vlhkosti, působení vody a atmosférickým plynům. Mezi výhody této metody patří vysoká citlivost, velký rozsah rychlostí a relativně nízká cena. Nevýhody této metody jsou snadné znečištění či zanesení, křehkost sondy a nemožnost měřit směr vzduchu [2].

Při měření rychlosti proudícího vzduchu dochází ke změně odvodu tepla do okolního prostředí a tím k rozdílné teplotě a výslednému odporu drátu. Díky závislosti elektrického

odporu drátu na teplotě okolí jsme schopni způsobené změny odporu vypočítat z Ohmova zákona (viz rovnice 5.2).

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (5.2)$$

R elektrický odpor [Ω]

U elektrické napětí [V]

I elektrický proud [A]

Při určování rychlosti vzduchu je pomocí řídicího obvodu udržovaná jedna z výše uvedených veličin na konstantní hodnotě. Pomocí spotřebované energie potřebné k udržení jedné z veličin na konstantní hodnotě můžeme určit rychlost proudícího vzduchu [13].

### 5.5 Tří-miskový anemometr

Tří-miskový anemometr byl vyvinut Kanadánem Johnem Pattersonem roku 1926. Jedná se o mechanický snímač rychlosti větru, který se skládá ze tří hemisférických ploch rovnoměrně rozmístěných na hřídeli. Miskové anemometry jsou schopny měřit pouze rychlost, nikoliv směr větru. Pro měření směru větru je zapotřebí namontování větrné směrovky.

Jednotlivé misky anemometru vytváří maximální točivý moment, když horizontální rameno svírá úhel 45° s proudem vzduchu. Jeho výhodou je proto konstantní točivý moment, rychlá reakce na změny proudění vzduchu, nízká cena a vysoká přesnost. Mezi nevýhody tohoto typu anemometru patří nemožnost měření směru proudění, možnost opotřebení mechanických částí a setrvačnost, což způsobuje obtíže při měření nárazového větru. [13]

## 6. Návrh metodiky měření a dlouhodobého ukládání dat

V této kapitole budou porovnány snímače rychlosti vzduchu ve třech různých cenových kategoriích. Porovnávány budou z hlediska funkčnosti, ceny, jejich výhod a nevýhod. Jelikož levnější druhy anemometrů nemají možnost sběru a dlouhodobého uchovávání dat, budou zde popsány taktéž možnosti připojení externích sběrnic. V závěru kapitoly bude popsáno rozmístění a způsob montáže zvolených měřicích přístrojů a délka sběru dat měřených veličin.

### 6.1 Miskový Anemometr C552

Prvním uvažovaným anemometrem je miskový anemometr C552. Jedná se o senzor rychlosti větru z hliníku, skládající se z kovového těla, tří otočných misek a konektoru s aretací (Obr. 6-1). Na hřídeli senzoru je upevněna hvězdice s miskami vyrobenými z polykarbonátu, které slouží k roztočení hřídele. Tento senzor je robustní a je ho možno použít jak ve vnitřních, tak venkovních prostorách.



Obr. 6-1 Miskový anemometr C552 [27]

Mezi jeho výhody patří zejména vysoká spolehlivost, dlouhá životnost, možnost přenosu dat na velkou vzdálenost, odolnost proti rušení, nízká cena a rychlé přizpůsobování se změnám rychlosti větru. Mezi nevýhody tohoto typu anemometru patří setrvačnost rotující části (což může mít vliv na přesnost měření) a taktéž nemožnost měření směru proudění vzduchu. Snímání směru proudění vzduchu by bylo možné při

doplnění anemometru o větrnou směrovku. Rychlost větru je snímána v jednotkách m/s. Detailnější specifikace nalezneme v *Tab. 6–1*. [27]

*Tab. 6-1 Specifikace anemometru C552 [27]*

<b>Napájení</b>	9–24 V DC
<b>Analogový výstup</b>	0–5 V DC
<b>Spotřeba</b>	< 0,3 W
<b>Rozsah měření</b>	0–30 m/s
<b>Počátek měření</b>	od 0,4 m/s
<b>Rozlišení</b>	0,1 m/s
<b>Přesnost</b>	0,3 %
<b>Délka kabelu</b>	5,7 m
<b>Max. délka kabelu</b>	do 1000 m
<b>Pracovní teplota</b>	-40 až +80 °C
<b>Pracovní vlhkost</b>	35–85 %
<b>Hmotnost</b>	248 g

## 6.2 Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660

Druhým uvažovaným snímačem rychlosti větru je bezdrátový anemometr Mobile Alerts MA 10660 od TechnoLine. Jedná se o miskový anemometr, který umožňuje okamžité sledování snímaných veličin na mobilním telefonu. Na *Obr. 6–2* můžeme vidět, že Technoline anemometr se skládá z pěti základních komponentů: snímače směru větru, solárního článku, tří miskových snímačů rychlosti větru, pravoúhlého adaptéru a násady držáku. Senzor rychlosti větru nemá vyměnitelné baterie, a proto je napájen ze solárního panelu, který automaticky napájí vestavěný akumulátor.



*Obr. 6-2 Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660 [32]*

Při zprovoznování produktu je nutné v prvním kroku naskenovat QR kód obsažený v balení snímače. Po naskenování QR kódu dojde k přidání tohoto snímače do mobilní aplikace Mobile-Alerts (Obr.6–3).

Mobile-Alert je domácí monitorovací systém, který funguje na bázi jednoho centrálního snímače, který může být rozšířen o další přídavné prvky (snímač teploty, snímač vlhkosti vzduchu nebo srážkoměr). Po připojení k internetu na našem mobilním zařízení je možno sledovat naměřená data kdekoliv na světě. Na mobilní aplikaci jsme schopni sledovat data za uplynulou hodinu, 24 hodin, 30 dní a taktéž jsme schopni tato data ukládat až po dobu 18 měsíců pro další zpracování. [32]



Obr. 6-3 Mobilní aplikace Mobile-Alerts [32]

Podrobnější specifikace pro Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660 nalezneme v Tab. 6–2. [32]

Tab. 6-2 Specifikace anemometru Technoline Mobile-Alerts MA10660 [32]

<b>Rozsah měření rychlosti větru/tolerance</b>	0 až 50 m/s (0 až 180 km/h). 5 % ±0,5 m/s
<b>Měření směru větru</b>	16 směrů
<b>Frekvence přenosu</b>	868 MHz
<b>Dosah signálu bezdrátového čidla</b>	Až 100 m v otevřeném prostoru
<b>Interval přenosu dat</b>	7 minut
<b>Napájení</b>	Solární panel s vestavěnými nabíjecími baterkami
<b>Rozměry</b>	298 x 180 x 200 mm
<b>Hmotnost</b>	762 g



### 6.3 Lopatkový Anemometr PCE, PCE-ADL 11

Třetím a nejdražším z porovnávaných snímačů rychlosti větru je miskový anemometr PCE-ADL 11 (*Obr. 6-4*). Jedná se o tří miskový anemometr, který je napájen pomocí 3,6 V lithiové baterie. Dlouhodobě naměřená data jsou ukládána na interní paměť snímače a je k nim možno přistupovat skrze rozhraní USB. Pokud dojde k vybití baterie snímače, datalogger neztratí žádná uložená data, avšak v případě, že budeme chtít k datům přistoupit, je nutno baterii vyměnit. Jednotlivé konfigurace anemometru jako například výběr jednotek, ve kterých bude daná veličina snímána, jsme schopni provádět skrze dodaný software. Další výhodou oproti dříve zmiňovaným snímačům je možnost nastavení délky intervalů, ve kterých bude vítr měřen. Datalogger umístěn vně anemometru je schopen pojmout až 60 000 naměřených hodnot a po dokončení série měření jsme schopni data načíst do počítače a vykreslit grafické závislosti.

Hřídel, na které jsou upevněny misky, reaguje i na velmi nízké rychlosti proudění a měření je proto velice přesné. [28]



*Obr. 6-4 Miskový anemometr PCE-ADL 11 [28]*

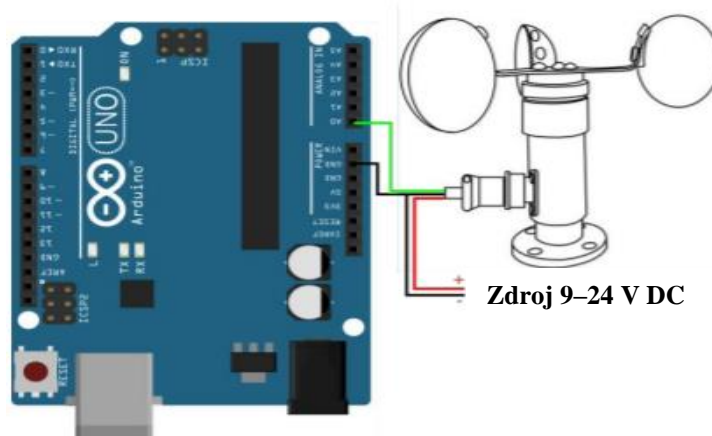
K anemometru je taktéž možno dokoupit montážní držák, ke kterému je anemometr připevněn pomocí závitu na spodní straně (*Obr. 6-5*). [28]



*Obr. 6-5 Montážní držák na anemometr PCE-ADL 11 [28]*

## 6.4 Arduino Shield

Na *Obr. 6–6* můžeme vidět připojení miskového anemometru C552 k Arduino Shieldu<sup>3</sup> za pomoci komunikačního kabelu. [27]



*Obr. 6-6 Propojení miskového anemometru C552 z Arduino Shieldem [27]*

Pro výpočet rychlosti větru se používá rovnice 6.1:

$$v = 6 * U \text{ [m/s]} \quad (6.1)$$

v rychlost větru [m/s]

U výstupní napětí [V]

Sběr dat je v případě možnosti připojení Ethernetu realizován za pomoci Arduino Ethernet Shieldu (viz *Obr. 6–7*). Shield je připojen k síti přes standardní konektor RJ-45 a data jsou ukládána na MicroSD paměťovou kartu. Výhodou je především vzdálený přístup k dlouhodobě ukládaným datům.

V případě, že možnost připojení Ethernetu není možná, lze ke sběru dat využít Data Logger Shield (viz *Obr. 6–8*). Tento Shield se skládá z patice pro SD kartu, patice pro baterii (CR1220) konfigurovatelných indikačních LED diod, tlačítka reset a pájecího pole, které nám umožňuje připojení externích senzorů.

<sup>3</sup> shield – jedná se o hardware umístěný na Arduino desce, který desce dává konkrétní účel [27]



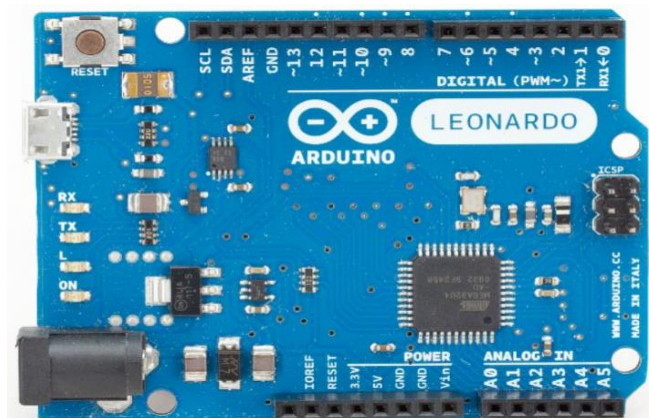
*Obr. 6-7 Arduino Ethernet Shield W5100R3 [27]*



*Obr. 6-8 Data Logger Shield [27]*

Oba zmíněné Shiedly však nelze použít samostatně. K oběma shieldům je potřeba zakoupit vývojový set Arduino, což je vývojový set určený pro studenty. Jedná se o desku s plošnými spoji osazenou hardwarem, které náleží doplňující schémata zapojení, diagramy a návody. Pro všechny typy plošných desek Arduino je typická modrá barva. Na *Obr. 6–9* můžeme vidět, jak vypadá jeden ze setů Arduino, v tomto případě Arduino Leonard.

Arduino Leonard obsahuje 20 digitálních vstupních / výstupních pinů s pracovní frekvencí až 16 MHz, micro USB konektor, napájecí konektor, ICSP konektor a resetovací tlačítko. Napájení tohoto micro PC je možno realizovat skrze vestavěný micro USB konektor nebo externím zdrojem (například baterií). Velikou výhodou Arduino Leonarda je vyvedení pinů, které mají podobu lišty s dutinkami. Zmiňované data loggery se proto do Leonarda jednoduše usazují. [27]



*Obr. 6-9 Arduino Leonardo vývojový kit [27]*

Shrnutí parametrů Arduino Leonard nalezneme v *Tab. 6–3*.

*Tab. 6-3 Specifikace Arduino Leonard [27]*

<b>Typ paměti</b>	Flash
<b>Velikost flash paměti</b>	32 kB
<b>Taktovací frekvence</b>	16 MHz
<b>SRAM</b>	2,5 kB
<b>EEPROM</b>	1 kB
<b>Provozní napětí</b>	5 V DC
<b>Analogové I/O piny</b>	12
<b>Digitální I/O piny</b>	20, 7 nabízí PWM výstup
<b>Vstupní napětí (doporučené)</b>	7–12 V
<b>Vstupní napětí (limitní)</b>	6–20 V
<b>Rozměry</b>	53,4 x 68,6 mm
<b>Hmotnost</b>	25 g

### **6.5 Teploměr vodotěsný – sonda DS 18B20 + adaptér pro Arduino**

Teplotní čidlo DS18B20 využívá ke komunikaci OneWire sběrnici, která umožňuje komunikovat s Arduino deskou pouze pomocí jednoho komunikačního pinu. Tuto sondu lze napájet pomocí externího zdroje nebo v případě využití tzv. parazitního zapojení může být napájen z datové linky. Každé teplotní čidlo má svůj unikátní 64 - bitový sériový kód, což nám v případě využití vícero teplotních čidel umožní snímat teplotu z několika míst najednou s využitím pouze jednoho digitálního pinu. DS18B20 je vyráběn v několika verzích, na *Obr. 6–10* můžeme vidět voděodolnou verzi, kterou budeme využívat ve venkovních podmínkách.



*Obr. 6-10 Sonda DS18B20 + adaptér pro Arduino [29]*

Jelikož se jedná o digitální snímač, nedochází k degradaci signálu i v případě delších vzdáleností. Komunikační protokol 1 - Wire je poměrně složitý a pro zprovoznění komunikace s jednotlivými čidly je zapotřebí dlouhý kód. Pro zjednodušení však můžeme využít knihovny DallasTemperature, čímž si ulehčíme finální čtení teploty ze senzorů. Specifikace pro teplotní čidlo nalezneme v *Tab. 6-4*. [29]

*Tab. 6-4 Specifikace sondy DS18B20 [29]*

<b>Typ</b>	NTC
<b>Napětí</b>	3,0 – 5,5 V
<b>Rozsah měření</b>	-55 až +125 °C
<b>Přesnost měření v rozsahu od</b>	-10 °C až +85 °C (± 0,5 °C)
<b>Zapojení</b>	Červená (VCC), žlutá (DATA), černá (GND)
<b>Délka sondy</b>	2 m

## 6.6 Technoline MA10001 Starter Set

Technoline MA 10001 Starter Set je centrální zařízení (brána), které umožňuje snímání veličin připojených periférií (v našem případě anemometru a teplotního čidla) a zobrazování veličin na mobilním zařízení (skrze aplikaci Mobile Alerts). Jak můžeme vidět na *Obr. 6-11*, tento základní set obsahuje teplotní čidlo a centrální snímač, který se propojí s routerem pomocí LAN kabelu pro následný přenos dat.



*Obr. 6-11 Technoline MA10001 a teplotní čidlo Technoline MA10100 [33]*

Veškeré periferie připojené k centrálnímu zařízení budou následně zobrazeny v mobilní aplikaci, kde budou moci být nastaveny nebo přejmenovány dle našich požadavků. K přidání periferie je potřeba pouze naskenovat QR kód do mobilní aplikace. K centrálnímu zařízení je možno připojit a snímat hodnoty až z 50 externích čidel, u kterých je dále možno nastavit teplotní alarm v případě překročení mezních hodnot jednotlivých čidel. Naměřené hodnoty lze následně v paměti uchovat až po dobu 90 dní. Centrální zařízení je napájeno pomocí síťového adaptéru 20 V, 100 mA a v průběhu snímání veličin informuje uživatele o stavu baterií v jednotlivých čidlech. [33]

## **6.7 Teplotní čidlo Technoline MA10100**

Technoline MA10100 je teplotní čidlo, které snímá teplotu v rozmezí  $-29,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $59,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rozměry čidla jsou  $86 \times 16 \times 32\text{ mm}$ . Čidlo komunikuje s centrálním zařízením bezdrátově s intervalem přenosu dat 7 min. [8]

## **6.8 Pyranometr SG420**

Pyranometr je zařízení, snímající intenzitu globálního slunečního záření. Fungování tohoto čidla je založeno na principu teplotní difference, která vzniká na bílých a černých ploškách umístěných pod skleněnou kopulí, nacházejících se na horní straně snímače. Černé plošky absorbují dopadající sluneční záření mnohem více než bílé plošky, které toto záření částečně odráží. Během absorpce slunečního záření dochází k zahřívání jednotlivých černo-bílých plošek, pod kterými jsou umístěny termočlánky snímající rozdíly teplot. Intenzita slunečního záření je přímo úměrná napětí, které vzniká na jednotlivých termočláncích. Typ SG420, který budeme pro tento účel využívat se skládá ze 12 termočláneků zapojených do série.

Na spodní straně čidla (viz *Obr. 6–12*) se nachází výměnná šroubovací vysoušecí vložka s barevným indikátorem účinnosti a připojovací konektor. Modrá barva vysoušecí vložky indikuje ideální podmínky pro snímání intenzity slunečního záření. V případě navlhnutí se barvy vložky mění na zelenou, růžovou, popřípadě bílou barvu a je potřeba tuto vložku vysušit nebo vyměnit. Vysoušení by se mělo provádět minimálně jednou za rok pomocí suchého vzduchu, jehož teplota by neměla překročit  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na spodní

straně čidla se dále nachází připojovací čtyř pinový konektor a čep o průměru 12 mm, který je z boku zajištěn pomocí šroubu M4. [6]



Obr. 6-12 Pyranometr SG420

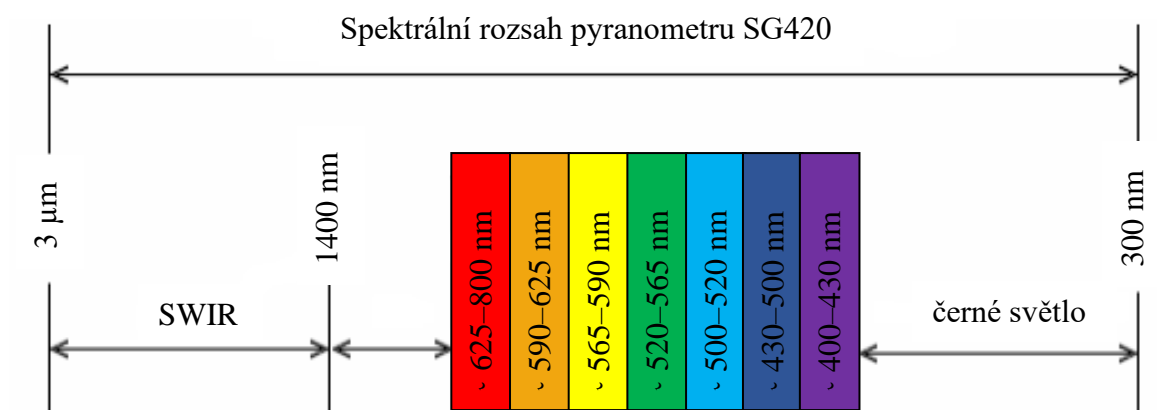
Technické parametry pyranometru SG420 jsou uvedeny v tabulce 6–5. [6]

Tab. 6-5 Technické parametry pyranometru SG420

Název parametru	Hodnota
Měřicí rozsah	0–1200 W/m <sup>2</sup>
Připojení	dvoudrátové
Spektrální rozsah	300–3000 nm
Citlivost	-
Časová konstanta	50 s pro 90 %
Chyba vlivem nelinearity v rozsahu 100–1000 W/m <sup>2</sup>	0,25 % max
Chyba měření v rozsahu 50–1150 W/m <sup>2</sup>	±3 %
Výstup – proudový	4–20 mA
Max. zatěžovací impedance	500 Ω
Rozsah pracovních teplot	-30 až +60 °C
Napájecí napětí	9–30 V DC
Výrobce	tm J. Tlustáček

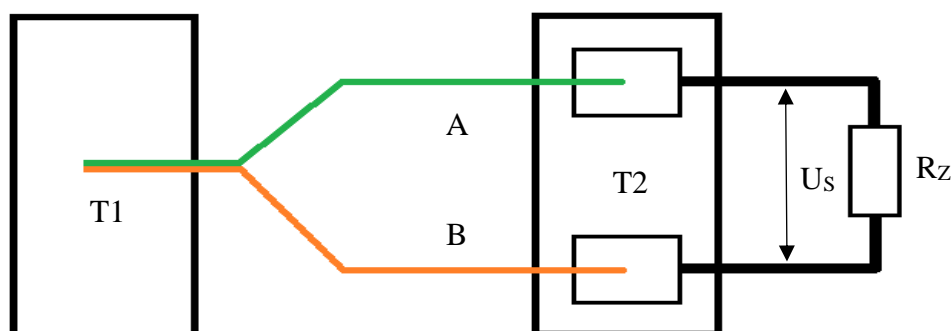
Spektrální rozsah pyranometru SG420 je vyobrazen na Obr. 6–13 a pohybuje se v rozmezí 300 až 3000 nm. Zkratkou SWIR (Short Wave Infra Red) je v tomto rozsahu označována infračervená složka záření krátké vlnové délky, NIR (Near Infra Red) označuje blízké infračervené záření a UVA dlouhovlnné neboli „černé světlo“. Čidlo je

kalibrováno v předem určeném spektrálním rozsahu, který činí 0,3 a 3  $\mu\text{m}$ . Spektrální rozsah je porovnán s pracovním normálem KIPP CM6B s využitím kalibračního přípravku, který zajišťuje diferenci obou veličin v rozsahu měření 0–1150  $\text{W}/\text{m}^2$ .



Obr. 6-13 Spektrální rozsah pyranometru SG420

Na Obr. 6–14 můžeme vidět termočlánek, který je tvořen dvěma různými vodivými materiály (A a B). Materiály využívané pro termočlánky mohou být kovy nebo polovodiče, které jsou na jedné straně spojené a mají teplotu  $T_1$  a na druhém konci rozpojené s rozdílnými teplotami  $T_2$ . Odlišnými teplotami obou konců vodivých materiálů vzniká rozdílný elektrický potenciál, který je zdrojem proudu. Mezi konci vodivých materiálů vzniká Seebeckovo napětí  $U_s$ . [6]



Obr. 6-14 Termočlánek [6]

Výstupem z pyranometru SG420 je proud, který se pohybuje v rozmezí 4–20 mA. Jelikož budeme měřit úbytek napětí na odporu 101  $\Omega$ , je potřeba tento proud přepočítat na napětí.



Tab. 6-6 Výstupní parametry závislé na intenzitě dopadajícího globálního záření [6]

Výstupní proud	Výstupní napětí	Intenzita dopadajícího slunečního záření
4–20 mA	404–2020 mV	0–1200 W/m <sup>2</sup>

Příklad pro převod výstupního proudu na výstupní napětí (6.2):

$$U = R * I = 101 * 0,004 = 0,404 V \quad (6.2)$$

Odvození vzorce pro výpočet globální intenzity slunečního záření (6.3):

$$y = ax + b \quad (6.3)$$

$$0 = a * 0,404 + b$$

$$1200 = a * 2,020 + b$$

Dále určíme hodnoty konstant a, b:

$$b = -a * 0,404$$

$$1200 = 1,616a$$

$$a = 742,574$$

$$b = 300$$

Vzorec pro výpočet globální intenzity slunečního záření (6.4):

$$I = (742,574 * U) - 300 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (6.4)$$

## 6.9 Cena komponentů

Tab. 6-7 Cena komponentů

Komponent	Cena (Kč)
Miskový Anemometr C552	1690
Arduino Ethernet Shield	395
Arduino Data Logger Shield	252
Arduino Leonard vývojový kit	554
Teplotní čidlo DS18B20	120
Technoline Anemometr mobile-Alerts MA10660	2390
Technoline MA10001 Starter Set + Teplotní čidlo Technoline MA10100	1790
Miskový Anemometr PCE, PCE-ADL 11 (včetně montážního držáku)	3805

## 6.10 Závěr pro výběr zařízení

Jako nejjednodušší řešení se jeví třetí možnost, kde bychom mohli rychlost proudění vzduchu měřit s využitím pouze jednoho bezdrátového anemometru (PCE-ADL 11). Nevýhodou je však poměrně vysoká cena, nemožnost připojení teplotního, či jakéhokoliv jiného externího čidla. Druhá možnost (Technoline MA10001 a teplotní čidlo MA10100) disponuje možností připojení několika externích čidel, avšak v porovnání s první možností se opět jedná o dražší záležitost. Jako další nevýhodu čidel společnosti Technoline vnímám jejich velikost, která by mohla být v případě potřeby uchycení na zadní stranu panelů pracnější a taktéž by mohly ovlivňovat teplotu panelů v místě jejich uchycení.

Pro tuto diplomovou práci jsem tedy zvolil využití desky Arduino Uno společně se sběrníci SD Data Logger, která disponuje slotem na SD kartu, na kterou budou v průběhu měření ukládány naměřené hodnoty. Pro měření rychlosti proudění vzduchu bude použit anemometr C552 společně se dvěma teplotními čidly DS18B20. První teplotní čidlo bude snímat teplotu FV panelu ze zadní strany a druhé čidlo bude snímat okolní teplotu panelu. Toto řešení bylo zvoleno taktéž s ohledem na možnost rozšiřování tohoto snímacího zařízení do budoucna, např. o více teplotních čidel, anemometrů nebo čidel vlhkosti. Taktéž je zde možnost jednoduché výměny Data Logger Shieldu za Ethernet Shield, díky kterému by byl možný vzdálený přístup k naměřeným datům z například těžko přístupných míst. Tato varianta taktéž nabízí velice snadné přemístění čidel a možnost úpravy napájení z akumulátorů. Na školním pozemku, kde bude následné měření probíhat je taktéž umístěn pyranometr typu SG420, pomocí kterého budeme snímat intenzitu globálního slunečního záření. Pyranometr je umístěn na hliníkové konstrukci vedle námi snímaného fotovoltaického panelu, pod úhlem 45°. Data z pyranometru nám poslouží jako základ, jehož využijeme k identifikaci, jakým způsobem ovlivňuje celkový výkon fotovoltaického panelu měnící se rychlost a teplota větru okolo panelu.

## 7. Realizace monitorovacího systému

Sběr dat rychlosti proudění vzduchu, teploty a intenzity slunečního záření bude realizován pomocí dvou na sebe nezávislých monitorovacích zařízení. Snímání rychlosti proudění vzduchu a teplota bude snímána pomocí dříve popsaného Arduino Data Loggeru. Intenzita slunečního záření bude snímána pomocí pyranometru SG420 a naměřená data budou následně ukládána s využitím jednotky Agilent 34980A. Zapojení a naprogramování bude podrobněji popsáno v dalších kapitolách.

Pro vyhodnocení působení proudění větru a dalších okolních vlivů byl pro tuto diplomovou práci zvolen FV panel typu A-130 od společnosti ATERSA. Jedná se o monokrystalický panel s výkonem 130 Wp a účinností 13,3 %. Tvoří ho 36 článků o velikosti 150 x 150 cm. Ideální sklon a orientace FV panelu je 35° s orientací na jih. Náš panel je pevně uchycen na hliníkové konstrukci pod úhlem 45° a je orientován -65° JJV. Nachází se ve čtvrtém patře (ústav elektrotechnologie) budovy T10 na Fakultě elektrotechniky a informačních technologií VUT v Brně. Přehled katalogových hodnot je uveden v tabulce 7.1.

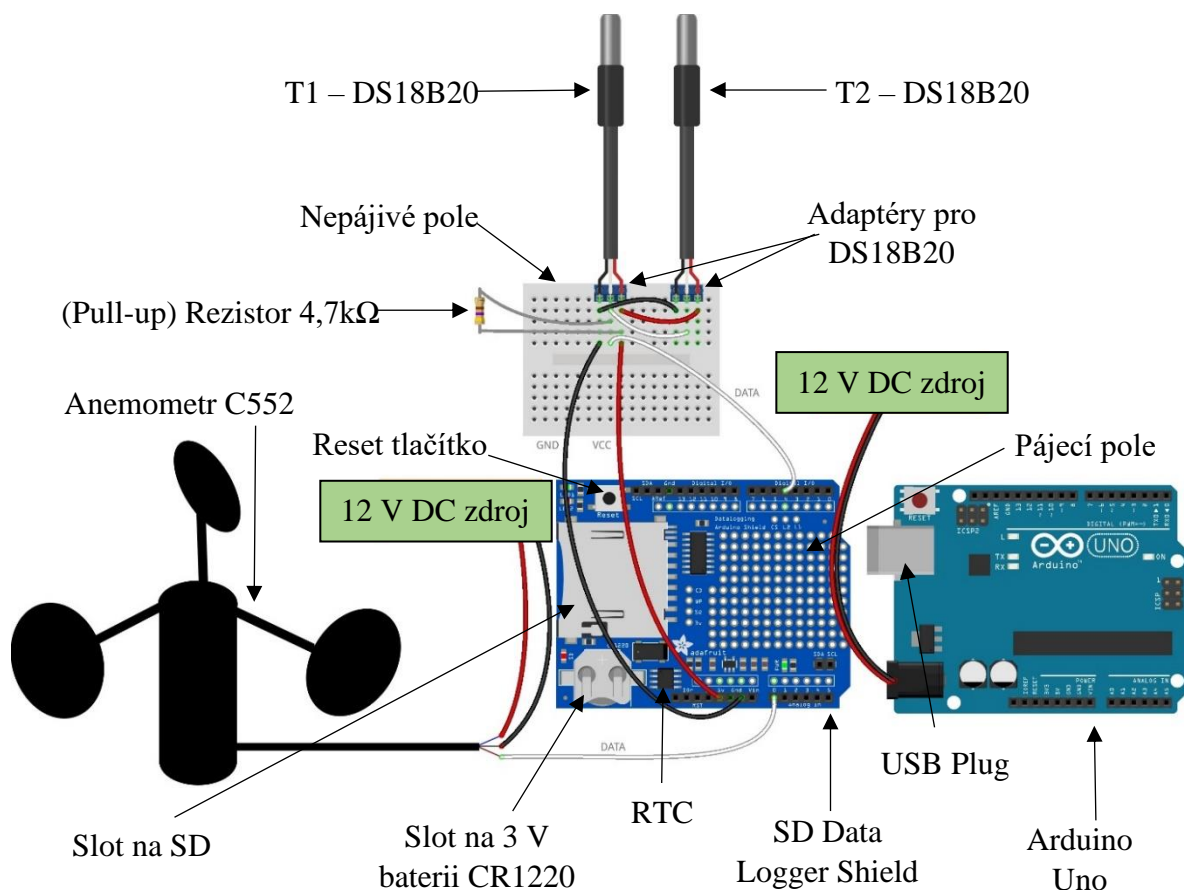
Tab. 7-1 Katalogové hodnoty FV panelu A-130

<b>Model</b>	A-130
<b>Výkon při STC (W)</b>	130
<b>Proud nakrátko <math>I_{sc}</math> (A)</b>	8,1
<b>Napětí naprázdno <math>V_{oc}</math> (V)</b>	21,30
<b>Proud při jmenovitém výkonu <math>I_{mp}</math> (A)</b>	7,54
<b>Napětí při jmenovitém výkonu <math>V_{mp}</math> (V)</b>	17,20
<b>Fill Factor (%)</b>	75,3
<b>Účinnost panelu (%)</b>	13,30
<b>Maximální napětí <math>V_{max}</math> (V)</b>	600

### 7.1 Zapojení měřícího pracoviště

Na Obr.7-1 můžeme vidět detailní propojení jednotlivých komponentů našeho snímacího zařízení. Z důvodu umístění do venkovních prostor je Arduino Uno společně s SD Data Logger Shieldem a nepájivým polem umístěno do plastové krabičky o rozměrech 160 x 110 mm, která splňuje stupeň krytí IP 56 (viz Obr. 7-2). Použité Shildy jsou tedy částečně chráněny proti vniknutí prachu a taktéž proti intenzivně

tryskající vodě. Z plastové krabičky značky SCAME jsou s využitím pěti pogumovaných otvorů vytaženy oba voděodolná teplotní čidla společně s kabelem s aretací pro připojení anemometru a taktéž dva 12 V transformátory pro napájení anemometru i obou Arduino desek. Na Obr. 7-1 jsou Arduino desky pro přehlednější vizualizaci zapojení odděleny.



Obr. 7-1 Detailní zapojení teplotních čidel DS18B20 a anemometru

Oba teplotní čidla jsou před vložením do nepájivého pole zapojena do adaptéru pro Arduino pomocí svorkovnice. S využitím adaptéru je zapojení odolnější vůči vytrhnutí některého z vodičů z nepájivého pole a taktéž umožňuje snadnější a rychlejší manipulaci s jednotlivými čidly. V případě potřeby připojení více teplotních čidel bychom museli zvolit větší nepájivé pole, naopak v případě ušetření místa bychom mohli teplotní čidla zapájet do pájecích konektorů, kterých SD Data Logger Shield obsahuje 110 a tudíž bychom nepájivého pole nemuseli využívat. Dále jsou jednotlivá čidla společně propojena pomocí krajních vodičů VCC a GND. Mezi VCC a DAT je dále

vložen již zmíněný 4,7 kΩ pull-up rezistor, který zabraňuje nežádoucímu „floating“ stavu. Datový vodič teplotních čidel je dále připojen k pinu č.4 a datový vodič anemometru je připojen k analogovému pinu č.0. Pro ukládání informací byla zvolena 32 GB microSD karta SanDisk, která je vložena do SD adaptéru. Pro resetování měření hodnot slouží tlačítko reset, které se nachází v levém horním rohu SD Data Logger Shieldu. Po vyjmutí SD karty a jejím opětovném vsunutí do SD slotu, můžeme tedy pomocí tohoto tlačítka opět zprovoznit zápis hodnot. V levém spodním rohu se nachází patice pro již zmíněnou 3 V baterii typu CR1220, která slouží k zachování nastaveného data a času na RTC, který se nachází po pravé straně od patice. Jelikož se FV panely a FV tašky nachází ve většině případů na těžko přístupných místech, jsme schopni anemometr i Arduino desky napájet pomocí 12 V a 9 V akumulátorů.



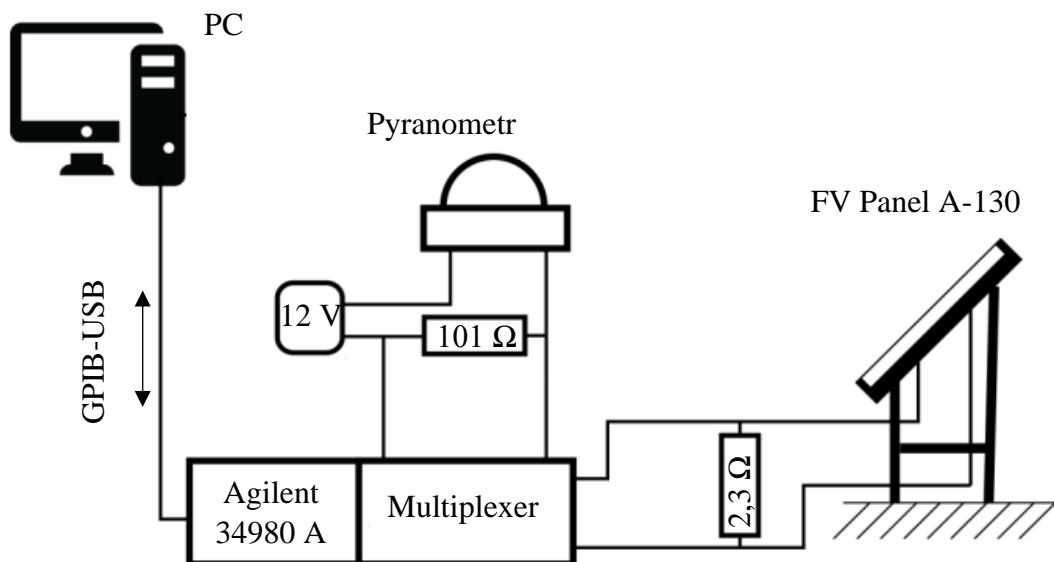
Obr. 7-2 Zapojení teplotních čidel DS18B20 a anemometru C552

V levé horní části Arduino Uno desky se nachází USB konektor pro připojení počítače. USB konektor slouží pro nahrání kódu do desky a také pro kontrolu funkčnosti zařízení. Pokud zapojujeme zařízení bez kontroly přes sériový monitor, může nastat

chyba například při vkládání SD karty do slotu nebo odpojení některého z konektorů při jejich manipulaci. Jelikož kód v průběhu měření již měnit nebudeme, budeme využívat USB konektor primárně jako formu kontroly funkčnosti zařízení.

Pro snímání intenzity slunečního záření a měření hodnot FV panelu využijeme měřicí ústřednu Agilent 34980A. Propojení mezi ústřednou a PC je realizována pomocí konektoru USB–GPIB. FV panel A-130 je k ústředně připojen pomocí dvou vodičů (kladný a záporný pól), které jsou do laboratoře přivedeny otvorem ve zdi a připojeny k rezistoru o odporu  $2,3 \Omega$ . Z důvodu teplotního ovlivňování a měnící se vlhkosti venkovního prostředí došlo k propojení obou vodičů a rezistoru až v laboratoři, kde je změna teploty a vlhkosti minimální. Rezistor je k ústředně připojen paralelně a dochází na něm k odečítání napětí. Pomocí Ohmova zákona je poté ze známého odporu a naměřeného napětí dopočítán proud. Poté je možno dopočítat výkon FV panelu.

Pyranometr SG420 je napájen pomocí 12 V adaptéru a následně připojen k ústředně přes sériový rezistor o odporu  $101 \Omega$ , na kterém se odečítá napětí. Následně je s využitím programu Agilent VEE dopočítána intenzita slunečního záření. Schéma propojení FV panelu a pyranometru společně s PC je na *Obr. 7–3*.



*Obr. 7-3 Zapojení měřícího stanoviště*

## 7.2 Program pro Arduino

Pro naše zařízení budeme používat několik knihoven, díky kterým budeme schopni nastavit čidla a taktéž zapisovat a číst naměřené hodnoty z SD karty. První knihovnou je <Arduino.h>. Jedná se o základní knihovnu, která je součástí IDE a umožňuje nám využívat specifické příkazy pro Arduino. Následuje <Wire.h> knihovna, pomocí které můžeme komunikovat s I2C nebo také TWI (dvoudrátové rozhraní) zařízeními. Následně budeme využívat knihovnu <SPI.h> (Serial Peripheral Interface), což je protokol využívaný mikro kontroléry pro rychlou komunikaci s jedním nebo více periferními zařízeními na krátké vzdálenosti. <SD.h> knihovna nám umožní čtení a zápis na SD kartu (v našem případě na SD Data Logger Shield). <SD.h> knihovna podporuje pouze systémy souborů FAT16 a FAT32 (File Allocation Table). Jedná se o tabulku, která obsahuje informace o obsazení disku a taktéž se používá pro nalezení souborů zapsaných na disku. <RTC.h> je zkratka pro Real Time Clock a s použitím této knihovny můžeme nastavit datum a čas. Datum a čas zůstane zachován, pokud v SD Data Loggeru použijeme kulatou 3 V baterii typu CR1220. <DallasTemperature.h> knihovna nám usnadní komunikaci s teplotními čidly DS18B20. Jedná se o sadu jednoduchých příkazů, například pro čtení údajů o teplotě z jednotlivých senzorů.

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTClib.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

V následujícím kroku zkontrolujeme, zda je připojen obvod reálného času a taktéž ověříme, jestli došlo k jeho správnému spuštění. Pokud by nebyl obvod reálného času připojen, je program ověřen chybovým hlášením, který nás o jeho odpojení nebo nesprávném fungování upozorní. V případě správného připojení a funkčnosti RTC, vypíše program hlášku „RTC\_RUNNING“. Následně taktéž ověříme správné připojení SD karty do slotu umístěném v SD Data Loggeru. V případě, že je karta odpojena, je program opět ošetřen chybovým hlášením „SD\_CONNECT\_ERROR“, který uživatele na tuto skutečnost upozorní. V posledním kroku dojde k nastavení hodin reálného času.

```

if (! rtc.begin()) {
  Serial.println(RTC_CONNECT_ERROR);
  while (1);
}
if (! rtc.isrunning()) {
  Serial.println(RTC_RUNNING);
}
if (!SD.begin(PIN_SD)) {
  Serial.println(SD_CONNECT_ERROR);
  return;
}
#ifdef SET_RTC
  rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
#endif

```

V prvním kroku zjistíme počet připojených snímačů teploty DS18B20 a následně také zjistíme, zdali je připojen anemometr do analogového vstupu A0, který jsme si definovali na začátku. Na závěr nám kód vypíše počet senzorů.

```

Sensors.begin();
delay(10);
sensorCount = Sensors.getDeviceCount();
if ( sensorCount > TEMP_SENSOR_COUNT ) {
  #ifdef SERIAL_DEBUG_OUT
    Serial.println(SENSOR_COUNT_ERROR);
  #endif

  pinMode(PIN_AM, INPUT);
}

#ifdef SERIAL_DEBUG_OUT
  Serial.print(SENSOR_COUNT);
  Serial.println(sensorCount);
#endif

```

Dále načteme aktuální datum, čas a teplotu z čidel. Co se týče rychlosti proudění vzduchu, tuto hodnotu je potřeba převést. Pomocí Arduina měříme napětí na analogovém vstupu (anVoltage). Arduino Uno má 10bitový převodník, který obsahuje  $2^{10}$  bitů (1024). Pokud využijeme funkce „analogRead()“, musíme následně převést hodnotu AD převodníku na napětí. Jeden bit se v našem případě rovná přibližně 4,88 mV, jelikož



měřicí rozsah je 5 V, které můžeme na 1024 dílků rozdělit.  $5000/1024 = 4,8828125$ . Poté použijeme rovnici 6.1 na přepočet napětí na rychlost větru. Přepočet se u různých druhů anemometrů liší a je určen výrobcem. V posledním kroku našeho kódu dojde k zápisu na SD kartu.

```
datumCas = rtc.now();

getTemp();

amVoltage = analogRead(PIN_AM) * (5.0 / 1024.0);
windSpeed = amVoltage * 6;
}
if ( t_updateSD.elapsedTicks() > 0) {
    t_updateSD.restart();
    updateSD();
}
```

Dále uspořádáme výpis o časových údajích v pořadí rok, měsíc, den, hodina, minuta a vteřina. Pro větší přehlednost jsou údaje o teplotách a rychlosti proudění vzduchu odděleny pomocí rovných čar.

```
timeString = String(datumCas.year()) + SYMBOL_SLASH
             + String(datumCas.month()) + SYMBOL_SLASH
             + String(datumCas.day()) + SYMBOL_SEMICOLON
             + String(datumCas.hour()) + SYMBOL_COLON
             + String(datumCas.minute()) + SYMBOL_COLON
             + String(datumCas.second()) + SYMBOL_SEMICOLON + SYMBOL_COLON;

sensorString = String(SENSOR_T1) + SYMBOL_EQUAL + SYMBOL_SEMICOLON
               + String(tempArray[0])
               + SYMBOL_SEMICOLON + UNIT_C + SYMBOL_DIVIDE
               + SENSOR_T2 + SYMBOL_EQUAL + SYMBOL_SEMICOLON
               + String(tempArray[1])
               + SYMBOL_SEMICOLON + UNIT_C + SYMBOL_DIVIDE
               + SENSOR_AM + SYMBOL_EQUAL + SYMBOL_SEMICOLON
               + String(windSpeed)
               + SYMBOL_SEMICOLON + UNIT_MS;

#ifdef SERIAL_DEBUG_OUT
    Serial.println(timeString + sensorString);
#endif
```

Údaje o čase, teplotě a rychlosti proudění vzduchu jsou odděleny pomocí středníku. Středník v tomto případě slouží jako oddělovací znaménko, které nám v pozdějších fázích ulehčí práci zejména při zpracovávání dat v Excelu. Pomocí funkce text do sloupců a zvolení středníku jako oddělovače dostaneme výpisy hodnot z jednotlivých čidel v samostatných sloupcích. Interval snímání hodnot z čidel a následný zápis těchto hodnot na SD kartu je nastaven na interval 5000 ms. Tento interval byl zvolen jako kompromis pro získání dostatečného a zpracovatelného počtu dat.

Následně můžeme přistoupit k otevření textového souboru pro zápis, který byl pojmenován jako „mereni.txt“. Data jsou na SD kartu zapisována v případě, že je soubor bez problémů vytvořen nebo je otevřen. Po zapsání hodnot z dataString ukončí zápis. Po ukončení zápisu na SD kartu je na sériovém monitoru Arduina vypsána hláška „Úspěšný zápis na SD kartu“. V opačném případě se na sériovém monitoru objeví hláška „Chyba při zápisu na SD kartu“. Po vložení SD karty a zmáčknutí reset tlačítka na SD Data Logger Shieldu dojde opět k zápisu hodnot v předem určeném intervalu.

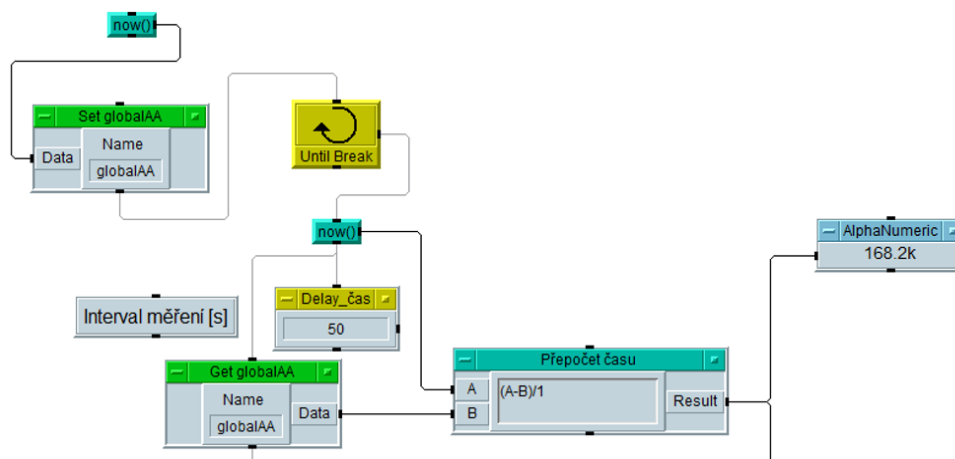
```
void updateSD() {  
  
    File zapisDat = SD.open("mereni.txt", FILE_WRITE);  
  
    if (zapisDat) {  
        zapisDat.println(timeString + sensorString);  
        zapisDat.close();  
        #ifdef SERIAL_DEBUG_OUT  
            Serial.println(SD_SUCCES_WRITE);  
        #endif  
    }  
    else {  
        #ifdef SERIAL_DEBUG_OUT  
            Serial.println(SD_WRITE_ERROR);  
        #endif  
    }  
}
```

Konečný výpis teplot z obou čidel a rychlosti proudění vzduchu uložených v textovém souboru vypadá následovně.

```
2022/2/15;10:12:24;;T1 = ;23.81; degC | T2 = ;22.88; degC | AM = ;0.00; m/s  
2022/2/15;10:12:29;;T1 = ;23.81; degC | T2 = ;22.88; degC | AM = ;6.47; m/s
```

### 7.3 Program Agilent VEE

Při instalaci bylo na úvod potřeba nainstalovat knihovny pro správnou komunikaci mezi jednotlivými komponenty. Snímané hodnoty z pyranometru a FV panelu jsou následně ukládány do textového souboru data.txt (viz *Obr. 7–7*). Po spuštění měření v programu Agilent VEE, dojde taktéž ke spuštění času. Z bloku „now()“ se hodnota času uloží do předem definované proměnné „globalAA“, která je následně poslána na vstup B do bloku „Přepoččet času“. Druhý časový údaj se zapisuje s intervalem 50 vteřin a ten je vyveden do bloku „Přepoččet času“ v rámci proměnné A. Obě hodnoty jsou následně v tomto bloku odečteny a ponechány v sekundách (jak můžeme vidět v bloku „Alphanumeric“ viz *Obr. 7–4*). Naměřené hodnoty jsou tedy do textového souboru zapisovány společně s časovým údajem v intervalu 50 vteřin.

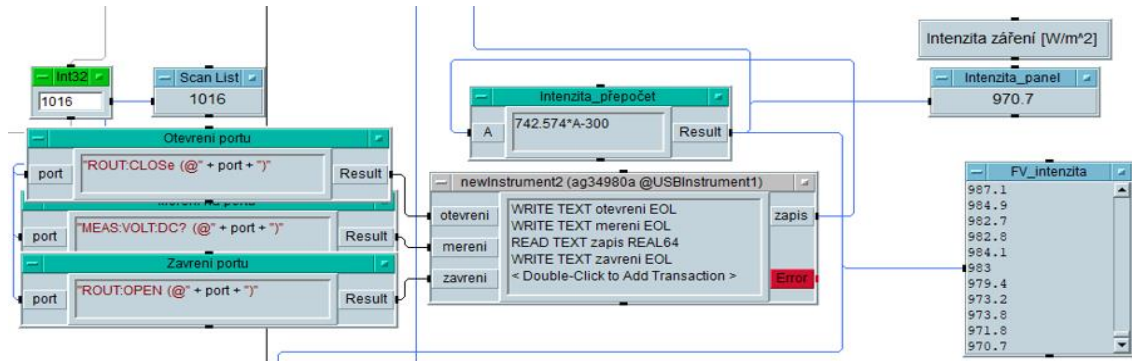


*Obr. 7-4 Přepoččet času v programu Agilent VEE*

Na *Obr. 7–5* dochází pomocí multiplexoru ke čtení hodnot z pinu č. 1016. Na tomto pinu je připojen pyranometr SG420, na které snímáme hodnotu napětí. Tento úbytek napětí je snímán na odporu 101  $\Omega$ , který je připojen mezi pyranometrem a multiplexorem.

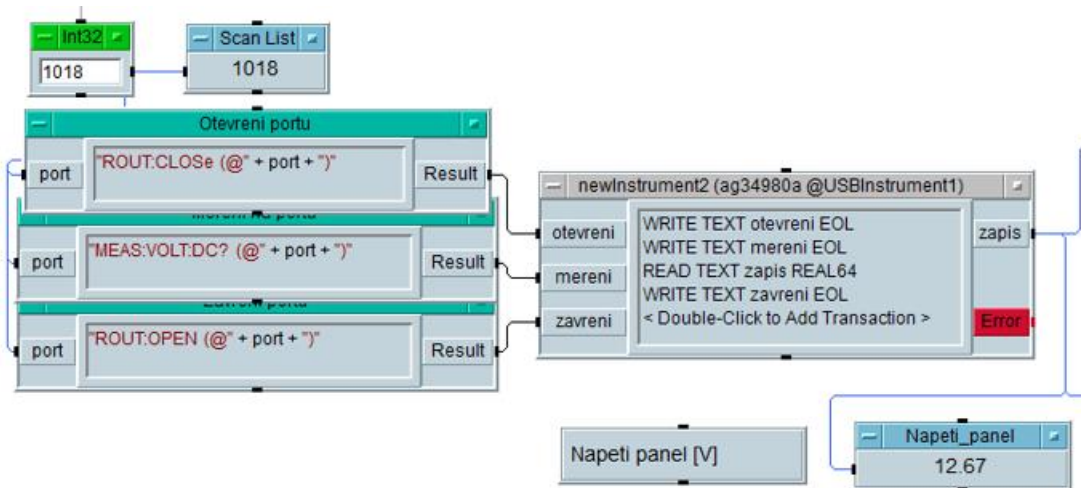
V bloku „newinstrument2“ je v prvním kroku otevřen soubor pro zápis snímané hodnoty napětí. Pomocí zkratky EOL je přistoupeno k dalšímu kroku, což je měření hodnoty napětí a následný zápis do paměti. V posledním kroku je tento cyklus ukončen. Výsledek označený jako „zápis“ je poté vyveden do bloku „Intenzita\_přepoččet“ v rámci proměnné „A“, kde dochází k přepočtu napětí na intenzitu slunečního záření. Vzorec pro

přepočet je znázorněn v příkladu (6.4). Proměnlivý výsledek intenzity je následně aktualizován s intervalem 50 vteřin v bloku „Intenzita\_panel“ a dále je tato hodnota vyvedena do bloku pro zápis do textového souboru data.txt (viz Obr. 7–7) na konci programu. Tento krok se poté znovu opakuje.



Obr. 7-5 Přepočet intenzity slunečního záření v programu Agilent VEE

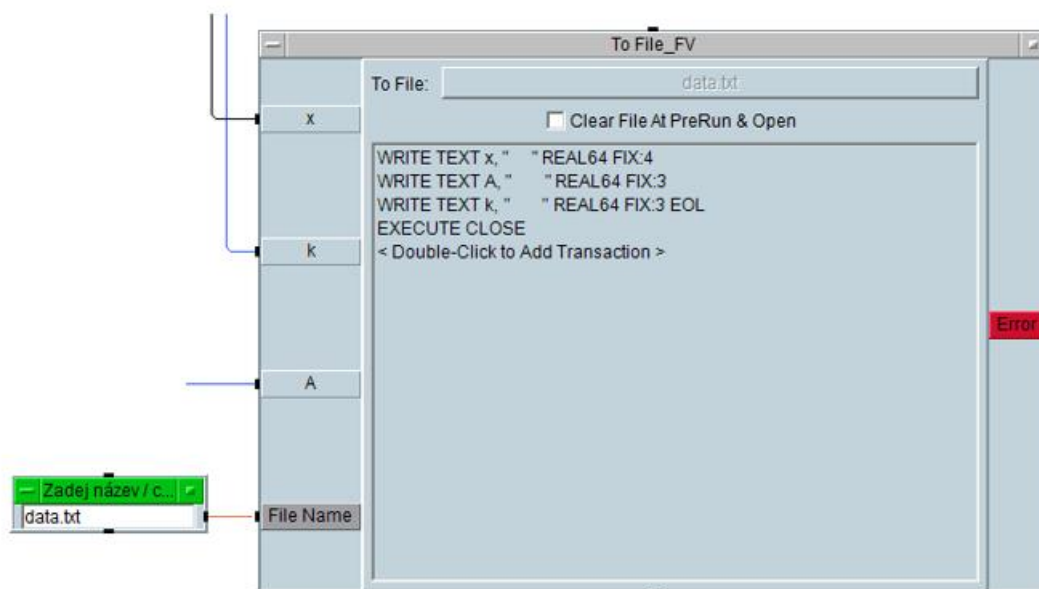
Obdobně jako na Obr. 7–5 dochází ke snímání úbytku napětí na FV panelu na Obr. 7–6. Tento údaj je přiveden na vstup multiplexoru č. 1018. Následně se celý cyklus opakuje až na přepočet, který v tomto případě není potřeba. Zde pouze k zápisu úbytku napětí ve stejném časovém intervalu 50 vteřin. Za pomoci připojeného odporu je dále dopočítán proud protékající FV panelem a následně hodnota výkonu.



Obr. 7-6 Snímání úbytku napětí na FV panelu Agilent VEE

Výsledek přepočtu času je do finální buňky „To File\_FV“ přiveden jako proměnná x, intenzita slunečního záření jako proměnná k a úbytek napětí na FV panelu

jako A. Počet míst za desetinnou čárkou u těchto hodnot určíme pomocí příkazu „FIX:“. Soubor těchto hodnot je přiveden na výstup „File Name“, který jsme si v našem případě pojmenovali jako „data.txt“ (viz Obr. 7-7).



Obr. 7-7 Zápís naměřených hodnot do textového souboru v programu Agilent VEE

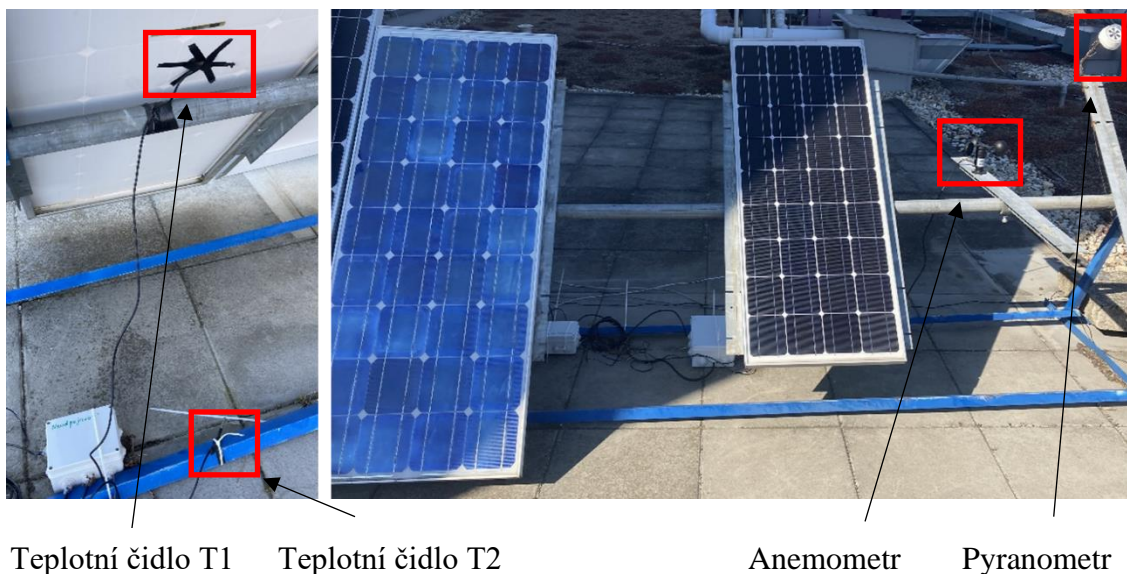
## 8. Vyhodnocení naměřených hodnot

### 8.1 Vyhodnocení naměřených hodnot z osmi období

Experimentální měření probíhalo v rámci 56 dnů (8 týdnů), počínaje pondělím 28. 2. 2022 až do pondělí 25. 4. 2022. Naměřené hodnoty byly následně každých 7 dnů graficky zpracovány a okomentovány. V průběhu měření byl interval snímání teploty FV panelu a jeho okolí, společně s rychlostí proudění vzduchu nastaven na 5 vteřin, avšak z důvodu přehlednosti grafů byla vybrána každá 10. hodnota. Obdobně tomu je u snímání intenzity slunečního záření a napětí FV panelu, jejichž hodnoty byly zapisovány každých 10 vteřin, ale pro grafické zpracování byla vybrána každá dvacátá hodnota. V průběhu měření byly pod FV panel taktéž postupně umisťovány předměty reflektující sluneční záření nebo předměty, které by mohly určitým způsobem ovlivnit teplotu, výkon nebo jiné parametry panelu.

#### 8.1.1 Vyhodnocení naměřených hodnot z 1. období

V prvním období byly naměřené hodnoty vyhodnocovány bez použití jakýchkoliv přídatných předmětů a materiálů ovlivňující teplotu, intenzitu slunečního záření nebo rychlost proudění vzduchu. Na Obr. 8-1 můžeme vidět rozmístění jednotlivých měřících komponentů.

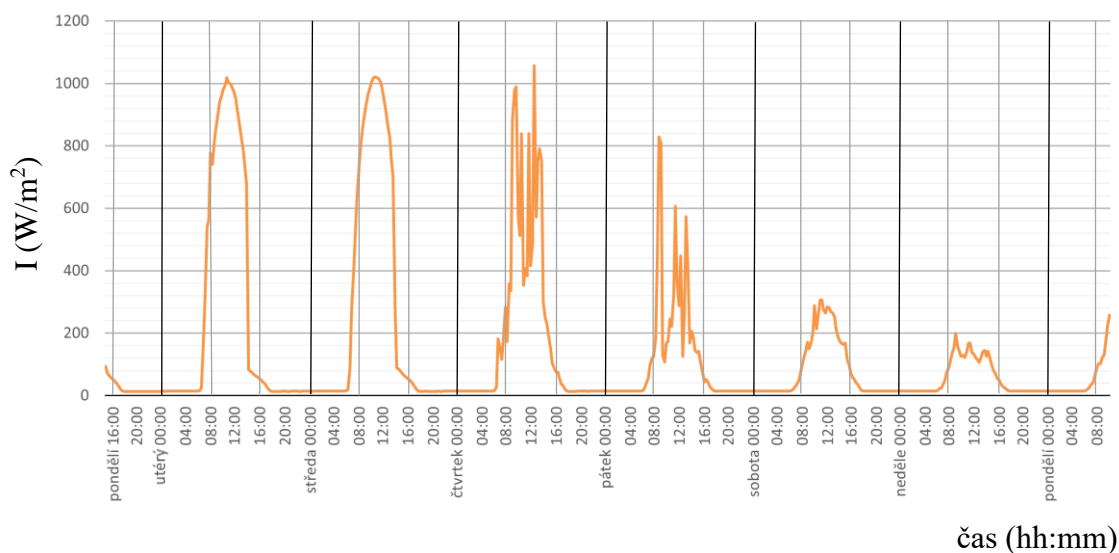


*Obr. 8-1 Umístění teplotních čidel, anemometru a pyranometru*



Pyranometr je od FV panelu společně s anemometrem umístěn ve vzdálenosti zhruba 2 m. Co se týče měření rychlosti proudění vzduchu, tak na tu nemá vzdálenost anemometru od FV panelu vliv, jelikož se na budově v blízkosti nenachází žádný předmět, který by nějak výrazně ovlivňoval tuto veličinu. U pyranometru je vzdálenost znatelná pouze v odpoledních hodinách, kdy je na něho vrhán stín budovy zhruba 10 min po tom, co je ve stínu FV panel.

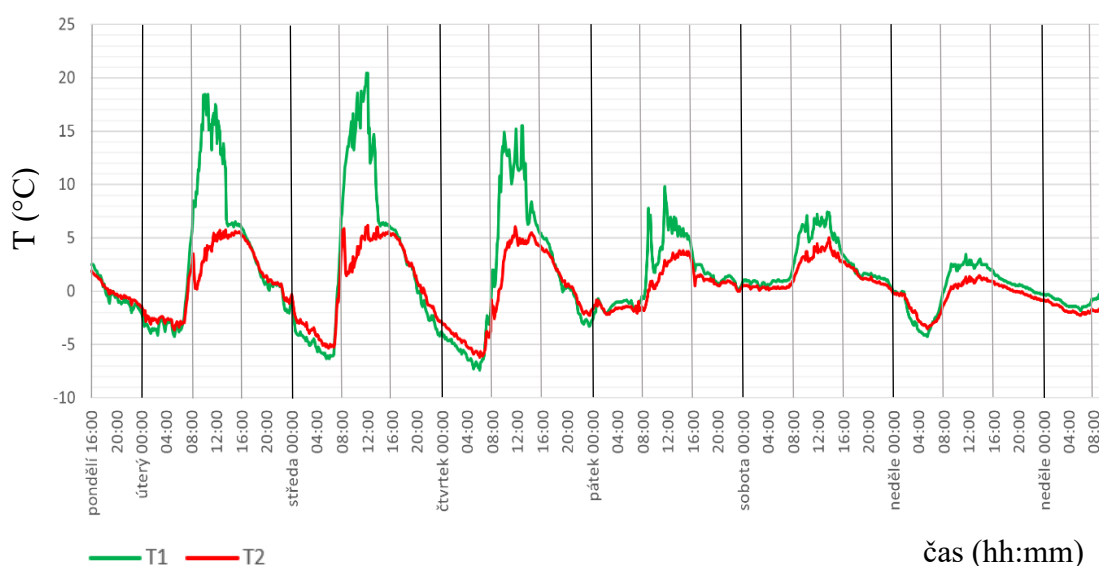
Snímání intenzity slunečního záření společně s ostatními veličinami bylo zahájeno v pondělí 28. 2. 2022 v odpoledních hodinách a ukončeno v pondělí 7. 3. 2022 v dopoledních hodinách. Velikost intenzity proto v těchto dnech nepřekročila hodnotu  $300 \text{ W/m}^2$ . V úterý a ve středu je průběh intenzity téměř shodný, kdy k nárůstu v obou dnech dochází kolem šesté hodiny ranní a ke strmému poklesu během druhé až čtvrté hodiny odpolední. Ve čtvrtek a pátek hodnoty intenzity značně kolísaly. V průběhu čtvrtečního poledne bylo dosaženo maxima, kdy hodnota intenzity vystoupala k  $1060 \text{ W/m}^2$ . Naopak minima v období poledních hodin bylo dosaženo v pátek, kdy se hodnoty intenzity pohybovaly okolo  $100 \text{ W/m}^2$ . V sobotu a neděli nepřesáhla intenzita hranici  $320 \text{ W/m}^2$  z důvodu nepříznivých klimatických podmínek (viz Obr. 8–2).



Obr. 8-2 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 1. období

Na Obr. 8–3 můžeme pozorovat, že teplota vzduchu proudícího okolo FV panelu kopíruje křivku teploty samotného FV panelu. K největším rozdílům v teplotách dochází zejména v poledních hodinách, kdy je intenzita slunečního záření největší a dochází

k zahřátí tmavého povrchu FV panelu. Jelikož měření probíhá na přelomu zimy a jara, nepřesáhly teploty FV panelu ani okolního vzduchu 21 °C. Nejnižší teploty okolí a FV panelu bylo v tomto období dosaženo ve čtvrtek okolo páté hodiny ranní. Okolní teplota se pohybovala okolo -6 °C a teplota FV panelu klesla na -7 °C. Nejvyšší teploty bylo dosaženo ve středu kolem poledních hodin, kdy teplota FV panelu mírně překročila hranici 20 °C. Dále můžeme sledovat, že odchylka teplotních čidel je minimální. To je patrné zejména v nočních hodinách, kdy nejsou jednotlivá čidla ovlivňována dopadajícím slunečním zářením. Mírná odchylka může být způsobena izolační páskou, která byla použita na uchycení teplotního čidla (viz *Obr. 8-1*).



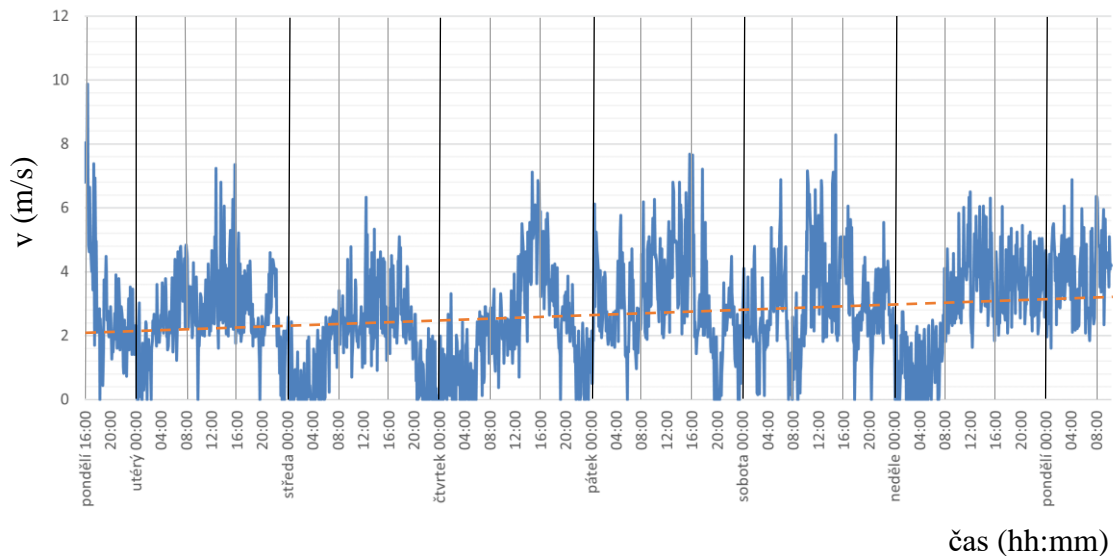
*Obr. 8-3 Graf rozložení teplot v 1. období*

Na *Obr. 8-4* můžeme pozorovat rychlost proudění vzduchu kolem FV panelu A-130. Rychlost proudění v tomto období značně kolísala, avšak průměrně se tato hodnota pohybovala okolo 2 m/s.

Ze spojnice trendu můžeme dedukovat, že měla rychlost proudění vzduchu v průběhu 1. období stoupavou tendenci. Nulové rychlosti bylo dosahováno především v nočních a brzkých ranních hodinách. Maximální rychlosti bylo dosaženo první den při montáži anemometru, kdy se rychlost proudění vzduchu místy vyšplhala až na 10 m/s. Dalších vysokých hodnot pak bylo dosaženo téměř ve všech dnech, zejména v poledních a brzkých odpoledních hodinách (konkrétně v pátek a sobotu, kdy se hodnoty pohybovaly

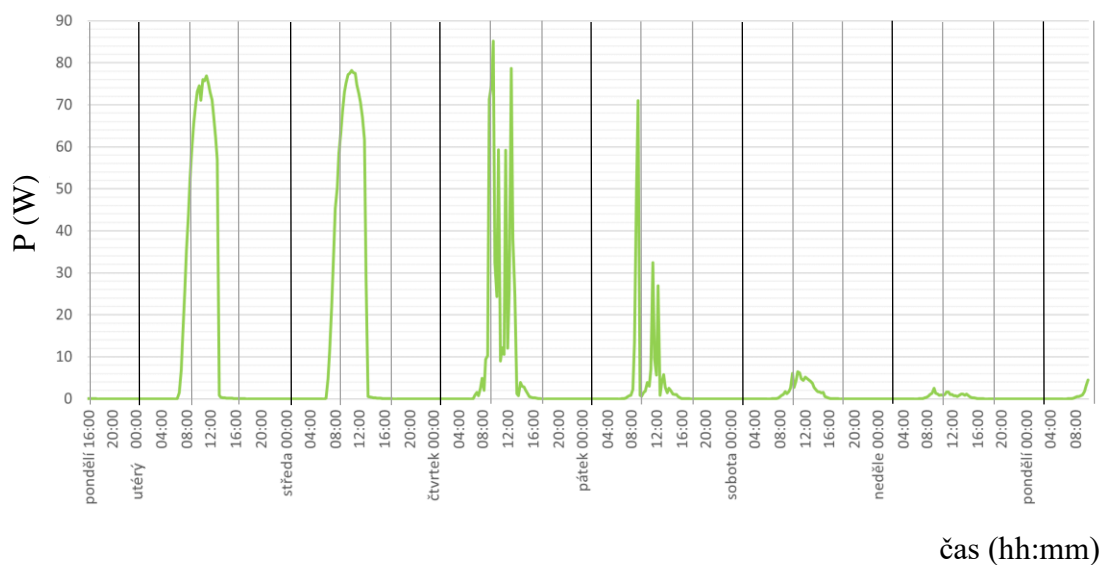


okolo 8–9 m/s). V neděli kolem poledních hodin se rychlost proudění ustálila na hodnotě 3–5 m/s a zůstala konstantní až do pondělního rána (do konce 1. měření).



Obr. 8-4 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 1. období

Grafická závislost pro výkon v závislosti na čase je téměř totožná s průběhem intenzity slunečního záření v daném období. Z Obr. 8-5 je taktéž patrné, že intenzita slunečního záření se musí pohybovat minimálně okolo hodnoty  $200 \text{ W/m}^2$ , aby se výkon pohyboval alespoň v jednotkách Wattů. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo v průběhu čtvrtka, kdy bylo dosaženo maximálního výkonu 85 W.

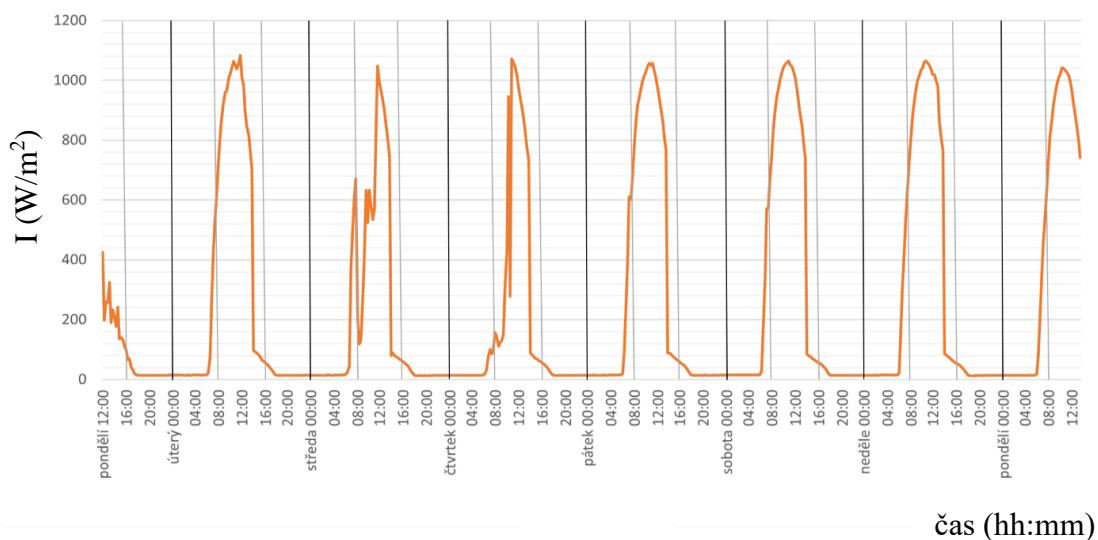


Obr. 8-5 Graf závislosti výkonu na čase v 1. období

Během úterního a středečního poledne se výkon FV panelu pohyboval okolo 75–80 W. V pátek bylo 70 W dosaženo v dopoledních hodinách okolo 8–9 hodiny. Jelikož probíhá měření na přelomu zimy a jara, nedosahují teploty příliš vysokých hodnot a tím pádem nedochází k přehřívání FV panelu a následnému poklesu jeho výkonu. Během prvního týdne měření nedošlo ke zjištění žádného vlivu větru na výsledný výkon FV panelu.

### 8.1.2 Vyhodnocení naměřených hodnot z 2. období

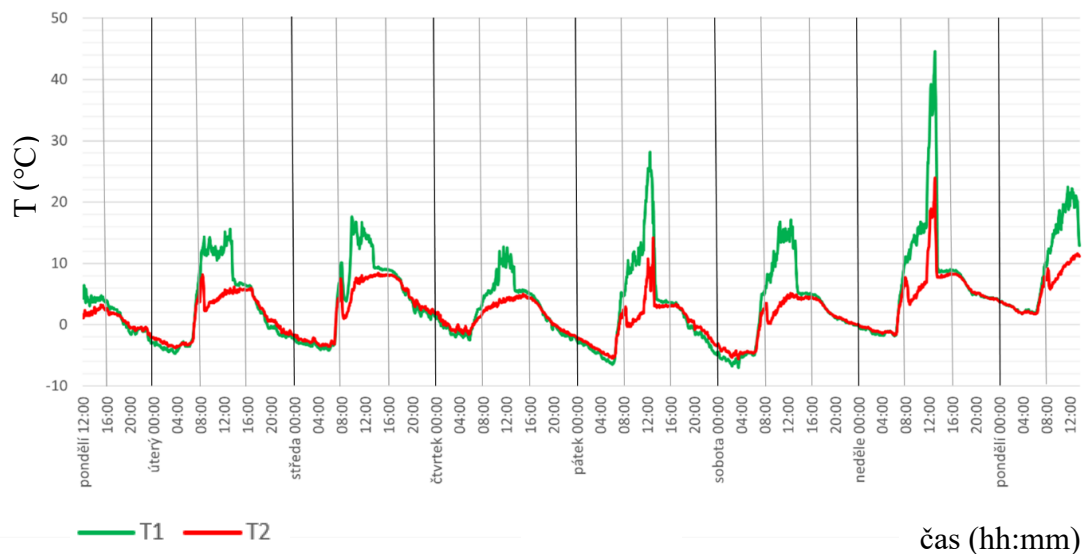
Ve druhém týdnu, stejně jako tomu bylo v prvním, nebylo použito žádných přídatných předmětů do okolí FV panelu a uspořádání tudíž vypadá obdobně jako na *Obr. 8-1*. Druhé období započalo v pondělí 7. 3. 2022 ve 12:00 a ukončeno bylo v pondělí 14. 3. 2022 ve 12:00 hodin. Jak můžeme vidět na *Obr. 8-6* intenzita slunečního záření se až na středu a mírnou výchylku ve čtvrtek pohybovala ve stejných intenzitách. Ve středu se jako ve všech ostatních dnech vyšplhala intenzita na  $1100 \text{ W/m}^2$ , avšak kolem osmé hodiny došlo k poklesu na  $100 \text{ W/m}^2$ . Tento vývoj byl obdobný ve čtvrtek, kdy k výraznějšímu poklesu intenzity došlo kolem desáté hodiny dopolední.



*Obr. 8-6 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 2. období*

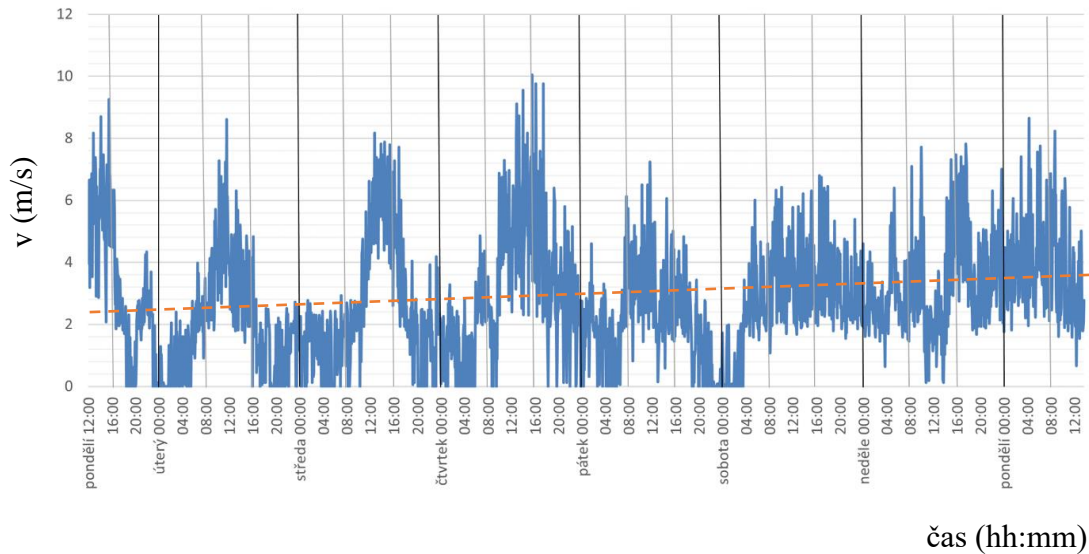
Teploty se v průběhu druhého období značně lišily, a to zejména v pátek a v neděli. V pátek se teploty v okolí panelu pohybovaly okolo  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  a panel se zahřál na teplotu téměř  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . V pátek se teploty v okolí FV panelu pohybovaly okolo  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  a samotný panel se zahřál na teplotu téměř  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  (*Obr. 8-7*). V neděli se teplota vzduchu v okolí

panelu pohybovala na maximum v poledních hodinách. Dosahovala hodnot až 25 °C, přičemž FV panel se zahřál na 44,56 °C. Naopak nejnižších teplot bylo dosaženo v pátek a sobotu kolem čtvrté hodiny ranní, kdy se teploty FV panelu i jeho okolí pohybovaly okolo -7 °C. V ostatních dnech (úterý, středa, čtvrtek, sobota, pondělí) byly průběhy teplot téměř totožné, kdy bylo v poledních hodinách dosahováno teplot v rozmezí od 12–22 °C.



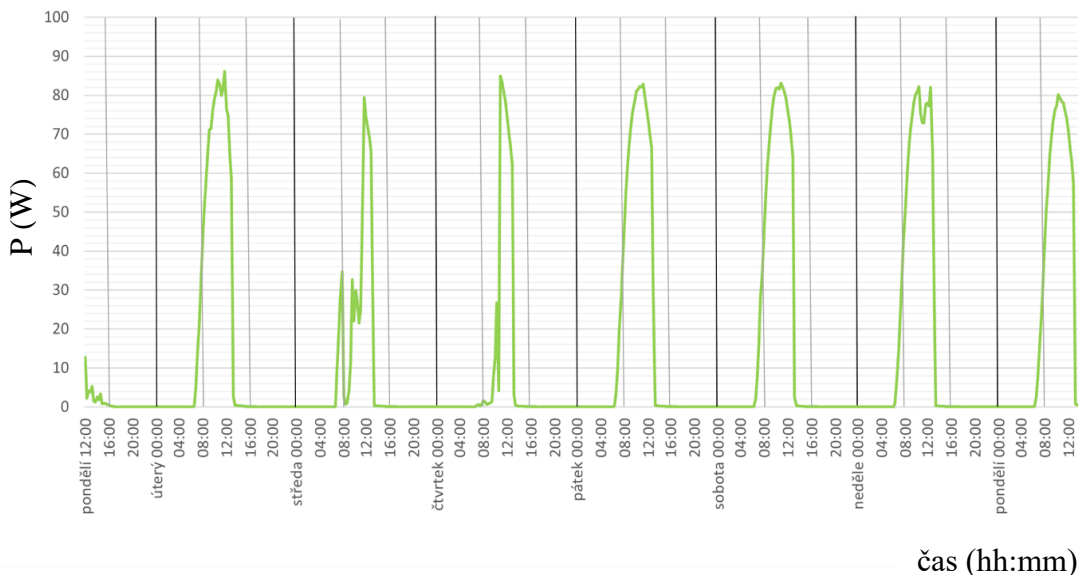
Obr. 8-7 Graf rozložení teplot ve 2. období

Rychlost proudění vzduchu měla stejně jako v prvním období velmi proměnlivý charakter, zejména v první polovině týdne. V sobotu a neděli byl průběh téměř konstantní a pohyboval se v rozmezí 2–8 m/s. Jediná odchylka v průběhu těchto dvou dnů nastala v neděli okolo dvanácté hodiny, kdy klesla rychlost místy až na 0 m/s. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo v průběhu čtvrtka, kdy se poprvé za obě období vyšplhala rychlost až na 10 m/s. V úvodu týdne bylo v poledních hodinách taktéž dosaženo vysoké rychlosti proudění vzduchu, ale spojnice trendu naznačuje, že se rychlost větru postupně stupňovala.



Obr. 8-8 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 2. období

Ve druhém období bylo na rozdíl od prvního dosaženo v poledních hodinách minimálního výkonu 80 W každý den (viz Obr. 8–9). Průběhy mají téměř každý den stejný průběh, až na středu a čtvrtek kolem 8–12 hodiny, kdy došlo úbytkem intenzity slunečního záření k výraznému poklesu výkonu.



Obr. 8-9 Graf závislosti výkonu na čase ve 2. období

Při porovnání grafů se z hlediska ovlivnění výkonu FV panelu teplotou a rychlostí proudění vzduchu jeví pátek a neděle, kdy se teploty panelu pohybovaly za obě období

na nejvyšší hodnotě. Jak již bylo zmíněno, v pátek se okolo poledne pohybovala teplota panelu okolo 30 °C, k čemu mohl dopomoci taktéž chvilkový pokles proudění vzduchu. Tyto vlivy však neměly na celkový výkon při téměř konstantní intenzitě slunečního záření žádný podstatný vliv.

V neděli, kdy se však teplota vzduchu vyšplhala na 24 °C a teplota FV panelu na 44,56 °C můžeme při konstantní intenzitě slunečního záření pozorovat na výkonové křivce pokles výkonu o zhruba 5 W. Při dosažení nejvyšší teploty za obě období se rychlost větru pohybovala v tomto časovém intervalu okolo 1–2 m/s, což je nejnižší za obě období v poledních hodinách.

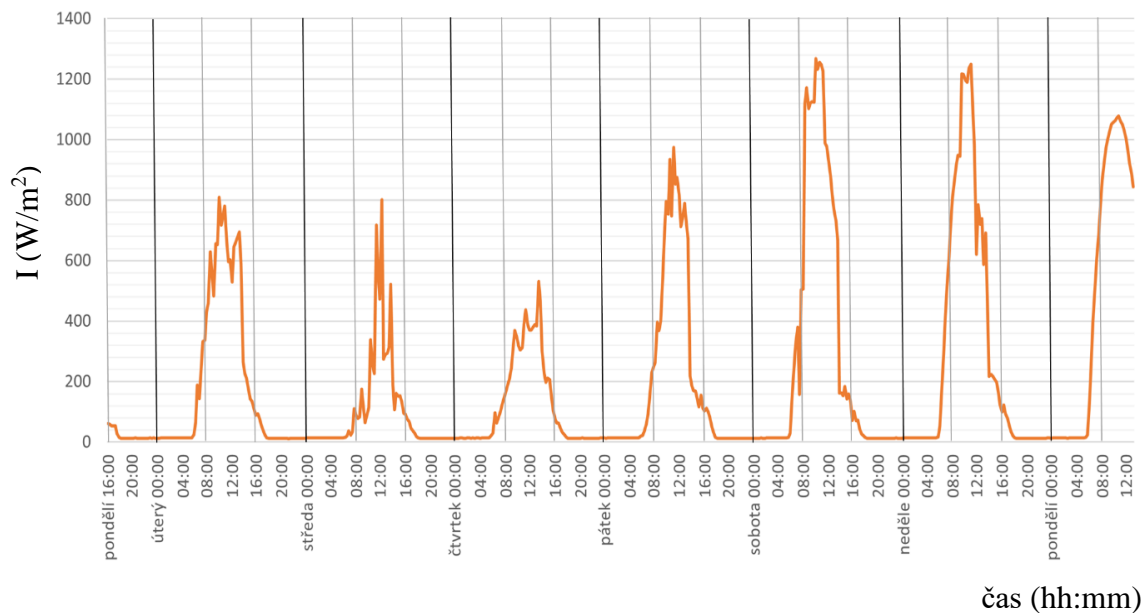
### 8.1.3 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 3. období

Třetí měření probíhalo od pondělí 14. 3. 2022 16:00 hod. do pondělí 21. 3. 2022 do 16:00 hod. V průběhu tohoto a dalších dvou týdnů bylo využito hliníkového plechu (viz *Obr. 8–10*), který nám simuluje reflexní prvek, který se mnohdy nachází v blízkosti FV panelů umístěných na střeše. Tento reflexní prvek by měl mít vliv zejména na intenzitu slunečního záření dopadající na FV panel a s ní spojenou teplotu. Intenzitu však měříme pomocí pyranometru, který je od FV panelu a v tomto případě taktéž hliníkového plechu vzdálen asi 2 m, tudíž budeme sledovat zejména vliv na teplotu.



*Obr. 8-10 Umístění plechu pod FV panel*

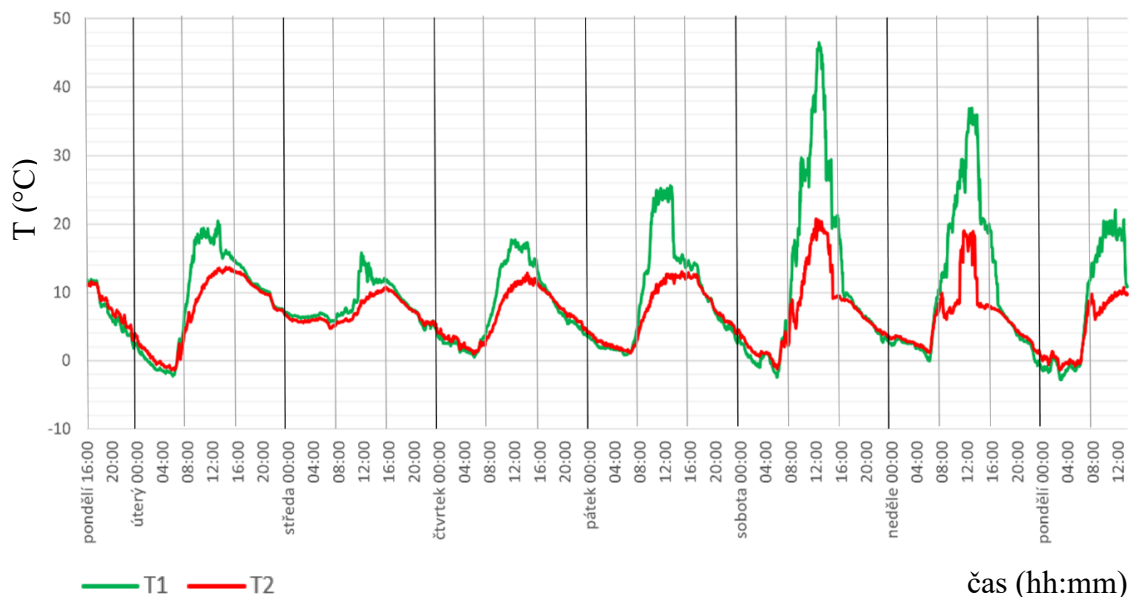
Jak můžeme vidět na *Obr. 8–11*, intenzita slunečního záření měla v rámci jednotlivých dnů poměrně odlišné průběhy (zejména v porovnání s minulým měřením). V první polovině měření se intenzita pohybovala maximálně okolo  $800 \text{ W/m}^2$ . Ve čtvrtek byla intenzita slunečního záření v průběhu dne nejnižší. Naopak v sobotu a neděli bylo dosaženo maximálních hodnot intenzity ze všech tří dosavadních měření. V sobotu se v poledních hodinách pohybovala okolo  $1300 \text{ W/m}^2$  a v neděli okolo  $1250 \text{ W/m}^2$ .



*Obr. 8-11 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 3. období*

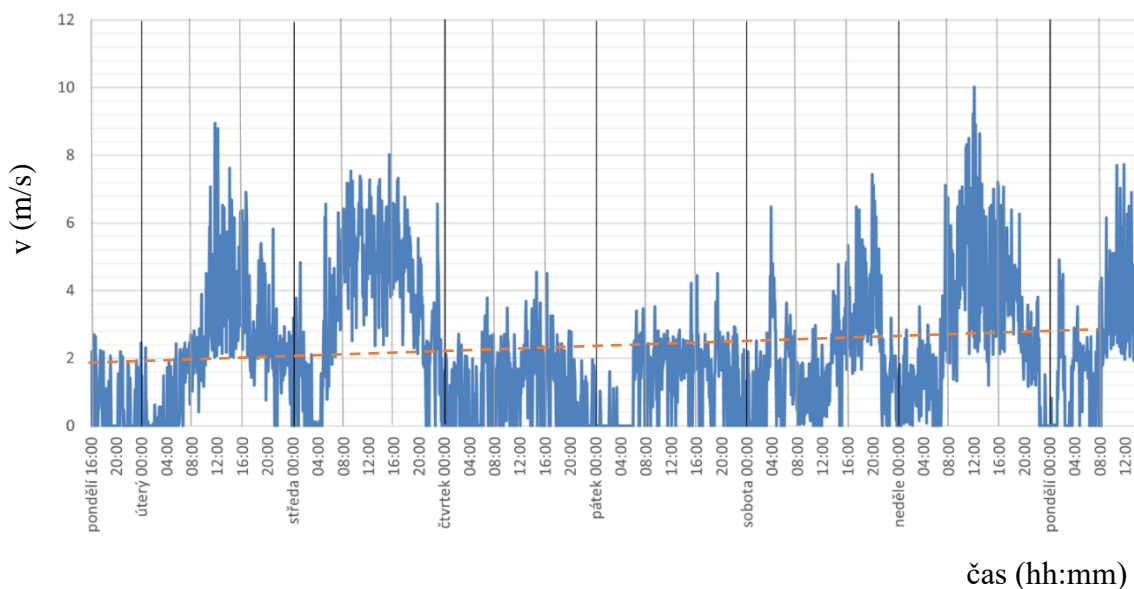
Průběh teplot je srovnatelný s předešlým měřením, kdy se teplota pohybovala kolem hranice  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  a výše během dvou dnů. V sobotu bylo naměřeno maximum v rámci tohoto měření, kdy se teplota vyšplhala na  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ , což je srovnatelná hodnota s předchozím měřením. V neděli bylo dosaženo teploty  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  (viz *Obr. 8–12*). Ve všech ostatních dnech se teplota FV panelu pohybovala v maximum okolo  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  při okolní teplotě pohybující se od  $8\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pod bod mrazu klesla teplota okolí v rámci tohoto měření pouze třikrát, a to v úterý, sobotu a pondělí.





Obr. 8-12 Graf rozložení teplot ve 3. období

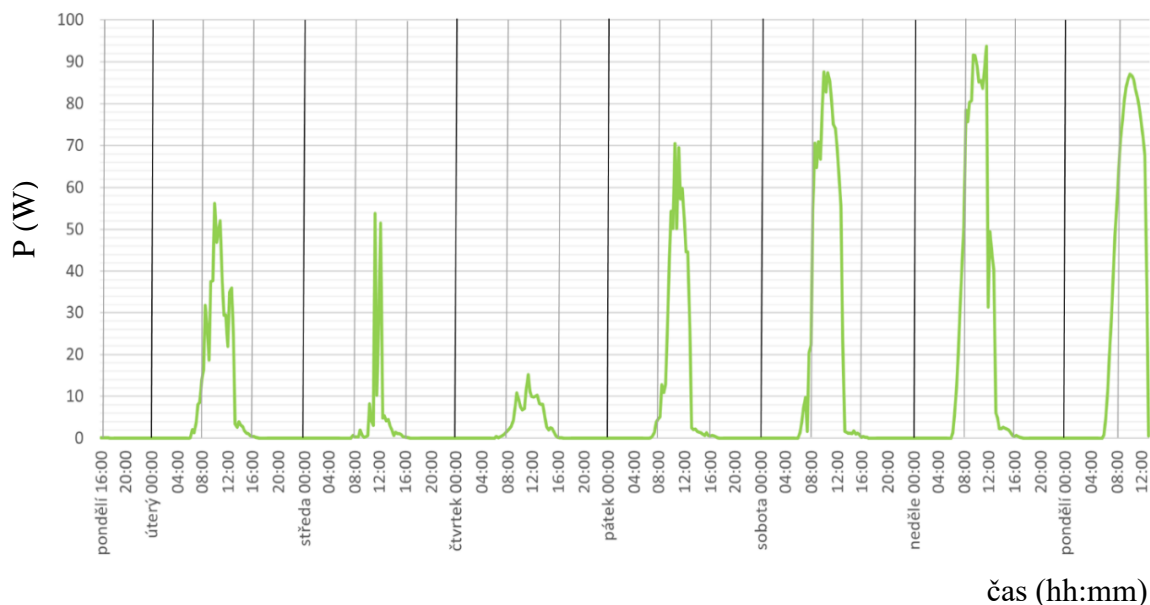
Rychlost proudění vzduchu byla v porovnání s předchozími měřeními podstatně nižší, což je patrné taktéž na spojnici trendu (viz Obr. 8-13). Rychlost se v průměru pohybovala okolo 2 m/s a měla stoupavou tendenci v rámci tohoto měření.



Obr. 8-13 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 3. období

Jak můžeme vidět na Obr. 8-14, výkon dosáhl v rámci tohoto měření maxima, kterého bylo dosaženo v průběhu neděle. Výkon se pohyboval nad hranicí 90 W.

V průběhu soboty a pondělí bylo taktéž dosahováno poměrně vysokých hodnot, které se pohybovaly okolo 88 W. Nejnižších hodnot v průběhu dne byly zaznamenány ve čtvrtek, kdy bylo dosaženo maximálního výkonu 15 W.



Obr. 8-14 Graf závislosti výkonu na čase ve 3. období

Pokud se podíváme na Obr. 8–7, konkrétně na neděli, zjistíme, že se FV panel při intenzitě slunečního záření okolo  $1000 \text{ W/m}^2$  a okolní teplotě  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  zahřál na  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . V porovnání z Obr. 8–12 zjistíme, že se FV panel v průběhu soboty taktéž zahřál na teplotu  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ , avšak při okolní teplotě pouhých  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Rychlost proudění vzduchu byla v obou dnech srovnatelná a rozdíl teplot je pravděpodobně způsoben hliníkovým plechem, který odráží sluneční záření na panel a tím ho částečně ohřívá. Při porovnání maximálních výkonů (Obr. 8–9 a 8–14), které byly v obou dnech dosaženy je patrné, že navzdory vyšší teplotě FV panelu bylo dosaženo vyšších hodnot výkonu v sobotu během třetího měření, kdy výkon panelu dosahoval téměř 95 W.

Dále se můžeme podívat na Obr. 8–12, kdy bylo dosaženo poměrně rozdílných teplot FV panelu při téměř totožné teplotě okolí a vzduchu, který proudil kolem FV panelu. Na Obr. 8–13 je však patrné, že během dosažení maximálních teplot panovaly v obou dnech velice odlišné podmínky, co se týče rychlosti proudění vzduchu. V sobotu, kdy byla teplota FV panelu na maximu, téměř nedocházelo k ochlazování panelu pomocí porывů větru. Rychlost se v tomto intervalu teplot panelu pohybovala v maximech okolo  $2 \text{ m/s}$ . Naopak v neděli bylo v rámci rychlosti proudění vzduchu dosaženo maximálních

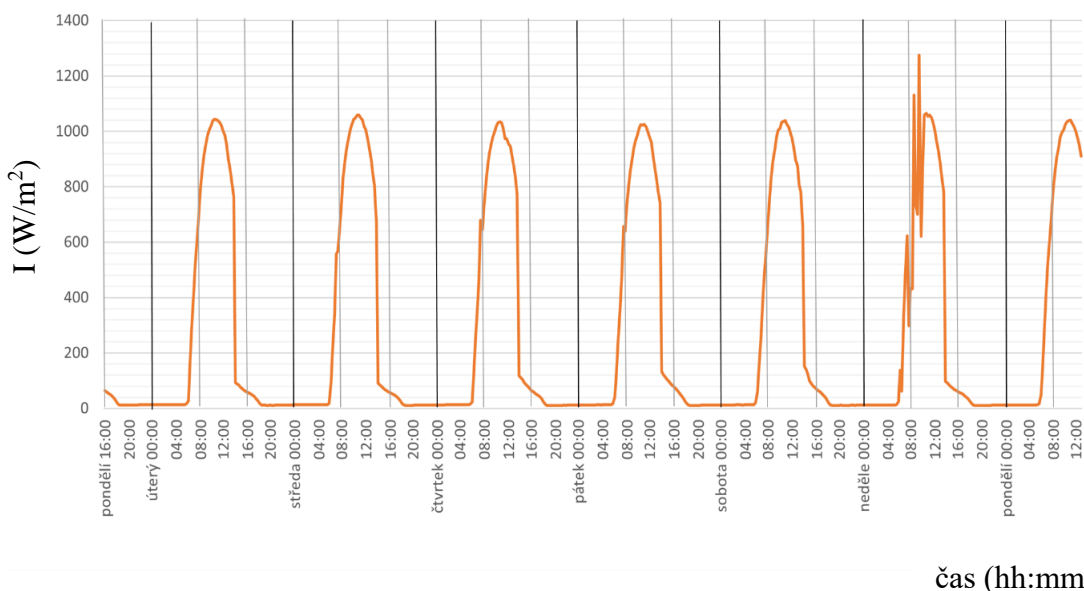


hodnot (až 10 m/s). Z tohoto důvodu nedošlo k zahřátí FV panelu na vyšší teplotu než 38 °C, i když byla teplota v okolí panelu srovnatelná s předešlým dnem. Rychlost proudění vzduchu měla v rámci tohoto měření vliv i na celkový výkon. Na Obr. 8–14 můžeme vidět, že v průběhu soboty bylo dosaženo maximálního výkonu 88 W, kdežto v neděli se tato hodnota pohybovala na hranici 95 W. Během obou maxim v rámci těchto dnů panovaly téměř totožné podmínky, co se intenzity slunečního záření týče (viz Obr. 8–11).

### 8.1.4 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 4. období

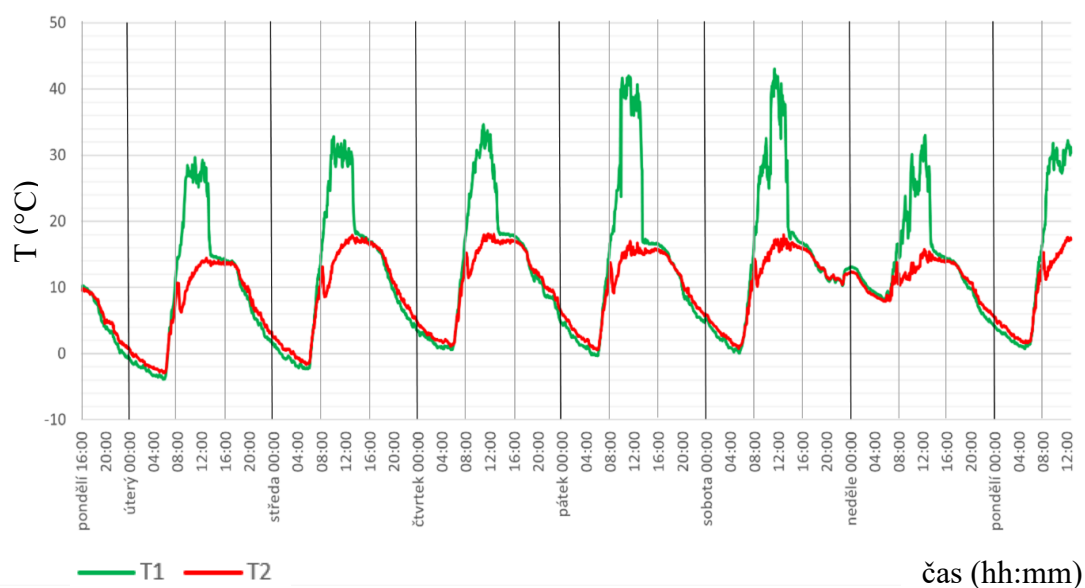
Čtvrté měření započalo v pondělí 21. 3. a skončilo 28. 3. 2022 ve 12:00 hod. V průběhu tohoto měření byl pod FV panelem zanechán plech, který slouží jako reflexní prvek a ovlivňuje již zmíněnou intenzitu slunečního záření dopadající na FV panel a taktéž jeho teplotu.

Intenzita slunečního záření naměřená na pyranometru se v tomto období pohybovala ve stejných intenzitách s výjimkou neděle (Obr. 8–15). V neděli došlo v dopoledních hodinách k výchytkám intenzity, která v jeden okamžik dosáhla hodnoty 1300 W/m<sup>2</sup>.



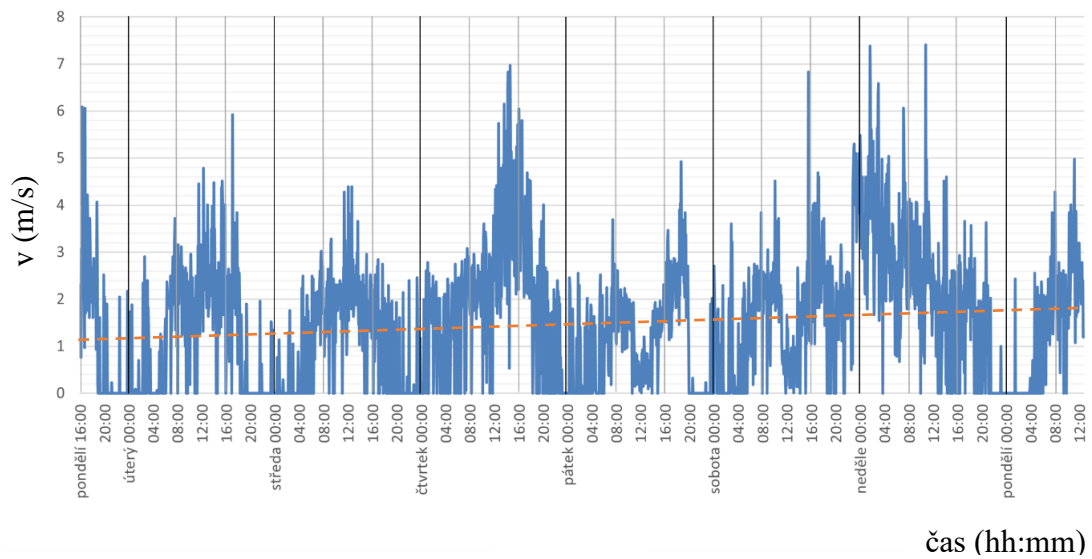
Obr. 8-15 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 4. období

Teploty se v tomto období značně lišily, zejména pokud vezmeme v potaz dopadající intenzitu slunečního záření. Teploty se v úterý, ve středu, ve čtvrtek, v neděli i v pondělí pohybovaly kolem hodnot 30 °C, avšak v pátek a sobotu překročily teploty FV panelu hranici 40 °C. Teplota proudícího vzduchu kolem FV panelu byla v průběhu měření konstantní a pohybovala se v maximech okolo 18 °C (Obr. 8–16). Žádné výrazné výchylky teplot vzduchu proudícího kolem FV panelu nebyly v tomto měření zaznamenány, tudíž se na výchylkách teplot FV panelu nepodílela.



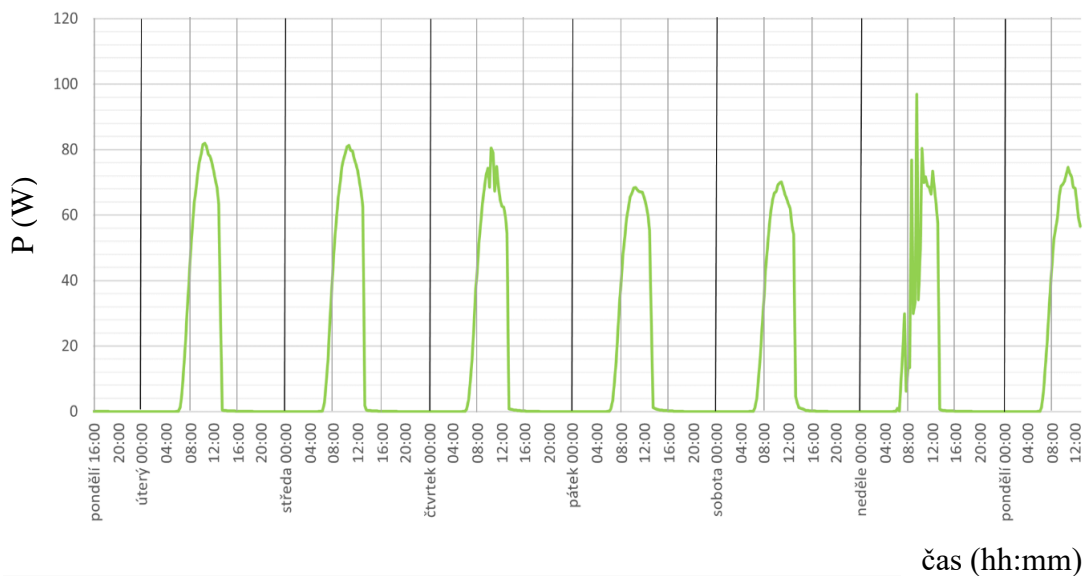
Obr. 8-16 Graf rozložení teplot ve 4. období

Rychlost proudění vzduchu byla v porovnání s ostatními měřeními podstatně nižší. Spojnice trendu naznačuje, že měla rychlost stoupající charakter, avšak pohybovala se v průměru okolo 1,5 m/s. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo ve čtvrtek v odpoledních hodinách, v neděli okolo druhé hodiny ranní a následně kolem poledne. Rychlost v těchto intervalech se pohybovala okolo 7 m/s (Obr. 8–17).



Obr. 8-17 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 4. období

Výkon během tohoto měření dosáhl maxima, a to v neděli, kdy kopíroval křivku dopadající intenzity slunečního záření. Hodnota výkonu byla v tuto dobu 96,86 W. V ostatních dnech bylo v poledních hodinách dosahováno výkonu v rozmezí 70–82 W (Obr. 8–18).



Obr. 8-18 Graf závislosti výkonu na čase ve 4. období

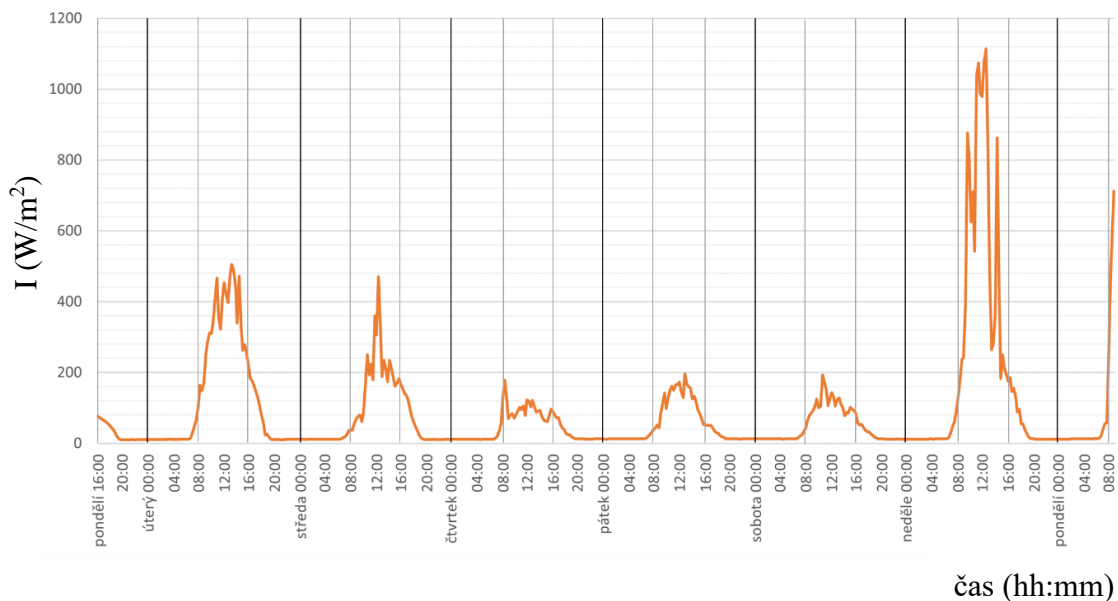
Z důvodu téměř totožných průběhů intenzit slunečního záření můžeme pokles výkonů v určitých intervalech přisuzovat dalším okolním vlivům. Jak již bylo řečeno, výkon v neděli kopíroval křivku intenzity a rychlost proudění vzduchu se pohybovala okolo 2-4 m/s. Teplota FV panelu v tomto intervalu dosahovala v maximech 33 °C, tudíž k teplotnímu ovlivňování panelu a následnému viditelnému poklesu výkonu nedošlo.

Ve všech ostatních dnech se intenzita pohybovala ve stejných intenzích, což se nedá říct o výstupním výkonu FV panelu. V úterý, středu i čtvrtek dosahoval výstupní výkon hodnot 80 W, kdežto v pátek, sobotu a pondělí bylo dosaženo maximální hodnoty výkonu 74,62 W. Značně odlišný průběh během dosahování maximálních hodnot výkonů v jednotlivých dnech měla rychlost proudění vzduchu. V první polovině týdne se rychlost větru v poledních hodinách pohybovala v průměru kolem 2–4 m/s, tudíž docházelo k částečnému ochlazování FV panelu. V porovnání s pátkem a sobotou, kdy bylo v rámci měření dosaženo nejvyšších hodnot, nedocházelo téměř k žádnému proudění vzduchu kolem FV panelu a jeho následnému ochlazování. Teplota panelu dosáhla v těchto dnech maxima 42,19 °C. Jedná se o poměrně značný skok z hlediska poklesu výkonu při maximálních teplotách panelu okolo 42 °C. Tento pokles můžeme z části přisoudit i poměru přímého záření a difuzní složky, odrážející se od hliníkového plechu dopadající na FV panel v jednotlivých dnech.

### **8.1.5 Vyhodnocení naměřených hodnot z 5. období**

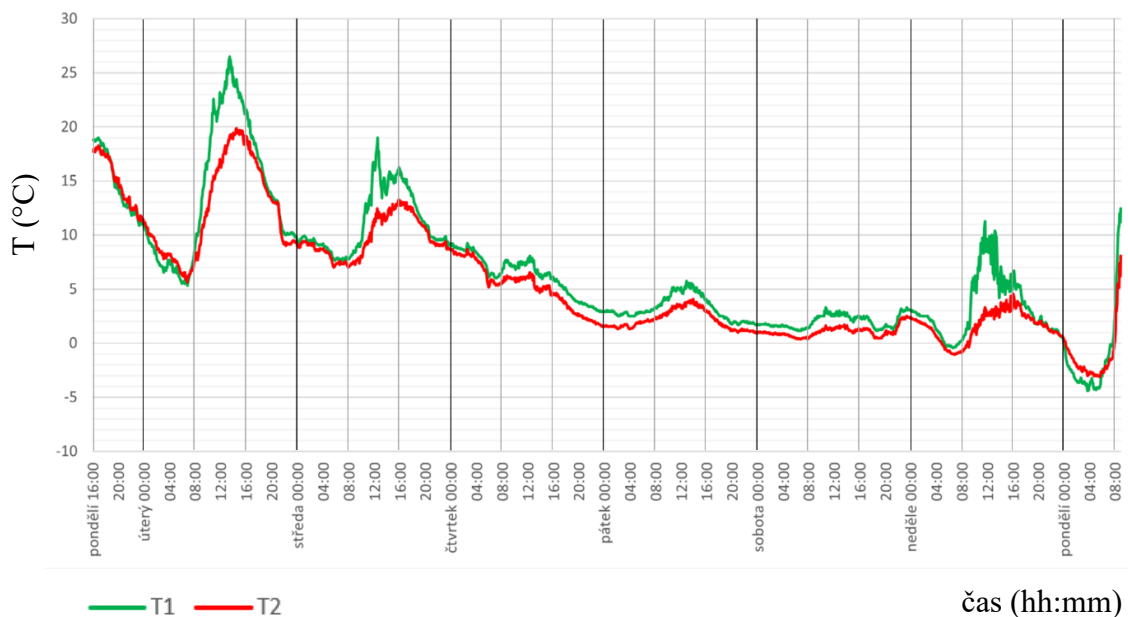
Páté měření probíhalo od pondělí 28. 3. 2022 od 16:00 hod do pondělí 4. 4. 2022 do 8:00 hod. Jednalo se o poslední měření, kdy byl pod FV panelem zanechán reflexní prvek v podobě plechu.

Podstatnou část tohoto týdne panovalo v Brně nepříznivé počasí a intenzita slunečního záření se k ideálním hodnotám přiblížila až v průběhu neděle. Během úterý a středy se intenzita pohybovala okolo 400 W/m<sup>2</sup> a v dalších třech následujících dnech (čtvrtek, pátek, sobota) bylo v maximech dosaženo intenzity 200 W/m<sup>2</sup> (viz *Obr. 8–19*).



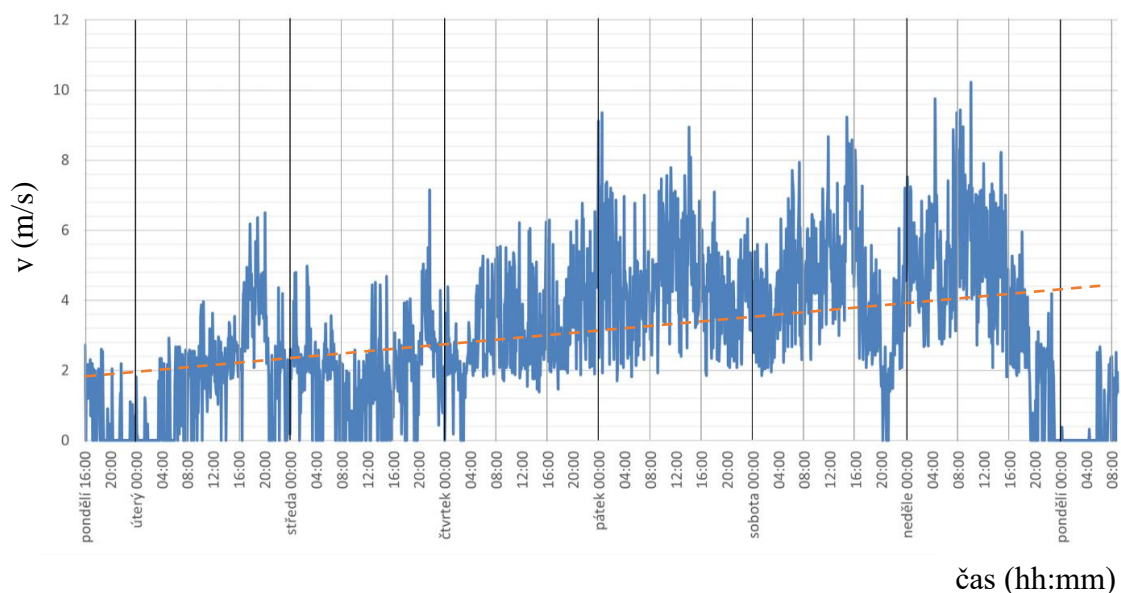
Obr. 8-19 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 5. období

Nepříznivé počasí a nízké průměrné teploty můžeme pozorovat na Obr. 8–20. Navzdory poměrně vysoké oblačnosti se v pondělí vyšplhaly teploty k týdennímu maximu 20 °C. Teplota FV panelu přitom byla 28 °C. V průběhu týdne měla teplota klesavou tendenci a ani v průběhu dne nedocházelo k znatelnějším nárůstům. V neděli, kdy byla intenzita slunečního záření nad hodnotou 1000 W/m<sup>2</sup> byla hodnota teploty okolí panelu pouze 4 °C a samotný panel měl teplotu 11,5 °C.



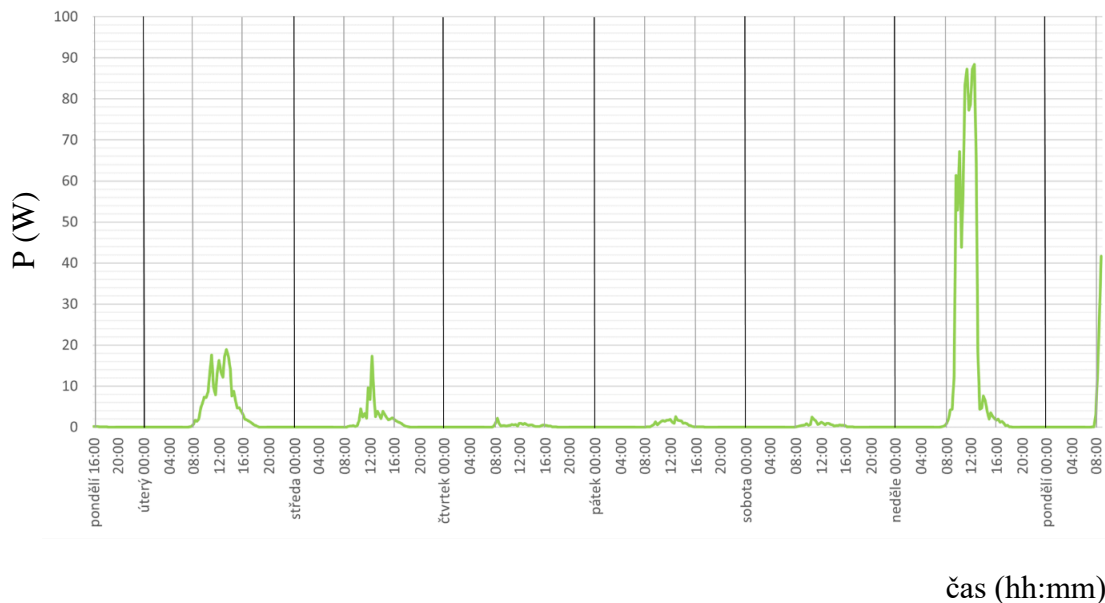
Obr. 8-20 Graf rozložení teplot v 5. období

Rychlost proudění vzduchu měla ve velké části tohoto měření relativně konstantní průběh, zejména při porovnání s ostatními měřeními. V pondělí, úterý a středu rychlost kolísala (viz *Obr. 8–21*), ale od čtvrtečního rána až do nedělního odpoledne se rychlost většinu času držela v rozmezí 2–6 m/s s minimálními odchylkami.



*Obr. 8-21 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 5. období*

Vzhledem k poměrně nízkým intenzitám slunečního záření bylo v rámci týdne dosahováno nízkých hodnot výkonu. Při intenzitě záření okolo  $200 \text{ W/m}^2$  byla hodnota výkonu téměř zanedbatelná. V pondělí a úterý bylo dosaženo hodnot výkonu 20 W při intenzitě  $500 \text{ W/m}^2$ . V neděli, kdy byla intenzita slunečního záření v rámci měření maximální, byl výkon 88 W. Tuto naměřenou hodnotu můžeme pozorovat na *Obr. 8–22*.



Obr. 8-22 Graf závislosti výkonu na čase v 5. období

Z důvodu nepříznivých podmínek, které během tohoto měření probíhaly, jsou výsledné hodnoty výkonu téměř ve všech dnech nižší než 20 W. Teplota FV panelu se v rámci tohoto měření pohybovala v rozmezí, při kterém dochází k ovlivnění výkonu teplotou nedochází. Nízkou průměrnou hodnotu výkonu můžeme tedy přičíst nízké intenzitě slunečního záření.

Při porovnání měření s plechem a bez plechu je patrné, že během těchto tří týdnů bylo častěji dosaženo vyšších teplot modulu, které mají částečný vliv na pokles výkonu. Zvýšení teplot tedy můžeme přičíst vyšší tepelné vodivosti plechu, kdy pohlcené teplo sálá do okolí modulu a taktéž difuzní složce záření odražené od plechu směrem k modulu.



### 8.1.6 Vyhodnocení naměřených hodnot z 6. období

Šesté měření započalo v pondělí 4. 4. 2022 ve 12:00 hod a probíhalo do 11. 4. 2022 8:00 hod. Počínaje tímto měřením je pod FV panelem umístěna bílá, dřevěná deska na hliníkovém plechu (viz *Obr. 8–23*).

Dřevo má rozdílnou tepelnou vodivost než hliníkový plech a bílá barva velice dobře odráží sluneční záření. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli využít tento materiál a zjistit, jaký vliv bude mít na okolní teplotu FV panelu a jeho výkon způsobený odrazem slunečního záření.

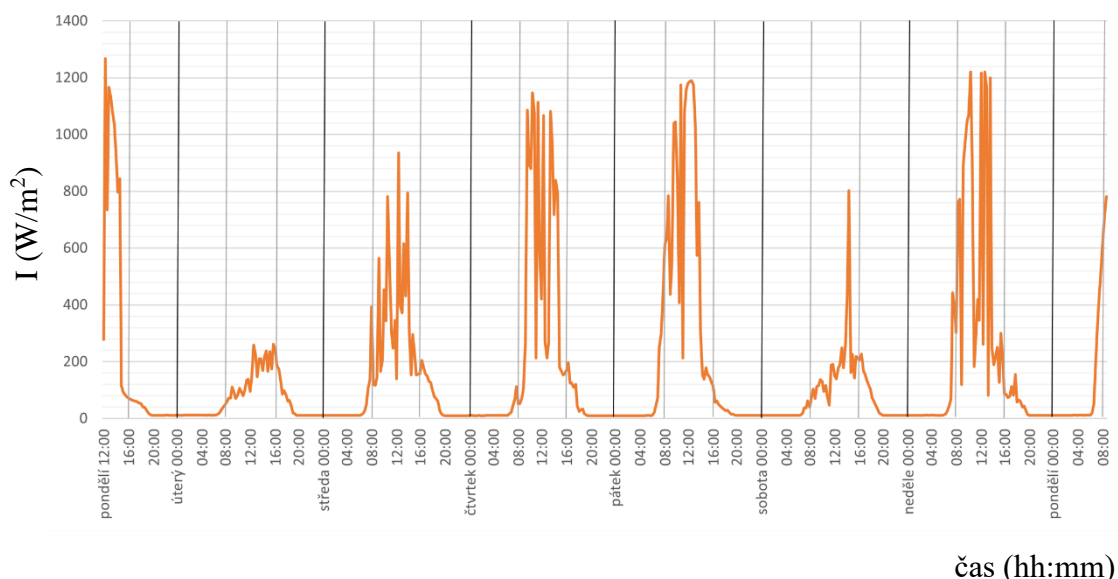


*Obr. 8-23 Umístění bílé, dřevěné desky pod FV panel*

Intenzita slunečního záření dosahovala v rámci tohoto měření poměrně vysokých hodnot, jak je patrné z *Obr. 8–24*. Hodnoty intenzity však měly ve většině dnů kolísavou tendenci a v rámci jednotlivých dnů bylo v poledních hodinách dosahováno intenzit v rozmezích od 200–1200 W/m<sup>2</sup>. Maxima bylo dosaženo v pondělí ve 12:00 hodin,

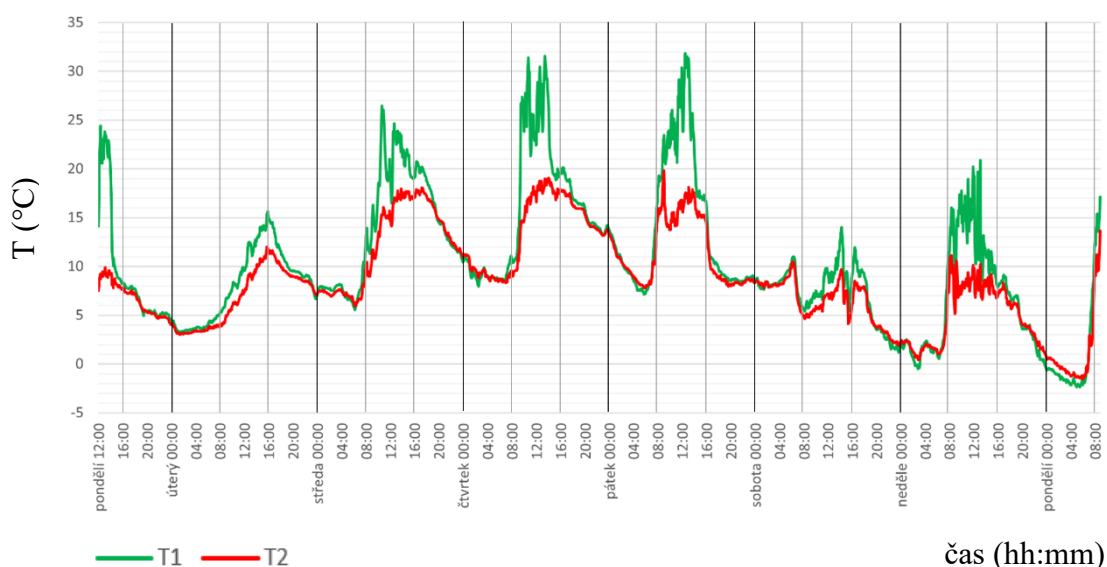


kdy byla intenzita slunečního záření  $1300 \text{ W/m}^2$ . Naopak minimum v poledních hodinách bylo naměřeno v úterý a sobotu, kdy byla intenzita pouhých  $100 \text{ W/m}^2$ .



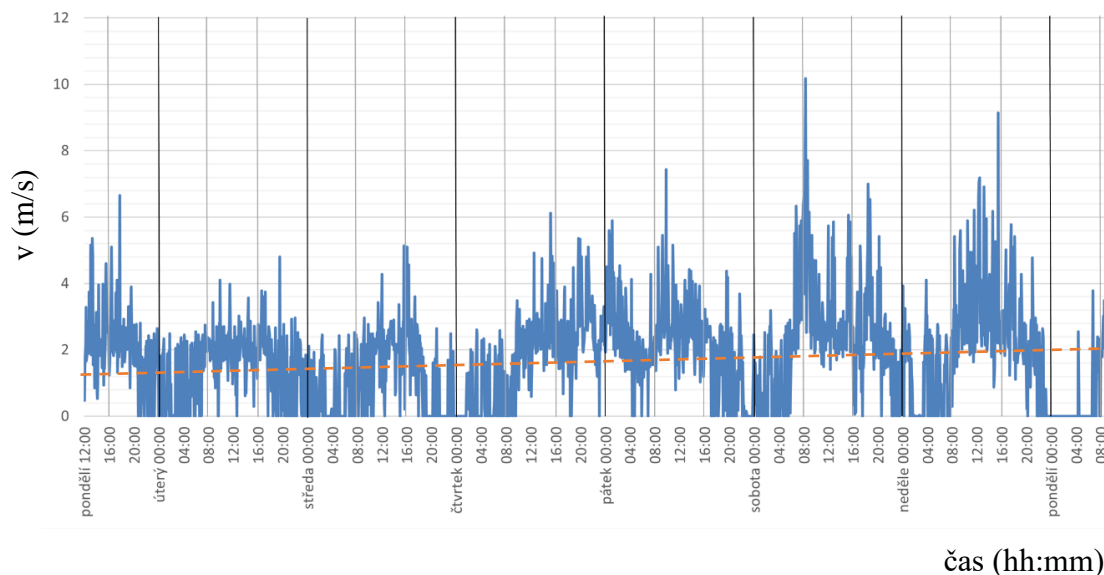
Obr. 8-24 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 6. období

Maximální hodnota teploty FV panelu  $31,81 \text{ }^\circ\text{C}$  byla naměřena v pátek ve 12:29 hod. Okolní teplota se v tomto okamžiku pohybovala na hodnotě  $17,38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jak je z Obr. 8–25 patrné, hodnoty teplot nedosahovaly v tomto týdnu příliš vysokých čísel a tím pádem nedocházelo ke ztrátám a poklesům výkonu způsobeným vysokou teplotou panelu.



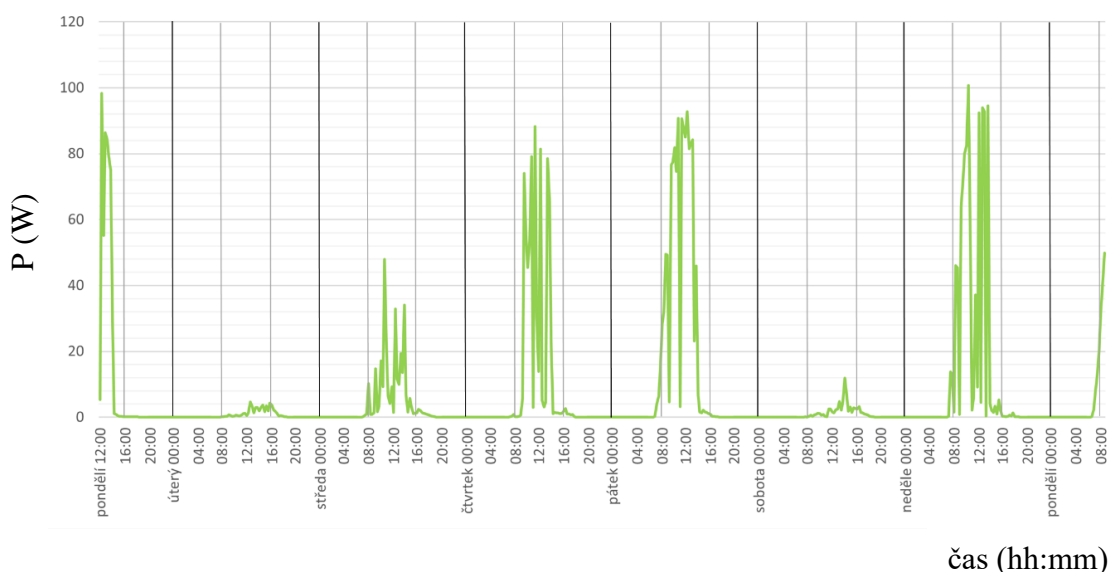
Obr. 8-25 Graf rozložení teplot v 6. období

Rychlost proudění vzduchu měla v průběhu týdne stoupavou tendenci a v průměru se pohybovala okolo 2 m/s. Maxima 10,17 m/s bylo dosaženo v sobotu v 8:17 hod. K výraznějším poryvům větru docházelo kromě soboty taktéž v pondělí, pátek a neděli, kdy byla rychlost větru místy 7–9 m/s.



*Obr. 8-26 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 6. období*

Maximálního výkonu 100,75 W bylo v rámci tohoto, ale i celkového měření dosaženo v neděli v 10:22 hod. Dále je na *Obr. 8–27* vidět, že v úterý a sobotu panovaly nepříznivé podmínky a maximální naměřený výkon obou dnů byl pouze 12,04 W.



*Obr. 8-27 Graf závislosti výkonu na čase v 6. období*

Během prvního měření s dřevěnou deskou umístěnou pod FV panelem převládaly kolísající hodnoty intenzity slunečního záření. I přes dosažení vysokých hodnot intenzit nedocházelo k výraznějšímu přehřívání FV panelu, které by mohlo způsobit jeho omezení nebo pokles výkonu.

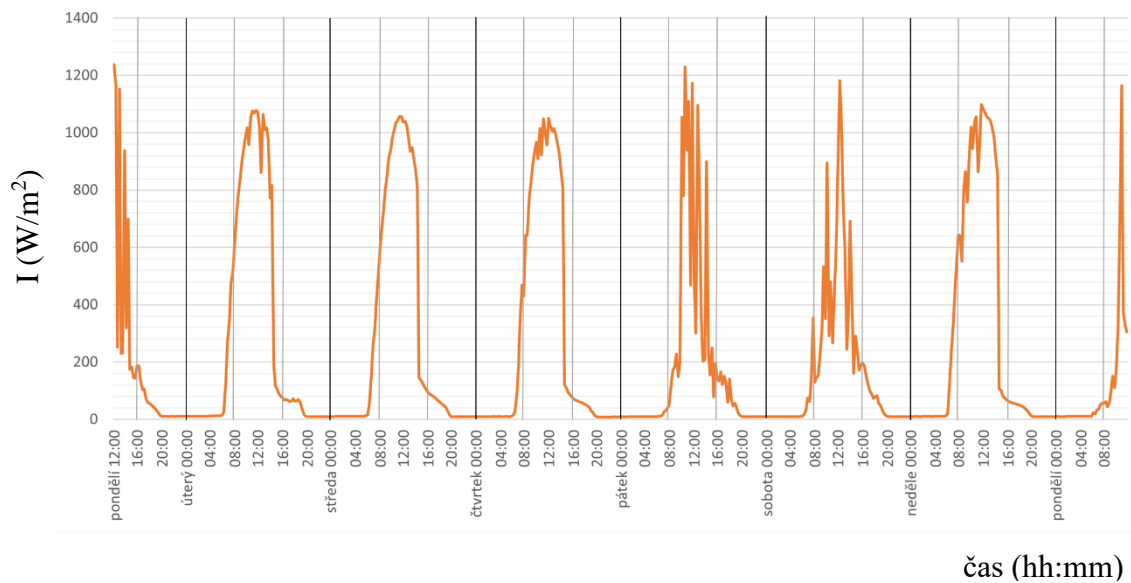
Pokud porovnáme průběhy intenzit třetího a šestého měření (*Obr. 8–11* a *Obr. 8–24*), tak je vidět, že během obou týdnů byly v některých dnech naměřeny hodnoty intenzit 1200-1300 W/m<sup>2</sup>. Ve třetím období (viz *Obr. 8–14*), kdy byl využíván pouze plech z hliníku, nebylo dosahováno tak vysokých hodnot výkonu, jako v tomto měření i při mírně vyšších intenzitách slunečního záření.

Jak již bylo řečeno, výkon se při prvním měření s dřevěnou deskou dostal na maximální hodnotu v rámci všech měření a v porovnání se třetím měření byl rozdíl maximálních dosažených hodnot 6 W. Na druhou stranu teplota panelu byla v rámci jednotlivých měření velice odlišná. Konkrétně se jedná o rozdíl 30 °C, který má určitý podíl na poklesu výkonu u třetího měření.

### **8.1.7 Vyhodnocení naměřených hodnot ze 7. období**

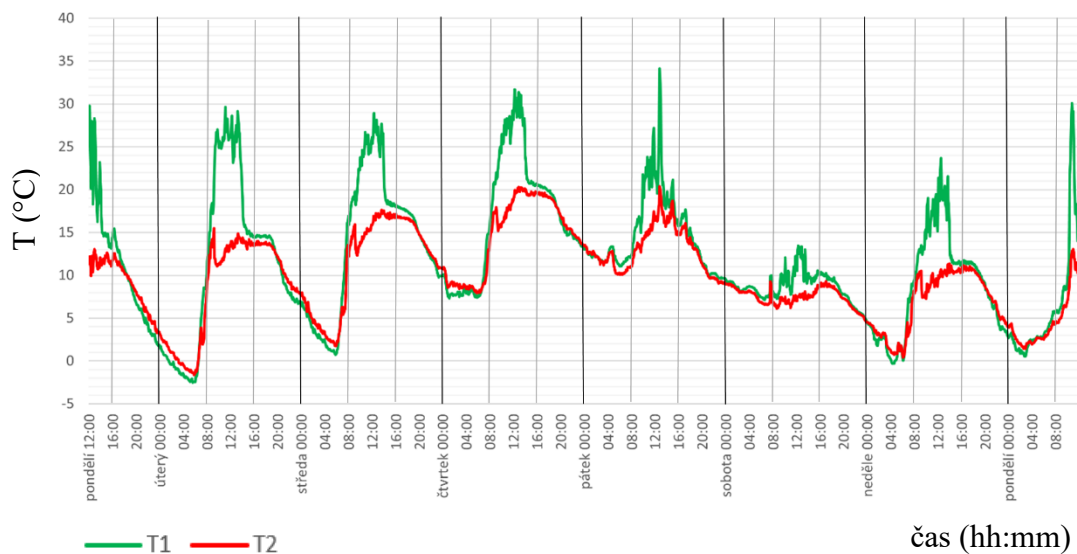
Sedmé a předposlední měření probíhalo od pondělí 11. 4. od 12:00 hodin do pondělí 18. 4. 2022 do 8:00 hodin. Během tohoto týdne byla pod FV panelem zachována bílá dřevěná deska umístěná na hliníkovém plechu (viz *Obr. 8–23*).

Intenzita slunečního záření naměřená na pyranometru přesáhla v průběhu tohoto měření hranici 1000 W/m<sup>2</sup> v rámci každého dne. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo v pondělí a pátek, kdy se maximální hodnoty intenzity v poledních hodinách přehoupaly přes hranici 1200 W/m<sup>2</sup>. Ke značnému kolísání docházelo během pondělí, pátku a soboty, kdy z důvodu proměnlivé oblačnosti kolísaly hodnoty intenzity mezi 300 W/m<sup>2</sup> a týdenním maximem. Průběhy intenzit slunečního záření jednotlivých dnů můžeme vidět na *Obr. 8–28*.



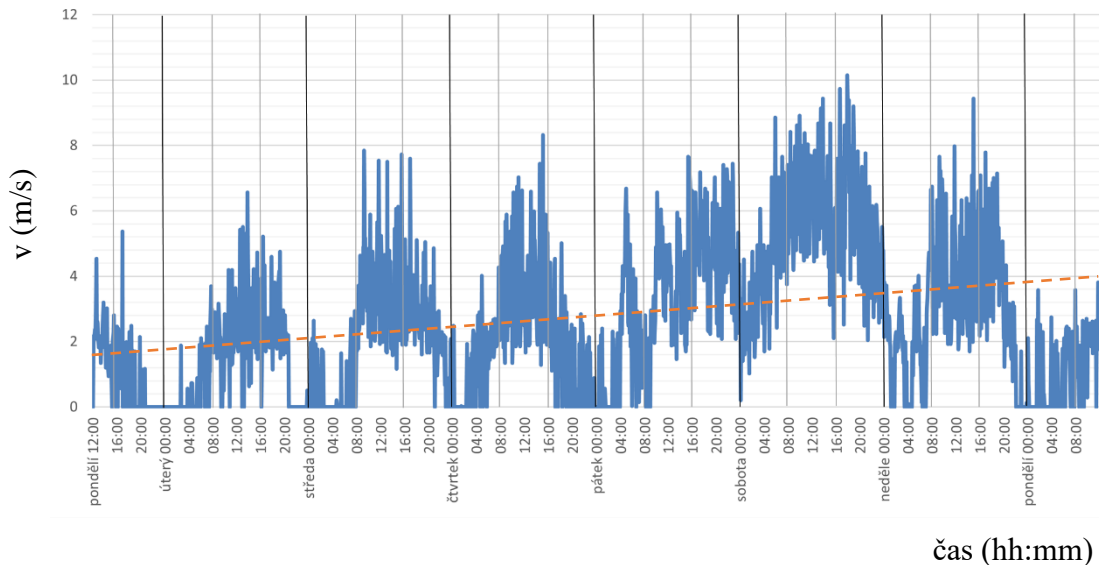
Obr. 8-28 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 7. období

Průběhy teplot naměřených na FV panelu a v jeho okolí se ve většině týdne pohybovaly v podobných intenzích (viz Obr. 8–29). Během pondělí až pátku se teploty FV panelu v poledních hodinách pohybovaly v intervalu 25–34 °C a teploty prostředí v okolí panelu v rozmezí od 10–20 °C. K poklesu teplot došlo během soboty a neděle. Konkrétně v sobotu se teploty FV panelu v poledních hodinách pohybovaly okolo 14 °C při teplotě okolí 9 °C.



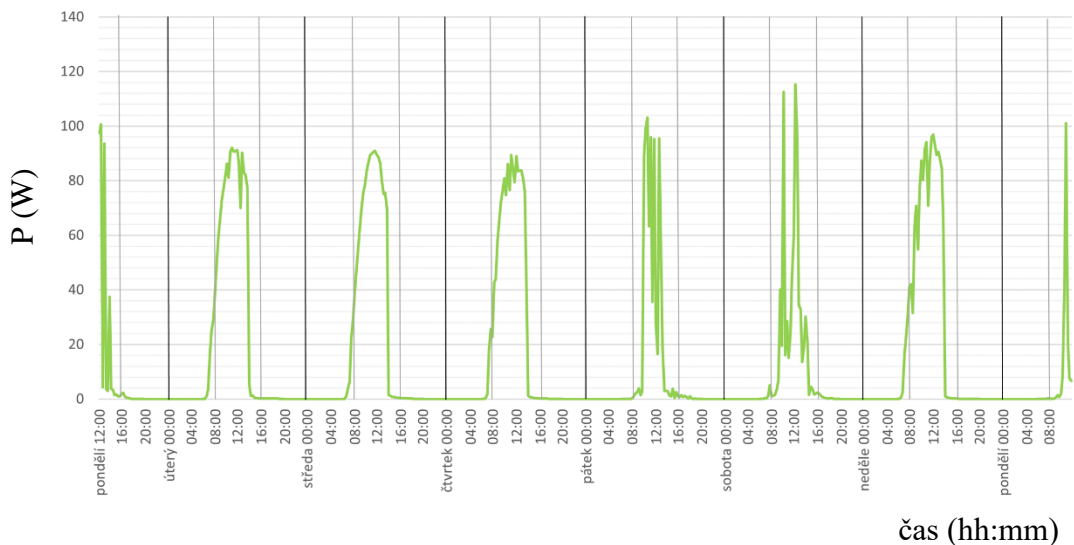
Obr. 8-29 Graf rozložení teplot v 7. období

Rychlost proudění větru kolem FV panelu měla v tomto týdnu opět stoupavou tendenci, jak je patrné ze spojnice trendu na *Obr. 8–30*. Intenzita se taktéž v rámci jednotlivých dnů stupňovala během poledních hodin. V nočních a ranních hodinách se rychlost držela kolem nuly, respektive na velmi nízkých hodnotách. Maxima bylo dosaženo během sobotního odpoledne, kdy byla naměřena hodnota 10,14 m/s.



*Obr. 8-30 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 7. období*

Hodnoty výkonu byly tento týden poměrně vysoké, zejména díky vysoké a konzistentní intenzitě slunečního záření. Nejvyšší hodnoty bylo dosaženo v průběhu soboty, kdy se výkon vyšplhal na hodnotu 115,37 W (viz *Obr. 8–31*).



*Obr. 8-31 Graf závislosti výkonu na čase v 7. období*

V rámci tohoto měření panovaly téměř dokonalé podmínky, co se intenzity slunečního záření týče. Vzhledem k těmto ideálním podmínkám ozáření FV panelu jsme schopni přesněji určit, které další snímané veličiny měly vliv na celkovou výnosnost a jaký vliv na celkový výkon měla dřevěná deska.

Již zmíněná rychlost větru byla během tohoto měření poměrně vysoká, avšak navzdory ideálním podmínkám intenzity se teplota panelu dostala na týdenní maximum 34 °C. Díky této hodnotě nedocházelo k poklesu výkonu způsobenému právě vysokou teplotou ani k výraznému ochlazování FV panelu proudem vzduchu. Pokud porovnáme hodnoty výkonů během tohoto měření (*Obr.8–31*) s hodnotami výkonů z měření č.4 (*Obr. 8–18*), kdy byl pod FV panelem umístěn pouze plech, tak je patrné, že za srovnatelných podmínek ozáření se hodnoty výkonu v některých dnech značně liší i při stejné teplotě panelu. V tomto měření se hodnoty výkonu v rámci všech dnů vyšplhaly nad hranici 90 W a jak již bylo řečeno, v sobotu 16. 4. 2022 bylo dosaženo maximální hodnoty výkonu (115,37W) v rámci všech měření.

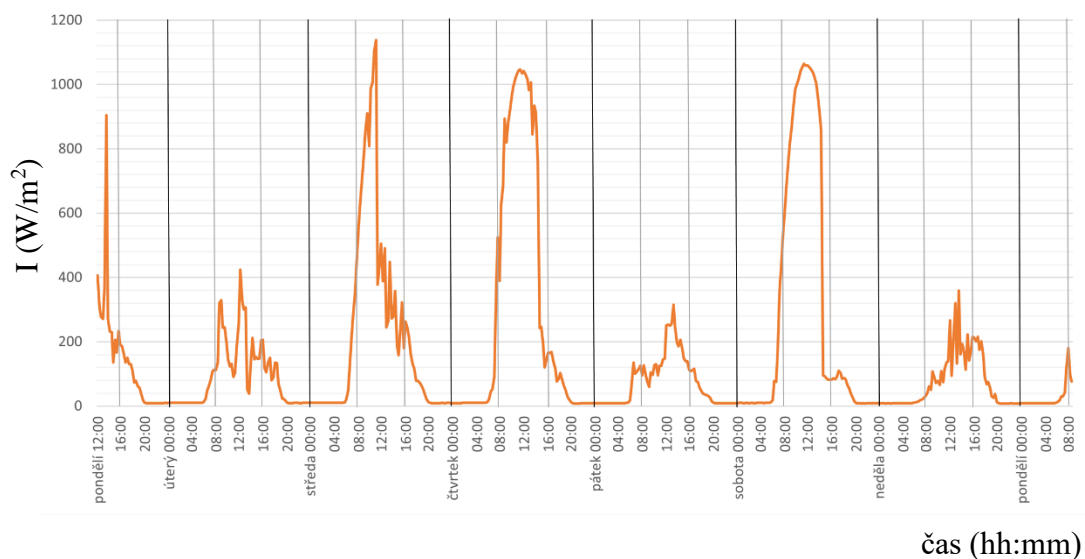
S ohledem na dosažené maximum a konstantně vyšší hodnoty výkonu za srovnatelných podmínek s využitím plechu a bílé dřevěné desky můžeme konstatovat, že má bíle zbarvená dřevěná deska poměrně vysokou míru odrazivosti dopadajícího záření, které je odraženo zpět na FV panel. Tato skutečnost má za následek zvýšení výkonu a výnosnosti FV panelu.

### **8.1.8 Vyhodnocení naměřených hodnot z 8. období**

Poslední týden měření probíhal od pondělí 18. 4. od 12:00 hodin do pondělí 25. 4. 2022 do 8:00 hodin. Během posledního měření byla pod FV panelem ponechána dřevěná deska. Cílem tohoto měření bude zejména ověření, zdali má deska pozitivní vliv na výkonnost FV panelu, který doposud vykazovala.

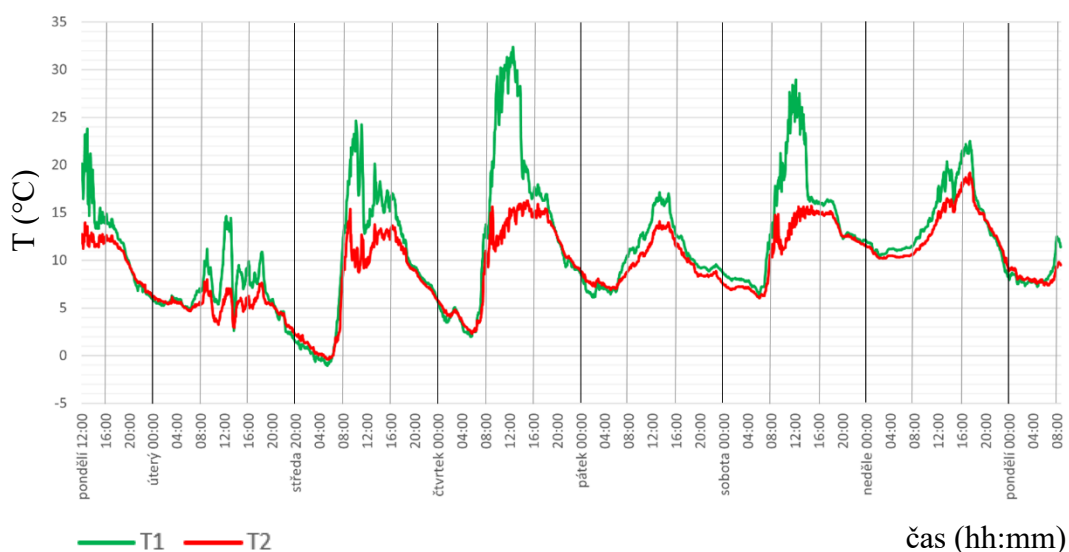
Jak je patrné z *Obr. 8–32*, hodnoty intenzity slunečního záření v rámci posledního měření značně kolísaly. V úterý, pátek a neděli se tyto hodnoty pohybovaly v maximech okolo 400 W/m<sup>2</sup>. Naopak v pondělí, středu, čtvrtek a sobotu byla intenzita opět

v ideálních intenzích. Maxima bylo dosaženo během středy, kdy byla na pyranometru naměřena hodnota 1138 W/m<sup>2</sup>.



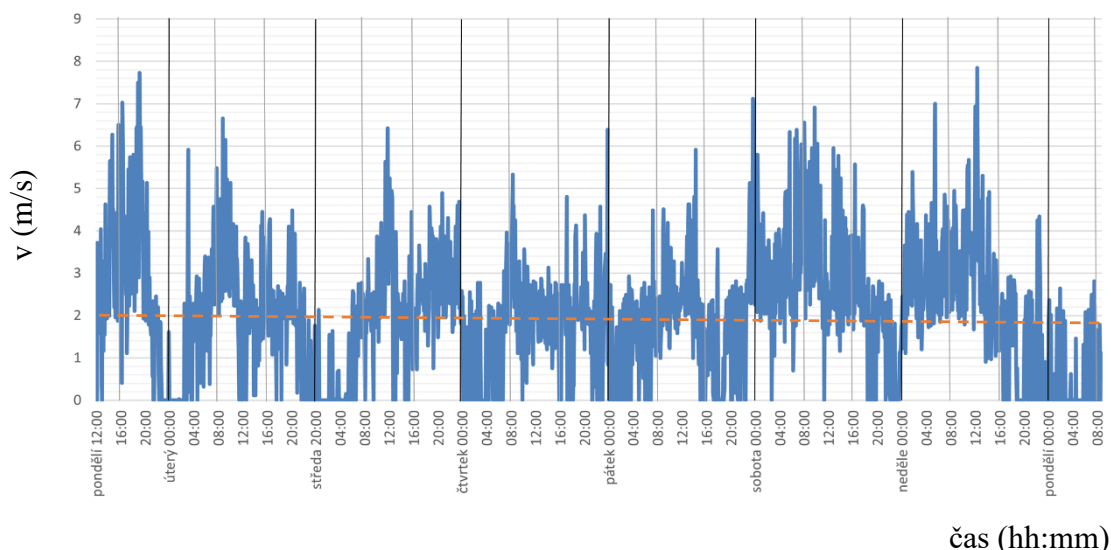
Obr. 8-32 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 8. období

Teplota FV panelu i okolního prostředí se pohybovala v podobných intervalech, jako tomu bylo minulý týden. Tento interval byl během poledních hodin v rozmezí 15–33 °C. Maxima bylo dosaženo ve čtvrtek. Minimální teplota byla naopak naměřena v úterý, kdy se její hodnota v poledních hodinách pohybovala okolo 15 °C (viz Obr. 8–33). Toto rozmezí teplot by nemělo mít vliv na celkový výkon FV panelu.



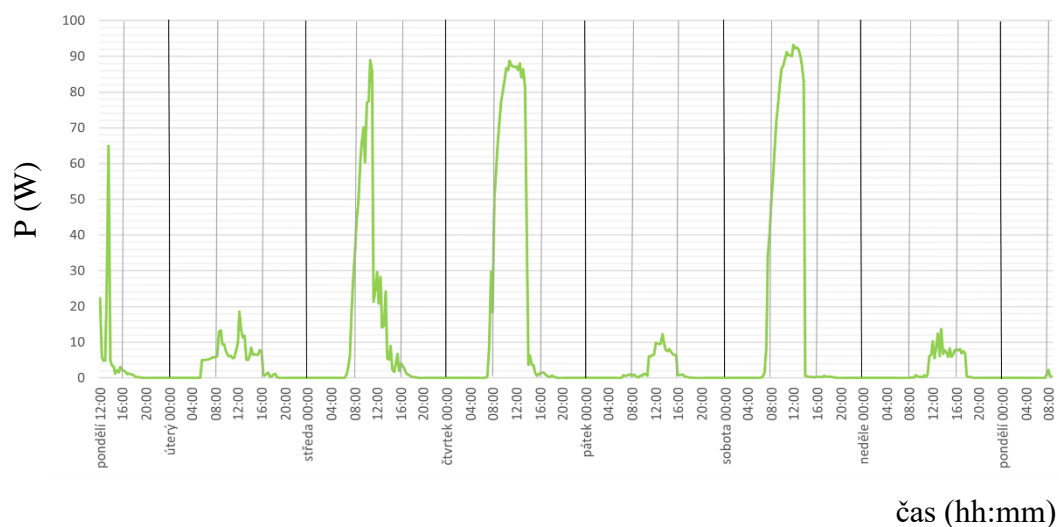
Obr. 8-33 Graf rozložení teplot v 8. období

Rychlost proudění vzduchu měla během tohoto měření mírně klesavou tendenci, jak můžeme vidět na spojnici trendu. Na *Obr. 8–34* můžeme dále pozorovat, že proudění vzduchu kolem FV panelu mělo v průběhu posledního měření vyšší rychlost během poledních hodin než během nočních hodin. Maximální hodnota 7,85 m/s byla anemometrem naměřena v neděli v 12:22 hod.



*Obr. 8-34 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 8. období*

Výkon se v tomto týdnu pohyboval x maximech kolem 90 W. Konkrétně ve středu, čtvrtek a sobotu, kdy panovaly příznivé podmínky ozáření panelu. Naopak během úterý, pátku a neděle byly podmínky ozáření panelu nepříznivé a maximální naměřená hodnota výkonu během těchto tří dnů byla 18,6 W.



*Obr. 8-35 Graf závislosti výkonu na čase v 8. období*



Během posledního měření jsme si ověřili, že při stejné intenzitě slunečního záření, které dopadá na FV panel, je celkový výkon vyšší při použití bílé dřevěné desky než u plechu a betonu. K tomuto nárustu nedochází pouze při vysoké intenzitě, ale také při nižších intenzitách záření. Mírný nárůst při podobných hodnotách intenzity je patrný při porovnání *Obr. 8–35* a *8–5*. Na *Obr. 8–35* se jedná konkrétně o pátek a neděli, kdy byla hodnota výkonu 10 W při intenzitě záření 100–300 W/m<sup>2</sup>. Na *Obr. 8–5* se jedná o sobotu a neděli, kdy se výkon vyšplhal na maximální hodnotu výkonu 5 W při stejných intenzitách ozáření.

Jelikož nejvyšší dosažená teplota během osmého měření byla pouhých 33 °C, nedošlo k žádnému teplotnímu ovlivnění celkového výkonu.

## 9. Zhodnocení výsledků měření

V měření, které započalo v pondělí 25. 2. 2022 a bylo ukončeno v pondělí 28. 4. 2022 bylo naměřeno celkem osm sad grafů. Vynesené průběhy zahrnovaly intenzitu slunečního záření, teplotu FV panelu a jeho okolí, rychlost proudění vzduchu a celkový výkon. V průběhu měření byly pod FV modul taktéž umísťovány předměty, které mají odlišnou odrazivost slunečního záření než stávající podloží a taktéž jinou tepelnou vodivost.

První dva týdny měření probíhaly bez použití jakéhokoliv přídavného předmětu a podloží tvořily standardní betonové kostky. V průběhu druhého týdne, konkrétně v neděli došlo k prvnímu omezení výkonu z důvodu zvýšené teploty modulu. Určitý podíl na prudkém nárůstu teploty měl pokles větru, který byl v čase maximální teploty na minimu.

Počínaje třetím týdnem, byl pod FV modul umístěn plech, který má vyšší odrazivost záření a tepelnou vodivost než beton. Při třetím měření byly naměřeny vysoké teploty modulu, které však byly v jednotlivých dnech podstatně ovlivňovány proudem vzduchu. Konkrétně v sobotu a neděli, kdy dopadající záření bylo ve stejných intenzích, způsoboval proud vzduchu v jednotlivých dnech rozdíl teplot modulu o 10 °C (36–46 °C). Při dosažení těchto teplot došlo k mírnému omezení celkového výkonu, kdy modul vykazoval stejnou hodnotu výkonu při vyšších intenzitách dopadajícího záření než v jiných dnech. Během čtvrtého týdne byl pokles výkonu z hlediska vyšší teploty modulu (40 °C) potvrzen. Během tohoto měření byla intenzita slunečního záření téměř stejná ve všech dnech, ale teplota panelu se částečně odvíjela od rychlosti vzduchu proudícího kolem modulu. V pátek a sobotu byla v poledních hodinách tato veličina téměř nulová a došlo tedy k poklesu výkonu oproti jiným dnům při stejných intenzitách dopadajícího záření. V pátém týdnu měření nebyly zjištěny žádné podstatné informace z důvodu nepříznivých podmínek dopadajícího slunečního záření.

Počínaje šestým týdnem byla pod FV modulem umístěna dřevěná deska bílé barvy. Během tohoto i následujících dvou týdnů nebyla naměřena vyšší teplota modulu než 34 °C a k poklesu výkonu způsobenému teplotou nedošlo. V průběhu posledních tří týdnů však byla opakovaně naměřena vyšší průměrná hodnota výkonu při stejných intenzitách dopadajícího záření, než tomu bylo u předchozích měření. Průměrné hodnoty výkonu při ideálních podmínkách ozáření se pohybovaly okolo 90 W, kdežto v předešlých týdnech

se jednalo o 80–85 W. Dřevěná bílá deska tedy vykazovala určitý vliv na celkový výkon modulu způsobený odraženou složkou dopadajícího záření. Dále již nedošlo ke zmíněnému teplotnímu ovlivňování, na které může mít dřevěný materiál v kombinaci s bílou barvou určitý podíl, jelikož jej není možné zahřát na tak vysokou teplotu jako např. plech. Vyšší průměrný nárůst výkonu při použití tohoto materiálu by bylo možné změřit při využití např. polykrystalického modulu, který odraženou složku záření absorbuje lépe, než je tomu u námi zvoleného monokrystalického modulu.

V následující tabulce (Tab. 9-1) jsou číselně porovnána některá měření, kdy docházelo k viditelným změnám výkonu kvůli vysoké teplotě v porovnání s jinými dny při stejné intenzitě slunečního záření. Na konci jsou porovnány měření s jiným podložím.

Tab. 9-1 Porovnání období poklesu výkonu způsobeného okolními vlivy

<b>2. měření (podloží – beton)</b>					
Datum – den – čas	I (W/m <sup>2</sup> )	T1 (°C)	T2 (°C)	v (m/s)	P (W)
12. 3. 2022 – sobota – 11:15:00	1065,55	14,2	5	5,16	83,06
13. 3. 2022 – neděle – 13:00:04	1066,09	44,56	23,94	1,68	78,04
<b>3. měření (podloží – plech)</b>					
Datum – den – čas	I (W/m <sup>2</sup> )	T1 (°C)	T2 (°C)	v (m/s)	P (W)
19. 3. 2022 – sobota – 12:12:11	1255,95	42,69	18,69	0,52	87,31
20. 3. 2022 – neděle – 11:35:47	1250,06	36,88	17,94	7,03	93,66
<b>4. měření (podloží – plech)</b>					
Datum – den – čas	I (W/m <sup>2</sup> )	T1 (°C)	T2 (°C)	v (m/s)	P (W)
24. 3. 2022 – čtvrtek – 12:07:51	953	31,19	17,5	4,34	74,88
25. 3. 2022 – pátek – 12:00:10	931,109	36	15	0,05	65,06
26. 3. 2022 – sobota – 12:05:15	954,28	39,91	16,38	0,49	63,30
27. 3. 2022 – neděle – 11:53:56	999,611	30,19	15,19	2,96	73,42
<b>Porovnání 4. měření (podloží – plech) a 7. měření (podloží – dřevěná deska bílé barvy)</b>					
Datum – den – čas	I (W/m <sup>2</sup> )	T1 (°C)	T2 (°C)	v (m/s)	P (W)
21. 3. 2022 – pondělí – 11:55:08	1050,1	27,56	14,2	2,3	78,2
22. 3. 2022 – úterý – 12:08:10	1056,21	29,3	16	1,4	77,53
12. 4. 2022 – úterý – 12:05:00	1070,18	24,7	13,8	2,2	86,2
13. 4. 2022 – středa – 11:46:03	1085,2	26,2	15	3,9	90,2

## Závěr

V úvodu diplomové práce je popsána problematika fotovoltaických systémů a vliv teploty a dalších dílčích vlivů na jejich celkový výkon a výnosnost. Další část se zabývá popisem možností a druhů čidel, které bychom mohli v praktické části použít pro snímání proudění vzduchu kolem fotovoltaického modulu, jež má vliv na dříve zmíněnou teplotu. V kapitole č. 6 jsou navrženy tři systémy snímání těchto veličin a jsou porovnány z hlediska přesnosti měření dílčích veličin, ceny, možnosti rozšíření do budoucna a dalších parametrů.

Jako nejlepší varianta pro naši aplikaci byla zvolena deska Arduino Uno společně se sběrnici SD Data Logger Shield, která disponuje slotem pro SD kartu, na kterou jsou snímané veličiny dlouhodobě ukládány. V kombinaci s deskou Arduino byla použita dva teplotní čidla DS18B20, která snímala teplotu fotovoltaického modulu a teplotu okolního prostředí. Pro měření rychlosti větru byl zvolen tří miskový anemometr C552. Dále bylo pro vyhodnocení míry vlivu teploty a proudění vzduchu taktéž zapotřebí snímat napětí a intenzitu dopadajícího slunečního záření na fotovoltaický modul, což bylo realizováno za pomoci měřicí ústředny Agilent 34980A v kombinaci s pyranometrem SG420.

Snímané veličiny byly měřeny podobu osmi týdnů, během kterých byly pod fotovoltaický modul umísťovány předměty s jinou odrazivostí slunečního záření a rozdílnou tepelnou vodivostí jako stávající podloží. Konkrétně se jedná o plech a bíle zabarvenou dřevěnou desku. Naměřené veličiny byly následně vyhodnocovány v týdenních intervalech a vliv podloží byl okomentován na závěr v kapitole zhodnocení výsledků měření.

Jak již bylo řečeno, zvolený snímací systém byl navržen s ohledem na možnost budoucí implementace do odlišného prostředí, a tudíž byl kladen důraz na možnost jeho budoucího upravení. V případě umístění na nepřístupná místa je zde možnost výměny SD Data Logger Shieldu za Ethernet Shield, který by naměřená data ukládal na cloudové úložiště a taktéž je systém možno upravit pro napájení pomocí baterií. Potenciální možnost umístění je například v okolí fotovoltaických střešních tašek, kde by při použití teplotních čidel a více anemometrů (se směrovou lopatkou) mohlo být snímáno teplotní rozložení, vliv a směr proudícího vzduchu na jejich celkový výkon.

## Použitá literatura

- [1] ŽÁK, Michal. Proč fouká a jak vzniká vítr? *In-počasi* [online]. 2015, 1 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/vitr-jak-vznika/>
- [2] CHOVANEC, Radim. *TESTOVÁNÍ SNÍMAČE PROUDĚNÍ VZDUCHU* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293534.pdf>. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce František Vdoleček.
- [3] ŠTEFEK, Martin. *POTENCIONÁLNÍ PRODUKCE ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE STŘEŠNÍCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN V OBCI DO 3000 OBYVATEL* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=194045](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=194045). Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Martin Paar.
- [4] Co je to czochralského metoda? *Netinbag* [online]. n.d., 1 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.netinbag.com/cs/manufacturing/what-is-the-czochralski-process.html>
- [5] Prandtlovou trubicí je možné měřit i malé rychlosti proudění. *Automa* [online]. n.d., 1 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prandtlovou-trubici-je-mozne-merit-i-male-rychlosti-proudeni-2003\\_08\\_28914\\_2752/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prandtlovou-trubici-je-mozne-merit-i-male-rychlosti-proudeni-2003_08_28914_2752/)
- [6] DOČEKAL, David. *Měřicí pracoviště pro systém vzdálené dodávky energie*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Křivík, Ph.D.
- [7] 3 typy fotovoltaických panelů – jaké jsou jejich výhody? *Bohemia civil engineering* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/>
- [8] Technoline MA10100: Teplotní čidlo. *Mall* [online]. Praha, 2020, [cit. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/meteorostanice-prislusenstvi/technoline-ma10100>
- [9] Z historie fotovoltaiky: Historie fotovoltaiky. *Eniweb* [online]. 2013, 1 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.eniweb.cz/95784>
- [10] ŠOLC, Jan. *EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ KOEFICIENTU VÍCEOTVOROVÉ RYCHLOSTNÍ SONDY* [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13096/final-thesis.pdf?sequence=6>. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické Brno. Vedoucí práce Soňa Šedivá.
- [11] VALOČÍK, Jan. *MALÝ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM* [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z:

- [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39180](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39180). Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické Brno. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.
- [12] KOSMÁK, František. *Princip fotovoltaického článku* [online]. 2009, 1 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [13] VRBICKÝ, Jiří. *SENZOR MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ VZDUCHU V ELEKTRICKÉM ST* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65861](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65861). Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické Brno. Vedoucí práce Radek Vlach.
- [14] Monokrystalické křemíkové články. In: *Dsneg* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.dsneg.com/solar-cell/p-type/p-type-mono-bifacial-solar-cell.html>
- [15] PROCHÁZKA, Karel. Pitotova trubice. In: *Sspu-opava* [online]. 2012 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/KOM\\_IV/VY\\_52\\_INOVACE\\_J-06-17.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/KOM_IV/VY_52_INOVACE_J-06-17.pdf)
- [16] Poly-Crystalline Solar Cell. In: *Tindosolar* [online]. 6-8 Park Way, Mawson Lakes SA 5095 Australia, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>
- [17] Co je odvětraná mezera a jak ji vytvořit? *IKO The Shingles Expert* [online]. 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.iko.be/cs/co-je-odvetrana-mezera-a-jak-ji-vytvorit>
- [18] Správně odvětraná střecha je podmínkou pro její dlouhou životnost. *Tzbinfo* [online]. 2017, 20.3.2017 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stresni-krytiny/15504-spravne-odvetrana-strecha-je-podminkou-pro-jeji-dlouhou-zivotnost>
- [19] PRINCIP A SKLADBA VENTILAČNÍ TURBÍNY. *Krytiny-střechy* [online]. 2014, 17.4.2014 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: [https://www.krytiny-strechy.cz/technicke\\_info-k-navrhovani-strech/stresni-plast-odvetrani/10075-princip-a-skladba-ventilacni-turbiny-a.html#.YHU\\_i-gza-Y](https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/stresni-plast-odvetrani/10075-princip-a-skladba-ventilacni-turbiny-a.html#.YHU_i-gza-Y)
- [20] How Hot Do Solar Panels Get? Effect of Temperature on PV Panel Efficiency. *Greentumble* [online]. 2018, 12.3.2018, 1 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://greentumble.com/effect-of-temperature-on-solar-panel-efficiency/>
- [21] TEO, H.G., a kol. *An active cooling system for photovoltaic modules* [online]. 17.1.2011 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261911000201?casa\\_token=S67LrR0gdoEAAAAA:1-7-](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261911000201?casa_token=S67LrR0gdoEAAAAA:1-7-)

RWqSpyXWjSfFFt403NbxuTBW8ZfCJKjfm71N6Pr33Wuj6N-1wQiG-ZiCT8cUiN4B8tL22nJy#!

- [22] RAHMAN, M.M., a kol. *Effects of various parameters on PV-module power and efficiency* [online]. 2015, Říjen 2015 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890415006159?casa\\_token=TgdHGWBgpkwAAAAA:UxcFSdGGwRAFq0eTsJqaBa27sx-GsDmZtrAXJoEgMI-Rtny2rY11TOf3ackEGemjQ-B9rUK\\_-VYx](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890415006159?casa_token=TgdHGWBgpkwAAAAA:UxcFSdGGwRAFq0eTsJqaBa27sx-GsDmZtrAXJoEgMI-Rtny2rY11TOf3ackEGemjQ-B9rUK_-VYx)
- [23] HACHICHA, Ahmed Amine., a kol. *Enhancing the Performance of a Photovoltaic Module Using Different Cooling Methods* [online]. leden 2015, 5 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Chaouki-Ghenai/publication/282854487\\_Enhancing\\_the\\_Performance\\_of\\_a\\_Photovoltaic\\_Module\\_Using\\_Different\\_Cooling\\_Methods/links/56208efd08aea35f267e1a0e/Enhancing-the-Performance-of-a-Photovoltaic-Module-Using-Different-Cooling-Methods.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chaouki-Ghenai/publication/282854487_Enhancing_the_Performance_of_a_Photovoltaic_Module_Using_Different_Cooling_Methods/links/56208efd08aea35f267e1a0e/Enhancing-the-Performance-of-a-Photovoltaic-Module-Using-Different-Cooling-Methods.pdf)
- [24] WAJS, Jan., a kol. *Photovoltaic Roof Tiles: The Influence of Heat Recovery on Overall Performance* [online]. 27.10.2019, 12 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/21/4097/htm>
- [25] Solar Wafer. *Eandmint* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: [http://eandmint.co.jp/eng/solar/product\\_detail/product\\_solarwafer.html](http://eandmint.co.jp/eng/solar/product_detail/product_solarwafer.html)
- [26] Solarimeter. *Thefreedictionary* [online]. 2016 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.thefreedictionary.com/solarimeter>
- [27] Miskový anemometr C552. *Dratek* [online]. Havlíčkův Brod, 2019 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/7819-miskovy-anemometr-c552.html?addToFavorit>
- [28] Anemometer PCE-ADL 11. *Pce-instruments* [online]. Alicante, 2021, 2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: [https://www.pce-instruments.com/eu/measuring-instruments/test-meters/anemometer-pce-instruments-anemometer-pce-adl-11-det\\_5972372.htm](https://www.pce-instruments.com/eu/measuring-instruments/test-meters/anemometer-pce-instruments-anemometer-pce-adl-11-det_5972372.htm)
- [29] Teploměr vodotěsný – sonda DS18B20 + Adaptér pro Arduino. *Dratek* [online]. Havlíčkův Brod, 2019 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/3068-teplomer-vodotesny-sonda-ds18b20-adapter-pro-arduino.html>
- [30] Amorfní křemíkový článek. *IFTECH* [online]. Olomouc, 2017 [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/firma-750367-iftech-olomouc>
- [31] CHOCHOLÁČ, Jan. *Využití bypassových diod ve fotovoltaických panelech*. Brno, 2011. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Petr Křivík.

- [32] Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660. *Mall* [online]. Praha, 2020, [cit. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/meteostanice-prislusenstvi/garni-anemometr-mobile-alerts-ma10660/>
- [33] Technoline MA10001 Starter Set. *Mall* [online]. Praha, 2020, [cit. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/meteostanice/technoline-ma10001-starter-set>



## Seznam obrázků

<i>Obr. 2-1 Monokrystalické křemíkové články [14]</i> .....	3
<i>Obr. 2-2 Polykrystalický křemíkový článek [16]</i> .....	4
<i>Obr. 2-3 Amorfni křemíkový článek [30]</i> .....	5
<i>Obr. 3-1 Teplotní vliv na V-A charakteristiku FV článku [3]</i> .....	7
<i>Obr. 3-2 Teplotní vliv na výkon FV článku [3]</i> .....	8
<i>Obr. 3-3 Vliv intenzity slunečního záření na VA charakteristiku FV článku [3]</i> .....	9
<i>Obr. 3-4 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [3]</i> .....	9
<i>Obr. 4-1 Odvětrávání střechy [17]</i> .....	12
<i>Obr. 4-2 3D model pláště FV střešní tašky [24]</i> .....	14
<i>Obr. 5-1 Pitotova trubice [15]</i> .....	15
<i>Obr. 6-1 Miskový anemometr C552 [27]</i> .....	18
<i>Obr. 6-2 Technoline Anemometr Mobile-Alerts MA10660 [32]</i> .....	19
<i>Obr. 6-3 Mobilní aplikace Mobile-Alerts [32]</i> .....	20
<i>Obr. 6-4 Miskový anemometr PCE-ADL 11 [28]</i> .....	21
<i>Obr. 6-5 Montážní držák na anemometr PCE-ADL 11 [28]</i> .....	21
<i>Obr. 6-6 Propojení miskového anemometru C552 z Arduino Shieldem [27]</i> .....	22
<i>Obr. 6-7 Arduino Ethernet Shield W5100R3 [27]</i> .....	23
<i>Obr. 6-8 Data Logger [27]</i> .....	23
<i>Obr. 6-9 Arduino Leonard vývojový kit [27]</i> .....	23
<i>Obr. 6-10 Sonda DS18B20 + adaptér pro Arduino [29]</i> .....	24
<i>Obr. 6-11 Technoline MA10001a teplotní čidlo Technoline MA101000 [33]</i> .....	25
<i>Obr. 6-12 Pyranometr SG420 [6]</i> .....	27
<i>Obr. 6-13 Spektrální rozsah pyranometru SG420 [6]</i> .....	28
<i>Obr. 6-14 Termočlánek [6]</i> .....	28
<i>Obr. 7-1 Detailní zapojení teplotních čidel DS18B20 a anemometru C552</i> .....	32
<i>Obr. 7-2 Zapojení teplotních čidel DS18B20 a anemometru C552</i> .....	33
<i>Obr. 7-3 Zapojení měřícího stanoviště</i> .....	34
<i>Obr. 7-4 Přepočítání času v programu Agilent VEE</i> .....	39
<i>Obr. 7-5 Přepočítání intenzity slunečního záření v programu Agilent VEE</i> .....	40
<i>Obr. 7-6 Snímání úbytku napětí na FV panelu Agilent VEE</i> .....	40

<i>Obr. 7-7 Zázpis naměřených hodnot do textového souboru v programu Agilent VEE....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 8-1 Umístění teplotních čidel, anemometru a pyranometru.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 8-2 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 1. období.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 8-3 Graf rozložení teplot v 1. období .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 8-4 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 1. období .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8-5 Graf závislosti výkonu na čase v 1. období.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 8-6 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 2. období... </i>	<i>46</i>
<i>Obr. 8-7 Graf rozložení teplot ve 2. období.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 8-8 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 2. období.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 8-9 Graf závislosti výkonu na čase ve 2. období .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 8-10 Umístění plechu pod FV panel.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 8-11 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 3. období. </i>	<i>50</i>
<i>Obr. 8-12 Graf rozložení teplot ve 3. období.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 8-13 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 3. období.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 8-14 Graf závislosti výkonu na čase ve 3. období .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 8-15 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr ve 4. období. </i>	<i>53</i>
<i>Obr. 8-16 Graf rozložení teplot ve 4. období.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 8-17 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu ve 4. období.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 8-18 Graf závislosti výkonu na čase ve 4. období .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 8-19 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 5. období... </i>	<i>57</i>
<i>Obr. 8-20 Graf rozložení teplot v 5. období .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 8-21 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 5. období .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 8-22 Graf závislosti výkonu na čase v 5. období.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 8-23 Umístění bílé, dřevěné desky pod FV panel.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 8-24 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 6. období... </i>	<i>61</i>
<i>Obr. 8-25 Graf rozložení teplot v 6. období .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 8-26 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 6. období .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 8-27 Graf závislosti výkonu na čase v 6. období.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 8-28 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 7. období... </i>	<i>64</i>
<i>Obr. 8-29 Graf rozložení teplot v 7. období .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 8-30 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 7. období .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 8-31 Graf závislosti výkonu na čase v 7. období.....</i>	<i>65</i>

<i>Obr. 8-32 Graf intenzity slunečního záření dopadajícího na pyranometr v 8. období...</i>	67
<i>Obr. 8-33 Graf rozložení teplot v 8. období .....</i>	67
<i>Obr. 8-34 Graf rychlosti proudění vzduchu kolem FV panelu v 8. období .....</i>	68
<i>Obr. 8-35 Graf závislosti výkonu na čase v 8. období.....</i>	68

## Seznam tabulek

<i>Tab. 6-1 Specifikace anemometru C552[27].....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 6-2 Specifikace anemometru Technoline Mobile-Aletrs MA10660 [32].....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 6-3 Specifikace Arduino Leonard [27].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 6-4 Specifikace sondy DS18B20 [29].....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 6-5 Technické parametry pyranometru SG420 [32] .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 6-6 Výstupní parametry závislé na intenzitě dopadajícího globálního záření [6].</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 6-7 Cena komponentů.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 7-1 Katalogové hodnoty FV panelu A-130.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 9-1 Porovnání období poklesu výkonu způsobeného okolními vlivy.....</i>	<i>71</i>

## Seznam symbolů a zkratek

### Zkratky:

RJ	Registered Jack
SD	Secure Digital
ICSP	In Circuit Serial Programming
LAN	Local Area Network
IDE	Integrated development enviroment
TWI	Two Wire Interface
I2C	Integrated-Integrated Circuit
RTC	Real Time Clock
EOL	End Of Line

### Symboly:

$p_c$	celkový tlak
$p_s$	statický tlak
$p_d$	dynamický tlak
$\rho$	hustota plynu
$v^2$	rychlost proudění média

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojediněle s vysvětlením v textu.