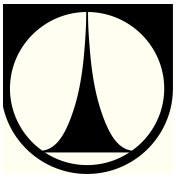
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



OBNOVITELNÉ ZDROJE PŘI NAPÁJENÍ WI-FI NODE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2015 **Jakub Fanta**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií

OBNOVITELNÉ ZDROJE PŘI NAPÁJENÍ WIFI NODE

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 1802R022 – Informatika a logistika

Autor práce: **Jakub Fanta**
Vedoucí práce: Ing. Martin Vlasák

Liberec 2015

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jakub Fanta**
Osobní číslo:	**M11000192**
Studijní program:	**B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Informatika a logistika**
Název tématu:	**Obnovitelné zdroje při napájení wifi NODE**
Zadávající katedra:	**Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s obnovitelnými zdroji, Wi-Fi směrovačem, teoretickými výpočty a možnosti uchování elektrické energie.
2. Ověření vypočtených hodnot vlastním měřením za různého počasí.
3. Zpracování naměřených hodnot a jejich srovnání s teoretickými výsledky.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30–40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] **Benda, V., Staněk, K., Wolf, P. Fotovoltaické systémy (Učební texty k semináři). Ústav automatizace a měřící techniky VUT v Brně 2011**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Vlasák**
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Přemysl Svoboda**
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2015**

prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2014

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 15.5.2015

Podpis: Fanta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat zvláště vedoucímu projektu Ing. Martinovi Víchovi Vlasákovi za podporu při psaní této bakalářské práce, za jeho cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat MH2NET, z. s. za poskytnutí finančních prostředků, konkrétně Ing. Vítu Dittrichovi. Poděkovat bych chtěl také Ing. Martinu Grygarovi za poskytnutá referenční data a jeho cenné rady.

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je navržení bezobslužného solárního systému pro napájení NODE v závislosti na analýze měřených dat. V bakalářské práci analyzuji naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie komponent NODE, dále pak výkon na plochu dvou fotovoltaických panelů. Na základě těchto dat provedu navržení logiky pro detekci a jeho odstranění. Na závěr provedu zhodnocení rentability v závislosti na umístění NODE.

Klíčová slova

Node, Wi-Fi, fotovoltaický článek, akumulátor, solární systém, PVGIS

Abstract

This thesis deals with the design of unattended solar system for supply NODE depending on the analysis of the measured data. In my thesis, I break down these measured figures of consumption electric energy component NODE. I analyse the external influences on the powerof two photovoltaics panels. According to these datas, I propose logic for detection of snow and freeze and his elimination. In the last chapter, I evaluate profitability which depends on the location of NODE.

Keywords

Node, Wi-Fi, Photovoltaic cell, accumulator, solar systém, PVGIS

Obsah

1. Úvod 14
2. Fotovoltaický článek 15
2.1. Typy fotovoltaických článků 15
2.1.1. Monokrystalický 15
2.1.2. Polykrystalický 16
2.1.3. Amorfní 16
2.2. Životnost panelu 17
2.3. Faktory ovlivňující výkon solárního článku 17
3. Komponenty solárního systému 18
3.1. Solární regulátor 18
3.2. Olověný akumulátor 18
3.2.1. Dělení dle technologie 18
3.2.2. Dělení dle použití 18
3.2.3. Životnost 19
3.2.4. Složení akumulátoru 19
3.2.5. Chemický proces akumulátoru 19
4. Wi-Fi 20
4.1. Základní pojmy 20
4.1.1. Access Point 20
4.1.2. Klient 20
4.1.3. Router 20
4.1.4. Repeater 20
5. Wi-Fi směrovač NODE 21
5.1. Příklad základního Wi-Fi NODE 21
5.1.1. Router 21

5.1.2. Pojítko 21
5.1.3. Access point 21
5.1.4. Anténa 22
6. Software pro návrh solárního systému 23
6.1. PVGIS 23
6.1.1. Rozhraní PVGIS 23
6.1.2. CHMI 25
7. Naměřená data – spotřeba elektrické energie komponent 26
7.1. Spotřeba elektrické energie komponent 26
7.1.1. SNMP - Simple Network Management Protocol 26
7.1.2. Cacti 26
7.2. Reálný odběr 27
7.2.1. WispStation M5 AirMAX – 23 dBm 27
7.2.2. Bullet M5 28
7.2.3. Mikrotik RB750UP 29
8. Počasí 30
9. Analýza naměřených dat 32
9.1. Konstrukce 32
9.2. Sleepy Cat Kit 34
9.3. Postup měření 34
9.4. Vyhodnocení měření 35
9.4.1. Data z měření 35
9.4.2. Závěr z měření 38
10. Řešení a kalkulace 40
10.1. Vývoj počasí a jeho vliv 40
10.2. Způsob ometání 40

10.3. Návrh solárního systému 41
10.3.1. Výběr FV panelu 41
10.3.2. Spotřeba elektrické energie Wi-Fi komponent 41
10.3.3. Detekce zapadání FV panelu 41
10.3.4. Výpočet vhodné délky topného kabelu 42
10.3.5. Výpočet spotřeby elektrické energie komponent 43
10.3.6. Výpočet FV panelu 43
10.3.7. Výpočet a výběr vhodného akumulátoru 44
10.3.8. Zapojení 45
11. Závěr 47
12. Zdroje 49

Seznam obrázků

Obr. 1 Fotovoltaický článek [1] 15
Obr. 2 Příklad monokrystalického FV panelu [4] 16
Obr. 3 Příklad polykrystalického FV panelu [3] 16
Obr. 4 Příklad amorfního FV panelu [2] 16
Obr. 5 Roční průměrný úhrn slunečního záření [kWh/m2] [5] 17
Obr. 6 Průměrný počet slunných dní v měsíci [5] 17
Obr. 7 Příklad solárního regulátoru [9] 18
Obr. 8 Způsob komunikace mezi klienty pomocí [10, 11] 20
Obr. 9 Mikrotik RB750UP [17] 21
Obr. 10 NanoBridge M5 Air MAX 22 dBi [16] 21
Obr. 11 Ubiquiti Bullet M5 AirMAX [18] 22
Obr. 12 Sektorová anténa AirMAX MIMO 16dBi, 120°, 2x RSMA (5GHz) [19] 22
Obr. 13 Rozhraní PVGIS pro Stand-alone PV Estimation [20] 24
Obr. 14 Rozhraní PVGIS pro Performance of Grid [20] 25
Obr. 15 Rozmístění meteostanic poskytující sluneční záření [24] 25
Obr. 16 Cacti – data template 27
Obr. 17 Fotografie uspořádání solárních panelů 33
Obr. 18 Sleepy Cat Kit [25] 34
Obr. 19 Schéma měření 34
Obr. 20 Průběh měření 35
Obr. 21 Způsob umístění topného kabelu 43

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Spotřeba el. energie komponent 29
Tabulka 2 – Vývoj teplot 30
Tabulka 3 – Popis FV panelu 32
Tabulka 4 – Vývoj maximálního a průměrného výkonu obou panelů 38
Tabulka 5 – Spotřeba elektrické energie pro celý systém 43
Tabulka 6 – Průměrná produkce elektřiny dle PVGIS [20] 44
Tabulka 7 – Náklady na ostrovní solární systém 45

Seznam Grafů

Graf 1 – Spotřeba elektrické energie WispStation M5 AirMAX 28
Graf 2 – Spotřeba elektrické energie Bullet M5 28
Graf 3 – Spotřeba elektrické energie RB750UP 29
Graf 4 – Vývoj počasí 30
Graf 5 – Vývoj počasí – Leden 31
Graf 6 – Plošný výkon FV panelů v období 21. 1. 2014 – 31. 1. 2014 36
Graf 7 – Plošný výkon FV panelů v období 25. 1. 2014 – 26. 1. 2014 37
Graf 8 – Plošný výkon FV panelů v období 29. 1. 2014 – 31. 1. 2014 38

Zkratky

E_d	průměrná produkce energie za den
F_f	počet dnů, kdy bude akumulátor zcela nabit [%]
F_e	počet dnů, kdy bude akumulátor zcela vybit [%]
Rs	vnitřní odpor panelu – v měření je zanedbán
Rk	odpor přívodu – v měření je zanedbán
Rm	měřící odpor
T-SOL	výpočet termických systémů
SNMP	Simple Network Management Protocol
OID	object identifier (identifikátor objektu)
Wi-Fi	Wireless Ethernet Compatibility Aliance
VRLA	Valve Regulated Lead Acid
AGM	Absorbed Glass Mat
FV	Fotovoltaický
NODE	Wi-Fi směrovač
AP	Access point (přístupový bod)
PDK	Potřebná denní kapacita
UDP	Transportní protokol

1. Úvod

V posledních letech Česká republika zažila technologický rozvoj v oblasti fotovoltaiky. V mezinárodním srovnání se v roce 2013 Česká republika umístila na 5. místě instalovaného výkonu na jednoho obyvatele, který činí 202,8 Wp/ob. Tato skutečnost nás přivedla k otázce, zda-li je ekonomicky výhodné napájet NODE pomocí bezobslužného solárního systému. Z tohoto důvodů jsem se dohodl s předsedou spolku MH2NET s.z., Ing. Vítem Dittrichem, o spolupráci a poskytnutí finančních prostředků k realizaci této bakalářské práce. [43]

Cílem této bakalářské práce je vytvořit návrh bezobslužného solárního systému, včetně kalkulace nákladů a zhodnocení rentability. V první části této bakalářské práce je teoreticky rozebrána problematika FV článků, kde jsou uvedeny jejich základní parametry a vlastnosti. Dále pak popisuji vlastnosti a dělení olověných akumulátorů a také k čemu slouží v solárním systému regulátor. Na konci této části uvedu základní pojmy z oblasti bezdrátových síti a komponenty NODE.

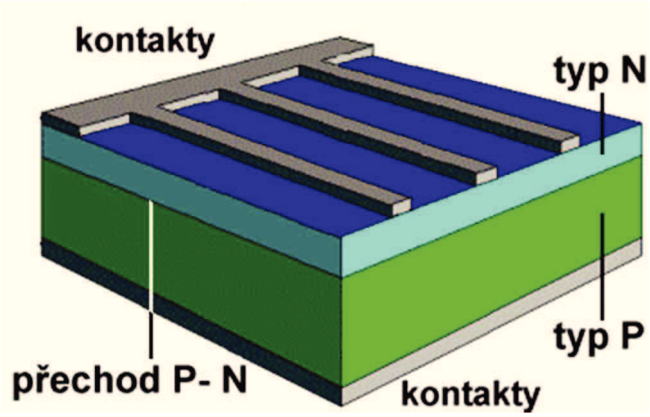
Ve druhé části této práce se zabývám návrhem a řešením samotného bezobslužného solárního systému. Nejprve jsou uvedena měření spotřeby elektrické energie komponent NODE, jejich výsledky budou porovnány s hodnotami udávanými výrobcem. V další části je pak rozebrána problematika vnějších vlivů, kde budu zkoumat účinnost FV panelu po jeho překrytí sněhem nebo námrazou. Pro měření mám k dispozici dva totožné FV panely, přičemž jeden bude pravidelně čištěn, druhý nikoliv. Data z mých měření budou porovnána s volně dostupnými údaji z portálu PVGIS, aby byla potvrzena, respektive vyvrácena jejich přesnost.

V poslední části bude na základě výše zmíněných skutečností navrhnut vhodný bezobslužný solární systém. Zhodnotím rentabilitu v závislosti na jeho umístění, kde bude bráno v potaz umístění v zástavbě s dobrou dostupností energetických sítí oproti umístění mimo dosah energetických sítí.

2. Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek byl vynalezen roku 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem. Jde o velkoplošnou polovodičovou součástku, která pomocí fotoelektrického jevu přeměňuje sluneční záření na elektrickou energii. [1]

Základem fotovoltaického článku je křemíková destička s vodivostí typu P. Na spodní straně se nachází kontakty, které tvoří vodivou stříbrnou mřížku. Na horní straně se nachází vrstva polovodiče typu N silná pouhých 500nm. Na tuto vrstvu jsou sítotiskem vytvořeny vodivé kontakty. Ve vrstvě N je přebytek záporných elektronů, kdežto ve vrstvě P je jich nedostatek, to se projevuje jako kladné „díry“. Na rozhraní vrstev materiálů P a N vzniká tzv. přechodová vrstva P-N, která zabraňuje volnému přechodu elektronů z místa, kde jich je nadbytek do místa, kde jich je nedostatek. Na přechodu P-N se tak vytvoří elektrická bariéra, díky které mohou volné elektrony snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, nikoliv v opačném směru. [1]



Obr. 1 Fotovoltaický článek [1]

2.1. Typy fotovoltaických článků

2.1.1. Monokrystalický

Jedná se o základní článek první generace fotovoltaických panelů. Články jsou vyráběné z jediného krystalu monokrystalického křemíku. V našich podmínkách jsou monokrystalické solární panely nejpoužívanější. Jsou vyráběny z tyčí (tzv. INGOT) o průměru 300mm. Krystaly křemíku jsou větší než 10 cm a vyrábí se na bázi chemického procesu. Jejich výroba probíhá pomalým tažením zárodků krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Poté jsou rozřezány na tenké plátky podložky. Mezi výhody monokrystalického článku lze zařadit především účinnost (pohybuje se v rozmezí 13 – 14 %, při přímém slunečním svitu krátkodobě až 17 %). Efektivní účinnost zajistíme instalací na střechy orientované J, JJV a JJZ se sklonem, který by měl být mezi 25 a 35°. Barva článku je temně modrá, bez barevných odlišností. [2]

2.1.2. Polykrystalický

Tento fotovoltaický článek je taktéž řazen do tzv. první generace. Výhodou polykrystalických článků je nižší energetická náročnost potřebná pro výrobu, což se pozitivně odráží na jejich ceně. Účinnost polykrystalických článků je nepatrně nižší oproti článku monokrystalickému. Pohybuje se mezi 12 až 15 % (výjimečně až 16 %), výhodou však je lepší zpracování slunečního svitu i pokud mají větší odklon od optimální pozice a to i v případě relativně malého slunečního svitu (zatažená obloha). Díky této vlastnosti není rozdíl v účinnosti oproti monokrystalickému článku téměř žádný. Jeho barva je modrá, světlejší oproti monokrystalickému článku, při pohledu lze vidět tzv. „ledový květ“. Doporučují se k instalaci na střechy, které mají odklon od jihu – JZ–Z a JV–V. Tvořeny jsou krystalickou mřížkou. Základem je také křemíková podložka, s tím rozdílem, že se solární články skládají z většího počtu menších polykrystalů. [2]

2.1.3. Amorfní

Jde o druhou generaci fotovoltaického článku. Tato generace se snaží snížit potřebné množství křemíku a zlevnit tím výrobu. Články jsou tvořeny podložkou ze skla, textilie nebo plastu, na kterou je nanášena tenká polovodičová vrstva amorfního křemíku. Oproti předchozím dvěma článkům je účinnost tohoto článku velmi nízká, udává 4 %. Jejich využití je minimální, jelikož s porovnáním s předchozími typy článků potřebujeme k dosažení stejného výkonu cca 2,5× větší prostor. Jejich nevýhodou oproti monokrystalickému článku je účinnost klesající časem. Naopak jejich výhodou může být cena, která je zhruba poloviční. Jeho barva je charakteristicky téměř černá. [2]

Obr. 2 Příklad monokrystalického FV panelu [4]

Obr. 3 Příklad polykrystalického FV panelu [3]

Obr. 4 Příklad amorfního FV panelu [2]

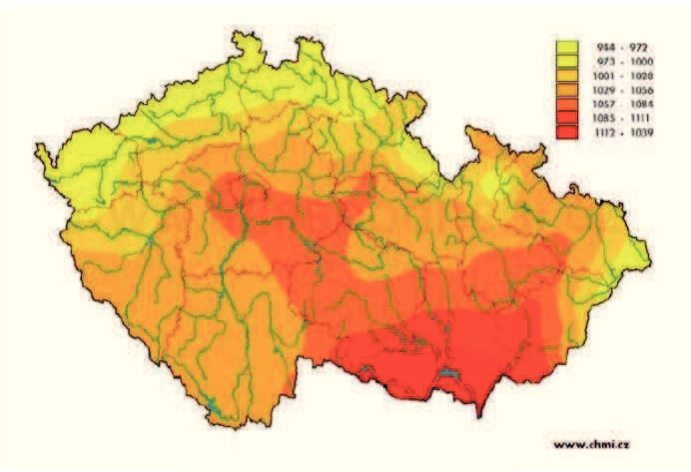
2.2. Životnost panelu

U FV panelů výrobci udávají životnost mezi 25-30 lety. V průběhu let dochází k degradaci, přičemž je garantováno po 25 letech provozu účinnost na úrovni 80 procent. Provozovat FV panel mnohem déle není problém, avšak kvůli stále klesající účinnosti je nutné uvažovat nad otázku efektivity.[5]

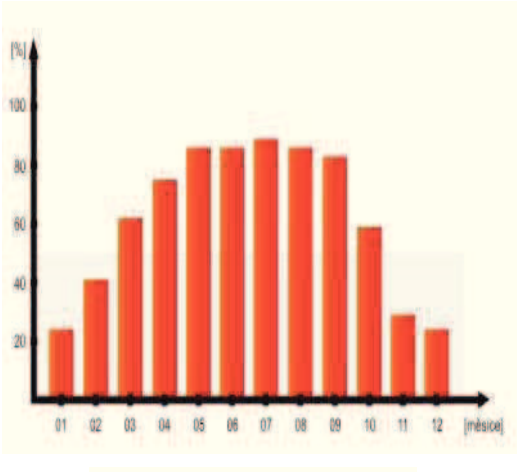
2.3. Faktory ovlivňující výkon solárního článku

Jeden z hlavních faktorů ovlivňující výkon solárního systému představuje úhrn slunečního záření. Na Obr. 5. je uváděno množství získané v kWh/m^2 v různých regionech České republiky. Z uvedeného obrázku je zřejmé, že nejvíce slunečního záření kWh/m^2 bylo naměřeno v regionu jižní Moravy. Nicméně se jedná o minimální rozdíl v rámci ČR. Dále lze z Obr. 6 vyčíst průměrný počet slunných dní v jednotlivých měsících, z nichž nejhůře vychází prosinec a leden. V těchto měsících slunce svítí průměrně pouze přes 20 % dnů.

Dalším důležitým faktorem je sklon FV panelu. V létě se udává ideální sklon 30 stupňů od vodorovné roviny, avšak v zimě sklon činí 60 stupňů. Volí se tak obvykle kompromis, který se pohybuje v rozmezí mezi 35 – 45 stupni od vodorovné roviny.



Obr. 5 Roční průměrný úhrn slunečního záření [kWh/m2] [5]



Obr. 6 Průměrný počet slunných dní v měsíci [5]

3. Komponenty solárního systému

3.1. Solární regulátor

Solární regulátor je zařízení k řízení a dobíjení solárního systému. Chrání akumulátor před jeho přebitím a vybitím, před přetížením celého systému, obrácením polarizace, či jestli nejsou obvody ve zkratu. Dále pak kontroluje aktuální stav akumulátoru, čímž hlídá jeho optimální dobití.[8]

Obr. 7 Příklad solárního regulátoru [9]

3.2. Olověný akumulátor

Akumulátor slouží v solárním systému k uskladnění elektrické energie. Slouží jako záložní zdroj elektrické energie v nočních hodinách a ve dnech s méně příznivým osvitem. Olověný akumulátor je dnes nejpoužívanějším sekundárním zdrojem, s elektrodami, které jsou na bázi olova, jako elektrolyt je použita kyselina sírová. Akumulátory jsou k dostání s kapacitou v řádech od 1 do 10 000 Ah. Vzhledem k zvládnuté technologii výroby je lze zakoupit za poměrně nízké ceny s relativně vysokým výkonem.

3.2.1. Dělení dle technologie

- Se zaplavenými elektrodami, které jsou použity například u autobaterie.
- Ventilem řízené olověné akumulátory (VRLA).
- Elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě, která leží mezi elektrodami.
- Gelové, kde je elektrolyt zahuštěný ve formě ledu.

3.2.2. Dělení dle použití

- Záložní, použití například v UPS, EZS, EPS…
- Startovací, které se používají v automobilovém průmyslu.

- Trakční, nachází využití u golfových vozítek, vysokozdvižných vozíků a u dalších podobných zařízení. [6]

3.2.3. Životnost

Životnost akumulátoru je různorodá, záleží na typu akumulátorů. Dle životnosti můžeme akumulátory rozdělit na 4 skupiny. U posledních třech dělení akumulátorů jsou hlavními rozdíly větší bezpečnostní požadavky.

- 3–5 let – standartní akumulátory, tyto akumulátory se nejčastěji využívají v bezpečnostních systémech (převážně v malých)
- 5–8 let – akumulátory obecného použití
- 10 let – akumulátory vysokého výkonu
- Více než 10 let – je kladen požadavek na vysokou bezpečnost [7]

3.2.4. Složení akumulátoru

Olověný akumulátor se skládá z olověných desek (elektrody). Elektrody jsou ponořené do zředěné kyseliny sírové. V každém z článku jsou dvě desky. Články jsou zapojeny do série a vytváří tak akumulátorovou baterii.

3.2.5. Chemický proces akumulátoru

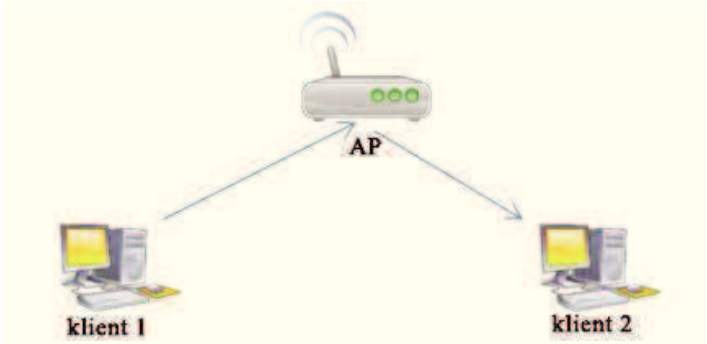
Pokud je akumulátor nabitý, aktivní hmotu záporné elektrody tvoří „houbovité“ olovo. Kladné elektrody tvoří oxid olovičitý.[7]

4. Wi-Fi

4.1. Základní pojmy

4.1.1. Access Point

Česky přístupový bod (AP). Jedná se o zařízení, přes které prochází veškerý provoz ve Wi-Fi síti. Příklad komunikace v režimu AP je znázorněna na Obr. 8., který zobrazuje probíhající komunikaci pomocí AP mezi dvěma klienty. AP umožňuje také režim Bridge. Tento režim se používá při vytváření Point to Point spojů.



Obr. 8 Způsob komunikace mezi klienty pomocí [10, 11]

4.1.2. Klient

Klient (nebo někdy také stanice) je síťové zařízení, které komunikuje se serverem v místní síti. Ve Wi-Fi sítích to může být počítač, v poslední době také mobilní telefony, tablety a další zařízení, které obsahují integrovaný Wi-Fi modul.

4.1.3. Router

Jedná se o síťové zařízení, které routováním (směrováním) přeposílá datagramy směrem k jejich síti na třetí síťové úrovni, což v tomto případě zajišťuje Internet Protocol.

4.1.4. Repeater

Aktivní síťový prvek, který dokáže zesílit Wi-Fi signál. Přijme zkreslený a zašuměný signál, opravený a zesílený ho pak vysílá dále. Tímto způsobem lze snadno zvýšit dosah sítě.[12]

5. Wi-Fi směrovač NODE

5.1. Příklad základního Wi-Fi NODE

Nejjednodušší funkční Wi-Fi NODE se musí skládat z hlavního pojítka, routeru a vysílacího Access pointu, na který je připojena všesměrová, či sektorová anténa. Tento příklad Wi-Fi NODE je použit v méně obydlených oblastech, kde se jednotliví klienti sítě připojují.

5.1.1. Router

Dalším prvkem, bez kterého nemůže být node funkční, je router. Zvolil jsem Mikrotik RB750UP uvedený na Obr. 9. Jedná se o zařízení, které pracuje na základech operačního systému linux, tento operační systém obsahuje grafickou nadstavbu, která je uživatelsky přívětivá. Tento síťový prvek díky tomu dokáže nastavit i člověk neorientující se v příkazové řádce.

5.1.2. Pojítko

Pojítko, které je zobrazeno na Obr. 10 je prvek, pomocí kterého je NODE propojen se zbytkem sítě. Jedná se o AP s anténou, které pracuje v režimu Bridge. Důležitým faktorem tohoto prvku je především vysoká přenosová rychlost a stabilita. V případě takto malého bodu, který je umístěn v méně zarušené oblasti zcela dostačuje NanoBridge M5 Air MAX 22 dBi využívající standard 802.11n. Komunikace tak může probíhat reálnou přenosovou rychlostí až 300 Mbps.

Obr. 9 Mikrotik RB750UP [17]

Obr. 10 NanoBridge M5 Air MAX 22 dBi [16]

5.1.3. Access point

Dalším prvkem je přístupový bod. Díky mým pozitivním zkušenostem jsem zvolil zařízení od firmy Ubiquiti Bullet M5 AirMAX uvedený na Obr. 11. Jedná se o venkovní AP, které lze připojit přímo k anténě. Napájení a komunikace probíhá pomocí utp kabelu, není tedy nutné potřeba použití koaxiálního kabelu, který je z hlediska signálu velmi ztrátový. Vysoká přenosová rychlost (až 150 Mbps) je dosažena díky podpoře standardu IEEE 802.11n. V tomto zařízení je použit systém AirOS V, který výrobce neustále podporuje. Vycházejí tak

nové firmwary, které vylepšují funkčnost AP. AP tak umožňuje širokou škálu funkcí pro lepší správu. Mezi funkcemi bych zmínil grafy vytížení AP, QoS, shaping a další.

5.1.4. Anténa

Posledním nutným prvkem je anténa. Pro mé potřeby jsem vybral sektorovou anténu AirMAX MIMO 16 dBi, 120°, 2x RSMA (5 GHz). Anténu jsem vybral z důvodu plné kompatibility s Ubiquiti Bullet M5 AirMAX, která je uvedená na Obr. 12 lze tak využít maximální přenosové rychlosti.

Obr. 11 Ubiquiti Bullet M5 AirMAX [18]

Obr. 12 Sektorová anténa AirMAX MIMO 16dBi, 120°, 2x RSMA (5GHz) [19]

6. Software pro návrh solárního systému

Existuje nespočet SW, které jsou vhodné k návrhu solárního systému. Převážná většina z nich je značně zpoplatněna. V bakalářské práci budu využívat bezplatné řešení matematického modulu PVGIS, přičemž bych chtěl otestovat, jestli je tato varianta plně vyhovující pro návrh solárního systému. Tento SW jsem vybral na základě doporučení odborníků, kteří se danou problematikou zabývají. [20]

Příkladem placených řešení může být od firmy Valentine, která na základě výpočtového programu T-SOL sestavila verzi PV-SOL. Tento SW velmi zpřesnil výpočet a to jednak dle případného zastínění a jeho následné optimalizace, tak i pro výpočet odpovídajícího měniče s příslušnou účinností a ztrátou v rozvodu AC i DC. V dnešní době je řada dalších softwarů, které jsou buď odvozeny, či nově naprogramovány. Nicméně v České republice všechny tyto softwary vychází z faktických měření meteostanic českého hydrometeorologického ústavu. [36] [44]

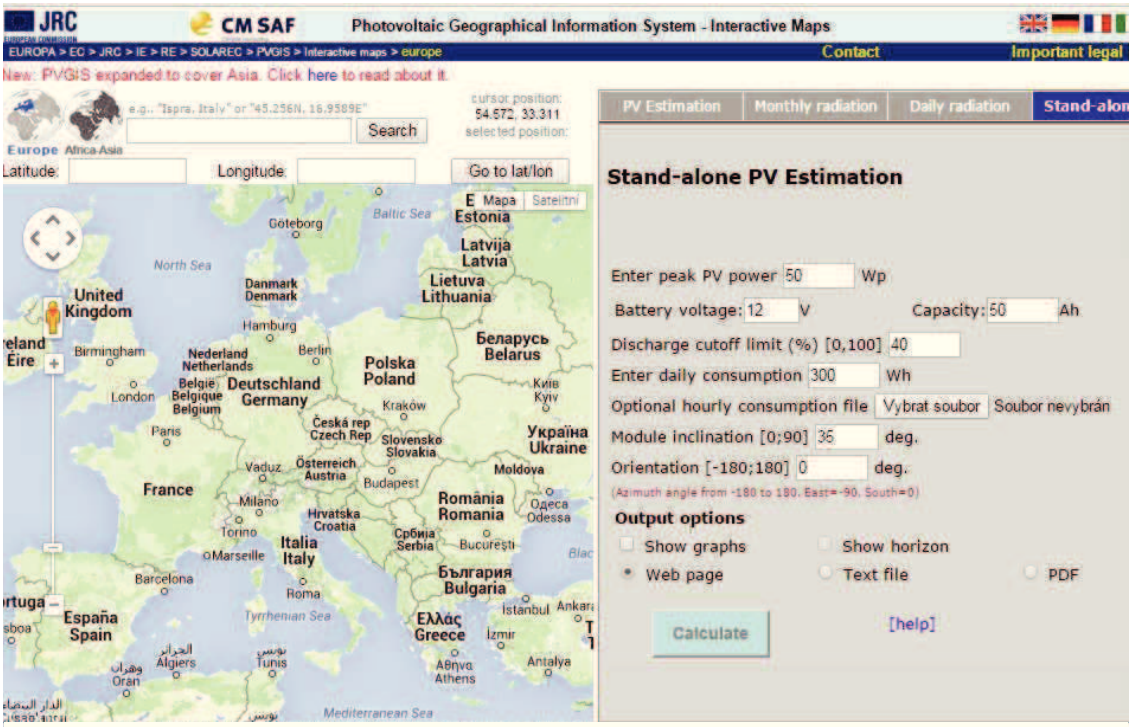
6.1. PVGIS

6.1.1. Rozhraní PVGIS

PVGIS provádí výpočet pomocí matematického modelu pro solární systémy na základě faktických měření z meteostanic po celém světě. Obr. 13 zobrazuje uživatelské rozhraní.

Popis jednotlivých polí pro Stand-alone PV:

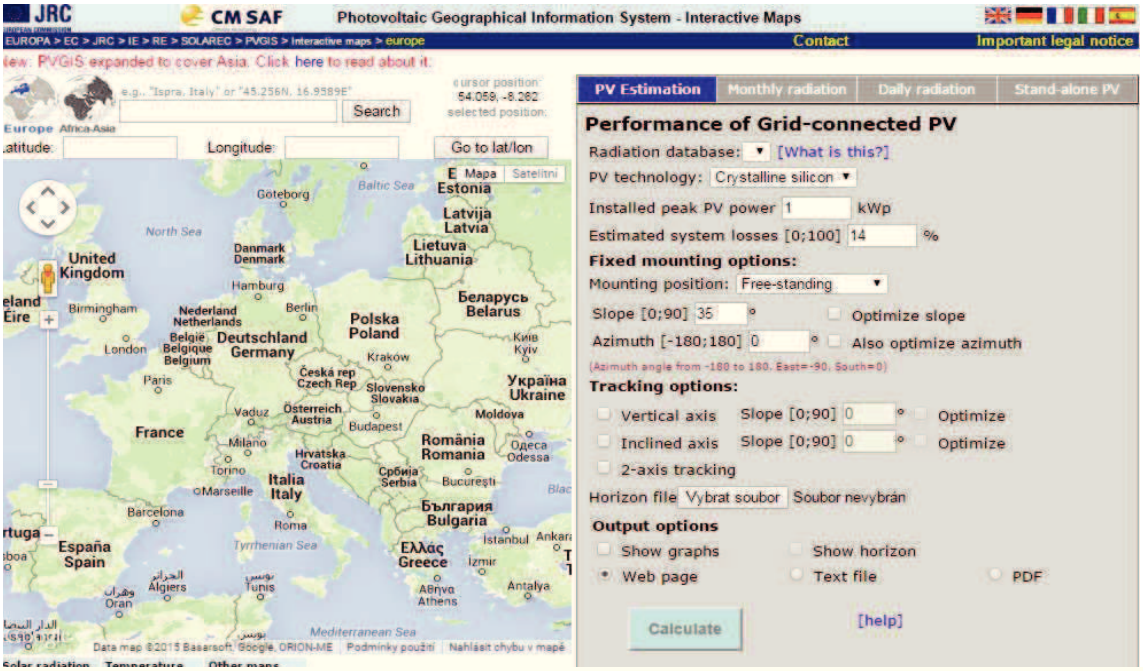
- Mapa – výběr místa, kde potřebujeme solární systém umístit.
- Battery voltage – napětí, ve kterém pracuje celý solární systém.
- Pole Enter peak PV power – zadání maximálně možné účinnosti FV panelů.
- Pole Capacity - celková kapacita akumulátorů.
- Pole Discharge cutoff limit – zde se udává hodnota, v kolika procentech je akumulátor považován za vybitý.
- Pole Enter daily consumption – zde musí být uvedena celková denní spotřeba vysílacího bodu.



Obr. 13 Rozhraní PVGIS pro Stand-alone PV Estimation [20]

Popis jednotlivých polí pro PV Estimation

- PV technology – typ FV panelu
- Installed peak PV power – instalovaný výkon solárního systému
- Estimated systém losses – ztráty v systému
- Slope – náklon



Obr. 14 Rozhraní PVGIS pro Performance of Grid [20]

6.1.2. CHMI

V České republice se provádí výpočet pomocí matematického modelu na základě dat získaných z meteostanic rozprostřených v rámci celé republiky českého hydrometeorologického ústavu. Tyto meteostanice jsou zobrazeny na Obr. 15

Obr. 15 Rozmístění meteostanic poskytující sluneční záření [24]

7. Naměřená data – spotřeba elektrické energie komponent

7.1. Spotřeba elektrické energie komponent

Důležitým faktorem při návrhu solárního systému je odběr komponentů. Každé zařízení má hodnoty maximálního odběru uvedeny od výrobce v katalogovém listu. Ovšem v reálném provozu těchto hodnot dosahovat nebude, a pokud tak nastane, jednalo by se pravděpodobně pouze o skokové hodnoty. Cílem bylo ověřit si tuto hypotézu. Rozhodl jsem se provést měření a porovnat hodnoty udávané výrobcem s hodnotami, které jsem naměřil.

Měření probíhalo na zařízení Mikrotik RB750 UP, pomocí kterého dochází k napájení všech komponent. Tato funkcionalita je dostupná na 2. – 5. portu. Monitoring aktuální spotřeby lze zjistit připojením se na mikrotik, přes API anebo pomocí SNMP protokolu.

7.1.1. SNMP - Simple Network Management Protocol

SNMP protokol slouží k průběžnému sběru dat v síti. Využívá UDP protokol na modelu klient/server. V dnešní době jsou dostupné tři verze SNMP

- SNMPv1 – základní funkci SNMP. Tato verze umožňuje zabezpečení pouze na úrovni názvu komunity - pokud není znám její název nelze vyčítat.
- SNMPv2 – dochází k zabezpečení pomocí autentizace.
- SNMPv3 – nově byla přidána funkcionalita šifrování.

K měření jsem využil SNMPv1, který byl pro moji práci naprosto dostačující. K identifikaci jsem použil následující OID:

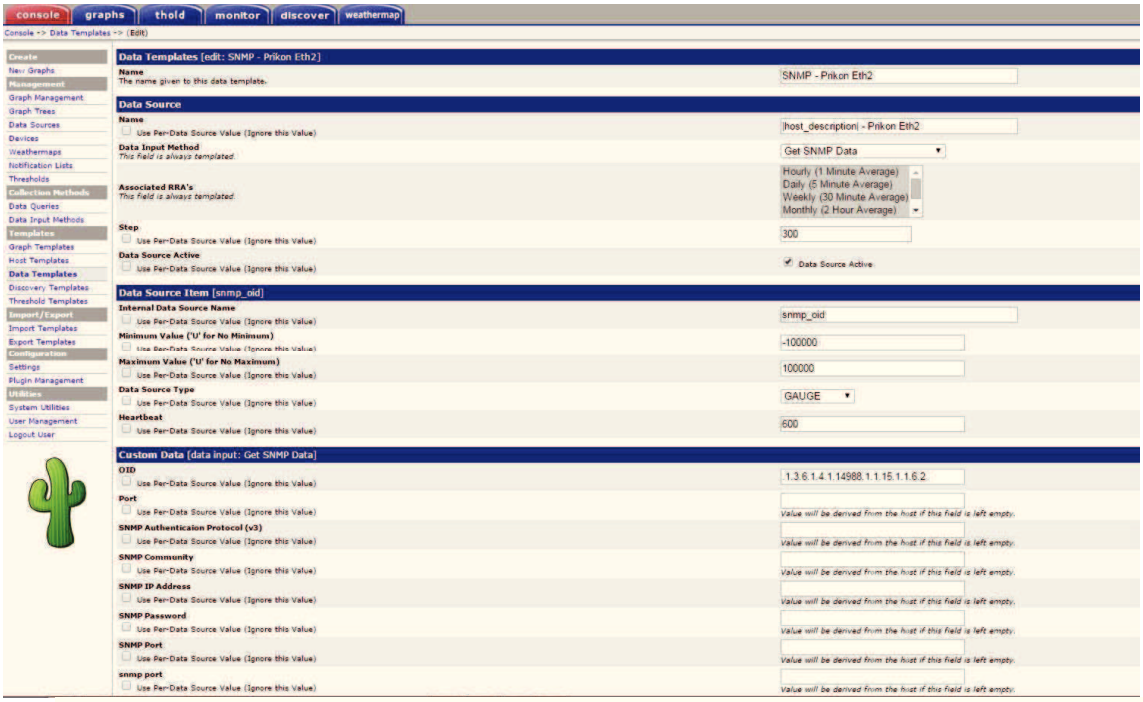
- WipsStation - 1.3.6.1.4.1.14988.1.1.15.1.1.6.2;
- Bullet M5 - 1.3.6.1.4.1.14988.1.1.15.1.1.6.4;
- RB750UP 22 - 1.3.6.1.4.1.14988.1.1.15.1.1.6.3.

7.1.2. Cacti

Nástroj, který umožňuje monitorovat a vytvářet grafy na základě dat sbíraných ze sítě a různých čidel. V mém případě dochází pomocí SNMP dotazu k vyčtení informací z RB750UP a k následnému vykreslení do grafu. K vykreslení grafů využívá RRDTool, který umožňuje zpracování a ukládání časově závislých dat. V mém případě se jedná o data spotřeby jednotlivých komponent. U tohoto nástroje je důležité naplánování potřebné kapacity disku, protože při definování grafu dochází k zarezervování místa – více už zabírat nelze. Pro bakalářskou práci jsem využil pouze naměřená data, na základě kterých jsem vytvořil níže uvedené grafy. [35]

Nastavení

- Data template – Nastavení vyčítání pomocí SNMP, nastavení OID, rozsah vyčítané hodnoty, toto zobrazuje Obr. 16.
- Grapf Template – Zde nastavím vzhled samotného grafu, barvy čar, pojmenování apod.
- Host Template – Nastavení šablony pro používání zařízení, kde lze přednastavit využívané šablony grafu.



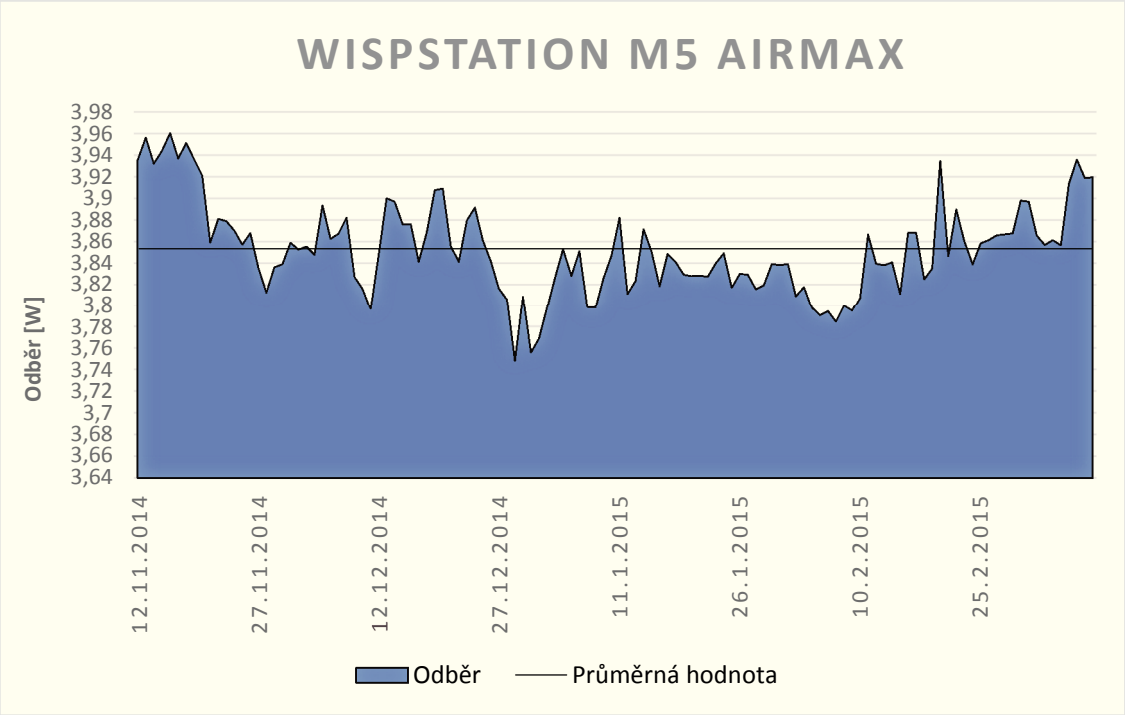
Obr. 16 Cacti – data template

7.2. Reálný odběr

Hodnoty odběru níže uvedených komponent jsou z reálného NODE, ke kterému se pravidelně připojuje 10 členů.

7.2.1. WispStation M5 AirMAX – 23 dBm

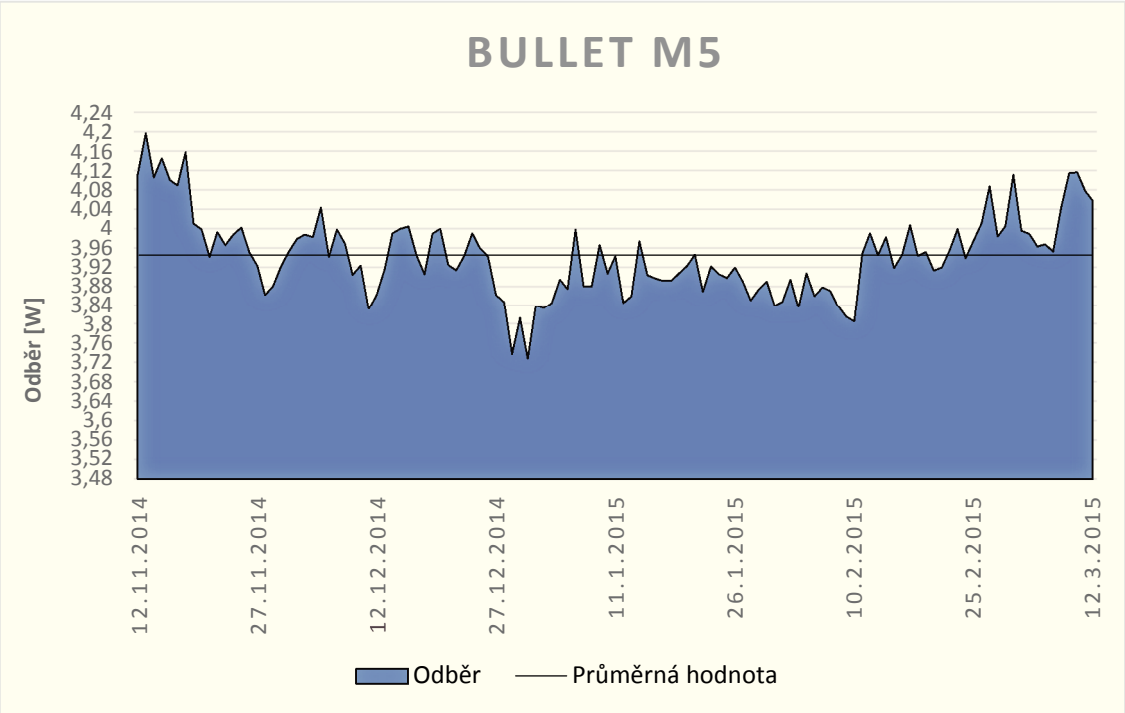
Měření probíhalo od 12. 11. 2014 do 11. 3. 2015. Graf 1 zobrazuje hodnoty dané intervalem jednotlivých dní. Průměrný odběr osciloval okolo hodnoty 3,85 W. Nejmenší naměřenou hodnotou ze dne 31. 12. 2014 byla hodnota 3,75 W. Naopak špičky v měření dosahovaly hodnot 3,96 W. Evidetně rozdíl není nikterak velký, navíc nikdy nedošlo k maximálnímu možnému odběru udávaného výrobcem v datasheetu.



Graf 1 – Spotřeba elektrické energie WispStation M5 AirMAX

7.2.2. Bullet M5

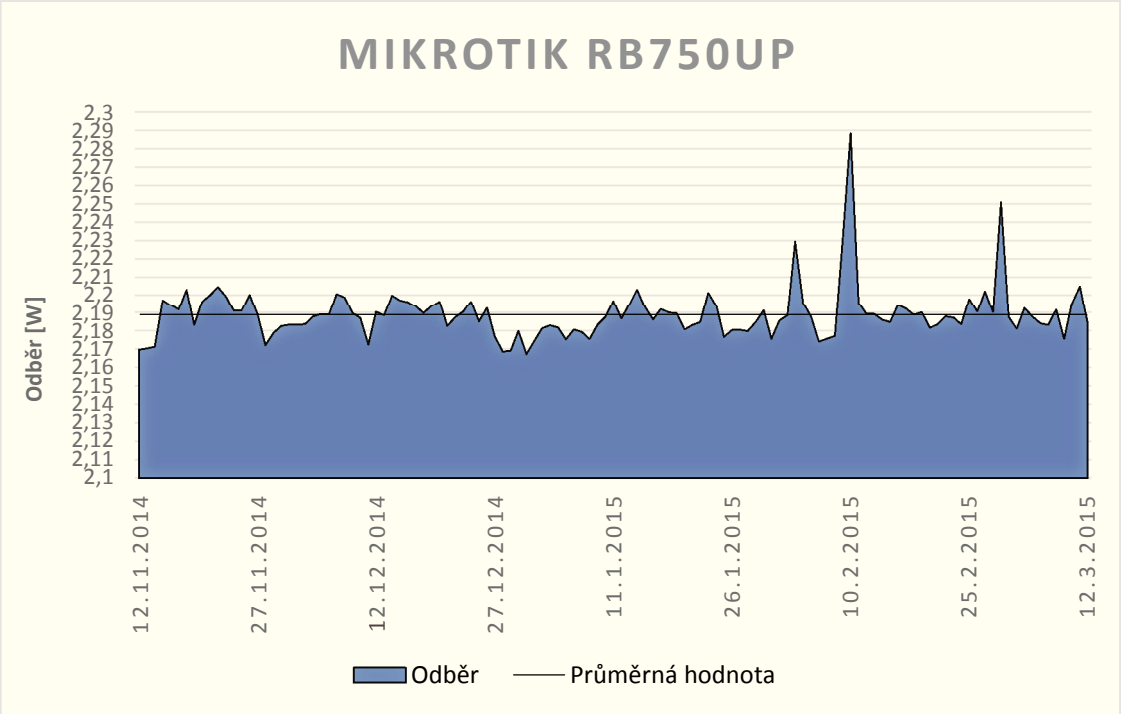
Průměrný odběr dle dostupných dat činil 3,94 W. Rozmezí minimálního a maximálního odběru je o něco vyšší, než v případě WispStation. Maximální hodnota je 4,16 W, minimální pak 3,73 W. Stejně jako u WispStation, nikdy nedošlo k maximálnímu odběru udávaného výrobcem v datasheetu.



Graf 2 – Spotřeba elektrické energie Bullet M5

7.2.3. Mikrotik RB750UP

Poslední komponenta, u které probíhalo měření odběru, byl Mikrotik RB750UP. Z Grafu 3 lze vyčíst hodnotu minimálního odběru 2,17 W, maximální hranice stoupla až ke 2,188 W. Průměrná spotřeba tohoto zařízení činila 2,189 W. Nikdy nedošlo k maximálnímu možnému odběru udávaného výrobcem v datasheetu.



Graf 3 – Spotřeba elektrické energie RB750UP

V Tabulce 1 jsou ve sloupci *Maximální spotřeby* uvedeny hodnoty udáváné výrobcem. Sloupec *Naměřená spotřeba* zobrazuje mnou naměřené hodnoty. Výsledkem porovnání hodnot je celkové snížení spotřeby elektrické energie téměř o 6 W. Důsledkem toho bude pravděpodobný pokles nákladů na výkon solárního systému.

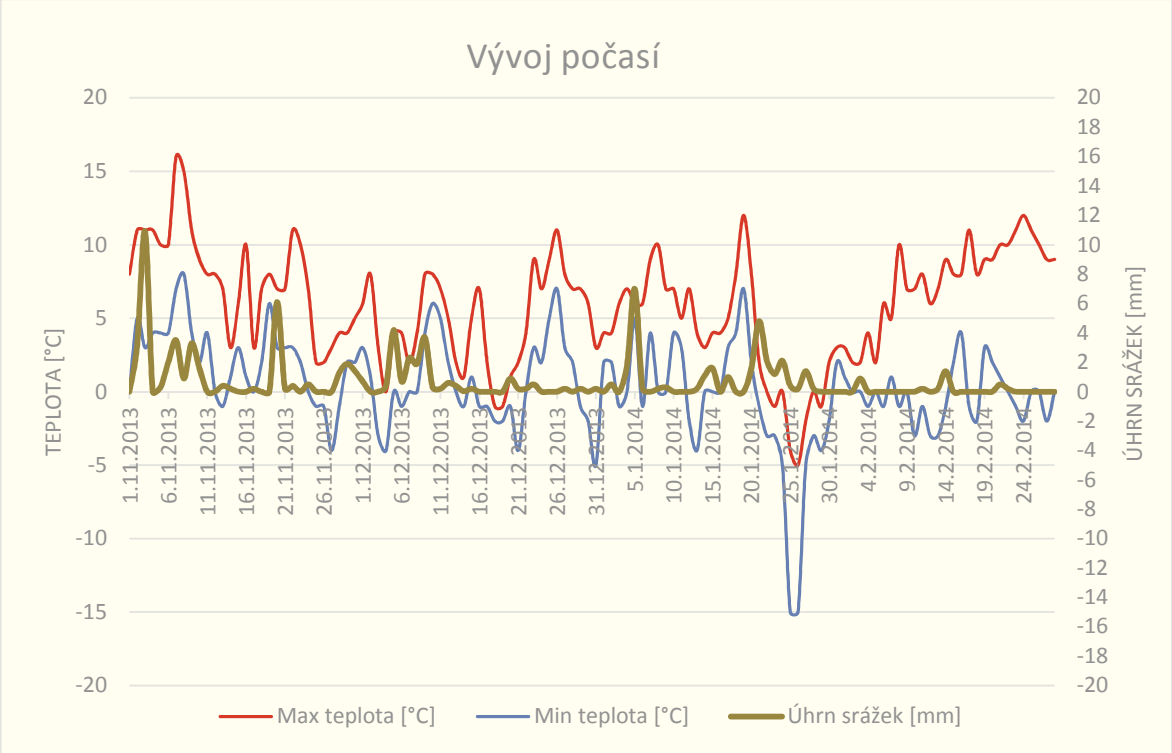
Tabulka 1 – Spotřeba el. energie komponent

T Y P	FREKVENCE [GHz]	PŘENOSOVÁ RYCHLOST [Mbps]	POČET [KS]	SPOTŘEBA DATASHEET [W]	NAMĚŘENÁ SPOTŘEBA [W]
Bullet M5 AirMAX [21]	5	100	1	6	3,944
RB750UP 22	-	-	1	3	2,189
WispStation M5 AirMAX - 23 dBm [23]	5	150	1	5	3,853
Celkem				15,5	9,986

8. Počasí

Období zimy let 2013 a 2014 bylo teplotně nadprůměrným obdobím v porovnání s dlouhodobým průměrem. Na portálu www.in-pocasi.cz jsou dostupná data pro lokalitu Mnichovo Hradiště získané z poloprofesionální meteostanice. Tato meteostanice je dostupná od roku 2007 a provádí měření teploty a úhrnu srážek. Vývoj teplot a úhrnu srážek je zobrazen v Graf 4. [37]

Jedná se o meteorologickou stanici TFA 35.1075 NEXUS. Teplotní čidlo je umístěno 2 metry nad zemí. Anemometr a srážkoměr jsou umístěny na střeše ve výšce 10 m. Průměrné hodnoty teplot a úhrnu srážek v měřených měsících jsou uvedeny v Tabulce 2.



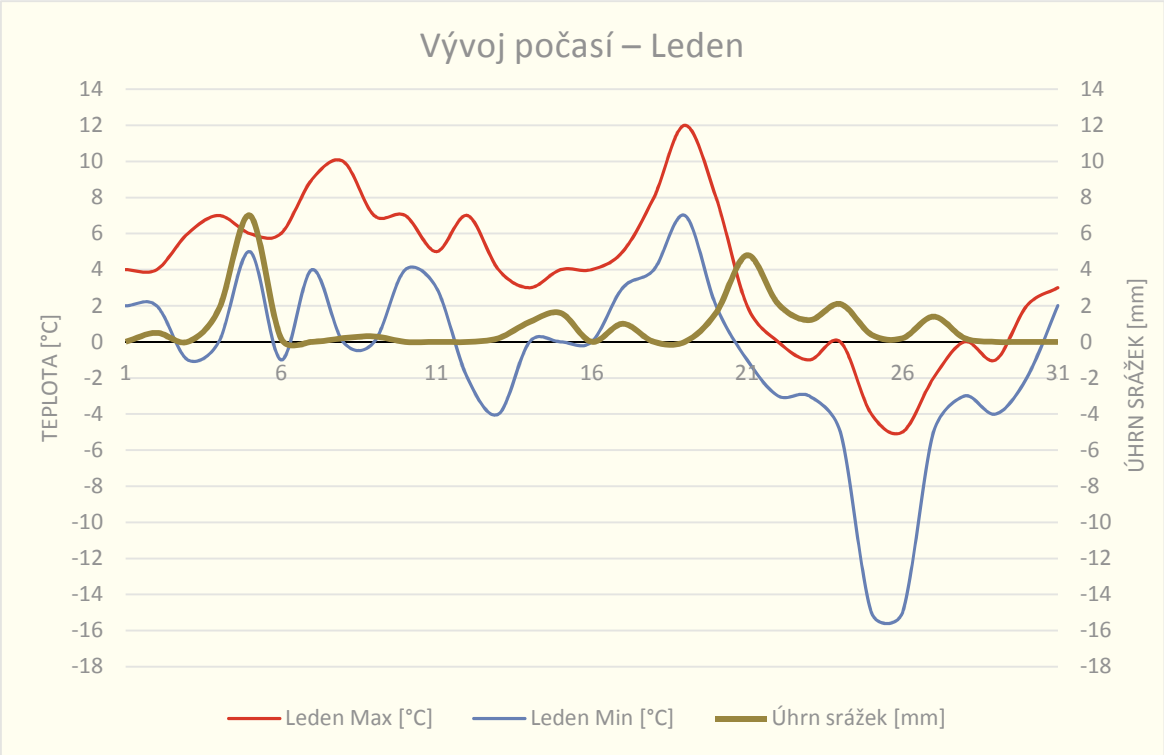
Graf 4 – Vývoj počasí

Tabulka 2 – Vývoj teplot

MĚSÍC A ROK	PRŮMĚRNÁ TEPLOTA [°C]	DLOUHODOBÁ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA V ČR[°C]	PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK [mm]	DLOUHODOBÝ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK V ČR [mm]
Listopad 2013	4,99	3,9	38	31
Prosinec 2013	2,65	0,7	18	27
Leden 2014	1,52	-0,4	28	26
Únor 2014	3,66	0,5	3,7	20

Teploty dosahující nadprůměrných hodnot jsou nepříznivé k mému výzkumu, vyjma období od 21. 1. 2014 – 31. 1. 2014, kdy teplota trvale klesla pod bod mrazu, přičemž následný

úhrn sněhových srážek byl dostačující k překrytí FV panelu vrstvou sněhu. Tento vývoj teplot a srážek potvrzuje Graf 5. [37]



Graf 5 – Vývoj počasí – Leden

9. Analýza naměřených dat

Z prostředků, které mi byly poskytnuty od MH2net z.s., jsem zakoupil dva identické polykrystalické FV panely o výkonu 10 Wp. Cílem je zkoumat vliv počasí na účinnosti FV panelů, zejména pak jejich překrytí mrazem a sněhem.

Pro ověření správnosti měření jsem chtěl mnou naměřená data porovnat s daty z portálu PVGIS. Bohužel, data ve vhodném formátu pro zpracování zde nejsou k dispozici. Do nedávné doby poskytoval CHMI referenční klimatický rok zdarma. Nyní si účtuje za jeden referenční klimatický rok pro jednu lokalitu 1500 Kč pro soukromé a právnické osoby. Student při nepřesáhnutí částky 5000 Kč platí pouze manipulační poplatek neznámé částky. Pro mé účely bylo zapotřebí získat z měřících stanic výkon na plochu pro měsíce listopad, prosinec 2013 a leden, únor 2014. Za tato data si CHMI účtuje 8000 Kč, což značně přesahuje daný rozpočet, dalším problémem je již zmíněná vzdálenost.

Zejména díky kontaktům získaným při studiu na TU v Liberci jsem získal kontakt na Ing. Grygara, který vlastní meteostanici přímo v Mnichově Hradišti. Po písemné domluvě jsem obdržel potřebná referenční data. Data jsou vzorkována po 10 - ti minutách. Výkon solárního systému činí 30 kWp.

9.1. Konstrukce

První problém, který nastal, bylo zajištění FV panelů proti povětrnostním podmínkám. Dalším důležitým faktorem bylo řešení správného náklonu FV panelů. Ideální náklon má jinou hodnotu v zimních a jinou hodnotu v letních měsících. V našich zeměpisných šířkách bývá ideální sklon mezi 35 - 45 stupni. Tabulka 3 popisuje HW vlastnosti FV panelu. Obrázek 17 zobrazuje fotografii uspořádání solárních panelů.

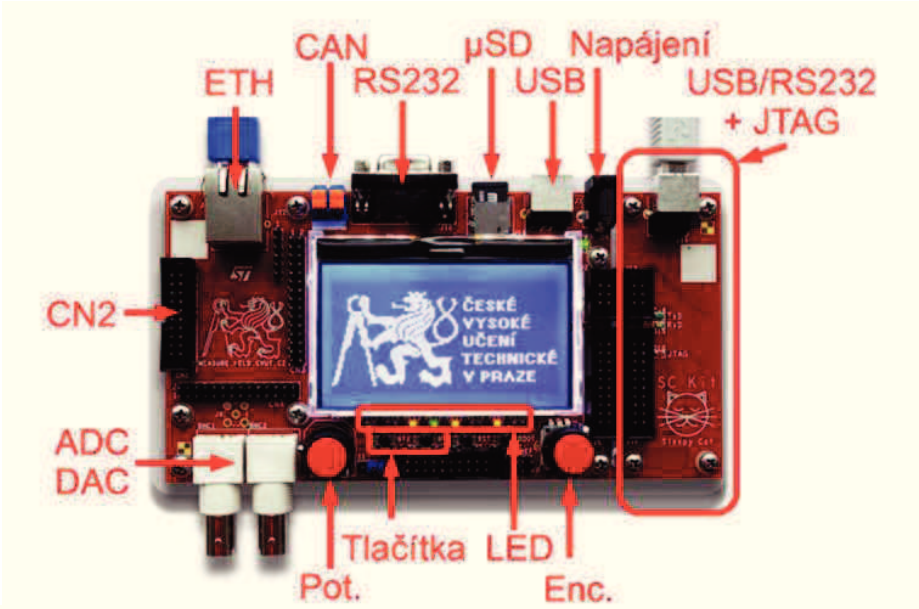
Tabulka 3 – Popis FV panelu [45]

Značka	**DSP 10P**
Rozměry (H x Wx D)	262 x 340 x 17
Hmotnost	1,1 [Kg]
Typ článku	polykrystalický
Počet článků	36 [ks]
Výkon max (Pmax)	10 [Wp]
Napětí max	17,2 [V]
Napětí na prázdno	11,25 [V]
Zkratový proud	1,36 [A]
Účinnost modulu	16,4 [%]

Obr. 17 Fotografie uspořádání solárních panelů

9.2. Sleepy Cat Kit

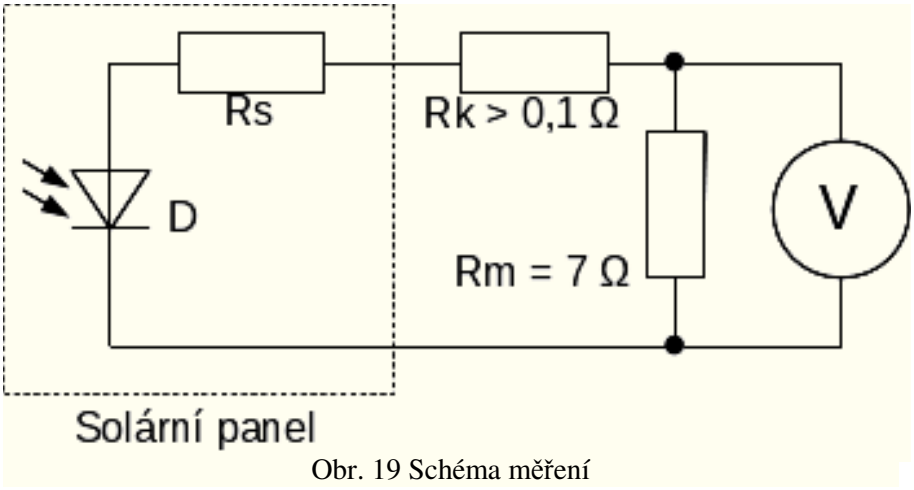
Pro měření výkonu FV panelů mi byl zapůjčen Sleepy Cat kit, zobrazený na Obr. 18. SC kit je vývojová deska, která byla vyvinuta na katedře měření ČVUT FEL. Obsahuje Ethernet, CAN, RS232, možnost připojení SD karty, USB, grafický displej, dvouosý akcelometr, inkrementální enkodér, dvě tlačítka, osm LED, potenciometr, A/D převodník, D/A převodník a expanzí konektor s universálními vstupy a výstupy.



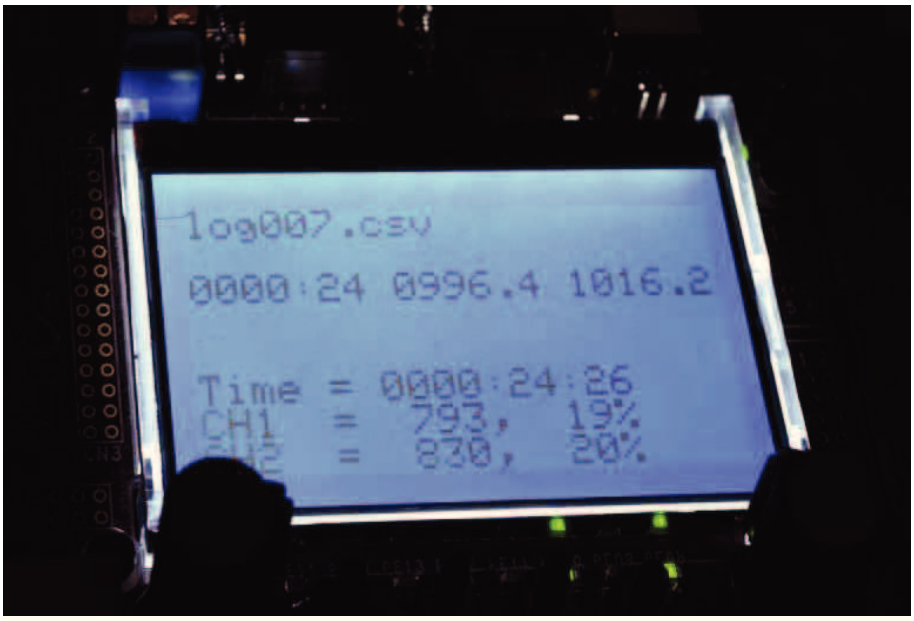
Obr. 18 Sleepy Cat Kit [25]

9.3. Postup měření

Jako Voltmetr byl použit již zmíněný Sleepy Cat kit v rozsahu 0 – 3,3 V, při rozlišení 12 bitů. Měření probíhalo 1 za sekundu. Obr. 19 zobrazuje schéma zapojení při měření.



Obr. 19 Schéma měření



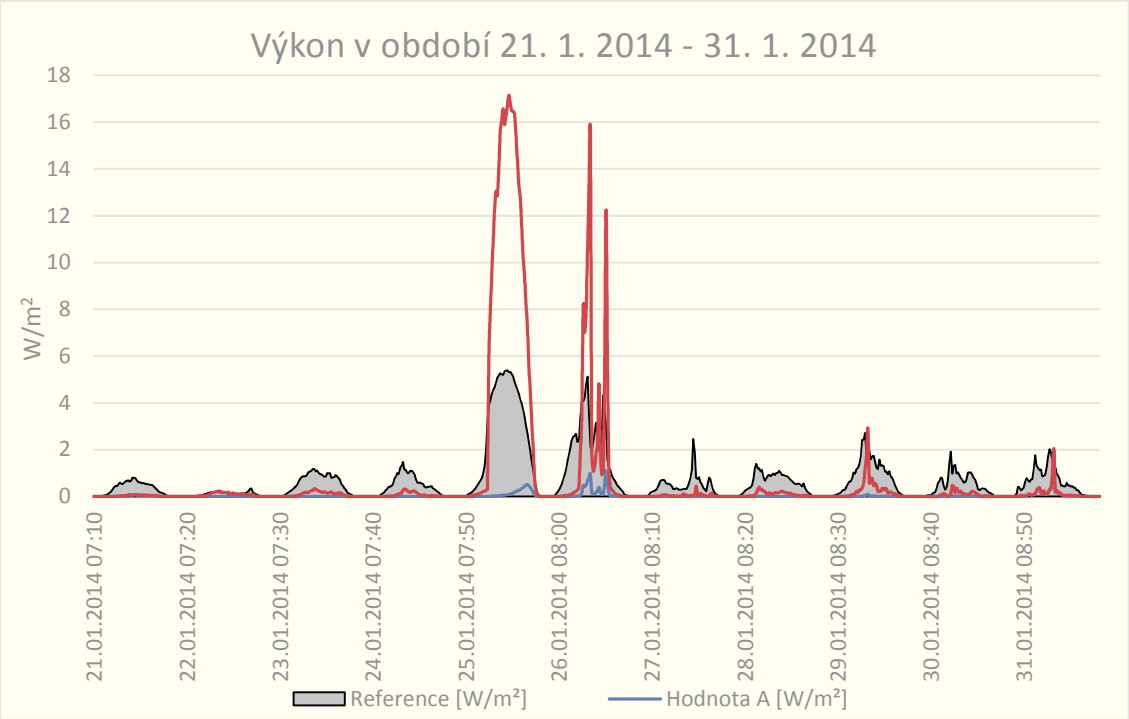
Obr. 20 Průběh měření

9.4. Vyhodnocení měření

Účelem měření bylo určení rozdílnosti v účinnosti FV panelů závislé na vnějších vlivech. Začátek měření v ostrém režimu datuji od 18. 12. 2013 v 12:33. Ukládání hodnot měření probíhalo na SD kartu, při pravidelném zálohování bylo zapotřebí měření přerušit, vyjmout paměťovou kartu a provést její zálohu. Čímž došlo k přerušení měření řádově do 5 – ti minut. Ukládání hodnot probíhalo každou vteřinu, což nebyl pro následné zpracování a zejména pro přehlednou prezentaci v grafu ideální interval. Z tohoto důvodu jsou naměřená data upravena na interval po 10 minutách.

9.4.1. Data z měření

V následujícím textu se zabývám pouze daty měřených ve dnech 21. 1. 2014 – 31. 1. 2014, které jsou průkazné v poklesu výkonu FV panelu po jeho pokrytí sněhem. Pro lepší přehlednost jsem provedl selekci dat. Vyselektován je každý den v období od 00:00 do 7:00 hodin a od 17:50 do 00:00 hodin – v těchto hodinách dosahuje výkon FV panelů 0 W. Tato data nejsou pro další zpracování relevantní. V průběhu pěti dní, konkrétně mezi dny 21. 1. 2014 a 25. 1. 2014, dojde přes noc k postupnému zapadání obou FV panelů sněhem, přičemž FV panel B je pravidelně čištěn. V níže uvedených grafech jsou zobrazena naměřená data, které reprezentuje modrá křivka pro FV panel A a červená křivka pro FV panel B. Šedá křivka jsou referenční data, která byla normována tak, aby se vešla do grafu. Důležitým prvkem je zejména vývoj křivek.



Graf 6 – Plošný výkon FV panelů v období 21. 1. 2014 – 31. 1. 2014

21. 1. 2014 – FV panel A dosahuje maximálního výkonu 0,080 W/m^2, přičemž průměrná hodnota plošného výkonu činí 0,03 W/m^2. FV panel B, ve stejných podmínkách dosahuje plošných hodnot 0,097W/m^2, průměrná plošná hodnota pak 0,033 W/m^2. Z toho vyplývá, že rozdíl v účinnosti obou FV panelů je prozatím minimální.

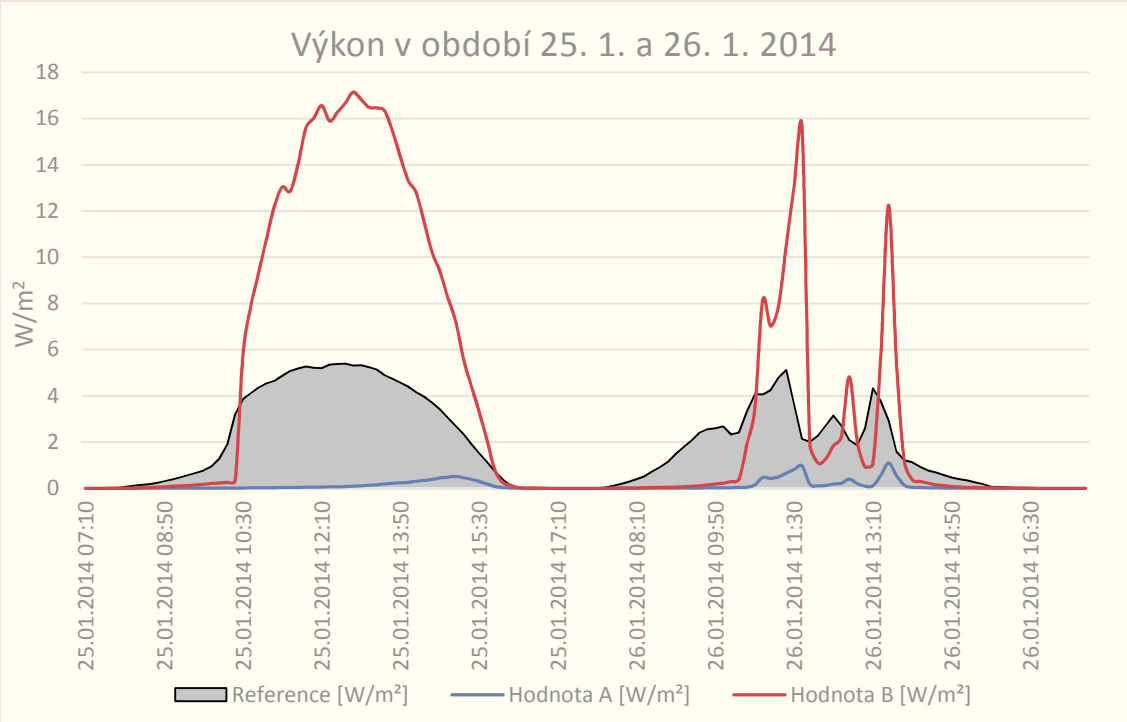
22. 1. 2014 – Zde se začíná projevovat rozdíl v účinnosti FV panelů. Zatímco zasněžený FV panel A dosahuje maximální plošného výkonu pouhých 0,001 W/m^2, průměrný plošný výkon činí 0,0007 W/m^2. FV panel B dosahuje maximálního plošného výkonu 0,235 W/m^2, přičemž průměrný plošný výkon byl na hodnotě 0,110 W/m^2. FV panel B tak dává více jak 100× vyšší plošný výkon.

23. 1. 2014 – Dochází ke zvyšování rozdílu v účinnosti obou FV panelů. FV panel A dosahuje maximálního plošného výkonu 0,002 W/m^2, což nastane v 11:30 hodin. Průměr plošného výkonu činí 0,0008 W/m^2. FV panel B dosáhnul maximálního plošného výkonu 0,33W/m^2, přičemž průměrný plošný výkon nabyl hodnoty 0,132 W/m^2.

24. 1. 2014 – V tomto dni nepozoruji žádné zásadní změny ve výkonnosti obou FV panelů. FV panel A dosáhl v tento den maximálního plošného výkonu 0,0017 W/m^2, průměrného plošného výkonu pak 0,0007 W/m^2. Maximální hodnota plošného výkonu FV panelu B činila 0,32 W/m^2 v 11:20 hodin, přičemž průměrná hodnota plošného výkonu byla 0,098 W/m^2.

25. 1. 2014 – Tento den byl z pohledu celého měření nejzajímavější. Jedná se o jeden z mála slunečních dní. Zatímco FV panel B dosáhl maximálního plošného výkonu 17,16 W/m^2 v 12:50 hodin FV panel A dosáhl maximálních hodnot až v 15:00 hod. při plošném výkonu 0,51 W/m^2. Z tohoto vyplývá, že docházelo k postupnému tání sněhu ze FV panelu, čímž se nepatrně zvyšovala jeho účinnost. Průměrná hodnota plošného výkonu FV panelu A činila 0,1144W/m^2 u FV panelu B pak 7,59 W/m^2. Došlo tak k mírnému srovnání rozdílu účinnosti obou FV panelů, přičemž tento trend se promítl i do následujících dní.

26. 1. 2014 – V tomto dni lze pozorovat pokračování úbytku sněhové pokrývky na FV panelu A. U obou FV panelů dochází k mírnému srovnání rozdílu v účinnosti. FV Panel A dosáhl maximální hodnoty plošného výkonu na hranici 0,97 W/m^2, průměrný plošný výkon pak nabyl hodnoty 0,16 W/m^2. Maximální ploošný výkon FV panelu B činil 15,62 W/m^2, přičemž průměrná hodnota byla 2,162 W/m^2.

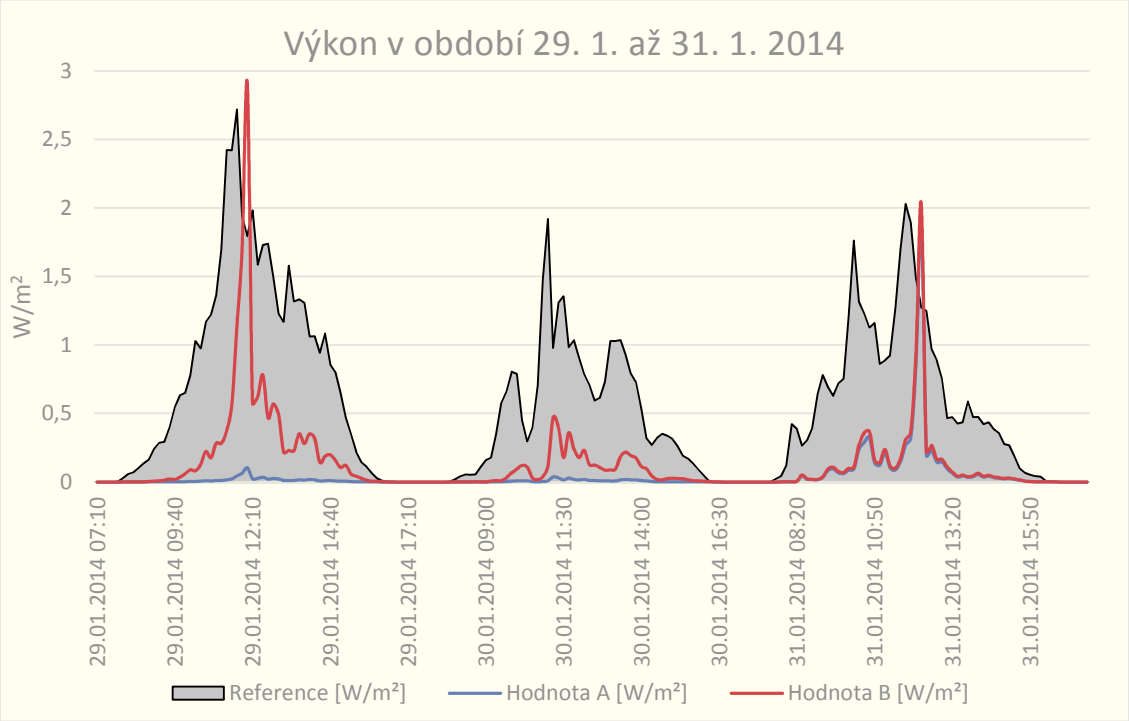


Graf 7 – Plošný výkon FV panelů v období 25. 1. 2014 – 26. 1. 2014

27. 1. 2014 – 28. 1. 2014 - v těchto dnech nepozoruji žádné zásadní změny ve výkonosti obou panelů. Hodnoty maximálního výkonu a průměrného výkonu jsou uvedeny v tabulce 4.

29. 1. 2014 – s mírným oteplením ubývá sněhová pokrývka na FV panelu A. Rozdíl výkonnosti se opět zužuje. FV Panel A dosahuje maximální plošné výkonosti 0,104 W/m^2, průměrná hodnota činí 0,013 W/m^2. Maximální hodnota plošné výkonnosti pro FV panel B je 2,91 W/m^2, přičemž průměrný plošný výkon nabýval 0,306 W/m^2.

31. 1. 2014 – V důsledku oteplení dochází k odtání sněhu z FV panelu A. Výkon obou FV panelů je téměř srovnatelný. Hodnoty plošného výkonu jsou uvedeny v Tabulce 4.



Graf 8 – Plošný výkon FV panelů v období 29. 1. 2014 – 31. 1. 2014

Tabulka 4 – Vývoj maximálního a průměrného výkonu obou panelů

Den	A **Max h.** [W/m²]	B **Max h.** [W/m²]	A **Průměr** [W/m²]	B **Průměr** [W/m²]
21. 1. 2014	0,080826	0,096542	0,030085	0,033902
22. 1. 2014	0,001347	0,234508	0,000674	0,110463
23. 1. 2014	0,002021	0,329928	0,000786	0,13269
24. 1. 2014	0,001684	0,320162	0,000674	0,098339
25. 1. 2014	0,509317	17,14672	0,114392	7,592501
26. 1. 2014	0,969017	15,62120	0,158958	2,161989
27. 1. 2014	0,053772	0,445442	0,005725	0,052088
28. 1. 2014	0,011114	0,399079	0,003256	0,109901
29. 1. 2014	0,103839	2,910418	0,012797	0,305793
30. 1. 2014	0,036933	0,46969	0,007185	0,092726
31. 1. 2014	1,878199	2,035137	0,125842	0,141783

9.4.2. Závěr z měření

Z měření lze vyvodit, že i sebemenší překrytí solárního FV panelu má za důsledek snížení jeho účinnosti. O tom, jestli sníh na FV panelu zůstane nebo sklouzne, zavisí na sklonu FV panelu. V mém případě ke sklouznutí nedošlo, přičemž jeho sklon byl v cca 40 stupních. Pokud by chtěl majitel solárního systému elektřinu, muselo by dojít k odklizení napadaného sněhu – což pro solární systém, který má být samostatný, není ideální. Sklon v tomto případě již nemá vliv na účinnost solárního systému. Pokud by byl sklon takový, že by docházelo

k postupnému sklouzávání, je nutné brát na vědomí, že celý FV panel funguje dle nejhoršího článku. To znamená, že pokud dojde pouze k částečnému sklouznutí sněhu, účinnost FV panelu bude stále minimální.

10. Řešení a kalkulace

Na základě naměřených hodnot navrhnu bezobslužný solární systém, který musí odolat vlivu počasí. Referenční NODE se skládá z komponent uvedených v tabulce 1. Kroky, které je nutné zohlednit pro návrh bezobslužného solárního systému:

- Výběr vhodného typu FV panelu
- Vhodný typ akumulátoru
- Spotřeba elektrické energie Wi-Fi komponent
- Výběr vhodného zařízení obstarávající logiku procesu řízení pro detekci sněhu a jeho odstranění
- Vývoj počasí
- Stanovit maximální dobu topení
- Spotřeba elektrické energie pro topení
- Výpočet potřebného výkonu pro napájení všech komponent pomocí PVGIS
- Na základě výpočtu sestrojit vhodný solární systém a provedení kalkulace

10.1. Vývoj počasí a jeho vliv

Tuto skutečnost v bakalářské práci zanedbávám, protože se pro NODE s takto nízkým výkonem nevyplatí sledovat. Nemělo by dojít k situaci, kdy by přes den došlo k zapadnutí FV panelu sněhem, protože účinnost FV panelu je pouze do 20 % a zbytek se přemění na energii tepelnou, tzn., že i při hodně nízkých teplotách by se teplota FV panelu měla držet nad 0 °C. Problém nastává v noci. Pokud dojde k zapadnutí FV panelů přes noc, je vhodné sledovat vývoj počasí v následujících dnech. Uvedu dvě modelové situace:

- Předpověď počasí slibuje slunečné dny – v tomto případě se vyplatí sníh odklidit, protože v následujících dnech dojde k dobití akumulátoru.
- Předpověď počasí předpovídá výrazné sněžení i v následujících dnech – v tomto případě je zapotřebí zvážit, zda-li se energeticky vyplatí ohřívat FV panely několik dní po sobě.

10.2. Způsob ometání

Účinnost FV panelu závisí na jeho čistém povrchu. V letních měsících může docházet k usazování prachu na jeho povrchu, čímž dochází k nepatrnému snížení účinnosti. Nicméně, ve výsledku se nejedná o tak velký rozdíl v účinnosti oproti zimním měsícům, kdy dochází

k zapadání FV panelu sněhem nebo dojde k jeho namrznutí, což je nežádoucí stav. Automatické odstranění nežádoucího stavu lze provést dvěma způsoby:

- Automatické ometení pomocí stěrek – Tato varianta je mechanicky náročnější a složitější na výrobu. Výhodou je nižší energetická náročnost, umožňuje odstranit nejen sníh, ale také špínu, prach a listy.
- Topná spirála – Tato varianta je mechanicky jednoduchá a není tolik náročná na údržbu. Oproti předchozímu řešení má vyšší energetickou náročnost a nedokáže odstranit špínu, prach a listy. Topný kabel se umístí ze spodu na FV panel. Při zahřátí FV panelu dojde v závislosti na jeho sklonu k samovolnému sklouznutí sněhu.

10.3. Návrh solárního systému

10.3.1. Výběr FV panelu

Měření probíhalo na polykrystalickém solárním FV panelu. Tento FV panel má v našich zeměpisných šířkách nejlepší vlastnosti.

10.3.2. Spotřeba elektrické energie Wi-Fi komponent

Pro návrh solárního systému využiji naměřených hodnot spotřeby elektrické energie jednotlivých komponent uvedených v Tabulce 1. Celková spotřeba všech komponent činí necelých 10 W, pro celý den se pak jedná o hodnotu 240 Wh.

10.3.3. Detekce zapadání FV panelu

Logiku pro detekci a odstranění sněhu bude zajišťovat PLC, které bude vyhodnocovat následující vstupy a výstupy:

- Fotodioda
- Teplotní čidlo
- Topná spirála

Jelikož k zapadnutí FV panelu sněhem může dojít pouze v noci, rozhodl jsem se omezit provoz PLC pouze na nutnou dobu, čímž dosáhnu omezení spotřeby o 200 Wh. O řízení se bude starat časové relé, k zapnutí PLC dojde mezi 7:00 – 9:00 hodiny ranní. PLC bude vyhodnocovat dvě podmínky, na základě kterých provede sepnutí topné spirály. Tyto podmínky jsou:

- Porovnání hodnot fotodiody a FV panelu. Fotodioda musí být chráněná proti zapadnutí sněhem, což lze podmínit jejím umístěním pod stříšku. Pokud

hodnoty ze FV panelu budou značně rozdílné oproti hodnotám na fotodiodě – splněna první podmínka

- Teplotní čidlo detekuje teplotu nižší jak 0 °C – splněna druhá podmínka

Na základě těchto podmínek PLC sepne topnou spirálu včetně odpočítávání 30 minut. PLC bude dávat podnět k topení až do doby, dokud nebude splněna jedna z těchto podmínek:

- Po zahřátí FV panelů dojde díky jejich sklonu k sesunutí sněhu, čímž se hodnoty fotodiody a FV panelu srovnají
- Uplyne doba 30 minut

V závislosti na sklonu FV panelů by za dobu 30 minut mělo dojít k potřebnému ohřátí FV panelu a následnému sesunutí sněhu. Pokud by k tomuto nedošlo, pravděpodobně se jedná o závadu jednoho z dostupných zařízení. Důvody, které mne vedli k využití odpočtu času:

- zabraňuje dlouhému topení, které by znamenalo brzké vybití akumulátorů, což je nežádoucí stav.
- zjednoduší výpočet potřebného výkonu pro napájení celé soustavy.

10.3.4. Výpočet vhodné délky topného kabelu

Pro hrubý výpočet potřebného výkonu k odtání sněhu jsem použil rovnici pro výpočet tepla:

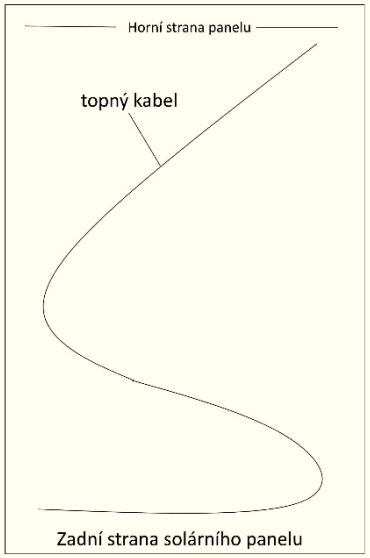
$$Q = m * c * \Delta T$$

m = 1kg
c =2100 $[J * kg^{-1}K^{-1}]$
ΔT = 23 °C

$$Q = 1 * 2100 * 23$$

$$Q = 48300J = 13{,}5\,Wh$$

K potřebnému sesunutí sněhu postačí zahřátí tenké vrstvy sněhu. K odstranění sněhu bude docházet jeho postupným sesouváním v závislosti na jeho náklonu. Jelikož nebylo možné dohledat potřebné hodnoty materiálových parametrů, nebylo možné dopočítat přenos tepla a tím pádem ani dobu potřebnou k roztání sněhu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl zanedbat tepelné ztráty. Umístění topného kabelu, který bude ve spodní části položen ve větší hustotě, tak jak je zobrazeno na Obr. 21



Obr. 21 Způsob umístění topného kabelu

10.3.5. Výpočet spotřeby elektrické energie komponent

Výpočet spotřeby elektrické energie komponent je uveden v Tabulce 5. Spotřeba elektrické energie samotného NODE je téměř konstatní a pohybuje se v hodnotách okolo 10 W. Výrobce udává pro topný kabel hodnotu spotřeby elektrické energie 17 W na metr kabelu. Pro FV panel o rozměrech 1640 mm × 990 mm × 50 mm budu uvažovat o využití 3 metrů topného kabelu.

Tabulka 5 – Spotřeba elektrické energie pro celý systém

Zařízení	Spotřeba elektrické energie komponent dle datasheet [W]	Počet aktivních hodin /den	Celkem za den [W/h]
NODE	10	24 hodin	240
Topný kabel	102	Max 0,5 hodiny	51
PLC(včetně zdroje)	9,2	2 hodiny	20
Čidla	1	2 hodiny	2
Spínací hodiny	1	24	24
Regulátor	0,072	24	2
Celkem			339

10.3.6. Výpočet FV panelu

V závislosti na spočtené spotřebě elektrické energie všech komponent jsem se rozhodl pro napájení využít dva FV panely o výkonu 250 Wp. Celkový výkon tak činí 500 Wp. Pro kontrolu jsem provedl pomocí PVGIS výpočet energetického zisku těchto FV panelů pro lokalitu Mnichovo Hradiště. Dle Tabulky 6 je vidět, že i v nejhorším měsíci, kterým je listopad, mám dostačující výkon k napájení celého systému, přičemž mám dostatek energie pro případné napájení akumulátorů.

Údaje zadané do PVGIS:

- Lokalita: Mnichovo Hradiště
- Výkon soolárního systém: 0.5 kW – polyktrystalická technologie
- Kombinované ztráty: 10.8%

Měsíc	Průměrná denní produkce elektřiny [Wh]	Průměrná měsíční produkce elektřiny [Wh]
Leden	540	16700
Únor	970	27100
Březen	1740	53800
Duben	2240	57200
Květen	2210	68600
Červen	2250	67400
Červenec	2160	66800
Srpen	2110	65400
Září	1740	52300
Říjen	1210	37500
Listopad	600	18000
Prosinec	430	13400
Celkem		**544200**

Tabulka 6 – Průměrná produkce elektřiny dle PVGIS [20]

10.3.7. Výpočet a výběr vhodného akumulátoru

Výběr správného akumulátoru pro ostrovní solární systém je velmi důležité. Mou původní myšlenkou bylo použitý běžných olověných startovacích akumulátorů. Tento typ akumulátorů má výhodné pořizovací náklady, avšak jeho využitelnost pro solární systém není ideální. Startovací akumulátor je vyroben pro zátěž velmi vysokými proudy po krátký časový interval.

Vlastnosti startovacích akumulátorů pro využití v solárním systému:

- nízké pořizovací náklady.
- krátká životnost v ostrovním solárním systému, hodnota se pohybuje okolo 2 let.
- průměrná využitelná kapacita činí 50%.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl využít AGM trakční VRLA akumulátor. Vlastnosti AGM trakčních VRLA akmulátorů pro využití v solárním systému:

- vyšší pořizovací náklady, řádově 3× dražší než startovací akumulátor o stejné kapacitě akumulátoru.
- dlouhá životnost v ostrovním solárním systému, hodnota se pohybuje okolo 8 let.

- průměrná využitelná kapacita činí 80%.

Kapacita akumulátoru bude výpočítána pro napájení všech spotřebičů po dobu 10 dní, včetně započítaných ztrát, které se pohybují v rozmezí okolo 5%

$$\boldsymbol{PDK = \frac{339W}{24V} = \frac{14,125A}{0,95} \doteq 14,9Ah}$$

Po započítání využitelné kapacity akumulátoru, která činí 80%

$$\boldsymbol{PDK = \frac{339W}{24V} = \frac{14,125A}{0,95} \doteq 14,9Ah * 1,2 = 17,88Ah}$$

Celková potřebná kapacita pro 10 dní

$$\boldsymbol{PDK = 17,88Ah * 10dní \doteq 179Ah}$$ [26]

Kompletní solární systém se skládá z komponent uvedených v Tabulce 7.

Zařízení	Počet [Ks]	Cena za ks [Kč]	Cena celkem [Kč]
Kyocera KD 250 GH [27]	2x	6 291,-	12 582,-
Solární regulátor CX40 12V/24V [28]	1x	2 031,-	2 031,-
Akumulátor MHB VRLA 12V/200Ah trakční-AGM [29]	2x	11 000,-	22 000,-
Odpojovač [30]	2x	200,-	400,-
Spínací hodiny [31]	1x	1 019,-	1 019,-
Topný kabel 11m, 220W [32]	1x	1 381,-	1 381,-
PLC SIEMENS 6ED1052-1CC01-0BA6 [33]	1x	2 769,-	2 769,-
Zdroj k PLC SIMIENS 6EP1332-1SH52 [33]	1x	2 427,-	2 427,-
Fotodioda BPW21 [34]	1x	198,-	198,-
Spínací relé DIN 35 mm [39]	1x	236,-	236,-
Konstrukce, kabeláž	-	Dle konstrukce	Dle konstrukce
Celkem	-	-	**45 313,-**

Tabulka 7 – Náklady na ostrovní solární systém

V kalkulaci pro ostrovní solární systém nejsou uvedeny ceny pro konstrukci a kabeláž, která je velmi závislá na umístění solárního systému.

10.3.8. Zapojení

Pro výběr FV panelů je nutné brát v potaz, aby všechny FV panely byly stejného výkonu a stejného typu. Zapojení do solárního regulátoru se provádí paralelně, přičemž mezi FV panelem a solárním regulátorem je umístěn bezpečnostní odpojovač.

Akumulátor jsem použil také ve dvou kusech, přičemž musí mít stejné parametry. Samotné zapojení je taktéž provedeno paralelně, čímž dosáhnu požadovaných 24 V. Mezi regulátor a akumulátory je umístěn bezpečnostní odpojovač.

11. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout bezobslužný ostrovní solární systém pro napájení NODE na základě naměřené spotřeby elektrické energie jednotlivých komponentů.

V první části jsem popsal druhy panelů, včetně jejich vlastností. Na základě těchto skutečností jsem se rozhodl měřit výkon na polykrystalickém FV panelu.

V praktické části jsem nejprve provedl měření spotřeby elektrické energie komponent NODE, pro potvrzení hodnot udávané výrobcem. Naměřením jsem si ověřil, že reálná spotřeba se oproti hodnotě uváděné výrobcem liší. Celková spotřeba NODE dle dat udávaný výrobcem činí 15,5 W. Oproti tomu naměřená spotřeba činí necelých 10 W. Díky tomu bylo možné dosáhnout o třetinu nižší spotřebu elektrické energie, než jaká vycházela z teoretického předpokladu.

Dalším krokem bylo měření účinnost FV panelu a jeho porovnání s referenčními daty. Při měření byl porovnán výkon zasněženého a nezasněženého FV panelu. Z naměřených dat jsem zjistil, že při pokrytí FV panelu sněhem dojde k rapidnímu snížení jeho účinnosti. Zasněžený FV panel má při slunečných dnech téměř 34× nižší účinnost než nezasněžený FV panel. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro navržení logiky na odstranění sněhu. Data z mých měření nemohla být porovnána s daty z PVGIS, protože nebyla dostupná ve vhodném časovém intervalu. Referenční data jsem získal z meteostanice umístěné přímo v Mnichově Hradišti. Analýzou jsem zjistil, že průběh křivek je podobný jako u referenčních dat, nicméně je zde vidět při slunečném dni větší růst naměřených dat oproti referenčním datům. Tuto skutečnost prezentuje například Graf 7. Toto bylo pravděpodobně způsobeno špatným nastavení odporu při měření. Tato skutečnost byla pravděpodobně příčinou naměření obecně nižších hodnot výkonu na plochu. Bohužel, pro nedostatek sněhu jsem nemohl provést podrobnější testování.

Na základě zjištění dopadu překrytí FV panelu sněhem jsem navrhl logiku pro detekci sněhu a jeho odstranění. Z mnoha řešení, které připadaly v úvahu, jsem se rozhodl pro řešení uvedené v bakalářské práci, kde byla snaha o využití nejvýhodnější technologie v poměru cena a výkon. Jedná se o kombinaci čidel, topné spirály a PLC. Pro omezení spotřeby jsem se rozhodl omezit provoz PLC na 2 hodiny denně. Výhody tohoto řešení jsou nižší spotřeba elektrické energie komponent. Díky čemuž se mohu použít méně výkonné komponenty pro solární systém a tím se sníží finanční náklady.

V dnešní době existují sofistikovaná zařízení, která dokáží řídit solární systém, ale jejich nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. Využití je především u ostrovních solárních systémů

s vyšším výkonem, jelikož samotná spotřeba elektrické energie tohoto zařízení může být na stejné úrovni jako spotřeba elektrické energie samotného NODE. Existuje možnost solární systém monitorovat. Tuto funkcionalitu nabízí například Solar monitor, jehož nevýhodou je značné navýšení spotřeby. Denní spotřeba by se navýšila o 144 Wh. Tato skutečnost by znamenala nutnost navržení solárního systému o vyšším výkonu, což by znamenalo vyšší náklady na výstavbu solárního systému. Další možnou modifikací solárního systému je přidání střídače, který umožní odstranit případný nesoulad panelů, rozpozná jejich částečné zastínění nebo znečištění. Jelikož v mém řešení jsou použity pouze dva solární panely, o této možnosti jsem neuvažoval. Nevýhodou řešení pomocí Solar monitor je vysoká pořizovací cena. Firma SMA nabízí základní verzi SMA Sunny Boy 1300TL za 21 229 Kč. [40][41][42]

Při návrhu bezobslužného ostrovního solárního systému se ukázalo, že nejdražším komponentem solárního systému je akumulátor. Původní myšlenka využití startovacího akumulátoru byla v brzké době zavržena, především kvůli jeho vlastnostem pro použití v solárním systému. Průměrná využitelná kapacita v rámci solárního systému činí 50 %, přičemž životnost v ostrovním solárním systému se hodnota pohybuje okolo 2 let. Z těchto důvodů jsem se rozhodl pro využití AGM trakční VRLA akumulátor. Ten má využitelnou kapacitu okolo 80 % a jeho životnost je udávána 8 let. V dnešní době pronikají na trh nové technologie k ukládání energie v solárních systémech, např. LiFePo4 a Li-on, které mají nejlepší vlastnosti, nicméně jejich cena je velmi vysoká. [26]

Jestli se daná investice vyplatí, nelze jednoznačně říci, jelikož je závislá na umístění NODE. V zástavbě, kde je běžně dostupná elektrická energie, bych variantu ostrovního solárního systému nedoporučil. Pro NODE se spotřebou elektrické energie 240 Wh při ceně 4,83 Kč za 1 kWh, se jedná v období za jeden rok o částku menší než 450 Kč včetně všech poplatků. Z toho jasně vyplývá, že se daná investice do solárního systému nevyplatí. V opačném případě, kdy je nutné umístit NODE na místo, kde nejsou dostupné energetické sítě, bych mé řešení doporučil s mírnými úpravami, které by byly provedeny v závislosti na konkrétním NODE a na jeho umístění. [38]

12. Zdroje

[1] KUSALA, RNDr. Jaroslav. ČEZ. *Fotovoltaický jev* [online]. 2006 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm

[2] Typy fotovoltaických panelů. *Montelektro* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.montelektro.cz/fotovoltaicke-elektrarny/typy-fv-panelu/

[3] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.nej-ceny.cz/160526/polykrystalicky-solarni-panel-sunset-px-85.html

[4] *Fotovoltaický solární panel 12V/85Wp* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.ikauf.cz/ikauf/eshop/3-1-Energie/35-3-Solarni-moduly/5/482-Amorfni-solarni-modul-10W-12V-ID-110700

[5] *Eurokolektory - užitečné informace* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.eurokolektory.cz/kategorie/uzitecne-informace.aspx

[6] *Olověný akumulátor* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor

[7] HAMMERBAUER, Jiří. Olověné akumulátory. In: *Olověné akumulátory* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf

[8] *Solární regulátor JUTA CM3024Z 20A s LCD displejem* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.deramax.cz/solarni-regulator-juta-cm3024z-20a-s-lcd-displejem-pro-12v-i-24v-fotovoltaicke-panely/

[9] *Cx-20* [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: http://www.luxus.cz/obchod_pic/cx-20.jpg

[10] LANGOVA, Veronika. *Http://home.zcu.cz/~vlangova/* [online]. 2012 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~vlangova/

[11] *Wireless Access Point* [online]. 2010 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www-03.ibm.com/software/lotus/symphony/gallery.nsf/atom_clipArt/8A4EAB367F3D353E8525759600332AC7

[12] *WiFi - slovníček pojmů* [online]. 2013 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.joyce.cz/cz/pojmy/wifi-slovnicek-pojmu/

[13] LIEBESKIND. *NonOverlappingChannels* [online]. 2013 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:NonOverlappingChannels2.4GHzWLAN-en.svg

[14] *IEEE 802.11* [online]. 2013 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

[15] LEHEMBRE, Guillaume. *Bezpečnost Wi-Fi – WEP, WPA a WPA2* [online]. 2006 [cit. 2015-0411]. Dostupné z: http://www.hsc.fr/ressources/articles/hakin9_wifi/hakin9_wifi_CZ.pdf

[16] *NanoBridge M5* [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img-click.asp?title=NanoBridge%20M5%20AirMAX%2022%20dBi%20-%20MIMO%202x2%20-%20outdoor%205%20GHz,%201x%20LAN&attid=199855

[17] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://i4wifi.blog.cz/1111/nadupany-rb1100ahx2-a-poe-routerboard-rb750up

[18] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img-click.asp?title=Bullet%20M5%20AirMAX%20-%20100%20Mbps%20AP/klient%205%20GHz,%201x%20LAN,%20HP&attid=170072

[19] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img-click.asp?title=Sektorov%E1%20ant%E9na%20AirMAX%20MIMO,%2016%20dBi,%20120%B0,%202x%20RSMA%20(5%20GHz)&attid=175580

[20] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#

[21] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=170145

[22] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=238980

[23] [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=238980

[24] *Solární systém 570Wp/24V* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://akumulator-baterie.cz/ostrovni-solarni-systemy-24v/343-solarni-system-190wp-24v.html

[24] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z:http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/RadSitCHMU.gif

[25] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://pck338-242.feld.cvut.cz/sckit/zapojeni.php

[26] Informace a výpočty baterií FV. JAKUBEC, David. [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.bch-battery.cz/battery-charger/eshop/2-1-SOLARNI-SYSTEMY-BATERIE/359-2-Informace-a-vypocty-baterii-FV

[27] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.tepelna-cerpadla-eshop.cz/fotovoltaika-c106/kd-210gh-2pu-fotovoltaicky-solarni-panel-210-wp-i755/

[28] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://wifi.aspa.cz/solarni-regulator-cx40-pro-12v-24v-panely-do-240w-40a-z99323?gclid=CJm5hJ-FgsUCFSYYwwodY6IAHw

[29] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.hadex.cz/r960-pb-akumulator-mhb-vrla-12v200ah-trakcni-agm/

[30] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.solar-eshop.cz/p/opv14-3-pojistkovy-odpinac/

[31] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.conrad.cz/spinaci-hodiny-na-din-listu-muller-vs-30-18-12-v-dc-24-v-dc-ac.k197198

[32] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.eshop-rychle.cz/www-topnykabel-eu/eshop/1-1-Odporove-topne-kabely/6-3-CAB-20/5/71-KDP-FORHEAT-CAB-20-11m-220W/related#anch1

[33] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/details/6ed1052-1cc00/programovatelna-rele-zakladni-moduly/siemens/#

[34] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.gme.cz/bpw21-p520-028

[35] Simple Network Management Protocol. SKŘIVÁNEK, Lukáš. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:http://skriv.wz.cz/MPS/SNMP/index.html

[36] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.valentin-software.com/

[37] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.in-pocasi.cz

[38] Jaká je aktuální cena kWh a MWh elektřiny?. WOLF, Petr. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:http://www.cenyenergie.cz/jaka-je-aktualni-cena-kwh-a-mwh-elektriny/

[39] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.papouch.com/cz/shop/product/rele-na-listu-din-35mm/24v/

[40] [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://shop.solarmonitor.cz/cs/solar-monitor-2/11-solar-monitor-start.html

[41] Jak vybrat správný střídač pro Vaší solární elektrárnu?. [online]. 8. 3. 2014. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z:http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2013021401/doporucujeme-jak-vybrat-spravny-stridac-pro-vasi-solarni-elektrarnu

[42] [online]. [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fotovoltaicke-stridace/sma/sunny-boy-1300-tl?tab=download

[43] *ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ES ČR 2013* [online]. 2014. vyd. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9

[44] [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.valentin-software.com

[45] *Fotovoltaický solární panel 10W/12V DSP Poly* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.eko-teplo.cz/solarni-panely-c6/fotovoltaicky-solarni-panel-10w-12v-dsp-poly-i76/