

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace

# **Fotovoltaický zdroj pro napájení meteorologické stanice**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

Autor práce: Bc. Petr Bruckner

Praha 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Fotovoltaický zdroj pro napájení meteorologické stanice vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Bruckner

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Fotovoltaický zdroj pro napájení meteorologické stanice

Název anglicky

Photovoltaic power supply for the weather station

---

### Cíle práce

Navrhnete a realizujete ostrovní fotovoltaický (FV) systém pro napájení meteorologické stanice. Elektrická energie bude generována FV generátorem, ukládána v akumulátoru a využívána pro napájení snímačů a indikátorů meteorologické stanice. Jejich součástí bude snímač teploty, relativní vlhkosti, směru a rychlosti větru a dešťových srážek. Snímané veličiny bude možno zobrazit na informačním panelu s displejem.

### Metodika

1. Seznamte se s principy fotovoltaického generátoru.
2. Prostudujte vlastnosti nezávislých zdrojů energie a zobrazovačů.
3. Proveďte odhad spotřeby elektrické energie pro provoz zadané meteorologické stanice.
4. Navrhnete vhodné parametry FV generátoru a akumulátoru včetně řídicího systému napáječe, snímačů a indikátorů a řídicí jednotky stanice.
5. Navržený systém realizujte a ověřte jeho funkčnost.
6. Vyhodnoťte dosažené výsledky.

---

**Doporučený rozsah práce**

50 – 60 stran

**Klíčová slova**

fotovoltaický jev, nezávislý zdroj energie, zobrazovací jednotka

---

**Doporučené zdroje informací**

Benda, V., Staněk, K., Wolf, P.: Fotovoltaické systémy, Učební texty k semináři,  
[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_04\\_1104.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf)

Cenek, M. a kol.: Akumulátory a baterie, STROM Praha, 149 str., 1996

Matoušek, D.: Práce s inteligentními displeji LCD, Elektronická kniha ve formátu PDF na CD ROM, BEN –  
technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-273-2

Reddy, T.: Linden's Handbook of Batteries, Mc Graw Hill, New York, 2011, ISBN 978-0-07-162421-3

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/2020 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra elektrotechniky a automatizace

---

Elektronicky schváleno dne 31. 10. 2019

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2020

---

Za pomoc při vzniku této diplomové práce chci poděkovat vedoucí práce doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc. a hlavně za její ochotu při řešení problémů vzniklých s touto prací.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem a realizací meteorologické stanice, napájené pomocí fotovoltaického zdroje, který funguje v ostrovním režimu. Meteorologická stanice je nezávislá na elektorozvodné síti. Na následujících stranách jsou popsány obecné principy a vlastnosti používané v problematice solárních zdrojů, akumulátorů, zobrazovačů a meteostanic. V kapitole, věnované technologii solárních regulátorů, je popsáno jejich porovnání na základě vlastního praktického měření. Na základě zjištěných poznatků byla zkonstruována meteorologická stanice, která měří a zobrazuje naměřená data zadaných neelektrických veličin a funguje v plně autonomním režimu. Meteorologická stanice má vlastní web, na kterém ukazuje veškeré výsledky měření, a tak poskytuje online všechny hodnoty dostupné odkudkoliv.

**Klíčová slova:** fotovoltaický jev, nezávislý zdroj energie, zobrazovací jednotky.

This thesis describes the design and implementation of meteorological station powered using photovoltaic source, which operates in island mode and thus is fully independent of the electricity grid. On the following pages, general principles and properties used in the issue of solar sources, accumulators, displays and meteorological stations are described. In the chapter devoted to the technology of solar controllers, comparison between them is made on the basis of their practical measurement. Based on the findings, a weather station was designed and constructed. It measures and display the measured data of the selected non-electric quantities and operates in a fully autonomous mode. The weather station has its own web-server, which can show webpage with all the measurement results and thus provides all values online from anywhere.

**Keywords:** photovoltaic effect, independent energy source, displays

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle a metodika.....	2
3	Princip a rozdělení fotovoltaických panelů.....	3
3.1	Fotoelektrický jev.....	3
3.2	Historie Solárních kolektorů.....	3
3.3	Princip fotovoltaických článků.....	4
3.4	Typy solárních kolektorů.....	6
3.4.1	Konvenční fotovoltaické kolektory.....	7
3.5	První generace.....	8
3.5.1	Polykrystalické.....	8
3.5.2	Monokrystalické.....	9
3.6	Druhá generace.....	10
3.6.1	Amorfni.....	11
3.7	Třetí generace.....	12
3.7.1	Grätzelův článek.....	12
3.8	Experimentální solární článek.....	13
4	Energetické systémy podle úrovně soběstačnosti.....	14
4.1	Systém bez akumulace energie.....	14
4.1.1	Princip a použití.....	14
4.1.2	Výhody a nevýhody.....	15
4.2	Systém s akumulací energie s částečnou nezávislostí.....	15
4.2.1	Princip a použití.....	15
4.2.2	Výhody a nevýhody.....	15
4.3	Systém ostrovní plně nezávislí.....	16
4.3.1	Princip a použití.....	16
4.3.2	Výhody a nevýhody.....	16
4.4	Regulace a koncentrace energie.....	16
4.4.1	Solární regulátory a střídače.....	17
4.4.2	Princip regulace a typy solárních regulátorů.....	17
4.5	Měření solárních regulátorů.....	20
4.5.1	Závěr měření.....	23
4.6	Měniče.....	23
4.7	Ukládání energie.....	24
4.7.1	Elektrochemické.....	25
4.7.2	Elektrostatické.....	26
4.8	Zobrazovací jednotka.....	27
4.8.1	VFD zobrazovač.....	27
4.8.2	LED zobrazovač.....	28
4.8.3	LCD zobrazovač.....	28
4.8.4	OLED zobrazovač.....	29
4.8.5	Elektroforetický displej EPD.....	30
5	Popis použitého HW na meteostanici.....	30
5.1	Moduly pro zpracování a zobrazení dat.....	32
5.1.1	ESP32.....	32
5.1.2	Displej GM0096.....	34
5.1.3	Hodiny reálného času DS3231.....	34
5.2	Senzory.....	35
5.2.1	Anemometr.....	35
5.2.2	Ukazatel směru větru.....	36

5.2.3	Srážkoměr.....	40
5.2.4	Senzor teploty a vlhkosti DHT22.....	41
6	Energetická náročnost v různých režimech a výsledná spotřeba .....	42
6.1	Soupis režimů ESP32 a jeho spotřeb .....	42
6.2	Spotřeba modulů a senzorů bez ESP32 .....	44
6.3	Spotřeba ESP32 s moduly a senzory .....	44
6.4	Spotřeba Kitu ESP32 s moduly a senzory .....	45
6.5	Spotřeba celé meteostanice s DC/DC měničem .....	45
6.6	Závěr výpočtu spotřeb .....	46
6.7	Výkon odebraný z akumulátoru .....	46
6.8	Měření reální spotřeby meteostanice .....	47
7	Návrh a realizace nezávislého zdroje .....	48
7.1	Akumulátor .....	49
7.2	Solární regulátor .....	51
7.2.1	Nabíjecí modul XL4015 .....	52
7.2.2	Nastavení modulu pro nabíjení akumulátoru meteostanice .....	53
7.2.3	Měření průměrné evropské hodnoty účinnosti .....	53
7.2.4	Závěr měření .....	54
7.3	Fotovoltaický panel .....	55
7.3.1	Základní parametry panelu .....	55
7.3.2	Měření panelu.....	56
7.3.3	Předpokládána výtěžnost panelu .....	57
7.4	Schémata zapojení .....	62
7.4.1	Bloková schémata programu .....	63
7.4.2	Podklady pro výrobu .....	64
7.5	Reálné provedení prototypu.....	66
7.6	Datový výstup měřených hodnot .....	68
8	Vyhodnocení a závěr .....	70
	Seznam použité literatury .....	71
	Seznam obrázků .....	79
	Seznam tabulek .....	81
	Rejstřík zkratk .....	82
	Přílohy .....	83



## 1 Úvod

Povětrnostní vlivy jsou zásadní pro celou rostlinnou produkci, proto jejich měření je nesmírně důležité. Ze zmíněného hlediska je aplikace různých komunikačních technologií (wifi, bluetooth) a následné jejich využití v praxi velmi přínosné, např. v potřebách precizního zemědělství, kde je sběr dat zásadní pro zvýšení efektivity. Na základě poznatků, dosažených při tvorbě této práce, byla zkonstruována meteostanice s propojením na webovou stránku. Na webové stránce meteostanice lze vyčíst stanovené požadavky na teplotu, vlhkost vzduchu, srážky, směr a rychlost větru. Hodnoty, které poskytuje meteostanice, jsou v některých oborech nenahraditelné, proto je potřebné neustále vyvíjet nové technologie v tomto oboru.

V této práci je možné se seznámit s různými typy senzorů, displejů, fotovoltaických panelů a jejich principů a užití. Meteorologická stanice byla navržena tak, aby byla dostupná jak pro běžného uživatele z hlediska nákladů na pořízení a dostupnosti komponentů na trhu, tak i pro člověka mírně zdatného na její konstrukci a obsluhu.

## 2 Cíle a metodika

Cílem této práce je návrh a realizace fotovoltaického systému napájení pro meteostanici v nezávislém režimu a se zadanými parametry. Za tímto účelem, je zde popsána a realizována meteostanice, která je vytvořená pomocí různých modulů. Řídící prvek umí v reálném čase zpracovávat data ze snímačů a zobrazovat je, odesílat bezdrátově přes WIFI a pomocí webserveru je zobrazovat. Dále je schopen tyto data odesílat přes WIFI a pomocí webserveru je i zobrazovat. Pro pochopení potřeb návrhu, se první část zabývá teoretickými předpoklady a vlastnostmi různých prvků, nezbytných pro návrh vlastního zařízení. Jsou zde popsány principy a zařízení (včetně experimentálních článků), které se pro nezávislý zdroj energie v praxi používají. Praktické měření doplňuje popis rozdílů různých technologií, které se využívají pro ukládání energie do akumulátorů. Vypočtením spotřeby a ztrát bylo zjištěno, že navržený systém je dostatečný pro použití i za nepříznivých podmínek.

Metodika práce je navržena tak, aby se čtenář postupným seznamováním s problematikou fotovoltaických zdrojů a meteostanic, obeznámil i s jejich teoretickou a praktickou částí. Čtením této práce je možné prohloubit si poznatky, o senzorech neelektrických veličin a fotovoltaických zdrojů, bez nutnosti obsáhlého studování tématu

V části věnující se výsledné realizaci jsou pak zohledněny všechny výpočty a měření z předešlých kapitol. Postup návrhu začíná formulováním spotřeb a vlastností senzorů. Poté následuje zpracování v ESP32 a dále se řeší kapacitní nároky na akumulátor. Vzhledem k požadavkům na nepřetržitý chod, bylo potřeba navrhnout proces dobíjení akumulátoru tak, aby byl zaručen správný a dlouhodobý provoz meteostanice, i za horších povětrnostních podmínek. V poslední části je popis sestavení meteostanice a její finální realizace.

## 3 Princip a rozdělení fotovoltaických panelů

### 3.1 Fotoelektrický jev

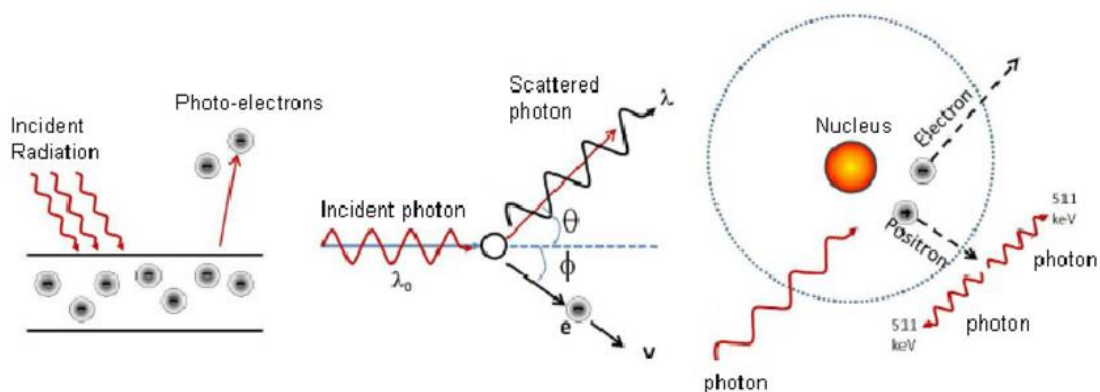
Základním principem fotovoltaických panelů je fotoelektrický jev. Tento fyzikální jev způsobuje, že při dopadu elektromagnetického záření (fotonů) dochází k excitaci elektronů.

**Tato emise elektronů se dělí na dva typy:**

- Vnitřní,
- vnější.

Vnější dokáže vymrštít elektron do okolí mimo prostor orbitalů atomu. Vnitřní jev obvykle excituje elektrony z nižších orbitalů na vyšší, většinou do nejvyšší valenční vrstvy, která zajišťuje elektrickou vodivost atomů. Tento jev poprvé pozoroval v roce 1887 Heinrich Herz. S přesným kvantovým popisem přišel později v roce 1905 Albert Einstein. [2][5]

*Obr. 1: Excitace fotonů [56]*



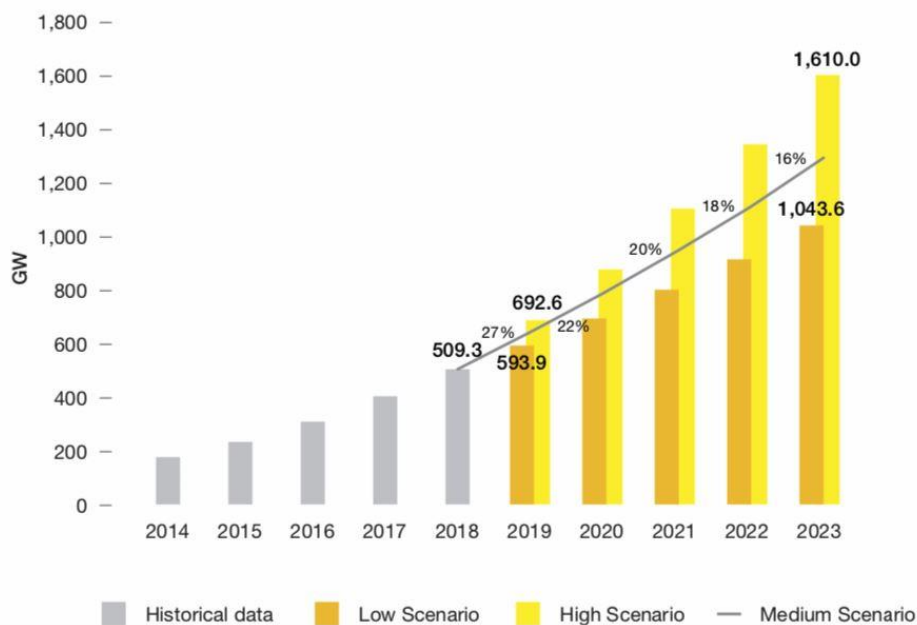
### 3.2 Historie Solárních kolektorů

Fotovoltaický jev byl poprvé pozorován v 1839 Alexandrem Edmondem Becquerelem. K jevu došlo v roztoku tvořeném z amorfního selenu a oxidu měďnatého. První fotovoltaický článek sestrojil v roce 1883 Charles Fritts tak, že nanas tenkou vrstvu zlata na polovodič v podobě selenu. Patent získal v 1946 Russell Ohl, který pracoval v Bellových laboratořích. Základ dnešní podoby fotovoltaických článků vznikl v roce 1954. Hlavním přínosem bylo zvýšení účinnosti pomocí dopování křemíkových polovodičů dalšími příměsemi, jako

například germániem. První praktické nasazení ve větším měřítku proběhlo v kosmonautice. První umělá družice poháněná solárními články byla vypuštěna v roce 1958 a jmenovala se Vanguard I. Solární panely našly další praktické využití, jako zásobovače energie odlehlých míst, kde se do té doby musely používat primární baterie (např. majáky). První takto poháněný maják byl použit v roce 1963 v Japonsku. [1][5]

Postupným zlevňováním se nasazování solárních kolektorů stávalo více a více běžné. V roce 1982 to bylo celkem 9.3 MW, v roce 2002 562.5 MW a roce 2020 750 GW. Přepokládá se, že kolem roku 2022 přesáhne instalovaný výkon 1 TW a bude neustále růst. [1][12]

Obr 2: Graf instalovaného výkonu solárních panelů [12]

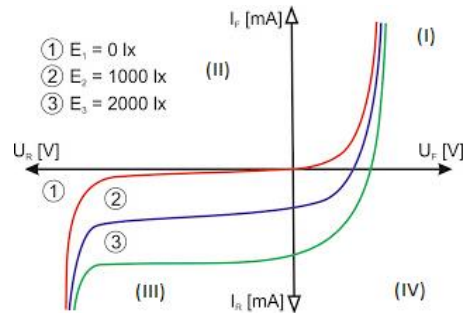


### 3.3 Princip fotovoltaických článků

Vnitřek fotovoltaického článku tvoří velkoplošná polovodičová PN dioda. Jeho základ utváří vrstva polovodiče P, který je kladný a obsahuje prázdná místa pro elektron (tzv. díry). Na něj je nanášena vrstva polovodiče N, který je negativní a oproti polovodiči P má přebytek valenčních elektronů. V místě spojení těchto dvou polovodičů se vytváří tzv. polovodičový přechod PN. Když na toto místo začne dopadat záření určitých vlnových délek, začne díky fotoelektrickému jevu vznikat rekombinace elektronu. To je proces, při kterém se v místě PN přechodu vymění pozice elektronů z polovodiče N do polovodiče P a pozice děr z polovodiče

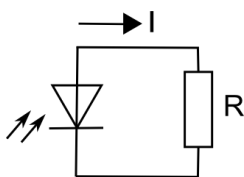
P do polovodiče N. Po proběhnutí tohoto jevu můžeme naměřit na vývodech fotodiody elektrické napětí, v řádech jednotek voltů. Záleží však na konkrétní fotodiodě. Ve výsledném fotovoltaickém článku je díky různým sérioparalelním zapojením dosaženo potřebné hodnoty napětí pro další využití. [14][18][79]

Obr. 3: Voltampérová charakteristika fotodiody [15]

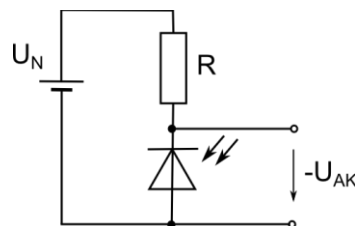


Na obrázku výše je zobrazena voltampérová charakteristika fotodiody v závislosti na osvětlení. Tento graf je rozdělen na čtyři kvadranty a prochází třemi z nich. V první a třetím kvadrantu se chová jako usměrňovací dioda a je spotřebič. Zároveň ve třetím kvadrantu funguje jako senzitivní rezistor. Tomuto stavu se říká odporový režim. Ve čtvrtém kvadrantu je fotodioda v hradlovém stavu a chová se jako zdroj. Tento stav se nazývá fotovoltaický. [15][18]

Obr. 4 Fotovoltaický režim fotodiody[18]

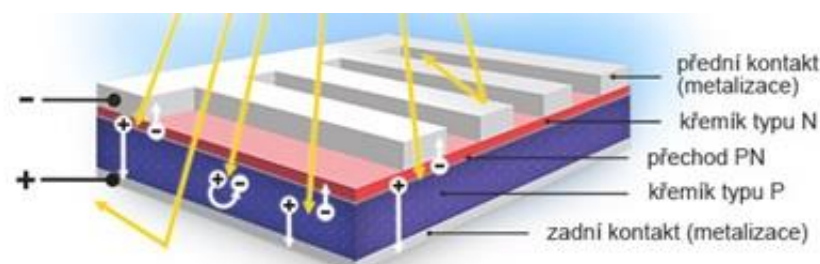


Obr. 5: Odporový režim fotodiody[18]



Fotovodivostní režim, v tomto zapojení se fotodioda připojí sériově k rezistoru a napájení v závěrném směru. Fotodioda se chová jako rezistor s proměnným odporem, který se projevuje úbytkem napětí na diodě v závislosti na osvětlení. Toto zapojení se používá pro svou rychlou odezvu jako detektor optického záření. [15][18][79]

Obr. 6: Fotovoltaický článek v řezu [89]



### 3.4 Typy solárních kolektorů

Solární kolektory dělíme na kolektory generující tepelnou nebo elektrickou energii. Nejpoužívanějšími fotovoltaiickými kolektory, jsou panely první generace, vyráběné technologií tzv. tlustých vrstev. Mezi první generaci panelů patří polykrystalické a monokrystalické. Další technologií jsou amorfni panely označované jako druhá generace tzv. tenkých vrstev. Oba typy těchto kolektorů jsou založeny na křemíkové polovodičové technologii. [7][9][26]

Technologie polymerových polovodičů (tzv. organických) bude mít v budoucnu hlavní vliv v tomto oboru. Jejich účinnost a pořizovací náklady nejsou přímo konkurenceschopné tradiční křemíkové technologii. Výzkum, ale naznačuje jejich velký potenciál, díky možné flexibilitě použití a nižšími pořizovacími náklady. V současné době mají nižší účinnost a jsou vyráběny pouze v malém množství. Kolektory třetí generace, označované jako vícevrstvé panely, mají předpoklad, že budou fungovat na více vlnových délkách najednou a to tak, že každá vrstva pohltí část spektra a propustí zbytek do další vrstvy. [16][25][26]

Tepelné kolektory na ohřev kapalin nebo plynů jsou uváděny pro úplnost dané problematiky. Existují instalace, které dokáží přeměnit tepelnou energii na elektrickou. Jejich rentabilní použití je jenom ve velkých instalacích. Dále jsou experimentální zařízení, které jsou svým principem mezi výše zmíněnými. Tato zařízení dokáží generovat energii i z noční oblohy. [7][16]

### 3.4.1 Konvenční fotovoltaické kolektory

Nejrozšířenější typy jsou vyrobeny na základě křemíkových polovodičů. Křemíku se nachází v dostupných zdrojích poměrně velké množství. Zemská kůra je tvořena z 14,5 % z křemíku. Jeho přírodní výskyt je ve sloučenině s kyslíkem jako oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$ . Pro výrobu polovodičů se následně roztaví a vznikne tzv. Hutní křemík, který stále, obsahuje příliš příměsí. V dalším kroku je rozpuštěn v kyselině chlorovodíkové a vznikne sloučenina trichlorsilan  $\text{SiHCl}_3$ . Chemické rovnice 1 a 2 znázorňují výrobu trichlorsilanu. [9][16][22]



Trichlorsilan je výchozí materiál pro jednotlivé typy křemíkových solárních článků. Výroba článků je poměrně technologicky a energeticky náročný proces. První typy článků měli malou účinnost a zároveň byla jejich výroba velmi málo efektivní. První typy článků nedokázali pokrýt energii potřebnou na svou výrobu. Díky dnešním technologiím je přibližná doba energetické návratnosti článků tři roky a zmenšuje se. Životnost panelů se odhaduje podle výrobců až na 30 let při poklesu výkonu o 10 % za přibližně 10 let. V reálných podmínkách bylo změřeno, že u 25 let staré instalace poklesl výkon jen přibližně o 8 %. Ekonomické kalkulace se mohou hodně lišit a ovlivňuje je hodně faktorů. [4][21][26]

## 3.5 První generace

První generace využívá technologie tlustých vrstev, které se rozdělují na polykrystalický a monokrystalický křemíkový článek. Tyto typy článků, i přes dlouhou dobu používání od 70. let dvacátého století, jsou v přibližně 90 % všech dnešních instalacích. Je to dáno jejich poměrně dobrou účinností přesto, že výroba a to hlavně u monokrystalických je velmi energeticky náročná. [9][16][26]

### 3.5.1 Polykrystalické

Polykrystalické panely jsou tvořeny velkým množstvím menších krystalů. Na první pohled je vidět struktura, která připomíná různé obrazce navzájem pospojované v ploše. Polykrystalické články se vyrábí destilací Trichlorsilanu  $\text{SiHCl}_3$ . V chemických rovnicích 3; 4 a 5 je vidět ve zjednodušený postup čištění křemíku. [4][21][22]



Tato metoda je poměrně náročná na energii a práci s chemikáliemi, jako je chlor. Existují i jiné metody, ale tato je stále nejpoužívanější. Po destilaci vzniknou malá krystalová zrna polykrystalického křemíku. V tomto stádiu je poměrně čistý křemík v malých krystalech. Následně se tyto krystaly lisují, roztaví a nalijí do formy. V přesně daném technologickém postupu se tato tavenina nechá vychladnout. Pracuje se ve vakuu, aby nedocházelo ke kontaminaci s jinými prvky. Tavenina má teplotu přibližně 1500 °C. Cílem je, aby velikost vznikajících zrn, byla, co největší a vytvářeli se, co nejmenší přechody mezi jednotlivými zrny. Pomalé řízené chladnutí zajišťuje také, co nejmenší pnutí mezi zrny a dislokací. Dislokace je porucha krystalové struktury podél určitých čar v krystalové mřížce. Díky tomuto procesu mají svůj typický vzhled. Po zchladnutí se tyto desky (Wafery) nařezají na bloky. Na rozdíl od monokrystalických nemají kruhovou, ale čtvercovou základnu. Tyto články mají vůči monokrystalickým několik výhod, ale bohužel i nevýhod. Mezi jejich výhody patří nižší pořizovací cena na jednotku výkonu. Kvůli méně náročně technologii čištění křemíku a následného formování, jsou méně náročné na vstupní energii ve výrobě. Nevzniká skoro žádný odpad při výrobě. Jejich čtvercová základna umožňuje lepší využití prostoru při skládání do větších celků na finální panely. Díky své struktuře, která není rovnoměrná, dokáží pracovat s difúzním (rozptýleným) zářením. Lépe dokáží pracovat i s bočním zářením. Z těchto důvodů se obvykle používají na místech, které nemají ideální



podmínky. Nejsou ani tolik závislé na správném sklonu vůči zdroji záření. Nevýhody těchto panelů je nižší účinnost oproti monokrystalickým panelům. Jejich účinnost se pohybuje mezi 13 až 16 %. [4][6][21][24]

*Obr. 7: Polykrystalický solární panel [23]*



### 3.5.2 Monokrystalické

Monokrystalické panely jsou tvořeny osmiúhelníkovými články tmavě modré až černé barvy. Jejich struktura vypadá na první pohled jednotně, je to dáno technologií výroby. Vyrábějí se do určitého kroku, stejně jako polykrystalické články. Konkrétně do bodu tavení. Následující fáze výroby se nazývá Czochralského metoda. Vezme se malý monokrystal křemíku, který se použije jako zárodek. Ten se vloží do roztavené taveniny a při otáčivém pohybu se pomalu vytahuje z taveniny. Tento proces se celý odehrává v interní atmosféře, kvůli nechtěnému znečištění směsi. Takto vzniklý monokrystal se dalšími úpravami dostane do stavu, ve kterém se posléze nařezá na pláty. Tento jev je znázorněn na obr. 10. [6][7][21][24][26]

*Obr. 8: Monokrystalický ingot [24]*



*Obr. 9: Monokrystalický článek [1]*



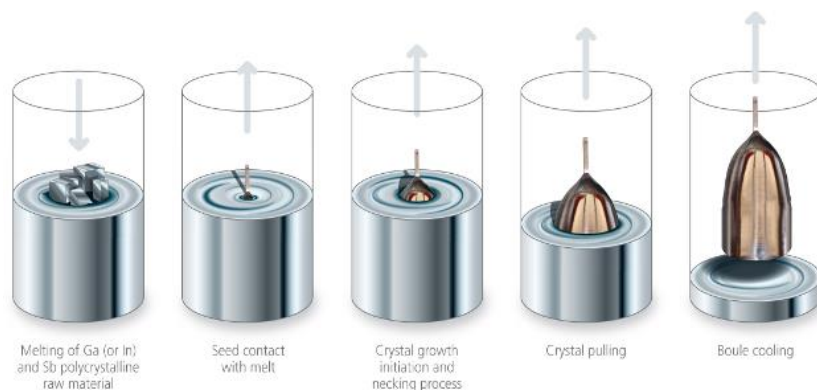
Šířka řezu plátku byla dříve 300  $\mu\text{m}$ . Dnešní technologie dokáže až 100  $\mu\text{m}$ . Díky tomu se panely mohly výrazně zlevnit a zároveň snížit energetickou bilanci na výrobu. Výsledný monokrystalový ingot je válcového tvaru. Pro použití na panely je zapotřebí, aby byl čtvercový nebo obdélníkový jako u polykrystalických článků. Pro seskládání. Z tohoto důvodu se ingot nařezává na šesti nebo osmiúhelníky z původně kruhového profilu. Při tomto

ořezávání vznikají poměrně velké ztráty, které také přispívají ke zdražení monokrystalických panelů. Odřezky je možné použít na výrobu menších polovodičových součástek, což snižuje náklady na výrobu. [4][24]

Z přibližného popisu výroby je patrné, že jde o poměrně technologicky a energeticky náročný proces. První typy článků byly málo účinné a zároveň jejich výroba byla velmi neefektivní. Celkový výkon, který vytvořili, nestačil pokrýt energetickou bilanci nákladů na výrobu. Díky dnešním technologiím je přibližná doba energetické návratnosti článků tři roky. [16][30]

Monokrystalický článek má nejvyšší účinnost, která reálně dosahuje 15 až 17 %. Teoretická maximální účinnost je 24 %. Používají se na místech, kde jsou zaručeny ideální podmínky sklonu vůči slunci. Hodí se i na polohovací zařízení, které se natáčí podle polohy slunce na obloze, označováno jako Tracker. Při špatné instalaci a použití článků rychle klesá výkon, až pod úroveň polykrystalických článků. [4][21][24][30]

*Obr. 10: Kroky Czochralského metody[30]*



### 3.6 Druhá generace

Druhá generace je technologie tzv. tenkých vrstev. Do této generace se zařazují amorfní články, které jsou označovány anglickou zkratkou CIS (Cooper Indium diSelenid). Tato generace má na rozdíl od předešlé technologie tlustých vrstev zásadní výhody v množství energie spotřebované při výrobě. Zatím se používají v poměrně malé míře. Hlavním důvodem je jejich poloviční účinnost vůči monokrystalickým článkům. [4][9][6]

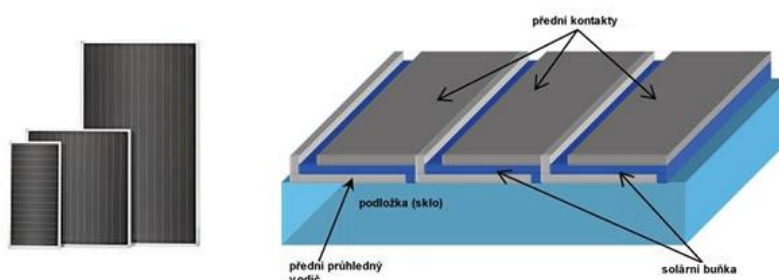
### 3.6.1 Amorfní

Amorfní článek je homogenní tmavě modrý až černý, bez viditelné struktury. Vyrábí se při destilaci Trichlorsilanu  $\text{SiHCl}_3$  ve speciálních pecích, kde je vytvořeno technické vakuum vysoké úrovně. V použitém vakuu pro výrobu elektronických komponent je tlak až  $10^{-5}$  Pa a maximální počet molekul  $10^9$  na  $\text{cm}^3$ . Při teplotě mezi 200 až 400 °C se napařují tenké vrstvy silné 1 až 10  $\mu\text{m}$ , pro porovnání u monokrystalů je to 100  $\mu\text{m}$ . Díky nižší teplotě napařování se pro podkladovou vrstvu používají materiály, jako sklo, kovy a dokonce i plasty. [25][26][28]

Jejich hlavní výhoda je nejlepší energetická bilance na výrobu z uvedených křemíkových technologií. Nízké výrobní náklady jsou díky mnohem jednodušší výrobní technologii. Díky tenké vrstvě vlastního článku je spotřebováno malé množství čistého Křemíku. Vodivé propojení mezi jednotlivými články se provádí při výrobě napařováním vodičů přímo na články. Amorfní články netrpí tolik na přehřívání během slunečních dnů a dokáží vyrobit při těchto specifických podmínkách stejně jako u mono a polykrystalických článků. U mono a polykrystalickým článků roste s vyšší teplotou vnitřní odpor výrazně více než u amorfních článků, takže i přes větší teoretickou účinnost je skutečný výkon nižší v těchto podmínkách. Amorfní články nejsou tolik náchylné na umístění a sklon, jako mono krystalické. Umístění těchto článků na jiné strany než jižní, má skoro zanedbatelný dopad na celkový výkon. Snížení výkonu je pouze v řádu několika procent. [7][16][21][28]

Jejich flexibilní konstrukce jim dovoluje instalaci i na místa, kde by mono a polykrystalické články nešly z konstrukčního hlediska nainstalovat. Z tohoto důvodu se využívají hlavně jako jejich doplněk. Vlnové délky, na kterých pracují, jsou v rozmezí lidského viditelného spektra 380 nm až 740 nm, proto mohou být použity i jako snímače světla. Další použití amorfních článků je jako zdroj pro malé nenáročné zařízení mezi, které patří věci ve spotřební elektronice. Zajímavé je jejich použití pro různé senzory v oblasti Energy harvesting. To je odvětví pro získání malé množství energie pro chod různých snímačů a jiných menších zařízení. Amorfní články mají i řadu nevýhod. Zásadní je nižší účinnost, což ve výsledku znamená, že se musí nainstalovat dvojnásobné množství plochy panelů vůči monokrystalickým. Jejich životnost je o třetinu až polovinu nižší. [8][9][16][28]

Obr. 11: Amorfní fotovoltaický panel [26]



### 3.7 Třetí generace

Do třetí generace se řadí fotovoltaické články založené na organických polovodičových polymerech a dalších nekřemíkových technologiích. Nasazení těchto panelů je zatím pouze v několika experimentálních provozech. Vývoj a první praktické zkušenosti předpovídají velký potenciál užití v praxi. V laboratorních podmínkách se již podařilo vytvořit panel s účinností 17 %. Běžnější typy, které se testují v praxi mají zatím pouze 4 až 6 % účinnosti. Největším jejich přínosem je, možnost vytvářet průhledné solární články, které je potom možné nanést na běžné sklo, umístěné v oknech. Tato skutečnost by mohla přinést masové využití u stávajících kancelářských budov, do podoby obřích solárních elektráren. [8][27][29]

#### 3.7.1 Grätzelův článek

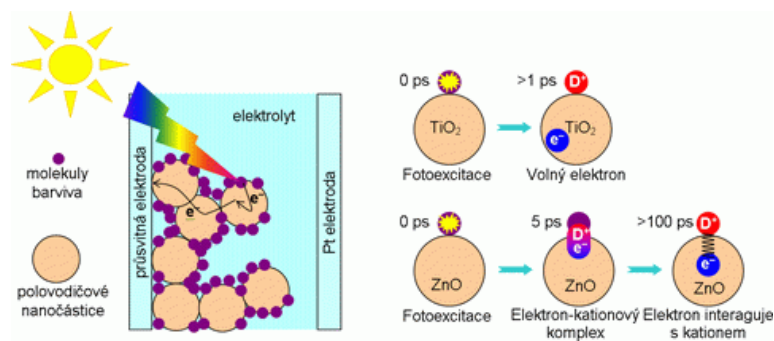
Obr. 12: Grätzelův článek s jeho vynálezcem [12]



Tyto články se skládají z tenké vrstvy oxidu cíničitého  $\text{SnO}_2$  nebo oxidu zinečnatého  $\text{ZnO}$ , které jsou naneseny na sklo. Na elektrody je použit oxid titaničitý  $\text{TiO}_2$ . Tyto práškové materiály se slinováním (spékáním pod úroveň tání materiálu) za přítomnosti vzduchu, spojí a vytvoří porézní vrstvu. Vzniklá vrstva rozptyluje záření, proto je do ní přidáno barvivo organického původu. Přidané barvivo zvyšuje schopnost pohlcovat záření. Tato struktura

nepotřebuje dopování dalšími prvky jako je tomu u křemíkových polovodičů. Kvůli vnitřní nehomogenní struktuře v místech nedokonalých spojů, vytvoří prostor s přebytkem elektronů, které zajistí potřebnou elektrickou vodivost. Vlastní elektrolyt je jodid draselný v etylenglykolu. Druhou elektrodou je grafit, který je součástí oxidů naneseným na skle. Výhod těchto článků je celá řada. Materiály jsou levnější a je jich zapotřebí méně. Jejich účinnost se začíná dostávat na podobnou úroveň jako u křemíkových. Jejich odstín se může měnit podle přísad do elektrolytu. Energie vložená do výroby je nižší než u křemíkových technologií. Zvýšením teploty článků jejich výkon neklesá, na rozdíl od křemíkových technologií. Jejich životnost zatím nedosahuje úrovně křemíkových technologií. Tento článek vynalezli v roce 1991 Michael Grätzelem a Brian O'Reganem. Označuje se jako DSSC (Dye Sensitized Solar Cells). [8][7][27][29][12]

Obr. 13: Princip Grätzelova článku [29]



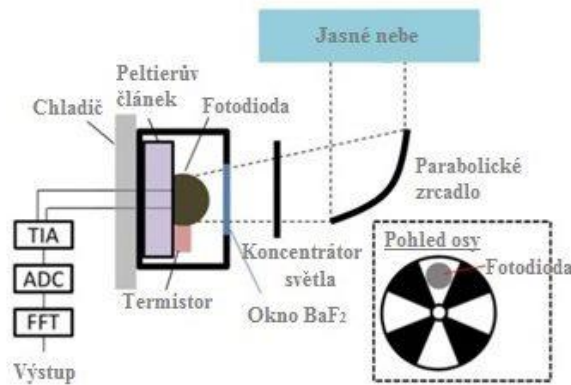
### 3.8 Experimentální solární článek

Solární energetika jako svůj zdroj používá přímé sluneční záření a v noci nefunguje. Ač to zní na první pohled nepochopitelně, existuje experimentální technologie, která dokáže vyrábět elektřinu i z noční oblohy. Toto zařízení funguje na termodynamickém rozdílu teplot země a chladu vesmíru. V tomto „solárním“ článku je umístěna speciální polovodičová infračervená dioda, která využívá jevu, kdy teplo opouští zemi. Konvenční princip využívá přicházející záření, tento způsob odcházející záření. [10][31]

Článek namířili na místa ve vesmíru, kde panuje teplota několik stupňů nad bodem absolutní nuly. Tímto způsobem se podařilo dosáhnout výkonu  $64 \times 10^{-9}$  W/m. Odhaduje se, že soudobou technikou by šlo dosáhnout výkonu až 4 W/m. Pro větší energetický spád by šlo využít odpadního tepla strojů, které by mohlo hodnotu výtěžnosti energie ještě zvýšit. Pro

porovnání s konvenčními panely, které přes den dokáží vytvořit stovky wattů na metr čtvereční je to zanedbatelná hodnota. Možné uplatnění se může najít v aplikacích pro speciální zařízení Energy harvesting. Princip je názorně ukázán na obr. 14. [10][31]

Obr. 14: Experimentální článek [10]



## 4 Energetické systémy podle úrovně soběstačnosti

Solární panely fungují jako nestálý zdroj energie. Úroveň výroby energie jde jen částečně předvídat. Tato jejich vlastnost se musí kompenzovat. Způsobů použití do celkového energetického celku je několik. Dělí se podle potřeby na to, ve které úrovni jsou s dalšími zdroji, nebo jestli se jedná o jediný zdroj v soustavě. [8]

### 4.1 Systém bez akumulace energie

#### 4.1.1 Princip a použití

Systém bez akumulace energie spotřebovává výkon okamžitě, bez další akumulace nebo nějakého náročného řízení. S nestalostí dodávek se počítá a spotřebič funguje přerušovaně nebo slouží jako další zdroj v diverzifikované soustavě. [8][13]

Základní použití v malém měřítku může být pro demonstrační účely nebo jako samoregulovatelný systém, který má fungovat jenom v době výroby energie z panelů. Tato možnost se používá, například při jednoduchém temperování budov, kdy fotovoltaický článek pohání ventilátor, který rozproudiv vzduch vzdušného termického solárního panelu do budovy. [8][13]

Další možností použití je v soustavě, která má jako primární zdroj například elektrorozvodnou síť. Výkon panelu slouží pro částečné snížení celkového odebrané energie ze sítě. Tato možnost vyžaduje, aby byl mezi panelem a sítí, regulární prvek, který zajistí bezpečné fungování a sfázování s elektrickou sítí. [8][13]

#### **4.1.2 Výhody a nevýhody**

Výhoda je relativní jednoduchost těchto řešení. Systém se reguluje sám nebo se přidá paralelně ke stávajícímu. Nevýhodou je výkonová nestálost těchto řešení. U použití v režimu paralelního připojení na soustavu, jako další zdroj, obsahuje regulátor bezpečnostní pojistku. Pokud není napájen ze sítě, tak nepřipojí k soustavě výkon z panelů. V tomto režimu panel nemůže fungovat jako nezávislý zdroj. [13]

### **4.2 Systém s akumulací energie s částečnou nezávislostí**

#### **4.2.1 Princip a použití**

Systém s akumulací energie a částečnou nezávislostí se také nazývá hybridní a je podobný systému bez akumulace. Solární zdroj napájením dokáže pokrýt velkou část spotřeby. Nestabilitu a proměnlivost výkonu kompenzují akumulátory. Celkový instalovaný výkon, ale nestačí na plně autonomní nezávislý provoz. V případě potřeby se může připojit na rozvodnou síť a nedostatek výkonu nahradit. Toto řešení se používá hlavně jako kompromis mezi maximálním využitím výkonu solárního zdroje a zároveň nemuset mít instalovaný výkon, který sice pokryje celou spotřebu, ale ekonomicky je velmi nákladný. [8][13]

#### **4.2.2 Výhody a nevýhody**

Tento systém poskytuje možnost omezeného fungování i v případě výpadku rozvodné sítě. V porovnání s ostrovním systémem je výrazně levnější na pořízení. Díky tomu je návratnost investice výrazně rychlejší. Pokud je systém vhodně navržený, nevzniká problém s přebytky. Nevýhoda je, že je systém pořád závislý na rozvodné síti. Jeho pořízení je o dost nákladnější než systému bez akumulace. [8][13]



## 4.3 Systém ostrovní plně nezávislí

### 4.3.1 Princip a použití

Ostrovní systém je plně nezávislý na elektrorozvodné síti. Používá pouze zdroje na daném místě. Jedná se o vylepšenou verzi systému s akumulací, která veškerý potřebný výkon svých spotřebičů dokáže pokrýt z vlastních zdrojů. V tomto systému je důležité mít akumulační prvek o dostatečné kapacitě, aby mohl kompenzovat výkyvy výroby energie. Je nutné, aby instalovaný výkon zdroje byl dostačující. Zapotřebí je, aby v reálném čase za příznivých klimatických vlivů dokázal ostrovní systém vytvořit a uložit dostatek energie. [8][13]

Tento systém musí uregulovat všechny situace a být dostatečně robustní. Jednou z metod může být chytré řízení spotřebičů v určitém časovém nebo prioritním harmonogramu, kdy můžeme optimalizovat využití vyrobené energie, aby nevznikaly přebytky nebo nedostatky. Jeho použití je vhodné na místech, kde není možné, nebo obtížně proveditelné připojení k rozvodné síti. Výhodný je také pro mobilní zařízení. Pro použití napájení meteostanice bude realizován ostrovní systém. [8][13]

### 4.3.2 Výhody a nevýhody

Hlavní výhodou je nezávislost na rozvodné síti. Díky této metodě mohou fungovat různá zařízení bez obsluhy nebo pouze na vzdálenou správu (vysílače, měřicí body, dopravní značení osvětlení). Hlavní nevýhoda jsou pořizovací náklady, které jsou přibližně 3x větší než u hybridního systému. Nejslabším článkem systému s akumulací jsou vlastní akumulátory. Životnost akumulátorů bývá z pravidla nejmenší ze všech součástí. Záleží na zvolené technologii akumulátorů. Nejběžnější jsou olověné akumulátory jejich životnost je podle způsobu použití 3 až 6 let. [8][13]

## 4.4 Regulace a koncentrace energie

Regulaci a koncentraci energie z panelů je potřeba řešit téměř ve všech instalacích. Na výstupu solárních článků je stejnosměrné napětí. Nominální napětí se může pohybovat od jednotek až do desítek voltů. Proud z panelů může být až desítky Ampér podle úrovně osvitů.



Z uvedeného důvodu je důležité správné výkonové dimenzování regulátoru a k tomu správně zvolenou kapacitu elektrochemických akumulátorů. [8][13]

#### 4.4.1 Solární regulátory a střídače

Solární regulátor je regulační prvek celého fotovoltaického systému. Zde jsou popsány regulátory, které se používají pro ukládání energie do elektrochemických akumulátorů. Existují různé typy. Dělí se podle výkonu, typu instalace, technologie nabíjení, napěťové úrovně akumulátorů a typu solárních panelů. [13]

**Existují následující typy:**

- Diodový
- Lineární
- PWM
- MPPT

V tomto pořadí jsou seřazeny podle technologické úrovně regulace, od nejjednoduššího po nejvyspělejší.

#### 4.4.2 Princip regulace a typy solárních regulátorů

U systému, kdy je energie z panelu přímo spotřebována, například elektro motorem, který je dimenzovaný na výkon panelu. Tento systém je bez regulace, protože ji nepotřebuje. Ve všech ostatních případech regulaci mít musí. Každý fotovoltaický systém, který ukládá energii do akumulátoru, musí mít regulátor. Solární článek nebo panel se nikdy nesmí připojit přímo na akumulátor. [13][79]

Důvody proč regulátor musí být, jsou dva:

- Prvním důvodem je, že napětí a proud akumulátorů se neshodují s parametry na správný nabíjecí průběh akumulátorů. V případě bez regulace může docházet k soustavnému přebíjení. To může vést k poškození až zničení akumulátoru. [36][79]

- Druhým důvodem je, že bez expozice záření funguje solární článek ve foto odporovém režimu a chová se jako spotřebič, který může vybit akumulátor. [18][79]

U malých solárních článků, kde nehrozí, že by panel mohl svým nabíjecím průběhem poškodit akumulátor, stačí použít pouze usměrňovací dioda, která funguje částečně jako regulátor. Dioda se zapojí tak, aby mohl protékat proud v propustném směru, od článku k

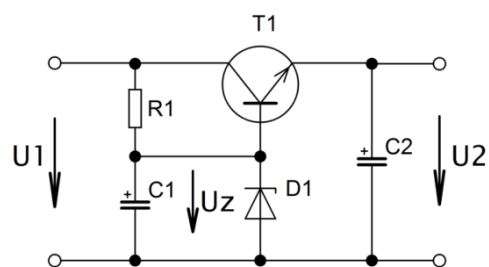
akumulátoru. Toto řešení nejde přímo označit za regulátor, ale spíš jako ochranný prvek. Zapojení má ještě jednu ochrannou funkci a tou je ochrana proti přepólování. [15][18][79]

Lineární stabilizátor, který už splňuje obě kritéria, může být označen za regulátor. Funguje na principu snížení napětí na jednom z prvků, u kterého vzniká přesně definovaný úbytek napětí. Z tohoto důvodu je napětí pak na vstupu vždy vyšší než napětí na výstupu. Tento způsob je poměrně jednoduchý, ale bohužel se zvyšujícím se napětí vůči požadovanému, vznikají poměrně velké ztráty, které se přeměňují na odpadní teplo. [32][71]

Obr. 16: Lineární stabilizátor [85]



Obr. 15: Principiální schéma lineárního stabilizátoru [84]



PWM (Pulse Width Modulation) regulátor byl dříve velice rozšířený typ solárního regulátoru. Dnes se používá díky své nízké ceně a dobré účinnosti, u menších solárních systémů, s napětím panelů do 60 V. Hlavní výhodou použití principu pulzně šířkové modulace je, že dokáže nabíjet akumulátor s větší energetickou výtěžností z panelů než lineární stabilizátor. [62]

Obr. 17: PWM solární regulátor [autor Dp]



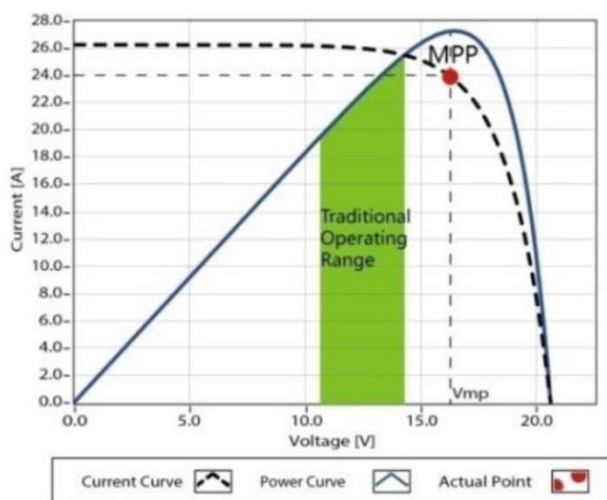
PWM (Pulse Width Modulation) regulátory mají v sobě zabudovány různé další prvky. Tyto regulátory obsahují ochranné prvky, měření elektrických veličin a indikace stavů. Některé mají i zobrazovače pro aktuální stav s ukazateli hodnot napětí, proudů, teplot, kapacit atd.. V případě přetížení dokáží odpojit výstup, aby nedošlo k poškození akumulátoru nebo spotřebiče. Většinou mají tři páry svorek pro připojení drátů. První pár je pro solární panel, druhý pár je pro akumulátor a třetí pár je pro spotřebič. U starších typů platilo pravidlo, že se musí připojit akumulátor jako první a druhý se připojoval solární panel. V případě obráceného postupu hrozilo poškození regulátoru. U modernějších regulátorů se tento problém již nevyskytuje, ale raději se toto pravidlo dodržuje stále. [62[72]]

MPPT (Maximum power point tracking) je dnes nejrozšířenější a nejpoužívanější typem regulátoru. Na první pohled vypadají stejně jako PWM regulátory. Liší se vnitřním fungováním. Zkratka MPPT, jde přeložit jako sledování bodu maximálního výkonu. Na rozdíl od předešlých typů, dokáže tento typ nabíjet akumulátor téměř po celý čas osvětlení solárního zdroje. Ostatní typy dokáží nabíjet jenom v dobu, kdy napětí na panelech přesáhne určitou minimální úroveň pro nabíjení. Čas, kdy vychází nebo zachází slunce, ostatní regulátory využít. Typ regulátorů MPPT dokáže využít dobu východu a západu slunce, což zvýší ze stejného instalovaného výkonu panelů nabíjecí výkon až o 30 %. Pracuje na principu spínaného zdroje buck – boost konvertoru. Spojuje technologie měniče napětí snižujícího i zvyšujícího. Díky tomu dokáže udržet výstupní napětí a proud konstantní v proměnných podmínkách vstupního napětí a proudu z panelu. Obsahuje ochrany proti přebíjení a přepólování akumulátoru. Většinou jsou tyto regulátory vybaveny i sledováním dalších parametrů jako je teplota akumulátorů. Zvládají vstupní napětí z panelů až v úrovni stovek voltů, takže se mohou použít od nejmenších po největší instalace. Pořadí zapojování panelů a akumulátorů je

stejně jako u PWM regulátorů, i když riziko špatného pořadí zapojení, je u tohoto typu zanedbatelné. Vyšší verze těchto regulátorů jsou vybaveny různými komunikačními rozhraními, jako jsou RS232, RS485, USB nebo Ethernet. Tato schopnost s příslušným softwarem, dokáže zajistit vzdálenou správu a ukládat data výroby a spotřeby systému. Na obr. 20 je vidět MPPT regulátor, který byl použit pro měření jeho vlastností. Na obr. 19 je graf znázorňující nabíjecí charakteristiku MPPT regulátoru a porovnání s PWM regulátorem. [68][72]

Obr. 19: Principiální schéma lineárního stabilizátoru [84]

Obr. 18: Nabíjecí charakteristika MPPT regulátoru [72]



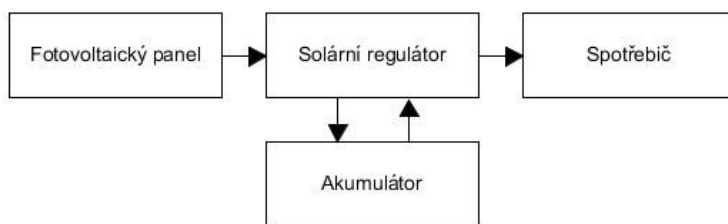
#### 4.5 Měření solárních regulátorů

Pro ověření vlastností solárních regulátorů bylo provedeno měření na dvou nejběžnějších typech. První byl MPPT regulátor Tracer 1210A a druhý byl PWM regulátor VS5024N. Oba regulátory jsou určené pro nabíjení všech typů olovených elektrochemických akumulátorů o nominálním napětí 12 V nebo 24 V. MPPT regulátor dokáže pracovat s napětím z panelů až 100 V a proudem 10 A. PWM regulátor zvládne panely do napětí 48 V a proudu 50 A. Oba tyto regulátory jsou určené na výkony v řádech stovek Wattů. Zásadním rozdílem je jejich vnitřní princip fungování, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4.1 a 3.4.2.

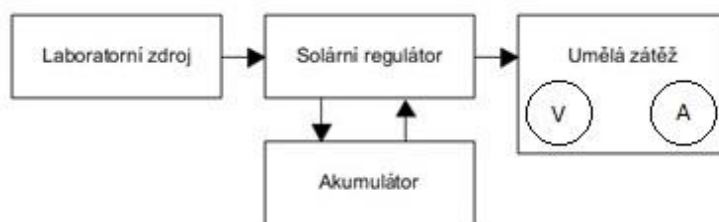
Měření mělo za cíl stanovit vhodnější regulátor a ověřit hodnotu účinnosti v přechodových stavech mezi nabíjením a nenabíjením, dále pak dosaženou úroveň nabíjení. Na obrázku níže je montáž zapojení reálného ostrovního systému. Zapojení obou regulátorů je stejné. Pro účely měření byl solární panel nahrazen laboratorním zdrojem. Spotřebič pro potřeby měření byla umělá zátěž. Umělá zátěž je elektronický rezistor s proměnným odporem.

Akumulátor zůstal a byl použit AGM olověný 12 V 7,2 Ah v době měření byl nabitý přibližně na 80 %.

Obr. 20: Schéma zapojení ostrovního FV systém [autor Dp]



Obr. 21: Schéma zapojení při měření solárních regulátorů [autor Dp]

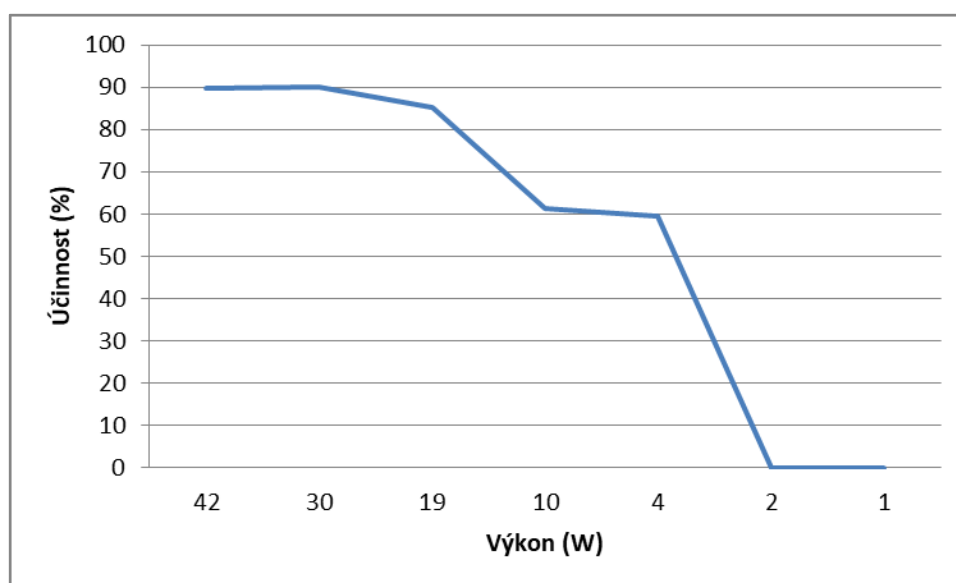


Postup měření byl následující. Na laboratorním zdroji bylo nastaveno napětí 19 V. Na umělé zátěži byl nastaven odpor přibližně 8  $\Omega$  a proud 1,6 A. Multimetrem bylo měřeno napětí a proud do akumulátoru. Proud z laboratorního zdroje, který simuluje Fotovoltaický panel, byl nastaven na 2,2 A. Zdroj simuluje 30 Wp fotovoltaický panel. Hodnota tohoto proudu se pro další měření snižovala, aby došlo k simulování zapadajícího slunce až do momentu, kdy regulátor přestal nabíjet. Z naměřených dat byly dopočítány hodnoty ztrátového výkonu a účinnosti regulátorů. Ve výsledných tabulkách je žlutě označen mezní stav, kdy regulátor přestal dobíjet. Z naměřených hodnot je vidět, že účinnost u obou je poměrně vysoká. MPPT ji má v průměru o 3 % až 5 % vyšší než PWM. Zásadnější rozdíl je ale v momentu, kdy regulátory přestanou nabíjet. MPPT regulátor díky funkci hledání optimálního bodu dokázal nabíjet delší dobu. MPPT regulátor má udanou maximální účinnost 99 %. Při měření pro simulaci 30 Wp FV panelu byla jeho nejvyšší naměřená účinnost u MPPT regulátoru 93 %. PWM regulátor nemá uvedenou hodnotu účinnosti v dokumentaci. Nejvyšší naměřená hodnota u PWM regulátoru byla 90 %.

Tab. 1: Měření na PWM regulátoru[autor Dp]

PWM Regulátor EPSOLAR													
Simulace panelu			Akumulátor			Umělá zátěž				Výkony a účinnost			
Napětí (V)	Proud (A)	Výkon (W)	Napětí (V)	Proud (A)	Výkon (W)	Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Odpor (Ω)	Celková bilance (W)	Činný výkon (W)	Ztráta (W)	Účinnost (%)
19	2,2	41,8	13,5	1,2	16,2	13,3	1,6	21,28	8,3	-5,1	37,5	4,3	90
19	1,6	30,4	13,2	0,5	6,6	13	1,6	20,8	8,1	-14,2	27,4	3,0	90
19	1	19	12,7	-0,3	-3,8	12,5	1,6	20	7,8	-23,8	16,2	2,8	85
19	0,5	9,5	12,3	-1,1	-13,5	12,1	1,6	19,36	7,6	-32,9	5,8	3,7	61
19	0,2	3,8	12,1	-1,4	-16,9	12	1,6	19,2	7,5	-36,1	2,3	1,5	59
19	0,1	1,9	12	-1,6	-19,2	12	1,6	19,2	7,5	-38,4	0,0	1,9	0
19	0,05	0,95	12	-1,6	-19,2	12	1,6	19,2	7,5	-38,4	0,0	1,0	0

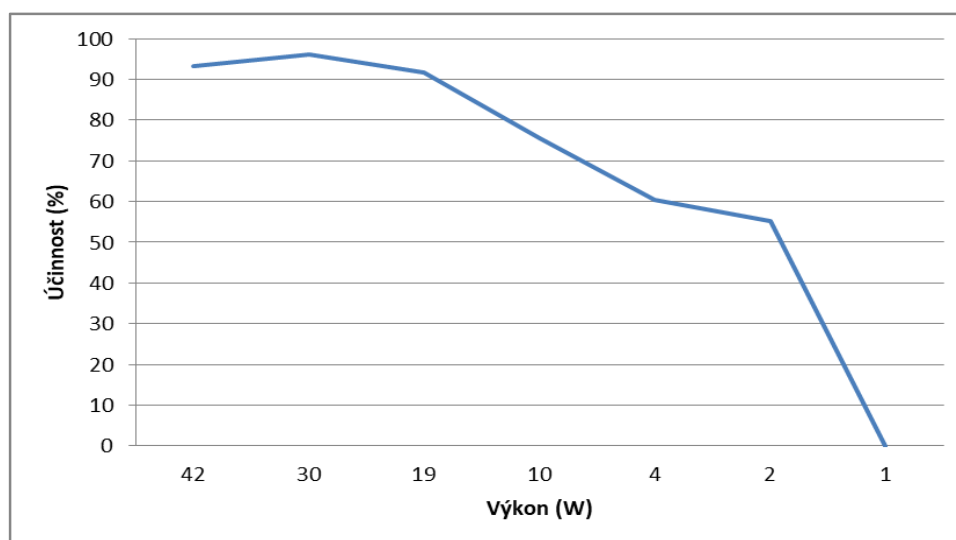
Obr. 22: Účinnost PWM regulátoru[autor Dp]



Tab. 2: Měření na MPPT regulátoru[autor Dp]

MPPT Regulátor EPEVER													
Simulace panelu			Akumulátor			Umělá zátěž				Výkony a účinnost			
Napětí (V)	Proud (A)	Výkon (W)	Napětí (V)	Proud (A)	Výkon (W)	Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Odpor (Ω)	Celková bilance (W)	Činný výkon (W)	Ztráta (W)	Účinnost (%)
19	2,2	41,8	13,6	1,3	17,7	13,3	1,6	21,28	8,3	-3,6	39,0	2,8	93
19	1,6	30,4	13,3	0,6	8	13,3	1,6	21,28	8,3	-13,3	29,26	1,14	96
19	1	19	12,8	-0,2	-2,6	12,5	1,6	20	7,8	-22,56	17,44	1,56	92
19	0,5	9,5	12,5	-1,0	-12,5	12,3	1,6	19,68	7,7	-32,18	7,18	2,32	76
19	0,2	3,8	12,3	-1,4	-17,2	12,2	1,6	19,52	7,6	-36,74	2,3	1,5	61
19	0,1	1,9	12,1	-1,5	-18,2	12	1,6	19,2	7,5	-37,35	1,05	0,85	55
19	0,05	0,95	12	-1,6	-19,2	12	1,6	19,2	7,5	-38,4	0	0,95	0,00

Obr. 23: Graf účinnosti MPPT regulátoru[autor Dp]



#### 4.5.1 Závěr měření

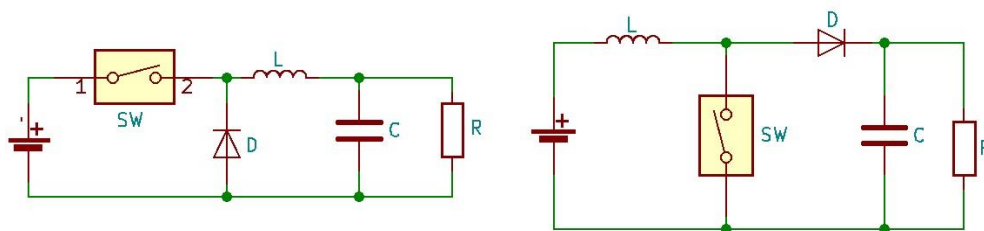
Na základě měření se potvrdila skutečnost, že MPPT regulátor má lepší účinnost dobíjení než PWM regulátor. MPPT regulátor zvládl dobíjet i při menším vstupním proudu z panelu než PWM regulátor. Oba typy jsou dimenzované na velké proudy z panelu. Oba mají velkou vlastní spotřebu. Pro potřeby meteostanice je to nevhodné. Kvůli možnému provozu v nepříznivých podmínkách (překrytí panelu přes den), je potřeba, aby vlastní spotřeba byla co nejmenší. Z tohoto důvodu je pro realizaci uskutečněno jiné řešení.

#### 4.6 Měníče

Střídač, jinak také nazývaný jako invertor, je elektronické zařízení na konverzi napětí, stejnosměrného průběhu na střídavý. Používá se kvůli tomu, že většina spotřebičů vyžaduje pro svůj provoz střídavý průběh. Využívají se i v ostrovních systémech, když se nepřizpůsobí spotřebiče na stejnosměrný průběh. Některé typy umožňují i sfázování s elektrorozvodnou sítí. Hlavní rozdělení je podle výkonu a počtu fází na jedno a třífázové. Principiální schéma je vidět na obr. 24. [33][81]



Obr. 24: Principiální schéma měniče napětí DC/DC zleva snižující napěť [81]t (BUCK) a zvyšující napětí (BOOST) [81]



Regulátor MPPT obsahuje spínané měniče napětí. Na obr. 23 a obr. 24 jsou vidět principiální schémata základních spínaných měničů snižujícího a zvyšujícího napětí.

Střídače a měniče mají několik základních vlastností, které jsou: účinnost konverze, účinnost pracovního bodu, vlastní technologie a adekvátní výkon. Obvykle se udává maximální hodnota účinnosti konverze, která může dosáhnout 90 % až 99 %. Tato hodnota vypadá výborně na první pohled, ale bohužel tato účinnost je pouze teoretická a v praxi může být výrazně jiná.

V Evropě se pro měniče a střídače používá hodnota tzv. průměrná evropská účinnost. Rovnice 6 znázorňuje vzorec pro její výpočet. Vzorec zohledňuje průměr účinností při různých hodnotách zatížení, konkrétně to je při 5, 10, 20, 30, 50 a 100 % zatížení. [33][34]

$$\eta_{\text{euro}} = 0,03 * \eta_{5\% \text{PN}} + 0,06 * \eta_{10\% \text{PN}} + 0,13 * \eta_{20\% \text{PN}} + 0,1 * \eta_{30\% \text{PN}} + 0,48 * \eta_{50\% \text{PN}} + 0,2 * \eta_{100\% \text{PN}} \quad (6)$$

Požadavkem je, aby výsledná celková účinnost byla, co největší při měnících se hodnotách zatížení. V dnešní době jsou vybaveny střídače a měniče napětí MPP elektronickými obvody, které pomocí technologie DC/DC toto zařídí. Tato technologie je stejná jako u solárních MPPT regulátorů. Vlastní konstrukce měničů a střídačů nejvíce ovlivňuje výsledné parametry. [34]

## 4.7 Ukládání energie

Ukládání energie je pro většinu solárních systémů velmi důležité. Při realizaci ostrovních systémů je tato položka mezi cenově nejnáročnějšími. Ukládání energie ve velkém měřítku je nejzásadnější problém rozvoje tohoto druhu energetiky. Výkonová hustota současných technologií akumulátorů je poměrně malá a zároveň jejich životnost je dost omezená. [35][40]

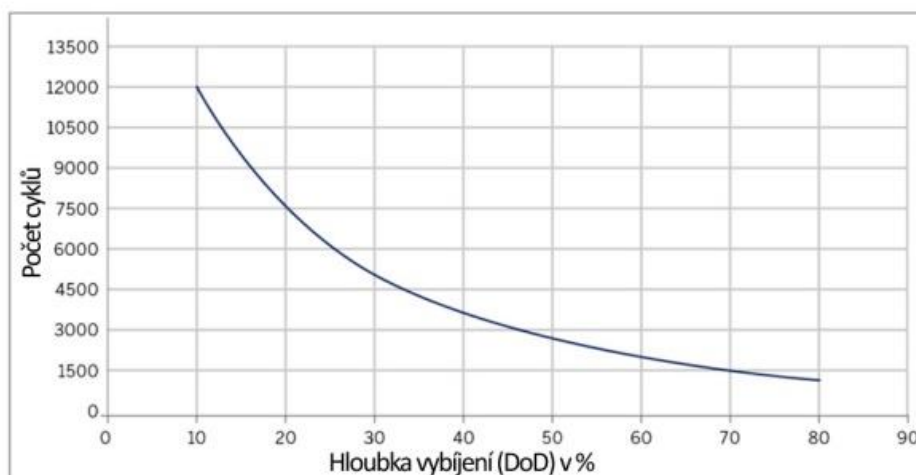


### 4.7.1 Elektrochemické

Nejčastější způsob ukládání energie z fotovoltaického zdroje je právě do elektrochemických akumulátorových baterií. Jsou to galvanické články, které se skládají ze dvou elektrod a elektrolytu. Ve většině případů se dělí na dvě hlavní skupiny, trakční a startovací. Trakční se používají v záložních zdrojích a jsou vhodné pro použití jako akumulací prvek ve fotovoltaických systémech. Startovací se používají, pro pohon převážně elektromotorů, kde je zapotřebí velký odebíraný proud po kratší dobu. Trakční, jsou na tom přesně obráceně, dokáží dodávat dlouhou dobu ale menší proud. Nabíjení je také rozdílné. Dříve platilo obecné pravidlo, že maximální nabíjecí proud nemá přesáhnout desetinu kapacity ampér hodin. U dnešních typů má výrobce definované správné nabíjení u každého akumulátoru jinak. Správný průběh nabíjení je dnes řízen mikrokontrolery, které hlídají průběhy nabíjení a chrání před nežádoucími vlivy. Dnes nejpoužívanější jsou Olověné, Lithium iontové a alkalické (nikl-metal hydrit a nikl kadmiové). Akumulátorů existuje celá řada, ale v masovém měřítku se nepoužívají. Hlavní důvod je cena nebo velmi nízká hustota energie. Životnost, je obvykle daná počtem nabíjecích cyklů, při určité hloubce vybití DOD (depth of discharge). [35][36][40]

Obr. 25: Graf závislosti počtu cyklů a hloubky vybití [40]

Životnost baterie (počet cyklů) v závislosti na hloubce jejího vybití



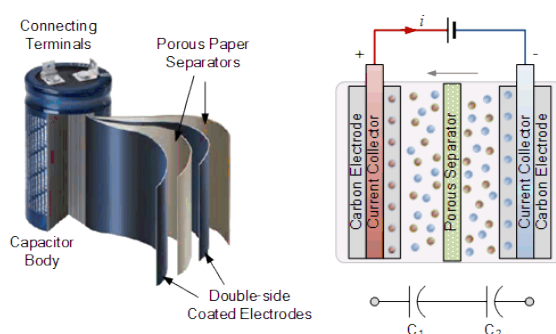
## 4.7.2 Elektrostatické

Elektrostatické ukládané energie, fungují na principu uložení elektrostatického náboje mezi vodivou elektrodou a nevodivým dielektrikem. Skládá se ze dvou elektrod a jednoho dielektrika uprostřed. Tento princip byl objeven v 18 století. Původní zařízení nazvali Leydenská láhev. Dnešní verze má název kondenzátor nebo kapacitor. Používají se v elektronice na krátkodobé vyrovnávání napěťových hladin. Technologickým vylepšením v poslední době, se jejich kapacita zvětšila natolik, že dokáží v omezené míře konkurovat klasickým elektrochemickým akumulátorům nebo primárním bateriím. Tyto nové typy kondenzátorů mají označení jako Super nebo Ultra kondenzátory. Označují se také jako EDLC (electric Double Layer Capacitor). Princip jejich fungování je podobný s klasickými kondenzátory, liší se použitím více vrstev dielektrik. Jejich energetická hustota je přibližně desetinová vůči elektrochemickým akumulátorům, schopnost udržet náboj v čase je o menší. Tato technologie je zatím násobně dražší v porovnání s kapacitou elektrochemických akumulátorů. [41]

Podobně jako elektrochemické akumulátory i se superkondenzátory dělí se dvě základní skupiny, zálohovací a výkonové. [41]

Zálohovací umějí dávat velmi malý proud po hodně dlouhou dobu a používají se jako náhrada primárních baterií. [41]

Obr. 26: Superkondenzátor [90]



Výkonové mají vůči elektrochemickým akumulátorům celou řadu výhod. Dokáží se nabít na plnou kapacitu během okamžiku extrémně velkými proudy. Stejnou schopnost mají i pro vybíjení. Jejich životnost je v řadu desítek let a kapacita jim degraduje velmi pomalu. Počet nabíjecích cyklů je v řádech statisíců a nezáleží na hloubce vybití. Umějí samovolně odolávat přebíjení a extrémnímu vybíjení bez nutnosti náročných elektronických řídicích

obvodů. Snášejí pracovní teploty od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Účinnost nabíjení také vyšší. Je to perspektivní technologie, která má potenciál nahradit v budoucnu elektrochemické akumulátory. Díky jejich pracovnímu rozsahu teplot by se mohlo jednat o ideální koncentrátor energie pro napájení meteostanice. Bohužel výsledná cena akumulátoru s potřebnou kapacitou by byla příliš vysoká. [41]

## 4.8 Zobrazovací jednotka

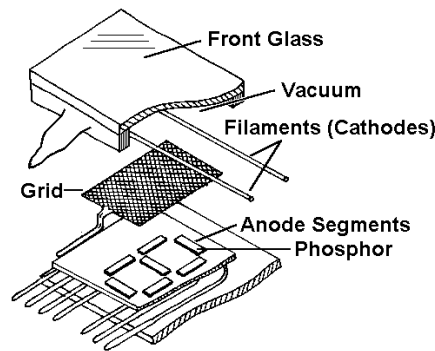
Pro uživatelskou správu zařízení je potřebné, mít možnost kontroly procesu a možnost zjistit stav zařízení. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. První je klasický, což znamená, že zařízení je osazeno HW zobrazovačem (displejem, monitorem). Druhou možností je vzdálený přístup pro kontrolu dat. Tyto informace jsou odesílány pomocí komunikačních protokolů na vzdálená zařízení. Příkladem je webové rozhraní.

### 4.8.1 VFD zobrazovač

Jedná se o elektroluminiscenční zobrazovač VFD (Vacuum Fluorescent Display). Základ každého bodu tvoří trioda s přímým žhavením. Po připojení záporného anodového napětí v rozmezí  $-10\text{ V}$  až  $-40\text{ V}$  bude katoda excitovat elektronovou emisi k anodě. Anoda je potažena luminoforem, takže po dopadu elektronu se tato energie částečně vyzáří v podobě fotonů ve viditelném spektru. Mřížka slouží pro regulaci toku elektronů. Lze sní ovládat svítivost nebo bod úplně vypnout. Základní princip VFD zobrazovačů je znám od konce 19. století. Používal se u elektronkových radiopřijímačů v elektronce pro indikaci vybuzení, které se lidově říkalo „magické oko“.

Moderní adaptace se objevila v roce 1967. Konstrukčně se dělí do několika typů. První je tzn. Itron, který je podobný Digitronu, ale má segmentové uspořádání vykreslování digitu. Další jsou displeje alfanumerické, znakové nebo maticové. Od původně vojenského využití se brzy objevili i ve spotřební elektronice. Jejich výhodou byla vyšší integrace, takže dokázali podávat více informací na malé ploše. VFD umí podávat výborný kontrast, takže jejich čitelnost je výborná i za horších podmínek. Hlavní nevýhoda je jejich spotřeba. V dnešní době díky rychlému vývoji LCD, OLED a dalších zobrazovacích technologií, dochází k postupnému nahrazení VFD zobrazovače. [42]

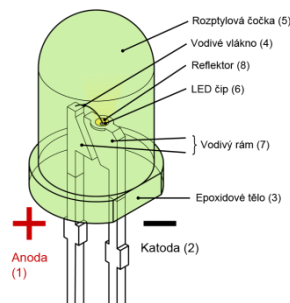
Obr. 27: VFD zobrazovač [86]



#### 4.8.2 LED zobrazovač

Je to zobrazovač složený ze svítivých diod, do segmentů nebo znaků. Technologie LED (Light Emitting diode). Vnitřní uspořádání je ze dvou polovodičů, které vytvoří jeden PN přechod, podobně jako je tomu u usměrňovací diody. Při průchodu proudu v propustném směru se v místě spoje polovodičů, který je odhalený emitují fotony. Vlnová délka je závislá na chemickém složení a napětí. Konstrukce může být do segmentových displejů složených z jednotných digitů nebo jako velké maticové obrazovky. Tyto typy zobrazovačů mají nízkou spotřebu a jsou velmi kompaktní. Díky jejich nízké ceně jsou velmi rozšířené. [43]

Obr. 28: LED zobrazovač [43]



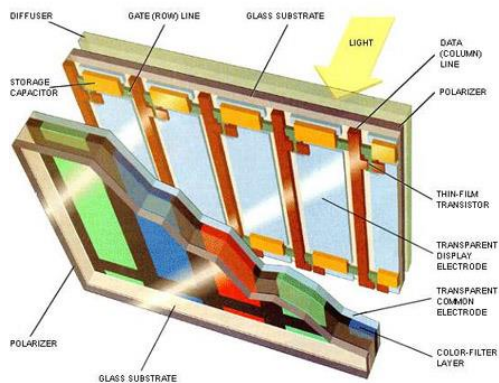
#### 4.8.3 LCD zobrazovač

LCD (Liquid Crystal Display). Každý bod obsahuje látku, která dokáže formovat svoji strukturu pomocí elektrického napětí. Velikost tohoto napětí dokáže vytvořit strukturu od průhledného po neprůhledný bod. Tyto krystaly jsou vloženy mezi elektrody, které jsou průhledné. Body obsahují polarizační filtr. Takto se vyrábějí monochromatické displeje. [45]

Barevné displeje jsou tvořeny třemi body s barevnými filtry spojené do jednoho bodu RGB (Red Green Blue). Každý bod je osazený jedním barevným filtrem. Výsledná barva je

vytvořená složením těchto třech nasvícených filtrů. Body samy o sobě nesvítí, proto je důležité na podklad použít světelný zdroj. Dnes se používají LED zdroje. Dříve se používali speciální výbojky. V přístrojových zobrazovačích se používá alfanumerické i maticové rozložení bodů. Nemá tak velký kontrast, protože podsvícení vždy nepatrně prosvítí i krystaly, které jsou v zavřené pozici. LCD zobrazovače jsou v současnosti nejvíce rozšířené. [44][45]

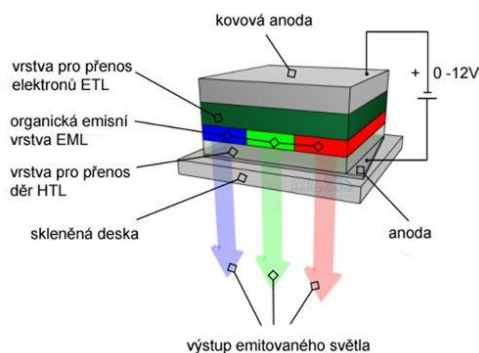
Obr. 29 LCD bod [45]



#### 4.8.4 OLED zobrazovač

OLED (Organic Light Emitting Diode). Skládají se z průhledné Anody a Katody. Mezi nimi jsou vrstvy organických polovodičů transportních vrstev typu P a N. Při průchodu proudem v propustném směru se v místě spoje polovodičů, který je odhalený emitují fotony, je to stejné jako u křemíkových LED. Místo styku těchto dvou polovodičových vrstev se nazývá organický emitör, přímo v něm vzniká světlo. Vlnová délka je daná chemickým složením polymeru emitörü. Stejně jako u LCD se používají tři sub body pro jeden RGB bod. Tato technologie je v současnosti rychle se rozvíjející. Má několik výhod vůči LCD. Má lepší kontrast a v některých případech má nižší spotřebu. Nevýhodou je nižší životnost vůči LCD. [44][46][59][60]

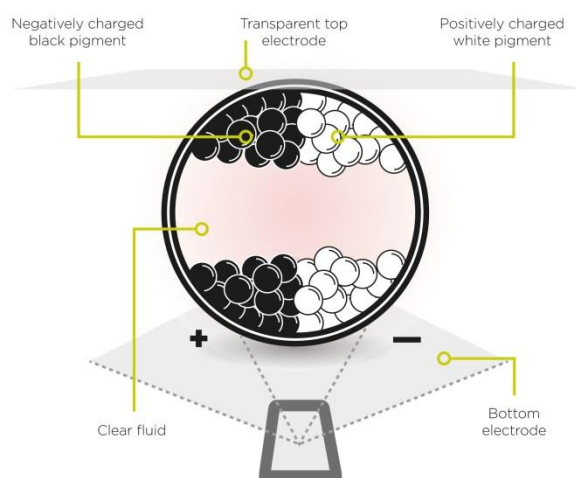
Obr. 30: OLED bod [44]



#### 4.8.5 Elektroforetický displej EPD

EPD (electronic paper display). Označuje se také jako elektronický inkoust nebo elektroforetický displej. Skládá se z velkého počtu miniaturních kapslí, které jsou v maticové síti. V kapsli je tekutina, ve které plavou černé a bílé pigmenty. Bílé mají kladný náboj a černé záporný. Přivedením napětí na ovládací elektrody, se pak podle polaritý pigmentů přitáhnou k opačně nabitým částem, a tak u tohoto uspořádání, již není potřeba dalšího napájení. Vzniklý obraz zůstane až do doby, než se přivede napětí na elektrody a obraz se změní. Zmíněnou technologii lze vytvořit i barevný obraz. Vytvoří se RGB bod pomocí složení třech bodů a každý z nich je opatřen barevným filtrem. E-papír nemá žádné podsvětlení a funguje pouze s odraženým světlem. Hlavní výhodou E-papíru je, že má nejnižší spotřebu, mezi uvedenými technologiemi zobrazovačů. Kontrast a čitelnost je také na vynikající úrovni, dokonce i venku při slunečném počasí. [47]

Obr. 31: EPD bod [91]



## 5 Popis použitého HW na meteostanici

Při výběru vhodného HW pro vznik vlastní meteostanice bylo stanoveno několik požadavků. Vycházelo se ze zadání, které přesně definuje jaké typy neelektrických veličin, mají být měřeny.

**Požadavky na měřené veličiny jsou následující:**

- Teplota
- Relativní vlhkost
- Výška srážek
- Rychlost větru
- Směr větru

**Parametry pro senzory:**

- Dostupnost
- Cena
- Možnost využití
- Životnost

Z možných dostupných senzorů na trhu, se ukázalo jako nevhodnější je použít od meteostanice WH1080. Její senzory jsou levné, dostupné a využívány již řadu let. V běžném provozu se životnost senzorů odhaduje na 5 let. Meteostanice obsahuje senzory neelektrických veličin, které jsou požadovány. Vysílací modul WH1080 je umístěn v radičním štítu spolu se senzorem teploty a vlhkosti, z toho důvodu je nelze použít ve vlastní realizaci. Na základě zadaných parametrů pro tuto práci byl vybrán psychrometr DHT22. Jeho vysoká přesnost, nízká cena a časté využití ho řadí mezi oblíbené senzory těchto veličin (teplota, vlhkost). Pro potřeby vysokého množství dat a jejich zpracování byl požadavek na přesný čas. Proto bylo zapotřebí vybrat modul, který by vyřešil problém přesného reálného času. Jako vhodný se ukázal modul osazený integrovaným obvodem DS3231. Tento modul je velice přesný, obsahuje vlastní zálohovací primární baterii, která lze vyměnit za akumulátor. Jeho vlastní spotřeba je velice nízká. V případě odpojení primárního napájení uloží data do paměti a začne fungovat v úsporném režimu. Tento modul umí zapisovat čas ve více formátech. Na základě zjištění orientačního výstupu dat a zjednodušení komunikace byl proveden výběr zobrazovače, viz kapitola 4.8 Zobrazovací jednotka. Podle zjištěných údajů, byl zvolen zobrazovač s OLED technologií GM0096. Zvolený displej je malých rozměrů. Tento zobrazovač dat není primární. Hlavní zobrazení hodnot je realizováno pomocí webového rozhraní.

Tato technologie má celou řadu výhod, mezi které patří výborná čitelnost, nízká spotřeba i možnost pracovat ve velkém rozptylu pracovních teplot. Na základě výše zmíněných senzorů a modulů vznikl požadavek na řídicí prvek, který by je dokázal obsluhovat.

Obr. 32: Popis požadavku na řídicí prvek [Autor Dp]

Vlastnosti a požadavky periférií na obsahu řídicím prvkem					
Periferie	Typ	Napájení (V)	Komunikační rozhraní prvků	Datové vývody	Odkaz na kapitulu
Displej	OLED GM0096	3,3 až 5	I2C	2	5,1,2
Hodiny reálného času	DS3231	3 až 5	I2C	2	5,1,3
Anemometr	miskový	x	Analogový napěťový výstup	1	5,2,1
Ukazatel směru větru	korouhev	x	Analogový napěťový výstup	1	5,2,2
Ombrometr	člunkový	x	Analogový napěťový výstup	1	5,2,3
Senzor teploty a vlhkosti	DHT22	3,3–6	OneWire	1	5,2,4

Konstruovaná meteostanice je koncipovaná pro použití na napájení v ostrovním režimu z FV zdroje. Z důvodu, co nejmenší možné údržbovosti a snadnému přístupu bylo nutné vytvořit možnost předávání naměřených údajů pomocí bezdrátové komunikace. Toto řešení umožní i jednodušší správu dat a učiní systém skutečně ostrovní. Jedním z hlavních důrazů při výběru byl co největší kompaktnost s co nejméně komponenty při nízké ceně a spotřebě energie. Pro jednoduchou komunikaci byl kladen důraz na použití standardních komunikačních protokolů (Wifi, Bluetooth). Tyto bezdrátové technologie jsou obsažené ve velkém spektru zařízení. Na základě stanovených parametrů byl vybrán systémový chip ESP32. Tento chip obsahuje dostatečné množství GPIO k obsluze všech periférií a zároveň i bezdrátové připojení Wifi a Bluetooth včetně antény pro obě jmenované komunikace. Přes veškeré zmíněné nároky má dostatek výkonu na vytvoření vlastního webového rozhraní. Toto rozhraní bude určeno jako primární možnost zobrazování dat ze senzorů meteostanice. Uvnitř tohoto zařízení se nachází operační systém, který dokáže sám obsluhovat své vnitřní rozhraní a periférii. Tato vlastnost zjednodušuje programovatelnou náročnost a obslužnost jednotlivých periférií. Chip ESP32 je možné na trhu dostat ve více variantách. Jednou z možností je samostatně nebo na vývojovém kitu. Samostatný chip splňuje CE normu (Prohlášení o shodě). Jeho mechanická konstrukce dovoluje snadné ruční pájení. Díky kovovému pouzdru, ve kterém se nachází, je odolný proti zarušení a poškození.

## 5.1 Moduly pro zpracování a zobrazení dat

### 5.1.1 ESP32

ESP32 je platforma od firmy Espressif Systems. Jedná se o dvou jádrový, 32bitový RISC mikroprocesor. Jeho jádra fungují na taktovací frekvenci 160 nebo 240 MHz. Napájený je 3.3 V a jeho proudový odběr je závislý na módu, ve kterém pracuje. Pohybuje se od 240 mA do 5 uA. Obsahuje velké množství periférií. Konektivitu s dalšími zařízeními může zajišťovat standardní sériová komunikace po kabelu. Další možností je bezdrátové spojení

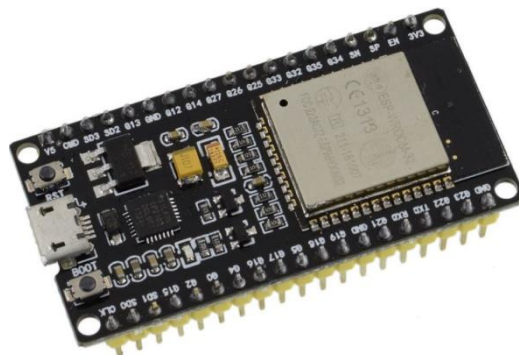


pomocí WIFI ve standardech 802.11 b/g/n nebo Bluetooth 4.2. Součástí procesoru je i anténa. Existuje varianta, která má na sobě i displej. Základním rozdělením jader je, že jedno jádro funguje pro bezdrátovou komunikaci a druhé pro standardní výpočty a obsluhu vstupů, výstupů a periférií. Programování se může provádět pomocí mnoha možností od kompilované programování například v C ale i pomocí interpretovaných jazyků jako jsou (Python, Javascript, Lua). V meteostanici je použitý přímo typ ESP32 WROOM 32, který je osazen na kitu. Tento kit, který je vidět na obrázku níže, má vývody procesoru vyvedeny na hřebínkové lišty pro snadnější montáž. Pro snadnější napájení je osazen lineárním stabilizátorem, který je určen, aby změnil napětí z 5 V na 3.3 V. Pro drátovou komunikaci je zde ještě integrovaný obvod FTDI pro komunikaci po sériové lince na USB sběrnici. Pro přívod napájení a komunikace je kit osazen mikro USB konektorem. [67]

### Specifikace ESP32:

- SRAM 520 KB, 448 KB ROM
- 34x GPIO
- 12 bit ADC
- 2x 8 bit DAC
- 2x I2C
- 3x UART
- CAN 2,0
- PWM
- Ethernet MAC interface
- Hall senzor
- Dvoujádrový mikroprocesor 160 nebo 240 Mhz

*Obr. 33: ESP32 WROOM 32 kit [66]*



### 5.1.2 Displej GM0096

GM0096 je bílý monochromatický OLED displej. Rozlišení je 128x64 pixelů a úhlopříčka je 0,96". Komunikuje pomocí I<sup>2</sup>C nebo SPI. Obvod zajišťující komunikaci je řadič SSD1306. [59][60]

Napájení je v rozmezí 3.3 V až 5 V. Nominální proud je 80 mA. Naměřená průměrná spotřeba je do 10 mA. Rozměry jsou 29x29 mm. Napájení a komunikace je mechanicky provedena pomocí hřebínkové lišty s roztečí 2.54 mm. Pro programové ovládání jsou k dispozici SW knihovny. [59][60]

*Obr. 34: Modul OLED GM0096[88]*



### 5.1.3 Hodiny reálného času DS3231

Modul hodiny reálného času je osazen integrovanými obvody DS3231 a AT24C32. DS3231 je velice přesný obvod reálného času, který dosahuje přesnosti 2 ppm v rozmezí teplot 0 až 40 °C a 3.5 ppm v rozmezí -40 až 85 °C (ppm je počet jednotek z milionu). Tato přesnost je možná díky teplotně velmi stabilnímu krystalu. AT24C32 je paměťový modul EEPROM, která má paměť 32 kB. Slouží pro uložení hodnot času. Paměť typu EEPROM je typ elektricky mazatelné paměti. EEPROM je nevolatilní paměť, což znamená, že při odpojení napájení neztrácí uložená data. Konkrétní čas se zjistí při připojení k vnějšímu zdroji (PC, internet), se kterým se synchronizuje a posléze funguje samostatně. Dalším způsobem je připojení hodinového krystalu o hodnotě 32,768 kHz. DS3231 zvládne více způsobů zapisování času AM a PM. Komunikuje pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice. Napájí se napětím v rozmezí od 3 V do 5 V. Při zapnutém stavu zařízení je modul primárně napájen stejně jako zbytek ostatních zařízení. Když dojde k výpadku primárního napájení modul se nevypne, protože je osazenou primární baterií CR2032, ze které funguje dále. Baterie má nominální napětí 3V a kapacitu 220 mAh. Pracovní teplota může být od -20 do 60 °C. Modul disponuje i napájecím obvodem pro použití akumulátoru LIR2032. Baterie zálohuje funkce modulu, takže časový

údaj nebude přerušen. Napájení a komunikace je pomocí hřebíkové lišty s roztečí 2.54 mm stejně jako ostatní moduly. [55][58][64]

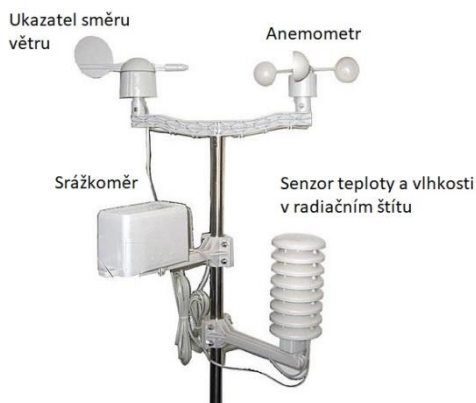
*Obr. 35: Modul reálných hodin DS3231 [38]*



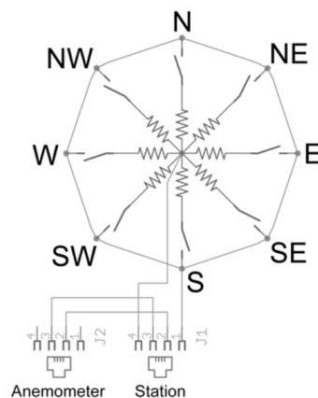
## 5.2 Senzory

Senzory a jejich mechanické uspořádání jsou použity od meteorostanice WH1080, kromě snímače teploty a vlhkosti DHT22. Ten je umístěn v místě radičního štítu, kde je v originálu umístěna vysílací jednotka se senzorem teploty. [19][20][21]

*Obr. 37 Senzory meteorostanice [50]*



*Obr. 36: Zapojení senzorů meteorostanice WH1080 [50]*



### 5.2.1 Anemometr

Anemometr je senzor pro zjištění rychlosti proudění kapalin nebo plynů. Dělí se podle konstrukce na více typů, bude uvedeno několik nejběžnějších (miskové, lopátkové, žhavení drátku, ultrazvukové, mikrovlnné). V meteorostanici byl použit miskový anemometr. Hlavním konstrukčním prvkem je miska umístěná na rameni, do které se opírá proudící vítr. Používají se tři nebo čtyřramenné provedení. Tříramenný většinou lépe reaguje na změnu větru. Tyto ramena jsou umístěná na hřídel, která se volně otáčí. Moment otáčení vzniká při rozdílu proudění vzduchu při obtékání misek. Proudění vytvoří menší odpor na vnější vypouklé straně

a větší odpor vyduté straně. Miskové anemometry jsou zpravidla umístěné horizontálně tedy radiálně vůči působení síly větru. Vlastní získání dat probíhá tak, že při jedné otáčce rotující magnety dvakrát sepnou a rozepnou jazýčkové relé. Při frekvenci otáčení 1 Hz je rychlost větru 2.4 km/h, z tohoto vychází konstanta tohoto anemometru. Ze vzorce 7 lze vypočítat obvodovou rychlost. [50][52][80]

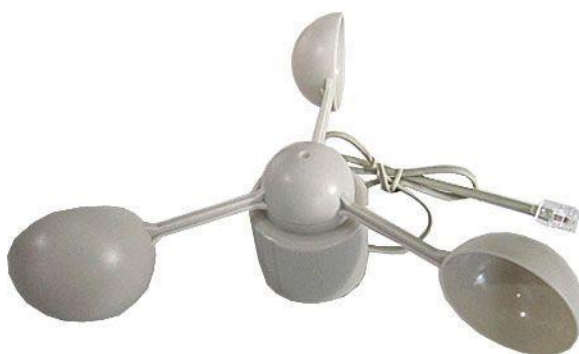
$$v = (\pi \times d \times n) / 60 \quad (7)$$

*kde:*

- $v$  je obvodová rychlost (m/s)
- $\pi$  je 3,14
- $d$  je průměr kotouče (m)
- $n$  je otáčky stroje /min

Miskový anemometr nedokáže, zjistit směr větru, proto je součástí korouhev jako senzor ukazatele směru větru. Data vedou po vnitřním páru plochého čtyřvodičového kabelu a jsou zakončené konektorem RJ11, který je připojen do ukazatele směru větru. V něm se data spojí. Měření funguje tak, že se přivede napájecí úroveň na senzor a definuje logickou úroveň. Nastavením vstupního pinu na detekci náběžných a sestupných hran a jejich přepočtení na otáčky. Celý zdrojový kód s komentáři je uveden v příloze. Názorně je v něm vidět obsluhu senzoru. [48][50][52]

*Obr. 38: Anemometr [50]*



### 5.2.2 Ukazatel směru větru

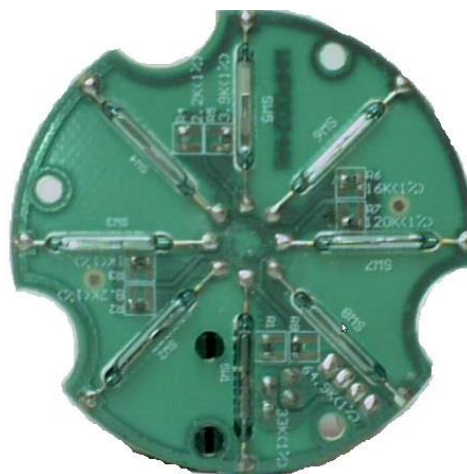
Větrná korouhev je jednoduchý ukazatel směru větru. Natočení ukazatele zajistí proudění větru. Senzor při otáčení pohybuje po kružnici magnetem, který spíná jazýčkové relé. Tyto relé jsou rozmístěné po 45°. Při sepnutí relé se uzavře obvod přes připojený sériový rezistor a mezi sebou jsou zapojeny paralelně. Hodnota každého rezistoru je odlišná. Ukazatel

směru větru a anemometr jsou spojeny dohromady. Data z ukazatele směru větru jdou po vnějším páru plochého čtyřvodičového kabelu a jsou zakončené konektorem RJ11. Měření detekce polohy probíhá změnou napětí, kterou měří vstup procesoru. Změna napětí se měří na napěťovém děliči, která se vytvoří zapojením rezistoru do série s vývody ukazatele směru větru a napájecím napětím. Měřicí dělič je znázorněn na obr. 42. [50][80]

Obr. 40: Zapojení senzorů metostanice WH1080 [50]



Obr. 39: Vnitřek ukazatele směru větru [50]



Na základě měření stavů byly určeny hodnoty rezistorů, které jsou uvnitř snímače směru větru. Tabulka dále zobrazuje napětí na vzniklém děliči pro měření na vstup IO pinu procesoru. Sepnutý je vždy jenom jeden kontakt.

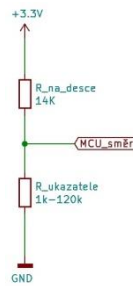
Tab. 3: Měřené vlastnosti ukazatele směru větru a parametry na měřícím děliči a ADC [Autor Dp]

Měření na ukazatele směru větru						
Na Senzoru	Směr větru	Úhel	Odpor snímače	Napětí na vstup IO	U ADC	ADC
N	Sever	0°	33,14 kΩ	2,323 V	2,2	2720 - 2750
NE	Severovýchod	15°	8,2 kΩ	1,234 V	1,11	1370 - 1400
E	Východ	0°	1 kΩ	0,224 V	0,1	120-130
SE	Jihovýchod	135°	2,188 kΩ	0,455 V	0,33	400 - 420
S	Jih	180°	3,886 kΩ	0,730 V	0,6	730 - 760
SW	Jihozápad	225°	15,95 kΩ	1,770 V	1,65	2030 - 2070
W	Západ	270°	120 kΩ	2,940 V	2,97	3660 - 3690
NW	Severozápad	315°	64,8 kΩ	2,706 V	2,63	3240 - 3270

Referenční napětí	3,3 V
Rezistor dělič	13,63 kΩ

Výsledné zapojení měřícího děliče, které vychází z tab. 3, je znázorněno na obr. 42.

Obr. 41: Schéma dělič napětí pro měření ukazatele směru větru [Autor Dp]



Pro názorné ukázání principu měření je uveden část zdrojového kódu, která se zabývá obsahem senzoru větru. Zbytek programu je v příloze.

Obr. 42: Zdrojový kód ukazatel směru větru konstanty [Autor Dp]

```
...  
  
/* typicke hodnoty ADC pro jednotlivé směry */  
#define DIR_E    (130)  
#define DIR_SE  (410)  
#define DIR_S    (750)  
#define DIR_NE  (1385)  
#define DIR_SW  (2050)  
#define DIR_N   (2735)  
#define DIR_NW  (3260)  
#define DIR_W   (3600)  
  
#define DELTA (200) /* hystereze */  
  
...  
typedef enum card_dir {Err =0, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW}; /* svetove strany */  
card_dir smer;  
unsigned int smer_value;  
  
...
```

V této části jsou konstanty hodnot, které se vyčítají z AD převodníku. Nastavení hystereze a enumerace hodnot pro světové strany

Obr. 43: Zdrojový kód ukazatel směru větru převod hodnot ADC [Autor Dp]

```
...

/*
 * Prevede analogovou hodnotu z ADC na smer vetru
 */
card_dir get_direction(unsigned int adc_value)
{
    if(adc_value < DIR_E){
        return E;
    } else if(adc_value > (DIR_SE - DELTA) && adc_value < (DIR_SE + DELTA)){
        return SE;
    } else if(adc_value > (DIR_S - DELTA) && adc_value < (DIR_S + DELTA)){
        return S;
    } else if(adc_value > (DIR_NE - DELTA) && adc_value < (DIR_NE + DELTA)){
        return NE;
    } else if(adc_value > (DIR_SW - DELTA) && adc_value < (DIR_SW + DELTA)){
        return SW;
    } else if(adc_value > (DIR_N - DELTA) && adc_value < (DIR_N + DELTA)){
        return N;
    } else if(adc_value > (DIR_NW - DELTA) && adc_value < (DIR_NW + DELTA)){
        return NW;
    } else if(adc_value > DIR_W){
        return W;
    } else {
        return Err; // nebyla dekodovana zadna platna hodnota
    }
}

String get_wind_dir_name(card_dir win_dir)
{
    String dir_names[] = {"Er", "N", "NE", "E", "SE", "S", "SW", "W", "NW"};
    return dir_names[win_dir];
}

pouziti funkce v programu

...
```

Program převádí hodnoty ADC a podle podmínky zapíše hodnoty do stringu. Je to z důvodu lepší práce s hodnotami které se se uloží do pole.

Obr. 44 vyčítání z pinu na AD převodník [Autor Dp]

```
pouziti funkce v programu

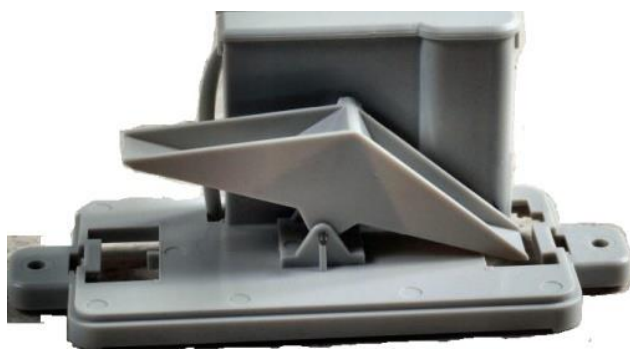
...
smer_value = analogRead(ADC_SMER_PIN);
smer = get_direction(smer_value);
Serial.println(get_wind_dir_name(smer));
...
```



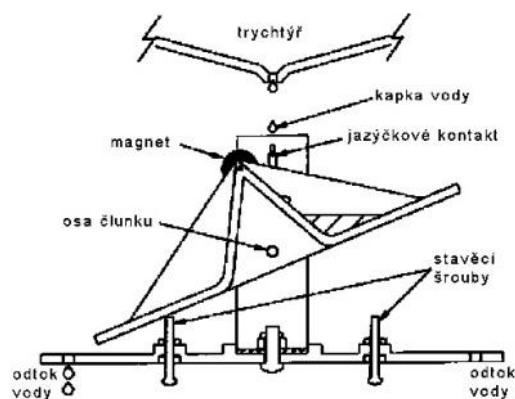
### 5.2.3 Srážkoměr

Srážkoměry jsou zařízení pro měření výšky srážek na danou plochu. Nejběžnější jsou Ombrometr je Člunkový srážkoměr. V meteostanici je použitý Člunkový srážkoměr. Funguje na principu pohybu člunku mezi dvěma stavy. Tento pohyb zajišťuje tekoucí voda, která naplní nádobku. Po naplnění způsobí hmotnost vody pohyb a následně její vyhlití. Tento pohyb můžeme nazvat jeden takt. Na vrchu člunku je připevněn magnet. Při jednom taktu tento magnet sepne jazýčkové relé, které vytvoří pulz. Přepočtem těchto pulzů zjistíme výslednou výšku srážek. Minimální měřené množství srážek je dané velikostí člunku. Snímání probíhá na stejném principu jako je tomu u anemometru. Funguje tak, že se přivede napájecí úroveň na senzor a definuje logickou úroveň. Nastavením vstupného pinu na detekci náběžných hran a jejich přepočtení na výšku srážek. Jeden takt je 0.2794 mm. Objem vody na jeden takt je 2.5 ml. Stejně jako anemometr a ukazatel směru větru je i výstup srážkoměru veden pomocí čtyřvodičového plochého kabelu zakončený konektorem RJ11. Pulzy jsou vedeny prostředními dvěma vodiči. Celý zdrojový kód s komentáři je uveden v příloze. Názorně je v něm vidět obsluhu senzoru. [49][50][51][53][80]

Obr. 46: Člunkový srážkoměr bez krytu [50]



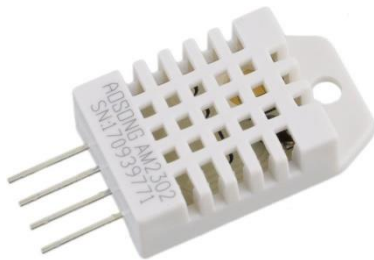
Obr. 45: Člunkový srážkoměr s popisem [53]



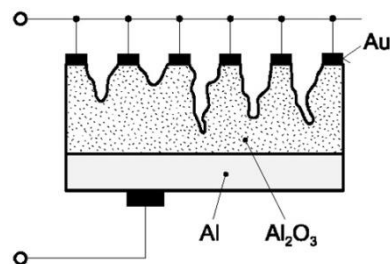


## 5.2.4 Senzor teploty a vlhkosti DHT22

Obr. 48: Senzor teploty a vlhkosti DHT22 [37]

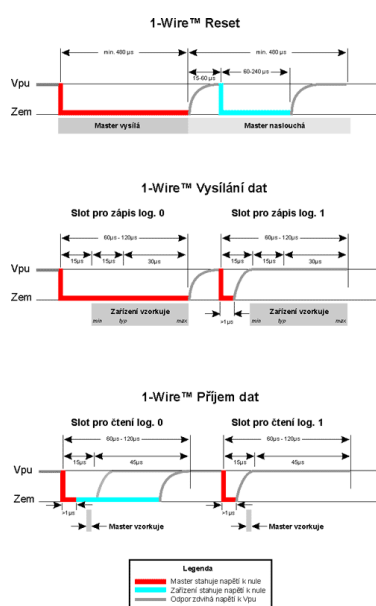


Obr. 47: Sorpční psychrometr [82]



DHT22 nebo pod jiným označením RHT03 je vidět na obrázku vlevo nahoře. Jedná se o digitální senzor dvou veličin teploty a vlhkosti vzduchu. Funguje na principu Kapacitního sorpčního psychrometru (obrázek nahoře v levo), jeho výstup je digitální signál na sběrnici OneWire Měřící elektroda má otvory přes, které se může dostat vlhkost a reagovat s dielektrikem, které je z polymerů. Z výroby je kalibrovaný, takže jej lze použít hned po zapojení. Z konstrukčního hlediska je to součástka se čtyřmi vývody. První a čtvrtý vývod slouží pro napájení. Druhý vývod slouží pro komunikaci. Pro ošetření vstupu procesoru se mezi datový pin a napájení zapojí Pullup rezistor o hodnotě 10 k $\Omega$ . Tento rezistor slouží pro odstranění nedefinovaného stavu na vstupu procesoru. Třetí vývod se nemusí zapojovat, slouží pro kalibraci při výrobě. Napájení se pohybuje v rozmezí 3.3 – 6 V. Proudový odběr se pohybuje do 1 mA. Teplotní rozsah je od -40 do +80 °C při přesnosti 0.5°C v celém rozsahu. Rozsah měření vlhkosti je od 0 do 100 % při přesnosti 2 až 5 % v celém rozsahu. Komunikace může probíhat až na vzdálenost 100 m a data zasílá po dvou sekundách. Komunikační protokol je OneWire sběrnice. Níže je uveden na obrázku popisující tuto komunikace. Celý zdrojový kód s komentáři je uveden v příloze. Názorně je v něm vidět obsluhu senzoru.[54][65][80]

Obr. 49: Popis komunikace OneWire sběrnice[54]



## 6 Energetická náročnost v různých režimech a výsledná spotřeba

Hlavním spotřebičem je KIT s ESP32. Jeho spotřeba se liší podle režimu, ve kterém pracuje. V tabulkách níže jsou možnosti napájecích režimů. Hodnoty jsou nominální pro dané nastavení, v provozu jsou hodnoty proudu obvykle nižší. Při bezdrátové komunikaci je doba vysílání a přijímání pouze několik sekund. Uvedené hodnoty v tabulce, při vysílání a přímání bezdrátové komunikace jsou špičkové. [66][67]

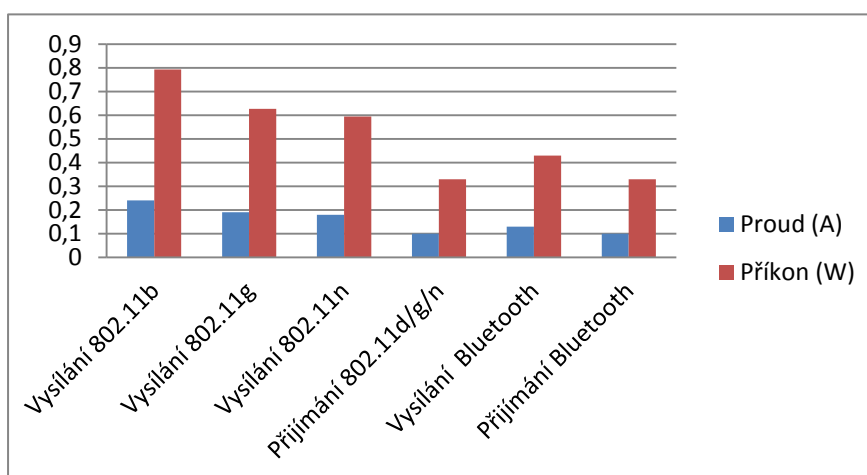
### 6.1 Soupis režimů ESP32 a jeho spotřeb

Bezdrátová komunikace je energeticky nejnáročnější s ohledem na ostatní součásti. Při měření spotřeby se ukázalo, že doba vysílání a přijímání je velmi krátká. Změna odebíraného proudu při bezdrátové komunikaci je skoková. Při odhadování spotřeby je to přibližně 10 až 20 % nominální. V tabulkách a grafech níže jsou hodnoty proudu a výkonu podle režimu fungování ESP32. Pásmo, které se použije pro přenos, se automaticky přizpůsobí podle nastavení routru přístupového bodu. [67] Obě jádra jsou zapnutá na taktu 240 Mhz . Důvodem vysoké frekvence je náročnost výpočtu pro webový server, který běží uvnitř mikroprocesoru meteostanice

Tab. 4: Spotřeba modemů integrovaného obvodu ESP32 [67]

ESP32 modemy			
Komunikace	Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)
Vysílání 802.11b	3,3	0,24	0,79
Vysílání 802.11g	3,3	0,19	0,63
Vysílání 802.11n	3,3	0,18	0,59
Přijímání 802.11d/g/n	3,3	0,1	0,33
Vysílání Bluetooth	3,3	0,13	0,43
Přijímání Bluetooth	3,3	0,1	0,33

Obr. 50: Graf příkonové náročnosti bez drátové komunikace [Autor Dp]



Tab. 5: Spotřeba jader integrovaného obvodu ESP32 [67]

ESP32 chod jader					
Mód	Frekvence (MHz)	Jádro	Napětí (V)	Proud (mA)	Příkon (W)
bez Modemu	240	Dvou	3,3	68	0,22
bez Modemu	160	Dvou	3,3	44	0,15
bez Modemu	160	Jedno	3,3	34	0,11
bez Modemu	80	Dvou	3,3	31	0,10
bez Modemu	80	Jedno	3,3	25	0,08

Utlumené režimy mohou výrazně snížit celkovou spotřebu. Bohužel v utlumených režimech nelze použít přístup přes webové rozhraní, které je primárním způsobem zobrazování dat z meteorostanice.

Tab. 6: Spotřeba integrovaného obvodu ESP32 v utlumených režimech [67]

ESP32 utlumení chodu				
Mód	Vlastnosti	Napětí (V)	Proud (uA)	Příkon (mW)
Lehký spánek	Utlumený provoz	3,3	800	2,64
Hluboký spánek	běží koprocesor	3,3	150	0,50
Hluboký spánek	monitorování senzorů	3,3	100	0,33
Hluboký spánek	RTC hodiny a paměť	3,3	10	0,03
Hibernace	RTC hodiny	3,3	5	0,02
Vypnuto	Stand by režim	3,3	0,1	0,00033

## 6.2 Spotřeba modulů a senzorů bez ESP32

V tabulce níže je seznam všech modulů a senzorů, které jsou napájeny z Kitu s ESP32.

Tab. 7: Vypočítaná spotřeba modulů s senzorů [Autor Dp]

Spotřeba modulů a senzorů meteostanice napájených z ESP32 kitu				
Modul	Napětí (V)	Nominální proud (mA)	Naměřený proud (mA)	Průměrná spotřeba (W)
OLED GM0096	3,3	26	10	0,0330
DS3221	3,3	1	0,32	0,0011
DHT22	3,3	1	0,04	0,0001
Anemometr	3,3	1	0,04	0,0001
Ukazatel směru	3,3	1	0,3	0,0010
Srážkoměr	3,3	1	0,04	0,0001
Celkově			10,74	0,0354

## 6.3 Spotřeba ESP32 s moduly a senzory

V tabulce níže je uvedena spotřeba samotného ESP32, včetně modulů a senzorů. Žlutě je označen režim, ve kterém ESP32 pracuje, v tomto režimu funguje většinu strojového času.

Tab. 8: Vypočítaná spotřeba integrovaného obvodu ESP32 napájeného přímo 3,3 V, v různých režimech s moduly a senzory [Autor Dp]

Trvalý chod režimů ESP32 včetně senzorů a modulů			
Režim	Příkon (W)	Modem	Režim ESP32
1	0,828	ano	Vysílání 802.11b
2	0,663	ano	Vysílání 802.11g
3	0,630	ano	Vysílání 802.11n
4	0,465	ano	Vysílání Bluetooth
5	0,366	ano	Přijímání 802.11d/g/n/Bluetooth
6	0,261	ne	dvě jádra 240Mhz
7	0,182	ne	dvě jádra 160Mhz
8	0,149	ne	jedno jádra 160Mhz
9	0,139	ne	dvě jádra 80Mhz
10	0,119	ne	jedno jádra 80Mhz

## 6.4 Spotřeba Kitu ESP32 s moduly a senzory

V tabulce níže je uvedena spotřeba celého kitu s ESP32 a návaznostmi. Jsou zde vidět ztráty na lineárním stabilizátoru AMS1117, který je umístěn na kitu s ESP32. Stabilizátor snižuje napěťovou úroveň na 3,3 V, kterou vyžaduje ESP32. Modul byl navrhnut na 5V napájecí standart. Kvůli napájení z 12V akumulátoru musí meteostanice obsahovat ještě jednu konverzi napětí. Žlutě je vyznačen režim, ve kterém meteostanice převážně pracuje. [62]

Tab. 9: Vypočítaná spotřeba celého kitu ESP32 s moduly a senzory, napájeného 5V v různých režimech přes stabilizátor[Autor Dp]

Ztráta na stabilizátoru 3,3V ve všech aktivních režimech ESP32 včetně senzorů a modulů								
Režim	Vstupní (V)	Výstupní (V)	Úbytek (V)	Úbytek (mA)	Vstupní proud (mA)	Výstupní proud (mA)	Účinnost (%)	Ztrátový výkon na stabilizátoru (W)
1	5	3,3	1,7	3	254	251	65	0,442
2	5	3,3	1,7	3	204	201	65	0,357
3	5	3,3	1,7	3	194	191	65	0,340
4	5	3,3	1,7	3	144	141	65	0,255
5	5	3,3	1,7	3	114	111	64	0,204
6	5	3,3	1,7	3	82	79	64	0,149
7	5	3,3	1,7	3	58	55	63	0,109
8	5	3,3	1,7	3	48	45	62	0,092
9	5	3,3	1,7	3	45	42	62	0,086
10	5	3,3	1,7	3	39	36	61	0,076

## 6.5 Spotřeba celé meteostanice s DC/DC měničem

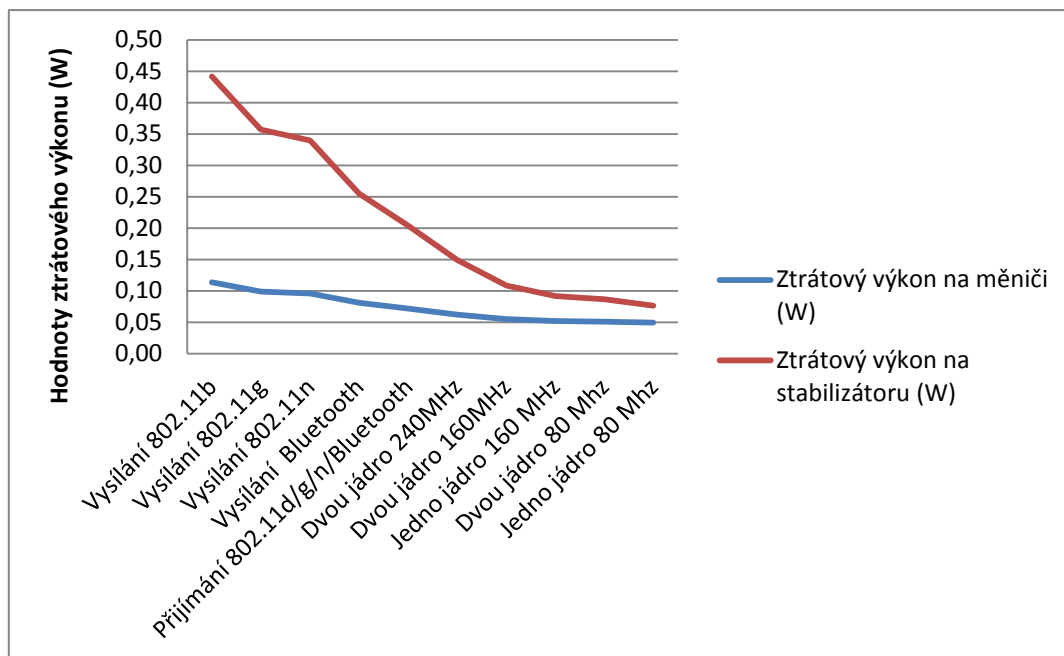
V tabulce níže je uvedena celková spotřeba celé meteostanice. Do celkové spotřeby je zahrnut TSR 0.5-2450, je to DC/DC buck snižující měnič, který upravuje napěťovou úroveň z 12V akumulátoru na vstup stabilizátoru na kitu. Žlutě je označen režim fungování ESP32. [61]

Tab. 10: Spotřeba celého kitu ESP32 s moduly a senzory, napájeného 12,5 V přes stabilizátor a měnič, v různých režimech[Autor Dp]

Ztráta na měniči 5V ve všech aktivních režimech ESP32 včetně senzorů a modulů								
Režim	Vstupní (V)	Vstupní proud (A)	Úbytek (mA)	Ztráta (mA)	Výstupní (V)	Výstupní proud (mA)	Účinnost (%)	Ztrátový výkon na měniči (W)
1	12,5	0,111	3	0,0091	5	254	94	0,114
2	12,5	0,089	3	0,0079	5	204	94	0,099
3	12,5	0,085	3	0,0077	5	194	94	0,096
4	12,5	0,064	3	0,0065	5	144	94	0,081
5	12,5	0,051	3	0,0057	5	114	94	0,072
6	12,5	0,038	3	0,0050	5	82	94	0,062
7	12,5	0,028	3	0,0044	5	58	94	0,055
8	12,5	0,023	3	0,0042	5	48	94	0,052
9	12,5	0,022	3	0,0041	5	45	94	0,051
10	12,5	0,020	3	0,0039	5	39	94	0,049

V grafu je vidět velikost ztrát na stabilizátoru a měniči v závislosti na režimu ESP32.

Obr. 51: Graf ztrát na měniči a stabilizátoru [Autor Dp]



## 6.6 Závěr výpočtu spotřeb

Z výsledků je patrné, že největší spotřeba je při využívání bezdrátové komunikace. Bezdrátová komunikace, ale nevysílá pořád, jen pulzně. Největší trvalá výkonová ztráta je na lineárním stabilizátoru, protože ten funguje po celou dobu. Tato ztráta je důvodem, proč by bylo nejlepší ho nahradit spínaným měničem, který by z 12 V vytvářel přímo 3,3 V pro ESP32.

## 6.7 Výkon odebraný z akumulátoru

V tabulce níže je uvedena výsledná proudová a z toho vyplývající výkonová náročnost na akumulátor. Žlutě je vyznačen hlavní režim fungování.

*Použitý olověný AGM akumulátor [Autor Dp]*

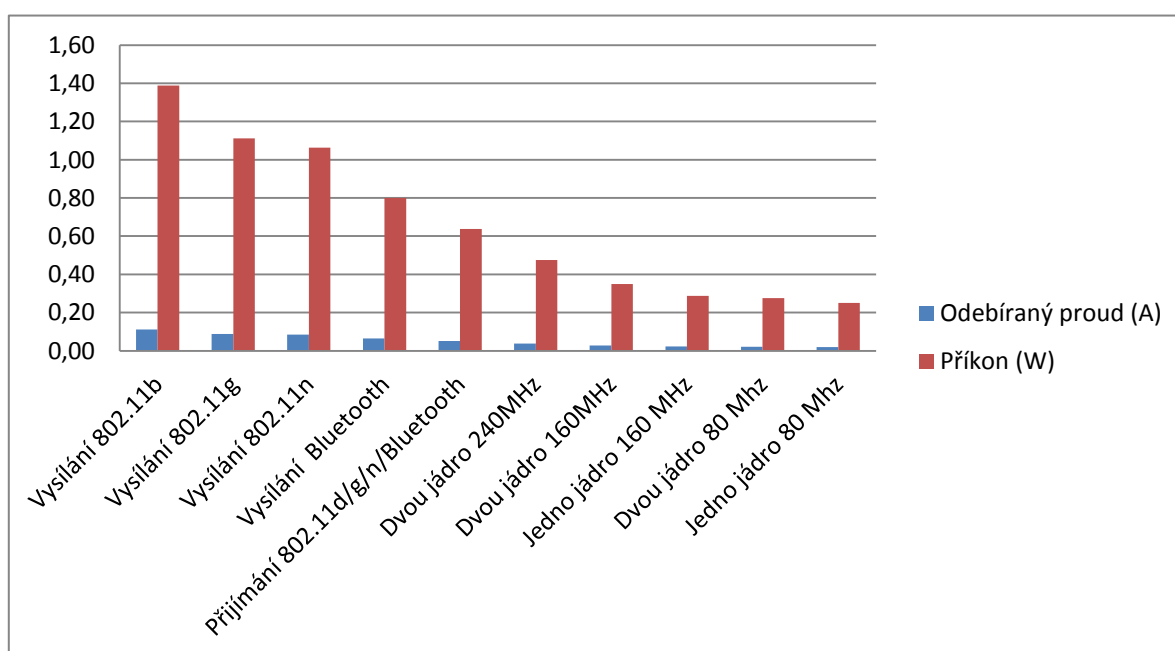
*Vnitřek AGM akumulátoru [75]*



Tab. 11 Vypočítaná spotřeba meteostanice, která je odebírána z akumulátoru v různých režimech ESP32 [autor Dp]

Příkon z akumulátoru					
Režim	Modem	Stav ESP32	Napětí akumulátoru (V)	Odebíraný proud (A)	Příkon (W)
1	Ano	Vysílání 802.11b	12,5	0,111	1,39
2	Ano	Vysílání 802.11g	12,5	0,089	1,11
3	Ano	Vysílání 802.11n	12,5	0,085	1,06
4	Ano	Vysílání Bluetooth	12,5	0,064	0,80
5	Ano	Přijímání 802.11d/g/n/Bluetooth	12,5	0,051	0,64
6	Ne	Dvou jádro 240MHz	12,5	0,038	0,48
7	Ne	Dvou jádro 160MHz	12,5	0,028	0,35
8	Ne	Jedno jádro 160 MHz	12,5	0,023	0,29
9	Ne	Dvou jádro 80 Mhz	12,5	0,022	0,28
10	Ne	Jedno jádro 80 Mhz	12,5	0,020	0,25

Obr. 52: Graf výstupního proudu a výkonu z akumulátoru podle režimu ESP32 [Autor Dp]

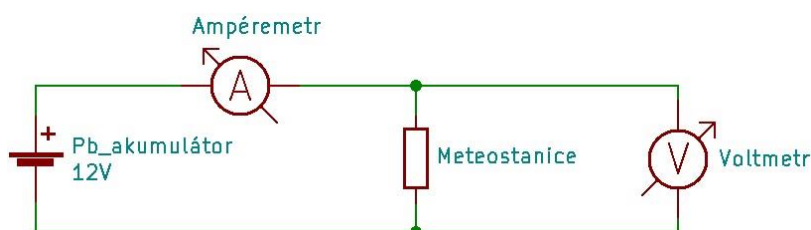


Na základě vypočítaných spotřeb při různých režimech fungování, které se pohybují mezi 0,48 až 1,39 W, je stanoven odhad průměrné spotřeby na 1 W. Tato hodnota je mírně nadsazená, aby vznikla malá výkonová rezerva. Celková spotřebovaná energie za jeden den je stanovena na 24 Wh neboli 1,92 Ah při použití 12V olověného akumulátoru.

## 6.8 Měření reálné spotřeby meteostanice

Pro ověření výpočtů spotřeb bylo provedeno reálné měření. ESP32 fungoval v režimu zapnutých obou jader na taktu 240 MHz. Bezdrátová komunikace byla aktivní. Probíhalo vysílání a přijímání v standartu 802.11n. Všechny senzory a moduly byli aktivní. Na uvedeném schématu níže je vidět zapojení při měření skuteční spotřeby.

Obr. 53: Schéma měření skutečné spotřeby[autor Dp]



Měření probíhalo takto. K meteostanici byl připojen voltmetr a ampérmetr podle schématu, následovně se připojil akumulátor. Po zapnutí měla meteostanice krátkodobě větší proudový odběr asi 100 mA. Tento odběr trvá asi 1 až 2 sekundy. Meteostanice plně nabootuje asi za 5 – 7 sekund. Po této době se proudový odběr ustálí na trvalé hodnotě. Při ,které byli vyčítány hodnoty. Po několika měřeních byl průměr naměřených hodnot 12,6 V a 0,058 A. Z těchto hodnot vychází hodnota příkonu meteostanice na 0,73 W. Reálná spotřeba vyšla o trochu méně než vypočítaná. Celkový odběr za jeden den vyšel na 17,52 Wh. Na použitý 12V 7,2Ah akumulátor vydrží meteostanice fungovat bez FV panelu přibližně 5 dní.

## 7 Návrh a realizace nezávislého zdroje

Na základě spotřeby, která byla vypočítána a změřená spotřeby je dimenzovaný nezávislý ostrovní systém. Zdroj energie bude fotovoltaický panel z monokrystalického křemíku. Akumulace energie bude zajištěna pomocí elektrochemického olověného akumulátoru. Regulátor dobíjení je realizován pomocí nabíjecího modulu. Všechny komponenty kromě venkovních senzorů jsou umístěné na zadní straně fotovoltaického panelu v elektrorozvodné skříni, včetně samotné meteostanice.



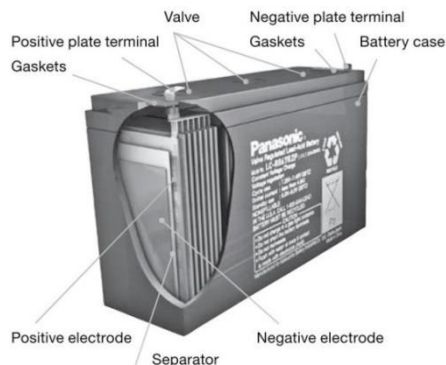
## 7.1 Akumulátor

V systému bude použit 12V 7,2Ah olověný AGM akumulátor.

Obr. 55: Použitý olověný AGM akumulátor [Autor Dp]



Obr. 54: Vnitřek AGM akumulátoru [75]



Jedná se o bezúdržbový trakční chemický akumulátor. V tomto typu je elektrolyt vázaný v tuhé formě ve tkanině ze skleněných vláken v tzv. separátorech. Absence kapaliny dovoluje libovolnou polohu při provozu. Účinnost nabíjení je poměrně vysoká a je přibližně 85 %. Dokáže pracovat ve velkém teplotním rozsahu od -15 do 50 °C. Optimální provozní teplota je 20 °C. Při dlouhodobém vystavení teplot nad 25 °C se mírně zvyšuje kapacita, ale výrazně narůstá chemická degradace v podobě sulfatace. Tato chemická reakce vylučuje volnou síru z elektrolytu. Vyloučená síra následně reaguje s elektrodami a vytváří na nich oxidy síry. Vylučování volné síry snižuje hustotu elektrolytu, zároveň zmenšuje aktivní plochu elektrod a zvyšuje vnitřní odpor. Dlouhodobé působení sulfatace vede ke snížení kapacity akumulátoru, která poškozuje články a může dojít až k jejich zkratu. Vliv nízkých teplot má za následek zamrznutí elektrolytu. V nízkých teplotách se snižuje i celková kapacita akumulátoru. V případě nabitého akumulátoru se při teplotách pod -10 °C se snižuje s každým dalším stupněm celsia kapacita o 1 až 2 % podle stavu akumulátoru. V případě vybitého akumulátoru mohou být záporné teploty fatální a může dojít k trvalému poškození nebo zničení článků. Životnost tohoto akumulátoru se udává při optimálních podmínkách na dobu 3 až 5 let nebo podle počtu nabíjecích cyklů. Meteostanice v běžném provozu bude vybitá akumulátor maximálně do 10 % hloubky vybití. V tabulce níže je, žlutě vyznačen režim, ve kterém by měl být akumulátor převážně využíván. [36][57][73][74]

Tab. 12: Vliv hloubky vybití na životnost akumulátoru [76]

Životnost podle hloubky vybití	
Počet cyklů	Hloubka vybití
150	100%
225	75%
350	50%
700	30%
1800	10%

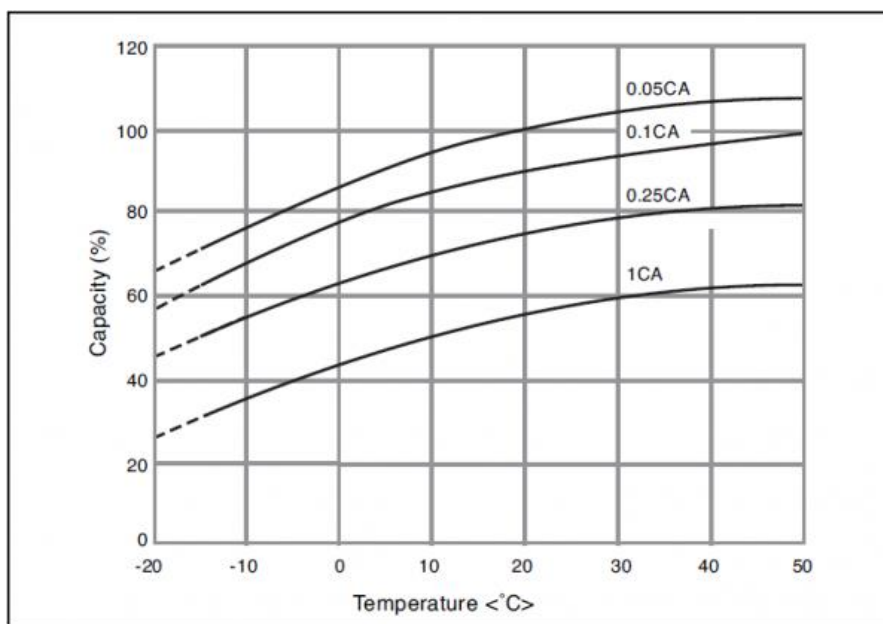
Hodnoty v tabulce jsou orientační a záleží na okolnostech provozu, které jsou výše zmíněné. Nabíjecí a vybíjecí průběh musí splňovat určitá specifika. Při nabíjení se dá rozdělit na rychlé a pomalé podle úrovně nastaveného napětí. Pro pomalé je to rozmezí 13,5 až 13,8 V, pro rychle je to 14,4 až 15 V. Napětí při nabíjení nesmí překročit hodnotu 15 V, protože dochází k urychlení degradace článků. Pro hodnotu nabíjecího proudu dříve platilo pravidlo, že hodnota proudu nesmí překročit 1/10 kapacity akumulátoru v Ah. U dnešních akumulátorů zmíněné pravidlo již neplatí. Maximální nabíjecí proud tohoto akumulátoru je 2,16 A. Vybíjení má také své limity. Maximální vybíjecí proud akumulátoru je 100 A po dobu 5 sekund. Této mezní hodnotě se systém při správné funkci nikdy ani nepřiblíží, protože špičkové hodnoty vybíjení by neměly překročit 1 A. Pro zjištění stavu akumulátoru lze použít několik metod. Stav akumulátoru jde zjistit změřením vnitřního odporu. Měření vnitřního odporu se provádí speciálním přístrojem. Hodnota vnitřního odporu je u nového 12V 7,2Ah Pb AGM akumulátoru 23 mΩ. Metoda měření hustoty elektrolytu pro Pb AGM akumulátory nelze využít. Zjištění kapacity akumulátoru jde několika způsoby. Jedna z nich je metoda měření kapacity napětí na svorkách. Bohužel toto měření je pouze orientační. V tabulce 13 jsou uvedené hodnoty napětí pro tuto metodu. Přesná metoda je změření vybíjecí charakteristiky akumulátoru, kdy při známém proudu a zátěži změříme dobu do určité hloubky vybití, a tak zjistíme přesnou hodnotu kapacity akumulátoru. [36][73][76]

Obr. 56: Kapacity podle napětí [76]

Svorková napětí na prázdko (bez zátěže)	
Napětí (V)	Kapacita (%)
12,8	100%
12,5	75%
12,2	50%
11,9	25%
11,8	0%

Zvolená kapacita je na první pohled naddimenzovaná. Toto naddimenzování kapacity je z důvodu zamezení několika mezních stavů. Meteostanice v běžném provozu bude vybíjet akumulátor maximálně do 10 % hloubky vybití, toto opatření razantně prodlouží jeho životnost. Jeden nabíjecí cyklus je jeden den provozu. V tomto režimu akumulátor vydrží 1800 cyklů, což je po přepočtu přibližně 5 let provozu. Velká kapacita akumulátoru může vykrýt výpadek fotovoltaického zdroje a to až na dobu několika dnů. Výpadek může být způsoben například v zimě, překrytím plochy panelu sněhem nebo jiným předmětem. Část kapacity akumulátoru může být využita pro temperování vnitřku skříně, přidáním elektrického topení nebo pro pohon ventilátoru na chlazení. Toto příslušenství není součástí realizace, ale jako možné rozšíření se s ním počítá při návrhu. Vliv teploty může mít negativní dopad nejen na akumulátor, jak je vidět v grafu níže, ale i na ostatní součásti meteostanice. [36][75]

Obr. 57: Graf závislosti kapacity na teplotě akumulátoru [73]



## 7.2 Solární regulátor

Komerční solární regulátory jsou lehce dostupné a snadné na instalaci. Solární regulátory neslouží jen k nabíjení, ale mají i další funkce, například nastavitelné zapínání výstupu, komunikaci po sběrnici a mnoho dalších. Tyto regulátory dokáží pracovat s velkými proudy a kvůli tomu jsou i rozměrnější. Při malých proudech z panelu, v řádu 10 mA až 100 mA, nedobíjí nebo kvůli vlastní spotřebě funguje jako zátěž.

PWM regulátor při hodnotě 100 mA přestal dobíjet. MPPT regulátor při hodnotě 100 mA dobíjel s účinností 55 %, viz kapitola 3.5. Z tohoto důvodu bylo při realizaci dobíjení akumulátoru pro meteostanici zvoleno jiné řešení.

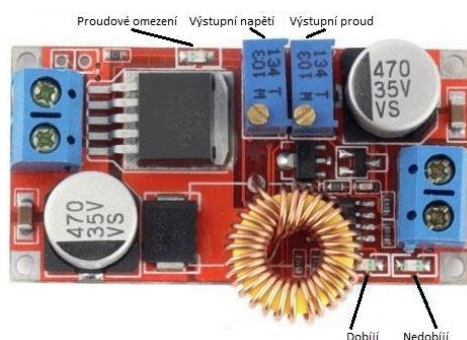
### 7.2.1 Nabíjecí modul XL4015

Byl použit nabíjecí modul, který je osazen integrovaným obvodem XL4015. Pro porovnání s měřenými solárními regulátory nabíjecí modul při hodnotě 100 mA dobíjel s účinností 80 %. Tento modul funguje jako DC/DC Buck, snižující měnič a umí pracovat v proudovém nebo napěťovém režimu. Tyto režimy zajistí optimální průběh nabíjení. Modul obsahuje ochrany: proti zkratu, tepelnou pojistku, proti přebití a přepólování akumulátoru. K základním vlastnostem tohoto modulu patří, že vstupní napětí musí být minimálně o 0,3 V vyšší než výstupní a jeho vlastní spotřeba je přibližně 5 mA. Vlastní spotřeba celého modulu je přibližně 10 mA. Na výstupu z modulu byla připojena usměrňovací dioda 1N5408. Dioda je zapojena v propustném směru, od regulátoru k akumulátoru. Když je panel neaktivní, pak toto zapojení zabrání vybití akumulátoru vlastní spotřebou měniče. Toto řešení u většiny solárních regulátorů nelze použít kvůli tomu, že výstup na zátěž je veden přes regulátor. Solární regulátory jsou primárně napájeny z akumulátoru. Měnič je napájen přímo z panelu. Maximální stálý proud bez chlazení, který měnič XL4015 zvládne je 2,5 A, další parametry jsou vidět v tabulce 14. Tento proud je vyšší, než může poskytnout 30 Wp fotovoltaický panel. [69][70][79]

Tab. 13: Parametry modulu XL4015 [Autor Dp]

Technické parametry nabíjecího modulu XL4015				
Vstupního napětí	Výstupní napětí	Výstupní proud	Frekvence spínání	Účinnost
8 - 36 V	1,5 - 36 V	2,5 A (5 A s chladičem)	180 kHz	až 96%

Obr. 58: Nabíjecí modul XL4015 [69]



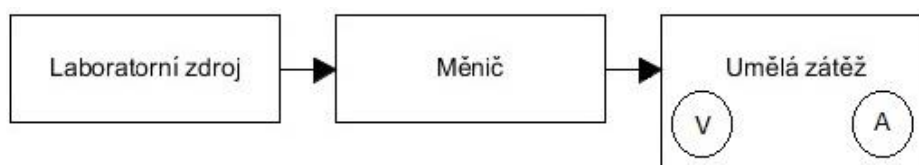
## 7.2.2 Nastavení modulu pro nabíjení akumulátoru meteostanice

Nastavení výstupního napětí a proudu se provádí dvěma trimry na desce plošného spoje modulu. Pro nastavení výstupního napětí a proudu se provede následující procedura. Na vstupní svorky je přivedeno napájecí napětí, které musí být vyšší než výstupní. Nastavením napěťového trimru podle obrázku 56 je určena výstupní úroveň napětí. Přesná hodnota je zjištěná po připojení voltmetru na výstupní svorky. Pro nastavení proudového omezení musí být modul stále napájen. Na výstupní svorky je připojen ampérmetr z rozsahem 10 A DC . Modul se uvede do stavu na krátko (zkratu). Podle obrázku 56 je nastavená proudovým trimrem výstupní hodnota proudu. Tato hodnota je maximální možný proud pro nabíjení akumulátoru. Hodnota proudu je vidět na připojeném ampérmetru. Proudové omezení se musí nastavit rychle, protože může dojít k poškození bočníku ampérmetru. Pro nabíjení je výstupní napětí nastaveno na hodnotu 14,4 V a výstupní proud na 2 A, protože maximální nabíjecí proud akumulátoru je 2,15 A. V praxi patří uvedená hodnota proudu mezi špičkové hodnoty, které panel může dát, ale při reálném měření se mu ani nepřiblížily.

## 7.2.3 Měření průměrné evropské hodnoty účinnosti

Pro porovnání s běžnými solárními regulátory bylo uskutečněné podobné měření, jako v kapitole 3.5, ale nebyl použit akumulátor a jeho funkci zastoupila umělá zátěž. Jako simulace solárního panelu 30 Wp byl použit zdroj 19 V 3 A. Modul byl nastaven na napětí 14,4 V, které se používá na nabíjení Pb akumulátorů. Simulace zatížení měniče byla pak realizována pomocí velikosti odporu zátěže. Nastavením proudového rozsahu se simuloval proud z panelu od nulových hodnot až k maximální hodnotě. Z naměřených hodnot se dopočetl příkon a ztrátový výkon na zátěži, které byly dodány z panelu. Ze zmíněných údajů se poté vypočetla účinnost, která byla při jednotlivých úrovních zátěže. Z těchto účinností se vypočetla celková hodnota evropské účinnosti pro měniče podle kapitoly 3.5.1. V katalogovém listu je uvedena maximální účinnost tohoto obvodu na 96 %, při měření byla nejvyšší naměřená hodnota 93,48 %. Hodnota průměrné evropské účinnosti byla stanovena na 89,473 %. Výsledná čísla účinností jsou téměř totožná s parametry v datasheetu.[70]

Obr. 59: Schéma zapojení při měření měniče XL4015 [Autor Dp]

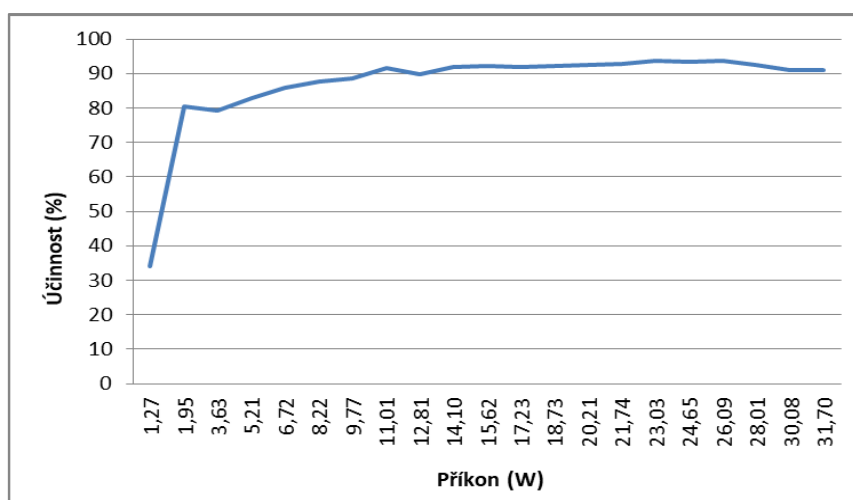


Tab. 14: Měření vlastností nabíjecího modulu XL4015 a výpočet hodnoty průměrné evropské účinnosti [Autor Dp]

Nabíjecí modul s XL4015								
Simulace panelu			Umělá zátěž				Účinnost regulátoru	
Napětí (V)	Proud (A)	Výkon (W)	Napětí (V)	Proud (A)	Příkon (W)	Odpor ( $\Omega$ )	Účinnost (%)	Zatížení (%)
19,53	0,065	1,3	14,4	0,03	0,43	482,32	34	x
19,53	0,100	2,0	14,4	0,11	1,57	144,70	80	5
19,53	0,186	3,6	14,4	0,20	2,88	72,35	79	10
19,53	0,267	5,2	14,4	0,30	4,32	48,23	83	x
19,53	0,344	6,7	14,4	0,40	5,76	36,17	86	20
19,53	0,421	8,2	14,4	0,50	7,20	28,78	88	x
19,53	0,500	9,8	14,4	0,60	8,64	23,98	88	30
19,53	0,564	11,0	14,4	0,70	10,08	20,55	92	x
19,53	0,656	12,8	14,4	0,80	11,52	17,90	90	x
19,53	0,722	14,1	14,4	0,90	12,96	15,91	92	x
19,53	0,800	15,6	14,4	1,00	14,40	14,32	92	x
19,53	0,882	17,2	14,4	1,10	15,84	12,94	92	50
19,53	0,959	18,7	14,4	1,20	17,28	11,86	92	x
19,53	1,035	20,2	14,4	1,30	18,72	10,73	93	x
19,53	1,113	21,7	14,4	1,40	20,16	10,24	93	x
19,53	1,179	23,0	14,4	1,50	21,60	9,55	94	x
19,53	1,262	24,6	14,4	1,60	23,04	8,95	93	x
19,53	1,336	26,1	14,4	1,70	24,48	8,38	94	x
19,53	1,434	28,0	14,4	1,80	25,92	8,08	93	x
19,53	1,540	30,1	14,4	1,90	27,36	7,53	91	x
19,53	1,623	31,7	14,4	2,00	28,80	7,15	91	100

<b>Průměrná evropská účinnost (%)</b>
<b>89,473</b>

Obr. 60: Graf účinností modulu XL4015 [Autor Dp]



## 7.2.4 Závěr měření

Z výsledku měření je vidět, že účinnost modulu XL4015 je při různých zatíženích velmi vysoká a je srovnatelná s PWM a MPPT regulátory, které byly měřeny v kapitole 3.5. Na



rozdíl od PWM a MPPT regulátorů, ale dokáže XL4015 nabíjet při menším výkonu panelu a další jeho výhodou je nižší vlastní spotřeba. Nejzásadnější výhodou tohoto modulu je to, že na výstupu jde připojit usměrňovací dioda. Tato dioda zajistí, že v době bez dodávaného příkonu z panelu se modul nebude chovat jako další spotřebič akumulátoru. Toto řešení u měřených PWM a MPPT nelze provést, protože tyto regulátory jsou primárně napájené z akumulátoru, zatímco modul XL4015 je napájen přímo z FV panelu.

## 7.3 Fotovoltaický panel

Stěžejní součástí celé meteostanice je její zdroj v podobě fotovoltaického panelu. Provedená měření byla adaptována na parametry panelu 30 Wp. Konkrétně je použit fotovoltaický panel složený z křemíkových monokrystalických článků, typ RS-M30 od firmy Rich Module. Vlastnosti těchto článků jsou uvedeny v kapitole 2.5.2. [2][63]

### 7.3.1 Základní parametry panelu

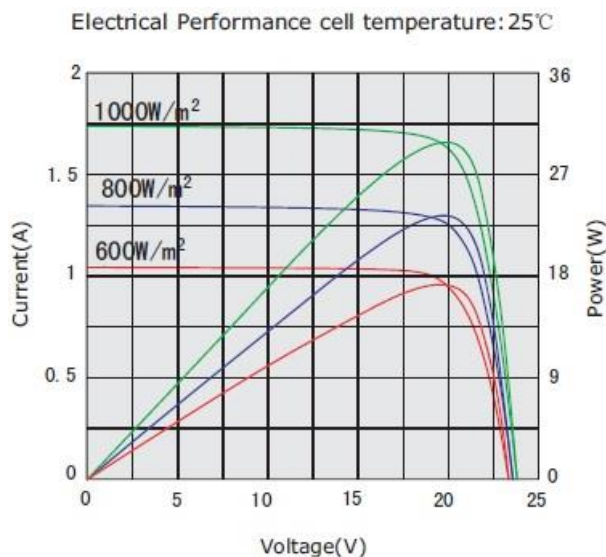
Parametry jsou odvozené od podmínek solární konstanty  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  a bezoblačné oblohy.

*Tab. 15: Základní parametry fotovoltaického panelu [2]*

<b>Fotovoltaický panel</b>	
Výrobce	Rich Module
Technologie	Monokrystalická
Výchozí materiál	Křemík
Model	RS-M30
Špičkový výkon	30W
Rozměry (VxŠxH)	633x247x34mm
Maximální napětí	19,4V
Napětí na prázdno	23,8V
Maximální proud	1,55A
Zkratový proud	1,74A
Účinnost	12,46%
Maximální teplotní koeficient	0,485%/ $^\circ\text{C}$
Pracovní teplota	44 $^\circ\text{C}$

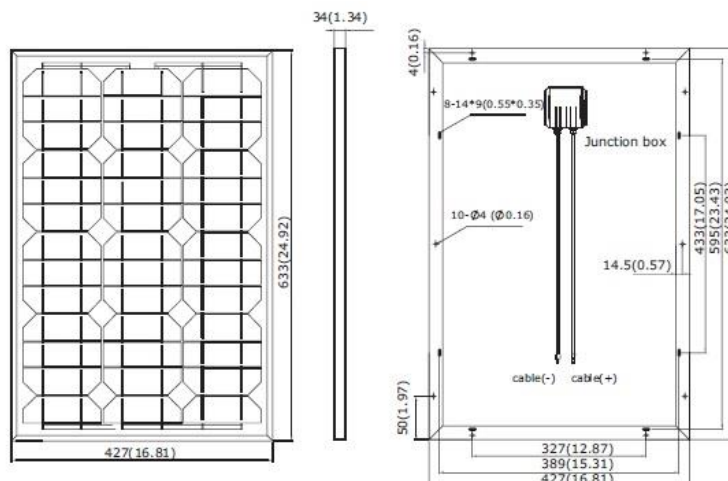
Na grafu níže je vidět změna parametrů jiných solárních konstant.

Obr. 61: Graf závislosti solární konstanty na výkon panelu [2]



Pro parametry návrhu instalace je zde uveden technický výkres panelu.

Obr. 62: Technický výkres solárního panelu [2]



### 7.3.2 Měření panelu

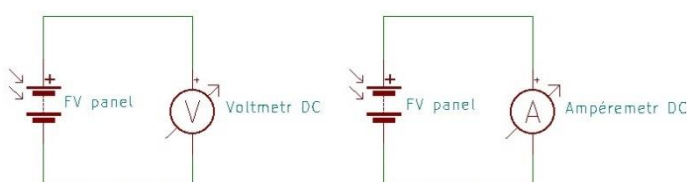
Měření proběhlo v reálných venkovních podmínkách, během poledne, v místě bez zaclánějících předmětů a za jasné oblohy v březnu. Teplota vzduchu byla 15 °C.

#### Postup měření



Na výstupní svorky panelu byl připojen voltmetr v rozsahu do 50 V. Bylo provedeno měření napětí na prázdko viz obrázek 61. Pro monokrystalické panely je důležitý náklon vůči slunci. Ideální náklon, pro potřeby měření, se zjistí empiricky a to podle nejvyšší naměřené hodnoty napětí, která byla 20,55 V. Podobným způsobem se pak zjistí hodnota špičkového proudu. Bylo provedeno měření proudu na krátko viz obrázek 61. Na vývody panelu byl připojen ampérmetr v rozsahu 10 A. Po opětovném zjištění ideálního náklonu, byla vyčtena nejvyšší hodnota proudu. Nejvyšší naměřená hodnota proudu z panelu byla 0,51 A.

*Obr. 63: Schéma měření napětí na prázdko a měření proudu na krátko z panelu [Autor Dp]*

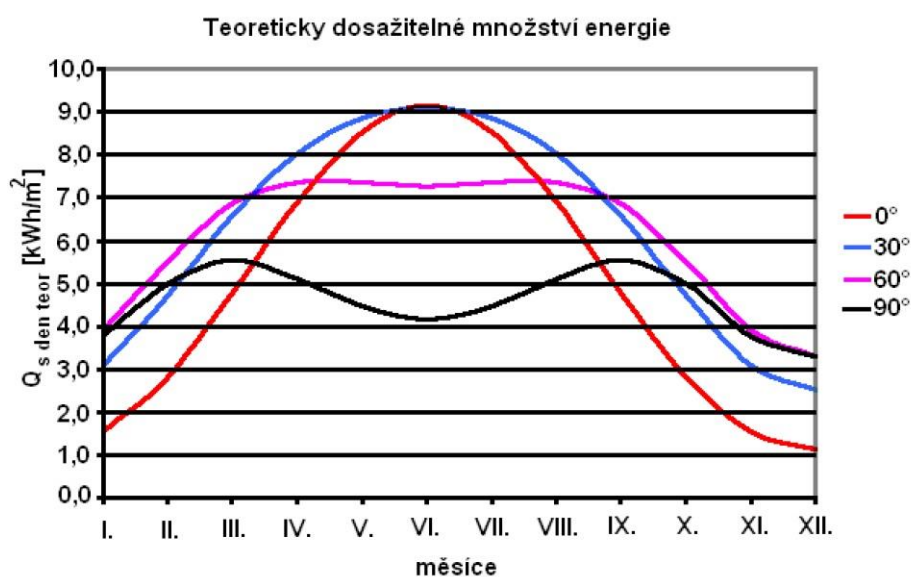


### 7.3.3 Předpokládána výtěžnost panelu

Výkon panelů je závislý na povětrnostních vlivech, mezi které patří teplota, oblačnost, roční období a vlhkost vzduchu. Další parametry, které ovlivňují výkon, jsou náklon vůči slunci a blízké předměty, od kterých se může odrážet záření, nebo zastiňují panel. Překrytí 10 až 20 % plochy panelu sníží jeho výkon až o 50 %. Difusní záření, které je odražené směrem na panel, může přispět k vyššímu výkonu, například je to souvislá vrstva sněhu v okolí panelu. Monokrystalický panel není příliš vhodný na přijímání difusního záření, viz kapitola 2.5.2.

Úhel pod, kterým dopadá záření na zemi se v průběhu roku mění. Z tohoto důvodu by se měl měnit náklon solárních panelů. Pro letní měsíce je to náklon 25° až 35°, pro zimní období je to 60° až 90°. Kompromisní celoroční náklon je 40° až 50°. Na grafu dole je vidět vztah mezi náklonem a potenciální výtěžností energie v průběhu roku, při orientaci panelu na jih. [12]

Obr. 64: Graf teoretického výkonu v průběhu roku a různých náklonech [12]



Obecné hodnoty intenzity slunečního záření viz tabulka 17.

Tab. 16: Hodnoty průměrné intenzity slunečního záření [12]

Intenzita slunečního záření ve střední Evropě						
Stav	Maximum	Jasno	Polojasno	Mlhavo	Zamračeno	Průměr
Intenzita (W/m <sup>2</sup> )	1200	800	600	100	50	600

Na základě obecné tabulky, nelze určit výkon úplně přesně. Z toho důvodu bylo použito měření intenzity globálního záření z FSI VUT Brno za období mezi roky 2008 až 2009. Toto měření probíhalo pomocí pyranometru, model CM6B. Pyranometr měří globální sluneční záření, které se skládá z přímého, odraženého a rozptýleného záření. Pyranometr byl umístěn na ploše se sklonem 60° od horizontálního směru. Tento sklon simuluje optimální úhel pro největší výkon panelu v zimě. V tabulce níže jsou hodnoty globálního záření ve W/m<sup>2</sup>. Modře je vyznačena doba, kdy den přechází nebo už je v noční fázi. Hodnoty jsou průměr v dané hodině příslušného měsíce. Adaptací těchto hodnot jde poměrně přesně zjistit výkon a dodanou energii ze solárního panelu za celý rok. Hodnoty se přepočítají na výkonovou úroveň podle dat výrobce solárního panelu z kapitoly 6.3.1. [12]

Tab. 17: Hodnoty intenzity slunečního záření v určitých hodinách dne a měsíce [12]

Intenzita záření na plochu o sklonu 60° od horizontaly, jižní směr 2008-2009 (W/m <sup>2</sup> )												
Hodina	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
5	6	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	2
6	32	22	9	1	1	1	1	1	1	1	6	21
7	72	60	42	18	4	4	1	1	4	6	43	55
8	145	143	138	91	41	52	17	11	29	27	162	139
9	298	288	287	233	114	131	63	60	123	61	339	275
10	439	434	441	360	215	211	120	106	188	153	542	393
11	514	593	557	478	294	260	170	161	232	166	699	470
12	544	527	599	481	343	284	146	194	229	159	759	506
13	555	553	640	452	324	273	175	191	199	123	837	508
14	555	570	585	400	280	179	152	144	166	162	762	500
15	465	514	546	357	233	91	78	89	112	103	675	487
16	375	477	424	259	159	16	7	21	73	61	504	407
17	256	305	299	169	77	1	1	1	12	18	354	286
18	165	170	165	66	13	0	1	1	1	1	178	149
19	80	55	51	9	0	1	1	1	1	1	42	59
20	40	17	8	0	0	0	1	1	1	1	3	17

V následující tabulce jsou přepočítané hodnoty intenzity globálního záření na výkon v danou hodinu v měsíci. Pro výpočet byla použita solární konstanta 1000 W/m<sup>2</sup>, která je výchozí pro katalogové parametry panelu. Dále jsou zde z těchto údajů vypočítány hodnoty dodané energie za hodinu, den a měsíc.

Tab. 18: Vypočítané hodnoty výkonu a dodané energie FV panelu 30 Wp v určitých hodinách dne a měsíce při 1000 W/m<sup>2</sup> [Autor Dp]

Teoretický maximální výkon solárního panelu 30Wp (W) při 1000 W/m <sup>2</sup>												
Hodina	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
5	0,18	0,06	0	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0	0,06
6	0,96	0,66	0,27	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,18	0,63
7	2,16	1,8	1,26	0,54	0,12	0,12	0,03	0,03	0,12	0,18	1,29	1,65
8	4,35	4,29	4,14	2,73	1,23	1,56	0,51	0,33	0,87	0,81	4,86	4,17
9	8,94	8,64	8,61	6,99	3,42	3,93	1,89	1,8	3,69	1,83	10,17	8,25
10	13,17	13,02	13,23	10,8	6,45	6,33	3,6	3,18	5,64	4,59	16,26	11,79
11	15,42	17,79	16,71	14,34	8,82	7,8	5,1	4,83	6,96	4,98	20,97	14,1
12	16,32	15,81	17,97	14,43	343	282	4,38	5,82	6,87	4,77	22,77	15,18
13	16,65	16,59	19,2	13,56	324	219	5,25	5,73	5,97	3,69	25,11	15,24
14	16,65	17,1	17,55	12	280	137	4,56	4,32	4,98	4,86	22,86	15
15	13,95	15,42	16,38	10,71	232	273	2,34	2,67	3,36	3,09	20,25	14,61
16	11,25	14,31	12,72	7,77	4,77	0,48	0,21	0,63	2,19	1,83	15,12	12,21
17	7,68	9,15	8,97	5,07	2,31	0,03	0,03	0,03	0,36	0,54	10,62	8,58
18	4,95	5,1	4,95	1,98	0,39	0	0,03	0,03	0,03	0,03	5,34	4,47
19	2,4	1,65	1,53	0,27	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,26	1,77
20	1,2	0,51	0,24	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	0,51
Za den (Wh)	136	142	144	101	63	45	28	30	41	31	177	128
Měsíc (Wh)	3270	3406	3450	2429	1511	1084	673	708	988	752	4252	3077

Za rok (Wh)	25 599
-------------	--------

V poslední tabulce jsou také přepočítané hodnoty intenzity globálního záření na výkon v danou hodinu v měsíci ale je počita solární konstanta  $800 \text{ W/m}^2$ . Tato hodnota je průměrná v zeměpisných podmínkách střední Evropy.

Tab. 19: Vypočítané hodnoty výkonu a dodané energie FV panelu 30 Wp v určitých hodinách dne a měsíce při  $800 \text{ W/m}^2$  [Autor Dp]

Teoretický maximální výkon solárního panelu 30Wp (W) při $800 \text{ W/m}^2$												
Hodina	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,8	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5
7	1,7	1,4	1,0	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0	1,3
8	3,5	3,4	3,3	2,2	1,0	1,2	0,4	0,3	0,7	0,6	3,9	3,3
9	7,2	6,9	6,9	5,6	2,7	3,1	1,5	1,4	3,0	1,5	8,1	6,6
10	10,5	10,4	10,6	8,6	5,2	5,1	2,9	2,5	4,5	3,7	13,0	9,4
11	12,3	14,2	13,4	11,5	7,1	6,2	4,1	3,9	5,6	4,0	16,8	11,3
12	13,1	12,6	14,4	11,5	8,2	6,8	3,5	4,7	5,5	3,8	18,2	12,1
13	13,3	13,3	15,4	10,8	7,8	6,6	4,2	4,6	4,8	3,0	20,1	12,2
14	13,3	13,7	14,0	9,6	6,7	4,3	3,6	3,5	4,0	3,9	18,3	12,0
15	11,2	12,3	13,1	8,6	5,6	2,2	1,9	2,1	2,7	2,5	16,2	11,7
16	9,0	11,4	10,2	6,2	3,8	0,4	0,2	0,5	1,8	1,5	12,1	9,8
17	6,1	7,3	7,2	4,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	8,5	6,9
18	4,0	4,1	4,0	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	3,6
19	1,9	1,3	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,4
20	1,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
Za den (Wh)	109	114	115	81	50	36	22	24	33	25	142	103
Za měsíc (Wh)	2616	2724	2760	1943	1209	867	539	567	790	601	3401	2462

Za rok (Wh)
20 479

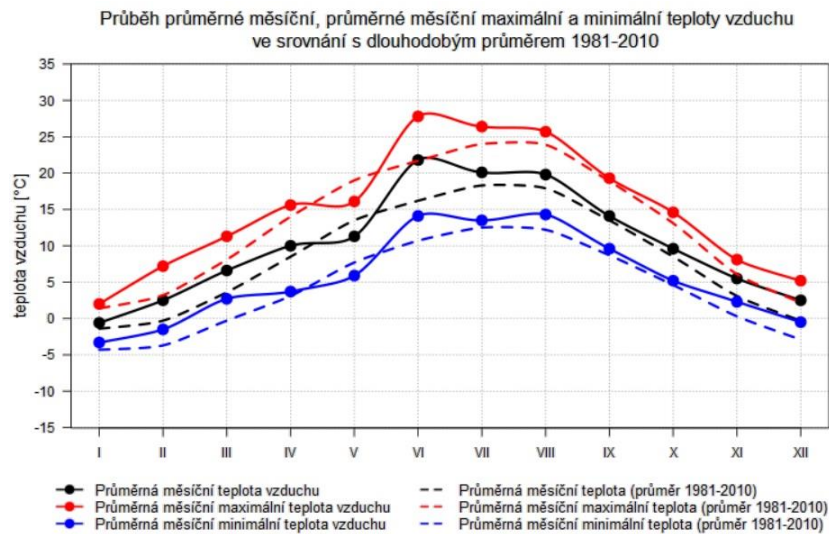
Celý systém byl dimenzovaný na pokrytí energetických nároku v zimních měsících. Z hodnot v tabulkách je vidět že výkonová dimenzace by měla splnit nároky na funkce meteostanice v nepřetržitém fungování.

Povětrností vlivy mají velký vliv na celý systém meteostanice. Vysoké teploty u panelů zvyšují vnitřní odpor a snižují výtěžnost. Nízké teploty pak u panelů způsobují růst krystalů ledu. Tyto krystaly mohou vytvořit trhliny a posléze zničit celý panel. Rychlé střídání teplot může způsobit tepelnou roztažnost, a tím zapříčinit přerušení elektrické vodivosti mezi jednotlivými články solárního panelu. V případě výskytu studeného spoje, vzniklého špatným pájením článků může způsobit omezené fungování panelu, případně kompletní vyřazení



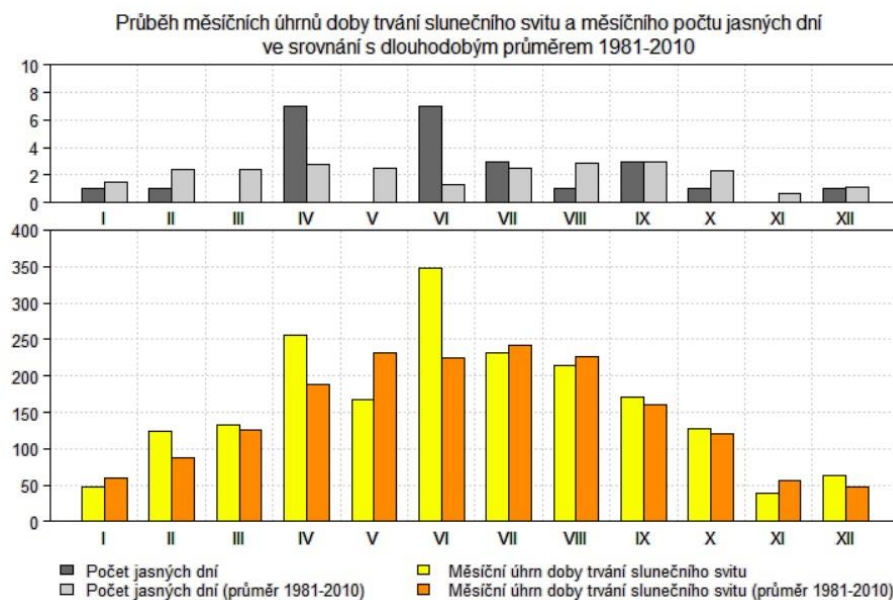
z provozu. Výskyt teplot v průběhu roku, které mohou zapříčinit vznik zmíněných případů, znázorňuje graf níže. [77]

Obr. 65: Graf průměrných měsíčních teplot v horizontu 20 let [77]



Zásadní vliv na energetickou výtěžnost panelu má množství času, které je vhodné pro správnou činnost. Graf níže znázorňuje statistiku slunečných dnů a slunečního svitu v horizontu 20 let, pro dlouhodobou predikci výtěžnosti. [77]

Obr. 66: Grafy jasných dní a doby slunečního svitu během 20 let [77]

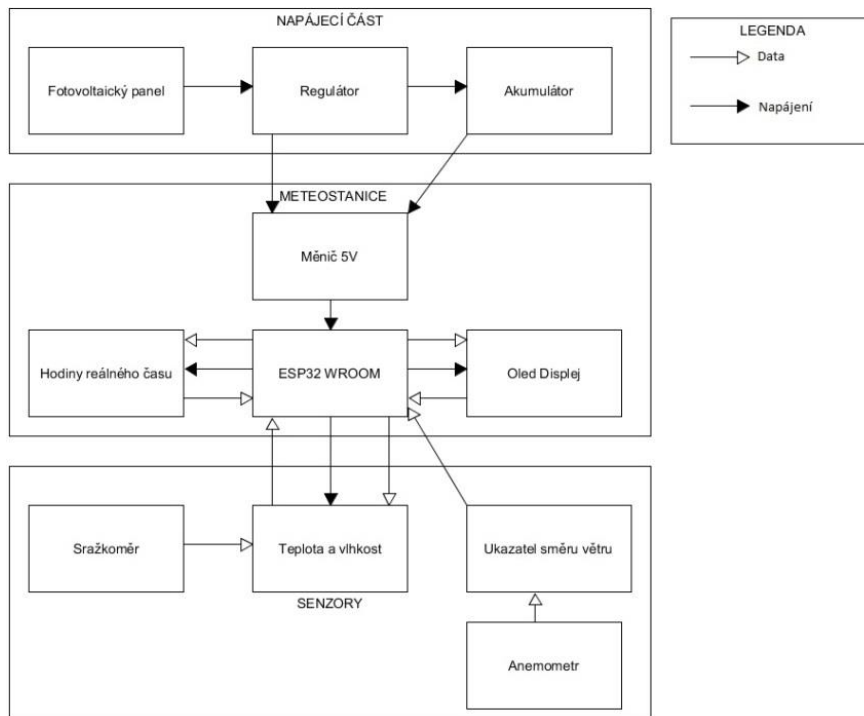


Na základě grafu o počtu jasných a slunečných dní, lze odhadem předpovídat množství energie, kterou potenciálně může panel vyrobit. Pomocí tohoto grafu je pak možné identifikovat části roku, ve kterých je záření méně a podle toho dimenzovat akumulátor.

## 7.4 Schémata zapojení

Následující blokové schéma zobrazuje všechny komponenty meteostanice a nezávislého zdroje napájení. Komponenty jsou umístěny do plastové instalační krabice. Tato krabice je připevněna na zadní straně solárního panelu. Takto vznikne velice kompaktní a jednoduše instalovatelný celek. Realizace desky, plošného spoje meteostanice, je v této výsledné instalaci sestavena na univerzální desce plošných spojů. Jednotlivé spoje jsou realizovány pomocí pájení drátových propojek. Schéma zapojení je velmi podobné s navrženým plošným spojem v kapitole 6.4. Odlišuje se některými použitými konektory a chybějícím komunikačním rozhraním USB, které není na desce meteostanice potřeba. Největší rozdíl je absence lineárního stabilizátoru, který je na kitu ESP32 a je použit na prototypu. Ve schématu je uveden, ale na DPS pro výrobu už není. Nahrání softwaru může být uskutečněno v přípravku před osazením nebo nahráním pomocí různých sběrnic, na IO pinech. Další možnost nahrání je bezdrátově pomocí OTA update přes Wifi nebo bluetooth. Meteostanice je hlavně určená na bezdrátový přenos naměřených dat. Umístění senzoru DHT22 je pro ukázkou uvnitř instalační krabice, protože v případě výroby bude DPS i s DHT22 umístěn v radiačním štítě. Pro reálné použití i v této konfiguraci je připraveno umístění DHT22 do krytu v radiačním štítu, u senzorů meteostanice. Níže je uvedené blokové schéma HW zapojení celé meteostanice. Výstup regulátoru je připojen paralelně na akumulátor a vstupní měnič meteostanice. Toto zapojení umožňuje provoz meteostanice i bez akumulátoru, v případě dostatečného osvětlení panelu. Možnost fungovat bez akumulátoru se dá využít při výměně poškozeného akumulátoru a to bez přerušení měření. Moduly OLED, RTC a senzor DHT22 komunikují po sběrnici, a proto mají dvě datové šipky ve schématu. Sensory srážek, směru a rychlosti komunikují spojitě, a proto mají jednu datovou šipku.

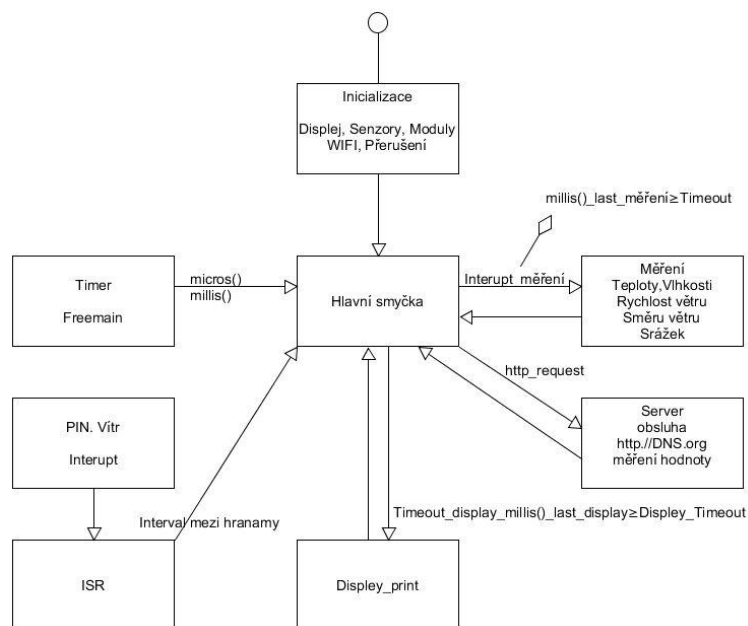
Obr. 67: Blokové schéma HW zapojení meteostanice a napájecí části [Autor Dp]



### 7.4.1 Blokovaná schémata programu

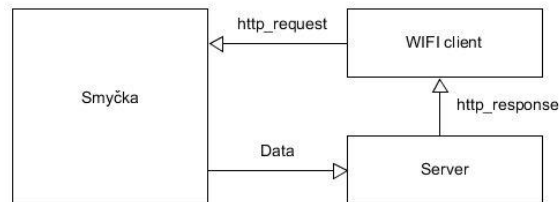
Pro zjednodušené vysvětlení funkce programu je zde uvedena bloková schéma První schéma ukazuje komunikaci periférií s hlavní smyčkou (jednotlivá volání a přerušení.), které procesor zpracovává.

Obr. 68: Blokové schéma programu meteostanice [Autor Dp]



Na blokovém schématu níže je vidět funkce webového serveru, který běží v ESP32. Celý program měření a vyhodnocení je jedna velká smyčka. Wifi client zavolá smyčku, která vyšle data na server a ten je odešle do WIFI klienta. Celý zdrojový kód je uveden v příloze

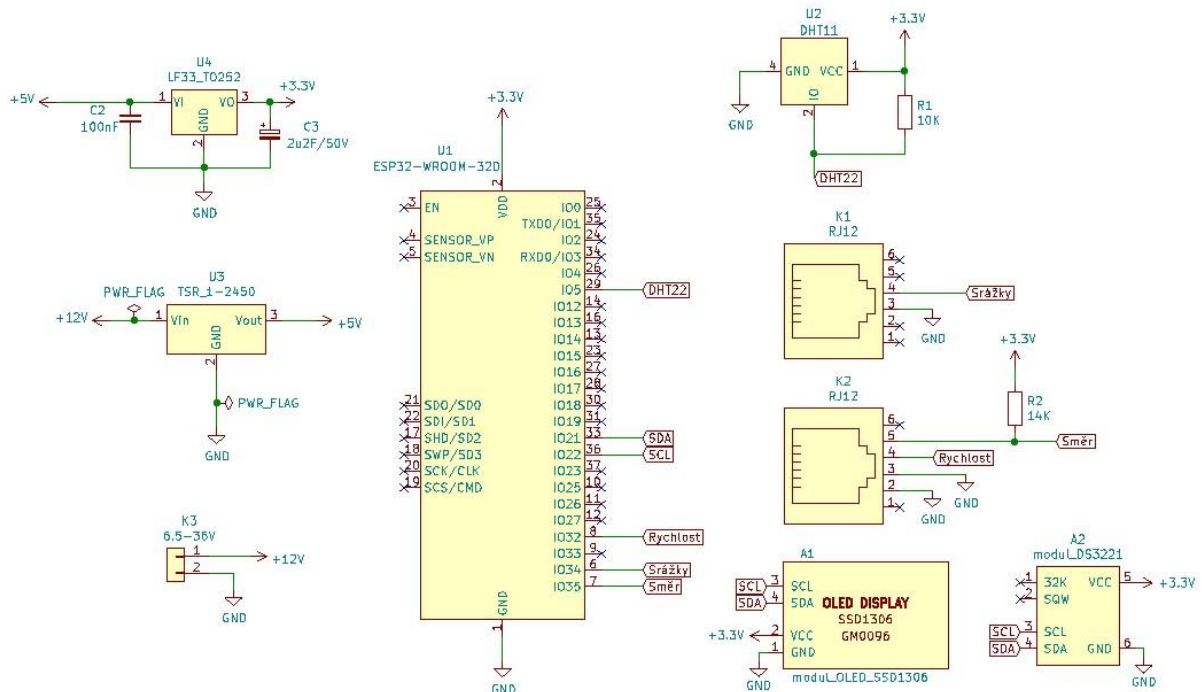
Obr. 69: Blokové schéma funkce webového rozhraní [Autor Dp]



## 7.4.2 Podklady pro výrobu

V této kapitole je uvedeno elektrické schéma a osazovací plán desky plošného spoje meteostanice. pro možnou profesionální sériovou výrobu Pro lepší představu o rozmístění jednotlivých prvků a jejich proporcí je uvedena 3D vizualizace osazeného plošného spoje. Všechna tato zobrazení byla vytvořena v návrhovém programu KiCad.

Obr. 70: Elektrické schéma meteostanice [Autor Dp]

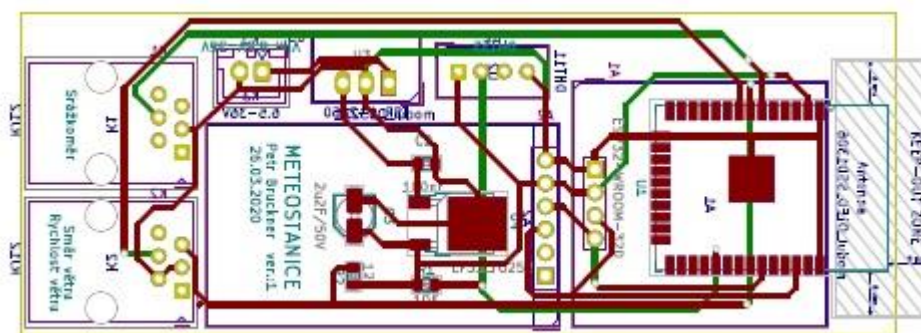


Výsledné zapojení plošného spoje je realizováno pomocí pro dvouvrstvé desky. Deska je svými rozměry dimenzovaná tak, aby se vešla do radiačního štítu stanice WH1080. Všechny součástky a moduly jsou umístěny přímo na desce, případně jsou připojeny přes hřebinkovou lištu, která má rozteč 2,54 mm. Senzory jsou připojeny, stejně jako u původní



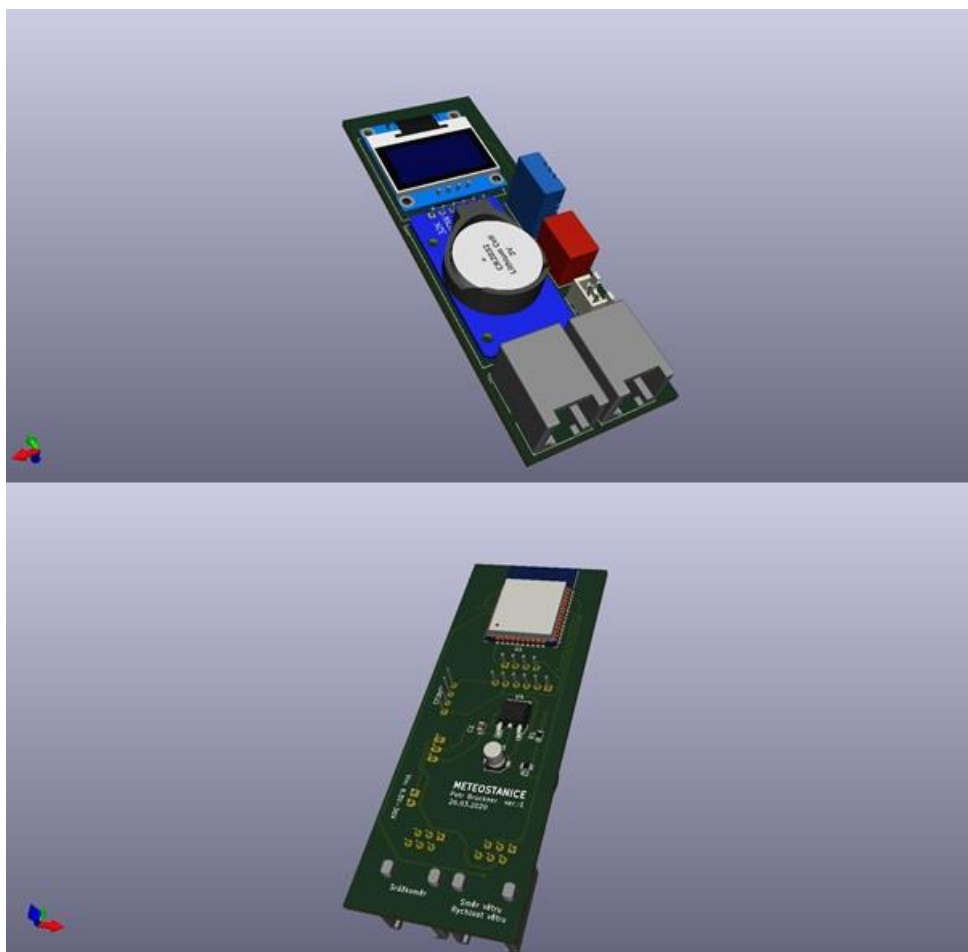
stanice WH1080, pomocí konektoru RJ11. Senzory, vlhkosti a teploty DHT22, jsou připojeny pomocí hřebíkové lišty s roztečí 2 mm. Pozice DHT22 může být přímo na desce meteostanice nebo může být samostatně umístěn do pouzdra radiačního štítu meteostanice WH1080. Napájení DHT22 je zapojeno přes konektor JST XB, který má rozteč 2,5 mm. Použitý měnič dovoluje použití napájecího napětí v rozmezí od 6,5 V do 36 V. Osazením jiného měniče nebo změnou způsobu napájení lze docílit snížení napájení na minimální možnou úroveň 3,3 V.

*Obr. 71: Deska plošného spoje meteostanice [Autor Dp]*



Pro lepší názornost, je zde reálná 3D vizualizace horní a spodní strany desky plošného spoje. 3D vizualizace může usnadnit práci při ručním osazování součástek a modulů, které jsou na desce umístěné.

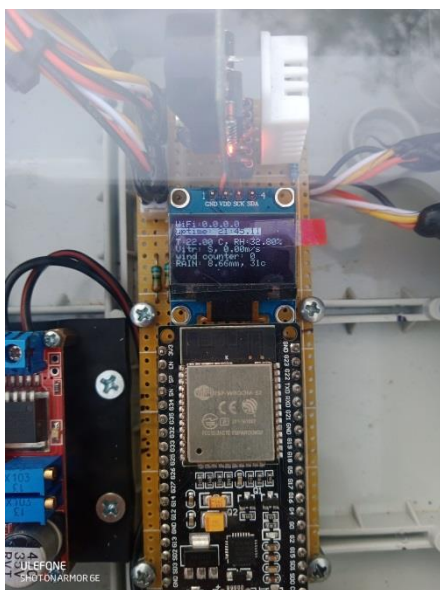
Obr. 72: 3D vizualizace osazené desky meteostanice [Autor Dp]



## 7.5 Reálné provedení prototypu

Výsledná realizace citlivých elektronických komponentů, byla naistalována do elektroinstalační skříně s krytím IP55. Tato úroveň zabraňuje vniku cizího tělesa o velikosti prachu a dotyku drátem. Odolnost vůči vodě je do úrovně tryskající. Tato odolnost zajišťuje dostatečnou ochranu proti dešti. [78]

*Obr. 73: Realizace - pohled na instalační krabici s akumulátorem a elektronikou [Autor Dp]*



*Obr. 74: Realizace - pohled na zadní stranu panelu s připojeními senzory [Autor Dp]*



*Obr. 75: Realizace – pohled na přední stranu panelu s připojeními senzory [Autor Dp]*



## 7.6 Datový výstup měřených hodnot

Meteostanice dokáže naměřené hodnoty zobrazit dvojím způsobem. První způsob je přímo na ní, pomocí OLED displeje a druhý je bezdrátový, pomocí webového rozhraní. Vzorkovací frekvence odesílání naměřených dat je po pěti sekundách. Na obrázku níže jsou zobrazené naměřené data z meteostanice.

*Obr. 76: Displej meteostanice [Autor Dp]*



Jsou zobrazena data ze snímačů teploty a vlhkosti, výšky srážek, rychlosti a směru větru. Další zobrazená data jsou IP adresa meteostanice a čas běhu. Zobrazené informace na webovém rozhraní jsou skoro stejné, jen zde není zobrazena IP adresa.

Obr. 77: Zobrazení naměřených hodnot ve webovém rozhraní [Autor Dp]



Na obrázku níže je vidět HTML kód webové stránky, kterou vytváří ESP32. V kódu jsou názorně vidět hodnoty proměnných vyčítané ze senzorů meteostanice.

Obr. 78: HTML kód webové stránky [Autor Dp]



## 8 Vyhodnocení a závěr

Celý systém je koncipován jako ostrovní, s co nejmenší možnou údržbou a pro celoroční použití. Z uvedených důvodů bylo při návrhování dbáno na nejvyšší spolehlivost, a to i při špatných povětrnostních vlivech. Zohledněno bylo i střídání ročních období. Kvůli možnosti nasazení na těžko přístupná místa je systém schopen pracovat až několik dní bez hlavního zdroje energie, který je pro celý systém realizován fotovoltaickým panelem. Za nepříznivých podmínek dokáže systém fungovat až čtyři dny pouze z akumulátoru, za optimalních až týden.

Neoptimální podmínky mohou nastat například překrytím plochy panelu cizím objektem (sníh, prach nebo jiné nečistoty). Solární zdroj je z tohoto důvodu dimenzovaný a navržený na nejhorší možný případ. Ten může nastat v době zimního slunovratu, kdy slunce svítí pouze malou část dne. Zároveň mohou nastat takové povětrnostní podmínky, které by mohly ještě více snížit výtěžnost slunečního záření, jako je mlha nebo husté sněžení. Výkon solárního zdroje dokáže dobít akumulátor i při relativně krátkém vystavení slunci. Ovládací prvek ESP32 má také dostatek potenciálu na možnost rozšíření o další funkcionality.

Data z meteostanice lze přenášet bezdrátově na vzdálenost kolem 50 m, v závislosti na okolních podmínkách. Plně bezdrátové řešení usnadňuje náročnost instalace na pouhé mechanické přikotvení celého setu na místo určení. Zadání bylo splněno v celém rozsahu.



## Seznam použité literatury

- [1] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny Co to je fotovoltaika?, 2020. [www.cne.cz.  
http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/](http://www.cne.cz/http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/) (accessed April 09, 2020).
- [2] RICH MODULE RS-M30 30Wp [www.richsolar.com](http://www.richsolar.com) NOTE This publication summarizes product warranty and specifications, which are subject to change without notice. Additional information may be found on our web site: MONO-CRYSTALLINE SOLAR PANEL. [db.photovoltaikeforum.com](http://db.photovoltaikeforum.com).  
[https://db.photovoltaikeforum.com/PvForum/api/download/1/15937/1/pdf/15937\\_1\\_RS\\_M30](https://db.photovoltaikeforum.com/PvForum/api/download/1/15937/1/pdf/15937_1_RS_M30) (accessed April 09, 2020), ©RICH Solar 2008.
- [3] Teorie fotovoltaiky, 2009. [www.elektřinazestřechy.cz](http://www.elektřinazestřechy.cz).  
<http://www.elektřinazestřechy.cz/fotovoltaika.aspx> (accessed April 09, 2020), Copyright © 2009 Isofen Energy s.r.o..
- [4] Tomáš, K. Ekologická zátěž vzniklá výrobou, provozem a likvidací fotovoltaických článků. DIPLOMOVÁ PRÁCE, ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, Plzeň, 2012.
- [5] Horský, P. Univerzitní příprava gymnaziálních učitelů fyziky (se zvláštním zřetelem ke kvantové mechanice). Diplomová práce, Masarykovy univerzita, Brno, 1996.
- [6] Types of solar panels, 2020. [www.energysage.com](http://www.energysage.com).  
<https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/> (accessed April 09, 2020), Last updated 1/21/2020 All Rights Reserved. Copyright © 2009 - 2020.
- [7] 7 Different Types of Solar Panels Explained, 2020. [www.greenmatch.co.uk](http://www.greenmatch.co.uk).  
<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels> (accessed April 09, 2020).
- [8] Typy solárních panelů: Znáte křemíkový, tenkovrstvý nebo organický?, 11. 5. 2018. [www.eon-solar.cz](http://www.eon-solar.cz). <https://www.eon-solar.cz/blog/2-typy-solarnich-panelu-znate-kremikovy-tenkovrstvy-nebo-organicky> (accessed April 09, 2020).
- [9] Typy solárních panelů – co bychom o nich měli vědět?, 2020. [www.elektřinazeslunce.cz](http://www.elektřinazeslunce.cz).  
<https://www.elektřinazeslunce.cz/faq-typy-solarnich-panelu> (accessed April 09, 2020), © innogy 2020.
- [10] Mihulka, S. Experimentální zařízení vyrábí elektřinu z bezcenného chladu vesmíru, 07.05.2019. [www.osel.cz](http://www.osel.cz). [http://www.osel.cz/10532-experimentalni-zarizeni-vyrabi-elektřinu-z-bezcitneho-chladu-vesmiru\\_1.html](http://www.osel.cz/10532-experimentalni-zarizeni-vyrabi-elektřinu-z-bezcitneho-chladu-vesmiru_1.html) (accessed April 09, 2020).
- [11] Fejfar, A.; Ledinský, M.; Wagner, V.; et al. Potenciál využití fotovoltaických zdrojů ve světě a Česku, 09.12.2017. [www.osel.cz](http://www.osel.cz). <http://www.osel.cz/9682-potencial-vyuziti-fotovoltaickych-zdroju-ve-svete-a-cesku.html> (accessed April 09, 2020).
- [12] Budín, J. SolarPower Europe: Globální výkon FVE přesáhne do roku 2022 hranici 1000 GW, 2019.5.24. [oenergetice.cz](http://oenergetice.cz). <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/solarpower->

- [europe-globalni-vykon-fve-presahne-roku-2022-hranici-1000-gw](#) (accessed April 09, 2020).
- [13] Solární (fotovoltaické) články, 2020. [www.cez.cz](http://www.cez.cz).  
<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm> (accessed April 09, 2020).
- [14] Jiří, V. Luxmetr. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2011.
- [15] Diody, 2011.12.20.. [svet-it.blogspot.com](http://svet-it.blogspot.com). <http://svet-it.blogspot.com/2011/12/diody.html> (accessed April 09, 2020).
- [16] Jankůj, T. ENERGETICKÉ ŘEŠENÍ RODINNÉHO DOMU S VYUŽITÍM SOLÁRNÍ ENERGIE. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, BRNO, 2017.
- [17] Meteostanice Davis Vantage Vue - 6250EU. [www.meteoshop.cz](http://www.meteoshop.cz).  
<https://www.meteoshop.cz/produkt/meteostanice-davis-vantage-vue-6250eu/466/> (accessed April 09, 2020).
- [18] Fotodioda. [eluc.kr-olomoucky.cz](http://eluc.kr-olomoucky.cz). <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/611> (accessed April 09, 2020).
- [19] Vysílač vnější jednotky k meteo WH1080 a WH1090. [www.hadex.cz](http://www.hadex.cz).  
<https://www.hadex.cz/t118-vysilac-vnejsi-jednotky-k-meteo-wh1080-a-wh1090/> (accessed April 09, 2020).
- [20] Vnější mechanické díly k meteo WH1080 a WH1090. [www.hadex.cz](http://www.hadex.cz).  
<https://www.hadex.cz/t110-vnejsi-mechanicke-dily-k-meteo-wh1080-a-wh1090/> (accessed April 09, 2020).
- [21] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz).  
<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310> (accessed April 09, 2020).
- [22] IX. PORUCHY KRYSTALOVÝCH STRUKTUR. [www.xray.cz](http://www.xray.cz).  
<https://www.xray.cz/krystalografie/str09a.htm> (accessed April 09, 2020).
- [23] Fotovoltaický panel IBC PolySol 260CS. [www.solarniexperti.cz](http://www.solarniexperti.cz).  
[https://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/fotovoltaicky-panel-ibc-polysol-260cs/fotovoltaicky\\_panel\\_ibc\\_polysol\\_-260cs/](https://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/fotovoltaicky-panel-ibc-polysol-260cs/fotovoltaicky_panel_ibc_polysol_-260cs/) (accessed April 04, 2020).
- [24] Types of Crystalline silicon cells. [www.tindosolar.com.au](http://www.tindosolar.com.au).  
<https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/> (accessed April 09, 2020), ©2020 Tindo Solar.
- [25] LIBRA, M. – POULEK, V.: *Fotovoltaická transformace energie*. Elektro 2/2010.
- [26] APPLEBYARD, D.: *Recyklace PV materiálů*. Alternativní energie, 5/2009, s. 18–21.
- [27] Organic and solution-processed tandem solar cells with 17.3% efficiency. [science.sciencemag.org](http://science.sciencemag.org). <https://science.sciencemag.org/content/361/6407/1094> (accessed April 09, 2020), © 2020 American Association for the Advancement of Science. All



rights reserved. AAAS is a partner of HINARI, AGORA, OARE, CHORUS, CLOCKSS, CrossRef and COUNTER..

- [28] Amorton – amorfní křemíkové solární články. [www.panasonic-electric-works.com/cz/](http://www.panasonic-electric-works.com/cz/). <https://www.panasonic-electric-works.com/cz/amorton-amorfní-kremikove-solarni-clanky.htm> (accessed April 09, 2020), © 2020 Panasonic Electric Works Europe AG.
- [29] Výzkum – ultrarychlá dynamika, 2012. Laboratoř terahertzové spektroskopie, Praha. <https://its.fzu.cz/cz/res-uf.htm> (accessed April 09, 2020), Fyzikální ústav AV ČR.
- [30] Czochralski Crystal Growth. Galaxy Compound Semiconductors, Inc.. <http://www.galaxywafer.com/galaxy/technology/crystal-growth/> (accessed April 09, 2020), © Galaxy Compound Semiconductors, Inc. 2020.
- [31] American Institute of Physics 6. 5. 2019, Applied Physics Letters 1140: 161102.
- [32] Stabilizátory napětí. [www.kondik.cz](http://www.kondik.cz). <https://www.kondik.cz/stabilizator> (accessed April 09, 2020), © 2019 Lukáš Hliněný - KONDIK.cz, všechna práva vyhrazena..
- [33] Klimek, I. P.; Bechník, Ph.D., I. B. Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte?, 2013. [oze.tzb-info.cz](http://oze.tzb-info.cz). <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite> (accessed April 09, 2020), © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2020, všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399.
- [34] Fotovoltaický střídač - účinnost není vše Důležitější je maximální výnos energie., 2009. [oze.tzb-info.cz](http://oze.tzb-info.cz). <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse> (accessed April 09, 2020), © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2020, všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399.
- [35] Hammerbauer, Ph.D, D. 1. Akumulátory NiFe a ni. [www.malavoda.cz](http://www.malavoda.cz). [http://www.malavoda.cz/akum\\_nife\\_nicd.pdf](http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf) (accessed April 09, 2020).
- [36] Informace k olověným (Pb) akumulátorům SLA, 2020. [www.avacom.cz](http://www.avacom.cz). <https://www.avacom.cz/popis-pb-akumulatoru> (accessed April 09, 2020), ©1997-2020 AVACOM s.r.o..
- [37] Digitální teploměr a vlhkoměr s DHT22. [www.gme.cz/](http://www.gme.cz/). <https://www.gme.cz/digitalni-teplomer-a-vlhkomer-s-dht22> (accessed April 09, 2020), Copyright 1990–2020 GM electronic, spol. s.r.o..
- [38] Modul RTC DS3231, I2C a 32kb flash. [www.gme.cz](http://www.gme.cz). <https://www.gme.cz/modul-rtc-ds323-i2c-a-32kb-flash> (accessed April 09, 2020), Copyright 1990–2020 GM electronic, spol. s.r.o..
- [39] Šrubařová, P. Jak funguje olověný akumulátor?, 2017. [oze.tzb-info.cz](http://oze.tzb-info.cz). <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator> (accessed April 09, 2020), © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2020, všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399.

- [40] Olověné baterie pro ukládání solární energie, 2015. [www.solarniexperti.cz](http://www.solarniexperti.cz).  
<https://www.solarniexperti.cz/olovene-akumulatory-pro-ostrovni-a-hybridni-fotovoltaicke-systemy/> (accessed April 09, 2020).
- [41] Michal, M. Superkondenzátory místo akumulátorů?, 2015. [robodoupe.cz](http://robodoupe.cz).  
<http://robodoupe.cz/2015/superkondenzatory-misto-akumulatoru-2/> (accessed April 09, 2020), ©2020 RoboDoupě.
- [42] MITÁŠ Bc., D. VFD ZOBRAZOVAC. Semestrální projekt, VUT Brno, 2010.
- [43] Jak LED diody fungují. [eshop.ledsolution.cz](http://eshop.ledsolution.cz). <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/> (accessed April 09, 2020), 2020 © LED Solution.
- [44] Říčný, CSc. Prof. Ing., V. Co to je OLED a čím se televizory s touto technologií liší od LCD a plazmy?, 2012. <https://www.lupa.cz>. <https://www.lupa.cz/clanky/co-to-je-oled-a-cim-se-lisi-televizory-lcd-a-led/> (accessed April 09, 2020), ©1998–2020 Internet Info, s.r.o..
- [45] Konvalina, J. LCD a jejich technologie 1 - jak to funguje, 2013. [notebook.cz](http://notebook.cz).  
<https://notebook.cz/clanky/technologie/2013/LCD-1> (accessed April 09, 2020), ©Copyright Viktor Péder 2001 - 2020.
- [46] Lalík, A. OLED - spása displejů?, 2009. [notebook.cz](http://notebook.cz).  
<https://notebook.cz/clanky/technologie/2009/oled> (accessed April 09, 2020), © Viktor Péder 2001-2020.
- [47] Elektronický inkoust = EBD displeje bez trvalého napájení v praxi, 2006. [automatizace.hw.cz](http://automatizace.hw.cz).  
<https://automatizace.hw.cz/clanek/2006042701> (accessed April 09, 2020), ©1997-2014 HW server s.r.o..
- [48] Obvodová rychlost kotouče. [www.gent.cz](http://www.gent.cz). <https://www.gent.cz/obvodova-rychlost-a-otacky-pro-diamantove-nastroje/?fbclid=IwAR3CTYHxRMqLjY8z8evYaHTXqy5WxlvhGWP0qYJJqgOcDO5197UuizZLVa4> (accessed April 09, 2020), ©2016 Eurocon GN, s.r.o..
- [49] KREJČÍ, J. Návrh srážkoměru ERGS 2500. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE, ČVUT v Praze, Praha, 2017.
- [50] sv, J. Meteostanice – měření srážek, rychlosti a směru větru, 2017. [www.vodnici.net](http://www.vodnici.net).  
<https://www.vodnici.net/wiki/meteostanice-mereni-srazek-rychlosti-a-smeru-vetru/> (accessed April 09, 2020).
- [51] Člunkový srážkoměr, 2014. [pajavlkk.blogspot.com](http://pajavlkk.blogspot.com).  
<http://pajavlkk.blogspot.com/2014/03/clunkovy-srazkomer.html> (accessed April 09, 2020).
- [52] Peterka Bc., T. Měření proudových polí v objemu. DIPLOMOVÁ PRÁCE, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Praha, 2017.
- [53] Tůma Mgr., P. Měření srážek. [www.amut.net](http://www.amut.net). <http://www.amut.net/article.php?id=21> (accessed April 09, 2020), © 2006 I code Amut.NET.

- [54] Malý, M. Sběrnice 1-Wire™, 2004. vyvoj.hw.cz. <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbernice-1-wiretm.html> (accessed April 09, 2020), ©1997-2014 HW server s.r.o..
- [55] Cornelius. Battery charging circuit of DS3231 module, 2019. www.onetransistor.eu. <https://www.onetransistor.eu/2019/07/zs042-ds3231-battery-charging-circuit.html> (accessed April 09, 2020), ©2014-2020 One Transistor.
- [56] www.researchgate.net. [https://www.researchgate.net/profile/Griselda\\_Saldana/publication/221928565/figure/fig3/AS:305169641295874@1449769520119/In-photoelectric-effect-a-material-emits-electrons-when-electromagnetic-radiation.png](https://www.researchgate.net/profile/Griselda_Saldana/publication/221928565/figure/fig3/AS:305169641295874@1449769520119/In-photoelectric-effect-a-material-emits-electrons-when-electromagnetic-radiation.png) (accessed April 09, 2020).
- [57] GP series GP 1272. www.csb-battery.com. <https://www.csb-battery.com/upfiles/dow01581581105.pdf> (accessed April 09, 2020), Design according with IEC 61056-1/2: 2012.
- [58] AT24C32/64 datasheet. ww1.microchip.com. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0336.pdf> (accessed April 09, 2020), ©Atmel Corporation 2003.
- [59] Datasheet 128x64 OLED Module SPI 0.96"Graphic Displays,White on Black. www.buydisplay.com. <https://www.buydisplay.com/datasheet-128x64-oled-module-spi-0-96-inch-graphic-displays-white-on-black> (accessed April 09, 2020), © 2003-2020 EastRising Technology Co.,Limited.
- [60] ER-OLED0.96-1 Series Datasheet-Rev2.0, 2015. www.buydisplay.com. [https://www.buydisplay.com/download/manual/ER-OLED0.96-1\\_Series\\_Datasheet.pdf](https://www.buydisplay.com/download/manual/ER-OLED0.96-1_Series_Datasheet.pdf) (accessed April 09, 2020), ER-OLED0.96-1 Series Datasheet-Rev.
- [61] DC/DC ConvertersTSR 0.5 Series, 0.5 A Switching Regulator, 2014. www.tme.eu. <https://www.tme.eu/Document/e4231ea48e52b75197cc4c5e0fa89218/TSR0.5.pdf> (accessed April 09, 2020), ©Traco power.
- [62] Série ViewStar Solární regulátor. www.gme.cz. <https://www.gme.cz/data/attachments/czn.522-058.1.pdf> (accessed April 09, 2020), www.epsolarpv.com Model číslo: 201130372984.3.
- [63] Solar Panels. richsolar.com. <https://richsolar.com/collections/solar-panels> (accessed April 09, 2020), © 2020 RICH SOLAR.
- [64] DS3231Extremely Accurate I2C-IntegratedRTC/TCXO/Crysta, 2015. datasheets.maximintegrated.com. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf> (accessed April 09, 2020), ©2015Maxim Integrated Products, Inc..
- [65] Digital relative humidity & temperature sensor RHT03 (DHT22). cdn.sparkfun.com. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/RHT03.pdf> (accessed April 09, 2020), ©MaxDetect Technology Co.Ltd..

- [66] ESP-32S, 2.4GHz Dual-Mode, WiFi+Bluetooth. [www.gme.cz](http://www.gme.cz).  
<https://www.gme.cz/esp32-esp-32s-2-4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth> (accessed April 09, 2020), 1990–2020 GM electronic, spol. s.r.o..
- [67] ESP32 Series Datasheet. [www.espressif.com](http://www.espressif.com).  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)  
 (accessed April 09, 2020), Version 3.3 Espressif Systems Copyright © 2020.
- [68] Tracer-AN Series MPPT Solar Charge Controller. [www.epsolarpv.com](http://www.epsolarpv.com).  
<https://www.epsolarpv.com/upload/cert/file/1811/Tracer-AN-SMS-EL-V1.0.pdf>  
 (accessed April 09, 2020), BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO., LTD..
- [69] Napájecí modul, step-down měnič, nabíječka 5A CC/CV. [www.hadex.cz](http://www.hadex.cz).  
<https://www.hadex.cz/m409-napajeci-modul-step-down-menic-nabijecka-5a-ccc/>  
 (accessed April 09, 2020), Softima s.r.o. © 2011-2020.
- [70] XLSEMI 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter XL4015. [www.xlsemi.com](http://www.xlsemi.com).  
<http://www.xlsemi.com/datasheet/XL4015%20datasheet.pdf> (accessed April 09, 2020).
- [71] Advanced Monolithic 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR Systems AMS1117. [html.alldatasheet.com](http://html.alldatasheet.com). <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/205679/ADMOS/AMS1117/150/1/AMS1117.html> (accessed April 09, 2020).
- [72] MPPT Charge Controller Tracer1210. <https://www.epsolarpv.com>.  
<https://www.epsolarpv.com/product/3.html> (accessed April 09, 2020), © BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO., LTD.
- [73] Průvodce světem olovených akumulátorů. <http://www.extol.cz>.  
<http://www.extol.cz/media/documents/417302.pdf> (accessed April 09, 2020).
- [74] Hammerbauer, Ph.D, Doc, Ing., J. Olovené akumulátory. [canov.jergym.cz](http://canov.jergym.cz).  
<http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf> (accessed April 09, 2020).
- [75] 15 let pro olovený akumulátor? 8 tipů jak na to, 2016. [vyvoj.hw.cz](http://vyvoj.hw.cz).  
<https://vyvoj.hw.cz/napajeni/bezudrzbove-olovene-akumulatory-panasonic-prekvapivou-zivotnosti.html> (accessed April 09, 2020), © 1997 - 2014 HW server s.r.o..
- [76] Vala Ing., Z. Nabíjení akumulátorů. [www.sossoukyjov.cz](http://www.sossoukyjov.cz).  
[http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY\\_32\\_INOVACE\\_6a04.pdf](http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a04.pdf) (accessed April 09, 2020), SSN 1802-4785.
- [77] Historická data - meteorologie a klimatologie. [portal.chmi.cz](http://portal.chmi.cz).  
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data> (accessed April 09, 2020), Certifikáty ISO 9001.
- [78] Bureš, M. Tabulka krytí IP (popis stupňů), 2003. [elektrika.cz](http://elektrika.cz).  
<https://elektrika.cz/data/clanky/krip030918> (accessed April 09, 2020), © 1998-2020, Elektrika.info s.r.o..
- [79] General Purpose Plastic Rectifier. <http://www.vishay.com>.  
<http://www.vishay.com/docs/88516/1n5400.pdf> (accessed April 09, 2020), © 2019 VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. ALL RIGHTS RESERVED.

- [80] Zehula CSc.ing.Doc., K. *Snímače neeletrických veličin*, 1.st ed.; Technické literatury: Praha, 1977.
- [81] Krejčířík, A. DC/DC měniče, 1.st ed.; BEN - technická literatura: Praha, 2002., ISBN 80-7300-045-8]
- [82] Bohuslávek prof. Ing. CSc., Z. 10. Přednáška\_vlhkost\_pH. Přednáška z předmětu, Senzory pro měření a regulaci, Výsledky hledání Webové výsledky s odkazy na podstránky Česká zemědělská univerzita v Praze ČZU, 2010.
- [83] Siddiq, A. Dye Sensitized Solar Cell dan Tokoh Penemunya (M. Gratzel), 2015. warstek.com. <https://warstek.com/2015/04/01/dsscobelkimia/> (accessed April 09, 2020), Copyright warstek.com 2020.
- [84] BRINDL, P. Zapojení aktivního stabilizátoru s diskretními součástkami.. eluc.kr-olomoucky.cz. <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/659> (accessed April 09, 2020).
- [85] Lineární měnič napětí 24/12, 5A s ACC kabelem - 34105ACC. usr/www.elcar.cz. [https://cdn.myshoptet.com/usr/www.elcar.cz/user/shop/big/25211\\_linearni-menic-napeti-24-12--5a-s-acc-kabelem-34105acc.jpg?5d95ab07](https://cdn.myshoptet.com/usr/www.elcar.cz/user/shop/big/25211_linearni-menic-napeti-24-12--5a-s-acc-kabelem-34105acc.jpg?5d95ab07) (accessed April 09, 2020), Copyright 2020 Elcar.cz
- [86] Furr, R. www.vcalc.net. <http://www.vcalc.net/images2/vfdm4.gif> (accessed April 09, 2020).
- [87] www.electronics-tutorials.ws. <https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/capacitor-cap50.gif> (accessed April 09, 2020), All contents are Copyright © 2020 by AspenCore..
- [88] OLED display 0,96" 128x64, I2C. <https://www.gme.cz>. <https://www.gme.cz/oled-display-0-96-128x64> (accessed April 09, 2020), Copyright 1990–2020 GM electronic, spol. s.r.o..
- [89] Princip fotovoltaiky Fotoelektrický jev ...objevil Alexandre Edmond Becquerel v roce 1839.. www.solartec.cz. <https://www.solartec.cz/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/princip-fotovoltaiky> (accessed April 09, 2020), Copyright 2016 SOLARTEC HOLDING a.s..

[90] [www.electronics-tutorials.ws. https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/capacitor-cap50.gif](https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/capacitor-cap50.gif) (accessed April 09, 2020).

[91] *Energieeffiziente E-Paper-Displays*, 2017. [www.electronics-tutorials.ws. https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/capacitor-cap50.gif](https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/capacitor-cap50.gif) (accessed April 09, 2020), © Hüthig GmbH.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Excitace fotonů [56] .....	3
Obr. 2: Graf instalovaného výkonu solárních panelů {12} .....	4
Obr. 3: Voltampérová charakteristika fotodiody [15] .....	5
Obr. 4: Fotovoltaický režim fotodiody [18] .....	5
Obr. 5: Odporový režim fotodiody [18] .....	5
Obr. 6: Fotovoltaický článek v řezu [89] .....	6
Obr. 7: Polykrystalický solární panel [23] .....	9
Obr. 8: Monokrystalický ingot [24] .....	9
Obr. 9: Monokrystalický článek [1] .....	9
Obr. 10: Kroky Czochralského metody [30] .....	10
Obr. 11: Amorfni fotovoltaický panel [26] .....	12
Obr. 12: Grätzelův článek s jeho vynálezcem [12] .....	12
Obr. 13: Princip Grätzelova článku [29] .....	13
Obr. 14: Experimentální článek [10] .....	14
Obr. 15: Principiální schéma lineárního stabilizátoru [84] .....	18
Obr. 16: Lineární stabilizátor [85] .....	18
Obr. 17: PWM solární regulátor [autor Dp] .....	19
Obr. 18: Nabíjecí charakteristika MPPT regulátoru [72] .....	20
Obr. 19: Principiální schéma lineárního stabilizátoru [84] .....	20
Obr. 20: Schéma zapojení ostrovního FV systém [autor Dp] .....	21
Obr. 21: Schéma zapojení při měření solárních regulátorů [autor Dp] .....	21
Obr. 22: Účinnost PWM regulátoru [autor Dp] .....	22
Obr. 23: Graf účinnosti MPPT regulátoru [autor Dp] .....	23
Obr. 24: Principiální schéma měniče napětí DC/DC zleva snižující napě [81]t (BUCK) a zvyšující napětí (BOOST) [81] .....	24
Obr. 25: Graf závislosti počtu cyklů a hloubky vybití [40] .....	25
Obr. 26: Superkondenzátor [90] .....	26
Obr. 27: VFD zobrazovač [86] .....	28
Obr. 28: LED zobrazovač [43] .....	28
Obr. 29 LCD bod [45] .....	29
Obr. 30: OLED bod [44] .....	29
Obr. 31: EPD bod [91] .....	30
Obr. 32: Popis požadavku na řídicí prvek [Autor Dp] .....	32
Obr. 33: ESP32 WROOM 32 kit [66] .....	33
Obr. 34: Modul OLED GM0096 [88] .....	34
Obr. 35: Modul reálných hodin DS3231 [38] .....	35
Obr. 36: Zapojení senzorů metostanice WH1080 [50] .....	35
Obr. 37: Senzory meteostanice [50] .....	35
Obr. 38: Anemometr [50] .....	36
Obr. 39: Vnitřek ukazatele směru větru [50] .....	37
Obr. 40: Zapojení senzorů metostanice WH1080 [50] .....	37
Obr. 41: Schéma dělič napětí pro měření ukazatele směru větru [Autor Dp] .....	38
Obr. 42: Zdrojový kód ukazatel směru větru konstanty [Autor Dp] .....	38
Obr. 43: Zdrojový kód ukazatel směru větru převod hodnot ADC [Autor Dp] .....	39
Obr. 44: vyčítání z pinu na AD převodník [Autor Dp] .....	39
Obr. 45: Člunkový srážkoměr s popisem [53] .....	40
Obr. 46: Člunkový srážkoměr bez krytu [50] .....	40
Obr. 47: Sorpční psychrometr [82] .....	41



<i>Obr. 48: Senzor teploty a vlhkosti DHT22 [37]</i> .....	41
<i>Obr. 49: Popis komunikace OneWire sběrnice[54]</i> .....	42
<i>Obr. 50: Graf příkonové náročnosti bez drátové komunikace[Autor Dp]</i> .....	43
<i>Obr. 51: Graf ztrát na měniči a stabilizátoru [Autor Dp]</i> .....	46
<i>Obr. 52: Graf výstupního proudu a výkonu z akumulátoru podle režimu ESP32 [Autor Dp]</i> .	47
<i>Obr. 53: Schéma měření skutečné spotřeby[autor Dp]</i> .....	48
<i>Obr. 55: Vnitřek AGM akumulátoru [75]</i> .....	49
<i>Obr. 54: Použitý olověný AGM akumulátor[Autor Dp]</i> .....	49
<i>Obr. 57: Kapacity podle napětí [76]</i> .....	50
<i>Obr. 58: Graf závislosti kapacitě na teplotě akumulátoru [73]</i> .....	51
<i>Obr. 59: Nabíjecí modul XL4015 [69]</i> .....	52
<i>Obr. 60: Schéma zapojení při měření měniče XL4015 [Autor Dp]</i> .....	53
<i>Obr. 61: Graf účinností modulu XL4015 [Autor Dp]</i> .....	54
<i>Obr. 62: Graf závislosti solární konstanty na výkon panelu [2]</i> .....	56
<i>Obr. 63: Technický výkres solárního panelu [2]</i> .....	56
<i>Obr. 64: Schéma měření napětí na prázdko a měření proudu na krátko z panelu [Autor Dp]</i>	57
<i>Obr. 65: Graf teoretického výkonu v průběhu roku a různých náklonech [12]</i> .....	58
<i>Obr. 66: Graf průměrných měsíčních teplot v horizontu 20 let [77]</i> .....	61
<i>Obr. 67: Grafy jasných dní a doby slunečního svitu během 20 let [77]</i> .....	61
<i>Obr. 68: Blokové schéma HW zapojení meteostanice a napájecí části [Autor Dp]</i> .....	63
<i>Obr. 69: Blokové schéma programu meteostanice [Autor Dp]</i> .....	63
<i>Obr. 70: Blokové schéma funkce webového rozhraní [Autor Dp]</i> .....	64
<i>Obr. 71: Elektrické schéma meteostanice [Autor Dp]</i> .....	64
<i>Obr. 72: Deska plošného spoje meteostanice [Autor Dp]</i> .....	65
<i>Obr. 73: 3D vizualizace osazené desky meteostanice [Autor Dp]</i> .....	66
<i>Obr. 74: Realizace - pohled na instalační krabici s akumulátorem a elektronikou [Autor Dp]</i> .....	67
<i>Obr. 75: Realizace - pohled na zadní stranu panelu s připojeními senzory [Autor Dp]</i> .....	67
<i>Obr. 76: Realizace – pohled na přední stranu panelu s připojeními senzory [Autor Dp]</i> .....	68
<i>Obr. 77: Displej meteostanice [Autor Dp]</i> .....	68
<i>Obr. 78: Zobrazení naměřených hodnot ve webovém rozhraní [Autor Dp]</i> .....	69
<i>Obr. 79: Html kód webové stránky [Autor Dp]</i> .....	69

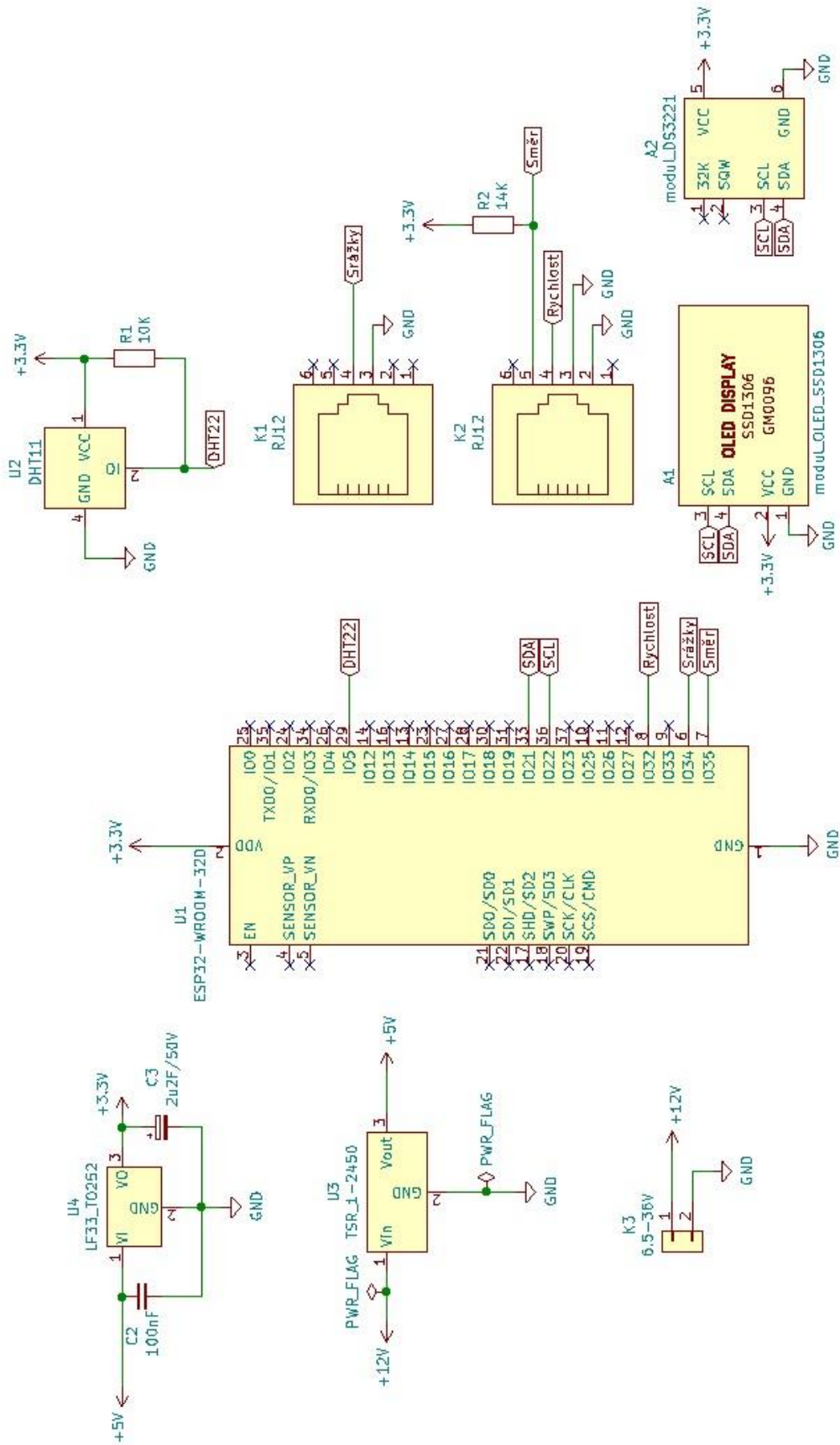
## Seznam tabulek

Tab. 1: Měření na PWM regulátoru [autor Dp] .....	22
Tab. 2: Měření na MPPT regulátoru [autor Dp] .....	22
Tab. 3: Měřené vlastnosti ukazatele směru větru a parametry na měřicím děliči [Autor Dp]	37
Tab. 4: Spotřeba modemů integrovaného obvodu ESP32 [67] .....	43
Tab. 5: Spotřeba jader integrovaného obvodu ESP32 [67] .....	43
Tab. 6: Spotřeba integrovaného obvodu ESP32 v utlumených režimech [67] .....	44
Tab. 7: Vypočítaná spotřeba modulů s senzorů [Autor Dp] .....	44
Tab. 8: Vypočítaná spotřeba integrovaného obvodu ESP32 napájeného přímo 3,3 V, v různých režimech s moduly a senzory [Autor Dp] .....	44
Tab. 9: Vypočítaná spotřeba celého kitu ESP32 s moduly a senzory, napájeného 5V v různých režimech přes stabilizátor [Autor Dp] .....	45
Tab. 10: Spotřeba celého kitu ESP32 s moduly a senzory, napájeného 12,5 V přes stabilizátor a měnič, v různých režimech [Autor Dp] .....	45
Tab. 11 Vypočítaná spotřeba meteostanice, která je odebírána z akumulátoru v různých režimech ESP32 [autor Dp] .....	47
Tab. 12: Vliv hloubky vybití na životnost akumulátoru [76] .....	50
Tab. 14: Parametry modulu XL4015 [Autor Dp] .....	52
Tab. 15: Měření vlastností nabíjecího modulu XL4015 a výpočet hodnoty průměrné evropské účinnosti [Autor Dp] .....	54
Tab. 16: Základní parametry fotovoltaického panelu [2] .....	55
Tab. 17: Hodnoty průměrné intenzity slunečního záření [12] .....	58
Tab. 18: Hodnoty intenzity slunečního záření v určitých hodinách dne a měsíce [12] .....	59
Tab. 19: Vypočítané hodnoty výkonu a dodané energie FV panelu 30 Wp v určitých hodinách dne a měsíce při 1000 W/m <sup>2</sup> [Autor Dp] .....	59
Tab. 20: Vypočítané hodnoty výkonu a dodané energie FV panelu 30 Wp v určitých hodinách dne a měsíce při 800 W/m <sup>2</sup> [Autor Dp] .....	60

## Rejstřík zkratek

Soupis použitých zkratek	
Zkratky	Vysvětlení
FV	FotoVoltaický (panel, jev)
WIFI	Wireless Fidelity
tvz.	Tak ZVané
např.	Například
DSSC	Dye Sensitized Solar Cell
VA	VoltApérová charakteristika
PWM	Pulse Width Modulation
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MPP	Maximum Power Point
RS232	Recommended Standard 232
RS485	Recommended Standard 485
USB	Universal Serial Bus
AGM	Absorbed Glass Matt
DC/DC	Direct Current/Direct Current měnič
PFC	Power FaCtor
DOD	Depth Of Discharge
NIMH	Nikl Metal Hydrit
NICD	Nikl Cadmium
EDLC	Electric Double Layer Capacitor
VFD	Vacuum Fluorescent Display
LED	Light Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
OLED	Organic Light Emitting Diode
RGB	Red Green Blue
EPD	Electronic Paper Display
FTDI	Future Technology Devices International
ADC	Analog to Digital Converter
GPIO	General Purpose Input Output
DAC	Digital ro Analog Converter
I <sup>2</sup> C	Inter Integrated Circuit
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
CAN	Controller Area Network
MAC	Media Access Control
RAM	Random Access Memory
KB	KiloByte
SRAM	Static Random Access Memory
RISC	Reduced Instruction Set Computer
ROM	Read Only Memory
SPI	Serial Peripheral Interface
SW	SoftWare
HW	HardWare
AM	Ante meridiem
PM	post meridiem
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
CIS	Cooper-Indium-diSelenid
TIA	TransImpedance amplifier
FFT	Fast Fourier Transform

# Přílohy



```

/*
  Meteo station
*/

#include <WiFi.h> /* dulezite je zneskodnit wifi knihovnu od arduina */
#include "DHT.h" /* DHT sensor library od adafruit - dinstaluj se i dalsi zavislosti*/

#include "RTClib.h" /* knihovna pro praci s casem */

/* Display knihovny*/
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <SPI.h> /* pry potrebne pro funkci displaye */

/* Defines */
#define DHTPIN (5) /* pin kde je pripojen cidlo DHT22 */
#define DHTTYPE DHT22 /* typ cidla dht, pr. dht11, dht22 */
#define UPDATE_INTERVAL (2000) /* rychlost vzorkovani */

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

// Declaration for an SSD1306 display connected to I2C (SDA, SCL pins)
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)

/* Vitr */
#define ADC_SMER_PIN (35) /* pin na který je pripojen senzor smeru vetru */
#define WIND_SPEED_PIN (32) /* pin pro anemometr */
#define RAIN_PIN (25) /* pin srazkomeru, pri kazdem napleneni 2.5ml */

/* vzorkovani pinu pro debouncing*/
#define CURRENT (0) /* nynejši stav */
#define PREV (1) /* predchozi stav */
#define SAMP_RATE (20) /* vzorkovaci frekvence pro deboucing pinu */

#define SPEED_SAMPLING_TIME (1000) /* ms nuluju citac rychlosti */
#define RAIN_SAMPLING_TIME (60000) /* 1 minuta */

/* konstanty prepoctu */
#define RAIN_CONST (0.2794) /* 0.2794 mm */
#define WIND_CONST (2.4) /* jeden Hz (jeden pulz za 1 sekundu) znamená rychlost větru 2.4 km/h */

//ada
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

const char* ssid = "Bruky_123";
const char* password = "Bruky";

```

```

const char* password = "Bruky";

/* inicializace dht22 */
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

/* inicializace web serveru */
WiFiServer server(80);

/* RTC DS3231 */
RTC_DS3231 rtc;
DateTime update_time;

volatile unsigned int wind_counter = 0; /* citac pro anemometr */

unsigned long last_update_ms; /* posledni nacteni hodnoty */
unsigned long last_sampupdate_ms; /* pro samplovani vetru */
unsigned long last_speedupdate_ms; /* pro nullovani otacek */
unsigned long last_rainupdate_ms; /* pro nullovani srazek */
unsigned int smer_value; /* hodnota z adc prevodniku pro smer vetru */

/* typicke hodnoty ADC pro jednotlivy smery */
#define DIR_E (130)
#define DIR_SE (410)
#define DIR_S (750)
#define DIR_NE (1385)
#define DIR_SW (2050)
#define DIR_N (2735)
#define DIR_NW (3260)
#define DIR_W (3600)

#define DELTA (200) /* hysterese */

//typedef enum card_dir {Err =0, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW}; /* cardinal direction aka svetove strany*/
typedef enum card_dir {Err =0, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW}; /* svetove strany */
card_dir smer;

/* prototypy funkci */
card_dir get_direction(unsigned int adc_value);
String get_wind_dir_name(card_dir win_dir);

volatile unsigned long wind_time_us;
volatile unsigned long wind_speed_interval; /* nacistane pulsy mezi dvema nabeznymi hranami anemometru */

/* interrupt handlers */
void IRAM_ATTR wind_speed_handler() {

```



```

void IRAM_ATTR wind_speed_handler() {
  // zjisteni intervalu mezi dvema hranami anemometru
  /* 1. odectu aktualni stav citace od predchoziho = interval mezi hranami
   * 2. ulozim si aktualni hodnotu citace do predchozi_hrana
   */
  static volatile unsigned long predchozi = 0; /* stavova mereni */

  wind_speed_interval = micros() - predchozi;
  predchozi = micros();
  //digitalWrite(27, !digitalRead(27));
}

void setup()
{
  /* inicializace a start periferii */
  /* seriový port */
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(F("Meteo Station."));

  /* inicializace RTC*/
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
  } else {
    //rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    update_time = rtc.now();
    Serial.print("RTC cas: ");
    Serial.print(update_time.hour(), DEC);
    Serial.print(":");
    Serial.println(update_time.minute(), DEC);
    Serial.print(".");
    Serial.println(update_time.second(), DEC);
  }

  /* senzor teploty a vlhkosti */
  dht.begin();
  delay(100);

  /* OLED display */
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { /* SSD1306_SWITCHCAPVCC = vytvori si provozni napeti z 3.3V interne */
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
  } else {
    Serial.println(F("Display success!"));
  }

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1); // Normalni 1:1 pixel ratio
  display.setTextColor(WHITE); // Vypis bileho textu

```



```

| display.setTextSize(1);      // Normalni 1:1 pixel ratio
display.setTextColor(WHITE); // Vypis bileho textu
display.setCursor(0,0);      // Zacatek vypisu v levem hornim rohu
display.println(F("WiFi METEO STANICE"));
display.display(); /* zobrazeni display bufferu, bez tohoto se nezobrazí nic na displeji */

/* pripojeni k wifi siti */
Serial.println();
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { /* cekani na navazani spojeni */
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("WiFi connected.");
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

/* zobrazeni stavu pripojeni na displeji */
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.println("WiFi connected:");
display.print("IP adr:");
display.println(WiFi.localIP());

/* inicializace a nastaveni pinu */
pinMode(WIND_SPEED_PIN, INPUT_PULLUP); /* rychlost vetru */
pinMode(RAIN_PIN, INPUT_PULLUP); /* srazkomer */
//pinMode(27, OUTPUT); /* pro debug rychlosti vetru */

/* zapnuti interruptu a prirazení obslužné funkce a modu reakce - RISING mode */
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(WIND_SPEED_PIN), wind_speed_handler, RISING);

/* inicializace http serveru */
server.begin();

/* inicializace casovych promennych */
last_update_ms = millis();
last_sampupdate_ms = millis();
last_speedupdate_ms = millis();
}

int value = 0;

```

```

int value = 0;
float humidity = 89; /* nesmyslna init hodnota pro debug */
float temperature = 89; /* nesmyslna init hodnota pro debug */
int read_fail_flag = 0; /* flag pro indikaci selhani cteni dht22 */
int rain_temp;; // uchovani stavu pro srazkomer
unsigned int rain_counter = 0; // vypocitat max
double rychlost = 0; //rychlost v m/s

void loop() {

/* debouncing pinu pro srazkomer
 * pin pro vitr je osetren rc filtrem
 */
if (millis() - last_sampupdate_ms >= SAMP_RATE) {
    last_sampupdate_ms = millis();

    static int init = 0;
    static int rain_pin_current;
    static int rain_pin_previous;
    rain_temp = digitalRead(RAIN_PIN);

    if(!init){
        init = 1;
        rain_pin_current = rain_pin_previous = rain_temp;
    } else {
        rain_pin_previous = rain_pin_current;
        rain_pin_current = rain_temp;

        if( rain_pin_current != rain_pin_previous){
            rain_counter++;
        }
    }
}

/* cteni dht22 pouze za urcity interval */
if (millis() - last_update_ms >= UPDATE_INTERVAL) {
    last_update_ms = millis();

    /* ziskani dat z DHT22 */
    humidity = dht.readHumidity();
    temperature = dht.readTemperature();

    display.setTextColor(WHITE);
    display.clearDisplay();

```

```

display.setTextColor(WHITE);
display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0); // levý horní roh
display.print("WiFi:");
display.println(WiFi.localIP());

/* Vypis a vypocet casu behu programu */
display.setTextColor(BLACK, WHITE); // Draw 'inverse' text
display.print("uptime: ");
display.print((last_update_ms/3600000)%24); /* hodiny */
display.print(":");
display.print((last_update_ms/60000)%60); /* minuty */
display.print(".");
display.println((last_update_ms/1000)%60); /* sekundy */
/* konec Vypis a vypocet casu behu programu */

display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,20);
if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
  Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
  display.println("DHT read fail.");
}else{
  display.print("T:");
  display.print(temperature);
  display.print(" C, RH:");
  display.print(humidity);
  display.println("%");
}
/* konec cteni teploty */

/* vypocet rychlosti vetru */
rychlost = ((500000.0*WIND_CONST)/(wind_speed_interval)); // 1000000 je frekvence citace vetru / 2 hranami za otacku = 500000.0

/* vypocty vetru */
smer_value = analogRead(ADC_SMER_PIN);

// display.print("ADC: ");
// display.print(smer_value);
// display.print(" : ");
// display.print(3.3*smer_value/4096.0); //3.3 je reference ve V, 4096 rozliseni ad prevodniku tj. 2^12
// display.println("V");

smer = get_direction(smer_value);
display.print("Vitr: ");
display.print(get_wind_dir_name(smer));
display.print(", ");
display.print(rychlost);

```

```

    display.print(rychlost);
    display.println("km/h");
    /* konec vetru */

    /* cteni srazek */
    display.print("RAIN: ");
    display.print((rain_counter/2)*RAIN_CONST); // detekuje to level a ne hranu, predelat na hranu
    display.println("mm");
    //    display.print(rain_counter/2); /* pro debug */
    //    display.print("c");
    /* konec srazek */
    display.print("Time: ");
    display.print(update_time.hour());
    display.print(":");
    display.print(update_time.minute());
    display.print(".");
    display.println(update_time.second());
    display.display();
}

WiFiClient client = server.available(); // posloucham prichozí spojeni pro klienty

if (client) { // nový klient pripojen
    client.setTimeout(1000);
    Serial.println("New Client.");
    String currentLine = "";
    while (client.connected()) {
        if (client.available()) {
            char c = client.read();
            Serial.write(c);
            if (c == '\n') {
                // pokud je retezec nulovy, je konec HTTP requestu a posila se odpoved
                if (currentLine.length() == 0) {
                    // HTTP headers always start with a response code (e.g. HTTP/1.1 200 OK)
                    // and a content-type so the client knows what's coming, then a blank line:
                    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
                    client.println("Content-type:text/html");
                    client.println();

                    client.println("<!doctype html>");
                    client.println("<html lang=\"en\">");
                    client.println("<head>");
                    client.print("<title>WiFi meteostanice</title>");
                    client.print("<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"2\">"); /* automatickej refresh stranky po danem case - dela to prohlizec */
                    client.print("<meta charset=\"UTF-8\" />");
                    client.print("</head>");
                    client.println("<body>");

```

---



```

client.print("</head>");
client.println("<body>");
// the content of the HTTP response follows the header:
client.println("<h1>WiFi meteostanice</h1>");
client.println("<p>Petr Bruckner</p>");
update_time = rtc.now();
client.print("<hr><h4>Datum: ");
client.print(update_time.day());
client.print(".");
client.print(update_time.month());
client.print(".");
client.print(update_time.year());
client.println("<br>Cas mereni: ");
client.print(update_time.hour()); /* hodiny */
client.print(":");
client.print(update_time.minute()); /* minuty */
client.print(".");
client.print(update_time.second()); /* sekundy */
client.print("</h4>");
client.print("<hr><h3> Aktualni teplota: ");
client.print(temperature);
client.print(" °deg;C </h3>"); // °deg; nebo °#176; je znak ""
client.print("<h3>Relativni vlhkost vzduchu: ");
client.print(humidity);
client.println(" % </h3>");

/* vitr */
smer_value = analogRead(ADC_SMER_PIN);
smer = get_direction(smer_value);
client.print("<h3>Smer vetru: ");
client.print(get_wind_dir_name(smer));
client.print(", rychlost: ");
client.print(rychlost);
client.println(" km/h</h3>");
/* vitr konec */

/* cteni srazek */
client.print("<h3>Srazky: ");
client.print((rain_counter/2)*RAIN_CONST);
client.println(" mm</h3>");

client.print("<hr><p>uptime: ");
client.print((last_update_ms/3600000)%24); /* hodiny */
client.print(":");
client.print((last_update_ms/60000)%60); /* minuty */
client.print(".");

```

```

client.print(":");
client.print((last_update_ms/60000)%60); /* minuty */
client.print(".");
client.print((last_update_ms/1000)%60); /* sekundy */
client.println("</p>");

client.println("</body>");
client.println("</html>");
// The HTTP response ends with another blank line:
client.println();
client.println();
// break out of the while loop:
break;
} else { // if you got a newline, then clear currentLine:
currentLine = "";
}
} else if (c != '\r') { // if you got anything else but a carriage return character,
currentLine += c; // add it to the end of the currentLine
}
}
}
// close the connection:
client.stop();
Serial.println("Client Disconnected.");
}
}

/*functions*/

/*
 * Prevede analogovou hodnotu z ADC na smer vetru
 */
card_dir get_direction(unsigned int adc_value)
{
if(adc_value < DIR_E){
return E;
} else if(adc_value > (DIR_SE - DELTA) && adc_value < (DIR_SE + DELTA)){
return SE;
} else if(adc_value > (DIR_S - DELTA) && adc_value < (DIR_S + DELTA)){
return S;
} else if(adc_value > (DIR_NE - DELTA) && adc_value < (DIR_NE + DELTA)){
return NE;
} else if(adc_value > (DIR_SW - DELTA) && adc_value < (DIR_SW + DELTA)){
return SW;
} else if(adc_value > (DIR_N - DELTA) && adc_value < (DIR_N + DELTA)){
return N;
}
}

```

```

/*functions*/

/*
 * Prevede analogovou hodnotu z ADC na smer vetru
 */
card_dir get_direction(unsigned int adc_value)
{
    if(adc_value < DIR_E){
        return E;
    } else if(adc_value > (DIR_SE - DELTA) && adc_value < (DIR_SE + DELTA)){
        return SE;
    } else if(adc_value > (DIR_S - DELTA) && adc_value < (DIR_S + DELTA)){
        return S;
    } else if(adc_value > (DIR_NE - DELTA) && adc_value < (DIR_NE + DELTA)){
        return NE;
    } else if(adc_value > (DIR_SW - DELTA) && adc_value < (DIR_SW + DELTA)){
        return SW;
    } else if(adc_value > (DIR_N - DELTA) && adc_value < (DIR_N + DELTA)){
        return N;
    } else if(adc_value > (DIR_NW - DELTA) && adc_value < (DIR_NW + DELTA)){
        return NW;
    } else if(adc_value > DIR_W){
        return W;
    } else {
        return Err; // nebyla dekodovana zadna platna hodnota
    }
}

String get_wind_dir_name(card_dir win_dir)
{
    String dir_names[] = {"Er", "N", "NE", "E", "SE", "S", "SW", "W", "NW"};
    return dir_names[win_dir];
}

```

---