



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

MOBILNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

MOBILE POWER SOURCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karel Kvasnička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Karel Kvasnička

ID: 173685

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Mobilní zdroje elektrické energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Současný stav mobilních elektrických zdrojů na trhu
2. Identifikace nedostatků na současném prototypu zdroje
3. Návrh konstrukční dokumentace, výpočty a dimenzování jednotlivých částí
4. Realizace a prověření navrženého rozšíření

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

KVASNIČKA, K. *Mobilní zdroje elektrické energie*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2020, 61 stran.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Mobilní zdroje elektrické energie* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 01.06.2020

.....

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc, ochotu a rady při zpracování této práce.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací nové generace nabíjecí stanice s cílem vytvořit přenosné zařízení kompaktních rozměrů.

Zařízení je umístěno v nářadovém boxu o rozměrech 396 x 296 x 187 mm a nosností 20 kg. Baterii LiFePO₄ s kapacitou 512 Wh je možné nabíjet ze sítě nebo až pěti fotovoltaickými panely připojenými přes spojovací box. Informace o aktuálním stavu jsou zobrazovány na LCD displeji pomocí tlačítek. Na obou stranách jsou umístěné výstupní zásuvky, konkrétně USB-A, USB-C, 12 V a 230 V. Celé zařízení je zkonstruované jako voděodolné se stupněm krytí IP 54 a má aktivní vzduchové chlazení.

Výsledkem této práce je funkční nabíjecí stanice, která snese srovnání s výrobky prodávanými na trhu. Práce zároveň ukazuje, že zhotovit podobný výrobek není nijak technologicky náročné a může sloužit jako návod, pokud by si někdo chtěl podobné zařízení postavit.

KLÍČOVÁ SLOVA: Nabíjecí stanice; FV panel; akumulátor; baterie; lithium; LiFePO₄; Arduino

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design and implementation of a new generation of charging station in order to create a portable device of compact dimensions.

The device is placed in a tool box of size 396 x 296 x 187 mm and load capacity 20 kg. The LiFePO₄ battery with a capacity of 512 Wh can be charged from the mains or be connected up to five photovoltaic panels via a junction box. Information about the current status is displayed on the LCD using the buttons. There are output sockets on both sides, namely USB-A, USB-C, 12 V and 230 V. The whole device is designed to be waterproof with a degree of protection IP 54 and has active air cooling.

The result of this work is a functional charging station that can get by comparisons with products sold on the market. At the same time, the work shows that making a similar product is not technologically demanding and can serve as a guide if someone would like to build a similar device.

KEY WORDS: Charging station; PV panel; accumulator; battery; lithium; LiFePO₄; Arduino

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD.....	11
2 MOBILNÍ ZDROJE ENERGIE	12
2.1 ZDROJE NA FOSILNÍ PALIVA	12
2.1.1 ELEKTROCENTRÁLY	12
2.2 BATERIOVÉ ZDROJE.....	12
2.2.1 POWER BANKY	12
2.2.2 NABÍJECÍ STANICE.....	13
2.2.3 KONTEJNEROVÉ BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	13
2.3 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	14
2.3.1 PŘÍRUČNÍ PANELY	14
2.3.2 RAPID ROLL SYSTÉM.....	15
2.3.3 ECOS POWERCUBE®	15
3 ENERGIE SLUNCE	16
3.1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK, FOTOELEKTRICKÝ JEV	16
3.1.1 KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU.....	17
3.1.2 V-A CHARAKTERISTIKA, BOD MAXIMÁLNÍHO VÝKONU MPP	18
3.1.3 BYPASS DIODY	20
3.2 STANDARTNÍ TESTOVACÍ PODMÍNKY STC, AIR MASS – AM.....	20
3.3 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	21
3.3.1 MONOKRYSTALICKÉ ČLÁNKY	21
3.3.2 POLYKRYSTALICKÉ ČLÁNKY	22
3.3.3 TENKOVRSŤVÉ ČLÁNKY.....	22
3.3.4 HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÉ KOLEKTORY	23
4 AKUMULÁTORY	24
4.1 OLOVO	24
4.2 NI-Cd, NI-MH.....	24
4.3 LITHIUM.....	25
4.3.1 LITHIUM-IONTOVÉ (LI-ION), LITHIUM-POLYMEROVÉ (LI-POL)	25
4.3.2 LITHIUM-ŽELEZO-FOSFÁTOVÉ (LiFe, LiFePO ₄ , LiFeYPO ₄)	26
5 OCHRANA BATERIE	27
5.1 BATTERY MANAGMENT SYSTEM (BMS).....	27
5.1.1 PASIVNÍ BALANCOVÁNÍ	27
5.1.2 AKTIVNÍ BALANCOVÁNÍ	27
6 PROTOTYP NABÍJECÍ STANICE.....	28
6.1 NEDOSTATKY	28
7 NABÍJECÍ STANICE NOVÉ GENERACE.....	30

8 POUŽITÉ KOMPONENTY	31
8.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELE	31
8.2 REGULÁTOR	31
8.3 STRÍDAČ TRONIC TSW 300 A1.....	31
8.4 SPÍNANÝ ZDROJ	32
8.5 AKUMULÁTORY	32
8.6 BMS	33
8.7 BALANČNÍ MODULY	34
8.8 VENTILÁTORY	34
8.9 ARDUINO MEGA 2560	34
8.10 LCD DISPLAY 128X64 ST7920.....	35
8.11 JISTIČ NOARK EX9BN	35
9 PROPOJENÍ PANELŮ A NABÍJECÍ STANICE	36
9.1 CHLADIČ BOXU PROPOJENÍ	36
9.2 KABEL: FV PANEL – PROPOJOVACÍ BOX	37
9.3 KABEL: PROPOJOVACÍ BOX – NABÍJECÍ STANICE	39
10 KONSTRUKCE NABÍJECÍ STANICE.....	41
10.1 KABELY.....	41
10.1.1 KABEL: FV VSTUP-REGULÁTOR.....	41
10.1.2 KABEL: REGULÁTOR-JISTIČ-BMS/BATERIE	42
10.1.3 KABEL: JISTIČ – 12V VÝSTUPY	43
10.1.4 KABEL: REGULÁTOR-JISTIČ-BMS/BATERIE	45
10.1.5 KABEL: BMS/BATERIE-STŘÍDAČ	46
10.2 CHRÁNĚNÍ.....	47
10.3 ORIENTACE AKUMULÁTORŮ	47
10.4 MONITOROVACÍ SYSTÉM.....	48
10.4.1 NAPÁJENÍ SYSTÉMU	48
10.5 AKTIVNÍ CHLAZENÍ.....	49
10.6 STUPEŇ KRYTÍ IP	49
10.7 MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU	50
10.8 OVLÁDÁNÍ, ZOBRAZOVÁNÍ, ROZLOŽENÍ KOMPONENT	51
10.8.1 PŘIPÍNÁNÍ FV PANELŮ	53
10.9 PARAMETRY NABÍJECÍ STANICE	54
11 ROZPOČET	55
ZÁVĚR.....	56
POUŽITÁ LITERATURA	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Powerbanka CellularLine Freepower Manta 8000mAh [5]</i>	13
<i>Obr. 2-2 Průmyslové bateriové úložiště [6]</i>	14
<i>Obr. 2-3 Přenosné FV panely [8]</i>	14
<i>Obr. 2-4 Ukázka Rapid roll systému [9]</i>	15
<i>Obr. 2-5 Ecos PowerCube® [11]</i>	15
<i>Obr. 3-1 Náhradní schéma FV článku [15]</i>	17
<i>Obr. 3-2 Řez křemíkovým článkem s texturovaným povrchem [14]</i>	17
<i>Obr. 3-3 Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [16]</i>	18
<i>Obr. 3-4 Vliv teploty na výstupní napětí a výstupní proud solárního článku [18]</i>	19
<i>Obr. 3-5 Vliv intenzity záření na V-A charakteristiku [18]</i>	19
<i>Obr. 3-6 Princip bypass diod [19]</i>	20
<i>Obr. 3-7 Monokrystalický článek [21]</i>	21
<i>Obr. 3-8 Polykrystalický článek [22]</i>	22
<i>Obr. 3-9 Perovskytový článek [26]</i>	23
<i>Obr. 3-10 Hybridní FVT panel [29]</i>	23
<i>Obr. 4-1 Řez článkem LI-Ion [32]</i>	26
<i>Obr. 5-1 Schéma aktivního balancéru pro 4 akumulátory [39]</i>	27
<i>Obr. 6-1 Nabíjecí stanice předchozí generace</i>	28
<i>Obr. 6-2 Vnitřní uspořádání stanice bez FV regulátoru a střídače</i>	29
<i>Obr. 7-1 První návrh základních komponent v systaineru Festool SYS3 M 187</i>	30
<i>Obr. 9-1 Vnitřní uspořádání propojovacího boxu</i>	36
<i>Obr. 10-1 Systainer Festool SYS3 M 187 [40]</i>	41
<i>Obr. 10-2 Kontakt elektrod s elektrolytem v závislosti na poloze článku [45]</i>	48
<i>Obr. 10-3 Umístění ventilátorů s PWM modulem</i>	49
<i>Obr. 10-4 Napěťové děliče</i>	51
<i>Obr. 10-5 Čelní pohled na dobíjecí stanici a popis jednotlivých periférií</i>	52
<i>Obr. 10-6 Pohled na vnitřní uspořádání stanice</i>	53
<i>Obr. 10-7 Displej s nabídkou Přehled</i>	53
<i>Obr. 10-8 Dokončená nabíjecí stanice</i>	54

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
<i>AM</i>	air mass
<i>BMS</i>	battery managment system
<i>CIGS</i>	měď indium gallium selen
<i>FV</i>	fotovolaický
<i>FVT</i>	fotovoltaicko-termický
<i>LED</i>	světlo emitující dioda
<i>LiFePO</i>	lithium-železo-fosfátový akumulátor
<i>Li-Ion</i>	lithium-iontový akumulátor
<i>Li-Pol</i>	lithium-polymerový akumulátor
<i>MPP</i>	bod maximálního výkonu
<i>Ni-Cd</i>	nikl-kadmiový akumulátor
<i>Ni-MH</i>	nikl-metal hydridový akumulátor
<i>PN</i>	positive-negative
<i>PS</i>	polystyren
<i>PWM</i>	pulzní šířková modulace
<i>STC</i>	standard testovací podmínky
<i>USB</i>	universal serial bus
<i>VN</i>	vysoké napětí
<i>VVN</i>	velmi vysoké napětí

1 ÚVOD

S nárůstem populace na Zemi, růstem ekonomik jednotlivých zemí a legitimními nároky obyvatel méně rozvinutých ekonomik na výdobytky západní civilizace roste i poptávka po energiích.

Pokud se zaměříme na elektrickou energii, je většina vyráběna spalováním fosilních paliv. Podíl na světové výrobě elektrické energie z těchto neobnovitelných zdrojů je okolo 65 %. To s sebou nese i problematiku znečišťování životního prostředí vypouštěnými emisemi a s tím spojenou otázkou změny klimatu. Jako hlavní kritérium při změně klimatu, resp. jeho oteplování, je bráno množství vypouštěného CO₂ do atmosféry.

V roce 2015 se na Klimatické konferenci v Paříži dohodla většina zemí světa na závazku udržet nárůst globální teploty pod 2 °C ve srovnání se stavem před průmyslovou revolucí. a na snaze nepřekročit nárůst teploty nad 1,5 °C. Splnění těchto cílů by podle některých vyžadovalo nulové emise skleníkových plynů v roce 2050, resp. v roce 2030 pro teplotu 1,5 °C. [1], [2]

Ve snižování skleníkových plynů hraje důležitou roli energetika, jelikož produkuje zhruba třetinu skleníkových plynů na světě, a proto je zde velký potenciál pro snižování vypouštěných emisí. Hlavní způsob dosažení zmíněných cílů bude přechod energetiky z fosilních zdrojů na zdroje obnovitelné, případně nukleární. Trend přechodu k obnovitelným zdrojům je patrný již několik let. Evropa, a především pak Německo usilují o přechod k „zeleným“ zdrojům, např. pomocí emisních povolenek. S obnovitelnými zdroji energie se ovšem pojí problém s akumulací energie. Jelikož jsou obnovitelné zdroje závislé na počasí, mají nestálý výkon. Zapříčiňují nedostatek výkonu v síti, kdy musí nabíhat záložní zdroje, nebo naopak přebytek, kdy jsou ostatní zdroje odstavovány. Tyto nedostatky odstraňuje akumulace přebytků, např. při větrném dni u větrných elektráren, nebo slunečném dni u fotovoltaických zdrojů a dodávka energie, pokud by nefoukalo a nesvítilo. V poslední době se začínají objevovat bateriová úložiště, která by mohla sloužit i pro spolupráci s obnovitelnými zdroji velkých výkonů. Největší instalací bateriového úložiště na bázi Li-ion je úložiště Hornsdale o výkonu 100 MW a kapacitě 129 MWh v jižní Austrálii. V ČR jsou podobné instalace spíše ve fázi testování s výkony i kapacitami v jednotkách MW, resp. MWh. [3], [4]

Práce se zabývá návrhem nové generace mobilního zdroje elektrické energie. Teoretická část práce popisuje především používané mobilní zdroje energie se zaměřením na baterie a fotovoltaické panely a jsou uvedeny jednotlivé technologie dostupné na trhu. Dále je popsána problematika slunečního záření, je vysvětlena funkce solárních článků a jsou uvedené jejich základní charakteristiky. Následně je uveden přehled jednotlivých druhů článků se základním popisem vlastností, za kterým následuje přehled nejběžnějších typů akumulátorů s podrobnějším popisem lithiových článků. Poslední částí teorie je základní popis a rozdělení systému chránění baterií, resp. BMS.

Praktická část začíná popisem a analýzou nedostatků předchozí verze nabíjecí stanice, následovaná návrhem nové koncepce a stanovení cílů. Dále jsou uvedeny všechny hlavní komponenty použité při výrobě a jejich technické parametry. Na kapitole použitých komponent navazuje návrh a praktické provedené propojovacího boxu mezi fotovoltaickými panely a samotnou nabíjecí stanicí, na kterou se zaměřuje následující kapitola. Uvádí dimenzování použitých vodičů, problematiku umístění akumulátorů, řídicího systému, chlazení, stupně krytí IP, ovládání a zobrazování veličin a měření napětí a proudů. Na konci kapitoly jsou uvedeny parametry vyrobené nabíjecí stanice. Předposlední kapitolou je rozpočet celé stavby následovaný závěrem, kde je zhodnoceno splnění cílů a celé práce.

2 MOBILNÍ ZDROJE ENERGIE

Mobilní zdroje energie nacházejí uplatnění všude tam, kde je potřeba dočasná dodávka energie, ale není možné napojení na síť elektrizační soustavy. Typickým využitím jsou letní kulturní a sportovní akce, které se z pravidla konají na místech, kde není žádná, nebo je nedostatečně dimenzovaná síť. Další oblastí využití mohou být místa postižená živelnou katastrofou, kdy jsou klasické zdroje energie nebo síť poškozeny, či úplně zničeny. Při soukromých aktivitách mohou mobilní zdroje najít uplatnění při kempování mimo kempy a další volnočasové aktivity v přírodě. Celou samostatnou oblast zabírají různé druhy primárních článků a akumulátorů, které lze najít téměř všude kolem nás. Typickým příkladem jsou mobilní telefony, notebooky, přenosné svítilny nebo akumulátorové nářadí.

2.1 Zdroje na fosilní paliva

Mobilní zdroje na fosilní paliva jsou stále klasickými představiteli záložních zdrojů energie, zejména při potřebě větších výkonů. Jejich hlavní výhodou je, že dokážou spolehlivě dodávat energii bez ohledu na klimatické podmínky s malými nároky na zastavěný prostor a za přijatelnou cenu. Nevýhodou je, že jsou zdrojem hluku, emisí a je nutné zásobování palivem.

2.1.1 Elektrocentrály

Mobilní generátory jsou vybaveny spalovacími motory, které pohánějí elektrický generátor. Jmenovité výkony těchto zařízení se pohybují od stovek VA pro domácí použití, přes stovky kVA určených komerčnímu použití, např. při pořádání sportovních a kulturních akcí.

Malé domácí jednotky bývají osazeny benzínovými motory. S rostoucím výkonem je jako palivo spíše využívána motorová nafta. Jako alternativní palivo je někdy používán zemní plyn.

2.2 Bateriové zdroje

Akumulátory, baterie a akumulace obecně zažívají v posledních letech velmi dynamický rozvoj. Je to způsobeno zejména rozvojem elektromobility a nástupem obnovitelných zdrojů v energetice s potřebou akumulovat vyrobenou energii. Společně s tím, jak jsou tyto zdroje stále masivněji používány, zároveň klesá i jejich průměrná cena. To je jeden z důležitých faktorů pro další rozvoj a používání akumulace v dalších odvětvích a ve větších měřítcích. Akumulátory moderních záložních zdrojů bývají založeny na bázi lithia.

2.2.1 Power banky

Power banky jsou přenosné akumulátory typicky o velikostech mobilních telefonů, nebo tabletů a kapacit od jednotek Ah až po desítky Ah. Bývají vybaveny několika USB výstupy pro nabíjení, LED indikátory chodu a stavu baterie, nebo např. bezdrátovým nabíjením. Některé typy power bank lze použít k nouzovému startování při vybité baterii, nebo mají např. bezdrátovou nabíječku mobilních telefonů.



Obr. 2-1 Powerbanka CellularLine Freepower Manta 8000mAh [5]

2.2.2 Nabíjecí stanice

Nabíjecí stanice se od power bank liší především větší kapacitou a tím pádem i velikostí. Disponují větším množstvím napájecích výstupů, někdy i více napětíovými hladinami. Dále jsou osazeny více typy výstupních konektorů. Po USB konektorech to jsou nejčastěji 12V „autozásuvky“, případně zásuvky 230 V. Většina zařízení na trhu má možnost dobíjení pomocí fotovoltaických panelů.

2.2.3 Kontejnerové bateriové úložiště

Bateriové úložiště, obvykle uložené v lodních kontejnerech, je průmyslové zařízení k akumulaci energie. Jeho použití je obvyklé především jako regulační člen u výrobních jednotek. Dokáže zajistit podpůrné služby jako je regulace frekvence, napětí, nebo jalový výkon. Další možností je použití v ostrovní síti v kombinaci s obnovitelnými zdroji energie a kompletně tak nahradit dieselové generátory. Pro velké průmyslové podniky na hladině VN, či VVN může akumulace představovat snížení nákladů. Takové podniky musí platit nejen za odebranou elektrickou energii, ale i za rezervovaný příkon. Úložiště může vykrývat špičky odebíraného výkonu, není třeba rezervace tak velkého výkonu jako bez úložiště a společnost může ušetřit finanční prostředky. Zejména díky klesající ceně akumulátorů a zajímavé ceně za podpůrné služby se začínají podobná úložiště budovat stále častěji. Ty pak ale bývají již stacionárně umístěné vzhledem k velké instalované kapacitě, výkonu a velikosti celého zařízení. Největší zařízení v ČR má výkon 4 MW a kapacitu 2,5 MWh. Na Obr. 2-2 můžeme vidět tzv. All in one bateriové úložiště. To znamená, že modul (kontejner) obsahuje nejen část akumulace, ale i měniče, transformátor a vysokonapětový rozváděč. [6], [7]



Obr. 2-2 Průmyslové bateriové úložiště [6]

2.3 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické zdroje energie jsou dnes hlavním zástupcem mobilních obnovitelných zdrojů energie. Výhodou je jejich nezávislost na palivu a z toho plynoucí absence jakýchkoliv emisí, na rozdíl od fosilních zdrojů. Hlavní nevýhoda je vazba výroby energie na svitu Slunce. Pokud je třeba zajistit nepřetržitou dodávku elektřiny, nelze tento zdroj použít jako samostatný, ale je nutné ho doplnit dalším zdrojem, nebo akumulací. Obliba fotovoltaických systémů stále roste a o jejich použití se zajímají i armádní složky některých států.

2.3.1 Příruční panely

Jedny z nejmenších fotovoltaických zdrojů jsou přenosné, často lehce složitelné panely, určené především k nabíjení zařízení, jako mobilní telefony, tablety, či power banky. Výkony těchto malých panelů se pohybují v řádu desítek wattů při rozsahu napětí 5 V až 25 V. Bývají vybaveny USB konektory pro připojení a skládacím systémem pro snazší transport.



Obr. 2-3 Přenosné FV panely [8]

2.3.2 Rapid roll systém

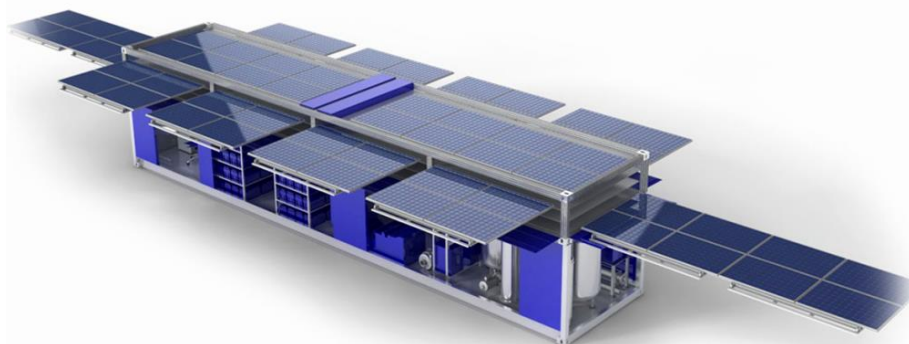
Zástupcem větších zařízení je např. Rapid roll systém od výrobce Renovagen. Jedná se o pás fotovoltaických panelů, který je srolovaný jako koberec v ocelovém krytu, posazeném např. na podvozek automobilového přívěsu. Po příjezdu na místo je pás panelů pomocí automobilu rozbalen a je připravený na dodávku energie. Systém používá tenkovrstvou technologii CIGS v kombinaci s tkaninou, na které jsou panely upevněny a je schopen dodat výkon až 10,8 kWp. Tento systém lze také používat v kombinaci s diesel-generátorem a tím získat spolehlivý zdroj elektrické energie i v neoptimálních podmínkách pro obnovitelné zdroje. [9], [10]



Obr. 2-4 Ukázka Rapid roll systému [9]

2.3.3 Ecos PowerCube®

Ecos PowerCube je největší mobilní fotovoltaický zdroj elektrické energie na světě. Základ systému tvoří ocelový rám o rozměrech typizovaného lodního kontejneru. To systému zajišťuje relativně snadnou dopravitelnost běžnými prostředky pro transport kontejnerů. V rámu jsou umístěny výsuvné systémy s fotovoltaickými panely, bateriové úložiště a další systémy, které jsou třeba pro konkrétní aplikace, jako např.: čištění a distribuce vody, zajištění komunikací atd. Maximální výkon zařízení je 15 kW a je určeno především pro armádní a humanitární účely. [11]



Obr. 2-5 Ecos PowerCube® [11]

3 ENERGIE SLUNCE

Slunce, hvězda nejbližší Zemi, složená převážně z vodíku a helia, je centrem sluneční soustavy. Kromě radioaktivních prvků je Slunce jediným zdrojem energie, který má Země k dispozici. Slunce má výkon $3,78 \cdot 10^{23}$ kW z toho $173 \cdot 10^{12}$ kW putuje přímo k Zemi. Jelikož je v cestě zemská atmosféra a část výkonu se odráží od země, nakonec povrch Země přijímá sluneční výkon $40 \cdot 10^{12}$ kW. Tomu odpovídá intenzita záření přibližně $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ dopadající na jednotkovou plochu mimo zemskou atmosféru. (Jednotlivé zdroje se od sebe liší. Uvádějí hodnoty od $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ až po $1373 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Jedná se o tzv. sluneční konstantu. Po průchodu atmosférou je intenzita záření utlumena. Hlavní faktor hraje činitel znečištění Z , který udává kolikrát hmotnější by musela atmosféra být, aby měla stejnou propustnost jako má znečištěná atmosféra. Po průchodu atmosférou je, při jasné obloze v poledne, intenzita záření na povrchu Země cca $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. [12], [13]

Dopadající záření se skládá z difuzního a přímého záření. Při jasné obloze se nejvíce uplatňuje přímé záření tvořené fotony, které nejsou ničím vychylovány. Při zatažené obloze, nebo ve znečištěné atmosféře převažuje záření difuzní, kdy jsou sluneční paprsky rozptylovány mraky a drobnými částicemi znečištění v atmosféře a směr dopadajícího světla nelze jednoznačně určit. To může mít za následek pokles intenzity slunečního záření.

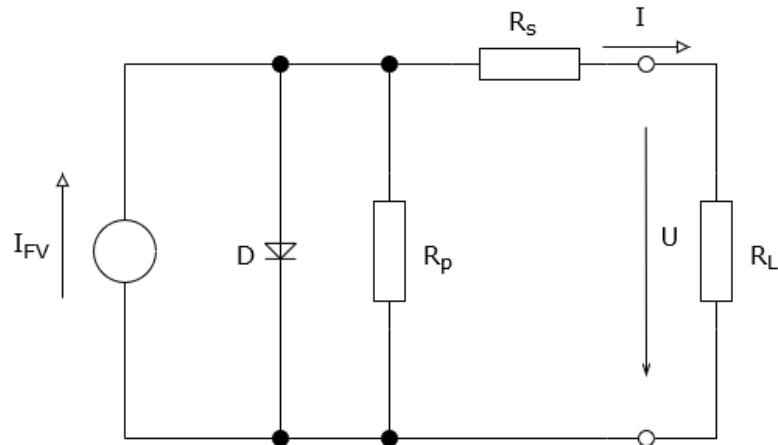
3.1 Fotovoltaický článek, fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev je fyzikální jev, při kterém dochází k přímé přeměně slunečního záření na elektrickou energii. Fotovoltaický článek je polovodičová dioda, která absorbuje energii dopadajícího fotonu o určité vlnové délce a tím vytváří pár: elektron-díra. V dalším kroku dochází k tzv. nábojové separaci, kdy jsou elektron a díra přitahovány k elektrodám vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Tento proces se nazývá fotoelektrický jev, který vysvětlil A. Einstein, za což v roce 1921 obdržel Nobelovu cenu. [14]

Souhrn podmínek pro fotovoltaičskou přeměnu:

- foton musí být pohlcen
- foton musí excitovat elektron do vyššího vodivostního pásu
- vzniklá dvojice elektron-díra musí být separována
- separované náboje jsou odváděny ke spotřebiči

Na Obr. 3-1 je zobrazeno náhradní schéma fotovoltaičského článku. Článek je modelován generovaným proudem I_{FV} , zpětnou diodou D , sériovým odporem R_s , který reprezentuje odpor materiálu a proudových kontaktů a svodovým odporem R_p , nahrazující mikrovody a další defekty v krystalické mřížce. [15], [16]

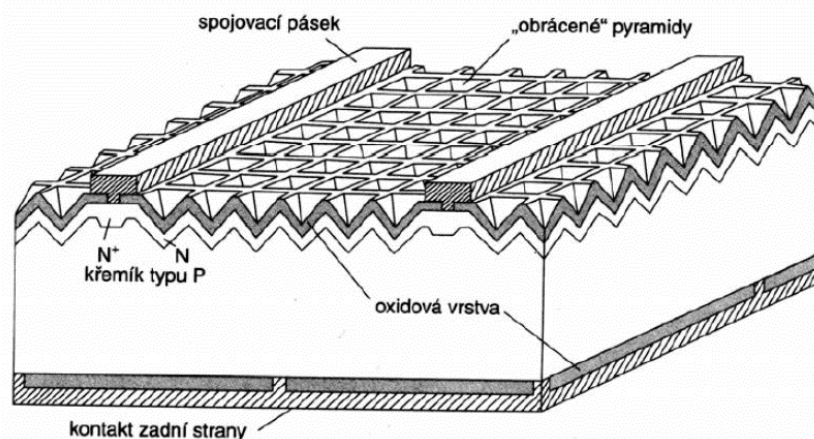


Obr. 3-1 Náhradní schéma FV článku [15]

3.1.1 Konstrukce fotovoltaického článku

Fotovoltaický krystalický článek je obvykle tvořen dvěma odlišně dotovanými vrstvami. Jedna vrstva, přivrácená k dopadajícímu slunečnímu záření, je obohacena fosforem s přebývajícím elektronem, typ N. Spodní neosvětlená vrstva je naopak obohacena bórem s jedním „chybějícím“ elektronem, typ P. Pro odběr elektrického proudu jsou na obou vrstvách umístěné kontakty, resp. elektrody. Elektrody na přední vrstvě jsou zhotoveny jako tenké pásky, aby co nejméně stínily dopadající fotony. Zadní elektrody mohou být celoplošné. Elektrody se většinou aplikují za pomoci síťotisku. [13], [14]

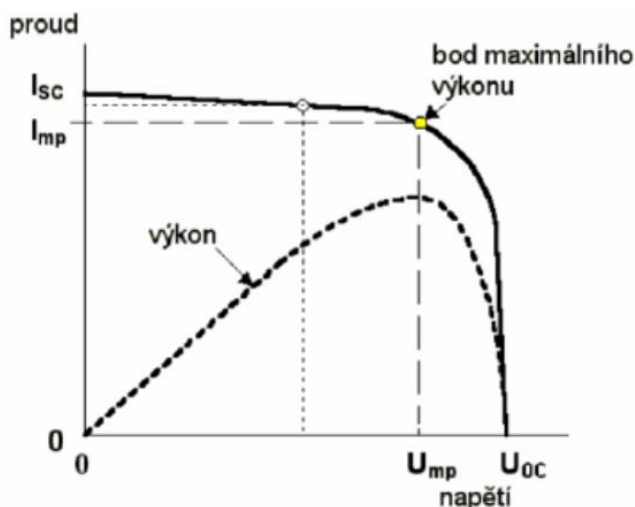
Jelikož se při dopadu světla na povrch článku část světla odráží (až 30 %), snaží se výrobci odrazům co nejvíce zabránit. Prvním způsobem je nanesení antireflexní vrstvy na povrch článku. Druhým způsobem je vytvořit takový povrch, který by neodrážel fotony zpět do prostoru, ale na sebe sama. To lze uskutečnit pomocí tzv. texturovaného povrchu, který tvoří pole jehlanů. Použitím leptadla se na povrchu vytvoří malé pyramidy a světlo po odrazu dopadá na sousední jehlan, čímž se zvyšuje celková účinnost. [14], [15]



Obr. 3-2 Řez křemíkovým článkem s texturovaným povrchem [14]

Většina fotovoltaických článků je dnes vyráběna z monokrystalického a polykrystalického křemíku. Monokrystalické články se vyznačují svou vyšší účinností (17-21 %), ale i vyšší cenou, jelikož kladou velké nároky na čistotu křemíku. Polykrystalické články bývají levnější, ale s nižší účinností (15-18 %).

3.1.2 V-A charakteristika, bod maximálního výkonu MPP

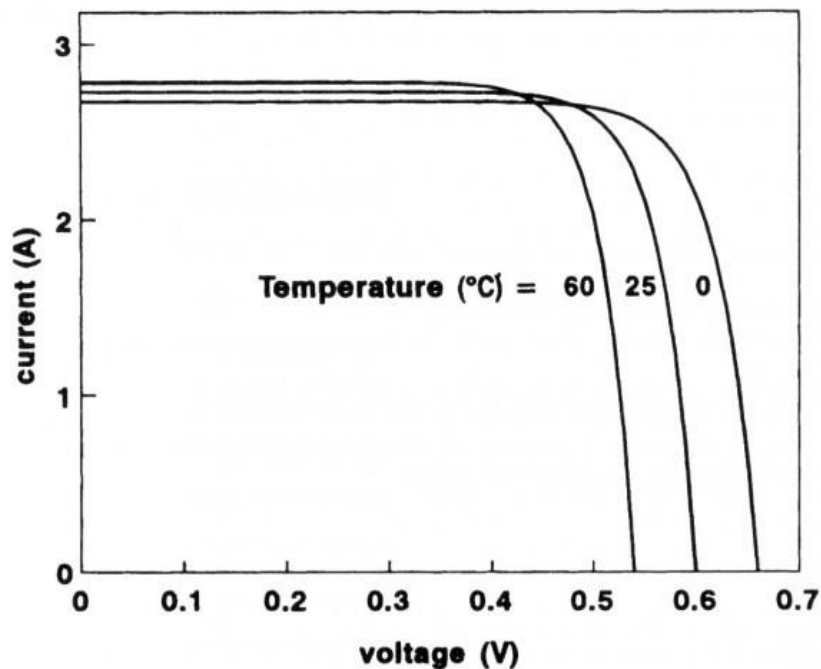


Obr. 3-3 Zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [16]

Základní informací o vlastnostech článku udává voltampérová charakteristika. Její mezní hodnoty jsou definovány napětím naprázdno U_{0c} , které udává maximální možnou velikost napětí bez připojené zátěže a proudem nakrátko I_{sc} , který představuje maximální proud, jaký může článek dodat (zkratový proud). Výkon solárních panelů, resp. článků, je dán součinem napětí a proudu. Pokud se vynásobí napětí U_{mp} a proud I_{mp} , dostaneme tzv. bod maximálního výkonu (MPP). V tomto bodě je výkon článku největší, udává ho napětí a je závislý na ozáření článku, spektru světla na článek dopadajícího a na teplotě článku. Účinnost článku je dána poměrem maximálního výkonu v bodu MPP P_{mp} a výkonu dopadajícího slunečního záření P_{in} . [15]

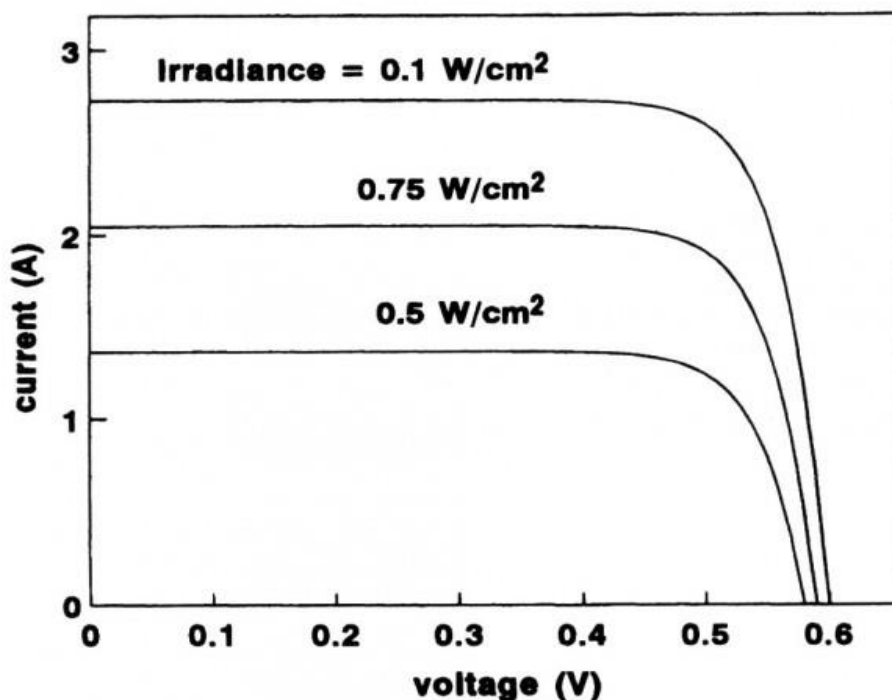
$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} [\%] \quad (3.1)$$

Jelikož jsou FV panely vystaveny velkým tepelným změnám, je důležité znát jejich charakteristiky při změnách teplot. Proud nakrátko I_{sc} se se zvyšující se teplotou příliš nemění. Má sice stoupající tendenci, vlivem zmenšení energetického pásu polovodiče, nicméně nárůst je minimální. Větší vliv má teplota na velikost napětí naprázdno U_{0c} . Se stoupající teplotou okolí stoupá i teplota samotného panelu. To vede ke změnám elektrických vlastností článku a k poklesu napětí U_{0c} . Pro křemík platí, že napětí klesá přibližně o 0,4 %/ K. Tento fakt způsobuje, že s rostoucí teplotou klesá výstupní výkon i účinnost článku. Charakteristika je zobrazena na Obr. 3-4. [13], [15]



Obr. 3-4 Vliv teploty na výstupní napětí a výstupní proud solárního článku [18]

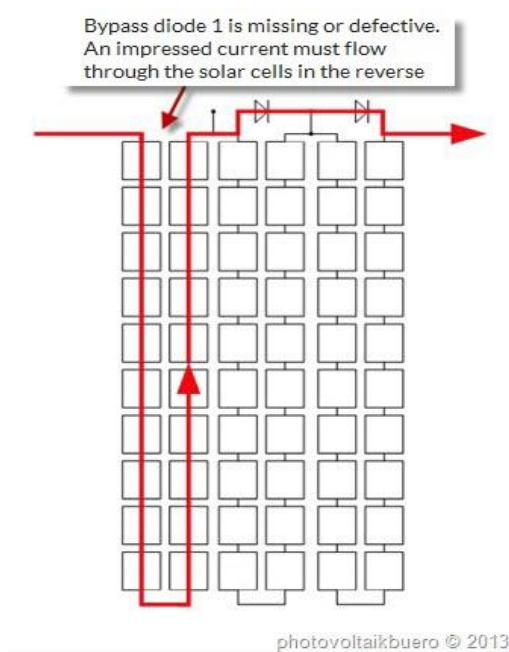
Účinnost a výkon FV článku také závisí na intenzitě záření, velikosti sériového odporu R_s a paralelního odporu R_p . Při malém sériovém odporu účinnost článku roste se vzrůstající intenzitou dopadajícího záření, stoupá. Až při velké intenzitě záření začíná klesat. S velkým paralelním odporem účinnost článku s rostoucí intenzitou záření klesá. To je případ hlavně tenkovrstvých článků. V-A charakteristika FV článku při různých intenzitách dopadajícího záření je uvedena na Obr. 3-5 [15]



Obr. 3-5 Vliv intenzity záření na V-A charakteristiku [18]

3.1.3 Bypass diody

Většina běžných FV panelů je složena z desítek článků zapojených do série (obvykle 36 nebo 72 článků). Proto jsou panely citlivé i na částečné zastínění. V případě sériového zapojení FV panelů do tzv. stringu, je proud celé větve omezen právě zastíněným panelem. Dojde-li k zastínění části panelu, přestane produkovat elektrický proud. Ostatní nezastíněné články stále vyrábějí a veškerý proud protéká neosvětleným článkem. Článek se protékaným proudem zahřívá a může vytvořit tzv. Hot Spot, tedy horký bod na FV panelu, který dokáže natavit materiál článku a tím panel zničit. Aby k podobným věcem nedocházelo, jsou mezi řetězce článků zapojeny bypass diody. Nejčastěji jsou 2 až 3 na jednom panelu. Diodami může protékat proud při zastínění článků a ty jsou tak chráněny před poškozením. Zároveň se použitím obtokových diod snižují ztráty na částečně zastíněném FV panelu. S použitím diod se projeví pouze částečně snížený výkon, daný počtem přemostěných článků. Princip funkce bypass diod je vidět na Obr. 3-6. [13], [15]



Obr. 3-6 Princip bypass diod [19]

3.2 Standartní testovací podmínky STC, Air mass – AM

Všechny parametry FV článků a panelů jsou udávány pro tzv. standartní testovací podmínky STC. definují, za jakých okolností lze měřit a testovat FV panely. Udává je teplota $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzita záření $I = 1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a Air mass $AM = 1,5$. [12]

Air mass je poměr mezi hmotou atmosféry, kterou prochází sluneční záření ke hmotě, kterou by prošlo, kdyby Slunce bylo v zenitu (nadhlavníku). [13], [15]

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z}, \quad (3.2)$$

kde:

- $AM=0$ – mimo atmosféru
- $AM=1$ – zenit
- $AM=1,5$ – $\Theta_z=48^\circ$
- $AM=2$ – $\Theta_z=60^\circ$

3.3 Druhy fotovoltaických článků

Základní surovinou pro výrobu FV článků je křemík, který je druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi, a proto je snadno dostupný. Nevýhodou je, že se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách a je třeba ho získávat z taveniny křemičitého písku.

3.3.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články, jak vyplývá z jejich názvu, jsou tvořeny jediným krystalem. Mají čtvercový tvar, někdy se zaoblenými rohy, o rozměrech až 200x200 mm. Zaoblení rohů vychází ze způsobu výroby těchto článků. Při výrobě monokrystalického křemíku je používána Czochralského metoda. Ta spočívá v tom, že se do křemíkové taveniny zavede tzv. očkovací krystal křemíku a následně se za pomalého otáčení vytahuje monokrystalická tyč křemíku o průměru několika desítek centimetrů. Tyč se následně ořezává na desky tloušťky desetin mm. Na destičky již obsahující příměs typu P se napaří vrstva typu N (fosfor), připojí se zadní a přední kontakty, antireflexní vrstva a tím je článek kompletní. [13], [14]

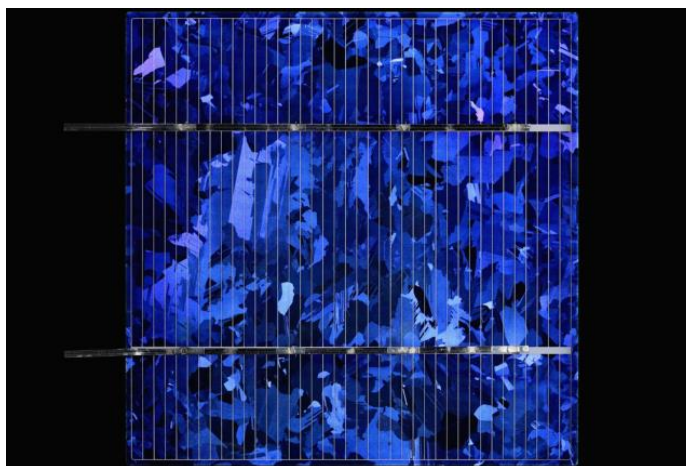
Monokrystalické články mají tmavomodrý až černý povrch homogenní struktury. Účinnost článků je díky čistotě použitého materiálu až 22 %, v laboratorních podmínkách až 25 %. Průměrnou účinnost lze očekávat okolo 16 %. [13], [15], [20]



Obr. 3-7 Monokrystalický článek [21]

3.3.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články jsou typické svým vzhledem, kdy je dobře viditelná jejich krystalická struktura. Mají čtvercový tvar a vyrábějí se v podobných nebo větších velikostech, jako články monokrystalické. Způsob výroby je oproti monokrystalickým článkům jednodušší a levnější. Obvykle se používá technologie blokového lití. Křemík se roztaví v grafitovém kelímku a následně se kontrolovaně ochlazuje. Tím vznikají typické krystaly. Bloky se následně dělí a řezou na požadované rozměr. Další zpracování se neliší od monokrystalických článků. [13], [14]



Obr. 3-8 Polykrystalický článek [22]

3.3.3 Tenkovrstvé články

Vysoké náklady na materiál a výrobu křemíkových článků vedly k rozvoji tenkovrstvé technologie, která má spotřebu materiálu i výrobní náklady nižší. Tenkovrstvá technologie používá méně křemíku, nebo vůbec žádný. Na nosný podklad, jako je sklo nebo plast, se vakuově nanese tenká vrstva polovodičového materiálu. Elektrody jsou nanášeny při výrobě např. naprašováním. Nevýhodou těchto článků je jejich nižší účinnost, cca 8 %. Nicméně v posledních letech se segment tenkovrstvých technologií dynamicky rozvíjí a lze očekávat účinnosti srovnatelné s klasickými články na bázi křemíku. [13], [15]

3.3.3.1 Amorfni křemíkové články

Amorfni křemík netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, naopak tvoří nepravidelnou síť. Jeho výroba je založena na chemickém odlučování při teplotách okolo 200 °C ze silanu. Amorfni křemíkové články dokážou využít více difuzního záření, což může být výhoda, zejména v zimním období, nebo při zatažené obloze. Jejich klasické použití je např. v solárních člancích kalkulaček. Jejich nevýhodou je malá účinnost, která v prvním roce používání klesne přibližně o 15 %. [13]

3.3.3.2 CIS, CIGS, CGIS články

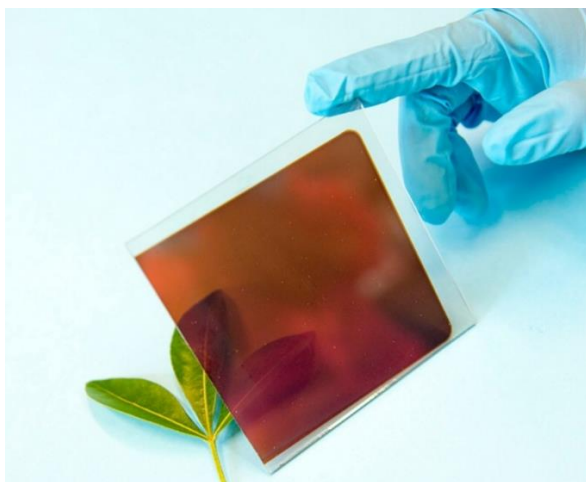
Články této kategorie jsou založeny na bázi mědi, india a dalších prvků, jako je galium a selen. Jsou podobné amorfni křemíkovým článkům, ale neprobíhá u nich degradace v prvních měsících používání, jako u amorfni článků. U tenkovrstvých článků dosahuje tato technologie nejvyšší účinnosti, ale mají problémy v horkém a vlhkém prostředí. Nevýhodou je jejich vysoká cena zapříčiněná náročností výroby. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo účinnosti i přes 20 %. Obvyklá účinnost komerčních článků je do 10 %. [13], [21]

3.3.3.3 Organické články

Organické články využívají místo konvenčního křemíku polovodičové organické materiály na bázi uhlíku. Jsou levné, tenké, mohou být ohebné, nebo průsvitné. Hlavní nevýhodou je jejich nízká účinnost. V současné době jsou organické články spíše věcí výzkumu a vývoje. [23]

3.3.3.4 Perovskytové články

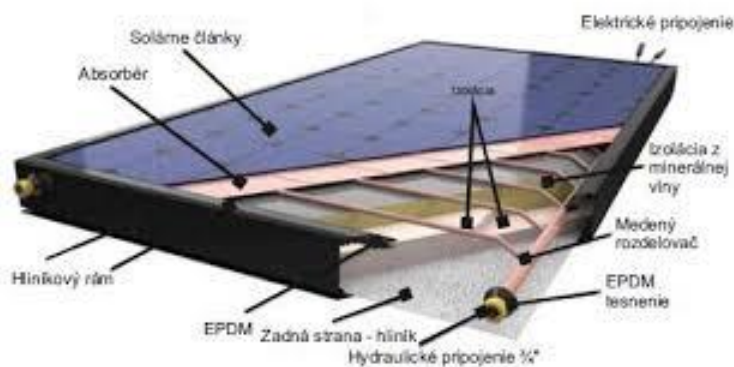
Jelikož se současné FV články, založené na relativně nákladné křemíkové technologii, začínají dostávat na své hranice, věnuje se úsilí pro nalezení nových materiálů. Jedním z nich může být i perovskyt. Perovskyt CaTiO_3 byl pro výroby FV článku poprvé použit v roce 2009 a měl účinnost 4 %. Už v roce 2013 pak byl představen článek s účinností 15 %. Teoretická účinnost může být až 28 %. Několik společností plánuje uvedení těchto článků na trh v nejbližší době. [24], [25], [26]



Obr. 3-9 Perovskytový článek [26]

3.3.4 Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory

Hybridní fotovoltaicko-tepelný (FVT) kolektor je kombinací fotovoltaického panelu a termického kolektoru. Ze stejné plochy tak získává i tepelnou energii, která je u FV panelu nevyužitá. Celková účinnost přeměny záření na teplo a elektřinu může být až 70 % a představují tak zajímavou technologii pro produkci elektřiny a teplé vody s maximálním využitím dostupné plochy pro instalaci. Teplonosnou látkou je nemrznoucí směs nebo vzduch. Největší uplatnění nacházejí v oblasti rezidenčních a administrativních budov, zejména u nízkoenergetických a pasivních budov. [27], [28]



Obr. 3-10 Hybridní FVT panel [29]

4 AKUMULÁTORY

Akumulátory jsou téměř všude okolo nás. Od malých „tužkových“ v dětských hračkách, přenosných svítilnách atd. přes akumulátory sloužící jako zdroj elektřiny pro startér automobilu, nebo trakci elektrických vozidel, až po velká bateriová úložiště v oblasti energetiky.

4.1 Olovo

Jedním z nejrozšířenějších typů akumulátorů je olověný. První olověný akumulátor vynalezl v roce 1859 fyzik G. R. Planté. Jeho princip je založen na dvou olověných destičkách ponořených v roztoku kyseliny sírové. Při vybíjení se olovo z obou elektrod mění v síran olovnatý, čímž je elektrolyt fakticky zředován, jelikož klesá koncentrace H_2SO_4 v něm obsažené. Při nabíjení elektrolyt naopak houstne. [14]

Olověné akumulátory jsou nejčastěji konstruovány jako baterie uzavřené v plastovém obalu, typicky autobaterie o nominálním napětí 12 V. Jejich výhodou je v nízké ceně, vysoké spolehlivosti, dlouhé životnosti (až tisíce cyklů), dobře zvládnutým procesem recyklace, vysoké elektrochemické účinnosti a vysoké jmenovité napětí článku (2 V). Mezi jejich hlavní nevýhody patří hmotnost, nízká energetická hustota, či delší nabíjení. [14]

Základní dělení olověných akumulátorů lze provést na startovací a trakční baterie.

- Startovací baterie
Konstrukčně je přizpůsobena pro dodávku špičkového proudu po dobu několika sekund, který je třeba k nastartování spalovacích motorů. Startovací baterie se vyznačují nízkým vnitřním odporem z důvodů většího množství elektrod.
- Trakční baterie
Trakční baterie jsou koncipovány pro dlouhodobou dodávku proudu, např. pro pohon vysokozdvihových vozíků. Z důvodu dosažení maximální kapacity a počtu nabíjecích cyklů, jsou elektrody trakčních baterií mnohem silnější a v menším počtu než u baterií startovacích.

Část baterií se dnes vyrábí jako bezúdržbové. To znamená, že elektrolyt není v tekuté formě, ale tvoří formu gelu/ pasty, případně je vsáknutý do skelného rouna, či rohože. Tyto baterie jsou kompletně uzavřeny v plastovém obalu a nemají nalévací otvory jako klasické autobaterie. [14], [30]

4.2 Ni-Cd, Ni-MH

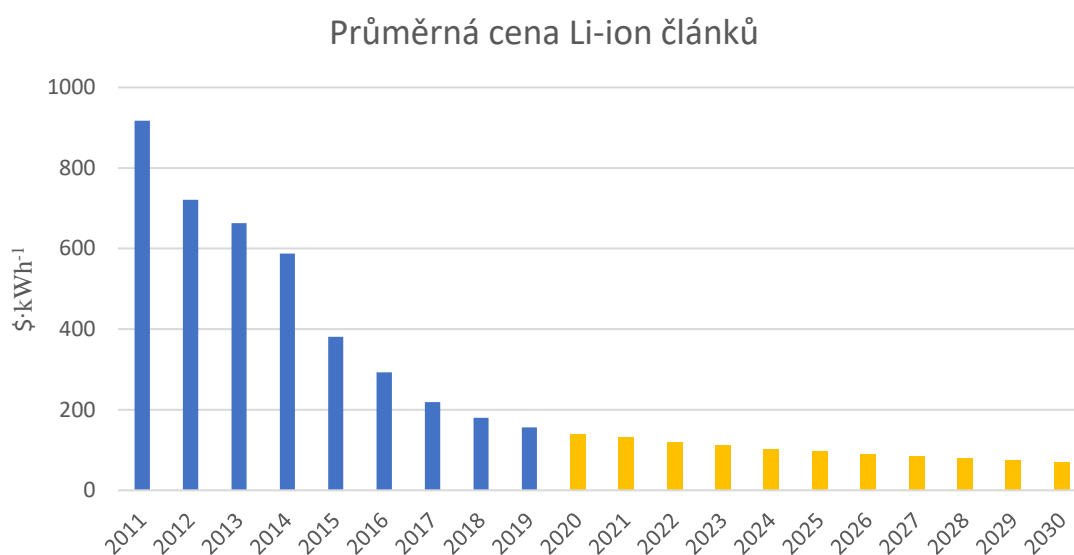
Ni-Cd články se vyrábějí od počátku 20. století. Kladná elektroda je vyrobena z oxihydroxidu niklu ($NiOOH$) a záporná z houbovitého kadmia. Elektrolytem je roztok hydroxidu draselného. Napětí Ni-cd článku je 1,35 V. Výhodou je dlouhá doba skladovatelnosti, životnost, rychlé nabíjení i vybíjení, schopnost fungování i při nízkých teplotách atd. Nevýhodou je obsah kadmia, které je toxické. [14]

Problematiku kadmia řeší nikl-metalhydridové články, které používají slitin kovů schopných absorpce vodíku do krystalové mřížky. Mají dlouhou životnost, skladovatelnost a jsou ekologicky nezávadné. Oproti Ni-Cd mají vyšší kapacitu i energetickou hustotu. Díky nízkému vnitřnímu odporu článku z něj lze odebrat proud o trojnásobku jeho kapacity. [14]

4.3 Lithium

Dalším rozšířeným typem akumulátorů jsou akumulátory založené na bázi lithia. Komerčně jsou dostupné od devadesátých let, kdy je začala používat společnost SONY do mobilních telefonů a videokamer. S postupným nárůstem výroby a používání těchto akumulátorů klesala i jejich cena, což vedlo k dalšímu rozšíření použití lithiových článků. Dnes jsou akumulátory na bázi lithia uplatňovány stále častěji a jejich rozšiřování bude dále pokračovat. Vývoj ceny Li-ion článků od roku 2011 zobrazuje Graf 4-1. Jak je z grafu vidět, cena z ceny 917 \$ za kWh v roce 2011 velmi rychle klesala, přibližně o 20 % za rok, až na 140 \$ za kWh v roce 2020. V následujících letech se předpokládá menší rychlost snižování ceny tak, že v roce 2030 je odhadovaná cena 70 \$ za kWh, což je přibližně 7 % ceny článků v roce 2011. [14], [31]

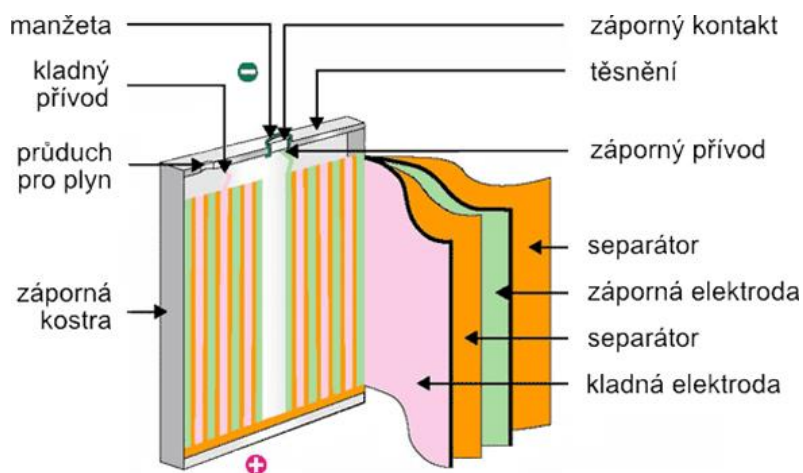
Hlavní výhody lithiových článků jsou vyšší energetická i objemová energetická hustota, z toho vyplývající malá hmotnost, nízké samovybití, jednoduchý princip nabíjení a nabíjet lze v jakémkoliv stavu bez negativního dopadu na výkon akumulátoru atd. [32]



Graf 4-1 Vývoj cen Li-ion článků do roku 2019 a predikce cen do roku 2030 [33], [34]

4.3.1 Lithium-iontové (Li-Ion), Lithium-polymerové (Li-Pol)

Lithium iontový článek se často používá ve spotřební elektronice nejčastěji s označením 18650 (18 x 65 mm). Tělo je tvořené kovovým obalem, který chrání elektrody, jež jsou navíjeny do tvaru válce. Plášť obsahuje tlakový pojistný ventil jako ochranu při přebití a úniku plynů. Článek má kapalný elektrolyt z lithiové soli rozpuštěné v organickém rozpouštědle a jmenovité napětí 3,6 V. Záporná elektroda je tvořena uhlíkem a kladnou elektrodu tvoří sloučeniny kovů, např. LiCoO₂, LiMnO₂, LiMn₂O₄ atd. Typickou aplikací jsou baterie u notebooků, nebo ve vozech Tesla, kde je v sérioparalelním spojení použito několik tisíc článků tvořící celou baterii. Energetická hustota je mezi 150-200 Wh·kg⁻¹. [14]



Obr. 4-1 Řez článkem LI-Ion [32]

Lithium polymerové články jsou jakýmsi nástupcem Li-Ion technologie. Články mají elektrolyt v podobě polymerní sloučeniny, mohou být i velmi tenké, což je výhoda pro malá a tenká zařízení, mají vyšší počet nabíjecích cyklů a vyšší energetickou hustotu než Li-Ion články. Elektrody jsou na sebe vrstveny a většinou mají tvar kvádrů. Celý článek je většinou zabalený do hliníkové fólie a je relativně pružný. Zároveň není moc mechanicky odolný a při mechanickém namáhání může dojít ke zkratu a destrukci článku. Jejich hlavní nevýhoda oproti Li-Ion je vyšší cena. Proto se na trhu stále šířeji neuplatňují a nejčastější aplikací je jako zdroj energie pro RC modely. [35], [36]

4.3.2 Lithium-železo-fosfátové (LiFe, LiFePO₄, LiFeYPO₄)

Lithium-železo-fosfátové články používají jako katodu materiál LiFePO₄, anodu tvoří uhlíkové materiály (grafit). Pokud je do materiálu kladné elektrody přidáno yttrium pro vylepšení vodivosti a zvýšení stability struktury LiFePO₄, jsou články označovány jako LiFeYPO₄. Elektrolyt článků tvoří lithiové soli (obvykle LiPF₄) v organickém rozpouštědle, nebo polymeru. Výhody těchto článků jsou hlavně ve vyšší proudové zatížitelnosti, jsou méně náchylné proti hlubokému vybití, mají vyšší životnost (až 8000 nabíjecích cyklů), vyšší energetická hustota, cca 90-120 Wh·kg⁻¹. Jejich nevýhodou je citlivost na přebíjení a vyšší cena proti olověným akumulátorům. Jmenovité napětí článku je 3,2 V. Proto bývá čtyř článková baterie s oblibou používána jako náhrada Pb baterie, jelikož mají podobné provozní napětí. Díky materiálu katody, který ani při vysokých teplotách neuvolňuje kyslík a je odolný oxidaci, jsou články LiFePO₄ bezpečnější než předešlé typy lithiových článků, které mohou při přebíjení vzplanout, či dokonce vybuchnout. [32], [37], [38]

5 OCHRANA BATERIE

Ochrana baterie, resp. jednotlivých článků je velice důležitá. Pokud by se baterie nechala bez jakýchkoliv ochranných systémů došlo by v lepším případě brzy k její degradaci. V horším případě by mohla při přebití vzplanout, nebo dokonce explodovat. Aby se podobným událostem předešlo a zajistila se největší možná živostnost akumulátorů, používá se mnoho druhů ochran. Jsou to například ochrany podpěťové, přepětěvé, nebo tepelné. Nejpoužívanějším typem jsou komplexní BMS moduly, které v sobě mají zahrnutou veškerou potřebnou ochranu.

5.1 Battery management system (BMS)

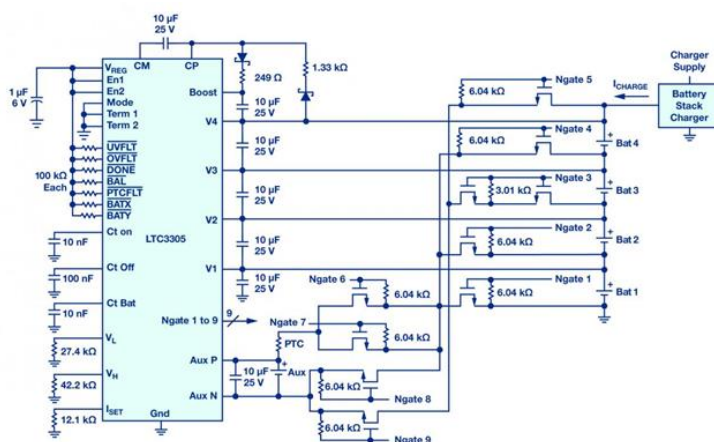
Battery management system řeší problematiku řízení nabíjení a balancování baterií tak, aby byla využita maximální možná kapacita každého jednotlivého článku. Žádný akumulátor, i ze stejné série, není naprosto stejný a při nabíjení i vybíjení je nejhorší článek v sérii limitující pro celou baterii. Pokud má jeden článek horší parametry než ostatní, je celá baterie limitována maximálním možným nábojem, dodaným právě tímto článkem. BMS měří napětí každého článku a zabraňuje jeho přebití. Naopak, pokud by napětí kleslo pod dovolenou mez, systém odpojuje zátěž, aby nedošlo ke zničení baterií. Balancování baterií lze rozdělit na balancování pasivní a aktivní

5.1.1 Pasivní balancování

Princip pasivního balancování je takový, že články, které jsou plně nabitě, jsou připojovány k rezistorům, kde se maří přebytečná energie a tím je umožněno nabití ostatních článků v sérii do jejich maximální kapacity. Tento systém je jednoduchý, nicméně z energetického hlediska nepříliš výhodný, jelikož zde dochází k maření elektrické energie a přeměnu v tepelnou energii. To může vést k zahřívání akumulátorů, pokud jsou balancéry v blízkosti, a k jejich rychlejší degradaci.

5.1.2 Aktivní balancování

Aktivní balancování se od pasivního vyznačuje tím, že zde nedochází k přeměně přebytečného náboje v teplo, ale k reálnému přerozdělování energií mezi jednotlivými články. To zvyšuje dobu provozu baterie, snižuje spotřebu energie při nabíjení a zároveň snižuje dobu nabíjení. Obvod aktivního balancéru tvoří logická a silová část, přes kterou tečou vyrovnávací proudy. [39]



Obr. 5-1 Schéma aktivního balancéru pro 4 akumulátory [39]

6 PROTOTYP NABÍJECÍ STANICE

Předchozí prototyp vzniknul jako součást diplomové práce v předchozích letech. Prototyp byl tvořený komponenty umístěnými v plastovém úložném boxu o objemu 60 l. Obsahoval čtyři LiFePO₄ akumulátory o celkové kapacitě 40 Ah a napětí 14,6 V, regulátor, střídač, dvě 5V a jednu 12V zásuvku, jednu zásuvku na 230 V a měřicí systém na platformě Arduino Mega 2560. Zařízení bylo vybaveno měřením a údaje z něj byly zobrazovány na displeji, který se přepínal tlačítky do jednotlivých módů. Zařízení bez vrchního zakrytování je zobrazeno na Obr. 6-1.



Obr. 6-1 Nabíjecí stanice předchozí generace

6.1 Nedostatky

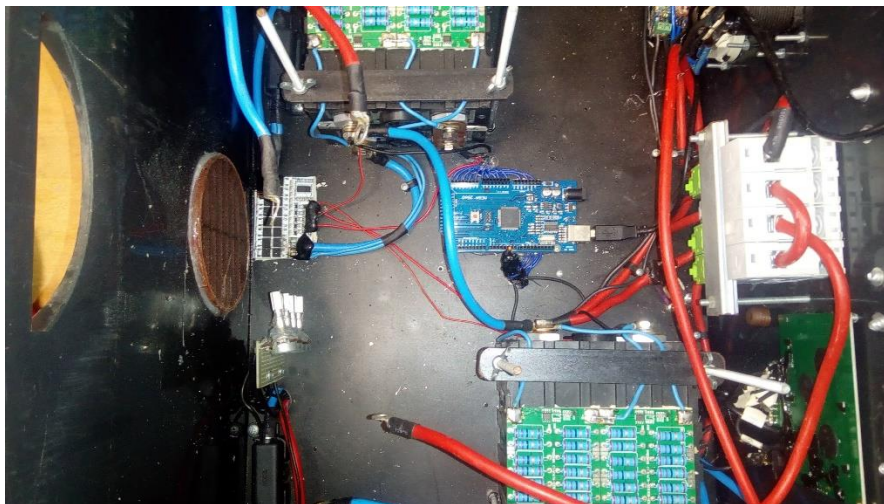
Prototyp mobilního zdroje v podstatě nebyl funkční, resp. jeho provoz byla velmi krátký. Jako hlavní nedostatek se tedy ukázala životnost, jelikož zařízení rychle přestalo fungovat. Důvodů bylo více, např. volné, či upadlé vodiče ze svorkovnic, nicméně hlavní příčinou byl poškozený BMS modul řídící nabíjení baterie. To bylo způsobeno několika faktory.

Hlavní příčinou byla nedostatečná tuhost plastového úložného boxu a jeho malá mechanická odolnost proti poškození. Box byl vyroben z relativně měkkého a houževnatého plastu. Proto při manipulaci docházelo ke kroucení a ohýbání celého obalu a tím k namáhání vnitřních komponent.

Dalším důvodem bylo to, že se v celém zařízení nacházely silně předimenzované vodiče, které byly velmi často nevhodně připájené. Konkrétně u BMS modulu to zapříčinilo odtržení vodivé části DPS a tím došlo k jeho faktickému zničení. Velká část vodičů měla odhalená jádra vlivem neopatrného odstraňování izolace při výrobě. Další věcí bylo použití kabelů s izolací ze syntetického kaučuku, které nejsou na FV instalace určeny.

Celé zařízení bylo téměř nerozebíratelné, resp. neopravitelné, jelikož téměř všechny spoje byly propájené, a tudíž nebylo možné vadné části jednoduše vyměnit. Např. celý řídicí modul s Arduinem byl na jednotlivých pinech připájen k jednotlivým vývodům. Použití konektorů by bylo vhodnější. Velká část dílů, spojů vodičů a vodičů samotných byla lepena pravděpodobně tavným lepidlem, či podobným typem. Hlavně z tohoto důvodu téměř nebylo možné dohledat a případně opravit závady a znamenalo by to provést novou, kompletní kabeláž.

Nabíjecí stanice měla poměrně velké rozměry (580 x 390 x 335 mm) a vzhledem ke své hmotnosti přes 10 Kg s ní byla špatná manipulace a na další vzdálenosti byla jedním člověkem téměř imobilní. Zároveň s tím byl vnitřní prostor málo využitý a nacházelo se zde hodně prázdného místa, jak je vidět na Obr. 6-2.



Obr. 6-2 Vnitřní uspořádání stanice bez FV regulátoru a střídače

Dalším bodem je nízký stupeň krytí IP celého zařízení. Na více místech boxu byly větrací otvory, které nejsou nijak chráněné proti vniknutí vody, pokud by bylo zařízení vystaveno např. dešti. Úložný box byl zakrytý horním víkem, které šlo jednoduše demontovat a tím se dostat na vstupní i výstupní svorky regulátoru a na vstupní svorky střídače. Při neopatrném zacházení by pak mohlo dojít v těchto místech ke zkratu.

Z pohledu uživatele zařízení nenabízelo příliš komfortu, protože obsahovalo pouze dvě USB-A zásuvky, jednu 12V zásuvku a jednu zásuvku na 230V. To je na zařízení tohoto typu relativně málo.

Hlavní nedostatky předchozí konstrukce:

- Malá mechanická odolnost obalu a velké rozměry
- Provedení pájených spojů – zničený BMS modul
- Nevhodné kabely pro připojení FV modulů
- Nízký stupeň krytí IP
- Malý počet výstupů
- Celkově nízká úroveň zpracování

Po pečlivém průzkumu stanice a zvážení všech negativ bylo rozhodnuto pro stavbu stanice nové generace. Představovalo to snadnější vylepšení parametrů než upgrade stanice stávající.

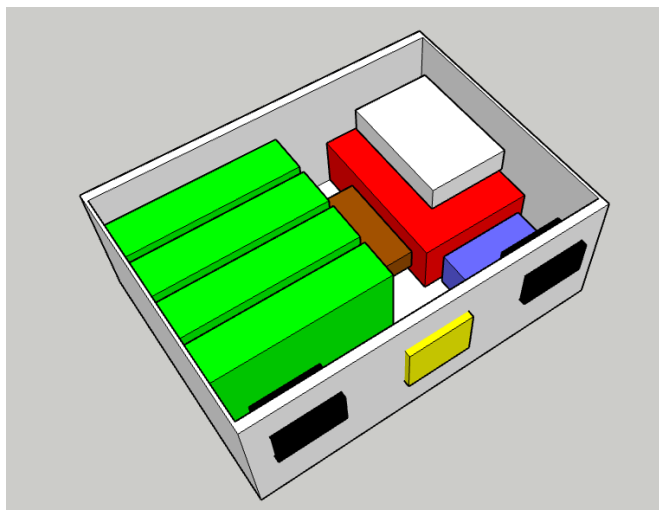
7 NABÍJECÍ STANICE NOVÉ GENERACE

Protože bylo rozhodnuto pro stavbu nové nabíjecí stanice, bylo nejprve nutné navrhnout celkový koncept. Při zvážení všech okolností bylo rozhodnuto pro samostatnou nabíjecí stanici s možností připojení FV panelů jako možnost nabíjení. Tato varianta poskytuje největší flexibilitu při různých podmínkách používání samotné nabíjecí stanice, ale i připojovaných FV panelů. Mezi panely a nabíjecí stanicí je zařazen spojovací box s kabely. Jeho výhodou spočívá v tom, že lze panely libovolně umisťovat až 4 metry daleko od stanice a tím zajišťovat optimální podmínky pro výrobu elektřiny a zároveň pohodlný přístup k zásuvkám stanice. Propojování boxu a panelů zajišťují klasické MC4 solární konektory. Připojení spojovacího boxu k nabíjecí stanici je realizováno pomocí vodotěsného konektoru s převlečnou maticí. FV panely budou zapojeny paralelně. To umožní zapojení i menšího počtu panelů, než je všech pět, v případě, kdy bude dostačovat menší dodávaný výkon.

Všechny komponenty stanice bylo nutné umístit do vhodného obalu. Z předchozího projektu bylo jasné, že obal musí být dostatečně pevný, ergonomický a musí mít kompaktní rozměr. Volba padla na tzv. systainery. To jsou úložné pracovní kufry na nářadí a pracovní pomůcky, které se mezi sebou dají obvykle stohovat, zamykat a vytváří tím jakousi mobilní dílnu pro řemeslníky. Hlavním kritériem výběru byla jejich odolnost proti poškození a tím i předpoklad dlouhé životnosti vyrobené nabíjecí stanice.

Zkonstruovaná stanice má primárně sloužit jako zdroj pro napájení malých spotřebičů. Typickým použitím bude nabíjení mobilních telefonů, tabletů, nabíječek na notebooky atd. Pro tyto účely je zdroj osazen USB-A a USB-C konektory v celkovém počtu 6 ks. K zajištění napájení spotřebičů na 230 V jsou dvě osazeny zásuvky 230 V a jedna autozásuvka 12 V. Vše monitoruje systém na platformě Arduino s displejem, který je ovládán tlačítky po jeho bocích. Jelikož byl již v minulosti podobný projekt realizován, bude snaha o co možná největší využití existujících komponent. To může zapříčinit ne úplně optimální konstrukční řešení zařízení ve všech oblastech.

Hlavními cíli bylo odstranění všech výše zmíněných nedostatků a posunutí stanice na novou úroveň tak, aby byla srovnatelná s obdobnými výrobky na trhu. V souladu s tím byly kladeny nároky na kvalitní dílenské zpracování a dlouhou životnost výrobku. První návrh podoby stanice je vidět na Obr. 7-1. Zelenou barvou jsou označeny akumulátory, červeně střídač, bíle měnič pro dobíjení ze sítě, hnědě BMS, modrá barva značí regulátor FV panelů, černá výstupní periferie a žlutá displej.



Obr. 7-1 První návrh základních komponent v systaineru Festool SYS3 M 187

8 POUŽITÉ KOMPONENTY

V této kapitole jsou uvedeny hlavní komponenty použité na stavbu nabíjecí stanice. Část z nich je převzata z předešlého projektu, kvůli snaze o snížení nákladů na stavbu a opětovného využití komponent.

8.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely byly převzaty z předchozího projektu. Jedná se o 5 kusů panelů Sunny Flexible Mono 100 Wp. Vzhledem k tomu, že panely nejsou nové, lze očekávat nižší maximální výkon, než jaký je uváděný ve specifikaci. V předchozích měřeních nebylo dosaženo většího výkonu než 80 W při ideálních podmínkách. [40]

Parametry FV panelů:

- Technologie: monokrystalický křemík,
- Jmenovitý výkon: 100 Wp,
- Jmenovité napětí: 18 V,
- Účinnost: 21 %,
- Hmotnost: 1,8 kg,
- Napětí v bodě maximálního výkonu: 17,60 V,
- Proud v bodě maximálního výkonu: 5,40 A,
- Napětí naprázdno: 20,80 V,
- Zkratový proud: 5,78 A,
- Rozměry: 1100 x 580 mm

8.2 Regulátor

Aby se do napěťové hladiny 12 V daly připojit FV panely s vyšším napětím, je použitý MPP regulátor. Dle údajů výrobce má fungovat od 4,2 V do 40 V. Ze zkušebním měření ovšem vyplynulo, že regulátor funguje přibližně až od 12 V. To by ale nemělo mít negativní dopady na fungování nabíjecí stanice, jelikož FV panely budou mít po většinu času napětí vyšší než 12 V. [41]

Parametry regulátoru:

- Maximální vstupní napětí: 40 V,
- Výstupní napětí: 4,2 V~30 V (výchozích 14,4 V),
- Maximální proud: 40 A,
- Pracovní teplota: -30 °C~60 °C

8.3 Střídač TRONIC TSW 300 A1

Invertor TRONIC TSW 300 A1 zajišťuje napájení všech střídavých obvodů, tzn. dvou zásuvek 230 V~. Se svým výkonem 300 W neposkytuje dostatek výkonu pro velké spotřebiče, nicméně pro navrhované účely by měl být schopen výkonovou potřebu pokrýt. Z předchozích měření je znám ztrátový výkon, který činí cca 6 W při nezatíženém výstupu. [40]

Parametry střídače TRONIC TSW 300 A1:

DC vstup

- Nominální napětí: 12 V,
- Maximální napětí: 15,6 V,
- Maximální proud: 40 A,
- Poplach při podpětí: $10,5 \pm 0,3$ V,
- Vypnutí při podpětí: $10 \pm 0,3$ V,
- Vypnutí při přepětí: $16 \pm 0,5$ V,
- Pojistka 40 A

AC výstup

- Nominální napětí: 220~240 V, 50 Hz,
- Výstupní proud: 1,3 A,
- Nominální výkon: 300 W,
- Maximální výkon: 600 W/ 0,1 s,
- Účinnost: 82 %,
- Výstupní vlnový průběh: modifikovaný sinus,
- Ochrana proti přetížení: ≥ 320 W,
- Teplota vypnutí: $65 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$

USB výstup

- Napětí: 5 V,
- Výstupní proud: 500 mA

Ochrana: 50 A automobilová pojistka

8.4 Spínaný zdroj

Pro potřeby nabíjení je instalován spínaný zdroj, který zajišťuje nabíjení ze sítě v době, kdy nelze použít FV panely.

Parametry spínaného zdroje LRS-150F-15 MEAN WELL:

- Výkon: 150 W,
- Výstupní proud: 10 A,
- Pracovní teplota: $-30 \text{ °C} \sim 70 \text{ °C}$,
- Ochrany: nárůst napětí, proti přehřátí, proti přetížení, proti zkratu,
- Účinnost: 89 %,
- Vstupní napětí: 100~240 V, 50/60 Hz,
- Výstupní napětí: 13,50 V~18 V,
- Ochrana proti přepětí, proti zkratu, proti přetížení, proti přehřátí

8.5 Akumulátory

Akumulátory jsou typu LiFePO₄. Celá baterie je složena ze čtyř kusů těchto článků. Jelikož použité akumulátory nebyly nové, bylo nejprve nutné zjistit v jakém jsou stavu. Dva ze čtyř článků měli napětí kolem 2,9- 3 V, tedy povolený provozní rozsah napětí. Další dva články měly cca 2,2 V, což je už pod hranicí minimálního vybíjecího napětí. Proto byly články pomalu nabity proudem

0,1 A až do napětí 3 V tak, aby se přibližně vyrovnala napětí všech článků a celá baterie se následně plně nabíla s pomocí BMS. Po této regeneraci byly články sledovány a nebyly zaznamenány žádné poklesy napětí. Z toho lze usuzovat, že články neutrpěly zásadní poškození. Nicméně je pravděpodobné, že jejich kapacita tím bude mírně nižší.

Parametry článku LiFePO₄:

- Nominální napětí: 3,2 V,
- Kapacita: 40 Ah,
- Vnitřní odpor: $\leq 0.80 \text{ m}\Omega$,
- Provozní napětí: 2,80 V – 3,65 V,
- Minimum vybíjecího napětí: 2,65 V,
- Maximum nabíjecího napětí: 3,70 V,
- Maximální doporučený vybíjecí/ nabíjecí proud: 13 A,
- Maximální nabíjecí proud: 80 A,
- Maximální vybíjecí proud: 120 A,
- Počet cyklů: ≥ 2000 ,
- Provozní teplota okolí – nabíjení: 0 °C ~ 45 °C,
- Provozní teplota okolí – vybíjení: -20 °C ~ 55 °C,
- Skladovací teplota okolí: -10 °C ~ 45 °C,
- Rozměry: 186 mm x 46 mm x 116 mm,
- Hmotnost: 1,5 kg

8.6 BMS

Pro ochranu a řízení nabíjení baterie je použit BMS.

Na trhu je velké množství různých BMS modulů pro mnoho druhů a množství článků i napětí. Jedním parametrem při výběru je i volba mezi společným, nebo samostatným portem pro nabíjení a vybíjení. Základní rozdíl je v tom, že společný port dokáže do baterie dodávat stejně velký proud jako z ní odebírá. Oproti tomu BMS se samostatným portem dokáže z baterie odebírat menší proud. V tomto konkrétním případě poloviční. To je na první pohled jasná nevýhoda. Nicméně BMS se samostatným portem dokáže napájet zátěž i v případě, že je baterie plně nabitá a dojde k odpojení přiváděného proudu. V případě společného portu by byla odepnuta dodávka proudu i zátěž. Jelikož se očekává proměnlivá výroba FV panelů, mohlo by docházet k nečekanému odpinání zátěže, což je nežádoucí. Proto padla volba na BMS Daly 18650 se samostatným portem.

Parametry BMS Daly 18650

- Nominální napětí: 12 V,
- Nabíjecí napětí: 14,60 V,
- Balanční napětí: 3,50 V (+/- 0,05V),
- Ochrana proti přebíjení: 3,55 V (+/- 0,05V),
- Ochrana proti podbití: 2,70 V (+/- 0,01V),
- Maximální nabíjecí proud: 20 A,
- Nominální vybíjecí proud: 40 A,
- Špičkový vybíjecí proud: 165 A,
- Nadproudová ochrana: 165 A,
- Balancovací proud: 30 mA

8.7 Balanční moduly

Pro zvýšení balančního proudu jsou použity 4 balanční moduly. BMS sice disponuje balancováním, ale pouze do velikosti proudu 30 mA. To by v případě silně rozbalancovaných článků mohlo vést k tomu, že 30 mA nebude stačit, článek se začne přebíjet, BMS vypne nabíjení celé baterie a zbylé články by zůstaly nenabitě. Balanční moduly jsou tvořené spínanou odporovou zátěží, ve které se maří proud, který by jinak přebíjel daný článek. Okamžik sepnutí je dán hraničním napětím 3,6 V. Při napětí 3,5 V se zátěž opět odepíná. Každý článek má svůj modul, proto jsou použity čtyři kusy modulů.

Parametry balančního modulu:

- Balanční napětí hraniční: 3,60 V (+/- 0,05V),
- Balanční napětí uvolňovací: 3,50 V (+/- 0,05V),
- Maximální napětí: <5 V,
- Balanční proud: 0 ~ 1,70 A,
- Vlastní spotřeba: <20 mA,
- Pracovní teplota: -40 °C ~ 125 °C,
- Teplota rezistorů až 85 °C

8.8 Ventilátory

K aktivnímu chlazení nabíjecí stanice je použita dvojice 12 V BLDC ventilátorů.

Parametry ventilátoru ME80151V1-000U-A99:

- Nominální napětí: 12 V,
- Provozní napětí minimální: 4,50 V,
- Provozní napětí maximální: 13,80 V,
- Příkon: 1,96 W,
- Průtok ventilátoru: 62,86 m³·h⁻¹,
- Počet otáček: 3000 (± 10 %) ot·min⁻¹

8.9 Arduino Mega 2560

K řízení monitoringu celé nabíjecí stanice slouží Vývojová deska Arduino Mega 2560.

Parametry vývojové desky Arduino Mega 2560:

- Provozní napětí: 5 V DC,
- Vstupní napětí nominální: 7~12 V,
- Vstupní napětí maximální: 6~20 V,
- Proud I/O pinu: 20 mA,
- Proud 3V3 pinu: 50 mA,
- Počet digitálních/ vstupů/ výstupů: 54,
- Počet digitálních/ vstupů/ výstupů: 16,
- Paměť FLASH: 256 KB,
- SRAM: 8 KB,
- EEPROM: 4 KB

8.10 LCD display 128x64 ST7920

Pro zobrazování výstupů z platformy Arduino je použitý LCD displej o rozměrech obrazovky 40x72mm s rozlišením 128x64. Celý modul displeje má rozměry 93x70 mm. Na displeji je možné nastavit jas zobrazení za pomoci trimru na zdaní straně DPS

8.11 Jistič Noark Ex9BN

Jištění, odepínání baterie a vypínání celého systému zajišťuje jistič Noark. Jde o modulární trojfázový jistič montovaný na DIN lištu, který lze používat i na jištění stejnosměrných rozvodů do napětí 48 V.

Parametry jističe Noark Ex9BN:

- Počet pólů: 3,
- Jmenovitý proud: 40 A,
- Vypínací charakteristika: B,
- Zkratová vypínací schopnost: 6 kA,
- Jmenovité pracovní napětí: 230/400 V AC, 48 V DC (na pól),
- Jmenovitá frekvence: 50/60 Hz,
- Krytí: IP20,
- Průřez připojovacího vodiče: 1-35 mm²,
- Okolní teplota: -30 ... +70 °C,
- Norma: IEC / ČSN EN 60898-1.

9 PROPOJENÍ PANELŮ A NABÍJECÍ STANICE

Propojení FV panelů a nabíjecí stanice zachovává původní koncepci rozvodného boxu propojeného kabely k panelům i nabíjecí stanici. Po analýze nedostatků bylo přistoupeno k následujícím zlepšením:

- paralelní pospojování kabelů v boxu pomocí Cu pásoviny a kabelových ok
- chlazení boxu (cca 15 W) - připojení diod přes teplovodivou izolační podložku na Al chladič
- použití solárních kabelů s dvojitou izolací určené pro FV instalace

Tělo boxu tvoří instalační krabice Famatel 68070 o rozměrech 170x105x82mm s krytím IP 65, na které je připevněn Al chladič pro chlazení diod. Chladič je přilepený víceúčelovým lepícím tmelem a přišroubovaný čtyřmi šrouby. V otvorech pro všechny šrouby (včetně připevnění diod) jsou vyřezány těsnější závity a před montáží byly zalaty barvou, aby i zde byla zajištěná vodotěsnost. Kabely jsou do boxu přivedeny pomocí kabelových průchodek a těsnících gumových průchodek se stupněm krytí IP 68. Použité měděné přípojnice jsou upevněny distančními sloupky k plastové základně na dně boxu.



Obr. 9-1 Vnitřní uspořádání propojovacího boxu

9.1 Chladič boxu propojení

Pro zabránění zpětného toku proudu do FV panelu při jeho zastínění, byly zvoleny diody MBR1545CT s maximálním závěrným napětím 45 V a jmenovitým proudem 15 A, což postačuje pro 24 V a 5,4 A na přívodech od panelů ve spojovacím boxu. Tepelná ztráta jedné diody při průchodu 5,5 A činí dle datasheetu přibližně 2,5 W.

Pro chlazení diod bylo třeba navrhnout chladič. Předpokladem bude, že ztráta diody je 3 W a maximální okolní teplota je 45 °C. Celkový ztrátový výkon diod tedy činí 15 W. Pro chlazení byl zvolen chladič s tepelným odporem $1,8 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$ o rozměrech 152 x 20 x 80 mm. Maximální teplota chladiče pak bude:

$$\vartheta_c = \vartheta_a + R_{\vartheta ch} \cdot n \cdot P_z \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (9.1)$$

$$\vartheta_c = 45 + 1,8 \cdot 5 \cdot 3 = 72 \text{ }^\circ\text{C} \quad (9.2)$$

kde:

- ϑ_c je teplota chladiče [$^\circ\text{C}$],
- ϑ_a je uvažovaná teplota okolí [$^\circ\text{C}$],
- $R_{\vartheta ch}$ je tepelný odpor chladiče [$\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],
- n je počet diod [-],
- P_z je ztrátový výkon diody [W].

Chladič propojovacího boxu bude mít maximální teplotu $72 \text{ }^\circ\text{C}$;

9.2 Kabel: FV panel – propojovací box

Průřez kabelů od panelů do spojovacího boxu byl zachován na $1 \times 2,5 \text{ mm}^2$, resp. $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ s proudovou zatížitelností 36 A při uložení na vzduchu. Vodič byl vyměněn za typ s dvojitou izolací, které se používají při instalaci fotovoltaických elektráren a jsou mimo jiné chráněny proti UV záření.

Uložení kabelů je na vzduchu a kabely se dotýkají, tomu odpovídá typ uložení F. Pro tento typ uložení a malé průřezy ovšem nejsou stanovené tabelované dovolené proudy a výrobce tyto hodnoty neuvádí. Jelikož kabel tvoří dva vodiče přiléhající těsně k sobě, bude ve výpočtech na kabel pohlíženo jako na kabel dvoužilový. Proto je použit nejbližší podobný typ uložení E, tedy dvou, nebo trojžilové kabely uložené na vzduchu. Stejně jako u výpočtu chlazení je počítáno s maximální teplotou okolí 45°C . Kabel byl použitý SOLARFLEX®-X H1Z2Z2-K $2,5 \text{ mm}^2$. [42]

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = k \cdot I_n \text{ [A]}, \quad (9.3)$$

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 36 = 31,32 \text{ A}, \quad (9.4)$$

kde:

- I_n je jmenovitý proud vodiče [A],
- k je koeficient pro odlišnou teplotu vzduchu $30 \text{ }^\circ\text{C}$,

tímto je splněna podmínka:

$$I_z \leq I_{dov} \leq I_n, \quad (9.5)$$

$$5,4 \leq 31,32 \leq 36, \quad (9.6)$$

kde:

- I_z je zátěžný proud procházející vodičem [A],
- I_{dov} je maximální dovolený proud vodičem [A],
- I_n jmenovitá proudová zatížitelnost vodiče [A].

Navržený kabel tedy nepřekročí jmenovitou proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{S} [\Omega] \quad (9.7)$$

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{1}{2,5} = 7,14 \text{ m}\Omega \quad (9.8)$$

kde:

- ρ je měrná rezistivita mědi [$\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$],
- l je délka vodiče [m],
- S je průřez vodiče [mm^2]

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\vartheta_{45} - \vartheta_{20})][\Omega] \quad (9.9)$$

$$R_{45} = 7,14 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 7,84 \text{ m}\Omega \quad (9.10)$$

kde:

- α je teplotní součinitel rezistivity [K^{-1}],
- ϑ je teplota [$^{\circ}\text{C}$],

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot R_{45} \cdot I_z [\text{V}] \quad (9.11)$$

$$\Delta U = 2 \cdot 7,84 \cdot 10^{-3} \cdot 5,4 = 0,085 \text{ V} \quad (9.12)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 [\%] \quad (9.13)$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,085}{17,6} \cdot 100 = 0,48 \% \quad (9.14)$$

kde:

- U je jmenovité napětí na vodiči [V]

Poměrný proud:

$$i = \frac{I_z}{I_{dov}} [\text{A}] \quad (9.15)$$

$$i = \frac{5,4}{31,32} = 0,17 \text{ A} \quad (9.16)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta \vartheta_z = \vartheta_z - \vartheta_0 [^{\circ}\text{C}] \quad (9.17)$$

$$\Delta \vartheta_z = 90 - 45 = 45 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (9.18)$$

kde:

- ϑ_z je maximální teplota vodiče [°C],
- ϑ_0 je teplota okolí [°C].

Maximální oteplení způsobené poměrným proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_m = \Delta\vartheta_z \cdot i^{2,492} = [\text{°C}] \quad (9.19)$$

$$\Delta\vartheta_m = 45 \cdot 0,17^{2,492} = 0,54 \text{ °C} \quad (9.20)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_\infty = \Delta\vartheta_m \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = [\text{°C}] \quad (9.21)$$

$$\Delta\vartheta_\infty = 0,54 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 0,54 \text{ °C} \quad (9.22)$$

kde:

- t je čas [°C] (∞ pro ustálené oteplení).
- τ je časová oteplovací konstanta [s],

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudem:

$$\vartheta = \vartheta_0 + \Delta\vartheta_\infty [\text{°C}] \quad (9.23)$$

$$\vartheta = 45 + 0,54 = 45,54 \text{ °C} \quad (9.24)$$

9.3 Kabel: propojovací box – nabíjecí stanice

Kabel od propojovacího boxu k nabíjecí stanici je navržen jako 1x4 mm², resp. 2x4 mm². Tabelovaná hodnota proudové zatížitelnosti je 49 A. Uložení je na vzduchu s délkou 3 m. Tomu odpovídá typ uložení F. Pro tento typ uložení a malé průřezy ovšem nejsou stanovené tabelované dovolené proudy a výrobce tyto hodnoty neuvádí. Jelikož kabel tvoří dva vodiče přiléhající těsně k sobě, bude ve výpočtech na kabel pohlíženo jako na kabel dvoužilový. Proto je použit nejbližší podobný typ uložení E, tedy dvou, nebo trojžilové kabely uložené na vzduchu. Maximální teplota okolí je 45°C. Kabel byl použitý SOLARFLEX®-X H1Z2Z2-K 4 mm². Zátěžný proud je 27 A (5x5,4 A). [42]

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 49 = 42,63 \text{ A} \quad (9.25)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$27 \leq 42,63 \leq 49 \quad (9.26)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{3}{4} = 13,4 \text{ m}\Omega \quad (9.27)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 13,4 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 14,71 \text{ m}\Omega \quad (9.28)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 14,71 \cdot 10^{-3} \cdot 27 = 0,79 \text{ V} \quad (9.29)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,79}{17,6} \cdot 100 = 4,5 \text{ \%} \quad (9.30)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{27}{42,63} = 0,63 \text{ A} \quad (9.31)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta\vartheta_z = 90 - 45 = 45 \text{ °C} \quad (9.32)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_m = 45 \cdot 0,63^{2,492} = 14,23 \text{ °C} \quad (9.33)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_{\infty} = 14,23 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 14,23 \text{ °C} \quad (9.34)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudem:

$$\vartheta = 45 + 14,23 = 54,23 \text{ °C} \quad (9.35)$$

10 KONSTRUKCE NABÍJECÍ STANICE

Hlavní snahou bylo zmenšit celé zařízení do co možná nejmenšího prostoru a tím zlepšit ergonomii a manipulaci se zařízením. Základní celek tvoří čtveřice akumulátorů LiFePO₄, regulátor, střídač a řídicí systém. Základ konstrukce tvoří nářaďový box, tzv. systainer od značky Festool, konkrétně typ SYS3 M 187, který je zobrazen na Obr. 10-1. Jde o plastový úložný box, který lze kombinovat a spojovat s ostatními a vytvořit si vlastní komplexní mobilní pracovní zázemí. Vnitřní část konstrukce tvoří platforma z PS desky tloušťky 5 mm umístěná na dno systaineru. Na ní jsou připevněny všechny součásti pomocí vrutů, třmenů, nebo distančních sloupků. Aby se při manipulaci celá platforma nemohla vertikálně pohybovat, je mezi baterií a víkem systaineru přilepen pěnový blok, který pružně vyplňuje mezeru a tím zabraňuje pohybu platformy.



Obr. 10-1 Systainer Festool SYS3 M 187 [40]

10.1 Kabely

Pro výpočet kabelů v nabíjecí stanici je předpokládána maximální teplota 45°C. Vzhledem k aktivnímu chlazení se dá předpokládat, že teplota uvnitř nebude vyšší. Veškerá kabeláž je provedena typem kabelu H07V-K různých průřezů od firmy NKT.

10.1.1 Kabel: FV vstup-regulátor

Pro vedení od vstupu do nabíjecí stanice do regulátoru je použitý průřez vodiče 4 mm².

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 45 = 39,15 \text{ A} \quad (10.1)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$27 \leq 39,15 \leq 45 \quad (10.2)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,5}{4} = 2,23 \text{ m}\Omega \quad (10.3)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 13,4 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 2,45 \text{ m}\Omega \quad (10.4)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 14,71 \cdot 10^{-3} \cdot 27 = 0,13 \text{ V} \quad (10.5)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,13}{17,6} \cdot 100 = 0,74 \% \quad (10.6)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{27}{39,15} = 0,69 \text{ A} \quad (10.7)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta \vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.8)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta \vartheta_m = 25 \cdot 0,69^{2,492} = 9,92 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.9)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudu I_z :

$$\Delta \vartheta_{\infty} = 9,92 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 9,92 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.10)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudu:

$$\vartheta = 45 + 9,92 = 54,92 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.11)$$

10.1.2 Kabel: Regulátor-jistič-BMS/baterie

Kabely vedoucí od regulátoru k BMS, resp. plusovému kontaktu baterie je navržen s průřezem $2,5 \text{ mm}^2$. Maximální proud je zde 20 A, které odebírá BMS modul.

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 33 = 28,71 \text{ A} \quad (10.12)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$20 \leq 28,71 \leq 33 \quad (10.13)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,5}{2,5} = 3,572 \text{ m}\Omega \quad (10.14)$$

Rezistivita vodiče při $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_{45} = 3,572 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 3,922 \text{ m}\Omega \quad (10.15)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 3,922 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,157 \text{ V} \quad (10.16)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,157}{12} \cdot 100 = 1,090 \% \quad (10.17)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{20}{28,71} = 0,697 \text{ A} \quad (10.18)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta \vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.19)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta \vartheta_m = 25 \cdot 0,697^{2,492} = 10,169 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.20)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudu I_z :

$$\Delta \vartheta_{\infty} = 10,169 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 10,169 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.21)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudu:

$$\vartheta = 45 + 10,169 = 55,169^{\circ}\text{C} \quad (10.22)$$

10.1.3 Kabel: Jistič – 12V výstupy

Většina výstupních slotů je napájena 12 V. Konkrétně to je USB-C s maximálním odebíraným výkonem 18 W, dvě USB-A nabíječky s odběrem 15,5 W a automobilová CL zásuvka s odběrem až 240 W. První tři USB zásuvky tvoří jednu větev s maximálním protékáním proudem 9,8 A (pro výpočet uvažováno 10 A). Druhá větev je pro autozásuvku s proudovým odběrem až 20 A. Na obě větve jsou použity vodiče o průřezu 2,5 mm². Jelikož bylo původně zamýšleno napájet všechny výstupy společně, což nakonec nebylo realizováno. Použitý kabel má průřez 2,5 mm².

Výstup-zásuvka 12 V:

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 33 = 28,71 \text{ A} \quad (10.23)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$20 \leq 28,71 \leq 33 \quad (10.24)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,5}{2,5} = 3,57 \text{ m}\Omega \quad (10.25)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 3,57 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 3,92 \text{ m}\Omega \quad (10.26)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,157 \text{ V} \quad (10.27)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,157}{12} \cdot 100 = 1,3 \text{ \%} \quad (10.28)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{20}{28,71} = 0,697 \text{ A} \quad (10.29)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta \vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.30)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta \vartheta_m = 25 \cdot 0,697^{2,492} = 10,169 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.31)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudu I_z :

$$\Delta \vartheta_{\infty} = 17,822 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 10,169 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.32)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudu:

$$\vartheta = 45 + 17,822 = 55,169 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.33)$$

Výstup-USB:

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 33 = 28,71 \text{ A} \quad (10.34)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$10 \leq 28,71 \leq 33 \quad (10.35)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,5}{2,5} = 3,57 \text{ m}\Omega \quad (10.36)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 3,57 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 3,92 \text{ m}\Omega \quad (10.37)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,078 \text{ V} \quad (10.38)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,078}{12} \cdot 100 = 0,65 \% \quad (10.39)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{10}{28,71} = 0,35 \text{ A} \quad (10.40)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta \vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.41)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta \vartheta_m = 25 \cdot 0,35^{2,492} = 1,827 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.42)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudem I_z :

$$\Delta \vartheta_{\infty} = 1,827 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 1,827 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.43)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudem:

$$\vartheta = 45 + 1,827 = 46,827 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (10.44)$$

10.1.4 Kabel: Regulátor-jistič-BMS/baterie

Kabely vedoucí od regulátoru k BMS, resp. plusovému kontaktu baterie je navržen s průřezem $2,5 \text{ mm}^2$. Maximální proud je zde 20 A, které odebírá BMS modul.

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 33 = 28,71 \text{ A} \quad (10.45)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$20 \leq 28,71 \leq 33 \quad (10.46)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,5}{2,5} = 3,572 \text{ m}\Omega \quad (10.47)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 3,572 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 3,922 \text{ m}\Omega \quad (10.48)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 3,922 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,157 \text{ V} \quad (10.49)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,157}{12} \cdot 100 = 1,090 \% \quad (10.50)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{20}{28,71} = 0,697 \text{ A} \quad (10.51)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta\vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ °C} \quad (10.52)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_m = 25 \cdot 0,697^{2,492} = 10,169 \text{ °C} \quad (10.53)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudu I_z :

$$\Delta\vartheta_\infty = 10,169 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 10,169 \text{ °C} \quad (10.54)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudu:

$$\vartheta = 45 + 10,169 = 55,169 \text{ °C} \quad (10.55)$$

10.1.5 Kabel: BMS/baterie-střídač

Nejsilnější kabely bylo třeba přivést ke střídači, který s výkonem 300 W může odebrat přes 25 A. Kabely je proto navržen s průřezem 6 mm².

Dovolené proudové zatížení:

$$I_{dov} = 0,87 \cdot 58 = 50,46 \text{ A} \quad (10.56)$$

Tímto je splněna podmínka:

$$25 \leq 50,46 \leq 58 \quad (10.57)$$

Navržený kabel tedy nepřekročí jeho proudovou zatížitelnost.

Rezistivita vodiče při 20 °C:

$$R_{20} = 0,01786 \cdot \frac{0,3}{6} = 0,893 \text{ m}\Omega \quad (10.58)$$

Rezistivita vodiče při 45 °C:

$$R_{45} = 0,893 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 20)] = 0,981 \text{ m}\Omega \quad (10.59)$$

Úbytek napětí na kabelu:

$$\Delta U = 2 \cdot 0,981 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,049 \text{ V} \quad (10.60)$$

Poměrný úbytek:

$$\Delta u_{\%} = \frac{0,049}{12} \cdot 100 = 0,408 \text{ \%} \quad (10.61)$$

Poměrný proud:

$$i = \frac{25}{50,46} = 0,495 \text{ A} \quad (10.62)$$

Maximální dovolené provozní oteplení:

$$\Delta\vartheta_z = 70 - 45 = 25 \text{ °C} \quad (10.63)$$

Maximální oteplení způsobené proudem I_z :

$$\Delta\vartheta_m = 25 \cdot 0,495^{2,492} = 4,334 \text{ °C} \quad (10.64)$$

Maximální ustálené oteplení při trvalém průchodu proudu I_z :

$$\Delta\vartheta_\infty = \Delta\vartheta_m \cdot (1 - e^{-\infty}) = [\text{°C}] \quad (10.65)$$

$$\Delta\vartheta_\infty = 4,334 \cdot (1 - e^{-\infty}) = 4,334 \text{ °C} \quad (10.66)$$

Oteplení od počátku průchodu jmenovitého proudu:

$$\vartheta = 45 + 4,334 = 49,334 \text{ °C} \quad (10.67)$$

Výpočet byl proveden i pro špičkový výkon 600 W s dobou trvání 0,1 s. Celkové oteplení vyšlo nižší (45,027 °C) z důvodu krátkého trvání průchodu proudu. Proto je zde uvedena jen varianta s větším oteplením.

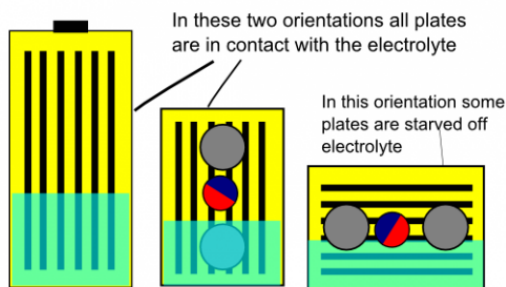
10.2 Chránění

U nabíjecí stanice jsou použity dva druhy ochran, jističe a pojistky. Na vstupu a výstupu baterie, resp. BMS modulu je osazen třífázový jistič 40 A, který má za úkol odpojovat baterii v případě poruchy a zároveň slouží jako vypínač celé nabíjecí stanice. Velikost jističe je navržena s ohledem na to, aby vybíjecí proud akumulátorů nepřesáhl 1 C (podíl kapacity v Ah a hodnoty C dává maximální vybíjecí proud) a nezkracovala se tím životnost článků. Zároveň je nepravděpodobné, že bude potřeba současně odebírat větší proud. Jistič chrání baterii pouze na její výstupní straně. Na vstupní straně od regulátoru nebo spínaného zdroje slouží pouze jako vypínač. K ochraně jsou zde osazeny pojistky 20 A. Pojistkami 10 A jsou také chráněny USB vstupy a pojistkami 30 A zásuvka 12 V. Střídač má svou vlastní pojistku 50 A. Mezi vstupem napájení Arduina a měničem 12 V/ 9 V jsou zařazeny pojistky o velikosti 1 A.

10.3 Orientace akumulátorů

Akumulátory jsou standartně instalovány vertikálně se svorkami a pojistného ventilu na horní straně. Toto uspořádání ale není optimální pro zabudování do nabíjecí stanice, jelikož by se tím podstatně zvětšil její objem, snížil využitý prostor a zhoršila manipulace se zařízením. Proto bylo rozhodnuto pro orientaci článků na karšší boční hranu.

Výrobci a prodejci článků jinou polohu článků, než vertikální nedoporučují. Je to zejména z důvodu snížení kapacity článků a možnosti úniku elektrolytu. Tento problém se ovšem velmi pravděpodobně týká pouze případu, kdy je článek umístěn „naležato“ tzn. na jeho největší ploše. V ten moment totiž dochází k postupnému hromadění elektrolytu ve spodní části článku a několik vrchních elektrod zůstává suchých, čímž ztrácí svou kapacitu. Společně s tím může být pojišťovací ventil trvale pod úrovní hladiny elektrolytu, což může způsobovat jeho únik mimo článek. To zároveň znamená, že ventil ztrácí svou funkci, jelikož není schopný uvolnit plyny vzniklé po případné poruše. Oba aspekty by se u polohy na kratší straně projevovaly neměly, jelikož jsou elektrody v kontaktu s elektrolytem a pojistný ventil nad jeho úrovní. Ilustrace situace je vidět na Obr. 10-2. Předchozí teorii potvrzuje i několik reálných aplikací a zkušeností, kdy není pozorován úbytek kapacity ani jiné problémy. [38], [44]



Obr. 10-2 Kontakt elektrod s elektrolytem v závislosti na poloze článku [45]

10.4 Monitorovací systém

Řídící systém byl ponechán na platformě Arduino Mega 2560. Celý kód pro monitoring byl kompletně přepsán tak, aby byl přehlednější a dal se snadno rozšířit o další funkce. Systém sleduje napětí článků a celkové napětí systému, proudy, spotřebu, příchozí energii, teplotu uvnitř stanice a stav chlazení. Kompletní kód je součástí přílohy.

10.4.1 Napájení systému

Celé zařízení monitoruje Arduino Mega 2560. Aby bylo schopné provozu, je nutné zajistit jeho vlastní napájení. To lze zajistit třemi způsoby:

- Napájení přes USB port
- Napájení přes souosý konektor
- Napájení přes piny VIN (+) a GND (-)

Volba způsobu napájení záleží na podmínkách, které chce uživatel splnit.

Napájení přes USB port je ideální v případě, že je Arduino trvale připojeno k PC, nebo při jeho odpojení není vyžadována jeho funkčnost. V této situaci lze použít např. powerbanky. Rozsah napájecího napětí je od 4,75 V po 5,25 V stejnosměrných. Maximální odebíraný proud je 0,5 A.

Napájení přes souosý konektor se nejvíce hodí tam, kde je Arduino použito pro přenosné aplikace, je zapotřebí více odběrů, a tedy i většího proudu. Výhodou je, že USB port zůstává volný pro případné nahrávání jiných programů bez nutnosti odpojování napájení. Vstupní napětí se pohybuje od 6 V do 15 V resp. 20 V stejnosměrných. 20 V je ovšem pro obvody některých verzí nebezpečné (maximum je 15 V). Maximální odebíraný proud je 1 A.

Napájení přes piny VIN (+) a GND (-) se podobá napájení přes souosý konektor s tím rozdílem, že vstup není chráněn diodou proti přepólování a při neopatrném zapojování lze modul Arduino zničit. Absence diody se ovšem může hodit při požadavku na co nejdelší výdrž napájecí baterie, jelikož zde nevzniká žádný úbytek napětí. Rozsah napájecího napětí je 5,2 V až 14,2 V stejnosměrných. Maximální odebíraný proud je 1 A.

Z výše uvedeného porovnání bylo vybráno napájení souosým konektorem, a to zejména pro snadné přehrání programu a dostatečnou rezervu odebíraného proudu. Konektor je připojen do malého nastavitelného step-down měniče 4,5-24 V s maximálním výstupním proudem 3 A. Mezi měnič a vstup Arduina je vřazena trubičková pojistka 1 A. Napětí je nastaveno na 9 V [46]

10.5 Aktivní chlazení

Zařízení obsahuje aktivní chlazení v podobě dvou 12V ventilátorů. Na počátku byla otázka, jestli zvolit nasávací koncepci, kdy bude vzduch sán ventilátory dovnitř, nebo jestli zvolit druhou variantu, kdy ventilátory vzduch ze stanice vysávají. Zvolen byl první typ koncepce, jelikož byla obava, že při podtlakové variantě by docházelo k nasávání vzduchu i mimo určené otvory a tím by nebyl zajištěn dostatečný průtok uvnitř skříně stanice.

Oba ventilátory jsou instalovány tak, aby nasávaný vzduch proudil prostorem mezi články na střídač, regulátor, BMS modul a spínaný zdroj a následně byl vyfukován ven. Nasávání a vyfukování je řešeno pomocí větracích mřížek se stupněm krytí IP 54 tak, aby byla zajištěná celková voděodolnost zařízení. Regulace je spojitá, řízená pwm modulem napojeným na Arduino. Vstupní signály měřící teplotu zajišťuje dvojice NTC termistorů. Jeden z termistorů je umístěn u akumulátorů, druhý je umístěn v okolí spínaného zdroje a BMS modulu. Systém je nastavený tak, aby se ventilátory spouštěly při teplotě 25 °C na jakémkoli termistoru a postupně zvyšovaly výkon až do 45 °C, kdy mají maximální výkon. Tato teplota je odvozena od maximální provozní teploty při nabíjení článků tak, aby byly zajištěny ideální teplotní podmínky všech součástí. Teplota, při které se ventilace vypíná, je nastavena na 22 °C.

Ventilátory jsou osazeny 12V BLDC motorky řízené velikostí napětí. Jelikož jsou ale ventilátory napojeny na PWM modul a ten ovládá výstup různě širokými pulzy napětí stejné velikosti, ventilátory nefungovaly. Řešením bylo připojit paralelně do výstupu modulu kondenzátor s kapacitou 44 μ F. Tím došlo k vyhlazení napájecího napětí a ventilátory takto lze provozovat a regulovat jejich výkon. Celkový pohled na umístění ventilátorů je vidět na Obr. 10-3.



Obr. 10-3 Umístění ventilátorů s PWM modulem

10.6 Stupeň krytí IP

Stupeň krytí je definován normou ČSN EN 60529, resp. dvoučíselným IP kódem. První číslice udává odolnost zařízení proti vniknutí cizích těles a před nebezpečným dotykem. Druhá z číslic pak říká, jaká je odolnost zařízení před vniknutím vody.

Jelikož bylo počítáno s tím, že zdroj bude používán převážně ve venkovním prostředí, je třeba aby byl obal zařízení konstruován s ohledem na tuto skutečnost. Při zvážení potřeb provozu a náročnosti dosažení jednotlivých úrovní krytí bylo na začátku návrhu rozhodnuto o minimálním stupni krytí IP 23. To konkrétně znamená, že zařízení je chráněno před vniknutím nástrojem větším než o průměru 12,5 mm a před deštěm dopadajícím pod úhlem až 60° od svislice. Tento stupeň krytí by tedy měl být dostatečný pro běžný provoz i v mírném dešti.

Určení konkrétního stupně krytí je ovšem v podstatě znemožněno, jelikož výrobci a prodejci u svých produktů uvádějí pouze „vodotěsné“ případně „voděodolné“. Z použitých komponent, u kterých je stupeň krytí uvedený, je nejnižší krytí u mřížek ventilace, a to se stupněm IP 54. Za předpokladu, že žádný jiný díl nemá stupeň krytí nižší, definují mřížky ventilace stupeň krytí celého zařízení, tedy IP 54. To znamená, že je zařízení částečně odolné proti prachu a odolné proti stříkající vodě ze všech směrů, po dobu 5 minut. Tento stupeň krytí platí pro umístění nabíjecí stanice ve výchozí, horizontální poloze.

Vlastní obal stanice tvořený systainerem SYS3 M 187 bylo nutné na několika místech provrtat a vytvořit otvory pro všechny vstupy, výstupy a displej budoucího zařízení. Aby se zamezilo vniknutí vody dovnitř, jsou veškeré prostupy provedené voděodolně. Vstupní a výstupní konektory mají osazené plochá gumová těsnění, displej je „zasklen“ pomocí silikonového profilového těsnění, pod ovládací tlačítka jsou instalovány gumové „O-kroužky“ stejně jako pod upevňovací šrouby displeje. Větrací mřížky jsou těsněné pěnovým těsněním. Přívod 230 V na spínaný zdroj je veden dutým rohem systaineru a vyúsťuje v dolní části.

10.7 Měření napětí a proudu

Měření napětí a proudu v jednotlivých částech slouží k získání vstupních dat řídicího systému na platformě Arduino. To dokáže zpracovávat signály s nejvyšším napětím 5 V. Většina měřených napětí je ovšem větší, a proto bylo nutné daná napětí snížit pod 5 V, aby nedošlo ke zničení Arduino. Volba padla na napěťové děliče tvořené nastavitelnými rezistory neboli trimry z důvodu jednoduchosti a malé velikosti součástky. Trimr lze prezentovat jako dva proměnné rezistory v sérii s vyvedenými kontakty. Na děliče byly použity trimry o velikosti 20 k Ω . V zařízení jsou použity celkem čtyři děliče. Jeden dělič je umístěn na MPP regulátoru pro měření vstupního napětí FV panelů a spínaného zdroje a tři děliče slouží k měření napětí na člancích baterie. Poslední článek je napojený přímo na Arduino, jelikož jeho maximální napětí 3,7 V je pod 5V hranicí bezpečného napětí pro Arduino.

Předběžné nastavení jednotlivých děličů:

1) Napětí článků 13,2 V

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} [\text{V}], \quad (10.68)$$

$$U_2 = 13,2 \cdot \frac{5000}{20000} = 4,526 \text{ V} \quad (10.69)$$

kde:

- U_2 je výstupní měřené napětí [V]
- U je vstupní napětí [V]
- R_2 je odpor mezi měřeným potenciálem a zemí [Ω]
- R_1 je odpor mezi vstupním a výstupním napětím [Ω]

2) Napětí článků 9,9 V

$$U_2 = 9,9 \cdot \frac{6667}{20000} = 3,3 \text{ V} \quad (10.70)$$

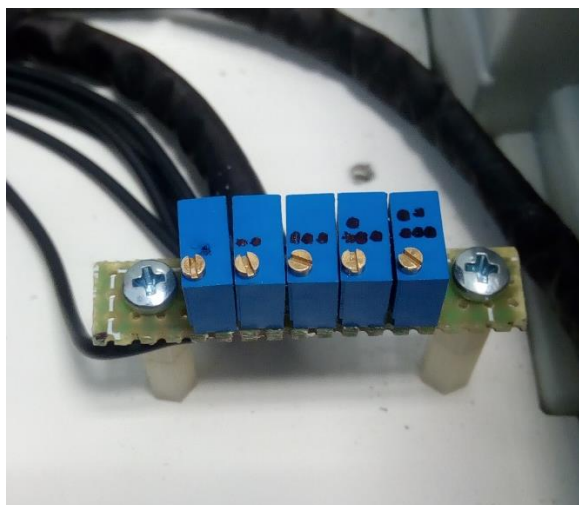
3) Napětí článků 6,6 V

$$U_2 = 6,6 \cdot \frac{10000}{20000} = 3,3 \text{ V} \quad (10.71)$$

4) Napětí vstupní MPPT 13,2 V

$$U_2 = 13,2 \cdot \frac{5000}{20000} = 3,3 \text{ V} \quad (10.72)$$

Všechny děliče byly po instalaci nastaveny na co možná nejpřesnější hodnotu měřeného napětí 3,3 V, jelikož hodnoty výše jsou vypočítány pro nezatížený dělič a průchodem proudu do vstupních pinů Arduina se napětí nepatrně změní. Nainstalované měniče jsou zobrazeny na Obr. 10-4.



Obr. 10-4 Napěťové děliče

K měření proudů jsou použité tři hallové sondy ACS712 o velikosti 20 A, které měří vstupní proud, výstupní proud 12V větve a proud tekoucí do USB výstupů. Senzor ACS758LCB-50B pak měří proudy jdoucí do střídače.

10.8 Ovládání, zobrazování, rozložení komponent

Ovládání systému je řešeno čtyřmi tlačítky uprostřed předního panelu po bocích displeje. Tlačítka jsou, stejně jako ostatní prvky, vodotěsná a rozlišena barvami. Zobrazování všech informací zprostředkovává LCD displej uvedený v kapitole 8.10. Jelikož display nelze vystavit povětrnostním vlivům a je potřeba zajistit stupeň krytí celé stanice, je umístěn uvnitř boxu za transparentním krytem z polykarbonátu orámovaného těsněním. Společně s řídicím modulem Arduino Mega 2560 je připevněn čtveřicí šroubů M3 ve stěně systaineru.

Na Obr. 10-5 je vidět osazení všech vstupních i výstupních konektorů, displeje a jednotlivých tlačítek ovládání, kabel nabíjení ze sítě a jistič. Obr. 10-6 pak zobrazuje vnitřní uspořádání nabíjecí stanice. Na Obr. 10-7 je vidět jedno z oken nabídky monitorujícího systému.

Tlačítko 1 zobrazuje přehled parametrů:

- Dobíjeno [W],
- Spotřeba [W],
- Dobito [Wh],
- Spotřebováno [Wh],

- Teplota [°C],
- Výkon ventilace [%]

Tlačítko 2 zobrazuje položku nabíjení:

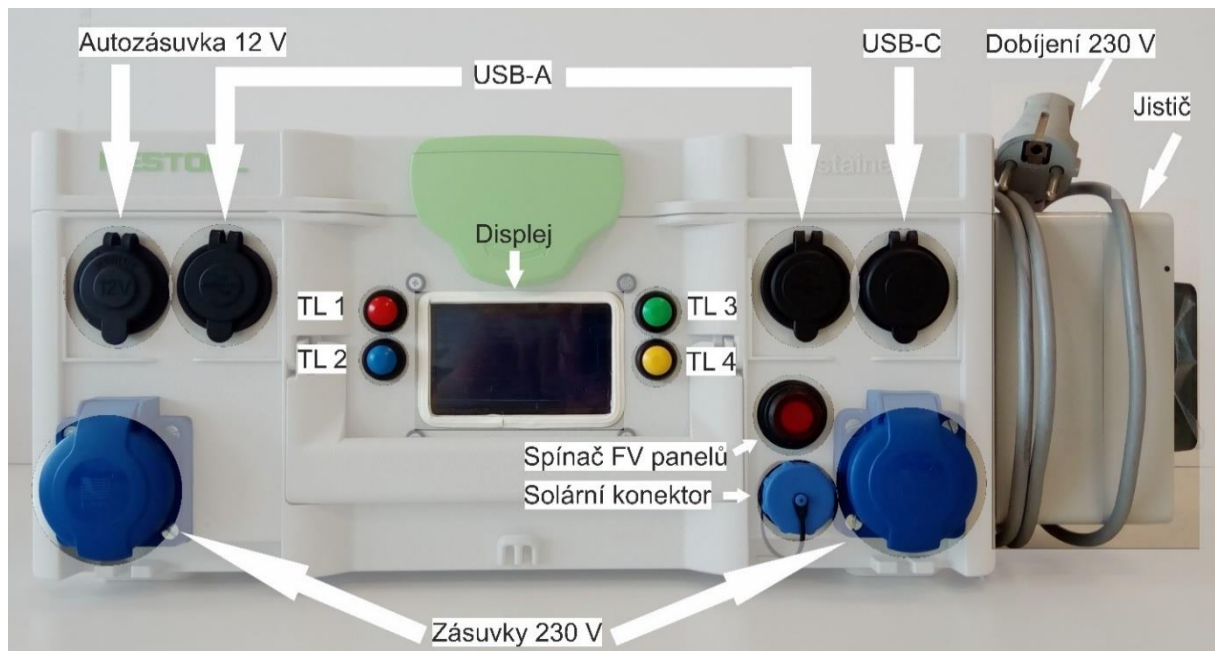
- Napětí [V],
- Proud [A],
- Výkon [W],
- Dobito [Wh]

Tlačítko 3 zobrazuje přehled zatížení:

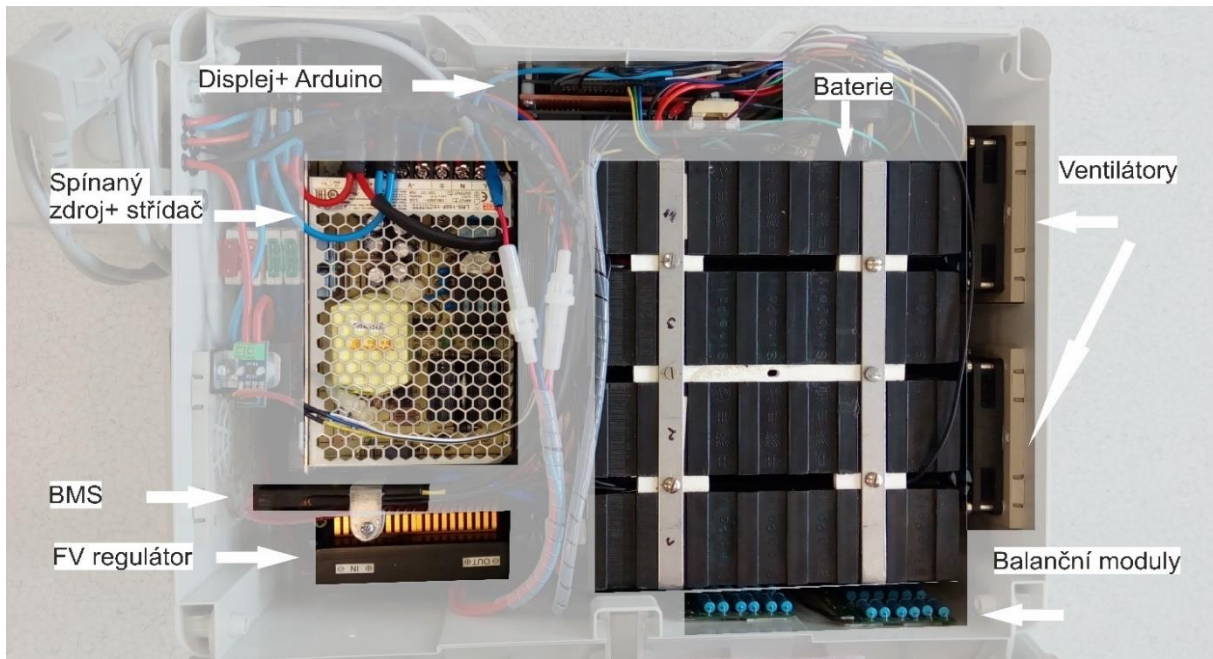
- 230 V, výkon [W],
- 230 V, proud [A],
- 12 V, výkon [W],
- 12 V, proud [A],
- USB V, výkon [W],
- USB, proud [A]

Tlačítko 4 zobrazuje výčet napětí jednotlivých článků baterie a celkové napětí:

- Celkové napětí [V],
- Článek 1 [V],
- Článek 2 [V],
- Článek 3 [V],
- Článek 4 [V]



Obr. 10-5 Čelní pohled na dobíjecí stanici a popis jednotlivých periférií



Obr. 10-6 Pohled na vnitřní uspořádání stanice



Obr. 10-7 Displej s nabídkou Přehled

10.8.1 Připínání FV panelů

Připojení FV panelů, resp. propojovacího boxu je realizováno šroubovacím konektorem WEIPU SP21 na pravé straně čelního panelu nabíjecí stanice. Pro zabránění jiskření na kontaktech a bezpečného připojování/ odpojování není konektor zapojen přímo na MPP regulátor, ale je předřazeno automobilové relé, které panely připojí a odpojí. Relé je ovládáno tlačítkem umístěným nad konektorem. Tlačítko je vybaveno červenou LED pro indikaci stavu zapnutí.

10.9 Parametry nabíjecí stanice

Parametry jsou dány použitými komponenty, resp. jejich mezními parametry. Pracovní teplota je dána zejména akumulátory, kde by teplota při nabíjení neměla klesat pod 0 °C a přerůst 45 °C a při vybíjení je rozsah od -20 °C do 55 °C. Jako kompromis mezi těmito hodnotami je zvolen rozsah -10 °C do 45 °C. Použití při teplotách pod bodem mrazu se ovšem neočekává.

- Pracovní/ skladovací teplota: -10 °C ~ 45 °C,
- Hmotnost: 12,1 kg,
- Rozměry: 500 x 190 x 320 mm,
- Kapacita: 40 Ah/ 512 Wh (14,5 V),
- Vstupy: 100~240 V, 50/60 Hz, solární konektor WEIPU SP21,
- Výstupy: 2 x zásuvka 230 V, 1 x autozásuvka 12 V, 1 x USB-C, 5 x USB-A,
- Maximální výkon AC: 300 W (špičkově 600 W),
- Maximální výkon 12 V: 240 W,
- Maximální proud USB: 9,8 A

Celkový pohled na hotovou nabíjecí stanici zobrazuje Obr. 10-8.



Obr. 10-8 Dokončená nabíjecí stanice

11 ROZPOČET

Tabulka 1 uvádí rozpočet celého projektu. Konečná částka je 36 414 Kč. Je vidět, že dominantní částku takovýchto zařízení tvoří FV panely a akumulátory. S klesající cenou obou komponent lze proto očekávat i snižování cen podobných výrobků na trhu.

Pokud je celkový uvažovaný výkon stanice na všech výstupech necelých 600 W (300 W střídač, 240 W autozásuvka, 50 W USB), je cena na 1 W 61,00 Kč. Větší vypovídající hodnotu má cena za kWh. Při celkové kapacitě 512 Wh a ideální životnosti baterie 8 000 cyklů lze ze stanice odebrat 4 096 kWh. Z toho vyplývá, že cena za jednu kWh činí 8,89 Kč. To platí v případě, že baterie nebude nikdy dobíta za sítě. V tom případě by se musela započítat cena spotřebované elektřiny. V porovnání s průměrnou cenou elektrické energie maloodběratelů 4,76 Kč·kWh⁻¹, pak vychází cena z nabíjecí stanice o 87 % větší.

Tabulka 1 Rozpočet nabíjecí stanice

FV panely 5x	20 450	solární konektory	100
LiFePO4 články 4x	6 052	solární kabely 2,5 mm ² 10 m	222
balancéry 4x	480	solární kabely 4 mm ² 6 m	174
jistič	290	mřížka ventilace 3x	761
display	100	ventilátor 2x	352
arduino Mega 2560	300	spínaný zdroj	680
střídač	700	AC zásuvky 2x	126
MPPT	680	step-down měnič	35
chladič	209	pwm modul	38
shotkyho diody	60	relé	62
USB-A zásuvka	208	tlačítkový přepínač	147
USB-C	230	svazovací trubice	71
průchodky gumové	40	kryt jističe	227
krytky šroubů	40	systainer	1 643
pojistky	40	Arduino Proudový senzor 30 A ACS712	90
pojistkové držáky	102	Arduino Proudový senzor 20 A ACS712 3x	180
konektor SP21 samice	142	BMS	350
konektor SP21 samec	120	tlačítka 4x	88
krytka konektoru SP21	25	ostatní (kabeláž, kabelová oka, spojovací materiál, těsnění...)	800
		Celkem	36 414

12 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vylepšení předchozího prototypu nabíjecí stanice. V úvodu práce byly popsány mobilní elektrické zdroje na trhu. Byly zmíněny fosilní, obnovitelné i bateriové zdroje elektřiny. Další část byla věnována fotovoltaickým panelům, jejich základním principům, parametrům, charakteristikám a konstrukci. Následoval přehled jednotlivých typů FV článků a jejich stručná charakteristika. Následovala část pojednávající o druzích akumulátorů s větším zaměřením na lithiové články. Teoretickou část zakončila kapitola o ochraně baterií, resp. o BMS.

Praktická část se nejprve věnovala předešlému prototypu zařízení a jeho nedostatkům. Hlavní nedostatek byla faktická nefunkčnost stanice. Po prozkoumání všech okolností a zvážení obtížnosti implementace vylepšení do původního zařízení bylo rozhodnuto o stavbě nové verze s využitím některých komponent. Hlavní důraz byl kladen na zmenšení celé nabíjecí stanice, na větší počet výstupních konektorů a v neposlední řadě i na kvalitu zpracování s ohledem na životnost.

Obal celé nabíjecí stanice tvoří nářadový box bytelné konstrukce, ve kterém jsou upevněny všechny komponenty. Všechny díly jsou zařazovány na plastové základně pomocí třmenů a distančních sloupků. Tam, kde to bylo možné, jsou použity konektory, aby byla umožněna snadná výměna, či oprava a komponenty nebyly tepelně namáhány pájením. U použitých vodičů bylo kontrolováno proudové zatížení, úbytek napětí a proudu a oteplení. Nabíjecí stanice je chlazena dvojicí ventilátorů s pwm regulací, které jsou řízeny teplotou snímanou dvojicí termistorů. Měření napětí a protékající proudy jsou měřeny napěťovými děliči a hallovými senzory napojenými na monitorovací systém platformy Arduino Mega 2560. Všechny údaje jsou zobrazeny na LCD displej. Celá nabíjecí stanice je snadno přenosná díky dvěma sklopným madlům integrovaných v obalu stanice.

Vzhledem k použití LiFePO_4 akumulátorů je celková hmotnost nabíjecí stanice přibližně 12 kg, což je při přenášení na delší vzdálenosti poměrně hodně. V tomto případě šlo primárně o snahu, uplatnit nevyužité akumulátory smysluplným způsobem.

Pokud by byl projekt realizován znovu, bylo by vhodné vybrat větší obal. Snaha o maximální zmenšení zařízení sice byla úspěšná, na druhou stranu ale vedla k tomu, že je uvnitř málo prostoru pro zapojování a případné budoucí opravy. Zároveň by to umožnilo umístit jistič dovnitř a zlepšit tím ergonomii stanice. Pro zlepšení hmotnostních poměrů by bylo výhodnější použít např. články Li-Pol nebo Li-Ion.

Součástí práce je i vyrobený propojovací box mezi FV panely a nabíjecí stanicí s pasivním chlazením diod proti zpětným proudům. Obě zařízení jsou konstruována jako voděodolná s dosaženým stupněm krytí až IP 54.

Jelikož byla zhotovena funkční nabíjecí stanice, lze říct, že cíle práce byly splněny. Primární cíl, tedy zmenšení celého zařízení, byl naplněn a nová generace má přibližně třetinový objem, oproti generaci předchozí. Další možnou činností může být přidání konektoru pro připojení další akumulace, nebo nabíjení specifických spotřebičů, např. elektrokol. Další oblastí by mohlo být vylepšení monitorovacího systému a doplnění o bluetooth, nebo wifi vysílač.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] D. SUTTER, John, Joshua BERLINGER a Ralph ELLIS. *Obama: Climate agreement 'best chance we have' to save the planet* [online]. 2015 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://edition.cnn.com/2015/12/12/world/global-climate-change-conference-vote/>
- [2] Pařížská dohoda. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [3] Sources of Greenhouse Gas Emissions. *EPA* [online]. 2017 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [4] VOBOŘIL, David. Australská megabaterie od Tesly se pro svého provozovatele stala zlatým dolem. *O energetice* [online]. 9. březen 2019 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/australska-megabaterie-od-tesly-se-sveho-provozovatele-stala-zlatym-dolem>
- [5] Powerbank CellularLine Freepower Manta 8000mAh, Qi černá (FREEMANTA8WIRK). In: *Datart* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.datart.cz/powerbank-cellularline-freepower-manta-8000mah-qi-cerna-freemanta8wirk.html?gclid=Cj0KCQjwlnN32BRCCARIsADZ-J4sIsG-QC2mesSrcREkvDxRdqZfzT-Cc1T-u5hKFPIGElxzIB8Ty0u8aAjCcEALw_wcB
- [6] Opravdu chytrý bateriový kontejner: Unikátní „all-in-one“ koncepce. In: *Odborné časopisy* [online]. 2018, 10. 10. 2018 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/clanek/opravdu-chytry-bateriovy-kontejner--3260>
- [7] ČTK. V Plané nad Lužnicí spustili největší bateriové úložiště v Česku. *O Energetice* [online]. Třebíč: <https://oenergetice.cz/>, 2019, 20. 9. 2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/v-plane-nad-luznici-spustili-nejvetsi-bateriove-uloziste-v-cesku>
- [8] Přenosný fotovoltaický solární panel 2x7W s USB, solární nabíječka. In: *HADEx* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/g977-prenosny-fotovoltaicky-solarni-panel-2x7w-s-usb-solarni-nabijecka/>
- [9] Inovativní mobilní solární systém lze rozbalit jako koberec. *O energetice* [online]. 2016, 7. březen 2016 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/innovativni-mobilni-solarni-system-lze-rozbalit-jako-koberec>
- [10] Products: Rapid Roll "T." *Renovagen* [online]. Milton Keynes [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <http://www.renovagen.com/products/rapid-roll-t/>
- [11] Ecos PowerCube®. *Ecosphere Technologies, Inc.* [online]. Stuart [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://www.ecospheretechnologies.com/environmental-engineering-technologies/powercube>
- [12] RADIL, Lukáš a Jan MACHÁČEK. *Nekonvenční přeměny energie* [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2016 [cit. 2020-05-03]. Skriptum. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [13] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-808-6167-336.
- [14] VANĚK, Jiří, Petr KŘIVÍK a Vítězslav NOVÁK. *Alternativní zdroje energie*. 2006.

- [15] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [16] BENDA, Vítězslav. Solární články z krystalického křemíku - základní technologie současné fotovoltaiky. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2006, 25.9.2006 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky>
- [17] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. Fotovoltaické systémy: Učební texty k semináři. *DOCPLAYER* [online]. 2011, 15.4.2011 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>
- [18] A Guide To Photovoltaic Panels: Part 1: Photovoltaic (PV) Cells. *ITACA* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.itacanet.org/a-guide-to-photovoltaic-panels/photovoltaic-pv-cells/>
- [19] DIEHL, Matthias. Checking bypass diodes on solar panels: Part 1. In: *Photovoltaikbuero* [online]. Rüsselsheim: Ternus & Diehl GbR, 2016, 22. 2. 2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://photovoltaikbuero.de/en/pv-know-how-blog-en/checking-bypass-diodes-on-solar-panels-part-1/>
- [20] Monokrystalický článek PERC společnosti Risen Energy dosáhl maximální účinnosti přes 23 %, což urychluje paritu fotovoltaické sítě. In: *PROTEXT: PR servis České tiskové kanceláře* [online]. Praha: Česká tisková kancelář (ČTK), 2019, 28. 5. 2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://www.protext.cz/zprava.php?id=31359>
- [21] Jaký je rozdíl mezi monokrystalickým a polykrystalickým panelem?: Monokrystalický článek. In: *JOYCE ČR* [online]. Brno: JOYCE ČR [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf
- [22] Typy solárních panelů: Znáte křemíkový, tenkovrstvý nebo organický?: Křemíkový krystalický solární panel. In: *Eon-solar* [online]. eon, 2018, 11. 5. 2018 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.eon-solar.cz/blog/2-typy-solarnich-panelu-znate-kremikovy-tenkovrstvy-nebo-organicky>
- [23] VONDRA, Tomáš. Organické solární panely trhají rekordy - a konečně jsou odolné proti poškození. In: *Obnovitelně: chytrá řešení pro život* [online]. Obnovitelně.cz, 2019, 24.5.2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/818/organicke-solarni-panely-trhaji-rekordya-konecne-jsou-odolne-proti-poskozeni/>
- [24] Fotovoltaické panely nové generace na bázi perovskitů se již letos začnou tisknout v Polsku. In: *Solární Novinky* [online]. Dobrá, 2020, 13. 01. 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/fotovoltaicke-panely-nove-generace-na-bazi-perovskitu-se-jiz-letos-zacnou-tisknout-v-polsku/>
- [25] ČÍŽEK, Jakub. Britové slibují laciné solární panely. Používají perovskit a boří rekordy Více na: <https://vtm.zive.cz/clanky/britove-slibuji-lacine-solarni-panely-pouzivaji-perovskit-a-bori-rekordy/sc-870-a-196683/default.aspx>. In: *VTM* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2019, 10.1.2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/britove-slibuji-lacine-solarni-panely-pouzivaji-perovskit-a-bori-rekordy/sc-870-a-196683/default.aspx>
- [26] SCHOLTZOVÁ, Jiřina. Nové fotovoltaické panely z Anglie. In: *ALDEBARAN* [online]. Praha: Aldebaran Group for Astrophysics, 2013 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2013_33_rul.php

- [27] BUCHTA, Luboš. Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory – přehled. In: *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, 2012, 8.10.2012 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9138-solarni-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-prehled>
- [28] POKORNÝ, Nikola a Tomáš MATUŠKA. Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory ve světle nové statistiky. In: *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, 2019, 16.12.2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/20002-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-ve-svetle-nove-statistiky>
- [29] MATUŠKA, Tomáš. Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory a možnosti jejich využití. In: *ENEF 2020* [online]. ČVUT v Praze: Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, 2012, 2012 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: http://www.enef.eu/pdf/2012_199.pdf
- [30] Jak funguje olovený akumulátor? *TZB-info* [online]. 2.8.2017 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>
- [31] Li - akumulátory: Historie. In: *BATTEX: Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. Praha: BATTEX, spol. s r.o. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/historie>
- [32] TICHÝ, Jiří. Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností. In: *TZB-info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Praha: Topinfo, 2019, 15.7.2019 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [33] MATHIS, Will. Cheaper Batteries, More Chargers for Electric Car Buyers in 2020: The rush to electrify transportation will shift from China to Europe. In: *Bloomberg: Green* [online]. Bloomberg L.P., 2020, 13.1.2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-13/cheaper-batteries-more-chargers-for-electric-car-buyers-in-2020>
- [34] Lithium-ion battery pack price. In: *Bloomberg* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/toaster/v2/charts/f96b5014fb25488dbe58d7d57dab9547.html?brand=business&webTheme=default&web=true&hideTitles=true>
- [35] KŮŽEL, Filip. *Li-Ion baterie dominují a do 5 let se to nezmění. Modernější Li-Pol posiluje jen pomalu* [online]. 16. srpna 2019 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/li-ion-baterie-dominuji-a-do-5-let-se-to-nezmeni-modernejsi-li-pol-posiluje-jen-pomalu/sc-3-a-1345887/default.aspx>
- [36] *Rozdíly mezi bateriemi typu Li-Ion a Li-Pol* [online]. [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <http://www.smart-mobil.eu/clanky/44-rozdily-mezi-bateriemi-typu-li-ion-a-li-pol/>
- [37] DOLEŽEL, Michal. *Lithium-železo-fosfátové akumulátory – budoucnost domácí výroby a spotřeby elektřiny* [online]. 25. 3. 2014 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elektriny.aspx>
- [38] JAK NA LIFEPO4 BATERIE: TECHNICKÝ PRŮVODCE V 7 KROCÍCH. In: *Shop GWL* [online]. Praha: EVPower [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://files.ev-power.eu/inc/_doc/LFP_Guide_CZ.pdf
- [39] FRÖDE, Jiří. *Aktivní balancer baterií* [online]. 12. Březen 2019 [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/aktivni-balancer-baterii.html>

-
- [40] KLÍČ, Tomáš. *MOBILNÍ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA* [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=110896. Diplomová práce. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Petr Baxant.
- [41] *MPPT Solar Charge Controller Improve current 30% 40V/40A charge all kinds battery Water proof* [online]. In: . [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32270576834.html>
- [42] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení* [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-05-03]. Skriptum. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [43] Systainer³ SYS3 M 187. In: *Festool* [online]. [cit. 2020-01-11]. Dostupné z: <https://www.festool.cz/produkty/systainery-a%C2%A0transportn%C3%AD-syst%C3%A9my/systainer/204842---sys3-m-187>
- [44] *LFP battery mounting orientation* [online]. In: . 2013 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://forums.aeva.asn.au/viewtopic.php?t=3854>
- [45] *Orientaton of prismatic LiFePO4 cells important?* [online]. In: . 2012 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.diyelectriccar.com/forums/showthread.php/orientaton-prismatic-lifepo4-cells-importanti-78410p3.html>
- [46] Napájecí vstupy u Arduina. In: *Arduino návody* [online]. 3. 9. 2018 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/technikuv-blog/napajeni-arduina.html>

SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha A</i>	Schéma zapojení
<i>Příloha B</i>	LCD s nabídkou Přehled
<i>Příloha C</i>	LCD s nabídkou Nabíjení
<i>Příloha D</i>	LCD s nabídkou Zatížení
<i>Příloha E</i>	LCD s nabídkou Diagnostika baterie
<i>Příloha F</i>	Vrchní pohled na nabíjecí stanici
<i>Příloha G</i>	Čelní pohled na nabíjecí stanici
<i>Příloha H</i>	Boční pohled na nabíjecí stanici
<i>Příloha I</i>	Pohled zleva na nabíjecí stanici
<i>Příloha J</i>	Propojovací box
<i>Příloha K</i>	Možný způsob přepravy nabíjecí stanice