



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Návrh ostrovního solárního systému pro detektor MHD

Design off-grid solar system for the PT detector

Diplomová práce

Bc. Kristián Klimt

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Bc. Tomáš Tichý Ph.D.,MB

Praha 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Klímt** Jméno: **Kristián** Osobní číslo: **409805**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh ostrovního solárního systému pro detektor MHD

Název diplomové práce anglicky:

Design off-grid solar system for the PT detector

Pokyny pro vypracování:

Popište ostrovní solární systém, jednotlivé jeho části, jejich funkci a princip činnosti.
Podle zadaných parametrů zařízení pro IR detektor pro preferenci průjezdů vozidel navrhnete ostrovní solární systém s akumulací energie zajišťující provoz daného zařízení.
Návrh proveďte s ohledem na spolehlivý provoz 24/7 a podle toho dimenzujte jeho jednotlivé části.
Implementujte do systému dohled jeho stavu a hlášení případné poruchy a nízkého stavu napájení.
Ekonomicky zhodnoťte a porovnejte nově navržený systém se stávajícím.

Seznam doporučené literatury:

Fotovoltaika : teorie i praxe využití solární energie, Autor: Libra, Martin a další, Praha : ILSA, 2009, ISBN: 978-80-904311-0-2 (váz.)
Models for a stand-alone PV system, Autor: Hansen, Anca Daniela; Sorensen, Poul Ejnar; Hansen, L.H., Bindner, Henrik W., rok: 2001, ISBN: 8755027741

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Doc. Ing. Bc. Tomáš Tichý, Ph.D., Eltodo a.s.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Doc. Ing. Bc. Tomáš Tichý, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 7. 1. 2020

.....

Kristián Klímt

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Doc. Ing. Bc. Tomáši Tichému Ph.D.,MBA za užitečné rady a vstřícný přístup. Dále děkuji Ing. Miloši Nerudovi za poskytnuté materiály a technické rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval spolužákům za praktické rady, které mě dovedly ke zdárnému konci a nakonec také rodině za velkou podporu při mém studiu.

Název diplomové práce:

Návrh a řízení ostrovního solárního systému pro detektor MHD

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem ostrovního fotovoltaického systému pro IR komunikační maják. Práce je rozdělena do čtyř hlavních částí. Teoretická část, technické řešení, testování a ekonomické zhodnocení. V první části jsou rozebrány teoretické znalosti potřebné pro správné rozhodování při zpracování technického návrhu. V druhé části je rozebráno samotné technické řešení rozdělené do dvou podkapitol – hardware a software. Třetí část popisuje testování, které je nezbytné pro správné dimenzování hlavních částí systému a poté i testování navrženého systému. Poslední část se věnuje ekonomickému zhodnocení nově navrženého systému v porovnání se stávajícím a dále i z pohledu investice do zavedení nového produktu.

Klíčová slova:

Detekce MHD, preference MHD, Ostrovní fotovoltaický systém, Fotovoltaický panel, Komunikační IR maják, Elektronická platforma Arduino, Vzdálený monitoring, Ekonomická návratnost

Thesis title:

Design and management off-grid solar system for the PT detector

Annotation:

This thesis deals with the design of an off-grid photovoltaic system for the IR communication beacon. The thesis is divided into four main parts. Theoretical part, technical solution, testing and economic evaluation. The first part discusses the theoretical knowledge necessary for a correct decision-making in the compiling of technical design. The second part contains an analysis of the technical solution itself, and is divided into two subchapters – hardware and software. The third part is concerned with the description of the testing that is required for the correct sizing of the main system parts and subsequently description of the proposed system testing. The last part is dedicated to the economic evaluation of the newly designed system in comparison with the existing system. It also was made an economic evaluation of an investment in the introduction of a new product on the market.

Key words:

Detection PT, Preference PT, Off-grid photovoltaic system, Photovoltaic panel, Electronic platform Arduino, Communication IR device, Remote monitoring, Economic return on investment

Obsah

1	Úvod	1
2	Uvedení do problému	3
2.1	Stávající řešení	3
2.2	Možnosti nového řešení.....	4
3	Ostrovni fotovoltaický systém.....	4
3.1	Fotovoltaický panel	5
3.2	Zpracování energie	6
3.2.1	PWM regulátory	7
3.2.2	MPPT regulátory	7
3.2.3	Bez regulace	8
3.3	Skladování energie	8
3.3.1	Baterie olověné.....	9
3.3.2	Baterie LiFePO ₄	10
4	Technické řešení	11
4.1	Hardware	11
4.1.1	Arduino.....	12
4.1.2	GSM modul SIM800L.....	14
4.1.3	Schéma zapojení.....	15
4.1.4	Spotřeba energie	17
4.2	Software.....	18
4.2.1	Vlastní program.....	18
4.2.2	Blokový diagram	19
4.2.3	Poruchové stavy	21
5	Testování	22
5.1	Výkon panelů v zimních měsících	22
5.1.1	Komponenty	23
5.1.2	Schéma zapojení.....	23
5.1.3	Výsledky.....	24
5.2	Změna kapacity v rozdílných teplotách.....	25
5.2.1	Komponenty	26
5.2.2	Schéma zapojení.....	26
5.2.3	Výsledky.....	27
5.3	Ověření všech funkcí.....	28

5.4	Měření reálné spotřeby	29
5.5	Zhodnocení návrhu	29
6	Ekonomické zhodnocení	31
6.1	Nové zařízení	31
6.2	Stávající zařízení	35
6.3	Porovnání projektů	37
6.3.1	Varianta 1 – Porovnání	38
6.3.2	Varianta 2 – Výměna	41
6.3.3	Varianta 3 – Prodej	42
6.4	Doporučení	46
7	Závěr	48
	Seznam použité literatury	50
	Seznam obrázků	53
	Seznam tabulek	53
	Seznam grafů	54
	Seznam schémat	54
	Seznam diagramů	55
	Seznam příloh	55
	Přílohy	56

Seznam symbolů a zkratek

AC – Alternating current (střídavý proud)

A/D – Analog to digital (analogově digitální)

AGM – Absorbed Glass Mat (elektrolyt ze skelné vaty)

BMS – battery management system (systém ochrany baterie)

CE – Conformité européenne (shoda s požadavky EU)

D/A – Digital to analog (digitálně analogový)

DC – Direct current (stejnoseměrný proud)

DCF – Diskontované cashflow

DPS – Deska plošného spoje

EMC – Electromagnetic Compatibility (elektromagnetická kompatibilita)

FV – Fotovoltaika

GPS – Global Positioning System (Globální polohový systém)

GSM – Global System for Mobile Communications (globální systém pro mobilní komunikaci)

IR – Infrared radiation (infračervené záření)

IRR – Internal Rate of Return (vnitřní výnosové procento)

KDCF – Kumulované diskontované cashflow

KMIR – Komunikační maják na bázi IR

LED – Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)

LFP – LiFePO₄ (Lithium iron phosphate)

MHD – Městská hromadná doprava

MOSFET – Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (kov-oxid-polovodičový tranzistor řízený elektrickým polem)

MPP – Maximal power point (bod maximálního výkonu)

MPPT – Maximal power point tracking (sledování bodu maximálního výkonu)

NPV – Net present value (čistá současná hodnota)

PC – Personal computer (osobní počítač)

PST – Pravděpodobnost

PWM – Pulse width modulation (pulsní šířková modulace, střída)

SSZ – Světelně signalizační zařízení

UART – Universal asynchronous receiver-transmitter (univerzální asynchronní přijímač-vysílač)

VA – Volt-Ampere Characteristic (volt-ampérová charakteristika)

V_{mp} – Maximum Power Voltage (napětí maximálního výkonu)

VRLA – Value Regulated Lead Acid (olověná baterie chráněná pojistným ventilem)

1 Úvod

Každým rokem dochází k nárůstu individuální automobilové doprava, která má zejména ve městech zásadní dopad na celkové urbanistické uspořádání a požadavky na infrastrukturu. Jedním z palčivých problémů ve městě je zajištění preference městské hromadné dopravy (MHD). Preferenci ve městě pro MHD je možné zabezpečit vyhrazením jízdních pruhů, vhodným uspořádáním hlavního dopravního prostoru nebo jinými stavebními opatřeními. Bohužel jsou ve městech místa, kde není možné stavební uspořádání preferovanému vozidlu MHD zajistit a zásadní vliv na preferenci mají především křižovatky, a to jak řízené, tak neřízené. V rámci této diplomové práce se budu zabývat preferencí MHD pro řízené křižovatky, které jsou osazeny světelným signalizačním zařízením (SSZ), a které umožňují zajistit při vhodném nastavení a detekci vozidla plynulý průjezd městské hromadné dopravy.

Z hlediska řízení MHD na světelně řízených křižovatkách a světelně řízených přechodech pro chodce hovoříme o tzv. pasivní preferenci nebo aktivní preferenci. Vzhledem k novým trendům se bude práce dále zabývat jednotkou na infrastruktuře, která slouží pro aktivní preferenci MHD, tj. takovou preferenci, kdy vozidlo MHD komunikuje na rádiové frekvenci s radičem světelně řízené křižovatky a vyměňují si informace tak, aby byla zajištěna plynulá průjezdnost vozidla danou křižovatkou i preferenční průjezdem v daném směru křižovatkou. Aby mohla křižovatka fungovat společně s vozidlem, je nutná znalost polohy vozidla před křižovatkou, kterou je možné zjistit pomocí družicového souřadnicového systému (GPS) nebo pomocí jednotek umístěných na infrastruktuře, které mohou být aktivní i pasivní. Jednotky umístěné na infrastruktuře se umísťují do vzdálenosti desítek až stovek metrů a vozidlo si zjišťuje a ověřuje svoji polohu před a za křižovatkou. Umístění těchto jednotek je převážně na sloupech veřejného osvětlení, ze kterých jsou jednotky v nočních hodinách napájeny. Výhodou těchto jednotek je velká přesnost při přihlašování, ale i odhlášení z křižovatek zejména v centrech měst, kde může dojít ke stínění družicového signálu o poloze nebo k zásadnímu posunu polohy dané nepřesností GPS signálu v dané lokalitě.

Jak bylo uvedeno, jednotky se musí umísťovat do lokalit, kde je zdroj napájení alespoň v nočních hodinách. Nabízí se proto navrhnout ostrovní řešení, které zajistí v místech špatného GPS signálu či jiného družicového signálu spolehlivou informaci o poloze vozidla, tj. přihlášení vozidla do křižovatky, ale i spolehlivé odhlášení z křižovatky, neboť nepřesnosti přihlášení a odhlášení preferovaného vozidla mají zásadní dopady do plynulosti a bezpečnosti dopravního proudu a kapacity daného dopravního uzlu.

Jedna z možností, která se nám nabízí při řešení ostrovní jednotky je alternativní napájení, které je možné využít pro různé dopravní systémy. Umožnilo by umístění zařízení do vhodnějších lokalit, a tak zvýšit účinnost, nezávislost na pevném přívodu energie a spolehlivost. Mezi zvažované varianty patří také stále více se rozšiřující fotovoltaické panely, které jsou dostupnější díky stále narůstající nabídce nových

a účinnějších panelů. Vzhledem ke snižující se ceně roste i dostupnost fotovoltaických panelů také pro malé elektronické systémy a je tak ekonomicky výhodné využít je jako zdroj napájení.

Mezi malé elektronické systémy na dopravní infrastruktuře pro preferenci MHD patří komunikační maják na principu IR (KMIR). Vyskytuje se zejména v Praze a slouží jako prvek pro aktivní preferenci autobusů na 550 světelně řízených křižovatkách a přechodech. Jeho hlavním účelem je komunikovat jednosměrně v infračerveném pásmu projíždějící vozidlo MHD, využívající systém aktivní preference, o vzdálenosti bodu přihlášení a bodu odhlášení od stopčáry. Vozidlo MHD, které má informaci o přesné poloze, komunikuje přes palubní počítač vozidla s radičem a na základě logiky řízení v radiči a rychlosti vozidla je zajištěn průjezd preferovaného vozidla. V současné době, jak již bylo uvedeno, jsou tyto komunikační majáky napájené z veřejného osvětlení, a to s sebou přináší jistá omezení. Nicméně sloupy veřejného osvětlení nejsou vždy na ideálním místě (umístění jen po jedné straně silniční komunikace) a je tak nutné maják umístit na nejvhodnější možnou pozici. Často to v praxi znamená například umístění komunikačního majáku na stranu v protisměru, kde hrozí zastínění vysílacího signálu projíždějícím nebo stojícím vozidlem. Je tedy vhodné, a v řadě případů nutné, najít alternativní možnosti napájení pro tento systém.

Z těchto důvodů je cílem diplomové práce najít vhodný alternativní způsob napájení pro KMIR společně s inovacemi, které umožní lepší a ekonomičtější správu tohoto zařízení. V první části diplomové práce bude rozebrána teoretická část s možnostmi, které se nabízejí při hledání optimálního řešení. Především se budou rozebírat možnosti při vybírání zdroje energie, následné způsoby zpracování a vhodné skladování. Druhá část této diplomové práce se zaměřuje na vypracování technického řešení, které bude splňovat všechny kladené nároky, jako například nepřetržitý provoz zařízení. Samotná kapitola je poté rozdělena na dvě části – hardware a software. V první části je rozebráno, jaké jsou vhodné komponenty a druhá část je věnována programovací logice, která řídí celý systém. Třetí kapitola s názvem „Testování“ je zaměřená na reálné testy, které jsou nezbytné pro správné dimenzování celého systému. Je nutné s co největší pravděpodobností předejít havarijním stavům, které mohou ohrozit plynulý chod tohoto nového řídicího systému jednotky pro preferenci MHD. Mezi hlavní faktory, které mohou ohrozit funkčnost tohoto systému, patří například špatné počasí. V poslední části bude rozebráno a porovnáno ekonomické zhodnocení nového zařízení se stávajícím. Na základě čisté současné hodnoty (NPV) bude ekonomicky zhodnoceno, zda je výhodné reinstalovat stávající systém za nový, či nikoliv. Následně bude provedena analýza, za jakých podmínek má reinstalace smysl. Nakonec se podíváme na nové zařízení i jako na nový produkt, který bychom chtěli uvést na trh.

2 Uvedení do problému

Společnost ELTODO, a.s. působí v mnoha odvětvích jako jsou například informační a komunikační systémy, kamerové systémy, energetické systémy, a především dopravní systémy a veřejné osvětlení. Společnost nabízí zařízení a systémy vlastní výroby a vývoje, včetně komplexního systému preference MHD dodávaného na světelně řízené křižovatky. S rozvojem preference a snižování energetických nákladů na zařízení, včetně rozvoje nových trendů v ostrovních řešení, vznikla i tato diplomová práce. Řeší samostatnou dílčí část systému preference MHD týkající se detekce přesné polohy vozidla na silniční komunikaci. V rámci práce byl vytvořen kompletní redesign komunikačního majáku na bázi IR – KMIR, doplněný o alternativní možnosti napájení a tedy širšího užití bez nutnosti instalace na veřejné osvětlení. V současné době je jen v Praze nainstalováno více jak 550 kusů těchto majáků. Je více než pravděpodobné, že bude nutná reinstalace stávajících, nebo instalace nových zařízení v závislosti na rozvoji a inovaci dopravní infrastruktury v Praze, ale i dalších městech.

2.1 Stávající řešení

Komunikační maják (KMIR)

Komunikační maják je určen k předání informace o vzdálenosti bodu přihlášení a bodu odhlášení projíždějícímu vozidlu využívajícímu systém aktivní preference. [1]

Popis:

Komunikační maják cyklicky vysílá zprávu, tzv. diagram, udávající číslo křižovatky, číslo majáku, vzdálenost k bodu přihlášení a vzdálenost k bodu odhlášení. Přenos maják – vozidlo je jednosměrný v pásmu infračerveného záření. [1]

Tento maják se instaluje na sloupy veřejného osvětlení, z nichž je také napájen. Umisťuje se do výšky cca 2,5–2,7 m nad vozovku a vysílací svazek je mířen pod úhlem 45° proti směru jízdy preferovaného vozidla. Situován může být na obou stranách vozovky. Jako záložní zdroj je zde olověný akumulátor o kapacitě 4,5 Ah, který zajišťuje nepřerušovaný chod i přes den, kdy není k dispozici napájení pro veřejné osvětlení. [1]

Technická data [1]:

- Napájení 230 V / 50 Hz
- Min. dosah majáku 15 m
- Max. příkon 35 W
- Min. doba provozu bez síťového napájení 36 h
- Max. doba dobíjení 4 h
- Rozsah pracovních teplot -20 °C až 60 °C
- Rozměry 300 × 290 × 160 mm
- Hmotnost 5,5 Kg
- Krytí IP 54

2.2 Možnosti nového řešení

Základním parametrem, nad nímž je nutné se zamyslet, jsou alternativní možnosti napájení. Využití klasického napájení z veřejného osvětlení již nebude možné. Tento způsob napájení byl v jisté míře také omezující. Ne vždy jsou lampy umístěny tam, kde bychom je potřebovali. V některých situacích bylo nutné IR maják umístit na stožár veřejného osvětlení na druhé straně vozovky. Toto umístění je nepoužitelné, pokud nastane situace, kdy v protějším pruhu projíždí nákladní automobil či jiné rozměrnější vozidlo, zabraňující vozidlu MHD načíst informace z majáku. Pokud tedy budeme mít k dispozici řešení, které má vlastní zdroj energie, otevře se nám větší škála pro jeho umístění.

Jedna z možností, jak zajistit vlastní napájení, je použití vodíkových článků. Tyto články fungují na principu pozvolného spalování paliva společně s oksyličovadlem. Jako palivo se většinou používá vodík a jako oksyličovadlo kyslík, jenž lze získat ze vzduchu. Společné spalování probíhá bez plamene, pouze na chemické úrovni. Výsledkem je produkce tepla, elektrické energie a vody. Účinnosti se mohou pohybovat až k 60 % elektrické energie a 40 % tepla [2]. Hlavní předností celého systému je čistá produkce energie s celkem rychlým dobitím pomocí výměny zásobníku na vodík. Nicméně pro naši aplikaci to není zcela vhodné. Zařízení by bylo pravděpodobně větších rozměrů a i tak by bylo nutné často měnit zásobníky na vodík, které nejsou zadarmo a celou aplikaci by tedy provázely další a další náklady na provoz. Dalším závažným problémem je to, že by na veřejném prostranství byl ponechán výbušný plyn. Bylo by nutné celý systém zaopatřit různými bezpečnostními prvky. [2]

Další variantou, která se nám nabízí, je použití fotovoltaického panelu společně s baterií na překlenutí noci. Tato možnost je vcelku běžná a ověřená v provozu. Sluneční záření máme k dispozici po celý rok, avšak nejvíce nás bude zajímat zimní období. Celý systém musí být schopen fungovat dvacet čtyři hodin denně, sedm dní v týdnu. Tato varianta se pro tuto práci hodí nejvíce, a tak se jí budu dále věnovat podrobněji.

3 Ostrovní fotovoltaický systém

Základní myšlenkou je přeměna sluneční energie na jinou, pro nás vhodnou k využití. Jak už z názvu vyplývá, tak ostrovní systém značí zařízení, které dokáže pracovat bez nutnosti napojení na veřejnou elektrickou síť. Veškerá využitelná energie je taková, kterou nám poskytne sluneční záření. Tato energie v podobě fotonů uvolňuje elektrony na fotovoltaickém panelu a díky tomu vzniká na panelu napěťový potenciál. Tento potenciál nám umožní přenášet uvolněné elektrony v podobě elektrického proudu dál po vedení a naakumulovanou energii spotřebovat, nebo uložit.

Akumulace energie je jeden z klíčových aspektů pro efektivní využití celého systému. Sluneční záření máme k dispozici jen po určitou dobu během dne. Ideální stav by byl ten, kdy bychom měli k dispozici

konstantní sluneční záření během celého dne, což ale nemáme. Proto je potřeba přebytky během dne ukládat pro pozdější využití. Základní a nejběžnější způsob ukládání energie je pomocí akumulátorů. Obvykle se tyto akumulátory skládají do série s výsledným napětím 12, 24 a 48 V. Vyšší napětí je výhodné především na redukci proudů v DC systému při stejném výkonu. Energie se neukládá na přímo, ale je zde nutný regulátor, který transformuje napětí na fotovoltaické soustavě na napětí bateriového úložiště. Uloženou energii je poté možné spotřebovat již na DC stupni, např. jako 12 V osvětlení, nebo na AC stupni pomocí měniče, jenž převede stejnosměrné napětí na klasické střídavé.

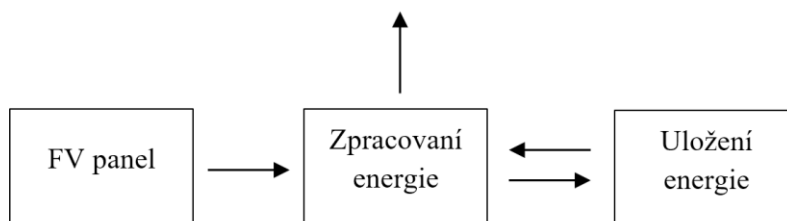
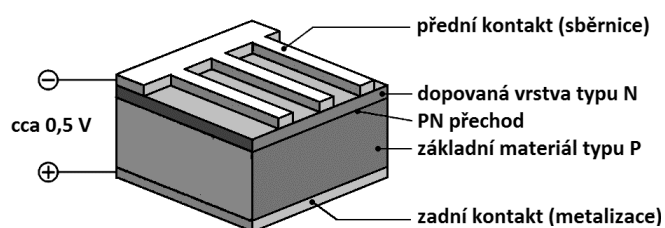


Diagram 1 - Off-grid systém – tok energie [Zdroj: Autor]

3.1 Fotovoltaický panel

Standardní fotovoltaické panely mají rozměry zhruba $1 \times 1,6$ m a skládají se z fotovoltaických článků. Tyto články fungují díky jevu zvanému fotoelektrický jev, který je založený na principu uvolňování elektronů pomocí elektromagnetického záření. Samotný článek je křemíková destička s PN přechodem o maximální velikosti zhruba 25×25 cm. Hlavní charakteristikou je poměrně malé generované napětí oproti proudu, proto se tyto články sérioparalelně skládají do zmiňovaných fotovoltaických panelů. [4]

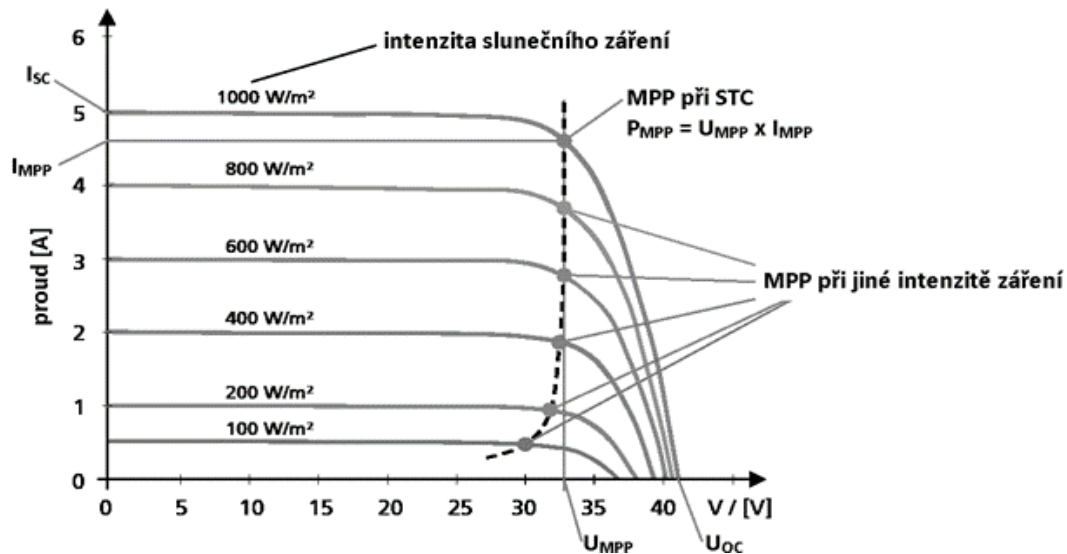


Obrázek 1 - FV článek [3]

Nejčastější na trhu se vyskytující typy jsou z kategorie technologie tlustých vrstev. Je zde několik typů článků – polykrystalické, monokrystalické a amorfni. Obvyklá účinnost je v rozmezí 10–20 %. Polykrystalický a monokrystalický solární článek se skládá z křemíkové destičky, která nabývá tloušťek v rozmezí 0,2–0,3 mm. [4]

Jedním z nejdůležitějších parametrů je voltampérová charakteristika fotovoltaického článku. Jak se mění VA charakteristika v závislosti na intenzitě slunečního záření, lze vidět na grafu č 1. Základní vlastností je znatelná změna generovaného proudu nakrátko při změně intenzity záření oproti relativně

konstantnímu napětí naprázdno. Jak už jsem zmínil, tyto jednotlivé články se sérioparalelně skládají do tzv. solárního panelu. Pokud nebude mít tento panel žádné výrobní vady ani poškození vlivem času, bude mít stejnou VA charakteristiku jako jednotlivé články. V reálných podmínkách však hraje velkou roli různé zastínění jednotlivých článků tohoto panelu. Jak moc velkou roli takové zastínění bude mít, závisí na zvolené formě propojení jednotlivých článků. Snižování důsledků zastínění lze předejít přidáním paralelních diod k jednotlivým větvím. Příčinou může být zatažená obloha, ale také zašpinění povrchu panelu. Za takových podmínek bude VA charakteristika značně deformovaná. [4]



Graf 1 - VA charakteristika FV článku [4]

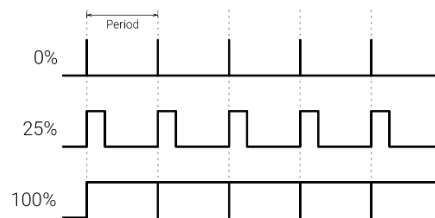
Bod maximálního výkonu nám udává, při jakém zatížení proudu a napětí nám bude panel / článek dodávat maximální výkon. V grafu č. 1 jej můžeme najít pod názvem MPP (maximal power point). Abychom mohli tento bod zjistit, potřebujeme regulátor s funkcí MPPT (maximal power point tracking). Regulátor odebírá proud co nejbližší tomuto bodu a zajišťuje tak maximální účinnost panelu. Tento bod se různě mění v závislosti na intenzitě záření či zastínění. Proto je nutné průběžně sledovat jeho polohu a v závislosti na tom nastavovat zatěžovací proud. [4]

3.2 Zpracování energie

Fotovoltaický panel generuje relativně konstantní napětí oproti proudu, který se razantně mění s intenzitou slunečního záření, jak už bylo zmíněno u voltampérové charakteristiky. Nicméně akumulátorová úložiště používaná společně s FV panely mají konstantní napětí. Je tedy nutné energii z panelu transformovat na napětí bateriového úložiště. Nejčastějšími způsoby regulace jsou PWM (pulse width modulation) a MPPT regulátory. Je zde i možnost zvolit způsob, kdy se nepoužije žádný regulátor. FV panel se připojí přímo na baterii. Tuto možnost lze použít pouze u panelů s V_{mp} (maximum power voltage) blízkým napětí akumulátorového úložiště.

3.2.1 PWM regulátory

Tyto regulátory využívají pulzní šířkovou modulaci (PWM) pro redukci napětí panelu na napětí baterie. Pomocí různě dlouhých pulzů o vysoké frekvenci desítek až stovek kHz a pauz mezi nimi je možné nastavit požadované výstupní napětí. Poměr doby trvání vysokého a nízkého pulzu se nazývá střída a udává se v procentech viz graf č. 2. Proud dodaný z panelu je poté dán napětím, které odebírá tento regulátor. Účinnost je tím větší, čím více se blíží odebírané napětí V_{mp} . Regulátory PWM jsou vhodné především pro malé aplikace, kde nejsou tak velké nároky na účinnost. Jejich hlavní výhodou je poměrně nízká cena a jednoduchost. Obvykle se využívají pro akumulátorové úložiště s napětím 12 V nebo 24 V. Moderní PWM regulátory obsahují kromě generátoru pulzní šířkové modulace i mikroprocesor, který umožňuje hlídání důležitých veličin pro maximální životnost celého systému. Mikroprocesor dokáže rozpoznat, zda je připojen k 12 V či 24 V úložišti a podle toho nastavit vnitřní parametry, jako minimální a maximální napětí akumulátorového úložiště pro bezpečné nabíjení a vybíjení.



Graf 2 - Pulzně šířková modulace [5]

3.2.2 MPPT regulátory

Pro větší systémy se zpravidla vyplatí použít regulátory s funkcí MPPT. Tyto regulátory umí pomocí mikroprocesoru sledovat bod MPP (viz graf 1) a následně zatěžovat FV panel tak, aby odebíraný proud byl co nejbližší tomuto bodu. Je tak zaručen zisk maximálního výkonu daného panelu nebo celé soustavy. Průběžně sledování bodu MPP je důležité vzhledem k jeho neustálé změně závislé na teplotě panelu, intenzitě slunečního záření, ale i zastínění části panelu způsobené oblačností. Hlavním rozdílem v konstrukci oproti PWM regulátoru je přítomnost DC/DC měniče, který umožňuje přenášení výkonu do baterie s minimálními ztrátami. DC/DC měnič umožňuje sérioparalelní připojení většího množství panelů. Hlavní omezující veličinou je především proud, jenž může přes regulátor téct. S vyššími výkony se přechází na vyšší napěťové hladiny akumulátorového úložiště a to standardně až do napětí 48 V. Účinnost se pohybuje až kolem 99 % a je dána především účinností přeměny energie samotného DC/DC měniče. Složitý vnitřní obvod s sebou nese i jisté problémy, jako je vyšší poruchovost a především vyšší pořizovací cenu. U velkých systémů je rozdíl v pořizovací ceně celkem rychle kompenzován v podobě většího výkonového zisku. U malého systému zahrnující jeden až dva panely by se tato investice nemusela vyplatit. MPPT regulátory mají stejné ochrany pro maximální životnost systému jako PWM regulátory a obvykle umožňují i připojení k PC nebo jinému zařízení pro lepší monitorování a případné individuální nastavení. [6]

3.2.3 Bez regulace

Fotovoltaický panel je velmi měkký elektrický zdroj. Pokud připojíme panel přímo k baterii, klesne napětí panelu na napětí baterie. Podle VA charakteristiky danému napětí odpovídá daný proud. Se zvětšujícím se napětím bude klesat proud a tím se vytvoří jakási samoregulace dobíjení baterie. Nicméně pokud by šlo o větší panel, mohlo by ve slunné dny dojít k přebíjení baterie. Proto by bylo žádoucí doplnit systém o včasné odpojení při vyšším dobíjecím napětí. Tato varianta je vhodná pro malé panely s výkonem do 100Wp. MPPT regulátory mají větší zisk zhruba o 30 % oproti MPW regulátorům, nebo variantě bez regulace. Avšak díky složité vnitřní elektronice má i nezanedbatelnou vnitřní spotřebu a v případě použití malých panelů se bude 30% navýšení zisku anulovat touto spotřebou. Vzhledem k tomu, že MPPT regulátory stojí stovky až tisíce korun, je nepravděpodobné, že by se taková investice do tohoto projektu vyplatila. [7]

3.3 Skladování energie

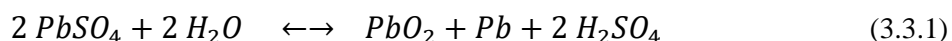
Pro správnou funkci celého systému je důležité energii vyrobenou přes den ukládat, aby ji bylo možné spotřebovat v noci a celý systém tak mohl pracovat nonstop. Než se pustíme do uložení energie do klasických baterií, podíváme se na alternativní možnosti ukládání energie. Nabízejí se možnosti jako přečerpávací vodní elektrárny, stlačený vzduch nebo uložení energie v setrvačnicku. Nicméně všechny tyto možnosti neumožňují efektivní využití v malém měřítku. Další alternativou by mohla být poměrně nová technologie průtokových baterií. Energie je uložena v elektrolytu, na rozdíl od klasických baterií, kde je uložena v elektrodách. Jsou zde dvě nádrže s pozitivním a negativním elektrolytem, který se vhání do reaktoru, kde přes iontoměničovou membránu probíhá chemická reakce. [2] Hlavní výhodou je zde takřka neomezený počet vybíjecích cyklů, až na zmíněnou membránu, jenž vydrží zhruba 15000 cyklů a poté je potřeba ji vyměnit. [2] Nevýhodou je zde poměrně malá hustota energie a to v rozmezí 15 až 25 kWh/m³. [2] Průtokové baterie je možné vyrábět i pro malé užití jako jsou domácnosti, nicméně tato technologie zatím není široce dostupná a nebyla by pro tuto práci ekonomicky výhodná. [2]

Nejvhodnější pro takto malé úložiště bude přeci jen využití klasických galvanických článků a to zejména sekundárních, které lze dobít, oproti primárním, které jsou na jedno použití. Nejstarší a nejrozšířenější jsou olověné akumulátory, které také budou dále zkoumány pro využití v této práci. O něco novější jsou nikel-kadmiové (NiCd) články, které mají větší energetickou hustotu, ale jsou toxické a články mají paměťový efekt. Náhradou za NiCd články se staly nikel-metal hydridové (NiMH) a Lithium-iontové (Li-Ion) články. NiMH články nejsou toxické a mají větší energetickou hustotu a životnost. Nicméně tyto vlastnosti jsou vykoupeny vyšší pořizovací cenou a to až 10× vyšší než olověné akumulátory na jednotku kapacity. Li-Ion články představují nejrozšířenější technologii současnosti. Je zde správný poměr mezi cenou, energetickou hustotou a životností. Tyto články se vyrábí s různými elektrodami

a elektrolyty, všechny mají však stejný charakteristický přenos iontů lithia mezi elektrodami. Pro tuto práci se zaměřím na technologii LiFePO₄ a budu ji porovnávat s olovenými články. [2]

3.3.1 Baterie olovené

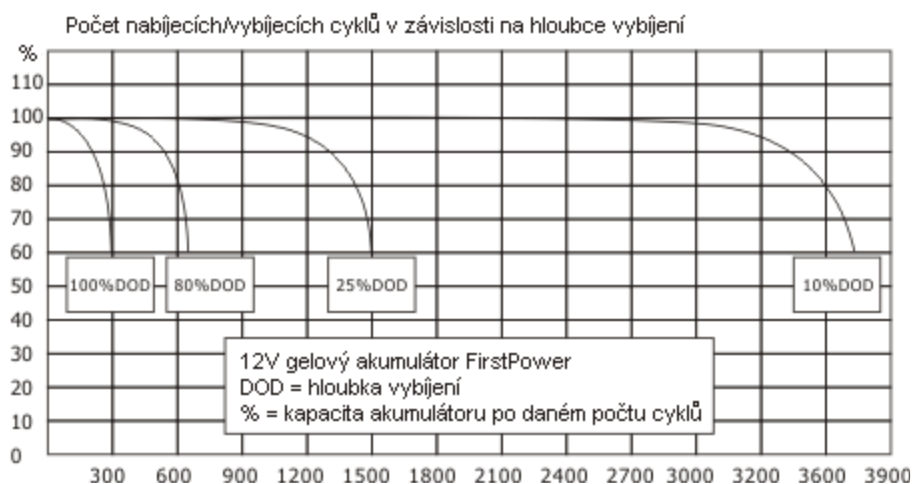
První baterii sekundárního typu sestavil Gaston Planté ve Francii v roce 1859. Jednalo se o olovené desky ponořené do roztoku kyseliny sírové oddělené plátnem. V dnešní době jsou tyto baterie obdobné konstrukce, jen značně technologicky pokročilejší. Dvě elektrody v roztoku kyseliny tvoří článek s napětím 2,1 V v plně nabitém stavu. Tyto články se skládají do série po 6 kusech a tvoří tak baterii o napětí 12,6 V, lze složit i tři články s napětím 6,3 V. Elektrody jsou desky ve formě mřížky vyrobené z pórovitého olova pro snazší průnik elektrolytu. Je nutné, aby odolaly roztoku kyseliny sírové, který dosahuje v nabitém stavu 28–40 %. Kladná elektroda je vyrobena z jemnozrnného kysličníku olovičitého a záporná z pórovitého olova. Napájecí a vybíjecí chemický proces je popsán následující rovnicí: [8]



Šipka vpravo značí proces při nabíjení a naopak šipka vlevo proces při vybíjení. Jak je z rovnice patrné, tak při nabíjení se tvoří kysličník olovičitý a kyselina sírová. Naopak při vybíjení se tvoří síran olovnatý a voda. Problémem při údržbě je nutnost doplňování destilované vody, jenž se vypařuje při užívání baterie. Tento problém byl částečně eliminován dotováním olova antimonem a vápníkem. Díky tomuto vylepšení se odpařování zredukovalo na pětinu a tak není skoro nutné doplňování elektrolytu. Aby nedocházelo ke zkratu mezi jednotlivými elektrodami, je mezi ně umístěn separátor tvořený například impregnovaným papírem. Je nezbytné, aby přes separátor mohl elektrolyt volně procházet, zároveň ale nesmí dojít ke zkratu. Hlavní výhodou tohoto akumulátoru je velmi nízký vnitřní odpor, který může dosahovat hodnoty až 0,001 Ohmu a s tím související velký výstupní proud. Nicméně tuto vlastnost nemáme jak využít a tak pro nás není příliš zajímavá. Mnohem víc nás bude zajímat životnost baterie. Ta bohužel není nijak závratná oproti možným alternativám. Při 80% hloubce vybití se udává životnost zhruba 500 až 800 cyklů. Navíc značně klesá kapacita při nízkých teplotách. [8]

Vhodnější variantou by mohlo být využití bezúdržbových baterií, které jsou méně náchylné na teplotní výkyvy, například typ AGM (Absorbed Glass Mat). Tento typ je zde od počátku 70. let a důležitým rozdílem je vázanost elektrolytu ve skelných vláknech. Baterie se klasicky skládá z olovených elektrod, nicméně elektrolyt není v tekutém stavu, ale váže se do skelných vláken dotovaných bórem, které jsou zároveň i separátorem. Skelná vlákna těsně doléhají na elektrody a tak je zaručena velmi dobrá iontová vodivost, jež umožňuje rychlou kyslíkovou rekombinaci na záporné elektrodě. Mezi výhody patří bezúdržbovost, lepší výkon za nižších teplot, stabilita při otřesu a to vše především díky vázanému elektrolytu ve skelných vláknech. [8]

Poslední a celkem známá varianta je použití gelových baterií. Princip je stejný jako u baterií typu AGM, pouze je elektrolyt vázán v tixotropním křemičitém gelu. Jedná se o oxid křemičitý společně s dalšími aditivy. I u tohoto typu dochází k rychlé rekombinaci kyslíku u záporné elektrody a je tak redukován na vodu za uvolnění tepla. Víceméně všechny gelové i AGM baterie jsou koncepce VRLA (Value Regulated Lead Acid). Každý akumulátor má nouzový ventil, který ho chrání proti přetlaku, jaký by mohl způsobit výbuch akumulátoru. Tento ventil se uvolní po dosažení tlaku mezi 10 a 40 kPa, záleží na typu baterie. Oproti klasickým olověným akumulátorům jsou tyto gelové méně citlivé na hluboké vybití, lze je nechat v tomto stavu až 4 týdny bez výrazného poškození. U olověné baterie se udává maximální přípustná délka hlubokého vybití pouze den až dva. Obecně u všech baterií má na délku jejich života zásadní vliv míra vybití. Jak je z grafu č. 3 patrné, tak mezi 100% a 80% vybitím je víc jak dvojnásobná délka života. [8]



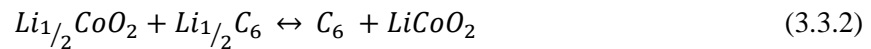
Graf 3 - Počet cyklů v závislosti na hloubce vybití [8]

3.3.2 Baterie LiFePO₄

Fyzikální chemik Gilbert Newton Lewis prováděl první pokusy s Li-Ion technologií v roce 1912. [9] Funkční článek se podařilo sestavit až v sedmdesátých letech, nicméně ho nebylo možné dobít a tedy znovu použít. První dobíjecí Li-Ion akumulátor představila společnost SONY Corporation ve spolupráci s Asahi Kasei Corporation v roce 1991. [9] [10] LiFePO₄ články objevil profesor John B. Goodenough na Texaské univerzitě v roce 1996. [9]

LiFePO₄ (dále jen LFP) článek obsahuje kladné a záporné elektrody mezi kterými je elektrolyt společně s tenkou keramickou folií, která zabraňuje zkratu, ale umožňuje pohyb iontů. Katoda je tvořena sloučeninami oxidu lithia a anoda je vyrobena z uhlíkového materiálu neboli grafitu. Elektrolyt tvoří lithiové soli (nejčastěji LiPF₄) rozpuštěné v organickém rozpouštědle, nebo je zachycen ve speciálním plastru (polymeru). Při nabíjení a vybití téměř nedochází k chemickým reakcím, které by degradovali

článek. V případě nabíjení ionty lithia pouze přechází z katody přes elektrolyt do struktury anody. Při vybíjení je tento proces přesně opačný – ionty lithia se vracejí z anody skrz elektrolyt na katodu (proto název „lithium-iontová“). [11] Základní rovnice pro technologii Li-Ion vypadá takto:



Díky napětí článku 3,2 V lze ze 4 článků složit 12,8V baterii a použít ji jako přímou náhradu klasických olovených baterií o napětí 12 V. Nízký vnitřní odpor umožňuje LFP články vybíjet i nabíjet proudy až 3 C, takže baterii lze plně nabít již za 20 minut. Při provozu si udržují konstantní napětí cca 3,2 V bez ohledu na stupeň vybití, což eliminuje potřebu přídavných regulačních prvků. Články lze poté skládat i do série po osmi a šestnácti pro výsledné napětí odpovídající hladině 24 a 48 V. Tyto baterie neobsahují žádné toxické a prostředí škodlivé látky, jako jsou například těžké kovy. Doba životnosti je závislá na hloubce vybití jednotlivých cyklů. Pro 100% vybití se udává počet cyklů až 3000 a při využití pouze 70 % kapacity lze očekávat až 8000 cyklů. [11] LFP baterie jsou sice zhruba 3× dražší než klasické olovené, ale tato vyšší pořizovací cena je poté kompenzována několikanásobně delší životností. Délka života baterie je také závislá na celkovém stylu provozu a zajištění vhodného vybíjení a nabíjení. LFP články jsou více náchylné na podbití a přebití, je proto vhodné je zabezpečit pomocí BMS (battery management system), který sleduje jednotlivé články a hlídá základní veličiny pro maximální životnost celého bateriového úložiště. [11]

4 Technické řešení

Tato kapitola se zaměřuje na technické provedení a řešení daných problémů. Je rozdělena na dvě podkapitoly, hardware a software. V první části se podíváme především na použité komponenty řídicího systému a jejich důvody výběru. Jak je řešena vzdálená komunikace, která umožní informovat uživatele o možných problémech. Jaké je nejvhodnější zpracování energie z fotovoltaických panelů a další modifikace pro maximální spolehlivost a provozuschopnost. V druhé části se podíváme na softwarovou část, logiku algoritmu a nutné energetické úspory. Nutné softwarové modifikace, které ošetří nouzové stavy, jako je podbití baterie. Dále pak i hlavní blokové diagramy znázorňující topologii programu.

4.1 Hardware

Celý systém se skládá ze tří hlavních částí. Zdrojem energie je zde fotovoltaický panel. Řídicí systém postavený na elektronické platformě Arduino a energetické úložiště tvořené čtyřmi Lithium-železo-fosfátovými bateriemi (LiFePO₄).

Předběžné výpočty pomocí programu PVGIS ukázaly potřebný výkon panelů zhruba 80 Wp.[12] Pro měření a testování jsem použil panely 40 Wp a 100 Wp. Přesný výběr a výpočet potřebných panelů je rozebrán v kapitole Ekonomické zhodnocení.

Hlavní řídicí systém jsem postavil na elektronické platformě Arduino obohacené o GSM modul SIM800L, který zprostředkovává komunikaci mezi jednotkou a dispečinkem. Napájení jednotky je řešeno přívodem z baterie přes DC/DC konvertor, který stabilizuje napětí na 5 V, dále je tu i DC/DC konvertor pro GSM modul se stabilizovaným napětím 3,3 V. Arduino získává informace pomocí dvou napěťových senzorů, které měří napětí baterie a fotovoltaického panelu. Také je tu i jeden proudový senzor, jenž měří proud tekoucí z panelu. Pro silové ovládání zařízení jsem využil bistabilní relé tak, aby bylo dosaženo maximální úspory energie. Dle logiky algoritmu je možné odpojit v kritické situaci baterii, zátěž, nebo fotovoltaický panel. Pro ověření funkčnosti celého systému jsem použil LiFePO₄ baterie o kapacitě od 6 Ah do 10 Ah. Přesný výběr a výpočet potřebných akumulátorů je rozebrán v kapitole Ekonomické zhodnocení.

4.1.1 Arduino

Arduino vzniklo jako elektronická platforma, která by byla dostupná pro studenty. Vývoj začal v roce 2005 v Itálii. Skupina lidí z Interaction Design Institute měla za cíl navrhnout a sestavit desku pro co nejširší použití za co nejméně peněz. Po vydání první verze elektronické desky si ji studenti velmi oblíbili. Hlavním důvodem, proč bylo a je Arduino populární a takřka nejrozšířenější elektronická platforma, je fakt, že tvůrci vytvořili tuto elektronickou platformu jako podporu pro studenty. Proto je Arduino tzv. Open Source a tedy všechna schémata a návrhy jsou volně ke stažení a vlastní produkci. Za dlouhé roky vznikla spousta dalších verzí Arduina, především jejich klony, které se dají zakoupit za zlomek ceny originální desky. Společně s Arduinem se dají zakoupit také různé senzory a pomůcky, které podpoří váš projekt. [13] [4]

Arduino Uno

Tento typ Arduina je asi nejrozšířenější platformou. Má čip ATmega328P osazený do patice a tak je možné čip vyjmout či vyměnit v případě zničení. Disponuje napájecím blokem, který usměrňuje napětí na operační napětí 5 V. Lze tedy desku napájet větším rozsahem napětí. Dalším blokem je rozhraní USB, jež umožňuje přenos programu do čipu. Hlavní přednost Arduina je série analogových a digitálních vstupů/výstupů, které umožňují připojit či řídit různé senzory nebo jiná zařízení. Analogové vstupy jsou řešeny pomocí 10bit A/D převodníku. Je tedy možné číst 0 až 1023 hodnot na rozsahu 0 až 5 V. Analogový blok je pouze na čtení signálu, nelze jej použít jako výstup, tedy Arduino neobsahuje D/A převodníky. Digitální vstupy naopak lze využít jako výstupy. Logika digitálních vstupů/výstupů je realizována pomocí 1 a 0, kdy 0 je reprezentována napětím 0 V, tedy LOW. Logická hodnota 1 je

reprezentována napětím 5 V, tedy HIGH. Důležitou součástí Arduina jsou piny A4 a A5 neboli SDA a SCL. Na tyto piny je připojena sběrnice I²C. [14] [4]

Technické specifikace:

Tabulka 1 - Specifikace Arduino Uno [14]

Mikrokontroler	ATmega328P
Operační napětí	5 V
Vstupní napětí (doporučené)	7–12 V
Vstupní napětí (limit)	6–20 V
Digitální I/O Piny	14
PWM Digitální I/O Piny	6
Analogové vstupní Piny	6
DC proud na I/O Pin	20 mA
DC proud na 3.3V Pin	50 mA
Flash paměť	32 KB (ATmega328P) z toho 0.5 KB využívá bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Rychlost hodin	16 MHz
Délka	68.6 mm
Šířka	53.4 mm
Hmotnost	25 g

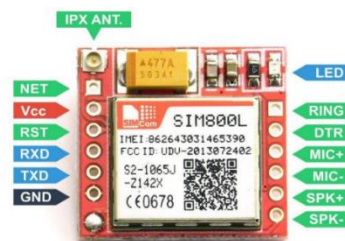
Pro potřebný software postačí základní verze Arduina, a to v provedení Arduino Pro Mini. Tato verze je nejmenší a nejjednodušší, ochuzená o USB převodník a stabilizátor napětí, jenž umožňuje napájení například z 9V baterie. Tyto chybějící komponenty však mají velký vliv na celkovou spotřebu Arduina. Je možné snížit spotřebu z 45 mA na 19 mA a v případě použití sleep modu je možné snížit spotřebu až na 23 μ A. Pro tuto verzi je potřeba nahrávat program pomocí USB-UART převodníku. [15]

4.1.2 GSM modul SIM800L

Tento GSM modul má všechny základní funkce, jako je možnost volat, posílat SMS, MMS a přenos dat. Pro tuto práci jsem využil pouze možnosti posílání SMS zpráv. V případě, že řídicí systém vyhodnotí nějaký problém, bude možné o problému informovat dispečink a ten bude moci obratem zajistit potřebný servis. Nejčastěji se bude jednat o nízký stav baterie v zimních obdobích. V takovém případě obdrží dispečink hlášku v podobě SMS s názvem stanice a informací o nízkém stavu napětí baterie. Tento modul je možné jednoduše ovládat přes AT příkazy z mikrokontroleru. Při registraci modulu do sítě je potřeba špičkový proud až 2 A. Proto jsem na výstupu DC/DC měniče přidal kondenzátor o kapacitě 4700 μ F, který tyto špičky pokryje. Dále je také nutné snížit napětí na výstupu komunikačního pinu TX z Arduina. Celý modul běží na napěťové hladině 3,3 V a výstup z komunikačního pinu je 5 V. Pro snížení napětí zde postačí napěťový dělič s hodnotami odporů 4,7 k a 10 k, viz Schéma zapojení č. 2. V případě, že tato komunikační jednotka společně s DC/DC měničem běží nonstop, má poměrně značnou spotřebu energie. Proto je napájení pro tento modul řízeno pomocí MOSFET jednotky, jež připojí GSM modul do systému jen v případě, že je to potřebné. Pro větší spolehlivost a dosah signálu je modul opatřen malou externí anténou. [16]

Základní parametry modulu [16]:

Čip: SIM800L
Napájení: 3,5-4,2 VDC
Podporované frekvence: 850 / 900 / 1800 / 1900
Klidový proud: cca 20 mA
Max. proud (špičkový): až 2
GSM standart: 2/2+
GPRS: třída B



Obrázek 2 - SIM 800L [16]

4.1.3 Schéma zapojení

Testovací zařízení jsem uložil do plastového boxu se dvěma vstupy pro fotovoltaický panel a baterii. Dále je tu jeden výstup pro zátěž, jímž je v tomto případě zařízení KMIR. Odpojování jednotlivých vstupů a výstupu je řešeno pomocí bistabilních relé. Maximální zatížení při napětí 12 V je 120 A a odběr při sepnutí a rozepnutí je 3,6 W. Tato relé jsou pro tento systém značně předimenzovaná, nicméně to nemá na testování negativní vliv. Samotné spínání a rozepínání relé je inicializováno krátkým pulzem z Arduina s dobou trvání 100 ms. Vzhledem k velkému proudovému nárazu při sepnutí by digitální výstupy na Arduinu nemusely tuto zátěž vydržet, a tak je silové spínání realizováno pomocí tranzistorového spínače tvořeného tranzistorem BC337 a odporem 6,8 k, viz schéma č. 1. Každé relé má jednu cívku na spínání a jednu pro rozepínání, každá cívka má tedy svůj tranzistorový spínač.

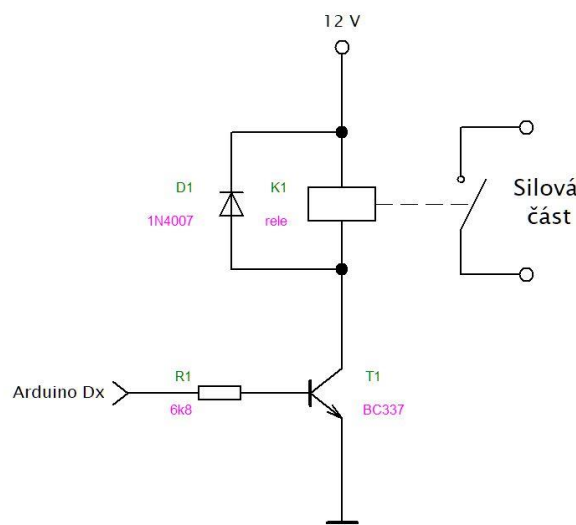


Schéma 1 - Tranzistorový zesilovač [Zdroj: Autor]

Použitý proudový sensor ACS712 funguje na principu Hallova jevu. Měří v rozmezí ± 5 A a vlastní spotřeba byla změřena na 20 mA.[17] Snížení spotřeby proudového senzoru jsem řešil připojením napájení pro tento senzor z digitálního pinu Arduina. Digitální pin je schopný poskytnout proud až 40 mA a tak je možné spínat napájení pro modul ACS712 jen v čase, kdy je potřeba změřit procházející proud.

Měření napětí fotovoltaického panelu a baterie jsem vyřešil odporovým děličem s hodnotami odporů 7,5 k a 30 k. Maximální možné měřené napětí je 25 V, které bude po převedení odpovídat napětí 5 V. Napájení pro Arduino a GSM modul jsem řešil pomocí dvou DC/DC konvertorů s čipem XL4015 s nastavitelným rozsahem od 1,25 do 32 V a maximálním zatížením 5 A. [18] Oba tyto konvertory jsou chráněny jednou 3 A pojistkou. Další pojistka je pak na výstupu baterie, a to s hodnotou 5 A.

Fotovoltaický panel

Off-Grid řídicí systém

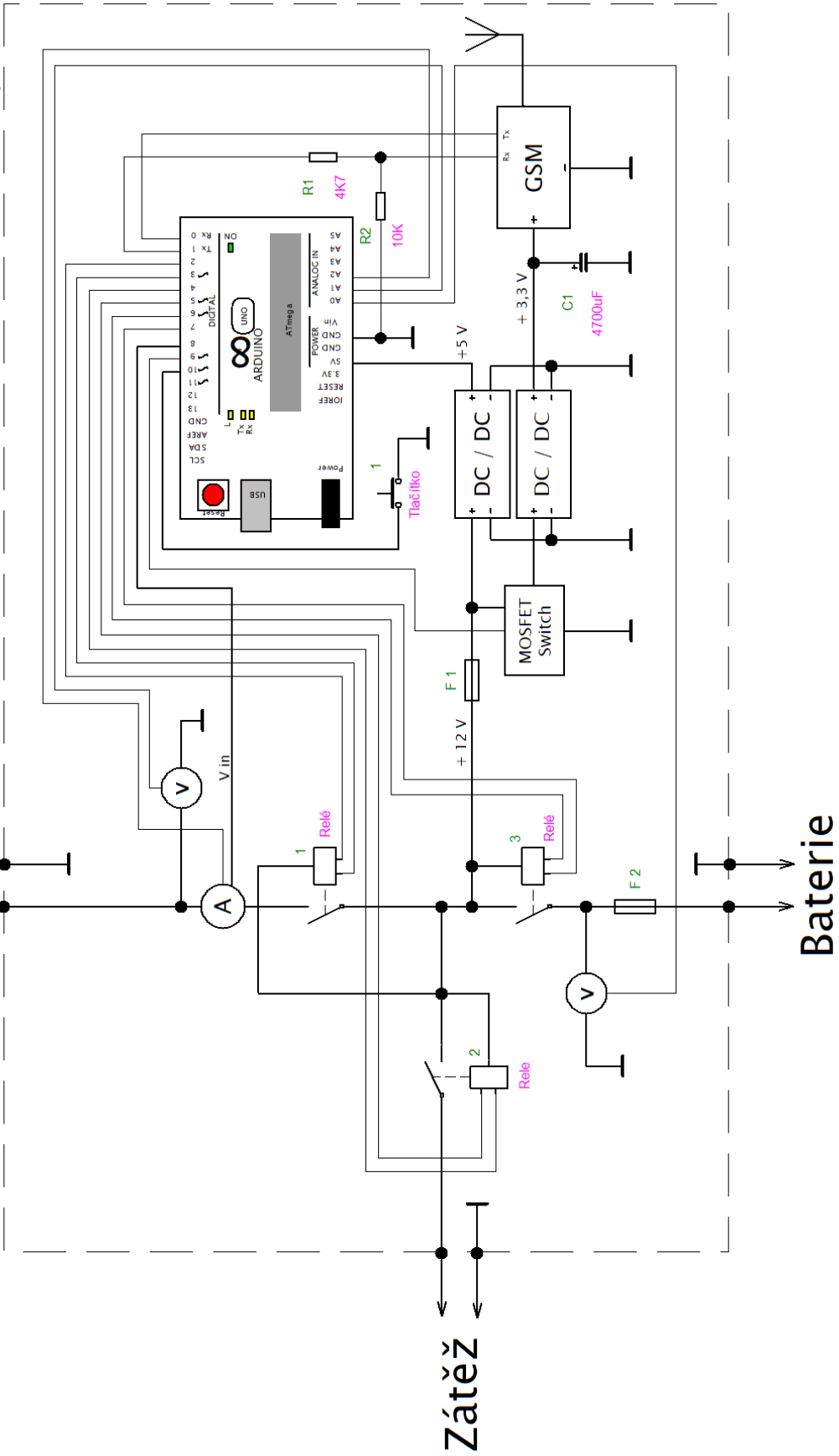


Schéma 2 - Off-grid řídicí systém [Zdroj: Autor]

4.1.4 Spotřeba energie

System jako takový musí vydržet nejméně tři dny bez dodávky energie v podobě slunečního záření. Je tedy velice důležité, aby řídicí systém spotřebovával na svůj provoz co nejméně energie. Základní zapojení bez nutných opatření má spotřebu zhruba 80 mA, a to je jen o něco málo méně než zařízení, které má tento systém napájet. Provozní doba by se takto zkrátila téměř na polovinu. Základní verze Arduino spotřebuje 40 mA a zbytek energie se rozdělí mezi GSM modul, proudový senzor a DC/DC měniče. První úspory jsem dosáhnul cíleným připojováním GSM modulu společně s jeho měničem na 3,3 V jen v případě, že je to nutné. Tato úspora ušetří okolo 25 mA. Dále je možné obdobně připojovat i proudový senzor, který spotřebovává dalších 20 mA.

Poslední, ale zároveň hlavní úspora spočívá v omezení spotřeby samotného Arduina. Základní vývojová platforma Arduino mimo jiné obsahuje i USB-UART převodník pro nahrávání zdrojového kódu z počítače a stabilizátor napětí, jenž umožňuje připojit k platformě vyšší napájecí napětí, viz tabulka č 1. Obě tyto periferie mají na svědomí značnou část spotřeby energie. Pokud jsem schopen dodat konstantní napětí 5 V a není potřeba nadále upravovat a přehrávat zdrojový kód v Arduinu, můžu tyto periferie vynechat a ušetřit tak energii. Pro tyto účely je nejvýhodnější na začátku použít desku Arduino Uno a poté, když je program hotový a odladěný, použít desku Arduino pro mini, která obsahuje pouze samotný čip ATmega328P a nutné součástky pro základní funkce. Tímto krokem lze docílit maximální úspory energie pokud je nutné, aby program běžel nepřetržitě. V případě, že měříme analogové veličiny, měříme je v určitých intervalech. Mezi těmito intervaly obvykle procesor čeká na další kolo měření. Bohužel i když procesor zrovna nic nezpracovává, spotřebovává energii. Tento problém jde celkem snadno vyřešit, a to uspaním procesoru do doby, než bude potřeba znovu změřit požadované veličiny.

Možností, jak uspat Arduino, je několik a liší se podle toho, jaké všechny části kontroléru budou během spánku neaktivní. Od toho se poté odvíjí i úspora energie. Já jsem zvolil nejúspornější mód zvaný SLEEP_MODE_PWR_DOWN. V tomto režimu není možné využít interní časovač Arduina a je nutné použít WATCHDOG TIMER, který běží paralelně s hlavním programem a může vyvolat přerušení. V tomto případě probuzení platformy. Maximální doba tohoto časovače je pouhých 8 sekund, ale je zde možnost vytvořit mnohonásobný cyklus, kdy WATCHDOG TIMER probudí Arduino, jež zjistí, že ještě není čas měření a okamžitě se zase uspí. Během tohoto procesu naroste spotřeba energie, ale opravdu jen na zlomek sekundy. Přesnost časovače není nijak závratná, ale pro potřeby probuzení jednou za 5 minut je tato funkce víc než dostačující. [15] [19]

4.2 Software

V této kapitole je rozebrána logika algoritmu, která řídí a obsluhuje celý systém. Blokový diagram pro lepší pochopení funkčnosti programu a popsané nežádoucí krajní stavy, jež je nutné eliminovat, například nedostatek energie nebo vniknutí neoprávněnou osobou. Hlavní součástí jsou i nutné energetické úspory v podobě uspání elektronické platformy, díky nimž lze ušetřit maximální možnou energii.

4.2.1 Vlastní program

Hlavní funkcí programu řídicího systému je správa energetického úložiště, v tomto případě jde o LFP baterii. Program se skládá ze dvou funkcí a to void Setup () a void loop (). První funkce void setup () se spustí vždy jen jednou na začátku celého programu a slouží k inicializaci digitálních výstupů, nastavení sériové komunikace a dalších důležitých podpůrných funkcí, které jsou důležité pro samotné fungování hlavního programu. Druhá funkce void loop () poté nese hlavní logiku daného programu a jak už název napovídá, tato funkce běží v nekonečné smyčce. Její přerušení může způsobit jen výpadek napájení, tlačítko restart, které je umístěno na desce a v krajním případě i nějaké mechanické poškození nebo „zamrznutí“ desky. V tomto případě může funkci void loop () přerušit výpadek napájení způsobený nedostatkem energie.

Funkce void Setup () v tomto řídicím systému nastavuje komunikaci po sériové lince, důležitou pro spojení s počítačem tak, aby bylo možné rychle testovat správnou funkci programu. Dále nastavuje komunikaci s modulem SIM800L, kontroluje sílu signálu pro danou lokalitu, odblokuje a zaregistruje sim kartu do komunikační sítě a když proběhne vše v pořádku, GSM modul odešle testovací SMS na nastavené číslo. V reálné situaci bude SMS směřována na dispečink, který po jejím přijetí informuje instalační techniky o správné funkčnosti komunikace. Poté proběhne inicializace WATCHDOG TIMERU společně s nastavením času impulzu. Na závěr tato funkce nastaví pro ovládání bistabilních relé správné digitální piny jako výstupy.

Funkce void loop () má veškerou logiku zabalenou v hlavní podmínce if, jež hlídá, zda je ten správný čas na měření potřebných veličin a spuštění dalších důležitých funkcí. Pokud čas ještě nenastal, program se znovu uspí. Tento čas nastane jednou za 2 minuty nebo v případě narušení systému cizí osobou okamžitě pomocí funkce přerušení. V samotné podmínce se poté nalézá soubor měření rozdělený do vlastních funkcí a ostatní podmínky, které hlídají krajní stavy systému. Měření analogových veličin, jako je napětí a proud, probíhá vesměs podobně. Veškeré veličiny z analogových pinů jsou načítány stokrát za sebou a následně průměrovány tak, aby se předešlo nechtěným výkyvům vlivem nepřesnosti měření a okolního rušení. Nedostatek energie v akumulátoru, plně nabitý akumulátor a další krajní stavy jsou ošetřeny podmínkami, které reagují na danou situaci dle závažnosti problému. Pokud v letních měsících dojde k plnému nabití akumulátoru, systém odpojí fotovoltaický panel pomocí relé, aby

nedošlo k jeho přebíjení. Panel je opět připojen při poklesu napětí baterie pod stanovenou hranici. V zimních měsících může naopak následkem nedostatku slunečního záření snadno dojít k vybití akumulátoru. V takovém případě je nutné baterii odpojit, aby nedošlo k nevratnému poškození podbitím. Před odpojením baterie Arduino odešle SMS zprávu o nízkém stavu energie a nouzovém vypnutí. Připojí fotovoltaický panel, odpojí zátěž a v poslední fázi odpojí baterii – tím vypne celý systém včetně Arduino. Připojení panelu před totálním vypnutím může opět nastartovat celý systém za předpokladu, že další den bude svítit dostatek slunce a nedojde k výměně baterie servisním vozidlem. Pokud se tak stane, celý systém se obnoví a znovu odešle testovací SMS, která o stavu, že zatím není nutné servis vykonat, upozorní servisní vozidlo. Program také monitoruje digitální vstup s připojeným tlačítkem, jenž hlídá otevření víka neoprávněnou osobou. Pokud dojde k takové situaci, systém odešle varovnou SMS dispečinku. V případě, že se bude nějaké servisní vozidlo pohybovat v blízkém okolí, bude možné pohotově reagovat a identifikovat problém. Pro případné závady má program implementovanou sériovou komunikaci. Je tedy možné po připojení PC identifikovat možné závady zařízení a podle toho vyměnit vadné části.

4.2.2 Blokový diagram

Jak už bylo zmíněno, vývojové desky Arduino musí mít dvě základní funkce bez nichž není možné program kompilovat. První blokový diagram znázorňuje tyto dvě funkce. Druhý blokový diagram znázorňuje průběh funkce void setup (). Nejdůležitější je zde inicializovat výstupy a vstupy společně s GSM modulem, který v případě správné inicializace odešle testovací SMS. Poslední blokový diagram znázorňuje samotnou logiku celého systému. Je zde především zachyceno, jakým způsobem jsou řešeny krajní stavy.

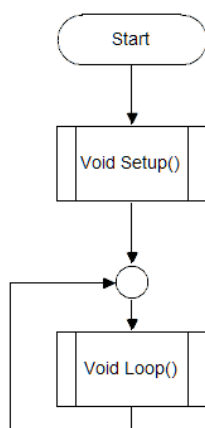


Diagram 2 - Základní přednastavené metody [Zdroj: Autor]

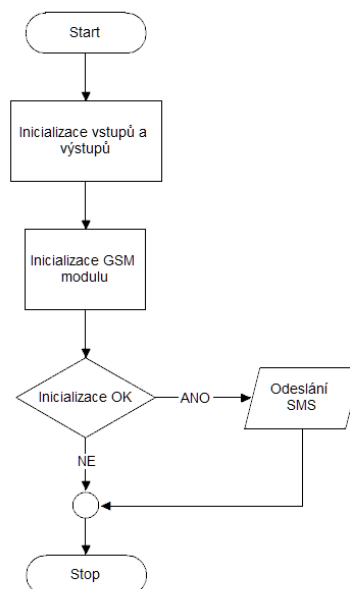


Diagram 3 - Metoda Void Setup () [Zdroj: Autor]

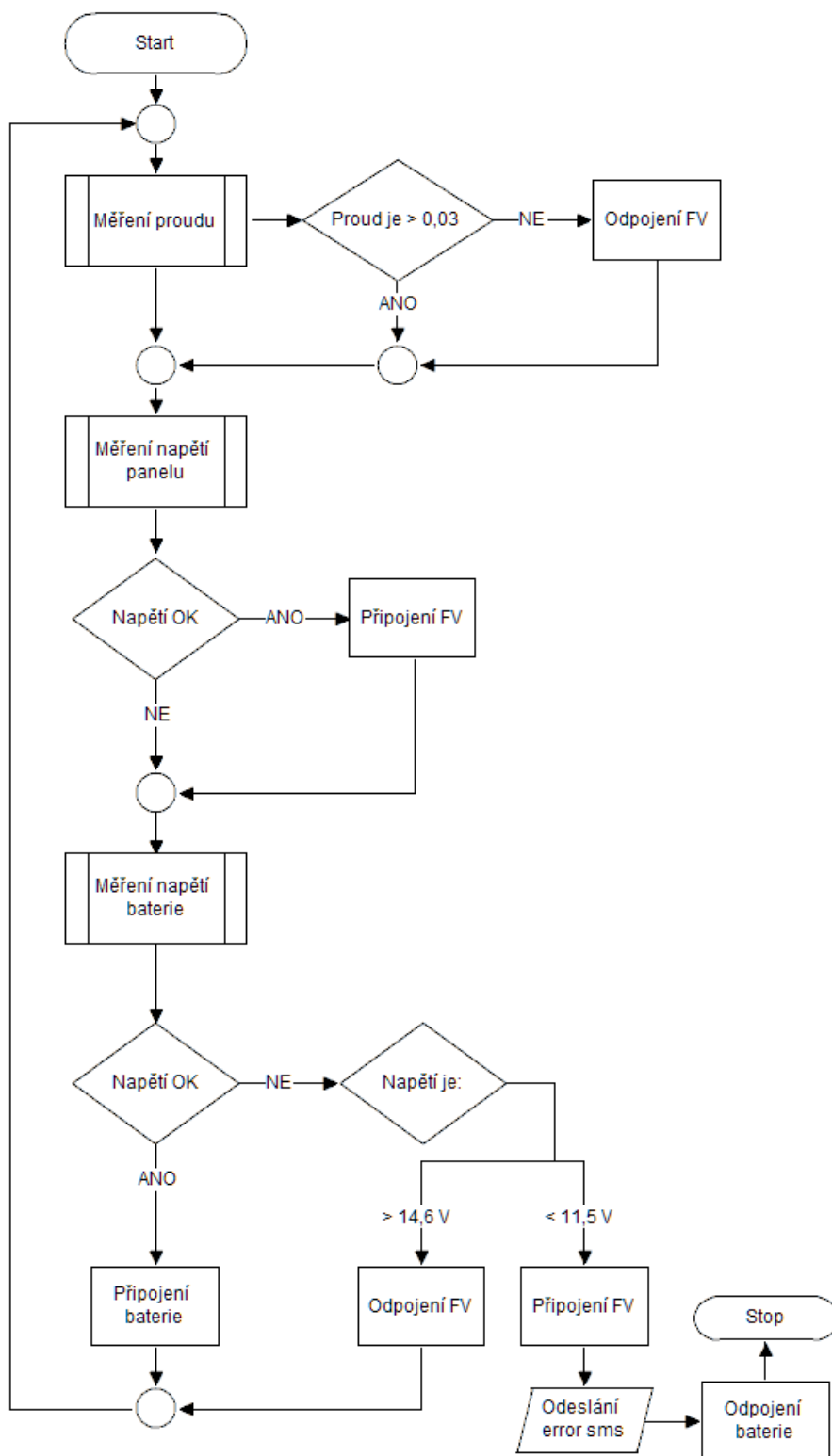


Diagram 4 - Metoda Void loop () [Zdroj: Autor]

4.2.3 Poruchové stavy

Krajní stav napětí akumulátoru

Elektronická platforma Arduino monitoruje napětí baterie. Nejdůležitější je sledovat maximální a minimální dovolené napětí. V případě, že akumulátor dosáhne maximálního dovoleného napětí, logický obvod vyšle impulz bistabilnímu relé, které odpojí baterii od fotovoltaických panelů. V tomto případě není nutné tento stav ohlašovat dispečinku. Pokud by se akumulátor naopak blížil svému dovolenému minimálnímu napětí, například v období kdy bude příliš málo slunečního záření, Arduino na nastavené napěťové hranici vyšle informaci na dispečink, počká stanovený čas pro úspěšné odeslání zprávy a pomocí bistabilního relé odpojí celý systém od baterie. K opětovnému spuštění celého systému může dojít po příjezdu servisního vozidla nebo pokud fotovoltaické panely začnou generovat proud dostatečně velký na provoz tohoto systému.

Nízké napětí FV

Další ochranou je zde měření napětí na fotovoltaickém panelu a měření doby, po kterou panely negenerují proud. Pokud je celý systém bez dobíjení pomocí panelů po dobu delší jak 24 hodin, systém odešle na dispečink informaci o pravděpodobné poruše fotovoltaických panelů. Servisní vozidlo se díky této informaci může vybavit náhradními panely pro opětovné uvedení systému do provozu.

Mechanické vniknutí neoprávněnou osobou

Plastové víko systému je přišroubované čtyřmi šrouby, není zde tedy žádná mechanická ochrana, která by zabránila cizí osobě v neoprávněném vniknutí. Pro tento případ doléhá vrchní víko na mechanický spínač, který je umístěný na okraji plastového boxu. Arduino hlídá digitální vstup na kterém je tento spínač připojen, a v případě narušení reaguje odesláním varovné SMS zprávy.

Testovací ohlášení

Všechny důležité krajní stavy jsou hlášeny na dispečink pomocí GSM modulu. Může se však stát, že i tento modul nebude funkční a nebude tak moci nahlásit problém. V takovém případě by se vzhledem k tomu, že nechodí varovné SMS, zdálo, že je vše v pořádku. Je tedy nutné jednou za čas ověřit funkčnost tohoto modulu testovací SMS, která potvrdí, že je komunikace mezi systémem a dispečinkem v pořádku. Tato testovací SMS je zasílána v intervalu jednoho týdne.

5 Testování

Mezi hlavní přednosti tohoto systému musí patřit spolehlivost a maximální provozuschopnost, které jsou z větší části ovlivněné správným dimenzováním jednotlivých komponentů. Samotný systém ovlivní především špatné počasí. V zimních měsících, kdy jsou krátké a často i zatažené dny, může nedostatkem energie dojít k výpadku systému. Proto je nutné mít při kalkulaci velikosti panelů a baterie jako podklad data, jež budou maximálně odpovídat budoucí realitě. Nejvhodnější metodou je provést testy, které tato data poskytnou. Proto jsem provedl sérii testů, které tato kapitola popisuje, abych mohl lépe nasimulovat reálnou situaci a lépe odhadnout případné problémy, které by mohly negativně ovlivnit celý systém.

5.1 Výkon panelů v zimních měsících

V zimních měsících jsou velmi krátké dny a není výjimkou několik po sobě jdoucích dní se zataženou oblohou. Proto je nutné dimenzovat celý systém pro tyto nepříznivé dny s nedostatkem slunečního záření. Hlavní myšlenkou je prakticky změřit, jaký výkon fotovoltaického panelů lze očekávat a zda se vyplatí investovat do technologie MPPT, která je dražší, ale za to účinnější. Za normální situace se většinou vyplatí použít MPPT regulátory, protože mohou získat z panelu až o 30 % více energie.[7] Nicméně v tomto případě, kdy bude panel poskytovat velice málo energie, by mohla vnitřní spotřeba regulátoru anulovat vyšší zisky.

Sestava na měření má dvě varianty – s MPPT regulátorem a bez něj, viz schéma zapojení č. 3 a 4. V první části měření jsem hledal, která ze dvou variant bude pro tento systém vhodnější. V druhé části jsem tuto variantu otestoval na průměrné denní zisky. Celé měření se skládá ze 40 Wp panelu, MPPT regulátoru, čtyř kusů baterií Winston s kapacitou 40 Ah, proudového senzoru ACS 712, relé na odpojení baterie v případě plného dobití a Arduina, jako hlavní řídicí jednotka. Měření napětí probíhá přes odporový dělič, tvořený dvěma odpory – 30k Ω a 7,5k Ω , viz schéma zapojení č. 3. Arduino kontinuálně měří napětí a proud každou sekundu. Tyto hodnoty každou minutu průměruje a zaznamenává je přes sériovou linku do PC. Pro maximální přesnost jsem udělal kalibraci správného měření napětí a proudu pomocí multimetru UNI-T UT 81C.

5.1.1 Komponenty

Fotovoltaický panel 40 Wp

- Panel byl umístěn na střechu garáže směrem na Jih se sklonem 35 °C.

Arduino Uno

- Napájení bylo realizováno přes USB.

MPPT regulátor XTRA 10 A [20]

- Napětí 12/24 V
- Proud 10 A
- Výkon 120/240 W

Proudový senzor ACS712 [17]

- Rozsah měření proudu: ± 5 A
- Citlivost: 185mV / A
- Chyba měření (25°C): $< 1,5$ %

Napěťový senzor

- Odporový dělič s hodnotami odporů 7,5 a 15Ω

Lithium Battery 12V/40Ah

- Akumulátor je typu LiFePO4 a je složen ze 4 kusů, které jsou sériově spojeny a tvoří tak celek o nominálním napětí 12 V.

Arduino Relay board

- Deska s výkonovým relátkem s maximálním proudem 10 A a tranzistorovým zesilovačem pro ovládací signál.

5.1.2 Schéma zapojení

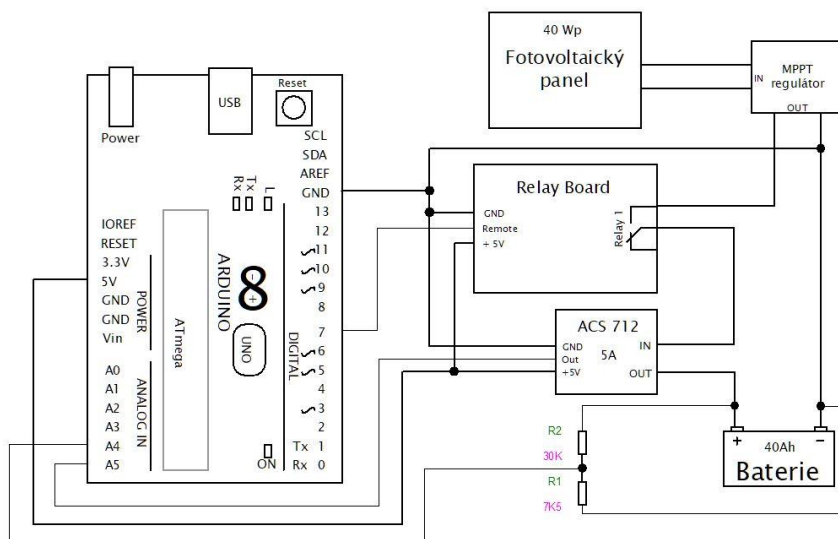


Schéma 3 - Test výkonu s MPPT regulátorem [Zdroj: Autor]

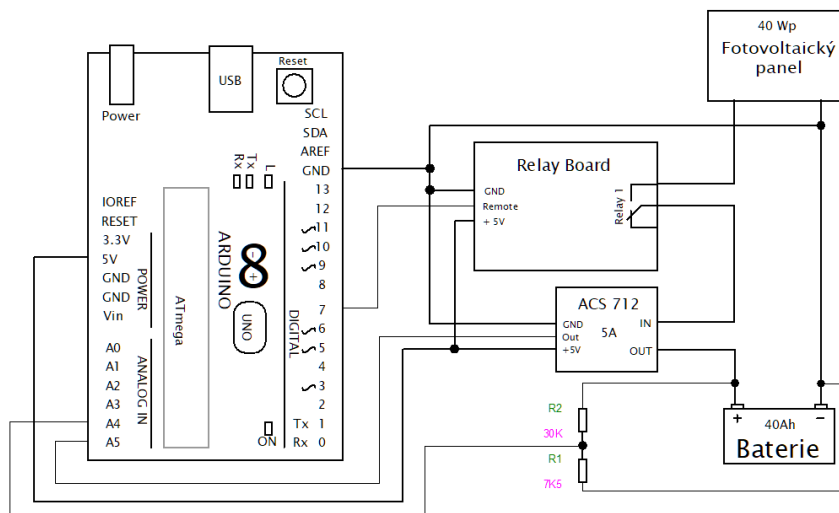


Schéma 4 - Test výkonu bez regulátoru [Zdroj: Autor]

5.1.3 Výsledky

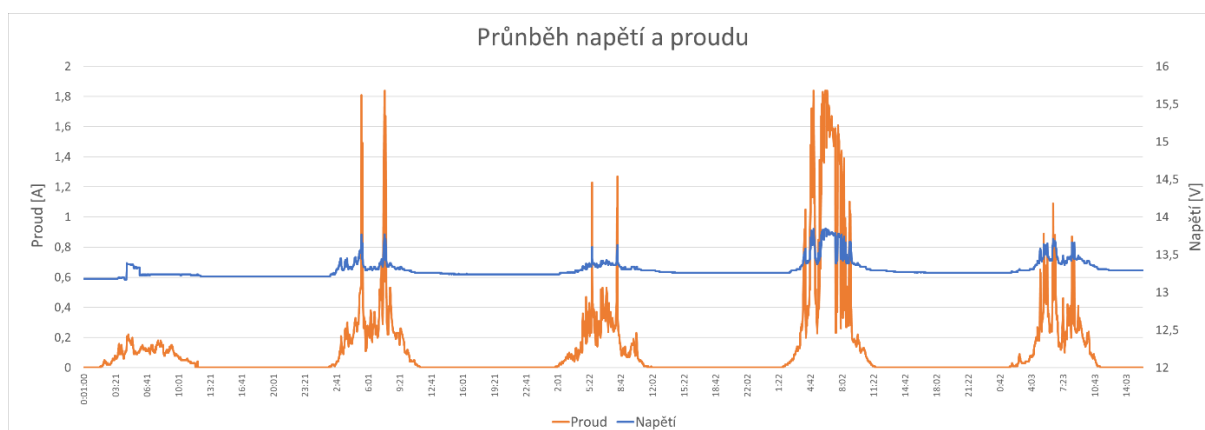
V první části ukázalo měření jen minimální rozdíly v zisku energie s použitím MPPT regulátoru a bez něj. Měření proběhlo v den, kdy byla zatažená obloha a mírné srážky. Průběžně jsem měřil zisk v intervalech 15 minut u obou variant. Během dne obě varianty získaly z panelu okolo 13 Wh. Z testu je patrné, že investování do MPPT regulátoru zde ztrácí smysl, a proto jsem další část měření zaměřil na užitečný zisk energie z fotovoltaického panelu, přímo napojeného na bateriové uložení.

Měření probíhalo v pětidenních intervalech v průběhu listopadu a prosince. Fotovoltaický panel s výkonem 40 Wp nabíjel 12V baterii a pomocí senzorů jsem zaznamenával napětí a proud dodávaný do baterie. Ze získaných dat bylo možné spočítat denní výrobu energie. Dle očekávání ve dnech se zataženou oblohou panel dosahoval jen zlomku svého výkonového potenciálu. Fotovoltaický panel s výkonem 40 Wp je schopný během letních dní vyrobit okolo 200 Wh. Nejnižší zaznamenaná denní výroba energie byla necelých 10 Wh, viz tabulka 2. V takovém případě by bylo nutné instalovat panel tři až čtyřikrát větší. Nicméně takovéto počasí není celou zimu a jsou tak i dny, kdy je výroba značně vyšší. V převážně slunný den byla naměřena denní výroba energie skoro 80 Wh. Tato výroba by měla vystačit přibližně na víc jak dva dny provozu KMIR. Z celého měření jsem mohl spočítat průměrnou denní výrobu, která mi napoví, jaké lze očekávat výkonové zisky v zimním období. Průměrná denní výroba energie během měřeného období byla 26,94 Wh, viz tabulka č. 2.

Tabulka 2 - Měření denního výkonu [Zdroj: Autor]

Den	Výroba [Wh]	Den	Výroba [Wh]	Den	Výroba [Wh]
1	12,48	6	38,05	11	10,01
2	32,08	7	22,07	12	23,32
3	23,23	8	57,20	13	12,26
4	78,12	9	9,63	14	30,35
5	27,38	10	54,58	15	15,03
Průměrná denní výroba:				26,94 Wh	

V následujícím grafu je zaznamenáno prvních 5 dní výroby elektrické energie. Z grafu je na první pohled patrné, kdy byl den a panel vyráběl energii, a kdy naopak byla noc, tedy nulový výkon. První den byla celý den zatažená obloha, tudíž lze vidět nízkou relativně konstantní výrobu energie s maximem kolem poledne. V tento den se vyrobilo pouze necelých 13 Wh. Druhý den byla výroba značně vyšší. Z grafu je vidět, že během dne dvakrát vysvitlo slunce, což je znázorněno dvěma vrcholy dosahujícími proudu téměř dvou ampér. Nejvyšší výroba energie byla zaznamenána v tomto grafu čtvrtý den, kdy byl poměrně slunečný den. V tento den byla výroba rekordních 78 Wh.



Graf 4 - Průběh napětí a proudu - 5 dní [Zdroj: Autor]

5.2 Změna kapacity v rozdílných teplotách

Se změnou teploty, ať už nahoru či dolů, klesá i kapacita akumulátoru, která se dá reálně využít. Je tedy nutné otestovat, jak moc teplota ovlivní využitelnou kapacitu, a poté na tento faktor přihlídnout při dimenzování velikosti bateriového uložení. Vzhledem k tomu, že systém bude vystaven venkovním povětrnostním podmínkám, lze očekávat různé pracovní teploty. Z toho lze vyvodit, že s různou teplotou se nám bude měnit čas, po který dokáže být systém v provozu bez dobíjení. Většina charakteristik dodaných od výrobce je zaměřena na optimální pracovní teplotu zhruba 25 °C, je tedy nutné pomocí vlastního testu zjistit, jak se projeví kapacita v různých teplotách. V tomto případě byl test zaměřený na extrémní zimní teploty. V letních dnech, kdy vysoké teploty mohou snižovat kapacitu, bude tento negativní faktor kompenzovat vysoká intenzita slunečního záření. První měření bylo referenční za

pokožkové teploty (20 °C), následovalo měření při teplotě 5 °C a poté při teplotě -24 °C. Test proběhl s vybranými akumulátory s chemií LiFePO₄. Odebíraný proud z akumulátorů byl co nejbližší skutečnému proudu v provozu, a to mezi 100 a 150 mA. Při kapacitě 6 Ah by měl být čas vybití přibližně 2,5 dne. Akumulátor se vybíjel do výkonové rezistorové sestavy a celý průběh byl zaznamenáván přes sériovou linku do PC. Sledoval jsem čas celého testu, napětí akumulátoru a proud odebíraný rezistorovou soustavou. Akumulátory jsem vždy stejně nabíjel pomocí nabíječky iCharger tak, aby ve všech teplotních podmínkách byly stejné vstupní veličiny. Arduino sledovalo napětí a proud baterie pomocí senzoru Max471 a pomocí externího relé odpojilo baterii při stanoveném minimálním napětí.

5.2.1 Komponenty

LiFePO₄ akumulátory 2x 3,2 V, 6 Ah

- Do série spojené 2 kusy malých LiFePO₄ akumulátorů s celkovým nominálním napětím 6,4 V.

iCharger Duo IC4010D, 10S, 2kW, 40A

- Profesionální nabíječka baterii s výkonem 2000 W

Arduino UNO

- Napájení bylo realizováno přes USB.

Arduino Relay board

- Deska s výkonovým relátkem s maximálním proudem 10 A a tranzistorovým zesilovačem pro ovládací signál.

Výkonový rezistory 3x 150Ω

- Rezistory byly zapojeny paralelně s celkovým odporem 50Ω

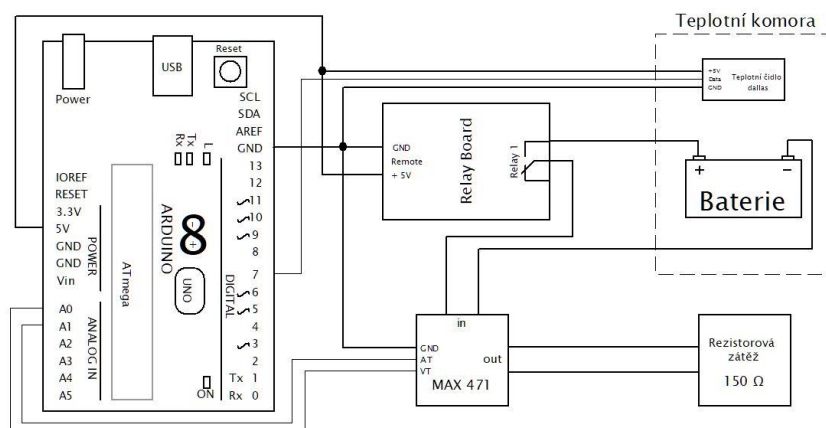
Teplotní čidlo Dallas (DS18B20) [21]

- Napájení: 3,0–5,5 V
- Rozsah měření: -55 °C až 125 °C
- Chyba měření (-10 °C až 85 °C): ± 0,5 °C

Proudový senzor Max471 [22]

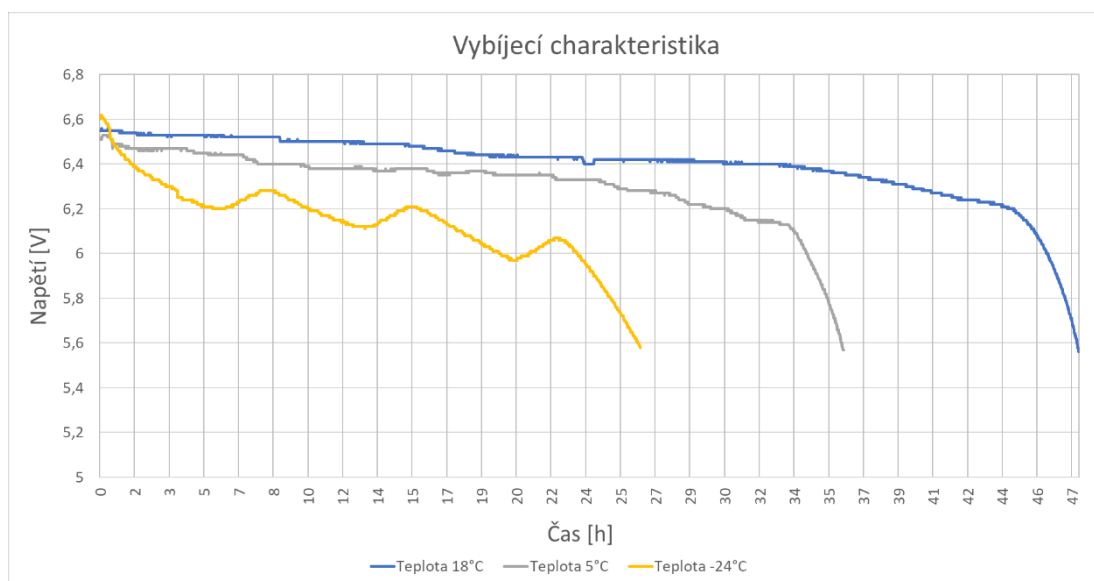
- Rozsah měření napětí: 0-25 V
- Rozsah měření proudu: 0-3 A
- Chyba měření (25 °C): <2 %

5.2.2 Schéma zapojení

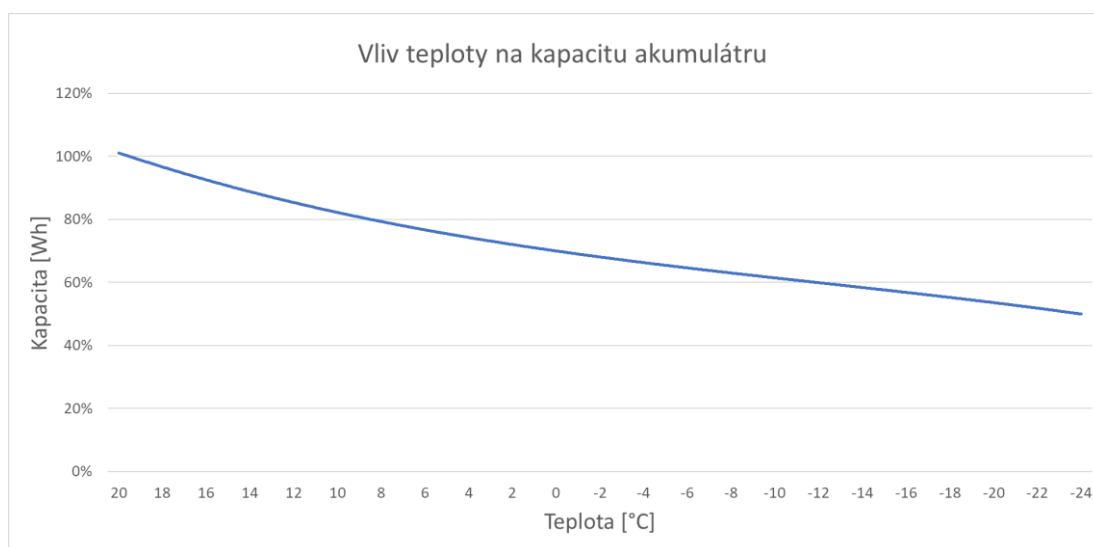


5.2.3 Výsledky

Měření v různých teplotách prokázalo její vliv na využitelnou kapacitu akumulátoru. Se snižující se teplotou kapacita klesá. Při pokojové teplotě jsem naměřil kapacitu velmi blízkou kapacitě udávané výrobcem. Měřené akumulátory mají nominální kapacitu 6 Ah a napětí 3,2 V. Dva sériově zapojené akumulátory mají celkové nominální napětí 6,4 V a při kapacitě 6 Ah je celková teoretická dodaná energie 38,4 Wh. Měření při pokojové teplotě ukázalo reálnou kapacitu 38,5 Wh. Z grafu č. 5 je vidět, jak se mění vybíjecí charakteristika v závislosti na teplotě. Vybíjecí charakteristika při průměrné teplotě -24 °C je zvlněná vlivem nestálé teploty v teplotní komoře.



Graf 5 - Vybíjecí charakteristika dle teploty [Zdroj: Autor]



Graf 6 - Vliv teploty na kapacitu akumulátoru [Zdroj: Autor]

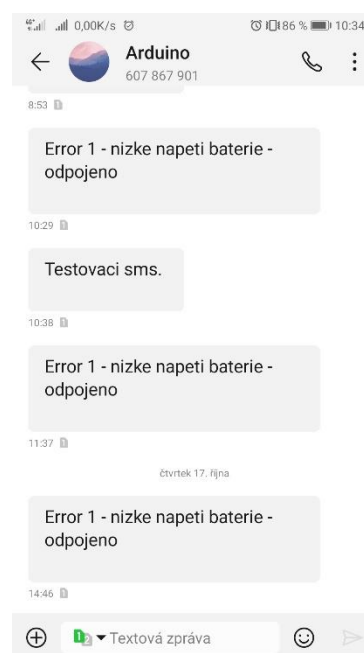
Pokles využitelné kapacity není zcela lineární, ale mírně exponenciální. Větší pokles kapacity lze zaznamenat při teplotách nad bodem mrazu. Při poklesu teploty o 15 °C, tedy z 20 °C na 5 °C, klesla využitelná kapacita o 26 %, viz tabulka č. 3. Pokud se pracovní teplota změní o dalších 29 °C, tedy z 5 °C na -24 °C, je pokles využitelné kapacity přibližně stejný, a to o dalších 24 %. Celkový pokles při teplotě -24 °C je poté 50 %.

Tabulka 3 - Úbytek kapacity v závislosti na teplotě [Zdroj: Autor]

Teplota [°C]	19,7	10	4,6	0	-10	-24
Kapacita [Wh]	38,45	31,8	28,48	26,91	23,74	19,3
Úbytek [%]	0	17,2	25,9	30,0	38,3	49,9

5.3 Ověření všech funkcí

Cílem tohoto testu bylo ověřit správnou funkčnost všech částí řídicího systému. Pro zjištění správné kalibrace měření analogových veličin jsem použil multimetr UNI-T UT 81C. Simulaci vybití baterie jsem provedl pomocí malého LFP akumulátoru s kapacitou 10 Ah. Jako zátěž jsem použil žárovku s výkonem 50 W. Součástí testu bylo i ověření správného odeslání SMS o nízkém stavu baterie, viz obrázek č. 3. Test ochrany přebíjení baterie jsem simuloval pomocí laboratorního zdroje, který zastupoval fotovoltaický panel. Dále jsem otestoval spínač, který hlídá systém před otevřením neoprávněnou osobou. V posledním testu jsem ověřil správné oživení celého systému v případě vybití baterie a následné oživení pomocí fotovoltaického panelu, který byl opět zastoupen laboratorním zdrojem.



Obrázek 3 - Screen příjmu SMS [Zdroj: Autor]

Provedené testy:

- Test ověření správného měření
- Test ochrany vybití baterie + SMS
- Test ochrany přebíjení baterie
- Test ochrany neoprávněného otevření + SMS
- Test simulace oživení systému po vybití

5.4 Měření reálné spotřeby

Cílem tohoto testu bylo změřit jakou reálnou spotřebu má navržený systém. Odebíraný proud jsem měřil pomocí multimetru UNI-T UT 81C s rozsahem 400 mA a 4 A s přesností: +/- (1.0 % + 8). [23] GSM modul má při chodu reálnou spotřebu mezi 30 a 100 mA, při registrování do sítě může skokově narůst proud na dvě ampéry. Celý systém byl postaven na Arduinu typu Nano, se kterým se snadno pracuje díky zabudovanému UART převodníku. Avšak tento typ desky má spotřebu 232,5 mWh, a proto jsem zvolil vhodnější variantu, a to Arduino Pro Mini modifikované pro maximální úsporu energie. Arduino Pro Mini má ve standardní verzi spotřebu 120 mWh. Spolu s odpájenou signalizační LED diodou a regulátorem pro připojení vyššího napájecího napětí spotřeba klesla na 87,5 mWh. Samotný KMIR má konstantní spotřebu 1080 mWh. Ostatní komponenty jsem také změřil, viz tabulka č. 4, nicméně většinu času nebudou aktivní. Je tedy důležité především změřit, jaká bude spotřeba v 99 % času. S aktivním KMIR, napájením 5 V a Arduinem ve sleep režimu je konstantní spotřeba 1272 mWh. Tato hodnota je pro správné dimenzování komponentů nejdůležitější. V tomto režimu je průměrná denní spotřeba systému 30,5 Wh. Po přičtení rezervy pro bistabilní relé, proudový senzor a GSM modul lze očekávat maximální denní spotřebu **31 Wh**.

Tabulka 4 - spotřeba použitých komponent [Zdroj: Autor]

Zařízení	Proud [mA]	Napětí [V]	Spotřeba [mWh]
GSM modul	30–2000	3,3	99–6600
Arduino nano	46,5	5	232,5
Arduino Pro mini	24	5	120
Arduino Pro mini bez r.	17,5	5	87,5
Proudový senzor	9,6	5	48
KMIR	90	12	1080
Bistabilní relé	300	12	3600
Napájení pro GSM	14	12	168
Napájení pro Arduino	14	12	168
Celý systém awake mode	120,35	12	1444,2
Celý systém sleep mode	106	12	1272
Celý systém za 24 h	30,528 Wh		

5.5 Zhodnocení návrhu

Cílem technického řešení bylo navrhnout ostrovní fotovoltaický systém pro IR komunikační maják s možností vzdáleného monitorování v nepřetržitém provozu. Dále bylo nutné vyřešit problémy s nízkou intenzitou slunečního záření v průběhu zimních měsíců. Vzhledem k dostačujícím funkcím a nízké pořizovací ceně jsem jako vhodný komponent vybral elektronickou platformu Arduino. Pro realizaci vzdálené komunikace jsem zvolil GSM modul SIM800L, který je velice populární, dobře otestovaný širokou veřejnou komunitou a i pořizovací cena je velmi příznivá. Toto navržené zařízení tvoří společně s bistabilními relé a dalšími perifériemi, jednoduché a kompaktní řešení s možností dalších vylepšení. Během testování se podařilo odladit veškeré nuance v chování programu tak, aby

navržené zařízení pracovalo dle zadaných parametrů. Nicméně potenciál tohoto zařízení je daleko větší a pomocí dalších úprav lze docílit ještě všestrannějšího využití.

První krok by měl směřovat k návrhu desky plošného spoje (DPS), která bude obsahovat veškeré použité součástky. Tato DPS bude daleko kompaktnější, spolehlivější a pravděpodobně i levnější na výrobu – za předpokladu sériové výroby. Pro tuto práci jsem prototyp sestavil z jednotlivých modulů pro snadnou modifikaci a ladění. Jako další krok lze modifikovat zařízení ze softwarové stránky. Stálo by za úvahu, zda by nebylo vhodné přidat k zařízení hodinový modul, pomocí kterého by bylo možné v krajním případě nízkého stavu baterie odpojit KMIR v určitém čase, kdy je nejméně využíván. Například v ranních hodinách, kdy není velký provoz. Další modifikací může být přidání IR snímače, který bude snímat odražené IR záření od plexi průzoru a na základě získaných hodnot určovat míru zanesení plexi prachem. Samotné snímání je i dobrým ověřením funkčnosti KMIRu. Toto vylepšení by mohlo znamenat prodloužení časového intervalu mezi jednotlivými kontrolami, a tím i uspoření dalších financí.

Veškeré testování zařízení jsem zatím provedl v laboratorních podmínkách. Doporučil bych zavedení systému do testovacího provozu a dlouhodobé zkoumání veškerých možných nepříznivých jevů pro doladění i nejmenších vad softwaru a hardwaru pro maximální spolehlivost. Pokud by byla iniciativa uvést navržené zařízení jako nový produkt na trh, bylo by nutné obstarat potřebné certifikace. V případě, že by se prodávala samotná DPS jako součástku, stačila by pouze zkouška elektromagnetické kompatibility (EMC). Za předpokladu, že by se zařízení prodávalo jako hotový produkt v instalační krabici, bylo by k němu nutné zajistit doklad o shodě výrobku s legislativou Evropské unie dle zákona č. 22/1997 Sb. zvaný CE. [28] Na prodávaný výrobek lze poté umístit značku CE, která udává, že daný výrobek splnil požadavky a normy Evropské unie. Zejména, že splňuje elektrickou bezpečnost a požadavky na EMC.

6 Ekonomické zhodnocení

6.1 Nové zařízení

Řídicí systém

Nově navržené inteligentní řešení pro IR komunikační maják lze integrovat do stávající instalační krabice. Místo zde uvolní napěťový AC/DC měnič, který v nové instalaci nenajde uplatnění. Celkový čas instalace řídicího systému zabere zhruba 2 hodiny, včetně oživení. Komponenty jsou uvedené v maloobchodních cenách. V případě, že by se rozhodlo o hromadné výměně stávajícího zařízení za nové, je pravděpodobné, že by ceny klesly v řádu desítek procent.

Tabulka 5 - Cena použitých komponentů [Zdroj: Autor]

Komponenty	Ks	Cena
Arduino Pro mini	1	38 Kč
Arduino patice	1	21 Kč
Proudový sensor	1	23 Kč
Napěťový sensor	2	11 Kč
Bistabilní relé	3	444 Kč
Patice pro relé	3	285 Kč
GSM modul	1	41 Kč
DC/DC měnič	2	49 Kč
Kondenzátor 4700 μ F / 16 V	1	6 Kč
Kabeláž + konektory	1	223 Kč
Sim karta O ₂	1	82 Kč
MOSFET modul	4	30 Kč
Mikrospínač	1	13 Kč
Celkem:		1 267 Kč

Tabulka 6 - Cena práce za modifikaci zařízení [Zdroj: Autor]

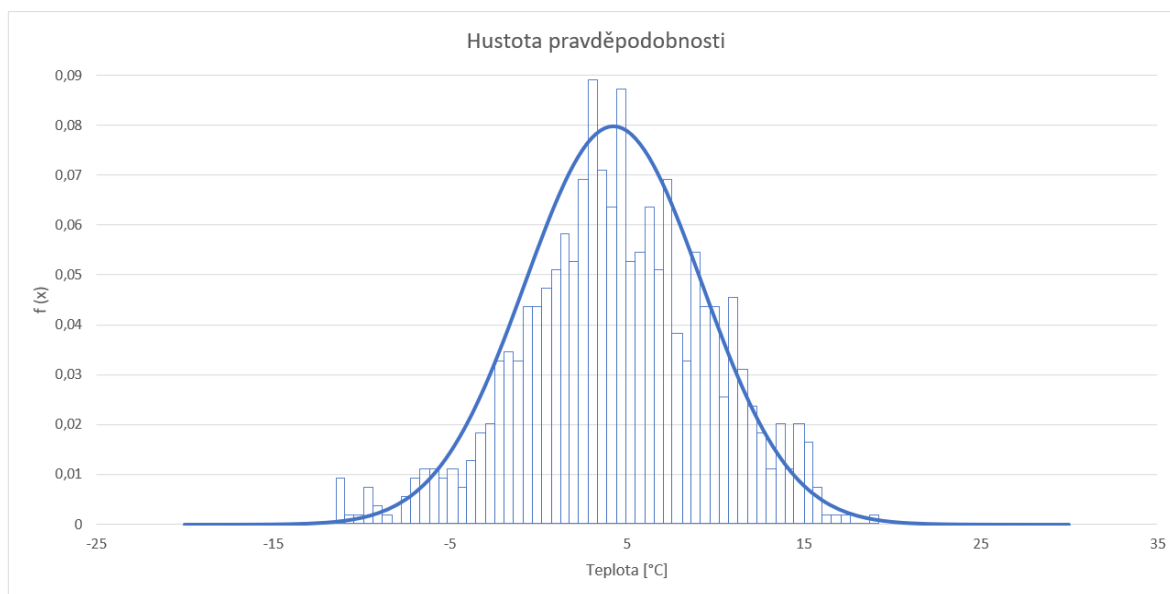
Instalace	Čas [hodiny]	Mzda [Kč/h]	Celkem
Modifikace zařízení	2	300	600 Kč

Celkové náklady na instalaci řídicího systému do IR komunikačního majáku jsou **1867 Kč**

Bateriové úložiště

Kapacita akumulátoru je dimenzovaná na 3 dny provozu IR komunikačního majáku, bez jakéhokoliv dalšího podpůrného zdroje v podobě fotovoltaických panelů. Hlavním faktorem ovlivňujícím kapacitu akumulátoru je, jak již bylo zmíněno v kapitole testování, provozní teplota. Je tedy nutné akumulátor navýšit o rezervní kapacitu, která pokryje pokles kapacity v zimním období. Pro určení krajní teploty, kterou lze očekávat v nejhladnějších měsících, jsem převzal data z meteorologické stanice Praha Ruzyně a Praha Libuš. [24] V potaz jsem bral průměrné teploty v průběhu roku, od října do března za

posledních 5 let. Hodnoty z obou meteorologických stanic jsem zprůměroval a následně spočítal hustotu pravděpodobnosti, viz graf č. 7. Pravidlem tří sigma jsem poté dopočítal krajní teplotu $-10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato teplotní hranice udává, že s pravděpodobností 99,85 % bude v průběhu těchto měsíců teplota vyšší než tato hranice. V grafu lze vidět dopočítanou teoretickou hustotu pravděpodobnosti, ale i histogram znázorňující skutečné hodnoty teplot.



Graf 7 - Hustota pravděpodobnosti teplot [Zdroj: Autor]

Při dimenzování akumulátoru lze v průběhu roku očekávat pokles kapacity až o 40 %, viz tabulka č. 3. Průměrnou denní spotřebu energie celého systému jsem změřil na 30,528 Wh. Očekávaná spotřeba za tři dny tedy bude 91,584 Wh. Při nominálním napětí bateriového úložiště 12,8 V vychází požadovaná kapacita článků na 7,16 Ah. Po přičtení 40% rezervy na zimní měsíce bude celková požadovaná kapacita článku 10 Ah, viz tabulka níže.

Tabulka 7 - Kalkulace kapacity akumulátorů [Zdroj: Autor]

Počet dní	Spotřeba [Wh]	Napětí [V]	Kapacita [Ah]
1	30,528	12,8	2,39
3	91,584	12,8	7,16
Rezerva + 40 %			10,017

Ve stávajícím zařízení je používán gelový akumulátor s kapacitou 4,5 Ah v hodnotě 350 Kč. Pro nový inteligentní systém jsem zvažoval, zda ponechat gelový akumulátor pouze navýšený na potřebnou kapacitu, nebo využít akumulátory s chemií LiFePO_4 . Mezi hlavní zvažované faktory patřila cena, životnost a možnosti dobíjení většími proudy.

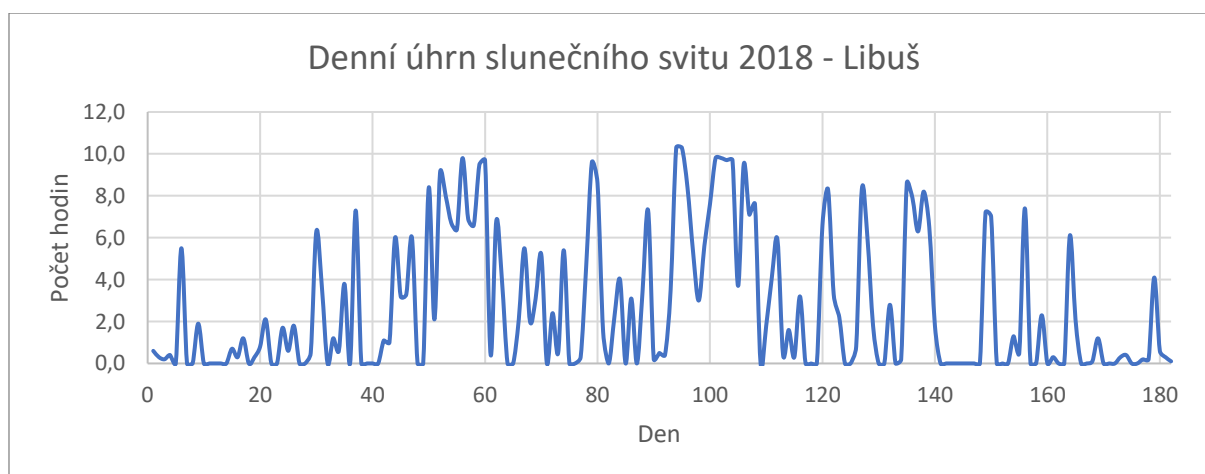
Tabulka 8 - Porovnání faktorů akumulátorů [Zdroj: Autor]

Typ	Cena [Kč]	Životnost [cykly]	Kč / cyklus
Olovo (gel)	350	800 (80% DoD)	0,438
LiFePO ₄	1650	6000 (80% DoD)	0,275

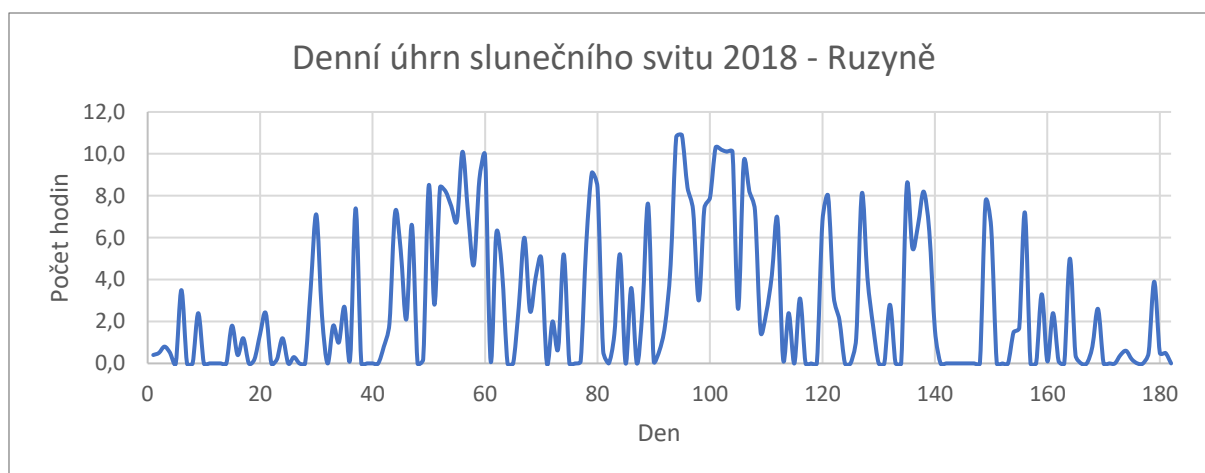
Z porovnávací tabulky je patrné že je sice LFP akumulátor dražší, nicméně díky delší životnosti vychází levněji, co se do počtu nabíjecích cyklů týká. Další výhodou je možnost dobíjení LFP akumulátorů většími proudy, než je to možné u klasického olověného akumulátoru. S nižší teplotou obecně klesá i proudová zatížitelnost při nabíjení, což by mohl být značný problém, pokud budou akumulátory v zimě vystaveny mrazivým teplotám a zároveň bude slunečná obloha. V takovém případě budou panely generovat poměrně velký proud, který bude dobíjet baterii. Vzhledem k těmto okolnostem jsem pro tuto práci jako vhodnější vybral chemii LiFePO₄.

Fotovoltaický panel

Velikost fotovoltaického panelu jsem určil na základě naměřené výroby energie, kde měření poskytlo informace, jaký lze očekávat průměrný a minimální výkon. Jako další podpůrné informace jsem převzal data o denním úhrnu slunečního světla v Praze. Data poskytl Český hydrometeorologický ústav z meteorologických stanic Praha Ruzyně a Praha Libuš.[24] Bral jsem v potaz data za posledních 5 let v zimním období, od října do března. Z grafů č. 8 a č. 9 lze vidět, že ačkoliv jsou stanice od sebe vzdálené přes celou Prahu, je mezi grafy silná vzájemná korelace. Z toho lze usoudit, že úhrn slunečního svitu bude přibližně stejný pro celou Prahu. V roce 2018 bylo nejméně slunečního svitu mezi 140. a 150. dnem, a to odpovídá konci února. Bylo zde naměřeno osm dní bez slunečního svitu, neboli bylo zataženo.



Graf 8 - Praha Libuš – denní úhrn slunečního svitu [Zdroj: Autor]



Graf 9 - Praha Ruzyně – denní úhrn slunečního svitu [Zdroj: Autor]

Nejhorší období za posledních pět let bylo zaznamenáno v roce 2014 na přelomu února a března, kdy bylo zataženo skoro celý měsíc s pouhými pár hodinami slunečního svitu. Druhé nejhorší počasí bylo poté zaznamenáno v roce 2016. Meteorologická stanice Praha Ruzyně zaznamenala 12 dní se zataženou oblohou. Praha Libuš na tom byla o něco málo lépe, kdy občas vysvitlo sluníčko. Na tyto extrémní situace není navržený fotovoltaický systém z ekonomických důvodů přizpůsoben. Nicméně jsem dopočítal pomocí Poissonova rozdělení pravděpodobnosti, jaká je pravděpodobnost, že během roku nastane situace, na kterou není systém dimenzován. S pravděpodobností 67,0 % nenastane ani jedna situace, kdy bude nedostatek světla, který by ohrozil chod systému. Dále pak s PST 92,8 % nastane maximálně jedna tato situace a s PST 99,2 % maximálně dvě. Jako nejvhodnější variantu jsem propočítal velikost fotovoltaických panelů na dva malé panely, každý o výkonu 40 Wp. Za takových podmínek lze počítat s denní vyrobenou energií zhruba 20 Wh při zataženém počasí. Celkový počet dní, kdy systém vydrží aktivní při plně nabitě baterii bude 9 dní.

Náklady na instalaci

Z dostupných otevřených zdrojů a konzultací se soukromou společností byla vyčíslena instalace jednoho zařízení IR komunikačního majáku společně s instalací fotovoltaického panelu na **33 524 Kč**, zahrnující kompletní dodávku včetně prací.

Celkové náklady

Tabulka 9 - Celkové náklady na modifikaci a instalaci nového zařízení [Zdroj: Autor]

Komponenty	Počet	Cena
Modifikace zařízení	1	1867 Kč
Baterie	1	1646 Kč
FV panely	2	1796 Kč
KMIR + instalace	1	33 524 Kč
	Celkem:	38 833 Kč

Náklady na servis

Posádka: 2 pracovníci

Výstroj: Servisní sada - a) servisní vozidlo

b) testovací přípravek

c) multimetr

Četnost kontrolního testu: 4 / rok

Popis:

- 1) Vizuální kontrola
 - a. Pohledová kontrola skříně KMIR
 - b. Kontrola konstrukčních a spojovacích prvků
 - c. Kontrola polohy KMIR vůči příjezdové komunikaci
 - d. Kontrola provozních indikací
- 2) Funkční test
 - a. Příjem IR telegramu na přijímač KPIR v testovací sadě
 - b. Kontrola stavu akumulátoru 11,2-13,2 V
 - c. Kontrola fotovoltaického panelu a jeho napětí naprázdno
- 3) Drobné opravy
 - a. Konektory, kabeláž, jistící prvky

Měsíční náklady:

Tabulka 10 - Náklady na servis [Zdroj: Autor]

	Počet	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Pracovník	2	40 000 Kč	53 600 Kč	107 200 Kč
Vozidlo	1			6 000 Kč
Testovací přípravek	1			250 Kč
Multimetr	1			33 Kč
Pohonné hmoty	53km	7/100	29,9 Kč/l	111 Kč
				113 594 Kč

Během jednoho měsíce dvoučlenná posádka provede servis na 240 zařízení KMIR. Náklady na servis 1 jednoho zařízení KMIR jsou **473 Kč** za měsíc.

Náklady na servis všech zařízení KMIR s inteligentní jednotkou za jeden rok jsou **1 041 281 Kč**.

6.2 Stávající zařízení

Náklady na instalaci

Z dostupných otevřených zdrojů a konzultací se soukromou společností byla vyčíslena instalace jednoho zařízení KMIR na **26 219 Kč**, zahrnující dodávku včetně prací.

Náklady na servis

Servis 1

Posádka: 2 pracovníci

Výstroj: Servisní sada - a) servisní vozidlo
b) testovací přípravek
c) multimetr

Četnost kontrolního testu: 12 / rok

Popis:

- 4) Vizuální kontrola
 - a. Pohledová kontrola skříně KMIR
 - b. Kontrola konstrukčních a spojovacích prvků
 - c. Kontrola polohy KMIR vůči Příjezdové komunikaci
 - d. Kontrola provozních indikací
- 5) Funkční test
 - a. Příjem IR telegramu na přijímač KPIR v testovací sadě
 - b. Kontrola stavu akumulátoru 11,4-12,4 V
 - c. Kontrola napájecích a provozních napětí při provozu napájecího zdroje, většinou VO případně stožár SSZ 230 V / 50 Hz
- 6) Drobné opravy
 - a. Konektory, kabeláž, jistící prvky, výměna akumulátoru [25]

Měsíční náklady:

Tabulka 11 - Náklady na servis 1. [Zdroj: Autor]

	Počet	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Pracovník	2	40 000 Kč	53 600 Kč	107 200 Kč
Vozidlo	1			6 000 Kč
Testovací přípravek	1			250 Kč
Multimetr	1			33 Kč
Pohonné hmoty	65 km	7/100	29,9 Kč/l	136 Kč
				113 619 Kč

Během jednoho měsíce dvoučlenná posádka provede servis na 320 zařízení KMIR. Náklady na servis 1 jednoho zařízení KMIR jsou **355 Kč** za měsíc.

Náklady na servis 1 všech zařízení KMIR za jeden rok činí **2 343 400 Kč**.

Servis 2

Posádka: 1 pracovník

Výstroj: Servisní sada - a) servisní vozidlo
b) čisticí přípravek

Četnost kontrolního testu: 4 / rok

Popis:

- 1) Vizuální kontrola
 - a. Pohledová kontrola skříně KMIR s ohledem na poškození krytu a vyloučení případného průniku vody do vnitřního prostoru jednotky
- 2) Úkon
 - a. Mechanické očištění krytu KMIR s důrazem na čelní průzor plexi [26]

Měsíční náklady:

Tabulka 12 - Náklady na servis 2. [Zdroj: Autor]

	Počet	Hrubá mzda	Superhrubá mzda	Celkem
Pracovník	1	40 000 Kč	53 600 Kč	53 600 Kč
Vozidlo	1			6 000 Kč
Pohonné hmoty	95	7/100	29,9	199 Kč
Čisticí prostředek	3			360 Kč
				60 159 Kč

Během jednoho měsíce jednočlenná posádka provede servis na 520 zařízení KMIR. Náklady na servis 2 jednoho zařízení KMIR jsou **39 Kč** za měsíc.

Náklady na servis 2 všech zařízení KMIR za jeden rok činí **254 518 Kč**.

6.3 Porovnání projektů

Pro porovnání stávající a nové varianty jsem použil finanční ukazatel NPV (čistá současná hodnota). Tento ukazatel bere v potaz pouze budoucí peněžní toky, díky kterým je možné ohodnotit, kolik peněz nám projekt přinese, nebo naopak vezme. NPV se hodí především na malé projekty, jako jsou inovace vyráběcích strojů s dobou životnosti pár let. Naopak méně se pak hodí například jako ukazatel pro nově založené zahraniční pobočky, kde je požadovaná doba životnosti desítky let a je zde předpoklad dalších příjmů z vedlejších projektů. Vzhledem k tomu, že NPV bere v potaz pouze budoucí peněžní toky, je nutné tyto toky co nejlépe ohodnotit a přiblížit tak možné budoucí realitě. Dalším důležitým faktorem je zde doba životnosti projektu, jež se zpravidla určuje podle životnosti zařízení, které do projektu vstupuje. V tomto případě jsem dobu životnosti stanovil na 10 let s ohledem na použité komponenty, v druhém případě pak na 5 let. V případě, že se v projektu v průběhu životnosti mění stávající komponenty za nové, počítají se jako budoucí výdaje a zahrnují se do výsledných peněžních toků.

Poslední proměnná, která vstupuje do výpočtu, je diskont neboli diskontní úroková sazba. Pokud investor investuje svoje peněžní prostředky do daného projektu, nejen že očekává, že se mu jeho peníze vrátí zpátky, ale chce obdržet i další zisky nad rámec jeho investice. Jedním z důvodů je inflace, která v čase znehodnocuje peníze, za než lze v budoucnu nakoupit méně věcí, například materiálu. Je nutné stanovit diskontní úrokovou sazbu vyšší, než je inflace a navýšenou o hodnotu rizika, které projekt přináší. Pokud do výpočtu vstupují proměnné, jež inflace ovlivňuje stejnou měrou, je možné inflaci z výpočtu vynechat. [27]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (6.3.1)$$

Kde:

NPV – čistá současná hodnota (net present value)

CF – finanční tok (cash flow)

r – diskont

n – doba životnosti projektu

[27]

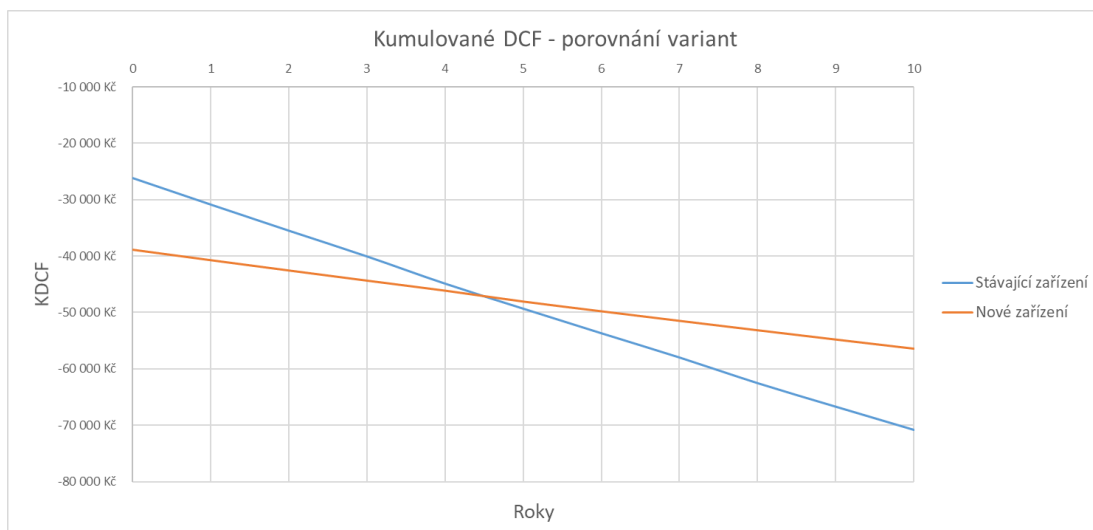
6.3.1 Varianta 1 – Porovnání

V první části jsem na projekty pohlížel ze strany, kdy na daném místě není ani jedno zařízení a má být rozhodnuté, která varianta je ekonomicky výhodnější. V tomto případě jsem do NPV započítal vstupní investice zahrnující veškerý materiál společně s náklady na instalaci a následné další náklady spojené s údržbou systému za následujících 10 let. Diskontní úrokovou sazbu jsem stanovil na 1,5 % dle výnosů dluhopisů na 10 let a následně i ověřil vliv diskontu na projekt pomocí citlivostní analýzy. V základním scénáři jsem počítal s hodinovou mzdou zaměstnance stanovenou na 250 Kč dle průměrné mzdy v daném oboru. Z výsledku je patrné, že je výhodnější investovat do nového zařízení.

Tabulka 13 - NPV – porovnání obou projektů [Zdroj: Autor]

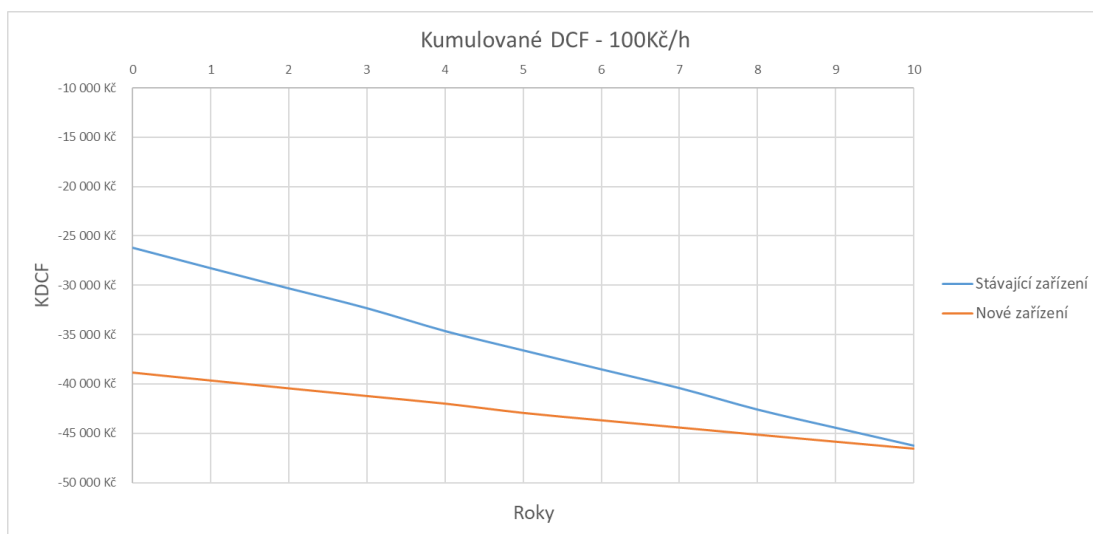
NPV stávajícího zařízení	-70 769 Kč
NPV nového zařízení	-56 478 Kč

Z grafu č. 10 kumulovaného DCF lze vidět, že ačkoliv nový systém má větší vstupní investice, v průběhu životnosti projektu jsou nižší náklady na provoz a tím je dosaženo lepších výsledků.



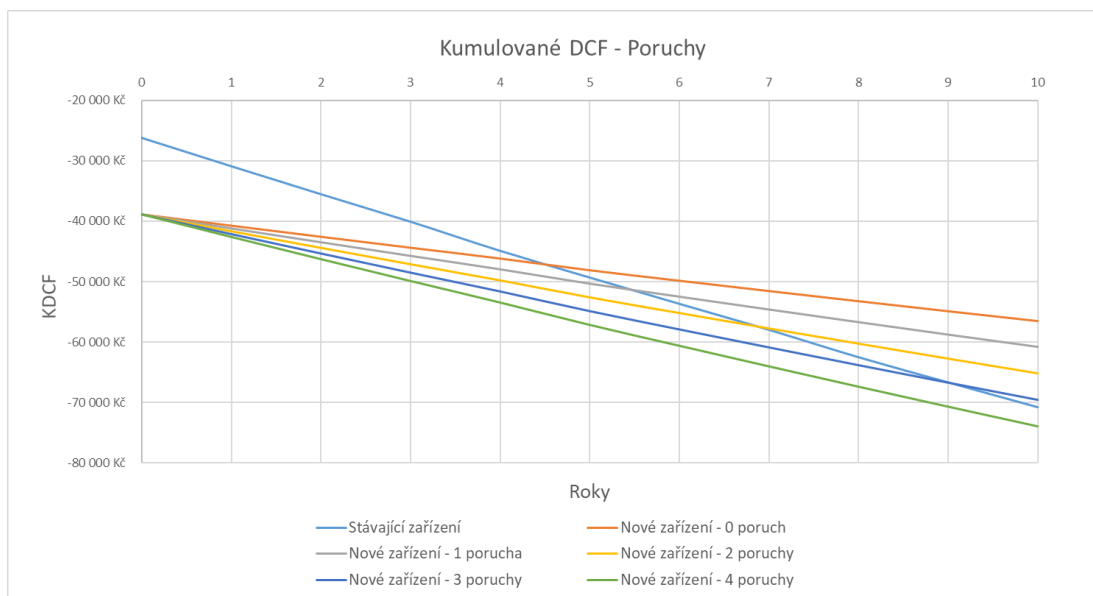
Graf 10 - Kumulované DCF v porovnání obou projektů [Zdroj: Autor]

Hlavním důvodem, proč nové zařízení vychází lépe, jsou nižší náklady na servis v průběhu životnosti. Tyto náklady především ovlivní mzda zaměstnanců, kteří tento servis provádějí. Proto jsem zjistil pomocí citlivostní analýzy, kde je hranice, jež překlopí NPV v prospěch stávajícího zařízení. Hodinová mzda zaměstnance by musela klesnout pod 100 Kč za hodinu, aby se stalo stávající zařízení výhodnější, viz graf č. 11.



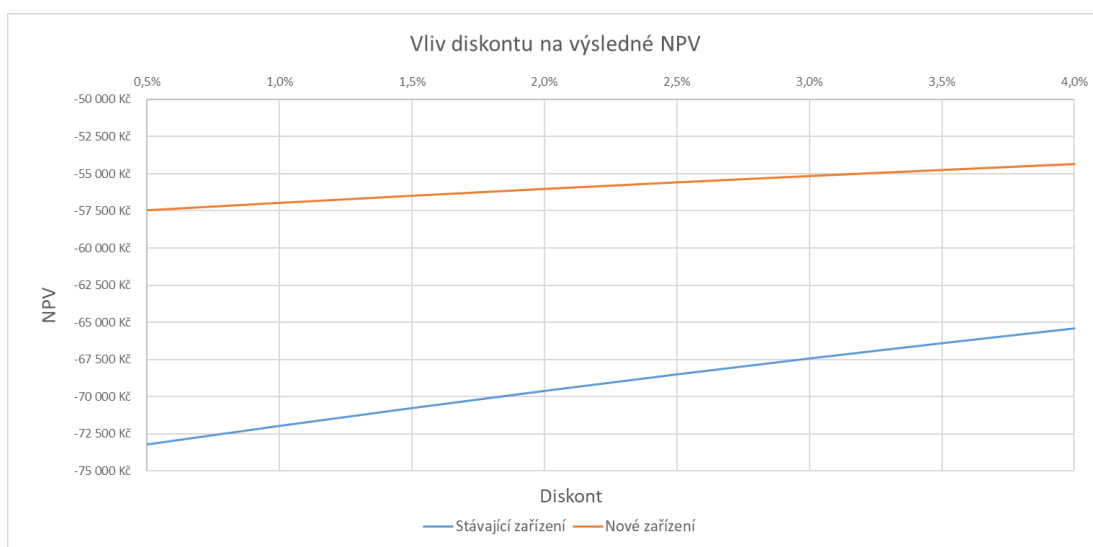
Graf 11 - Kumulované DCF při hodinové mzdě 100 Kč [Zdroj: Autor]

Dále jsem jako součást porovnání těchto dvou projektů spočítal pomocí citlivostní analýzy, jaký vliv bude mít špatné počasí na NPV nově navrženého systému. Během roku se může stát, že špatné počasí způsobí nedostatečné nabíjení akumulátorů a tím výpadek systému v důsledku nedostatku energie. Tento vliv ukazuje následující graf, kde je možné vidět, jak se projeví na NPV jedna až čtyři poruchy během roku. Hranice zvratu jsou poté čtyři poruchy, kdy pátá porucha znamená lepší NPV pro stávající systém.



Graf 12 - Vliv poruch na NPV nového zařízení [Zdroj: Autor]

Poslední graf ukazuje vliv diskontu na porovnání projektů. Zvolil jsem rozsah od 0,5 % do 4 % a je patrné, že velikost diskontu nemá velký vliv na NPV. Dochází ke změnám pouze v řádů jednotek tisíců.



Graf 13 - Vliv diskontu na NPV projektů [Zdroj: Autor]

Vyhodnocení

Pokud bude nakupující zvažovat, jaká varianta je vhodnější, lze doporučit nový systém při zachování základních předpokladů. Například mzda pracovníka v daném sektoru bude odpovídat přibližně 250 Kč za hodinu. Pak se nový systém vyplatí i v případě, kdy bude nutné zařízení servisovat nad rámec běžné údržby vlivem špatného počasí.

6.3.2 Varianta 2 – Výměna

V druhé části jsem ekonomicky zhodnotil, zda je ekonomicky výhodné vyměnit staré zařízení za nové. Zde byly započteny náklady na materiál a instalaci nového zařízení namísto stávajícího a následné úspory zahrnující rozdíl nákladů stávajícího a nového zařízení. Ostatní vstupní parametry zůstaly stejné jako v prvním případě, tedy diskont 1,5 % a hodinová mzda zaměstnanců 250 Kč. Z výsledků je patrné, že za stávajících vstupních hodnot není výhodné vyměnit stávající systém za nový.

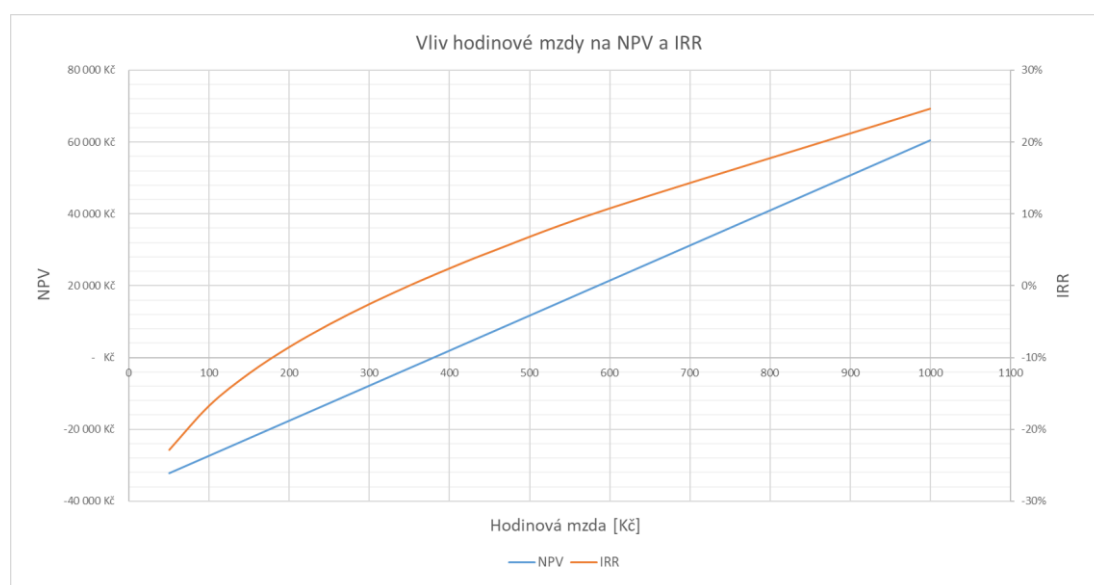
Tabulka 14 - NPV, IRR – Reinstalace stávajícího zařízení za nové [Zdroj: Autor]

NPV – instalace nového zařízení za stávající	-12 732 Kč
IRR – instalace nového zařízení za stávající	- 5 %

Hlavní úspora je zde docílena snížením nákladů na servis u nového zařízení. Náklady na tento servis jsou z největší části tvořeny z mezd zaměstnanců. Proto jsem v rámci citlivostní analýzy zjistil, jaká musí být hodinová mzda, aby bylo výhodné vyměnit stávající zařízení za nové. Z následující tabulky lze vyčíst, že NPV se dostane do kladných hodnot překročením hranice 390 Kč za hodinu. V případě hodinové mzdy 1000 Kč by byla čistá současná hodnota 60 464 Kč a vnitřní výnosové procento 25 %, nicméně tato situace je nereálná.

Tabulka 15 - Vliv hodinové mzdy na NPV [Zdroj: Autor]

Kč/h	50	250	380	390	450	600	1000
NPV	-32 251 Kč	-12 732 Kč	-45 Kč	931 Kč	6 787 Kč	21 426 Kč	60 464 Kč
IRR	-23 %	-5 %	1 %	2 %	5 %	11 %	25 %



Graf 14 - Vliv hodinové mzdy na NPV a IRR [Zdroj: Autor]

Vyhodnocení

V případě hodinové mzdy stanovené na 250 Kč, která odpovídá průměrné mzdě v daném oboru, není ekonomicky výhodné vyměnit stávající zařízení za nové. Pokud by hodinová mzda překročila hranici 390 Kč, výměna by se zdála ekonomicky výhodná, nicméně úspora by v tomto případě byla tak malá, že se nevyplatí investovat prostředky a čas do této výměny. Uvažovat o inovaci za nové zařízení by se dalo až v případě, kdy by hodinová mzda vzrostla o stovky korun. V situaci, v níž by hodinová mzda činila 1000 Kč, by byla čistá současná hodnota 60 464 Kč a vnitřní výnosové procento 25 %, ale tato situace je velice nereálná.

6.3.3 Varianta 3 – Prodej

V této poslední variantě jsem se podíval na problematiku z pohledu soukromé společnosti, která bude zvažovat prodej nového produktu. Nejedná se o prodej modifikovaného zařízení KMIR, ale pouze o řídicí jednotku společně s LFP baterií a dvěma panely o celkovém výkonu 80 Wp. Záměrem je řídicí jednotku prodávat jako set i s baterií a panely z důvodu, že zákazník nemusí řešit, jaké další příslušenství bude potřebovat. Zároveň toto příslušenství zvedne celkový obrat a tím i zisky. Takové zařízení je vhodné všude tam, kde je nutné monitorovat různé veličiny, jako jsou například meteorologické stanice, na místech, kde není dostupné veřejné napájení. Díky komunikační síti GSM může systém informovat uživatele o změně stavu, který si sám zvolí.

Pro zahájení prodeje tohoto setu s řídicí off-grid jednotkou jsem započítal jako vstupní investici 250 000 Kč na vývoj desky s výrobou jako jednoho kompaktního kusu, formy na instalační krabice vhodné pro tento systém a další náklady spojené se zahájením prodeje, jako jsou EMC zkoušky, certifikáty a marketing. Dále je započítán pronájem místností pro kompletaci a skladování materiálu ve fixní složce 5 500 Kč měsíčně. Dobu životnosti tohoto projektu jsem stanovil na 5 let. Diskont je v tomto případě složen z inflace ve výši 2,5 % dle Českého statistického úřadu a požadovaného výnosu 3,5 %. Celkový diskont je poté stanoven na 6 %. V případě, že firma neprodá ani jeden kus během své životnosti, bude výsledné NPV vypadat následovně.

Tabulka 16 - NPV - 0 prodaných kusů [Zdroj: Autor]

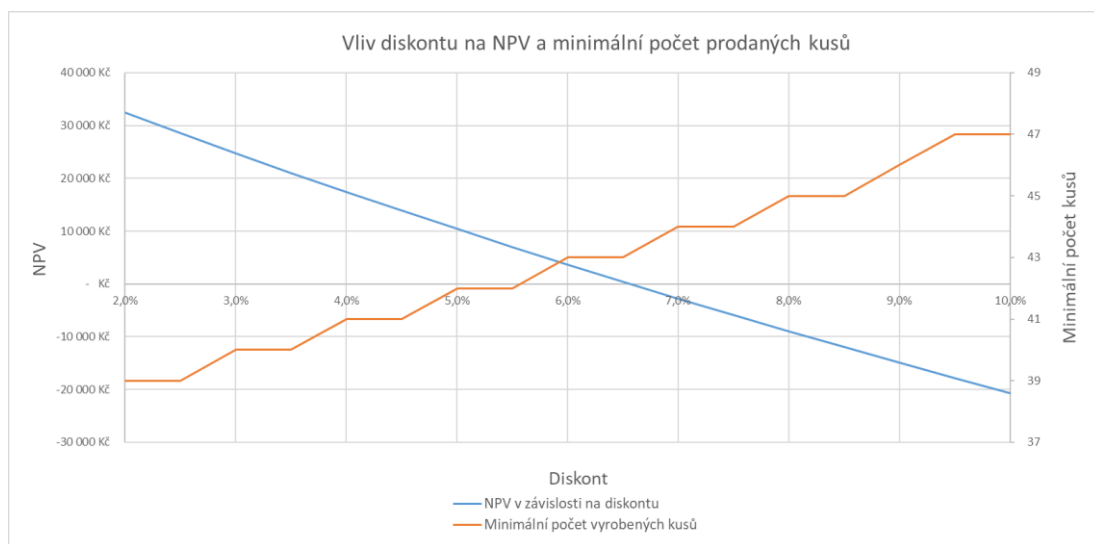
NPV – 0 prodaných kusů	-273 168 Kč
------------------------	--------------------

Pokud stanovím prodejní marži na 37 %, bude výsledná cena produktu 7 990 Kč. Za těchto podmínek bude nutné prodat minimálně 43 kusů ročně, aby bylo NPV kladné.

Tabulka 17 - NPV a IRR - 43 prodaných kusů [Zdroj: Autor]

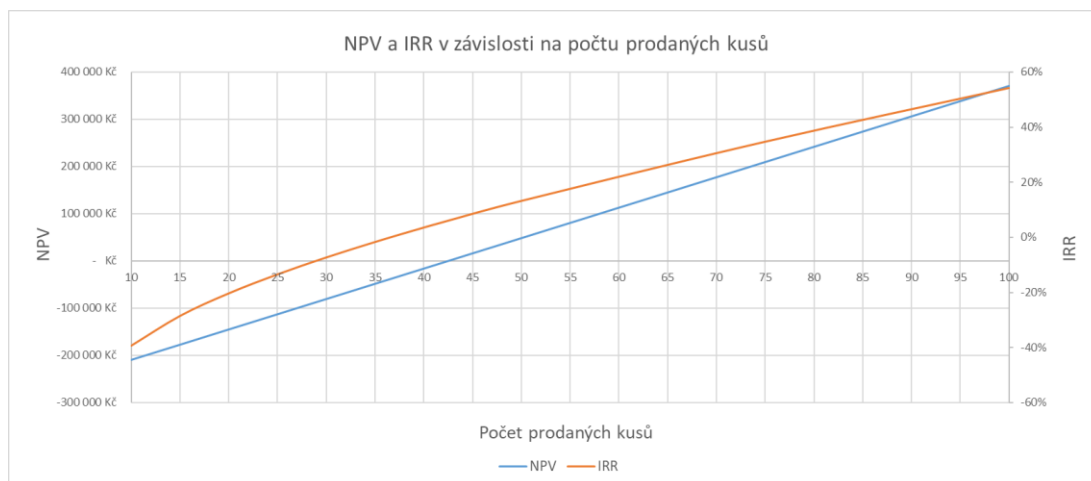
NPV – 43 prodaných kusů	3 657 Kč
IRR – 43 prodaných kusů	7 %

Dále jsem v rámci citlivostní analýzy vypracoval vliv velikosti diskontu na výsledné NPV a tím i ovlivněný minimální počet prodaných kusů s kladným NPV. Čistá současná hodnota byla počítána s předpokladem prodeje přesně 43 kusů za rok. Pokud bych stanovil celkový diskont na pouhých 3 procenta, klesl by minimální požadovaný počet prodaných kusů na 40. V případě stanovení diskontu na 10 procent, byl by minimální prodej 47 kusů. V takovémto případě změna diskontu znamená rozdíl prodejů méně než jeden kus měsíčně.



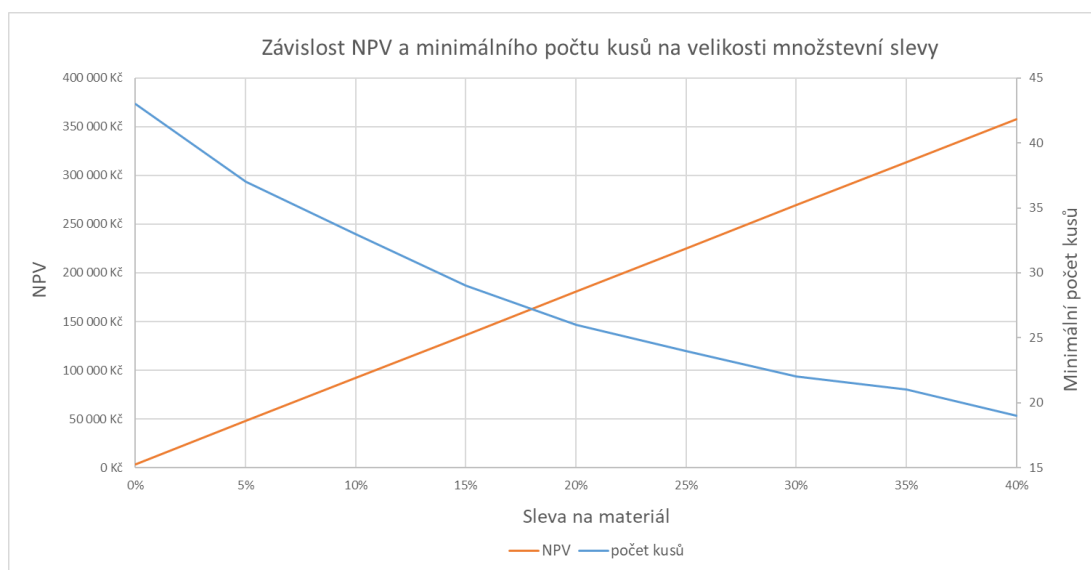
Graf 15 - Citlivostní analýza – Diskont [Zdroj: Autor]

Další zkoumaný parametr byl počet ročních prodejů. Z grafu č. 16 lze vidět, jak roční prodeje ovlivní NPV a IRR. Čistá současná hodnota protíná osu x v bodě 43, který odpovídá minimálním ročním prodejům při zachování kladné NPV. Graf ukazuje, jaká může být budoucnost prodejů. Jako kladnou krajní hranici jsem zvolil hodnotu 100 prodaných kusů za rok, to odpovídá měsíčním prodejům mezi osmi a devíti kusy. V takovém případě by vnitřní výnosové procento vzrostlo na 60 % a čistá současná hodnota by byla víc než 370 000 Kč.



Graf 16 - Citlivostní analýza – Počet ročních prodaných kusů [Zdroj: Autor]

S rostoucími ročními prodeji lze uvažovat i o množstevních slevách, které kladně ovlivní náklady na výrobu. Při zachování koncové ceny a snižování nákladů roste pozitivně marže. To má za následek zvyšování čisté současné hodnoty, jak je patrné z grafu č. 17. Z opačné strany klesá požadovaný minimální počet prodaných kusů za rok. Z třetí strany by se dalo nahlížet na tento parametr, i jak lze snížit prodejní cenu při snižujících se nákladech za zachování stejné marže.



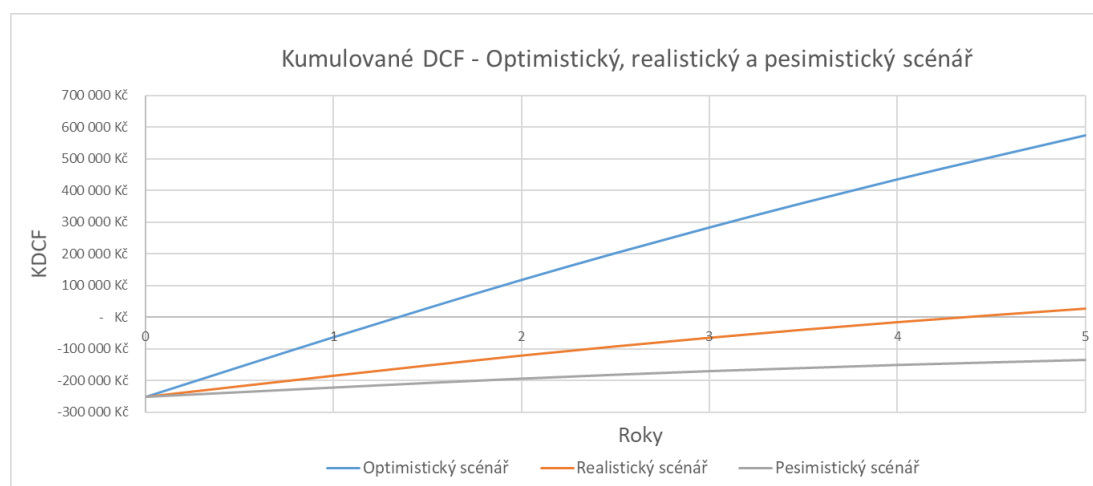
Graf 17 - Citlivostní analýza – Množstevní sleva [Zdroj: Autor]

V poslední části jsem namodeloval tři různé scénáře, které mohou nastat. Pohlížel jsem na situaci optimisticky, kdy předpokládám ideální situaci, v níž budou velké prodeje s velkou marží. Realistická verze odhaduje, jaké by mohly být reálné prodeje s rozumnou marží. A poslední, pesimistická varianta, ve které budou malé prodeje se skromnou marží. Ve všech případech byl stanovený diskont na 6 %.

Tabulka 18 - tři namodelované scénáře [Zdroj: Autor]

Scénář	Optimistický	Realistický	Pesimistický
prodejní marže	100 %	45 %	30 %
diskont	6 %	6 %	6 %
počet prodaných kusů	60	45	30
Sleva na materiál	25 %	15 %	5 %
NPV	573 700 Kč	26 843 Kč	-133 437 Kč
IRR	75 %	10 %	-18 %
Doba návratnosti	2 roky	5 let	-

Z výsledné tabulky je vidět, že v případě pesimistického přístupu nebude ekonomicky výhodné zavádět nový produkt na trh, naopak v optimistickém případě lze zavedení vřele doporučit. Realistický pohled má sice kladnou čistou současnou hodnotu, nicméně by bylo na zvážení, zda by se daly investice využít lépe v jiném projektu. V následujícím grafu je poté možné vidět kumulativní DCF u všech tří scénářů.



Graf 18 - Kumulativní DCF namodelovaných scénářů [Zdroj: Autor]

Vyhodnocení

Zavádění nového produktu na trh má spoustu úskalí. Základním účelem představení nového produktu trhu je pro výrobce zisk v podobě vydělaných peněz. Proto je zásadní před začátkem samotné výroby a prodeje výrobku zjistit, zda se vůbec vyplatí investovat čas a prostředky do takového projektu. V tomto případě je zde téměř hotový produkt, takže odpadá problematika s výběrem vhodného produktu. Samozřejmě je tu vždy možnost dále modifikovat stávající produkt tak, aby oslovil co největší množinu zákazníků na trhu. Mezi dvě hlavní otázky, na které je nutné se podívat, patří „Jaká je konkurence?“ a „Kdo je cílový zákazník?“. Vzhledem k tomu, že tento produkt je celkem specifický, nemá přímou konkurenci. Je možné zakoupit malé off-grid fotovoltaické systémy, nicméně bez GSM komunikace pro vzdálené ovládání či monitoring. Pokud bychom se podívali na off-grid systémy, které takovou komunikaci umožňují, jejich cena se vyšplhá na desítky až stovky tisíc korun. V tomto ohledu má tento systém velkou výhodu. Díky nízké pořizovací ceně může oslovit širokou veřejnost, a to nejen firmy, ale i koncové uživatele. Velká množina zákazníků na trhu může být oblast meteorologie. V Česku je skoro

900 profesionálních meteorologických stanic, jako jsou například synoptické, klimatologické a srážkoměrné stanice. Právě malé srážkoměrné stanice tvoří valnou většinu těchto stanic. Mimo profesionální meteorologické stanice je v Česku i dalších 300–400 amatérských stanic, o něž se starají nadšenci do meteorologie. V tomto oboru je tedy velký potenciál a vzhledem k univerzálnosti zařízení by se jistě našlo uplatnění i pro jiné malé elektronické zařízení, která potřebují nepřetržité napájení a monitorování v oblastech bez veřejné sítě. Neměl by být problém při správně mířeném marketingu prodat desítky kusů ročně a dostat se tak blízko optimistickému scénáři. Před zahájením prodeje by bylo nutné se podívat na další faktory, jež mohou ovlivnit prodeje, nicméně v tuto chvíli to vypadá velice slibně a lze doporučit pokračovat v přípravě prodeje.

6.4 Doporučení

Na celou problematiku ekonomického zhodnocení jsem se podíval ze dvou stran. Ze strany zákazníka, který chce investovat do jednoho ze dvou zařízení a zvažuje, které bude výhodnější. A ze strany výrobce, který zvažuje zavedení nového produktu na trh. Obě dvě varianty mají svá úskalí. Je nutné se zamyslet nad všemi okolnostmi, které by mohly výsledky ekonomického zhodnocení ovlivnit, a to jak negativně, tak pozitivně.

Výběr vhodné varianty

Výsledky ekonomického zhodnocení v porovnání stávajícího zařízení s novým se přiklání na stranu nového zařízení. Nicméně zásadní fakt, který může v budoucnu ovlivnit výsledek investice, je spolehlivost zařízení. Pokud jej bude nutné servisovat nad rámec plánovaných kontrol, může být výhodnější stávající řešení. Je tedy nezbytné uskutečnit dlouhodobé testování v nepříznivých povětrnostních podmínkách, při kterém se mohou projevit závady, které bude nutné odstranit další modifikací. Následkem toho se pravděpodobně navýší i pořizovací cena a výsledné porovnání již nemusí být v prospěch tohoto nového zařízení. Samozřejmě jsou zde stále i vlastnosti nového zařízení, které mohou být v určitých okolnostech nevyčíslitelné. Například možnost instalace komunikačního majáku na libovolné místo v dané lokalitě bez nutnosti řešení napájení z veřejného osvětlení, které s sebou nese různé problémy spojené s žádostí o povolení připojení. Je nutné zvážit, jak moc velkou váhu mají tyto možnosti za dané situace a finální rozhodnutí je na zodpovědné osobě.

Uvedení nového produktu na trh

Úspěšné uvedení nového produktu na trh s sebou nese spousty nejistot, které tak úplně nejde předem odhadnout. Hlavním cílem výrobců je zajistit zájem o produkt tak, aby se roční prodeje dostaly na hodnotu, která zajistí kladnou bilanci. V první fázi je například vhodné udělat průzkum trhu – kolik je potenciálních zákazníků, jaké je cílová oblast prodeje, zda se zaměřit na koncového uživatele nebo na firmy a v poslední řadě také určit správnou cenu prodáváného produktu s ohledem na podobné produkty již na trhu zavedené. Pokud je množina potenciálních zákazníků příliš malá, můžeme uvažovat o úpravě

produktu tak, aby oslovil širší veřejnost. Prozatím bych doporučil zaměřit pozornost nejprve na koncové uživatele se základním modelem zařízení. V budoucnu lze uvažovat také o modifikaci zařízení – například v podobě možnosti připojení k Arduino další moduly nebo naprogramovat vstupy a výstupy tak, aby bylo možné vzdáleně komunikovat s dalšími zařízeními, které bude zákazník potřebovat ovládat. Tento model by byl pravděpodobně dražší, na druhou stranu by mohl zaujmout velkou řadu firem.

7 Závěr

Vývoj a inovace jdou stále kupředu a přinášejí nám nespočetné množství nových technologií, které nám usnadňují a zpříjemňují každodenní situace. Nejde ale vždy jen o komfort, v mnoha případech jde především o bezpečnost. Proto se tato diplomová práce zabývala preferencí MHD pro řízené křižovatky, které jsou osazeny světelným signalizačním zařízením, a které umožňují při vhodném nastavení a detekci vozidla plynulý průjezd městské hromadné dopravy. Hlavním cílem této práce bylo zajistit alternativní napájení pro IR komunikační maják tak, aby ho bylo možné umístit na libovolné místo a zajistit tím ještě spolehlivější a bezpečnější řízení dopravní infrastruktury.

V první kapitole jsou teoreticky rozebrány možnosti alternativního napájení a další důležité části navrhovaného systému. Druhá kapitola popisuje konkrétní technické řešení daného problému. Pro zpracování veškerých logických úkonů jsem vybral elektronickou platformu Arduino s mikrokontrolerem ATmega328P. Vzdálené monitorování jsem zajistil pomocí GSM modulu SIM800L, kde jsem využil možnost posílání SMS v závislosti na dané poruše. Celý systém je navržen tak, aby bylo dosaženo co nejmenší vlastní spotřeby energie. Použil jsem bistabilní výkonové relé a minimalizoval čas, po který jsou aktivní prvky v provozu.

Třetí kapitola se věnuje fyzickému testování zařízení ve specifických podmínkách, které by mohly mít zásadní vliv na funkčnost celého systému. Jedná se především o testování akumulátorů v nízkých teplotách. Prokázalo se, že nízké pracovní teploty mají negativní vliv na kapacitu akumulátorů. Bylo tak nutné s tímto faktem počítat a zohlednit ho při dimenzování bateriového úložiště. Dále proběhlo testování, jakou lze očekávat průměrnou denní vyrobenou energii v zimním období, kdy může být několik po sobě jdoucích dní se zataženou oblohou, což může mít také negativní vliv na správnou funkčnost zařízení. Na základě výsledků měření jsem mohl určit správnou velikost fotovoltaického pole i s ohledem na ekonomické faktory. Poslední testování bylo zaměřené na ověření správné funkčnosti všech částí navrženého systému, včetně ověření chování v krajních stavech. Celý systém fungoval správně a během testování se podařilo odladit veškeré nuance chování programu.

Poslední kapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením nově navrženého systému. Zaměřil jsem se na porovnání stávajícího systému s novým. V případě, že není nainstalována ani jedna z variant, je výhodnější investovat do nového systému i když je vstupní investice vyšší. Toto platí i v případě, že během roku nastane situace, kdy bude nutné zařízení neplánovaně servisovat. Pokud je již nainstalované stávající zařízení, není ekonomicky výhodné přemýšlet o výměně za nové – při standardních vstupních předpokladech, jako je například mzda pracovníka nepřesahující 250 Kč na hodinu. V poslední variantě jsem se podíval na problematiku ze strany výrobce, který zvažuje uvedení nového výrobku na trh. V tomto případě vstupují do výpočtu další proměnné, jako například vstupní investice na pokrytí výroby DPS, která by obsahovala veškeré součástky a tvořila tak kompaktní řešení. Dále pak i fixní náklady

v podobě pronájmu za sklad a místnost na montáž zařízení. Výpočtem jsem stanovil minimální prodej na 43 kusů ročně. Vypracoval jsem citlivostní analýzu na diskont, minimální roční prodej kusů a množstevní slevu na materiál, abych zjistil, jestli mohou tyto parametry zásadně ovlivnit čistou současnou hodnotu projektu. Následně jsem pro lepší náhled do situací, které mohou nastat, vytvořil tři scénáře – pesimistický, realistický a optimistický. Předběžně se dá konstatovat, že při správně mířeném marketingu lze prodat desítky kusů ročně a dostat se tak blízko optimistickému scénáři. Před zahájením prodeje by bylo nutné se podívat na další faktory, jež mohou ovlivnit prodeje, nicméně v tuto chvíli to vypadá velice slibně a lze doporučit pokračovat v přípravě prodeje.

Seznam použité literatury

- [1] Komunikační maják KMIR. ELTODO a.s. [online]. 2014 ELTODO, a.s., [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.eltodo.cz/>
- [2] MERTL, Jakub. *Možnosti akumulace energií*. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické - Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Pavel Skopec.
- [3] BECHNÍK, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. Tzbinfo [online]. 29.9.2014 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [4] KLIMT, Kristián. Měření VA charakteristik fotovoltaických článků. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Hrzina Pavel.
- [5] PWM. Android Things. Android Developers.[online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://developer.android.google.cn/things/sdk/pio/pwm>
- [6] MARAÑDA, W a M PIOTROWICZ. Efficiency of maximum power point tracking in p hotovoltaic system under variable solar irradiance [online]. [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0077. Dostupné z: http://repozytorium.p.lodz.pl/bitstream/handle/11652/1061/Efficiency_of_maximum_Maranda_2014.pdf
- [7] MPPT vs PWM Solar Charge Controllers. EPEVER [online]. 8.5.2019 [cit. 2019-09-21]. Dostupné z: <https://blog.epsolarpv.com/articles/8/mppt-vs-pwm-solar-charge-controllers>
- [8] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. 20.12.2008 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [9] BUCHMANN, Isidor. How do Lithium Batteries Work?. Discover why lithium-ion is a superior battery system. Battery University [online]. 2018 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [10] Keywords to understanding Sony Energy Devices. SONY Energy Devices Corporation [online]. [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160304224245/http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/>
- [11] Jak na LiFePO4 baterie: Technický průvodce v 7 krocích. GWL [online]. 2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://files.ev-power.eu/inc/_doc/LFP_Guide_CZ.pdf
- [12] Interactive tools. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [online]. [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

- [13] VODA, Zbyšek a tým HW Kitchen. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [14] ARDUINO UNO REV3. Arduino [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [15] ARDUINO LOW POWER - HOW TO RUN ATMEGA328P FOR A YEAR ON COIN CELL BATTERY. Home automation community [online]. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: <http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>
- [16] Arduino GSM SIM800L. ECLIPSE [online]. 2017 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/472/1500635983.pdf>
- [17] ACS712. Allegro microsystems [online]. 2006 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- [18] XL4015. XLSEMI [online]. 2006 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <http://www.xlsemi.com/datasheet/XL4015%20datasheet.pdf>
- [19] Arduino a napájení z baterie aneb jak uspat Arduino. Arduino [online]. 2014 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://arduino8.webnode.cz/news/lekce-27-arduino-a-napajeni-z-baterie-aneb-jak-uspat-arduino/>
- [20] Tracer-AN series. EPEVER [online]. [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: [https://www.epsolarpv.com/upload/file/1909/EPEVER-Datasheet-tracer-an\(10A-40A\).pdf](https://www.epsolarpv.com/upload/file/1909/EPEVER-Datasheet-tracer-an(10A-40A).pdf)
- [21] DS18B20. Maxim integrated [online]. 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [22] MAX471. Maxim integrated [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX471-MAX472.pdf>
- [23] Multimetr UNI-T UT 81C. UNI-T [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.uni-t.cz/p/multimetr-uni-t-ut-81c>
- [24] Historická data – meteorologie a klimatologie. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>
- [25] Test KMIR – servis 1. ELTODO a.s. [online]. 2009 ELTODO, a.s., [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.eltodo.cz/>
- [26] Čištění KMIR – servis 2. ELTODO a.s. [online]. 2009 ELTODO, a.s., [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.eltodo.cz/>

- [27] BREALEY, Richard A., Stewart C. MYERS a Franklin ALLEN. Teorie a praxe firemních financí. 2., aktualiz. vyd. Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5
- [28] Co je CE. Conformity [online]. [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <http://www.conformity.cz/co-je-ce.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - FV článek [3].....	5
Obrázek 2 - SIM 800L [16].....	14
Obrázek 3 - Screen příjmu SMS [Zdroj: Autor].....	28

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Specifikace Arduino Uno [14]	13
Tabulka 2 - Měření denního výkonu [Zdroj: Autor]	25
Tabulka 3 - Úbytek kapacity v závislosti na teplotě [Zdroj: Autor].....	28
Tabulka 4 - spotřeba použitých komponent [Zdroj: Autor]	29
Tabulka 5 - Cena použitých komponentů [Zdroj: Autor].....	31
Tabulka 6 - Cena práce za modifikaci zařízení [Zdroj: Autor]	31
Tabulka 7 - Kalkulace kapacity akumulátorů [Zdroj: Autor].....	32
Tabulka 8 - Porovnání faktorů akumulátorů [Zdroj: Autor].....	33
Tabulka 9 - Celkové náklady na modifikaci a instalaci nového zařízení [Zdroj: Autor]	34
Tabulka 10 - Náklady na servis [Zdroj: Autor]	35
Tabulka 11 - Náklady na servis 1. [Zdroj: Autor]	36
Tabulka 12 - Náklady na servis 2. [Zdroj: Autor]	37
Tabulka 13 - NPV – porovnání obou projektů [Zdroj: Autor]	38
Tabulka 14 - NPV, IRR – Reinstalace stávajícího zařízení za nové [Zdroj: Autor]	41
Tabulka 15 - Vliv hodinové mzdy na NPV [Zdroj: Autor]	41
Tabulka 16 - NPV - 0 prodaných kusů [Zdroj: Autor]	42
Tabulka 17 - NPV a IRR - 43 prodaných kusů [Zdroj: Autor].....	43
Tabulka 18 - tři namodelované scénáře [Zdroj: Autor]	45

Seznam grafů

Graf 1 - VA charakteristika FV článku [4].....	6
Graf 2 - Pulzně šířková modulace [5].....	7
Graf 3 - Počet cyklů v závislosti na hloubce vybíjení [8]	10
Graf 4 - Průběh napětí a proudu - 5 dní [Zdroj: Autor].....	25
Graf 5 - Vybíjecí charakteristika dle teploty [Zdroj: Autor]	27
Graf 6 - Vliv teploty na kapacitu akumulátoru [Zdroj: Autor].....	27
Graf 7 - Hustota pravděpodobnosti teplot [Zdroj: Autor]	32
Graf 8 - Praha Libuš – denní úhrn slunečního svitu [Zdroj: Autor]	33
Graf 9 - Praha Ruzyně – denní úhrn slunečního svitu [Zdroj: Autor]	34
Graf 10 - Kumulované DCF v porovnání obou projektů [Zdroj: Autor].....	39
Graf 11 - Kumulované DCF při hodinové mzdě 100 Kč [Zdroj: Autor]	39
Graf 12 - Vliv poruch na NPV nového zařízení [Zdroj: Autor]	40
Graf 13 - Vliv diskontu na NPV projektů [Zdroj: Autor].....	40
Graf 14 - Vliv hodinové mzdy na NPV a IRR [Zdroj: Autor]	41
Graf 15 - Citlivostní analýza – Diskont [Zdroj: Autor].....	43
Graf 16 - Citlivostní analýza – Počet ročních prodaných kusů [Zdroj: Autor]	44
Graf 17 - Citlivostní analýza – Množstevní sleva [Zdroj: Autor]	44
Graf 18 - Kumulativní DCF namodelovaných scénářů [Zdroj: Autor].....	45

Seznam schémat

Schéma 1 - Tranzistorový zesilovač [Zdroj: Autor].....	15
Schéma 2 - Off-grid řídicí systém [Zdroj: Autor]	16
Schéma 3 - Test výkonu s MPPT regulátorem [Zdroj: Autor].....	23
Schéma 4 - Test výkonu bez regulátoru [Zdroj: Autor]	24
Schéma 5 - Test vliv teploty na kapacitu [Zdroj: Autor].....	27

Seznam diagramů

Diagram 1 - Off-grid systém – tok energie [Zdroj: Autor].....	5
Diagram 2 - Základní přednastavené metody [Zdroj: Autor].....	19
Diagram 3 - Metoda Void Setup () [Zdroj: Autor].....	19
Diagram 4 - Metoda Void loop () [Zdroj: Autor].....	20

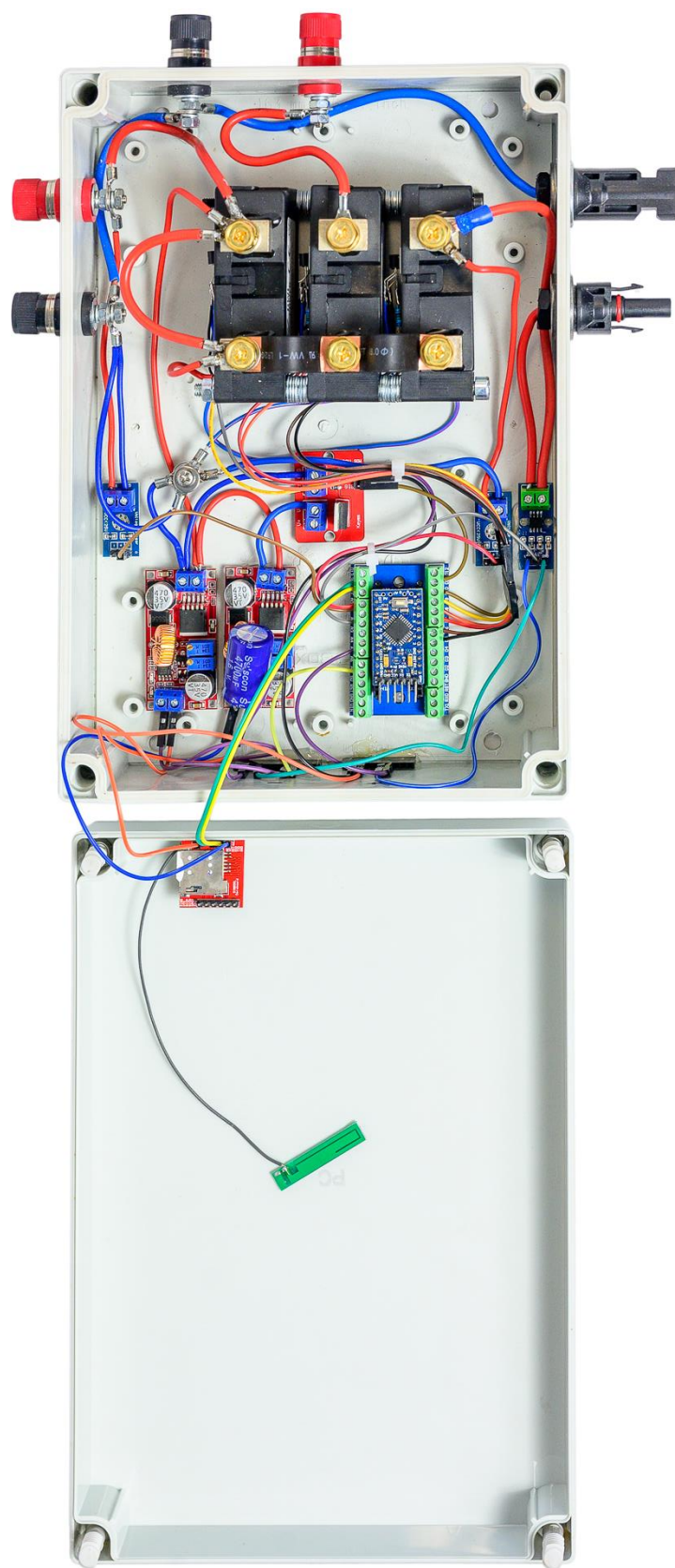
Seznam příloh

Příloha 1 - Ostrovní fotovoltaický systém – Foto 1	56
Příloha 2 - Ostrovní fotovoltaický systém – Foto 2	57
Příloha 3 - IR komunikační maják (KMIR)	58
Příloha 4 - Dimenzování baterie (CD).....	58
Příloha 5 - Testování a dimenzování FV panelů (CD)	58
Příloha 6 - Test vlivu teploty na využitelnou kapacitu (CD).....	58
Příloha 7 - Výpočet nákladů na servis a ekonomické zhodnocení (CD).....	58
Příloha 8 - Měření výkonu listopad (CD).....	58
Příloha 9 - Měření výkonu prosinec (CD).....	58
Příloha 10 - Software pro Arduino (CD).....	58

Přílohy



Příloha 1 - Ostrovní fotovoltaický systém – Foto 1



Příloha 2 - Ostrovní fotovoltaický systém – Foto 2



Příloha 3 - IR komunikační maják (KMIR)

Příloha 4 - Dimenzování baterie (CD)

Příloha 5 - Testování a dimenzování FV panelů (CD)

Příloha 6 - Test vlivu teploty na využitelnou kapacitu (CD)

Příloha 7 - Výpočet nákladů na servis a ekonomické zhodnocení (CD)

Příloha 8 - Měření výkonu listopad (CD)

Příloha 9 - Měření výkonu prosinec (CD)

Příloha 10 - Software pro Arduino (CD)