

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce
Alternativní zdroje napájení pro platformu Arduino

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.
Autor práce: Petr Hruška

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Hruška

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Alternativní zdroje napájení pro platformu Arduino

Název anglicky

Alternative Power Resources supply for the Arduino platform

Cíle práce

Navrhnout univerzálně použitelnou konfiguraci systému Arduino a pro tento systém analyzovat napěťové a odběrové parametry. Na základě zjištěných údajů navrhnout a prakticky ověřit dlouhodobou funkčnost alternativních zdrojů napájení (solární, větrné). Posoudit míru stability a spolehlivosti celého takto napájeného systému.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika
4. Popis platformy Arduino včetně rozboru základních modulů
5. Analýza odběrů jednotlivých modulů při různých způsobech zatížení
6. Návrh alternativního zdroje napájení
7. Praktické ověření
8. Závěr a doporučení

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

Arduino, zdroje, alternativní zdroje

Doporučené zdroje informací

<http://arduino.cz/>

Kendall, B.: Getting Started with Arduino A Beginners Guide, MakeUseOf, 2014

Šleček, M.: Arduino, uživatelská příručka, Computer Press, 2016

Voda, Z.: Průvodce světem Arduina, HW Kitchen, 2014



Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Alternativní zdroje napájení pro platformu Arduino vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

.....
Petr Hruška

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Zdeňku Votrubovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, podporu a zejména za trpělivost při zpracování této práce.

Alternativní zdroje napájení pro platformu Arduino

Abstrakt: Tato práce se zabývá návrhem univerzálně použitelné konfigurace systému Arduino a analýzou spotřeby elektrické energie tohoto systému. Dále návrhem alternativního zdroje napájení zvoleného systému na základě provedené analýzy. V teoretické části bakalářské práce je představen systém Arduino a možnosti jeho rozšíření. Následně je popsán alternativní zdroj napájení v podobě solární energie a princip fungování ostrovního solárního systému. V praktické části bakalářské práce jsou nejprve uvedeny komponenty navrženého systému a poté popsán postup měření spotřeby elektrické energie těchto komponent. Následně je proveden návrh solárního zdroje napájení a výběr konkrétních prvků napájení. Na konci praktické části je popsán postup praktického ověření zvoleného alternativního zdroje napájení.

Klíčová slova: Arduino, Mega 2560, řídicí systém, alternativní zdroje, solární energie

Alternative Power Resources supply for the Arduino platform

Abstract: The bachelor thesis is about design universally applicable configuration of system Arduino and analysis consumption an electric energy of this system. Also is about design of alternative power source of this system based upon the analysis. System Arduino and the options of his expansion are in the theoretical part. Then is described the alternative source of power supply a solar energy and princible how work an insular solar system. In the practical part of this bachelor thesis are components of the designed system and then is described a process measurement consumption an electric energy of this components. After then is done design of the solar power source and the choice concrete element of the power supply. In the end of the practical part is described process of practical verification selected alternative power source.

Keywords: Arduino, Mega 2560, control system, alternative sources, solar energy

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	2
3 Metodika	3
4 Přehled řešené problematiky	4
4.1 Popis platformy Arduino.....	4
4.1.1 Typy desek.....	5
4.1.1.1 Arduino Uno	5
4.1.1.2 Arduino Mega 2560.....	5
4.1.1.3 Arduino Nano	5
4.1.1.4 Arduino Mini	6
4.1.1.5 Arduino Leonardo	6
4.1.1.6 Arduino Micro	7
4.1.2 Arduino Shieldy.....	7
4.1.2.1 Ethernet Shield W5100.....	7
4.1.2.2 Wifi Shield.....	8
4.1.2.3 GSM Shield	8
4.1.2.4 LCD Shield	9
4.1.3 Vstupní a výstupní periferie.....	9
4.1.3.1 Vstupní periferie	9
4.1.3.2 Výstupní periferie	10
4.1.4 Zdroje napájení	11
4.2 Alternativní zdroje energie.....	12
4.2.1 Solární energie	12
4.2.1.1 Ostrovní solární systém	13
4.2.1.2 Fotovoltaické panely	14
4.2.1.3 Výkon fotovoltaických panelů	15
4.2.1.4 Umístění panelů.....	15
4.2.1.5 Vnitřní ztráty fotovoltaických panelů.....	16
4.2.1.6 Solární regulátory napětí	16
4.2.1.7 Akumulátory.....	17
5 Volba sestavy pro praktický návrh napájení	19

5.1	Volba sestavy	19
5.1.1	Klon Arduino Mega 2560	20
5.1.2	LCD displej	20
5.1.3	Ethernet Shield	21
5.2	Odběry jednotlivých prvků sestavy	21
6	Návrh alternativního zdroje napájení	26
6.1	Výběr solárního regulátoru	26
6.2	Výpočet ztrát výkonu	27
6.3	Návrh fotovoltaického panelu	28
6.3.1	Skutečný výkon fotovoltaického panelu	28
6.3.2	Výběr vhodného fotovoltaického panelu	30
6.4	Návrh vhodného akumulátoru	31
6.4.1	Výpočet kapacity akumulátoru	31
6.4.2	Výběr vhodného typu akumulátoru	32
7	Praktické ověření navrženého napájení	33
7.1	Příprava testovací sestavy	34
7.2	Ověření funkčnosti zvolené sestavy	35
8	Diskuse	37
9	Závěr	38
10	Seznam použitých zdrojů	39

Seznam obrázků

Obrázek 1 a) Arduino Uno [3], b) Arduino Mega 2560 [3]	5
Obrázek 2 Arduino Nano [3]	6
Obrázek 3 Arduino Mini [3]	6
Obrázek 4 Arduino Leonardo [3].....	6
Obrázek 5 Arduino Micro [3]	7
Obrázek 6 a) Ethernet Shield W5100 [3], b) Wifi Shield [6].....	8
Obrázek 7 GSM Shield [4]	8
Obrázek 8 LCD Shield [8]	9
Obrázek 9 Koncový spínač s válečkovým plunžrem [11]	10
Obrázek 10 Teplotní senzor [12]	10
Obrázek 11 Relé 5 V s výstupem AC 250 V 10 A, DC 30 V 10 A [14]	11
Obrázek 12 Hlavní prvky ostrovního solárního systému [18].....	13
Obrázek 13 Fotovoltaický článek [21].....	14
Obrázek 14 Solární regulátor napětí [23]	16
Obrázek 15 Olověné akumulátory [24]	17
Obrázek 16 a) Li-Ion akumulátor [27], b) Li-Pol akumulátor [28]	19
Obrázek 17 Klon Arduino Mega 2560 [vlastní]	20
Obrázek 18 LCD displej [vlastní]	21
Obrázek 19 HanRun Ethernet Shield [vlastní]	21
Obrázek 20 Měření svorkového napětí olověného akumulátoru VRLA [vlastní].....	22
Obrázek 21 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 [vlastní]	23
Obrázek 22 Měření odběru proudu Arduina Uno [vlastní].....	23
Obrázek 23 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 s LCD displejem [vlastní]	24
Obrázek 24 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 s Ethernet Shieldem [vlastní]	25
Obrázek 25 Měření odběru proudu celé sestavy [vlastní]	26
Obrázek 26 Stepdown měnič napětí [14].....	27
Obrázek 27 Fotovoltaický panel SWSME – 0040 od firmy Ascent SOLAR [vlastní]	33
Obrázek 28 Schéma zapojení fotovoltaického systému [vlastní, vytvořeno v softwaru ProfiCAD].....	34
Obrázek 29 Testovací sestava [vlastní]	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 Stav nabití 6V akumulátoru dle svorkového napětí (vlastní, dle dat z [26])	18
Tabulka 2 Parametry akumulátoru Goowei OT7-6 [vlastní, dle dat výrobce]	22
Tabulka 3 Měření spotřeby jednotlivých komponent [vlastní].....	24
Tabulka 4 Průměrný výkon fotovoltaického panelu o maximálním výkonu 100 Wp [vlastní]	29
Tabulka 5 Parametry polykrystalického panelu STM5-20/36 (vlastní, dle dat z [30])	30
Tabulka 6 Parametry polykrystalického panelu Sunny-40P (vlastní, dle dat z [31])	31
Tabulka 7 Parametry akumulátoru Ultracell UL12-6 (vlastní, dle dat z [32])	32
Tabulka 8 Naměřené napětí akumulátoru během testování [vlastní]	36

Seznam vzorců

(4.1) Výpočet příkonu [20]	13
(4.2) Výpočet elektrické energie [20]	13
(4.3) Výpočet maximálního výkonu FV panelu [19].....	15
(4.4) Výpočet elektrického náboje [20]	19

1 Úvod

V dnešním světě je člověk zcela obklopen automatizovanými systémy, které nahrazují lidskou práci a ulehčují tak člověku život. Využíváme je každý den a nedokážeme si bez nich již život představit. Jádrem každého automatizovaného systému je řídicí systém, díky kterému zařízení funguje tak, jak má. O to, co má zařízení v určitou chvíli a za určitých podmínek udělat, se stará právě řídicí systém.

Stále oblíbenějším řídicím systémem je vývojová platforma Arduino, která se používá převážně k vývoji nových zařízení. Tato platforma je také skvělým nástrojem k pochopení funkčnosti zařízení již dávno vymyšlených.

Zařízení na bázi Arduino vyžaduje napájení elektrickou energií stejně jako jakýkoliv jiný elektronický systém. Může se ale stát, že je třeba zařízení používat i na místech, kde není dostupnost připojení k elektrické síti. V takovém případě je možné využívat pro napájení zařízení alternativní zdroje energie.

V teoretické části práce je nejprve popsána platforma Arduino, druhy vývojových desek a komponent pro Arduino učených. Na závěr teoretické části je popsán solární zdroj energie a jeho použitelnost při napájení zařízení Arduino.

Praktická část práce se zabývá výběrem univerzální konfigurace systému Arduino a analýzou odběrů elektrické energie jednotlivých komponent systému. Na základě naměřených odběrů je dále navržen solární zdroj napájení pro napájení zvoleného systému Arduino. Nejprve je vybrán vhodný fotovoltaický panel a záložní akumulátor, poté je popsáno testování navrženého solárního napájení, a nakonec jsou porovnány výsledky testování s teoretickým návrhem.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je nejprve navrhnout univerzální konfiguraci systému Arduino a analyzovat spotřebu energie jednotlivých komponent systému. Dalším cílem je navrhnout vhodný solární zdroj energie pro dlouhodobé napájení zvoleného systému. Práce by mohla poskytnout široké veřejnosti návod pro navržení solárního zdroje napájení při realizaci obdobného systému. Neméně důležitým cílem je pak ověřit funkčnost navrženého zdroje napájení.

3 Metodika

Na základě prostudované literatury a dostupných informací publikovaných výrobcem budou představeny jednotlivé typy vývojových desek Arduino a souvisejícího příslušenství. Dále bude vysvětlena problematika alternativních zdrojů energie a využití solárních systémů.

Poté bude vybrána univerzální konfigurace systému Arduino, pro kterou bude později navrhován alternativní zdroj napájení. Nejprve bude provedeno měření odběru elektrického proudu jednotlivých prvků systému, které bude prováděno digitálním multimetrem Vorel TO-81784. Na základě naměřených dat bude dále vypočítána denní spotřeba elektrické energie zvoleného systému, která bude podkladem pro navržení solárního zdroje napájení.

Následně bude vybrán vhodný regulátor napětí, který je třeba pro regulaci proměnlivého výstupního napájení fotovoltaického panelu. Před samotným návrhem fotovoltaického panelu bude zjištěna průměrná denní produkce elektrické energie fotovoltaických panelů. Tato data budou získána z online kalkulačky, která se běžně používá pro navrhování solárních elektráren.

Na základě výpočtů a zjištěných informací bude navržen fotovoltaický panel, který bude dostatečně výkonný pro napájení zvoleného systému. Dále bude vybrán potřebný akumulátor, jehož kapacita se vypočítá dle veřejně dostupných vzorců. Navržený solární systém bude zapojen, uveden do funkčního stavu. Poté bude provedeno testování při dlouhodobém napájení zvoleného systému Arduino navrženým fotovoltaickým panelem. Nakonec bude provedeno vyhodnocení výsledků testování s teoretickým návrhem systému.

4 Přehled řešené problematiky

Pro pochopení praktické části práce je třeba si nejprve ujasnit některé pojmy probírané v praktické části a současný stav řešené problematiky. Nejprve je představen systém Arduino a následně je popsáno využití alternativních zdrojů energie se zaměřením na solární energii.

4.1 Popis platformy Arduino

Arduino¹ je open-source programovatelná vývojová deska, která umožňuje řízení různých systémů pomocí jednoduchého programového kódu. Programovací prostředí, v němž lze vytvořit program pro ovládání Arduina se nazývá Arduino Software IDE. Tento software je distribuován pod licencí open-source. [1] Původní prototyp tohoto zařízení přivedl na svět



Hernando Barragán, který v rámci své diplomové práce vytvořil vývojovou desku s názvem Wiring. Zařízení se pod tímto názvem i určitou dobu prodávalo po celém světě. V roce 2005 byl vytvořen dnes již známý projekt Arduino, jehož zakladatelé Massimo Banzi a David Mellis původně spolupracovali na zařízení Wiring. [1]

Hlavními výhodami Arduina oproti konkurenčním výrobkům jsou jeho nízká cena, jednoduchost propojení s perifériemi a jednoduchý programovací jazyk. [1] Programovým kódem lze ovládat výstupní periférie signálem digitálního charakteru. Některé digitální výstupy lze využít jako PWM neboli Pulse Width Modulation. *„Pulse Width Modulation lze do češtiny přeložit jako pulzně šířková modulace a u Arduina slouží pro odesílání analogových hodnot pomocí digitálních výstupů. Principem je rychlá změna hodnot na digitálním výstupním pinu.“* [2]

Existuje několik typů různě výkonných desek, jejichž základem je procesor ATmega od firmy Atmel. [3] Bližší specifikace jednotlivých desek jsou popsány v následující podkapitole.

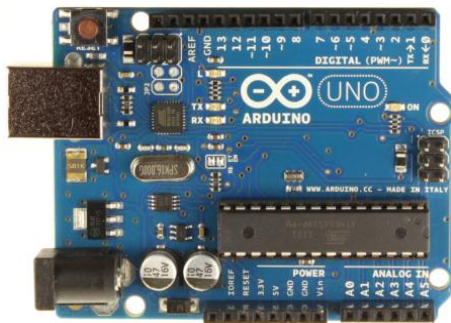
¹ Arduino je na obrázku, konkrétně deska Arduino Uno [33]

4.1.1 Typy desek

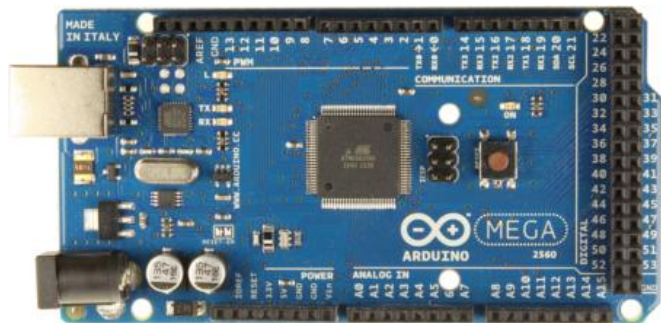
Vývojové desky Arduino se vyrábí v několika variantách o různých funkcích a výkonech. Protože je těchto desek mnoho, jsou v této podkapitole popsány jen ty nejnámější. Desky jsou seřazeny postupně od těch nejvíce populárních.

4.1.1.1 Arduino Uno

Arduino Uno, které je možné vidět na levém obrázku 1 a), je v současnosti asi nejvíce používaná vývojová deska. Je vybavena procesorem ATmega 328P a Flash pamětí pro ukládání programového kódu o kapacitě 32 kB. Programování desky se provádí pomocí USB portu. Deska obsahuje 14 digitálních vstupních / výstupních pinů (z toho 6 pinů je možné použít jako PWM výstup) a 6 analogových vstupů. [3]



Obrázek 1 a) Arduino Uno [3]



b) Arduino Mega 2560 [3]

4.1.1.2 Arduino Mega 2560

Arduino Mega vzniklo prodloužením desky Arduino Uno, což umožnilo využít více místa pro výkonnější procesor ATmega2560 a více vstupních a výstupních pinů. [3] Rozdíl je jasně vidět na obrázku 1 a), b). Digitálních vstupů / výstupů je celkem 54 a analogových vstupů je 16. Oproti desce Uno má také větší kapacitu Flash paměti o velikosti 256 kB. [4]

4.1.1.3 Arduino Nano

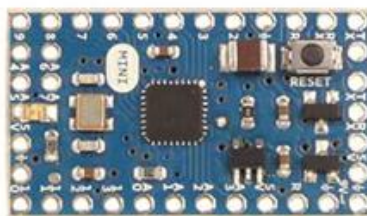
Arduino Nano je v podstatě zmenšenina Arduina Uno, jak je vidět na obrázku 2. Je tedy ideální pro projekty, kde není dostatek místa pro klasické desky. Z výkonové stránky je tato deska shodná s deskou Uno. Kvůli úspoře místa nemá deska konektor pro externí napájení a klasický USB port, který je nahrazen mini USB portem. Obsahuje celkem 14 digitálních vstupních / výstupních pinů a 8 analogových vstupních pinů. Nano je rozměrově upraveno tak, aby jej bylo možné vložit do nepájivého kontaktního pole. [3] [4]



Obrázek 2 Arduino Nano [3]

4.1.1.4 Arduino Mini

Verze Mini je jednou z nejmenších vývojových desek Arduino. Tato deska nemá pro minimalizaci místa ani USB port, jak je možné vidět na obrázku 3. Je tedy ještě menší než Arduino Nano. K programování je třeba použít externí USB 2 Serial převodník. Počet vstupních a výstupních pinů a výkonové parametry jsou totožné s deskou Arduino Nano. [3]



Obrázek 3 Arduino Mini [3]

4.1.1.5 Arduino Leonardo

Jak je vidět na obrázku 4, Arduino Leonardo je designově shodné s deskou Uno, liší se však použitým procesorem ATmega 32u4. Tento procesor totiž obsahuje převodník pro USB rozhraní, díky kterému se Arduino po připojení k PC jeví jako myš, či klávesnice. Je tedy možné, vytvořit si např. svoji klávesnici, herní ovladač nebo další zařízení, kterým je možné ovládat PC. [3] Stejně jako deska Uno má i Leonardo Flash paměť o kapacitě 32 kB. Oproti klasickému USB portu má integrován micro USB port. [4]



Obrázek 4 Arduino Leonardo [3]

4.1.1.6 Arduino Micro

Arduino Micro vyobrazené na obrázku 5 je zmenšená verze desky Leonardo, je v něm tedy také procesor ATmega 32u4 a Flash paměť o kapacitě 32 kB. [4] Rovněž lze jednoduše vytvořit zařízení pro ovládání PC. Tato deska je uzpůsobena tak, aby ji bylo možné zasunout do nepájivého kontaktního pole. [3]



Obrázek 5 Arduino Micro [3]

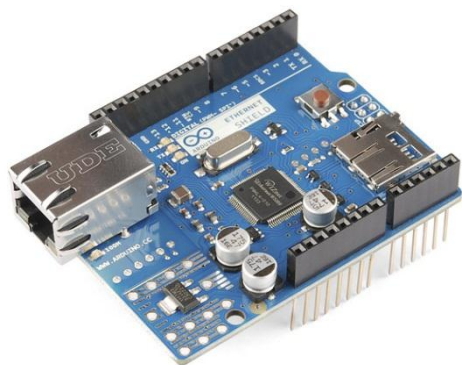
Bylo představeno několik druhů vývojových desek Arduino. Dále budou zmíněny moduly, které přináší deskám Arduino určitá rozšíření.

4.1.2 Arduino Shieldy

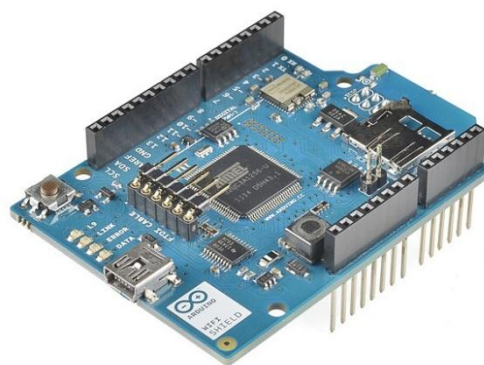
K vývojovým deskám Arduino se dají připojit tzv. „Shieldy“ a to nejen od výrobce Arduino, ale i konkurenční produkty. Tyto Shieldy Arduino rozšiřují o další funkce. Jde například o rozšíření, které umožní připojení k internetu pomocí Ethernet portu nebo Wifi, zobrazovat data, vydávat zvukovou signalizaci, komunikovat přes GSM atd. Dále jsou zmíněny některé Shieldy. [3]

4.1.2.1 Ethernet Shield W5100

Ethernet Shield, fungující díky integrovanému obvodu WizNet W5100, umožňuje Arduino komunikovat po síti přes protokol SPI. Lze se pomocí něho připojit k domácí síti či internetu, nebo vytvořit server, na kterém je možné zobrazovat různá data, např. naměřené hodnoty Arduinem. K připojení do sítě je v desce zabudován konektor RJ45, do kterého stačí připojit síťový kabel. [3] Obvod zvládá komunikovat rychlostí 10/100 MB/s přes adresy IPv4. Součástí Ethernet Shieldu je také slot pro paměťové karty typu microSD. Arduino s tímto slotem komunikuje rovněž přes protokol SPI. Tento Shield lze připojit například k vývojovým deskám Arduino Uno, Mega 2560 nebo Leonardo. [5]



Obrázek 6 a) Ethernet Shield W5100 [3]



b) Wifi Shield [6]

4.1.2.2 Wifi Shield

Wifi modul dokáže stejně jako Ethernet Shield připojit Arduino do domácí sítě či internetu, jen s tím rozdílem, že připojení je zajištěno bezdrátově. Shieldy Ethernet a Wifi jsou k porovnání na obrázcích 6 a), b). Tento modul se dokáže připojit k sítím Wifi se standardem 802.11b a 802.11g. Stejně jako Ethernet Shield komunikuje Wifi modul s Arduinem pomocí SPI protokolu a má rovněž zabudovaný slot na microSD karty. Součástí desky je také integrovaná anténa. Modul se dokáže připojit jak k sítím bez zabezpečení, tak i k sítím se zabezpečením WEP a WPA2. [3]

4.1.2.3 GSM Shield

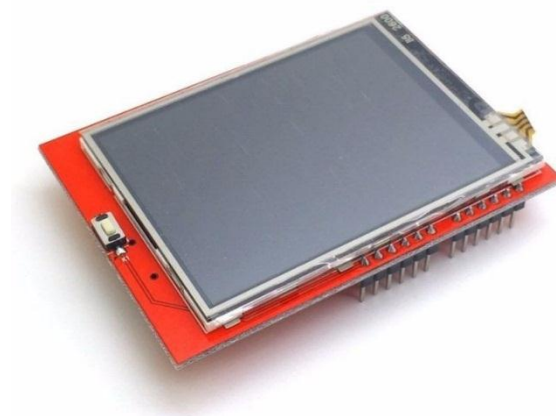
V GSM Shieldu, který je možné vidět na obrázku 7, je integrován GSM modul M10 od formy Quectel, pomocí kterého je možné Arduino používat jako mobilní telefon. [4] Lze volat a přijímat hovory téměř po celém světě. Rovněž se dají posílat i SMS zprávy, nebo se pomocí GPRS připojit na internet. Komunikace Shieldu s Arduinem probíhá pomocí AT příkazů přes sériovou linku. [7]



Obrázek 7 GSM Shield [4]

4.1.2.4 LCD Shield

Tento Shield (viz obrázek 8) přináší možnost ovládání pomocí LCD dotykového displeje s úhlopříčkou 2,4 palce. Protože dotyková plocha LCD je rezistentní, lze v jeden okamžik snímat pouze jeden dotyk. Rozlišení displeje je 320×240 pixelů. Data mezi Shieldem a Arduinem jsou přenášena pomocí SPI sběrnice. [8]



Obrázek 8 LCD Shield [8]

4.1.3 Vstupní a výstupní periferie

K vývojovým deskám Arduino lze připojit nepřeberné množství vstupních a výstupních prvků. Například připojením klávesnice a displeje je možné vytvořit jednoduchý počítač.

4.1.3.1 Vstupní periferie

Vstupní prvky dodávají určité informace do Arduina, které je zpracovává a reaguje na ně. Těmito prvky mohou být např. různé senzory, klávesnice, kamery nebo tlačítka. Vstupní periferie se rozdělují na digitální a analogové, podle toho, jaký signál generují. [9]

Digitální periferie dodávají Arduinu pouze dvoustavový napěťový signál, který vypovídá o stavu periferie. Při sepnutí těchto prvků se na vstupu Arduina objeví napětí 5 V. Rozepnutý stav prvků se na vstupu projeví nulovým napětím. [9] Typickým příkladem digitálního vstupního prvku je koncový spínač. Tyto senzory spínají nebo rozepínají elektrický obvod při změně polohy mechanické části spínače. Hojně se používají například v průmyslové automatizaci. Na digitálním vstupním pinu Arduina se v případě sepnutí spínače objeví napětí 5 V, což Arduino vyhodnocuje jako logickou hodnotu 1 a reaguje na tento stav. Následné úkony, které Arduino vykoná, závisí na programu, který je v Arduinu nahrán. [10] Koncový spínač je vyobrazen na obrázku 9.



Obrázek 9 Koncový spínač s válečkovým plunžrem [11]

Analogové vstupní prvky dodávají Arduino spojitý elektrický signál ve formě proudu či napětí. Analogovými periferiemi se dají měřit například fyzikální veličiny jako teplota, vlhkost, tlak, nebo také hmotnost. Typickým analogovým vstupním prvkem je senzor teploty (viz obrázek 10), který v závislosti na teplotě mění svůj vnitřní odpor a tím se mění i velikost elektrického proudu, který protéká přes senzor na analogový vstup Arduino. Změny těchto hodnot jsou spojitě zaznamenávány a dále zpracovávány. [9]

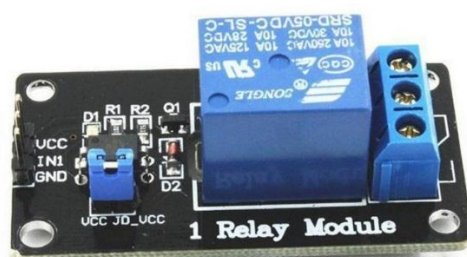


Obrázek 10 Teplotní senzor [12]

4.1.3.2 Výstupní periferie

Výstupní periferie přijímají signály vystupující z Arduino. Tyto periferie se obecně rozdělují také na analogové a digitální, Arduino však možnost analogových výstupů nemá. Digitální výstupní periferie zpracovávají dvoustavový napěťový signál 5 V nebo 0 V. Sepnutím výstupního digitálního pinu Arduino se do výstupní periferie přivede napětí 5 V a ta se uvede do chodu. [9] Takto mohou být ovládána elektrická zařízení vyžadující vstupní napětí 5 V, jako například displeje, akustické prvky, motorky či svítidla.

Někdy je třeba spínat zařízení, které vyžaduje jiné vstupní napětí než 5 V. V tomto případě se využívají výstupní periferie jako tranzistor, triak nebo relé, které spínají určitý sekundární elektrický obvod. [13] Těmito prvky může být ovládáno například spínání motorů, osvětlení atd. Na následujícím obrázku 11 je relé, které je spínáno napětím 5 V, ale napětí spínaného obvodu může být až 250 V AC a 30 V DC.



Obrázek 11 Relé 5 V s výstupem AC 250 V 10 A, DC 30 V 10 A [14]

4.1.4 Zdroje napájení

Při práci s vývojovou deskou Arduino je třeba znát, jakými způsoby ho lze napájet a jaké maximální napětí lze na desku připojit, aby nedošlo k jeho zničení. Protože vstupní napětí jednotlivých desek je různé, dále jsou uvedeny možnosti napájení desky Mega 2560, která je později v práci použita. Desku Arduino Mega 2560 lze napájet přes USB, nebo z externího zdroje napětí. [4]

Nejjednodušším způsobem je napájet desku počítačem přes USB napětím 5 V. Tento způsob napájení je velmi rychlý, protože přes USB se také nahrává program z počítače do Arduina. Po nahrání programu lze tedy ihned testovat funkčnost systému. [4]

Doporučené vstupní napětí pro napájení z externího zdroje je 7–12 V. Toto napětí je vhodné dodržovat, přestože limitní vstupní napětí je 6–20 V. Výrobce totiž uvádí, že při napájení menším napětím než 7 V může být deska nestabilní. Při vyšším napětí než 12 V hrozí přehřátí a následně zničení desky. [4]

K napájení Arduina je možné využít napájecí zdroj, který přeměňuje střídavých 230 V ze sítě na stejnosměrné napětí o nižších hodnotách (např. 7,5 V, 9 V či 12 V). Tento způsob napájení je vhodný při dlouhodobém provozu Arduina na místech, kde je k dispozici připojení do elektrické sítě.

V případě, že není možné desku připojit do elektrické sítě, jako je tomu např. u ostrovních systémů (viz kapitola 4.2.1.1), může být napájena baterií nebo akumulátorem. Každá baterie i akumulátor mají však svoji omezenou výdrž. Při napájení z baterie je v případě jejího vybití pouze jedno řešení, a to výměna za novou baterii. V případě napájení akumulátorem je řešení více. Jedním řešením je odpojit akumulátor od napájeného systému a opět ho dobít z elektrické sítě. Dalším řešením může být doplnění napájeného systému o alternativní zdroj napájení. Akumulátor je potom dobíjen obnovitelným zdrojem energie, díky kterým se výdrž prodlouží. Při správném návrhu napájení může systém fungovat samostatně až několik let bez nutnosti lidského zásahu. [15] Více o alternativních zdrojích je napsáno v následující kapitole.

4.2 Alternativní zdroje energie

Alternativní, nebo také obnovitelné zdroje, jsou přírodní zdroje energie, které jsou schopny se při postupném spotřebovávání úplně nebo částečně obnovovat. Neobnovitelné přírodní zdroje jako např. fosilní paliva při spotřebovávání zanikají. Mezi přírodní obnovitelné zdroje se řadí energie biomasy, energie bioplynu, energie slunečního záření, energie větrná, vodní energie, geotermální energie a další. Pro dobíjení malých systémů jako je Arduino jsou ideální alternativní zdroje solární a větrná energie. [16] V této práci je pro napájení desky Arduino použit alternativní zdroj ve formě solární energie. Proto je v následující podkapitole popsán právě tento zdroj energie.

4.2.1 Solární energie

Světlo je vnímáno jako naprostá samozřejmost a člověk nad jeho fyzikální podstatou často ani nepřemýšlí. Je již známo, že světlo jsou příčné elektromagnetické vlny s poměrně úzkou oblastí vlnových délek a jeví se zároveň jako tok fotonů. Tyto elektromagnetické vlny se dají využít, a jsou i využívány jako zdroj energie. Přeměna slunečního záření na elektřinu se nazývá fotovoltaika. [17]

Solární elektrárny z fotovoltaických panelů se používají po celém světě. Provádí se instalace od malých systémů s výkony řádově jednotek kilowattů až po velké systémy s výkony několika megawattů. Fotovoltaické panely produkují stejnosměrný proud, který se dá využít k napájení spotřebičů, dobíjení akumulátorových baterií či výrobě vodíku elektrolýzou vody. Vyrobená elektřina lze také dodávat do veřejné rozvodné sítě. Musí být však nejprve vhodně upravena pomocí elektronického měniče. [17]

4.2.1.1 Ostrovní solární systém

Ostrovní systémy je uzavřená lokální síť, která zásobuje elektřinou pouze malou oblast, kde může být jeden nebo až několik spotřebičů. Tato konstrukce není připojena na rozvodnou síť, spotřeba energie je tedy omezena množstvím vyprodukované elektřiny. Systémy tohoto typu se většinou využívají na místech, kde není dostupné připojení k elektrické síti. [17]



Obrázek 12 Hlavní prvky ostrovního solárního systému [18]

Ostrovní solární systémy se kromě spotřebiče skládají z fotovoltaického panelu, regulátoru napětí a akumulátoru, které jsou pro ukázkou na obrázku 12. Při navrhování ostrovního solárního systému je třeba vhodně naddimenzovat výkon fotovoltaického panelu včetně akumulátorů. Tento návrh se provádí na základě celkové spotřeby elektrické energie všech napájených spotřebičů. Spotřebičem elektrické energie je každé zařízení, které při svojí činnosti spotřebovává elektrický proud. [19] Množství odebrané energie udává příkon spotřebiče, který lze spočítat dle vzorce

$$P = U \times I, \quad (4.1)$$

kde P je elektrický příkon [W], U je elektrické napětí [V] a I je elektrický proud [A]. [20]

Elektrický příkon by měl být uveden výrobcem na štítku daného spotřebiče. Spotřeba energie za určitý časový úsek se potom vypočítá pomocí vzorce

$$E = P \times t, \quad (4.2)$$

kde E je elektrická energie [Wh], P je elektrický příkon [W] a t je čas [h]. [20]

4.2.1.2 Fotovoltaické panely

K fotovoltaické přeměně dochází v polovodičových fotovoltaických článcích (viz obrázek 13), ze kterých je tvořen fotovoltaický panel. Nejvíce rozšířené jsou fotovoltaické články na bázi krystalického křemíku, protože křemík má mnoho výhod. Je jedním z nejrozšířenějších prvků v zemské kůře a jeho cena je proto relativně nízká. Je snadno dostupný, není jedovatý a je nejvíce používaným polovodičem. V přírodě se většinou vyskytuje ve formě oxidu křemičitého (SiO_2), známého jako křemen. [17]



Obrázek 13 Fotovoltaický článek [21]

Fotovoltaické panely se rozdělují na tři základní typy. Dělí se na panely:

- monokrystalické
- polykrystalické
- amorfní

Monokrystalické panely mají v ideálních podmínkách vysokou účinnost. Panely však musí být nastaveny tak, aby sluneční paprsky dopadaly přímo kolmo na panely. Při jiném úhlu dopadu slunečních paprsků na panely účinnost těchto panelů výrazně klesá. Tyto panely mají v případě ideálních podmínek účinnost 14–18 %. [19]

Polykrystalické panely lépe zpracovávají sluneční svit i v případě, že na ně sluneční paprsky nedopadají přímo kolmo. Pokud tedy nelze fotovoltaické panely umístit na místo s dobrými podmínkami, lepší volbou jsou právě tyto panely. Instalují se třeba na střechy domů, kde není možné natočit panely do ideální polohy. Účinnost těchto panelů se pohybuje okolo 12–17 %. [19]

Amorfní panely jsou velmi citlivé na rozptýlené sluneční záření. Napětí na člancích dokáže udržet i při nižší intenzitě svitu. Jejich účinnost je ale oproti předchozím typům výrazně nižší. Pohybuje se okolo 7–9 %. Jsou tedy vhodné v případě, že nejsou podmínky ideální a je k dispozici velká plocha. Velkou výhodou těchto panelů je i nižší pořizovací cena. [22]

4.2.1.3 Výkon fotovoltaických panelů

Výkon fotovoltaických panelů se udává v jednotce Wp, která je jednotkou maximálního okamžitého výkonu fotovoltaických panelů za ideálních podmínek. Tohoto výkonu, který uvádí výrobce, lze dosáhnout ve dnech s jasnou oblohou, při optimální poloze a natočení plochy panelu kolmo ke slunci a za ideální teploty. Fotovoltaický panel s maximálním výkonem např. 1 Wp dokáže vyprodukovat za těchto ideálních podmínek výkon 1 W. [19] Maximální okamžitý výkon lze vypočítat dle vzorce

$$P_{max} = U_{max} \times I_{max}, \quad (4.3)$$

kde P_{max} je maximální okamžitý výkon [Wp], U_{max} je maximální napětí [V] a I_{max} je maximální proud [A].

Co se týče produkovaného elektrického napětí, nejběžněji se vyrábí fotovoltaické panely s nominálním výstupním napětím 12 V, 24 V nebo 48 V. Nejrozšířenější jsou však panely s výstupním napětím 12 V, protože zpracování tohoto napětí je nejjednodušší a většina spotřebičů se vyrábí rovněž na provozní napětí 12 V. Při navrhování fotovoltaického systému je třeba si uvědomit, že panel s nominálním napětím např. 12 V má za běžných podmínek napětí naprázdno výrazně vyšší než 12 V. Pokud je potřeba napájet spotřebič, který vyžaduje vstupní napětí 12 V, musí být panel zapojen přes solární regulátor napětí. Tyto regulátory, které jsou dále popsány v kapitole 4.2.1.6, regulují proměnlivé napětí z fotovoltaického panelu na požadované napětí 12 V. [19]

4.2.1.4 Umístění panelů

Fotovoltaické panely je třeba umístit tak, aby jejich účinnost byla co nejvyšší. Nejlepší poloha umístění panelu je na jih, protože na této světové straně svítí slunce přes den nejdéle. Optimální náklon panelů je v rozmezí 35° – 49° od vodorovné osy. Při provozu v letním období je vhodné mít panely nakloněné od vodorovné osy o 35°, protože slunce je v létě výše nad úrovní horizontu. V zimním období je zase lepší náklon panelu o 49°. V případě, že panely jsou instalovány napevno a bude počítáno s celoročním provozem, je výhodnější

náklon panelů o 49° od vodorovné osy. Je to z toho důvodu, že v zimě mají panely nižší výkon než v létě a vyrobené energie tak může být nedostatek. Náklonem o 49° se tedy maximálně využije energie dopadajících slunečních paprsků. [19]

4.2.1.5 Vnitřní ztráty fotovoltaických panelů

Výkon fotovoltaických panelů, který uvádí výrobce, je takový výkon, jakého lze dosáhnout za ideálních podmínek. Jednou z podmínek je ideální teplota panelů během provozu. Při zvyšování teploty nad ideální teplotu totiž stoupá vnitřní odpor panelů a výkon se snižuje. Na štítku každého fotovoltaického panelu je kromě výkonu a dalších informací uvedena ideální provozní teplota a teplotní koeficient, což je teoretická velikost úbytku výkonu při změně o určitý stupeň teploty. Při změně teploty např. o 25° C může dojít ke ztrátě výkonu až o 10 %. [19]

Pro větší odolnost je povrch fotovoltaických panelů chráněn tvrzeným sklem. Výrazně se tím zvyšuje jejich odolnost proti kroupám a další nežádoucím částicím. Skleněný povrch může mít však i negativní účinky na výkon panelů. Úbytek výkonu, který může být až 3 %, je způsoben úhlovou odrazivostí slunečních paprsků od skleněné plochy. [19]

4.2.1.6 Solární regulátory napětí

Protože výstupní napětí fotovoltaického panelu je proměnlivé, je třeba využít solární regulátor napětí (viz obrázek 14), který upraví napětí na žádanou hodnotu. Upraveným napětím lze potom dobíjet akumulátor a napájet spotřebiče. Při plně nabitém akumulátoru se regulátor sám vypne dobíjení a spotřebiče jsou napájeny pouze z akumulátoru. Je to z toho důvodu, aby nedocházelo k přebíjení akumulátoru. Při poklesu napětí na akumulátoru regulátor opět zahájí nabíjení.



Obrázek 14 Solární regulátor napětí [23]

Každý solární regulátor pracuje s určitou účinností, která se pohybuje od 80 do 95 % dle typu regulátoru. Průměrné ztráty elektrické energie v solárním regulátoru jsou okolo 10–15 %. [19]

4.2.1.7 Akumulátory

Značnou nevýhodou využívání solární energie je nerovnoměrnost slunečního svitu. Aby bylo možné spotřebič napájet i v době, kdy slunce zrovna nesvítí, musí být vyrobená energie v době jejího přebytku akumulována. [17]

Nejznámější způsob uložení energie je pomocí akumulátorových baterií, které fungují na elektrochemickém principu. Na trhu existují akumulátory různých provedení a velikostí. Během nabíjení se elektrická energie dodávaná z fotovoltaického panelu mění na energii chemickou a při vybíjení se akumulovaná chemická energie přeměňuje opět na energii elektrickou. [17]



Obrázek 15 Olověné akumulátory [24]

Nejčastěji se pro použití v ostrovních solárních systémech používají akumulátory olověné (viz obrázek 15). Tento typ se většinou prodává ve variantách s napětím 6 V nebo 12 V. Jeden článek akumulátoru má napětí 2 V. Tyto akumulátory se vyznačují dlouhou životností a funkčností v nízkých teplotách. Nevýhodou těchto akumulátorů je jejich vyšší hmotnost. [25] Existuje několik typů provedení olověných akumulátorů. Pro tento způsob využití jsou vhodné bezúdržbové uzavřené olověné akumulátory nazývané VRLA. Jejich výhoda oproti klasickým olověným akumulátorům tkví ve vyšší kapacitě a nižším samovybíjení. Tyto akumulátory se dále rozdělují na gelové akumulátory, které mají elektrolyt ve formě tekutého gelu a akumulátory AGM. Ty mají kapalný elektrolyt, který je nasáknut ve skelné hmotě.

Akumulátory VRLA se nabíjí napětím 2,4 V na článek. Akumulátory o napětí 6 V se tedy dobíjí napětím 7,2 V. Napětí akumulátoru postupně stoupá až na tuto hodnotu 7,2 V, kdy je plně nabit a mělo by být ukončeno nabíjení, aby nedocházelo k přebíjení akumulátoru. Po ukončení nabíjení se napětí akumulátoru postupně sníží na hodnotu okolo 6,4 V, což odpovídá napětí plně nabitého 6V akumulátoru. Stav nabití akumulátoru lze zjistit pomocí jeho svorkového napětí, které by se mělo měřit nějakou dobu po nabíjecím procesu, kdy je napětí nabíjením zvýšené. Po ustálení hodnot napětí stav nabití akumulátoru odpovídá hodnotám, které jsou uvedeny v tabulce 1. [26]

Tabulka 1 Stav nabití 6V akumulátoru dle svorkového napětí (vlastní, dle dat z [26])

Napětí [V]	Stav nabití [%]
6,4	100
6,25 - 6,3	75
6,1 - 6,15	50
6,0 - 6,05	25
5,9	0

Při nabíjení olovených akumulátorů dochází ke ztrátám elektrické energie, které se pohybují okolo 10 %. Využitelná kapacita olovených akumulátorů je podle stáří 80–90 %. [19]

Jako alternativa mohou být použity akumulátory typu Li-Ion. Tento typ akumulátoru se využívá hlavně ve spotřební elektronice. Jejich výhodou je nízká úroveň samovybíjení a nízká hmotnost. Velikost napětí jednoho článku je 3,6 V, což může být jeho nevýhodou. Existuje mnoho elektronických zařízení, která vyžadují napájení nižší než 3,6 V. Potom nelze tento typ akumulátoru použít. V případě použití u ostrovního systému se ale většinou využívá napětí 12 V a vyšší, lze tedy tyto akumulátory využít. Při použití tohoto typu akumulátoru je třeba se vyvarovat přílišnému vybití, při kterém dochází k nevratnému poškození akumulátoru. Velmi podobným a také použitelným typem je akumulátor Li-Pol. Má stejné vlastnosti jako baterie Li-Ion, liší se pouze formou uložení elektrolytu. Napětí jednoho článku akumulátoru je 3,7 V. [25] Akumulátory typu Li-Ion a Li-Pol je možné porovnat na obrázcích 16 a), b).



Obrázek 16 a) Li-Ion akumulátor [27]



b) Li-Pol akumulátor [28]

Jeden z hlavních parametrů, podle kterého se akumulátory vybírají je jejich kapacita. Pro vyjádření kapacity akumulátoru se využívá elektrický náboj udávaný v ampérhodinách. Výběr akumulátoru pro ostrovní systémy se provádí na základě elektrické energie, kterou napájený systém odebírá. [19]

Postup výpočtu odběru elektrické energie spotřebičů již byl uveden v podkapitole 4.2.1.1. Z odběru elektrické energie lze kapacitu, respektive elektrický náboj vypočítat dle vzorce

$$Q = \frac{E}{U} \quad (4.4)$$

kde Q je elektrický náboj (kapacita akumulátoru) [Ah], E je elektrická energie [Wh] a U je napětí akumulátoru [V]. [20]

5 Volba sestavy pro praktický návrh napájení

Protože cílem této práce je navrhnout alternativní zdroj napájení univerzální konfigurace systému Arduino s běžně používanými komponenty, bylo třeba v první řadě jednotlivé komponenty vybrat. V této kapitole jsou nejdříve popsány zvolené komponenty a následně postup měření spotřeby elektrické energie těchto komponent.

5.1 Volba sestavy

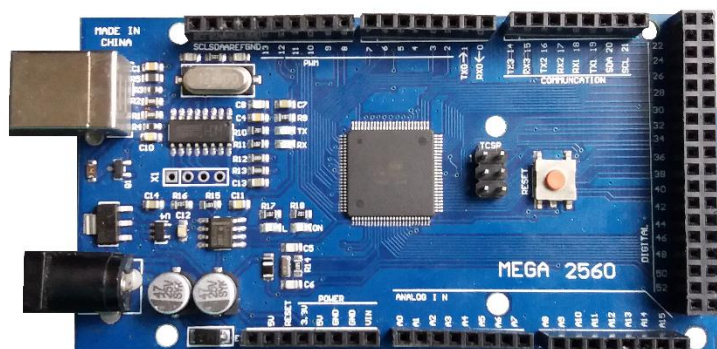
Pro návrh možností napájení alternativními zdroji systému Arduino byl vybrán klon vývojové desky Arduino Mega 2560, a to z důvodu výkonného procesoru a velkého počtu vstupních a výstupních pinů. Při realizaci různých systémů s deskou Arduino se často využívá LCD displej pro vizualizaci určitých dat, proto byl také vybrán LCD displej.

Dnešním trendem je sdílení informací na síti Internet. Proto byl vybrán Ethernet Shield, který komunikaci po síti Internet umožňuje.

5.1.1 Klon Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 již bylo částečně popsáno v kapitole 4.1.1.2. Na následujících řádcích je více popsán vybraný klon.

Vybraná deska (obrázek 17) byla kopie (klon) Arduina Mega 2560, nikoli originál. Klonu desky Arduino Mega 2560 byla dána přednost oproti originálu z důvodu jeho nižší ceny. Parametry a konstrukce tohoto klonu jsou však shodné s originální deskou. Tento typ desky byl vybrán z toho důvodu, že má velký počet vstupně výstupních pinů a výrazně silnější procesor ve srovnání např. s deskou Uno. Výrobce klonu je neznámý.

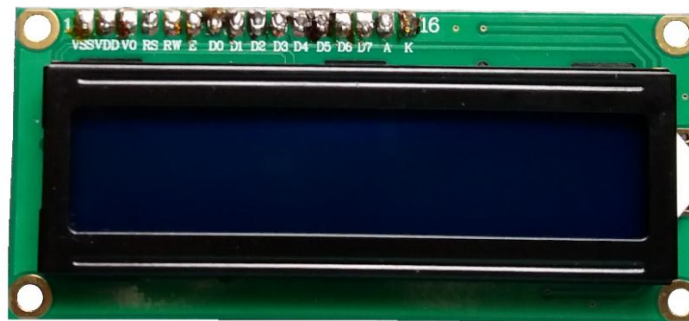


Obrázek 17 Klon Arduino Mega 2560 [vlastní]

Klon Arduino Mega 2560 je kompatibilní s většinou existujících Shieldů. Každý z 54 digitálních pinů, pracujících s napětím 5 V, mohou být použity jako vstup nebo výstup. Analogové vstupy měří změnu napětí mezi analogovými piny a zemí GND. Maximální měřitelné napětí je rovněž 5 V.

5.1.2 LCD displej

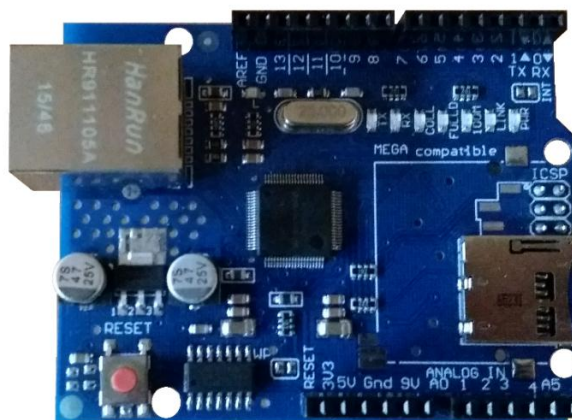
Pro zobrazování dat byl vybrán displej typu LCD (obrázek 18), což znamená displej z tekutých krystalů. Displej má 16×2 zobrazovacích matic, tedy celkem 32 matic o velikosti 5×7 pixelů. Na displeji lze zobrazovat všechny znaky ze sady ASCII, případně vlastní nadefinované znaky. Při programování LCD displeje lze využít knihovny LiquidCrystal, která umožňuje aplikovat mnoho předdefinovaných funkcí. Výrobce displeje je neznámý.



Obrázek 18 LCD displej [vlastní]

5.1.3 Ethernet Shield

Originální Arduino Ethernet Shield byl již popsán v kapitole 4.1.2.1. Ethernet Shield, který byl vybrán, vyrábí firma HanRun. Funguje však stejně jako Shield originální. Shield stačí nasadit na některou z desek Arduino, připojit do počítačové sítě a je možné ji ihned zprovoznit. Při programování Ethernet Shieldu je možné využít knihovnu Ethernet, která umožňuje například vytvářet vlastní webový sever, připojovat se jako klient na jiný server a další zajímavé funkce.



Obrázek 19 HanRun Ethernet Shield [vlastní]

Jak je zřejmé z obrázku 19, Shield lze do sítě připojit pomocí konektoru RJ45. Nechybí ani slot na paměťovou kartu typu microSD, na kterou je možné ukládat data.

5.2 Odběry jednotlivých prvků sestavy

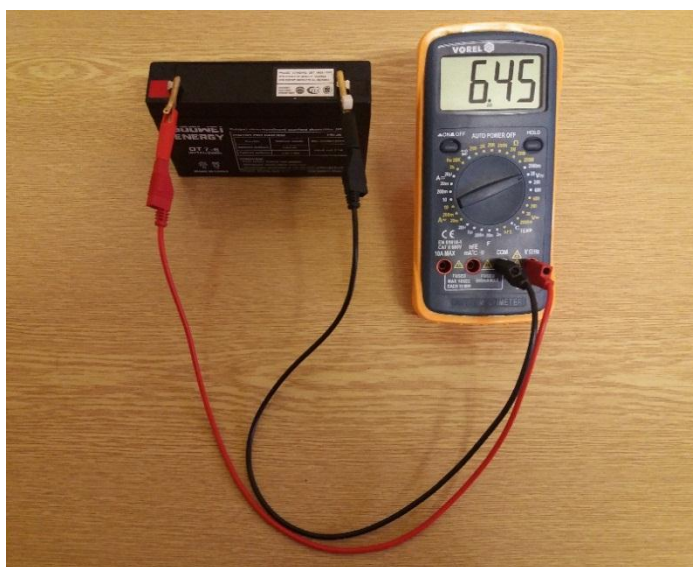
Aby mohl být navrhnout fotovoltaický panel, který by měl mít dostatečně velký výkon na nepřetržitě napájení zvolené sestavy, muselo být v první řadě provedeno měření odběru elektrického proudu sestavy a následně musela být vypočítána denní spotřeba elektrické energie.

Během měření elektrického proudu odebíraného sestavou byla sestava napájena olověným akumulátorem Goowei OT7-6, jehož parametry jsou popsány v následující tabulce 2.

Tabulka 2 Parametry akumulátoru Goowei OT7-6 [vlastní, dle dat výrobce]

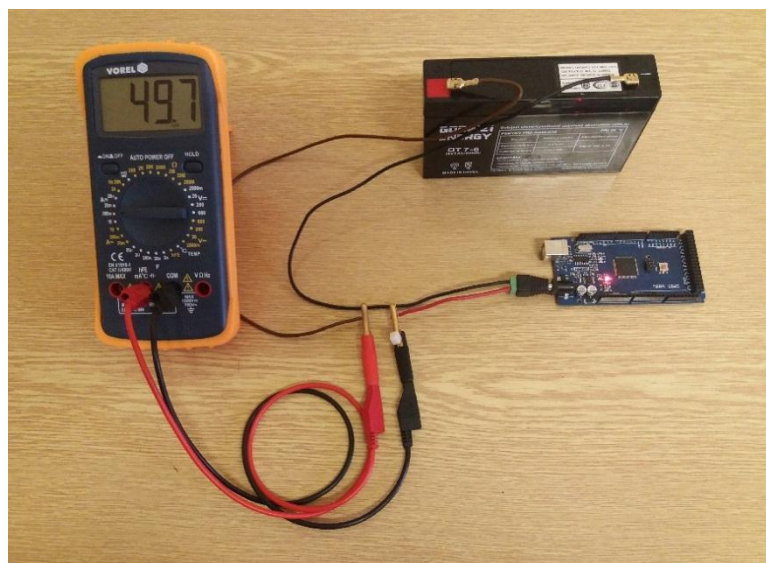
Kapacita [Ah]	7
Napětí [V]	6
Typ	VRLA, AGM
Typ konektoru	Faston
Rozměr konektoru [mm]	4,7
Hmotnost [kg]	1,13

Napětí akumulátoru a odběr elektrického proudu jednotlivých prvků sestavy byl měřen digitálním multimetrem Vorel TO-81784, který je vidět např. na obrázku 20.



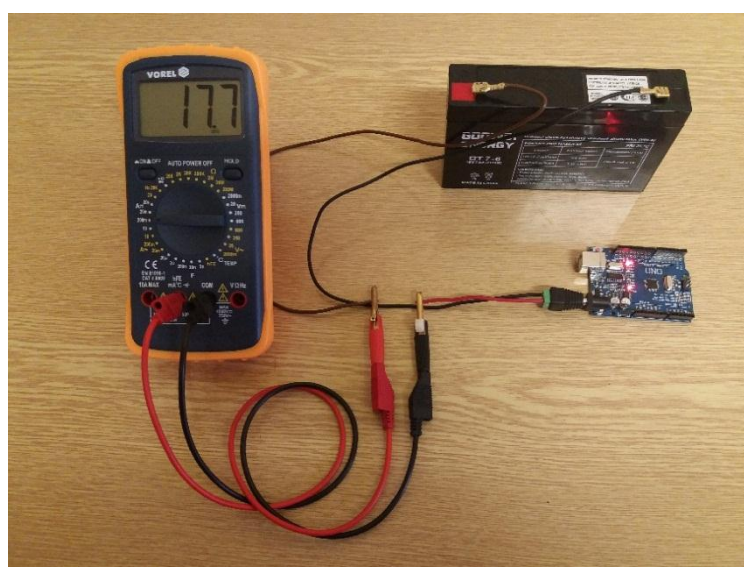
Obrázek 20 Měření svorkového napětí olověného akumulátoru VRLA [vlastní]

Pro srovnání bylo nejprve provedeno měření odběru elektrického proudu jednotlivých prvků a následně celého systému. Nejprve byl měřen proud odebíraný samotnou deskou Arduino Mega 2560. Aby Arduino vykonávalo během měření nějakou činnost, před samotným měřením byl do desky nahrán program s názvem Blink, který je součástí základních příkladů poskytovaných knihovnou Arduino. Jak je vidět na obrázku 21, naměřený elektrický proud dosahoval hodnot 49,7 mA.



Obrázek 21 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 [vlastní]

Z naměřené hodnoty elektrického proudu a elektrického napájecího napětí o hodnotě 6,45 V (viz obrázek 20) byl vypočítán elektrický příkon dle vzorce (4.1), který vyšel 0,32 W. Dále byla vypočítána denní spotřeba energie 7,69 Wh dle vzorce (4.2). Hodnoty elektrického příkonu a denní spotřeby energie jednotlivých prvků v tabulce 3 byly rovněž vypočítány dle vzorců (4.1) a (4.2).



Obrázek 22 Měření odběru proudu Arduina Uno [vlastní]

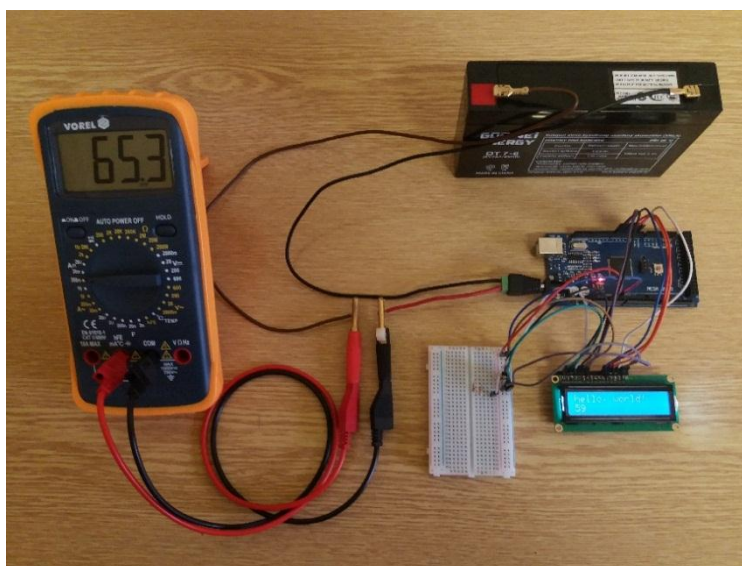
Pro zajímavost bylo také provedeno měření odběru proudu klonu desky Arduino Uno, které proběhlo za stejných podmínek. Jak je možné vidět na obrázku 22, odebíraný proud byl 17,7 mA, tedy méně než poloviční odběr proudu oproti klonu desky Mega 2560. Tyto

hodnoty lze porovnat v tabulce 3. V případě, že při výběru desky Arduino je zásadní její spotřeba, je vhodné dát přednost desce Uno před deskou Mega 2560.

Tabulka 3 Měření spotřeby jednotlivých komponent [vlastní]

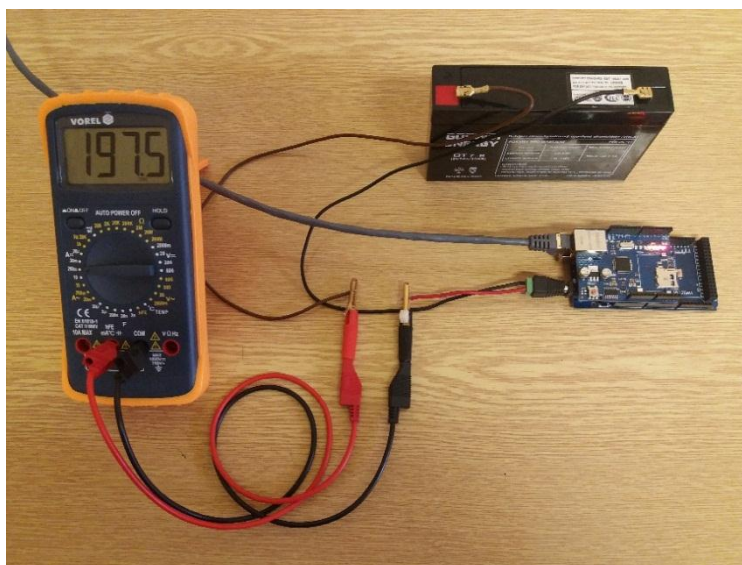
	Mega 2560	Uno	Mega 2560 + LCD	Mega 2560 + Ethernet	Mega 2560 + Ethernet + LCD
Elektrický proud [mA]	49,7	17,7	65,3	197,5	210
Elektrické napětí [V]	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
Elektrický příkon [W]	0,32	0,11	0,42	1,27	1,35
Denní spotřeba energie [Wh]	7,69	2,74	10,11	30,57	32,51

Dále bylo provedeno měření odběru elektrického proudu desky Arduino Mega 2560 osazené LCD displejem. Do Arduina byl nahrán program rovněž z knihovny Arduino s názvem HelloWorld. Tento program na displeji zobrazí nápis „hello, world!“ a čas od spuštění programu. Přidáním LCD displeje se spotřeba proudu zvedla o 15,6 mA, celková spotřeba proudu byla totiž 65,3 mA, jak je zřejmé z obrázku 23. Denní spotřeba elektrické energie byla 10,11 Wh, jak je možné vidět také v tabulce 3.



Obrázek 23 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 s LCD displejem [vlastní]

Deska Arduino Mega 2560 s Ethernet Shieldem dle naměřených hodnot odebírá 197,5 mA (viz obrázek 24). Připojením Ethernet Shieldu se celkový odběr elektrického proudu zvedl o 147,8 mA.

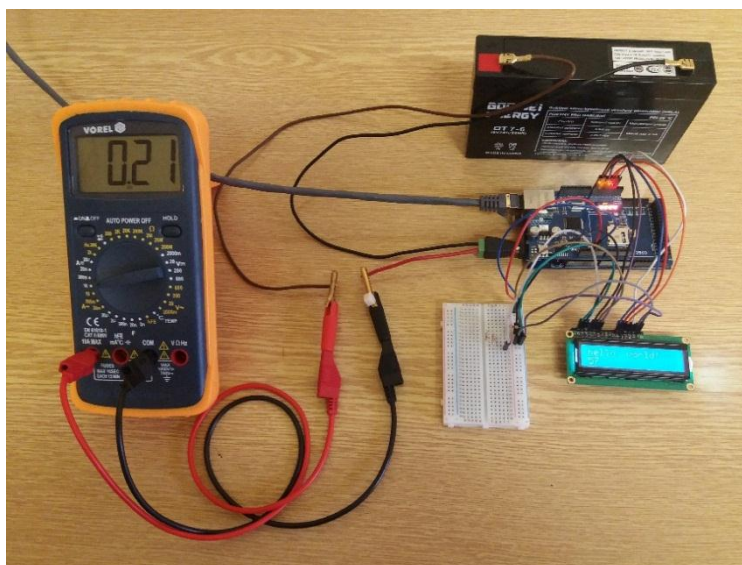


Obrázek 24 Měření odběru proudu Arduina Mega 2560 s Ethernet Shieldem [vlastní]

Před samotným měřením byla sestava připojena přes router do lokální sítě a do Arduina byl nahrán program z knihovny programů Arduina s názvem WebServer. Tento program dokáže vytvořit webový server na volitelné IP adrese a portu 80. V programu byla změněna předem definovaná IP adresa na adresu 10.0.0.50, která odpovídá rozsahu lokální sítě, do které byla sestava připojena. Dále byla změněna data, která měla být na serveru zobrazována. Program byl upraven tak, aby se na webové stránce na definovaném serveru zobrazoval nápis „hello, world!“ a čas od spuštění programu, stejně jako tomu bylo u programu pro LCD displej.

U systémů napájených fotovoltaickým panelem je často vyžadován co nejmenší odběr proudu celého napájeného systému. Proto je třeba zvážit, zda je nutné do systému Ethernet Shield zakomponovat. Odběr elektrického proudu je totiž skoro trojnásobný oproti odběru proudu samotné desky Arduino Mega 2560 a tím pádem bude muset být i výrazně výkonnější fotovoltaický panel. V tabulce 3 je možné vidět, o kolik bude vyšší denní spotřeba energie celkového systému s Ethernet Shieldem oproti systému bez Ethernet Shieldu.

Poslední měření bylo provedeno s kompletní sestavou, tedy Arduinem Mega 2560, Ethernet Shieldem a LCD displejem. Program, který byl do Arduina nahrán byl stejný jako při měření Arduina Mega 2560 a Ethernet Shieldu. Byl pouze doplněn o příkazy, díky kterým LCD displej zobrazoval stejná data jako webová stránka, tedy „hello, world!“ a čas od spuštění programu.



Obrázek 25 Měření odběru proudu celé sestavy [vlastní]

Jak je vidět na obrázku 25, celková spotřeba elektrického proudu byla 210 mA. Vypočítaný elektrický příkon byl tedy 1,35 W a denní spotřeba elektrické energie byla 32,51 Wh. Navrhovaný fotovoltaický panel musí teoreticky denně vytvořit minimálně 32,51 Wh, aby pokryl denní spotřebu systému. Více informací o navrhování fotovoltaického panelu je v následující kapitole.

6 Návrh alternativního zdroje napájení

V této kapitole je popsáno, jak byl prováděn návrh alternativního zdroje napájení pro zvolenou sestavu s deskou Arduino Mega 2560. Návrh byl proveden na základě změřené denní energetické spotřeby celé sestavy. Před samotným výběrem vhodného fotovoltaického panelu je třeba nejprve vybrat solární regulátor, a ještě provést několik výpočtů.

6.1 Výběr solárního regulátoru

Elektrické napětí, které je na výstupu fotovoltaického panelu může značně kolísat, proto musí být připojen ke spotřebiči přes solární regulátor. Protože běžně používané solární regulátory pro fotovoltaické systémy stojí řádově několik stovek korun, pro napájení desky Arduino by mohla stačit levnější varianta v podobě nastavitelného měniče napětí. Jeho cena se pohybuje řádově v desítkách korun.



Obrázek 26 Stepdown měnič napětí [14]

Pro napájení systému byl zvolen „Stepdown“ měnič napětí s řídicím obvodem LM2596. Tento měnič (viz obrázek 26) dokáže snižovat vstupní napětí v rozmezí 4,5–53 V na nižší napětí, které lze nastavit pomocí trimru.

6.2 Výpočet ztrát výkonu

Protože mezi fotovoltaickým panelem a spotřebičem musí být měnič napětí, v elektrickém obvodu přibude další součástka, která spotřebovává elektrický proud. Při regulaci napětí vznikají ztráty, které se projeví na elektrické energii dodávané do spotřebiče. Dle výrobce použitého měniče napětí je jeho účinnost maximálně 92 %. Z toho vyplývá, že ztráty v dodané energii jsou minimálně 8 % a více. Je však vhodné předpokládat, že ztráty budou vyšší, než udává výrobce. Jak bylo napsáno v kapitole 4.2.1.6, solární regulátory, které se běžně používají ve fotovoltaických systémech mají průměrné ztráty okolo 15 %. Proto se bude dále počítat s touto hodnotou.

Další ztráty se projeví při dobíjení akumulátoru. Když je nadbytek energie a Arduino nespotřebuje všechnu vyrobenou energii, přebytečná energie se akumuluje. Při dobíjení akumulátoru však dochází také ke ztrátám energie. Jak bylo napsáno v kapitole 4.2.1.7, průměrné ztráty při dobíjení akumulátorů se pohybují okolo 10 %. Pokud by se uvažovalo, že při dobíjení se ztratí cca 10 % energie a k nabíjení dochází pouze přes den, kdy svítí slunce a energie je nadbytek, z denní vyprodukované energie by byly ztráty při nabíjení pouze 5 %, protože ke ztrátám by docházelo pouze polovinu dne. Poloviční by byly potom i ztráty.

Elektrická energie, kterou musí fotovoltaický panel vyprodukovat, aby pokryl spotřebu navrženého systému, musí být vyšší o tyto ztráty. Kdyby tyto ztráty nebyly započítány, vyprodukovaná energie by nebyla dostatečná. Za předpokladu, že ztráty v měniči napětí budou průměrně 15 % a ztráty při nabíjení akumulátoru 5 %, celkové ztráty budou 20 %.

Denní spotřeba energie navrženého systému je 32,51 Wh. Připočítáním ztrát se spotřeba zvýší na 39 Wh.

6.3 Návrh fotovoltaického panelu

Je třeba navrhnout dostatečně výkonný fotovoltaický panel, který by pokryl denní spotřebu energie navrženého systému. Výkon fotovoltaických panelů se udává jednotkou Wp, jenže jak již bylo řečeno, tato jednotka udává maximální okamžitý výkon panelu za ideálních podmínek. Pro návrh vhodného panelu je však třeba zjistit, kolik energie je panel schopen vyprodukovat na den.

6.3.1 Skutečný výkon fotovoltaického panelu

Výkon fotovoltaického panelu se během dne stále mění v závislosti na oblačnosti, úhlu dopadu slunečních paprsků a dalších negativních vlivech. V noci panely žádnou energii neprodukují, proto musí přes den vyprodukovat navíc tolik energie, aby se přebytečná energie akumulovala a pokryla tak odběr zařízení v nočních hodinách. Pro zjištění průměrné denní vyprodukované elektrické energie byla využita kalkulačka na internetových stránkách Evropského výzkumného institutu pro životní prostředí. [29] Tuto kalkulačku se běžně používá i při návrhu velkých fotovoltaických elektráren.

Data vygenerována kalkulačkou jsou uvedena v tabulce 4. Tato tabulka uvádí množství elektrické energie vyrobené průměrně za den a za měsíc v jednotlivých měsících z celého roku fotovoltaickým panelem o maximálním výkonu 100 Wp. Data odpovídají podmínkám ve středočeském kraji ČR, při orientaci směru natočení fotovoltaického panelu na jih a úhlu náklonu o 35° od vodorovné osy.

Při návrhu dostatečně výkonného panelu je třeba si rozmyslet, v jakém období se bude systém solární energií napájet. V případě, že by byl systém napájen celoročně, výkonnost v letních a zimních měsících je velice rozdílná. V tabulce 4 je vidět, že průměrná produkce energie v letních měsících je více než čtyřnásobná oproti produkci v zimních měsících. Pokud by byl fotovoltaický panel navržen dle hodnot z letních měsíců, v zimě by pak neprodukoval dostatek energie, aby pokryl spotřebu elektřiny napájeného systému. Naopak při návrhu panelu dle hodnot v zimních měsících by v letním období panel produkoval nadměrné množství energie, která se nespotřebuje a panel se stává nevyužitým.

Tabulka 4 Průměrný výkon fotovoltaického panelu o maximálním výkonu 100 Wp [vlastní]

Měsíc	Energie za den [Wh]	Energie za měsíc [kWh]
Leden	100	3,16
Únor	190	5,28
Březen	330	10,20
Duben	460	13,70
Květen	450	14,10
Červen	460	13,90
Červenec	460	14,20
Srpen	430	13,50
Září	350	10,50
Říjen	250	7,82
Listopad	130	3,89
Prosinec	90	2,83

Při návrhu se uvažovalo, že navržený systém se bude využívat převážně v letním období, např. pro měření teploty a vlhkosti skleníku. Výpočty výkonu panelu tedy byly prováděny v období duben–září. Muselo se počítat s hodnotami produkované energie v měsíci, kdy je produkce energie nejnižší z vybraného období. Tento výběr se provádí z toho důvodu, aby byl panel dostatečně výkonný i v tomto měsíci s nejnižší produkcí energie. Z vybraného období duben–září to byl měsíc září (viz tabulka 4), ve kterém je průměrná denní produkce energie 350 Wh vyrobená panelem o výkonu 100 Wp. Z toho vyplývá, že fotovoltaický panel o výkonu 1 Wp vyprodukuje za den v tomto měsíci 3,5 Wh.

Pokud je třeba pokrýt již vypočtenou denní spotřebu energie se započítanými ztrátami 39 Wh, pak dělením této hodnoty energií 3,5 Wh, což je denní produkce energie 1 Wp panelu v září, vyjde potřebný výkon panelu 11,1 Wp. Na pokrytí denní spotřeby energie je tedy třeba fotovoltaický panel minimálně o výkonu 11,1 Wp. Tento výkon by stačil, kdyby výstupní napětí panelu bylo 6,45 V, což je potřebné napětí pro napájení systému a vycházelo se z něj i při výpočtu spotřeby energie. Při tomto napětí by panel o výkonu 11,1 Wp produkoval proud 1,72 A. Protože panel o tomto výkonu 11,1 Wp se nevyrábí, musí být zvolen panel s vyšším výkonem. Musí být však dodržena minimální hodnota napětí 6,45 V a hodnota proudu 1,72 A. Mohlo by se zdát, že např. 20 Wp panel bude stačit, protože výkon panelu je vyšší než vypočtený výkon 11,1 Wp. Fotovoltaické panely s výkonem 20 Wp, které se běžně na trhu prodávají však mají poměrně vysoké výstupní maximální napětí (např.

18 V) a tím pádem maximální proud pouze 1,11 A podle vzorce (4.3). V tomto případě by bylo napětí snižováno regulátorem na hodnotu 6,45 V ale proud by byl nedostačující. Když by se vypočítal maximální výkon při sníženém napětí, vyjde hodnota výkonu pouze 7,16 W. Fotovoltaický panel je tedy třeba vybírat hlavně podle maximálního proudu, který je schopný vyprodukovat.

Pro porovnání byl stejným postupem vypočten potřebný výkon fotovoltaického panelu na pokrytí spotřeby sestavy bez Ethernet Shieldu. Denní spotřeba Arduina Mega 2560 a LCD displeje je 10,11 Wh. Se započtenými ztrátami je spotřeba 12,13 Wh, výkon fotovoltaického panelu by musel být minimálně 3,47 Wp. Na pokrytí spotřeby energie sestavy bez Ethernet Shieldu by tedy stačil fotovoltaický panel se zhruba třetinovým výkonem. Tento fakt by se rovněž promítl na ceně panelu.

6.3.2 Výběr vhodného fotovoltaického panelu

Protože fotovoltaické panely s výkonem 11,1 Wp se nevyrábí, musí být zvolen panel s vyšším výkonem a maximálním možným proudem vyšším, než 1,72 A.

Byl vybrán polykrystalický panel STM5-40/36 Series od firmy Schutten solar. Bližší parametry tohoto 40Wp panelu jsou k dispozici v následující tabulce 5. Maximální proud panelu je dle výrobce 2,23 A, je tedy pro pokrytí spotřeby systému dostačující. Cena tohoto panelu se pohybuje na trhu okolo 900 Kč.

Tabulka 5 Parametry polykrystalického panelu STM5-20/36 (vlastní, dle dat z [30])

Maximální okamžitý výkon [Wp]	40
Napětí při maximálním výkonu [V]	18
Proud při maximálním výkonu [A]	2,23
Napětí naprázdno [V]	21,6
Proud nakrátko [A]	2,36
Účinnost [%]	13,26
Provozní teplota [° C]	-40 až +85
Rozměry [mm]	540×510×25

Alternativou k tomuto panelu by mohl být polykrystalický panel Sunny-40P od firmy GWL Power. Tento panel má rovněž maximální okamžitý výkon 40 Wp. Další parametry jsou na následující tabulce 6. Cena tohoto fotovoltaického panelu se na trhu pohybuje okolo 800 Kč.

Tabulka 6 Parametry polykrystalického panelu Sunny-40P (vlastní, dle dat z [31])

Maximální okamžitý výkon [Wp]	40
Napětí při maximálním výkonu [V]	18,43
Proud při maximálním výkonu [A]	2,17
Napětí naprázdno [V]	22,2
Proud nakrátko [A]	2,32
Účinnost [%]	13,17
Rozměry [mm]	669×455×28

Byly zvoleny dvě možnosti fotovoltaických panelů pro napájení zvolené sestavy. Dále byl proveden návrh akumulátor, který je důležitý pro pokrytí spotřeby v nočních hodinách.

6.4 Návrh vhodného akumulátoru

U ostrovních solárních systémů se většinou z důvodu nízké ceny a vhodných vlastností využívají bezúdržbové olovené akumulátory VRLA. Proto byl navrhován právě tento typ akumulátoru. Olovené akumulátory se vyrábí s hodnotou napětí 6 V nebo 12 V. Protože plně nabitý 12V akumulátor by měl mít dle výrobců napětí 12,8 V a během nabíjení až 14,4 V, při použití tohoto akumulátoru pro napájení Arduina by bylo napětí zbytečně vysoké. Proto byl zvolen akumulátor a napětím 6 V, který má při plném nabití okolo 6,4 V, jak uvádí tabulka 1. Aby mohl být vybrán konkrétní akumulátor, musí být nejprve vypočítána jeho potřebná kapacita.

6.4.1 Výpočet kapacity akumulátoru

Protože se může stát, že i v letním období, pro které byl systém navržen, může být několik dní za sebou oblačno a deštivo, fotovoltaický panel by během těchto dní vyrobil minimum energie. V nejhorším případě žádnou. Navržená sestava by pak byla napájena pouze z akumulátoru. Proto je třeba navrhnout akumulátor s dostatečnou kapacitou, aby mohl případně systém několik dní napájet.

V následujícím výpočtu se vychází z předpokladu, že takovéto nepříznivé počasí bude nejdéle 4 dny za sebou. Akumulátor tedy musí mít takovou kapacitu, aby vydržel napájet systém alespoň 4 dny. Denní spotřeba energie celé sestavy je 39 Wh. Pokud by měl být

system napájen z akumulátoru 1 den, musel by být schopen dodat energii 39 Wh. Z této elektrické energie lze vypočítat potřebnou kapacitu akumulátoru pomocí vzorce (4.4).

Protože napětí akumulátoru v nabitém stavu bylo naměřeno 6,45 V a denní spotřeba systému byla 39 Wh, kapacita akumulátoru vyjde dle uvedeného vzorce 6,04 Ah, což vystačí na pokrytí spotřebované energie za jeden den. Pokud má akumulátor vydržet systém napájet alespoň 4 dny, musí být tato kapacita vynásobena počtem dní. Celková kapacita akumulátoru tedy musí být 24,2 Ah.

Jak bylo napsáno v kapitole 4.2.1.7, je vhodné počítat s tím, že nelze využít celkovou kapacitu akumulátoru, ale pouze 80–90 %. Pokud by se počítalo s průměrem této hodnoty, vypočítaná hodnota 24,2 Ah je tedy pouze 85 % kapacity akumulátoru, který musí být vybrán. 100 % kapacity akumulátoru je tedy 28,45 Ah. Akumulátor s minimálně takovouto kapacitou by měl vydržet napájet zvolenou sestavu alespoň 4 dny.

6.4.2 Výběr vhodného typu akumulátoru

Protože akumulátory s vypočítanou kapacitou 28,45 Ah se nevyrábí, musel být vybrán akumulátor s vyšší kapacitou. Akumulátory s napětím 6 V se však vyrábí s neblíží kapacitou pouze 12 Ah, nebo až 100 Ah, nešlo tedy vybrat jeden akumulátor, který by se přibližoval vypočítaným hodnotám kapacity. Protože lze zapojit více akumulátorů paralelně a zvýšit tím jejich kapacitu, byly vybrány tři 6V akumulátory Ultracell UL12-6 s kapacitou 12 Ah. Při zapojení těchto akumulátorů paralelně by jejich kapacita byla celkem 36 Ah, což vyhovuje vypočtené kapacitě s dostatečnou rezervou. Parametry těchto akumulátorů jsou popsány v tabulce 7.

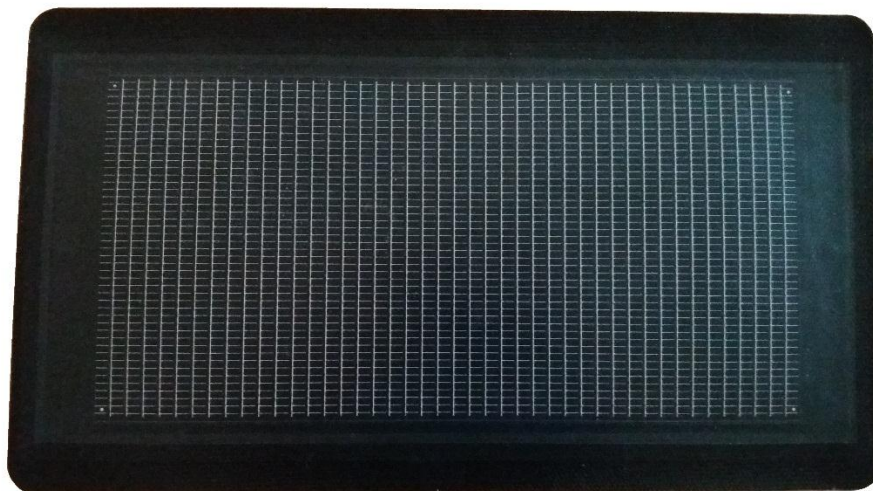
Tabulka 7 Parametry akumulátoru Ultracell UL12-6 (vlastní, dle dat z [32])

Kapacita [Ah]	12
Napětí [V]	6
Typ	VRLA, AGM
Hmotnost [kg]	1,62
Typ konektoru	Faston
Rozměr konektoru [mm]	4,7

7 Praktické ověření navrženého napájení

Pro praktické ověření by bylo třeba zakoupit jeden z vybraných fotovoltaických panelů a vybraný akumulátor. Pro účely jednorázového odzkoušení by však byly navržené prvky poměrně nákladné. Proto byly pro praktické ověření návrhu využity fotovoltaický panel a akumulátor, které byly k dispozici.

Fotovoltaický panel (obrázek 27), který byl k dispozici měl bohužel maximální výkon pouze 4 Wp, což je výrazně menší výkon, než by bylo třeba. Nemohl být tedy napájen celý navržený systém, který vyžadoval panel o výkonu alespoň 11,1 Wp. Bylo tedy třeba zjistit, jakou denní spotřebu energie je panel schopen pokrýt. Protože udávaný výkon panelu 4 Wp je pouze při maximálním napětí (dle výrobce panelu 18 V), po snížení napětí regulátorem na hodnotu 6,45 V bude maximální možný výkon výrazně nižší. Proto bylo nejprve provedeno měření výkonu panelu. Panel byl při měření připojen k akumulátoru, aby bylo měření prováděno při zátěži. Maximální proud, který byl za slunečného počasí naměřen dosahoval 215 mA při napětí 6,45 V. Maximální výkon panelu při tomto napětí je tedy 1,39 W.



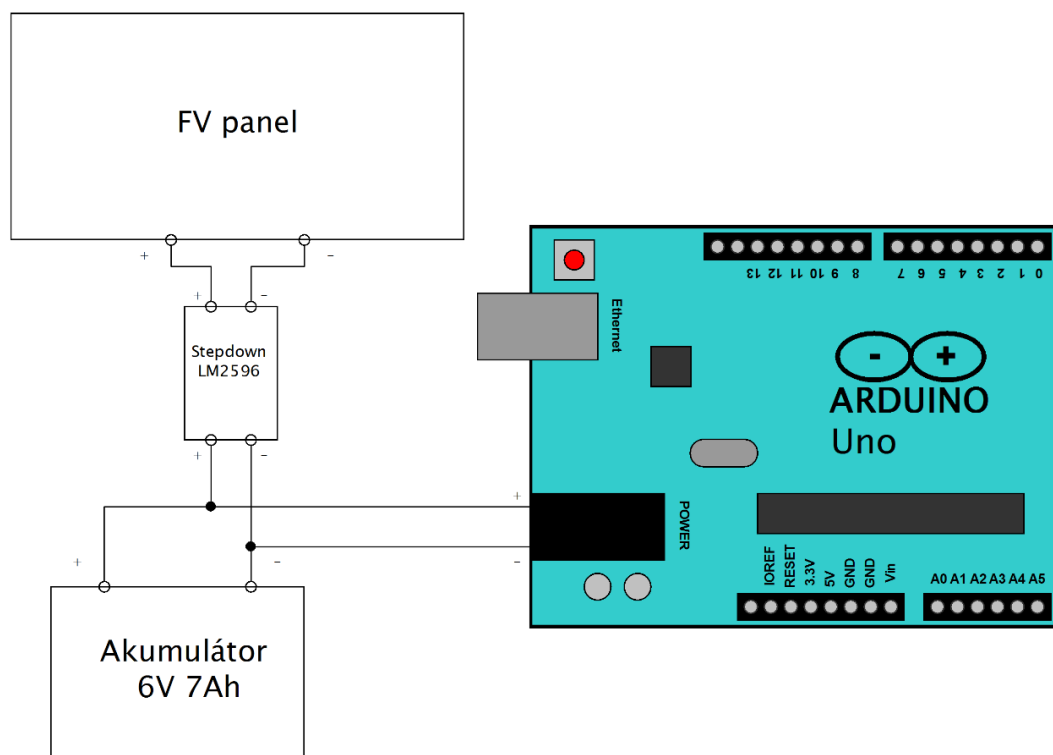
Obrázek 27 Fotovoltaický panel SWSME – 0040 od firmy Ascent SOLAR [vlastní]

Protože testování mělo být prováděno v březnu, dle tabulky 4 dokáže panel o výkonu 100 Wp vyprodukovat průměrně za den v březnu 330 Wh. Panel o výkonu 1,39 W tedy vyprodukuje průměrně za den 4,59 Wh. Do této denní spotřeby energie se ze všech měřených zařízení vejde pouze Arduino Uno s denním odběrem energie 2,74 Wh, jak je vidět v tabulce 4. Proto bylo praktické ověření provedeno právě s touto deskou.

Akumulátor, který byl k dispozici pro praktické ověření, byl stejný akumulátor, se kterým byly měřeny odběry elektrického proudu jednotlivých komponent systému. Parametry akumulátoru byly uvedeny již v kapitole 5.2. Bylo však třeba vypočítat, jak dlouho vydrží akumulátor napájet systém v případě, že by delší dobu nesvítilo slunce. Počet hodin lze vypočítat dle vzorce (4.2) z elektrické energie, kterou je akumulátor schopen vydat. Tato energie však musela být nejprve vypočítána a dle vzorce (4.4)(4.4) vyšla 45,15 Wh. Následně byl vypočítán čas výdrže akumulátoru pomocí vzorce (4.2), který vyšel 410,5 h. Protože využitelnost kapacity akumulátoru je pouze 85 % celkové kapacity, při započítání této účinnosti byl konečný výsledek 348,9 h. Použitý akumulátor by měl být schopný systém napájet 14 dní a 13 hodin. Z toho vyplývá, že teprve po 14 dnech, kdy by nesvítilo slunce by mohlo dojít ke kolizi napájeného systému.

7.1 Příprava testovací sestavy

Sestava pro testování fotovoltaického zdroje napájení již byla navržena. Stačilo už jen provést zapojení všech prvků systému, nahrát program do Arduina a vystavit systém účinkům slunečního záření. Schéma zapojení systému je k dispozici na obrázku 28.



Obrázek 28 Schéma zapojení fotovoltaického systému [vlastní, vytvořeno v softwaru ProfiCAD]

Pro testování byl do Arduina nahrán stejný program jako při měření odběru proudu této desky Arduino Uno, tedy program Blink, jak bylo popsáno v kapitole 5.2. Po nahrání programu bylo provedeno zapojení celého systému dle schématu na obrázku 28. Protože akumulátory VRLA se nabíjí napětím 7,2 V, jak je popsáno v kapitole 4.2.1.7, výstupní napětí regulátoru bylo nastaveno na tuto hodnotu.

7.2 Ověření funkčnosti zvolené sestavy

Testování systému bylo zahájeno 1. března 2018 v 10 hodin ráno. Fotovoltaický panel byl instalován na jižní stranu s náklonem 40° od vodorovné osy. Před spuštěním bylo měřeno napětí akumulátoru, které dosahovalo hodnot 6,43 V, což odpovídalo dle tabulky 1 stavu plně nabitého akumulátoru. Také byl ještě změřen odběr proudu Arduina, který dosahoval hodnot 17,2 mA. Zařízení Arduino s ostatními komponenty bylo uloženo v plastovém boxu, který je chrání proti dešti, jak je možné vidět na obrázku 29. Celá sestava byla umístěna pod přístřeškem, takže déšť by se k zařízení dostal pouze v extrémních případech.



Obrázek 29 Testovací sestava [vlastní]

Během testování bylo pravidelně prováděno měření napětí na svorkách akumulátoru, čímž byl kontrolován stav nabití akumulátoru. Měření bylo prováděno každý den okolo deváté hodiny večer. Testování bylo ukončeno 25. března 2018 ve 21:25 hodin. V tento čas bylo provedeno poslední měření, které ukázalo, že napětí akumulátoru je po 25 dnech 6,35 V. Výrobce akumulátoru uvádí, že napětí plně nabitého akumulátoru je v rozmezí 6,3 – 6,4 V. Z toho vyplývá, že akumulátor je po 25 dnech stále plně nabit. Fotovoltaický panel má tedy

dostatečný výkon na to, aby pokryl spotřebu elektrické energie desky Arduino Uno. Průběžné naměřené hodnoty napětí jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Naměřené napětí akumulátoru během testování [vlastní]

Den	Čas měření	Naměřené napětí [V]
1. března	21:15	6,48
2. března	21:05	6,36
3. března	20:55	6,48
4. března	21:05	6,46
5. března	21:00	6,36
6. března	22:15	6,34
7. března	21:10	6,32
8. března	21:35	6,36
9. března	21:00	6,35
10. března	21:10	6,36
11. března	20:50	6,39
12. března	21:15	6,35
13. března	21:25	6,33
14. března	21:00	6,29
15. března	21:05	6,33
16. března	22:45	6,28
17. března	21:35	6,24
18. března	21:00	6,20
19. března	21:20	6,23
20. března	21:10	6,31
21. března	22:30	6,38
22. března	21:40	6,36
23. března	21:00	6,32
24. března	21:10	6,31
25. března	21:25	6,35

Protože akumulátor byl po 25 dnech stále plně nabit, dá se konstatovat, že postup při návrhu solárního napájení byl správný a solární napájení by mohlo být využito dlouhodobě. Protože návrh solárního napájení vybrané sestavy (Arduina Mega 2560, LCD displeje a Ethernet Shieldu) byl prováděn stejným postupem jako testovací solární napájení, dá se předpokládat, že navržený solární systém by měl být dostačující.

8 Diskuse

Bylo potvrzeno, že systém Arduino lze dlouhodobě napájet solárním zdrojem energie. Musí však být dostatečně naddimenzován výkon použitého fotovoltaického panelu. Přestože výsledky testování navrženého solárního systému vyšly pozitivně, šlo by aplikovat ještě pár vylepšení, která by napomohla např. větší úspoře odebírané energie. Arduino lze totiž během jeho chodu programově přepnout do režimu spánku, čímž se sníží jeho odběr elektrické energie. Tato funkce by se dala aplikovat v případě, že by byla Arduinem např. měřena a ukládána data, která nemusí být měřena nepřetržitě. Takovým příkladem může být např. měření teploty, kdy není třeba měřit teplotu každou sekundu, ale třeba každých 10 minut. Arduino by se tedy na 10 minut přepnulo do režimu spánku, kdy by mělo minimální odběr energie a po 10 minutách by se opět uvedlo do provozu a provedlo měření. Touto aplikací by se dalo ušetřit spoustu energie, čímž by se snížil i potřebný výkon fotovoltaického panelu. Úspora by se mohla promítnout i v ceně panelu.

Další vylepšení, které by bylo třeba do napájeného systému zahrnout je vypínání dobíjení fotovoltaickým panelem v době, kdy je akumulátor plně nabit. Protože proběhlo pouze krátkodobé testování solárního napájení, vypínání akumulátoru nebylo do systému zahrnuto. Při dlouhodobém využití by však bylo vhodné toto opatření aplikovat. Přebíjení akumulátoru totiž výrazně zkracuje jeho životnost. Vypínání by mohlo být řešeno například pomocí tranzistoru, který by byl spínán na základě měřeného napětí na akumulátoru.

Mimo tyto uvedené doplňky by jistě dalo vymyslet mnoho dalších vylepšení, jak docílit vyšší efektivity solárního napájení systému Arduino. Tato vylepšení by mohla být např. inspirací pro téma jiné bakalářské či diplomové práce.

9 Závěr

V práci bylo provedeno seznámení se systémem Arduino, jeho funkcemi a možnostmi rozšíření o další funkce. Poté byla uvedena problematika alternativních zdrojů energie se zaměřením na solární energii.

Byla vybrána obecná konfigurace systému Arduino, která obsahovala vývojovou desku Arduino Mega 2560, LCD displej a Ethernet Shield. Poté bylo provedeno měření odběru elektrické energie zvoleného systému a porovnání vlivu jednotlivých komponent na spotřebu systému. Na základě naměřených dat byl navržen solární zdroj energie, který by měl být schopný dlouhodobě napájet zvolenou sestavu systému Arduino. Byly vybrány dva konkrétní fotovoltaické panely a jako záložní napájení byly vybrány tři stejné akumulátory v paralelním zapojení.

Nakonec byl proveden stejným postupem návrh testovacího solárního napájení se zapůjčeným fotovoltaickým panelem. Pro testování bylo zvoleno Arduino Uno, jehož spotřebu elektrické energie měl zapůjčený panel dle výpočtů pokrýt s dostatečnou rezervou. Byl rovněž použit akumulátor, který měl mít dostatečnou kapacitu na pokrytí spotřeby energie v době, kdy fotovoltaický panel neprodukuje žádnou energii.

Praktické ověření testovací sestavy bylo prováděno celkem 25 dní, během kterých byl systém neustále v provozu. Pravidelným měřením elektrického napětí na akumulátoru bylo zjištěno, že došlo pouze k jeho nepatrnému vybití. Z toho vyplývá, že navržený fotovoltaický systém měl dostatečný výkon, aby pokryl spotřebu elektrické energie desky Arduino Uno. Praktické ověření tedy proběhlo s pozitivním výsledkem a mohlo být konstatováno, že návrh solárního zdroje napájení byl proveden správně.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] SELECKÝ, Matúš. *Arduino: uživatelská příručka*. 1. vydání. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.
- [2] JUDYTKA, Antonín. Arduino Uno - úvod. *LinuxEXPRES* [online]. 2017 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://www.linuxexpres.cz/hardware/arduino-uno-uvod>
- [3] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání první. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [4] *Arduino* [online]. 2018 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>
- [5] MORAVEC, Luboš. Arduino Ethernet Shield W5100. *Arduino návody* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o., 2017 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum>
- [6] *SparkFun Electronics* [online]. b.r. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com>
- [7] MORAVEC, Luboš. GSM Shield SIM900. *Arduino návody* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o., 2017 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum>
- [8] MORAVEC, Luboš. Arduino Shield LCD TFT 2.4" ... *Arduino návody* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o., 2017 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum>
- [9] *Arduino dokumentace* [online]. Vlastimil Slinták, b.r. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://docs.uart.cz/docs/io-piny>
- [10] MORAVEC, Luboš. Arduino koncový doraz / spínač. *Arduino návody* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o., 2017 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum>
- [11] *GM Electronic* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://www.gmelectronic.com/industrial-limit-switch-me-8112-straight-roller>
- [12] *Domat control system* [online]. Pardubice, b.r. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://products.domat-int.com>
- [13] *ITnetwork* [online]. 2018 [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/arduino-spinani-velke-zateze>
- [14] *ARDUINO - SHOP* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o, b.r. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz>
- [15] SNÁŠEL, Jaroslav. Nabíjení mobilů trochu jinak. *Mobilmania* [online]. 2004 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/nabijeni-mobilu-trochu-jinak/sc-3-a-1108265/default.aspx>
- [16] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [17] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [18] *TermoWatt* [online]. Česká Lípa: TermoWatt s.r.o, b.r. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.termowatt.cz>

- [19] Ostrovní fotovoltaická elektrárna. *Deramax* [online]. Valašské Meziříčí, b.r. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/ostrovní-fotovoltaická-elektrárna-serial-clanku>
- [20] KUSALA, Jaroslav. Nejen Ohmův zákon. *Elektrina* [online]. 2003 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/eede/content/microsites/elektrina/fyz3.htm>
- [21] *NEXTAGENCY BLOG* [online]. 2018 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: http://nextagency.pl/wpis64_kolektory-sloneczne-czyli-oze-warszawa.html
- [22] *Elektrina ze slunce* [online]. innogy, 2018 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.elekttrinazeslunce.cz/>
- [23] *PK Green* [online]. b.r. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.pkgreenshop.co.uk>
- [24] *REPASEBaterií* [online]. Frýdek-Místek, b.r. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.repasebaterii.cz>
- [25] *Mrpear* [online]. 2016 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.mrpear.net>
- [26] MARCONI, . *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. 2008 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [27] *CELL PACK SOLUTIONS* [online]. b.r. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://cellpacksolutions.co.uk>
- [28] *Himoto* [online]. Uherský Brod, b.r. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.himoto.cz>
- [29] Photovoltaic Geographical Information System. *JRC* [online]. b.r. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [30] *Schutten Solar* [online]. b.r. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.schutten-solar.com>
- [31] *I4wifi* [online]. b.r. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz>
- [32] *BATTERY* [online]. Praha, b.r. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.battery.cz>
- [33] *IoT* [online]. 2015 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://weekly.ascii.jp>