

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021

Michal Zajíček



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

SPOJENÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY A VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

CONNECTION OF SOLAR POWER PLANT AND WATER MANAGEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Zajíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Michal Zajíček

ID: 197729

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Spojení solární elektrárny a vodního hospodářství

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V projektu se bude řešit optimální využití solární energie na čerpání a čištění vody s cílem optimalizovat využití solární energie a ukládání přebytků do potenciální energie vody a současném zvyšování její kvality. Nabízí se využití dešťových vod, jejich přirozené čištění pomocí gravitačních filtrů a udržení pohybové složky ve vodě.

Doporučená osnova práce:

1. účinnost čerpacích zařízení na čistou a špinavou vodu,
2. dimenzování solární elektrárny pro daný spád a průtok,
3. FV systém s akumulací a bez akumulace, výhody a nevýhody,
4. experimentální solárně napájené oběhové vodní hospodářství,
5. vyhodnocení využití solární energie na potenciální energii vody a čistící schopnosti oběhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 1.6.2021

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

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

V bakalářské práci na téma Spojení solární elektrárny a vodního hospodářství se autor práce zabývá technickým řešením řízení čerpadel s využitím solární energie. Motivací je získání automatického systému přečerpávání nashromážděné dešťové vody s cílem zvyšování její kvality pomocí čistících filtrů k jejímu dalšímu využití. Napájení zařízení pomocí solární elektrárny sníží energetické nároky na provoz a umožní také ukládat přebytky energie ze solární elektrárny do potenciální energie vody.

Výsledkem práce je montáž kompaktního zařízení s automatickým řídicím systémem určeného pro ovládání malých 12 V čerpadel. Pro komplexní posouzení a zhodnocení vytvořeného zařízení je součástí práce dimenzování potřebné fotovoltaické elektrárny. V teoretickém rozboru, který předchází experimentální části, je stručně popsána problematika vodního hospodářství a solární energie se zaměřením na konkrétní znalosti potřebné k návrhu požadovaného řešení.

Klíčová slova

vodní hospodářství, čerpací zařízení, účinnost, solární energie, fotovoltaická elektrárna, dimenzování, řídicí systém

Abstract

In the bachelor's thesis Connection of Solar Power Plant and Water management the author designs the technical solution of pump control using solar energy. The main reason is to make an automatic system for pumping the rainwater through filters due to increasing its quality. Powering the device with a solar power plant will reduce the energy requirements and will also make it possible to store surplus energy from the solar power plant into the potential energy of the water.

The result of the work is the compact device with an automatic control system designed to control small 12 V pumps, theoretical design of the photovoltaic power plant to power the device and theoretical analysis of solar energy and water management issues.

Keywords

water management, pumping equipment, efficiency, solar energy, photovoltaic power plant, dimensioning, control system

Bibliografická citace

ZAJÍČEK, Michal. Spojení solární elektrárny a vodního hospodářství. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134955>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Michal Zajíček</i>
VUT ID studenta:	<i>197729</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2020/21</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Spojení solární elektrárny a vodního hospodářství</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 1. června 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za odborné vedení při práci na vybraném tématu a také za užitečné rady a trpělivost při diskusích nad zvoleným řešením.

V Brně dne: 1. června 2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
1. VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ	12
1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
1.2 ZNEČIŠTĚNÍ DEŠŤOVÝCH VOD	13
1.2.1 Atmosférické znečištění	13
1.2.2 Kontakt vody s látkami na povrchu	14
1.2.3 Mechanické nečistoty	14
1.3 ČIŠTĚNÍ DEŠŤOVÉ VODY	14
1.3.1 Sedimentace	14
1.3.2 Mechanická filtrace	15
1.4 TYPY ČERPACÍCH ZAŘÍZENÍ	15
1.4.1 Hydrostatická	15
1.4.2 Hydrodynamická	15
1.5 ÚČINNOST ČERPACÍCH ZAŘÍZENÍ	16
1.5.1 Přehled hlavních veličin	16
1.5.2 Základní výpočtové vztahy	16
1.5.3 Rozdíl v účinnosti čerpadla u čisté a špinavé vody	17
2. SOLÁRNÍ ENERGIE	19
2.1 ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ	19
2.1.1 Základní výpočtové vztahy	19
2.2 SYSTÉMY FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN	21
2.2.1 Systémy přímo spojené se sítí (On-grid)	22
2.2.2 Autonomní systémy (Off-grid)	23
2.2.3 Hybridní systémy	23
2.2.4 Akumulace elektrické energie	24
2.3 DIMENZOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	25
2.3.1 Špičkový výkon FV systému	25
2.3.2 Elektrická energie dodaná FV systémem za časové období	25
2.3.3 Účinnost	26
3. EXPERIMENTÁLNÍ SOLÁRNĚ NAPÁJENÉ VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ	27
3.1 POŽADAVKY	27
3.2 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM A KOMPONENTY	28
3.2.1 Základní deska	29
3.2.2 Napájení desky	30
3.2.3 Displej	31
3.2.4 PWM modul	31
3.2.5 Reléový modul	32
3.2.6 Měřené veličiny	32
3.2.7 Dálková komunikace	34
3.2.8 Funkce programu	34
3.3 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ	35

3.3.1	<i>Instalační krabice</i>	35
3.3.2	<i>Chlazení</i>	36
3.3.3	<i>Zásuvky, jištění</i>	37
3.3.4	<i>Vodiče, spoje</i>	39
3.3.5	<i>Rozložení prvků</i>	40
3.3.6	<i>Finální vzhled</i>	41
3.4	PARAMETRY ZAŘÍZENÍ	41
3.5	TESTOVÁNÍ ČERPACÍCH ZAŘÍZENÍ	42
3.6	POSOUZENÍ ČISTÍCÍCH SCHOPNOSTÍ OBĚHU	47
3.7	ZHODNOCENÍ MOŽNOSTÍ UKLÁDÁNÍ SOLÁRNÍ ENERGIE DO POTENCIÁLNÍ ENERGIE VODY	48
3.8	DIMENZOVÁNÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY PRO DANÝ SPÁD A PRŮTOK	50
4.	ZÁVĚR	52
	LITERATURA	53
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM PŘÍLOH	58

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Změna závislost parametrů čerpadla na průtoku při změně viskozity [10]	18
2.1	Závislost přímého a difuzního záření na ročním období [14].....	20
2.2	Solární mapa České republiky [15]	21
2.3	Příklad hybridního fotovoltaického systému [17]	22
2.4	Schéma hybridního systému s možností zapojení dalších zdrojů elektrické energie [16].....	24
3.1	Nabíjecí stanice Karla Kvasničky [22].....	27
3.2	Blokové schéma navrženého řídicího systému	28
3.3	Rozložení desky Mega2560 s vyznačením dostupných pinů [24]	29
3.4	Schéma uspořádání napájecího obvodu	31
3.5	Ukázka použité grafické knihovny v našem programu.....	31
3.6	Reléové moduly	32
3.7	Předpokládaná závislost proudu regulovaným motorem na čase [28].....	33
3.8	Instalační krabice SCABOX [29].....	36
3.9	Pohled na přimontovaný chladič	37
3.10	Napájecí a USB konektor s nasazenými krytkami a bez nich	37
3.11	Zásuvka s konektorem Weipu.....	38
3.12	Rozmístění řídicích zásuvek a pojistkových pouzder ve stěně krabice	38
3.13	Základní rozložení vodičů v krabici.....	39
3.14	Přišroubované relé moduly a měničem 12 / 5 V – <i>vlevo</i> , doplnění o akumulátor - <i>vpravo</i>	40
3.15	Přípevněná deska Mega2560 a veškeré zástrčky s kabeláží	40
3.16	Finální vzhled hotového výrobku.....	41
3.17	Testovaná čerpadla Barwig a Comet.....	43
3.18	Použitá měřicí armatura	44
3.19	Testování čerpadel.....	46
3.20	Graf závislosti potenciální energie vody na dopravní výšce čerpadla	49

SEZNAM TABULEK

2.1	Tabulka součinitele znečištění [11].....	20
2.2	Přibližné hodnoty součinitele špičkového výkonu [11].....	25
3.1	Vybrané piny desky Mega2560 a jejich využití v našem systému.....	30
3.2	Přehled použitých zásuvek.....	37
3.3	Přehled použitých vodičů.....	39
3.4	Parametry zařízení.....	42
3.5	Jmenovité parametry testovaných čerpadel.....	42
3.6	Naměřené hodnoty průtoku v závislosti na tlaku v potrubí a stupni regulace čerpadla Ocean Comet	44
3.7	Naměřené hodnoty průtoku v závislosti na tlaku v potrubí a stupni regulace čerpadla Barwig	45
3.8	Změřené ztráty v potrubí.....	46
3.9	Možná dopravní výška pro vybrané hadice při zvoleném tlaku	48
3.10	Množství energie po hodině čerpání v závislosti na průtoku.....	49

ÚVOD

Následující bakalářská práce si bere za cíl nahlédnout do problematiky solární energie a vodního hospodářství a tyto poznatky pak dále využít při návrhu systému řízení malého vodohospodářského zařízení pomocí fotovoltaické elektrárny. V úvodní části projektu se zaměříme na základní pojmy fotovoltaických systémů, jejich rozdělení a využití. V části zabývající se vodním hospodářstvím nás bude především zajímat voda dešťová a její čištění. V návaznosti na získaných znalostech provedeme návrh a realizaci zařízení určeného pro optimalizaci využití sluneční energie k čištění vody s možností ukládání přebytků do potenciální energie vody

Získávání energie ze Slunce a způsob efektivního a šetrného nakládání s vodou, dvě důležitá odvětví lidského zájmu, jimiž se v naší práci budeme zabývat, jsou v dnešní době stále více reflektovány. Kromě toho, že bez vody a Slunce by vůbec život na naší planetě asi ani nevznikl, alespoň ne v takové formě, jakou známe, a všechny živé organismy tedy vodu a slunce k životu potřebují, může člověk díky svému rozumu a technickými dovednostem využívat tyto energie sofistikovaným způsobem tak, aby nedocházelo k jejich zbytečnému plýtvání. Obzvláště v dnešní době, kdy se očekává během následujícího čtvrtstoletí nárůst populace z dnešních 7,7 miliard lidí až k 10 miliardám, spotřeba energie se neustále zvyšuje a dostupnost kvalitních vodních zdrojů již dnes v některých oblastech vůbec není a v jiných se nedostatek vody začíná projevovat, je důležité se těmito tématy čím dál více zabývat.

Podle některých zdrojů je dnes v České republice spotřeba vody až 130 litrů na obyvatele denně, v průměru z celoevropského hlediska se pak udává kolem 100 litrů. Pokud toto číslo srovnáme se statistikami konkrétního využití, můžeme se pohybovat v řádech desítek litrů spotřeby kvalitní pitné vody pro jiné užitkové účely, jako je praní prádla nebo používání toalety. Zde například je tedy prostor pro využívání dešťové vody, která po větší či menší úpravě dosáhne dostatečné kvality pro takovéto použití.

Pokud se bude společnost více zabývat systémy pro efektivní nakládání se zdroji dešťové vody, jaký chceme navrhnout v naší práci, povede to jistě k významnému šetření dnes stále cennějších zdrojů vody pitné a v kontextu s využitím solární energie, jako zdroje čisté energie, je možno dále snižovat ekologickou stopu každého z nás.

1. VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Jedním z hlavních témat naší práce je vodní hospodářství. To je poměrně široký pojem sdružující činnosti vedoucí k využívání vodních zdrojů pro potřeby společnosti, k ochranně vody před působením škodlivých vlivů nebo také k ochranně obyvatelstva například před pohromami způsobenými vodou. Podoba vodohospodářství se v různých zemích liší v závislosti na místních přírodních podmínkách, hospodářské vyspělosti nebo konkrétních požadavcích a bývá určována zákony a vyhláškami zákonodárných sborů těchto států. V České republice je hlavním předpisem upravujícím ochranu vod zákon č. 254/2001 Sb. o vodách.

Z hlediska ochrany vody je však důležité nenahlížet na tuto problematiku pouze pohledem legislativy a platných norem. V zájmu každého jednotlivce by mělo být nějaké racionální využívání vody takovým způsobem, aby nedocházelo k jejímu zbytečnému znečišťování a plýtvání [1]. Proto se chceme v naší práci věnovat tomuto tématu i zde, na ústavu elektroenergetiky, a navrhnout takové řešení, které by mohlo pomoci k efektivnějšímu využívání dešťových vod v běžném životě.

1.1 Úvod do problematiky

V ČR existuje několik kritérií členění vod, podle kterých se pak jednotlivým druhům přiřazují specifické požadavky. Konkrétní podoba bývá určována Českými státními normami (např. ČSN 75 7221 – Klasifikace jakosti povrchových vod nebo ČSN 75 7220 – Jakost vod – Kontrola jakosti povrchových vod) a dělí se

- dle původu na:
 - atmosférické,
 - povrchové,
 - podpovrchové,
 - zvláštní (minerální vody, důlní vody);
- dle účelu na:
 - pitnou vodu,
 - užitkovou vodu,
 - provozní,
 - odpadní. [3]

Současná legislativa nahlíží na dešťové vody jako na vody odpadní [2]. Tento stav zřejmě souvisí se skutečností, že většina dešťové vody bývala vždy, hlavně ve městech, svedena rovnou do odpadní kanalizace. Na vesnicích se ani o nějakých systematických způsobech odvádění dešťové vody v minulosti nemůžeme bavit, kanalizace zde neexistovaly v takovém měřítku jak dnes, ale ani snaha o využívání dešťové vody tu žádná nebyla. Kromě drobného zachytávání vody do malých nádrží určených například pro závlivku rostlin, pro to nebyl důvod. Většina domů v našich zeměpisných šířkách měla

jako zdroj vody především kopané studny, tedy zdroje dostupné a pro tehdejší množství spotřeby vody, které bylo na mnohem nižší úrovni než dnes, zcela dostačující. S přibývajícím životními nároky, a tím i související vybaveností domácností, začala spotřeba vody vzrůstat, do domácností se začala zavádět nejen pitná voda, ale také i kanalizace, do kterých se tedy mohla pohodlně odvádět veškerá nepotřebná srážková voda z povrchů střech, dlažeb a podobně a možností dešťovou vodu nějak lépe zužítkovat se téměř nikdo nezabýval.

Dnes se naštěstí začíná situace postupně zlepšovat – je zde snaha více využívat dešťovou vodu pro užitkovou potřebu. V novele č 544/2020 Sb. vodního zákona ze dne 1. února 2021 je již mimo jiné zahrnuta povinnost zadržovat nebo vsakovat dešťovou vodu u novostaveb nebo například i doplnit stávající stavbu o takovéto řešení při případných budoucích žádostech o změnu užívání stavby [4]. To ale stále ještě neznamená nějaké významné ušetření v oblasti spotřeby pitné vody, protože zde z našeho pohledu chybí navazující řešení k efektivnímu využívání takto nashromážděné srážkové vody. Motivací řešit v domácnostech komplexní systémy řízení vodního hospodářství s cílem snížit spotřebu pitné vody by měl být v první řadě zájem právě o již zmíněné racionální nakládání s vodami tak, aby nedocházelo ke zbytečnému plýtvání kvalitními zdroji podzemních vod. Realita většiny domácností však bude spíše taková, že masovější zájem o tato řešení nastane až v případě, kdy se podaří zavedením nového systému řízení vodního hospodářství snížit například celkové náklady za domácnost v podobě ceny vodného a zároveň nebude pořizovací cena této technologie příliš vysoká. Proto se v našem projektu pokusíme zaměřit i na možnost napájet takovýto systém pomocí fotovoltaické elektrárny, čímž dojde k dalšímu ušetření spotřebované energie.

1.2 Znečištění dešťových vod

V přírodních podmínkách České republiky tvoří atmosférické srážky co do množství hlavní zdroj užitkové vody. Míra jejich znečištění je velice individuální a záleží také na konkrétní podobě získávání dešťové vody. Rozdíl v kvalitě znečištění je zřejmý například mezi srážkovou vodou z kanalizační stoky a přirozeně naplněnou retenční nádrží.

Obecně tedy existuje znečištění buď pevnými látkami nebo chemickými a dochází k němu těmito způsoby:

- sloučením s chemickými látkami v atmosféře,
- při kontaktu s látkami na povrchu Země,
- splachováním a promícháním s materiály nahromaděnými na povrchu. [5]

1.2.1 Atmosférické znečištění

Již z chemické a fyzikální podstaty vzniku dešťových mraků, tedy odpařováním vody do nízkých vrstev atmosféry a následnou kondenzací, by v mracích mohla vznikat chemicky čistá voda. Z důvodu kontaktu s různými chemickými látkami v prostoru atmosféry dochází k znečištění a kvalita dešťové vody je tak přímo ovlivněna kvalitou

ovzduší. Horší kvalita vody se dá tedy očekávat ve velkých městech a průmyslových oblastech, kde se v ovzduší ve vyšších koncentracích vyskytují kyseliny (sírová, dusičná, chlorovodíková), sloučeniny dusíku, vznikající z výfukových plynů a spalováním fosilních paliv, sloučeniny chloru, síry a další pro životní prostředí nebezpečné látky. Významným původcem znečištění může být také zemědělství, kde dochází k rozšiřování zásaditých látek do ovzduší, zde má ale podstatně horší vliv na kvalitu vody následný kontakt přímo na povrchu. [5]

1.2.2 Kontakt vody s látkami na povrchu

K tomuto způsobu znečištění dochází vždy po delším období bez dešťů, kdy se na povrchu postupně shromažďují látky vzniklé buď působením lidské činnosti (kysličníky nahromaděné na střeších budov) nebo i přírodní organické, které ale také mohou mít negativní vliv na kvalitu. Kromě mechanického znečištění je zde riziko vzniku nežádoucích biologických procesů, které by mohly způsobovat problémy například u pitné vody [5].

1.2.3 Mechanické nečistoty

Smíchání s mechanickými nečistoty vzniká několika způsoby. Nejčastěji k tomu bývá přímo na střeších budov kontaktem s krytinou, kde může zejména na starších střeších docházet například k odlupování barev nebo jiných částec, u starých eternitových střeš je riziko smíchání s nebezpečným azbestem, jež je v této krytině obsažen. Dále pak může docházet ke znečištění v samotných rozvodech vody nebo nádrži, opět nejčastěji v případě již starších mechanicky opotřebovaných výrobků. [5]

1.3 Čištění dešťové vody

Čištění vody obecně je činnost, sloužící k odstranění mechanických, chemických nebo biologických nečistot obsažených v ní. V naší práci se zaměříme převážně na dva hlavní způsoby mechanického čištění vody, kterými jsou sedimentace a filtrace.

1.3.1 Sedimentace

Nejjednodušším způsobem čištění vody je sedimentace. Při něm se nechává voda pouze takzvaně „odstát“, kdy se pevné látky s vyšší objemovou hustotou, než má voda (přibližně $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), dostávají působením gravitace postupně ke dnu, kde už je jen důležité zajistit, aby se při odběru takto očištěné vody znovu nerozvířily a nedostaly zpět do objemu odebírané vody. K tomu může sloužit přímo akumulární nádoba na dešťovou vodu, nebo další k tomuto účelu upravené pomocné nádrže, například ve více stupních za sebou. V určitých intervalech je důležité nádrž vypouštět a čistit od těchto sedimentů. Tímto způsobem se dá zbavit mechanických a částečně i biologických nečistot, ale ne chemických látek obsažených ve vodě.

1.3.2 Mechanická filtrace

Při mechanické filtraci vody je již třeba použití nějakých fyzických zábran zachycujících nečistoty a především pak zajištění dostatečné kinetické energie vody vůči filtru. Jednodušším případem filtrace může být filtr pohybující se na hladině stojící vody, který sbírá nečistoty pouze usazené na hladině (povrchová filtrace). Většinou se však používají tzv. hloubkové filtry, kterými aktivně protéká znečištěná voda a na porézních filtrech z různých materiálů a frakcí dochází k zachytávání nečistot. Takto se dá postupně dosáhnout očištění vody od běžného znečištění až po částice v řádu nanometrů [6]. Pohyb vody způsobí rozdíl tlaků na vstupu a výstupu filtrace, kterého můžeme dosáhnout buď samotížně, tedy výškovým rozdílem přitékající a odtékající vody, nebo pomocí čerpadel.

1.4 Typy čerpacích zařízení

Základní princip čerpadla spočívá ve vytvoření rozdílného tlaku kapaliny na vstupu a výstupu zařízení, tím se zajistí pohyb čerpané kapaliny. Podle způsobu přenosu mechanické energie na potenciální hydraulickou se rozlišují čerpadla hydrostatická a hydrodynamická.

1.4.1 Hydrostatická

U hydrostatických dochází k přímě přeměně mechanické energie konstantním působením na čerpanou tekutinu, nejsou tedy limitovány dopravní výškou. Jejich jednoduší vnitřní konstrukce a je také vhodnější pro silně znečištěné kapaliny. Nevýhodou zůstává nižší objemový průtok a mnohem větší rozměry jako u stejně výkonného hydrodynamického čerpadla. Díky přímé přeměně je možno získat větší výstupní tlak a vyšší účinnost stroje [7]. Dělí se na:

- rotační,
- zubová,
- vřetenová,
- lamelová,
- s rotujícími písty,
- s oddalujícími pístem;
- s kmitavým pohybem,
- křídlová,
- pístová,
- membránová,
- další typy. [7]

1.4.2 Hydrodynamická

Hydrodynamická čerpadla pracují na principu nepřímé přeměny kinetické energie v potenciální. Tekutina je nejprve v komoře čerpadla pomocí oběžných kol uvedena odstředivou silou do pohybu a poté se takto vzniklá kinetická energie vody mění na

energii tlakovou. Tímto typem čerpadla je dosaženo většího objemového průtoku při menším tlaku, omezena je však sací a dopravní výška [7]. Rozlišujeme hydrodynamická čerpadla

- odstředivá,
- axiální,
- obvodová,
- labyrintová,
- kombinovaná. [7]

1.5 Účinnost čerpacích zařízení

1.5.1 Přehled hlavních veličin

- **objemový průtok Q** (l/min, l/s, m³/s, ...) – objem dopravované kapaliny za jednotku času v místě výtláčného hrdla čerpadla
- **dopravní výška H** (m) – výška přečerpávaného vodního sloupce, jinak definovaná také jako užitečná energie předaná každému kilogramu kapaliny
- **geodetická výška H_g** (m) – rozdíl mezi dolní a horní hladinou nádrže
- **hydraulické ztráty ΣH_z** (m) – součet všech ztrát v potrubí vyjádřený v metrech dopravní výšky, nejvýznamnější ztráty způsobuje tření kapaliny o stěnu trubky
- **hydraulický výkon P** (W) – závislost změny tlaku a objemového průtoku
- **elektrický příkon P_e** (W) – množství elektrické energie dodané za jednotku času

1.5.2 Základní výpočtové vztahy

Vztah pro výpočet **dopravní výšky** čerpadla vychází z Bernoulliho rovnice pro ustálený stav proudění (1.1).

$$H = H_g + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + \Sigma H_z \quad (\text{m}), \quad (1.1)$$

kde je $p_2 - p_1$ rozdíl tlaků (Pa),
 $v_2^2 - v_1^2$ rozdíl druhé mocniny rychlosti proudění (m²·s⁻²),
 ρ hustota kapaliny (kg·m⁻³),
 g tíhové zrychlení (m·s⁻²).

V praxi se při uvažování otevřených nádrží často přistupuje k zanedbání členů rozdíl tlaku a rozdílu druhých mocnin rychlosti proudění a získáváme tak pouze hodnotu geodetické výšky zatíženou o hydraulické ztráty v potrubí. [7]

$$H = H_g + \Sigma H_z \quad (\text{m}). \quad (1.2)$$

Potřebný **tlak na výstupu čerpadla** pro námi požadovanou dopravní výšku zjistíme z Pascalova zákona

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H. \quad (\text{Pa}). \quad (1.3)$$

Hydraulický výkon čerpadla se spočítá dle vztahu

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H. \quad (\text{W}). \quad (1.4)$$

V případě malých čerpadel poháněných elektromotory je možno zanedbat mechanické ztráty na hřídeli mezi motorem a čerpadlem, celková **účinnost** čerpadla se tedy spočítá z podílu hydraulického výkonu čerpadla P a elektrického příkonu hnacího motoru P_e , vztah

$$\eta = \frac{P}{P_e} \quad (-). \quad (1.5)$$

Tento vztah pak samozřejmě platí i pro jiné než rotační typy čerpadel, kde rozhodujícími parametry účinnosti jsou stále průtok a dopravní výška coby činitelé hydraulického výkonu a elektrický příkon poháněného čerpadla. U velkých rotačních čerpadel je pro posouzení účinnosti čerpadla nutné počítat s mechanickým příkonem vypočítaného z momentu síly M působící na mechanismus čerpadla a úhlové rychlosti ω , vztah (1.6), kde již nelze zanedbat ztráty na mechanickém přenosu výkonu mezi motorem a čerpadlem. [7]

$$\eta = \frac{P}{M \cdot \omega} \quad (-). \quad (1.6)$$

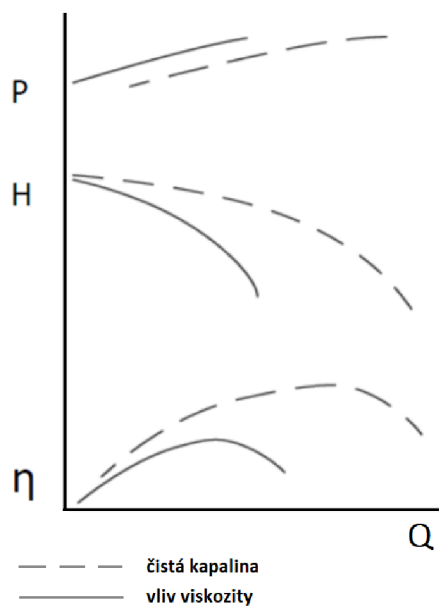
1.5.3 Rozdíl v účinnosti čerpadla u čisté a špinavé vody

Znečištění vody se ve výše uvedených vztazích projeví změnou hustoty kapaliny, díky obsaženým částicám nečistot v ní. Ty mohou mít různou hustotu, v případě znečištěné vody se ale nejčastěji setkáváme slátkami o vyšší hustotě. Ze samotné podstaty mechanické filtrace vody je žádoucí dostat tyto částice do oběhu přes filtr, naopak ty, co jsou lehčí a zůstávají u hladiny je výhodnější odebírat vhodným způsobem rovnou z hladiny. Tím je tedy zřejmé, že celková hustota kapaliny (dle vztahu (1.7)) bude u špinavé vody vyšší, než u čisté.

$$\rho = \frac{m_{kapaliny} + m_{částic}}{V_{kapaliny} + V_{částic}} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}). \quad (1.7)$$

Vyšší hustota kapaliny se neprojeví změnou tvaru $Q - H$ křivky, ale v příkonu čerpadla, který úměrně narůstá s rostoucím momentem síly na hřídeli čerpadla. Ten je tím vyšší, čím vyšší je hustota kapaliny, protože je zde potřeba větší síly k rozpořívování hmotnější

kapaliny v čerpadle a tím celková účinnost klesá. Pokud se znečištění vody projeví i výraznou změnou viskozity, pak je změna parametrů čerpadla patrnější (viz. obr. 1.1). [9]



Obrázek 1.1 Změna závislost parametrů čerpadla na průtoku při změně viskozity [10]

2. SOLÁRNÍ ENERGIE

2.1 Energie slunečního záření

2.1.1 Základní výpočtové vztahy

Základní popis energie slunečního záření na povrchu Země určuje veličina **intenzity slunečního záření** I , definovaná jako množství zářivé energie dopadající za jednotku času na jednotku plochy zemské atmosféry. Velikost intenzity záření na zemském povrchu pak ve vztahu pro výpočet (2.1) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** ovlivňuje konstanta P , která zohledňuje jednotlivé vlastnosti atmosféry na různých místech planety a ovlivňuje tak propustnost atmosféry pro sluneční záření. [12]

$$I = I_0 \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \cdot P \quad (W \cdot m^{-2}), \quad (2.1)$$

kde je I intenzita slunečního záření na povrchu ($W \cdot m^{-2}$)
 I_0 solární konstanta ($W \cdot m^{-2}$),
 R_0 střední vzdálenost Země od Slunce (km),
 R okamžitá vzdálenost Země od Slunce (km),
 P propustnost zemské atmosféry (-).

Solární konstanta I_0 je teoretické množství energie, udávající intenzitu slunečního záření vně atmosféry, její přibližná hodnota je $I_0 = 1367 W \cdot m^{-2}$. Vzhledem ke kolísání maximální a minimální střední vzdálenosti Země od Slunce (152–147 mil. km) v průběhu roku se mění hodnota faktoru R_0^2/R^2 a tím i intenzita přímého slunečního záření od solární konstanty maximálně o 3,5 %. [11][12]

Intenzita přímého slunečního záření reflektující konkrétní míru znečištění ovzduší se spočítá ze vztahu (2.2), kdy činitel znečištění Z se určuje na základě několika optických parametrů propustnosti atmosféry, ale pro jednodušší výpočty se nadále uvažuje se stanovenými tabulkovými hodnotami pro definované druhy prostředí.

$$I_{PN} = I \cdot A^{-Z} \quad (W \cdot m^{-2}), \quad (2.2)$$

Pro obecnou plochu platí:

$$I_P = I_{PN} \cdot \cos \vartheta \quad (W \cdot m^{-2}) \quad (2.3)$$

$$\vartheta = (90^\circ - \alpha_s) \quad (^\circ), \quad (2.4)$$

kde je I_{PN} intenzita přímého slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$),
 I_0 solární konstanta ($W \cdot m^{-2}$),
 A faktor R_0^2/R^2 (-),
 Z činitel znečištění (-),

ϑ úhlová vzdálenost Slunce od zenitu ($^{\circ}$)
 α_s úhlová výška Slunce nad geometrickým obzorem ($^{\circ}$). [11]

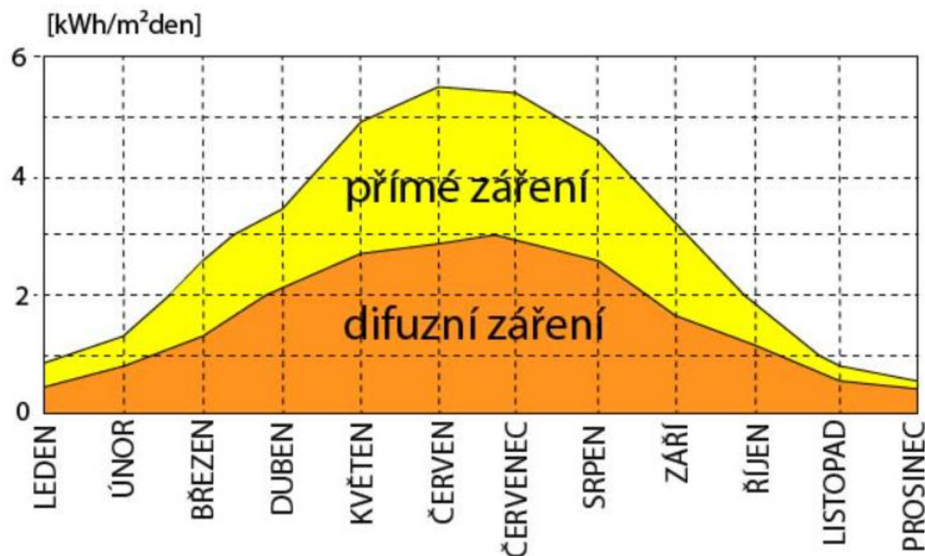
Tabulka 2.1 Tabulka součinitele znečištění [11]

Prostředí	Součinitel znečištění Z
oblasti nad 2000 m. n. m.	2,0
oblasti nad 1000 m. n. m.	2,5
venkovská sídla	3,0
města, lehký průmysl	4,0
těžký průmysl, silně znečištěné oblasti	$\geq 5,0$

Difúzní sluneční záření je charakteristické tím, že k místu pozorovatele přichází z různých směrů. Převládá v něm dopředný rozptyl, takže maximální množství radiace přichází stále ve směru od Slunce, její intenzita je ale ovlivněna atmosférickými podmínkami a oblačností. Intenzita difúzního slunečního záření se počítá ze vztahu

$$I_D = (K + 0,025Z) \cdot (I_0 - I_P) \cdot \cos \vartheta \quad (W \cdot m^{-2}), \quad (2.5)$$

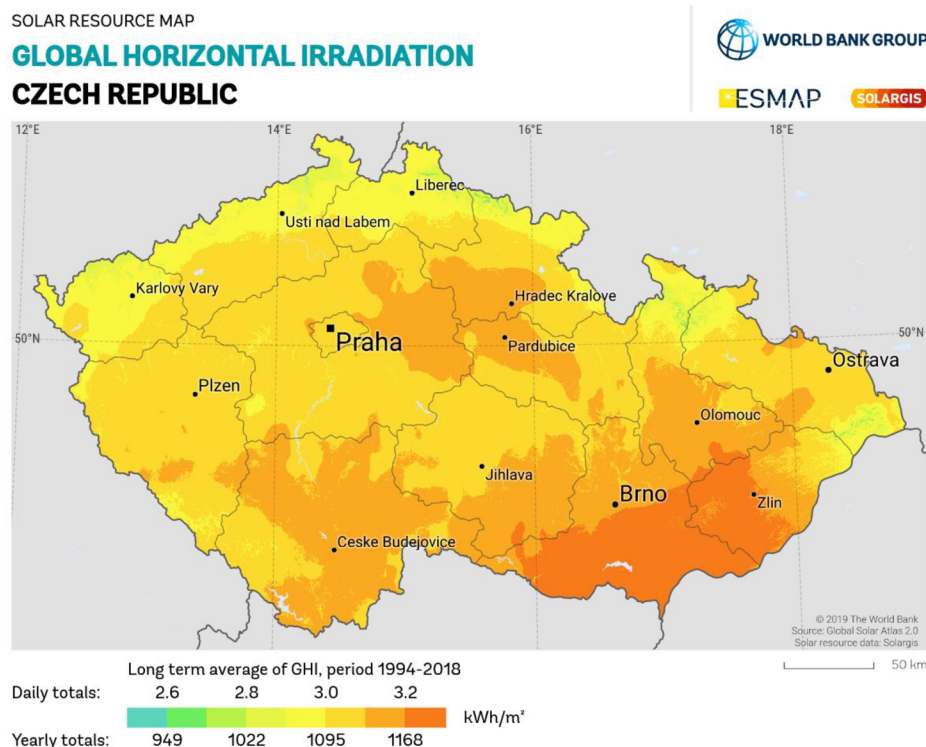
kde je I_P intenzita přímého slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$),
 I_0 solární konstanta ($W \cdot m^{-2}$),
 ϑ úhlová vzdálenost Slunce od zenitu ($^{\circ}$),
 Z součinitel znečištění (-),
 K faktor oblačnosti (-). [14]



Obrázek 2.1 Závislost přímého a difúzního záření na ročním období [14]

Všechny doposud uvedené vztahy jsou pouhým přehledem základních vzorců nastiňujících podstatu množství energie Slunce na zemském povrchu. Pokud bychom chtěli studovat tuto problematiku podrobněji, dostávali bychom se do poměrně složitých

teoretických výpočtů energetických toků. V praxi je však pro návrh fotovoltaického systému nejpraktičtější využívat přímo měřené hodnoty v místě určení vyjádřené například **denním úhrnem globálního slunečního záření Q_G** , v ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) (resp. měsíčním či ročním úhrnem). Na základě naměřených dat se vyhodnocují statistiky pro konkrétní místa a je tak možné při návrhu FV systému ještě před ověřením skutečných podmínek vycházet ze známých hodnot a udělat si tak představu o energetických možnostech navržené elektrárny. Přehledným zpracováním dat vznikají tzv. solární mapy s barevným znázorněním míry ozáření [12].



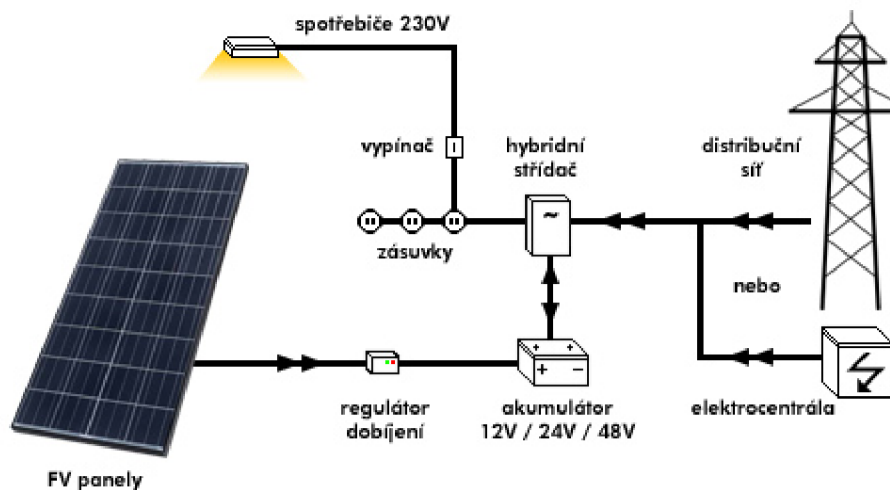
Obrázek 2.2 Solární mapa České republiky [15]

Výše uvedená mapa znázorňující průměrný roční úhrn globálního záření v České republice ukazuje, že nejpříznivější podmínky pro využití energie ze slunečního záření jsou převážně na Jižní Moravě. Tedy z hlediska geomorfologického v oblastech nížin, naopak nejméně příznivé podmínky jsou právě v horských oblastech. Sestavena je na základě dat z let 1994-2018 a maximální hodnota sumy denního globálního záření zde dosahuje $1200 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

2.2 Systémy fotovoltaických elektráren

Nedílnou součástí celé technologie získávání elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů je sestava dalších navazujících komponent tvořících dohromady jako celek fotovoltaický systém. Jedná se například o baterie, regulátory, měniče, měřící přístroje, ale také i různé konstrukční prvky, jejichž návrh se řídí podle konkrétních

aplikací FV systémů [16]. Pro návržení systému se musí samozřejmě nejprve počítat s předpokládaným instalovaným výkonem budoucích spotřebičů, aby se dokázal udělat reálný odhad všech potřebných prvků a jejich dimenzování pro efektivní provoz. V drtivé většině případů se dá také předpokládat, že konkrétní řešení bude nakonec výrazně ovlivněno i po stránce ekonomické, což se může ve výsledku negativně projevit ve výběru horší technologie než takové, jaká by byla pro projekt nejuvhodnější.



Obrázek 2.3 Příklad hybridního fotovoltaického systému [17]

Základní rozdělení systémů provozu fotovoltaických elektráren spočívá ve způsobu využití a akumulace energie do těchto skupin systémů:

- **přímo spojených se sítí (On-grid);**
- **autonomních (Off-grid);**
 - **bez akumulace energie,**
 - **s akumulací energie,**
- **hybridních.** [16]

2.2.1 Systémy přímo spojené se sítí (On-grid)

Jedná se o přímé zapojení panelů přes měnič napětí a zařízení pro regulaci a měření do elektrizační soustavy. Typickým umístěním panelů bývají střechy větších objektů, například bytových domů, kde je spojeno větší množství panelů s výkonem v rozmezí 1 – 10kWp (Watt-peak). Ve stejném systému bývají zřizovány i solární parky na volných prostranstvích, kde se instalovaný výkon podle velikosti zařízení může pohybovat i v řádu stovek kWp. [11]

Výhoda tohoto systému spočívá především v získání veškeré vyrobené elektrické energie pro další zpracování bez větších ztrát. Pro investory pak existují dvě hlavní možnosti, jak s takto vyrobenou elektřinou naložit. První možností je všechnu vyrobenou elektřinu okamžitě prodat. V tomto případě je s distributorem uzavřena smlouva na tzv.

výkupní cenu a cena za prodej takto vyrobené elektřiny se řídí podle aktuálních ceníků. Majitel elektrárny se zjednodušeně řečeno dále nemusí o nic starat a podle počasí a ročním období vydělává na vyráběné elektřině.

Pokud se jedná o instalace s možností okamžitého využití vyrobené elektřiny v místě výroby, je výhodnější sjednat tarif za vyšší výkupní cenu přebytečné nespotřebované energie, tzv. zelený bonus. V tomto případě se ale nesmí překročit množství sjednané výše dodávek energie do sítě. Pokud tedy dojde k výpadkům vlastní spotřeby, nebo k neplánovaně vyšší výrobě elektrické energie, není možno tuto elektřinu dále prodat. V opačném případě se jedná o neoprávněnou dodávku, kde navíc hrozí i finanční postih od ERÚ. [18]

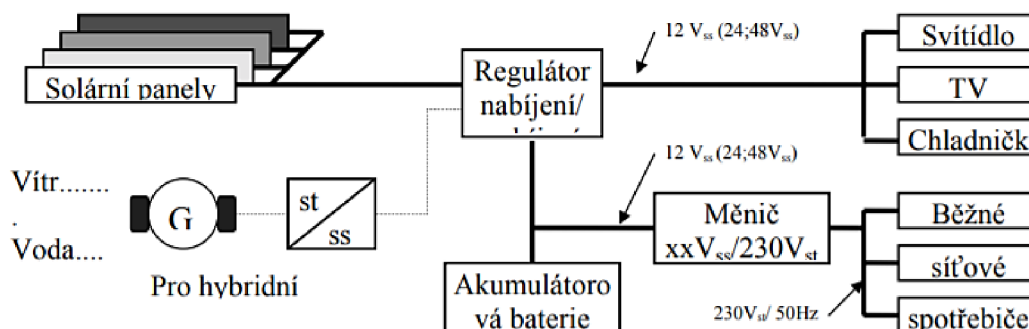
Obecně se jedná o systémy bez akumulace vyrobené elektrické energie, hlavní nevýhodou tedy zůstává nerovnoměrné rozložení množství vyrobené energie v čase. Tento fakt je možno kompenzovat některými tarify s tzv. virtuální baterií, kdy nám distributor dodává námi „vyrobenou“ elektřinu i v době nečinnosti elektrárny. Takovéto řešení ovšem zatím není podle současné nabídky na trhu cenově moc výhodné a nedává moc prostor k efektivnímu provozu takového zařízení. [19]

2.2.2 Autonomní systémy (Off-grid)

U objektů, kde není dostupná veřejná elektrorozvodná síť, nebo by zřízení takového přípojky bylo příliš drahé (např. při dlouhé vzdálenosti od nejbližšího elektrického vedení), instalují se tzv. autonomní systémy (též označované jako ostrovní systémy). Vyznačují se nižším instalovaným výkonem než už On-grid a podle složitosti také větším množstvím a rozdílnými funkcemi dalších přidružených komponent. Autonomní systémem pak nemusí být pouze solární elektrárna u stavebního objektu, ale i jakákoliv jiná samostatná zařízení různého charakteru, například telekomunikační, osvětlovací, zavlažovací apod. V těchto případech se většinou jedná o slaboproudá zařízení a je tím pádem využíváno přímého napětí z FV panelů (12/24/48 V). Odpadá tak potřeba externích regulátorů a měničů, čímž se systém značně zjednodušuje. [16]

2.2.3 Hybridní systémy

Hybridní systém, jak už název napovídá, spojuje vlastnosti obou předchozích systémů, tedy provoz ostrovní sítě s akumulátory, která se ovšem dá v případě potřeby dobíjet z normální elektrorozvodné sítě. Je to asi nejvhodnější řešení pro běžné domovní aplikace, které eliminuje proměnlivost dodávaného výkonu a riziko úplného výpadku elektrické energie v domácnosti. O hybridních systémech pak mluvíme i tehdy, jsou-li do soustavy připojeny i jiné další lokální zdroje elektrické energie, jako jsou třeba větrné elektrárny.



Obrázek 2.4 Schéma hybridního systému s možností zapojení dalších zdrojů elektrické energie [16]

2.2.4 Akumulace elektrické energie

Důvodů pro akumulaci elektrické energie je hned několik. Prvním z nich je potřeba překlenutí období bez dostupnosti elektrické energie, například z FV elektráren u Off-grid nebo hybridních systému. Tedy v noci, či během výrazně zhoršených světelných podmínek tak, aby nedocházelo k nežádoucím výpadkům elektrické energie a připojená zařízení měla dostatek energie pro plánovaný provoz. Efektivní akumulaci elektřiny je pak přímo podmíněn výkon a ekonomická návratnost takového systému. Tedy pokud je nainstalováno takové množství panelů, jejichž špičkový výkon nejsme schopni spotřebovat ani akumulovat, nebo naopak, jestliže máme tolik připojených baterií, jejichž plná kapacita se dobíjí neúměrně dlouho ku skutečně spotřebované energii, máme špatně navržený systém. A i když je to třeba systém funkční, negativní dopad měl jistě takovýto špatný návrh na prvotní pořizovací náklady.

Obecně se akumulátory liší podle způsobu použití, např. startovací baterie v autech musí být dimenzovány zcela odlišně, a i samostatné typy baterií ve FV systémech mají odlišné vlastnosti. Základní nejdůležitější vlastnosti akumulátoru lze shrnout do následujících bodů:

- dlouhá životnost,
- vysoký počet nabíjecích cyklů,
- velká účinnost i při malých nabíjecích proudech,
- nízké samovybíjení,
- možnost hlubšího vybíjení,
- zachování vlastností při nízkých teplotách (u nevytápěných prostor),
- co nejmenší údržba. [13]

Dalším důvodem akumulace, už primárně nesouvisejícím s FV zdrojem, je potřeba napájet přenosná elektrická zařízení. Vlastnosti těchto akumulátorů se tedy odvíjí od potřeby zachovat co nejnižší rozměry a hmotnost, s dostatečnou kapacitou a dalšími přidruženými parametry, které dále ještě podrobněji rozebereme.

Třetím důvodem akumulace elektrické energie může být její transformace do jiných forem energií vhodných k dalšímu využití. Například do potenciální energie vody, hojně využívaného nástroje energetiků k vyrovnávání špiček v distribuční síti. V domácnostech se pak setkáváme nejčastěji s elektrickými ohřívači vody. [12]

2.3 Dimenzování fotovoltaické elektrárny

2.3.1 Špičkový výkon FV systému

Špičkový výkon fotovoltaického systému PPK se získá z parametrů pro součinitel špičkového výkonu KPK jednotlivých druhů FV modulů (tab. 2.2), vycházejících z referenčních zkušebních podmínek (teplota článku 25 °C, ozáření $J = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, sluneční spektrum) a celkové činné plochy všech modulů A

$$P_{PK} = K_{PK} \cdot A \quad (\text{kWp}), \quad (2.6)$$

kde je P_{PK} špičkový výkon FV systému (kWp),
 K_{PK} součinitel špičkového výkonu ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$),
A..... celková činná plocha všech FV modulů (m^2).

Tabulka 2.2 Přibližné hodnoty součinitele špičkového výkonu [11]

Typ materiálu FV modulu	$K_{PK} (\text{kW} \cdot \text{m}^{-2})$
Monokrystalický křemík	0,12 – 0,18
Polykrystalický křemík	0,10 – 0,16
Tenkvrstvý amorfní křemík	0,04 – 0,08
Ostatní tenkvrstvé	0,035
Tenkvrstvý CIGS*	0,105
Tenkvrstvý CdTe*	0,095

*CIGS (meď-indium-galium-diselenid), CdTe (kadmium-telurid)

2.3.2 Elektrická energie dodaná FV systémem za časové období

$$E_{FV} = \frac{Q_T \cdot P_{PK}}{J_{ref}} \quad (\text{kWh}), \quad (2.7)$$

kde je E_{FV} elektrická energie dodaná FV systémem (kWh),
 Q_T dávka slunečního záření ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$),
 P_{PK} špičkový výkon FV systému (kW),
 J_{ref} referenční sluneční ozáření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.3.3 Účinnost

Celková účinnost FV panelu se snižuje s narůstající teplotou. Vztah pro výpočet vychází ze známé referenční účinnosti η_{ref} určené při normovaných zkouškách, skutečné teploty článku t_{FV} a teplotního součinitele výkonu γ .

$$E_{FV} = \frac{Q_T \cdot P_{PK}}{J_{ref}} \quad (\text{kWh}), \quad (2.8)$$

kde je η_{FV} celková účinnost (-),
 η_{ref} referenční účinnost (-),
 γ teplotní součinitel výkonu (%/K),
 t_{FV} teplota FV článku (°C),
 t_{ref} referenční teplota 25 °C.

3. EXPERIMENTÁLNÍ SOLÁRNĚ NAPÁJENÉ VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

3.1 Požadavky

Původní návrh experimentální oběhového vodního hospodářství počítal s vytvořením kompletní fotovoltaické elektrárny, tedy i s pořízením panelů, akumulátorů, regulátoru a dalších potřebných komponent. V podstatě se mělo jednat co do provedení o návaznost na již hotový projekt mobilní fotovoltaické elektrárny vytvořené v rámci diplomové práce na VUT. Do přenosného systaineru byly umístěny všechny potřebné komponenty elektrárny včetně akumulátorů napájených přenosnými fotovoltaickými panely a byla tak vytvořena plně funkční nabíjecí stanice s možností používat výstupy 12 V DC nebo 230 V AC.



Obrázek 3.1 Nabíjecí stanice [22]

Na základě diskuse o možnostech řešení našeho projektu bylo rozhodnuto zaměřit se pouze na tu část řízení vodního hospodářství, která by byla doplňkem již vytvořené elektrárny tak, aby mohla sloužit jako uvažovaný zdroj energie našeho zařízení. Vytváření nové solární elektrárny by v podstatě kopírovalo tento již hotový projekt, parametry vytvořené elektrárny však v návrhu dále ještě využijeme. Požadavek na přenosné venkovní zařízení s řídicím systémem ovládajícím připojená čerpadla zůstal a nové požadavky byly shrnuty do následujících bodů:

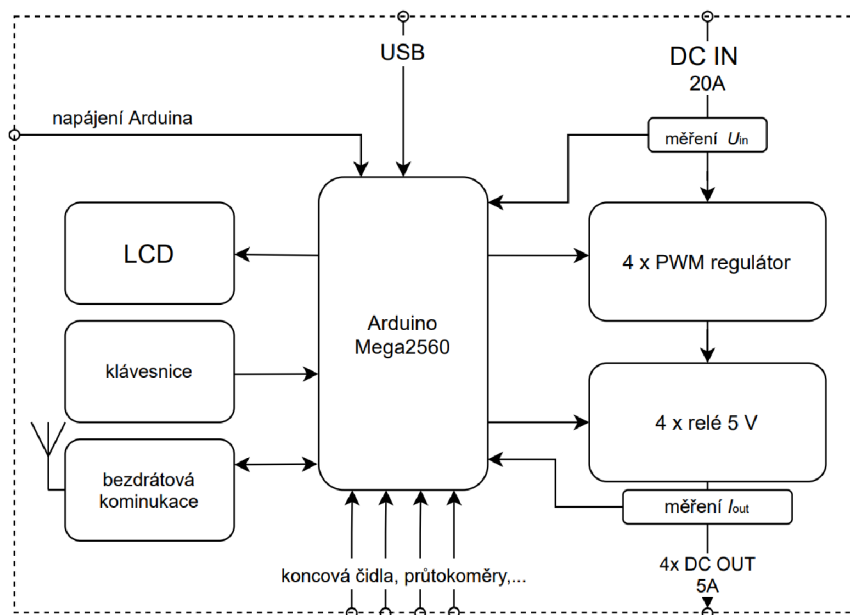
- Možnost připojení k napětí z FV elektrárny (12 V);
- řízení alespoň 4 samostatných okruhů;
- automatický programovatelný řídicí systém;
- programování základních funkcí řízení vodního hospodářství jako je:
 - výkon čerpadla,
 - měření / nastavení průtoku,

- použití časovače,
- nastavení počtu cyklů;
- přenosné, voděodolné provedení.

3.2 Řídicí systém a komponenty

Za účelem vytvoření systému řídicího chod jednotlivých čerpadel bylo nutné vybrat takový hardware, aby bylo možno vytvořit dostatečné programové rozhraní, pokud možno co nejjednodušším způsobem (vzhledem k absenci pokročilých programátorských znalostí autora práce), zároveň však s cílem vytvořit takové funkční zařízení, aby se jednalo o plnohodnotný řídicí systém. Jedním z hlavních parametrů výběru programovatelného procesoru bylo zajistit co nejjednodušším způsobem ovládání připojených čerpadel na základě zvolené logiky programu nebo přímo na základě reakce na připojená čidla a spínače. Dále se od začátku projektu počítalo s doplněním programu o grafický displej a klávesy sloužící k základnímu nastavování předdefinovaných funkcí přímo v místě umístění zařízení bez nutnosti neustálého přeprogramování pomocí PC.

K tomuto účelu byl zvolen jednodeskový počítač Arduino založený na mikrokontrolerech firmy Atmel. Jedná se nejoblíbenější vývojovou open-source platformu, jejíž oblíbenost tkví zejména v dostupnosti nejen samotných desek a množství funkčních komponent, ale také i v poměrně jednoduchém programovacím jazyku Wiring (založeném na C++) a vývojovém prostředí Arduino IDE [23]. Důvod výběru základní desky a jednotlivých komponent se stručným popisem bude uveden v následujících kapitolách. Zaměříme se také některé části vytvořeného programu a jeho logiku, celý zdrojový kód pak bude přiložen jako elektronická příloha této bakalářské práce.



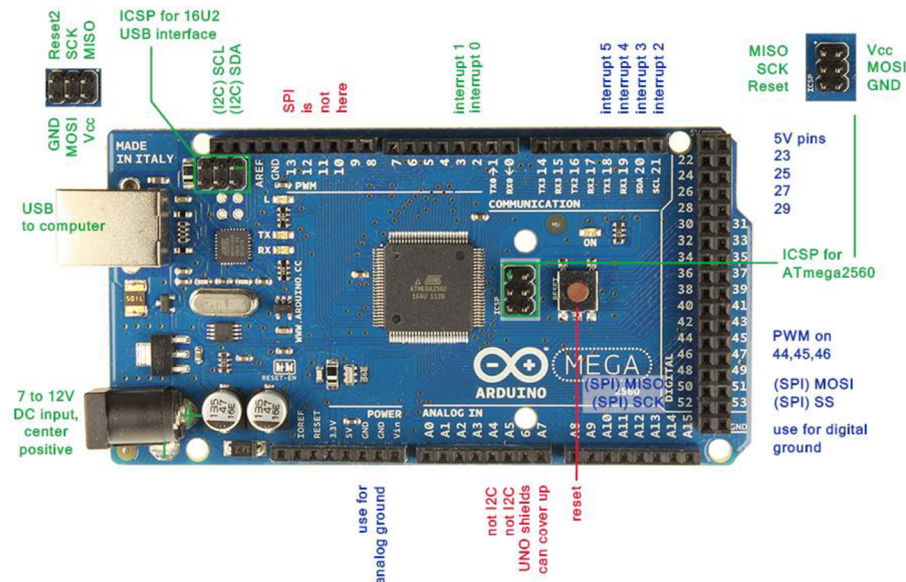
Obrázek 3.2 Blokové schéma navrženého řídicího systému

Prvotní návrh systému a výběr komponent se odvíjel od definovaných vlastností navrhovaného řízení vodního hospodářství uvedených v kapitole 3.1. Pro zjednodušení návrhu bylo snahou použít co nejvíce již vyráběných a běžně dostupných modulů určených právě především k výrobě a testování funkčních prototypů, které se pouze propojí vodiči bez nutnosti sestavování jednotlivých DPS. Moduly pro zajištění funkce řídicího programu byly vybrány tyto:

- základní deska Arduino Mega2560,
- LCD displej 128x64, ST7567,
- PWM MOSFET modul D4184,
- relé modul 5 V, 4x 10 A/250 V,
- proudový senzor 20 A ACS712,
- napěťový senzor 0 – 25 V,
- dobíjecí modul s ESP8266.

3.2.1 Základní deska

Základním typem desky platformy Arduino je deska Uno. Dva hlavní prvky zajišťující její funkci jsou procesor ATmega328 a převodník komunikace mezi PC a procesorem přes sériový port USB. Prodlouženým typem desky Uno je pak námi zvolená Mega2560, která se vyznačuje vyšším výkonem díky čipu ATmega2560. Ten ale není hlavním důvodem našeho výběru - program nebude příliš náročný na výpočetní výkon. Vhodnou vlastností určující náš výběr je vysoký počet digitálních pinů (54), což je výhodné pro přímé připojování vstupních a výstupních periférií bez nutnosti připojovat další sériové převodníky [23].



Obrázek 3.3 Rozložení desky Mega2560 s vyznačením dostupných pinů [24]

Číslo jednotlivých pinů je nutno při propojování s moduly dodržet dle katalogového listu, protože každá skupina pinů je vhodná pouze pro určité funkce a zejména pro

připojované moduly se některé podobně označené piny svou funkcí liší. Pro přehled zde uvedeme v tabulce právě ty piny, které jsou pro náš program stěžejní a k jakému účelu budou v programu použity.

Tabulka 3.1 Vybrané piny desky Mega2560 a jejich využití v našem systému

Číslo pinů	Funkce (název)	Využití
2 – 13	přímá PWM regulace	řízení rychlosti motoru 12 V čerpadel
18 – 21, 2,3	detekce přerušení	průtokoměr (na principu optočlenu)
A0 – A15	analogový vstup	měření napětí, proudu, teploty, atd..
50, 51, 52, 53	MISO, MOSI, SCK, SS	SPI komunikace s displejem
22 – 53	digitální piny	ostatní vstupní a výstupní periferie (klávesnice, čidla, apod.)

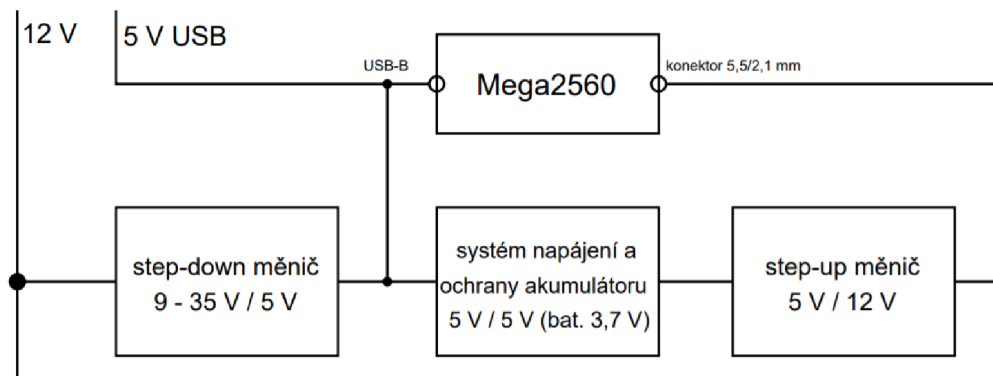
3.2.2 Napájení desky

Napájení desky probíhá buď přes USB konektor (operační napětí 5 V dostatečné pro chod procesoru) nebo pomocí sousého konektoru 5,5/2,1 mm v doporučeném napěťovém rozsahu 6 – 15 V (horní hranice až 20 V). Napájení pomocí sousého konektoru je nezbytné použít v případě, kdy se používá výstup z lineárního regulátoru 5 V pro napájení připojených komponent tímto napětím. Poslední běžnou možností napájení Arduina je použít piny VIN a GND. U této varianty nesmí v žádném případě dojít k přepólování vstupního napětí, protože zde není do série připojená ochranná dioda, na rozdíl od vstupu přes sousý konektor. V opačném případě by mohlo dojít k poškození desky [27].

Vzhledem k tomu, že budeme chtít naše zařízení udržovat v některých situacích v stand-by režimu i bez zdroje napětí ze solární elektrárny, bude společně s řídicím systémem v instalační krabici umístěn také akumulátor zajišťující napájení desky. Ten se bude průběžně dobíjet nejen z připojeného napětí solární elektrárny, ale v případě potřeby i přes USB konektor, který však bude primárně sloužit pouze k programování procesoru.

Vzhledem k integrovanému komparátoru v napájecích obvodech Arduina je možno mít k desce připojeno jak USB, tak i sousý konektor současně. Pokud je dostupné napájení sousým konektorem, vypíná komparátor společně s MOSFET tranzistorem napájení USB konektorem se zachování sériové komunikace s PC. Takovéto zapojení je v našem případě výhodné využít vzhledem k plánu mít trvale zabudovanou řídicí jednotku do instalační krabice, ale s možností v případě potřeby přeprogramovat procesor bez složité demontáže. S touto podmínkou bylo navrženo použití následující komponent:

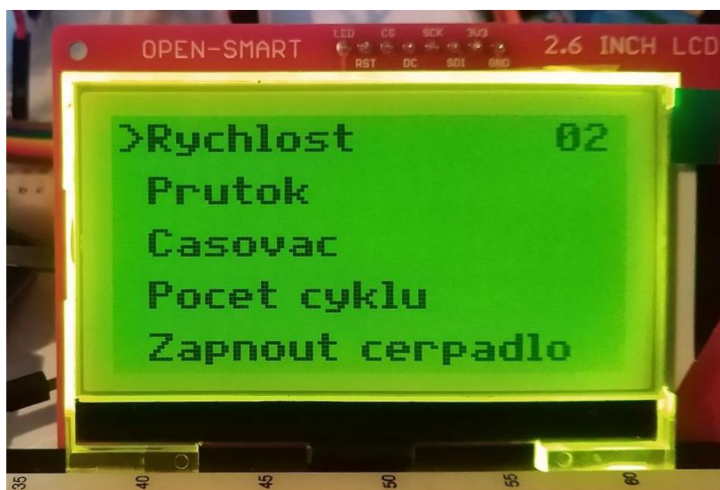
- akumulátor 18650 – 3,7 V,
- modul napájení a ochrany akumulátoru s výstupním měničem 5 V,
- step-down měnič 9 – 35 V / 5 V,
- step-up měnič 5 V / 12 V.



Obrázek 3.4 Schéma uspořádání napájecího obvodu

3.2.3 Displej

Displej s řadičem ST7567 je monochromatický LCD displej s rozlišením 128x64 bodů o velikosti 2,6". Díky integrovanému řadiči je připojení k Arduino možné pouze pomocí 8 vodičů, včetně napájení 3,3 V přímo ze základní desky. Samotné dekódování zobrazovaných znaků pak funguje díky I2C sběrnici a knihovně znaků a funkcí adresovaných řadiči LCD displeje. Tyto knihovny budou pro úplnost také vloženy k příloze bakalářské práce, jako nedílné součásti zdrojového kódu vytvořeného programu, nebyly však vytvořeny v rámci práce, ale staženy z volně dostupného zdroje [26] s GNU GPL licencí.



Obrázek 3.5 Ukázka použité grafické knihovny v našem programu

3.2.4 PWM modul

Parametry modulu:

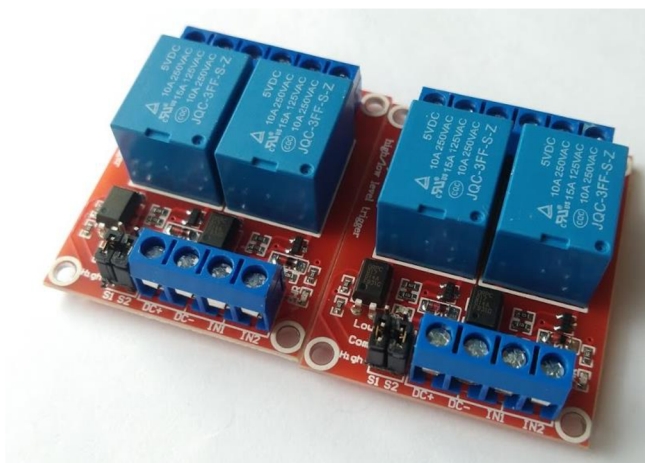
- tranzistor N-MOSFET D4184
- optočlen PC817

- napětí na zátěži 0 – 40 V
- výstupní proud 0 – 50 A
- ovládací napětí 3,3 – 5 V

Modul slouží k regulaci napětí zdroje tak, aby se jednotlivá čerpadla dala provozovat s různě nastaveným výkonem. Použity budou 4 moduly, jeden pro každý výstup. Princip samotné PWM regulace spočívá v nastavování střídy signálu tranzistoru na požadovanou hodnotu regulace tak, kdy se mění doba sepnutí a vypnutí tranzistoru podle zvolené střídy, avšak se zachováním amplitudy výstupního napětí dle hodnoty vstupního napětí. Tím se nemění magnetizační poměry regulovaného motoru a nedochází tak ke ztrátě výkonu. Vzhledem k uvažovanému přímému řízení 12 V stejnosměrných čerpadel je tato regulace vhodným řešením. Problém může nastat při vysokých proudech tekoucích tranzistorem, kdy může docházet k silnému zahřívání a tedy poškození tranzistoru. Proto byl zvolen modul s dostatečně dimenzovaným tranzistorem (možnost odebírat až 50 A) i přes uvažovaný maximální výstupní proud na jeden modul max 5 A. Přesto se problematice chlazení PWM modulů budeme věnovat ještě v následující části popisující samotnou konstrukci zařízení.

3.2.5 Reléový modul

K bezpečnému spínání čerpadel až po nastavení všech požadovaných parametrů byly do obvodu vřazeny reléové moduly ovládané digitálním signálem. Pro napájení je použito 5 V a maximální zátěž spínacích kontaktů je 10 A při 230 V.



Obrázek 3.6 Reléové moduly

3.2.6 Měřené veličiny

Napětí

Hlavní snímanou veličinou v našem zařízení je napětí zdroje určeného k pohonu čerpadel. V případě, že tímto zdrojem budou pouze připojené akumulátory bez jakékoli ochrany proti nedovolenému vybití baterie, bude tato ochrana zajištěna vypnutím

připojených čerpadel při poklesu napětí baterie pod minimální nastavenou hodnotu dle typu baterie. Pravděpodobnější variantou ale bude připojení systému na plně funkční fotovoltaickou elektrárnu s vlastními ochranami a tak bude možné v tomto případě podmínku minimálního napětí vyřadit z programu a napětí měřit pouze pro přehled či zápis statistik provozu.

K měření napětí bude opět pro zjednodušení použit již sestavený modul, jehož princip je založen na napěťovém děliči. Pro měření napětí tak stačí znát hodnoty dvou použitých odporů v zapojení děliče. Převod vstupního napětí z analogového vstupu Arduina na skutečné měření napětí U_{sk} se pak v programu počítá z rovnice

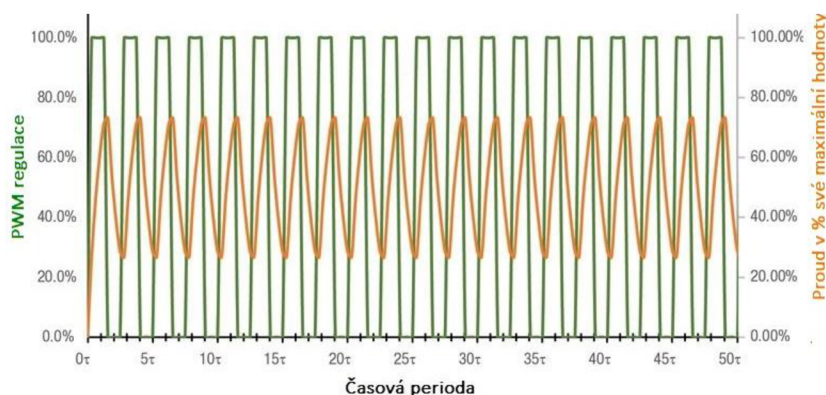
$$U_{sk} = U_{vst} \cdot \frac{U_{nap}}{1024} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}, \quad (3.1)$$

kde R_1 a R_2 jsou hodnoty odporů, U_{vst} je hodnota napětí kterou čte program na vstupním pinu, U_{nap} se zvolí jako konstanta a je rovna napájecímu napětí děliče. To je rozhodující pro přesnou kalibraci měření a nemělo by kolísat. Konstanta $U_{nap}/1024$ pak vyjadřuje celkový vstupní rozsah.

Proud

Potřeba monitorovat proud v našem zařízení vyplynula z požadavku vytvoření přehledu aktuálního stavu provozu, případně celkových statistik. Pro tento účel byly na zkoušku pořízeny moduly ACS712, proudové senzory do 20 A pracující na principu Hallovy sondy. Při praktickém testování v naší aplikaci se však ukázala jejich značná nepřesnost a to ze dvou důvodů. Prvním problémem je jejich samotné provedení, které není vhodné na měření malých proudů (zhruba do poloviny celkového měřicího rozsahu), z důvodu velkého ovlivňování okolním magnetickým polem. Největší přesnost s kontrolním multimetrem vykazovaly při měření proudů na horní hranici maximálního možného zatížení, tedy zhruba při 18 - 20 A. Jelikož se jedná o levné prototypové moduly, je tato nepřesnost celkem pochopitelná.

Další problém souvisel s měřením proudu modulovaného signálu.



Obrázek 3.7 Předpokládaná závislost proudu regulovaným motorem na čase [28]

Z předpokládaného průběhu proudu regulovaným obvodem pomocí pulzně šířkové modulace na obr. 3.7 vidíme charakteristický rozkmit proudu, jehož frekvence je ovlivněná pracovní frekvencí PWM regulátorů (u našich modulů 0 – 20 kHz). Hodnota proudu tedy není v čase konstantní a pro přesné měření střední hodnoty takového signálu je už zapotřebí mít přesnější měřicí zařízení s dostatečnou vzorkovací frekvencí. Zřejmě i pomocí Arduina by se dala vytvořit přesná měřicí sestava, nejlépe s vlastním procesorem a převodníkem, aby mohl být proud snímán nezávisle na hlavním programu. Dále jsme se však touto možností více nezabývali, neboť to nebyla stěžejní podmínka zajištění funkčnosti našeho zařízení. Původní moduly ale byly v návrhu zachovány, přestože měřené hodnoty proudu neodpovídají zcela skutečnosti, pomohly nám navrhnout grafické rozhraní a samotné rozložení komponent v zařízení tak, aby se mohlo tento problém v budoucnu případně dořešit.

3.2.7 Dálková komunikace

V navrženém provozu našeho zařízení se uvažuje možnost použití dálkové komunikace pro spínání čerpadel v závislosti na přebytečné energii z fotovoltaické elektrárny. Momentálně je zařízení osazeno spínacím modulem pro dálkové ovládání na principu ASK modulace, není problém ale případně zajistit lepší dálkovou komunikaci s možností řídit i jednotlivé programy.

Parametry použitého ovládacího modulu:

- počet kanálů: 4
- provozní proud: 10 mA
- vyzářený výkon: 10 mW
- frekvence: 633 MHz
- přenos: 50 – 100 m (v otevřeném prostoru)

3.2.8 Funkce programu

K orientaci programem slouží menu ovládané pomocí kláves. Po spuštění programu se zapne úvodní obrazovka, kde je možnost vybrat:

- přehled zapnutých čerpadel;
- nastavení funkcí čerpadel;
- stav připojeného akumulátoru;
- další možnosti nastavení Arduina (podsvícení obrazovky, hodiny, ...).

V nastavení funkcí čerpadel se vybere číslo programovaného čerpadla a objeví se nabídka těchto funkcí

- nastavení výkonu čerpadla (v % PWM);
- nastavení průtoku;
- nastavení časovače;
- nastavení cyklovače;
- zapnutí nastavených funkcí.

Ve stavu připojeného akumulátoru se zobrazuje hodnota vstupního napětí, zároveň tento program bez výpisu napětí běží po celou dobu programu a hlídá napětí akumulátoru tak, aby nedošlo k poklesu pod nastavenou dovolenou hodnotu.

Spínání vypínání relé je podmíněno nejen nastaveným programem, ale také připojenými čidly. Ty nejsou v programu momentálně přesně definovány, jejich vstupy jsou však nastaveny jako digitální vstupní piny a podle charakteru připojeného čidla se pak v programu na základě reakce čidla mění hodnota logické proměnné TRUE / FALSE jako podmínka sepnutí těchto relé. Stejná podmínka je nastavena i pro dálkové ovládání.

Vypnutím podsvícení displeje je zařízení uvedeno do režimu „stand-by“ a zapnuté čeká na provedení naprogramovaných funkcí.

Celková funkčnost zařízení, včetně nastavování jednotlivých parametrů, bude předvedena u následné obhajoby práce s ukázkou možností použití koncových čidel. Zde bohužel musíme konstatovat nedokončení všech požadovaných funkcí zařízení v době odevzdání práce. Například se nepovedlo doladit časovač zařízení tak, aby fungoval spolehlivě v rámci celého programu. V odevzdaném kódu tedy některé části zahrnuté nejsou, pokusíme se je ale ještě doladit k demonstraci vytvořeného zařízení u obhajoby. Změny se však nebudou týkat již použitých komponent mechanické konstrukce, která se povedla dokončit v poměrně kompaktním a robustním provedení a chronologický postup prací bude popsán v následujících kapitolách.

3.3 Konstrukce zařízení

Po otestování základních funkcí řídicího programu se přistoupilo k samotné konstrukci přenosného zařízení ve voděodolném provedení. Hlavní důraz byl kladen především na výběr vhodných zásuvek s dostatečným krytím IP a celkovou úpravu instalační krabice a rozložení jednotlivých komponent tak, aby bylo vytvořeno přehledné, funkční zařízení. V následující části práce bude popsán postup konstrukce a výběr jednotlivých prvků zařízení.

3.3.1 Instalační krabice

Pro umístění všech potřebných prvků po jejich zběžném předpokládaném rozložení byla vybrána instalační krabice SCABOX o vnitřních rozměrech 150 x 110 x 70 mm.



Obrázek 3.8 Instalační krabice SCABOX [29]

Pro výběr této krabice bylo rozhodnuto zejména na základě těchto podmínek:

- dostatečný rozměr pro umístění základní desky Mega2560 se všemi příslušnými moduly;
- transparentní víko – možnost umístit displej viditelně do krabice bez nutnosti krabici dále upravovat;
- hladké stěny – snadné vytvoření otvorů pro zásuvky a chladič.

Další, pro nás důležitý parametr výběru, je stupeň krytí, vzhledem k plánovanému dlouhodobému umístění zařízení ve venkovním prostředí. Ten je u vybrané krabice IP 56, což znamená ochranu před prachem nebo dotykem drátem a intenzivně tryskající vodě.

3.3.2 Chlazení

Chlazení PWM regulátorů, respektive jejich tranzistorů, je provedeno ze starých hliníkových chladičů z PC zdroje a bylo provedeno spíše jen jako příprava pro případné navýšení výkonu zařízení. Při současném dimenzování maximálního výstupního proudu 5 A na jedno čerpadlo a při použitém typu tranzistoru (viz. 3.2.4) je jejich výrazné zahřívání vyloučeno. Blok s regulátory je umístěn v horní části krabice, kde byl vyříznut ve stěně obdélníkový otvor o rozměrech cca 80 x 20 mm, jež byl nahrazen hliníkovým plátem o stejné tloušťce, jako má stěna krabice. Ten slouží jako styčná plocha mezi chladiči umístěnými z venkovní strany krabice a tranzistory uvnitř. Chladiče jsou větší, než vyříznutý otvor, tedy ho zakrývají svým přesahem, a navíc byly před jejich přišroubováním ke krabici byly v místech dotyku olepny silikonem z důvodu co největšího zachování požadované vodotěsnosti.



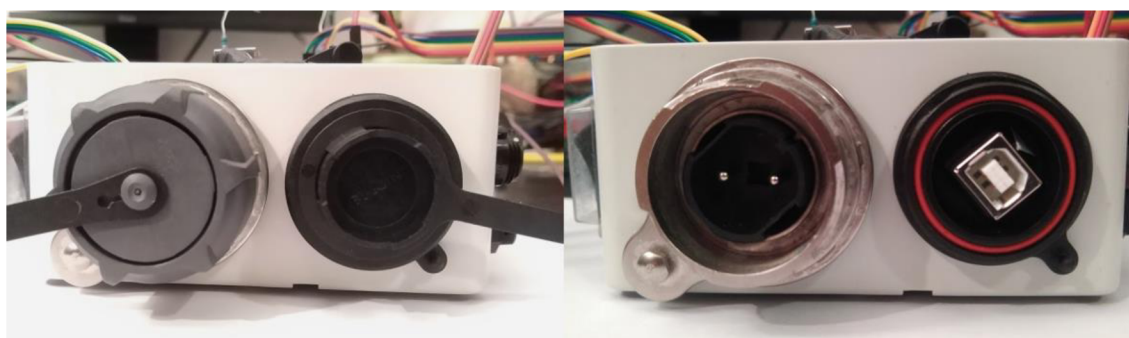
Obrázek 3.9 Pohled na přimontovaný chladič

3.3.3 Zásuvky, jištění

Všechny vstupy a výstupy byly osazeny vodotěsnými zásuvkami tak, aby se mohlo zařízení jednoduše přenášet či případně dodatečně programovat u počítače. Vodotěsnost je zajištěna jednak odpovídajícími konektory, pokud jsou připojeny, nebo krytkami s deklarovaným vyšším krytím u všech použitých zásuvek, než má samotná instalační krabice.

Tabulka 3.2 Přehled použitých zásuvek

Typ zásuvek	Výrobce	Vybrané parametry	Použití
PXM7012/02P/ST, vidlice	BULGIN	krytí: IP 68 jmenovitý proud: 25 A počet pinů: 2	připojení k FV elektrárně, 12 V
SP1312 / S7, zásuvka	WEIPU	krytí: IP 68 jmenovitý proud: 10 A počet pinů: 7	napájení čerpadel, signál z koncových čidel
PX0843/B, zásuvka USB - B	BULGIN	krytí: IP 68	programování jednotky



Obrázek 3.10 Napájecí a USB konektor s nasazenými krytkami a bez nich

Výstupní zásuvky byly vybrány tak, aby se do nich mohla připojovat nejen samotná čerpadla, ale také další přidružená čidla současně. Použity jsou tedy 4 zásuvky v 7pinovém provedení, kdy na dva kontakty jednoho konektoru připadá řídicí napětí čerpadla a na zbylých pět čidla podle konfigurace konkrétního umístění. K místu určení tak povede jeden společný kabel pro napájení a řízení, kde bude dále rozdělen.



Obrázek 3.11 Zásuvka s konektorem Weipu

K zajištění nadproudové ochrany v obvodech čerpadel jsou použity trubičkové pojistky 5 x 20 mm o jmenovitém proudu 5 A. Ty jsou uloženy v pouzdech umístěných ve stěně krabice tak, aby byly snadno přístupné, bez nutnosti odpojovat kabeláž a demontovat krycí víko a byla zde možnost snadné a rychlé výměny, pokud by došlo k poruše čerpadla nebo k nechtěnému zkratování obvodu při manipulaci s nimi. Pojistková pouzdra jsou opět v provedení IP 68.

V zařízení pod řídicí deskou je dále umístěna ještě jedna trubičková pojistka 0,5 A. Ta je zapojena v nabíjecím obvodu Arduina mezi vstupním konektorem a step-down měničem. U této pojistky však není potřeba rychlé výměny, v případě vybavení se dá očekávat porucha na řídicím obvodu a je tedy nutné zařízení odpojit a rozebrat. Společně s pojistkou byla do obvodu vřazena univerzální dioda 1N4007 jako ochrana proti přepólování měniče.



Obrázek 3.12 Rozmístění řídicích zásuvek a pojistkových pouzder ve stěně krabice

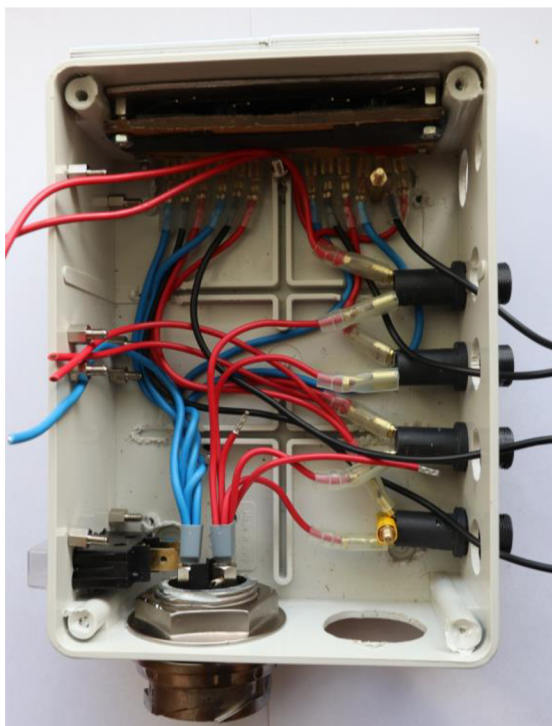
3.3.4 Vodiče, spoje

Průřez hlavních spojovacích vodičů je ovlivněn maximálním výstupním proudem do jednotlivých okruhů 5 A. Pro zařízení ale nebyly vybírány nové vodiče, opět byl využit starý vyřazený PC zdroj, ze kterého byly vodiče použity. Vhodnost těchto vodičů ale byla před montáží zkontrolována dle jejich kódového označení AWG 18. Dalšími vodiči použitými v zařízení jsou propojovací lanka mezi Arduinem a podřízenými moduly s označením AWG 26 s nalisovanými Dupont konektory. Parametry použitých vodičů byly ověřeny s tabulkou srovnávající uvedené americké typové označení s průřezem v mm a proudovou zatížitelností.

Tabulka 3.3 Přehled použitých vodičů

Označení	Průměr (mm)	Průřez (mm ²)	Max. proud (A)
AWG 18	1,024	0,823	20
AWG 26	0,405	0,129	5

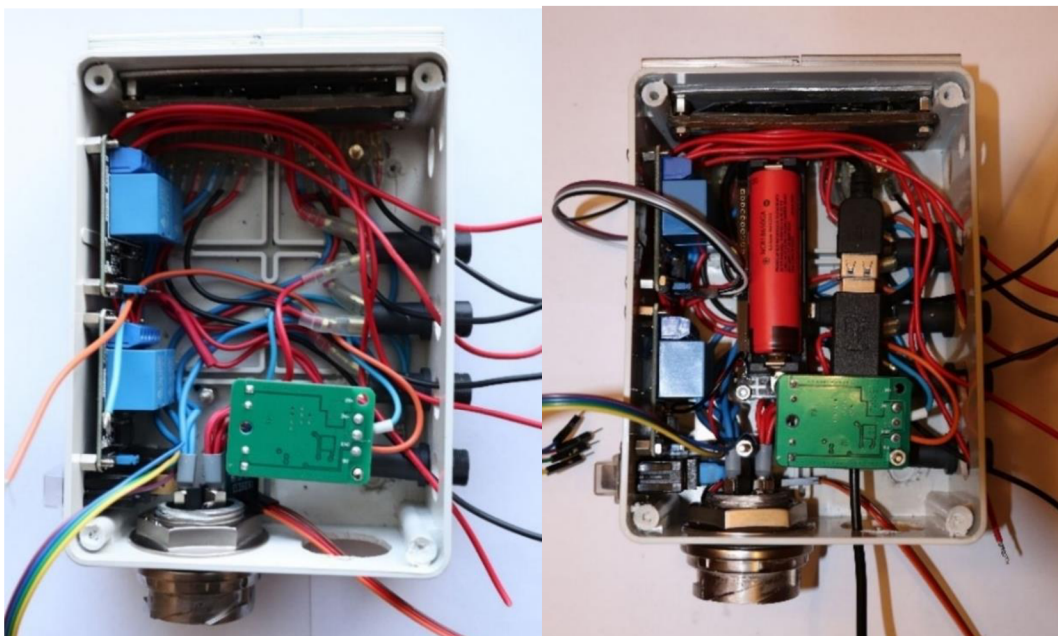
Pro zajištění pohodlné montáže a možnosti zařízení případně snadno opravit, byla snaha použít co nejvíce rozpojitelných kontaktů bez nutnosti vodiče pájet. K tomuto účelu byly na kabely nalisovány koncovky faston 4,8 a 6,3 mm s použitím ochranných silikonových bužirek. Konce vodičů určené pro připojení do svorkovnic byly zalisovány dutinkou, včetně těch, vedoucích k hlavní přívodní zásuvce, kde byly jednotlivé vodiče spojeny společně do dvou dutinek 6 mm².



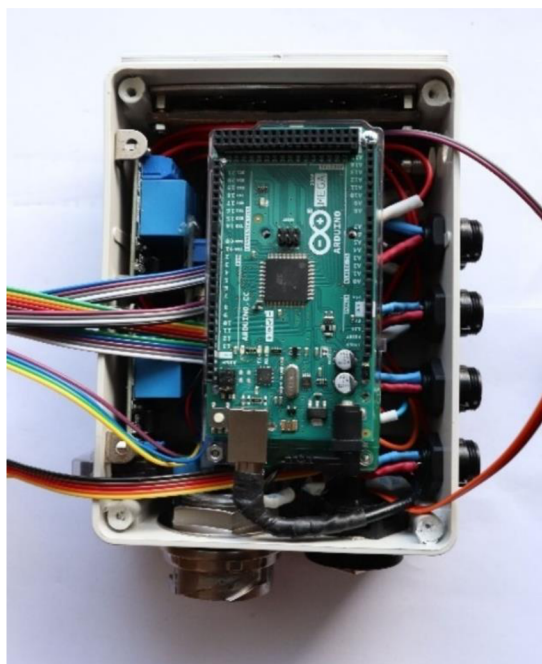
Obrázek 3.13 Základní rozložení vodičů v krabici

3.3.5 Rozložení prvků

Konkrétní rozmístění modulů nebylo předem přesně navrženo, ale vyplývalo spíše z postupného konstruování zařízení a zkoušení různých vhodných poloh umístění. K pevnému uložení a vymezení bezpečných vzájemných vzdáleností byly použity distanční sloupky a šroubky se závitem M3 přišroubované do stěny krabice.

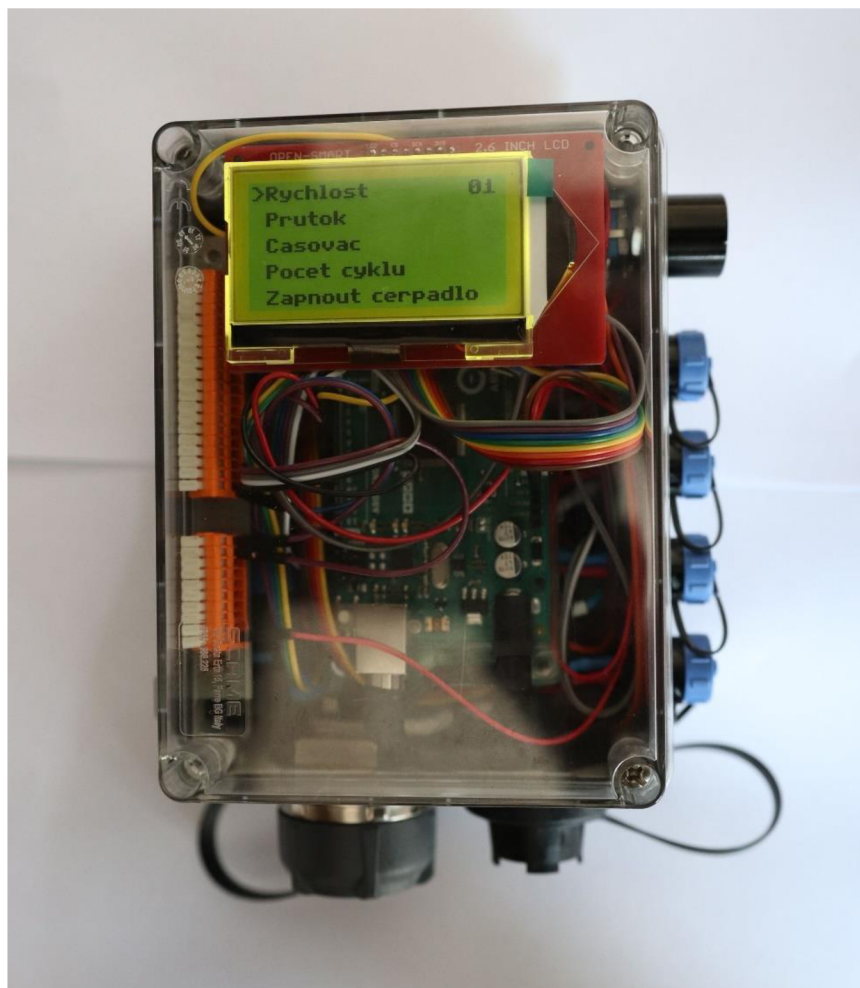


Obrázek 3.14 Přišroubované relé moduly a měničem 12 / 5 V – *vlevo*, doplnění o akumulátor - *vpravo*



Obrázek 3.15 Připevněná deska Mega2560 a veškeré zástrčky s kabeláží

3.3.6 Finální vzhled



Obrázek 3.16 Finální vzhled hotového výrobku

Poslední fází bylo připojení datových vodičů modulů s Arduinem s použitím pomocné svorkovnice (vlevo od displeje) a připevnění displeje. Na obrázku finálního vzhledu chybí membránová klávesnice, která měla být nalepená z venku na krycím víku s prostupem vodičů pod ní. Ta se bohužel těsně před dokončením rozbila a v době odevzdání práce ještě nebyla dostupná nová s jiným typem připojení, otvor pro prostup vodičů víkem tedy zatím nebyl vytvořen. K obhajobě bude výrobek připraven i s novou klávesnicí. Více fotografií z konstrukce zařízení je vloženo v elektronické příloze práce.

3.4 Parametry zařízení

Následující přehled parametrů zařízení je shrnutí vytvořené zprvce na základě vlastností použitých mechanických komponent, tedy hlavně co se krytí IP týče. Zde můžeme finální stupeň krytí celého zařízení pouze odhadovat, protože úpravou krabice byla deklarovaná odolnost samozřejmě narušena a pro nové posouzení by bylo potřeba

udělat novou zkoušku (zejména na odolnost vůči kapalinám). Při montáži však byla snaha o co nejpřesnější utěsnění vyvrtaných otvorů a dá se tedy očekávat, že konečná úroveň krytí bude dosahovat původního stupně IP 56. Zadruhé pak parametry určují elektrické vlastnosti použitých komponent a zjištěny byly buď z katalogu, měřením nebo výpočtem. Celkový přehled určených parametrů výrobku je uveden v následujících tabulce.

Tabulka 3.4 Parametry zařízení

Stupeň krytí	IP 56
Rozměry	190 x 145 x 75 mm
Hmotnost	950 g
Teplotní odolnost	-30 – 50 °C
Kapacita baterie	3500 mAh
Maximální vlastní odběr	300 mA
Odběr ve stand-by režimu	50 mA
Maximální doba provozu ve stand-by	70 hodin
Počet okruhů	4
Počet čidel na okruh	4
Jmenovité napětí	12 V
Jmenovitý proud	20 A
Výkon na výstupu	60 W
Celkový výkon	240 W

3.5 Testování čerpacích zařízení

Za účelem otestování funkčnosti vytvořeného zařízení byla pořízena dvě odstředivá 12 V ponorná čerpadla, která svými parametry a výkonem odpovídají předpokládaným čerpacím zařízením používaných v reálném provozu našeho systému.

Tabulka 3.5 Jmenovité parametry testovaných čerpadel

Čerpadlo	BARWIG	OCEAN - COMET
Průtok	18 l/min	21 l/min
Dopravní výška (doporučená)	10 m	10 m
Maximální tlak	1 bar	1,5 bar
Jmenovité napětí	12 - 14 V	12 V
Proud	2,1 – 2,9 A	5 A
Příkon	25,2 – 40,6 W	60 W



Obrázek 3.17 Testovaná čerpadla Barwig a Comet

Testování probíhalo na vytvořeném měřícím okruhu s možností snímat

- proud procházející vinutím čerpadla,
- průtok čerpadla v závislosti na dopravní výšce,
- tlak v potrubí.

Měřený tlak v potrubí jsme vytvářeli pomocí kulového ventilu umístěného v sestavě. Přivíráním kohoutu při zapnutém čerpadle jsme zvyšovali tlak v potrubí po 0,1 bar, což nám simulovalo dopravní výšku čerpadla, kdy 0,1 bar odpovídá výšce 1 metru vodního sloupce. Ke snímání tlaku byl použit klasický mechanický manometr s měřícím rozsahem 0,06 – 1,6 bar, se stupnicí vyznačenou po 0,02 bar. Zkouška manometru proběhla jednoduše pomocí připojené hadice naplněné tekutinou, přesným změřením výšky vodního sloupce od měřícího ústrojí manometru a odečtením ukazovaného tlaku. Takto byl vyzkoušen tlak vodního sloupce až do 6 metrů a manometr, v závislosti na stupnici po 0,02 bar, tedy 20 cm vodního sloupce, měřil přesně.

Vytvoření měřící sestavy mělo další důvod, a to zkalibrování průtokoměru připojeného k Arduinu. Pro účely měření však byla použita jiná deska s programem určeným pouze ke čtení a ukládání hodnot měřeného průtoku do souboru, než ta u vytvořeného řídicího systému. S testovaným průtokoměrem je ale také uvažováno u navrženého řídicího systému, jako s jedním z možných čidel v provozu. Kalibrací jsme tak získali hodnotu konstanty odpovídající počtu pulzů za vteřinu pro snímání průtoku 1 l/min, která byla využita právě i pro naše zařízení. Kalibrace proběhla několikrát zopakovaným přečerpáním 5 litrů vody, po ustálení chodu čerpadla a po zjištění odchylky změřené hodnoty od skutečně přečerpané byla upravována kalibrační konstanta v programu, tak dlouho, dokud měřené výsledky neodpovídaly skutečnosti.



Obrázek 3.18 Použitá měřicí armatura

Vytvořená měřicí armatura na obrázku 3.18 s manometrem a kulovým ventilem byla nejprve vytvořena bez průtokoměru. Doplnění o průtokoměr se realizovalo až později a ukázalo se, že kulový ventil za T kusem s manometrem nemůže být použit tak, jak byl původně navržen. Přivřením zde při testování čerpadel vytvářel nejspíše neustálené vodní proudění, které mělo vliv na četné výchyly i po zkaličování průtokoměru, zejména vždy po změně tlaku v potrubí. Pro zachování potřeby měnit tlak tak byl osazen na sestavu ventil druhý, ale až na konci hadice. Po této úpravě už průtokoměrem proudil ustálený proud vody a měřené hodnoty odpovídaly skutečnosti na celém tlakovém rozsahu. Použitý průtokoměr má měřicí rozsah 1 – 30 l a kód pro nastavení Arduina jak při měření tak v řídicím systému byl převzat z internetového zdroje [30].

Z testování samotných čerpadel nás nejvíce zajímaly hodnoty pro vytvoření Q – H křivky, tedy závislosti průtoku na dopravní výšce. Pro posouzení efektivity regulace čerpadel pulsně šířkovou modulací bylo měření prováděno při plném výkonu a dále pro nastavenou střihu 80, 60, 40 a 20 % při napájecím napětí 12 V.

Tabulka 3.6 Naměřené hodnoty průtoku v závislosti na tlaku v potrubí a stupni regulace čerpadla Ocean Comet

PWM	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %
p (bar)	Q (l/min)				
0	18,29	16,26	12,95	11,14	3,14
0,1	16,50	14,24	11,05	8,42	0,97
0,2	14,20	12,50	9,20	6,20	0,00
0,3	13,20	10,36	7,12	3,05	
0,4	11,25	8,92	5,31	0,00	
0,5	9,50	7,44	3,28		
0,6	7,50	5,46	0,00		
0,7	5,78	3,16			
0,8	4,22	0,00			
0,9	2,21				
1	0,00				
Max. tlak (bar)	0,98	0,78	0,56	0,39	0,16
Proud (A) ($p = 0$)	4,30	3,59	3,28	2,37	1,40

Tabulka 3.7 Naměřené hodnoty průtoku v závislosti na tlaku v potrubí a stupni regulace čerpadla Barwig

PWM	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %
<i>p</i> (bar)	<i>Q</i> (l/min)				
0	17,28	15,28	11,93	9,20	5,46
0,1	15,51	13,20	10,05	7,42	3,10
0,2	14,11	11,49	8,23	5,20	0,00
0,3	12,12	9,36	6,11	2,05	
0,4	10,76	7,96	4,31	0,00	
0,5	9,23	6,65	2,29		
0,6	7,84	4,48	0,00		
0,7	5,89	2,16			
0,8	4,12	0,00			
0,9	2,11				
1	0,00				
Max. tlak (bar)	1	0,79	0,58	0,38	0,15
Proud (A) (p = 0)	2,62	2,02	1,58	1,15	0,56

Příloha A -obsahuje grafické závislosti naměřených hodnot $Q - H$ křivek z výše uvedených tabulek. Pouze tlak v barech zde byl vynesena jako dopravní výška H . Z nich můžeme vidět typický průběh $Q - H$ křivky u čerpadel, jež jsme si uvedli v úvodní kapitole věnované účinnosti čerpacím zařízením. Čerpadlo Barwig odpovídá nejlépe svým jmenovitým parametrům co se proudů a průtoků týče. Také změna výkonu na základě regulace probíhala plynule.

U čerpadla Comet byla zjištěna nižší hodnota průtoku, než je udávaná výrobcem při napětí 12 V a proudu 5 A. Při jmenovitých 12 V odebíralo čerpadlo pouze 4,3 A a tak bylo na zkoušku přidáváno napětí na zdroji tak dlouho, než čerpadlo odebíralo jmenovitých 5 A. To nastalo při napětí 15,1 V a průtok se už blížil udávané hodnotě 21 l/min. Regulace zde také neprobíhala, tak plynule jako u čerpadla Barwig. Při nastavení střídy na 20 % došlo ke skokovému poklesu výkonu.

Ze srovnání obou zmíněných čerpadel vyšlo celkově lépe čerpadlo Barwig, kdy při srovnatelném průtoku mělo menší příkon. To znamená, že podle vztahu pro účinnost čerpadla (1.5) a předcházejících vztahů má čerpadlo Barwig pro stejnou dopravní výšku lepší účinnost než čerpadlo Comet. V dalších kapitolách věnujícím se návrhu FV elektrárny pro naše zařízení a celkovému posouzení využití solární energie na potenciální energii vody tyto změřené hodnoty budeme ještě používat.



Obrázek 3.19 Testování čerpadel

Při testovacím měření byl ověřován poslední údaj vhodný k dimenzování solární elektrárny pro určený spád a průtok, a tou byla hodnota ztrát v potrubí. Záměrně jsme se v naší práci vyhnuli poměrně složitým teoretickým výpočtovým vztahům respektující veškeré vlivy pro určení teoretických ztrát v potrubí. Pro naše účely bylo praktičtější ověřit hodnotu ztrát podle délek dostupných PVC hadic průměru 1/2" a 3/4". Změřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.8.

Tabulka 3.8 Změřené ztráty v potrubí

Průměr hadice	Délka (m)	Ztráty (bar)
1/2"	10	0,2
1/2"	15	0,3
3/4"	10	0,15
3/4"	20	0,30
3/4"	30*	0,47

**Spojení hadic délek 10 a 20 m přes rychlospojku, ztráty jsou díky ní o něco vyšší*

Ze získaných údajů je patrný konstantní nárůst ztrát se zvětšující se délkou připojené hadice, i když pro prokazatelnější výsledky by bylo lepší provést měření více. Naše zjištění jsme však porovnali s rovnicí pro výpočet tlakových ztrát v potrubí a člen jeho délky je zde v přímé úměře s ostatními parametry při zachování konstantní rychlosti proudění. Na základě námi změřených hodnot a uvažování lineárního nárůstu ztrát je tedy možno pro další výpočty uvažovat se ztrátami 0,02 bar/m pro hadici 1/2" a 0,015 bar/m pro hadici 3/4".

3.6 Posouzení čistících schopností oběhu

Prvním předpokladem možnosti čerpání znečištěné vody malými 12 V čerpadly k další úpravě je zajištění takové nádrže dešťové vody s nutností provést první předfiltraci od hrubých nečistot. Námi testovaná čerpadla mají sací otvor o velikosti 9 a 13 mm, za nimiž se hned nachází plastové oběžné kolo s lopatkami vzdálenými od sebe v nejužším místě zhruba 5 mm. Tímto rozměrem je tedy určen teoretický maximální možný rozměr částic obsažených ve vodě, který je možno přečerpat, reálně však při velkém množství i takto velikých částic v objemu čerpané vody hrozí rychlé zanešení čerpadel. Proto je ideální mít čištěnou vodu nejprve předfiltrovanou tak, aby nedocházelo k častému ucpávání čerpadel.

K tomu může sloužit například soustava sedimentačních nádrží spojených potrubím s prostupy vzdálenými v dostatečné vzdálenosti ode dna nádrže. Na přívodu dešťové vody do nádrží je vhodné mít umístěn hrubý síťový filtr pro odstranění nejhrubších nečistot v podobě spadaneho listí a podobně.

Dále bude efektivita navrženého oběhu vody záviset na použitých filtrech a jejich zapojení. Jestli se přistoupí k variantě

- s větší rychlostí proudící kapaliny přímo přes filtr, kde však bude nutnost použít filtr s menším hydraulickým odporem, což znamená menší čistící schopnosti. Takovýmto oběhem by pak kapalina musela projít vícekrát pro dosažení požadované čistoty. Hodí se spíše pro předem naplánované cykly provozu čerpadel s použitím akumulátorů;
- s přečerpáním většího objemu vody do výše položené nádrže, ze které bude po naplnění voda odtékat samospádem menším průtokem přes hustší filtr (nebo soustavu filtru). Na výstupu bude již dostatečně čistá voda bez nutnosti ji dále upravovat, ale po delším časovém úseku, než v první variantě. Výhodou tohoto řešení je však možnost nádrž se znečištěnou vodou průběžně doplňovat a efektivně reagovat na přebytky z připojené solární elektrárny, která po tuto dobu může čerpadla přímo napájet.

Důležitou vlastností, kterou momentálně nejsme schopni posoudit, bude doba provozu takového zařízení bez údržby nebo nějakých větších oprav. Vše bude souviset s provedením celkového řešení, jestli bude sloužit nejen jako technické dílo, ale také i třeba jako estetický prvek zahrady, vytvořením nádrží například ve formě otevřených jezírek.

3.7 Zhodnocení možností ukládání solární energie do potenciální energie vody

Teoretické zhodnocení možnosti ukládat solární energii do potenciální energie vody pomocí našeho zařízení provedeme na základě toho, že z námi zjištěných hodnot průtoků a příkonu testovaných čerpadel vytvoříme zaokrouhlený průměr těchto hodnot, které budou reprezentovat předpokládané fiktivní čerpadlo. Tyto hodnoty by měly odpovídat podobným typům čerpadel v dané výrobní a cenové relaci (malá odstředivá čerpadla 12 V / 5 A). Uvažovat budeme tlak v potrubí způsobený výškovým rozdílem nádrží a ztráty v potrubí. Délku potřebného potrubí stanovíme pro zjednodušení reálného řešení vždy o 1 metr delší, protože nejkratší vzdálenost potrubí mezi nádobami sice může být rovna dopravní výšce, v praxi je však pravděpodobnější větší délka potrubí v závislosti na konstrukčním řešení. V případě umístění nádob na svahovitém pozemku a využití přirozených výškových rozdílů terénu je pak tato délka potrubí ještě větší.

Tabulka 3.9 Možná dopravní výška pro vybrané hadice při zvoleném tlaku

Délka potrubí (m)	Ztráty 1/2" (m)	Ztráty 3/4" (m)	Tlak čerpadla (bar)	Dopravní výška - 1/2" (m)	Dopravní výška - 3/4" (m)	Průtok fiktivního čerpadla (l/min)
2	0,04	0,03	0,1	0,96	0,97	16,0
3	0,06	0,045	0,2	1,94	1,96	14,2
4	0,08	0,06	0,3	2,92	2,94	12,7
5	0,1	0,075	0,4	3,90	3,93	11,0
6	0,12	0,09	0,5	4,88	4,91	9,4
7	0,14	0,105	0,6	5,86	5,90	7,7
8	0,16	0,12	0,7	6,84	6,88	5,8
9	0,18	0,135	0,8	7,82	7,87	4,2
10	0,2	0,15	0,9	8,80	8,85	2,2

Zjištěná hodnota možné dopravní výšky pro hadici průměru 1/2" a 3/4" byla zjištěna z uvažovaného tlaku čerpadla, tedy teoretické dopravní výšky, snížené o ztráty vytvořené uvažovanou délkou potrubí.

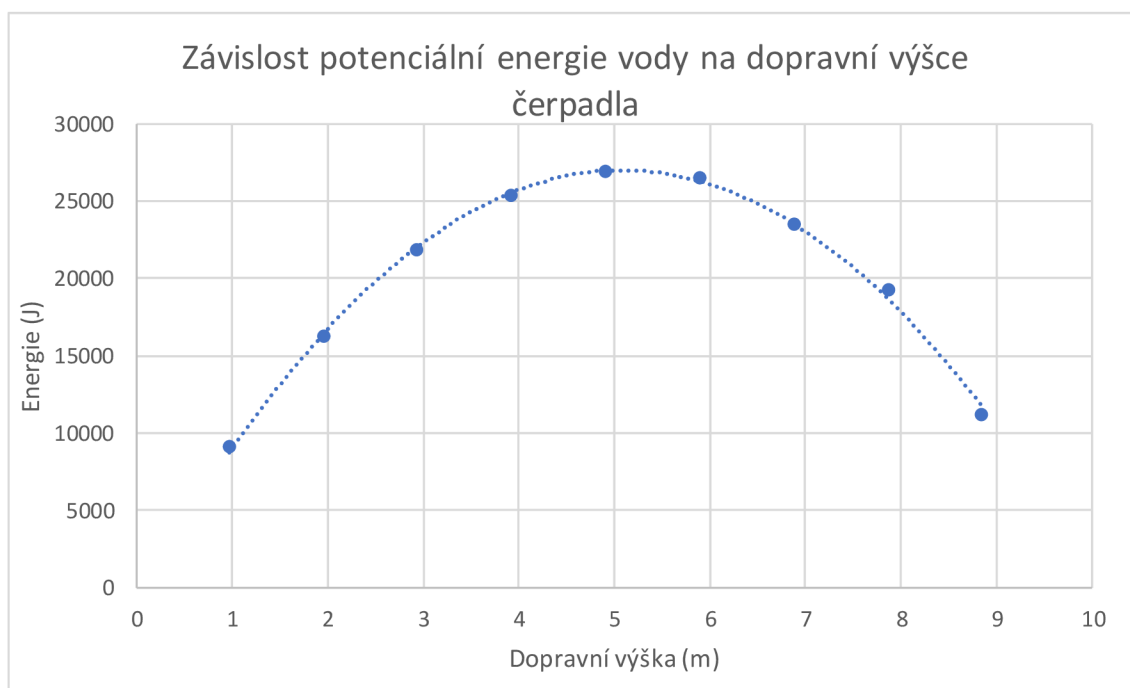
Do vzorce pro potenciální energii

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (J) \quad (3.2)$$

dosadíme hmotnost vody po hodině čerpání a dosaženou dopravní výšku a zjistíme tak množství nashromážděné potenciální energie vody.

Tabulka 3.10 Množství energie po hodině čerpání v závislosti na průtoku

Dopravní výška - 1/2" (m)	Dopravní výška - 3/4" (m)	Průtok fiktivního čerpadla (l/min)	Hmotnost vody po hodině čerpání (kg)	Potenciální energie vody - 1/2" (J)	Potenciální energie vody - 3/4" (J)	Průměrná potenciální energie (J)
0,96	0,97	16,0	960,3	9044	9137,93	9090,82
1,94	1,955	14,2	849,3	16163	16288,3	16225,86
2,92	2,94	12,7	759,6	21759	21907,9	21833,41
3,9	3,925	11,0	660,3	25262	25424,4	25343,39
4,88	4,91	9,4	561,9	26900	27065,1	26982,41
5,86	5,895	7,7	460,2	26455	26613,3	26534,34
6,84	6,88	5,8	350,1	23492	23629,2	23560,54
7,82	7,865	4,2	250,2	19194	19304,3	19249,12
8,8	8,85	2,2	129,6	11188	11251,7	11219,89



Obrázek 3.20 Graf závislosti potenciální energie vody na dopravní výšce čerpadla

Z výsledné grafické závislosti množství uložené energie na dopravní výšce po hodině provozu čerpadla vidíme zajímavou souvislost. Největšího množství přečerpané vody sice dosáhneme logicky u maximálního průtoku čerpadla, z pohledu optimalizace uložení elektrické energie do potenciální energie však vody vidíme, že nejvíce energie uložíme při čerpání vody do takové dopravní výšky, která odpovídá polovině maximálního možného provozního tlaku čerpadla. Při maximálním tlaku 1 bar našich čerpadel je to tedy čerpání vody tlakem 0,5 bar.

Při uvažování příkonu čerpadla 50 W máme množství elektrické energie po hodině provozu rovno 50 Wh, při uvažování provozu 4 čerpadel u našeho zařízení tedy 200 Wh a množství uložené potenciální energie takto přečerpané může v případě nejlepší konfigurace dosáhnout více než 100 kJ.

3.8 Dimenzování solární elektrárny pro daný spád a průtok

Pro dimenzování solární elektrárny potřebné pro provoz našeho zařízení budeme uvažovat dva modely napájení:

- malou fotovoltaickou elektrárnu s akumulátory určenými pouze pro jedno zařízení,
- rozsáhlý fotovoltaický systém s možností využívat přebytky z výroby do přečerpávání vody.

Vstupní parametry návrhu:

- změřená největší možná vlastní spotřeba zařízení: 5 W
- maximální výkon všech čerpadel: 240 W
- spád a průtok čerpadla: viz kapitola 3.7

Největší možný maximální příkon zařízení včetně zahrnutých ztrát můžeme uvažovat 250 W, což při 12 V dělá proud 20,83 A. Při uvažovaném maximálním hodinovém provozu zařízení pouze z energie akumulátorů se kapacita takto použitých baterií vzhledem k uvažování 50% hloubky vybíjení rovná 42 Ah. Ve skutečnosti se však nedá předpokládat nasazení všech čerpadel na plný výkon, při polovičním výkonu zařízení a odběru 10 A nám už postačí 20 Ah akumulátory na hodinu provozu. Pokud se vrátíme k parametrům již zmiňované mobilní fotovoltaické elektrárny [22], která představuje příklad vhodného zdroje energie pro naše zařízení, pro nás důležité vybrané parametry jsou následující:

- kapacita akumulátorů: 40 Ah / 512 Wh (14,5 V),
- maximální výkon 12 V: 240 W,
- maximální proud USB: 9,8 A,
- výkon použitých fotovoltaických panelů: 5x 100 Wp.

Při uvažovaném špičkovém výkonu takovéto fotovoltaické elektrárny 500 W s připojeným akumulátorem 40 Ah získáme dostatečné množství energie pro několikahodinový provoz našeho zařízení s čerpadly. V zimním období, kdy je výkon fotovoltaické elektrárny nejmenší, se provoz zařízení nepředpokládá. V ostatních měsících se průměrný denní úhrn energie ze slunce Q_D na území ČR pohybuje v rozmezí od 2 – 6 kWh · m⁻² a doba možného provozu bude tedy přímo ovlivněná množstvím aktuální slunečního svitu, z důvodu malé rezervy kapacity akumulátoru v případě delšího výpadku výroby elektrické energie. Čerpadla se ale nemusí spínat každý den a množství akumulované energie za více dnů během horších podmínek by stačilo na uvažovaný provoz.

Pokud bychom se bavili o větším počtu akumulátorů k zajištění delšího provozu či rezervy, museli bychom vyloučit mobilitu takového zařízení. Výše uvedená elektrárna má při celkové kapacitě 40 Ah hmotnost 12,1 kg a při dalším přidávání baterií se nedá s celkovou hmotností uvažovat už jako o přenosném zařízení.

V případě napájení větší fotovoltaickou elektrárnou o výkonu několika kWp se dá předpokládat, že výkon našeho zařízení bude oproti ostatním instalovaným výkonům minimální a tedy, že bude zajištěna dostatečná energie pro trvalý provoz. S napájením vodního hospodářství se může počítat již v samotném návrhu takové fotovoltaické elektrárny, nebo při dodatečném doplnění zařízení za účelem vykrývání přebytků energie. Zde by se však, zejména u velikých FV elektráren, vyplatilo uvažovat už o použití trvale připojených výkonnějších čerpadel na síťové napětí, vzhledem k tomu, že by odpadla potřeba mít zařízení přenosné. Takováto čerpadla pracují s větší účinností a při velikých přebytcích v síti by se projeví jako efektivnější prostředek pro ukládání energie do vody, než malá 12 V čerpadla.

4. ZÁVĚR

Vypracováním bakalářské práce na téma Spojení solární elektrárny a vodního hospodářství bylo dosaženo následujících výsledků:

Vytvoření literární rešerše věnující se základní problematice vodního hospodářství, zejména z pohledu legislativy, znečištění dešťových vod a rozdělení čerpadel. Dále jsme uvedli výpočtové vztahy vedoucí k posouzení účinnosti čerpadel, které jsme potřebovali znát v dalších bodech naší práce. Obdobně jsme postupovali u zpracování tématu solární energetiky, kdy jsme se stručně zaměřili na podstatná témata související s naší prací.

Stěžejním bodem bakalářské práce bylo navržení a vytvoření řídicího systému spojujícího solární elektrárnu s vodním hospodářstvím. Na základě diskuse o podobě možného řešení bylo navrženo a sestrojeno mobilní přenosné zařízení bez vlastního zdroje elektrické energie, pouze s malým akumulátorem zajišťujícím funkci řídicích komponent, které bude ovládat připojená čerpadla na základě naprogramovaných funkcí. Maximální výkon připojených čerpadel je 60 W na jeden výstup. Výstupy jsou navrženy 4 pomocí společných zásuvek zajišťujících možnost připojovat do okruhu i čidla monitorující provoz vodního hospodářství. Celkový výkon našeho zařízení je tedy 240 W. Řídicí systém byl postaven na platformě Arduino. Vytvořena byla základní struktura programu, hlavně co se připojených modulů týče, funkčnost některých programů je ale potřeba v průběhu dalšího testování zařízení dokončit.

Závěr práce byl věnován opět spíše teoretickým souvislostem našeho zařízení s reálným provozem, protože celkový uvažovaný okruh vodního hospodářství včetně fotovoltaické elektrárny v rámci bakalářské práce realizován nebyl. K tomu nám ale posloužilo například praktické měření čerpadel, kdy jsme sledovali zejména jejich průtok na dopravní výšce. Tyto zjištěné údaje nám pak posloužily k posouzení možných čistících schopností oběhu nebo možnosti ukládat energii solární elektrárny do potenciální energie vody.

LITERATURA

- [1] BERAN, Jan. Základy vodního hospodářství. Vyd. 2. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009. ISBN 978-80-213-1875-5.
- [2] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: Sbírka zákonů. 25. 7. 2001. ISSN 1211-1244.
- [3] MŽP. Poradme.se - poradenství v životním prostředí trochu jinak. Druhy vod. [online]. 2015. [cit. 10. 2. 2021]. Dostupné z: http://poradme.se/index.php?title=Druhy_vod
- [4] Enviprofi.cz. Suchá novela č. 544/2020 Sb. vodního zákon [online]. 2021 [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné: https://www.enviprofi.cz/33/sucha-novela-vodniho-zakona-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIGM_uajtVmSs02io5SBCQEMO6VlftQMFg/?uri_view_type=4
- [5] DVOŘÁKOVÁ, Denisa. Využívání dešťové vody (I) – kvalita a čištění [online]. 2007. [cit. 10. 2. 2021]. Dostupné z <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>
- [6] Chemická obchodní společnost s.r.o. Filtrace [online]. 2018. [cit. 10. 2. 2021]. Dostupné z: <http://www.chos.cz/uprava-vody/filtrace/>
- [7] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. Čerpadla ve vodním hospodářství. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 80-86020-43-6.
- [8] H TUHOVČÁK, L. Vodárenství - doprava vody. Brno: VUT, FAST, ÚVHO, 2008. s. 1-115.
- [9] FADRNÝ, T. Čerpání kalu v technologii ČOV. Brno: 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojírenské technologie [cit. 26. 5. 2021]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42169
- [10] MATOUŠEK, V. Čerpání newtonských směsí: provozní bod a vliv směsi na charakteristiky odstředivého čerpadla [Prezentace]. Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2019.
- [11] MASTNÝ, Petr; DRÁPELA, Jiří; MIŠÁK, Stanislav; MACHÁČEK, Jan; PTÁČEK, Michal; RADIL, Lukáš; BARTOŠÍK, Tomáš; PAVELKA, Tomáš. Obnovitelné zdroje elektrické energie Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011. 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [12] EkoWATT Středisko pro obnovitelné zdroje a úspory energie. *Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti obnovitelných zdrojů energie*. [online] 2000. [cit. 28. 2. 2021]. Dostupné z <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/008165.pdf>
- [13] Battery Import. *Aplikace trakčních baterií - jak postupovat při výběru trakčních baterií*. [online]. 2019. [cit. dne 30. 2. 2021] Dostupné z: <https://www.battery-import.cz/trakcni-baterie-navod/>
- [14] CHMEL, Ladislav. Fotovoltaika a fototermika [online]. Brno, [2012] [cit. 25. 2. 2021] Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/Impresum.html>

- [15] Vaisala Energy, *vaisala.com* [online] 2020. [cit. 28. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.3tier.com/en/support/solar-prospecting-tools/what-global-horizontal-irradiance-solar-prospecting/>
- [16] ŘEHÁK, Jaromír; BÁRTEK Jiří; MAŘINKA Radim. Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování [online]. Praha, Česká energetická agentura, 2010. [cit. 28. 2. 2021]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [17] Solarenavi a.s., *SOLARENVI a.s. - solární elektrárny, tepelná čerpadla, sluneční kolektory*. [online]. 2017. [cit. 29. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.solarenavi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>
- [18] Energetický regulační úřad, *Často kladené dotazy* [online]. 2019. [cit. 30. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy#7>
- [19] DOLEŽEL, Michal. *Virtuální baterie pomáhá s efektivitou solární elektrárny. Není však zadarmo* [online]. 2019. [cit. 30. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/virtualni-baterie-pomaha-s-efektivitou-solarni-elektrarny.neni-vsak-zadarmo/>
- [20] Bohemia Civil Engineering. *Baterie pro fotovoltaiku – typy, výhody, nedostatky*. [online]. 2020. [cit. 30. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/baterie-pro-fotovoltaiku-typy-vyhody-nedostatky/>
- [21] Battery Import. *Aplikace trakčních baterií - jak postupovat při výběru trakčních baterií*. [online]. 2019. [cit. 30. 3. 2021] Dostupné z: <https://www.battery-import.cz/trakcni-baterie-navod/>
- [22] KVASNIČKA, K. Mobilní zdroje elektrické energie. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2020, 61 stran.
- [23] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [24] Forum Arduino. *Arduino Mega2560 R3 pinouts photo* [online]. 2012 [cit. 24. 5. 2021]. Dostupné z: <https://forum.arduino.cc/t/arduino-mega2560-r3-pinouts-photo/123330>.
- [25] Newhaven display. *Sitronix ST7567 65 x 132 Dot Matrix LCD Controller/Driver* [online]. 2007 [cit. 24. 5. 2021] Dostupné z: <https://www.newhavendisplay.com/ppnotes/datasheets/LCDs/ST7567.pdf>.
- [26] GitHub. *Fast SPI graphics library for ST7567 128x64 LCD* [online]. 2020 [cit. 24. 5. 2021]. Dostupné z: https://github.com/cbm80amiga/ST7567_FB.
- [27] Navody.dratek.cz. *Vše o napájení arduina* [online]. 2020 [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/technikuv-blog/napajeni-arduina.html>.
- [28] SUNIL, Kedia. *Controlling Brushed DC Motors Using PWM* [online]. 2020 [cit. 26. 5. 2021]. Dostupné z <https://www.machinedesign.com/materials/article/21125511/controlling-brushed-dc-motors-using-pwm>.
- [29] Shopelektro.cz. *Scame 686.226 Krabice SCABOX - 686.226* [online]. 2021 [cit. 25. 5. 2021] Dostupné z: <https://www.shopelektro.cz/rozvadece-a->

[rozvodnice/rozvodne-krabice/scame/rozbocovaci-krabice-plastove/scabox-ip56/scame-686226-krabice-scabox-686226?gclid=Cj0KCQjw78yFBhCZARIsAOxgSx1K8968p1gltH8aklo-TkTfwY0QqpyK_3nHDg3QhMDexeLe0qMMo5UaAprXEALw_wcB](https://www.navody.dratek.cz/rozvodnice/rozvodne-krabice/scame/rozbocovaci-krabice-plastove/scabox-ip56/scame-686226-krabice-scabox-686226?gclid=Cj0KCQjw78yFBhCZARIsAOxgSx1K8968p1gltH8aklo-TkTfwY0QqpyK_3nHDg3QhMDexeLe0qMMo5UaAprXEALw_wcB)

- [30] Navody.dratek.cz. *Arduino prtokomer 1-30 l/min* [online]. 2020 [cit. dne 29. 5. 2021] Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/arduino-prtokomer-1-30-l-min.html>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ASK	Amplitude-shift keying
AWG	American Wire Gauge
ČSN	České státní normy
DPS	deska plošných spojů
ERÚ	Energetický regulační úřad
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
FV	fotovoltaický
FV	Fotovoltaický
GHI	Global Horizontal Irradiance
GPL	General Public Licence
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PWM	Pulse Width Modulation – pulsně šířková modulace
SCK	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
SS	Slave Select
USB	Universal Serial Bus
VUT	Vysoké učení technické v Brně

Symboly:

A	celková činná plocha všech FV modulů	(m^2)
A	plocha ozářená slunečními paprsky	(m^2)
E_{FV}	elektrická energie dodaná FV systémem za rok	(kWh)
g	tíhové zrychlení	($m \cdot s^{-2}$)
H	dopravní výška	(m)
h	výška vodního sloupce	(m)
H_g	geodetický výška	(m)
I	intenzita přímého slunečního záření	($W \cdot m^{-2}$)
$I.$	solární konstanta	($W \cdot m^{-2}$)
J	insolace	($W \cdot m^{-2}$)
J_D	difuzní sluneční záření	($W \cdot m^{-2}$)
J_P	přímé sluneční záření	($W \cdot m^{-2}$)
J_{PN}	insolace plochy kolmé k paprskům	(km)
J_{ref}	referenční sluneční ozáření	($kW \cdot m^{-2}$)
K_{PK}	součinitel špičkového výkonu	($kW \cdot m^{-2}$)
M	moment síly	($N \cdot m$)

P	propustnost zemské atmosféry	(-)
p	tlak	(Pa)
P	výkon čerpadla	(W)
P_e	elektrický příkon	(W)
P_{PK}	špičkový výkon FV systému	(kWp)
Q	objemový průtok	($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q_G	denní úhrn globálního slunečního záření	($kWh \cdot m^{-2}$)
$Q_{T, rok}$	roční dávka slunečního záření	($kW \cdot m^{-2}$)
Q_V	objemový průtok	($m^3 \cdot s^{-1}$)
R	okamžitá vzdálenost Země od Slunce	(km)
R_0	střední vzdálenost Země od Slunce	(km)
α_S	úhl. výška slunce nad ideálním geom. obzorem	($^\circ$)
ϑ	zenitový úhel	($^\circ$)
ρ	hustota	($kg \cdot m^{-3}$)
ΣH_z	hydraulické ztráty	(m)
ω	úhlová rychlost	($rad \cdot s^{-1}$)

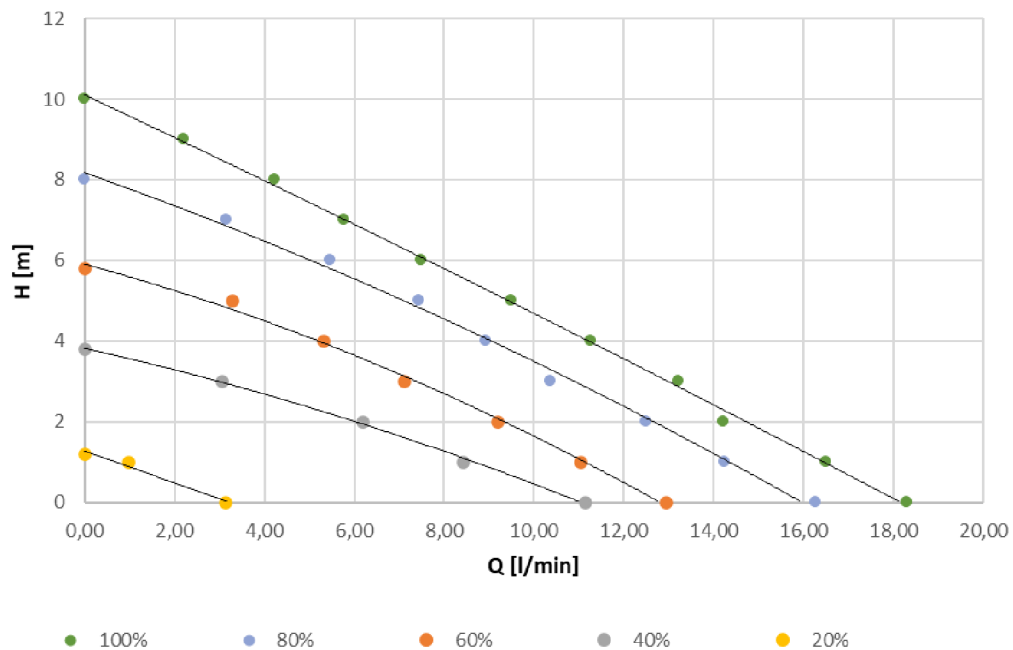
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - Q-H KŘIVKY MĚŘENÝCH ČERPADEL.....	59
PŘÍLOHA B – ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU	
PŘÍLOHA C – FOTOGRAFICKÉ PŘÍLOHY KONSTRUKCE A MĚŘENÍ	

Příloha A - Q-H křivky měřených čerpadel

A.1 Čerpadlo Ocean Comet

Q - H křivky čerpadla COMET v závislosti na stupni regulace



A.2 Čerpadlo Barwig

Q - H křivky čerpadla BARWIG v závislosti na stupni regulace

