



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

VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PRO ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVU
VODY
USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR WATER PURIFICATION AND
TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Přinosil

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Ústav elektroenergetiky

Student: Michal Přinosil

ID: 164816

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Využití obnovitelných zdrojů energie pro čištění a úpravu vody

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Úvod do problematiky čištění odpadních vod
2. Systémy na čištění a úpravu vody a jejich energetická náročnost
3. Výběr vhodné domovní čistírny odpadních vod a určení energetického potenciálu při využití obnovitelného zdroje energie
4. Návrh konstrukce prototypu zařízení pro čištění a úpravu vody napájeného z obnovitelného zdroje
5. Zhodnocení ročního provozu domovní čistírny odpadních vod

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 27.5.2020

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

Tato bakalářská práce pojednává o využití obnovitelných zdrojů energie pro čištění a úpravu vody. Seznamuje čtenáře s legislativou týkající se vypouštění odpadních vod z domovních čistíren odpadních vod a věnuje se napájení domovní čistírny odpadních vod obnovitelným zdrojem energie. Obsahuje návrh systému pro čištění a úpravu vody.

KLÍČOVÁ SLOVA

domovní čistírna, fotovoltaický systém, legislativa, návrh, úprava vody

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the use of renewable energy resources for water purification and treatment. It acquaints the reader with the legislation concerning the discharge of sewage water from domestic sewage treatment plants and deals with the supply of a domestic sewage treatment plant with a renewable energy resource. It contains a design of a system for water purification and treatment.

KEYWORDS

domestic sewage treatment plants, photovoltaic system, legislation, design, water treatment

Bibliografická citace

PŘINOSIL, Michal. *Využití obnovitelných zdrojů energie pro čištění a úpravu vody*. Brno, 2020. 67 stran. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124092>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Využití obnovitelných zdrojů energie pro čištění a úpravu vody jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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: 10. června 2020

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Robertu Hrichovi za poskytnutí informací o ČOV Modřice.

V Brně dne: 10. června 2020

.....

podpis autora

Obsah

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR DOMOVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD	10
1.1 Domovní ČOV.....	10
1.1.1 Části domovní ČOV.....	10
1.1.2 Princip činnosti domovní ČOV.....	11
1.1.3 Technologické vybavení ČOV.....	12
1.2 Rozdělení odpadních vod	13
1.2.1 Splaškové	13
1.2.2 Průmyslové	13
1.2.3 Srážkové.....	14
1.2.4 Balastní	14
2 LEGISLATIVA ČOV V ČESKÉ REPUBLICE	15
2.1 Vodní zákon.....	15
2.2 Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. vypouštění do povrchových vod	15
2.3 Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. vypouštění do podzemních vod	16
3 SYSTÉMY NA ČIŠTĚNÍ VODY A JEJICH ENERGETICKÁ NÁROČNOST.....	18
3.1 Technologie čištění odpadní vody.....	18
3.2 Cenové srovnání vybraných domovních ČOV	18
3.3 Porovnání parametrů jednotlivých ČOV	19
3.4 Energetická náročnost vybraných ČOV	20
3.5 Porovnání energetické bilance domovní a městské ČOV	21
4 NÁVRH KONSTRUKCE PROTOTYPU A VÝBĚR VHODNÉ DOMOVNÍ ČOV 22	
4.1 Popis lokality	22
4.2 Domovní ČOV AQUATEC AT6	22
4.2.1 Mikroprocesorová řídicí jednotka AQC Basic	23
4.2.2 Dmychadlo SECOH EL-S-60N.....	25
4.3 Návrh off-grid systému pro napájení ČOV	26
4.3.1 Vstupní parametry pro návrh	27
4.3.2 Volba baterií	28

4.3.3	Výběr fotovoltaických panelů.....	31
4.3.4	Výběr solárního regulátoru	34
4.3.5	Výběr měniče napětí	35
4.3.6	Jištění a ochranné prvky	35
4.4	Ekonomické zhodnocení.....	40
4.5	Roční provozní zhodnocení čistírny	41
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	43
5.1	Modulární filtr	44
5.1.1	Náklady na výrobu modulárního filtru	48
5.2	Teoretická účinnost čerpadel	49
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	63
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

Voda je základní substancí a kolébkou života. Jakákoli živá hmota vodu obsahuje, a to i ty nejmenší organizmy. Je to zdroj místně a časově omezený. Jelikož se lidská populace rozrůstá neuvěřitelným tempem, bude potřeba hledat nové způsoby, jak s touto životadárnou surovinou hospodařit, aby byla zachována pro budoucí generace.

V našich zeměpisných polohách zatím nedostatkem čisté vody netrpíme, ale čím dál častější dlouhotrvající sucha nám ukazují, že je potřeba problém vody řešit, neplýtvat s ní a co nejvíce špinavé odpadní vody recyklovat a vracet znovu do oběhu.

V dnešní době je většina domovních ČOV napájena z veřejné elektrické sítě, tato práce byla vypracována s ohledem na nízkoenergeticky náročné zdroje které můžou být napájeny obnovitelným zdrojem energie přímo v místě spotřeby. Na tuto práci bylo nahlíženo z komplexního hlediska proto nebyly řešeny jen zadané cíle práce ale byla nastíněna možnost dočištění odpadní vody a tím pádem znovuvyužití odpadní vody v domě jako vody užitkové.

Cílem této práce je seznámit se s čištěním a úpravou vody pomocí domovních čistíren odpadních vod a dále řešit jejich napájení pomocí obnovitelného zdroje energie. Práce bude rozdělena do dvou hlavních částí, části teoretické a části praktické. V první části práce bude čtenáři vysvětlena problematika domovních čistíren. Co to vlastně domovní čistírny jsou, z jakých částí se skládají nebo na jakém principu funguje jejich čištění odpadní vody. Dále bude nastíněna legislativa ohledně domovních ČOV a jejich vypouštění odpadních vod do vod povrchových a podzemních. V praktické části práce bude vybrána vhodná domovní ČOV a následně k ní bude navrhnout off-grid systém pro její napájení. Tento systém bude navrhnout s ohledem na celoroční využití ČOV. Následovat bude výpočet návratnosti jak ČOV tak off-grid systému. V závěru praktické části bude nastíněna možnost jak využít odpadní vodu z ČOV znovu v domě jako vodu užitkovou, pomocí dalšího stupně přečištění.

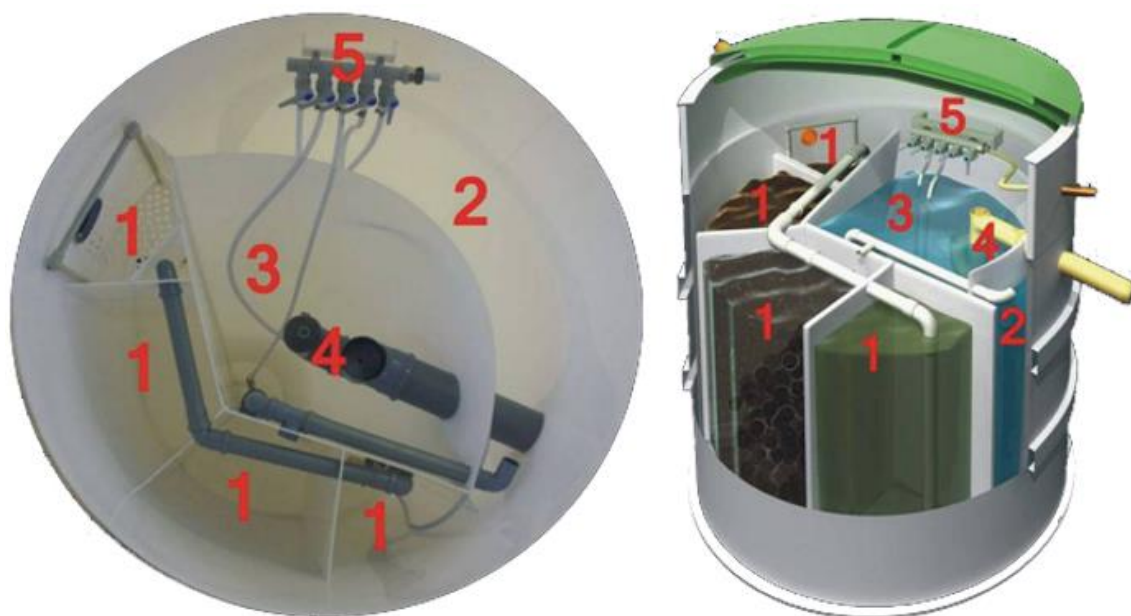
1 ROZBOR DOMOVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

1.1 Domovní ČOV

Jedná se o kategorii ČOV do 50 EO. Jsou určeny pro čištění převážně odpadních vod, které vznikají každý den při provozu domácnosti, ať už je to provoz sociálních zařízení, pračky, myčky, koupelen aj. Technologicky současné domovní ČOV nahrazují a plně překonávají již zastaralé septiky ve všech aspektech, hlavně pak svou účinností, pořizovacími a provozními náklady. S rostoucí poptávkou klesá jejich cena, proto jsou vhodným zařízením pro čištění odpadních vod v lokalitách, kde není možné anebo výhodné připojit zdroj odpadní vody do kanalizační sítě [1].

1.1.1 Části domovní ČOV

Pro popis jednotlivých částí domovní ČOV byla zvolena čistírna od firmy AQUATEC model AT6.



Obr. 1-1: Půdorys a vnitřní složení čistírny AQUATEC AT6 [2]

Jak můžeme vidět na obrázku 1-1, domovní čistírna se skládá ze samonosné plastové nádrže s vestavbami jednotlivých čistících zón:

- **Nátoková komora** – Odpadní voda natéká do prostoru označeného na obrázku 1-1 číslem 1. Probíhá zde denitrifikace a dále má tato komora za úkol mechanické předčištění a rozklad tuhého znečištění [3];
- **Aktivační nádrž** – V aktivační nádrži označené na obrázku 1-1 číslem 2 dochází k čištění, které je založeno na aerobním principu. Mikroorganismy, které jsou obsaženy v odpadní vodě, nepřežijí bez organického znečištění a kyslíku, který je na dně aktivační nádrže distribuován pomocí provzdušňovacího zařízení po celém objemu aktivační nádrže. Kyslík je pod tlakem vháněn do provzdušňovacího zařízení pomocí dmyhadla, nad touto částí je umístěn rozdělovač vzduchu označen na obrázku 1-1 číslem 5 [2];
- **Separální komora** – V separální komoře označené na obrázku 1-1 číslem 3 dochází k oddělení vyčištěné vody od aktivovaného kalu. Aktivační kal se recirkuluje z velké části zpět do neprovzdušňovaného prostoru nátokové komory a částečně také do provzdušňovaného prostoru aktivační nádrže. Vyčištěná voda odtéká z komory akumulacním zařízením označené na obrázku 1-1 číslem 4 přes přelivnou hranu dále do zachycovací nádrže [2];

1.1.2 Princip činnosti domovní ČOV

Čistírna používá biologický způsob čištění. Celý cyklus čištění je proces složený z několika sekvencí.

Princip čištění

Odpadní voda natéká do nátokové komory, kde se usazuje kal. Odpadní voda je zde zbavena mechanických látek a zároveň dochází k rozkladu tuhého znečištění. V této části také dochází k biologickému odbourávání dusíku (denitrifikace) a jsou zde vytvořeny podmínky pro biologické odbourání fosforu. Z nátokové komory vtéká odpadní voda gravitačním přepadem do provzdušňované aktivační nádrže, kde začne proces biologického čištění. Za pomoci kyslíku zde dochází k rozkladu organického znečištění a k odbourávání amoniakálního dusíku. O provzdušňování se stará dmyhadlo, které je umístěné mimo pracovní prostor čistírny v samostatném plastovém krycím boxu. Dalším cyklem čištění je separace. Zde dochází k oddělení vyčištěné vody od aktivovaného kalu. Vypouštěná voda se může vypouštět do řeky, vsaku, akumulacní

nádrže aj. V této práci bude vyčištěná odpadní voda vedena do akumulární nádrže a zpětně využita na zahradě např. pro zalévání. Oddělený aktivovaný kal se vrací do oběhu přečerpáním ze dna separační komory zpět do neprovzdušňovaného prostoru nátokové komory a v menší míře také do provzdušňovaného prostoru aktivační nádrže.

Z důvodu nerovnoměrného nátoků během dne je v čistírně také akumulární prostor, který dokáže pojmout nárazově přitečenou odpadní vodu o objemu až 160 l [4].

1.1.3 Technologické vybavení ČOV

Zdroj [4] uvádí následující technologické vybavení ČOV:

- **Nátoková komora;**
- **Aktivační nádrž;**
- **Separační komora;**
- **Mamutkové čerpadlo** – Zařízení určené k přečerpávání mezi jednotlivými sekcemi ČOV. Zařízení je poháněno vzduchem z rozdělovače vzduchu připojeného na dmyhadlo;
- **Dmyhadlo** – Zařízení, které je ve své podstatě malým kompresorem a slouží jako zdroj tlakového vzduchu. Je umístěno do plastového boxu blízko nádrže ČOV. Je propojeno s čistírnou pomocí plastové hadice, která je vedena pod terénem;
- **Plastový box na dmyhadlo** – Je uložen v blízkosti ČOV;
- **Rozdělovač vzduchu** – Zařízení, jehož funkcí je rozdělení tlakového vzduchu od dmyhadla k jemnobublinnému systému a mamutkám. Jedná se o plastový válec, do kterého je namontováno pět regulačních ventilů sloužících k regulaci přívodu vzduchu do jednotlivých sekcí;
- **Jemnobublinný provzdušňovací systém** – Zařízení, jež je umístěno na dně aktivační nádrže. Jemné bublinky vycházející z tohoto systému a slouží k promíchávání kalu a odpadní vody;
- **Akumulační zařízení** – Zařízení sloužící k tomu, aby pojalo nárazově přitečené odpadní vody, např. vypouštění vany;

- **Mikroprocesorová řídicí jednotka** – Zařízení sloužící k regulaci vzduchu do domovní čistírny. Celkově má 10 programů, které se liší především délkou chodu dmyhadla;

1.2 Rozdělení odpadních vod

Podle původu se odpadní vody dělí na:

1.2.1 Splaškové

Jedná se o odpadní vody vypouštěné do kanalizační sítě z bytů a obytných domů. Zařazují se sem i odpadní vody ze škol, hotelů apod. Množství vypouštěné do kanalizační sítě závisí především na bytové vybavenosti (sprcha, kuchyň, přívod teplé vody). Průměrná produkce splaškových vod se udává 150l/osobu/den, což je prakticky stejná hodnota srovnatelná se spotřebou pitné vody [5].

Splaškové odpadní vody jsou dále rozděleny podle barvy:

- Šedá voda (kuchyň, koupelna, pevné odpady);
- Žlutá voda (moč);
- Hnědá voda (fekálie). [6]

1.2.2 Průmyslové

Jsou to odpadní vody vypouštěné do kanalizační sítě z průmyslových závodů, které vznikají při procesech výroby, chlazení apod. Jsou-li toxicky znečištěny, bývají předčištěny už v průmyslovém závodě, aby mohly být vypuštěny do veřejné kanalizační sítě. Zahrnují se mezi ně i odpadní vody ze zemědělství. V našich podmínkách se jedná o 80–100 % splaškových vod. Jsou vypouštěny do kanalizační sítě, která se dále rozděluje na:

- Oddělené (pro odvádění vod splaškových s průmyslovými, dále vod srážkových)
- Společné (pro odvádění jak odpadních vod, tak vod srážkových, tento typ kanalizační sítě převažuje) [5]

1.2.3 Srážkové

Jsou to vody, které zahrnují srážky dešťové a sněhové. Množství srážkových vod záleží na velikosti plochy, ze které jsou srážky odváděny, její kvalitě a intenzitě srážek. Kanalizační síť musí být dimenzována na nárazově velký průtok, jenž během srážek několika násobně převyšuje průtok vod splaškových a průmyslových. Svým znečištěním jsou podobné vodám splaškovým. V zimním období, kdy je velké množství solí z posypu vozovek odváděno právě srážkovými vodami, se v těchto vodách zvyšuje koncentrace chloridů. Obecně lze říci, že srážkové odpadní vody ostatní odpadní vody zředí [5].

1.2.4 Balastní

Jsou to odpadní vody, které se dostávají do kanalizační sítě netěsnostmi. Jedná se převážně o podzemní vody. Do veřejné kanalizační sítě nepatří, protože se přímo nejedná o odpadní vody. Jsou málo znečištěné a svým objemem tvoří významný podíl v odpadní vodě (záleží na kvalitě kanalizační sítě). Mohou naředit odpadní vody tak významně, že koncentrace BSK₅ může klesnout pod 50 mg/l, což může způsobit ČOV problémy při jejich biologickém čištění [5].

2 LEGISLATIVA ČOV V ČESKÉ REPUBLICE

Vyčištěné odpadní vody se v České republice řídí několika zákony a nařízeními. Domovní ČOV je stavba, a proto potřebuje povolení. Postup má dvě možnosti. První možnost je klasické vodoprávní řízení s následným vydáním „Povolení k vypouštění odpadních vod“. Druhou jednodušší možností je tzv. na „Ohlášení“, tzn., že ČOV musí být certifikována a označena značkou shody CE. Vybraná domovní ČOV je certifikována, proto se dále budeme zabývat jen možností na ohlášení [7].

2.1 Vodní zákon

Nejdůležitější zákon pro domovní čistírny odpadních vod je zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, takzvaný vodní zákon. Domovní čistírna je vodním dílem a vyčištěné vody z ČOV jsou pořád vodami odpadními. Když přečištěné odpadní vody vypouštíme do podzemních nebo povrchových vod, tak s nimi podle vodního zákona nakládáme, k čemuž potřebujeme povolení [8]. Vyčištěné vody lze vypouštět do:

- Povrchových vod (řeka, potok);
- Podzemních vod (vsakování do země);
- Veřejné kanalizace neukončené městskou ČOV.

Aby bylo možné vypouštět vyčištěné odpadní vody do jedné z výše uvedených možností, musí být vyčištěny na požadovanou úroveň. Limity pro vypouštění do povrchových vod se řídí Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Limity pro vypouštění do podzemních vod předepisuje Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. Vypouštění do městské kanalizační sítě stanovuje kanalizační řád [8].

2.2 Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. vypouštění do povrchových vod

Při vypouštění vody do povrchových vod pro domovní ČOV, která je certifikovaná, se čistírna posuzuje podle zařazení do kategorií podle minimální účinnosti zjištěné při certifikaci:

- Kategorie I – domovní ČOV určené pro obvyklé vypouštění do povrchových vod;
- Kategorie II – domovní ČOV s vyšší účinností odstraňování uhlíkového znečištění a stabilní nitrifikací;
- Kategorie III – domovní ČOV II. kategorie doplněné o membránovou filtraci, zemní filtr aj. [8]

Tabulka 2-1 Povolené maximální hodnoty znečištění ve vypouštěných odpadních vodách dle NV č. 401/2015 Sb. [39]

ČOV do 500 EO	Hodnota [mg/l]
CHSK _{CR}	220
BSK ₅	80
NL	80
N-NH ₄	-
N _{CELK}	-
P _{CELK}	-

Tabulka 2-2 minimální účinnosti v % [8]

Kategorie výrobku označovaného CE	CHSK _{CR}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	N _{celk}	P _{celk}
I	70 %	80 %	-	-	-
II	75 %	85 %	75 %	-	-
III	75 %	85 %	80 %	50 %	80 %

2.3 Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. vypouštění do podzemních vod

Při vypouštění do podzemních vod se certifikovaná domovní ČOV posuzuje podle minimální účinnosti čištění [8].

Tabulka 2-3 Povolené maximální hodnoty znečištění ve vypouštěných odpadních vodách dle NV č. 57/2016 Sb. [40]

ČOV do 10 EO	Hodnota [mg/l]
CHSK _{CR}	150
BSK ₅	40
N-NH ₄	20
NL	30
N _{CELK}	-

Tabulka 2-4 minimální účinnosti v % [8]

Kategorie výrobku označovaného CE	$CHSK_{CR}$	BSK_5	N_{celk}	P_{celk}
Domovní ČOV	90 %	95 %	50 %	40 %

3 SYSTÉMY NA ČIŠTĚNÍ VODY A JEJICH ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Na trhu existuje velké množství výrobců domovních ČOV a ještě větší množství modelů, které vyrábějí. Tato část práce se bude zabývat nejprodávanějšími ČOV na trhu do 7 EO. Do porovnání byly vybrány domovní ČOV čtyř výrobců, kteří jsou největší na tuzemském trhu, jmenovitě je to Hellstein, ASIO, AQUATEC a ENVI-PUR.

3.1 Technologie čištění odpadní vody

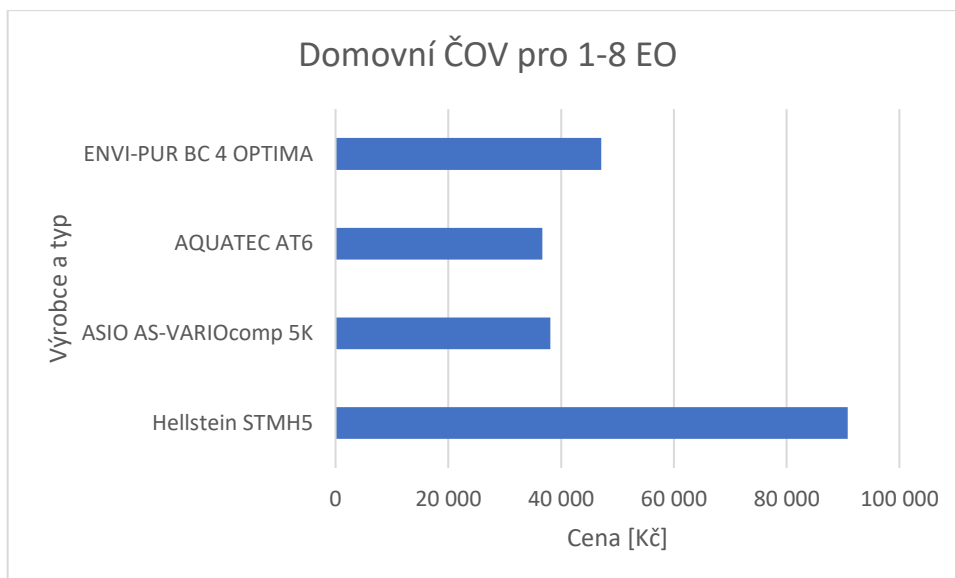
Existuje několik technologií čištění odpadní vody, mezi takové technologie patří zejména tyto:

- Septik a zemní filtr;
- Aktivační čistírny;
- Čistírna s biofiltry;
- Čistírny s membránami;
- Anaerobní čistírny.

Z pohledu technologie čištění jsou nejpoužívanější aktivační čistírny, kterých je na trhu nejvíce. Všechny vybrané domovní ČOV pracují s technologií aktivačního čištění [9].

3.2 Cenové srovnání vybraných domovních ČOV

V grafu 3-1 lze vidět cenové srovnání čtyř nejčastěji využívaných domovních ČOV na našem trhu, které jsou určeny pro 1-7 EO. Z cenového hlediska je nejlevnější čistírna od firmy AQUATEC.



Graf 3-1 Cenové srovnání domovních ČOV [16], [17], [18], [19]

3.3 Porovnání parametrů jednotlivých ČOV

V tabulce 3-1 můžeme vidět porovnání technických parametrů vybraných ČOV. Jako ideální kandidát vychází z tohoto porovnání s nejlepším poměrem cena/výkon čistírna od firmy AQUATEC typ AT6, která má dokonce jako jediná nabízí možnost vypouštět přečištěné odpadní vody do podzemních vod pouze na ohlášení.

Tabulka 3-1 Porovnání vybraných ČOV [16], [17], [18], [19]

Výrobce	ASIO	ENVI-PUR	AQUATEC	Hellstein
Typ	AS-VARIOcomp 5K	BC 4 OPTIMA	AT6	STMH 5
Počet EO	3-7	2-4	1-5	2-5
Cena s DPH [Kč]	38 115	47 139	36 685	90 850
Rozměry (délka x šířka) [mm]	1250x1250	1400x1400	1350x1350	1700x1600
Výška [mm]	2020	1600	1800	2200
Váha [Kg]	170	150	90	170
Množství odpadní vody [m ³ /den]	0,75	0,6	0,63	0,75
Jmenovité látkové zatížení BSK ₅ [Kg/den]	0,30	0,24	0,24	0,30
Elektrický příkon [W]	40	50	60	30
Konstrukce	Samonosná	Samonosná	Samonosná	Samonosná
Povrchové vody ohlášení	Ano	Ano	Ano	Ano
Podzemní vody ohlášení	Ne	Ne	Ano	Ne

3.4 Energetická náročnost vybraných ČOV

U energetické náročnosti budeme vycházet z toho, že čistírna je v provozu 24 hodin denně. Některé firmy dávají možnost k domovním ČOV přikoupit řídicí jednotky, které pomocí různých programů spínají dmychadlo jen v určitých časových intervalech. V tabulce 3-2 lze vidět srovnání vybraných ČOV z hlediska energetické náročnosti a nákladové stránky za elektřinu po dobu jednoho roku, ve sloupci náklady se počítá s průměrnou cenou elektřiny 4,76 Kč/kWh v roce 2020 [10]. U čistírny AQUATEC AT6 sice výrobce uvádí příkon 60 W, ale na technickém štítku dmychadla je uvedeno 50 W, proto je v tabulce 3-2 uvedena tato hodnota.

Tabulka 3-2 Přehled energetické náročnosti ČOV [16], [17], [18], [19]

Výrobce a typ	Příkon [W]	Spotřeba kWh/den	Spotřeba kWh/rok	Náklady Kč/rok
Hellstein STMH5	30	0,72	262,80	1250,93
ASIO AS-VARIOcomp 5K	40	0,96	350,40	1667,90
AQUATEC AT6	50	1,20	438,00	2084,88
ENVI-PUR BC 4 OPTIMA	50	1,20	438,00	2084,88

3.5 Porovnání energetické bilance domovní a městské ČOV

V tabulce 3-3 můžeme vidět, že městská ČOV Brno-Modřice má spotřebu 0,52 kWh na m³ vyčištěné odpadní vody, zatímco v tabulce 3-4 je spotřeba u domovní ČOV AQUATEC AT6 1,90 kWh na m³ vyčištěné odpadní vody. Z tohoto pohledu tedy vypadá městská čistírna několikrát efektivnější než domovní čistírna. Je však nutné zamyslet se nad tím, že do tohoto srovnání není zahrnutá celá kanalizační síť, která svádí odpadní vodu do městské ČOV.

Tabulka 3-3 Energetická bilance ČOV Brno-Modřice [20]

ČOV Brno-Modřice [630 000 EO]	
Množství vyčištěné OV za rok 2017 [m ³]	34 267 575
Celková spotřeba el. energie za rok 2017 [kWh]	17 832 000
Spotřeba na vyčištění 1 m ³ [kWh]	0,52

Tabulka 3-4 Energetická bilance ČOV AQUATEC AT6 [18]

Domovní ČOV AQUATEC AT6 [5 EO]	
Množství vyčištěné OV za rok [m ³]	229,95
Celková spotřeba el. energie za rok [kWh]	438,00
Spotřeba na vyčištění 1 m ³ [kWh]	1,90

4 NÁVRH KONSTRUKCE PROTOTYPU A VÝBĚR VHODNÉ DOMOVNÍ ČOV

4.1 Popis lokality

Zahrada, na které bude čistírna umístěna, slouží jako experimentální laboratoř pro různé zajímavé projekty, nachází se v městě Brně (městská část Medlánky, ulice Vycházková). Zeměpisné souřadnice umístění ČOV jsou 49°14'46.5"N 16°33'44.1"E. [12]

ČOV, která slouží jako experimentální zařízení pro čištění vody, je připojena na blízký objekt, z něhož je vypouštěno velmi málo odpadních vod. Čistírna zde byla umístěna, jelikož je objekt situován na okraji městské části Medlánky, kde nebyla prozatím vybudována kanalizace.

Charakteristika okolí

Parcela, na které se ČOV nachází, je umístěna ve velmi prudkém kopci. Jde vlastně o experimentální zahradu, v okolí rostou velké stromy. Podle zeměpisné polohy dopadá v této oblasti dle zdroje [13] průměrný roční úhrn záření o intenzitě 1146 kWh/m².

Dle zdroje [14] je v této oblasti průměrná rychlost větru 3,17 m/s, z čehož je 72,14 % vítr o rychlosti 0–4 m/s, 26,60 % je vítr o rychlosti 4–8 m/s a 1,36 % je vítr, jehož rychlost je větší než 8 m/s. V blízkosti objektu umístěného na zahradě se nenachází žádný využitelný vodní tok. Z výše uvedeného může být potenciálně obnovitelný zdroj energie založen na získávání sluneční anebo větrné energie. Jelikož už je na zahradě velmi využívána solární energie pro další experimentální zařízení, byla vybrána jako obnovitelný zdroj pro napájení ČOV sluneční energie.

4.2 Domovní ČOV AQUATEC AT6

Ze čtyř typů domovních ČOV byla nakonec z předchozího srovnání vybrána ČOV od firmy AQUATEC typ AT6. Kritérium, ke kterému se nejvíce přihlíželo, byla cena. Dalším důležitým faktorem pro výběr právě této čistírny bylo doporučení od uživatelů této domovní ČOV, kteří s ní jsou nadmíru spokojeni.

Princip čištění, jednotlivé části čistírny, technologické vybavení a technická specifikace byly rozebrána v přechozích kapitolách. Na obrázku 4-1 lze vidět nainstalovanou čistírnu.



Obr. 4-1 Nainstalovaná domovní ČOV AQUATEC AT6 s šachtou na dmychadlo

4.2.1 Mikroprocesorová řídicí jednotka AQC Basic

V kapitole energetické náročnosti bylo uvažováno, že čistírna funguje v provozu 24 hodin denně, nicméně to byl zjednodušený příklad pro srovnání vybraných domovních ČOV. V reálném provozu se většinou domovní ČOV řídí pomocí mikroprocesorové jednotky. Když je menší přítok do čistírny, není nutné, aby dmychadlo pracovalo 24 hodin denně, například když majitel odjede na dovolenou. K domovní ČOV byla také zakoupena mikroprocesorová řídicí jednotka AQC Basic. Tato jednotka má předdefinovaných deset programů pro různé scénáře. Programy a jejich spotřeba jsou uvedeny v tabulce 4-1. Dmychadlo má na technickém štítku uveden příkon 50 W a řídicí jednotka má uvedený příkon 2,5 W. V tabulce 4-1 je počítáno s hodnotou 52,5 W.

Tabulka 4-1 Programy řídicí jednotky AQC Basic [15]

Program	Délka programu [h]	Spotřeba [kWh]
Standard	18	0,945
Standard-3	10	0,525
Standard-2	12	0,630
Standard-1	15	0,788
Standard+1	20	1,050
Standard+2	22	1,155
Standard+3	23	1,208
Dovolená	9	0,473
Chata	5,5	0,289
Non-Stop	24	1,260

Čistírna jede podle programu Standard-3 zhruba 10 hodin denně při spotřebě 0,525 kWh. Tento program je zvolen proto, jelikož v objektu není vytvářeno velké množství odpadních vod, není proto potřeba, aby dmychadlo pracovalo nonstop.



Obr. 4-2 Řídicí jednotka AQC Basic [21]

V tabulce 4-2 jsou zobrazeny technické parametry řídicí jednotky AQC Basic.

Tabulka 4-2 Technické parametry řídicí jednotky AQC Basic [21]

Typ	AQC - Basic
Napájecí napětí	230V / 50Hz
Spínací proud - jmenovitý	230 V / 6,3 A
Připojitelné zátěž	min. 40W, max. 1500 W
Příkon řídicí jednotky	2,5 W
Krytí	IP 44
Okolní teplota	- 10° až 45° C
Relativní vlhkost	max. 95%
Rozměry [DxŠxV] mm	130 x 60 x 90
Hmotnost [g]	100
Životnost	minimálně 70 000 hodin

4.2.2 Dmychadlo SECOH EL-S-60N

Velmi důležitým prvkem je dmychadlo, bez kterého by se aktivační čistírna neobešla. K čistírně bylo dodáno dmychadlo výrobce SECOH, typ EL-S-60N, je zobrazené na obrázku níže.



Obr. 4-3 Dmychadlo SECOH EL-S-60N [22]

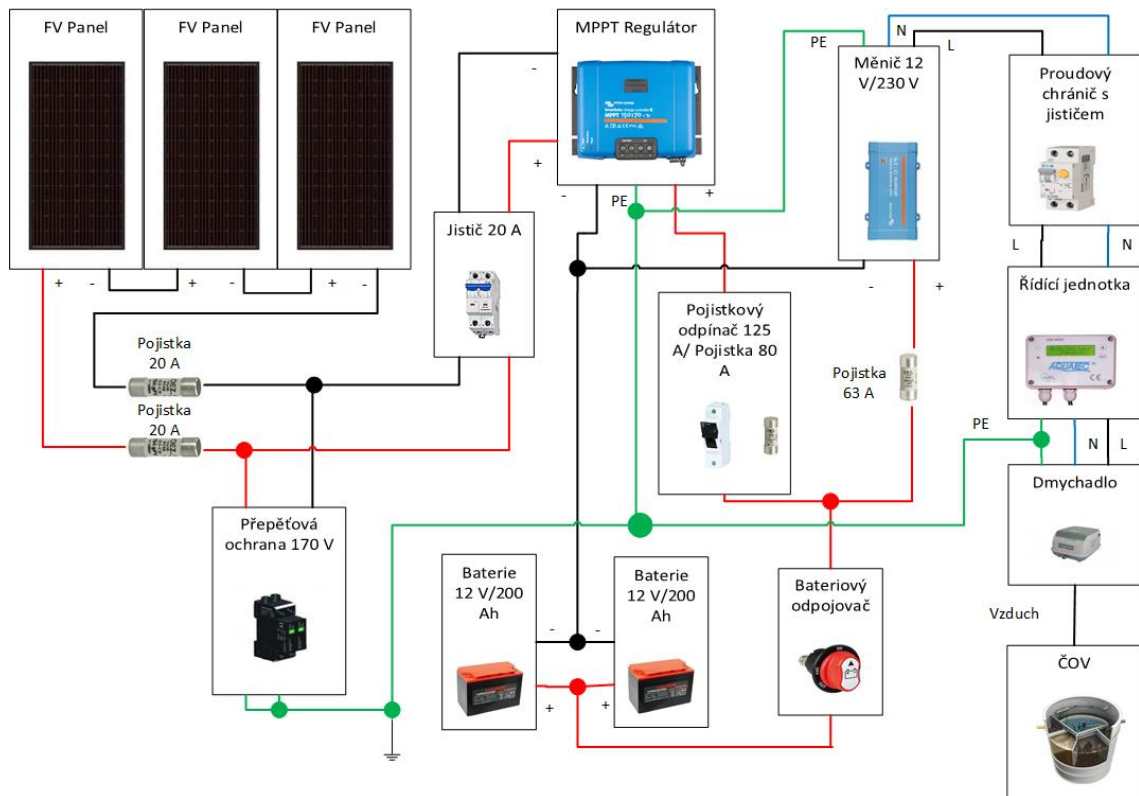
Technické parametry dmychadla jsou uvedeny v tabulce 4-3.

Tabulka 4-3 Technické parametry dmyhadla SECOH EL-S-60N [4]

Technické parametry	
Výrobce a typ	SECOH EL-S-60N
Napětí [V]	220-240
Frekvence [Hz]	50
Operační tlak [kPa]	14,7
Průtok při uvedeném tlaku [l/min]	60
Příkon [W]	45-50
Hmotnost [Kg]	4,4
Hlučnost [dB]	43

4.3 Návrh off-grid systému pro napájení ČOV

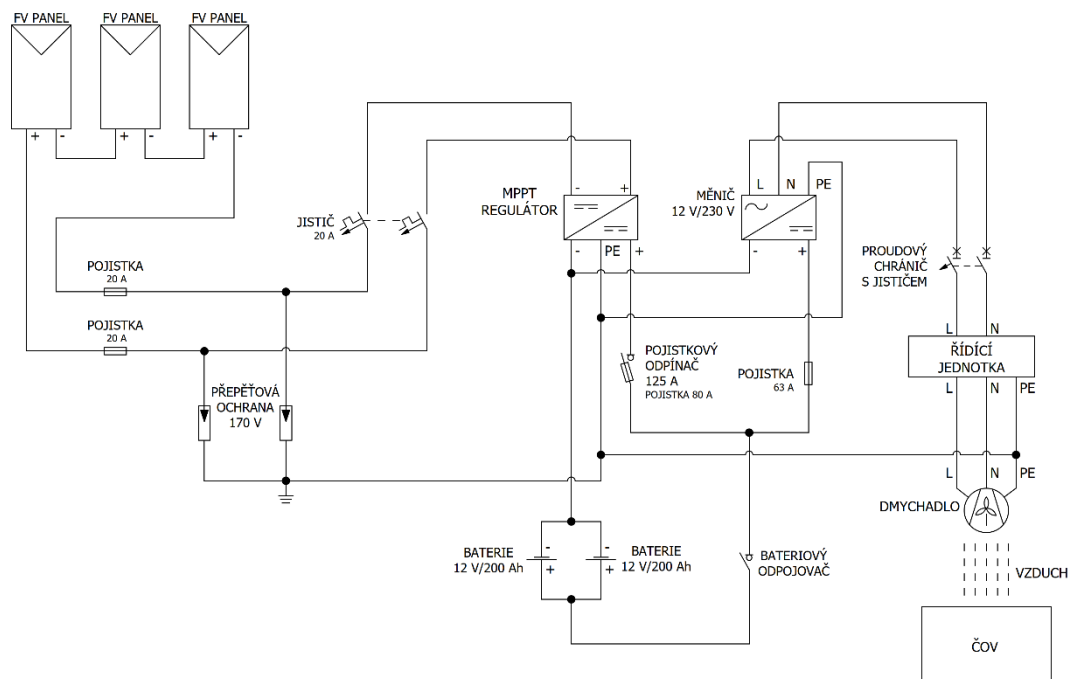
Na základě informací z předchozích kapitol přecházím k návrhu fotovoltaického systému, který bude sloužit jako primární zdroj energie pro ČOV. V rámci splnění zadání bakalářské práce jsem se rozhodl navrhnout jednoduchý model fotovoltaického systému určený k napájení ČOV jako obnovitelný zdroj energie. Pro návrh fotovoltaického systému bude uvažováno, že čistírna bude v provozu nejdéle 12 hodin denně. Kvůli minimalizaci investičních nákladů bylo rozhodnuto, že se ČOV připojí na již existující fotovoltaický systém, který je na zahradě využíván k napájení jiných projektů. V této práci bude zpracován návrh celého fotovoltaického systému určený jen k napájení ČOV. Na obrázku 4-4 lze vidět blokové schéma navrhnutého off-grid systému.



Obr. 4-4 Blokové schéma celého systému [11], [21], [22], [25], [27], [28], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38]

4.3.1 Vstupní parametry pro návrh

- Pohon ČOV se všemi zařízeními nutný pro její provoz (dmychadlo, řídicí jednotka) o celkovém maximálním příkonu 52,5 W;
- Celoroční využití;
- Provoz dmyhadla o maximálním příkonu 50 W maximálně 12 hodin denně;
- Provoz mikroprocesorové řídicí jednotky o příkonu 2,5 W 24 hodin denně;
- Provoz ve vlhkém prostředí = ochrana před nepřímým dotykem;
- Instalace FV panelů na vyvýšené konstrukci = ochrana proti přepětí;



Obr. 4-5 Vnitřní schéma navrženého systému

4.3.2 Volba baterií

Volba baterií je jedním z nejdůležitějších pilířů fotovoltaického systému, protože baterie zabezpečují dodávku elektrické energie, když není zrovna vyráběná solárními panely. S ohledem na minimalizaci investičních nákladů je potřeba zvolit takové baterie, které budou mít dostatečnou kapacitu, ale také nízkou cenu a dobrou spolehlivost. Jako cenově dostupné a spolehlivé řešení bude vybrána olověná baterie s tekutým elektrolytem. U tohoto typu baterie je nutné dbát na dostatečně odvětrané prostory kvůli úniku jedovatých plynů. Zároveň je nutné zajistit takové prostory, aby neztrácela baterie v zimních měsících většinu své kapacity.

Výpočet požadované kapacity baterií

U výpočtu požadované kapacity baterií musíme uvažovat vnitřní ztráty v jednotlivých prvcích systému, tzn. regulátoru dobíjení, měniče napětí, využitelná kapacita baterií atd. Výpočet bude proveden pro 12 V systém. Kapacita bude zvolena tak, aby baterie zajistily napájení spotřebičů pro čtyřdenní provoz. Jestli by v prosinci, kdy je nejmenší sluneční úhrn záření, ani tak nestačila kapacita baterií pro čtyřdenní provoz, byla

by ČOV připojena k elektrické centrále pro překlenutí dlouhodobě zatažené oblohy. Využitelná kapacita nové olověné trakční baterie je cca 90 %. Je však potřeba vzít v potaz, že s ohledem na počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a s ohledem na stárnutí baterie její využitelná kapacita klesá. Z tohoto důvodu bude uvažována využitelná kapacita baterie 80 %. V systému jsou ještě vnitřní ztráty fotovoltaického systému, a to konkrétně ztráty na regulátoru a měniči napětí. Další vnitřní ztráty (např. ztráty na kabelech) nebudou s ohledem na zjednodušený model do výpočtu zahrnuty [23].

Příklad výpočtu:

Denní spotřeba dmyhadla:

$$\text{Příkon dmyhadla} \cdot \text{Denní provoz} = 50 \cdot 12 = 600 \text{ Wh} \quad (4.1)$$

Denní spotřeba řídicí jednotky:

$$\text{Příkon jednotky} \cdot \text{Denní provoz} = 2,5 \cdot 24 = 60 \text{ Wh} \quad (4.2)$$

Celková denní spotřeba:

$$\text{Denní spotřeba dmyhadla} + \text{Denní spotřeba jednotky} = 600 + 60 = 660 \text{ Wh} \quad (4.3)$$

Účinnost regulátoru = 98 %

Účinnost měniče napětí = 89 %

Celková denní spotřeba s vnitřními ztrátami regulátoru a měniče:

$$\frac{\text{Celková denní spotřeba}}{\text{Účinnost regulátoru} \cdot \text{Účinnost měniče}} = \frac{660}{0,98 \cdot 0,89} = 756,71 \text{ Wh} \quad (4.4)$$

Zaokrouhлено na 757 Wh

Potřebná kapacita pro čtyřdenní provoz:

$$\text{Denní provoz} \cdot \text{Celková denní spotřeba se ztrátami} = 4 \cdot 757 = 3028 \text{ Wh} \quad (4.5)$$

Převod na ampérhodiny:

$$\frac{\text{Kapacita pro 5 denní provoz}}{\text{Napětí systému}} = \frac{3028}{12} = 252,33 \text{ Ah} \quad (4.6)$$

Jelikož je uvažována využitelná kapacita baterie 80 %, je ji nutné do výpočtu zakomponovat:

$$\frac{\text{Vypočítaná kapacita v Ah}}{\text{Využitelná kapacita}} = \frac{252,33}{0,80} = 315,42 \text{ Ah} \quad (4.7)$$

Výsledná kapacita bude zaokrouhlena na 320 Ah.

Volba Baterií

Jako cenově vhodné byly zvoleny baterie od firmy Narada, typ 12REXC-200. Tyto baterie jsou sice trochu dražší než jiné trakční olověné baterie v tomto segmentu, ale to kompenzují mimořádně vysokým počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů. Hlavní měrou ovlivňující životnost olověných akumulátorů je míra jejich vybíjení, proto je nutné vybrat kapacitu baterií s dostatečnou rezervou. Pro 12voltový systém vyšla v předchozí kapitole požadovaná kapacita baterií 320 Ah. Při kapacitě baterie 200 Ah dojde po odběru 160 Ah k vybití na 20 % z celkové kapacity baterie [23].

$$\Delta c = \frac{c_1}{c_2} \cdot 100 \% \quad (4.8)$$

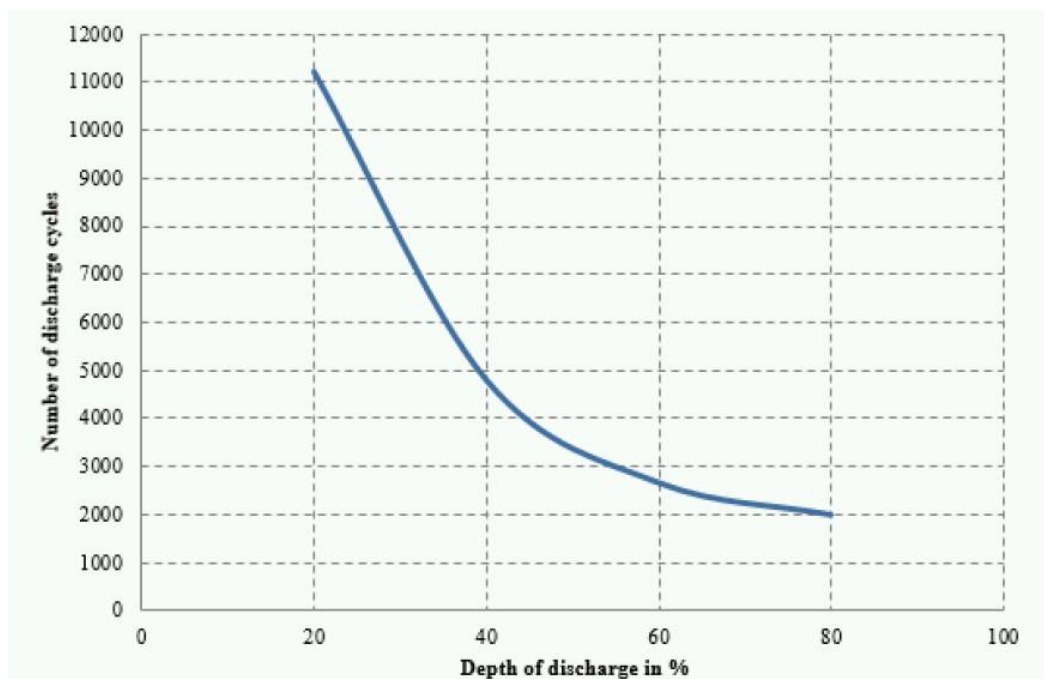
$$\Delta c = \frac{160}{200} \cdot 100 \% = 80 \% \quad (4.9)$$

$$c = 100 - \Delta c = 100 - 80 = 20 \% \quad (4.10)$$



Obr. 4-6 Trakční olověná baterie Narada 12REXC-200 [24]

Na obrázku 4-7 je vidět, že při vybití o 80 % je garantovaná životnost výrobcem 2000 cyklů, což je mimořádně dobrá hodnota. Při uvažování, že baterie by na 20 % své kapacity byla vybíjena každý den, to bude za rok 365 cyklů. To dává životnosti baterie v celém systému cca 5,5 roku. Tato hodnota v porovnání s jinými bateriemi v cenové hladině 10 000–15 000 Kč vyčnívá, proto byly i přes vyšší cenu byly zvoleny tyto baterie. Při započítání cyklického nabíjení a vybíjení se tato baterie z dlouhodobého hlediska vyplatí.



Obr. 4-7 Závislost životnosti baterie Narada 12REXC-200 na míře vybití [24]

Na pokrytí vypočítané kapacity 320 Ah a dodržení vybití baterie o 80 % potřebujeme dvě takovéto baterie, které budou zapojeny paralelně.

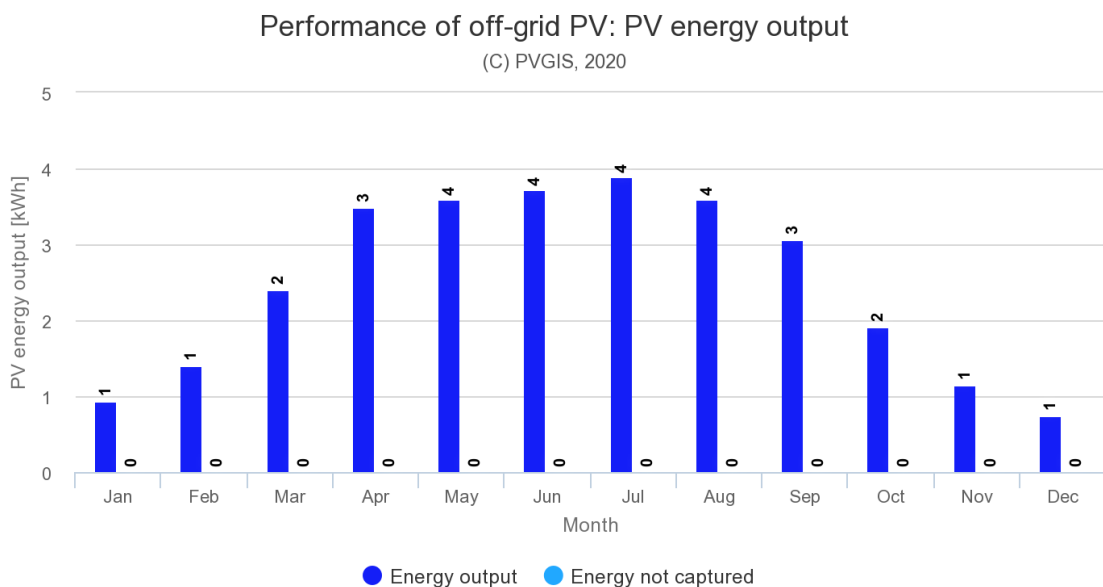
Tabulka 4-4 Technické parametry a pořizovací náklady baterií Narada [24]

Technické parametry a pořizovací náklady	
Výrobce a typ	Narada 12REXC-200
Nominální napětí [V]	12
Nominální kapacita [Ah]	200
Cyklická životnost při 80% DoD	2000 cyklů
Rozměry d x š x v [mm]	438x224x294
Hmotnost [Kg]	79,5
Cena jedné baterie [Kč]	12 990
Počet baterií	2
Celková cena [Kč]	25 980
Cena za jeden cyklus [Kč]	7

4.3.3 Výběr fotovoltaických panelů

Jako optimální se u fotovoltaických panelů uvažuje sklon 35° [29]. Aby byla zajištěna možnost napájení v průběhu celého roku, bude počítáno s měsícem, jehož průměrný měsíční úhrn slunečního záření je nejmenší. K výpočtu, kolik elektrické energie je fotovoltaický panel o určitém výkonu schopen vyprodukovat průměrně za jeden den

v určitém měsíci, byla použita aplikace fotovoltaického geografického informačního systému dostupná z [26]. V příloze 1 lze vidět graf výroby elektrické energie ze stávající FVE za rok 2019 ze které je ČOV momentálně napájena. FVE je tvořena dvěma panely o společném výkonu 480 Wp. V letních měsících elektrárna stačí vyrábět potřebné množství energie pro napájení ČOV ale v zimních se ČOV občas musí připojit k elektrocentrále nebo veřejné elektrické síti, proto je tento návrh dimenzován i na výrobu v zimních měsících. Data okolo měsíce září byly ztraceny proto je v grafu prázdné místo.



Obr. 4-8 Průměrná výroba elektrické energie FV panelu o výkonu 1 Wp [26]

Z dat na přiloženém obrázku 4-8 lze vidět průměrné denní množství získané elektrické energie na zahradě v určitém měsíci, při použití panelu o výkonu 1 Wp. Vzhledem k tomu, že má systém pracovat celoročně, budeme uvažovat prosinec jako měsíc s nejmenší průměrnou hodnotou vyrobené elektrické energie FV panelem o výkonu 1 Wp, a to konkrétně 0,75 Wh elektrické energie za jeden den.

Celková denní spotřeba je 660 Wh

Potřebný výkon FV panelů:

$$\frac{\text{Celková denní spotřeba}}{\text{Vyrobená energie za den}} = \frac{660}{0,75} = 880 \text{ Wp} \quad (4.11)$$

Potřebný instalovaný výkon pro pokrytí celoroční dodávky elektrické energie by měl být 880 Wp (do tohoto výpočtu nejsou uvažovány vnitřní ztráty systému).

Byly zvoleny solární panely výrobce DAH Solar model DHM60X-320W-SBB, které jsou zobrazeny na obrázku 4-9. Panely budou zapojeny do série, napětí panelů naprázdno se tedy sčítá, tudíž je nutné vybrat takový solární regulátor, jehož rozsah vstupního napětí musí být větší než toto sečtené napětí.



Obr. 4-9 Fotovoltaický panel DHM Solar DHM60X-320W-SBB [25]

Tabulka 4-5 Technické parametry a pořizovací náklady FV panelu DHM Solar DHM60X-320W-SBB [25]

Technické parametry	
Výrobce a typ	DHM Solar DHM60X-320W-SBB
Nominální výkon[Wp]	320
Napětí naprázdno [V]	40,7
Zkratový proud [A]	10,07
Účinnost [%]	19,18
Rozměry d x š x v [mm]	1665x1002x35
Hmotnost [Kg]	18,5
Cena jednoho FV panelu [Kč]	3 790
Počet panelů	3
Celková cena [Kč]	11 370

4.3.4 Výběr solárního regulátoru

Jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole, solární regulátor musí mít rozsah napětí větší než 122,1 V. Byl vybrán MPPT SmartSolar solární regulátor Victron Energy 150/70-Tr, který má rozsah vstupního napětí až 150 V a pro 12 V systém je doporučený výkon panelů do 1000 Wp.



Obr. 4-10 MPPT solární regulátor Victron Energy 150/70-Tr [27]

Tabulka 4-6 Technické parametry a pořizovací náklady MPPT regulátoru Victron Energy 150/70-Tr [27]

Technické parametry	
Výrobce a typ	Victron Energy 150/70-Tr
FV max [Wp]	1000
Napětí na vstupu [V]	150
Nabíjecí proud [A]	70
Zkratový proud [A]	50
Účinnost [%]	98
Rozměry d x š x v [mm]	185x250x95
Hmotnost [Kg]	3
Cena [Kč]	16 971

4.3.5 Výběr měniče napětí

U měniče nepotřebujeme žádný špičkový výkon, protože spínání dmychadla negeneruje takové proudové rázy, které provázejí například zapnutí cirkulárky anebo čerpadla. Byl tedy vybrán měnič Victron Phoenix 12/375.



Obr. 4-11 Měnič napětí Victron Phoenix 12/375 [28]

Tabulka 4-7 Technické parametry a pořizovací náklady měniče Victron Phoenix 12/375 [28]

Technické parametry	
Výrobce a typ	Victron Phoenix 12/375
Trvalý činný výkon [W]	300
Špičkový činný výkon [W]	700
Výstupní napětí [V]	220/230/240
Účinnost [%]	89
Rozměry d x š x v [mm]	260x165x86
Hmotnost [Kg]	3
Cena [Kč]	3 300

4.3.6 Jištění a ochranné prvky

Popis jisticích a ochranných prvků bude brán dle blokového schématu.

Pojistky a pojistkový odpínač

Na straně DC strany od panelů k regulátoru jsou zapojeny dvě pojistky 20 A, jedna na plusové straně, druhá na minusové. V technických parametrech MPPT regulátoru

je uvedeno, že maximální zkratový proud fotovoltaických panelů nesmí překročit hodnotu 50 A, jinak dojde k trvalému poškození. Zároveň je však zkratový proud panelů udáván výrobcem 10,07 A. Panely jsou zapojeny sériově, protékající proud je u všech panelů stejný a sčítá se pouze napětí. Další pojistka je vložena v pojistkovém odpínači, který je zapojen na plusové straně vedoucí od regulátoru k bateriím, a to konkrétně pojistka 80 A. Pojistka 80 A byla zvolena, protože maximální nabíjecí proud regulátoru je 70 A a nejbližší nižší řada je 63 A, proto byla vybrána nejbližší vyšší řada. To stejné platí u pojistkového odpínače. Sám pojistkový odpínač je dimenzován na odpínání proudů až 125 A. Poslední pojistka v obvodu je zapojena na plusové straně vedoucí od bateriového odpojovače k měniči. Zde byla zvolena pojistka 63 A.



Obr. 4-12 Pojistky OEZ 20 A, 63 A, 80 A [34], [35], [36]



Obr. 4-13 Pojistkový odpínač OEZ 125 A [33]

Přepět'ová ochrana

Vzhledem k tomu, že panely by v případě realizace tohoto návrhu byly umístěny na nějaké vyvýšené konstrukci, je vhodné do systému zařadit přepět'ovou ochranu. Byla vybrána přepět'ová ochrana od výrobce Saltek typ SLP-PV170 V/U, která má maximální pracovní napětí 170 V DC. V technické specifikaci výrobce uvádí vzorec uvedený níže pro výpočet maximálního pracovního napětí [41]. Vyšla hodnota 146,5 V tudíž tuto ochranu můžeme v tomto systému provozovat.

$$U_{CPV} \geq 1,2 \cdot U_{OC\ STC} \quad (4.12)$$

$$170 \geq 1,2 \cdot 122,1 \quad (4.13)$$

$$170 \geq 146,5 \quad (4.14)$$



Obr. 4-14 Přepět'ová ochrana Saltek SLP-PV170 V/U [32]

Tabulka 4-8 Technické parametry přepět'ové ochrany Saltek SLP-PV170 V/U [42]

Technické parametry	
Výrobce	Saltek SLP-PV170 V/U
Maximální trvalé pracovní napětí DC [V]	170
Jmenovitý výbojový proud [kA]	15
Napět'ová ochranná hladina [kV]	1,2
Jmenovitý zkratový proud DC [A]	1000
Rozsah pracovních teplot [°C]	-40 až + 80
Cena [Kč]	3360

Jistič

Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole, z DC strany není potřeba od panelů k regulátoru dávat zbytečně naddimenzované jistící prvky. Proto použijeme v tomto případě na jištění DC strany systému stejnosměrný dvoupólový jistič s jmenovitým proudem 20 A od firmy SCHRACK typ DC-C20/2. Jistič bude zapojen mezi FV panely a MPPT regulátor.



Obr. 4-15 Jistič SCHRACK DC-C20/2 [30]

Tabulka 4-9 Technické parametry jističe SCHRACK DC-C20/2 [30]

Technické parametry	
Výrobce a typ	SCHRACK DC-C20/2
Jmenovitý proud [A]	20
Jmenovité napětí DC [V]	500
Charakteristika	C
Pólů	2
Rozměry d x š x v [mm]	74,90x35,40x80
Hmotnost [Kg]	0,24
Cena [Kč]	1 427,80

Bateriový odpojovač

Aby se daly provádět bezpečné operace s měničem, byl na plusovou stranu vedoucí od baterek k měniči přidán bateriový odpojovač.



Obr. 4-16 Bateriový odpojovač LAMPA 12/32 V [38]

Proudový chránič s jističem

Jako poslední ochranný prvek je zařazen do systému proudový chránič s jističem, protože se jedná o venkovní instalaci, kde se vyskytuje vlhkost, tudíž by mohlo dojít k nebezpečnému dotyku s neživou částí elektrického zařízení.



Obr. 4-17 Proudový chránič s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B [37]

Tabulka 4-10 Technické parametry proudového chrániče s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B [37]

Technické parametry	
Výrobce a typ	EATON PFL7-16/1N/B/003/B
Dimenzované napětí [V]	230
Dimenzovaný proud [A]	16
Jmenovitý reziduální proud [mA]	30
Počet pólů	2
Vypínací charakteristika	B
Rozměry d x š x v [mm]	82x35,4x72
Hmotnost [Kg]	0,223
Cena [Kč]	1593,10

4.4 Ekonomické zhodnocení

V tabulce 4-11 níže jsou uvedeny všechny pořizovací náklady na koupi domovní ČOV a dále na koupi navrhnutého systému FVE pro napájení ČOV. Všechny části ze kterých se ČOV a navrhnutá FVE skládá, jsou uvedeny v předchozích kapitolách i s technickými parametry. Cena za elektromateriál a nosnou konstrukci je stanovena odhadem. U elektromateriálu závisí cena především na ceně kabeláže vedoucí od FV panelů k místnosti s bateriemi a odtud k ČOV. U nosné konstrukce se počítá s tím, že by byla postavená z dřevěných hranolů svépomocí.

Tabulka 4-11 Souhrn veškerých nákladů [24], [25], [27], [28], [30], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38]

Komponenty [Ks]	Cena včetně DPH [Kč]
Domovní ČOV AQUATEC AT6 včetně dmyhadla	36 455
Mikroprocesorová řídicí jednotka	3162,50
Uvedení do provozu	1725,00
Příruby na přítok a odtok	570,40
Šachta na dmyhadlo	Zdarma k objednávce
Celkem ČOV	41 912,90
FV panel DHM Solar DHM60X-320W-SBB [3]	11 370
Pojistka O EZ 20 A [2]	240
Pojistka O EZ 63 A	110
Pojistka O EZ 80 A	321
Přepěťová ochrana Saltek SLP-PV170 V/U	3360
Jistič SCHRACK DC-C20/2	724,90
MPPT solární regulátor Victron Energy 150/70-Tr	16 971
Pojistkový odpínač O EZ 125 A	340
Baterie Narada 12REXC-200 [2]	25 980
Bateriový odpojovač LAMPA 12/32 V	232
Měnič napětí Victron Phoenix 12/375	3300
Proudový chránič s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B	1593,10
Elektromateriál	5000,00
Nosná konstrukce pro FV panely	2500,00
Celkem navržená FVE	72 042
Celkem cena za celý systém	113 954,90

Z tabulky 4-11 lze vidět, že celkem instalace ČOV stála 41 912,90 Kč. Do ekonomického zhodnocení se uvažují pouze objektivně vynaložené položky není v nich

zahrnuta například příprava terénu na instalaci ČOV. V porovnání s žumpou o objemu 7 m³, která vychází přibližně kolem 30 000 Kč a která se musí pravidelně vyvážet, kde se jedno vyvezení pohybuje cca od 2500 Kč do 3000 Kč a těchto vyvezení je potřeba během roku několik, záleží na počtu obyvatel v domě, na spotřebě vody v domě a dalších parametrech. Když tedy budeme uvažovat vyvezení 6x do roka při ceně vyvezení žumpy 3000 Kč, tak nám náklady vychází na 48 000 Kč za první rok. Je tedy zřejmé, že žumpa se vyplatí u velmi málo používaných objektů kde se nenaplní tak často. Investice do domovní ČOV se nám tedy vrátí už během prvního roku v porovnání s žumpou. Do nákladů ČOV není zahrnuta cena za elektrickou energii kterou si čistírna bere z elektrické sítě nebo elektrocentrály když zrovna nevyrobí dostatečné množství elektrické energie FVE. Tato položka se za rok pohybuje v řádu stokorun proto je v tomto srovnání zanedbatelná. U FVE se na vrácení investice budeme dívat z pohledu celkově vyrobené elektřiny za rok, kterou jde v místě spotřebovat. Protože je FVE dimenzovaná na pokrytí dodávky elektrické energie pro ČOV v zimních měsících, bude v letních měsících vyrábět přebytky elektrické energie které ČOV nespotřebuje a které se dají využít v jiných aplikacích na zahradě. Když budeme počítat s tím, že dle aplikace [26] nám FVE o výkonu 960 Wp vyrobí za rok v uvedené oblasti 1018 kWh elektrické energie při ztrátách systému 15 %, tak při průměrné ceně elektřiny 4,76 Kč/kWh [10] by se investice do navržené FVE vrátila za necelých 15 let.

4.5 Roční provozní zhodnocení čistírny

Čistírna AQUATEC AT6 je nyní v provozu cca rok a měsíc. Jak už bylo uvedeno v předchozích kapitolách současná FVE která čistírnu napájí, dostačuje pouze v letních měsících ale v zimních měsících je potřeba občas čistírnu zapojit do veřejné elektrické sítě, záleží na počtu zatažených dní. Po provozní stránce s čistírnou zatím nebyly žádné problémy a čistírna je v podstatě bezúdržbová. Množství kalu v čistírně zatím nepřesáhlo úroveň při které by se kal už musel vypumpovat, protože množství vypouštěných odpadních vod z objektu není velké. Až bude potřeba kal vypumpovat není potřeba objednávat specializovanou firmu, ale kal může být využit u jiných experimentálních projektů na zahradě. Třeba jako vsázka do bioreaktoru. Pro ověření garantovaných hodnot výrobcem, které má čistírna splňovat na odtoku z čistírny, byly nezávislou laboratoří zpracovány testy odpadní vody.

**Tabulka 4-12 Garantované hodnoty a naměřené hodnoty znečištění na odtoku z domovní ČOV
AQUATEC AT6**

Ukazatel	Garantované hodnoty na odtoku [mg/l]	Naměřené hodnoty na odtoku [mg/l]
CHSK _{CR}	130	65
BSK ₅	30	2,94
N-NH ₄	20	4,7
NL	30	6
N _{CELK}	20	99,1
P _{CELK}	8	2,97

Jak lze vidět v tabulce 4-12 čistírna splňuje všechny tyto ukazatele garantované výrobcem, kromě jednoho a to konkrétně N_{CELK}. Tento ukazatel udává celkové množství dusíku v odpadní vodě, a je překročen téměř pětinasobně. V čistírně tedy neprobíhají správně některé mikrobiologické a aerobní procesy.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této práci byl ještě zkoumán potenciál přečištění odpadní vody z čistírny k dalšímu znovuvyužití odpadní vody v domě, jako vody užitkové, třeba při splachování záchodu. Jelikož jak můžete vidět na obrázku 5-1 odpadní voda vytékající z čistírny má žlutohnědé zbarvení, což může být způsobeno rostlinnými látkami, barvivy z pracích prostředků, částicemi oxidů železa aj. Taktéž je pak odpadní voda z čistírny mírně odorizovaná. Splachování s touto vodou by tedy v domácnosti z psychologického hlediska, především kvůli zbarvení odpadní vody nebylo vhodné. K tomuto experimentu byl vytvořen modulární filtr z plastových kýblů, naplněný různými materiály. Dbalo se na to aby filtr byl vytvořen z co nejlevnějších materiálů, recyklovatelný a zároveň s největší účinností přefiltrování. V čištění a úpravě vody se hojně využívá čerpání vody, ať už to je čerpání z jedné nádrže do druhé, z jednoho filtru přes druhý atd. Proto byla ještě v poslední části této práce vypočítána teoretická účinnost čerpadel v závislosti na dopravní výšce, pro čerpadla která byly využity pro čerpání odpadní vody do modulárního filtru.



Obr. 5-1 Vlevo odpadní voda po odebrání z čistírny, vpravo odpadní voda přefiltrovaná přes modulární filtr

5.1 Modulární filtr

Na obrázku 5-2 můžete vidět první konstrukční verzi kýble z kterých je modulární filtr sestaven. Tato první konstrukční verze kýble byla nevyhovující, jak se záhy po otestování ukázalo. Do kýble se nasypal filtrační materiál a po přečerpání odpadní vody vtokovým otvorem dovnitř filtru se filtr ucpal, protože otvor pro výtok měl malý průměr, a navíc byl opatřen netkanou textilií, na které se rychle usadily nečistoty.



Obr. 5-2 První konstrukční verze kýble ze kterých je složen modulární filtr

Byla tedy vytvořena druhá konstrukční verze kýblu kterou můžete vidět na obrázku 5-3. Tato verze měla vylepšený otvor pro výtok a filtr se už neucpával. Dovnitř kýblu se vložila netkaná textílie aby se daly použít i jemné frakce filtračních materiálů. To lze vidět na obrázku 5-4.



Obr. 5-3 Druhá konstrukční verze kýble ze kterých je složen modulární filtr



Obr. 5-4 Kýbl opatřený netkanou textílií a naplněn jemnou frakcí černého uhlí

Tyto kýble druhé konstrukční verze byly celkem vytvořeny v 5 vyhotoveních. Každý kýbl byl naplněn jiným materiálem a byl rychlospojkami a hadicemi sériově propojen s dalším kýblem od nejhrubší frakce po nejjemnější frakci, to lze vidět na obrázku 5-5.



Obr. 5-5 Modulární filtr, sestupně od nejhrubší frakce po nejjemnější frakci

Konkrétně byly použity tyto materiály:

- Říční valoun alpský
- Keramzit
- Lávový mulč
- Křemenný písek
- Aktivní uhlí

Pro ověření účinnosti modulárního filtru byla odebrána odpadní voda z ČOV, přečerpána přes tento modulární filtr a na konci filtru byl odebrán vzorek a nechaly se vypracovat laboratorní rozborů pro pitnou vodu.

Tabulka 5-1 Výsledky laboratorních rozborů dle vyhlášky č. 187/2005 Sb.

Ukazatel	Výsledek ČOV	Výsledek ČOV po filtraci	Vyhl. č. 187/2005 Sb.	Typ limitu
			Limit	
Chemické ukazatele				
Amonné ionty [mg/l]	8,46	1,51	0,5	MH
Barva [mg/l Pt]	56,00	42,00	20	MH
Dusičnany [mg/l]	428,00	2,00	50	NMH
Dusitany [mg/l]	3,83	0,02	0,5	NMH
Hořčík [mg/l]	21,40	7,00	>10 MH, 20-30 DH	MH,DH
Chloridy [mg/l]	121,80	30,30	250	MH
CHSKMn [mg/l]	14,90	9,80	3	MH
Konduktivita [mS/m]	157,50	53,90	125	MH
Mangan [mg/l]	<0,01	<0,01	0,05	MH
pH	6,00	6,10	6,5 - 9,5	MH
Tvrdost= Vápník+hořčík [mmol/l]	2,27	0,90	2 - 3,5	DH
Vápník [mg/l]	56,00	23,40	>30 MH, 40-80 DH	MH,DH
Zákal [ZF]	3,60	3,80	5	MH
Železo [mg/l]	0,03	<0,01	0,2	MH
Mikrobiologické ukazatele				
Koliformní bakterie [KTJ/100ml]	200	100	0	MH
Escherichia coli [KTJ/100ml]	40	10	0	NMH
Emterokoky [KTJ/100ml]	80	50	0	NMH
Počty kolonií při 22 [KTJ/ml]	>500	>500	500	MH
Počty kolonií při 36 [KTJ/ml]	>500	>500	100	MH
Termotolerantní bakterie [KTJ/100ml]	60	18	0	MH

Z tabulky 5-1 lze vidět, že odpadní voda která je odebrána z ČOV a přefiltrována přes modulární filtr má na výstupu znatelně lepší hodnoty ukazatelů než hodnoty na vstupu. Tučným písmem jsou označeny hodnoty které překročily limit. Je zřejmé, že ani v jednom případě se nejedná o pitnou vodu, nicméně odpadní voda na výstupu filtrace ztratila odorizaci, barva se taktéž zlepšila, jak lze vidět na obrázku 5-1, pořád má ale mírné zabarvení do žluta. Z psychologického hlediska to ještě není 100% čirá voda a bude potřeba zapracovat ještě na konstrukčním vylepšení, aby se maximalizovala filtrační schopnost modulárního filtru.

5.1.1 Náklady na výrobu modulárního filtru

V tabulce 5-2 lze vidět náklady na výrobu jednoho kýble. V tabulce 5-3 jsou náklady na filtrační materiál pro každý kýbl. Nejdražší filtrační materiál je aktivní uhlí ale s ohledem na vysoké adsorpční schopnosti tohoto materiálu je poměr cena/výkon vynikající. Celkem nám tedy vychází cena za modulární filtr 2111,62 Kč.

Tabulka 5-2 Náklady na výrobu jednoho kýble [43], [44], [45], [46], [47], [48], [48], [49], [50]

Komponenty	Cena [Kč]	Komponenty na jeden Kýbl	Cena na jeden filtr [Kč]
Vědro s víkem 10 l	49	Vědro s víkem 10 l	49
Plastová přechodka 3/4	5,37	Plastová přechodka 3/4 [2 Ks]	10,74
Těsnění gumové 3/4	5	Těsnění gumové 3/4 [2 Ks]	10
Mosazná matice	21	Mosazná dotahovací matice [2 Ks]	42
Plastová trubka 3/4 1 m	21,2	Plastová trubka 3/4 1 m [20 cm]	4,24
Šroubení 3/4	49	Šroubení 3/4 [2 Ks]	98
Hadicová rychlospojka 3/4	39	Hadicová rychlospojka 3/4 [2 Ks]	78
Hadice 3/4 1 m	41	Hadice 3/4 1 m [0,5 m]	20,5
		Celkem za jeden kýbl	312,48

Tabulka 5-3 Náklady na filtrační materiály pro každý kýbl [51], [52], [53], [54], [55]

Filtrační materiál	Cena [Kč]	Filtrační materiál pro jeden kýbl	Cena filtračního materiálu na jeden filtr [Kč]
Říční valoun alpský [20 Kg]	133,1	Říční valoun alpský [5 Kg]	26,62
Keramzit [50 l]	285	Keramzit [5 l]	28,5
Lávový mulč [16 l]	216,6	Lávový mulč [5 l]	67,69
Křemenný písek [25 Kg]	249	Křemenný písek [5 Kg]	49,8
Aktivní uhlí [20 Kg]	1506,45	Aktivní uhlí [5 Kg]	376,61
		Cena celkem za filtrační materiál pro celý modulární filtr	549,22

5.2 Teoretická účinnost čerpadel

Při čištění a úpravě vody se hojně využívají čerpadla. V této práci byly čerpadla využity k čerpání odpadní vody do modulárního filtru. Proto se práce ve své poslední části zaměřuje na tuto oblast. Byly vypočteny teoretické účinnosti čerpadel v závislosti na dopravní výšce. A to konkrétně pro ponorné čerpadlo EUROPUMPS 6500/40 a povrchové čerpadlo AQUACUP JET 800. Z jejich výkonnostní charakteristiky uvedené ve zdroji [56] a [57], byla vypočítána podle vzorců uvedených níže jejich teoretická účinnost v závislosti na dopravní výšce:

$$P_{ef} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (5.1)$$

kde P_{ef} [W] je teoretický výkon čerpadla, Q [m^3/s] je průtok, ρ [Kg/m^3] je hustota vody, g [m/s^2] je tíhové zrychlení, H [m] je dopravní výška [58]

$$\eta = \frac{P_{ef}}{P} \quad (5.2)$$

kde P [W] je příkon čerpadla, u výpočtů se uvažuje konstantní příkon s rostoucí dopravní výškou [58]

Tabulka 5-4 Technické parametry čerpadel [56], [57]

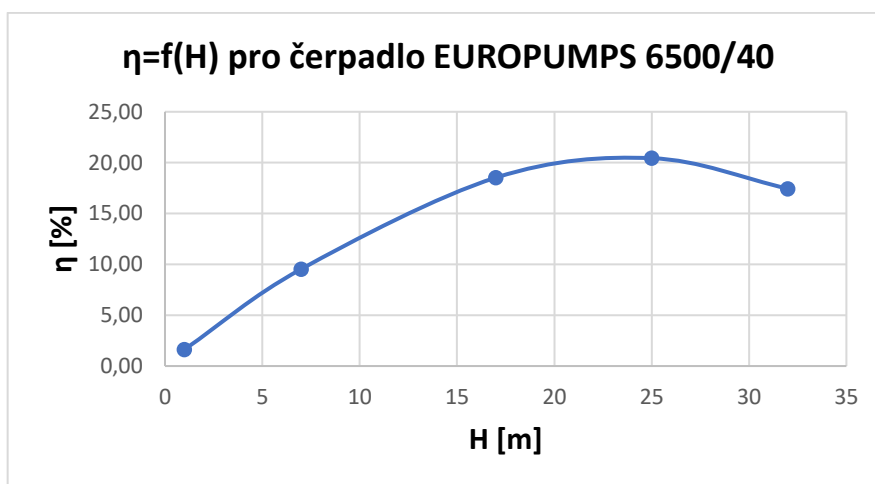
Technické parametry čerpadel		
Technické parametry čerpadel	EUROPUMPS P 6500/40	AQUATEC JET 800
Výtlak max [m]	40	40
Průtok [l/hod]	6500	3600
Čerpací tlak [bar]	4	4
Provozní napětí [V]	230	230
Příkon [W]	1000	800

V tabulce 5-5 lze vidět vypočítané hodnoty účinnosti.

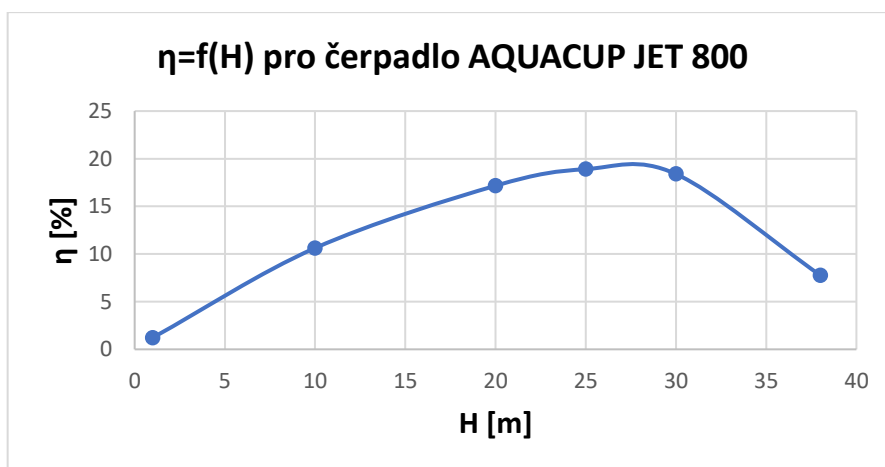
Tabulka 5-5 Vypočítané hodnoty účinnosti čerpadel v závislosti na dopravní výšce [56], [57]

Čerpadlo EUROPUMPS 6500/40		Čerpadlo AQUACUP JET 800	
H [m]	η [%]	H [m]	η [%]
1	1,64	1	1,23
7	9,54	10	10,63
17	18,53	20	17,17
25	20,44	25	18,90
32	17,44	30	18,39
36,5	9,95	38	7,77

Účinnost v závislosti na dopravní výšce je pro jednotlivá čerpadla zobrazena v grafech 5-1 a 5-2.



Graf 5-1 Závislost účinnosti na dopravní výšce pro čerpadlo EUROPUMPS 6500/40



Graf 5-2 Závislost účinnosti na dopravní výšce pro čerpadlo AQUACUP JET 800

Z výše uvedených grafů je patrné, že optimální pracovní bod čerpadel, kde mají nejlepší účinnost leží lehce nad půlkou jejich maximální dopravní výšky. Tyto čerpadla byla používána k čerpání odpadní vody do filtru, kde se maximální dopravní výška pohybovala do 2 m. Z těchto grafů lze tedy vyvodit závěr, že pro modulární filtr v této práci jsou takto výkonná čerpadla zbytečná, protože v nich akorát maříme elektrickou energii. Pro čerpání odpadní vody do modulárního filtru by bylo tedy vhodné zvolit nějaké malé čerpadlo na 12 V které bude mít maximální dopravní výšku třeba 3 m a které může být napájeno obnovitelným zdrojem energie, viz. návrh FVE v této práci. Vzhledem k podobné konstrukci se dá předpokládat, že závislost účinnosti na dopravní výšce bude mít toto čerpadlo podobnou a toto malé čerpadlo by tedy bylo provozováno při své nejlepší účinnosti.

ZÁVĚR

Tato práce byla rozdělena do dvou hlavních částí. První část je teoretická, jejím úkolem je seznámit čtenáře s problematikou čištění odpadních vod pomocí domovních čistíren a ukázat, že dnes už nízkoenergeticky náročné zdroje jako je třeba domovní ČOV mohou být napájeny z obnovitelných zdrojů energie. Postupně v této části bylo rozebráno na jakém principu domovní čistírna funguje a z jakých částí se skládá. Jelikož je domovní ČOV vodní dílo byla v této práci rozebrána i legislativa týkající se domovních ČOV. Na závěr této části byl proveden průzkum trhu, a do srovnání vybrány čtyři nejpoužívanější domovní čistírny na českém trhu.

Následovala praktická část, kde byla z tohoto srovnání vybrána čistírna AQUATEC AT6 pro svůj nejlepší poměr cena/výkon. Následně byl pro tuto čistírnu zvolen vhodný obnovitelný zdroj energie, s ohledem na klimatické podmínky ČR. Jako vhodný obnovitelný zdroj byla nakonec vybrána energie slunečního záření. Bylo rozhodnuto, že ČOV bude napájena ze stávající FVE umístěné na experimentální zahradě, kvůli minimalizaci investičních nákladů. Stávající FVE ale po ročních zkušenostech v zimních měsících nestačí vyrábět dostatek energie pro ČOV. V této práci byl tedy navrhnout off-grid systém fotovoltaické elektrárny, který je dimenzován na celoroční provoz ČOV. V návrhu jsou postupně za sebou popsány všechny důležité části fotovoltaické elektrárny. Na konci návrhu je provedeno ekonomické zhodnocení jak ČOV tak FVE. Z ekonomického srovnání je zřejmé, že v místech, kde dosud není přivedena kanalizace, se už v dnešní době nevyplatí zřizovat u rodinných domů žumpu a je lepší pořídit domovní ČOV která se v provnání s žumpou vrátí už během prvního roku. U FVE se na vrácení investice musíme dívat z pohledu celkově vyrobené elektřiny za rok. Všechnu elektřinu, kterou elektrárna vyrobí je však nutné spotřebovat v místě instalace. FVE bude vyrábět v letních měsících přebytky elektrické energie které se dají použít pro jiné aplikace na experimentální zahradě. V tomto případě by se nám FVE v investici vrátila zhruba za 15 let.

Bylo také provedeno roční provozní zhodnocení domovní ČOV. V rámci tohoto zhodnocení se nechaly vypracovat laboratorní rozborů odpadní vody, aby bylo možné porovnat, jestli domovní čistírna plní na výstupu hodnoty garantované výrobcem. Díky těmto testům bylo zjištěno, že čistírna překračuje množství celkového dusíku v čistírně

téměř pětinasobně, oproti hodnotě garantované výrobcem. Tento parametr nevyhovuje nejspíš proto, že v čistírně neprobíhají správně některé mikrobiologické a aerobní procesy. Bude tedy potřeba vyladit objem vháněného vzduchu do čistírny.

V poslední experimentální části se tato práce zabývala výrobou filtračního systému v této práci pojmenovaný jako modulární filtr. Tento filtr byl vyroben jako ukázka nenáročného energetického zařízení, které slouží k dofiltrování odpadní vody na úroveň vody užitkové a tím pádem její znovuvyužití v domě, třeba při splachování záchodu. Jak lze vidět z laboratorních rozborů odpadní voda po projití tímto filtrem vykazuje znatelně lepší hodnoty ukazatelů než odpadní voda na vstupu. I barva vody se mnohem zlepšila, jak lze vidět na obrázku 5-1, avšak pořád je na výstupu modulárního filtru mírně zbarvena do žluta. Z psychologického hlediska takto zbarvená voda pořád není úplně vhodná ke splachování záchodu. Kýble ze kterých je filtr seskupen, byly vytvořeny ve dvou konstrukčních verzích, další konstrukční vylepšení se už v této práci nepovedlo dokončit kvůli časovým možnostem. Nicméně další návrh na zlepšení konstrukce je takový, že se budu snažit, aby odpadní voda protékala co největším množstvím filtrační náplně. Protože jak můžete vidět z obrázku 5-4 když se do kýble čerpá voda, tak steče po nejkratší cestě na spodek kýblu a vůbec není využit celý potenciál filtrační náplně. V tomto ohledu je tedy ještě velký prostor na zlepšení. A tím pádem i na zlepšení celkové filtrační schopnosti modulárního filtru. Nicméně za celkovou cenu modulárního filtru, která lehce překračuje hranici 2100 Kč, jsou tyto výsledky více než uspokojivé.

Na konci této práce byla ještě vypočítána teoretická účinnost v závislosti na dopravní výšce pro čerpadla která byly použity pro čerpání odpadní vody do modulárního filtru. Jak lze vidět z grafů 5-1 a 5-2, jejich maximální účinnost leží zhruba nad polovinou jejich maximální dopravní výšky. Je tedy zřejmé, že při čerpání vody do modulárního filtru, kde potřebujeme maximální výšku čerpání 2 m jsou tato čerpadla zbytečně výkonná a maří zbytečně velké množství elektrické energie. Bohužel v době experimentu nebyly jiné čerpadla dostupná. Jak už bylo řečeno výše FVE bude v létě vyrábět přebytky elektrické energie které by se daly využít pro 12 V čerpadla která by pro tuto aplikaci byla nejvhodnější, jelikož nepotřebujeme velkou dopravní výšku. Dá se očekávat, že při podobné konstrukci odstředivých čerpadel na 12 V a 230 V by mělo 12 V čerpadlo i podobnou účinnost v závislosti na dopravní výšce. Pokud by tedy

čerpadlo na 12 V mělo maximální dopravní výšku 3 m, tak by při naší aplikaci v modulárním filtru pracovalo na hranici své maximální účinnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Rozdělení - čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://www.cistickaodpadnichvod.cz/rozdeleni>
- [2] *Použití domovních ČOV AQUATEC řady AT* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://www.usbf.cz/microclar>
- [3] *Čističky odpadních vod - nejmodernější řešení* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://www.cistickaodpadnichvod.cz/cisticka-odpadnich-vod-moderne>
- [4] *Provozní řád, návod k obsluze ČOV AT 6-20* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.cisteniodpadnichvod.cz/wp-content/uploads/Provozn%C3%AD-%C5%99%C3%A1d-a-n%C3%A1vod-k-obsluze-domovn%C3%AD-%C4%8COV-AT6-AT20.pdf>
- [5] *ROZDĚLENÍ ODPADNÍCH VOD* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=2307&typ=html
- [6] *COLOR OF WATER – DĚLENÍ VOD* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/177.color-of-water-deleni-vod>
- [7] *Legislativa domovních ČOV* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.topolwater.com/domovni-cov-legislativa.htm?fbclid=IwAR3im4SrEqgf3cnu04tY8_2oeFF5kCEcTmhXv5AEkBUIIIRMpSj4sKVH-qI
- [8] *Domácí čistička odpadních vod okem přísného úředníka* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.cisteniodpadnichvod.cz/domaci-cisticka-odpadnich-vod-okem-prisneho-urednika/?fbclid=IwAR1bqVRTeZLoo2ba3Sbgt_zgBTABYCuSgKRssz3vehZnHTBI7PRI9e_8BVo

- [9] *Technologie domovních ČOV s ohledem příjemce odpadních vod* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/zdroje-a-prijemci-odpadnich-vod-a-technologie-domovnich-cov/>
- [10] *Cena elektřiny za kWh opět zdražila. V roce 2020 stojí 4,76 Kč* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-2020-cez-eon-pre-bohemia-centropol-a-dalsi>
- [11] *DOMOVNÍ ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD AT S PATENTOVANOU VFL® TECHNOLOGIÍ* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://www.domovnicov.cz/>
- [12] *Google Maps* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/49%C2%B014'46.5%22N+16%C2%B033'44.1%22E/@49.2460394,16.5620615,18z/data=!4m3!1m7!3m6!1s0x47129147b5508593:0xec4ace5970b86fa0!2sBrno-Medl%C3%A1nky+330,+621+00+Brno!3b1!8m2!3d49.2460137!4d16.5617141!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d49.24625!4d16.56225>
- [13] *Global Solar Atlas* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/map?c=49.246256,16.562261,11&s=49.246256,16.562261&m=site>
- [14] *Ústav fyziky atmosféry, Akademie věd České republiky* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [15] *Návod k obsluze mikroprocesorové řídicí jednotky* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.cisteniodpadnichvod.cz/wp-content/uploads/N%C3%A1vod-k-obsluze-mikroprocesorov%C3%A9-%C5%99%C3%ADd%C3%ADc%C3%AD-jednotky-typ-AQC-basic.pdf>
- [16] *ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD AS-VARIOCOMP K* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-variocomp-k>
- [17] *Domovní ČOV BioCleaner* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/cisticky-odpadnich-vod-cov-domovni/>

- [18] *Domáci čistička AQUATEC (MICROCLAR) AT6* [online]. [cit. 2020-05-06].
Dostupné z: <https://www.cisteniodpadnichvod.cz/produkt/domaci-cisticka-aquatec-microclar-at6/>
- [19] *Čistírna odpadních vod pro 5 osob - Hellstein STMH5* [online]. [cit. 2020-05-06].
Dostupné z: <https://obchod.hellstein.cz/cistirny-odpadnich-vod-stmh/cistirna-odpadnich-vod-stmh5/>
- [20] E-mailová korespondence s Ing. Robertem Hrichem, vedoucí ČOV Modřice [online], 11. 1. 2019, rhrich@bvk.cz
- [21] *Návod k obsluze mikroprocesorové řídicí jednotky* [online]. [cit. 2020-05-20].
Dostupné z: <https://www.cisteniodpadnichvod.cz/wp-content/uploads/N%C3%A1vod-k-obsluze-mikroprocesorov%C3%A9-%C5%99%C3%ADd%C3%ADc%C3%AD-jednotky-typ-AQC-basic.pdf>
- [22] *SECOH EL-S-60N* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.akvariumonline.sk/secoh-el-s-jednomotorova/11171-secoh-el-s-60n.html#more_info_tab_more_info
- [23] *VYBAVENÍ PRO SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNU / Informace a výpočty baterií FV* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/Informace-a-vypocty-baterii-FV-c2_359_2.htm
- [24] *Baterie Narada 12REXC-200 12V 200Ah* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=baterie-olovene-trakcni&detail=MzEwMDUz&detail_name=baterie-narada-12rexc-200-12v-200ah
- [25] *Fotovoltaický panel 320Wp Smart black* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=fotovoltaicke-panely&detail=MTAwMDMx&detail_name=fotovoltaicky-panel-320wp-smart-black
- [26] *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

- [27] *MPPT SmartSolar solární regulátor Victron Energy 150/70-Tr* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/mppt-smartsolar-solarni-regulator-victron-energy-150-70-tr>
- [28] *Měnič Victron Phoenix 12V 375VA sinus* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=menice-dc-ac&detail=NDAwMDk3&detail_name=menic-victron-phoenix-12v-375va-sinus
- [29] *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [30] *Jistič DC-C20/2* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.schrack.cz/eshop/pristroje-pro-radovou-zastavbu/jistici-pristroje-a-prislusenstvi/jistice/jistice-pro-stejnosmerne-napeti-1-polove/jistic-dc-c20-2-bm015220.html>
- [31] *Trakční baterie Narada 12REXC-200 12V 200Ah 2,4kWh* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely/solarni.baterie/baterie.gel.agm.a.kapalinove/narada/trakcni.baterie.narada.12rexc.200.12v.200ah.2.4kwh>
- [32] *Přepěťová ochrana 170V DC* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely/dc.jisteni/dc.prepetove.ochrany/prepetov.ochrana.170v.dc>
- [33] *Pojistkový odpínač OEZ OPVP22-1* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=elektromaterial&detail=ODAwMDcy&detail_name=pojistikovy-odpinac-oez-opvp22-1
- [34] *Pojistka válcová keramická 63A PV22* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=elektromaterial&detail=ODAwMDk2&detail_name=pojistka-valcova-keramicka-63a-pv22

- [35] *Pojistka válcová keramická 20A 10x38* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=elektromaterial&detail=ODAwMzI1&detail_name=pojistka-valcova-keramicka-20a-10x38
- [36] *Pojistka válcová PV522 80A gR*. [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://shop.elektro-sychra.cz/pojistka-valcova-pv522-80a-gr-p1326/?gclid=EAiaIQobChMI6cqN3-vT6QIVmPdRCh2vGgPvEAQYBCABEgJRPPD_BwE
- [37] *Proudový chránič s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B 16A 30mA AC 263534* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.e1.cz/produkt/1187847-proudovy-chranic-s-jisticem-eaton-pfl7-16-1n-b-003-b-16a-30ma-ac-263534?t=popis>
- [38] *Odpojovač baterie LAMPA 12/32V M6* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ags-shop.cz/cz/e-shop/1920079/c83063-zasuvky-zastrcky-redukce/odpojovac-baterie-lampa-12-32v-m6.html>
- [39] *Kvalita přečištěné vody z domovní ČOV Aquatec - typ AT6 / AT8: dle Nařízení vlády č. 401 / 2015 Sb.* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: [http://www.usbf.cz/download/legislativa/-%20Kvalita%20p%C5%99e%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%A9%20vody%20z%20C4%8COV%20AT6%20-%20AT8%20dle%20NV%20C4%8D.%20401-2015Sb.%20\(povrchov%C3%A9%20vody\).pdf](http://www.usbf.cz/download/legislativa/-%20Kvalita%20p%C5%99e%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%A9%20vody%20z%20C4%8COV%20AT6%20-%20AT8%20dle%20NV%20C4%8D.%20401-2015Sb.%20(povrchov%C3%A9%20vody).pdf)
- [40] *Kvalita přečištěné vody z domovní ČOV Aquatec - typ AT6 / AT8: dle Nařízení vlády č. 57 / 2016 Sb.* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: [http://www.usbf.cz/download/legislativa/-%20Kvalita%20p%C5%99e%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%A9%20vody%20z%20C4%8COV%20AT6%20-%20AT8%20dle%20NV%20C4%8D.%2057-2016Sb.%20\(podzemn%C3%AD%20vody\).pdf](http://www.usbf.cz/download/legislativa/-%20Kvalita%20p%C5%99e%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%A9%20vody%20z%20C4%8COV%20AT6%20-%20AT8%20dle%20NV%20C4%8D.%2057-2016Sb.%20(podzemn%C3%AD%20vody).pdf)

- [41] *Fotovoltaické systémy Ochrana před přepětím* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: https://eshop.neosolar.cz/images_content/687/3535-O-reseni-fotovoltaicke-systemy-cz-2015-150dpi.pdf
- [42] *SLP-PVI70 V/U* [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/vyrobky/slp-pv170-vu>
- [43] *PPR TRUBKA 20mm x 3,4mm PN20, SDR 6* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.obchod-vtp.cz/ppr-trubka-dn20x3-4-pn20>
- [44] *Mosazná dotahovací matice 3/4"* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.obchod-vtp.cz/mosazna-dotahovaci-matice-3-4>
- [45] *PLOCHÉ GUMOVÉ TĚSNĚNÍ - 24 X 14 X 2 MM, ZÁVIT 3/4"* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.az-shop.cz/ploche-gumove-tesneni-24-x-14-x-2-mm-zavit-3-4-sid-az-7505-detail>
- [46] *FV-Plast Přejíčka PPR s plastovým závitem vnějším 20 x 3/4"* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.expos.cz/rozvody-vody-a-plynu/rozvody-z-ppr-pp-rct/ppr-varne-tvarovky/fv-plast-prechodka-ppr-s-plastovym-zavitem-vnejsim-20-x-3-4.html>
- [47] *Vědro s víkem 10 l* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.baumax.cz/vrobek/vedro-s-vikem-10-l,35063.html>
- [48] *ZÁHRADNÍ HADICOVÁ RYCHLOSPOJKA (NA PRŮMĚR 19 MM)* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/dum-a-zahrada/zahradni-hadicova-rychlospojka-na-prumer-19-mm>
- [49] *ŠROUBENÍ G3/4" GARDENA 18201-29* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/zavlazovaci-technika/sroubeni-g3/4-gardena-18201-29>
- [50] *Hadice vysokotlaká 4-vrstvá PVC opletená DN 19 mm (3/4")* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.hadice-prumyslove.cz/p/7235/hadice-vysokotlaka-4-vrstva-pvc-opletena-dn-19->

mm?gclid=EAIaIQobChMI6PCd9eHy6QIVmKztCh0-
MgBSEAQYAiABEgLCq_D_BwE

- [51] *Říční valoun alpský* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.natural-stones.cz/ricni-valoun-alpsky>
- [52] *AGRO CS Keramzit 8-16 mm 50 L* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://www.mall.cz/mulcovaci-dekoracni-kura/keramzit-8-16-mm-50-l-100003619250?gclid=EAIaIQobChMIqIXW2eLy6QIVSrDtCh1T2gVnEAQYBCABEgI-QvD_BwE
- [53] *Lávový mulč drcený* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.natural-stones.cz/lavovy-mulc-drceny>
- [54] *Filtrační písek - 25 kg* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://www.marimex.cz/filtracni-pisek-aquamar-25-kg/?gclid=EAIaIQobChMIxPHisePy6QIVB-7tCh2s9QokEAQYBSABEgLbPvD_BwE
- [55] *Aktivní uhlí COL-L 950 (8x30)* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://e-pisky.cz/aktivni-uhli-hydroantracit/143-aktivni-uhli-sorbotech-lg-95-8x30.html>
- [56] *JET 800* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://aquacup.cz/p-jet-800>
- [57] *EUROPUMPS P 6500/40* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.eurocerpadla.cz/ponorna-cerpadla/europumps-p-6500-40>
- [58] *Měření charakteristik na odstředivém čerpadle* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/6595/bc_10761.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1: Půdorys a vnitřní složení čistírny AQUATEC AT6 [2].....	10
Obr. 4-1 Nainstalovaná domovní ČOV AQUATEC AT6 s šachtou na dmychadlo.....	23
Obr. 4-2 Řídící jednotka AQC Basic [21]	24
Obr. 4-3 Dmychadlo SECOH EL-S-60N [22].....	25
Obr. 4-4 Blokové schéma celého systému [11], [21], [22], [25], [27], [28], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38]	27
Obr. 4-5 Vnitřní schéma navrženého systému.....	28
Obr. 4-6 Trakční olověná baterie Narada 12REXC-200 [24].....	30
Obr. 4-7 Závislost životnosti baterie Narada 12REXC-200 na míře vybíjení [24]	31
Obr. 4-8 Průměrná výroba elektrické energie FV panelu o výkonu 1 Wp [26]	32
Obr. 4-9 Fotovoltaický panel DHM Solar DHM60X-320W-SBB [25]	33
Obr. 4-10 MPPT solární regulátor Victron Energy 150/70-Tr [27]	34
Obr. 4-11 Měnič napětí Victron Phoenix 12/375 [28].....	35
Obr. 4-12 Pojistky OEZ 20 A, 63 A, 80 A [34], [35], [36]	36
Obr. 4-13 Pojistkový odpínač OEZ 125 A [33].....	36
Obr. 4-14 Přepět'ová ochrana Saltek SLP-PV170 V/U [32].....	37
Obr. 4-15 Jistič SCHRACK DC-C20/2 [30]	38
Obr. 4-16 Bateriový odpojovač LAMPA 12/32 V [38].....	38
Obr. 4-17 Proudový chránič s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B [37]	39
Obr. 5-1 Vlevo odpadní voda po odebrání z čistírny, vpravo odpadní voda přefiltrovaná přes modulární filtr	43
Obr. 5-2 První konstrukční verze kýble ze kterých je složen modulární filtr.....	44
Obr. 5-3 Druhá konstrukční verze kýble ze kterých je složen modulární filtr	45
Obr. 5-4 Kýbl opatřený netkanou textílií a naplněn jemnou frakcí černého uhlí	45
Obr. 5-5 Modulární filtr, sestupně od nejhrubší frakce po nejjemnější frakci.....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 Povolené maximální hodnoty znečištění ve vypouštěných odpadních vodách dle NV č. 401/2015 Sb. [39].....	16
Tabulka 2-2 minimální účinnosti v % [8].....	16
Tabulka 2-3 Povolené maximální hodnoty znečištění ve vypouštěných odpadních vodách dle NV č. 57/2016 Sb. [40].....	16
Tabulka 2-4 minimální účinnosti v % [8].....	17
Tabulka 3-1 Porovnání vybraných ČOV [16], [17], [18], [19].....	20
Tabulka 3-2 Přehled energetické náročnosti ČOV [16], [17], [18], [19].....	20
Tabulka 3-3 Energetická bilance ČOV Brno-Modřice [20]	21
Tabulka 3-4 Energetická bilance ČOV AQUATEC AT6 [18].....	21
Tabulka 4-1 Programy řídicí jednotky AQC Basic [15].....	24
Tabulka 4-2 Technické parametry řídicí jednotky AQC Basic [21].....	25
Tabulka 4-3 Technické parametry dmyhadla SECOH EL-S-60N [4]	26
Tabulka 4-4 Technické parametry a pořizovací náklady baterií Narada [24]	31
Tabulka 4-5 Technické parametry a pořizovací náklady FV panelu DHM Solar DHM60X-320W-SBB [25].....	33
Tabulka 4-6 Technické parametry a pořizovací náklady MPPT regulátoru Victron Energy 150/70-Tr [27]	34
Tabulka 4-7 Technické parametry a pořizovací náklady měniče Victron Phoenix 12/375 [28].....	35
Tabulka 4-8 Technické parametry přepěťové ochrany Saltek SLP-PV170 V/U [42].....	37
Tabulka 4-9 Technické parametry jističe SCHRACK DC-C20/2 [30]	38
Tabulka 4-10 Technické parametry proudového chrániče s jističem EATON PFL7-16/1N/B/003/B [37]	39
Tabulka 4-11 Souhrn veškerých nákladů [24], [25], [27], [28], [30], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38]	40
Tabulka 4-12 Garantované hodnoty a naměřené hodnoty znečištění na odtoku z domovní ČOV AQUATEC AT6.....	42
Tabulka 5-1 Výsledky laboratorních rozborů dle vyhlášky č. 187/2005 Sb.	47

Tabulka 5-2 Náklady na výrobu jednoho kýble [43], [44], [45], [46], [47], [48], [48], [49], [50].....	48
Tabulka 5-3 Náklady na filtrační materiály pro každý kýbl [51], [52], [53], [54], [55]	48
Tabulka 5-4 Technické parametry čerpadel [56], [57]	49
Tabulka 5-5 Vypočítané hodnoty účinnosti čerpadel v závislosti na dopravní výšce [56], [57]	50

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

U	Napětí [V]
I	Proud [A]
P	Příkon [W]
c_2	Označení kapacity baterie výrobcem [-]
P_{ef}	Teoretický výkon hnacího stroje [W]
Q	Průtok [m^3/s]
ρ	Hustota vody [kg/m^3]
H	Dopravní výška [m]
g	Tíhové zrychlení [m/s^2]
η	Účinnost [-]
BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku
CHSK _{CR}	Chemická spotřeba kyslíku
NL	Nerozpuštěné látky
N-NH ₄	Amoniakální dusík
N _{CELK}	Celkový dusík
P _{CELK}	Celkový fosfor

Zkratky

ČOV	Čistírna odpadních vod
EO	Ekvivalentní obyvatel
OV	Odpadní voda
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
MPPT	(Maximum Power Point Tracking) – Sledování bodu maximálního výkonu
DoD	(Depth of Discharge) – Hloubka vybití
DC	(Direct Current) – Stejnoseměrný proud
NV	Nařízení vlády
ČR	Česká republika

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Graf vyrobené elektrické energie ze stávající FVE za rok 2019.....I

Příloha 1: Graf vyrobené elektrické energie ze stávající FVE za rok 2019

