



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

PARCIÁLNÍ MODEL ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

THE PARTIAL MODEL OF SEWAGE TREATMENT PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Petr Novák

ID: 172015

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Parciální model čistírny odpadních vod

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznámit se s pojmy užívanými u ČOV
2. Analyzovat současné potřeby a technické vybavení ČOV
3. Provést návrh řešení
4. Zpracovat model v OpenModelice
5. Zhodnotit dosažené výsledky v závěru

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce - IEEE, Scopus, zkušenosti provozovatelů.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 29.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Konzultant:

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

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.

Bibliografická citace práce:

NOVÁK, P. *Parciální model čistírny odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Parciální model čistírny odpadních vod* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího 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: 29. 05 2018

.....

ABSTRAKT

Práce se zabývá čistírnami odpadních vod (ČOV). Pro energetickou soběstačnost ČOV je nutné studovat provozní zázemí, zařízení a jejich možnou provozní predikci pro energetické rozložení v čase a přizpůsobení se případnému OZE. Nebo je možné optimalizovat provoz cílem maximálního zrovnoměření odebíraného příkonu. Uvažuje se o malé ČOV do 500 EO. Případně velké čistírenské bloky. Student vyhodnotí současný stav poznání a pokusí se navrhnout a případně zrealizovat finanční úsporu dané koncepce.

KLÍČOVÁ SLOVA: Čistírna odpadních vod; ČOV; Spotřeba; Energetická náročnost;

ABSTRACT

The thesis deals with wastewater treatment plants (WWTPs). For the energetic self-sufficiency of the WWTP, it is necessary to study the operational background, equipment and their possible operational prediction for energy distribution over time and adaptation to any renewable energy (RES). It is also possible to optimize the operation to maximize the equalization of the input power. We're talking about small WWTPs up to 500 EP. Large purification blocks are also an option. The student will evaluate the current state of knowledge and try to design and possibly implement the financial savings of the given concept.

KEY WORDS: Wastewater treatment plants; WWTPs; Consumption; Energy demand

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	7
SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
1 ÚVOD	10
2 TECHNICKÉ SCHÉMA ČOV	11
3 ENERGETICKÝ AUDIT	13
3.1 KDO JE POVINEN NECHAT SI ZPRACOVAT ENERGETICKÝ AUDIT.....	13
3.1.1 ZELENÁ ÚSPORA	14
3.2 ÚČEL ENERGETICKÉHO AUDITU	14
3.3 OBSAH ENERGETICKÉHO AUDITU	14
3.4 OPRÁVNĚNÁ OSOBA KE ZPRACOVÁNÍ ENERGETICKÉHO AUDITU	15
3.5 VÝSLEDKY ENERGETICKÉHO AUDITU NA ČOV	15
4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST	16
4.1 NÁVRH, OPTIMALIZACE SPOTŘEBY DANÝCH ZAŘÍZENÍ	17
4.1.1 SNÍŽENÍ SPOTŘEBY ČERPADEL	18
4.1.2 SNÍŽENÍ SPOTŘEBY DMYCHADEL	19
4.1.3 SNÍŽENÍ SPOTŘEBY V AKTIVAČNÍ NÁDRŽI	20
4.2 POUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE	20
4.2.1 RECYKLACE ENERGIE	21
4.2.2 VYUŽITÍ TEPELNÉHO ČERPADLA	21
4.3 ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z KALU.....	22
4.4 ENERGIE Z FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	23
4.5 ENERGIE ZÍSKANÁ Z ODPADNÍ VODY	24
4.6 ŘEŠENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PRO MALÉ ČOV	25
5 MORAVIČANY	26
6 SIMULACE ČOV	39
6.1 PROGRAMY VHODNÉ K SIMULACI.....	39
6.2 SIMULACE TLAKOVÉHO VZDUCHU	42
7 ZÁVĚR.....	46
POUŽITÁ LITERATURA	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 4-1 Graf spotřeby energie jednotlivých procesů [3]</i>	17
<i>Obrázek 4-2 Naddimenzování čerpadla a dopad na jeho spotřebu [2]</i>	18
<i>Obrázek 4-3 Celkové náklady u čerpadla odpadních vod [3]</i>	19
<i>Obrázek 4-4 Řízení dmýchadel [2]</i>	20
<i>Obrázek 4-5 Princip funkce tepelného čerpadla [13]</i>	22
<i>Obrázek 4-6 Sestava solární elektrárny [17]</i>	23
<i>Obrázek 4-7 Vzhled bezlopatkové turbíny SETUR [19]</i>	25
<i>Obrázek 5-1 Mapa tlakové kanalizace a umístění ČOV v obci Moravičany[25]</i>	26
<i>Obrázek 5-2 Stírané válcové síto na ČOV Moravičany</i>	28
<i>Obrázek 5-3 Pro vzdušňovaná aerační nádrž na ČOV Moravičany</i>	28
<i>Obrázek 5-4 Dosazovací nádrž na ČOV Moravičany</i>	29
<i>Obrázek 5-5 Mikrosítový filtr na ČOV Moravičany</i>	29
<i>Obrázek 5-6 Dekantační odstředivka na ČOV Moravičany</i>	30
<i>Obrázek 5-7 Měsíční produkce energie z 18 kW FV panelů</i>	32
<i>Obrázek 5-8 Graf využití energie z 18 kW FV panelů na provozu ČOV</i>	32
<i>Obrázek 5-9 Měsíční produkce energie ze 7 kW FV panelů</i>	33
<i>Obrázek 5-10 Graf využití energie ze 7 kW FV panelů na provozu ČOV</i>	33
<i>Obrázek 5-11 Průběh spotřeby výkonu na ČOV 6. 2. 2018</i>	35
<i>Obrázek 5-12 Průběh účinníku na ČOV 6. 2. 2018</i>	36
<i>Obrázek 5-13 Průběh spotřeby výkonu na ČOV 10. 2. 2018</i>	37
<i>Obrázek 5-14 Průběh účinníku na ČOV 10. 2. 2018</i>	38
<i>Obrázek 6-1 Celkové schéma modelu tlakového vzduchu</i>	42
<i>Obrázek 6-2 Schéma asynchronního motoru</i>	43
<i>Obrázek 6-3 Průběh proudu při zapnutí motoru</i>	43
<i>Obrázek 6-4 Momentová charakteristika asynchronního motoru</i>	44
<i>Obrázek 6-5 Graf hmotnostního průtoku</i>	45
<i>Obrázek 6-6 Graf objemového průtoku</i>	45

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 5-1 Množství vypouštěné vody z ČOV [23]</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 5-2 Povolené emisní limity a míry znečištění na odtoku z ČOV [23]</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 5-3 Tabulka spotřeby energie za fakturační období.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 5-4 Tabulka měsíční spotřeby z měření na ČOV.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 6-1 Parametry asynchronního motoru</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 6-2 Parametry vzduchu</i>	<i>44</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní	[mg/l]
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku	[mg/l]
ČOV	Čistírna odpadních vod	
EO	Ekvivalentní obyvatel	
ČEA	Česká energetická asociace	
SFŽP	Statní fond životního prostředí	
MMR	Ministerstvo pro místní rozvoj ČR	
MZ	Ministerstvo zemědělství	
Q _{Návrhové}	Navrhovaný průtok čerpadla	[m ³ /s]
Q _{Skutečný}	Skutečný průtok čerpadla	[m ³ /s]
OZE	Obnovitelné zdroje energie	
OL	Organické látky	
AL	Anorganické látky	
VK	Vyhnilý kal	
SSK	Surový kal	
Q	Průtok	[m ³ /s]
Q _{max}	Maximální průtok	[m ³ /s]
Q _{den}	Denní průtok	[m ³ /s]
Q _{měs}	Měsíční průtok	[m ³ /s]
Q _{rok}	Roční průtok	[m ³ /s]
NL	Nerozpustitelné látky	[mg/l]
N _{cel}	Celkový dusík	[mg/l]
FV	Fotovoltaika	
OMC	OpenModelica kompilátor	
ODE	Obyčejná diferenciální rovnice	
DEA	Diferenciální – algebraická rovnice	
OMEdit	OpenModelicaConnection editor	
API	Rozhraní aplikačního programování	
OM	OpenModelica	
WYSIWYG	HTML editor	
Qt	Program založený na C++	
CORBA	Architektura zprostředkovatele žádostí o společné objekty	
omniORB	Program založený na CORBA	
ZeroMQ	Výkonná knihovna zpráv pro použití v aplikacích	
MDT	Modelovací vývojové nástroje	
CVS	Systém souběžné verze	
SVN	SubVersioN	
GIT	Systém řízení verzí	
FMI	Funkční modelové rozhraní	
FMU	Funkční model	
ρ	Hustota	[g/cm ³]
cp	Tepelná kapacita při konst. tlaku	[J/(kgK)]
cv	Tepelná kapacita při konst. objemu	[J/(kgK)]
λ	Tepelná vodivost	[W/mK]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]

1 ÚVOD

Je to teprve nedávno, kdy si obyvatelstvo začalo plně uvědomovat škodlivý vliv odpadních vod na životní prostředí. Znečištěné řeky a odumírající lesy byly prvními důkazy o nadměrné a nekontrolovatelné produkci odpadních látek, které ohrožují naši planetu. V poslední době si potřebu chránit životní prostředí uvědomují i vlády. Hlavně v ekonomicky a průmyslově silných státech.[1]

Mezi nejdůležitější zásahy patří likvidace nepříznivých vlivů způsobovaných odpadními látkami ve všech skupenstvích a v celé jeho šíři. Odstraňování velkých zdrojů znečištění má velký vliv na udržení nebo zlepšení stavu životního prostředí, naproti tomu odstraňování malých zdrojů znečištění má „jen“ lokální význam, ale i tak je velice důležité. Proto je nutno kromě využívání obnovitelných zdrojů energie, řízených skládek budovat i čistírny odpadních vod z malých zdrojů znečištění.[1]

Technologie, které se používali na ČOV v minulosti byly zaměřeny hlavně na odstraňování BSK5 a CHSK znečištění vody. Na znečištění způsobené nutrienty nebyl brán zřetel. Používané technologie byly hodně neefektivní a velmi často i naddimenzované, aby se dosáhlo potřebného čistícího efektu. Proto z dnešního pohledu na největší úsporu energie nejsou ČOV provozovány v optimálním energetickém režimu.[2] V současnosti je hlavní prioritou pro provozovatele čistírenských a hospodářských společností dosáhnout maximální ekonomické efektivity. Odpadní voda obsahuje organické látky, tepelnou a kinetickou energii, jejíž množství je zhruba 9x vyšší než je potřeba na její čištění. My však místo toho na čištění odpadní vody energii ještě dodáváme.[3] Existuje celá řada způsobů jak vylepšit stávající energetickou bilanci ČOV. Jedná se o optimalizaci spotřeby jednotlivých elektrických spotřebičů (nejjednodušší), změnu technologie (náročnější a komplexnější), využití tepelné energie pomocí tepelných čerpadel na vytápění objektů, sušení kalu, či technologických procesů nebo zvýšení produkce bioplynu.[2]

Tato bakalářská práce je zaměřená na čistírny odpadních vod neboli ČOV pro maximálně 500EO. Zabývá se základním vybavením ČOV, spotřebou elektrické energie a také optimalizací spotřeby elektrické energie čistírny odpadních vod. Dále jsou popsány způsoby, které nám mohou pomoci se snížením spotřeby elektrické energie.

2 TECHNICKÉ SCHÉMA ČOV

Čistírny odpadních vod jsou stavby, které slouží k čištění různých odpadních vod (komunálních, průmyslových). ČOV se mezi sebou často liší velikostí i mechanismem čištění. ČOV jsou stavěny převážně v blízkosti obydlených aglomerací nebo průmyslových podniků. Nejčastěji se setkáme s ČOV, které využívají mechanicko – biologický způsob čištění odpadních vod. Můžeme říct, že základní princip vychází z přirozených čistících procesů v přírodních vodách. Nerozpuštěné částice jsou zachytávány na překážkách, kde dochází k dalšímu biologickému rozkladu. Částice, které se nezachytí postupně sedimentují a k rozkladu dochází na dně bez přístupu kyslíku. Nerozpustitelné látky jako písek ve vodě postupně usazují a tvoří sedimenty.[4]

Mechanické čištění

Mechanické čištění se také často nazývá ochranná část čistírny, protože zde dochází k zachytávání hrubých nerozpuštěných nečistot. Prvním zařízením mechanického čištění je lapák štěrků, který se nachází ještě v kanalizačním systému. Jeho úkolem je zachytávat největší nečistoty jako jsou kameny apod. Lapák štěrků je vlastně jímka, ve které se zachytávají těžké předměty, které se tam dostaly spolu s odpadní vodou. Jako další následuje zachytávání menších nečistot na česlech. Česle jsou rozděleny na hrubá nebo jemná, jejich vyklízení probíhá nejčastěji ručně. Nečistoty, které zachytíme na česlech se nazývají shrabky. U menších ČOV jsou někdy nahrazeny jemné česle za síta. Shrabky jsou vysoce hygienicky závadné a po vylisování vody je lze spalovat nebo ukládat na skládku.

Kromě česlí se na ČOV využívají i mělníci česle a desintegrátory, které zachycené hrubé nečistoty rozmělní na jemnou suspenzi, která je usazena v dalších částech ČOV jako jsou usazovací nádrže nebo přechází do aktivovaného kalu. Mělníci česle jsou hlavně používány na malých ČOV, kde zjednodušuje postup čištění.

Jako další následuje lapák písku, ten má za úkol zachytit písek a jiné malé částice, které se vyskytují v odpadních vodách. Pokud by nebyly tyto částice zachyceny, mohly by se dostat do dalších částí ČOV, kde by mohly poškodit například čerpadla nebo jiná zařízení. Dalším důvod proč se používají lapáky písku je ten, aby oddělil minerální částice od nerozpuštěných organických částic, které je dobré v odpadní vodě nechat. Dá se na ČOV využít několik typů lapáků písku. Všechny typy lapáků písku pracují na stejném principu rozdílné hustoty minerálních organických částic, které jsou od sebe oddělovány za pomoci odstředivé nebo gravitační síly. Lapáky písku se dají rozdělit na ručně a strojně vyklízené, dále na lapáky s průtokem buď horizontálním nebo vertikálním a provzdušňované a vírové lapáky. Nejjednodušší typ lapáku písku je s horizontálním průtokem, který se skládá ze dvou nebo více úzkých mělkých žlabů, na jejichž dně se písek usazuje. Princip lapáku písku s vertikálním průtokem je založen na tom, že odpadní voda je přiváděna na dno lapáku a odtud poté stoupá stanovenou vzestupnou rychlostí. Vírový lapák je vlastně válcová nádrž, ve které je za pomoci vířivého pohybu vody vynášen písek na její stěny a následně strháván ke dnu nádrže. Provzdušňovaný lapák písku je horizontální žlab, kde za pomoci umělého provzdušňování podél jedné strany žlabu zachytáváme písek. Písek, který se poté zachycuje na lapáku je po proprání a odvodnění ukládán na skládku odpadů nebo využíván ve stavebnictví.

Pokud se nacházíme v oblasti, kde je v odpadní vodě zvýšená koncentrace tuků a olejů stojí za to zvážit použití lapáku tuků. Protože tuky a oleje jsou lehčí než voda, tak se usazují na její hladině, odkud jsou poté za pomoci lapáku ručně nebo strojně stírány do sběrného žlabu. Pokud není použítí samostatného lapáku tuku výhodné nechávají se oleje a tuky usadit v usazovací nádrži.

Poslední částí mechanického čištění jsou poté usazovací nádrže, kde dochází vlivem gravitační síly k separaci tuhých částic těžších než voda. Podle toho, jak v nádrži protéká voda je rozdělujeme na pravoúhlé s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem a nádrže s vertikálním průtokem.[4]

Biologické čištění

Biologická část čištění je složená ze tří hlavních částí a to z aktivační nádrže, dosazovací nádrže a systému pro odvod aktivovaného kalu. Odpadní voda, která už prošla mechanickou částí ČOV a je zbavena minerálních nečistot a tuků je přiváděna do aktivační nádrže s aktivovaným kalem. Aktivovaný kal je směs mikroorganismů, které svým metabolismem čistí odpadní vodu. V aktivovaném kalu se vyskytují hlavně různé druhy bakterií, ale i houby, plísňe a kvasinky nebo i vyšší organismy jako jsou prvoci. Pro správný průběh biologického čištění je důležité směs vody a kalu důkladně provzdušňovat a míchat. Během procesu čištění mikroorganismy štěpí složité (vysokomolekulární) organické látky jako jsou škroby a bílkoviny na jednoduché (nizkomolekulární) organické látky – například cukry, aminokyseliny. Následně tyto jednoduché látky prostupují do organismu mikrobů, kde poté dojde k dalšímu štěpení a to ještě na jednodušší látky, které již nelze biologicky odstranit. Alternativa k aktivovanému kalu jsou biofilmy, ty jsou tvořeny také mikroorganismy a vyššími organismy, umístěné na povrchu vhodného inertního nosiče. Hlavní podmínka kvalitního čištění je stejná jako u aktivovaného kalu a to, že je potřeba dostatečně okysličovat prostředí. Po biologickém vyčištění odpadní voda putuje do dosazovací nádrže, kde je za pomoci sedimentace oddělen aktivovaný kal od vyčištěné vody. Dosazovací nádrže se dělí podobně jako usazovací nádrže a to podle způsobu protékání aktivační směsi se rozdělují na pravoúhle s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem a nádrže s vertikálním průtokem. Aktivovaný kal z dosazovacích nádrží je částečně vrcen do aktivační nádrže a přebytečný kal putuje do kalového hospodářství ČOV.[4]

Terciální čištění

I když kvalita vody po dokončení biologického čištění bývá lepší než je voda v recipientu, je někdy zařazeno ještě další čištění a to tzv. terciální čištění, které se používá například pro odtok vody do zvláště citlivého recipientu. Terciální čištění se používá hlavně k odstranění fosforu, dusíku (které způsobují množení sinic ve vodách), nerozpuštěných látek. Přírodním způsobem, který je využíván je užití tzv. biologických dočišťovacích nádrží nebo-li stabilizačních nádrží. Kde při zadržení vody minimálně po dobu pěti dní dochází k sedimentaci zbylých nerozpustitelných látek.[4]

Technologické schéma ČOV s mechanicko – biologickým čištěním viz. příloha

3 ENERGETICKÝ AUDIT

Energetický audit je dokument, který má za úkol zhodnotit objekty z hlediska spotřeby elektrické energie a popřípadě nalézt řešení, které povede ke snížení energetické náročnosti. Energetický audit má pomoci ke snížení spotřeby energie v objektech.

Definice energetického auditu dle novely zákona č. 318/2012 Sb.:

"Pro účely tohoto zákona se rozumí energetickým auditem písemná zpráva obsahující informace o stávající nebo předpokládané úrovni využívání energie v budovách, v energetickém hospodářství, v průmyslovém postupu a energetických službách s popisem a stanovením technicky, ekologicky a ekonomicky efektivních návrhů na zvýšení úspor energie nebo zvýšení energetické účinnosti včetně doporučení k realizaci."[5]

3.1 Kdo je povinen nechat si zpracovat energetický audit.

Energetický audit se doporučuje nechat si vyhotovit tam, kde je potřeba snížit energetickou náročnost objektů.

Stavebník, společenství vlastníků jednotek nebo vlastník budovy / energetického hospodářství jsou povinni nechat udělat energetický audit pro objekt nebo energetické hospodářství, energetický audit se řídí dle vyhlášky 406/2000 Sb:

- *„Objekt, který dosáhl v průběhu posledních dvou let k větší spotřebě energie než je hodnota spotřeby uvedená v prováděcím právním předpisem.*
- *u větší změny dokončené budovy nejsou splněny požadavky na energetickou náročnost budovy.*
- *hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká fyzickým a právnickým osobám povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit, se stanoví ve výši 35 000 GJ (9 722 MWh) za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství příslušné osoby a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok.*
- *hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká organizačním složkám státu, organizačním složkám krajů a obcí a příspěvkovým organizacím povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit, se stanoví ve výši 1 500 GJ (417 MWh) za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství příslušné organizační složky nebo příspěvkové organizace a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok“.. [5]*

Od energetického auditu jsou osvobozeny stavby, které mají samostatné měření spotřeby energií a kde celková spotřeba je menší než 700 GJ, Poté jsou osvobozeny ty objekty, kde došlo k udělení stavebního povolení nebo dokončení stavby do 31. prosince 2001 a kterým byla udělena dotace od ČEA v rámci programu Zelená úspora nebo dotace ze SFŽP, MMR nebo MZ.[6]

Energetický audit objektů musí být vyhotoven v případě žádosti o dotaci například dnes populární Zelená úspora.

3.1.1 Zelená úspora

Zelená úspora je program Ministerstva životního prostředí, vedený Státním fondem životního prostředí ČR. Tato dotace má za úkol podporovat energeticky úsporné rekonstrukce rodinných nebo bytových domů a to tím, že je zaměřená na výměnu stávajících nevyhovujících zdrojů vytápění a na používání obnovitelných zdrojů energie.

Hlavním cílem této úspory je zlepšení stavu životního prostředí tím, že se snižuje produkce emisí a skleníkových plynů. Také má za cíl snížit v konečném důsledku spotřebu energie.[7]

3.2 Účel energetického auditu

Energetický audit má za úkol zjistit do jaké míry v daném objektu efektivně využíváme energie a popřípadě nalézt řešení, které nám pomůže s úsporou energie. Samozřejmě se nám úspora energie musí vyplatit jak ekonomicky tak ekologicky. Dále nám pomáhá určit, kde se nám nejvíce vyplatí modernizace zařízení.[5]

3.3 Obsah energetického auditu

Každý energetický audit by měl dle vyhlášky 406/2000 Sb obsahovat toto:

- *„titulní list,*
- *identifikační údaje,*
- *popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu,*
- *vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu,*
- *návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie,*
- *varianty z návrhu jednotlivých opatření,*
- *výběr optimální varianty,*
- *doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit,*
- *evidenční list energetického auditu, jehož vzor je uveden v příloze č. 1 k této vyhlášce, a*
- *kopii dokladu o vydání oprávnění podle § 10b zákona č. 406/2000 Sb., hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“) nebo kopii oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Evropské unie“.*

3.4 Oprávněná osoba ke zpracování energetického auditu

Osoba, která má ke zpracování oprávnění je tzv. energetický auditor. Ten musí splnit požadavky podle zákona č.406/2000 Sb. tyto osoby jsou potom zapsány do seznamu energetických expertů vedených Ministerstvem průmyslu a obchodu.

Pro dosažení osvědčení energetického auditora dle zákona 406/2000 Sb. je potřeba dosažení odborné způsobilosti a také prokázat odborné znalosti a složit zkoušku, která má prověřit odborné znalosti. Za odbornou způsobilost se považuje úspěšné ukončení vysokoškolského vzdělání minimálně magisterského studijního programu a po té 3 roky praxe v oboru nebo dokončení bakalářského studia případně středoškolského vzdělání a 5 let praxe v oboru.

K žádosti o účast na odborné zkoušce musí též uchazeč doložit minimálně dvě zprávy o energetických auditech provedených v posledních dvou letech.[6]

3.5 Výsledky energetického auditu na ČOV

Ve Švýcarsku byl od roku 2003 vyhotoven energetický audit pro dvě třetiny tamních ČOV. Z výsledků auditu jsme zjistili toto:

- Podařilo se snížit energetické náklady optimalizovaných ČOV až o 38 %
- 33 % ze snížených nákladu bylo zapříčiněno zvýšením efektivity čistících procesů
- 67 % ze snížených nákladu bylo zapříčiněno výrobou energie z bioplynu
- Nejvíce se na zvýšení efektivity podílelo lepší řízení spotřeby energie v aktivačním procesu
- Finanční úspora nám činí 8 miliónů eur za rok.

Z těchto poznatků plyne to, že nejvyužívanějším obnovitelný zdroj energie na ČOV ve Švýcarsku je bioplyn.

Z energetických auditů z Německa jsme zjistili, že energetické náklady na provoz ČOV mohou být sníženy až o 50 %.[8]

4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Celková spotřeba energie na nejnovějších ČOV dosahuje rozmezí mezi 20 – 45 kWh / celkový počet obyvatel. Nižší hranice platí pro velké čistírny s více jak 100 000 EO a vyšší potom platí pro čistírny s 10 000 EO. Můžeme tedy usoudit, že čím je menší zařízení, tím má dané zařízení vyšší spotřebu energie. V této energetické bilanci nepočítáme se zpětným získáváním energií dostupných na ČOV.

Energetická spotřeba není závislá jen na velikosti ČOV, závisí také na celkovém návrhu. Námí uvedené údaje o spotřebě odpovídají čistírnám s odstraňováním dusíku a fosforu a s anaerobním vyhníváním kalu. Čistírny, které odbourávají nutrienty často mají menší spotřebu a ČOV bez anaerobních vyhnívacích nádrží zase spotřebují více.

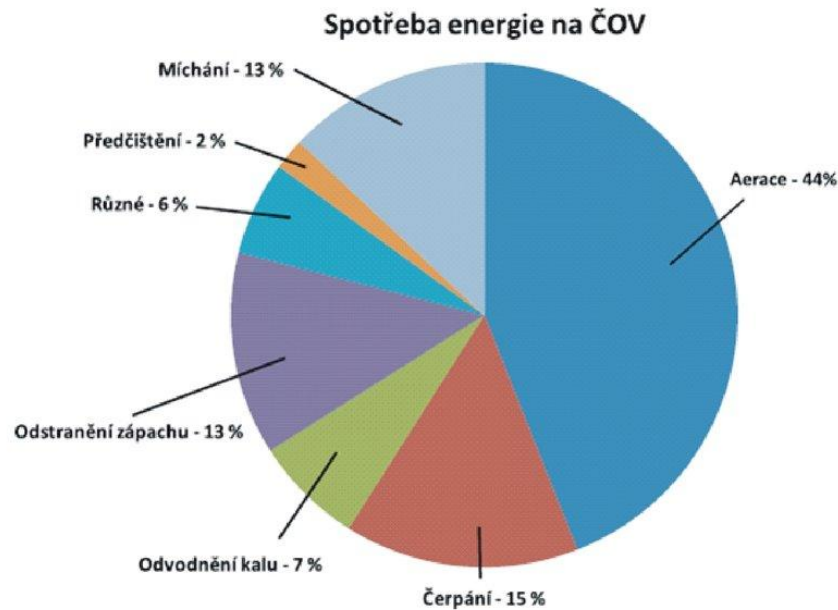
Samozřejmě se snaha o ušetření energií nesmí negativně projevit na kvalitě a účinnosti čištění odpadních vod. Politika a moderní systémy se snaží co nejvíce podpořit energeticky efektivní čištění.

Podle studie, která byla provedena v roce 1999 na 23 německých ČOV se ukázalo, že lze spotřebu energie snížit o 20 – 80 % v průměru o 67 %. Těto úspory lze také dosáhnout i přes to, že většina z těchto ČOV byla vybudována nebo modernizována v poslední době, kdy začínají být úsporné technologie velice populární.

Podle jiné studie na evropských čistírnách, která nám ukázalo to, že se dá ušetřit 10 – 15 % energie bez větších investičních nákladů.

Ve všech případech dosažené úspory dalece přesahují požadované investice a provozní náklady do úsporných technologií průměrně o 50 %. Z toho plyne, že systémy pro zdokonalení energetické bilance se téměř vždy vyplatí.[9]

Čistírny odpadních vod byly dřív konstruovány většinou k jejich prvotnímu účelu a to k čištění vod, a proto se nehledělo na energetickou spotřebu tak jako dnes. Když se podíváme na mnohé ČOV z ekonomického hlediska tak zjistíme, že nejsou provozovány v optimálním energetickém režimu. Existuje mnoho způsobů jak snížit energetickou náročnost ČOV a ušetřit jak energii, tak i finance. Základní způsob je optimalizace spotřeby stávajícího elektrického zařízení. Další způsob je o něco obtížnější a tím je změna technologie provozu nebo použití tepelné energie pomocí tepelných čerpadel, kterou může dále využít například na sušení kalu nebo vytápění objektu. Finanční otázka se stala jednou z hlavních příčin, díky které se snažíme využívat energii efektivněji.[2]



Obrázek 4-1 Graf spotřeby energie jednotlivých procesů [3]

Z obrázku 1 je patrná procentuální spotřeba elektrické energie na daná zařízení pro ČOV 100 000 EO. Z výstupu energetického auditu potom můžeme nalézt místa, kde máme nejvyšší spotřebu energie a na tyto zařízení se primárně zaměřit. Z obrázku je patrné, že nejvyšší spotřebu energie nalezneme na aeraci. Často bývá potřebná energie na aeraci vyšší než 50 % nejčastěji u menších ČOV. Spotřeba energie hodně závisí na technologickém uspořádání ČOV a také na typu znečištění.[3]

Postupy, které můžeme použít na snížení celkové spotřeby elektrické energie dělíme na několik částí.

- Návrh, optimalizace spotřeby daných zařízení
- Výroba elektrické energie
- Využití obnovitelných zdrojů, výroba tepelné energie

Způsob, který si na šetření energie vybereme, závisí na velikosti ČOV. Pro malé ČOV do 20000 bez anaerobního zpracování kalu se především orientujeme na energetický audit a hledáme optimalizaci v provzdušňování a čerpání. Těmito způsoby je možno ušetřit až 20 % elektrické energie. U větších ČOV nad 20 000 EO kde je možno využití bioplynu po anaerobním zpracování kalu, se úspora elektrické energie může vyšplhat až na 30 %.[2]

4.1 Návrh, optimalizace spotřeby daných zařízení

Návrh zařízení nebo optimalizace už instalovaných zařízení je způsob úspory elektrické energie, který vyplývá z energetického auditu. Častým jevem je, že se sice v objektech měří spotřeba energie, ale poté se s nimi buď vůbec nepracuje, anebo pracuje špatně. Ale data o spotřebě elektřiny jsou pro nás velice důležitá. Díky nim můžeme předejít mnoha problémům, například pokud zpozorujeme zvýšení spotřeby energie tak bude něco v nepořádku. Z toho vyplývá, že odborně provedený energetický audit je pro nás velice důležité.

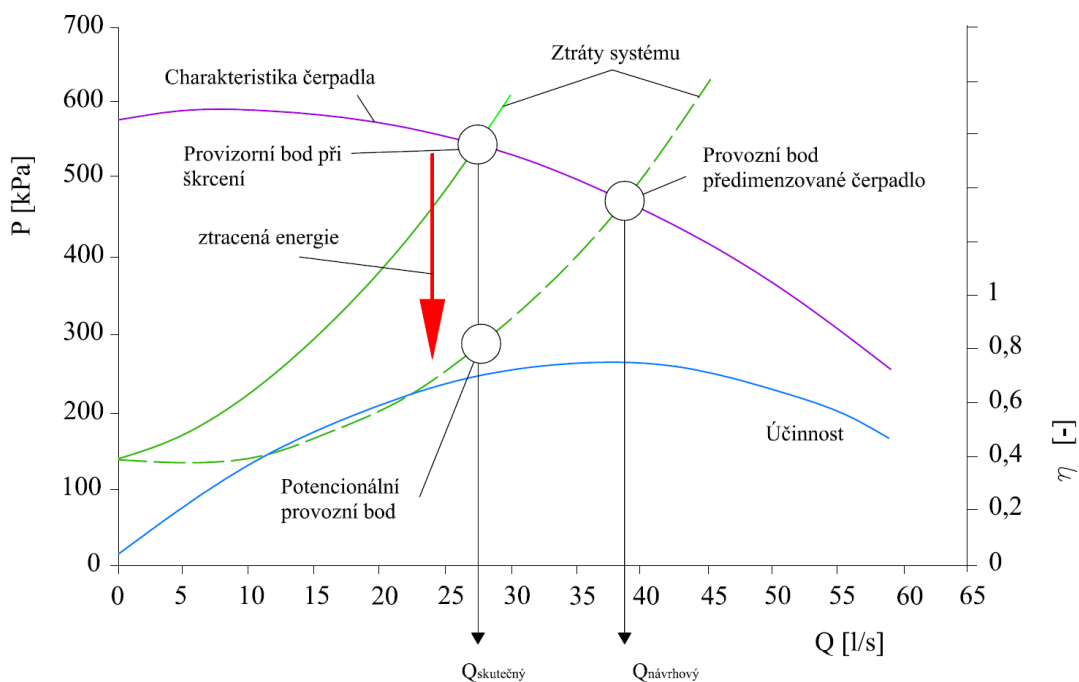
Po provedení energetického auditu nás čeká vyhodnocení dat a poté analýza výměny spotřebičů, které bychom mohli vyměnit za spotřebiče stejného výkonu, ale s nižší spotřebou energií. Při výměně se hlavně soustředíme na čerpací stanice a provzdušňování. Výsledkem je poté výměna stávajících přístrojů za přístroje s nižší energetickou spotřebou a vyšší účinností.

Lze využít jednoduché modelovací systémy a při použití dat z měření můžeme regulovat chod zařízení podle potřeby při použití třeba frekvenčních měničů nebo můžeme vyměnit nedostatečně účinné stroje za novější a účinnější.[2]

4.1.1 Snížení spotřeby čerpadel

Stejně jako dmychadla jsou velice důležitou součástí čistíren odpadních vod čerpadla, která zajišťují zejména dopravu odpadních vod a kalu. Dá se říct, že čím častěji využíváme při kontinuálních operacích čerpadla, tím je důležitější, aby měla dobrou energetickou účinnost a byla provozně spolehlivá. Také je hodně důležité, aby čerpadla byla co nejlépe přizpůsobena aktuálním provozním podmínkám.

Základním problémem u čerpadel je neúměrné naddimenzování stroje, kde se projektant jistí různými koeficienty a poté zvyšuje velikost čerpadel. Příkladem špatného dimenzování může sloužit následující obrázek. Čerpadlo na obrázku je navrženo s různými koeficienty bezpečnosti, díky kterým má naddimenzovaný průtok. Optimální křivka systému je vyobrazena jako čárkovaná. Ale místo $Q_{\text{Návrhové}}$ čerpáme $Q_{\text{Skutečný}}$. V praxi využijeme škrcení čerpadla a to potom pracuje při jiném provozním bodu než při bodu navrženém. Snížením průtoku tak maříme energii. Potenciální provozní bod je bod, který by se měl při dobrém návrhu spočítat. Rozdíl mezi provozním bodem při škrcení a potenciálním bodem, je zmařená energie, kterou do systému dodáváme zbytečně.[2]



Obrázek 4-2 Naddimenzování čerpadla a dopad na jeho spotřebu [2]

Dalším problémem je nerespektování souvislosti životního cyklu spotřebiče. Firmy se snaží prosazovat co nejlevnější možnosti a neřeší to, že cena je jen jedním z nákladů, který je v celkovém součtu zanedbatelný, jak se podíváme v následující rovnici:

Celkové náklady spojené se spotřebičem se skládají z několika položek:

$$LCC = CIC + CEC + CMC + COC$$

LCC – celkové náklady

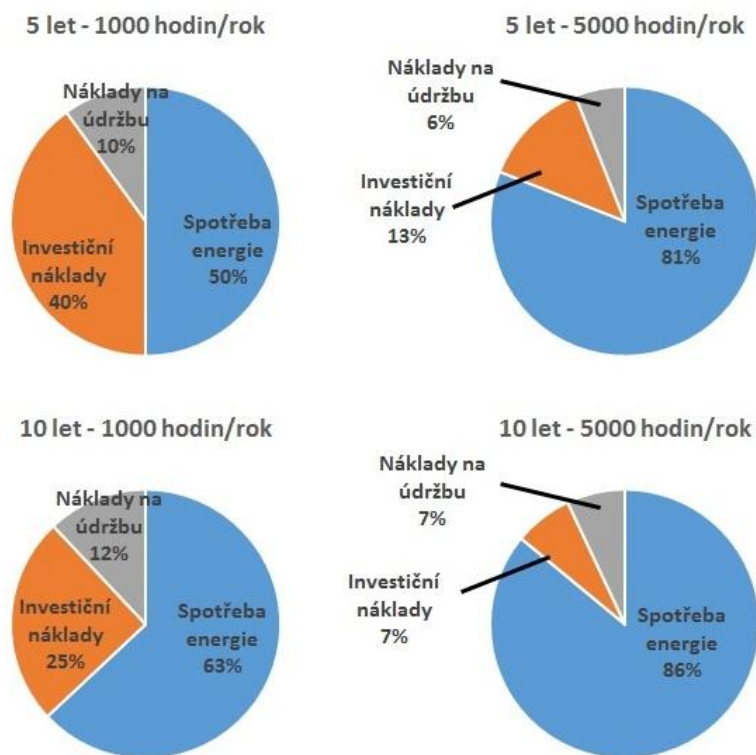
CIC – cena investičních nákladů

CEC – cena energie

CMC – cena údržby

COC – ostatní náklady

Obrázek 4-3 nám zobrazuje celkové náklady na provoz čerpadla v ČOV. Z grafu je možno vyčíst, že investiční náklady po 5 letech používání (1000hod/rok) jsou na 40% z celkové ceny a po 10 letech tvoří investiční náklady pouze 25%. Oproti tomu při zvýšení doby ročního využití ze 1000 hod/rok na 5000 hod/rok jsou investiční náklady při 5 letém používání na 13 % a při 10 letém dokonce na 7 % z celkové ceny. Dále můžeme konstatovat, že největší podíl z celkové ceny má zastoupení v nákladech na elektrickou energii.[3]

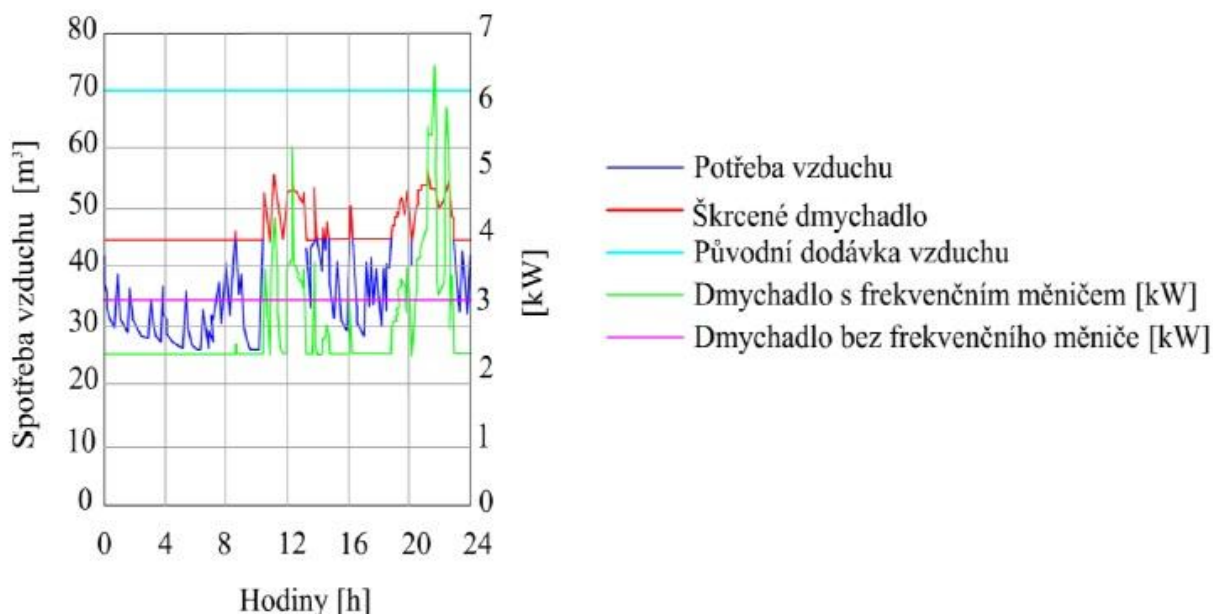


Obrázek 4-3 Celkové náklady u čerpadla odpadních vod [3]

4.1.2 Snížení spotřeby dmychadel

Další důležitým spotřebičem na ČOV jsou dmychadla. Díky vhodné optimalizaci řízení je zde také možnost ke snížení spotřeby elektrické energie a to především za pomoci vhodného řízení dodávky kyslíku, který je obsažen v přiváděném vzduchu. Jak je vidět na obr. 4 zde můžeme pozorovat rozdíl mezi dodávkou kyslíku bez řízení kyslíkovou sondou a řízenou dodávkou kyslíku. Obsah kyslíku by měl být optimálně v rozmezí od 0,5 – 2 mg/l. Vzduch, který potřebujeme je závislý na přítoku. Původní dmychadlo dodává do aktivace zbytečně množství vzduchu. Proto se dnes používá dmychadlo s frekvenčním měničem. Tento typ dmychadla dodává do aktivace jenom

tolik kyslíku kolik je potřeba. Spotřeba energie dmychadel se dá zjistit podle obrázku jako plocha pod křivkou a proto můžeme konstatovat, že pro původní dmychadlo je o poznání větší než pro dmychadlo s frekvenčním měničem. Úspora se energie dosahuje až 30 %.[2]



Obrázek 4-4 Řízení dmychadel [2]

4.1.3 Snížení spotřeby v aktivační nádrži

Další místo kde se dá ušetřit je v aktivační nádrži, kde dochází k neustálému míchání aktivovaného kalu a odpadní vody. Toto neustálé míchání zabraňuje usazování kalu na dně nádrže. I když výrobcům míchacích aparatur došli možnosti jak více ušetřit spotřebu energie na tomto zařízení, tak stále se najde spousta zařízení, kde používají stará a neefektivní míchací systémy na místo nových účinnějších systémů.[10]

4.2 Použití obnovitelných zdrojů energie

Ačkoli byla původně základní rolí čistíren odpadních vod úprava pitné či odpadní vody, vystupuje v poslední době stále více do popředí také jejich role jako výrobců energie z obnovitelných zdrojů.

Možnostmi využití OZE se dnes zabývá celá řada odborníků, zásadní poznatky z tohoto odvětví jsou sepsány v podkladech s názvem „Jakými způsoby lze docílit energetické soběstačnosti ČOV“ (Pavel Chudoba, Radka Rosenbergová, Ondřej Beneš). Kde je uvedeno to, že v Evropě už je několik ČOV, které dosahují energetické soběstačnosti 75 až 90 % spotřebované energie a při nalezení další vhodné úspory by bylo možné dosáhnout absolutní energetické soběstačnosti. Mezi tyto vhodné úspory patří zejména snižování spotřeby energie na ČOV a zvyšování produkce energie z OZE jako je využití bioplynu, solárních panelů, větru, anebo použití tepelných čerpadel k vytápění objektů ČOV.

Nejvíce se dá ušetřit na spotřebované elektrické energii. Místa kde je možno ušetřit největší množství energie jsou aerace, čerpání a recirkulace. Tyto tři prvky spotřebují až 75% celkové spotřeby energie.[11]

4.2.1 Recyklace energie

V mnoha evropských zemích se dnes často používá na vytápění energie z odpadní vody. Například v Německu by se tento systém mohl využít u cca 10 % budov. Zařízení, které nám umožňuje recyklovat energii se skládá ze dvou prvků tepelného výměníku a tepelného čerpadla. Výměník se nachází přímo v kanalizaci, kde odebírá teplo z vody. Lze nalézt tři umístění v kanalizačním systému, kde můžeme recyklaci provádět:

Recyklace tepla v přírodní kanalizaci před čistírnou

Díky umístění zařízení budou spotřebitelé tepelné energie v blízkosti odběrovým místům. Tato výhoda s sebou přináší, ale nevýhodu. Odebrání teploty znečištěné vodě může zhoršit účinnost čištění odpadní vody. Další nevýhoda je v nerovnoměrnosti přítoku odpadní vody, což má za následek neefektivní přenos tepla. Postavení výměníku v přírodní kanalizaci také znesnadňuje pravidelnou údržbu jakou je například vysokotlaké čištění.

Recyklace tepla na odtoku z čistírny

Toto umístění na rozdíl od předchozího, neovlivňuje při odebrání teploty vody účinnost čištění. A také má pravidelný přítok vody, který zaručuje konstantní přísun tepelné energie. Jediná nevýhoda je ta, že odběratelé tepelné energie nejsou v dostatečné blízkosti.

Recyklace uvnitř budovy

Při tomto umístění máme spotřebitele tepla blízko a i teplota vody je celkem vysoká. Ale zase zde nalezneme malý a nerovnoměrný přítok vody. Mezi nejpoužívanější řešení patří právě tento typ recyklace v kombinaci s odběrem tepla na přírodní kanalizaci. Využívají se též hojně systémy nazvané HVAC to znamená systém vytápění, ventilace a klimatizace. Tento systém má za úkol využít odpadní teplo pro vytápění v zimě a chlazení v létě. Recyklace tepla za pomoci HVAC systémů se dá využít i ve školách, nemocnicích nebo v obytných budovách. Pro efektivní využití systému musí být splněny některé požadavky:

- Minimální bezdeštný přítok 15 l/s
- Tepelný potenciál v přítékající odpadní vodě
- Přítomnost spotřebitelů tepla poblíž odběrových míst
- Jiné zdroje energie, třeba vytápění
- Neovlivnění funkčnosti přírodní kanalizace a ČOV

Poslední požadavek patří k nejdůležitějším, protože pořád nás nejvíce zajímá funkčnost ČOV. A při velkém odebrání tepelné energie vodě odtékající z čistírny můžeme ovlivnit ekosystém. Tatáž bakterie, která nám biologicky odstraňuje nutrienty je hodně náchylná na nízké teploty. Kdy při nízké teplotě přestává být aktivní a tím může zapříčinit snížení účinnosti odstranění dusíkatého znečištění. [10]

4.2.2 Využití tepelného čerpadla

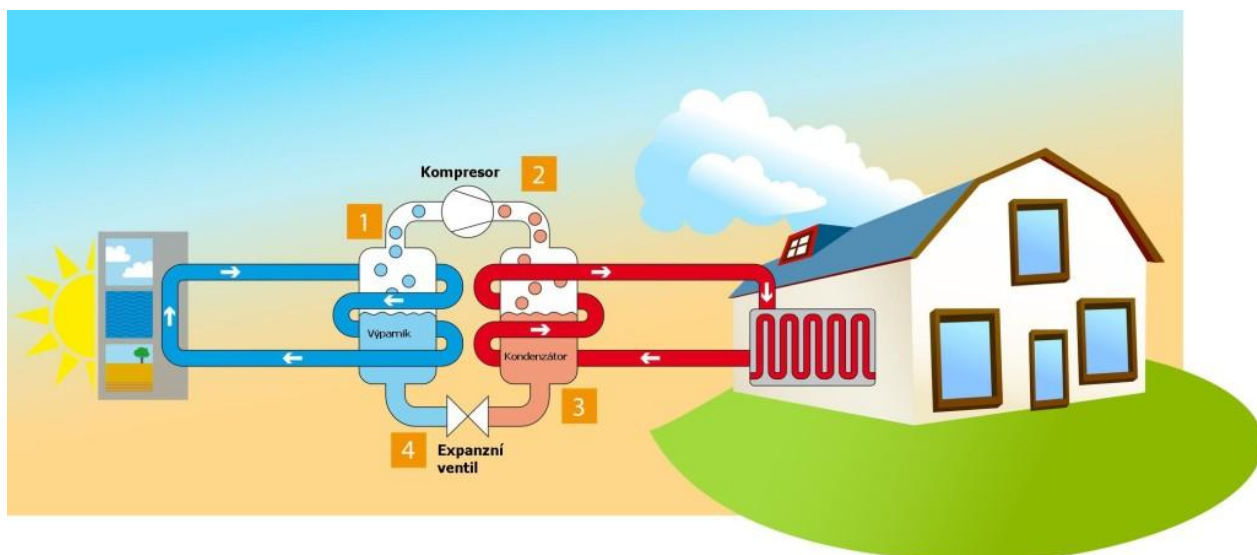
Odpadní voda má na přítoku i odtoku celý rok celkem vysokou teplotu, průměrně 8 °C. Toto nízkopotenciální teplo se dá za pomoci tepelného čerpadla, kde dokážeme zvýšit teplotu na cca 70 °C, využít na vytápění ČOV nebo sušení kalu.[12]

Princip funkce tepelného čerpadla

Nejprve je teplo odebráno z okolního prostředí, které je předáno do výparníku, kde je pracovní látka o nízké teplotě a tlaku. Pracovní látka se vlivem dodaného tepla začne ohřívat a odpařovat. Pára putuje do kompresoru. Kde dochází ke stlačení páry. Stlačená pára se z fyzikální podstaty ohřeje. Kompresor je jediné místo, kde je potřeba dodávat elektrickou energii.

Ohřátá pára dále putuje do kondenzátoru, kde následuje kondenzace páry a tím dojde k odevzdání energie, která je rovna součtu energie odebrané z okolního prostředí a dodané hnací energii sníženou o ztráty v kompresoru, do otopného systému vytápěného objektu. Chladivo z kondenzátoru následně putuje přes expanzní ventil, kde dojde ke snížení tlaku zpátky do výparníku a celý cyklus se může opakovat.

Poměr získané tepelné energie a dodané hnací energie se nazývá topný faktor. Dá se říct, že tento faktor udává, kolikrát více energie získáme při určitém množství dodané hnací energie. Čím nám tento poměr vyjde větší, tím je provoz tepelného čerpadla ekonomičtější. Většinou se hodnota tohoto topného faktoru pohybuje od 2,5 do 5. Je také jasné, že topný faktor nezůstává po celý rok stejný, ale mění se s aktuálními klimatickými podmínkami.[13]



Obrázek 4-5 Princip funkce tepelného čerpadla [13]

4.3 Získávání energie z kalu

Kal je produkt, který nám vzejde z celkového procesu čištění odpadních vod. Kal je tvořen prakticky ze všech znečištění co se do procesu čištění dostanou, představují přibližně 1-2 % celkového objemu čištěných vod, kde je v těchto 1-2 % zastoupeno 50-80% původního znečištění. V současnosti se kal z ČOV bere jako odpad, ačkoliv je to celkem slibný zdroj energie. Kal obsahuje organické látky, dusík a fosfor a tudíž se nejčastěji používá jako hnojivo v zemědělství. Ale i tak existuje několik způsobů jak získat z kalů energii.[14]

Energetický obsah kalů z ČOV spočívá v chemické energii přítomných organických látek, schopných oxidace. Kaly jsou totiž velmi řídké suspence OL a AL, a proto výhřevnost, kterou přináší OL je dána stupněm zahuštění.

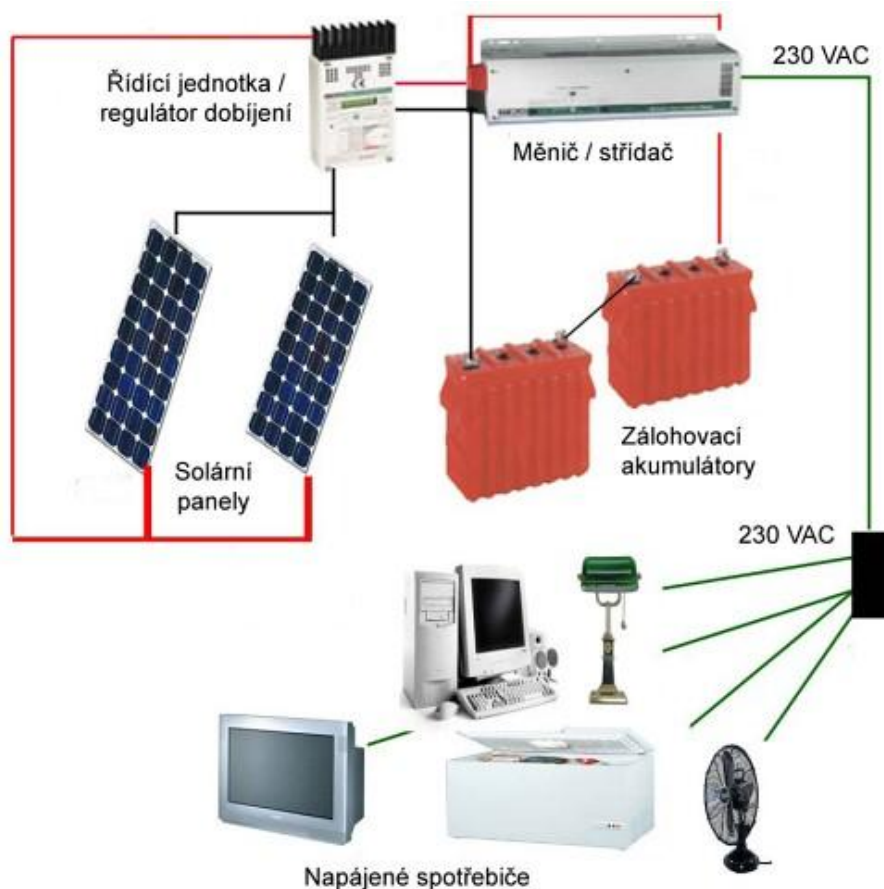
V případě termického zpracování můžeme použít kal buď surový odvodněný kal nebo odvodněný kal po anaerobní stabilizaci. Přebytková voda je problém, který ovlivňuje výhřevnost kalu. Je velký rozdíl mezi výhřevností sušiny SSK a VK. Sušina SSK s cca 70 % OL má výhřevnost cca 16 MJ/kg a sušina VK s cca 50% OL má výhřevnost 11 MJ/kg. Ovšem množství sušiny VK je však o cca 40 % menší než množství SSK.

Další možností zisku energie z kalu je anaerobní termofilní stabilizace s předúpravou PAK lyzací. Tato možnost je založena tom, že cca 50 % OL v SSK se převede na bioplyn. Bioplyn můžeme potom dále použít v kogenerační jednotce na energii tepelnou a elektrickou.[15]

4.4 Energie z fotovoltaických panelů

Další možností jak ušetřit za nákup drahé energie ze sítě je využít energii z fotovoltaických panelů. Fotovoltaické nebo-li solární elektrárny patří do kategorie obnovitelných zdrojů energie. K výrobě energie využívají sluneční záření a při její výrobě neprodukují žádné emise.

Hlavní nevýhodou je, že vzhledem k cenám panelů a životnosti nejsou příliš rentabilní. Tato skutečnost se obchází různými investičními bonusy nebo garantovanými výkupními cenami elektřiny. Špatným příkladem podpory fotovoltaiky je Česká republika, kde díky špatné legislativě se současně neočekávanými událostmi, díky kterým nastal neočekávaný rozmach fotovoltaických elektráren, to mělo za následek velký nárůst ceny elektřiny pro koncové zákazníky. Naopak v Anglii náklady na výrobu energie ze slunce klesají a možná se dočkáme doby, kdy nebude třeba žádné podpory.[16]



Obrázek 4-6 Sestava solární elektrárny [17]

Solární elektrárna se skládá z několika prvků:

- Solární panel, ten má za úkol zachytit sluneční záření a poté ho přeměnit na elektrickou energii. Tato přeměna se uskutečňuje za pomoci fotovoltaického jevu. Definice fotovoltaického jevu: „*Foton s dostatečnou energií může v polovodičovém materiálu uvolnit elektron z valenčního do vodivostního pásu. Na jeho původním místě vznikne tzv. díra – elementární kladný náboj. Je-li v polovodičovém materiálu vytvořen PN přechod, pohybují se tyto náboje směrem k elektrodě se stejnou polaritou. Jsou-li elektrody propojeny vnějším obvodem, putují elektrony k opačné elektrodě, kde rekombinují s děrami a vnějším obvodem prochází elektrický proud.*“
- Měníč napětí složí k převodu stejnosměrného napětí ze solárního panelu na střídavé napětí.
- Baterie, do které budeme ukládat přebytečnou energii. Tato uložená energie se bude hodit při zvýšeném odběru energie.

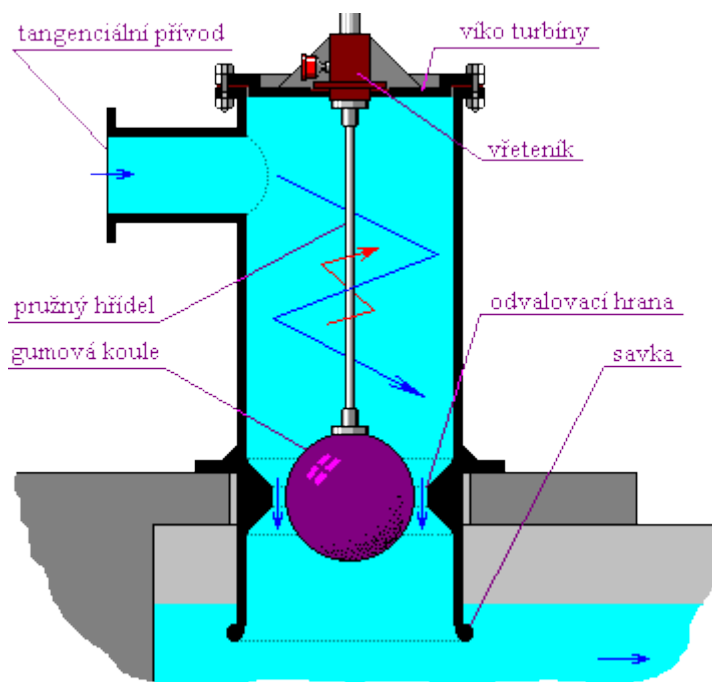
Solární energii můžeme využít k napájení spotřebičů, ohřevu vody, vytápění nebo při velkém přebytku energie i k prodeji.[17]

4.5 Energie získaná z odpadní vody

Odpadní voda může také vyrábět energii za pomoci turbíny. Celkové množství energie závisí na průtoku vody a na spádu. Výroba energie tímto způsobem je velice spolehlivá a ekologická ale použití tohoto systému se dá použít jen na ČOV s velkým průtokem. Takže aplikace tohoto systému se vyplatí jen na větší ČOV (minimálně 100 000 EO). Pro malé ČOV se mohou použít tzv. mikroelektrárny, které dokáží pracovat s malým průtokem i spadem.[10]

V poslední době se taktéž používá nová bezlopatková turbína. Turbína SETUR, jejímž základem je odvalovací tekutinový stroj, který pracuje na dosud nepoužívaném hydrodynamickém principu. Zatím se zdá, že toto zařízení bude nejpřínosnější pro vodní mikroelektrárny. Tento stroj totiž může pracovat i při velmi malých spádech cca od 0,6 m a minimálním průtoku 4 l/s.[18]

Tato turbína je založena na zcela jiném principu než ostatní turbíny. Funkčnost turbíny je založena na tzv. hydrodynamickém paradoxu. Tedy jevu, který má za následek to, že koule je přitahována ke stěně tím více, čím rychleji mezi ní a stěnou proudí kapalina. Když do turbíny pustíme vodu, je její rychlost nejvyšší mezi koulí a odvalovací hranou. Kdyby koule visela ideálně uprostřed, nic by se nestalo. Ale koule je zavěšená pružně. Tangenciálně proudící voda do turbíny má za následek mírnou rotaci. Tato mírná rotace způsobí vychýlení koule z klidové polohy. V poloze, kde je koule blíž ke stěně, vzroste rychlost vody a klesne tlak. To zapříčiní to, že koule se ještě víc vychýlí a přitiskne se ke stěně. Mezi koulí a stěnou vznikne štěrbinovitý tvar. Díky celkovému proudění se koule dostane do rotace. Síla, která přitahuje kouli ke stěně závisí na velikosti rychlosti proudění kapaliny, která je větší na straně srpovitě štěrbinové, kam se koule valí, protože v tom směru se štěrbinová před koulí uzavírá. Koule se přisává ke stěně ve štěrbině ve směru svého odvalování. Koule se současně dotýká stěny a odvaluje, funguje jako satelit v planetové převodovce a hřídel k ní připevněný se otáčí.[19]



Obrázek 4-7 Vzhled bezlopatkové turbíny SETUR [19]

4.6 Řešení energetické náročnosti pro malé ČOV

Hlavním faktorem, který nám udává, jaké úspory jsou vhodné použít je velikost ČOV. Většina úsporných opatření má na malých ČOV ekonomické omezení. Základní krok je stejný jako u velkých ČOV a to nechat si zpracovat energetický audit, díky kterému budeme schopni najít požadavky na optimalizaci přístrojového vybavení. Po zhodnocení energetického auditu budeme schopni využít nějakou z následujících možností:

- Optimalizace stávajících zařízení a jejich případná výměna za zařízení s nižší spotřebou ale minimálně stejnou účinností.
- Optimalizace čerpání odpadních vod
- Optimalizace provzdušňování, například instalací kyslíkové sondy
- Nakládání s přebytečným kalem – zvážení vlastního odvodňovacího zařízení
- Implementace inovativních technologií s nižšími provozními náklady[20]

Podle studie, která byla provedena na ČOV v Evropě jde bez výrazných nákladů snížit spotřebu energie o 10-15 %.

Recyklace energie a získávání energie z kalu je pro menší čistírny ekonomicky nevýhodné. Zatímco využití obnovitelných zdrojů je vhodná alternativa pro zdroj dalších energetických úspor. Všechny členské země Evropské unie se zavázaly, že do roku 2020 budou vyrábět 20 % energie z obnovitelných zdrojů a zvýší účinnost využití energie o 20 %. Nejčastěji se na ČOV využívá energie z fotovoltaických článků. Z dalších možností se využívají vodní mikroelektrárny.[10]

5 MORAVIČANY

Obec Moravičany se nachází v Olomouckém kraji v blízkosti soutoku řek Moravy a Třebůvky. Tato lokalita je také známá jako rovinná Mohelnická brázda. Nadmořská výška se pohybuje okolo 243 m. Od roku 1976 jsou součástí Moravičan další dvě vesnice Doubravice a Mitrovice. Podle posledního sčítání obyvatel zde žilo celkem 1199 osob.

Moravičany patří mezi jedny z nejstarších osídlených lokalit v okrese Šumperk. První dochované stopy osídlení se datují do doby asi před 2500 let př. n. l. Z rozsáhlých vykopávek je doložena lužická kultura z období 1200 – 600 let př. n. l., v pozdějších dobách zde byly postaveny osady v době keltské a římské. Slované se v této lokalitě usídlili okolo 6. století, a ve století 11. a 12. zde bylo vystavěno slovanské hradiště[21]

Kanalizace Moravičany

Stavba tlakové kanalizace se nachází po celé zastavěné ploše obce Moravičany včetně částí Doubravice a Mitrovice a v nezastavěné části mezi těmito částmi. ČOV, která je společná pro všechny tři obce se nachází na východním konci obce Moravičany. Díky stavbě nové tlakové kanalizace a ČOV se zabrání tomu aby odtok splaškových vod zasahoval do stávající dešťové kanalizace, místních vodotečí, vsaků do půdy a dalším negativním vlivům na životní prostředí. Systém nové tlakové kanalizace je tvořen z těchto částí: výtlačné rady, podružné výtlačné řady a domovní čerpací stanice.

Trasy, kterou vedou hlavní výtlačné řady jsou dány charakterem území a zástavbou v lokalitě, jejich výstavba je hlavně situována na veřejných pozemcích - potrubí je navrženo z polyetylénu PE 100, SDR 11 (PN16).

Trasy, kterou vedou vedlejší výtlačné řady a umístění čerpacích šachet je navrženo s ohledem na stávající stav odkanalizování jednotlivých nemovitostí – potrubí je navrženo z polyetylénu PE 100 SDR11.[22]



Obrázek 5-1 Mapa tlakové kanalizace a umístění ČOV v obci Moravičany[25]

ČOV Moravičany

ČOV Moravičany je mechanicko –biologická s terciálním dočištěním, chemickým srážením fosforu a strojním odvodňováním kalu. Na ČOV jsou odváděny odpadní vody z obce Moravičany a z přilehlých částí Doubravice a Mitrovce. Při výstavbě se počítalo s kapacitou zatížení pro 1558 EO.

Stavba ČOV má podzemní část, kde jsou situovány železobetonové nádrže, nad touto podzemní částí je poté zastřešená nadzemní část, kde se nachází obslužné části ČOV. Obecní odpadní vody jsou přiváděny za pomoci tlakové kanalizace na stírané válcové síto, které je situováno v místnosti předčištění. Po oddělení pevných částí z odpadní vody je voda vedena gravitačně do rozdělovací jímky před dvěma linkami biologického čištění. Biologické čištění zde máme rozděleno na dvě samostatné a nezávislé technologické linky. Tyto linky jsou každé dimenzované na 50 % celkového zatížení ČOV. Obě linky biologického čištění jsou poté tvořeny anoxickou denitrifikační nádrží, provzdušňovanou aerační nádrží s vertikální dosazovací nádrží Dortmundského typu. ČOV je také vybavena zařízením pro chemické srážení fosforu, do odplyňovaných zón nitrifikací bude dávkován koagulát. Po projití celého cyklu bude vyčištěná voda ještě vedena ze žlabu dosazovací nádrže na třetí stupeň čištění na bubnový mikrosítový filtr a odtud přes Parshallův žlab do recepientu.

Přebytečný kal je ze systému odebírán a čerpán do stabilizační nádrže kalu, kde je provzdušňován a po odčerpání kalové vody i částečně zahušťován, už zahuštěný kal, poté odčerpáváme ze stabilizační nádrže do uskladňovací nádrže, kde je také provzdušňován a zahušťován. Další cesta kalu je vedena na odvodnění za použití dekantační odstředivky. Po projití kalu odstředivkou je odvodněný kal veden pásovým dopravníkem do kontejneru. Před vstupem na odstředivku je do kalu dodáván flokulant (vločkovací činidlo k odstranění drobných nečistot). Celkový instalovaný výkon ČOV je 37 kW.[23]

Vypouštěné předčištěné odpadní vody budou splňovat následující limity:

Q	Q _{max}	Q _{den}	Q _{měs}	Q _{rok}
l/s	l/s	m ³ /den	m ³ /měs	m ³ /rok
2,76	8,31	333,76	7252,55	87030,6

Tabulka 5-1 Množství vypouštěné vody z ČOV [23]

Doba vypouštění 365/rok	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _{cel}
Přípustná koncentrace v mg/l	75	22	25	12
Maximální koncentrace v mg/l	140	30	30	20
Koncentrace znečištění t/rok	6,53	1,92	2,18	1,04

Tabulka 5-2 Povolené emisní limity a míry znečištění na odtoku z ČOV [23]



Obrázek 5-2 Stírané válcové síto na ČOV Moravičany



Obrázek 5-3 Provzdušňovaná aerační nádrž na ČOV Moravičany



Obrázek 5-4 Dosazovací nádrž na ČOV Moravičany



Obrázek 5-5 Mikrosítový filtr na ČOV Moravičany



Obrázek 5-6 Dekantační odstředivka na ČOV Moravičany

Projekt Moravičany

Na ČOV v Moravičanech se realizuje projekt s názvem „modulární čistírna odpadních vod pro obce s využitím vlastního energetického potenciálu k minimalizaci provozních nákladů“. Tento projekt je řešen s finanční podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu pro podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON v letech 2016 – 2018.

Tento projekt má za cíl vytvoření modulární ČOV pro obce do 2000 EO s minimálními nebo nulovými energetickými nároky. Energetické nároky se budeme snažit snížit za pomoci instalace malých zdrojů obnovitelné energie spolu s akumulací mechanizmy. Nejvyšší provozní účinnosti a minimálních nákladů bude dosaženo instalací řídicího systému s optimalizačními algoritmy, systémy predikce a analýzou dat. V případě úspěchu bude dále toto řešení úspory energie nabízeno novým nebo stávajícím ČOV.

V současnosti jsou ČOV řešeny centrálně, to znamená, že slouží více obcím. Nebo jsou to ČOV středního charakteru a jsou dimenzované pro 5000 EO. Tyto ČOV si obce často vybudovali s rekonstrukcí kanalizačního systému za pomoci různých dotačních programů. Problém při výstavbě těchto ČOV je, že se nehlédlo na provozní náklady, které jsou pro obce velmi vysoké.

Kromě instalace malých zdrojů obnovitelné energie se tento projekt zaměřuje na instalaci nového řídicího softwaru. Tento software by měl řídit celou ČOV a optimalizovat provoz díky čemuž dojde ke snížení energetické energie.[24]

Spotřeba energie na ČOV Moravičany			
Fakturační období	Dní celkem		Celkem spotřeba
[-]	[den]		[kWh]
22.4.2015 - 26.4.2016	371		71901
25.4.2014 - 21.4.2015	362		74407
25.4.2013 - 24.4.2014	365		77886
27.4.2012 - 24.4.2013	363		75997
26.4.2011 - 26.4.2012	367		68067
Vysoký tarif	Nízký tarif	Průměrná spotřeba	Průměrný přítok
[kWh]	[kWh]	[kWh/den]	[m3/den]
49281	22620	193,80	101,80
51114	23293	205,54	99,54
53195	24691	213,39	99,54
51650	24347	209,36	121,89
46045	22022	185,47	82,82

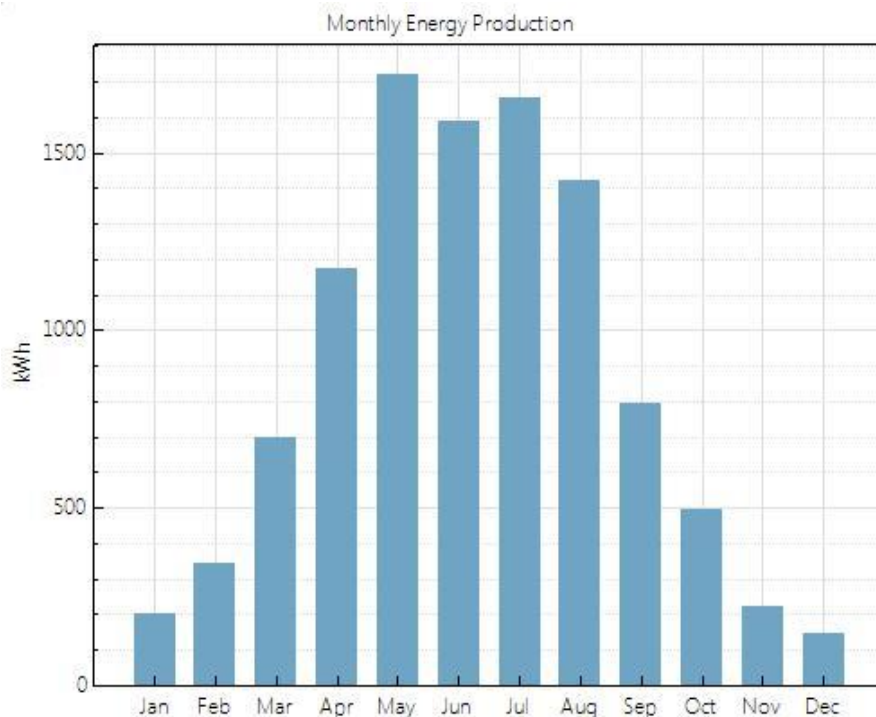
Tabulka 5-3 Tabulka spotřeby energie za fakturační období

	Výkon	Peak
	[kWh]	[kWh]
Leden	7616,93	16,25
Únor	6849,05	16,25
Březen	7530,57	16,25
Duben	7345,7	16,25
Květen	7611,1	16,25
Červen	7334,83	16,25
Červenec	7607,05	16,25
Srpen	7542,78	16,25
Září	7308,06	16,25
Říjen	7625,74	16,25
Listopad	7357,82	16,25
Prosinec	7564,44	16,25
Celkově:	89294,07	

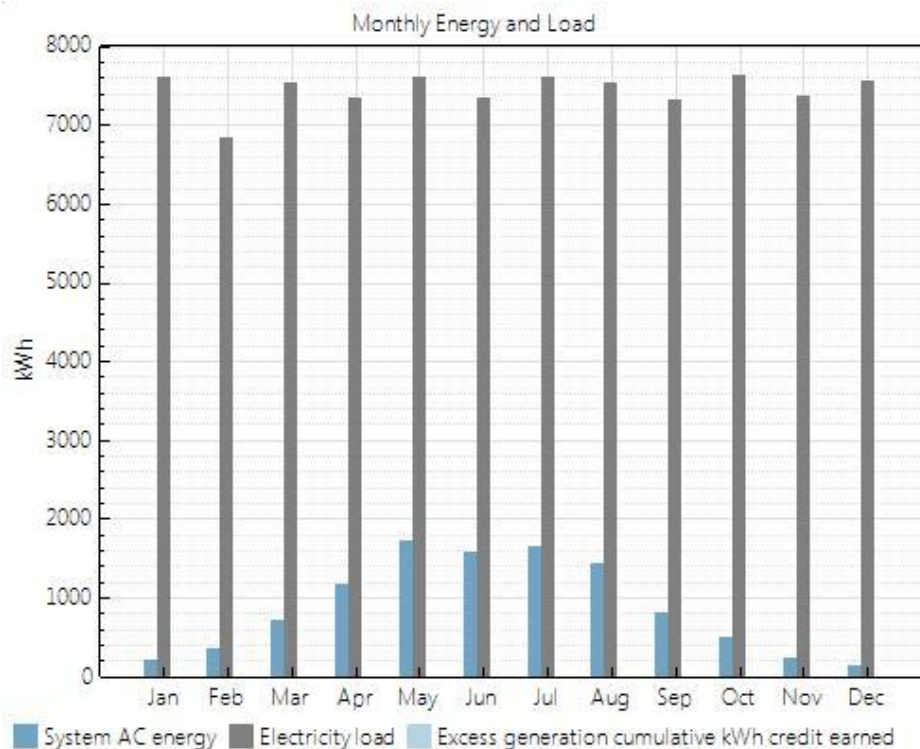
Tabulka 5-4 Tabulka měsíční spotřeby z měření na ČOV

Za pomoci programu SAM jsme také vyhotovili návrhy na fotovoltaické panely, které by měly přispět k nižším nákladů na elektrickou energii.

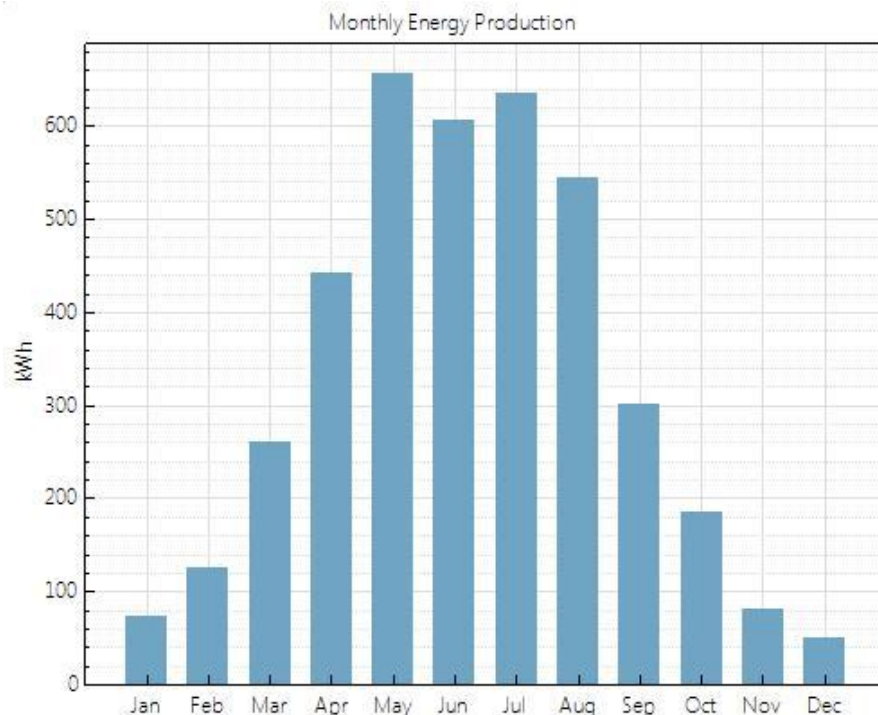
Fotovoltaické panely by měly sloužit ke snížení energetické náročnosti objektu ČOV a měly by být umístěny na střeše. Jejich orientace by měla být na jihovýchodní stranu. Udělali jsme celkem tři návrhy na FV panely: 18kW, 18kW s přidavnými bateriemi a 7kW.



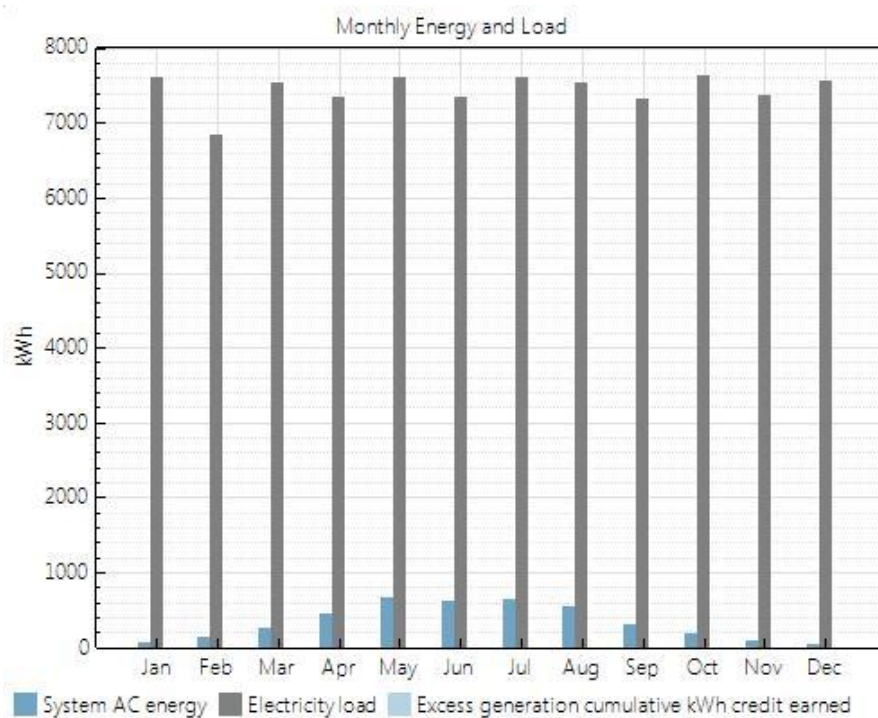
Obrázek 5-7 Měsíční produkce energie z 18 kW FV panelů



Obrázek 5-8 Graf využití energie z 18 kW FV panelů na provozu ČOV



Obrázek 5-9 Měsíční produkce energie ze 7 kW FV panelů



Obrázek 5-10 Graf využití energie ze 7 kW FV panelů na provozu ČOV

Z grafu je patrné, že výroba elektřiny ze slunečních paprsků je hodně závislá na ročním období. Zatímco v zimních měsících je výroba elektřiny minimální tak v letních měsících je výroba maximální. Nejvyšší hodnota vyrobené energie pro 18kW fotovoltaiku je v květnu a její hodnota je cca 1700 kWh a 660 kWh pro 7kW fotovoltaiku.

1. 11. 2017 se na čistírně odpadních vod v Moravičanech instalovalo měření, které má za úkol měřit denní spotřebu energie a výkonu.

Níže se můžeme podívat na porovnání grafů z měření na ČOV ze dne 6. 2. 2018 a 10. 2. 2018. Jde o porovnání spotřeby výkonu v normální pracovní den s víkendovým dnem. Můžeme sledovat, že v pracovní den oproti víkendu začíná ČOV pracovat od brzkých ranních hodin, kdy se většina lidí chystá do práce, přes poledne pracuje s nízkým zatížením. Zatížení se zvyšuje zase odpoledne, kdy se lidé vrací z práce. Oproti tomu o víkendu se začíná projevovat zatížení ČOV až v poledních hodinách a pokračuje až do hodin večerních.

Můžeme sledovat, že ČOV pracuje s účínkem průměrně okolo 0,6. To znamená, že máme v obvodu poměrně velký jalový výkon. Jalový výkon je takový výkon, který nemůžeme využít, ale i tak se vyskytuje v obvodu. Tento problém může být způsoben tím, že čerpadla pracují na nižší výkonové hodnotě, než na kterou jsou dimenzována.

Legenda ke grafům:

P1, P2, P3 resp. L1, L2, L3 – označují fáze

i1 - rozvaděč stíraného válcového síta

i2 - čerpadlo odpadních vod z jímky svážených vod

i3 - dmyhadlo do jímky svážených vod

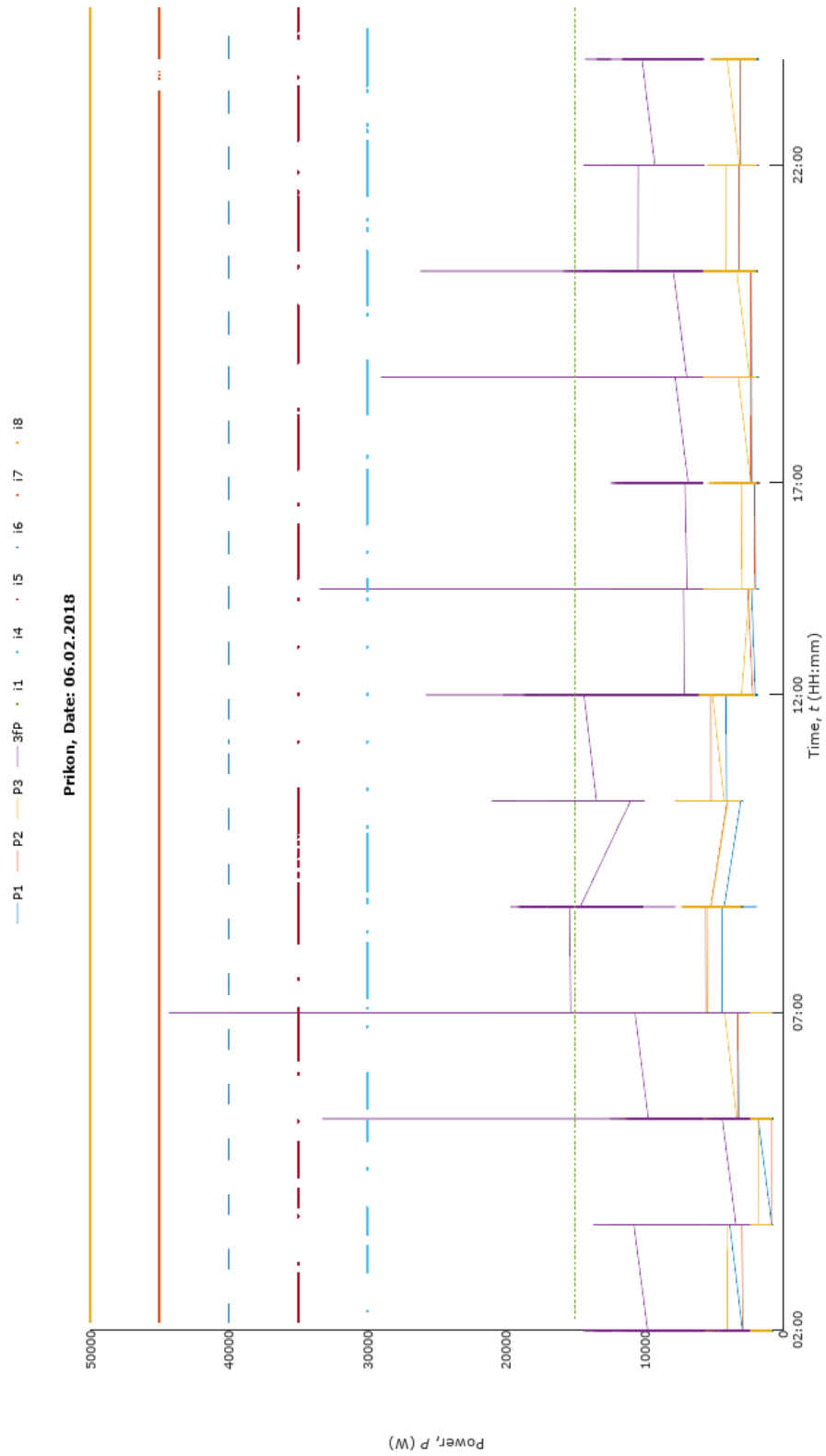
i4 - dmyhadlo do aktivace

i5 - dmyhadlo do aktivace

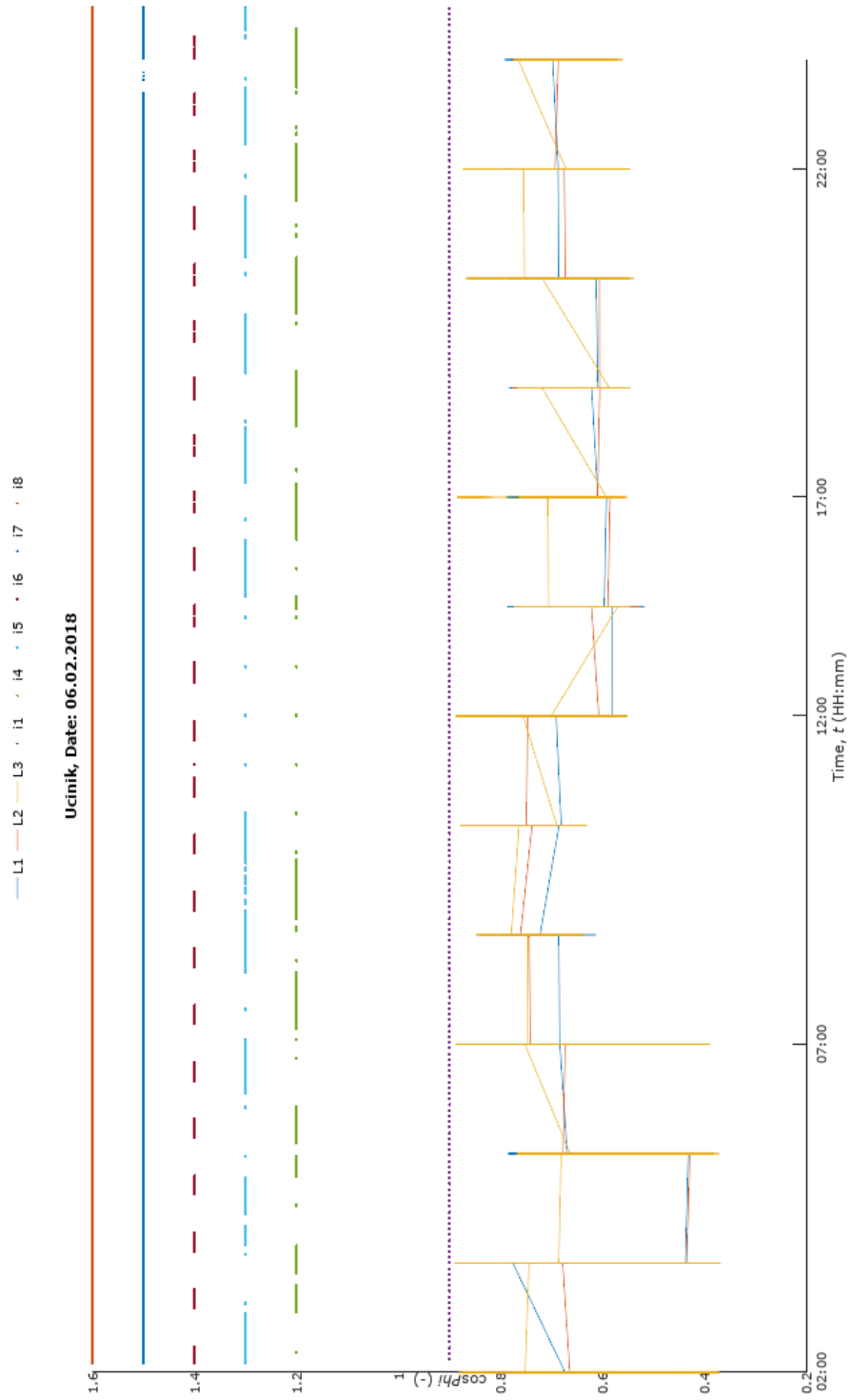
i6 - dmyhadlo do kalové jímky

i7 - čerpadlo kalu z uskladňovací nádrže kalu č.1 do uskladňovací nádrže kalu č.2

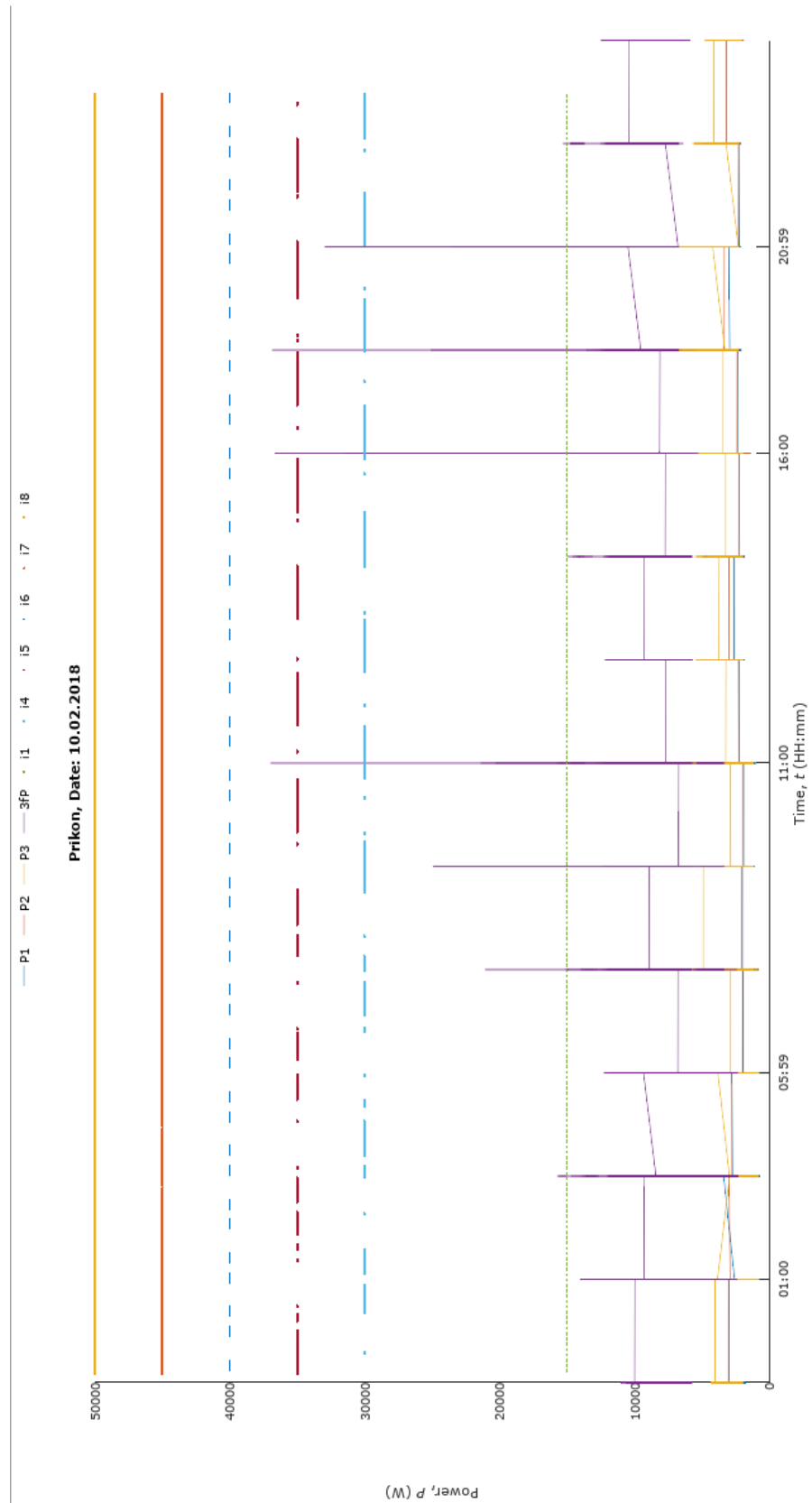
i8 – rozvodná stanice přípravy flokulantu a dekantální odstředivky



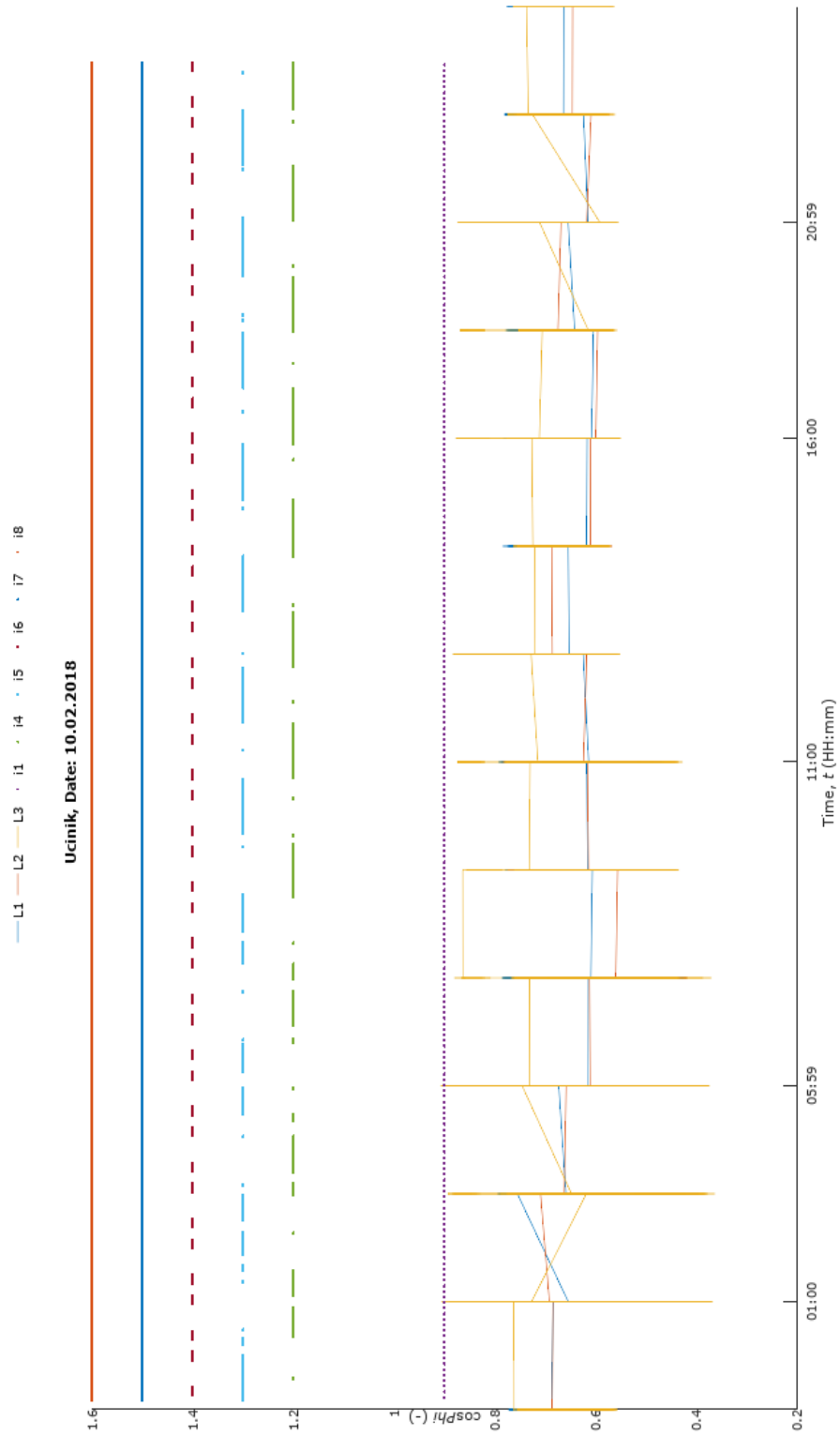
Obrázek 5-11 Průběh spotřeby výkonu na ČOV 6. 2. 2018



Obrázek 5-12 Průběh účíniku na ČOV 6. 2. 2018



Obrázek 5-13 Průběh spotřeby výkonu na ČOV 10. 2. 2018



Obrázek 5-14 Průběh účinniku na ČOV 10. 2. 2018

6 SIMULACE ČOV

6.1 Programy vhodné k simulaci

Modelica je modelovací jazyk, který se používá pro simulaci a modelování komplikovaných systémů. Můžeme zde simulovat například systémy složené z komponentů s mechanickou, elektrickou, hydraulickou, tepelnou nebo řídicí orientací. Tento jazyk je volně dostupný a vytvořený neziskovým sdružením Modelica.

Program Modelica se hodně podobá objektově orientovaným programovacím jazykům, jako je C++ nebo Java, liší se ve dvou bodech. Modelica je hlavně modelovací jazyk. V programu Modelica se používají objekty, které jsou poté překládány pomocí simulačního stroje.

Druhý rozdíl je v to, že i když třídy mohou obsahovat algoritmické komponenty, které se hodně podobají příkazům nebo blokům v programovacích jazycích, jejich primárním obsahem je soubor rovnic.

Princip, na kterém je založena Modelica se využívá v dalších programech určených k simulacím například Openmodelica, Dymola nebo JModelica.org. [27]

OpenModelica

OpenModelica je bezplatný program, který je založen na modelovacím jazyku Modelica. Tento program se používá pro modelování a následnou simulaci dynamických systémů. Hojně je využíván v průmyslu a to především v těchto oborech: optimalizace elektráren, automobilovém průmyslu a k úpravě vody.

Nástroje programu OpenModelica

OpenModelica kompilátor (OMC)

OpenModelica kompilátor (OMC) je kompilátor programu Modelica, který má za úkol převést prvky modelu na C kód, obsahující definice tříd, funkcí a proměnných. Tyto definice můžeme mít buď předdefinovány, definovány uživatelem nebo získány z knihoven. Kompilátor také obsahuje interpretaci Modelica pro interaktivní použití a vyhodnocování konstantních výrazů. Složkou subsystému jsou také nástroje, které se využívají pro realizaci simulačních spustitelných souborů spojených s vybranými numerickými ODE nebo DAE řešeními. OMC je napsán v MetaModelica, to je program, který pracuje na sjednoceném matematickém a matematickém modelovém jazyce založeném na rovnicích.

OpenModelicaConnection Editor (OMEdit)

OpenModelicaConnection Editor je součástí programu, která obsahuje grafické uživatelské rozhraní s otevřeným zdrojovým kódem pro tvorbu, úpravu a simulaci modelů v textových a grafických režimech. OMEdit je připojen k OMC skrz interaktivní rozhraní API, které používá informace o modelu a vytváří modely/schéματα připojení, založené na poznámkách programu Modelica. Implementace je založena na C++ a knihovně Qt.

OpenModelica Shell (OMShell)

OpenModelica Shell (OMShell) je interaktivní rozhraní příkazového řádku, které má za úkol analyzovat a interpretovat příkazy Modelica, které slouží pro vyhodnocování, simulaci, kreslení atd.

OpenModelica Notebook (OMNotebook)

OpenModelica Notebook (OMNotebook) je editor, který je vytvořen ve stylu Mathematica pro program Modelica, jeho funkcí je implementovat interaktivní WYSIWYG programování, to je takové programování, kde jsou programy integrovány s dokumentací ve stejném dokumentu.

OMNotebook je především používán jako výukový program a umožňuje kombinovat hierarchicky strukturovaný text s buňkami obsahujícími modely a výrazy Modelica. Ty také můžeme vyhodnotit, simulovat a vykreslit s výsledky zobrazenými přímo v OMNotebooku.

Rozhraní OpenModelica Python (OMPpython)

OMPpython je rozhraní Python, které nám umožňuje přístup k modelovým a simulačním schopnostem OpenModelica od společnosti Python. Používá CORBA (omniORB) nebo ZEROMQ pro komunikaci s API skriptování OpenModelica.

Modelovací vývojové nástroje (MDT)

MDT je pluginEclipse, který integruje kompilátor OpenModelica s Eclipse. Vytváří nám také editor, který můžeme použít pro pokročilé textové editování modelů s pomocí kódu. MDT spolupracuje s kompilátorem OpenModelica prostřednictvím existujícího API, který je založen na protokolu CORBA a používá se především při vývoji kompilátoru OpenModelica. [28]

Dymola

Dymola je program určený k modelování a simulování. Jeho prostředí je založeno na modelovém jazyce zvaném Modelica. Modely se zde skládají z různých komponentů a matematické rovnice popisují dynamické chování modelu. Dymola se nejčastěji využívá v těchto oborech: automobilový průmysl, průmyslové vybavení a energetice.

Dymola se skládá z modelového nástroje pro návrh a exportu kódu a modelu.

Modelové nástroje pro návrh

Kalibrace modelu je založena na procesu, při kterém se naměřená data ze skutečného přístroje použijí k vyladění parametrů

Optimalizace návrhu je určená k vyladění parametrů zařízení, díky tomu dojde k zlepšení dynamiky systému.

Model Management je část programu, která má za úkol zabývat se podporou šifrování modelů, instalací aktualizací od společnosti Dymola, a také se skládá z nástrojů pro kontrolu, testování a porovnávání modelů. Jeho další součástí je také podpora společných nástrojů pro správu verzí, jako jsou CVS, SVN a GIT.

Export kódu a modelu

Během vývoje modelu (dimenzování, detailní návrh, implementace) je nezbytné mít přístup ke kódu modelu. Pro tyto účely je k dispozici několik možností.

Program Dymola podporuje import a export podle rozhraní Mockup (FMI). S příslušnými možnostmi lze exportovaný kód vygenerovat pro export bez licence na spuštění nebo jako zdrojový kód. Exportované funkční jednotky Mockup mohou být použity na několika simulačních platformách. [29]

JModelica.org

JModelica.org je bezplatný program založený na modelovém jazyce Modelica pro modelování a simulaci dynamických systémů. Tato programová platforma byla vyvinuta společností Modelon AB ve spolupráci s Lund University. JModelica.org se využívá nejčastěji v průmyslových projektech s aplikacemi v oblasti robotiky, systémů vozidel, energetických systémů.

Hlavní prvky programu jsou:

Kompilátor pro překlad zdrojového kódu Modelica do kódu C nebo XML

Díky kompilátoru můžeme generovat modely, které jsou kompatibilní se standardním funkčním rozhraním Mock-up.

Balíček Pythonu pro provádění simulací dynamických modelů, Assimulo

Tento balíček obsahuje rozhraní několika nejmodernějších integrátorů a používá se pro simulace v JModelice.org.

Algoritmy,

kteřé můžeme použít pro řešení rozsáhlých dynamických optimalizačních problémů implementujících lokální metody kolokace (metody kolokace se využívají pro řešení diferenciálních rovnic) na konečných prvcích a metody pseudospektrální kolokace.

Balík Pythonu pro uživatelskou interakci

Všechny části programu jsou přímo přístupné z Pythonu, včetně kompilačních a načítaných modelů, které mají na starost simulaci a optimalizaci.

Zásuvný modul Eclipse

Používá se pro editaci zdrojového kódu Modelica.

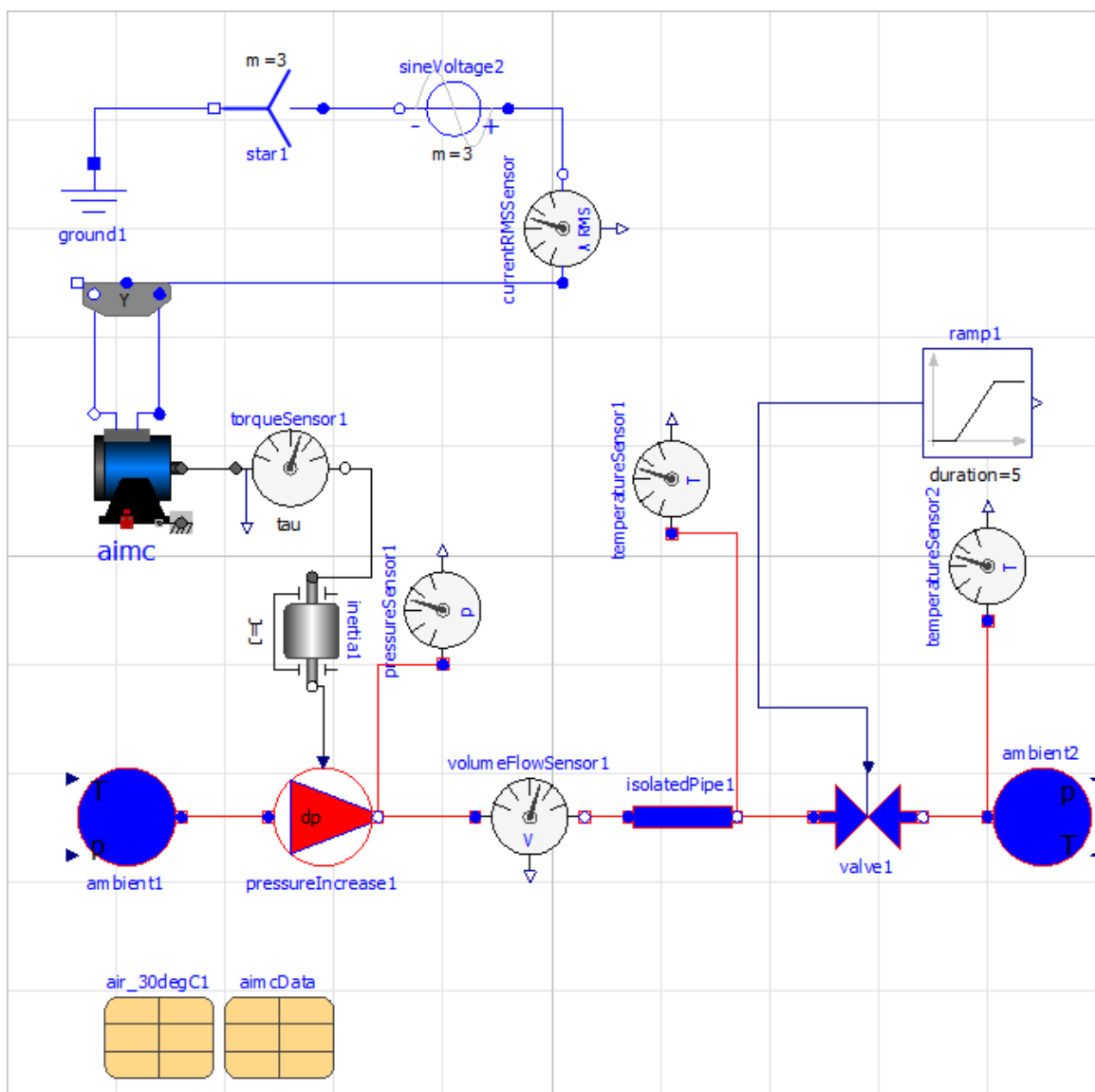
Problémy, které mohou nastat s dynamickou optimalizací, včetně optimálního řízení, optimalizace trajektorie, optimalizace parametrů, anebo kalibrace modelu, lze opravit za pomoci JModelica.org rozšíření Optimica, které umožňuje na vysoké úrovni definovat dynamické problémy s optimalizací založených na modelech Modelica.

JModelica.org je kombinovatelný s funkčním modelovým rozhraním (FMI) a funkčními modelovacími jednotkami (FMU), generovanými JModelica.org nebo jiným nástrojem kompatibilním s FMI, lze simulovat v prostředí Pythonu. [30]

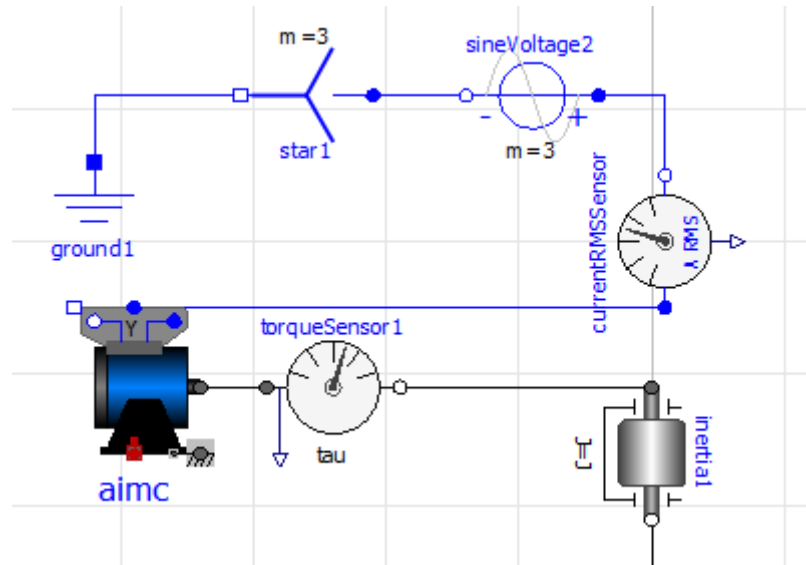
6.2 Simulace tlakového vzduchu

Pro simulaci našeho modelu jsme se rozhodli použít program OpenModelica a to hned z několika důvodů. Mezi jeho hlavní přednosti patří, že kromě textového (programovatelného) pole disponuje i modelovacím prostředím, kde můžeme potřebné komponenty dávat na plochu a z nich sestavit výsledný model. To je jeho velká výhoda na rozdíl od programu JModelica.org, který má jen prostřední pythonu, ve kterém se musí celý model naprogramovat pomocí již zmíněného programovacího jazyka. O využití programu Dymola jsme neuvažovali z důvodu, že jako jediný ze zmíněných programů není open source.

Na níže vložených obrázcích můžeme nalézt model tlakového vzduchu, který má za úkol zvýšit tlak z 1 baru na 1.55 barů. Tento vzduch se poté použije pro provzdušňování v aerační nádrži. Jako médium používáme vzduch, jehož parametry můžeme najít v tabulce 6-2. Model tlakového vzduchu se skládá z bloků ambient1, který má parametry tlak 1 bar a teplota 20 °C. Další blok je čerpadlo poháněné asynchronním motorem o příkonu 5,5 kW. Čerpadlo má za úkol zvýšit tlak média na 1.55 baru. Mezi další bloky modelu patří měřicí bloky pro měření průtoku, teploty a tlaku. Medium o zvýšeném tlaku je vedeno potrubím zakončeném ventilek do bloku ambient2.

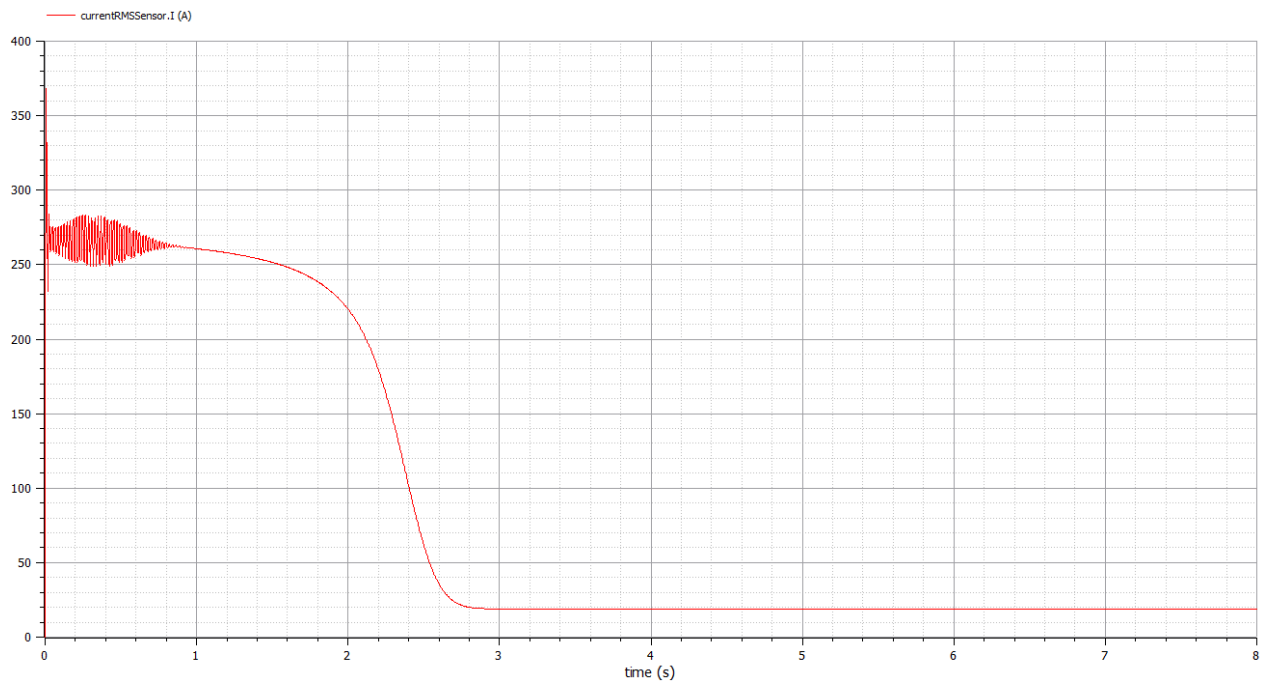


Obrázek 6-1 Celkové schéma modelu tlakového vzduchu



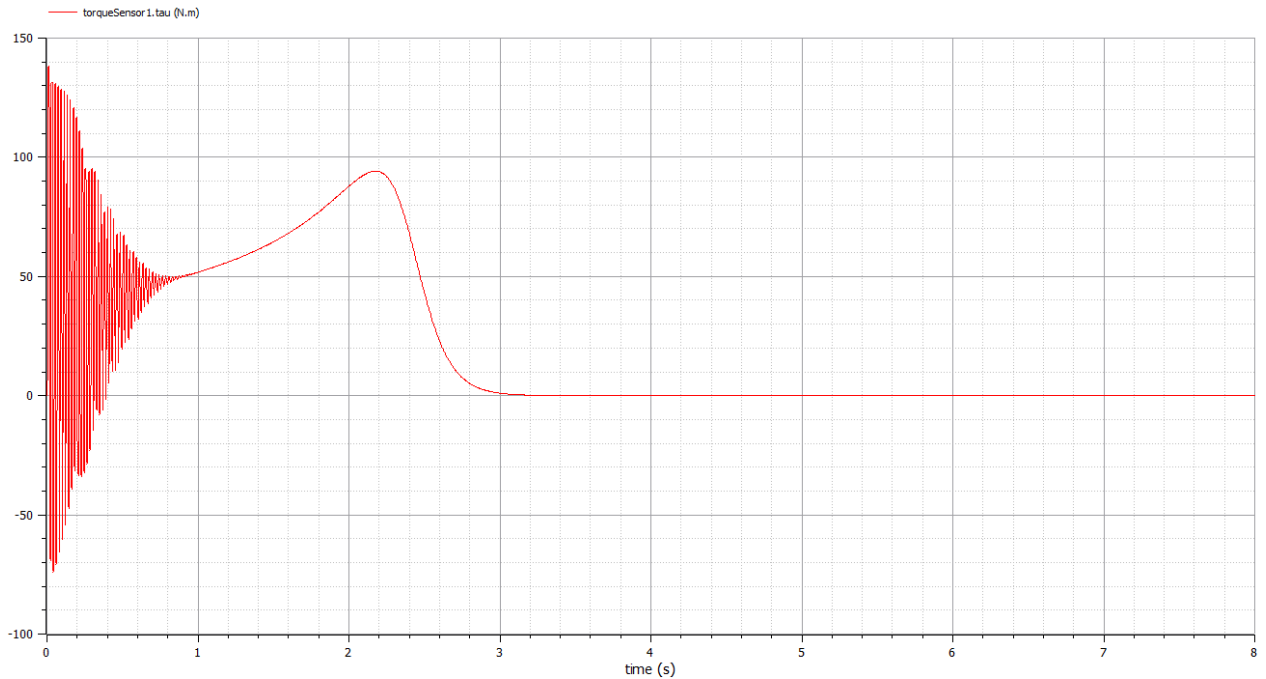
Obrázek 6-2 Schéma asynchronního motoru

Asynchronní motor se skládá z několika bloků. Blok star1 nám určuje počet fází obvodu, další blok je sineVoltage2, tento blok je zdroj a volíme v něm napětí obvodu. Následuje ampérmetr a TerminalBox tento blok nám udává, jestli je obvod zapojen do hvězdy nebo trojúhelníku. Blok aimc je hlavní blok obvodu zde volíme odpory motoru jeho ztráty a jiné důležité parametry. Poslední bloky patří měřicímu senzoru momentu a hřídeli.



Obrázek 6-3 Průběh proudu při zapnutí motoru

Maximální hodnota záběrového proudu je 360 A po ustálení dosahuje proud hodnoty 18.859 A. Na obrázku 6-4 máme průběh momentové charakteristiky, která nám vyjadřuje velikost momentu na hřídeli v závislosti na otáčkách.



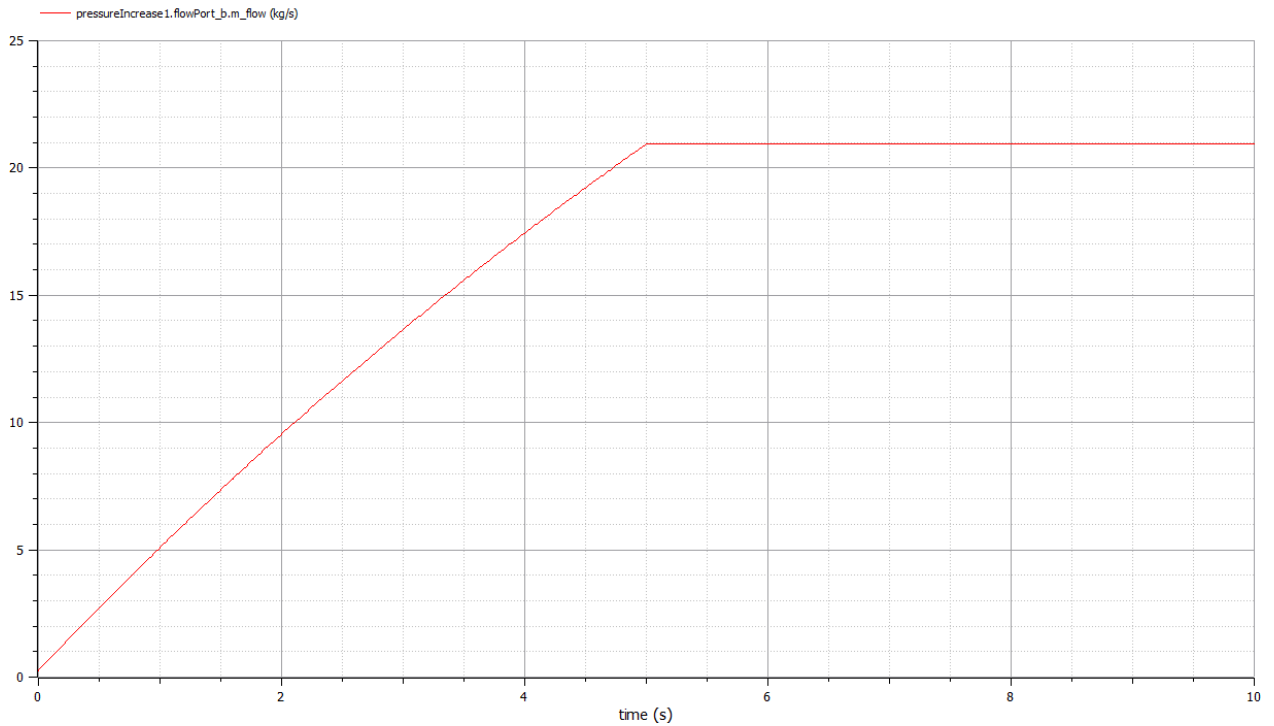
Obrázek 6-4 Momentová charakteristika asynchronního motoru

Počet pólů	2	-
Nominální napětí jedné fáze	100	V
Frekvence	50	Hz
Odpor statoru RS	0.03	Ω
Odpor rotoru RR	0.04	Ω
Indukčnost nulové sekvence statoru LSzero	0.32396	mH
Indukčnost statoru na fázi LSigma	0.32396	mH
Indukčnost rotorového kmitočtu převedená na stator LRSigma	0.32396	mH
Indukčnost hlavního pole na fázi Lm	9.22531	mH
Statorový moment setrvačnosti JS	0.29	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
Rotorový moment setrvačnosti JR	0.29	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$

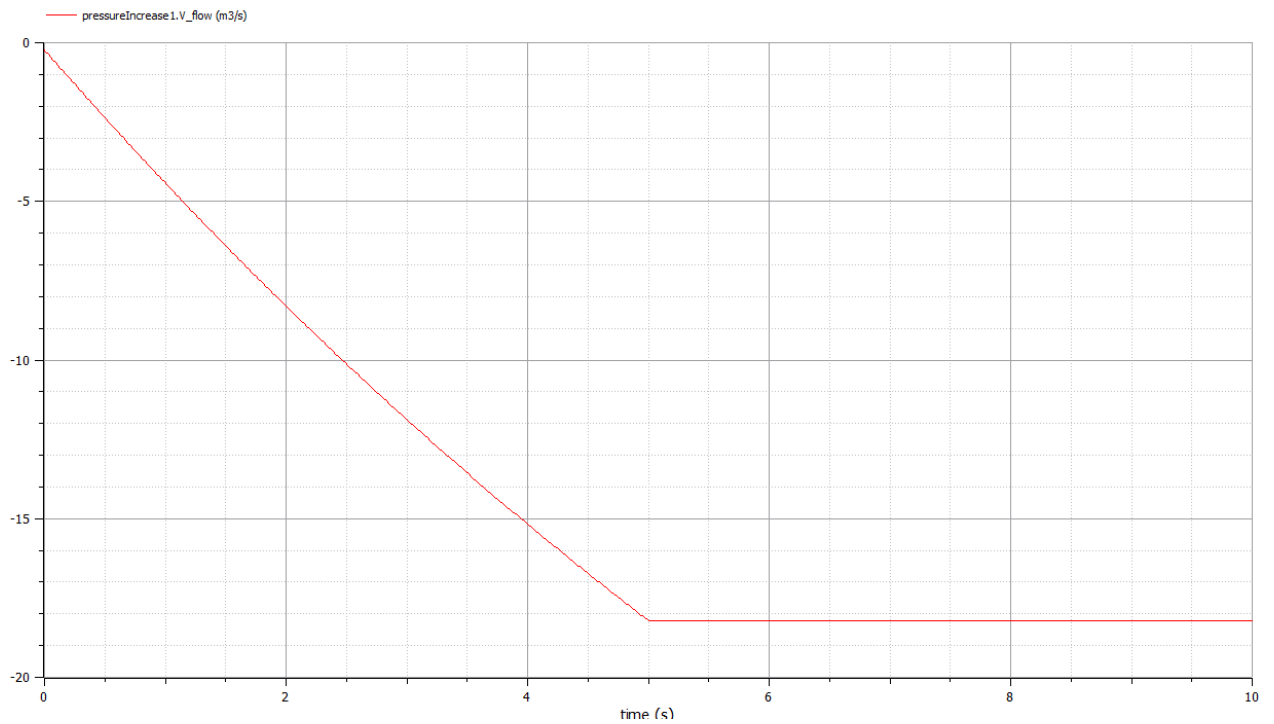
Tabulka 6-1 Parametry asynchronního motoru

Hustota	0,001149	g/cm^3
Tepelná kapacita při konst. tlaku cp	1007	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Tepelná kapacita při konst. objemu cv	720	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Tepelná vodivost λ	0,0264	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Kinematická viskozita ν	1,63E-05	m^2/s

Tabulka 6-2 Parametry vzduchu



Obrázek 6-5 Graf hmotnostního průtoku



Obrázek 6-6 Graf objemového průtoku

Na výše uvedených obrázcích můžeme vidět graf hmotnostního průtoku, jehož maximální hodnota je 20,9295 kg/s a graf objemového průtoku, jehož maximální hodnota je 18,2154 m³/s. Hmotnostní průtok nám udává hmotnost tekutiny, které projde za jednotku času potrubím. Objemový průtok nám udává, jak velký objem projde potrubím za jednotku času. Oba dva tyto průtoky jsou na sobě závislé. Program vykresluje objemový průtok z neznámého důvodu záporně.

7 ZÁVĚR

Na čistírny odpadních vod by se nemělo nahlížet jako na objekty, kde vyčistíme odpadní vodu s velkou energetickou ztrátou, ale měli bychom se snažit co nejvíce využít její energetický potenciál.

Zjistili jsme, že prvotní krok, který vede k ušetření elektrické energie začíná u energetického auditu, jeho vypracování se řídí zákonem o hospodaření č. 406/2000Sb. Vyhотовit ho může pouze energetický auditor, který na to má patřičné oprávnění. Díky, kterému zjistíme spotřebu energie všech instalovaných strojů. S využitím hodnot měření spotřeby můžeme s určitostí říct, které stroje nebo provozní postupy je nutno vyměnit respektive optimalizovat. Dále jsme se dozvěděli, že je možno na ČOV ušetřit cca 10 – 15 % energie bez větších finančních investic.

Velká část čistíren má hodně naddimenzovaná čerpadla. Toto zbytečné naddimenzování je problém, který vzniká už ve fázi projektování. Kde se projektant jistí mnoha různými koeficienty, které zbytečně zvyšují energetickou spotřebu daného čerpadla. Proto by se mělo nejprve začít s optimalizací čerpadel.

Nejvíce spotřebované energie na ČOV patří dmychadlům, které využíváme na provzdušňování v aerační nádrži, takže při vhodné optimalizaci nebo při použití nejmodernějších řídicích systémů, které budou dodávat vhodné množství vzduchu můžeme tak značně snížit spotřebu elektrické energie. Mezi další operace, které spotřebovávají energii patří čerpání a míchání. Snížit spotřebu energie můžeme při využití správných typů čerpadel a míchadel. Nebo za pomoci motorů s dobrou účinností a s využitím frekvenčních měničů.

Na čistírnách nemusíme jen optimalizovat systémy, abychom ušetřili za energii. Můžeme do ČOV zařadit okruhy, které nám budou vyrábět elektrickou energii. Ať už je to z odpadní vody, z které za pomoci tepelných čerpadel nebo tepelných výměníků dá získat teplo na vytápění objektů ČOV. Zde si, ale musíme dát pozor, abychom neodebrali vodě příliš mnoho tepla a tím nesnížili účinnost čistírenského procesu.

Další možností je využití kalu k výrobě elektrické a energetické energie v kogeneračních jednotkách. K nejlepší účinnosti přeměny bioplynu z kalu na energii je zařazení termofilního vyhřívání. Kal jako způsob získání energie se zatím využívá pouze u větších ČOV.

Energii můžeme také získat při využití OZE nejčastěji slunce a vodu. Díky fotovoltaickým panelům můžeme přeměnit sluneční paprsky na energii, která nám pomůže snížit energetické nároky. Ekonomická návratnost FV je ale příliš dlouhá v řádu desítek let proto se využívá zřídka. Další OZE, který na ČOV můžeme využít je energie vody, kde můžeme vyrábět energii za pomoci turbíny. Taková to výroba je velice spolehlivá a ekologická, ale použití turbín se dá využít jen na ČOV s velkým spádem a průtokem. Na malých ČOV se využívají tzv. mikroelektrárny, které dokáží pracovat s malým průtokem a spádem. K tomu se používá relativně nová bezlopatková turbína SETUR. Základem této turbíny je odvalovací tekutinový stroj. Tato turbína dokáže pracovat již při spádech cca 0,6 m a průtokem 4 l/s.

Hlavním faktorem proto jaké úspory lze využít je velikost čistíren. Většina úsporných opatření, která můžeme použít na větších ČOV má na malých jisté ekonomické omezení. První krok je všude stejný a to nechat si vyhotovit energetický audit. Po zpracování a vyhodnocení energetického auditu budeme schopni najít požadavky na optimalizaci strojního vybavení. Možnosti optimalizace strojního zařízení:

- Optimalizace stávajících zařízení a jejich případná výměna za zařízení s nižší spotřebou ale minimálně stejnou účinností.
- Optimalizace čerpání odpadních vod
- Optimalizace provzdušňování, například instalací kyslíkové sondy
- Nakládání s přebytečným kalem – zvážení vlastního odvodňovacího zařízení
- Implementace inovativních technologií s nižšími provozními náklady

Recyklace energie nebo získávání energie z kalu je pro malé ČOV ekonomicky nevýhodné. Řešením je využití obnovitelných zdrojů energie.

Na ČOV v Moravičanech se realizuje projekt, který má za úkol snížit co nejvíce ekonomické náklady na provoz malých ČOV do 2000 EO. Energetická náročnost se zde bude snižovat za pomoci malých zdrojů obnovitelné energie jako fotovoltaické panely a také instalací nového řídicího systému, který bude analyzovat data a podle toho optimalizovat provoz. Při úspěchu toho projektu bude toto řešení nabízeno dalším obcím.

V poslední části práce jsme se snažili provést simulaci tlakového vzduchu. Tato simulace nám měla ukázat, jak vypadají průběhy související se zvyšováním tlaku, který se měl zvýšit z 1 baru na 1.55 barů. Simulaci jsme provedli v programu jménem OpenModelica, který je založen na programu Modelica a je určen pro simulaci a modelování komplikovaných systémů. Tento model by měl být užitečný na pokračujícím projektu, který se realizuje na ČOV Moravičany. Bohužel se nám v programu OpenModelica nepodařilo vytvořit graf, který by nám zobrazil, jak probíhá zvyšování tlaku z 1 baru na 1.55 barů.

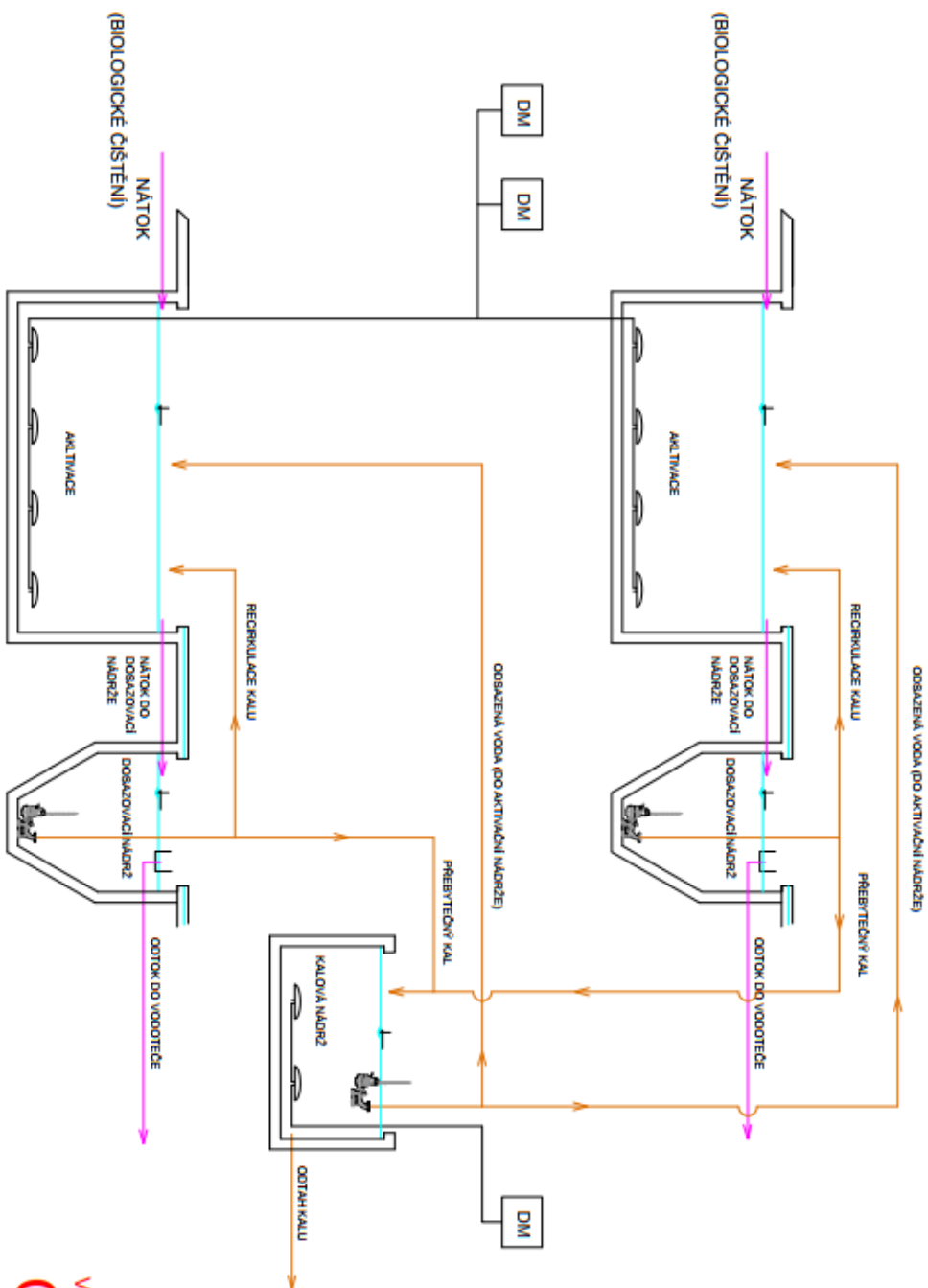
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HERLE, Jaromír. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00587-6.
- [2] Možné úspory energie na stávajících ČOV : ASIO, spol. s r.o.. *Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/59.mozne-uspory-energie-na-stavajicich-cov>
- [3] Snížení energetické náročnosti ČOV | ASIO.cz. *Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/energie-odpadnich-vod-z-cov>
- [4] Jak funguje čistírna odpadních vod – Poradme.se. [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: http://www.poradme.se/index.php/Jak_funguje_%C4%8Dist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod
- [5] Energetický audit | PRE. [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/velkoodberatele/sluzby-zakaznikum/informace/energeticka-legislativa-a-dotacni-programy/energeticky-audit/>
- [6] Energetický audit :: AXIOM engineering s.r.o.. *AXIOM engineering s.r.o.* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.axiomcz.eu/energeticke-uspory/energeticky-audit/>
- [7] O Programu - NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. *NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/o-programu-3-vyzva/>
- [8] ČÍŽOVÁ, Barbora. *Energetická náročnost čistíren odpadních vod*. Brno, 2013. 76 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík Ph. D.
- [9] Spotřeba energie čistíren odpadních vod - Huber Czech Republic. [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz/reseni/energeticka-efektivita/obecne/cistirny-odpadnich-vod.html>
- [10] Koncepce energetických úspor, využívání energie a udržitelného rozvoje : ASIO, spol. s r.o.. *Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/127.koncepce-energeticky-uzpor-vyuzivani-energie-a-udrzitelneho-rozvoje>
- [11] Energetická soběstačnost čistíren odpadních vod není utopii blíží se jí i ČOV v Praze [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.nase-voda.cz/energeticka-sobestacnost-cistiren-odpadnich-vod-neni-utopii-blizi-se-ji-i-cov-v-praze/>
- [12] Možné úspory energie na stávajících ČOV (a možnosti získávání energie) | Moderní Obec. *Moderní Obec | Moderní Obec* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://moderniobec.cz/mozne-uspory-energie-na-stavajicich-cov-a-moznosti-ziskavani-energie/>
- [13] Tepelná čerpadla – princip funkce a rozdělení. *OEnergetice.cz* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/tepelna-cerpadla/>
- [14] Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <https://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>
- [15] Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <https://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>

- [16] Fotovoltaická elektrárna princip funkce a součásti [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [17] Začínáme s fotovoltaickými panely [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6068-zaciname-s-fotovoltaickymi-panely>
- [18] Unikátní turbína promění čističky v malé elektrárny - Euro.cz. *Euro.cz / Ekonomika, byznys, finance* [online]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/unikatni-turbina-promeni-cisticky-v-male-elektrarny-860932>
- [19] Turbína SETUR [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/setur.htm>
- [20] Úspory energie na malých komunálních čistírnách odpadních vod : ASIO, spol. s r.o. *Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/671.uspory-energie-na-malych-komunalnich-cistirnach-odpadnich-vod>
- [21] Základní informace: Obec Moravičany. *Obec Moravičany: Titulní stránka* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.obec-moravicany.cz/zakladni-informace/d-1393>
- [22] Rozhodnutí - územní řízení kanalizace a ČOV Moravičany, Doubravice, Mitrovce: Obec Moravičany. *Obec Moravičany: Titulní stránka* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.obec-moravicany.cz/rozhodnuti-uzemni-rizeni-kanalizace-a-cov-moravicany-doubravice-mitrovce/d-1285>
- [23] Rozhodnutí - Moravičany, Mitrovce, Doubravice - Tlaková kanalizace a ČOV: Město Mohelnice. *Město Mohelnice: Titulní stránka* [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.mohelnice.cz/rozhodnuti-moravicany-mitrovce-doubravice-tlakova-kanalizace-a-cov/d-203697>
- [24] TAČR - Energetické úspory na malých ČOV [online]. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/index.php/cs/veda-a-vyzkum/projekty/83-tacr-energeticke-uspory-na-malych-cov>
- [25] Plán rozvoje kanalizace a vodovodů v Olomouckém kraji [online]. [cit. 03.01.2018]. Dostupné z: http://prvk.kr-olomoucky.cz:85/prvk/PDF/KARTY/7106_008_02_03130.pdf
- [26] Odkanalizování a čištění odpadních vod – technologické schema [online]. [cit. 03.01.2018]. Dostupné z: http://www.oznice.cz/media/files/1481978249_sb_oznice-odkanalizovani-a-cistení-odpadnich-vod-technologicke-schema-c-1-1-varianta-1.pdf
- [27] *Modelica* [online]. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Modelica>
- [28] *OpenModelica* [online]. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenModelica>
- [29] *Dymola* [online]. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dymola>
- [30] *JModelica.org* [online]. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/JModelica.org>

Příloha A – Technologické schéma ČOV[26]

OZNICE - ODKANALIZOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD
 ČOV 200 EO - TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA



VARIANTA 1
C-1.1
 ČOV 200 EO -
 TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA