



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

**OPTIMALIZACE ENERGETICKÝCH TOKŮ PŘI
PROVOZU ČOV - SMART AREA NET**

OPTIMIZATION OF ENERGY FLOW DURING WWTP OPERATION - SMART AREA NET

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jiří Pěcha

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2020

Bibliografická citace práce:

PĚCHA, Jiří. *Optimalizace energetických toků při provozu ČOV - Smart Area Net*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133201>. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Mastný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že svou disertační práci na téma OPTIMALIZACE ENERGETICKÝCH TOKŮ PŘI PROVOZU ČOV - SMART AREA NET jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího disertační 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 disertační práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této disertační 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: 30.11.2020

Ing. Jiří Pěcha

.....

PODĚKOVÁNÍ

„Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli doc. Ing. Petrovi Matnému, Ph.D. za jeho vedení během mého doktorského studia, cenné rady, postřehy při tvorbě práce. Dále děkuji Ing. Lukáši Radilovi, Ph.D. za odborný pohled, spolupráci a především motivaci při dokončování disertační práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Asio, s.r.o za základy, cenné rady a informace v oblasti čistírenství. Zároveň bych zde rád neopomenul poděkovat ostatním kolegům Ústavu elektroenergetiky za jejich cenné rady, podporu, odborné rady a přátelství. Na tomto místě také nesmím opomenout poděkovat rodičům a celé rodině za jejich trpělivost, podporu a motivaci během mého studia.“

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá problematikou čistírenství a možnostmi nalezení úspory energie během provozu čistíren odpadních vod. Snaha práce je nalezení potenciálu využití alternativní energie, úspory spotřeby, zlepšení systémového řízení provozovny a zkvalitnění procesu čištění odpadní vody. První část práce se zaměřuje na stanovení pochodů v dané problematice, rozklíčování energetických toků a určení úspor. Pro rozbor dané problematiky byly zvoleny větší provozovny čistíren odpadních vod. Díky jejich velikosti bylo snadnější nalézt kritická místa a vyzkoušet aplikaci obnovitelných zdrojů v provozu. Po provedení energetického auditu došlo k pojmenování jednotlivých pochodů a určení úskalí reálného provozu. Následné kroky práce vedly k fokusaci na provozovny menšího provedení, a to do 2 000 EO. Tento krok byl proveden se záměrem připravit tyto provozovny na chystanou legislativní změnu a napomoci tvorbě či modernizaci energeticky úspornějších řešení. Díky vzniku konsorcia VUT v Brně, Ústavu elektroenergetiky a společností zabývajících se čistírenstvím a automatizačními systémy a řízením. Vzniklo řešení zahrnující modernizaci elektrické, automatizační a čistírenské části. Inovativní aplikace byla instalována do provozu čistírny odpadní vody, kde došlo k odladění dané problematiky, otestování řídicích algoritmů a spuštění celého provozu v automatickém režimu. V závěru modernizace provozovny došlo k instalaci FV panelů na střechu, čímž došlo k částečné dotaci elektrické energie z alternativního zdroje.

KLÍČOVÁ SLOVA: ČOV, OZE, úspora energie, automatizace, řízení, měření, optimalizace.

ABSTRACT

The dissertation work deals with the issue of water treatment and possibilities of energy savings during the operation of sewage treatment plants. The aim of the work is to find the potential of alternative energy use, economical consumption, improvement of the facility system management and quality improvement of the wastewater treatment process. In the first part of the work, operating processes, energy flows and energy savings are discussed. To analyze the problematics, larger sewage treatment plants were chosen. Thanks to their size, it was easier to find critical points and test the usage of renewable sources in operation. After the energy audit, the individual processes were assessed and real operation pitfalls were determined. Further steps led to focusing on smaller facilities up to 2 000 PE. This step was carried out with the intention of preparing these plants for the planned legislative change and helping to create or modernize more energy-efficient solutions. Thanks to the establishment of consortium of Brno University of Technology, the Department of Electric Power Engineering and a company dealing with water treatment and automation control, a solution was created that modernize the electrical, automation and water treatment part of the plant operation. This innovative application was installed in the sewage treatment plant, where the issues were debugged, control algorithms were tested and the entire operation was launched in automatic mode. At the end of the wastewater treatment plant modernization, PV panels were installed on the roof, thus partially suppling the object with renewable energy.

KEY WORDS: WWTP, RES, energy saving, automation, control, measurement, optimization.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD	18
2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	20
2.1 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU	22
2.1.1 OPTIMALIZACE PŘÍSTROJOVÉHO VYBAVENÍ NA ČISTÍRNĚ	22
2.1.2 RECYKLACE ENERGIE	24
2.1.3 ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z BIOMASY.....	25
2.1.4 VYUŽITÍ OBNOVITELNÉ ENERGIE	25
2.1.5 NAKLÁDÁNÍ S ČISTÍRENSKÝMI KALY, LEGISLATIVNÍ ZMĚNY	26
2.2 SOUČASNÝ STAV PROJEKTŮ A ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY	29
2.2.1 STAV V ČESKÉ REPUBLICE	30
2.2.2 STAV V ZAHRANIČÍ	32
2.3 STAV ŘEŠENÍ - ZÁVĚR	34
3 CÍLE PRÁCE	36
4 ŘEŠENÍ	38
4.1 ANALÝZA POŽADAVKŮ A POTŘEB ČOV	38
4.2 METODY A POSTUPY ŘEŠENÍ	39
4.3 POPIS VYBRANÝCH TESTOVACÍCH A OVĚŘOVACÍCH ČOV	40
4.3.1 ČOV CHRUDIM	42
4.3.2 ČOV ČESKÉ BUDĚJOVICE.....	43
4.3.3 ČOV POLIČKA	44
4.4 POPIS A SROVNÁNÍ DOSTUPNÝCH SOFTWARE	45
4.4.1 POPIS DOSTUPNÝCH SOFTWARE PRO MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ ČOV.....	46
4.4.2 HODNOCENÍ A VÝBĚR SOFTWARE	48
4.4.3 IDENTIFIKACE NEZAHRNUTÝCH PROCESŮ VE ZVOLENÉM SOFTWARE	49
4.5 NÁVRH SCHÉMAT JEDNOTLIVÝCH OZE.....	50
4.5.1 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM – PŘÍLOHA A	50
4.5.2 SOLÁRNÍ KOLEKTORY – PŘÍLOHA B.....	51
4.5.3 MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA – PŘÍLOHA C.....	51
4.5.4 TEPELNÉ ČERPADLO – PŘÍLOHA D	51
4.5.5 DMYCHADLO – PŘÍLOHA E	51
4.6 MATEMATICKÝ POPIS VYBRANÝCH ZDROJŮ ENERGIE.....	52
4.6.1 MODEL SLUNCE A JEHO ENERGIE DOPADAJÍCÍ NA ZEMSKÝ POVRCH.....	52
4.6.2 FOTOVOLTAICKÝ PANEL	55
4.6.3 SOLÁRNÍ KOLEKTOR	57
4.6.4 MALÁ VODNÍ TURBÍNA	57
4.7 TVORBA MATEMATICKÝCH MODELŮ	60

4.8 VALIDACE A KALIBRACE MATEMATICKÝCH MODELŮ NA REÁLNÝCH PROVOZECH, PŘÍPADOVÁ STUDIE.....	62
4.8.1 ČISTÍRNA ČESKÉ BUDĚJOVICE.....	62
4.8.2 ČISTÍRNA POLIČKA	72
4.9 ENERGETICKÁ NÁROČNOST ČISTÍRNY MORAVIČANY (ETAPA 1).....	78
4.9.1 DEFINICE A DIMENZE PARAMETRŮ ČOV	79
4.9.2 ENERGETICKÝ ROZBOR ČOV (ETAPA 1).....	80
4.9.3 NÁVRH ENERGETICKÝCH ÚSPOR PROVOZU ČOV	81
4.9.4 NÁVRH KONCEPCE SPOLUPRÁCE ZDROJŮ, AKUMULACE A ČOV	82
4.9.5 DEFINICE PARAMETRŮ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ PRO ZAJIŠTĚNÍ NAPÁJENÍ TECHNOLOGIÍ ...	82
4.9.6 MĚŘENÍ ENERGETICKÝCH TOKŮ (ETAPA 1)	83
4.9.7 EKONOMICKÉ ANALÝZY A TVORBA MODELU ČOV	84
4.9.8 NÁVRH ARCHITEKTURY ŘÍDICÍHO SYSTÉMU, DEFINOVÁNÍ HW A SW STRUKTUR	87
4.10 ENERGETICKÁ NÁROČNOST ČISTÍRNY MORAVIČANY (ETAPA 2).....	89
4.10.1 MĚŘENÍ ENERGETICKÝCH TOKŮ	89
4.10.2 MĚŘENÍ ENERGETICKÝCH TOKŮ - PARAMETRY ČOV MORAVIČANY	94
4.10.3 TVORBA EKONOMICKÉ ANALÝZY	101
4.11 NÁVRHY OPATŘENÍ	103
4.11.1 HLEDÁNÍ MÍCHADEL S NIŽŠÍ ENERGETICKOU SPOTŘEBOU	103
4.11.2 OPTIMALIZACE AERACE.....	103
4.11.3 24-HODINOVÉ MĚŘENÍ	104
4.11.4 OPTIMALIZACE SPOTŘEBY A SYSTÉM ŘÍZENÍ.....	104
4.11.5 APLIKACE SOFT-START SYSTÉMŮ	106
4.11.6 NÁVRH INSTALACE FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	106
4.11.7 DEFINOVÁNÍ EKONOMICKÝCH ÚSPOR.....	108
4.12 TVORBA MODELU ČOV	109
4.12.1 TVORBA MODELŮ ZDROJŮ A SPOTŘEBIČŮ	112
4.13 NÁVRH ARCHITEKTURY ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	115
4.13.1 VÝCHOZÍ STAV	116
4.13.2 POŽADAVKY NA NOVÝ SYSTÉM	116
4.13.3 NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU TECOMAT VE VAZBĚ NA MODULARITU ČOV	117
4.13.4 TVORBA A PŘÍPRAVA DATABÁZE	118
4.13.5 TVORBA VIZUALIZACE A OVLÁDÁNÍ.....	119
4.14 ŘÍDICÍ, OPTIMALIZAČNÍ SW, TOPOLOGICKÉ USPOŘÁDÁNÍ	121
4.14.1 OBECNÝ POPIS PROGRAMOVACÍHO PROSTŘEDÍ	121
4.14.2 ALGORITMIZACE	122
4.14.3 MODULÁRNÍ KONCEPCE HARDWARU.....	122
4.14.4 DATABÁZOVÝ SERVER.....	123
4.14.5 VIZUALIZAČNÍ SW DAT Z LOGU	123
4.15 LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ A OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE (ETAPA 2).....	124
4.15.1 FREKVENČNÍ MĚNIČ.....	124
4.15.2 FV SET	126
4.16 VÝVOJ ALGORITMU ŘÍZENÍ, MĚŘENÍ, PREDIKCE A OPTIMALIZACE	126
4.16.1 POPIS VYVINUTÉHO SW.....	128
4.17 REALIZACE, ZKOUŠKY, TESTY PROVOZNÍCH STAVŮ, UDÁLOSTÍ, A TESTOVACÍ PROVOZ NA ČOV	133
4.17.1 POPIS A DŮVODY REALIZACE VÝMĚNY ASŘ	133

4.17.2 ZKUŠEBNÍ PROVOZ - TECHNOLOGIE ASŘ	134
4.17.3 ZKUŠEBNÍ PROVOZ - TECHNOLOGIE OZE	136
4.17.4 IDENTIFIKACE SPECIFIK PROVOZU	136
4.17.5 MONITORING PROVOZU SYSTÉMU	138
4.17.6 ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ MODERNIZACE ČOV MORAVIČANY	139
4.17.7 EKONOMICKÁ BILANCE INSTALOVANÉHO ASŘ	143
5 ZÁVĚR.....	145
5.1 SOUČASNÝ STAV	145
5.2 SHRUTÍ NOVÝCH VĚDECKÝCH POZNATKŮ PRÁCE	146
5.3 ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOS.....	146
5.4 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	147
POUŽITÁ LITERATURA	148
PUBLIKACE AUTORA.....	152
PŘÍLOHA A	153
PŘÍLOHA B.....	154
PŘÍLOHA C	155
PŘÍLOHA D	156
PŘÍLOHA E.....	157
PŘÍLOHA F.....	158
PŘÍLOHA G.....	159

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1 Obecné schéma procesů ČOV [37]</i>	21
<i>Obr. 2.2 Specifikace spotřeby energie na ČOV</i>	23
<i>Obr. 2.3 Produkce a nakládání s čistírenskými kaly v ČR v letech 2009 -2016 [7]</i>	27
<i>Obr. 2.4 Decentralizované čištění odpadních vod s oxidační strouhou a FV systémem bez akumulátoru</i>	33
<i>Obr. 4.1 Potenciál energetických úspor pro vyvážené nakládání s energií [44]</i>	39
<i>Obr. 4.2 Schéma ČOV Chrudim</i>	43
<i>Obr. 4.3 Schéma ČOV České Budějovice</i>	44
<i>Obr. 4.4 Schéma ČOV Polička (pro přehlednost obrázku nejsou znázorněny interní recirkulace)</i>	45
<i>Obr. 4.5 Geometrie slunečního záření a obecné nakloněné roviny</i>	53
<i>Obr. 4.6 Náhradní schéma fotovoltaického článku</i>	56
<i>Obr. 4.7 Popis parametrů Bankiho turbíny [47]</i>	58
<i>Obr. 4.8 Graf určující součinitel k_{LD}</i>	59
<i>Obr. 4.9 Screenshot z matematického modelování fotovoltaické elektrárny v programu POWERSIM</i>	61
<i>Obr. 4.10 Čistírna odpadních vod České Budějovice</i>	62
<i>Obr. 4.11 Stanovení produkce elektrické energie v závislosti na průtoku</i>	63
<i>Obr. 4.12 Využitelný průtok vodní turbínou</i>	64
<i>Obr. 4.13 Průběh produkce malé vodní elektrárny s pracovním rozsahem generátoru</i>	65
<i>Obr. 4.14 Průběh návratnosti investice dle doby návratnosti</i>	65
<i>Obr. 4.15 Travnatá plocha využitelná pro instalaci FV panelů</i>	67
<i>Obr. 4.16 Střešní plocha rovinná využitelná pro instalaci FV panelů</i>	67
<i>Obr. 4.17 Střešní plocha se sklonem využitelná pro instalaci FV panelů</i>	68
<i>Obr. 4.18 Střešní rovinná plocha využitelná pro instalaci solárních kolektorů</i>	70
<i>Obr. 4.19 Rozložení ČOV Polička</i>	72
<i>Obr. 4.20 Stanovení produkce elektrické energie v závislosti na průtoku</i>	72
<i>Obr. 4.21 Průběh znázorňující průtok vody</i>	73
<i>Obr. 4.22 Průběh provozu generátoru</i>	74
<i>Obr. 4.23 Plocha objektů využitelná pro instalaci FV panelů</i>	75
<i>Obr. 4.24 Plocha objektů využitelná pro instalaci FV panelů</i>	77
<i>Obr. 4.25 Schéma nového systému sběru dat na ČOV Moravičany</i>	83

Obr. 4.26 Ukázka zatížení v časovém okně jednoho dne u partnera ČOV Moravičany. Obrázek a) představuje účinník, na obrázku b) je příkon v jednotlivých fázích.	83
Obr. 4.27 Ukázka uživatelského rozhraní prostředí SAM.....	85
Obr. 4.28 roční produkce elektřiny při instalaci FVE 7kWp	86
Obr. 4.29 roční produkce elektřiny při instalaci FVE 18kWp	86
Obr. 4.30 roční produkce elektřiny při instalaci FVE 18kWp s akumulací	87
Obr. 4.31 Ukázka uživatelského prostředí pro optimalizaci návrhu komponent	88
Obr. 4.32 Závislost energetického zisku na investičních nákladech zdroje	90
Obr. 4.33 Investiční náklady dle požadované energetické výtěžnosti zdroje	91
Obr. 4.34 Stanovení velikosti solárních kolektorů dle investičního záměru	91
Obr. 4.35 Určení nákladů dle požadované nebo dostupné plochy pro kolektory	92
Obr. 4.36 Grafický průběh změřených hodnot příkonu v časovém okně jednoho dne. Události označené i1 - i8 představují sepnutí jednotlivých spotřebičů.....	95
Obr. 4.37 Grafický průběh změřených hodnot účinníku v časovém okně jednoho dne. Události označené i1 - i8 představují sepnutí jednotlivých spotřebičů.....	96
Obr. 4.38 Detail zapnutí dmychadla (i5) - červený bod, je patrný značný nárůst příkonu v čase 20:59:25.	97
Obr. 4.39 Průběh účinníku při zapnutí dmychadla i5 v čase 20:59:25. Došlo k mírnému poklesu účinníku, což značí značný jalový odběr proudu.....	97
Obr. 4.40 Přehled denního průběhu zapínání dmychadel v rámci měření na rozhraní 200 ms	98
Obr. 4.41 Rozložení celkové spotřeby jednotlivých strojů umístěných ve strojovně ČOV Moravičany. Číselné údaje uvedené v jako datový popis představuje spotřebovanou část energie v kWh.....	99
Obr. 4.42 Přehled zaznamenaných hodnot za měsíc leden 2018	99
Obr. 4.43 Přehled zaznamenaných hodnot za měsíc únor 2018	100
Obr. 4.44 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 3.4.2018.....	100
Obr. 4.45 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 5.4.2018.....	101
Obr. 4.46 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 6.4.2018.....	101
Obr. 4.47 Náklady ČOV Moravičany 2013	102
Obr. 4.48 Náklady ČOV Moravičany 2014.....	102
Obr. 4.49 Náklady ČOV Moravičany 2015	102
Obr. 4.50 Náklady ČOV Moravičany 2016.....	102
Obr. 4.51 Měsíční produkce elektřiny	107
Obr. 4.52 Pokrytí spotřeby elektřiny z FVE	108
Obr. 4.53 Model ČOV Moravičany čistírny odpadních vod	110
Obr. 4.54 Obrázek koncentrace S_{alk} (mmol/l) u vratného čerpadla	110

<i>Obr. 4.55 Pracovní okno OpenModelici s otevřenými (levý sloupec) knihovnamí</i>	<i>111</i>
<i>Obr. 4.56 Zjednodušené schéma řízení dmychadel</i>	<i>112</i>
<i>Obr. 4.57 Výsledek řízení přes PID regulátor (jedná se o zjednodušené modelování z důvodu utajení výsledků)</i>	<i>112</i>
<i>Obr. 4.58 Schéma je rozšířené o skutečné řízení pomocí skutečných součástí (motory, frekv. měnič)</i>	<i>113</i>
<i>Obr. 4.59 Detail rozběhu motoru</i>	<i>113</i>
<i>Obr. 4.60 Jednoduchý model FV článku (možno řadit paralelně) pro energetické zisky ze Slunce</i>	<i>114</i>
<i>Obr. 4.61 Pokles výkonu na FV článku z důvodu poklesu ozáření z 1000 W/m² na 0 W/m² ...</i>	<i>115</i>
<i>Obr. 4.62 Struktura rozvaděčů a strojů</i>	<i>117</i>
<i>Obr. 4.63 Ilustrativní popis částí a polí interaktivní tabulky pro stanovení dimenze řídicího systému pro proměnné velikosti ČOV</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 4.64 databázový systém pro vytvoření modulů pro návrh nového typu ČOV</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 4.65 Databázový systém - panel II</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 4.66 Blokové schéma technologie ČOV Moravičany – sken obrazovky vyvíjeného GUI</i>	<i>120</i>
<i>Obr. 4.67 Obrazovka z PLC pro ČOV Moravičany s měřením kyslíku a teploty v nádržích</i>	<i>120</i>
<i>Obr. 4.68 Dekompozice obrázku - časová závislost rozpuštěného kyslíku v nádrži</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 4.69 Vizualizační SW pro zobrazení LOG souborů</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 4.70 Laboratorní testování a komunikace Foxtrot s FM Danfoss se zapůjčeným standem (Danfoss)</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 4.71 Laboratorní testování použitých měničů na VUT V Brně</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 4.72: Základní obrazovka vyvinutého SW</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 4.73 Obrazovka alarmů</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 4.74 Obrazovka kyslíku - vrchní graf ukazuje 24 hodinovou historii, spodní posledních 6 hodin s větším detailem</i>	<i>129</i>
<i>Obr. 4.75 Obrazovka kalového hospodářství s možnostmi definování si vlastních kalendářů pro odsazení kalových jímek (oddělení vody a sesednutí kalu)</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 4.76 Obrazovka měření. Jedná se o aktuální hodnoty, které odebírá technologie ČOV</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 4.77 Obrazovka výkazů. Jedná se o denní statistiku spotřeby elektrické energie a odtoku vody z ČOV</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 4.78 Obrazovka Nastavení slouží k nastavení základních funkcí systému</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 4.79 Záložka FVE informující o stavu produkce během jednoho dne a měsíce</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 4.80 Montáž nového ASŘ, včetně nových FM</i>	<i>133</i>
<i>Obr. 4.81 Koncentrace kyslíku při různých režimech vzdušnění</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 4.82 Denní hodnoty průběhu příkonu před rekonstrukcí ASŘ</i>	<i>137</i>

<i>Obr. 4.83 Denní hodnoty průběhu příkonu po rekonstrukci ASŘ</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 4.84 Průběh koncentrace kyslíku před rekonstrukcí ASŘ.....</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 4.85 Průběh koncentrace kyslíku po rekonstrukci ASŘ</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 4.86 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci listopadu</i>	<i>140</i>
<i>Obr. 4.87 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci prosinec</i>	<i>142</i>
<i>Obr. 4.88 Vývoj diskontovaného Cash Flow pro tři diskontní míry (1, 2, 3) %.....</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 4.89 Vývoj uspořené Cash Flow (CF) s předpokládaným vzrůstem cen elektřiny a vývoj diskontovaného CF.....</i>	<i>144</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2.1 Srovnání palivového potenciálu (výhřevnost) aktivovaného kalu oproti dalším palivům</i>	25
<i>Tab. 4.1 Přehled základních parametrů navržených ČOV</i>	40
<i>Tab. 4.2 Hodnocení potenciálu navržených ČOV</i>	41
<i>Tab. 4.3 Porovnání software pro modelování ČOV</i>	48
<i>Tab. 4.4 Pořizovací a konstrukční náklady vztažené na 1kW výkonu</i>	64
<i>Tab. 4.5 Výsledek kalkulace provozních a konstrukčních nákladů</i>	64
<i>Tab. 4.6 definice prostoru pro uvažovanou instalaci</i>	66
<i>Tab. 4.7 Návrh instalace a parametrů FV panelů</i>	68
<i>Tab. 4.8 Kalkulace produkce realizace FV panelů</i>	68
<i>Tab. 4.9 Vstupní data pro matematický model</i>	69
<i>Tab. 4.10 Výstupní data z matematického modelu TČ</i>	69
<i>Tab. 4.11 Vstupní parametry pro kalkulaci</i>	71
<i>Tab. 4.12 Výstupní parametry stanoveny matematickým modelem</i>	71
<i>Tab. 4.13 Pořizovací a konstrukční náklady vztažené na 1kW výkonu</i>	73
<i>Tab. 4.14 Výsledek kalkulace provozních a konstrukčních nákladů</i>	73
<i>Tab. 4.15 Parametry objektů pro umístění FV panelů</i>	74
<i>Tab. 4.16 Výstupní parametry z matematického modelu fotovoltaiky</i>	75
<i>Tab. 4.17 Vstupní parametry pro model tepelného čerpadla</i>	76
<i>Tab. 4.18 Výstupní parametry pro model tepelného čerpadla</i>	76
<i>Tab. 4.19 Vstupní parametry pro matematický model solárního systému</i>	77
<i>Tab. 4.20 Navržené parametry solárního systému</i>	78
<i>Tab. 4.21 Odhad energetického zisku ze slunečního záření v lokaci Moravičany [48]</i>	89
<i>Tab. 4.22 Přehledová tabulka s jednotkovým energetickým nárokem na vyčištění odpadní vody (kWh/m³)</i>	94
<i>Tab. 4.23 Nákladové položky na ČOV Moravičany</i>	101
<i>Tab. 4.24 Detailní screening nákladů na ČOV Moravičany</i>	103
<i>Tab. 4.25 Soupis vstupů a výstupů pro řízení</i>	105
<i>Tab. 4.26 Souhrnná informace o možné FVE s výkonem 7 kW</i>	107
<i>Tab. 4.27 Rozsahy provozních hodnot ČOV Moravičany</i>	137
<i>Tab. 4.28 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci listopadu</i>	139
<i>Tab. 4.29 Přehledová tabulka nového algoritmu řízení a jeho vliv na spotřebu elektrické energie</i>	140
<i>Tab. 4.30 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci prosinec</i>	141

<i>Tab. 4.31 Přehledová tabulka nového algoritmu řízení a jeho vliv na spotřebu elektrické energie</i>	<i>142</i>
<i>Tab. 4.32 Ekonomické ukazatele projektu (předpoklady vzhledem k parametrům k lednu 2020)</i>	<i>143</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>Značka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotka</i>
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku	(mg/l)
D	Den v měsíci	(-)
e	Náboj elektronu $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C	(C)
G	Celková intenzita slunečního záření dopadající na obecnou plochu	(W.m ⁻²)
G ₀	Sluneční konstanta	(W.m ⁻²)
G _b	Intenzita slunečního záření na obecnou položenou plochu ke směru paprsků	(W.m ⁻²)
G _{bh}	Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu	(W.m ⁻²)
G _{bn}	Intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků	(W.m ⁻²)
G _d	Intenzita difuzního záření	(W.m ⁻²)
G _{dh}	Intenzita difuzního slunečního záření na vodorovnou plochu	(W.m ⁻²)
G _{stř}	Střední intenzita difuzního záření	(W.m ⁻²)
h	Výška Slunce nad obzorem	(°)
H _{den}	Skutečné množství dopadající energie za den	(kWh.m ⁻²)
H _{den, dif}	Energie difúzního záření dopadajícího za den	(kWh.m ⁻²)
H _{den, teor}	Teoretické množství dopadající energie za den	(kWh.m ⁻²)
H _{měs}	Skutečné množství dopadající energie za měsíc	(kWh.m ⁻²)
CHSK	Chemická spotřeba byslíku	(mg/l)
I	Proud	(A)
I ₀	Nasycený svodový proud FV článku	(A)
I _L	Fotoproud úměrný zářivému toku	(A)
k	Boltzmanova konstanta $k = 1,380\,649 \times 10^{-23}$ J·K ⁻¹	(J·K ⁻¹)
LCOE	Sdružené náklady na výrobu energie	(Kč/kWh)
M	Pořadí měsíce v roce	(-)
n	Počet dnů v měsíci	(-)
n _{FV}	Účinnosti FV článku	(-)
PR	Performace Ratio – „účinnost“ fotovoltaické elektrárny	(-)

Značka	Popis	Jednotka
r	Reflexní schopnost okolních ploch	(-)
R_P	Paralelní odpor FV článku	(Ω)
R_S	Seriový odpor FV článku	(Ω)
T	Termodynamická teplota FV článku	(K)
U	napětí	(V)
Z	Součinitel znečištění atmosféry	(-)
β	Sklon osluněné plochy od vodorovné roviny	($^\circ$)
γ	Azimutový úhel normály osluněné plochy	($^\circ$)
γ_s	Azimut Slunce	($^\circ$)
δ	Sluneční deklinace	($^\circ$)
ε	Součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce	(-)
θ	Úhel dopadu slunečních paprsků na normálu osluněné plochy	($^\circ$)
$\tau_{1,2}$	Časový úhel východu a západu Slunce	($^\circ$)
τ_r	Poměrná doba svitu	(-)
τ_{skut}	Skutečná doba svitu	(h)
τ_{teor}	Teoretická doba svitu	(h)
ω	Časový úhel	($^\circ$)
φ	Zeměpisná šířka	($^\circ$)
Značka	Popis	
ADN	Anaerobie-denitrifikace-nitrifikace	
AS	Aerobní stabilizace	
ATS	Aerobní termofilní stabilizace	
BOF	Biologické odstaňování fosforu	
C	Pouze oxidace	
Č	Česle	
ČOV	Čistírna odpadních vod	
DN	Denitrifikace - nitrifikace	
FBD	Function Block Diagram – Funkční blokové schémata	
GZK	Gravitační zahušťování kalu	
HČ	Hrubé česle	

Značka	Popis
HKV	Hygienizace kalu vápnem
CHSF	Chemické srážení fosforu
JA	Jiná aktivace
JČ	Jemné česle
KA	Kaskádová aktivace
LP	Lapák písku
LŠ	Lapák šterku
MAS	Mezofilní anaerobní stabilizace
MVE	Malá vodní elektrárna
N	Nitrifikace
ND	Nitrifikace - denitrifikace
OA	Oběhová aktivace
OČKV	Oddělené čištění kalové vody
OK	Kalolis - odvodnění
OKP	Odvodnění na kalových polích
OO	Odstředivka - odvodnění
PLO	Pásový lis - odvodnění
RADN	Regenerace + ADN
RDN	Regenerace - denitrifikace - nitrifikace
Rox/anox	Regenerace oxická/anoxická
S	Selektor
SAS	Studená anaerobní stabilizace
SZK	Strojní zahušťování kalu
ŠA	Šachtová aktivace
TAS	Termofilní anaerobní stabilizace
UN	Primární sedimentace - usazovací nádrž

1 ÚVOD

Trendem současné doby je snaha o ekologický provoz zařízení v nejrůznějších oborech. Již několik let se kladou nároky na zavedení patřičných kroků pro snížení produkce škodlivých vlivů na přírodu a úspory energií. Nejedná se prioritně jen o energii elektrickou, ale také i o její další formy, kdy je kladen důraz na snížení spotřeby a minimalizaci ztrátové energie. Z těchto důvodů je vyvíjen tlak na výrobce a výrobní procesy, aby docházelo k efektivnějšímu provozu, zvýšila se účinnost a ztrátovou energii bylo možné vracet například do jednotlivých procesů. Tyto požadavky vedoucí k úspoře energie jsou vyvolány nejen zvyšujícím se počtem obyvatel a nárůstem měrné spotřeby na jednoho člověka na planetě, ale také i snížením zásob fosilních paliv.

Pokud se poohlédneme do dávné minulosti, byla energie v dávných dobách používána jen pro zajištění základních biologických potřeb člověka, např. ovládnutí ohně. Toto můžeme požadovat za počátek zpracování biomasy pro energetické účely. V další části vývoje světa lze zahrnout jako využití energie např. obnovitelných zdrojů, hlavně větrné a vodní energie. Za zmínku stojí nasazení parního stroje na konci 18. století, jako počátek průmyslové revoluce. Milníkem rozvoje a ve spotřebě energie lze stanovit přelom 19. a 20. století vynálezem výbušného motoru a začátkem používání elektřiny jako prostředku pro transport energie z místa produkce do místa spotřeby. V globálním měřítku lze říct, že měrná spotřeba energie nerostla a neroste rovnoměrně v čase.

Současná doba sebou přináší další rozvoj vyspělé společnosti, rychlý vývoj technologií a rostoucí životní úroveň. Uživatelům nestačí energie pouze pro zajištění základních životních potřeb, ale je využíván pro pohodlí a komfort každého z nás. Tento fakt vede k nárůstu spotřeby energie v různých stavech, úzce s tím souvisí i požadavek na výrobu a přepravu energie. Průmyslový rozvoj nedostává maximálních rozměrů jen ve vyspělých oblastech světa, ale v poslední několika desetiletí tento rozvoj lze zaznamenat i u méně vyspělých oblastí, kde ne úplně zanedbatelně roste spotřeba el. energie vlivem technologického rozvoje a nástupem technologií.

Z tohoto důvodu se lidstvo snaží hledat různé možnosti a zdroje energie, mezi které patří i hledání nových zdrojů fosilních paliv nebo v současné době hodně diskutované zdroje obnovitelné. Následkem zvýšené těžby fosilních paliv a celkové navyšování výroby elektroniky a dalších odvětví dochází k zatěžování prostředí kolem nás. Uvedenou skutečnost si lidstvo uvědomuje, a proto vznikají určité závazky o snížení spotřeby energií. V roce 2007 vznikl cíl Evropské unie pod označením 20-20-20, který se zavazuje snížit o 20 % emise skleníkových plynů z úrovně z roku 1990, dosáhnout 20 % produkce energie z obnovitelných zdrojů (OZE) a o 20% zlepšit energetickou účinnost v Evropě [1]. Vlivem nařízení EU a snahou dosáhnout úspory energií se hledají nové způsoby a možnosti jak snížit spotřebu, případně zajistit ekologickou dotaci energie do provozu.

Lidstvo proto hledá alternativní zdroje energie nedevastující naše okolí nebo možnosti, jak dosáhnout snížení energetické náročnosti různých aplikací. Nárůst životní úrovně a technické zdatnosti je provázán s nárůstem - produkce odpadů, ty se do jisté míry recyklují, většinou však skládkují. Dle nově vzniklých předpisů se odpady nebudou moci skládkovat [1]. Nastává tedy otázka, zda není možné odpad energeticky využít. Určité množství odpadu je buď recyklováno, případně využito ve spalovnách jako zdroj energie. Biologický odpad se v některých odvětvích využívá pro výrobu bioplynu. Vznikají tak možnosti jak odpad využít, případně z něj získat energii a vrátit ji zpět do energetických procesů.

Po vstupu platnosti zákazu skládkování v roce 2024 se budou muset veškeré odpady zpracovat. Je tedy vhodné se na odpad zaměřit jako na možný zdroj energie, ať už tepelné, nebo elektrické.

Součástí evropského cíle o snížení spotřeby vznikají v průběhu několika let nová témata zaměřená na snižování provozních nákladů jednotlivých provozoven. Tématika optimalizace provozů, nebo energetická soběstačnost, je v poslední době často diskutovaným problémem. Trend optimalizace je vyvolán především snahou o snížení nákladů jednotlivých provozů, zvýšení soběstačnosti a zaměřením se na ekologický provoz.

Disertace pojednává o zmiňované problematice zpracování odpadů a snížení provozních nákladů se zaměřením na čistírny odpadních vod (ČOV). Snaha o zvýšení soběstačnosti je uvažovaná pomocí komplexního řízení provozovny čistíren odpadních vod. Provoz těchto zařízení je velice specifický. Pracuje se zde s energií v podobě organických zbytků, které jsou separovány a většinou zlikvidovány bez dalšího energetického využití nebo jen velmi omezeně. Procesy probíhající na ČOV jsou velice komplexně propojeny, a pokud by došlo k narušení jedné části procesů, může dojít nejen ke snížení, ale i k zastavení procesů dalších. Proto je nutné věnovat značnou část práce získání teoretických poznatků, aby bylo možné stanovit jednotlivé vazby a účelně s nimi pracovat.

2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Snížení energetických nákladů se v současné době stává prioritní pro většinu odvětví. Nemalou prioritu mají ve vodohospodářském a čistírenském oboru. Zvyšování cen energie a vzrůstající spotřeba energie vede k tlaku na energetickou optimalizaci. V jiných částech světa, kde je nedostatek vody, existuje snaha odpadní vodu recyklovat a také optimalizovat spotřebu energie s využitím alternativních zdrojů energie. V ČR panuje převážně konzervativní přístup k uvedené věci.

Pro mnohé z nás je dostatek vody běžnou součástí každodenního života. Voda je využívána v domácnosti, případně v průmyslovém odvětví a po splnění požadavků odtéká do odpadů a kanalizacemi putuje do zařízení, které ji vyčistí a navrátí do přírodního koloběhu. Toto zařízení představuje komplexní systém umožňující z vody odstranit veškeré nečistoty, od velkých částic až po mikročástice, bakterie apod. Pro jednotlivé technologické procesy čištění je zapotřebí velké množství energie. Energetická náročnost ČOV je značná i přes to, že pracují s organickým materiálem, bohatým na různé druhy energie.

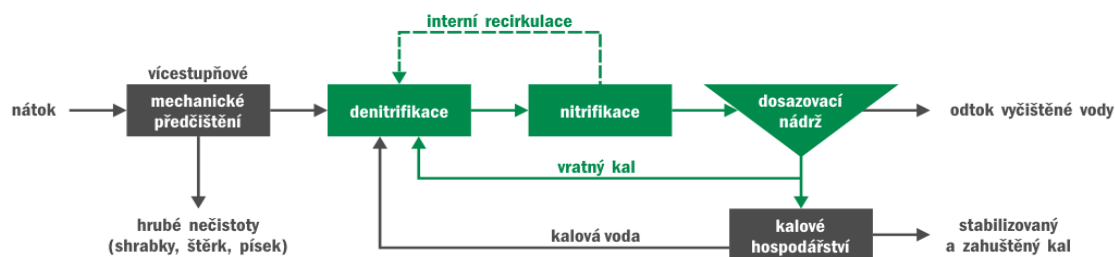
Uvedenou skutečností se dříve společnost nezabývala, ale v dnešní době rostou energetické nároky na procesy čištění a se vzrůstající cenou energií se provozovatelé snaží zefektivnit provoz ČOV. Do budoucna se dá očekávat, že porostou požadavky, jak na čistící procesy, tak i na snížení provozních nákladů. Tato myšlenka je podrobněji popsána v tzv. „městech budoucnosti“ (z anglického Cities of Future) [1] a zahrnuje možnosti optimalizace, nakládání s energií i možné návody, např. recyklaci vyčištěné odpadní vody nebo recyklaci nutrientů.

Dá se konstatovat, že komunální voda obsahuje velké množství energie. Některé zdroje uvádí, že je to až devět krát více než je potřeba k jejímu vyčištění [1]. Proto se zabýváme možnostmi, kde tuto energii získat a jak ji správně využít k optimalizaci provozu a spotřebě ČOV. Jedním z mnoha řešení je využití obnovitelných zdrojů energie, které mohou umožnit snížení energetické náročnosti procesů nebo mohou podporovat jednotlivé technologické procesy čistírny. Z energetického hlediska je komunální voda plná různých druhů energií, které můžeme rozdělit na tři formy:

- Potenciální
- Kinetická
- Tepelná.

Čistírna odpadních vod je komplexní soubor procesů a zařízení, umožňující navrácení komunální vody do vodních toků. Po vyčištění komunálních a průmyslových vod vzniká řada odpadů, se kterými je nutné nakládat dle platné legislativy. Samostatný čistící proces odpadních vod lze dle odpadu rozdělit do několika skupin. Zobrazené náhradního schématu ČOV, na Obr. 2.1. popisuje jednotlivé části technologický procesů čistírny.

Pokud se zaměříme na přítok, kde je přivedena splašková voda do objektu ČOV projde voda nejprve mechanickým předčištěním pomocí hrubých a jemných česlí, zde je úkolem z odpadních vod separovat co nejvíce dobře separovatelných, znečišťujících materiálů a látek jako je štěrk, písek, shrabky, tuky či primární kal vzniklý prostou sedimentací v usazovací nádrži.



Obr. 2.1 Obecné schéma procesů ČOV [37]

V další fázi dochází k odstraňování organických látek, fosforu a dusíku procesem biologického čištění odpadní vody. Díky probíhající denitrifikaci dojde k redukcí dusičnanů na volný elementární dusík pomocí mikroorganismů, které využívají přítomné znečišťující látky přítomné v odpadní vodě jako zdroj energie pro vlastní funkci nebo umožňují tyto organismy znečišťující látky akumulovat. V následujícím procesu nitrifikace dojde k oxidaci dusíkatých látek. Při obou procesech je pomocí roštů umístěných na dnu nádrží přiveden vzduch a dochází k probublávání znečištěné vody a následné reakci s čistícími mikroorganismy a kyslíkem. [37]

Pro tyto skupiny mikroorganismů se v čistírenské praxi používá název tzv. aktivovaný kal. Základní principy biologického čištění jsou prakticky shodné s principem samočištění probíhající na povrchových vodách. Jako hlavní rozdíl může sledovat v rychlosti odstranění znečištění, které je dané koncentrací mikroorganismů a je v rámci čistících procesů mnohem vyšší než v přírodě. Zmíněné procesy denitrifikace a nitrifikace probíhají v aktivační nádrži, buď společně v jedné nádrži kde se navzájem střídají. Druhou možností je, že aktivační nádrž je rozdělena na více segmentů a procesy probíhají v určitých částech nádrže. [37]

Aktivovaný kal, vznikající v průběhu biologického čištění, se vysráží do formy pěny na hladině nádrže. Tato pěna je dle praxe nazývána v odborných sférách jako přebytečný biologický kal a obsahuje směs inertních nerozpuštěných látek v odpadní vodě a vyprodukované biomasy. Přebytečný kal (pěna), díky větší hustotě než voda se vznáší na hladině a následně je shrabávána a odvedena do kalového hospodářství. Aktivovaná voda se dostává do poslední fáze čištění, a to do prostoru dosazovacích nádrží, kdy se při rovnoměrném míchání usazuje aktivovaný kal a vyčištěná voda se vypouští do řeky. Některé ČOV jsou vybaveny chemickým srážením fosforu pomocí srážedla na bázi síranu železitého či síranu hlinitého, pokud dochází k chemickému srážení, produkuje se i chemický kal. Ze všech zmíněných procesů vzniká kal, který obsahuje asi 70% všech nečistot. [37]

Všechny popsané typy kalů – primární, biologický i chemický se zpracovávají v kalové lince, tato část je nedílnou součástí každé technologické linky čistírny odpadní vody. Zmíněná část je jedna z důležitých součástí ČOV, neboť náklady na zpracování čistírenských kalů představují vysoký podíl z celkových investičních a provozních nákladů celého technologického celku. [37]

Odčerpaný přebytečný kal z biologické linky je nejdříve zahuštěn gravitačně nebo strojně a posléze stabilizován ve vyhnívacích nádržích, kde dojde k reaktivaci kalu aerobně, využívá se především u menších ČOV, kde dochází k provzdušňování nebo anaerobně za produkci metanu. Reaktivovaný kal se dále odvodní na cca 15-25% sušiny v kalu a připraví se na přepravu a další

zpracování, případně v současné době na skládkování. Pro ukládání s kaly a odpady se připravují se legislativní změny, o kterých se zmíníme v kapitole 2.1.5.

V dřívějších dobách byly čistírny navrženy především za účelem maximalizace účinnosti čistících procesů. Provozní náklady nebyly při projektování čistíren nijak řešeny. Nyní se pro čištění odpadních vod používají stále modernější technologie především za účelem odstraňování „nových“ polutantů jako jsou např. endokrinní disruptory, ale také s cílem recyklovat vyčištěné odpadní vody. Tyto technologie (např. pokročilé oxidační procesy nebo membrány) mívají zpravidla vyšší energetické nároky, a proto je zde mnohem vyšší snaha optimalizovat energetický management na čistírnách. [2]

Mezi hlavní požadavky systému čištění odpadní vody by tedy měl být efektivní a ekonomický systém v souběhu s energetickými úsporami provozu. Hlavní požadavky můžeme definovat asi takto[2]:

- Minimalizace množství energie potřebné na čištění odpadních vod.
- Zajištění energeticky soběstačného čištění odpadních vod.
- Snížení negativního dopadu čištění odpadních vod na okolní životní prostředí.

2.1 Možnosti využití energetického potenciálu

Jak již bylo zmíněno, odpadní voda obsahuje organiku, tepelnou a kinetickou energii. Pokud budeme vycházet z těchto předpokladů lze energetický management na čistírnách optimalizovat následujícími způsoby:

- Optimalizace přístrojového vybavení na čistírně.
- Recyklace energie.
- Získávání energie z biomasy.
- Využití obnovitelné energie.

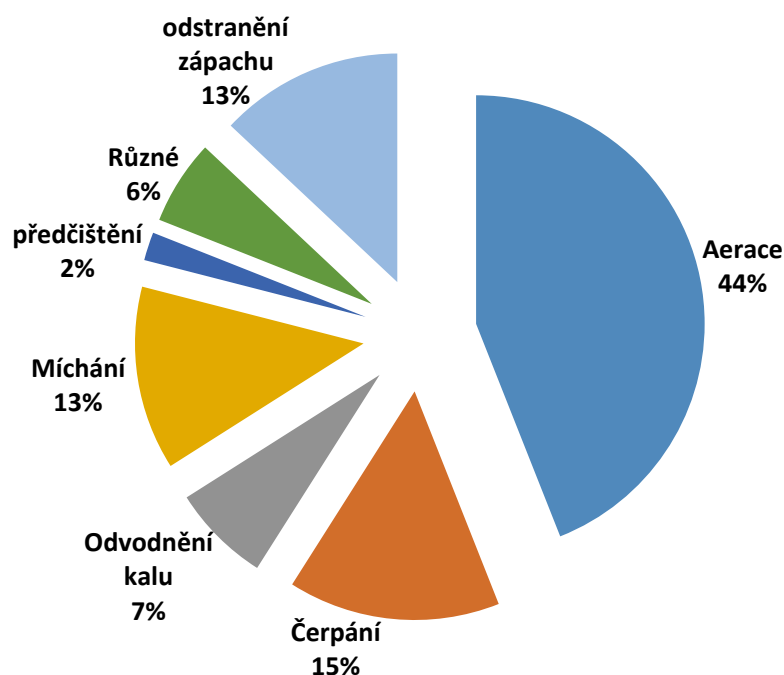
2.1.1 Optimalizace přístrojového vybavení na čistírně

Pro správnou optimalizaci přístrojového vybavení čistírny je vhodné zpravidla provést energetický audit. Na jednotlivých provozech ČOV je běžné, že se spotřeba elektrické energie zaznamenává a ukládá, ale není pravidlo, že dochází k analýze těchto dat. Tato skutečnost je sice běžná, ale ne úplně vhodná, protože zaznamenaná data tvoří důležitou odezvu systému celého provozu a jsme schopni provádět kontrolu zařízení.

Při analýze dat spotřeby, lze predikovat například určité poruchy na zařízení a předcházet takto případnému havarijnímu odstavení celé čistírny z provozu. Jakmile je proveden energetický audit, lze navrhnout několik základních opatření pro optimalizaci zařízení v několika základních krocích [2]:

- Náhrada spotřebičů s největší spotřebou energie, prioritně se zaměřujeme na spotřebiče ze skupiny dle obrázku Obr. 2.2 Z uvedeného vyplývá, že se jedná především o spotřebiče aerace a přístroje čerpací stanice. Výsledkem tohoto kroku je náhrada spotřebičů, které mají lepší účinnosti a při stejných parametrech menší spotřebu elektrické energie.

- Návrh optimalizačního procesu řízení – opět se zaměříme na přístroje aerace a procesy čerpání, kdy z naměřených dat jsou zjištěny potřeby provozovny, a je navržen systém řízení, tak aby uspokojil požadavky, ale nedocházelo k neúčelnému spínání jednotlivých technologií.



Obr. 2.2 Specifikace spotřeby energie na ČOV

Při pohledu na znázorněný graf na Obr. 2.2, jsou jedním z největších spotřebičů na čistírně dmychadla pro aeraci, proto by měl být kladen největší důraz na optimální řízení aerace. Pokud se zaměříme na tuto problematiku, zjistíme, že ve světě se stanovují řady ekonomických postupů, které aeraci optimalizují, např. dodávkou velice jemných aerátorů (intenzita dodávky vzduchu nezajistí postačující promíchávání v aeraci) v kombinaci s dodávkou bublin umožňujících udržet aktivovaný kal ve vzhledu nebo s umístěním míchacího zařízení přímo v oxické zóně aktivace. Další významných energetických úspor může být dosaženo instalací senzorů a sond (např. kyslíkových sond) za účelem automatického řízení dodávky vzduchu nebo instalací dmychadel s frekvenčními měniči nebo optimalizovaným automatizovaným systémem řízení dodávky vzduchu. Mezi další energetické úspory spojené s dodávkou vzduchu patří např. vypínání dodávky vzduchu při nízkém průtoku nebo zatížení na čistírně, nicméně tyto provozní zákroky by měly být ošetřeny nejlépe dynamickou počítačovou simulací, aby nedošlo neuváženým zákrokem ke skokovému zhoršení v kvalitě odtékající vyčištěné odpadní vody [2].

Druhým místem, kde leží největší potenciál úspor, jsou čerpací stanice, přestože je potenciál úspor ve značné míře závislý na reliéfu krajiny a typu přítoku na čistírnu. Zde je nutné poznamenat, že účinnost využití čerpadel závisí především na potenciálu jejich využití. Je proto bezpodmínečně nutné, aby čerpadla pracovala na plánovaný maximální výkon a byla podrobena pravidelné kontrole a údržbě. Systém úspor by měl zahrnovat monitoring spínání a chodu čerpadel v reálném

čase, který by měl být buď pravidelně vyhodnocován anebo opatřen signálním systémem hlásícím přetížení nebo nevytížení jednotlivých čerpadel [2].

V celkovém kontextu a dlouhodobém měřítku se doporučuje využívat zařízení s motory s vysokou účinností a frekvenčními měniči, namísto zařízení s konstantními otáčkami, což je pochopitelné i z ekonomického hlediska, protože pořizovací cena zařízení je naprosto zanedbatelná ve srovnání s provozními náklady a životností zařízení [2].

Dále se jako ekonomické jeví optimalizovat náklady na spotřebu elektrické energie snížením její spotřeby. Pokud jsou čistírny vybaveny vyrovnávacími nádržemi, bude ekonomicky výhodné zachycovat píkované přítoky v nich a poté odpadní vody čistit později, kdy není energetická špička [2].

Pravidelné provádění energetického auditu, benchmarkingu čistíren a návržení „energetických BATů“ jsou základní kroky, které by měly vést k energetickým úsporám vyplývajícím z optimalizace přístrojového vybavení na čistírnách odpadních vod. Byla provedena důkladná studie na evropských čistírnách, která prokázala, že bez výrazných investičních nákladů lze uspořit 10 – 15% celkových nákladů na energii tímto způsobem [5]. Celkově lze říci, že v průměru lze dosáhnout úspor okolo 20% oproti stávajícímu stavu, přičemž s vyššími úsporami u větších čistíren [2].

2.1.2 Recyklace energie

Jak již bylo zmíněno, odpadní voda obsahuje různé formy energie – tepelnou, hydraulickou a kinetickou. Pro zmíněné typy energií, existuje určitý potenciál pro využití na čistírnách odpadních vod.

Uvažovaná tepelná energie lze využít nejen na čistírnách pro podporu čistících procesů nebo vytápění objektu, ale literatura uvádí i o aplikaci výměníků tepla v kanalizační soustavě nebo tepelné čerpadlo pro získání tepelné energie na základě rozdílu teploty média a prostředí. V zahraničí jsou oblíbené systémy HVAC (z anglického Heat, Ventilation and Air-Conditioning system, tj. systém vytápění, ventilace a klimatizace), které využívají odpadní teplo z kanálů pro zahřívání budov v zimě a jejich chlazení v létě. Systém může být aplikován nejen v obytných nebo kancelářských budovách, ale i ve školách, nemocnicích nebo krytých bazénech [2].

Potenciální energie, vznikající gravitační silou padající nebo proudící odpadní vody, může vyrábět energii pomocí turbín. Množství vyrobené energie závisí jak na objemu vody, tak na případnému dosažitelném spádu. Ačkoliv tento způsob výroby energie je velice spolehlivý a ekologický (neprodukuje skoro žádné skleníkové plyny), tak jeho aplikace je velice omezená, protože potřebný průtok je dosažen na čistírnách o velikosti řádově ve stovkách tisíc ekvivalentních obyvatel a větších, a zároveň v České republice je minimum čistíren, kde by šlo využít energie padající odpadní vody, ať už špinavé nebo vyčištěné [2].

V ČR již existují testovací provozy, které využívají odpadní vodu jako zdroj pro pohon malé vodní elektrárny. Tento provoz vznikl pod záštitou společnosti Veolia a sdružuje několik obcí okolo Chrudimi, kde vznikla společná kanalizace a díky většímu převýšení bylo možné instalovat malou vodní elektrárnu (MVE) na tuto kanalizaci.

2.1.3 Získávání energie z biomasy

Kal, který je již přebytečný a je odejmut z procesu čištění, je považován za odpad, ačkoliv je velice slibným zdrojem energie. Kal obsahuje organické látky, dusík a fosfor, a tudíž je zajímavý pro aplikaci v zemědělství. Z energetického hlediska lze využít palivový potenciál kalu po jeho vysušení, kdy může nahradit fosilní zdroje. Energetický potenciál kalu závisí na jeho složení a na množství vlhkosti v něm obsažené a studie ukazují, že lze touto cestou uspořit 30 – 40 % spotřebované energie na čistírnách odpadních vod. Vysušený kal má energetický potenciál téměř 13 MJ, jak je vidět v Tab. 2.1, kde je srovnání s dalšími potenciálními palivy. [2]

Tab. 2.1 Srovnání palivového potenciálu (výhřevnost) aktivovaného kalu oproti dalším palivům

Palivo	kcal/kg sušiny	MJ/kg
Vysušený kal	3200	13
Dřevo	3780	16
Domovní odpad	2200	9
Uhlí	8000	21-33

Nahrazení uhlí jako paliva vysušeným aktivovaným kalem má i zajímavý vedlejší ekologický efekt produkce skleníkových plynů, protože spalováním kalu vznikne okolo 800 g CO₂ méně na jednu vyrobenou kWh energie, přitom účinnost získávání energie z kalu v elektrárnách je srovnatelná s uhlím (38 – 40 % dle používaného termodynamického cyklu) [5]. Z legislativního pohledu je v České republice potřebné pro podporu energetického využití čistírenských odpadů důležitá klasifikace jako možného zdroje energie. Bohužel praktická aplikace vyhlášky 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobu využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy neumožňuje přímé či nepřímé využití kalů s čerpáním benefitů jako u jiných obnovitelných zdrojů energie, což je vzhledem k roční produkci čistírenských kalů v České republice o objemu 170 869 t sušiny v roce 2012 a průměrném energetickém potenciálu 12 MJ/kg ztráta energetického potenciálu ve výši 2 TJ [6].

2.1.4 Využití obnovitelné energie

Spotřeba energie v celosvětovém měřítku stoupá, zejména v rozvíjejících se ekonomikách typu Indie nebo Čína nebo zemích třetího světa. Proto se dostává do popředí zájmu efektivní a ekonomické využití energie. Kjótský protokol stanovil ambiciózní cíle pro snížení produkce skleníkových plynů, kdy se všech 27 zemí Evropské Unie zavázalo do roku 2020 vyrábět 20% energie z obnovitelných zdrojů a zvýšit účinnost využívání energie o 20%. Mezi obnovitelnými zdroji energie se jeví nejzajímavější využití větrné a solární energie a energie biomasy.

Pevninské větrné elektrárny vyrábějí elektřinu za relativně nízkou cenu a jsou již značně rozšířeny v oblastech s vysokým větrným potenciálem. Pobřežní větrné parky se stávají v současné době velice populární, ale tato problematika se přirozeně České republiky netýká.

Biomasa je nejrozmanitější obnovitelný zdroj, protože může poskytovat elektřinu, může být využita jako palivo anebo může vyrábět teplo. Biomasa je na čistírnách produkována neustále, a proto může být pokládána za spolehlivý zdroj elektřiny a tepla.

Solární energie má v globálním měřítku největší potenciál ze všech obnovitelných zdrojů energie. Může být využita ve formě tepelné energie nebo může být transformována elektrickou energií. Solární kolektory jsou již po světě velice rozšířené. Jsou zpravidla instalovány na střeších pro výrobu teplé užitkové vody a/nebo teplé vody/vzduchu pro vytápění kancelářských a obytných budov. Solární články využívají sluneční světlo pro výrobu energie a tepla, zatímco fotovoltaické články transformují sluneční záření přímo na elektrickou energii.

Obecný rámec podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů je určen evropskou směrnicí 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, v České republice 406/2000 Sb. o hospodaření energií a specificky zákonem 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Dřívější dotační politika v České republice jednoznačně zvýhodňovala výstavbu solárních elektráren, což vedlo jednotlivé společnosti a státní orgány zodpovědné za správu a regulaci distribuční sítě k poměrně razantnímu omezení dalšího připojování do distribuční sítě s výjimkou 100 % ostrovního provozu jednotlivých instalací. [6].

2.1.5 Nakládání s čistírenskými kaly, legislativní změny

Česká legislativa upravuje zákaz skládkování od roku 2024 pro směsný komunální odpad (SKO), recyklovatelné a využitelné odpady. Od roku 2015 byla navíc zavedena povinnost třídění bioodpadů. Těmito opatřeními se snaží zákonodárci prostřednictvím Ministerstva životního prostředí reagovat na vzrůstající požadavky Evropské unie v rámci odpadového hospodářství.

V České republice se problematice nakládání s čistírenskými kaly věnují následující právní předpisy:

- Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech
- Zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd
- Vyhláška č. 237/2017 Sb. kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 377/2013 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv
- Vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)

Na základě výše zmíněných právních předpisů rozlišujeme celkem 5 základních kategorií nakládání s čistírenskými kaly:

- Přímá aplikace a rekultivace
- Kompostování

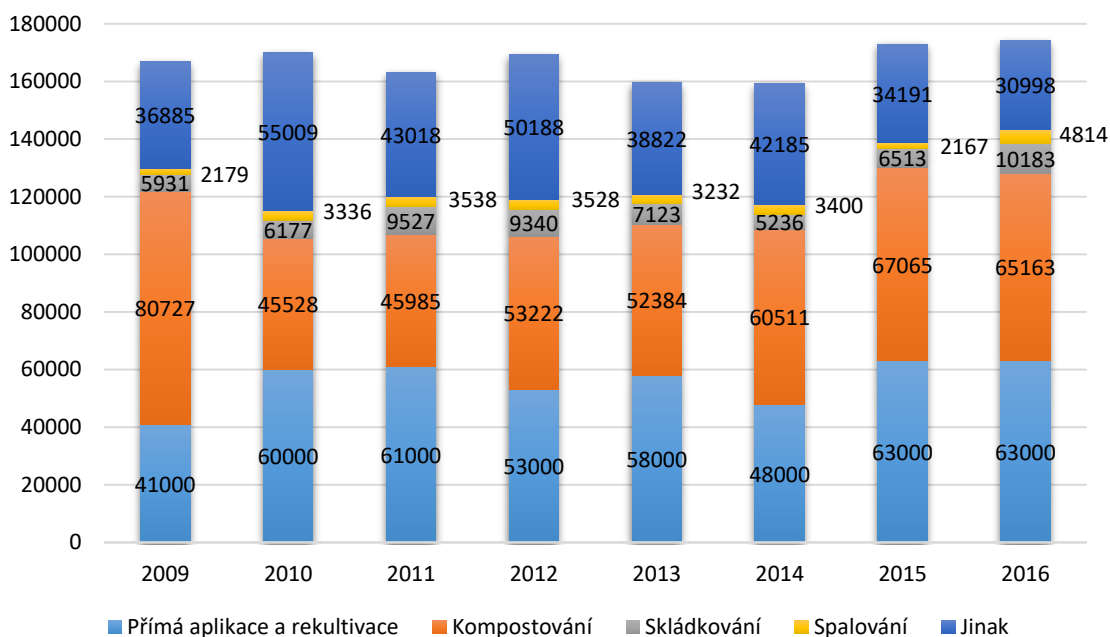
- Skládkování
- Spalování
- Jinak

Pokud se zaměříme na kategorii zmíněnou jako Jinak, jedná se o uložení kalů na skládku ve formě tzv. technické vrstvy, která se skládá ze směsi a čistírenským kalem.

Na obrázku Obr. 2.3 je zanesena produkce a způsoby nakládání s čistírenskými kaly v ČR v letech 2009-2016. Je zde patrné, že každý rok není produkce kalu stejná. Pokud se však zaměříme na rozložení mezi jednotlivými způsoby ukládání, jsou poměry v průběhu let velice podobné.

Období, kdy je možné bez omezení skládkovat čistírenské kaly se blíží k zmíněnému termínu, kdy bude nutné určit jak s kaly nakládat, jestli je lze využít v dalších procesech a v jakém rozsahu. Dále jsou uvedeny určité možnosti, jak bude možné tuto problematiku uchopit a dodržet připravovanou legislativu.

- Skládkování, Jinak - odpadová politika EU je zacílena na odpady, které je možné recyklovat, případně chce podporovat snížení produkce odpadů všeobecně. Skládkování veškerého recyklovatelného odpadu se má zcela eliminovat do roku 2025, do roku 2030 by pak jednotlivé členské státy měly skládkování zcela opustit [8]. Česká republika se velice intenzivně v roce 2015 zabývala aplikací nového zákona o odpadech, který jednoznačně představoval odklon od skládkování směrem k recyklaci a znovu využívání nejrozličnějších materiálů v odpadech obsažených. Dopad na provozovatele ČOV bude mít ten, že dojde k postupnému omezení možnosti nakládání s čistírenskými kaly v jejich ukládání na skládku ať už přímo, či jako technická vrstva či rekultivace [6].



Obr. 2.3 Produkce a nakládání s čistírenskými kaly v ČR v letech 2009 -2016 [7]

- **Přímá aplikace** - koncem roku 2016 vydalo Ministerstvo životního prostředí vyhlášku č. 437/2016 Sb., o použití čistírenských kalů na zemědělské půdě. Vyhláška oproti zrušené vyhlášce č. 382/2001 Sb. zpřisňuje podmínky úpravy kalů před jejich využitím v zemědělství i podmínky pro skladování a aplikace upravených kalů. Nově byly stanoveny požadavky, jak má provozovatel postupovat při úpravě kalů ve vlastní provozovně či mimo ČOV. Musí být prokazatelné, že využitá technologie pro stabilizaci kalu je schopna účinně snížit počty patogenních organismů [6].

Provozovatel zařízení na úpravu kalů je povinen ověřovat technologii na úpravu kalů na základě odebrání vzorků na vstupu a výstupu technologie a následného porovnání kontaminace, která nesmí překročit stanovený počet KTJ. Nově jsou upraveny i podmínky pro uložení upravených kalů na ČOV včetně maximálního termínu 12 měsíců od okamžiku výstupu z technologie úpravy kalů v rámci jejich shromažďování. Zpřísněny jsou také mikrobiologická kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu, kdy od 1. ledna 2020 je možné aplikovat na zemědělské půdy pouze kal I. kategorie dle specifikace uvedené ve sbírce č. 437/2016 Sb. Příloha č. 4. Všechna tato opatření představují pro provozovatele ČOV, obzvláště pro provozovatele menších obecních ČOV, jednoznačně změnu stávajícího způsobu ukládání čistírenských kalů na zemědělskou půdu [6].

- **Kompostování** - v srpnu roku 2017 vydalo Ministerstvo zemědělství vyhlášku č. 237/2017, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Tato vyhláška přináší zpřísnění mikrobiologických požadavků na organická hnojiva a substráty, při jejichž výrobě byly použity odpady z čistíren odpadních vod ve shodě s vyhláškou č. 437/2017 Sb. o využití čistírenských kalů na zemědělské půdě, ovšem na rozdíl od přímé aplikace na zemědělskou půdu bez přechodného období. I v tomto případě je toto zpřísnění požadavků zásahem do stávající praxe nakládání s čistírenskými kaly a již dnes někteří provozovatelé ČOV zaznamenávají ztrátu zájmu provozovatelů kompostáren o čistírenský kal [6].

Vznikem nové legislativy jednoznačně znamená nutné investice pro provozovatele a vlastníky ČOV spojené s vyššími provozními náklady hlavně pro zajištění účinné stabilizaci a zajištění mikrobiologické nezávadnosti čistírenských kalů. K nově využitelným technologiím hygienizace kalů lze zařadit vápnění, pasterizaci, termofilní anaerobní stabilizaci, mezofilní anaerobní stabilizaci kalů s následnou post-pasterizací, či aerobní stabilizaci kalů čistým kyslíkem. Mezi progresivní technologie úpravy stabilizovaných čistírenských kalů lze jednoznačně zařadit i sušení, které nejenže zajistí úplnou hygienizaci kalů, ale dokáže při sušině ve výši 90 % snížit celkovou produkci čistírenských kalů až na čtvrtinu [9].

Při hledání možností jak docílit vyšší hygienizace kalů vznikla první sušárna čistírenských kalů v roce 2016 na ČOV Karlovy Vary, tato první sušárna nezůstane určitě jediná. Vzhledem k chystané legislativě budou do budoucna sušárny součástí každého kalového hospodářství větší ČOV. Výhodou čistírenského kalu s vysokým podílem sušiny je pak možnost jeho dalšího zpracování v termických procesech, kterého je v současnosti využívání jen velmi málo. Termické zpracování může spočívat v spalování buď jako příměs ostatních odpadů či daleko preferovanější monospalování čistírenských kalů. Kromě výroby tepla a elektrické energie je v případě

monospalování produktem i jiným odpadem nezhodnocený popel se zajímavým obsahem nutrientů, například až 18% P_2O_5 .¹ Běžně těžený fosfor obsahuje sice dvojnásobnou koncentraci P_2O_5 , ale i tak to je zajímavá alternativa zdroje fosforu už jen s ohledem na velmi omezené zásoby fosforu na světě [6].

Druhou možností termického zpracování vysušených čistírenských kalů je pyrolýza. Při tomto procesu dochází rovněž k termochemickému rozkladu organických látek, na rozdíl od spalování, ale v anaerobních podmínkách. Výsledným produktem není popel, ale produkt obecně nazývaný Biouhel či Biochar [10]. Obě technologie termického zpracování čistírenských kalů mají své přednosti, vždy bude záležet na konkrétních podmínkách, energetické náročnosti či naopak výtěžnosti a možnosti aplikovat výsledný produkt termického zpracování kalů [6].

Přestože stávající či v nejbližší době chystaná legislativa nebude vyžadovat přímo termické zpracování kalů, je nutné se tímto způsobem nakládání s čistírenskými kaly nadále intenzivně zabývat a připravovat se na možné zavedení do čistírenské praxe. V současné době totiž čistírenské kaly obsahují sice na jedné straně cenné látky, především uhlík a fosfor, ale na druhé straně i řadu problematických látek souhrnně označovaných jako farmaka a látky osobní potřeby a dalších specifických polutantů, byť ve velmi nízkých koncentracích. Nelze tak zcela vyloučit, že další směr v oblasti nakládání s čistírenskými kaly v EU povede směrem k recyklaci cenných látek obsažených v kalech a zároveň k řešení výše popsanych polutantů. V takovém případě bude termické zpracování kalů prakticky jediným možným řešením [6].

Je zřejmé, že v oblasti nakládání s čistírenskými kaly stojíme před řadou zásadních rozhodnutí a změn. Na jedné straně pro provozovatele a vlastníky ČOV tyto změny budou znamenat dodatečné investiční a provozní náklady, které v konečném důsledku může pocítit i koncový spotřebitel v platbách za stočné. Na druhé straně tyto změny jsou příležitostí pro zvýšení energetické soběstačnosti ČOV a snížení objemu produkovaných kalů při zachování obsahu nutrientů potřebných pro zemědělství [6].

2.2 Současný stav projektů a řešení problematiky

Čistírny odpadních vod jsou obecně nutným doplňkem městských aglomerací. V současné době se moderní čistírny začínají stavět i v sídlech do 500 EO (ekvivalentních obyvatel), kde dříve převažoval systém odpadních jímek. Tyto nové objekty jsou však z hlediska provozních (variabilních) nákladů náročné pro provozovatele, kterými jsou většinou obce.

Dle našich znalostí se benchmarking za účelem energetické optimalizace snaží provádět dva největší provozovatelé ČOV v České republice, a to Veolia a Energie AG, ale ne pro takto malé velikosti čistíren a s využitím obnovitelných zdrojů. Jedná o specializovaná úzce zaměřená (výhradně ekonomická nebo technologická) řešení, zaměřují se pouze na určité oblasti. Základní odlišnost našeho řešení spočívá v komplexnosti a ucelenosti. Publikované návrhy a produkty ve světě nemohou poskytnout komplexní řešení v oblasti systémového řízení a optimalizace provozu ČOV v kooperaci s malými obnovitelnými zdroji. Úloha optimálního řízení zdrojů je součástí celé

¹ Oxid fosforečný je anorganický oxid. Je to nejběžnější a nejdůležitější oxid fosforu. Vzniká hořením fosforu na vzduchu a vzhledem připomíná bílý prášek. Je dobře rozpustný v mnoha organických rozpouštědlech a je silně hygroskopický, tedy dokáže pohlcovat a udržet vzdušnou vlhkost.

řady specializovaných softwarových produktů celé řady firem se zacílením především na elektrárenské resp. rozvodné společnosti, čemuž odpovídá jednak vysoká cena systému a nepoužitelná struktura pro aplikaci v rámci ČOV (odlišná technologie, princip řízení a princip funkce).

Snížením energetické náročnosti (zejména čerpání a nitrifikace odpadních vod) je velmi důležité pro další rozšiřování čistíren odpadních vod.

Problematika zaměřená snížením provozních nákladů na ČOV se nyní řeší převážně instalací novějších zařízení s menší spotřebou a delší životností. Občas se můžeme setkat s pokusem o řízení dle informací s kyslíkových sond nebo případně s časovým plánem provozu jednotlivých spotřebičů. Příklady konkrétních řešení v oblasti optimalizace energetických toků ČOV jsou uvedeny v následujícím výčtu projektů a odborných publikací.

2.2.1 Stav v České republice

V České republice není v současné době řešen obdobný projekt. V minulosti byly řešeny tyto projekty:

- 1P04OC624.10 - Optimální využití odpadních vod - řešení: 01/2010 - 10/2010 - Projekt je zaměřen na mikrobiální rozbor aktivovaného kalu. Dále popisuje proces čištění odpadní vody s modelem stokového systému a recipientu. Podáváný projekt neřeší primárně biologickou podstatu čištění vod, ale potlačení energetické náročnosti čištění vod, například efektivnějším zapojením nitrifikace, přečerpávání vod a optimalizace řídicích algoritmů při zachování kvality vypouštěných vod.
- ED0014/01/01 – Centrum výzkumu a využití obnovitelných zdrojů energie (CVVOZE) - řešení: 04/2010-12/2013 - Hlavním cílem projektu bylo vybudovat a soustředit tak významné výzkumné a vývojové kapacity pro řešení komplexní problematiky výzkumu, vývoje a využití obnovitelných zdrojů energie, včetně problematiky z oblastí elektrochemie, elektromechaniky, elektrotechnologie, elektroenergetiky, elektrických pohonů, mobilních robotů a průmyslové elektroniky. Podáváný projekt bude využívat výzkumnou infrastrukturu vybudovanou v rámci projektu regionálního výzkumného centra CVVOZE a bude navazovat na některé poznatky získané v rámci základního výzkumu řešeného během realizační fáze projektu CVVOZE.
- FEKT-S-14-2520 Projekt „Nové technologie pro udržitelnou elektroenergetiku“ sdružuje výzkumná témata doktorského studia řešená ve výzkumném programu 3 centra CVVOZE v rámci financování specifického výzkumu na VUT v Brně. Jedná se o základní výzkum v oblasti elektroenergetiky. Navrhovaný projekt bude navazovat na některé výsledky výše uvedeného základního výzkumu.
- FF-P2/077 – Výzkum a vývoj decentralizovaných systémů kanalizace s individuálními čisticími systémy s lokálním využitím vyčištěné odpadní vody - BLUE - WATER - CONCEPT. - řešení: 03/2003 - 12/2005 - Projekt se zabývá decentralizovaným systémem čištění odpadních vod. Vyčištěná voda je zpětně využita v lokálním místě spotřeby. Projekt se zaměřuje na optimalizaci energetických nákladů celého objektu ČOV.

- FT-TA5/012 - Decentralizované čištění odpadních vod s telemetrickým řídicím systémem pro malé obce - řešení: 3/2008 - 12/2010 - Projekt primárně řešil domovní čistírny respektive čistírny odpadních vod pro jednotlivé domy s centrálním řízením. Řešená problematika zahrnovala zejména návrh komunikačních protokolů (DVB-C, VoIP apod.), které spolupracující s řídicím systémem domů a centrálním ovládáním z dislokovaného střediska. Náš projekt je postaven na naprosto odlišné strategii, kdy předpokládáme jeden systém čištění vod s tlakovým potrubím se všemi ekonomicko-technickými aspekty, které si myslíme, jsou mnohem příznivější. Navíc předešlý projekt vůbec nepočítá s podpůrnými energetickými zdroji k potlačení energetické náročnosti čištění vod.
- LO1210 - Hlavními cíli projektu EN-PUR - NPU I, -řešení: 01/2014 až 12/2018 v CVVOZE. Podpořit základní výzkum v oblasti výroby, přeměny, přenosu, skladování a efektivního využití elektrické energie v podmínkách udržitelného rozvoje; Umožnit další kariérní rozvoj zejména mladých talentovaných výzkumných pracovníků; Prohloubit spolupráci s aplikační sférou, zintenzivnit zapojení do mezinárodní spolupráce; Vytvořit prostředí pro efektivní využití a provoz výzkumné infrastruktury. Navrhovaný projekt bude využívat infrastrukturu výzkumného centra CVVOZE a v rámci aplikovaného výzkumu bude navazovat na některé výsledky základního výzkumu řešeného v rámci projektu EN-PUR.
- TA02020676 - Energetická náročnost ČOV a stokových sítí - řešení: 1/2012 - 12/2014 Cílem projektu je zpracovat metodiku pro auditování a vyhodnocení ČOV a stokových sítí z pohledu stavebně-technologického a energetického. Podáváný projekt se silně vymezuje vůči výše uvedenému, protože přináší nové metody redukce spotřeby elektrické energie u energeticky náročných spotřebičů v malých čistírnách do 500 ekvivalentních obyvatel (EO). Neřeší problematiku úspor při odstraňování fosforu a látek jemu podobných. Čistírny do 500 EO se svými energetickými požadavky vybočují z dosud projektovaných a provozovaných velkých čistíren, zejména s ohledem na provozovatele.
- TA03021160 - Využití modelovacího protokolu pro optimalizaci procesu čištění odpadních vod a energetických úspor na nich - řešení: 1/2013 - 12/2015 - Předmětem projektu bylo matematicky modelovat a popsat odstranění fosforu, uhlikatých a dusíkatých látek z čištěné vody. Zároveň předpokládal úsporu nákladů. Podáváný projekt se silně vymezuje vůči výše uvedenému, protože přináší nové metody redukce spotřeby elektrické energie u energeticky náročných spotřebičů v malých čistírnách do 500 ekvivalentních obyvatel (EO). Neřeší problematiku úspor při odstraňování fosforu a látek jemu podobných. Čistírny do 500 EO se svými energetickými požadavky vybočují z dosud projektovaných a provozovaných velkých čistíren, zejména s ohledem na provozovatele.
- Česká studie od Karla Plotěného ze společnosti ASIO, spol. s r.o. se zabývá možnostmi snížení spotřeby elektrické energie použitím nových metod čištěním s využitím membránových filtrů, a také s osazením stávající provozy novým zařízením s nižší spotřebou a přístroje, které umožňují řízení čistících procesů. [28]

Uvedené projekty byly čerpány z webových stránek TA ČR Stafos [49]

2.2.2 Stav v zahraničí

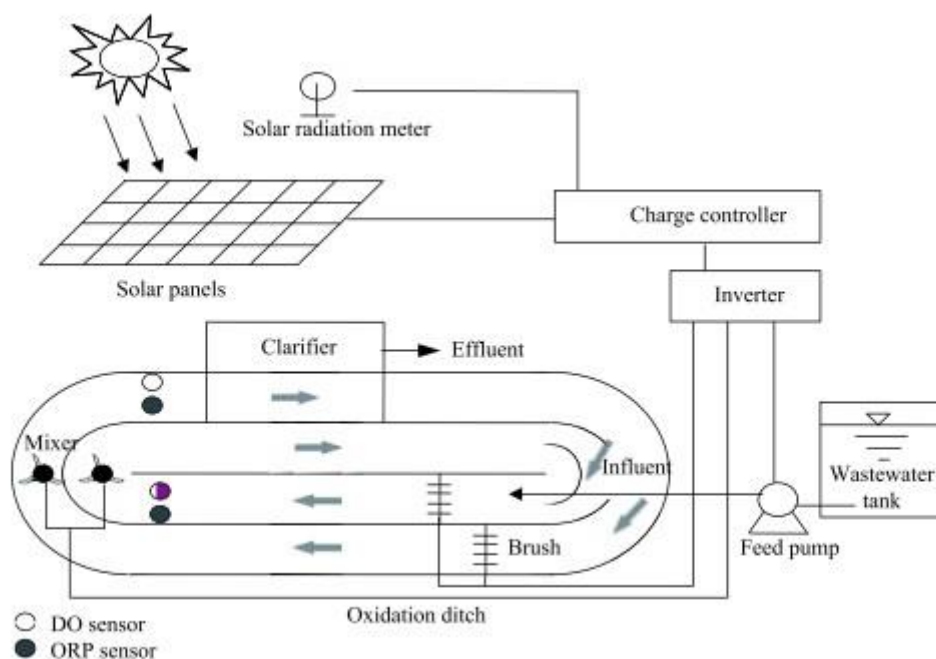
Veškeré projekty v zahraničí jsou řešeny parciálně bez celkového propojení. Jedná se vesměs o jednotlivá nápravná opatření pro redukci nákladů za využití známých či méně známých metod. Nikoliv o propojenou sestavu dílčích opatření.

V zahraničí se podobný problém řeší ziskem energie [13] na přítoku do ČOV. Prvním takovým systémem může být Archimédův šroub, což je zařízení jednoduché, ale účinné. Autoři v článku zdůrazňují, že tento typ vodního motoru je vhodným doplňkem do vesnických oblastí s malými průtoky odpadních vod.

Mikrobiální palivové články (MFC) nabízí přímou výrobu elektrické energie z různých zdrojů odpadních vod. MFC jsou využity jako biokatalyzátory. Zatímco výroba elektřiny pomocí bakterií je známá možná více než deset let, teprve nedávné studie ukázaly, možnosti využití. Tento vývoj může mít za následek zcela nové koncepce čištění odpadních vod [15]. Koncepce využití kalů a následné produkci bioplynu [16] je u malých ČOV problematické (myšleno do 500 EO). Nicméně, jak autoři poukazují, je z článku patrné (příklad demografického vývoje v Chile), že nutnost čištění odpadních vod je nutností již v malých aglomeracích.

Každopádně je nutné prověřit, jestli by tato metoda mohla být využita ve spolupráci s místními zemědělskými podniky.

Autoři odborného článku [14] se konkrétněji vyjadřují k energetické náročnosti ČOV a její eliminace včetně zlepšeného průběhu čištění za využití slunečního záření. Inovativní integrovaný systém s využitím solární energie, energie pro decentralizované čištění odpadních vod, která se skládá z oxidační strouhy s dvojitými kanály a fotovoltaického (PV) systému bez akumulátoru Obr. 2.4. Vzhledem k tomu, že systém pracuje bez akumulátoru, může snížit náklady na PV systém. Aby bylo zajištěno, že výkon je ve všech různých povětrnostních podmínkách dostačující, sluneční záření intenzity 78 W/m^2 s 95% intervalem spolehlivosti byla definována jako mezní hodnota výstupního výkonu pro PV systém v závislosti na monitorování výsledků. Oxidační strouha řízená PV systémem bez akumulátoru běžela během dne a zastavila se v noci. Z tohoto důvodu, anaerobní, anoxické a aerobní podmínky se mohou periodicky měnit. Oxidační kanál byl příznivý pro odstraňování dusíku a fosfátu z odpadních vod. Experimentální výsledky ukázaly dosažení průměrné účinnosti odstranění 88% CHSK, 98% $\text{NH}_4 +\text{-N}$, pod zatěžovací rychlostí $140 \text{ mg COD} / (\text{g MLSS} \cdot \text{den})$, $32 \text{ mg NH}_4 +\text{-N} / (\text{g MLSS} \cdot \text{den})$, $44 \text{ mg TN} / (\text{g MLSS} \cdot \text{den})$ a $5 \text{ mg TP} / (\text{g MLSS} \cdot \text{den})$.



Obr. 2.4 Decentralizované čištění odpadních vod s oxidační strouhou a FV systémem bez akumulátoru.

Článek [25] navazuje na předchozí téma, když řeší podobný problém. A to, že prostřednictvím kombinace úpravy kruhové věže biologického filtru (CTBF) a podpovrchových typu toku mokřadu (SFCW), CHSKCr ve výtok byl menší než 100 mg/l stabilně a $\text{NH}_3\text{-N}$ je menší než 30 mg/l. To naznačuje, že sluneční energie může nahradit tradiční možnosti čištění odpadních vod. Nicméně, to je ještě skutečně daleko, aby solární energie nahradila tradiční metody, zejména kvůli špatné ekonomice.

Solárního ohřev lze aplikovat již v současné době. Biologicky rozložitelné odpadní vody přispívají více jak 6 % všech antropogenních emisí metanu. Vysoká úroveň anaerobních fermentorů má potenciál k čištění odpadních vod, jakož i účinně umožňuje zachycování metanu pro použití jako relativně čistého zdroje energie. Tento dokument [20] sleduje vývoj anaerobních vyhnívacích technologií a poskytuje přehled o svých současných možnostech. To také umožňuje zrychlený přechod od energeticky náročných aerobních procesů k anaerobním procesům, které jsou nejen energeticky účinnější, ale umožní zachycování metanu.

Další možností využití odpadních vod je ve využití jejich poměrně stálé teploty. Tuto nízkopotenciální teplotu lze transformovat na vyšší potenciál za využití technologie obecně označované jako tepelné čerpadlo. Autoři [23] prováděli výzkum, který měl za cíl zefektivnit chod zařízení na čištění vod. Také využili tepelného čerpadla ke zlepšení energetické náročnosti přidružených budov. Výsledkem byl efektivnější monitoring a kontrola provozovaných zařízení. Podobným úvahám se věnují i autoři článků [18], [21], [22]. Názory [26] jsou si podobné a to, že energetický potenciál odpadní vody (zejména tepelná složka) je velmi velký, i když o nízkopotenciální teplotě.

Alexander Ebel, Michael Bongards a Sean McLoone z univerzit Cologne University of Applied Sciences, National University of Ireland, Maynooth se zabývali návrhem řídicího

systému pro zlepšení procesní stability a snížení provozních nákladů. Řídící systém využívá pravidla užívaná pro rozhodování procesní stavu získané z výsledků z „fuzzy c-means clustering algorithm“.

Wang Li-juan z univerzity Xi' An Technology University pojednává o problematice spotřeby energie na ČOV a zmiňuje se o navrhnutém modelu provozovny s vysokou přesností a účinností.

Další příspěvek od Li Junshenga a Zuo Jinlonga z Harbin University of Commerce popisuje využití aktivních pískových filtrů v městských ČOV. Výsledkem studie byla zjištěna možnost využití pískových filtrací pro snížení energetické náročnosti provozu.

V oblasti Aargeauer Reusstal (Švýcarsko) 32 obcí společně řešilo kalovou problematiku. Výsledkem byl svoz předsušeného kalu a na centrální ČOV byl kal dosušen na požadovanou hodnotu a odvezen ke spalování do cementárny. Touto spoluprací docílili úspory na odvoz a likvidaci kalu [33][34][35][36].

2.3 Stav řešení - závěr

Jak je možné usoudit z citované literatury a řešených projektů, oblast energetické optimalizace není zcela prozkoumána. Toto téma je zatím ve vývoji. Jak již bylo uvedeno výše, možnosti snížení nákladů jsou převážně realizovány osazením novějších zařízení s menší spotřebou a delší životností. Nebo instalací frekvenčních měničů, které regulují pohony podle aktuálních provozních podmínek. Dalším faktem dané problematiky je, že zpětné využití energetického potenciálu je převážně na velkých ČOV o velikosti 50 000 EO a vyšší. Zajímavým ukazatelem je potřebná energie pro vyčištění jednoho m^3 vody. Tato hodnota slouží často v odborné literatuře pro porovnání energetické náročnosti jednotlivých provozoven. Dle literatury [29] a provedených studií na Slovensku je energetická náročnost velkých čistíren v rozmezí 0,145 – 1,422 kWh/m^3 , tedy s průměrnou hodnotou 0,477 kWh/m^3 . Obecně tedy uvažujeme hodnotu 0,5 kWh/m^3 .

Pokud se zaměříme na provozovny pracující s menší kapacitou tedy ČOV do kolem velikosti 2 000 EO, zjistíme, že tyto provozovny mají několikrát větší spotřebu než uvedené velké čistírny, tedy 2 – 4 kWh/m^3 . Tento fakt je způsoben nepřesným návrhem dané technologie nebo její předimenzování. Lze se setkat i s řešením, kdy se z ČOV Např. 50 000 EO zmenšila na poměrově na malou ČOV požadované velikosti.

Současný trend v oboru čistírenství odpadních vod sebou přináší několik hned nových legislativních změn, jako je například zákaz možnosti skládkovat odpadní kaly a je nutné s nimi nakládat jako s nebezpečným odpadem.

Tato směrnice platí od roku 2020. Za zmínku stojí i požadavek na zřízení kanalizačních systémů zakončených v ČOV i u menších měst a obcí. Tyto požadavky sebou přináší investiční a provozní náklady, které jsou z části možné pokrýt z dotačních titulů, ale i tak tyto investice zatěžují rozpočty malých měst a obcí. Proto existuje požadavek na snížení provozních nákladů zmíněných provozoven ČOV. Pokud se rozhlédneme po okolních státech lze sledovat běžně tento optimalizační trend nejen u ČOV, ale i v dalších odvětví průmyslu. Např. v oblastech s nedostatkem vody se nezabývají pouze problematikou snížení spotřeby elektrické energie, ale také spotřebou a recyklací vody.

Aktuálně řešeným a neprobádaným směrem v oblasti zvyšování efektivnosti jsou čistírny odpadních vod. Energetický potenciál provozů je dosud nevyužitý a je třeba zaměřit se na průzkum možností, jak by bylo možné tuto energii získat.

Některé studie optimalizace uvádějí, že komunální voda obsahuje až 9 krát více energie než je potřebné k jejímu vyčištění [31][32]. Proto je z tohoto údaje zřejmé, že by ČOV měla energii produkovat a ne ji spotřebovávat [1]. Spotřeba energie patří mezi největší položky nákladů při provozu ČOV. U větších čistíren je to 15 - 30 % a menší čistírny mají náklady na energii kolem 30 – 40% [29]. ČOV provozované v ČR byly navrhované převážně pro vysokou efektivnost čistících procesů a nebral se ohled na výši provozních nákladů. Dokonce je znám případ, kdy po modernizaci přístrojového vybavení došlo k nárůstu spotřeby elektrické energie z 1 kW/m³ vyčištěné vody na 2 kW/m³. Nově zaváděné předpisy a normy zvyšují náročnost čistících procesů a tím dochází i k nárůstu spotřeby elektrické energie. Z toho vyplývá snaha o optimalizaci provozů ČOV.

3 CÍLE PRÁCE

Disertační práce je zaměřena na návrh, analýzu a optimalizaci obecné ČOV. Výstupem bude vytvoření softwaru, který umožní namodelovat jednotlivé toky energií na čistírně a díky němu bude možné optimálně navrhnout řešení tak, aby bylo možné v daném místě odebrat energii a využít ji v jiném procesu pro snížení energetických provozních nákladů provozovny, popřípadě umožnit využití přebytečné energie pro získání energie elektrické.

Hlavní myšlenkou práce je vytvoření komplexního simulačního modelu v programovatelném prostředí dle možnosti trhu, tak aby nejlépe splnil požadavky uživatelů. Výběr programu pro tvorbu modelu je velice závislý na programové nabídce a možnostech opatření softwaru. Výsledný simulační model bude po zadání vstupních dat umožňovat blokově poskládat a sloučit jednotlivé technologické prvky na čistírně a tak vytvořit komplexní model celé ČOV. Dle stanovení energetických toků na čistírně, bude možné a nabídnuto uživateli osazení provozovny určitým typem obnovitelných zdrojů, případně jiné metody optimalizace či doporučení na procesy řízení. Neméně důležité bude následné ekonomické hodnocení a určení doby návratnosti jednotlivých uvažovaných změn, jak přístrojového vybavení tak i návratnost jednotlivých obnovitelných zdrojů.

Pro úspěšné řešení dané problematiky je nutné splnit následující dílčí úkoly:

- Teoreticky se seznámit s principy probíhajícími na ČOV a nastudovat danou problematiku s využitím vědeckých prací a projektů zabývajících se touto problematikou. Získání poznatků problematiky z odborných vědeckých prací řešených České republiky, ale i ze zahraničních studií. Vysoká priorita bude věnována studiu provázanosti a závislosti jednotlivých procesů probíhajících při separaci nečistot z odpadní vody. Právě problematika procesů ČOV bude stěžejní pro vytvoření správného simulačního modelu a zaručí tak funkčnost celého systému.
- Teoretické zkušenosti osvojené studiem procesů probíhajících na ČOV je nutné aplikovat na různé reálné objekty ČOV. Tento krok je nezbytný pro získání všeobecného náhledu na různé principy fungování čistíren. Je nezbytné, aby teoretické znalosti byly provázány s praktickými zkušenostmi provozovatelů a odborníků, kteří mají letité zkušenosti s provozem a řízením ČOV. Jejich zkušenosti budou využity i při návrhu optimalizace a zefektivnění provozu.
- Pro vytváření reálného modelu bude nezbytné kvantifikovat energetických potřeby provozu čistírny odpadních vod, jak z pohledu tepelné tak i elektrické energie. Stanovit určité místa v technologii, kde je možné z provozu odčerpat nadbytečnou energii. U některých realizací čistíren je možné předpokládat nasazení podpory obnovitelných zdrojů (OZE) v procesech, kde bylo dříve energie nedostatek a tím dojde ke zvýšení účinnosti procesu.
- Součástí optimalizace provozu bude zohlednění environmentální politiky celého objektu ČOV. Do této oblasti budou zahrnuty požadavky na ekologický provoz, tak aby nedošlo k narušení přírodních podmínek v dané oblasti. A v poslední řadě nedošlo ke zhoršení životních podmínek pro člověka a ostatní faunu a flóru.
- Návrh základních algoritmů bude vytvořen z reálných dat zvolené ČOV, která bude splňovat základní parametry vhodné pro vytvoření simulačního modelu. Pomocí

vytvořeného modelu bude možné provést optimalizaci energetických toků a zefektivnit jednotlivé procesy čištění.

- Po analýze energie v jednotlivých procesech na ČOV, budeme moci stanovit, jaké množství energie lze odebrat a využít. Získanou energii můžeme využít v např. procesech, kde bylo energie nedostatek, nebo ztráty byly hrazeny z jiného zdroje.
- Po provedení optimalizace provozu ČOV bude možné získat určité množství přebytečné energie, kterou budeme moci využít mimo ČOV. Můžeme předpokládat, že energii budeme moci získat z odtokového objektu čistírny, kde bude možné využít např. tepelné čerpadlo pro využití zbytkového tepla a podle podmínek i malou vodní elektrárnu. Dalším předpokládaným zdrojem by mohl být kal separovaný z odpadní vody. Kal lze využít k výrobě bioplynu nebo po jeho usušení ve spalovacím procesu.

Využití OZE v technologických procesech. Při analýze jednotlivých procesů lze očekávat, že nalezneme určitá místa s nedostatkem energie pro požadovanou funkci, které jsou hrazeny z jiných zdrojů. Lze předpokládat, že je možné využít OZE k podpoře činnosti jednotlivých procesů nebo jako zdroj elektřiny pro podporu provozu. Lze uvažovat OZE jako malou vodní elektrárnu (MVE), fotovoltaické (FV) panely pro osazení vhodných ploch na přilehlých budovách ČOV popřípadě i na volných plochách kolem objektu ČOV, kogenerační jednotky spalující odpadní bioplyn, tepelné čerpadla využívající odpadní vodu a v poslední řadě spalování, předem vysušeného kalu.

4 ŘEŠENÍ

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, vzniklo v minulosti několik podobných projektu řešící podobnou problematiku energetické optimalizace provozů, řešenou ve spolupráci s technickou agenturou České republiky.

Při provádění průzkumu aktuálního stavu řešení, byly nalezeny přínosné publikace a nespočet řešení v rámci optimalizace a prováděních realizací v oboru čistírenství, vytvořené společností Asio, s.r.o. Tato společnost je také známá a uznávaná u vědecké veřejnosti. Proto byla společnost oslovena a vznikla žádaná spolupráce v rámci probírané problematiky. Jako další partner byla přizvána společnost zabývající se vývojem a výrobou automatizačních prvků. Díky jejímu dlouholetému působení na trhu a velkému množství zkušeností s řízením a automatizací byla oslovena společnost Teco, a.s. jako druhý silný partner. Společně se v rámci disertační práce vytvořily dva projekty pod záštitou Technologické agentury České republiky.

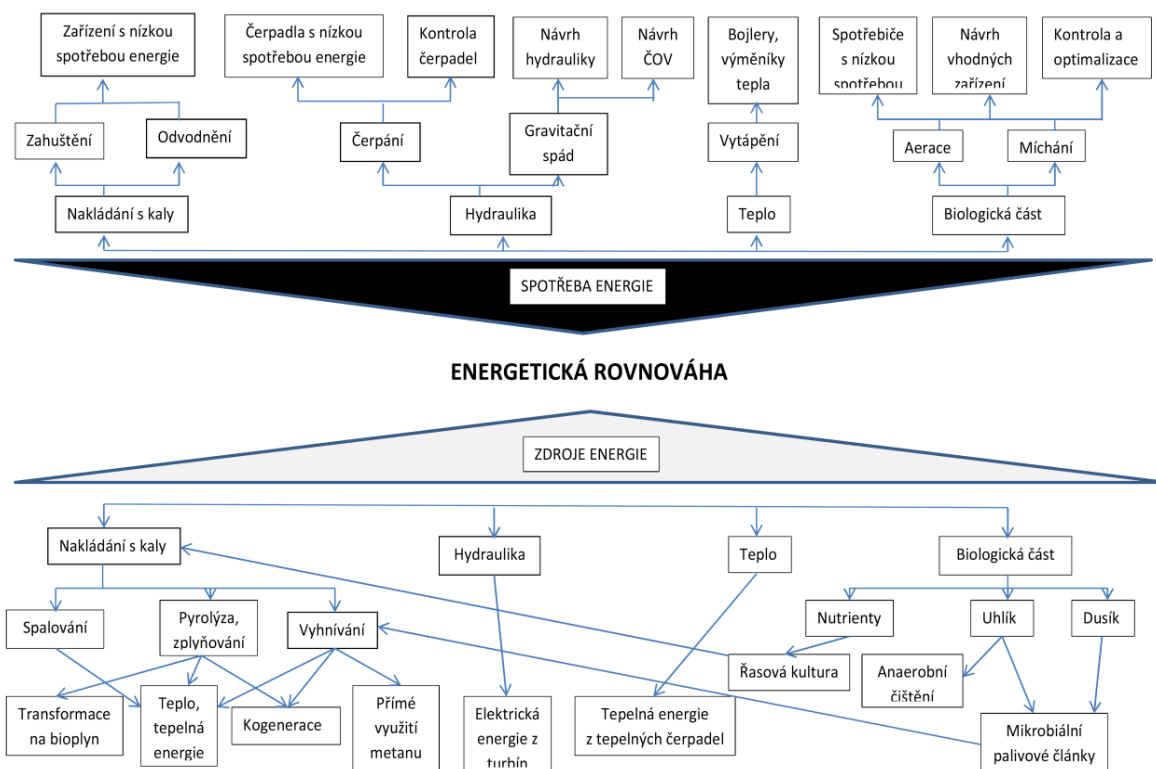
Obě společnosti mají na českém trhu bohatou zkušenost a lze je považovat za odborníky ve svých oborech. Jejich odbornost se již řadu let proplétá a společně spolupracují již řadu let na inovacích a řízení v oboru čistírenství a automatizace.

4.1 Analýza požadavků a potřeb ČOV

Ačkoliv odpadní voda obsahuje značné množství dále využitelné energie, je ve většině čistíren odpadních vod nutno energii na vyčištění odpadní vody ještě dodat. Proto je vhodné provést na čistírně bilanci energetických vstupů a výstupů. Příklad energetické bilance reálné ČOV je znázorněn na Obr. 4.1. Pokud se zaměříme na ČOV jako na zdroj energie, můžeme nalézt v procesech tři formy energie:

- Tepelnou – množství tepelné energie obsažené ve vodě je dáno měrnou tepelnou kapacitou vody.
- Kinetickou, potenciální – energie jsou závislé na rychlosti proudění odpadní vody a na velikosti spádu.
- Chemickou – energie obsažená v organické hmotě v odpadní vodě.

Uvedené energie v jednotlivých technologických procesech ČOV navzájem konvergují, jak při jejich vzniku tak i při zániku. Můžeme tedy říci, že potenciál energetických úspor můžeme hledat v několika oblastech [1].



Obr. 4.1 Potenciál energetických úspor pro vyvážené nakládání s energií [44]

4.2 Metody a postupy řešení

Jedním z prvních kroků pro vytvoření funkčního modelu je nutné si matematicky popsat jednotlivé části uvažovaných součástí čistírny a vhodně definovat energetické toky. Pro prvotní popis a snadnější definici jednotlivých energetických toků bylo odsouhlaseno využití velkých komunálních čistíren o velikosti kolem 100 000 EO. Aby bylo možné stanovit nejvhodnější lokaci ve spolupráci se společností Asio, ČVUT a s největším provozovatelem čistíren Energie AG bylo vytvářeno několik čistíren s různou technologickou úrovní.

Na základě posouzení těchto provozů je možné určit vhodnou ČOV a aplikovat možnosti a řešení energetické optimalizace. Pro stanovení vhodné ČOV byly vytvořeny podmínky, podle kterých jsou provozovny posuzovány z následujících hledisek:

- Technologického
 - Možnost změny stavebního uspořádání.
 - Změna technologie čištění.
- Energetického
 - Instalace nových pohonů s menší spotřebou a delší životností.
 - Regulace pohonů podle aktuální potřeby pomocí frekvenčních měničů.
 - OZE - využití OZE pro snížení spotřeby energií, nebo pro podporu technologických procesů.
- Bioplyn, kalové hospodářství

- Instalace vyhnívací nádrže, využití bioplynu např. v kogeneraci
- Úprava kalu, sušení kalu na žádané parametry a následné zpracování, spálení

4.3 Popis vybraných testovacích a ověřovacích ČOV

Ve spolupráci bylo vybráno 6 ČOV, které jsou z hlediska aplikace a ověření zajímavé a je možné, dokonce velice žádoucí, provést i navržené zásahy vedoucí k úsporám energie. Tým řešitelů navštívil všechny vytipované lokality a vyhodnotil je z hlediska využitelnosti pro řešenou problematiku, potažmo aplikaci modelovacího protokolu a jeho ověření. Navrženy byly: ČOV Polička, ČOV Chrudim, ČOV Beroun, ČOV Jindřichův Hradec, ČOV České Budějovice a ČOV Soběslav. Následující Tab. 4.1 shrnuje jejich kapacity a použité technologie čištění.

Tab. 4.1 Přehled základních parametrů navržených ČOV

ČOV	Navrhovaná kapacita EO	Technologie bez kalové koncovky
Polička	28 550	An – D – N
Chrudim	50 000	UN – R – D – N
Beroun	35 000	UN – [D – N] (oběhová aktivace)
Jindřichův Hradec	87 500	UN – An – D – N
České Budějovice	375 000	UN – An – R _{bioaugm} – D – N
Soběslav	9 300	UN – D – N

UN = usazovací nádrž, D = denitrifikace, N = nitrifikace, R = regenerace, An = anaerobie,; R_{bioaugm} = regenerace s bioaugmentací nitrifikace in situ

Z tohoto seznamu byly vybrány 3 ČOV, na kterých budou dále probíhat měření. Kritéria výběru jsou shrnuta v tabulce

Tab. 4.2. Kritéria byla hodnocena bodovou hodnotou 0 – 1, kdy 0 znamená, že nevyhovuje v parametru, nebo není potenciál; naopak 1 znamená, že vyhovuje, je potenciál. Vyhodnocením jsou potom součty logicky spolu souvisejících položek do 3 kategorií, představující:

a) využitelnost ČOV pro matematické modelování biochemických procesů, zvláště pak národně specifických procesů, jako jsou regenerace a bioaugmentace nitrifikace dávkováním kalové vody do regenerace,

b) potenciál energetických úspor, zahrnující současný technický stav zařízení a uplatnitelnost řídicích systémů, optimalizace chodů motorů, vytápění, OZE, apod.,

c) potenciál realizace – tzn. přenesení poznatků do praxe.

Na základě tohoto vyhodnocení byly vybrány ČOV České Budějovice, ČOV Chrudim a ČOV Polička. ČOV Chrudim byla upřednostněna před ČOV Beroun hlavně z důvodu zařazení regenerační nádrže a také pro širší možnosti aplikace vyvíjeného modelu. V následující kapitole jsou popsány provozy vybraných testovacích a ověřovacích ČOV včetně odběrových míst.

Tab. 4.2 Hodnocení potenciálu navržených ČOV

		Polička	Chrudim	Beroun	Soběslav	Jindřichův Hradec	České Budějovice
Potřebnost řešení pro Energii AG							
	názor zástupce ENERGIE AG	1	1	0	0	1	1
	optimalizace typu technologie	1	0	1	0	0	1
	plánovaná rekonstrukce	1	0	0	0	0	0
	potřeba intenzifikace ve stávajících objemech	0	0	0	0	0	0
	Suma	2	0	1	0	0	1
Ověření technologie pro řešení projektu							
	regenerace	1	1	0	0	1	1
	bioaugmentace	0	0	0	0	0	1
	problémy s dosahováním kvality odtoku	0	1	0	0	0	1*
	Suma	1	2	0	0	1	3
Kalové hospodářství							
	mezofilní anaerobní stabilizace	0	1	0	1	1	1
	termofilní anaerobní stabilizace	0	0	0	0	0	0
	nevyužívání tvorby bioplynu/bez anaerobní stabilizace	1	0	1	0	0	0
	Spalování přebytečného bioplynu - nedostatečná kapacita kogenerace	0	0	0	1	1	0
	Suma	1	1	1	2	2	1
Potenciál úspory energie, optimalizace							
	vytápění budov - kotelna	1	0	1	1	0	0
	čerpání	0	0	0	1	0	0
	míchání	1	0	1	1	1	1
	odvodňování	1	1	1	0	0	1
	aerace	1	1	1	0	1	1
	Suma	4	2	4	3	2	3
OZE							
	solární panely	0	1	1	1	1	1
	fotovoltaika	0	1	1	0	0	1
	deskové výměníky + Tepelná čerpadla	1	1	1	1	1	1
	tepelné čerpadlo vzduch - voda	1	1	1	1	1	1

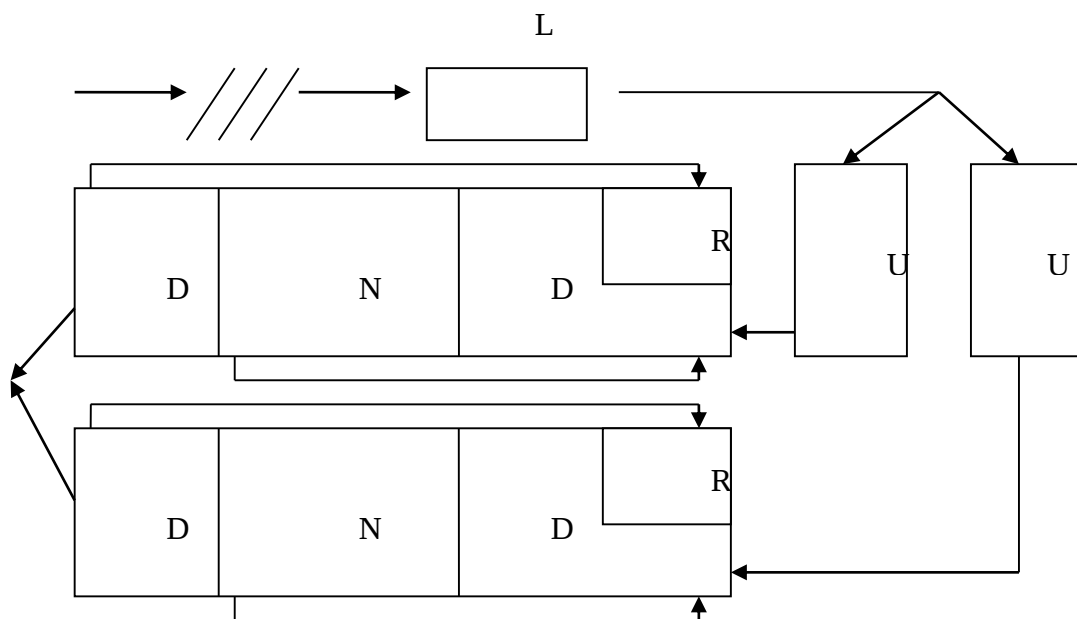
	hydroturbíny	1	1	1	0	1	1
	Suma	3	5	5	3	4	5
	Celkový potenciál	11	10	11	8	9	13
	Vyhodnocení						
	Využitelnost pro ověření biochemických modelů	1	3	0	1	2	4
	Potenciál energetických úspor	8	7	10	7	7	8
	Potenciál optimalizace technologie - realizace	2	2	0	0	1	2

4.3.1 ČOV Chrudim

ČOV Chrudim je mechanicko-biologická čistírna odpadních vod (schéma - Obr. 4.2) navržená původně pro 50 000 EO, protože kromě komunálních OV z města Chrudimi se zde měly čistit i průmyslové odpadní vody z lihovaru. ČOV byla navržena jako dvoulinková se společným hrubým předčištěním (česle a lapák písku), dále byla odpadní voda vedena přes rozdělovací objekt na dvě usazovací nádrže a po mechanickém předčištění na aktivace. Po ukončení výroby v lihovaru je kapacitně naddimenzována a v současné době je provozována střídavě vždy jen jedna linka aktivace. Výpadek průmyslových odpadních vod měl na provoz ČOV zásadní negativní dopad ve snížení poměru CHSK/N v přitékající odpadní vodě, což ovlivnilo účinnost procesu denitrifikace. Deficit dobře rozložitelných organických látek je v současné době řešen dávkováním umělého substrátu v nátokovém žlabu denitrifikace. Odstraňování fosforu je na této ČOV řešeno dávkováním železitého koagulantu do koncové sekce nitrifikační nádrže a separací chemického kalu společně s aktivovaným kalem v dosazovacích nádržích. Vratný kal je čerpán do aktivace přes regenerační nádrž, přebytečný kal je likvidován mezofilní anaerobní stabilizací. Vzniklý bioplyn je uskladňován v membránovém plynojemu a následně spalován v kogeneračních jednotkách. Stabilizovaný kal je odvodňován na odstředivce, kalová voda je vedena do přítoku na aktivaci (diskontinuálně). Důležité technologické prvky jsou na obrázcích

Z energetického pohledu by zde bylo možné vybavení provozovny novými přístroji s regulací. Na odtoku či přítoku by stálo za zvážení instalovat malou vodní elektrárnu, nebo tepelné čerpadlo v systému voda-voda. Využití FV panelů nebo solárních kolektorů je možné, jak na střechy provozoven, tak i na okolní pozemky. Hlavní roli by zde hrála návratnost a instalovaný výkon, poloha na osazení FV panely není úplně vhodná.

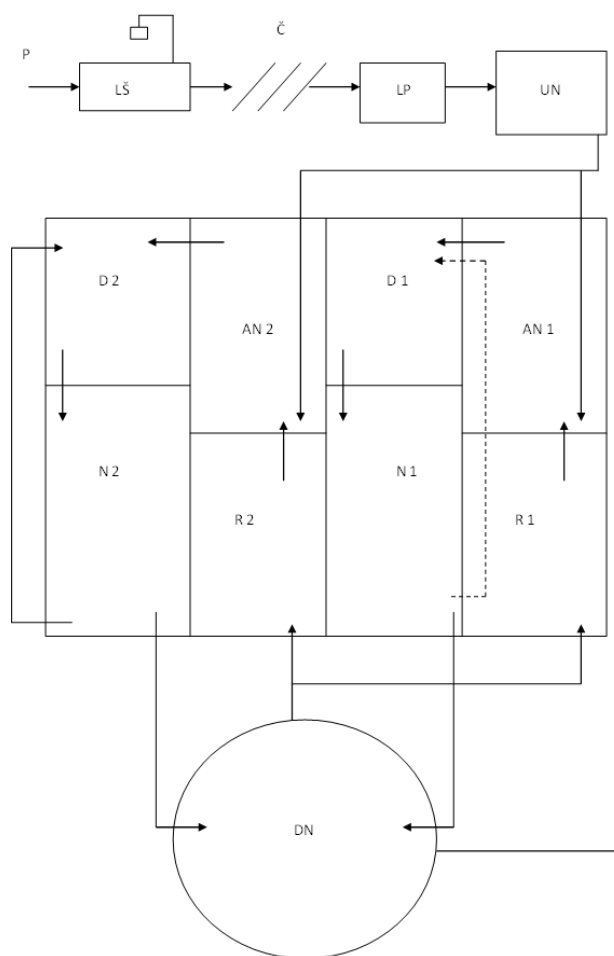
ČOV je vybavena bioplynovým zásobníkem, který dodává bioplyn do kogenerační jednotky o výkonu 130 kW z toho 40 kWe – elektrina je spotřebována v místě výroby, na vyprodukovanou elektrinu je čerpán zelený bonus. Zbylé teplo je využito na ohřev vyhnívací nádrže, vytápění administrativní budovy a ohřev TUV. Kal je zde odvodněn a je možné ho dále využít.



Obr. 4.2 Schéma ČOV Chrudim

4.3.2 ČOV České Budějovice

ČOV České Budějovice je mechanicko-biologická čistírna odpadních vod (schéma - Obr. 4.3) navržena pro 375 000 EO, kromě komunálních OV z města České Budějovice a některých okolních menších sídel, se zde čistí i průmyslové odpadní vody. Významnými producenty průmyslových odpadních vod jsou především budějovické pivovary a papírna. Ta ovšem nedlouho před začátkem monitoringu ukončila činnost, což se na ČOV projevilo významným poklesem přitékajícího organického znečištění a tím i poklesem poměru CHSK/N. ČOV je provozována jako dvoulinková se společným hrubým předčištěním (lapák šterku, hrubé a jemné česle, lapák písku a tuků), dále je odpadní voda vedena na usazovací nádrže a po mechanickém předčištění na aktivační linky. Obě biologické linky zahrnují anaerobní nádrž, denitrifikační a nitrifikační nádrž a nádrž regenerace kalu. Aktivovaný kal je od vyčištěné vody separován v kruhových dosazovacích nádržích. Většina vratného kalu je vedena do regenerační nádrže, část je odvětvena přímo do nátokového žlabu odpadní vody před anaerobní nádrž. Uspořádání technologické linky umožňuje zvýšené biologické odstraňování fosforu, což po většinu roku postačuje pro dosažení předepsaných odtokových koncentrací fosforu. Asi tři měsíce v roce je však nutné pro dosažení potřebných odtokových koncentrací uvést do provozu i technologii chemického srážení fosforu. Přebytkový kal je likvidován technologií mezofilní anaerobní stabilizace, vzniklý bioplyn je energeticky využit v provozu ČOV (kogenerační jednotky pro výrobu el. energie a tepla). Stabilizovaný kal je odvodňován na sítopásovém lisu a odstředivce. Kalová voda je řízeně dávkována do regenerační nádrže jako substrát pro proces bioaugmentace nitrifikace.



Obr. 4.3 Schéma ČOV České Budějovice

4.3.3 ČOV Polička

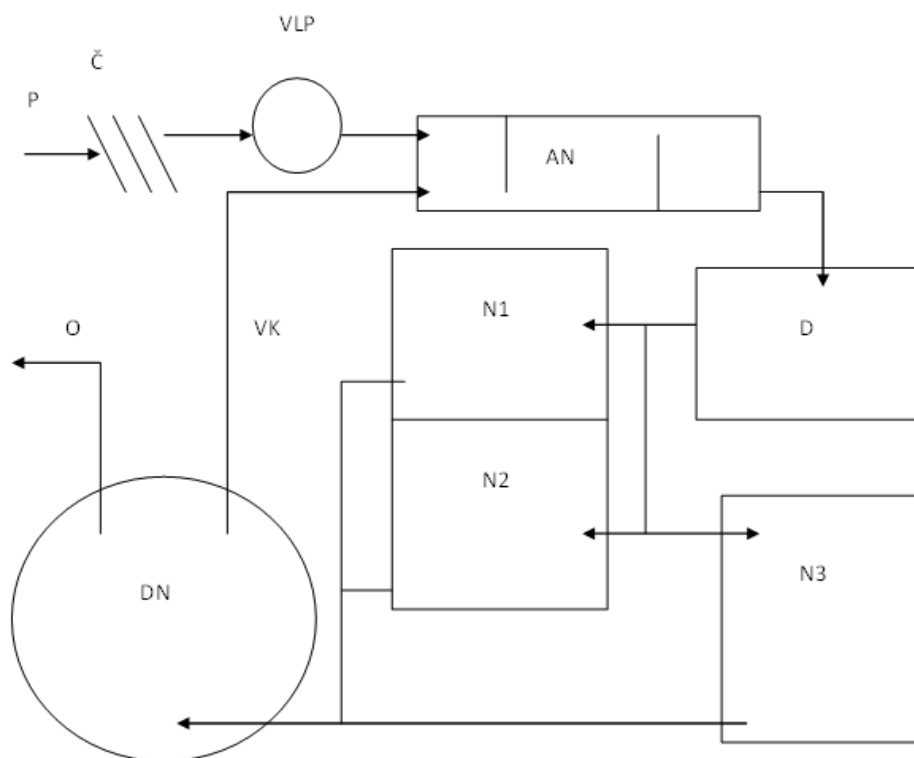
ČOV Polička je mechanicko-biologická čistírna odpadních vod (schéma - Obr. 4.4) navržená pro 28 550 EO. Jedná se o ČOV čistící především komunální odpadní vody z města, jediným významnějším průmyslovým znečišťovatelem je mlékárna, která má vlastní technologii předčištění, takže, pokud nedojde k havarijní situaci, její vliv na ČOV není velký. Pivovar a masokombinát mají vybudovány vlastní ČOV.

Technologická linka ČOV zahrnuje mechanické předčištění (česle s dezintegrátorem a lapák písku) a biologický stupeň. Není zde vybudována usazovací nádrž. Mechanicky předčištěné odpadní vody natékají do nádrže sestávající ze tří kompartmentů, která je provozovatelem označována za „regenerační“, ovšem není aerována. Podle provedených měření na ČOV a na základě provedených laboratorních testů lze tuto nádrž označit spíše za anaerobní (laboratorními kinetickými testy biologického odstraňování fosforu bylo potvrzeno, že v této nádrži skutečně dochází k uvolňování fosforu, mikroskopické rozbory potvrdily zvýšený výskyt fosfátakumulujících mikroorganismů. Dalším technologickým stupněm je denitrifikační nádrž a systém tří paralelně uspořádaných nitrifikačních nádrží s vlastními interními recykly aktivační směsi. Aktivovaný kal je od vyčištěné vody separován v jedné kruhové dosazovací nádrži. Na ČOV je instalována technologie pro chemické srážení fosforu, ale podle informací od provozovatele není dlouhodobě v provozu, protože ČOV je schopna se s přítokovými koncentracemi fosforu vyrovnat

biologickou cestou. Vratný kal je veden do anaerobní nádrže, přebytečný kal je čerpán do uskladňovacích nádrží kalového hospodářství a odvodňován na odstředivce.

Z technologického posouzení není možné provést změnu stavebního uspořádání, a tedy nelze provést ani změnu technologie. Po energetickém rozboru je možné instalovat novější pohony, a to do oblasti míchadel a čerpadel s kombinací s frekvenčními měniči by bylo možné docílit snížení spotřeby. Pokud se zaměříme na využití OZE na ČOV je možné instalovat tepelné čerpadlo v systému voda-voda na přítoku a odtoku z čistírny. Instalace FV panelů a solárních kolektorů je reálná, ale pouze v malém rozsahu, protože objekt ČOV obsahuje jen malé množství vhodných ploch na přilehlých budovách a okolních pozemcích.

Stabilizace kalu je zde provedena pomocí aerobní stabilizace, není produkován bioplyn a není možné jeho další využití. Sušení kalu by bylo možné pouze v malém množství pomocí zbytkového tepla získaného ze solárních kolektorů a tepelných čerpadel.



Obr. 4.4 Schéma ČOV Polička (pro přehlednost obrázku nejsou znázorněny interní recirkulace)

4.4 Popis a srovnání dostupných software

Podkapitola popisuje a jednotlivé matematické simulační programy, které umožňují modelovat biologii na čistírnách. Z uvedených softwarů bude uvedený jeden, který bude použitý pro získávání biologických údajů a pro validaci námi navrženého modelačního prostředku.

4.4.1 Popis dostupných software pro matematické modelování ČOV

- **ASIM (ETH/EAWAG, Švýcarsko)** – Jedná se o simulační program umožňující simulace mnoha různých aktivačních systémů. Program byl vyvinut pod vedením prof. Willi Gujera na Institute for Hydromechanics and Water Resources Management (ETH) v Curychu. Speciální licenci pro vědu a výzkum lze získat od ETH/EAWAG (www.asim.eawag.ch). Distributor komerční verze je společnost Holinger AG (www.holinger.com).

Simulované schéma ČOV může sestávat z až 10 různých reaktorů v sérii (aerobní, anoxické a anaerobní), včetně recyklů vratného kalu a interních recyklů, batch reaktorů, chemostatů, atd. Biokinetické modely mohou být libovolně definovány, upravovány a ukládány uživateli, nicméně je zahrnuto i několik předdefinovaných modelů v knihovně, která je součástí softwaru. Obsaženy jsou ASM1, ASM2d, ASM3. Kontrolní a řídicí mechanismy mohou být simulovány jednoduchým proporcionálním nebo on/off kontrolérem.

Program umožňuje modelování jak ustáleného stavu, tak i dynamické simulace. Dynamická vstupní data, jako jsou průtoky, přepínání procesů, teplota a operační parametry (intenzita aerace, odtah přebytečného kalu, velikosti recyklů, apod.) jsou zadávána z „variation“ file. Analýza dat je podpořena možností srovnávat naměřená data s výsledky simulace, které mohou být exportovány do tabulek pro další zpracování. Příklady aplikace ASIMU jsou dokumentovány v publikacích na webových stránkách programu (viz výše).

- **BioWin (EnviroSim, Kanada)** – Umožňuje nakonfigurovat většinu typů ČOV s použitím řady procesních modulů včetně variant aktivačních systémů a usazovacích nádrží (primární, ideal a 1D modely usazování). BioWin využívá biokinetického „supermodelového“ přístupu, kdy informace přechází mezi jednotlivými procesy bez konverze proměnných. „Supermodel“ obsahuje odstraňování uhlíkatého znečištění, dusíku a fosforu, fermentaci a produkci metanu, modelování přestupu plynů, chemické rovnováhy pro modelování pH a srážecích reakcí. Navíc jsou implementovány dvoustupňová nitrifikace, denitrifikace, Anammox proces umožňující modelování čistícího procesu ve vedlejším proudu.

Jak ustálený stav, tak dynamické simulace lze modelovat z hlavního okna simulátoru. BioWin využívá itinerář umožňující plánování a změnu různých operačních parametrů, jako nastavení koncentrací rozpuštěného kyslíku, průtoky vzduchu, teplot... Pro zobrazení výsledků simulací BioWin vytváří „Album“. „Album“ sestává ze série karet, které obsahují jakoukoliv kombinaci následujících formátů dat: široká škála tabulek, grafů a specifických dat pro jednotlivé procesy.

BioWin kontroler je separátní aplikace pro Windows (spouštěna společně s BioWin), která je s konfigurací BioWin propojena a umožňuje specifikaci řady funkcí používaných v provozech ČOV. Nabízí také využití několika typů kontrolérů od jednoduchých on/off po PID regulátory.

Detailní seznam aplikací BioWin je dostupný na stránkách společnosti EnviroSim www.envirosim.com.

- **GPS-X (Hydromantis, Kanada)** – Obsahuje velký výběr jednotkových procesů, které lze využít pro popis široké škály různých konfigurací ČOV. Přes 50 technologických uspořádání je přednastaveno, pokrývající systémy pro odstraňování nutrientů s integrovaným odstraňováním N a P (A/O, Bardenpho, VIP, Step Bio-P, kontaktní stabilizace, atd.). V bioreaktorech s aktivovaným kalem není omezen počet reaktorů – oxických, anoxických a anaerobních v libovolné kombinaci. Není také žádný limit počtu proudů a recyklů.

Standardně jsou v software obsaženy modely ASM1, ASM2d, ASM3 doplněné o teplotní závislosti New General a dvojestupňová nitrifikace (2-step Mantis). Jednodimenzionální modely dosazovacích nádrží mohou být jak reaktivní tak nereaktivní s Takácsovou funkcí sedimentace. Všechny modely lze v GPS-X editovat. Další podpůrné utility jsou např. asistent charakterizace přítoku (Influent advisor) a editor pro tvorbu Petersonových matic (Model Developer).

Program nabízí modelování jak ustáleného stavu, tak dynamické simulace. Program umí komunikovat s ostatními programy – tj. podporuje formáty Excelu a MATLABu. Propojení s MATLABem lze využít i pro návrh a modelování složitějších kontrolních mechanismů a regulátorů.

Reporty jsou generovány ve formátu Excelovských tabulek, obsahující grafy, obrázky, nastavení parametrů a výsledky simulací.

Seznam referencí a další informace včetně webinářů jsou dostupné na stránkách společnosti Hydromantis www.hydromantis.com.

- **STOAT (WRc, Velká Británie)** – V software (zkratka pro Sewage Treatment Operation Analysis over Time) jsou dostupné modely pro všechny běžné procesy na čistírnách odpadních vod, jak na straně čištění, tak na straně kalového hospodářství. Knihovna biochemických modelů obsahuje standardní IWA modely ASM1, AS2Md, ASM3 plus několikero jejich variací a Takácsův model pro dosazovací nádrže. Software nabízí také modelování specifických uspořádání aktivačního procesu, jako jsou oxidační příkopy a sekvenční batch reaktory (SBR). Software je v současnosti volně ke stažení na webových stránkách www.wrcplc.co.uk.
- **Další modelovací software** – Níže uvedené software nejsou popsány ani hodnoceny z hlediska dalšího využití v projektu, protože jimi řešitelé projektu nedisponují.
 - EFOR (<http://www.dhisoftware.com/efor>)
 - SIMBA (<http://www.ifak-system.com>)
 - WEST (<http://www.hemmis.com>)

4.4.2 Hodnocení a výběr software

Hodnocení software je provedeno na základě jednotlivých funkcí a zahrnutých procesů. Hodnoceny byly pouze softwary, kterými disponují řešitelé projektu. Následující Tab. 4.3 obsahuje přehled hodnocených parametrů.

Tab. 4.3 Porovnání software pro modelování ČOV

	ASIM	BioWin	STOAT	GPS-X
Stavba modelu	Jednoduchý layout, pouze aktivace	Jednoduchá pomocí předdefinovaných procesů	Jednoduchá pomocí předdefinovaných procesů	Jednoduchá pomocí předdefinovaných procesů
Zahrnuté modely	ASM modely	General, ASM modely	ASM modely, Vlastní model na bázi BSK5	New General, ASM modely
Modely sekundární sedimentace	NE	3 typy včetně Takacsova modelu nereaktivního	Takacsův model nereaktivního	2 typy včetně Takacsova modelu nereaktivního
	ASIM	BioWin	STOAT	GPS-X
Modely anaerobní stabilizace	Nejsou, ale možno implementovat. Nelze kombinovat s aktivací	Biokinetický model; ADM1	Jednoduché a komplexní modely pro mezofilní anaerobní stabilizaci	Zjednodušený model; ADM1
Hydrodynamické modely	Ideálně míchané reaktory, nebo jejich série	Ideálně míchané reaktory, nebo jejich série	Ideálně míchané reaktory, nebo jejich série	Ideálně míchané reaktory, nebo jejich série
Srážení fosforu		V jakémkoliv bodě (na základě chemické rovnováhy)	V jakémkoliv bodě (na základě chemické rovnováhy, kinetický model z ASM2)	V jakémkoliv bodě (kinetický model z ASM2)
Editace modelů	ANO	ANO	NE	ANO
Vkládání vstupních dat	Přímo do programu	Přímo do programu, nebo prostřednictvím MS excel	Přímo do programu, nebo prostřednictvím MS excel	Přímo do programu, nebo prostřednictvím MS excel, nebo textových souborů se striktním dodržením formátování
Výstupní data	Tabulky a grafy	Volitelné z několika typů	Tabulky nebo X-Y grafy	Volitelné z několika typů

		grafů, report obsahuje grafickou i tabulkovou část; grafy je možno formátovat		grafů, report obsahuje grafickou i tabulkovou část; grafy není možno formátovat
Zkušenosti řešitelů	+++	+	++	+++

Pro další práci byl zvolen software GPS-X, protože nabízí: širokou škálu předdefinovaných procesů, možnost editace modelů, příjemné uživatelské prostředí, výstupy ze simulací v přehledném MS excel sešitu a oba řešitelé tento software vlastní a mají s ním bohaté zkušenosti. Toto rozhodnutí samozřejmě nevylučuje možnost používat jiného programovacího prostředí či jiný ze software, ale pravděpodobně nebude zabezpečena plná kompatibilita výstupů s modely vytvořenými v POWERSIM, který bude používán pro modelování energií a ekonomiky, bez dalších úprav.

4.4.3 Identifikace nezahrnutých procesů ve zvoleném software

Zaměření vyvíjeného modelu je jednoznačně zaměřeno na zlepšování ekonomiky čištění odpadních vod pomocí realizace úsporných opatření, jak na základě změn technologií, tak optimalizací na straně technologické i strojní, a zavedením zcela nových procesů generujících energii – obzvláště z obnovitelných zdrojů. Ačkoliv nejnovější verze software již odráží skutečnost, že energie jsou tím, co se bude v čistírenství intenzívně řešit, tím, že se začínají objevovat jednoduché funkce, které počítají spotřebu např. míchadel, čerpadel a dmychadel, nelze říci, že jsou tyto výpočty plně integrovány do matematických modelů – resp. Bylo by vhodné je buď rozšířit o parametry lépe charakterizující použitá zařízení nebo energetickou náročnost modelovat vedle biochemické simulace např. pomocí modulů v POWERSIM. Protože je posledně zmíněný přístup nejlépe přenositelný mezi jednotlivými simulačními softwary, zvolili jsme tento přístup jako základ pro implementaci knihoven modelující strojní zařízení a OZE. Předpokládá se implementace především:

- OZE:
 - fotovoltaiky,
 - solárních kolektorů,
 - čerpadel v turbínovém provozu,
 - výměníků v kombinaci s tepelnými čerpadly.
- Knihovny podporující výpočty a návrh:
 - dmychadel,
 - čerpadel.

Míchadla jsou z dynamického hlediska nezajímavá a jednodušší přístup než simulovat míchání, je poptat vhodná míchadla u výrobců pro dané objemy a konfigurace nádrží. Aktuální spotřeba míchadel se pak prakticky nemění a není pro to nutné vytvářet dynamickou knihovnu.

Zvolený software GPS – X zahrnuje nespočet dynamických knihoven procesů, včetně „nových“ jako jsou membránové bioreaktory, předfermentační nádrže, nitritace – anammox a další včetně biochemických modelů, které tyto procesy s určitými zjednodušeními a limitacemi popisují. Vzhledem k našim národním zvyklostem při návrzích a výstavbě ČOV, je zvykem zařazovat na ČOV regenerační zónu, kde dojde k vyčerpání zásobních organických látek a tím ke zvýšení specifických rychlostí odbourávání organického znečištění v aktivaci, v důsledku čehož je možné tyto reaktory navrhovat menší. Z hlediska popisu regeneračního reaktoru se jedná o nádrž, kde je aktivovaný kal přiváděn z dosazovacích nádrží jako vratný kal – tzn. má vyšší sušinu a voda je již vyčištěná – neobsahuje substrát, proto se dostáváme při běžně používaných matematických modelech využívajících popis biochemických pochodů pomocí monodovské kinetiky do oblastí, kde již velmi výraznou roli hrají tzv. přepínací funkce a jejich pulsaturační konstanty. Z hlediska matematického modelování nelze tento proces popsat všemi matematickými modely a je nutné využívat pouze ty, které zahrnují akumulaci substrátu mikroorganismy jako parametr X_{STO} . Prakticky se jedná např. o model ASM3 a jeho modifikace. Při modelování regenerační zóny na ČOV se zvýšenou akumulací fosforu je potom vhodné využít modifikaci ASM3+BioP. Vzhledem k tomu, že neexistují reference k modelování regenerační zóny, je potřeba použití těchto modelů ověřit a s největší pravděpodobností je i modifikovat.

Vzhledem k tomu, že biochemické procesy probíhající v regenerační zóně a při dávkování kalové vody do této zóny je potřeba podložit důkladnou vzorkovací kampaní a důsledným vyhodnocením ve spojení s matematickým modelem, budou případné úpravy modelů a doporučení navrženy v následujícím roce řešení. Potřebná data budou naměřena na vybraných testovacích lokalitách.

4.5 Návrh schémat jednotlivých OZE

Na základě matematického popisu a návrhových kritérií byly vytvořeny vývojové diagramy znázorňující postup modelování a případně i návrhu výše uvedených OZE. Zároveň jsou transparentním způsobem naznačeny interakce jednotlivých parametrů, což značně ulehčuje pochopení a modelování takto komplexních systémů.

4.5.1 Fotovoltaický systém – PŘÍLOHA A

Vývojový diagram fotovoltaického systému je rozdělen na tři části, které spolu vzájemně korelují. První část popisuje návrh a topologii fotovoltaického systému celkové zamýšlené instalace. Výstupem je instalovaný výkon na objektu dle počtu a jmenovitého výkonu jednotlivých panelů. Návrh zohledňuje rozměry plochy pro instalaci a aktuální a požadovaný sklon plochy. Druhá část je zaměřena na určení skutečné produkce elektřiny za roční období. Zohledňují se zde parametry polohy realizace, natočení vzhledem k jihu a teplota ovlivňující účinnost panelu. Matematické modelování se následně uvažuje se zavedením dynamické proměnné, což je v tomto případě časově proměnlivá intenzita osvětlení panelů. Třetí část hodnotí ekonomiku celkové realizace fotovoltaické elektrárny, která zohledňuje dotační program a náklady na provoz a pořízení celé realizace. Pro vyhodnocení jsou použity metody prosté návratnosti, vnitřního výnosového procenta a metody čisté současné hodnoty. Součástí návrhu byly vytvořeny databáze s parametry panelů a dalšího příslušenství pro možnosti kalkulace reálného provedení fotovoltaické elektrárny.

4.5.2 Solární kolektory – PŘÍLOHA B

Vývojový diagram popisuje možnosti a velikosti instalace pro solární kolektory. Je zde uvažována problematika vzájemného zastínění a sklon instalační plochy a její velikost dle uvažovaného prostoru. V návrhu jsou zohledněny povětrnostní vlivy na solární panely a energie využitelná ze slunečního svitu. Dle databázového souboru jednotlivých výrobců a parametrů je spočítán výkon a po vyhodnocení je možné určit celkový výkon. Z výsledných parametrů lze následně určit cenu instalace s uvážením dalšího příslušenství. V závěru je stanovena celková produkce tepelné energie z navrhovaného zdroje a kalkulace celkové návratnosti investice včetně odhadovaných provozních nákladů, přičemž je možné do kalkulace zahrnout i finanční podpory. Matematické modelování potom probíhá zavedením dynamické proměnné, což je v tomto případě časově proměnlivá intenzita osvitů panelů. Odlišnosti od fotovoltaických panelů jsou hlavně ve výstupních veličinách, jelikož kolektor pracuje s tepelnou energií a umožňuje tak podporovat jednotlivé procesy např. ohřev anaerobní stabilizace a tím snižovat provozní náklady. Použití je také možné na vytápění administrativních budov a pracovních prostorů.

4.5.3 Malá vodní elektrárna – PŘÍLOHA C

Návrh diagramu začíná stanovením energie koryta snížený o ztráty např. jako jsou nečistoty usazeniny a různé překážky. Díky základním vstupním parametrům jako je spád a průtok je stanoven teoretický energetický potenciál toku. Pro určení vstupních veličin jsou využita historická data od provozovatele nebo z vlastních měření průtoku. Po stanovení teoretického výkonu koryta je doporučen typ turbín, jsou navrženy parametry a účinnost zdroje. Společně s automatickým výběrem generátoru z databáze ze stanovených parametrů je určen celkový výkon zdroje a dle provozní doby je stanovena celková roční produkce energie. Po stanovení technických parametrů jsou stanoveny provozní a investiční náklady a je provedeno ekonomické hodnocení podobně jako u předchozích zdrojů.

4.5.4 Tepelné čerpadlo – PŘÍLOHA D

Vývojový diagram tepelného čerpadla je navržen pro získání energie z vody, proto typ pracovního média je voda. Dle požadovaných vstupních dat dojde k výběru tepelného čerpadla a z připravené databáze je následně vybrané nejvhodnější typ. Dojde ke kalkulaci ceny a z provozních charakteristik čerpadla je stanovený zisk energie během roku. V závětu výpočtu jsou stanoveny provozní a pořizovací náklady, je zde porovnání úspory energie při provozu TČ a naproti tomu stejná energie získaná elektrickým ohřevem.

4.5.5 Dmychadlo – PŘÍLOHA E

Vývojový diagram popisuje určení výkonu aerace a stanovení příkonu dmychadla dle výpočtu vycházející z parametrů dmychadla a účinnosti jednotlivých částí. Po stanovení těchto hodnot jsou dle vstupních požadavků na kyslík v nádržích aerace navrženy 3 možné scénáře provozu dmychadel.

- Spotřeba energie a průběh při připojení dmychadla řízeného pomocí měniče
- Připojení dmychadla dle časového plánu bez regulace

- Množství dodávaného vzduchu regulované pomocí kaskády dvou nebo třech dmychadel

Jako vstupní data pro modelování požadované spotřeby elektřiny dmychadel budou použity průběhy simulované v GPS-X, kde po definici a konfiguraci čistírny data exportují do tabulkového editoru Excel.

4.6 Matematický popis vybraných zdrojů energie

Uvažujeme-li optimalizaci ČOV, je zapotřebí brát v úvahu procesy probíhající na čistírně jsou spolu provázané a navzájem se ovlivňují. Pokud by došlo k odebrání velkého množství energie z jedné části, mohla by tato energie scházet v jiném místě energetického procesu. Proto je dobré zvážit možnost využití energie z externích zdrojů. Příkladem pomocného zdroje může být využití energie OZE pro podporu procesů na ČOV. Jako příklad si můžeme uvést využití odtokové vody z ČOV, na kterou lze nainstalovat malou vodní elektrárnu, dále z této vody můžeme získat tepelnou energii pomocí tepelných čerpadel. V dalších částech můžeme využít bioplyn v kogenerační jednotce a výstupní teplo použít na sušení kalu. Zmíněný kal, lze sušit i pomocí solárních kolektorů. Existují různé varianty OZE, které je možné uvažovat pro snížení provozních energií [45].

Následující kapitola se bude zaměřovat na teoretický popis a rozbor jednotlivých OZE, které bude možné uvažovat a vytvořený přehled umožní tyto zdroje modelovat dle zvoleného softwaru.

4.6.1 Model Slunce a jeho energie dopadající na zemský povrch

Sluneční energie představuje drtivou část energie, která je na Zemi dále využívána v dalších formách. Pokud uvažujeme zákon zachování energie, dopadající sluneční energie se přeměňuje na různé formy energie. Za zmínku stojí energie uložená do fosilních paliv, větru, biomasy.

Energie uvolněná ze slunce se šíří prostorem (vakuum), jakmile dorazí na zemskou atmosféru zářivý tok je $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Tento tok nazýváme sluneční konstanta G_0 .

Pokud chceme určit směr dopadu paprsků na orientovanou plochu, je to dáno vzájemnou polohou Slunce nad obzorem a slunečné plochy. Pokud uvažujeme, že osluněná plocha má statickou polohu vůči světovým stranám a určitý úhlem sklonu, poloha Slunce se mění v závislosti na aktuálním dni a roční době. Polohu Slunce můžeme určit jeho výška nad obzorem h a jeho azimutem γ_s . Pro tyto dva úhly platí [43]:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (4.1)$$

$$\sin \gamma_s = (\cos \delta / \cos h) \sin \omega \quad (4.2)$$

Sluneční deklinaci označujeme δ , tedy kde v daný den v pravé poledne (12 hodin) je Slunce kolmo nad obzorem. Symbol φ označuje zeměpisnou šířku, ω je časový úhle v obloukových stupních, měřených od 12. hodiny v poledne (jedna hodina odpovídá 15°). Azimut slunce γ_s se měří od směru jih ve směru otáčení hodinových ručiček jako kladná hodnota (+) a ve směru proti otáčení hodinových ručiček jako záporná hodnota (-). Vyplývá to ze způsobu měření časového úhlu

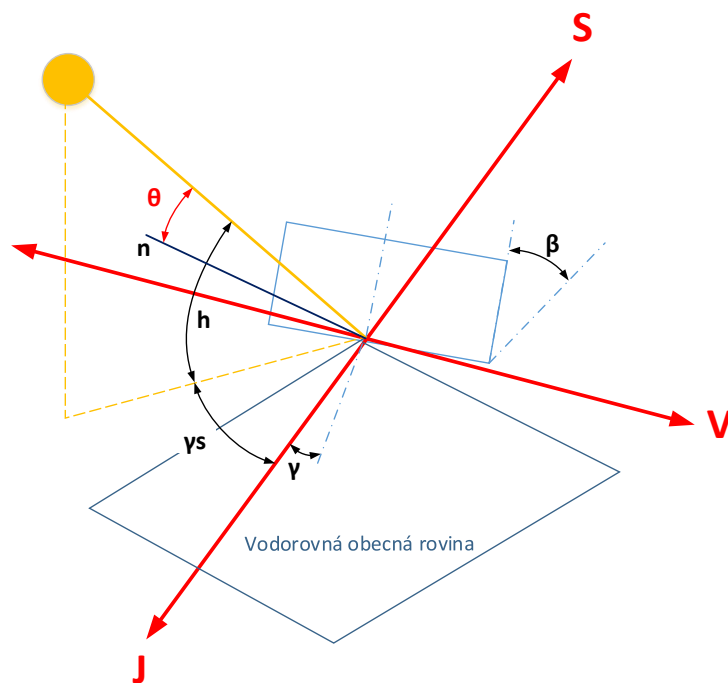
ω , pro hodiny po 12. hodině v poledne se měří jako kladná hodnota (+) a pro hodiny před 12. hodinou v poledne jako záporná hodnota (-). Sluneční deklinace se během roku mění, pro každý den má jinou hodnotu. Sluneční deklinace δ pro libovolný den v roce se vypočítá ze vztahu [43]:

$$\delta = 23,45^\circ \sin(0,98^\circ D + 29,7^\circ M - 109^\circ) \quad (4.3)$$

Kdy D je pořadí dne v měsíci a M je pořadí měsíce v roce. Pro běžné výpočty postačí použít jedinou hodnotu δ pro celý měsíc. Běžně se počítá s deklinací pro tzv. charakteristický den v měsíci (volí se 21. den v daném měsíci), pro něj se pak počítají všechny parametry určující polohu slunce nad obzorem a také intenzita záření. Intenzita slunečního záření vypočítaná pro charakteristický den v měsíci se pak považuje za průměrnou hodnotu pro celý příslušný měsíc. Tento postup je vyhovující při výpočtech, pro něj jsou k dispozici i ostatní klimatické faktory jen jako průměrné měsíční hodnoty. Úhel dopadu slunečních paprsků θ je úhel, který svírá normála osluněné plochy se směrem paprsků. Při známé výšce Slunce nad obzorem h (m) a známém azimutu slunce γ_s lze určit úhel dopadu slunečních paprsků θ na obecně orientovanou a skloněnou plochu ze vztahu [43]:

$$\cos \theta = \sin h \cos \beta + \cos h \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (4.4)$$

Kde úhel β je sklon osluněné plochy od vodorovné roviny a γ je azimutový úhel normály osluněné plochy, který se stanovuje podobně jako azimut Slunce [43].



Obr. 4.5 Geometrie slunečního záření a obecné nakloněné roviny

Sluneční záření můžeme rozdělit na dvě složky a to na přímé a difúzní sluneční záření. Přímé sluneční záření se vyznačuje mnohonásobně vyšší intenzitou v jednom směru než v ostatních, zatímco difúzní sluneční záření má intenzitu ve všech směrech stejnou (izotropické). Lze

konstatovat, že přímé záření je oproti difúznímu závislé na úhlu dopadu paprsků. Intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke směru paprsků G_{bn} je dána následujícím vzorcem [43]:

$$G_{bn} = G_0 \exp(-Z/\varepsilon) \quad (4.5)$$

Symbol Z určuje znečištění atmosféry a ε je součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa. Intenzita přímého záření na obecně položenou plochu je dána vztahem:

$$G_b = G_{bn} \cos \theta \quad (4.6)$$

Difúzní záření vzniká v atmosféře rozptylem o molekuly plynů ve vzduchu, částčky prachu a mraky. K difúznímu záření se počítá i část přímého záření, která se odrazí od okolních ploch (odražené sluneční záření). Intenzitu difúzního záření lze přibližně vypočítat dle následujícího vzorce:

$$G_d = 0,5 (1 + \cos \beta) G_{bh} + 0,5 r (1 - \cos \beta) (G_{bh} + G_{dh}) \quad (4.7)$$

Kde r popisuje reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky (0,15 – 0,25), G_{bh} je intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu a G_{dh} intenzita difúzního slunečního záření na vodorovnou plochu [43].

Vztahy pro přímé a difúzní sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu jsou:

$$G_{bh} = G_{bn} \sin h \quad (4.8)$$

$$G_{dh} = 0,33(G_0 - G_{bn}) \sin h \quad (4.9)$$

Celkového slunečního záření dopadající na obecnou plochu je dána součtem obou složek:

$$G = G_b + G_d \quad (4.10)$$

Pokud chceme stanovit teoreticky možné denní množství dopadající energie $H_{den, teor}$ je možné zjistit integrací intenzity slunečního záření G od východu do západu Slunce, tedy za dobu teoretické doby slunečního svitu τ_{teor} . Teoreticky možné množství energie $H_{den, teor}$ dopadá na osluněnou plochu jen ve slunečních dnech, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou teoreticky možnou dobu a lze ji stanovit dle výpočtu:

$$\tau_{teor} = \frac{2 \cdot T_{1,2}}{15^\circ} \quad (4.11)$$

Kde $\tau_{1,2}$ značí časový úhel východu a západu Slunce:

$$\tau_{1,2} = \arccos(-tg\varphi \cdot tg\delta) \quad (4.12)$$

Během dne se však střídá jasná obloha s oblohou zataženou mraky, kdy dopadá jen difúzní záření. Z klimatických údajů je možné za delší období (měsíc) zjistit skutečnou dobu slunečního svitu τ_{skut} . Potom lze vyjádřit tzv. poměrnou dobu slunečního svitu:

$$\tau_r = \tau_{skut}/\tau_{teor} \quad (4.13)$$

Hodnoty poměrné doby slunečního svitu pro některá místa ČR jsou uvedeny v tabulkách. Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu za den můžeme získat ze vztahu:

$$\tau_r = \tau_{skut}/\tau_{teor} \quad (4.14)$$

Pro 50° severní šířky a s přípustnou přibližností pro celou ČR jsou hodnoty teoreticky možného množství energie dopadajícího na den $H_{den, teor}$ a hodnoty energie difúzního záření dopadajícího za den $H_{den, dif}$ tabelovány. Podobně jako skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu za den H_{den} lze počítat skutečné množství energie dopadající za měsíc $H_{mēs}$

$$H_{mēs} = n \tau_r H_{den, teor} + n (1 - \tau_r) H_{den, dif} = n H_{den} \quad (4.15)$$

Tedy lze určit střední intenzita slunečního záření $G_{stř}$ a následně teoretickou denní dávku slunečního záření, integrací slunečního záření plochy od východu T_1 do západu T_2 Slunce

$$G_{stř} = H_{den, teor}/\tau_{teor} \quad (4.16)$$

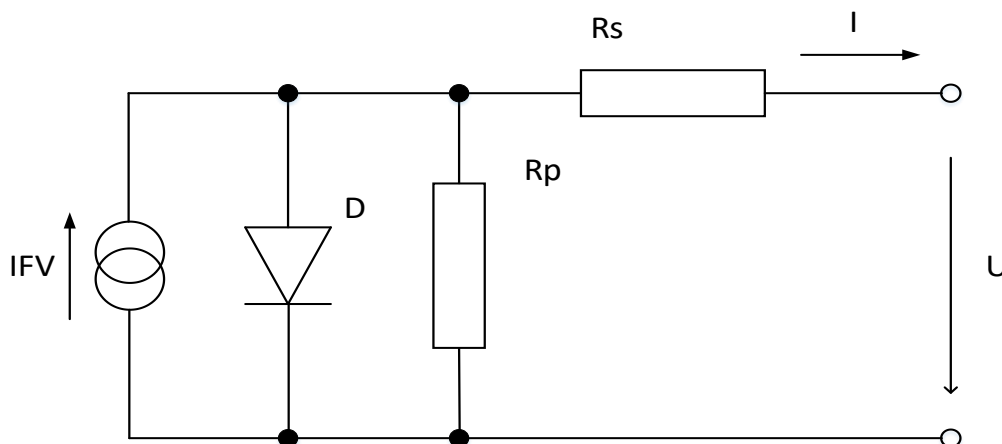
$$H_{den, teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G_{stř} dT \quad (4.17)$$

4.6.2 Fotovoltaický panel

Prvopočátek vývoje fotovoltaických (FV) panelů byl zaměřen převážně pro kosmický průmysl a napájení družic. Později došlo k rozšíření na zemi v různých aplikacích pro nezávislé napájení elektrických spotřebičů. Principiálně fungují na základě fotoelektrického jevu, kdy fotony dopadajícího ze Slunce na vrstvu polovodiče (převážně křemíku) následně se difuzí vytvoří prolnutí materiálu polovodičů typu P a typu N. Jeden typ má přebytek elektronů a druhý přebytek kladných děr. Do tohoto spojení narážejí fotony a vytváření v diodě nerovnovážný stav. Díky tomuto stavu putují elektrony k opačné elektrodě a rekombinují s děrami. Díky rekombinaci vzniká elektrické pole, a pokud připojíme vnější obvod, začne obvodem procházet elektrický proud. Na základě P-N přechodu je konstruován FV článek, jedná se o tzv. velkou polovodičovou diodu, která dokáže při ostřelování fotony produkovat elektrický proud. Tyto články se spojují sériově a tvoří

se z nich FV panel. Články v panelu jsou chráněny před vnějšími vlivy pomocí tvrzeného skla s antireflexní vrstvou, která napomáhá propustnosti fotonů k jednotlivým článkům.

Pro lepší pochopení principu FV panelu lze nakreslit náhradní schéma FV článku, díky kterému lze FV článek popsat matematicky.



Obr. 4.6 Náhradní schéma fotovoltického článku.

Obecná rovnice popisující náhradní schéma FV článku je ve tvaru:

$$I = I_L - I_0 \left[\frac{e(U + IR_S)}{n_{FV}kT} - 1 \right] - \frac{(U + IR_S)}{R_P} \quad (4.18)$$

kde I je proud který článek dodává do zátěže, U je napětí na svorkách článku při dané zátěži, I_{FV} je fotoproud úměrný zářivému toku, I_0 je nasycený svodový proud v závěrném směru, e je náboj elektronu, k je Boltzmanova konstanta, T je termodynamická teplota článku a n je koeficient, který respektuje kvalitu fotovoltického prvku z hlediska materiálového složení a jeho hodnota se pohybuje řádově v oblasti jednotek. R_S a R_P jsou sériový a paralelní odpor. Znalost velikosti sériového a paralelního odporu fotočlánku nám dává informaci o jeho kvalitě. Příliš vysoká hodnota sériového odporu způsobuje, že svorkové napětí fotočlánku bude tím menší, čím bude větší úbytek napětí na sériovém odporu. Příliš nízká hodnota paralelního odporu nás informuje o vadném článku; FV článek se chová, jako by byl zevnitř zkratován.

V případě, že sériový odpor je malý a paralelní odpor je velký (kvalitní článek) potom můžeme jejich vliv zanedbat a lze použít zjednodušený model daný vztahem.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{n_{FV}kT}\right) - 1 \right] \quad (4.19)$$

Pro stanovení optimálního výkonu FV panelu je nutné znát polohu Slunce na obloze a zohlednit vzájemné zastínění panelů, orientace a sklon panelu či FV pole

Mezi další důležité aspekty návrhu modelu FV systému je správné rozmístění panelů na požadované ploše při ideálním sklonu, tak aby nedocházelo k jejich vzájemnému zastínění

4.6.3 Solární kolektor

Ploché solární kapalinové kolektory jsou v oblasti solární tepelné techniky významnou skupinou. Jejich výhodou je relativně jednoduchá konstrukce, schopnost využít i difúzní záření a v současné době také estetický vzhled spojený s možností integrace do obálky budovy. Účinnost solárních kolektorů lze hodnotit analytickými výpočetními vztahy, které vycházejí z energetických bilancí tepelných toků v kolektoru na základě fyzikálních vlastností jednotlivých částí kolektoru a experimentálním testováním podle standardních metodik za definovaných okrajových podmínek. Jelikož v posledních letech jsou uváděny do praxe české ekvivalenty evropských norem v oblasti využití sluneční energie, je v tomto článku zohledněna terminologie a značení předepsané těmito normami [46]. Účinnost solárního kolektoru lze získat dle následujícího vzorce. Jedná se o střední denní účinnost, která vychází následujících parametrů, kde η_0 je optická účinnost solárního kolektoru, směrnice vyjadřuje tepelné ztráty solárního kolektoru (součinitel přestupu tepla), a_2 křivka vyjadřuje zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání. T_m je pak střední teplota teplonosné latky v kolektoru a T_a teplota okolí a G střední sluneční ozáření během dne na uvažovanou plochu (sklon, orientace, předpokládá se jasný den).

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) - a_2 \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)^2 \quad (4.20)$$

Teoretický využitelný zisk kolektoru dle TNI 73 0302 můžeme určit ze skutečné dávky slunečního záření dopadající na plochu kolektoru, plochu absorberu a paušální srážky uvažující typ solární soustavy, dle velikosti a využití.

$$Q_k = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (4.21)$$

4.6.4 Malá vodní turbína

Využitelnost malých vodních turbín na čistírně se do jisté míry jeví jako velmi účelné, kdy lze uvažovat umístění turbíny na nátoku do ČOV nebo na jejím odtoku, kdy už vyčištěná voda odchází z čistírny do lokálních vod. Bohužel využitelnost turbín je do jisté míry značně znevýhodněna malým spádem, množstvím a pravidelností přitékající odpadní vody, či vytékající vody z čistírny a v neposlední řadě vzniká problematika využití z důvodu znečištění vody na jejím nátoku, kdy voda obsahuje jak organické tak i anorganické zbytky, které mohou znečišťovat turbínu. Mezi hlavní výhody Bánkiho turbíny patří pracovní rozsah při použití dvousekční konstrukce turbíny, kdy sekce jsou rozděleny v poměru 1/3 a 2/3, tím je možné docílit plnění v rozsahu od 8% až po 100% průtoku turbínou. Regulace se provádí pomocí regulační klapky pro každou sekci jedna automaticky dle průtoku a zaplavení komor v přiváděči.

Z rozboru využitelnosti různých typů turbín v porovnání s velikostí čistíren byla zvolena turbína Bánkiko, která má díky její konstrukci a provedení samočistící vlastnosti.

Pro modelování tohoto zdroje jsme použili následující parametry návrhu turbíny. V prvním kroku jsme určili potenciál využití koryta přítoku/odtoku, který byl odvozen od teoretického výkonu.

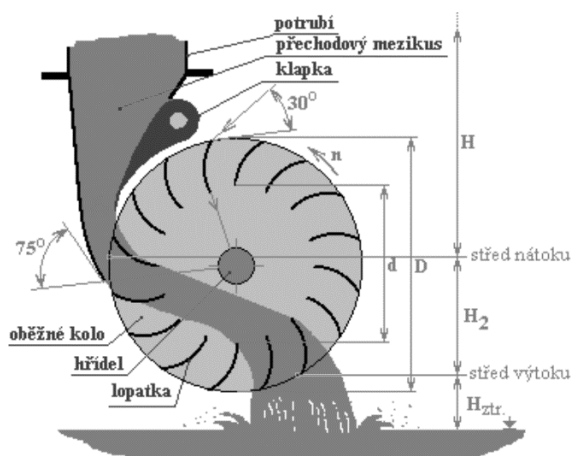
$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (4.22)$$

Kde je hustota vody, gravitační zrychlení, průtok kanálem, je uvažovaný spád. Pro určení skutečného el. výkonu je nutné stanovit jednotlivé účinnosti zařízení a ztráty v korytě, tedy celkovou účinnost.

$$\eta_C = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{př} \cdot \eta_{koryta} \quad (4.23)$$

Kde účinnost turbíny značíme, účinnost generátoru, případně účinnost převodu a uvažujeme i zde účinnost kanálu, protože v důsledku zanášení, zarůstáním a různých překážek dochází k nárůstu odporu kladeného protékající vodě.

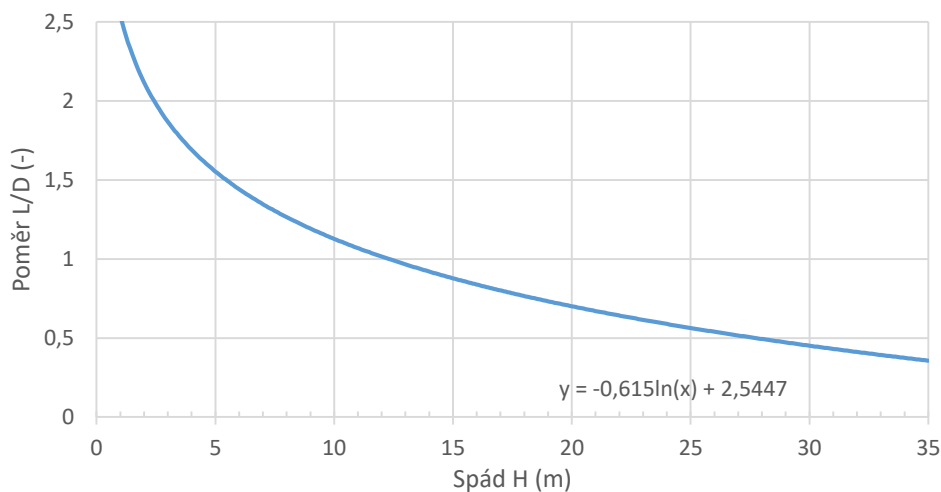
Pro výpočet rozměrů a parametrů Bánkiho turbíny, byly do modelu zahrnuty následující výpočty parametry dle Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Popis parametrů Bánkiho turbíny [47].

Pro výpočet bylo nutné zvolit vhodný poměr mezi šířkou kola (L) a jeho průměrem (D). Tento poměr L/D lze nazvat součinitelem, který je závislý na velikosti spádu. Lze jej určit z následujícího grafu, pro účely modelování byla stanovena rovnice reprezentující průběh závislosti spádu na poměru L/D .

$$y = -0,615 \ln(x) + 2,5447 \quad (4.24)$$



Obr. 4.8 Graf určující součinitel k_{LD} .

Dále pro návrh parametrů je třeba určit rychlost vody,

$$c_1 = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot H} \quad (4.25)$$

Plochu štěrbiny určíme dle vzorce:

$$a = \frac{Q}{c_1 \cdot 1000} \quad (4.26)$$

Následně lze spočítat maximální otevření štěrbiny

$$s = 1000 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot k_{ostř}}{k_{LD}}} \quad (4.27)$$

je součinitel ostříku (pro Bánkiho turbínu je roven 0,2), následně lze spočítat průměr oběžného kola :

$$D = \frac{s}{k_{ostř}} \quad (4.28)$$

Vnitřní průměr

$$d_2 = D \cdot 0,66 \quad (4.29)$$

Délka štěrbiny

$$L = D \cdot k_{LD} \quad (4.30)$$

Délka lopatky by měla být o 5mm – 15mm delší než délka štěrbiny, bylo tedy zvoleno 10 mm:

$$L_2 = L + 10 \quad (4.31)$$

Světlost této trubky (vnitřní průměr)

$$DN = 0,326 \cdot D - 2 \cdot tl. \quad (4.32)$$

V praxi se použije nejbližší typizovaný rozměr trubky. Síla stěny se pohybuje od 3,5 do 8 mm podle délky lopatky a jejího namáhání. Jmenovité otáčky byly určeny ze vzorce:

$$n = 9898 \cdot \frac{c_1}{D} \quad (4.33)$$

Přibližný průměr hřídele

$$d_h = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot Q}{75 \cdot n}} \quad (4.34)$$

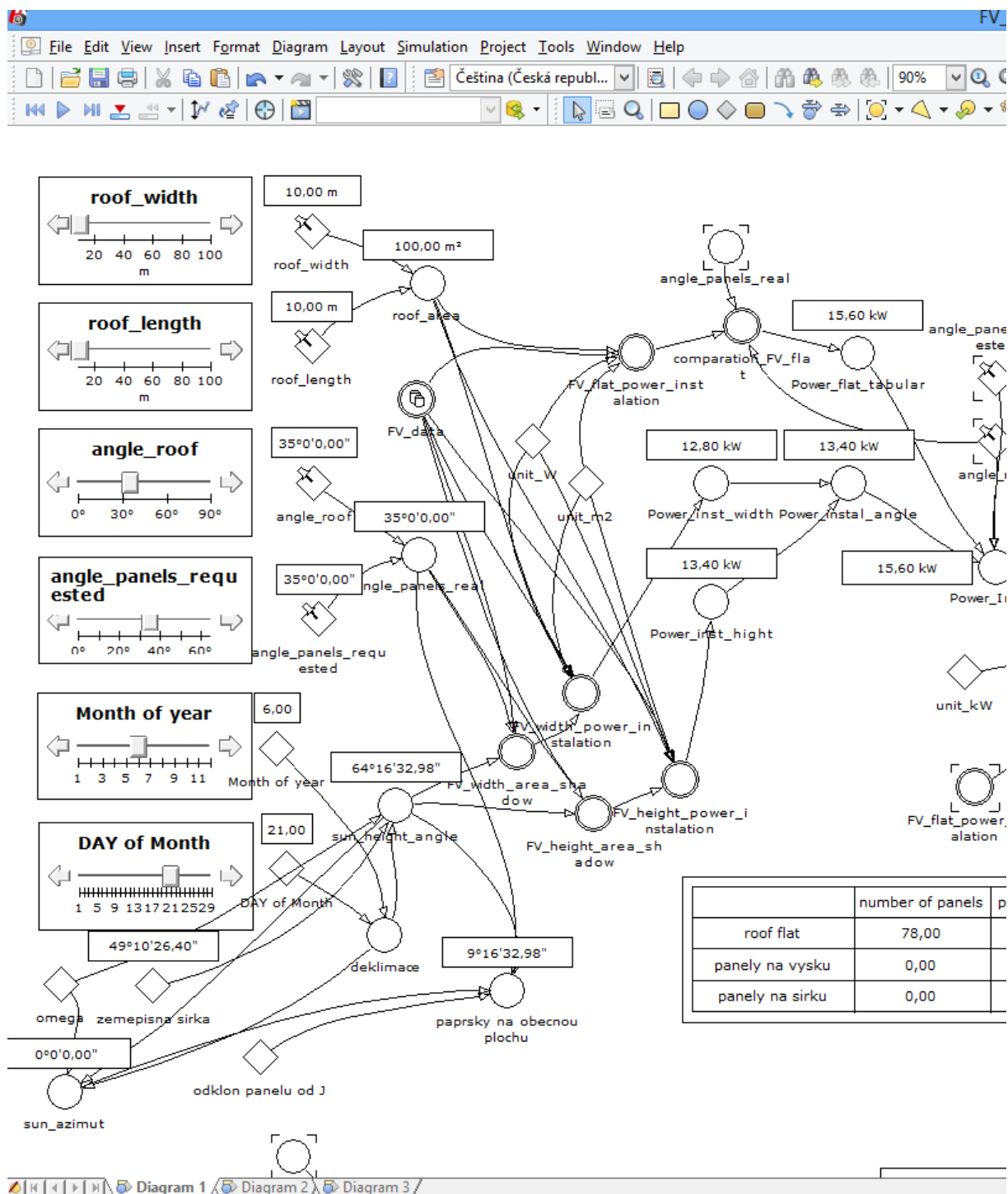
Následně mechanický výkon na hřídeli turbíny lze stanovit

$$P_{turbíny} = g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_T. \quad (4.35)$$

4.7 Tvorba matematických modelů

Díky navázané spolupráci na projektu matematického modelování, který vznikl za účelem stanovení energetických toků na provozovnách čistíren podaného společností Asio a ČVUT v Praze. Bylo možné aplikovat jednotlivé vývojové diagramy a vytvořit tak matematické modely OZE, které byly popsány v předchozích kapitolách. Celková konstrukce modelů OZE, zpracování vstupních dat z tabulkových editorů a vyhodnocení ekonomiky jednotlivých modelů probíhalo ve zvoleném programu POWERSIM (licenci pro užívání oficiální verze poskytl společnost Asio). Zmíněný program umožňuje, jak statické, tak dynamické modelování v čase a umožňuje jednoduše využít ekonomické metody hodnocení investic, které jsou mezi základními funkcemi programu. Program nabízí více metod zadávání hodnot na vstupu, jak již bylo zmíněno načítání dat z tabulkových souborů a databází, nebo je možné hodnoty vkládat do připravených polí ručně, případně umožňuje využít grafické posuvníky s definovanými rozsahy s omezeným rozsahem případně požadovaným krokem, tak aby nastavení bylo uživatelsky přijatelné. Vlastní tvorba programu probíhala v grafickém rozhraní, kdy pomocí jednotlivých konstant a programovatelných bloků se postupně vytvářely požadované funkce, které se následně provazovaly a spojovaly do společného celku. Následně bylo možné v prostředí zobrazit požadované hodnoty v přehledu tak, aby byla představa o jednotlivých hodnotách, vykreslit dynamických průběhů do grafu nebo export průběhu zpět do tabulkového editoru dále s daty pracovat. Na následujícím obrázku Obr. 4.9 je zachycena část programovacího prostředí modelu fotovoltaického systému.

Verifikace a odladění vzniklých OZE dle skutečných naměřených hodnot z 24-hodinového měření, případně ladění dle historických dat z provozu čistíren, byla úspěšně provedena na případové studii probíhající na vytípaných čistírnách z různých parametry provozu. Pro verifikaci OZE byly rovněž použity skutečná data získaná z měření na reálných instalacích.



Obr. 4.9 Screenshot z matematického modelování fotovoltaické elektrárny v programu POWERSIM

4.8 Validace a kalibrace matematických modelů na reálných provozech, případová studie

Kapitola popisuje matematickou modelaci jednotlivých zdrojů energie a zároveň řeší možnosti využití energie na jednotlivých provozech ČOV.

Pro možnosti ověření správné funkce navržených matematických modelů byly zvoleny vytipované čistírny odpadních vod záměrně s rozdílnou velikostí,. Jedná se o ČOV České Budějovice, kdy projektovaná kapacita je 375 000 EO s aktuálním zatížením 203 663 EO a ČOV Polička, která je projektově navržena na kapacitu 28 550 EO. Třetí vytipovaná ČOV Chrudim byla vyřazena. Důvodem byla změna strategie provozovatele u dané čistírny.

4.8.1 Čistírna České Budějovice

Čistírna odpadních vod České Budějovice byla projektovaná na zatížení o kapacitě 375 000 EO. Nyní je zatížení provozovny pouze 203 663 EO. Toto snížení bylo způsobeno výpadkem průmyslu v okolí, který zásoboval ČOV odpadní vodou.



Obr. 4.10 Čistírna odpadních vod České Budějovice

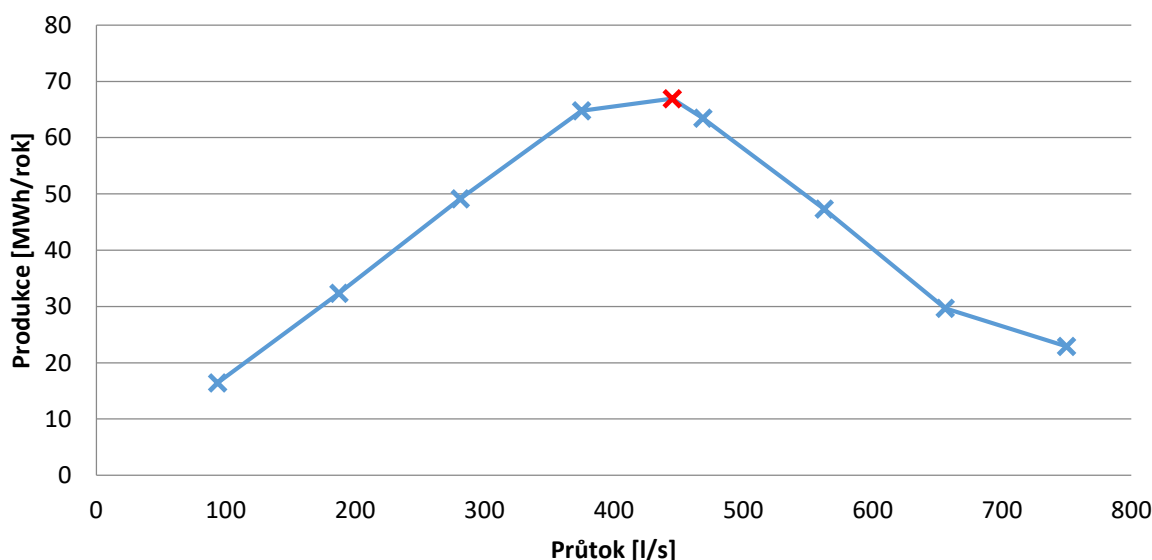
4.8.1.1 Hodnocení potenciálu vodní energie

V době energetického auditu nebyla na ČOV České Budějovice vodní energie nijak využita. V objektu bylo vytipováno několik míst s potenciálem využití vodní energie. Nátok před hrubými česly je řešen šachtou obdélníkového průřezu o rozměrech 3 x 2 metry, odpadní voda vstupuje přes lapáky písku dále do objektu ČOV. Další oblast je prostor mezi hrubým předčištěním a nádržemi, ve kterých probíhají nitrifikační a denitrifikační procesy. Je zde přístupný kanál s relativně

vyčištěnou vodou zbavenou pevných nečistot. Jako místem s největším potenciálem je odtok z čistírny, kdy voda vtéká do řeky. Odtok z čistírny je vyveden z objektu v severo - západní části čistírny šachtou o průřezu 2x1 metr. Šachta je vyvedena do řeky Vltavy 160 metrů od objektu s odhadovaným spádem cca 3 metry. Pro získání představy o chování čistírny během jednoho pracovního dne, bylo provedeno 24 hodinové měření parametrů jak fyzikálních tak chemických. Mezi měřenými parametry byla hodnota nátoky a odtoku z čistírny dále pak hodnoty znečištění, teplota, hodnoty BSK a CHSK atd.

Při následném vyhodnocení dat bylo zvoleno využití odtokové kanálu. Mezi hlavní výhody patří nenarušení hydrauliky toku komunální vody napříč ČOV a také, zde nedochází k zanášení turbíny nečistotami z odpadní vody. Zanášení by způsobovalo častější odstávky MVE a snížení roční produkce elektrické energie.

Pro návrh turbíny a generátoru byl proveden statistický rozbor historických a naměřených dat. S využitím četnosti byl stanoven optimální navrhovaný průtok vody 445 l/s pro návrh turbíny. Za účelem ověření zvoleného optimálního průtoku a následného návrhu Bánkiho vodní turbíny byla pravena simulace s navrhovaným nižším i vyšším průtokem a výsledky produkce elektrické energie byla znázorněna graficky v závislosti roční produkce v závislosti na průtoku. Z tohoto porovnání lze vyčíst, že zvolený návrhový průtok umožní turbíně pracovat ve větším možném rozsahu během celého roku. Pracovní rozsah dle účinnosti turbíny byl volen v rozmezí 8% až 100% navrhovaného průtoku.



Obr. 4.11 Stanovení produkce elektrické energie v závislosti na průtoku

Připojení MVE je možné provést v prostorách provozu na rozvodnou síť s napětovou hladinou 400V v areálu ČOV. V rámci soustrojí s turbínou je nejvhodnější použít asynchronní generátor což je asynchronní motor s kotvou nakrátko. Výhodou jsou příznivé pořizovací náklady na samostatný motor, tak i na jeho příslušenství. V návaznosti na jednoduchost provedení lze uvažovat i nižší provozní náklady, které budou zlepšovat ekonomické ukazatele návratnosti. V těchto případech se omezíme jen na výpočet prosté návratnosti.

Celkové pořizovací a provozní náklady jsou popsány v následující tabulce Tab. 4.5. Cena turbíny byla vytvořena z poptávek u českých výrobců. Následně došlo k přepočtu na 1 kW výkonu

návrhové turbíny, toto zjednodušení bylo vytvořeno za účelem získání orientační ceny turbíny pro různé výkony. Pořizovací cena asynchronního motoru byla importovaná z katalogových cen jednotlivých výrobců. Obdobně jako cena turbíny byly stanoveny i konstrukční náklady na objekt. Provozní náklady je možné volit manuálně zadáním hodnoty.

Tab. 4.4 Pořizovací a konstrukční náklady vztažené na 1kW výkonu

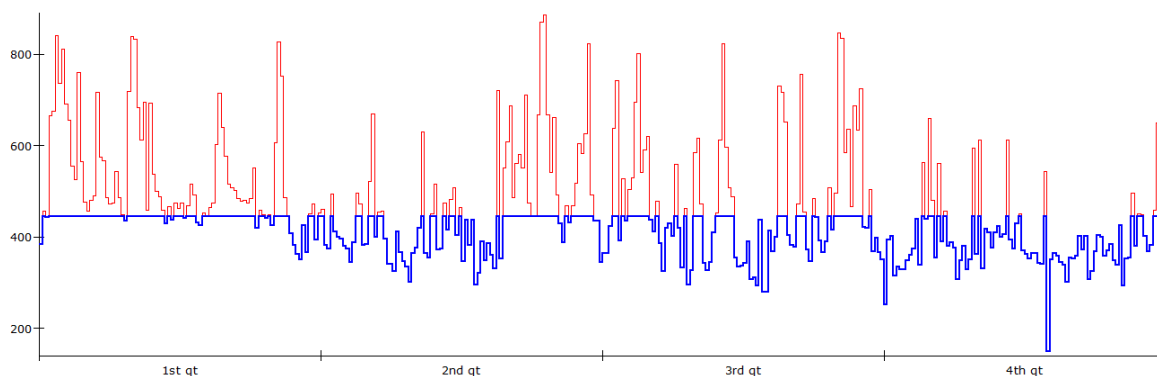
Turbína [Kč/kW]	41 000
Asynchronní motor [Kč/kW]	2 727
Konstrukční náklady [Kč/kW]	50 000
Provozní náklady [Kč/rok]*	variabilní dle užitého generátoru
Životnost soustrojí [roky]	20

Dle výstupu z modelu je výpočtový výkon Bánkiho turbíny 10,25 kW a navržený generátor byl zvolen dle typové řady nejbližší výkonovou řadu výkon 11kW. Pořizovací ceny jsou zobrazeny v následujícím přehledu viz. Tab. 4.5. Provozní náklady jsou uvažovány na dobu 20let.

Tab. 4.5 Výsledek kalkulace provozních a konstrukčních nákladů

Turbína [Kč]	420 000
Asynchronní motor [Kč]	30 000
Konstrukční náklady [Kč/kW]	512 000
Provozní náklady [Kč/rok]*	10 000
Celkové pořizovací [Kč]	962 000
Celkové provozní náklady [Kč]	200 000

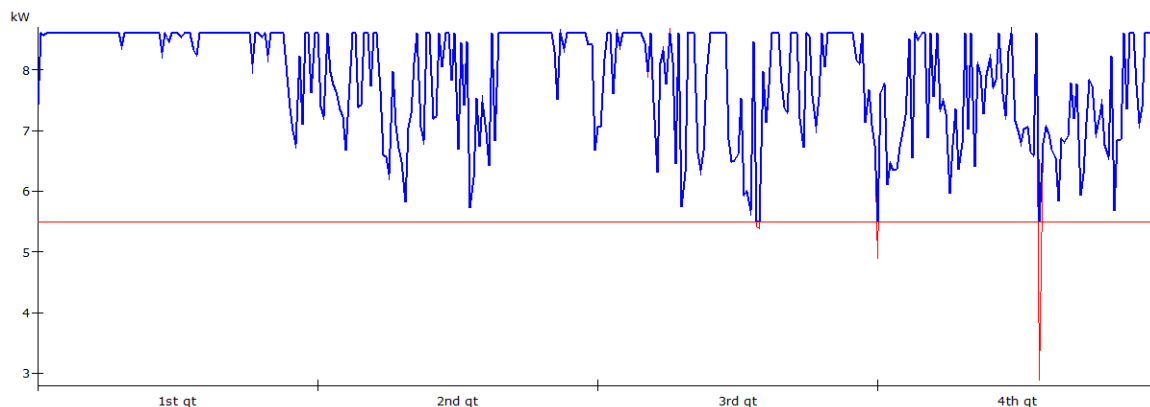
Na následujícím průběhu Obr. 4.12 popisuje možný využitelný průtok navrženou turbínou. Kdy modře je znázorněna využitelná část a červený průběh je část kterou nelze využít a odtéká přepadem. Simulace je vytvořena pro průběh během celého roku s využitelností XX dní v roce.



Obr. 4.12 Využitelný průtok vodní turbínou

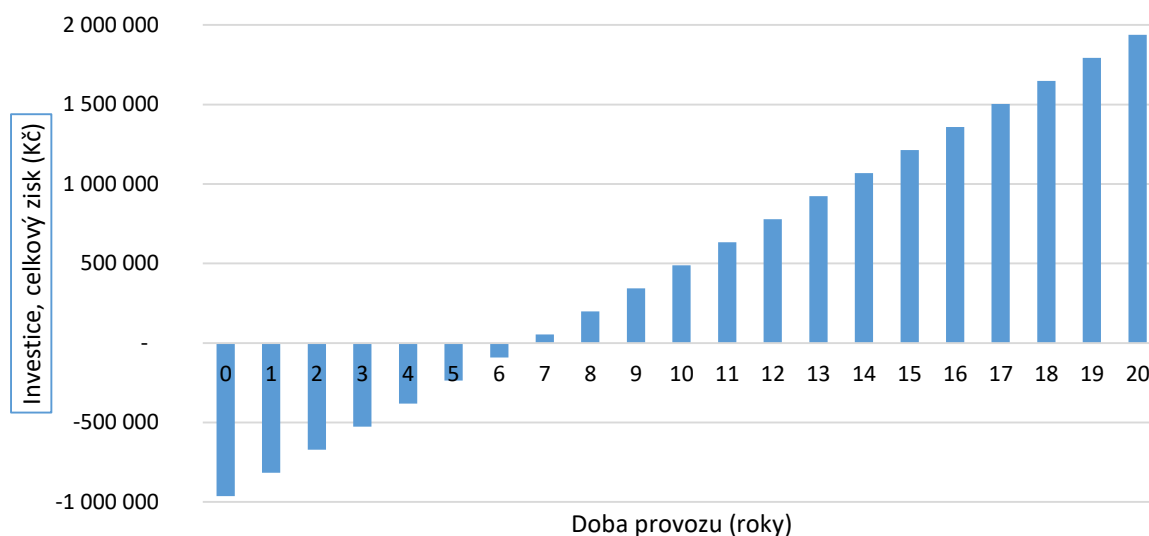
Následující průběh Obr. 4.13 znázorňuje využitelnost průtoku z pohledu generátoru. Průtoky, které jsou nedostačující pro chod generátoru, a není schopen dodávat energii do sítě je označen

červenou křivkou. Pracovní rozsah generátoru je znázorněn modře a shora lze sledovat omezení výroby maximální hltností turbíny. Dále lze z průběhu vidět minimální provozní schopnost generátoru značenou červeně.



Obr. 4.13 Průběh produkce malé vodní elektrárny s pracovním rozsahem generátoru

Model MVE celkem vyrobí během jednoho roku 68,89- MWh/rok elektrické energie. Spotřeba na ČOV České Budějovice je 5 155 MWh/rok. Lze tedy porovnat jakou váhu má investice do MVE. Pokud budeme uvažovat cenu elektřiny, za kterou ČOV nakupuje elektřinu je 2,25 Kč/kWh zjistíme, že ušetří v provozu 155 000 Kč, tato částka však není nijak velká v závisti na celkových nákladech provozovny. Pokud však bude stanovena prostá návratnost, je zde patrné, že je doba návratnosti do 7let.



Obr. 4.14 Průběh návratnosti investice dle doby návratnosti

4.8.1.2 Využitelnost sluneční energie pro výrobu elektřiny

Současná doba nenabízí žádné dotační možnosti na pořízení fotovoltaické instalace, nicméně došlo k poklesu pořizovací ceny jednoho kWp instalovaného výkonu FV elektrárny. Jeden kWp lze pořídit za cenu cca 25 000 Kč. U větších realizací lze dosáhnout i nižší pořizovací ceny instalace. S ohledem na návratnost se jeví jako vhodnější varianta větší instalace.

V současné době není provedena žádná instalace FV panelů v objektu. Objekt ČOV nabízí díky rozloze možnosti realizace FV systému. Dle analýzy instalačních ploch a jejich orientací, bylo

vytipováno několik střech a travnatých prostor na čistírně vhodných pro realizaci. Pro umístění panelů je nejvhodnější využít střechy se sklonem na jih, ploché střechy a v poslední řadě nevyužité travnaté plochy v objektu, kde nedochází k zastínění okolními budovami. Díky energetické náročnosti technologie v ČOV je možné veškerou vyrobenou elektřinu spotřebovat v místě provozovny a zamezit tak problémy s vyvedením výkonu mimo ČOV.

Díky rozloze čistírny lze uvažovat velký potenciál pro instalaci fotovoltaických (FV) panelů s více možnostmi umístění:

- Zelená plocha
- Rovinné střechy
- Sklonité střechy

Tab. 4.6 definice prostoru pro uvažovanou instalaci

Instalace	Plocha [m ²]	Náklon [°]	Azimut od J [°]
Travnatá plocha [m ²]	13 111	0	+ 26
Plochá střecha [m ²]	2 801	0	+ 26
Střecha se sklonem [m ²]	1 150	16	+ 26

Celková využitelná plocha byla určena z veřejných map prostřednictvím webu pro měření plochy povrchu² na 17 062 m². Orientace pozemků a střech je velice vhodná. Instalace panelů se doporučuje se sklonem 35° a orientací přímo na jih. V kalkulaci je uvažován odklon od jihu a to 26°.

Jak bylo uvedeno výše, plochy byly rozděleny podle možnosti instalace panelů v objektu a došlo k definici velikosti ploch vhodných pro instalaci.

První návrh se zabýval instalací na travnatou plochu v areálu ČOV, kdy celková využitelná plocha je 13 111 m². Využitelná plocha je zobrazena na Obr. 4.15. Jednalo by se o velice rozsáhlou instalaci s celkovým počtem cca 3806 panelů a instalovaným výkonem 761,2 kWp.

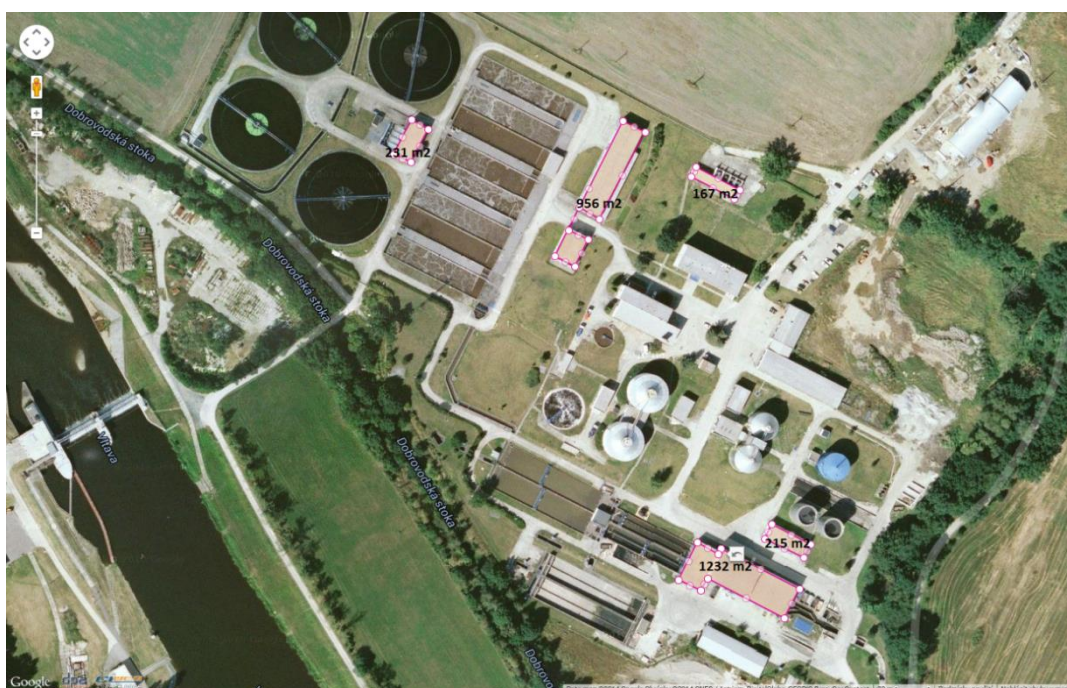
Další variantou instalace FV panelů je na střechy objektu, kdy byly vytipovány objekty s plochou střechou. Výsledkem kalkulace je návrh instalace o velikosti 162,6 kWp s 813 panely. Využitelná plocha je opět vyznačena Obr. 4.16

Jako poslední, byl proveden návrh na střechy objektů se předpokládaným sklonem 16°. Tato varianta se skládá z 900 panelů s instalovaným výkonem 180 kWp. FV panely jsou umístěny přímo na střeše objektu bez nosné konstrukce. Tím dojde k úspoře nákladů na konstrukci Obr. 4.17

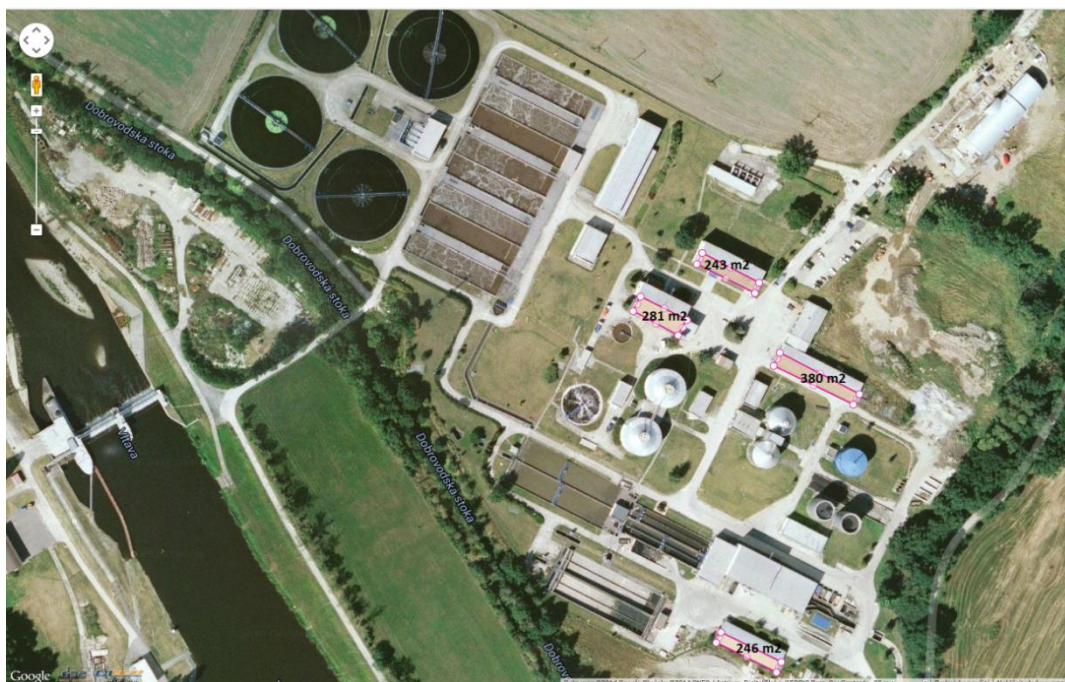
² <http://go.mapa.cz>



Obr. 4.15 Travnatá plocha využitelná pro instalaci FV panelů



Obr. 4.16 Střešní plocha rovinná využitelná pro instalaci FV panelů



Obr. 4.17 Střešní plocha se sklonem využitelná pro instalaci FV panelů

Kalkulace jednotlivých instalací jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 4.7 Návrh instalace a parametrů FV panelů

Navržené a požadované parametry	Zelená plocha	Střecha plochá	Střecha se sklonem 16°
Plocha [m ²]	13 111	2 801	1 150
Sklon [°]	35	35	16
Instalovaný výkon [kW _p]	761,2	162,6	180
Počet panelů [ks]	3 806	813	900

Podle navržených a zadaných parametrů fotovoltaické elektrárny bylo možné vypočítat produkci elektrické energie a předpokládanou návratnost u jednotlivých modelů.

Tab. 4.8 Kalkulace produkce realizace FV panelů

Vypočítané parametry FVE	Zelená plocha	Střecha plochá	Střecha se sklonem 16°
Předpokládána produkce [MWh/rok]	946,51	193,44	201,28
Ušetřená energie [Kč/rok]	2 130 000	435 000	453 000
Pořizovací cena [Kč]	23 660 000	4 840 000	5 030 000
Návratnost [rok]	11,1	11,1	11,1

V rámci navrhované FV elektrárny, vyšel celkový navrhovaný instalovaný výkon 1058,4 kW_p. Uvážíme-li dobu návratnosti, takto rozsáhlá instalace zatím není v objektu účelná a zisková, důvodem je, že provozovatelé soutěží o provozování čistírny s nájemní smlouvou v rozmezí 6-10let a tedy instalace by nebyla rentabilní. Pokud by v rámci legislativy došlo k obnovení podpory výroby elektřiny z fotovoltaické elektrárny, bude instalace FV panelů

proveditelná a dojde ke zkrácení doby návratnosti. V současné době není možné doporučit instalaci FV panelů na pozemku ČOV České Budějovice.

4.8.1.3 Využitelnost tepelné energie tepelným čerpadlem pro vytápění budov

Na ČOV České Budějovice lze uvažovat nahrazení stávajícího tepelného zdroje tepelným čerpadlem, které výrazně sníží provozní náklady. V současnosti se pro vytápění využívají tepelné zdroje na bioplyn o výkonu 295 kW a 230 kW a tepelný zdroj na zemní plyn 230 kW pro TUV, vytápění administrativních budov dílen, garáží, skladů olejů, turbodmýčárny, dmýčárny, celého provozu hrubého předčištění, budova zahuštění kalu, vyhnívacích nádrží.

Nejvhodnějším typem tepelného čerpadla, které lze instalovat je typ voda-voda, protože je na ČOV dostatečný průtok vody v odtokovém kanálu.

V objektu je možné využít tepelné čerpadlo (TČ) voda-voda. Pro získání nízkopotenciálního tepla z odtoku ČOV je nutné instalovat tepelný výměník, který zajistí přestup tepelné energie mezi vodou v odtoku a teplotnějším médiem. Předpokládáme změnu teploty v odtoku max. o 2 °C. Tabulková účinnost výměníku se udává podle konstrukce mezi 60 – 90 %. Účinnost výměníku ovlivňuje zanášení potrubí umístěného v korytě odtoku. Realizovaný návrh je řešen jako náhrada za tepelný zdroj, který využívá k produkci tepelné energie zemní plyn pro vytápění objektů uvedených v současném stavu o výkonu 230 kW. Pracovní doba TČ byla stanovena podle provozu tepelného zdroje na zemní plyn a to na 474,75 hodin. Vstupní parametry pro TČ jsou:

Tab. 4.9 Vstupní data pro matematický model

Výkon TČ [kW]	230
Cena za spotřebu elektřiny [Kč/kWh]*	2,25
Běžná cena plynu [Kč/kWh]	1,01
Cena tepelného čerpadla [Kč]	1 850 000
Konstrukční náklady	100 000
Provozní náklady - údržba [Kč/rok]	10 000
Celkové náklady [Kč]**	2 450 000

* cena elektřiny domluvená mezi provozovatelem a energetickou společností

** celkové náklady kalkulují s náklady na provoz a spotřebou elektřiny po dobu životnosti TČ tj. 10 let

Produkce tepelné energie za použití tepelného čerpadla byla vypočtena na základě historických záznamů ročního průběhu teplot a průtoků.

Tab. 4.10 Výstupní data z matematického modelu TČ.

Produkce [MWh/rok]*	109,12
náklady na elektřinu pro TČ [Kč/rok]	40 000
Ušetřené náklady za elektřinu [Kč/rok]	250 000
Ušetřené náklady za plyn [Kč/rok]	110 000

* Výkon je stanoven podle tepelného zdroje na zemní plyn při době provozu 474,75 h/rok

Instalaci tepelného čerpadla za současných podmínek a využití nelze doporučit. Jelikož bylo porovnáváno nahrazení tepelného čerpadla za zdroj TUV na zemní plyn s dobou provozu 474,75 hodin za rok, a tedy tato nízká četnost použití zdroje neumožňuje dosáhnout rentability investice. Prostá doba návratnosti dle matematického modelu vychází přes 15let.

4.8.1.4 Aplikace solárních panelů

Solární energie je jednoduše získatelná pro ohřev nebo vytápění. Její pracovní rozsah je v širokém pracovním rozmezí, podle parametrů použitého solárního kolektoru. Solární kolektory jsou schopné pracovat po celý rok, kdy vakuové dosahují i v zimě dobrých parametrů. Největší tepelný zisk je převážně ve druhé čtvrtině roku.

V současnosti taková technologie není na ČOV využita ani nijak testována. Solární kolektory by bylo možné využít především pro ohřev TUV nebo ke zvyšování teploty v některých technologiích hlavně v letních měsících. Panely lze instalovat na sklonité střechy, kterých je v objektu dostatečné množství.

ČOV v současnosti nevyužívá žádné solární kolektory pro ohřev TUV nebo pro dotaci teplem některých technologií. Existuje možnost využití potenciálu pro instalaci solárních kolektorů, protože je v objektu velké množství objektů s plochou střechou. Např. střechy v blízkosti stabilizačních nádrží.

Instalace byla zvolena na ploše střech zobrazené na následujícím obrázku v blízkosti stabilizačních nádrží. Celková plocha pro instalaci solárních kolektorů je 477 m², celkový přehled o instalaci lze vidět na Obr. 4.18.



Obr. 4.18 Střešní rovinná plocha využitelná pro instalaci solárních kolektorů

Pro dosažení vhodného náklonu solárních panelů bude využita konstrukce umístěná na rovinné ploše. Solární panely budou mít náklon 35°, který bude neměnný. Náklon je nejvhodnější pro zisk během letního a zimního období. Orientace panelů bude s odklonem 26° od jihu k západu. Pomoci

matematického modelu bylo stanoveno množství panelů tak, aby nedocházelo k zastínění jednotlivých řad. Výsledek kalkulace je zobrazeny Tab. 4.11.

Tab. 4.11 Vstupní parametry pro kalkulaci

Navržené a požadované parametry	
Celková Plocha [m ²]	477
Sklon [°]	35
Azimut od J	+ 26°
Počet panelů [ks]	94

Vypočítané parametry pořizovací ceny, produkce tepelné energie a návratnosti jsou popsány níže:

Tab. 4.12 Výstupní parametry stanoveny matematickým modelem

Výpočet produkce a náklady na realizaci	
Konstrukční náklady [Kč]	200 000
Provozní náklady [Kč/rok]	5 000
Celkové provozní náklady [Kč]*	100 000
Produkce tepelné energie [MWh]	40,35
Celkové provozní a konstrukční náklady [Kč]	1 380 060
Srovnání ušetřené energie s plynem [Kč]**	41 000
Srovnání ušetřené energie s elektřinou [Kč]***	91 000

* celkové provozní náklady za 20 let provozu

** kalkulace provedena s cenou plynu 1,01 Kč/KWh

*** kalkulace provedena s cenou elektřiny 2,251 Kč/KWh

Na zvolenou plochu je možné s požadovaným sklonem 35° instalovat 94 solárních kolektorů. Za jeden rok lze využít 40,35 MWh tepelné energie. Celkové pořizovací náklady i s náklady provozními na dvacet let jsou 1 380 060 Kč. Pro stanovení návratnosti byla energie získaná z SK porovnána s el. zdroje vyšla návratnost systému přes 15let. Při porovnání s plynovým zdrojem je návratnost ještě 2krát delší.

Instalace solárních kolektorů pro zisk tepelné energie bez dotace je spíše neekonomická. Hlavní problémem je, že solární kolektory produkují nejvíce tepelné energie během léta, kdy není možné teplo uplatnit v jiných procesech. Předpokládaná spotřeba tepla je na ČOV již zajištěna odběrem tepla z kogeneračních jednotek a využití solárních panelů nemá příliš dobrou návratnost. Tedy návratnost je delší než čas do případné větší údržby (náklady na významnější údržbu 5 let, čerpadla a kapalina 10 let, regulační technika a akumulční nádoba 15 let). Osazení solárních panelů na ČOV je možné doporučit pouze za podmínky, že bude nalezen odběratel tepelné energie.

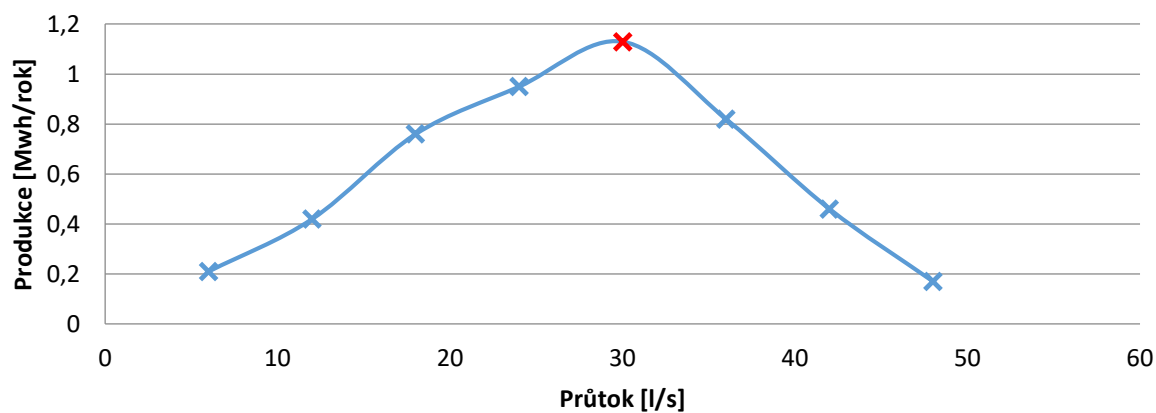
4.8.2 Čistírna Polička



Obr. 4.19 Rozložení ČOV Polička

4.8.2.1 Návrh malé vodní elektrárny

Čistírna odpadních vod Polička bylo v letech 2000 – 2002 rekonstruovaná. Její kapacita byla projektovaná na 28 550 EO. Přítok je řešen kanalizační skruží a přítok je zaveden do drtiče, přes který prochází veškerá komunální voda. Odtok z čistírny je vyveden z objektu v severní části čistírny odtokovým kanálem přímo do místní říčky Bílý potok. Dosažitelný hrubý spád je 1 metr.



Obr. 4.20 Stanovení produkce elektrické energie v závislosti na průtoku

Po vložení požadovaných dat do matematického modelu, byl stanoven dle četnosti optimální průtok čistírnou a to 30 l/s a možný spád 1 m. Už ze vstupních parametrů čistírny jde vidět, velmi malý potenciál využití vodního zdroje. Následné kalkulace byla omezena pouze na nasimulované průběhy, základní parametrizaci a ověření, zda je model funkční i při minimálních parametrech na vstupu.

Jako poháněcí stroj generátoru stejně jako u ČOV České Budějovice uvažujeme Bánkiho turbínu. Jednoduchá konstrukce efektivně využívá odtékající vodu z ČOV. Dle matematického modelu byla navržena turbína o výkonu 0,23 kW a asynchronní motor zvolený dle typové řady o výkonu 0,18 kW.

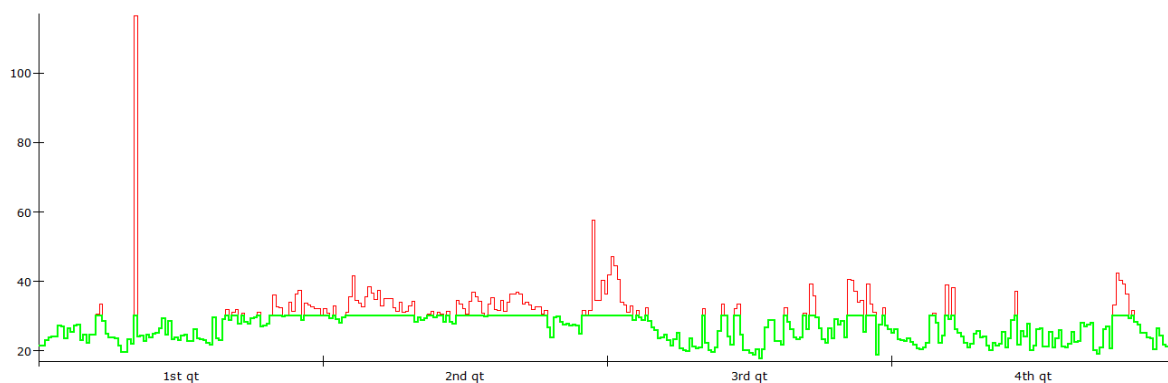
Tab. 4.13 Pořizovací a konstrukční náklady vztahované na 1kW výkonu

Turbína [Kč/kW]	41 000
Asynchronní motor [Kč]	3 500
Konstrukční náklady [Kč/kW]	50 000
Provozní náklady [Kč/rok]*	variabilní dle užitého generátoru
Životnost soustrojí [roky]	20

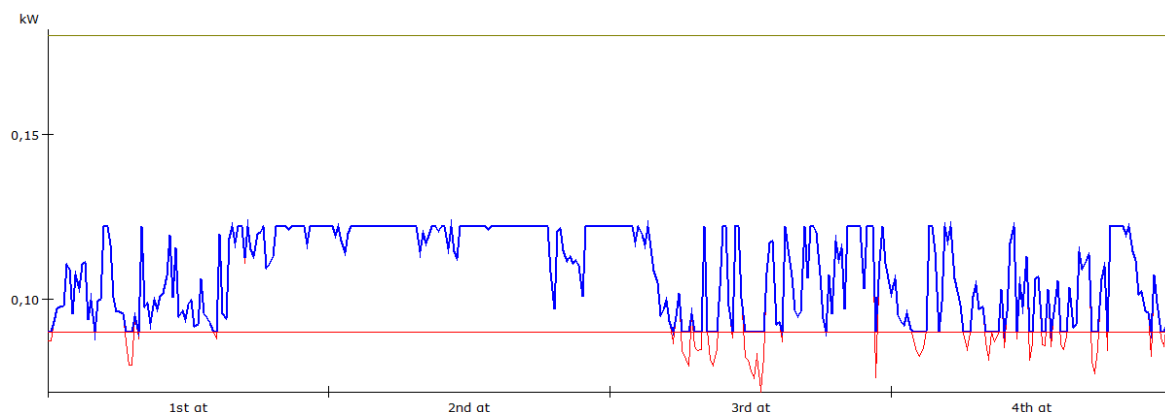
Tab. 4.14 Výsledek kalkulace provozních a konstrukčních nákladů

Turbína [Kč]	12 000
Asynchronní motor [Kč]	3 500
Konstrukční náklady [Kč/kW]	18 500
Provozní náklady [Kč/rok]*	2 000
Celkové pořizovací [Kč]	34 000
Celkové provozní náklady [Kč]	40 000

Na následujícím průběhu Obr. 4.12 jsou znázorněny hodnoty průtoku během celého roku (červeně) a reálný využitelný průtok turbínou (zeleně).



Obr. 4.21 Průběh znázorňující průtok vody



Obr. 4.22 Průběh provozu generátoru

Pracovní rozsah hydroturbíny zobrazuje následující průběh znázorňující pracovní rozsah během jednoho roku. Maximální využitelný výkon vodního toku (hnědě). Modrá křivka popisuje pracovní rozsah generátorem od minimálního využitelného výkonu až po maximální výkon dodávaný generátorem. Červený průběh znázorňuje nevyužitelný rozsah, který není dostatečná energie pro práci generátoru

Celkem MVE vyrobí během jednoho roku 0,94 MWh elektrické energie.

Pokus porovnáme celkovou spotřebu ČOV a návratnost, zjistíme, že projekt nemá návratnost v době životnosti MVE.

I když vyšla modelace nereálně, bylo ověřeno, že matematický model je schopen modelovat i takto malé čistírny a lze jej použít při hledání úspor v rámci modernizace dat.

4.8.2.2 Instalace fotovoltaických panelů

V areálu provozovny ČOV Polička je několik objektů, které lze využít k instalaci FV panelů Obr. 4.23. Změřené hodnoty jednotlivých objektů byly vyneseny

Tab. 4.15. Další využitelné plochy s dostatečným prostorem v objektu nejsou.

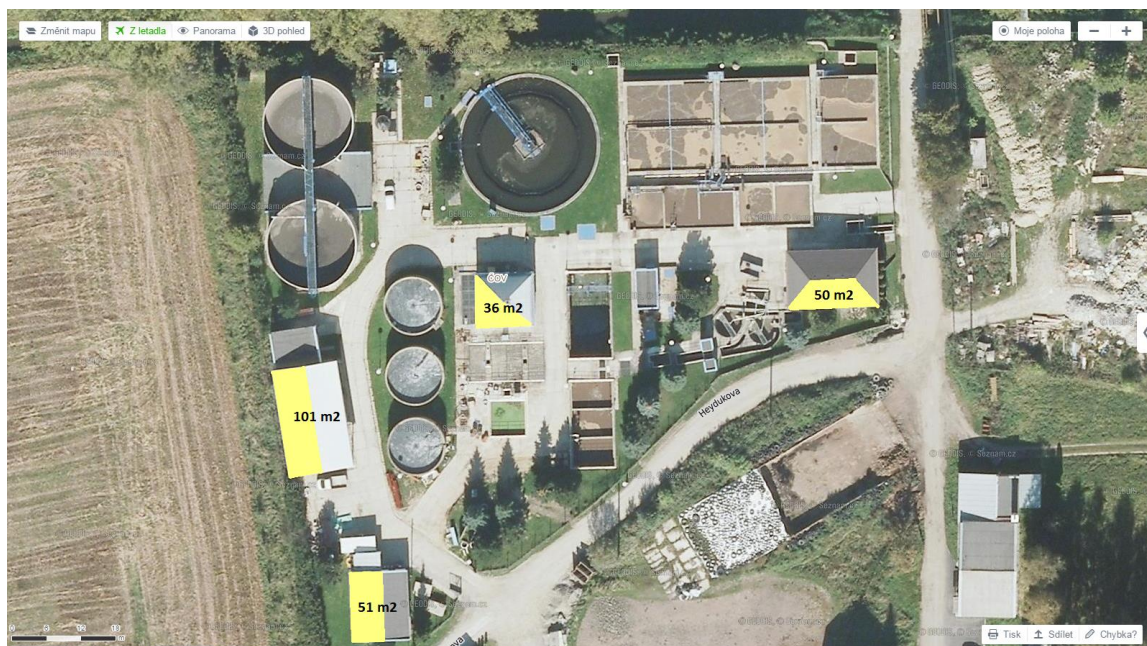
Tab. 4.15 Parametry objektů pro umístění FV panelů

Navržené a požadované parametry	Objekt strojovny	Objekt zpracování kalu	Objekt velínu a sklad
Plocha [m ²]	50	36	152
Sklon [°]	20	30	12
Odklon od jihu	0	+80	+26

Zadané parametry byly vloženy do matematického FV modelu a níže jsou popsány výstupy s těchto simulací.

Využitelné plochy v objektu jsou následující:

- Střecha objektu strojovny umístěná ve východní části provozovny se sklonitou střechou, kdy celková využitelná plocha je 50 m^2 . Na zadanou plochu lze instalovat 39 panelů o celkovém instalovaném výkonu $7,8 \text{ kWp}$.
- Další vytypovaný objekt je budova pro zpracování kalu se sklonitou střechou o ploše 36 m^2 . Výsledkem kalkulace je instalace o velikosti $5,6 \text{ kWp}$ s 28 panely.
- Jako poslední byl proveden návrh na střechu objektu skladu a administrativní budovy se sklonem 20° o celkové ploše 152 m^2 . Tato varianta se skládá ze 119 panelů s instalovaným výkonem $23,8 \text{ kWp}$. Na všech uvedených objektech je simulováno umístění FV panelů na střechu objektu bez nosné konstrukce. Výstupní parametry z matematického modelu jsou uvedeny v
- Tab. 4.16.
- Celková využitelná plocha byla odhadnuta na 238 m^2 .
-



Obr. 4.23 Plocha objektů využitelná pro instalaci FV panelů

Tab. 4.16 Výstupní parametry z matematického modelu fotovoltaiky

Vypočítané parametry FVE	Střecha se sklonem 20°	Střecha se sklonem 30°	Střecha se sklonem 12°
Instalovaný výkon [kWp]	7,8	5,6	23,8
Počet panelů [ks]	39	28	119
Předpokládána produkce [MWh]	9,45	6,48	24,07
Ušetřená energie [CZK/rok]	23 000	16 000	59 000

Pořizovací a provozní náklady [CZK]	300 000	220 000	850 000
Návratnost [roky]	13,1	13,8	14,4

V rámci navrhované FV elektrárny, vyšel navrhovaný instalovaný výkon 37,2 kWp s návratností celého systému 13,8 roků. Takto instalace zatím není v objektu účelná. Pokud by v rámci legislativy došlo k obnovení podpory výroby elektřiny z fotovoltaické elektrárny, bude instalace FV panelů proveditelná.

4.8.2.3 Využití tepelných čerpadel pro vytápění ohřev

V objektu je možné využít tepelné čerpadlo (TČ) voda-voda, které by se umístilo pomocí tepelného výměníku do koryta odtoku z ČOV. Předpokládáme změnu teploty v odtoku o 2°C a účinnost výměníku dle nejhorších možných podmínek vodního toku a to 50% (pro bližší návrh výměníku je nutné provést rozbor vody a stanovit parametry pro přestup tepla). Katalogové výměníky uvažují účinnost v rozpětí 40-80%. Odebráním tohoto nízko potenciálního tepla je možné využít pro vytápění budov předpokládaná ztráta objektu je 15 kW. Vstupní parametry pro TČ jsou:

Tab. 4.17 Vstupní parametry pro model tepelného čerpadla

Vstupní parametry	
Uvažovaný výkon [kW]	15
Cena za spotřebu elektřiny [CZK/kWh]	2,25*
Běžná cena elektřiny [CZK/kWh]	4,2
Běžná cena plynu [CZK/kWh]	2,5
Cena tepelného čerpadla [CZK]	254 000
Konstrukční náklady [CZK]	150 000
Provozní náklady - údržba [rok/CZK]	5 000
Celkové náklady bez spotřeby elektřiny [CZK]	454 000

* cenu je uvažovaná v rámci sazby pro tepelné čerpadlo

Produkce energie z TČ byla stanovena ze zdrojových dat teploty na odtoku z čistírny. Uvažoval se pokles teploty v odtoku o 2°C a průtok stanovený z předchozí simulace 24 l/s.

Tab. 4.18 Výstupní parametry pro model tepelného čerpadla

kalkulace	Návratnost [roky]	
Produkce [MWh]	48,2	
Náklady na elektřinu pro TČ [CZK]	24 800	
Ušetřené náklady za elektřinu [CZK]	202 440	2,4
Ušetřené náklady za plyn [CZK]	120 500	4,0

* Výkon je stanoven při délce topné sezóny dle ČSN EN 50388 ed.2 tj. 248 dnů

Instalace tepelného čerpadla voda-voda v objektu je dle matematického modelu výhodná investice.

4.8.2.4 Aplikace solárních kolektorů

Jednou z možností řešení energetických úspor je solární ohřev vody. V objektu ČOV je dostatečné množství využitelné plochy pro instalaci solárních kolektorů. Kolektory je možné využít pro dotaci tepelnou energií stabilizační nádrže nebo vytápění přilehlých objektů.

Návrh instalace solárních kolektorů byl zvolen tak, aby bylo možné tepelnou energii využít pro zvýšení teploty stabilizačních nádrží. Při dostatečném množství je možné dosáhnout stabilní teploty při vyhnívání kalu a jeho stabilizaci.

Instalace byla zvolena na ploše střech zobrazené na následujícím obrázku v blízkosti stabilizačních nádrží. Celková plocha pro instalaci solárních kolektorů je 152 m².



Obr. 4.24 Plocha objektů využitelná pro instalaci FV panelů

Solární kolektory lze využít pro získání tepelné energie ze Slunce, kterou lze dotovat některé technologické procesy. Orientace zvoleného místa realizace je popsán v následující tabulce.

Tab. 4.19 Vstupní parametry pro matematický model solárního systému

Instalace	Plocha	Náklon	Azimut od J
Objekt 1	101 m ²	20°	0°
Objekt 2	51 m ²	20°	0°

Zvolená plocha objektu není zcela výhodná proto uvažujeme využití konstrukce, kterou bude dosaženo částečného sklonu (uvažujeme 20°) a orientace směrem k jih. Pomoci matematického modelu jsme stanovili množství panelů tak, aby nedocházelo k zastínění jednotlivých řad. Výsledek kalkulace je zobrazen níže:

Vypočítané parametry pořizovací ceny, produkce tepelné energie a návratnosti jsou popsány níže:

Tab. 4.20 Navržené parametry solárního systému

Výpočet produkce a náklady na realizaci		Návratnost [roky]
Počet panelů [ks]	38	
Produkce tepelné energie [MWh]	16,28	
Konstrukční náklady [CZK]	100 000	
Provozní náklady [CZK/rok]	1 000	
Celkové provozní a konstrukční náklady [CZK]	557 000	
Srovnání ušetřené energie s plynem [CZK]	68 000*	8,2
Srovnání ušetřené energie s plynem [CZK]	41 000**	13,5

* kalkulace provedena s cenou plynu 2,5 CZK/KWh

** kalkulace provedena s cenou elektřiny 4,2 CZK/KWh

Na zvolenou plochu je možné s uvažovaným sklonem 20° instalovat 38 solárních kolektorů. Za jeden rok lze využít 16,28 MWh tepelné energie. Celkové pořizovací náklady i s náklady provozními na dvacet let jsou 557 000 CZK. Pokud bychom chtěli tuto energii získat pomocí ohřevu elektrickou energií nebo plynem návratnost instalace tepelného čerpadla bude 8,2 roků, při srovnání s energií získanou spalováním plynu je návratnost 13,5 roku.

Předpokládanou spotřebu tepla je na ČOV možné zajistit jiným ekonomičtějším zdrojem např. tepelným čerpadlem voda-voda. Využití solárních panelů v objektu nevychází z pohledu životnosti a servisních intervalů příliš zajímavě. Tedy návratnost je mnohdy vyšší nebo stejná než náklady na významnější údržbu 5 let, čerpadla a kapalina 10 let, regulační technika a akumulční nádoba 15 let. Osazení solárních panelů na ČOV doporučujeme pouze za podmínky, že bude provedena hlubší studie využití tepelné energie pro podporu některých technologických procesů.

4.9 Energetická náročnost čistírny Moravičany (Etapa 1)

V předešlých kapitolách byly vytvořeny a ověřeny matematické modely vybraných zdrojů energie, které lze jednotlivě implementovat na libovolném provozu čistírny odpadních vod. Případně zde existuje možnost tyto modely využít i v jiných komerčních sférách.

Následující kapitoly se budou zabývat integrací řešení obnovitelných zdrojů a řešení úspory energie komplexněji s fokusací na malé čistírny odpadních vod. Hlavním důvodem tohoto kroku je aktuální trend vývoje v oboru čistírenství a zaměření problematiky úspor a snižování provozních nákladů. Mezi další důvody odklonu od velkých čistíren, je rozvoj řešené problematiky, minimalizace provozních náklad a využití sekundárních zdrojů řešiteli největší provozovatelé čistíren v České republice a to Veolia a Energie AG, se kterými byly v minulosti navázána spolupráce v rámci aplikovatelnosti zmiňovaného řešení na jejich provozech čistíren o velikosti řádově 10000 EO.

Dalším faktorem a užší zaměření na zmíněnou problematiku malých čistíren přispěl i nově vzniklý projekt zaměřený na snížení náročnosti čistíren odpadních vod do 2000 EO, který je řešen ve spolupráci konsorcia společností ASIO, s.r.o, TECO, a.s., Ústavem elektroenergetiky na VUT v Brně a obcí Moravičany, která poskytla městskou ČOV pro aplikování řešené problematiky.

Cílem projektu je kromě návrhu, výpočtu, dimenze a konstrukce ČOV ve spolupráci s malými OZE i vývoj SW aplikace, která bude uceleným způsobem ČOV „inteligentně“ řídit a optimalizovat její provoz zejména tak, aby došlo k minimalizaci provozních nákladů a energetické závislosti. Jádrem SW aplikace budou jednak optimalizační a řídicí algoritmy implementované do PLC jednotek Tecomat a také datové úložiště pracující na databázové platformě sloužícího pro sběr a archivaci hrubých a vypočtených (odvozených energetických a ekonomických) dat. Problematika řízení zdrojů (a akumulčních prvků) s využitím nástrojů odložitelné spotřeby (demand response) bude řešena jako autonomní proces regulace a optimalizace pro dosažení požadovaných výsledků.

4.9.1 Definice a dimenze parametrů ČOV

Tato dílčí činnost je jednoznačně definována pomocí ČSN 756401 a ČSN 756402, které definují čistírny odpadních vod látkově i hydraulicky. Vychází-li se z předpokladu, že hydraulicky je 1 EO = 150 l/den, pak pro tento typ čistíren se dostane spektrum průtoků čistírnou do 300 m³/d. Z hlediska látkového zatížení je možné definovat 1 EO = 60 g BSK₅/den, tudíž se jedná o čistírny se zatížením do 12 kg BSK₅/den. Vedle těchto základních parametrů ČOV byly definovány další, které jsou ve shodě s platnou legislativou vyžadovány, zejména parametr CHSK (chemická spotřeba kyslíku), BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku), NL (nerozpuštěné látky), N-NH₄ (amoniakální dusík) a ojediněle i TP (celkový fosfor). V minoritních případech dle rozhodnutí Vodoprávního úřadu se může dále jednat o další anorganické formy dusíku nebo celkový dusík.

Z hlediska technologického byl proveden rozbor použitých technologických celků, strojů a zařízení na komunálních čistírnách odpadních vod. Nejběžnější uspořádání se dle monitoringu ukázalo pro ČOV do 2000 EO následující:

- Přívod odpadní vody pomocí jednotné nebo oddílné kanalizace (výjimečně tlakové)
- Čerpací stanice odpadních vod
- Mechanické předčištění (zahrnující hrubé/jemné česle nebo integrované předčištění)
- Biologické čištění v režimu s předřazenou denitrifikací (zde existuje množství dalších řešení např. pouze s oxickou částí, se střídavým režimem nitrifikace a denitrifikace, v režimu SBR (sekvencích Batch Reactor), využití biofilmových reaktorů, mokřadních systémů, kořenových čistíren, atd.)
- Odsazení nerozpuštěných látek v dosazovací nádrži (řídce i využití membránových reaktorů pro separaci kalu)
- Aerobní stabilizace kalu a jeho odvoz, příp. kalová koncovka ve formě odvodňovacího zařízení

Jednotlivé spotřebiče energie jsou definovány v kapitole b) Energetický rozbor ČOV.

Sledovaná ČOV Moravičany je navržena pro 1558 EO a odpadní vody jsou na čistírnu přiváděny pomocí tlaková kanalizace. Hrubé mechanické předčištění je zabezpečeno pomocí stíraného válcového síta. Aktivační část je dvojlínková s předřazenou denitrifikací a dvěma dosazovacími nádržemi. Na čistírně je instalováno chemické srážení fosforu pomocí konstantní dávky dávkovacího čerpadla. Na odtoku je před vyústěním do recipientu instalován mikrosítový bubnový filtr s filtrační tkaninou. Ke stabilizaci, zahuštění a skladování kalu jsou použity dvě kalové jímky. V jímkách dochází k aerobní stabilizaci kalu a částečně ke gravitačnímu zahuštění kalu. Stabilizace i zahuštění kalu se provádí dvoustupňově. Z druhé kalové nádrže je zahuštěný kal

čerpán vřetenovým čerpadlem s variátorem na dekantální odstředivku, kde je odvodněn a šnekovým dopravníkem dopraven do kontejneru. Na výtlačném potrubí kalu do odstředivky je osazen indukční průtokoměr. Na základě údajů z tohoto průtokoměru je dávkováno množství flokulantu dávkovacím čerpadlem z automatické stanice flokulantu.

Z hlediska dimenzí jsou údaje na ČOV Moravičany následující:

▪ užitný objem jímky svážených vod (5,15 x 1,2 x 4,4 m)	27,2	m ³
▪ objem denitrifikace po hladinu vody (jedna nádrž) (3,2 x 4,65 x 4,5 m)	67	m ³
▪ objem nitrifikace po hladinu vody (jedna nádrž) (7,5 x 4,65 x 4,5 m)	157	m ³
▪ plocha jedné dosazovací nádrže (4,2 x 4,2 m)	17,6	m ²
▪ objem jedné dosazovací nádrže po hladinu vody	44	m ³
▪ užitný objem kalové jímky I	167,7	m ³
▪ užitný objem kalové jímky II	164,3	m ³

4.9.2 Energetický rozbor ČOV (etapa 1)

První etapa byla zaměřena na detailní rozbor energetických toků na ČOV. Spotřeba energie se uvádí v průměru v rozmezí 0.4 – 1.2 kWh/m³ odpadní vody, nicméně obrovský rozdíl je mezi odstraněním pouze organického znečištění a mezi aplikací membránových bioreaktorů spojenou s odstraňováním N a P. Tyto požadavky jsou ovlivněny především legislativou - zejména tzv. Vodním zákonem 254/2001 Sb. se všemi jeho pozdějšími novelami a prováděcími předpisy a Nařízením vlády 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Látková spotřeba energie se v mediánu pro komunální čistírny odpadních vod pohybuje zpravidla mezi 2.0 – 2.5 kWh/kg odstraněné BSK₅, kdy záleží na zvoleném technologickém uspořádání zvolenému k čištění. Pro tento účel byla využita testovací lokalita ČOV Moravičany, kde budou data stanoveny na základě ročního provozu za účelem rozdělení energetických spotřebičů do jednotlivých technologických lokalit na ČOV. Z hlediska spotřebičů na komunálních čistírnách odpadních vod do 2000 EO (budou-li zanedbány spotřebiče v provozních budovách – světlo, topení, apod.) je nejčastější uspořádání následující:

- čerpací stanice (čerpadla v režimu 1+1 nebo 2 + 1)
- lapák písku (provzdušňovaný, odtah písku mamutkou) někde i lapák šterku nebo tuku
- mechanické předčištění (pokud jsou strojní česle)
- dešťová zdrž a jímka na fekálie (příp. čerpadla)
- biologická aktivace (dmyhadla 1+1 nebo 2+1, míchadla – zpravidla 2), v případě regenerace další dmyhadlo nebo vzduch
- dosazovací nádrž (čerpadla vratného kalu 1+1)
- vzácně srážení fosforu (dávkovací čerpadlo)
- vzácně terciární čištění
- hygienizace a stabilizace kalu (provzdušnění kalové nádrže)

- odvodnění kalu (dehydrátor, odstředivka + flokulační stanice – dávkovací čerpadla)

4.9.3 Návrh energetických úspor provozu ČOV

V průběhu prvního roku byl proveden detailní monitoring možných potenciálních úspor na čistírnách odpadních vod a byly definovány tři hlavní segmenty, z nichž by se měly profilovat energetické úspory na komunálních čistírnách odpadních vod do 2000 ekvivalentních obyvatel. Jedná se o:

- 1) Optimalizace nakládání s energií
- 2) Aplikaci obnovitelných zdrojů energie, dalších potenciálních zdrojů energie a akumulace energie na ČOV
- 3) Využití znovuzískané energie

U komunálních čistíren řádově nad 15 000 EO je největší potenciál energetických úspor ve využití bioplynu, což je pro tento velikostní typ ČOV ekonomicky nevýhodné, z důvodu vstupní investice do bioplynového hospodářství a množství vyprodukovaného bioplynu.

Ad 1) zahrnuje např. energetické audity chodu čerpacích stanic, náhradu zařízení za zařízení s nižší spotřebou (čerpadla, míchadla, dmychadla), změny technologických uspořádání, optimalizace jejich provozu, atd. Jak je vidět i na obr. 1 v kapitole b), tak stěžejní je optimalizace aerace (např. kontrola přes senzory nebo kyslíkové sondy, dmychadla s frekvenčními měniči, resp. dynamické matematické modelování), dále pak optimalizace chodu čerpacích stanic, výstavba vyrovnávacích nádrží pro zadržení nátoků během dne a čištění během nočního proudu, náhrada motorů a zařízení s konstantní rychlostí za zařízení s frekvenčními měniči a nižší spotřebou energie. Existují i úsporná řešení s vyššími investičními náklady, zahrnuje celkovou rekonstrukci čistírny nebo aplikaci membránových procesů.

V dalším řešení bylo cíleno především na aerační systémy a kyslíkové sondy.

Ad 2) zahrnuje využití tepelné, hydraulické a kinetické energie a aplikaci např. hydroturbín, tepelných čerpadel, tepelných výměníků, využití energie přítoku i odtoku. Příkladem může být využití potenciální energie při vysokých průtocích odpadní vody aplikace hydroturbín v přívodních potrubích nebo využití gravitačního spádu čistírny. Z hlediska aplikace tepelných čerpadel a tepelných výměníků je příkladem zakonzervování tepla z odpadní vody přitékající na ČOV v létě do okolní půdy a její využití v zimě, využití teplotního rozdílu odtékající odpadní vody z čistírny v zimě a okolní teploty vzduchu, ohřívání budov v zimě a jejich ochlazování v létě nebo využití tepelné energie na sušení kalu.

Ad 3) zahrnuje externí zdroje energie - solární články, využití energie větru, atd. Využití externích zdrojů energie závisí většinou na možnostech lokálních podmínek, tj. solární energie – využití jako tepelné energie nebo její převedení na elektrickou, využití větrné energie nebo přepínání mezi využitím solární/větrné energie a nočního proudu.

Řešení pro body 2 a 3 zahrnovalo vytvoření tabulek v Excelu za účelem stanovení investičních a provozních nákladů různých technologií, jejich životnosti, náročnosti na obsluhu, atd. Zaměřili jsme se na následující zdroje – fotovoltaika (popsáno detailněji v kapitole 4.9.7), solární ohřev, větrná energie, využití vodní energie, akumulace energie v bateriích.

4.9.4 Návrh koncepce spolupráce zdrojů, akumulace a ČOV

Koncepce zahrnuje rozčlenění technologické linky čistírny odpadních vod na jednotlivé dílčí celky, tzv. moduly, u kterých budou definovány knihovny procesů s využitím tabelovaných a reálně naměřených dat. Pro tvorbu této koncepce bude využito simulačního rozhraní software Modelica (www.openmodelica.org) nebo SciLab (www.scilab.org), příp. bude využito specifických software pro simulaci biologických procesů GPS-X (<http://www.hydromantis.com/GPS-X.html>) anebo v kombinaci se software pro simulaci ekonomických procesů PowerSim (<http://www.powersim.com/>). Komunikace mezi těmito jednotlivými moduly povede nejprve k vytvoření modelu ustáleného stavu na vybrané komunální čistírně odpadních vod a posléze pomocí optimalizačních scénářů budou pomocí iteračních procesů využity moduly pro co nejefektivnější systém řízení čistírny a ekonomické úspory při zachování kvality odtoku ve shodě s nařízeními Vodoprávního úřadu. Příkladem modulů může být modul čerpací stanice, aplikace fotovoltaiky.

Jednou z možností je zejména využití akumulačních prostředků, které by v době malého odběru elektrické energie vykrývaly dostupnou proudovou zatížitelnost jističího prvku a v době zvýšené poptávky (nátok vody, deště, flokulace, dehydratace, aj.) by naopak došlo k omezení proudové zatížitelnosti daného prvku.

Pro akumulaci elektrické energie a celkovému snížení zatížení mohou být využity dvě metody:

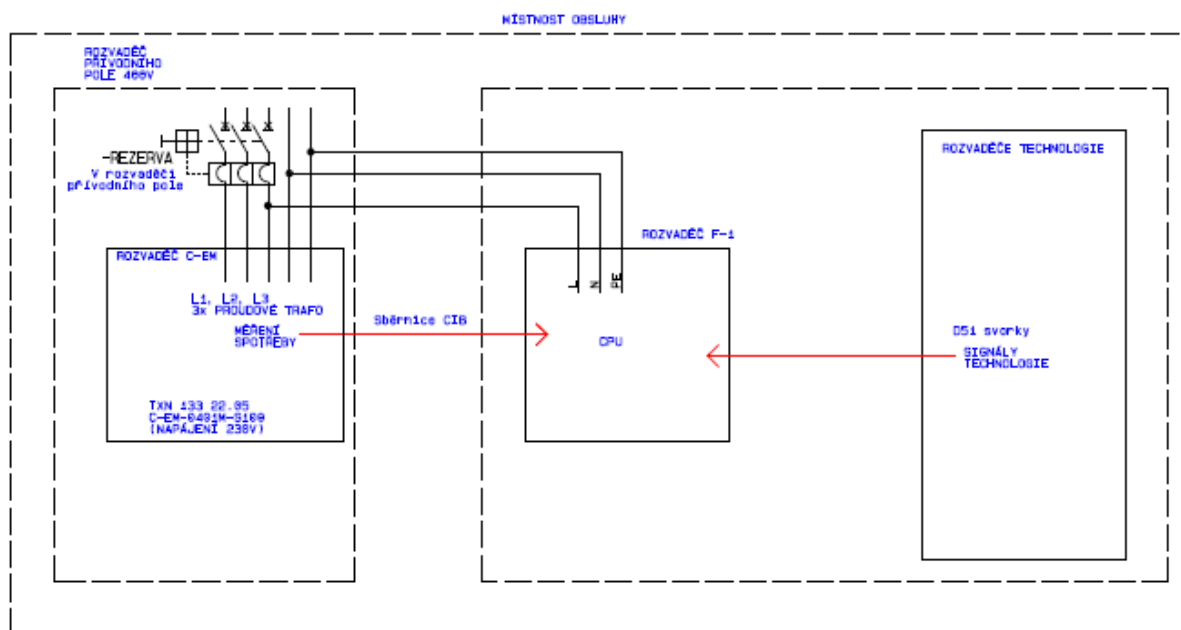
- a) akumulace elektrické energie prostřednictvím elektrochemických zásobníků,
- b) využití stlačeného vzduchu, uskladněného v zásobnících.

Metoda a) je z technologického zapojení jednodušší, ale na druhou stranu představuje poměrně značnou ekonomickou zátěž investorovi. Metoda b) je konzervativnější, z pohledu využití na ČOV je implementovatelnost snazší, ale představuje zvýšené nároky na obsluhu a mechanické provedení celé koncepce.

4.9.5 Definice parametrů energetických zdrojů pro zajištění napájení technologií

Definice parametrů zahrnovala vytvoření dotazníku na provozovatele komunálních čistíren odpadních vod, který by přesně specifikoval údaje potřebné pro definování energetických zdrojů a možných energetických úspor. Dotazník obsahuje deset otázek a je uložen u řešitelů projektu. Z výstupů těchto dotazníků byly stanoveny spotřebiče u kterých bude provedeno následní měření a vyhodnocení průběhů spotřeby.

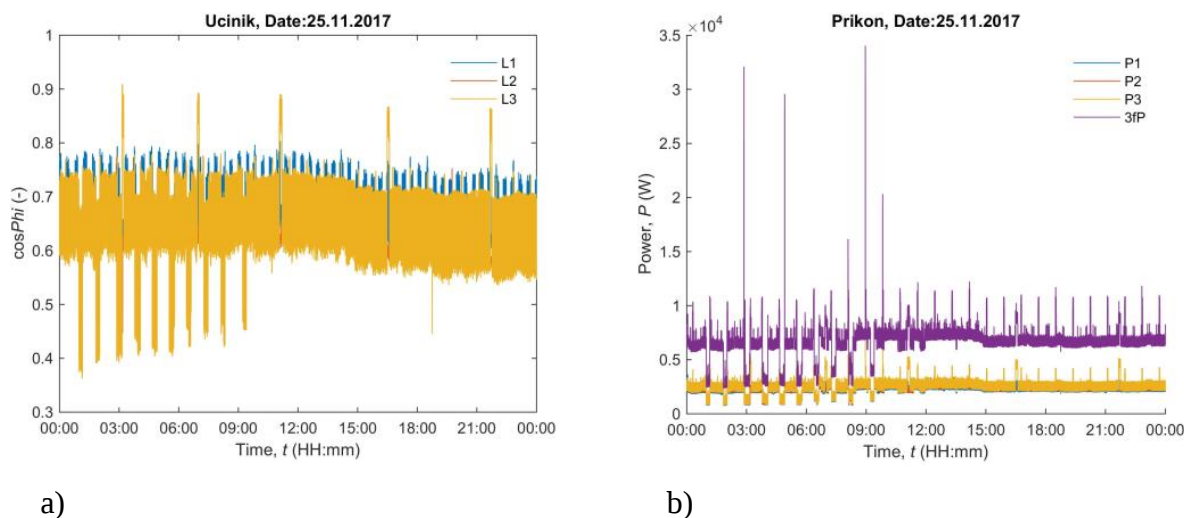
Na konkrétní lokalitě ČOV Moravičany byla zpracována prvotní studie, jejíž podstata je zachycena na blokovém schéma níže a obsahuje potřebné parametry pro měření příkonu, rozložení součástí, rozvaděč, sběrnice a napájení a signály chodů strojů a zařízení. S využitím této studie bylo prováděno modelování na ČOV Moravičany



Obr. 4.25 Schéma nového systému sběru dat na ČOV Moravičany

4.9.6 Měření energetických toků (etapa 1)

Během první etapy bylo provedeno na ČOV Moravičany měření energetických toků. Hlavní spotřebiče technologického celku ČOV Moravičany, tj. dmychadla, čerpadla a dekantální odstředivka byly osazeny senzory chodu, které přes vzdálené rozhraní zapisovaly chod jednotlivých zařízení každých pět sekund ve zvoleném časovém intervalu a následně jej dálkově přenášely do úložného prostoru k dalšímu vyhodnocení. Výstupem měření byly následující grafy, které vedou k návrhu řízení ČOV zmíněné v kapitole 4.9.8). Zvolená metoda se ukázala jako efektivní pro vyhodnocení stavu pro měření na dalších čistírnách.



Obr. 4.26 Ukázka zatížení v časovém okně jednoho dne u partnera ČOV Moravičany. Obrázek a) představuje účinník, na obrázku b) je příkon v jednotlivých fázích.

4.9.7 Ekonomické analýzy a tvorba modelu ČOV

Byl vytvořen model ČOV partnera projektu ČOV Moravičany a provedené simulace se zabývaly třemi možnými scénáři velikosti alternativního zdroje elektrické energie:

- velikost disperzního zdroje, který bude zabezpečovat krytí spotřeby elektrické energie na dolní hranici potřeb čistírny, což se projevuje pozitivně vzhledem k potřebě redukovat výkon v době snížené poptávky (redukce potřeby vzduchu pro dmychadla),
- velikost disperzního zdroje, který bude respektovat maximální možnou zastavěnou plochu čistírny,
- velikost disperzního zdroje včetně zapojení doplňkové akumulace.

Z výše uvedeného vyplývá, že bylo nutné provést energetické posouzení a výběr vhodné technologie pro malé čistírny odpadních vod do max. 500 ekvivalentních obyvatel (EO).

Technologie, které byly uvažovány, respektovaly následující kritéria:

- dostupnost – tržní potenciál těchto technologií umožňuje implementaci na ČOV v delším časovém horizontu,
- efektivita – maximální možná efektivita těchto zdrojů pracujících ve shodě s potřebami ČOV,
- ekonomika – nákladová charakteristika těchto celků musí být přijatelná pro partnery projektu,
- bezpečnost – není přijatelné se zabývat technologiemi, které vyžadují speciální certifikační řízení, popřípadě je nutné vysoce odbornou obsluhu zařízení,
- ekologie – při využití na ČOV je nutné zohlednit vliv dopadu na životní prostředí, protože se jedná o provoz s velkým množstvím vody, která se dostává zpět do vodních toků.

Na základě těchto bodů byly vybrány následující možné prvky:

- fotovoltaický zdroj,
- solární termický ohřev,
- větrná mikroelektřárna,
- vodní mikroelektřárna,
- palivové články,
- akumulace založená na elektrochemických vazbách,
- akumulace pomocí stlačeného vzduchu,
- mechanickou akumulaci,
- termální akumulaci,
- využití kapilárních efektů,
- využití latentního potenciálu látek.

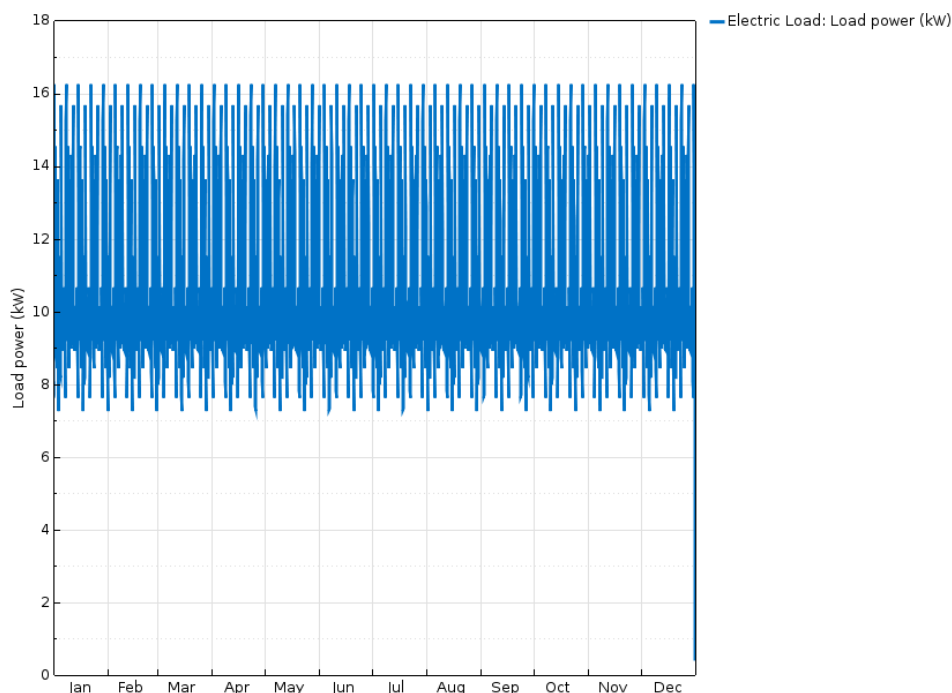
Pro prvotní analýzu byl využit tabulkový procesor MS Excel.

Kalkulátor pro výpočet energetického zisku, účinnosti a ekonomické efektivnosti pracuje na níže popsané logice. Na jedné straně rovnice je odhad energetického zisku v kWh/r, který je roven součinu instalovaného výkonu v kWp a odhadu energetického zisku ze slunečního záření v dané

lokalitě. V našem případě je naší lokalitou obec Moravičany. V dané tabulce jsou taktéž uvedeny odkazy na zdrojová statistická data. Energetický zisk je tedy maximální teoretická hodnota energie, kterou lze z fotovoltaických panelů v daném místě získat.

Reálný energetický zisk je pak hodnota teoretického energetického zisku ponížena o ztráty, které v našem případě reflektují zejména roční pokles účinnosti panelu respektive roční pokles vyrobené.

Na druhé straně rovnice je pak peněžní profit, který vyjadřuje roční množství ušetřených peněz za energii vyrobenou fotovoltaickou elektrárnou. Pro relevantní ekonomické srovnání jednotlivých uvažovaných technologií obnovitelných zdrojů je dále počítána čistá současná hodnota projektu a čistá současná hodnota reálná, která respektuje předpokládaný růst cen elektrické energie a dále pak již zmiňovaný roční pokles účinnosti panelu. Stejně tak jsou počítány doby návratnosti opět pro obě varianty výpočtu. Ukazatele ekonomické efektivnosti, jsou počítány pro předpokládanou dobu životnosti projektu 30 let. Veškeré volitelné hodnoty a parametry výpočtu a vstupní ekonomické parametry s investičními náklady byly voleny na základě rešerše trhu s FVE, zkušeností a požadavků projektu. Z technických omezení jednotlivých metod byl jako perspektivní vybrán fotovoltaický zdroj (FVE) s případnou akumulací zajištěnou elektrochemickými akumulátory. Simulováno bylo v prostředí SAM (The System Advisor Model). Průběh zatížení je zobrazen na následujícím obrázku:

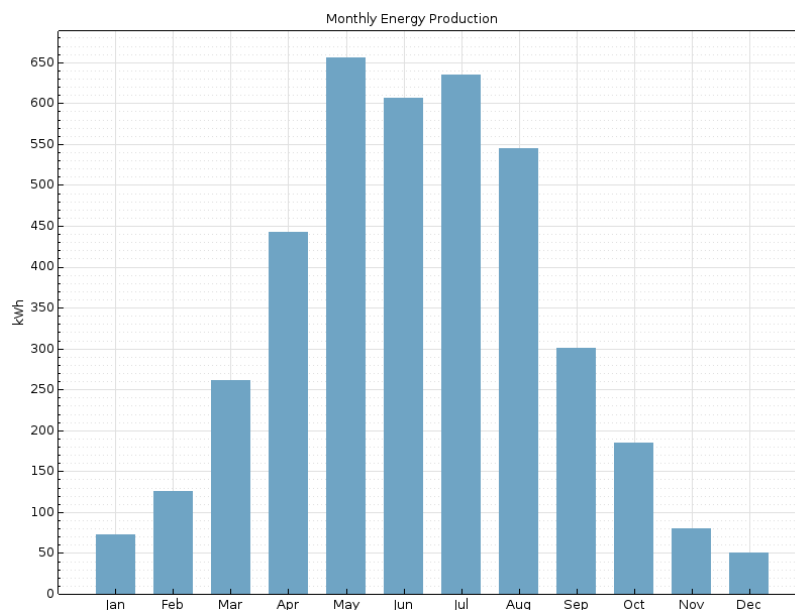


Obr. 4.27 Ukázka uživatelského rozhraní prostředí SAM

Jedná se o skutečně změřené hodnoty za období od 12.7. - 21.7. Jedná se pracovní dny a víkend. Z dat jednoznačně plyne, že zátěž čistírny odpadních vod byla po celou dobu konstantní. Na základě těchto dat, byly tyto údaje aproximovány na celé období roku. Cena elektrické energie byla použita 3,55 Kč pro vysoký tarif (VT) a 1,539 Kč pro nízký tarif (NT) trvající 8 hodin během dne. NT byl vložen do nočních hodin, VT především přes den.

- Verze instalace FVE 7 kWp:

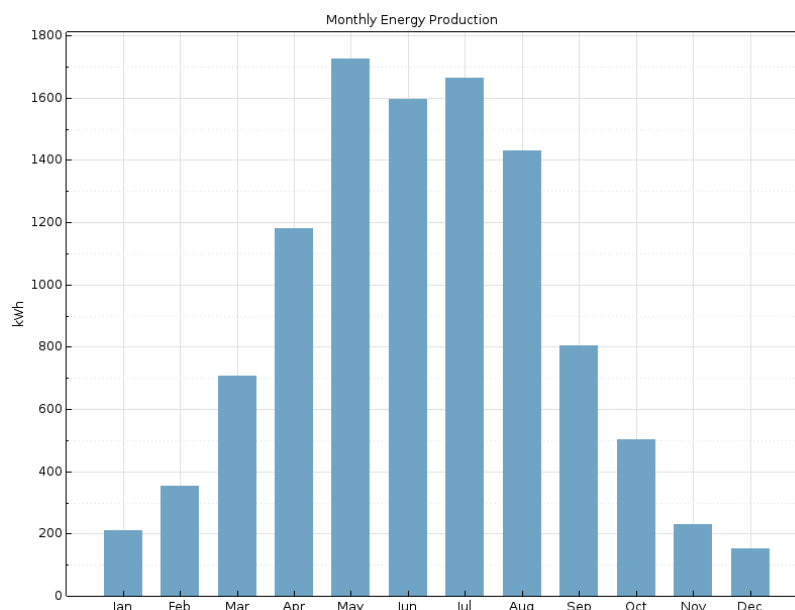
Umístění ČOV Moravičany odpovídá svojí rovnoběžkou městu Ostrava, ze které byly použity údaje o roční ozáření, stejně tak průměr teplot.



Obr. 4.28 ročná produkce elektřiny při instalaci FVE 7kWp

- Verze instalace FVE 18 kW:

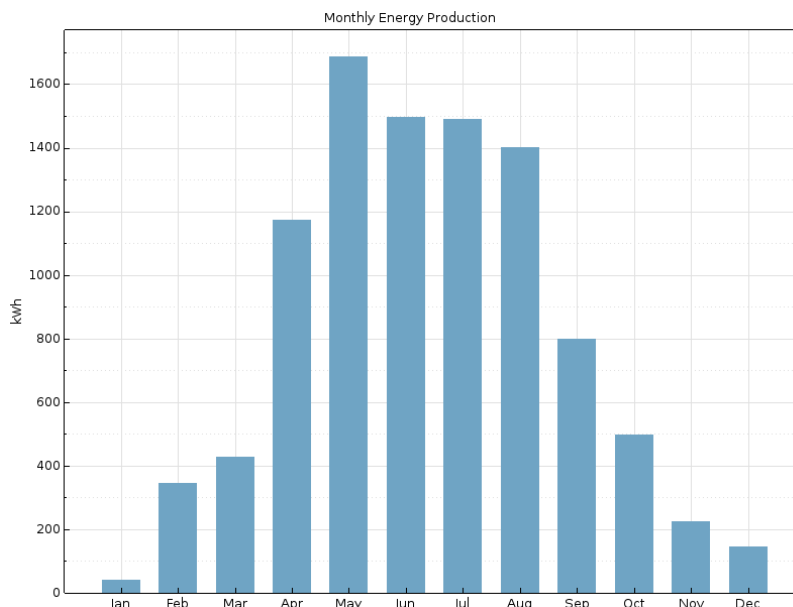
Pro verzi 18 kW je zamýšleno pokrýt celou střechu FVE moduly pro maximalizaci energetického zisku. Dále je počítáno se sníženým výkonem měničů na úroveň 15 kW, což má za následek snížení maximálního možného zisku z FVE, ale dochází k cenově efektivnějšímu zhodnocení měničů a jejich využití na úrovni maximální účinnosti.



Obr. 4.29 ročná produkce elektřiny při instalaci FVE 18kWp

- Varianta 18 kW s akumulací

Pro toto variantní řešení je zajímavé využití akumulčního média, pro využití maximálního možného energetického zisku s dočasným ukládáním do akumulátorů a následného využití pro krytí špičkového zatížení. Navržené parametry se liší v zapojení měničů na maximální možný výkon (18 kW) a využití akumulace v rozsahu 10 kW a 50 kWh.



Obr. 4.30 ročná produkce elektřiny při instalaci FVE 18kWp s akumulací

Závěrem lze říci, že ceny elektrické energie za jednotku kWh, která je účtována ČOV Moravičany je velmi nízká. Model nepočítá se vzrůstem cen nebo jejich poklesem v čase. Celková investice do FVE na úrovni 7 kW je neekonomická. Úroveň 15 kW a 18 kW s akumulací, ve které byla stanovena cena 10.800 Kč/kWh akumulace vychází kladně. Ovšem musíme konstatovat, že tento cash-flow je definován pro vyšší výkon (18 kW) a tzv. kumulovaný cash-flow je příznivější než u varianty 15 kW, ale vychází ze zadaných dob spotřeby elektrické energie ve vyhrazených (námi uvažovaných) časech. Vytvořený model bude dále zpřesněn využitím dat z dlouhodobého měření.

4.9.8 Návrh architektury řídicího systému, definování HW a SW struktur

Stručné vyhodnocení ČOV Moravičany, které je vodítkem a testovacím zařízením pro další postupy návrhu architektury řídicího systému.

Z pohledu optimalizace spotřeby elektrické energie je nutné se zaměřit na výkonově významné spotřebiče a taky na charakteristiku jejich provozu. Výkonově významné lze považovat spotřebiče, kterých výkon představuje významné procento z instalovaného výkonu. V případě ČOV Moravičany bychom mohli uvažovat dmychadla (5,5 kW), odstředivku (4 kW), míchadla a dmychadlo jímky svažných vod a mikrosítový bubnový filtr. Jako rentabilní se jeví hlavně řízení soustrojí dmychadel a odstředivky, z důvodu vyššího výkonu.

U odstředivky se jedná o typ spotřebiče, u kterého lze předpokládat odložený start. Provoz by byl tedy podmíněn na dobu, kdy je k dispozici dostatečná výkonová rezerva. K tomu může přispět systém predikce nátok, podle dle měřených dat a stanovení kritických hodin, což období ve dne,

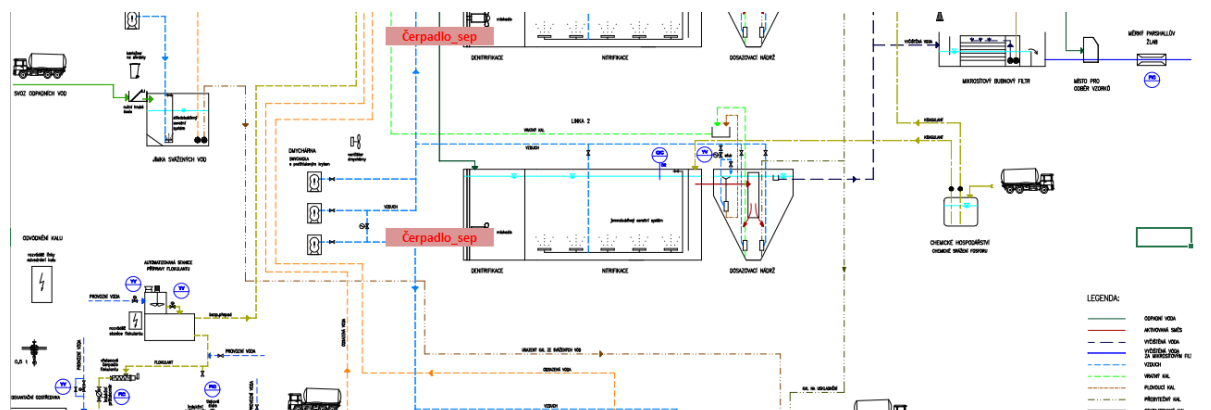
kdy dochází největšímu nátoku. Stanoví se to buďto odhadem (ranní a večerní hodiny) nebo na základě dlouhodobějšího měření. Řízení otáček u odstředivky postrádá smysl, z důvodu požadavků na její funkci.

Hlavním spotřebičem z hlediska řízení jsou soustrojí dmychadel o výkonu 5,5 kW. Je nutné definovat charakteristiku provozu. Na základě předběžného měření se jeví, že kontinuálně pracuje jen jedno dmychadlo. Na základě údajů z kyslíkové sondy se spíná dmychadlo druhé a dmychadlo třetí je jako rezerva. Z hlediska optimalizace je zajímavý provoz druhého dmychadla, které se sepíná jen krátkodobě přibližně jednou za půl hodiny. (Provoz je nutné ověřit detailnějším měřením a analýzou). Jako vhodnější se jeví provozovat dmychadlo pomocí frekvenčního měniče. Frekvenční měnič by reguloval otáčky dmychadla, dle požadavků kyslíkové sondy a nebyl by potřeba rozběh na jmenovité otáčky, co způsobuje značné proudové nárazy.

Další doporučení se týká kompenzaci účinníku. Z předběžného měření vyplynula hodnota účinníku přibližně 0,74. Povinnost na jedné straně kompenzovat jalový výkon odebíraný z rozvodných sítí a na straně druhé zamezovat jeho zpětné dodávce je vynucena penalizacemi, právně podpořenými zejména v zákoně 458/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů a příslušnou sekundární legislativou zatím pro odběratele ze sítí VN sítí. Výše úhrad je pak každý rok v listopadu stanovena tzv. cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu. Vynucení povinnosti kompenzace je realizováno procentní přírůzkou k pořizovací ceně elektrické energie (až do výše 100%), nevyžádaná dodávka kapacitní práce do sítí je pak účtována na vrub odběratele příslušnou sazbou, v současnosti 400Kč/Mvarh. Z důvodů vysokých postihů, jsou kompenzační zařízení běžnou součástí rozvodu odběratelů ze sítí VN. Zatím není v platnosti vyhláška, která by penalizovala odběratele za nižší hodnotu účinníku v síti NN, ale do budoucna to nelze vyloučit. Navíc správná kompenzace (účinník 0,95) by umožnila výhodnější nastavení hlavního jističe, z důvodu nezatěžování hlavního přívodního vedení jalovým proudem.

Na základě předběžného měření a výpočtu se jeví, že správnou kompenzací lze proud ve špičce (22,5 kW) výrazně omezit. Kompenzovaný by měl hodnotu 32,5 A oproti nekompenzovanému 44 A. To umožňuje navýšení výkonové rezervy, nebo snížení hodnoty hlavního jističe.

Odladění spočívalo ve vytvoření modelu v MS Excel s využitím maker, který posléze umožňuje optimalizaci spotřeby energie s využitím sofistikovanějšího způsobu návrhu systému řízení. Ukázka uživatelského rozhraní souboru je na obrázku níže.



Obr. 4.31 Ukázka uživatelského prostředí pro optimalizaci návrhu komponent

4.10 Energetická náročnost čistírny Moravičany (Etapa 2)

Tato kapitola navazuje na předchozí kapitolu zabývající se základními postupy řešení, parametrizaci provozovny ČOV a zpracování a vyhodnocení získaných dat

4.10.1 Měření energetických toků

Definice parametrů energetických zdrojů byla podrobně rozpracována v kapitole: 4.9.5. Ze zmíněné kapitoly je možné stanovit investiční náklady jednotlivých OZE dle požadovaného energetického zisku. Pro přesnější určení byly přepočteny vztažné hodnoty na instalovaný výkon, respektive na využitelnou plochu a výkon daných jednotek. Tento krok byl proveden z důvodu bližší specifikace pořizovacích nákladů dle specifikace zdroje a běžných parametrů definující daný OZE.

Dané závislosti a investiční náklady byly získány z poptávek skutečných výrobců těchto OZE působících na českém i zahraničním trhu. Získané data byla vynesena do grafů a následně byl určen nejvhodnější trend charakterizující poměr mezi energetickým ziskem a investičními náklady zdroje. Pro bližší a univerzální informaci je v grafech znázorněn trend $y = f(x)$ pomocí polynomu druhého stupně. Závislost je znázorněna matematickou rovnicí charakterizující daný průběh závislosti a je určena spolehlivost vyjádřené matematické závislosti R^2 , kde určuje přesnost výsledku pro daný průběh, čím je hodnota bližší hodnotě jedné, tím je výsledek přesnější. Zmíněné funkce byly vytvořeny za účelem lepší interpretace a využitelnosti rovnic modelu nákladů, které byly následně zahrnuty do matematických modelů.

Tab. 4.21 Odhad energetického zisku ze slunečního záření v lokaci Moravičany [48]

Lokalita (49°45'22" North, 16°58'19" East)					Moravičany
Sklon panelů (°)					34
Azimut (°)					-2
Predikce					
Měsíc	$G_{T,m}$ (W/m ²)	H_h (Wh/m ² .den)	H_{opt} (Wh/m ² .den)	$H_{(90)}$ (Wh/m ² .den)	DNI (Wh/m ² .den)
1	418	750	1080	1050	694
2	489	1450	2010	1840	1340
3	535	2960	3780	3060	2670
4	527	4520	5180	3440	4090
5	521	5130	5270	2910	4060
6	517	5460	5360	2730	3880
7	512	5410	5420	2860	4080
8	515	4710	5160	3160	4080
9	516	3290	4030	3040	2910
10	488	1930	2630	2330	1860
11	427	900	1320	1290	912

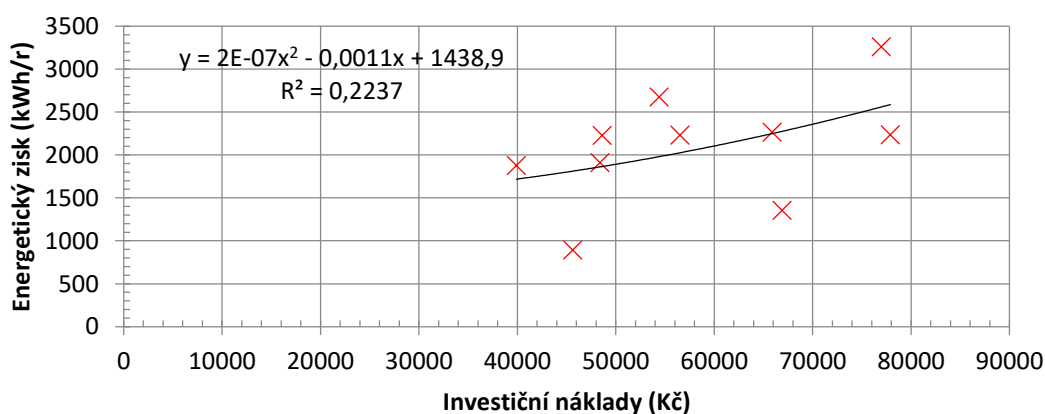
12	387	573	861	869	587
Roční prům./celk	488	3090	3508	2382	2597

$G_{T,m}$ – ozáření, H_h – energie v horizontální rovině, H_{opt} – energie na optimálně nakloněné rovině, $H(90)$ – energie na rovině pod úhlem: 90°

Jako příklad zpracování byl vybrán postup řešení solárního ohřevu. Pro stanovení ročního energetického zisku solárního kolektoru bylo nutné definovat polohu umístěného zařízení a získat energetický potenciál slunce, který je zobrazeno v Tab. 4.20.

U vynesných grafů pozorujeme velký rozptyl hodnot jednotlivých bodů, tato skutečnost je způsobena nepřesným rozložením cenových nabídek, které byly získány od jednotlivých dodavatelů. Nicméně pro určení orientační cenové hladiny pro jednotlivé energetické zisky je tento průběh dostatečný. Průběh znázorňující závislost energetického zisku na investičních nákladech je zobrazen na Obr. 4.32. Z průběhu je následně možné určit požadovanou závislost:

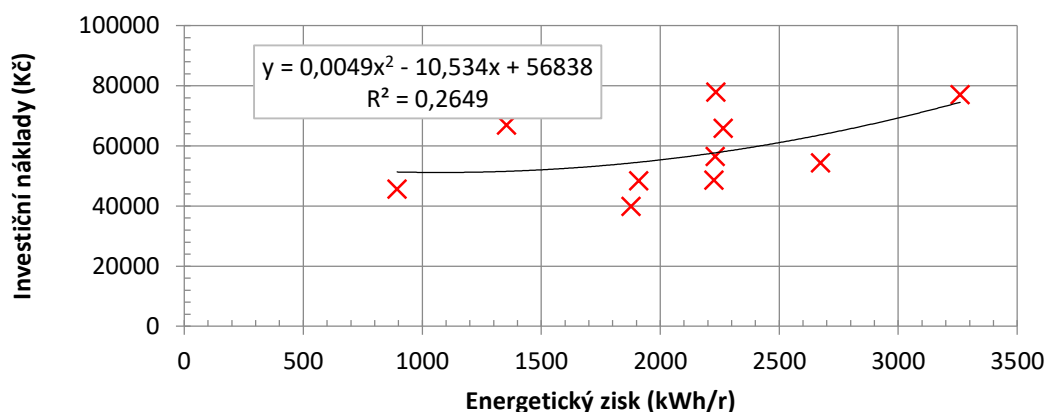
$$y = 2 \cdot 10^{-7}x^2 - 0,0011x + 1438,9 ; R^2 = 0,2237 \quad (4.36)$$



Obr. 4.32 Závislost energetického zisku na investičních nákladech zdroje

Následující průběh definuje funkci investičních nákladů na energetickém zisku. Výsledný průběh je zobrazen na Obr. 4.33 a z průběhu byla stanovena požadovaná funkce, využitelná v modelování nákladů příslušného zdroje energie:

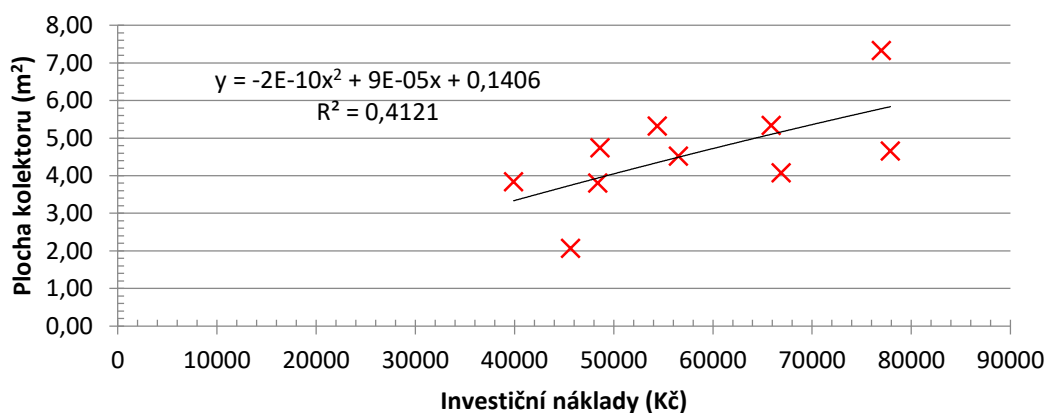
$$y = 0,0049x^2 - 10,534x + 56838; R^2 = 0,2649 \quad (4.37)$$



Obr. 4.33 Investiční náklady dle požadované energetické výtěžnosti zdroje

Dalším využitelným průběhem funkce je dle uvažované investice je možné zjistit rozsah instalace solárních kolektorů. Průběh závislosti je popsán rovnicí níže:

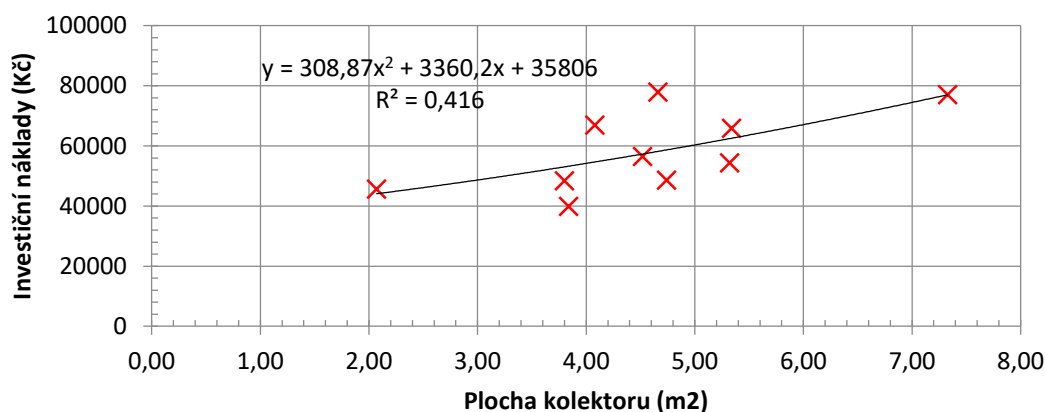
$$y = -2 \cdot 10^{-10}x^2 + 9 \cdot 10^{-5}x + 0,1406,9 ; R^2 = 0,4121 \quad (4.38)$$



Obr. 4.34 Stanovení velikosti solárních kolektorů dle investičního záměru

Upravené zobrazení pro určení nákladů dle požadované nebo dostupné plochy pro kolektory je zobrazena a určena dle funkce:

$$y = 308,87x^2 + 3360,2x + 35806 ; R^2 = 0,416 \quad (4.39)$$



Obr. 4.35 Určení nákladů dle požadované nebo dostupné plochy pro kolektory

Stejným postupem jsme stanovily investiční náklady pro další zvolené zdroje, jejich průběhy jsou popsány rovnicemi:

- Fotovoltaika

- Energetický zisk funkcí investičních nákladů

$$y = -1 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,0147x + 405,14; R^2 = 0,8286 \quad (4.40)$$

- Investiční náklady funkcí energetického zisku

$$y = 0,0225x^2 - 13,422x + 42255; R^2 = 0,8709 \quad (4.41)$$

- Instalovaný výkon funkcí investičních nákladů

$$y = -1 \cdot 10^{-11}x^2 + 2 \cdot 10^{-5}x + 0,4337; R^2 = 0,8286 \quad (4.42)$$

- Investiční náklady funkcí instalovaného výkonu

$$y = 0,0225x^2 - 13,422x + 42255; R^2 = 0,8709 \quad (4.43)$$

- Malá vodní elektrárna

- Energetický zisk funkcí investičních nákladů

$$y = -1 \cdot 10^{-10}x^2 + 6 \cdot 10^{-05}x + 7,2606; R^2 = 0,7563 \quad (4.44)$$

- Investiční náklady funkcí energetického zisku

$$y = 9496,9x^2 - 123929x + 400351; R^2 = 0,3465 \quad (4.45)$$

- Instalovaný výkon turbíny funkcí investičních nákladů

$$y = -1 \cdot 10^{-14}x^2 + 7 \cdot 10^{-9}x + 0,0008; R^2 = 0,7563 \quad (4.46)$$

- Investiční náklady funkcí instalovaného výkonu turbíny

$$y = 7 \cdot 10^{11}x^2 - 1 \cdot 10^9,422x + 400351; R^2 = 0,3465 \quad (4.47)$$

Mezi další poptávané technologie byla zařazena větrná turbína a akumulace do bateriového systému, aby bylo možné investičně počítat a srovnávat tyto investiční náklady.

- Větrná turbína

- Energetický zisk funkcí investičních nákladů

$$y = 7 \cdot 10^{-10}x^2 + 0,007x + 1228,2; R^2 = 0,7897 \quad (4.48)$$

- Investiční náklady funkcí energetického zisku

$$y = 0,0011x^2 - 62,873x + 73908; R^2 = 0,796 \quad (4.49)$$

- Instalovaný výkon rotoru funkcí investičních nákladů

$$y = -8 \cdot 10^{-14}x^2 + 8 \cdot 10^{-7}x + 0,1402; R^2 = 0,7897 \quad (4.50)$$

- Investiční náklady funkcí instalovaného výkonu rotoru

$$y = 86246x^2 + 550769x + 73908; R^2 = 0,796 \quad (4.51)$$

- Akumulace

- Kapacita baterií funkcí investičních nákladů

$$y = -4 \cdot 10^{-10}x^2 + 1 \cdot 10^{-4}x + 0,7299; R^2 = 0,888 \quad (4.52)$$

- Investiční náklady funkcí požadované kapacity baterií

$$y = -782,75x^2 + 25693x + 20325; R^2 = 0,7968 \quad (4.53)$$

4.10.2 Měření energetických toků - Parametry ČOV Moravičany

Kapitola popisuje reálnou spotřebu instalovaných zařízení na čistírně. Dle podkladů byl vytvořen seznam strojního vybavení a určen jejich výkon a celkového přehledu byl stanoven instalovaný výkon 37 kW a soudobý příkon 28 kW při soudobosti 0,76. Z rozboru zařízení a stanovení soudobého výkonu bylo zjištěno, že jistící prvek přípojného místa ČOV je značně předimenzovaný. Hodnota jističe je 63 A s vypínací charakteristikou C – motorové spouště. Snížením hodnoty jističe dojde ke snížení měsíční paušální platby. Dle zjištěného soudobého výkonu se pohybujeme na hladině jističe 40 A.

Současný stav na objektu ČOV Moravičany je následující:

- Objekt v současné době nevyužívá žádných kompenzačních metod pro zlepšení účinnku, případně odlehčení jistícího prvku.
- V objektu jsou instalována čerpadla a dmychadla, která jsou spínána pomocí kyslíkové sondy. Odstředivka pro zahuštění kalů je ovládána ručně, bez jakékoliv vazby na aktuální příkon objektu čistírny odpadních vod.
- Čistírna je napájena z nedaleké trafostanice (300 m) přímo z distribuční hladiny vysokého napětí 22 kV pomocí distribučního transformátoru.
- Jakákoliv součinnost mezi jednotlivými strojními skupinami neexistuje, řídicí systém pouze hlídá celkové množství kyslíku v retenční nádrži. Ochranné funkce jednotlivých komponentů jsou pouze na úrovni integrovaných řešení přímo výrobcí daného soustrojí, vyjma centrálního jištění v hlavním rozvaděči.

Následující tabulka Tab. 4.22 ilustrují odběr elektrické energie na hladině nn na předávacím místě ČOV Moravičany. Režim vysokého tarifu (VT) a nízkého tarifu (NT) je využíván od roku 2011, kdy došlo k redukci nákladů na provoz ČOV přibližně o 20 %. Další efektivní snížení spotřeby elektrické energie je z pohledu vhodné volby produktové řady dodavatelů elektrické energie bezpředmětná. Obec využívá sdíleného tarifu Skupiny ČEZ, která je speciálně připravena pro malé obce. Alternativní dodavatelé mohou konkurovat pouze s mírně nižší cenou, což není pro obec velikosti Moravičan rozhodující. Tabulka dále obsahuje energetickou náročnost na vyčištění jednoho m³ vody.

Tab. 4.22 Přehledová tabulka s jednotkovým energetickým nárokem na vyčištění odpadní vody (kWh/m³)

Období	VT	NT	Celkem spotřeba	VT	NT	Průměrná spotřeba	Průměrný přítok	Energ. náročnost
(-)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(%)	(%)	(kWh/den)	(m ³ /den)	(kWh/m ³)
2015/2016	49 281	22 620	71 901	68,54	31,46	193,8	101,80	1,90
2014/2015	51 114	23 293	74 407	68,70	31,30	205,5	99,54	2,07
2013/2014	53 195	24 691	77 886	68,30	31,70	213,4	99,54	2,14
2012/2013	51 650	24 347	75 997	67,96	32,04	209,4	121,89	1,72
2011/2012	46 045	22 022	68 067	67,65	32,35	185,5	82,82	2,24

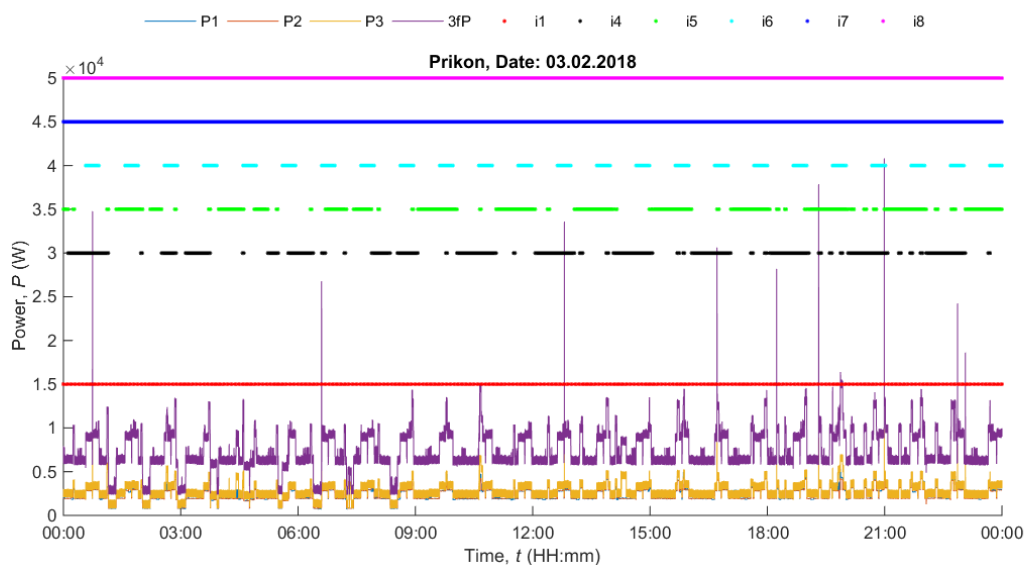
Za zajímavý lze hodnotit stav, kdy energetická náročnost na vyčištění jednotkového množství odpadní vody neodpovídá množství lineární závislosti, ale je silně ovlivněna ostatními faktory. Za ostatní faktory lze považovat zejména teplotu prostředí, množství látek rozpuštěných ve vodě apod.

Pro bližší specifikaci a určení spotřeby energetické náročnosti bylo nainstalován přístroj pro měření dlouhodobé spotřeby na ČOV pomocí automatizovaného měření KMB 144 se sběrem dat. Nastavený záznam hodnot byl definován změřením okamžitých hodnot příkonů v jednotlivých fázích (L1, L2, L3) s časovou periodou 5 s. Pro identifikaci spuštěných zařízení byla nastavena funkce binárního zápisu (0,1). Měření probíhalo kontinuálně po dobu 2 měsíců.

Z identifikace naměřených hodnot lze vypožorovat nevhodně nastavený provoz čistírny s ohledem na distribuční soustavu, ze které je objekt napájen. Jedná se zejména o dimenzování čerpacích a dmychadlových jednotek, které jsou neoptimálně provozované mimo pracovní bod strojů.

Sledovány jsou následující události:

- i1 – rozvaděč stíraného válcového síta
- i2 – čerpadlo odpadních vod z jímky svážených vod
- i3 – dmychadlo do jímky svážených vod
- i4 – dmychadlo do aktivace
- i5 – dmychadlo do aktivace
- i6 – dmychadlo do kalové jímky
- i7 – čerpadlo kalu z nádrže kalu č.1, do nádrže kalu č.2
- i8 – rozváděcí stanice přípravy flokulantu a dekantací odstředivky

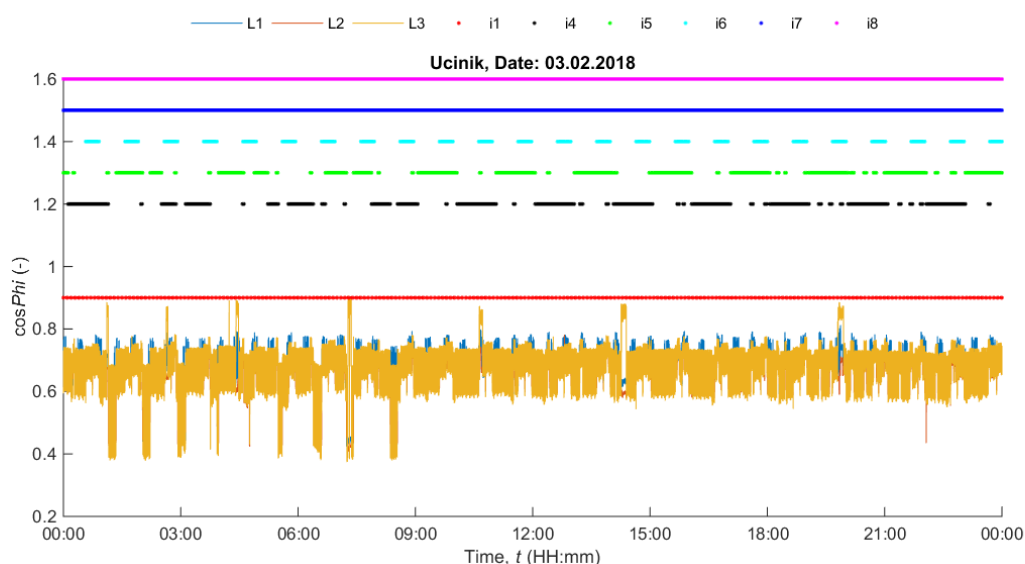


Obr. 4.36 Grafický průběh změřených hodnot příkonu v časovém okně jednoho dne. Události označené i1 - i8 představují sepnutí jednotlivých spotřebičů

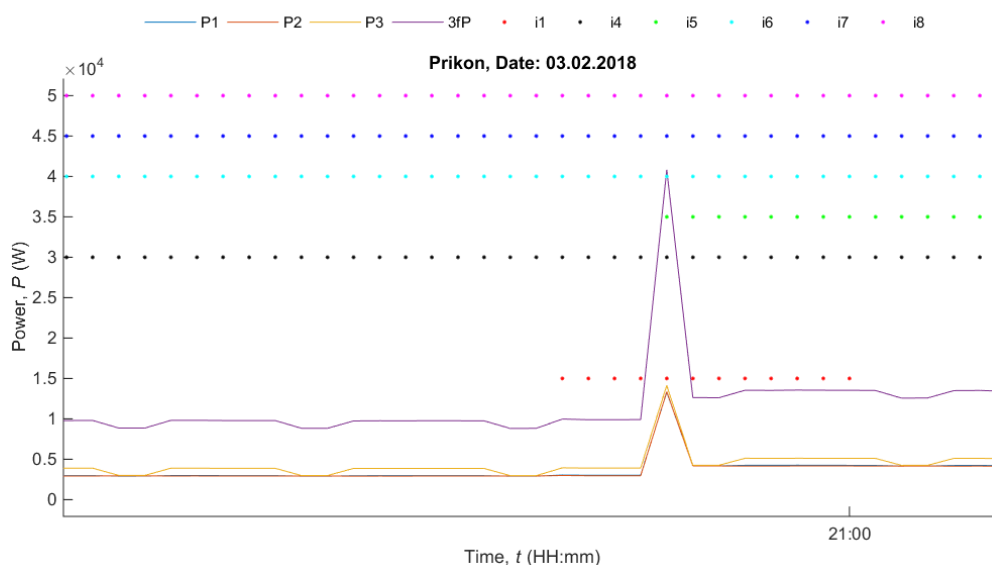
Výsledky měření s periodou 5 s jsou zobrazeny na

Obr. 4.36. Výkon kolísá mezi 15 kW a 3 k, dolní limitní hodnoty dosahuje zejména v nočních a brzkých ranních hodinách, ve kterých je zatížení ČOV malé. Naopak špičky (například ve 20:59:25) znázorňují sepnutí indukivní zátěže s počátečním rázovým proudem. Tento startovací proud způsobilo zapnutí i5 – dmychadlo do aktivace. Dmychadlo je vybaveno asynchronním motorem bez jakékoliv regulace (frekvenční měnič, soft start, mechanická spojka apod.) a způsobuje nárůst proudu. Tomu také odpovídá špatná hodnota účinníku, která je patrná na Obr. 4.37.

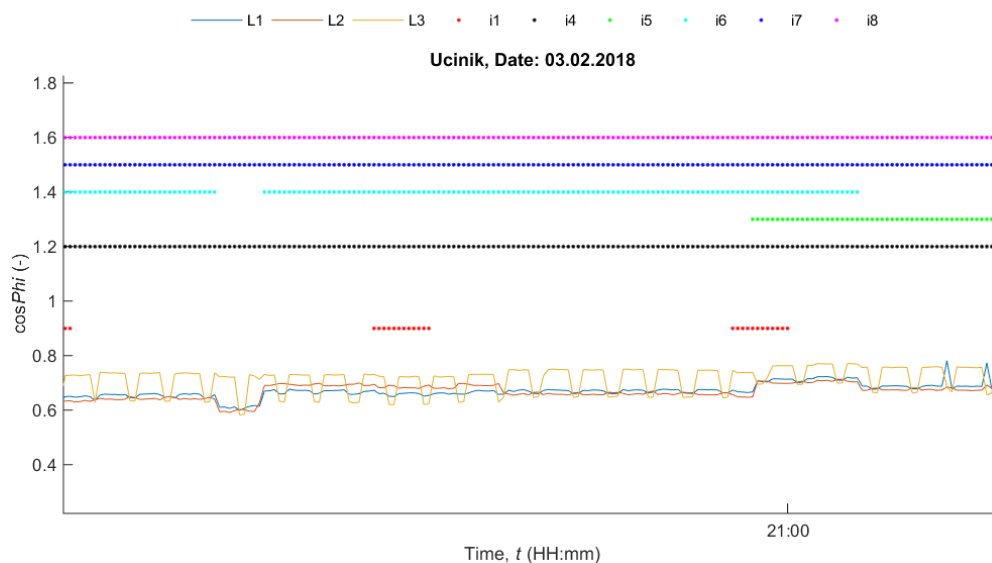
Na Obr. 4.38 můžeme pozorovat špičkovou hodnotu odběru elektrické energie, která byla způsobena rozběhem motoru dmychadla aktivace. Tento jev je dále zobrazen Obr. 4.39 z pohledu účinníku, kdy dochází ke zlepšení hodnoty. Trvalý příkon, který je patrný zejména na Obr. 4.39 z pohledu účinníku, je tvořen spínaným topením, které je zapojeno do jedné fáze a slouží k ohřevu velínu.



Obr. 4.37 Grafický průběh změřených hodnot účinníku v časovém okně jednoho dne. Události označené i1 - i8 představují sepnutí jednotlivých spotřebičů

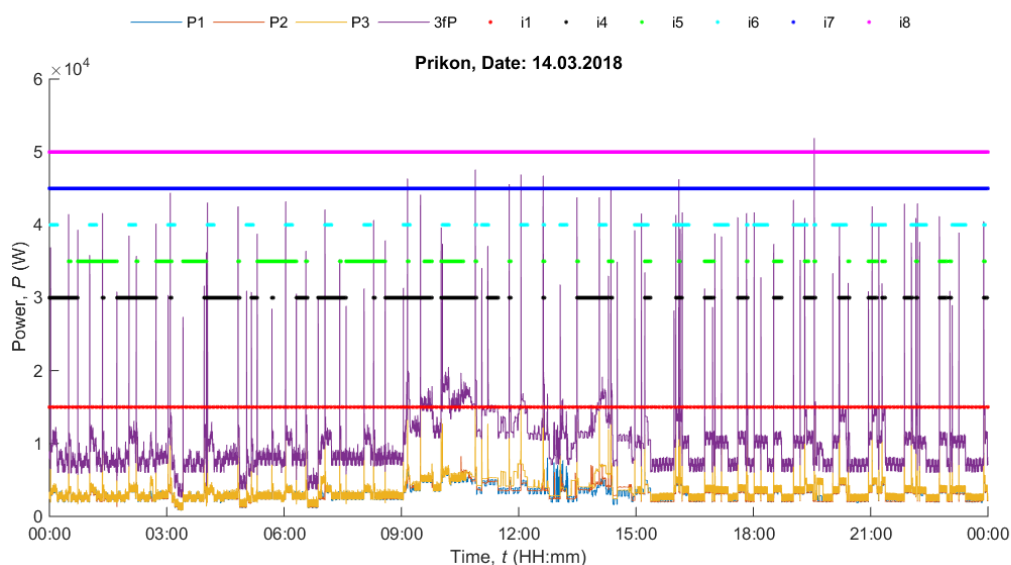


Obr. 4.38 Detail zapnutí dmychadla (i5) - červený bod, je patrný značný nárůst příkonu v čase 20:59:25.



Obr. 4.39 Průběh účinníku při zapnutí dmychadla i5 v čase 20:59:25. Došlo k mírnému poklesu účinníku, což značí značný jalový odběr proudu

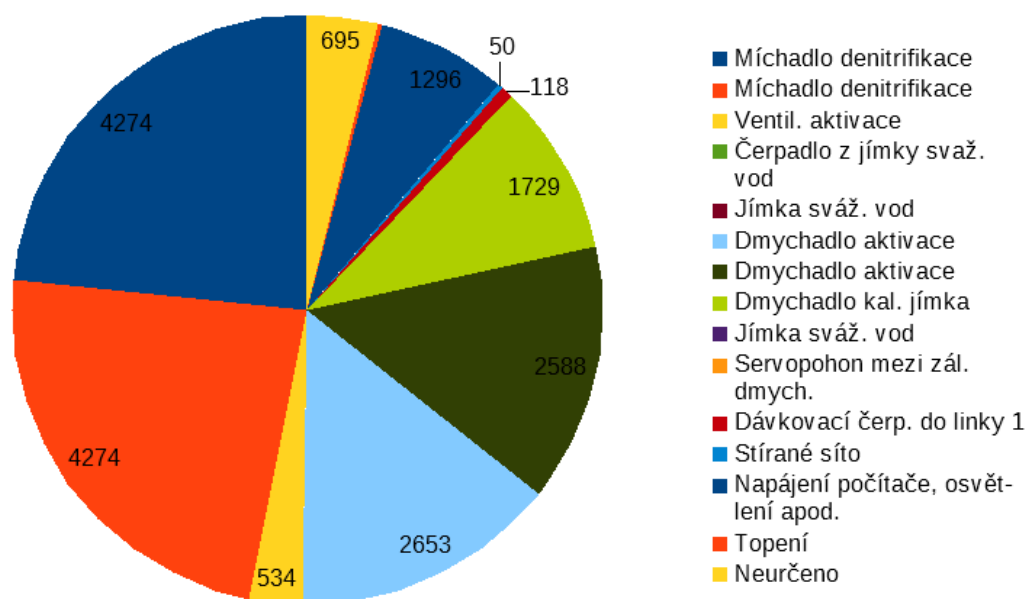
Pro bližší analýzu spínacích dějů bylo následně měření upraveno se vzorkovací periodou 200 ms (bez agregace), aby bylo jasně definováno zapínání dmychadel během dne. Tento průběh je zobrazen na Obr. 4.40. Z výsledků upraveného měření je patrné, že jeden průběh zapnutí překračuje okamžitou hodnotu 50 kW během dne. V tento čas jsou zároveň zapnuty i4, i5, i6 – tedy: dmychadlo do aktivace č. 1, dmychadlo do aktivace č. 2, dmychadlo do kalové jímky. Jedná se o naprosto nekoordinované řízení, bez jakékoliv zpětné vazby.



Obr. 4.40 Přehled denního průběhu zapínání dmychadel v rámci měření na rozhraní 200 ms

Při dlouhodobém měření, které probíhalo kontinuálně v období od 1.12.2017 do 28.2.2018 bylo zjištěno následující rozložení spotřeby dle Obr. 4.41:

- Největší část spotřeby elektrické energie zaujímá míchadla denitrifikace. Příkon míchadel byl měřen, časy sepnutí již ne, protože se předpokládá kontinuální provoz.
- Velkou spotřebu energie mají také dmychadla, která nemají trvalý příkon 5,5 kW, ale cca 3,4 kW. Tzn., že nepracují na nominálních parametrech, ale jsou pod těmito parametry.
- Neurčená část spotřeby představuje neidentifikovanou spotřebu – stírané mikrosíto na odtoku, ruční spínání čerpadel kalu, ruční spínání dekantační stanice apod. Nicméně tato část je velmi malá vzhledem k celkové spotřebě objektu.

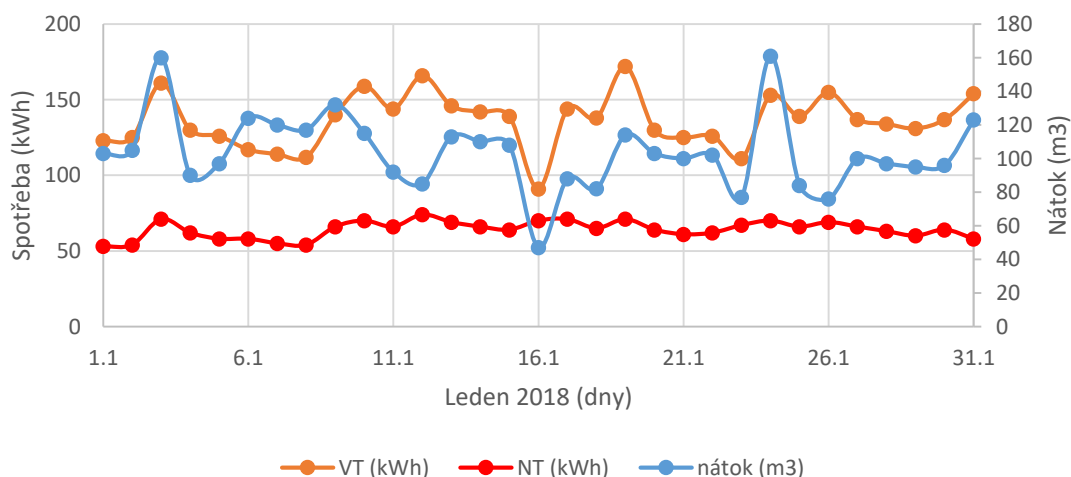


Obr. 4.41 Rozložení celkové spotřeby jednotlivých strojů umístěných ve strojovně ČOV Moravičany. Číselné údaje uvedené v jako datový popisec představuje spotřebovanou část energie v kWh

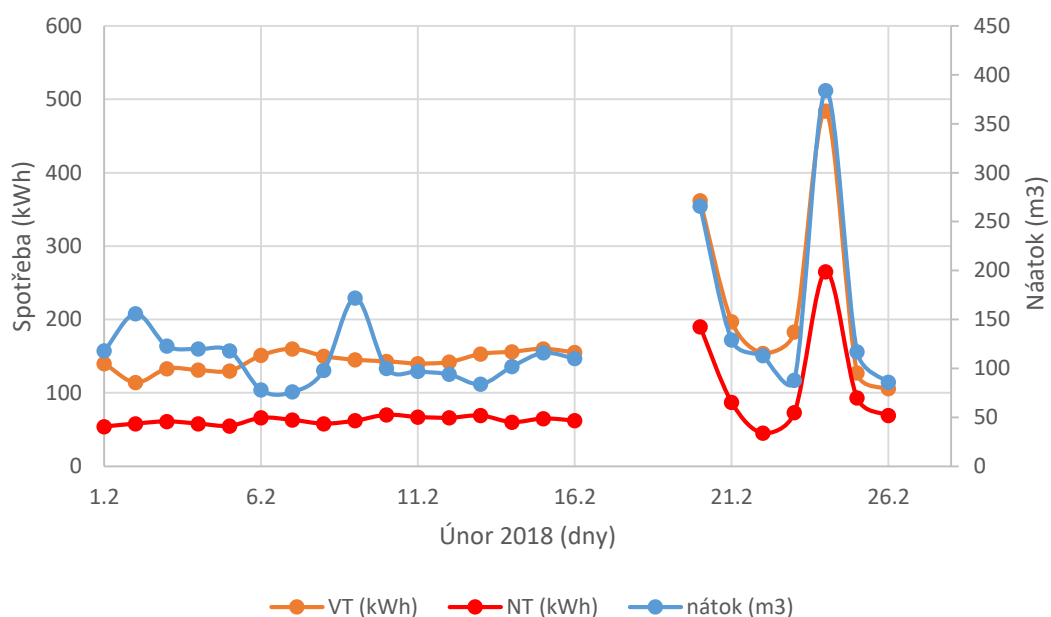
Grafu spotřeby Obr. 4.41 lze konstatovat, že navržené strojní vybavení je téměř neustále v provozu. Celková spotřeba elektrické energie byla za dané období 18,26 MWh, což je shodné s fakturačními údaji za měřené období.

Během měření obsluha zajišťovala každodenní odečty nátoků vody na čistírnu a odečty elektrické energie. Dle naměřených hodnot byl potvrzený fakt, že měrné hodnoty (kWh/m^3) jsou vyšší, než je standardní.

Následující průběhy Obr. 4.42 (leden 2018) a Obr. 4.43 únor (2018) interpretují naměřené hodnoty obsluhou a lze sledovat složení spotřeby během VT a NT společně s křivkou zobrazující nátok na čistírnu. Během zaznamenaných hodnot došlo v únoru k výpadku zaznamenaných dat vlivem lidského faktoru, proto tyto hodnoty v průběhu chybí.

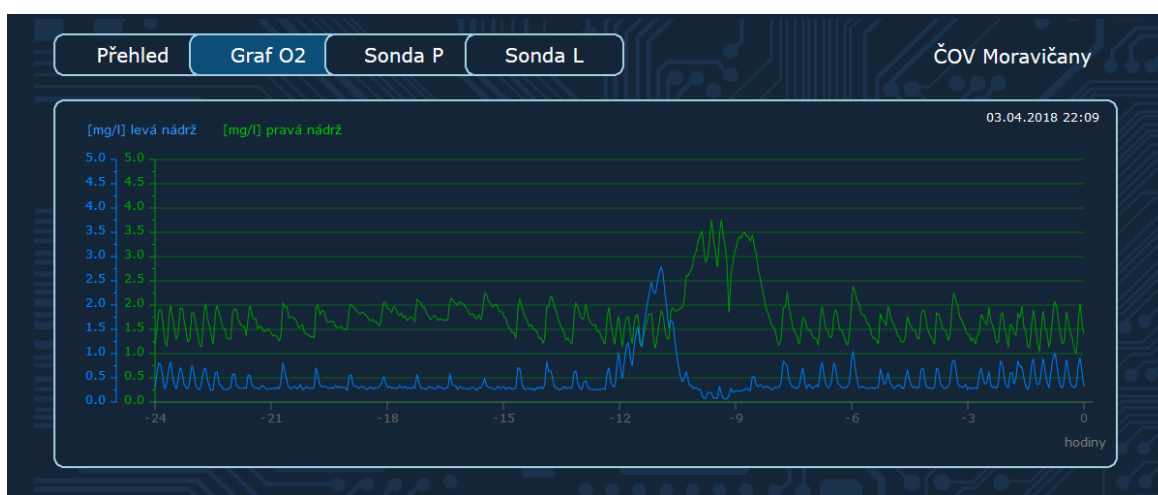


Obr. 4.42 Přehled zaznamenaných hodnot za měsíc leden 2018

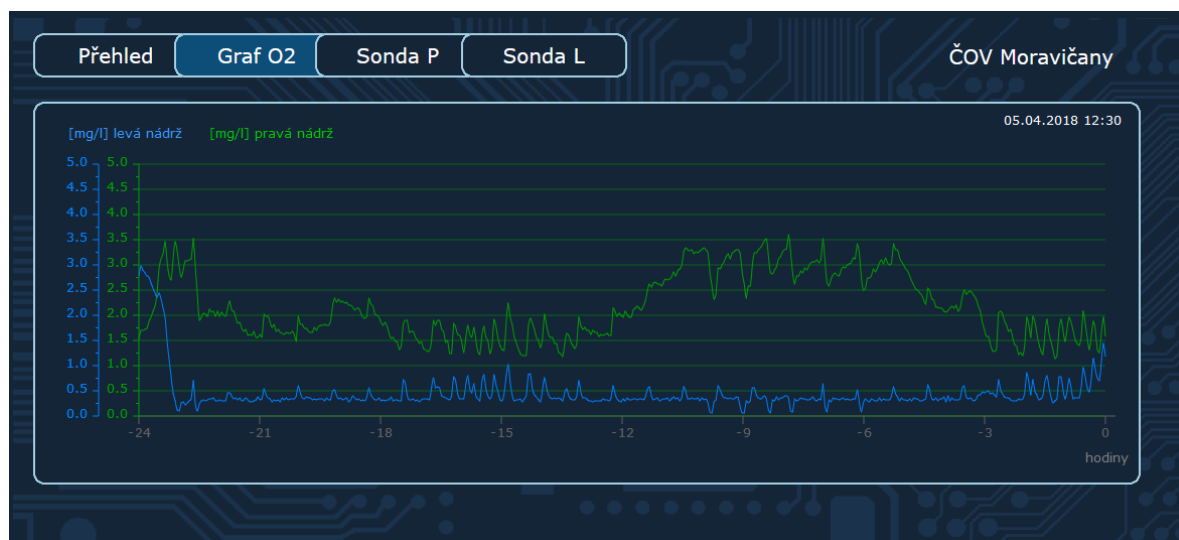


Obr. 4.43 Přehled zaznamenaných hodnot za měsíc únor 2018

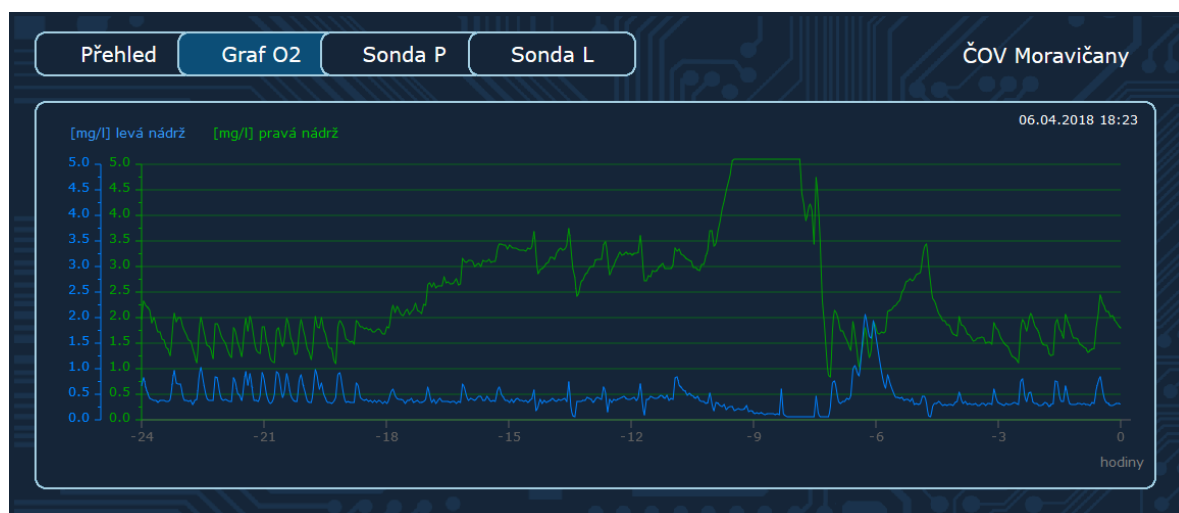
Na následujících obrázcích Obr. 4.44, Obr. 4.45, Obr. 4.46 jsou znázorněny měřené hodnoty kyslíku na dodatečných sondách, které byly namontovány do nitrifikačních bazénů. Výsledné měření je zobrazeno v průběhu třech dní a je zřejmé, že minimální úroveň 2 mg/l rozpuštěného O_2 není splněna a dále lze vyčíst, že levá nádrž pracuje tzv. deficitně a zcela neřízeně bez vlivu na stávající kyslíkové sondy.



Obr. 4.44 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 3.4.2018



Obr. 4.45 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 5.4.2018



Obr. 4.46 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 6.4.2018

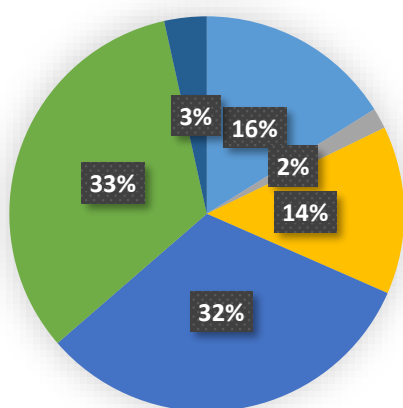
4.10.3 Tvorba ekonomické analýzy

Z hlediska veškerých nákladů spojených s provozem čistírny odpadních vod je patrné, že hlavní nákladovou položkou je elektrická energie, která tvoří přibližně třetinu veškerých nákladů na provozované čistírně.

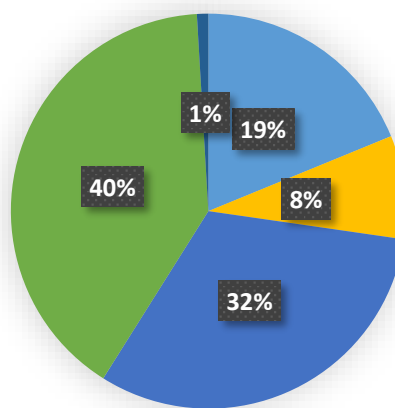
Tab. 4.23 Nákladové položky na ČOV Moravičany

Roky	2013	2014	2015	2016
Druh nákladů:	(Kč)	(Kč)	(Kč)	(Kč)
Platy	187 746	175 554	87 128	80 271
Ostatní osobní náklady (dohoda o prov. práce)				57 200
Drobný majetek	196 89			

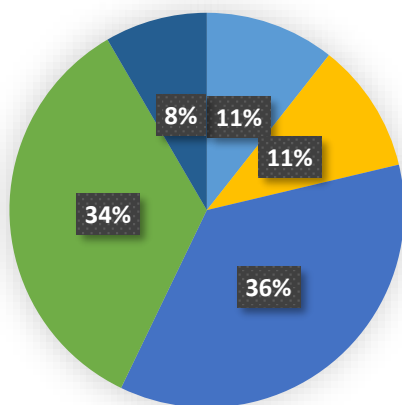
Materiál	160 165	79 084	87 544	165 195
Elektrická energie	373 229	295 435	294 197	229 155
Ostatní služby	382 871	374 649	282 573	111 651
Oprava a údržba	40 383	8 671	68 889	99 266
Celkem	1 164 083	933 393	820 331	742 738



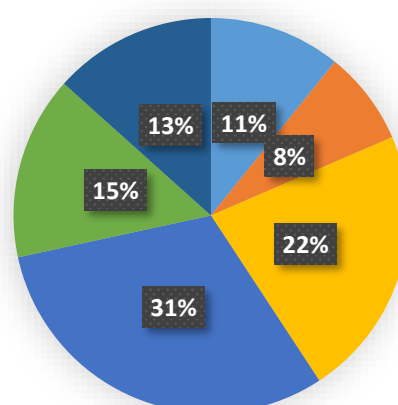
Obr. 4.47 Náklady ČOV Moravičany 2013



Obr. 4.48 Náklady ČOV Moravičany 2014



Obr. 4.49 Náklady ČOV Moravičany 2015



Obr. 4.50 Náklady ČOV Moravičany 2016

Na základě poskytnutých dat k uzavřeným vyúčtovaným rokům činila průměrná spotřeba energie na 1 m³ vyčištěné odpadní vody v jednotlivých letech:

- Rok 2014 - 2,15 kWh/m³ (76 085/35 437),
- Rok 2015 - 1,94 kWh/m³ (72 294/37 332),
- Rok 2016 - 1,79 kWh/m³ (71 816/40 117).

Z hlediska odstranění organického znečištění vyjádřené parametrem biochemické spotřeby kyslíku – BSK₅ na 1 kWh vyčištěné odpadní vody se jedná:

- Rok 2014 - 3,69 kWh/kg BSK₅ (76 085/20 620),
- Rok 2015 - 3,80 kWh/kg BSK₅ (72 294/19 032),

- Rok 2016 bylo vypočteno 3,88 kWh/kg BSK₅ (71 816/18 517).

U čistírny jsou patrné dva trendy – mírně klesající spotřeba elektřiny a mírně rostoucí spotřeba na odstraněnou BSK₅. Klesající spotřebu elektřiny na čistírně lze kvitovat (během let 2014-2016 je zde posun 0,36 kWh/m³), protože byla zachována kvalita odtokových parametrů. Nicméně, dle srovnávacích studií publikovaných na ČOV podobné velikosti je spotřeba energie nadprůměrná. Stejný dílčí závěr lze vyjádřit ke spotřebě kWh/kg BSK₅.

Dále byl proveden detailní screening nákladů na ČOV Moravičany s kanalizací s využitím poskytnutých dat na OÚ Moravičany za roky 2016 a 2017, kdy jsme dospěli k podobným číslům, která jsou prezentována v tabulce výše a mohou být shrnuta do následující tabulky.

Tab. 4.24 Detailní screening nákladů na ČOV Moravičany

Roky	Chemie	Údržba	Dotace	Vzorky + kal	Kanalizace	Energie
	(Kč)	(Kč)	(Kč)	(Kč)	(Kč)	(Kč)
2016	127 200	99 255	9 550	48 216	30 702	218 371
2017	79 860	276 522	2 500	50 143	33 555	

Cílem přirozeně nebyla kontrola nákladů na ČOV, ale hledání potenciálu úspor analýzou těchto nákladů, kdy se nám jeví jako potenciální nejvyšší úspora na srážení fosforu, které sice není rozhodnutím Vodoprávního úřadu vyžadováno, ale je nutné kvůli požadavkům CHKO Litovelské Pomoraví a Povodí Moravy. Pokud vstoupí v platnost novela 401/2015 Sb., tak lze očekávat výrazné zprísnění limitů pro parametr $P_{celk.}$ na odtoku, a to až někde k 0,5 mg/l.

4.11 Návrhy opatření

4.11.1 Hledání míchadel s nižší energetickou spotřebou

Vzhledem ke zjištění, že míchadla jsou pravděpodobně největším spotřebičem na ČOV vznikla databáze tvořená spotřebiči pro technologický návrh čistíren do 2000 EO, kde byly zahrnuté také míchadla s nižší spotřebou a vyšší účinností. Na jejím základě budou do finálního auditu doporučeny jiné typy míchadel (s nižší spotřebou) pro ČOV Moravičany.

4.11.2 Optimalizace aerace

Druhým největším spotřebičem jsou na základě našich měření dmychadla. I zde lze prověřit několik scénářů energetických úspor a vyčíslit je:

- Nastavení režimu aerace - Snížení limitů ze 1,0 – 2,5 mg/l pro spouštění a zapínání dmychadel na 0,5 – 2 mg/l.
- Aplikace frekvenčních měničů - Využití frekvenčních měničů pro navýšení výkonu dmychadel na krátký čas, všechny jsou použitelné bez problémů do 60 Hz a tedy pro krátkodobý nedostatek kyslíku je možné dmychadlu zvýšit výkon. Je

potřeba u výrobce zjistit meze činnosti celého stroje z hlediska nejnižších a nejvyšších povolených otáček.

- By-pass frekvenčního měniče - Vzhledem k téměř trvalému chodu dmychadla je vhodné by-passovat frekvenční měnič, protože je na něm (podle typu) ztráta 2-5 % příkonu.
- Montáž klapek regulace vzduchu - Montáž klapek regulace vzduchu na hlavní přírady aerace jednotlivých nádrží, doposud jsou „řízeny“ obsluhou, od oka a zkušenostmi. Vzhledem k úvahám o řízení systémem Foxtrot se sběrnici CIB lze s výhodou použít klapky řízené signálem 0 – 10 V, případně s reverzním motorkem a snímáním polohy.

4.11.3 24-hodinové měření

Toto měření bude sloužit k proměření základních technologických parametrů čistírny směřujících k upravenému technologickému návrhu pro hydraulický nátok na 1200 EO. Parametry poslouží pro kalibrace matematického modelu čistírny, který identifikuje ustálený stav na čistírně a následně bude odladěn pomocí dynamických simulací. Měření bylo provedeno v průběhu června 2018 a zahrnovalo následující:

- Kvalitativní a kvantitativní analýzy na přítoku a odtoku z ČOV Moravičany
- Analýzy aktivovaného kalu – sušina a její organický podíl v obou nádržích, sediment, kalový index, mikroskopický obraz kalu
- Měření pH, redoxního potenciálu a koncentrace rozpuštěného kyslíku v obou aktivačních nádržích
- Další dílčí měření pro odladění ustáleného stavu

4.11.4 Optimalizace spotřeby a systém řízení

Z pohledu optimalizace spotřeby elektrické energie je nutné se zaměřit na výkonově významné spotřebiče a taky na charakteristiku jejich provozu. Výkonově významné lze považovat spotřebiče, kterých výkon představuje významné procento z instalovaného výkonu. V případě ČOV Moravičany, tedy uvažujeme dmychadla (5,5 kW), odstředivku (4 kW), míchadla a dmychadlo jímky svažných vod a mikrosítový bubnový filtr. Jako rentabilní se jeví hlavně řízení soustrojí dmychadel a odstředivky, z důvodu vyššího výkonu. U odstředivky se jedná o typ spotřebiče, u kterého lze předpokládat odložený start. Provoz odstředivky bude podmíněn na dobu, kdy je k dispozici dostatečná výkonová rezerva. K tomu může přispět systém predikce nátoků, podle měřených dat a stanovení kritických hodin, což je období ve dne, kdy dochází největšímu nátoku. Tento parametr se stanoví buď to odhadem (ranní a večerní hodiny), nebo na základě dlouhodobějšího měření, kdy se data statisticky analyzují a určí se optimální doba chodu odstředivky. Samozřejmě odstředivku bude možné řídit i manuálně podle potřeby. Systém sám rozpozná, jestli doba pro provoz je vhodná, z hlediska aktuálního zatížení. Řízení otáček u odstředivky postrádá smysl, z důvodu požadavků na její funkci.

Hlavním spotřebičem z hlediska řízení jsou soustrojí dmychadel o výkonu 5,5 kW. Je nutné definovat charakteristiku provozu. Na základě předběžného měření se jeví, že kontinuálně pracuje

jen jedno dmychadlo. Na základě údajů z kyslíkové sondy se spíná dmychadlo druhé a dmychadlo třetí je jako rezerva.

Z hlediska optimalizace je zajímavý provoz druhého dmychadla, kterého dosavadní provoz byl jen formou krátkých sepnutí krátkodobě přibližně jednou za půl hodiny. Jako vhodnější se jeví provozovat dmychadlo pomocí frekvenčního měniče. Frekvenční měnič bude nasazen u obou dmychadel a zároveň se bude střídát jejich provoz po 24 hodinách. Tím docílíme rovnoměrného využití životnosti obou strojů a docílíme automatického záskoku porouchaného nebo z důvodu údržby odpojeného dmychadla. FM by reguloval otáčky dmychadla, dle požadavků kyslíkové sondy a nebyl by potřeba rozběh na jmenovité otáčky, co způsobuje značné proudové nárazy.

Dále frekvenční měnič umožní navýšení výkonu dmychadel na krátký čas. Konkrétně nastavení frekvence na 60 Hz – co představuje navýšení otáček dmychadla o 20 %. Z důvodu nepřetržitého provozu bude použit frekvenční měnič s bypassingem, co umožní frekvenční měnič při jmenovitých otáčkách dmychadel (50 Hz) frekvenční měnič odpojit a provozovat dmychadlo bez zbytečných ztrát na měniči, které činí přibližně 2-5 % příkonu.

Dalším optimalizačním řešením budou klapky regulace vzduchu na hlavní přívody aerace jednotlivých nádrží, doposud byli „řízeni“ obsluhou, od oka a zkušenostmi. Vzhledem k úvahám o řízení systémem Foxtrot se sběrnici CIB lze s výhodou použít klapky řízené analogovým signálem 0 – 10 V, případně s reverzním motorkem a snímáním polohy.

Centrální jednotka TECOmat Foxtrot bude rozšířena o řadu digitálních a analogových vstupů a výstupů. Tabulka vstupů a výstupů pro testovací systém je uvedena níže. Informace z vstupů budou zpracovávány řídicí jednotkou na základě naprogramovaného algoritmu. Algoritmus bude postupně optimalizován podle měřených dat, za účelem nalezení minimálních provozních nákladů.

Tab. 4.25 Soupis vstupů a výstupů pro řízení

	DI	DO	AI	AO	COM
Čerpací stanice + vyrovnávací nádrž	9	2	1	0	
Mechanické předčištění	15	5	1	0	
Biologický stupeň	17	7	0	2	
Dosazovací nádrž	0	4	0	0	
Kalová nádrž	6	2	1	0	
Srážení fosforu	3	1	1	0	
Odvodnění kalu	11	13	0	0	
terciární dočištění	8	3	2	0	
Měření průtoku	0	0	1	0	RS485/MODBUS
Dezinfekce vyčištěné vody	3	1	0	0	
Ostatní	13	3	4	4	
Celkem IO	85	41	11	6	

Další optimalizace vychází z kompenzace účinníku. Z měření vyplynula hodnota účinníku přibližně 0,74 (v rozsahu 0,6 až 0,8). Povinnost na jedné straně kompenzovat jalový výkon odebíraný z rozvodných sítí a na straně druhé zamezovat jeho zpětné dodávce je vynucena penalizacemi, právně podpořenými zejména v zákoně 458/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů a příslušnou sekundární legislativou zatím pro odběratele ze sítě VN sítí. Výše úhrad je pak každý rok v listopadu stanovena tzv. Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu. Vynucení povinnosti kompenzace je realizováno procentní přírážkou k pořizovací ceně elektrické energie (až do výše 100 %), nevyžádaná dodávka kapacitní práce do sítě je pak účtována na vrub odběratele příslušnou sazbou, v současnosti 400Kč/MVArh. Z důvodů vysokých postihů, jsou kompenzační zařízení běžnou součástí rozvodu odběratelů ze sítě VN. Zatím není v platnosti vyhláška, která by penalizovala odběratele za nižší hodnotu účinníku v síti NN, ale do budoucna to nelze vyloučit. Navíc správná kompenzace (účinník 0,95) by umožnila výhodnější nastavení hlavního jističe, z důvodu nezatěžování hlavního přívodního vedení jalovým proudem.

Na základě předběžného měření a výpočtu se jeví, že správnou kompenzací lze proud ve špičce (22,5 kW) výrazně omezit. Kompenzovaný by měl hodnotu 32,5 A oproti nekompenzovanému 44 A. Kompenzace bude řešena po mocí 4 až 5 třífázových kondenzátorů, které budou podle aktuálního online měření účinníku připojovány přes stykače s ochrannými tlumivkami pro spínání kapacitní zátěže. Každý kondenzátor bude jištěn rychlými pojistkami v pojistkových odpojovačích. Z důvodu použití frekvenčních měničů, bude nutné použít vysokofrekvenční filtry pro odfiltrování vyšších harmonických složek z průběhů napětí.

Mezi další možnosti řízení spotřeby energie v objektu je aplikace fotovoltaických zdrojů, případně lze uvažovat i s akumulací energie v bateriovém systému. Tím je možné instalovat větší výkon FVE a přebytky energie akumulovat na dobu, kdy bude třeba pokrýt výkonové špičky.

4.11.5 Aplikace soft-start systémů

Dle možností využití lze doporučit instalaci tzv. soft-start systémů namísto frekvenčních měničů z důvodu negenerování harmonických složek a frekvenčního rušení. U malých aplikací je tento systém bez kompenzace rušení, ale pokud by se uvažovalo o montáži FVE, je pravděpodobná určitá desynchronizace měničů FVE a frekvenčních měničů.

Soft-startér má nižší cenu, není potřeba bypassu při provozu. Mezi nevýhody je nemožnost zvýšit otáčky pro vyšší množství aeračního vzduchu.

Z výše uvedeného navíc plyne, že je maximálně vhodné rekonstruovat současné zařízení n provozovně ČOV. Neefektivita při provzdušňování nádrží znamená v budoucnu zvýšené náklady na opravy zařízení a také případné zhoršení čištění vod.

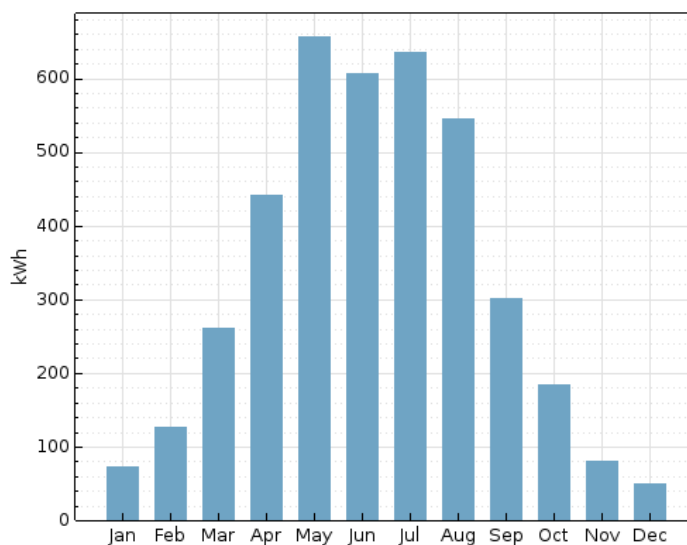
4.11.6 Návrh instalace fotovoltaického systému

Dle odhadované ideální kapacity využití FVE v objektu ČOV Moravičany bylo za pomoci matematického modelu FVE a dalších volně dostupných databází navržena a ověřena velikost plánované fotovoltaické elektrárny na střeše čistírny a následující parametry produkce jsou shrnuty níže:

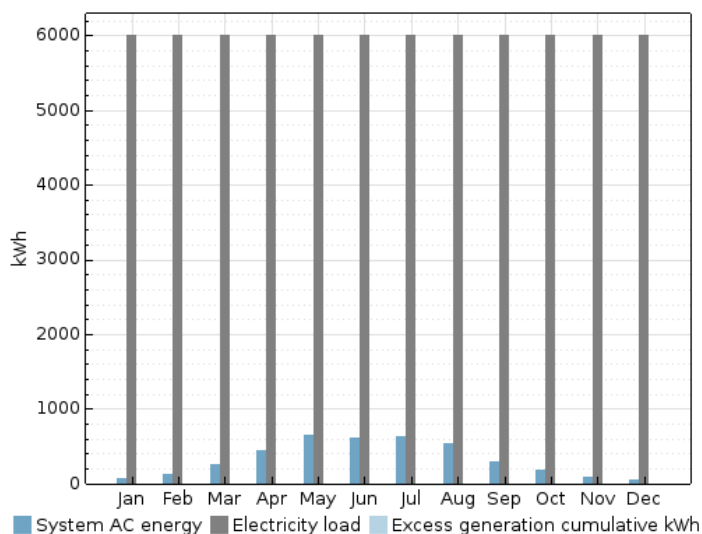
Tab. 4.26 Souhrnná informace o možné FVE s výkonem 7 kW

Popis	Hodnota
Roční produkce elektřiny	3 961 kWh
Kapacitní faktor pokrytí (roční)	6,4 %
Produkce energie	562 kWh/kW
Performance ratio PR (roční)	0,78
LCOE (teoretická)	370,80 Kč/kWh
LCOE (reálná)	289,23 Kč/kWh
Platba za energii bez systému (roční)	209 410 Kč
Platba za energii se systémem (roční)	195 680 Kč
Čistá úspora	13 740 Kč
Čistá současná hodnota	389 301 Kč
Návratnost prostá	12,6 roků
Diskontovaná návratnost (3 %)	17,9 roků
Pořízení	266 793 Kč
Čisté jmění	266 793 Kč
Dluh	0,00 Kč

Ze zadaných parametrů bylo možné určit produkci energie během jednotlivých měsíců a vyhodnocení je znázorněno na obrázku Obr. 4.51. Následně byla porovnána produkce se spotřebou objektu a vynesena na grafu Obr. 4.52 Tato energie je spotřebována především dmychadly a míchadly, které mají téměř nepřetržitý provoz.



Obr. 4.51 Měsíční produkce elektřiny



Obr. 4.52 Pokrytí spotřeby elektřiny z FVE

4.11.7 Definování ekonomických úspor

Investice zahrnující instalaci soft nebo frekvenčních měničů je přibližně 6.000 Kč až 10.000 Kč v závislosti na příkonu asynchronního motoru. Jednoznačným pozitivem je snížení zapínacích proudů (soft) a možnosti regulaci otáček dmychadla (frekvenční měnič). Jednoznačný přínos je v systému jistění celého provozu, kdy je možné volit nižší hodnotu hlavního jističe (výpočet uveden v předchozí části). Provozní úspora se dá pouze odhadnout a je silně závislá na provozování čistírny. Vzhledem k neznalosti biologických poměrů, nutnosti prokysličení vody apod., lze úsporu definovat až přímým měřením s novým typem měření (O_2 sondy). Z empirických pozorování je návratnost těchto opatření do 2 až 3 roků od instalace.

Kompensace účinníku je nutná z hlediska legislativních požadavků pro odběratele na hladině VN s možným rozšířením na odběratele na hladině NN, kteří nejsou domácnostmi. Tento legislativní záměr je již na Slovensku u veřejného osvětlení a v nejbližší době se plánuje zavést i na území ČR. Kompensace bude řešena v rámci nových rozváděčů vybavením čtyřmi stykači řady C (kompenzační) a čtyřmi třífázovými kondenzátory, které budou kaskádově spínány, případně pěti kusy, v závislosti na vnitřní velikosti rozváděče. Cena jednoho kusu je 2500 Kč.

Výpočtové velikosti kondenzátorů pro kompenzačnou baterii bez rozváděče a řízení, řízena přes TECO. Skladba kompenzační baterie pro provoz bez frekvenčních měničů je složena v poměru kapacit 1:2:4:4.

Návrh instalace FVE zařízení lze provést ve velkém rozsahu výkonů. Limitním požadavkem v našem případě je, zabránit přetokům výkonu do sítě a maximalizovat velikosti úspor. Z měření vyplývá, že minimální velikost instalovaného výkonu je 5 kWp, což odpovídá cca 18 m² plochy. Tato verze je z hlediska dimenzování skutečně minimalistická a předpokládá se roční využití na úrovni 90 % instalovaného výkonu. Další zvažovaná varianta odpovídá výkonu 7 kWp. Jedná se o variantu s větší možností pokrytí energetických potřeb čistírny odpadních vod s ročním využitím maxima na úrovni 85 %.

Krajně zvažovanou variantou je instalace FVE s instalovaným výkonem odpovídajícím celkovému pokrytí střechy, tj. 18 kWp. V tomto případě se jedná o instalaci, která by bez

akumulace měla využití maxima na úrovni cca 20 %. Pokud by se využila akumulace prostřednictvím elektrochemických akumulátorů, které by byly součástí dodávky, došlo by ke zvýšení celkové doby maxima na úroveň 40 %.

Poslední zvažovanou variantou je nasazení FVE s akumulací pro napájení veřejného osvětlení (VO). Podle dostupných informací, lze tento projekt provést. VO je majetkem obce a lze jej napájet výhradně pomocí FVE (letní měsíce) s přechodným zimním obdobím s napájením z distribuční sítě.

Pro možnou realizaci byly osloveny společnosti s vytvořením nabídek: Příloha F a Příloha G

Pro účely projektu byla zpracována detailní dokumentace k prováděnému auditu na ČOV Moravičany obsahující detailní screening současného stavu čistírny a návrhy technologických řešení ekonomických úspor na této sledované čistírně. Audit obsahuje ca. 60 stran a obsahuje koncepční návrh rekonstrukce ČOV Moravičany s kompletní výměnou řídicího systému. Pro jednotlivé dílčí návrhy rekonstrukce byla zpracována případová dokumentace shrnující technologický popis problému, technologické řešení rekonstrukce, ekonomické zhodnocení (ROI analýza) a cenová nabídka pro rozhodnutí investora ČOV Moravičany. Tato dokumentace podléhá utajení, a tedy nebylo možné uvést výsledky tvořené dokumentace.

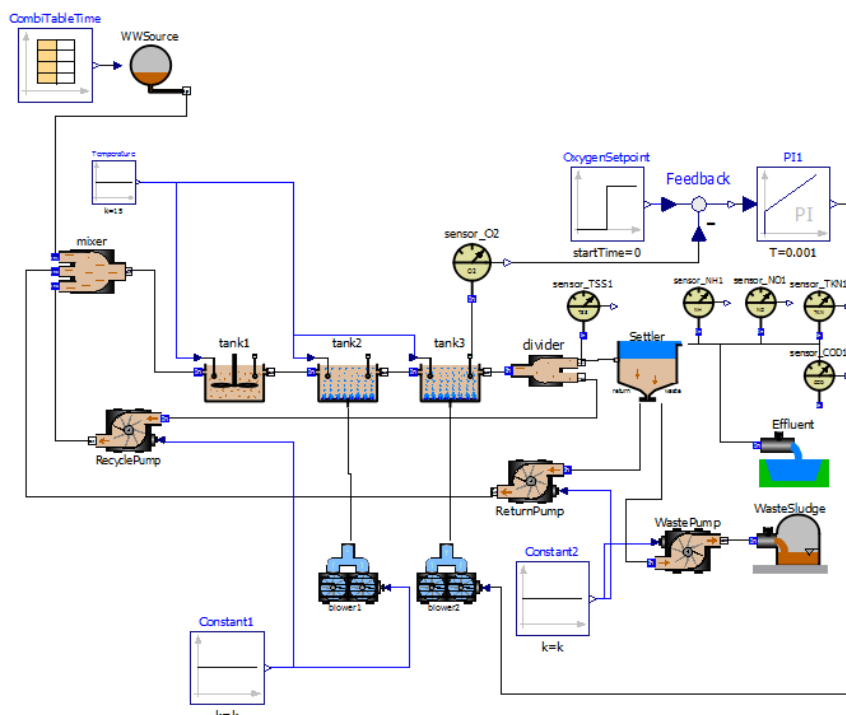
4.12 Tvorba modelu ČOV

Model čistírny odpadních vod je zpracován a dopracováván v jazyku Modelica (OpenModelica - OMEdit). Tato změna nastala na popud otevřenosti a dostupnosti programovacího prostředí. Po poradě konsorcia při řešení projektu bylo odsouhlasení odklonu od modelovacího prostředí POWERSIM, zmíněný volně dostupný software OpenModelica.

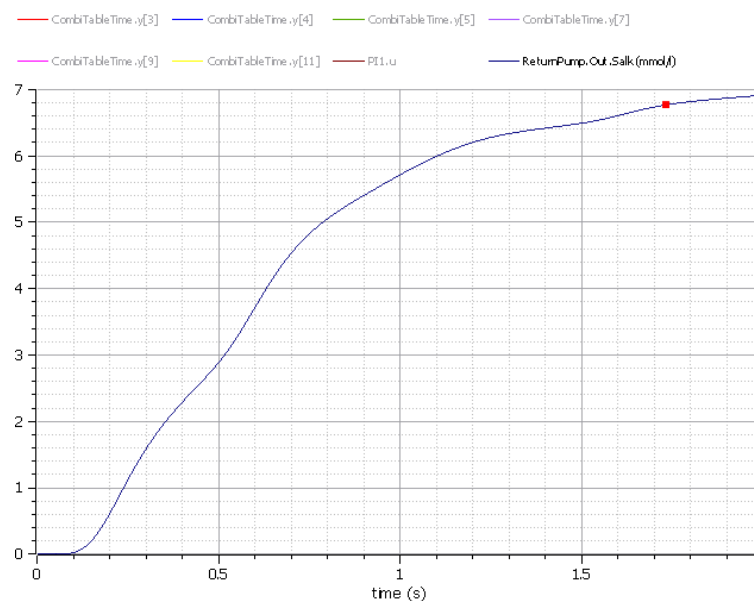
Vyvinutý funkční vzorek ČOV využívá jak dostupných redefinovaných knihoven vybraných neelektrických komponent Obr. 4.53, tak v sobě implementuje nově vytvořené modely elektrických komponent parametrizovaných dle vstupů jim odpovídajících reálných komponent. Obecně model dále zahrnuje algoritmizaci řídicího procesu, definici blokovacích podmínek, obsahuje i navržené optimalizační funkce a samotný koncept modelu uvažuje i na možnost importu reálně změřených dat nebo využití vstupy vybraných komponent mohou být osazeny predikčními toolboxy. Samotná sw platforma byla zvolena také z důvodu malé komerční limitace pro budoucí doprogramování dalších vyvíjených vlastních optimalizačních a podpůrných funkcí, ať už aktuálně hodnocené ČOV Moravičany, tak i další parametrově nebo technologicky odlišné ČOV. Funkční vzorek je určen k výpočtu provozních parametrů modulární ČOV pomocí numerické simulace. Jedním z hlavních záměrů vzniku funkční vzorku ČOV a v něm obsaženého řídicího systému a optimalizační funkce, je možnost jeho použití při samotném vývoji, dílčím laboratorním testování a validaci ostrého řídicího sw. Jelikož systém modeluje jednotlivé standardní prvky technologického schématu ČOV vč. možné parametrizace přítoku odpadních vod, je možné jej využívat pro optimalizaci řídicích procesů ČOV velikostně odpovídající až vyšším jednotkám tisíc EO. Grafické uživatelské rozhraní (GUI) je sestaveno/programováno prostřednictvím Graphic Editor OMEdit a vyvinutý funkční vzorek ČOV, resp. odladěné provedení GUI bylo jednou z technických předloh grafického rozhraní využitého v rámci řídicího systému instalovaného na ČOV Moravičany.

Model ČOV

Model čistírny je složen z několika klíčových modulů, které navzájem vytváří celkový model. Dá se říci, že se jedná o modelování subsystémové, ve kterém má každý modul určený vlastní rovnice pro řešení aktuálního stavu. Data jsou načtena (importována) do modelu prostřednictvím tabulky. Dalšími postupnými kroky je zjištěna úroveň kyslíku, dusíku a jiných látek ve vodě a residuích. Na základě tohoto modelu bude dokončen vývoj energetického modulu, který bude následně validován na základě dat z ČOV Moravičany.



Obr. 4.53 Model ČOV Moravičany čistírny odpadních vod



Obr. 4.54 Obrázek koncentrace S_{alk} (mmol/l) u vratného čerpadla

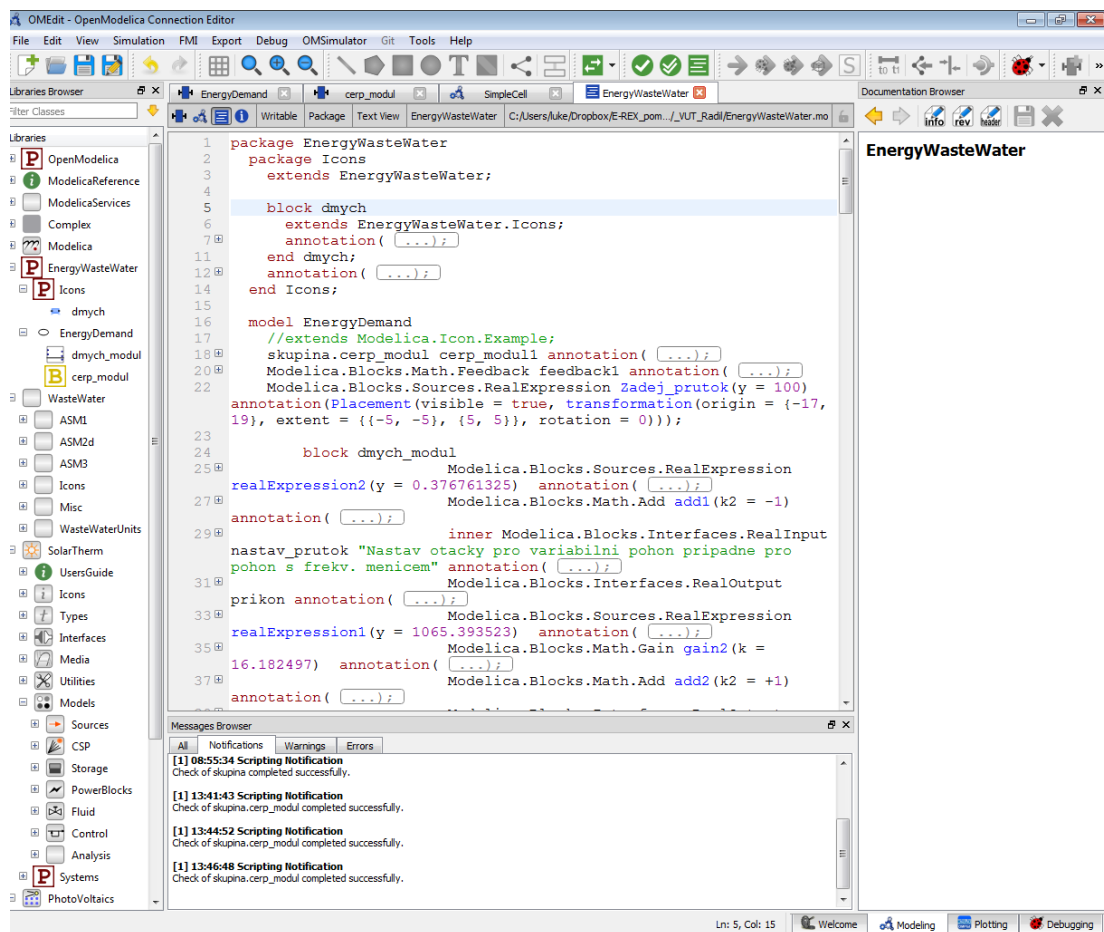
▪ Popis modelu

Konstrukce modelu ČOV Moravičany byla postavena na základní knihovně WasteWater. Tato knihovna byla vytvořena v prostředí Dymola a v OpenModelice (Open source) musela být značně modifikována. Model je zpracován na úrovni uživatelské komfortu. Data jsou do modelu importována prostřednictvím tabulky CombiTableTime, ze které data o kvalitě vody a stupni jejího znečištění jsou připravovány v uskladňovací nádrži (WWSource). Odtud jsou čerpadlovou skupinou (RecyclePump) čerpána dále do technologie – nitrifikační nádrže a dalších nádrží.

Po provedení biologické části modelu jsou data o potřebě kyslíku, čerpadlových skupin a promíchávačů převedeny do nové knihovny EnergyDemand. Tato knihovna je kompletně nová a vyvinutá v rámci projektu. Obsahuje modely čerpadel, dmychadel a jejich řízení. Tato knihovna sleduje zejména toky elektrické energie a vyhodnocuje energetické potřeby kompletní čistírny odpadních vod. Pro celkový model je zapotřebí modelovat chování zdrojů i spotřebičů.

Pro spotřebiče vznikla kompletní nová knihovna – EnergyWasteWater, která obsahuje model čerpadla, model dmyhadla a po dohodě s partnerem projektu i model dehydratačního lisu. Níže jsou uvedeny zjednodušené modely, které mají ale k nastavení určené externí knihovny.

Printscreen pracovního prostředí je uveden na obrázku níže:



Obr. 4.55 Pracovní okno OpenModelici s otevřenými (levý sloupec) knihovnami

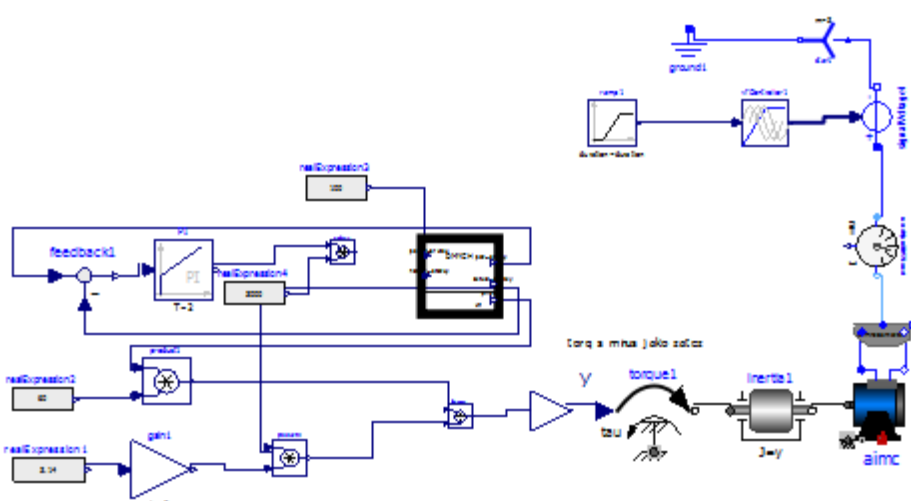
Knihovna *dmych_modul* je modelována funkce dmychadel. Byly vytvořeny nové bloky, které suplují fyzikální podstatu skutečného dmyhadla na základě Rootsova kompresoru.

4.12.1 Tvorba modelů zdrojů a spotřebičů

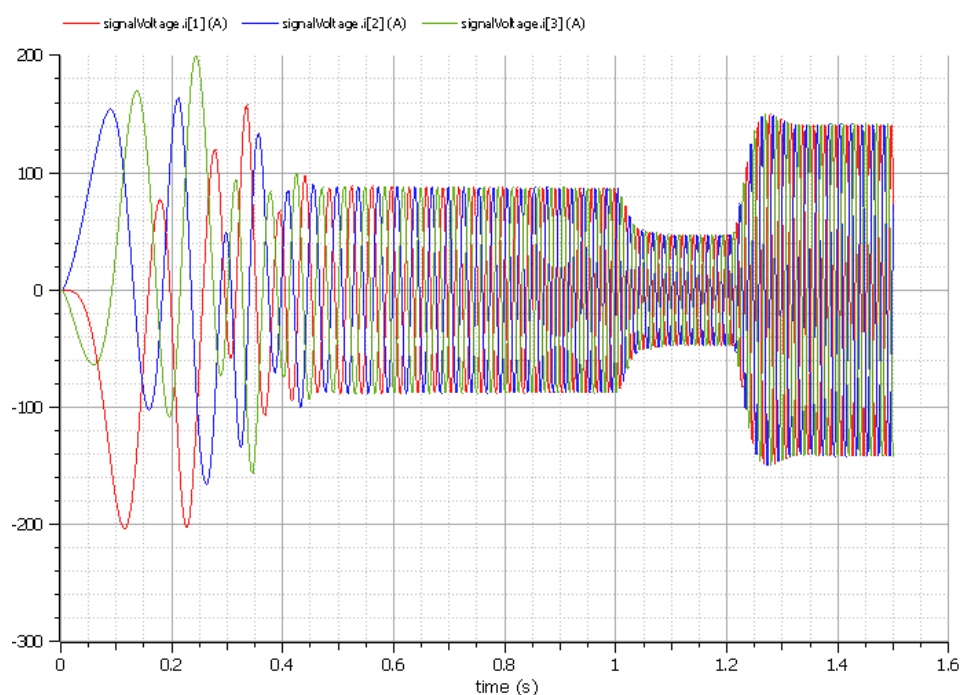
Obr. 4.57 Výsledek řízení přes PID regulátor (jedná se o zjednodušené modelování z důvodu utajení výsledků)

Jedná se o modul (nazývejme modul, protože celkový model se skládá z několika modulů, respektive Modelica je založena principiálně na vytváření a propojování modulů v rámci GUI (Graphics User Interface)), který je složen z klasických součástek (PI regulace, gain apod.) a submodulu, který v sobě zakomponovává Rootsovo dmyhadlo.

Potřeba vzduchu, zjištěná z biologického čištění je následně převedena do tohoto modulu, který určuje potřebný příkon dmyhadla. Pohon zajišťuje asynchronní motor, jehož základní parametry musí uživatel vyplnit do tabulky, nebo je systémem načtena z CSV souborů. Motor je ovládán frekvenčním měničem pro rozběh a ideálního řízení.

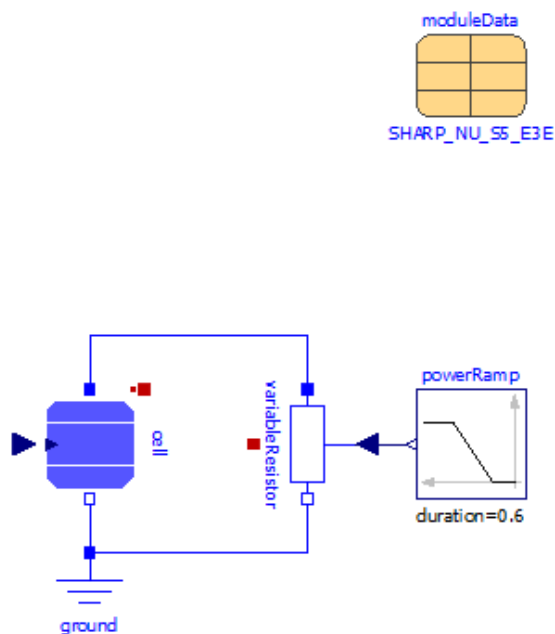


Obr. 4.58 Schéma je rozšířené o skutečné řízení pomocí skutečných součástí (motory, frekv. měnič)

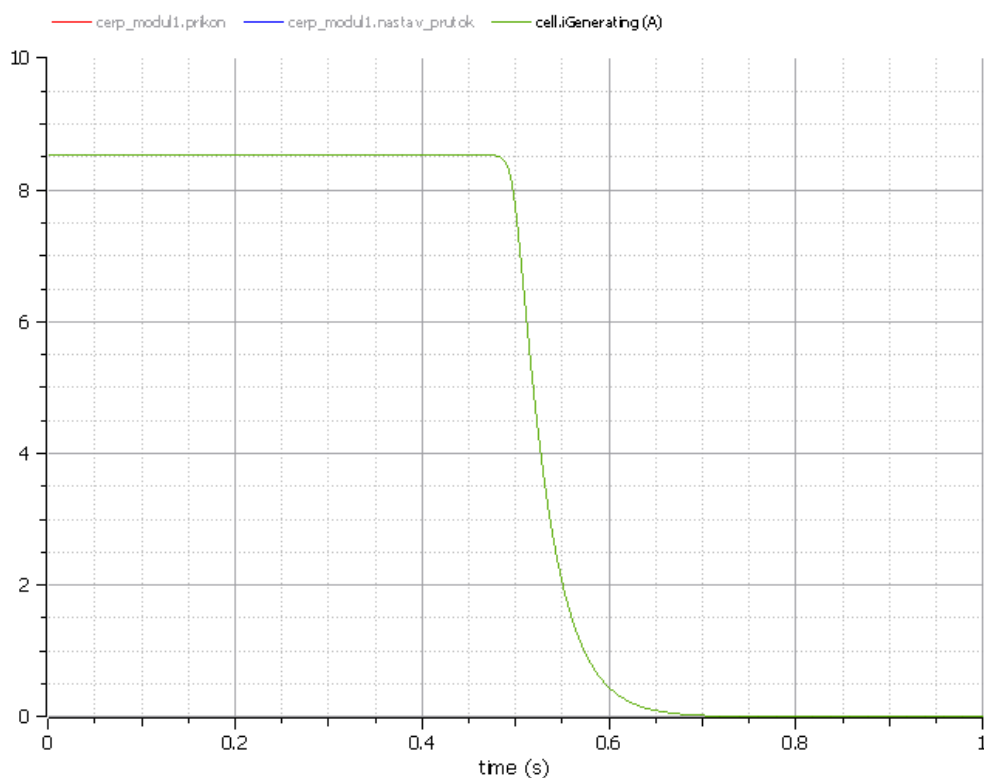


Obr. 4.59 Detail rozběhu motoru

Zdroje byly simulovány a vytvořeny z dostupných knihoven (zejména firemní údaje o jednotlivých typech FV panelů), pokud tomu tak nebylo, byly navrženy zcela nové bloky, které mají zefektivnit práci s uživatelskou přívětivostí. Jedná se zejména o moduly pro FVE, Solární termální systémy a bateriová úložiště, větrná energie bude ještě předmětem posouzení vhodnosti simulovat tento zdroj, protože podmínky použití jsou velmi diskutabilní.



Obr. 4.60 Jednoduchý model FV článku (možno řadit paralelně) pro energetické zisky ze Slunce



Obr. 4.61 Pokles výkonu na FV článku z důvodu poklesu ozáření z 1000 W/m^2 na 0 W/m^2

Celkově se dá konstatovat, že práce na modelu velmi pokročila a nyní se budou modely konfrontovat se skutečným stavem dalšího partnera projektu – obce Moravičany.

4.13 Návrh architektury řídicího systému

Návrh architektury řídicího systému pro ČOV se v zásadě neliší od řídicího systému jakékoliv technologie pro úpravy vody. Otázkou je, jestli je ekonomické navrhovat každou ČOV jako originál, optimalizovanou pro místní podmínky nebo celý systém sestavovat z modulů. Modulem rozumím hardwarové moduly, standardní zapojení elektrických obvodů a za další druh modulů je softwarové řešení technologie.

První varianta, optimalizovaný originál je zpravidla v otázce vybavení a strojů investičně nejlevnější, ale dražší a komplikovanější na projekt, programování, opravy a údržbu, za to ovšem zpravidla nabízí nejlevnější provoz.

Protikladem tohoto řešení je modulární stavebnice, jednoduše aplikovatelná, standardní stavba. Ne zcela optimalizované řešení v rámci možností modulů, ne zcela využívající možné místní výhody a zvláštnosti. Místní zvláštností myslím například funkční nádrž, která ovšem vzhledem ke svým parametrům potřebuje přidat 2 míchadla oproti standardnímu řešení. Pokud soubor modulů s takovou variantou nepočítá, je přidání dalších dvou strojů velmi komplikované.

Optimálním se jeví stavebně originální řešení technologie čištění vody s maximalistickým softwarem řízením procesu, parametrizovatelným technologem bez účasti programátora. Tedy stanovení počtu strojů a jejich parametrů, parametrů celé technologie. Se standardními zapojeními modulů pro celý soubor technologií. Standardní zapojení velmi zjednodušují údržbu a opravy i za cenu investičně dražších řešení.

Modulární ČOV se dobře staví na zelené louce, pokud se jedná o rekonstrukci, je to komplikace. Z hlediska ČOV Moravičany je takovým problémem stávající elektroinstalace, když přívodní pole zabírá polovinu prostoru pro rozvaděče a prostorové omezení pro rozvaděč technologie znemožňuje v rozvaděči nového ASŘ rozdělit části řízení do modulů. Je potřeba využít místo a do místnosti potažmo do rozvaděče se s novým systémem vejít.

Máme navrženo několik variant ASŘ rozdělených podle EO, které jsou ovšem nastavitelné technologem na místě stavby. Tedy bez účasti programátora, nastaví průtok, výšky hladin, plochy nádrží, počet čerpadel, doby chodu atd.

Systém by měl umožňovat vzdálené ovládání a monitorování celé technologie při dodržení maximálních bezpečnostních standardů s tím, že některé operace a parametry vzdáleně provést nejdou nikoliv z důvodu techniky, ale z důvodu bezpečnosti. Projekt ČOV Moravičany není navržen jako modulární, protože je omezen původním projektem a stavem ČOV.

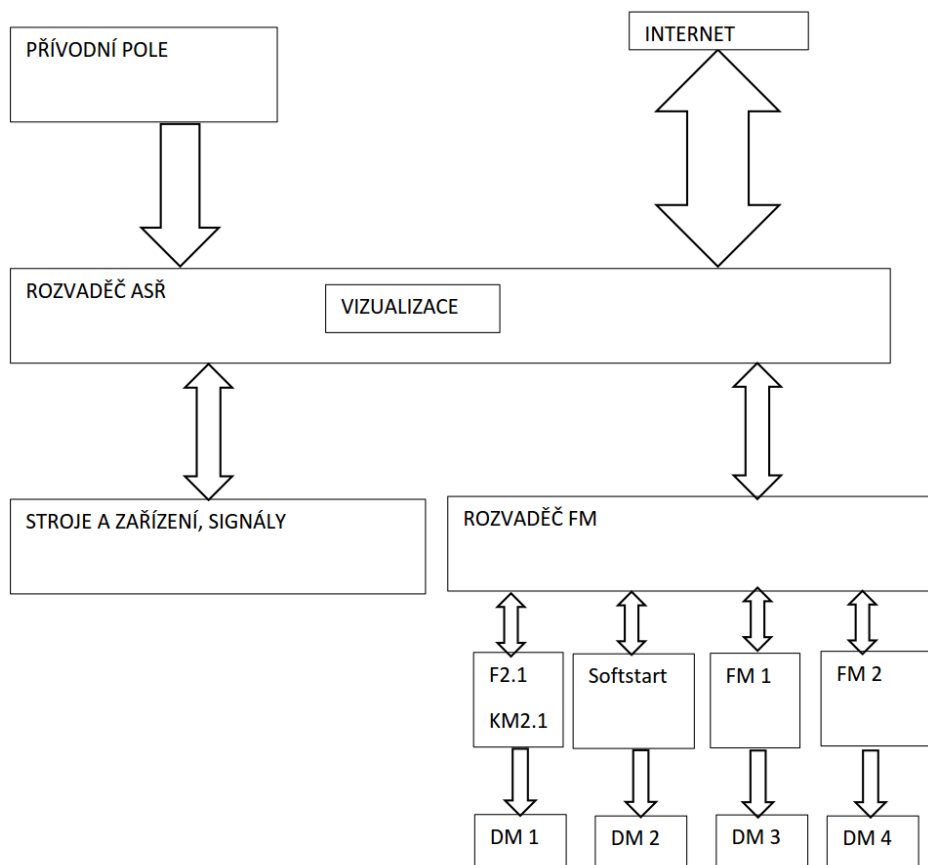
4.13.1 Výchozí stav

- ČOV je napájena z rozvaděče přívodního pole, odtud jsou napájeny:
 - Stavební část, jako jsou osvětlení, ohřev TUV, vytápění.
 - Technologická část, která se skládá z rozvaděče napájení strojů a rozvaděče řídicího systému.
 - Dále jsou do v prostoru stavby umístěny rozvaděče subsystémů, které mají stejnou filosofii napájení a řízení jako jednotlivé stroje.
- Dmychadla jsou umístěna v samostatné místnosti, kde jsou i klapky rozvodu vzduchu, který je společný pro obě nádrže a množství vzduchu pro jednotlivé nádrže je regulováno ručními klapkami.
- Systém řízení podle měření obsahu kyslíku je v podstatě k ničemu, činnost dmychadel se řídí podle hodnot jedné sondy (přitom na místě jsou dvě) a neumí regulovat množství vzduchu do jednotlivých nádrží.

4.13.2 Požadavky na nový systém

- Vzdálený monitoring a logování stavů a událostí
- Regulace práce dmychadel podle hodnot kyslíku v obou nádržích a samostatně pro každou nádrž
- Úspornější provoz
- Kvalitní vizualizaci provozu ČOV a stavů
- Náhradu starého systému, který vzhledem k tomu, že použitý řídicí systém už není k dispozici a v případě závady bude neopravitelný
- Využití stávajícího řešení ČOV z hlediska úspory investic
- Pravidla projektu ASŘ ČOV
- Každý stroj poskytuje minimálně 3 signály o svém stavu:
 - PŘIPRAVENO: Připravenost, tedy signál ze svého jističe, spouštěče, že nevybavil.
 - AUTOMATICKÝ REŽIM: Přepnutí stroje do automatického režimu.
 - CHOD: Signál chodu stroje, pro vizualizaci, záznam a zpětnou vazbu pro ASŘ.
- Každý stroj lze spustit ručně bez fyzické přítomnosti ASŘ, PLC a jeho modulů
- Maximálně využít komunikačních možností sběrnic TCL2 a CIB, vzhledem k hotové stavbě nebude sběrnice CIB v tomto případě využita
- Když ASŘ nemá od stroje signál AUTOMATICKÝ REŽIM, stroj bere jako dočasně vyřazený a umí pracovat v omezeném režimu.
- V závislosti na stavu strojů ASŘ generuje „žlutý alarm“ pro omezený režim a „červený alarm“ jako havarijný stav pro okamžitý zásah servisu, obsluhy
- Poruchy by měly být jednoduše identifikovatelné a opravitelné
- Signály alarmů jsou odesílány formou SMS a/nebo emailem

Uspořádání strojů a zařízení je zobrazeno na technologickém schématu Obr. 4.62



Obr. 4.62 Struktura rozvaděčů a strojů

4.13.3 Návrh řídicího systému Tecomat ve vazbě na modularitu ČOV

Byla navržena první verze tabulkového nástroje Obr. 4.63 Obr. 4.63 zjednodušující a automatizující proces návrhu sestavy modulárního řídicího systému Tecomat tak, aby odpovídala minimálním požadavkům na počty vstup/výstupů (I/O), které vyplnou z podobného tabulkového nástroje určeného pro stanovení počtu a typů strojního a elektrického vybavení jednotlivých provozních částí ČOV.

Kromě celkového počtu AI, DI, AO, DO, bere tabulka v úvahu i jejich elektrické varianty, tedy zda je požadován např. polovodičový nebo reléový výstup, zda se jedná o napěťovou úroveň 230 V AC nebo 24 V DC zda je analogový vstup proudový, či napěťový.

V tabulce se vyplňují žlutá políčka označující vstupní parametry, ostatní políčka jsou automaticky dopočítávána.

Do tabulky se přenese požadovaný počet příslušného typu I/O do příslušných sloupečků na posledním řádku. Vlevo se vstupují objednací čísla modulů a doplní se jejich množství/počty. Tabulka automaticky dopočítává celkový počet I/O příslušného typu a podbarvením výsledných počtů indikuje, zda je dostatek, nebo stále několik chybí. Dále ve sloupcích kontrolního pole kontroluje, zda je v sestavě navržen dostatečný výkon napájecích zdrojů, zda nejsou překročeny limity počtu modulů na sběrnicích, zda jsou doplněny moduly pro interface sériových kanálů apod.

Výsledná tabulka pak obsahuje vypočtenou ceníkovou cenu dané sestavy a může tak sloužit projektantům nebo obchodníkům jako podklad pro rozpočet a výpočet potřebné velikosti rozvaděče.

V tabulce lze volit i jazykovou mutaci – česky, anglicky, rusky

Obr. 4.63 Ilustrativní popis částí a polí interaktivní tabulky pro stanovení dimenze řídicího systému pro proměnné velikosti ČOV

4.13.4 Tvorba a příprava databáze

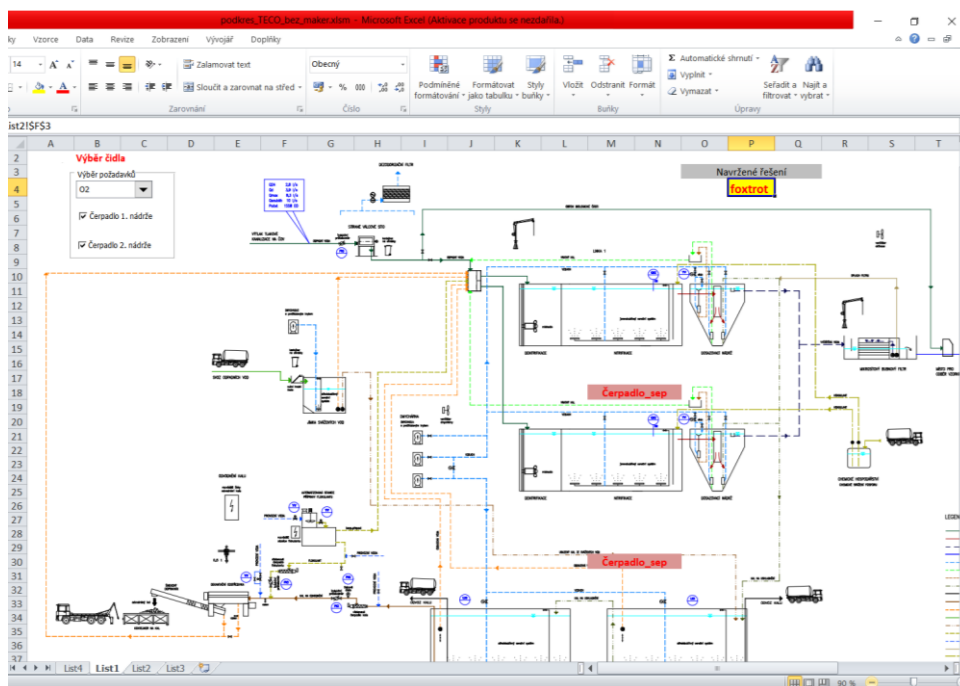
Databázový systém byl vytvořen v tabulkovém prostředí Microsoft Office – Excel. První stránka je uvedena na Obr. 4.64

Pro naplnění tvořené databáze byl využit MySQL databázový systém ve kterém se nacházejí zdroje a spotřebiče.

Obr. 4.64 databázový systém pro vytvoření modulů pro návrh nového typu ČOV

Tento systém pomáhá pro výběr vhodných komponentů pro hrubý návrh ČOV v rámci modelových bloků. Těmito bloky jsou čerpadla, dmýchadel, vtokové objekty a čidla, která měří koncentrace rozpuštěného kyslíku BSK (biologickou spotřebu kyslíku), aj.

Po navržení vhodných parametrů se uživatel přepne na další list, ve kterém se mu vybrané komponenty zobrazí na místech návrhu. Dále je možné zpřesňovat vybrané typy a poté je simulovat v OpenModelice.

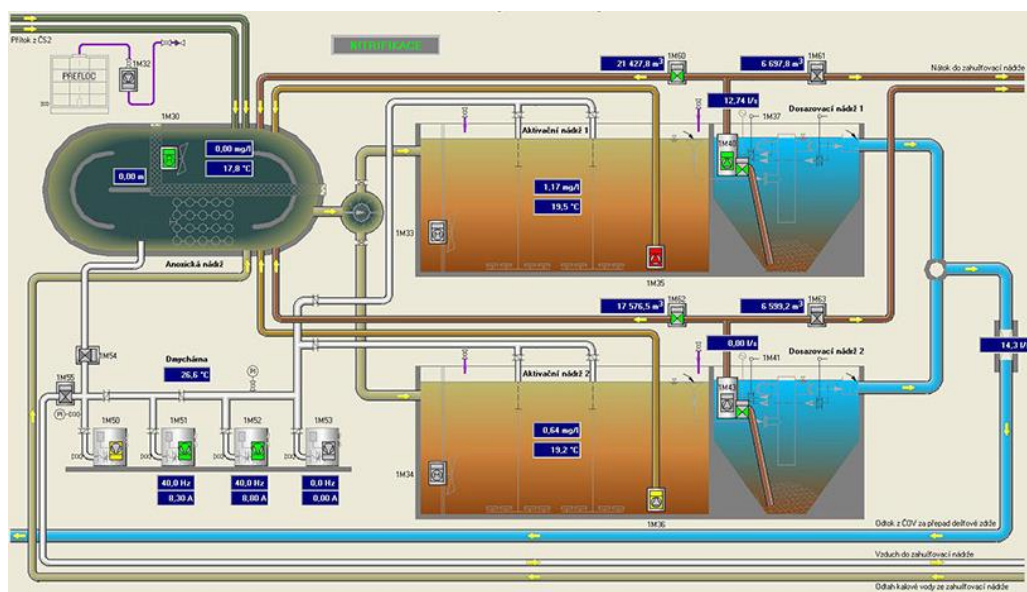


Obr. 4.65 Databázový systém - panel II

Následná databáze vybírá z možnosti intermitentních zdrojů elektrické energie a následně jsou přiřazeny uživateli do prostředí OpenModelica.

4.13.5 Tvorba vizualizace a ovládání

Grafický user interface (GUI) je tvořen několika obrazovkami/záložkami, které vytvářejí kompletní přehledové technologické schéma o provozované ČOV umožňující získat jednak zásadní informace o měřených/hodnocených parametrech a veličinách napříč celou technologií, ale současně také představuje zabezpečené rozhraní pro manuální/polo-automatizované řízení technickou obsluhou. Provedení GUI je koncipováno jako modulární řešení, které v sobě skloubí jednoduchost a pro použití obsluhou taktéž přehledné schéma celkového chování čistírny odpadních vod. Na Obr. 4.66 je vidět realizované technologické schéma pro ČOV Moravičany. Celý vývoj probíhá v prostředí MOSAIC dle normy (EN61131). Obrázky, jako grafický podklad pro obrazovku, jsou vytvořeny v opensource řešení softwaru GIMP (GNU Image Manipulation Program).



Obr. 4.66 Blokové schéma technologie ČOV Moravičany – sken obrazovky vyvíjeného GUI

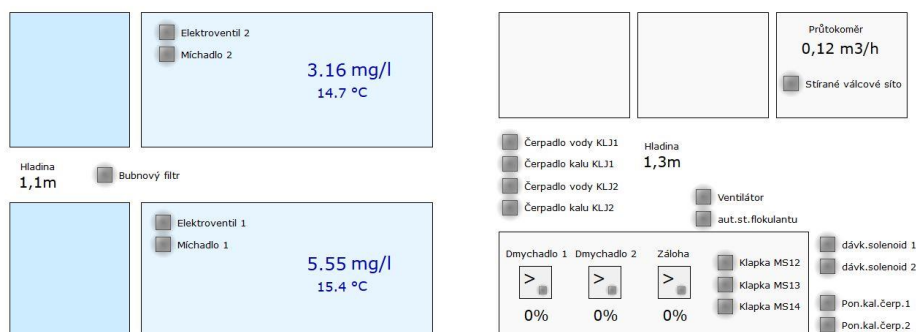
Uživatel přistupuje standardně do systému řízení ČOV přes přihlašovací obrazovku umožňující zabezpečené přihlášení zavedeného uživatele. V této fázi vývoje řídicího SW a GUI mají zatím zavedení uživatelé stejná práva a nejsou jim přidělovány žádné specifické role, které by opravňovaly provádět vybrané operace v rámci řízení ČOV pouze konkrétním rolím.

Přihlašování, bude možné provádět lokálně přes počítač, propojeným s řídicí jednotkou TECOMAT a nebo vzdáleně přes web-server. Zabezpečení bude provedeno přes zabezpečenou komunikaci – protokol https, který využívá protokol http společně s protokolem SSL nebo TLS, který zajišťuje autentizaci, důvěrnost přenášených dat a jejich integritu pomocí asymetrické kryptografie. Zabezpečení přes protokol SSL nebo TLS představuje vysoký standard zabezpečení a je tedy pro tento provoz dostatečné.

Jako příklad provedení grafického rozhraní ukazuje Obr. 4.67 obrazovku s měřením a parametrizací rozpuštěného kyslíku v nádržích nitrifikace. Podobného provedení jsou i další obrazovky/záložky, které se zabývají konkrétními veličinami a měřením/parametrizací jejich hodnot zásadními pro optimalizovaný a bezporuchový chod ČOV. Uživatel má také k dispozici možnost výběru, jestli chce provést zobrazení podrobného a úplného výpisu stavu událostí (log soubory včetně grafů) nebo pouze orientační blokové schéma jako je uvedeno na Obr. 4.67.

ČOV Moravičany

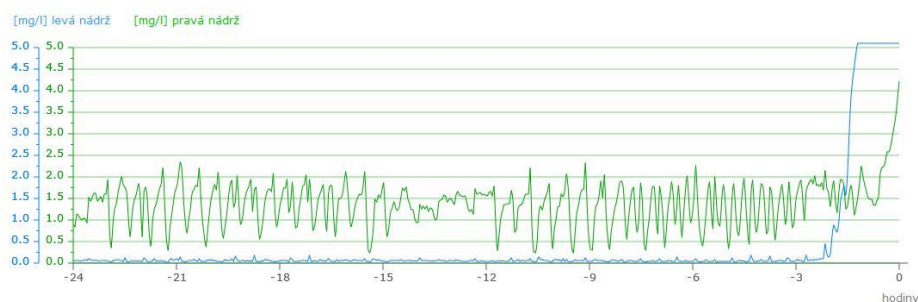
Grafy System Log Odhlásit



Obr. 4.67 Obrazovka z PLC pro ČOV Moravičany s měřením kyslíku a teploty v nádržích

Vzhledem k tomu, že zcela zásadní pro optimalizovaný provoz ČOV není pouze aktuální výpis okamžitých hodnot jednotlivých veličin, ale je nezbytné sledovat i jejich vývoj a trend v čase, jsou veličiny vykreslovány také v grafické časové závislosti, vč. úplné archivace dat pro případný post-processing a export přehledového reportu. Příklad grafického provedení vývoje veličiny v čase je uveden na Obr. 4.68, kdy se jedná o dekompozici obrazovky měření kyslík, aneb koncentrace mg/l na čase (hodiny). Design/provedení obrazovek je volen záměrně jednoduše, protože obsluha ČOV musí mít možnost dobré čitelnosti i při zhoršených světelných podmínkách – snížený nebo naopak příliš vysoký jas z okolí. Proto obrazovky provozních parametrů budou navrženy přehledně, s pouze podstatnými hodnotami a ostatní informace bude možné vyčíst v režimu ladění (optimalizace).

Grafy O2

[Přehled](#)[System](#)[Log](#)[Odhlásit](#)

Obr. 4.68 Dekompozice obrázku - časová závislost rozpuštěného kyslíku v nádrži

Online grafické provedení vykreslující i předcházející hodnoty veličiny slouží zejména pro vizuální kontrolu technické obsluhy nad celou technologií ČOV. Uživatelské rozhraní je také koncipováno tak, že je možné kromě průběhů jednotlivých měřených veličin v závislosti na čase, vybrat také konkrétní závislost výběrem prvků z přehledové tabulky.

4.14 Řídicí, optimalizační SW, topologické uspořádání

4.14.1 Obecný popis programovacího prostředí

Vlastní SW je psán v prostřednictvím ST (structured text) v prostředí MOSAIC. Jedná se o komplexní vývojový nástroj pro programování běžných i náročných aplikací systémů Tecomat. Mosaic umožňuje pohodlnou tvorbu a odladění programů, rozsáhlé projekty zahrnující velké množství řídicích systémů či vzdálených I/O modulů. Mosaic využívá řadu moderních technologií. Architektura prostředí i jeho jednotlivé nástroje ctí normu IEC61131-3.

Samotná norma IEC61131-3 umožňuje programovat následujícím způsobem:

- **IL - Instruction List** (posloupnost instrukcí)
- **ST - Structured Text** (vyšší programovací jazyk - obdoba Pascalu)

- **LD - Ladder Diagram** (kontaktní plán / liniové či reléové schéma)
- **SFC - Sequential Function Chart** (vývojové schéma)
- **FBD - Function Block Diagram** (schéma funkčních bloků)
- **CFC - Continuous Function Chart** (volně propojované bloky)

4.14.2 Algoritmizace

Celý algoritmus je v podstatě regulace na $\frac{1}{4}$ hodinové maximum s tím, že doba neodpovídá přesně časovému úseku 15 minut, ale třeba hodině, protože vzhledem k pomalým dějům je regulační čas velmi dlouhý, respektive odezva na regulační skok – vysoký stupeň setrvačnosti soustavy i vzhledem ke kolísavému stupni znečištění příchozí kalové vody. Cílem celé algoritmizace bylo nastavit takový režim, aby nedocházelo k nepříznivému (stresovému) prostředí pro mikroorganismy. Tzn., že bylo úkolem vypořádat se s regulačními zásahy tak, aby se celá technologie stabilizovala, nedocházelo k nadbytečným regulačním zásahům s intenzivními dopady na celkové výsledné parametry ČOV (CHSK, BSK, N-NH₄, energie).

Tedy ideálu se blížíme tím, že omezíme maxima odběru el. energie a využijeme intervaly nízkého odběru na ohřev vody, míchání flokulantu a odkalování s předpokladem dalšího vývoje.

4.14.3 Modulární koncepce hardwaru

Celá koncepce vychází z nové architektury rozváděčových polí. Z hlediska modularity a modulovatelnosti není ČOV vybavena jedním velkým rozváděčem, ale skupinou několika menších. Jedná se o systémové rozvaděče a podružné rozvaděče, které ale celkově tvoří jeden ucelený soubor. Tento typ montáže byl vyzkoušen právě v ČOV Moravičany, protože musela být zabezpečena nepřerušovaná dodávka vzdušiny do nitrifikačních nádrží/technologií. Koncepce se ukázala jako velmi vhodná pro provozy s trvalým chodem, jelikož došlo k výpadkům napájení na nezbytně nutnou dobu, nikdy však více jak na 2 hodiny. Rozvaděče jsou spojeny sběrnici (TCL2, CIB, FM over ethernet). Modularita se také osvědčila pro obsluhu čistírny. Díky tomuto členění se obsluhované věci a jejich ovládání nachází v těsné blízkosti což ve variantě před rekonstrukcí nebylo možné.

Díky nové koncepci jsme docílili snížení množství kabeláže asi o 20 % vůči předchozímu projektu, přičemž dohledový chod čistírny se výrazně zlepšil.

Vzhledem k hardwarové části rekonstruovaného bloku můžeme konstatovat:

- Díky partneru projektu TECO, a.s. bylo vybráno jejich technické řešení postavené na PLC Foxtrot (HW watchdog, přímá integrace různých snímačů a protokolů, možný dohled SNMP, JSON, dálkové řízení provozu, silné logování).
- Předchozí řešení nebylo možné v projektu zohlednit, protože nebyla dostupná dokumentace k SW, taktéž nebyla zajištěna jakákoliv podpora ze strany výrobce SW/HW.
- Implementace SW byla na úrovni FBD - SW objektového typu s instancemi (funkční bloky). Tato volba se ukázala jako velmi nevhodné řešení programování, protože při změně funkce se chyba promítne do všech objektů.

4.14.4 Databázový server

Z důvodů řešení řízení celé technologie pomocí systému Foxtrot, bude pro samotné programování využít software Mosaic, jak je podrobně popsán v dokumentaci vizualizačního a ovládacího rozhraní. Samotný algoritmus je vytvořen v jazyce strukturovaného textu dle normy IEC EN 61 131. Optimalizace zdrojového kódu je v procesu vývoje. Byly definovány vstupní proměnné a základní postupy a procesy pro snížení spotřeby elektrické energie, jak bylo již dříve uvedeno v energetickém auditu.

Vývoj GUI a vizualizace je podrobně popsán v následujících kapitolách. Uživatelské rozhraní je navrženo pro účel maximální přehlednosti, jednoduchosti a pro obsluhu. Představuje vizualizaci dle dispozičního uspořádání celé technologie s detailními náhledy pro sledování konkrétních hodnot a jejich historií zobrazené graficky.

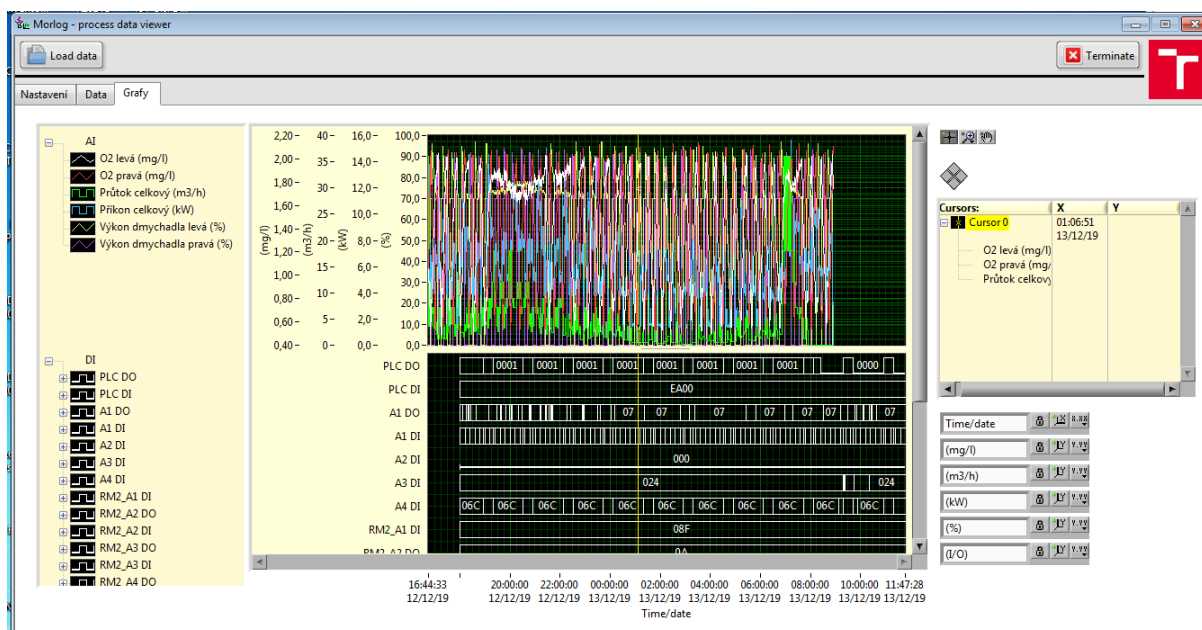
Hlavní přístroje pro měření jsou kyslíkové sondy, průtokoměry a teploměry. Naměřené data budou přes převodníky nebo komunikačními linkami přes digitální a analogové vstupy připojeny s PLC Foxtrot. Predikce má na proces optimalizaci výrazný vliv. Z vyhodnocení naměřených dat, lze některé parametry v konkrétní hodinu v rámci týdenního cyklu předpokládat a lze tím zamezit výraznějším výkyvům spotřeby elektrické energie plánovaným řízením.

V rámci dřívější úvahy bylo vymezeno několik možností přístupu v rámci relačních databází a jejich implementaci vzhledem k rekonstruovaným čistírnám. Databáze byla vytvořena s ohledem k jednotlivým technologiím a dále byla zkoumána možnost propojení více čistíren do jednoho celku. Nakonec byl vybrán a použit jako DB server webserver Foxtrotu, kde je možné exportovat CSV soubory s daty do různých nástrojů pro vyhodnocení.

Lze také zmínit, že pokud by byl zájem o DB server, připravili jsme JSON strukturu dat ČOV, kterou mohou všechny běžné typy DB použít, popř. do ní vkládat změny parametrů (máme otestováno). Dále jsme ověřili export dat z Foxtrotu do DB Microsoft Azure.

4.14.5 Vizualizační SW dat z logu

Pro vizualizaci dat z log souborů jsme využili jednotné programovací prostředí Labview. Jedná se o jazyk, který je primárně určen pro správu laboratorních sestav a testování (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), nicméně jeho uživatelské prostředí umožňuje vytvářet přehledné GUI.



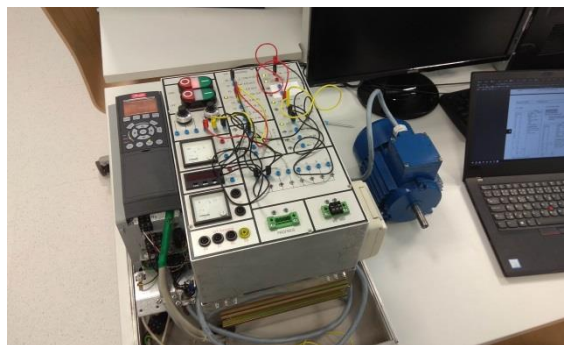
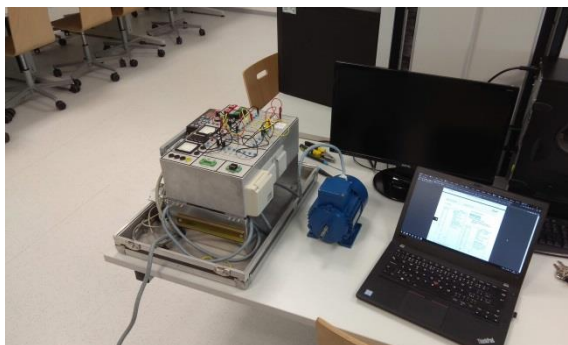
Obr. 4.69 Vizualizační SW pro zobrazení LOG souborů

SW pro vizualizaci umožňuje zpětně z LOG souborů (analogových a digitálních) rekonstruovat stav, který vznikl na čistírně.

4.15 Laboratorní testování a ověření technologie (etapa 2)

4.15.1 Frekvenční měnič

V rámci laboratorního testování jsme prováděli ožiování a základní nastavení frekvenčních měničů DANFOSS, včetně nastavení datové cesty v rámci TECO Foxtrot.



Obr. 4.70 Laboratorní testování a komunikace Foxtrot s FM Danfoss se zapůjčeným standem (Danfoss)

Byly zkoušeny regulační zásahy vytipovaných technologií z energetického auditu se vztahem k možnosti energetické úspory:

- Provozní stavy, různé namodelované situace (více frekvenčních měničů (FM) s nižšími otáčkami vs. jeden s vyššími (efektivnější jsou vyšší otáčky vzhledem k trvalým ztrátám).

- Výsledky optimalizace časování procesů (např. střídání míchadel, nebo provzdušnění kalojemů s chodem dmychadel - vede k nižšímu odběru - což je potvrzeno v praxi průběhem příkonu.
- Praktický výsledek přechodu od nedokonalého původního řízení jednou sondou ke dvěma (přesnější zjištění koncentrace rozpuštěného kyslíku v nitrifikačních nádržích).
- Sledování a dopad využití nelinearit spotřeby kyslíku k optimalizaci spotřeby energie (např. exponenciální pokles při poklesu kyslíku).
- Dále jsme celý systém nastavili na bezpečnostní signálové alarmy (ochrana zařízení).

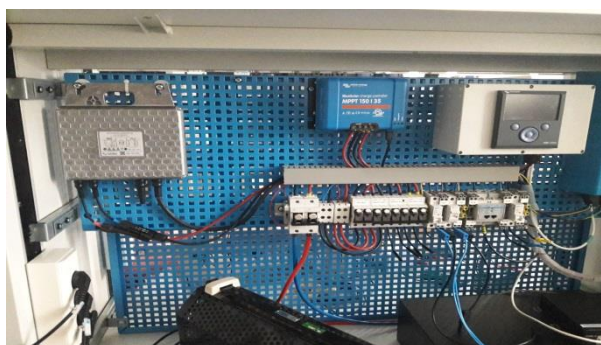
Příklad nastavení povelů a jejich otestování při výpadku některého dmychadla (laboratorně i ve zkušebním provozu):

- Dmychadlo linky M6 nebo M7 má poruchu:
 1. Znamená to, že není signál READY, ale současně je signál AUTOMAT. Se strojem se tedy počítá, není odstaven,
 2. v tom případě jeho funkci přebírá dmychadlo kalojemů M8 a je spínáno podle požadavku na obsah kyslíku,
 3. před jeho spuštěním se zavřou obě klapky do kalojemů a otevře se příslušná klapka linky.
 4. pokud vypadne dmychadlo M6, otevře se klapka HS 11, pokud má výpadek M7 otevře se klapka HS 10.
 5. ZRUŠÍ SE POVEL PRO SPOUŠTĚNÍ PŘÍSLUŠNÉHO FM, TEDY DO0 ANEBO DO3, aby nedošlo k navýšení množství vzduchu nad možnosti aeračního systému,
 6. provzdušňování kalojemů se provede v době, kdy dmychadlo kalojemu nebude muset plnit funkci hlavního dmychadla linky,
 7. nejpozději po 3 hodinách se na 10 minut provzdušní každý kalojem,
 8. odpojení motorů od FM 1, FM 2, FM 3, FM 4 a SOFTSTARTÉRU se zobrazí na displeji jako ALARM
- Dmychadlo kalojemu M8 má poruchu:
 1. Znamená to, že není signál READY, ale současně je signál AUTOMAT. Se strojem se tedy počítá, není odstaven,
 2. v tom případě jeho funkci přebírají dmychadla linek,
 3. to v okamžiku navýšení obsahu kyslíku v lince 1 vypne M6, po nastaveném čase cca 30 sekund otevře klapku HS 11 a klapku do kalojemu 1 HS 12, stejně tak stroje M7, klapky HS 10 a klapka do kalojemu HS 13,
 4. toto provzdušňování kalojemů se bude provádět stejně jako běžně, 10 minut chodu, pauza 50 minut,

5. ZRUŠÍ SE POVEL PRO SPOUŠTĚNÍ PŘÍSLUŠNÉHO DMYCHADLA KALOJEMU, aby nedošlo k navýšení množství vzduchu nad možnosti aeračního systému,
6. Odpojení motorů od FM 1, FM 2, FM 3, FM 4 a SOFTSTARTÉRU se zobrazí na displeji jako alarm a o havarijním stavu bude vytvořen záznam v logu chyb a informace na HMI (obrazovce).

4.15.2 FV set

Laboratorně byly odzkoušeny FV moduly s měniči, které byly následně instalovány. Byla vyzkoušena synchronizace se sítí (paralelní provoz, zkušena funkčnost setu). Bylo prokázáno funkční uspořádání v 3- fázovém provedení a možný převoz na místo instalace.



Obr. 4.71 Laboratorní testování použitých měničů na VUT V Brně

4.16 Vývoj algoritmu řízení, měření, predikce a optimalizace

Z důvodů řešení řízení celé technologie pomocí systému Foxtrot, bude pro samotné programování využít software Mosaic, jak je podrobně popsáno v dokumentaci vizualizačního a ovládacího rozhraní. Optimalizace zdrojového kódu je v procesu vývoje. Byly definovány vstupní proměnné a základní postupy a procesy pro snížení spotřeby elektrické energie, jak bylo již dříve uvedeno v energetickém auditu.

Vývoj GUI a vizualizace je podrobně popsán v následujících kapitolách. Uživatelské rozhraní je navrženo pro účel maximální přehlednosti, jednoduchosti a pro obsluhu. Představuje vizualizaci dle dispozičního uspořádání celé technologie s detailními náhledy pro sledování konkrétních hodnot a jejich historií zobrazené graficky.

Hlavní přístroje pro měření jsou kyslíkové sondy, průtokoměry a teploměry. Naměřené data budou přes převodníky, nebo dovedena komunikačními linkami na digitální a analogové vstupy do rozváděče s PLC Foxtrot. Predikce má na proces optimalizaci výrazný vliv. Z vyhodnocení naměřených dat, lze některé parametry v konkrétní hodinu v rámci týdenního cyklu předpokládat a lze tím zamezit výraznějším výkyvům spotřeby elektrické energie plánovaným řízením.

Řídicí a optimalizační software pro monitoring, měření, vizualizaci a predikci stavů čistírny odpadních vod, bude sloužit k vyhodnocení získaných z provozu čistírny, návrhu kroků související

s efektivnějším provozem a bude zajišťovat vyhovující odtokové parametry ČOV při snížení energetických nákladů, a jejich energetickému posouzení.

Tento software byl vyvinut za účelem ovládání a kontrole zařízení na ČOV Moravičany v rámci projektu. Jedná se o kompletně nový SW, který byl napsán přímo řízení malých ČOV. Jeho výhodou je zejména určitá modularita, kdy lze jednotlivé části kódu poměrně jednoduše importovat i na další případné ČOV.

Kostra algoritmu je postavena na standardních knihovnách systému Tecomat Foxtrot. Další prací byly vyhotoveny nové knihovny pro komunikaci s frekvenčními měniči značky Danfoss, komunikace s kyslíkovými sondami Endress+Hauser, REDOX systémem apod. Kompletně se jedná o ucelený kód.

Elektroinstalace zařízení ČOV Moravičany je odlišná od standardních elektroinstalací (modulovatelnost distribuovaných rozvaděčů) a to zejména v následujících položkách (modulech):

- RM-0 Rozvaděč pro stavbu, monitorování spotřeby a řízení topení, ohřevu TUV a řízení osvětlení,
- RM-1 Ostatní stroje, zařízení a vizualizace ČOV, odesílání SMS a vzdáleného přístupu přes internet,
- RM-2 Řízení klapek kalojemů a pomocných dmychadel,
- RM-3 Řízení hlavních dmychadel pro linky, zde záleží jaký typ frekvenčního měniče (FM) se připojí podle výkonu motoru, v rozvaděči se pouze zamění svorky a hlavní pojistky,
- RM-4 Řízení dávkování fosforečnanu a monitorování kalolisu a flokulace

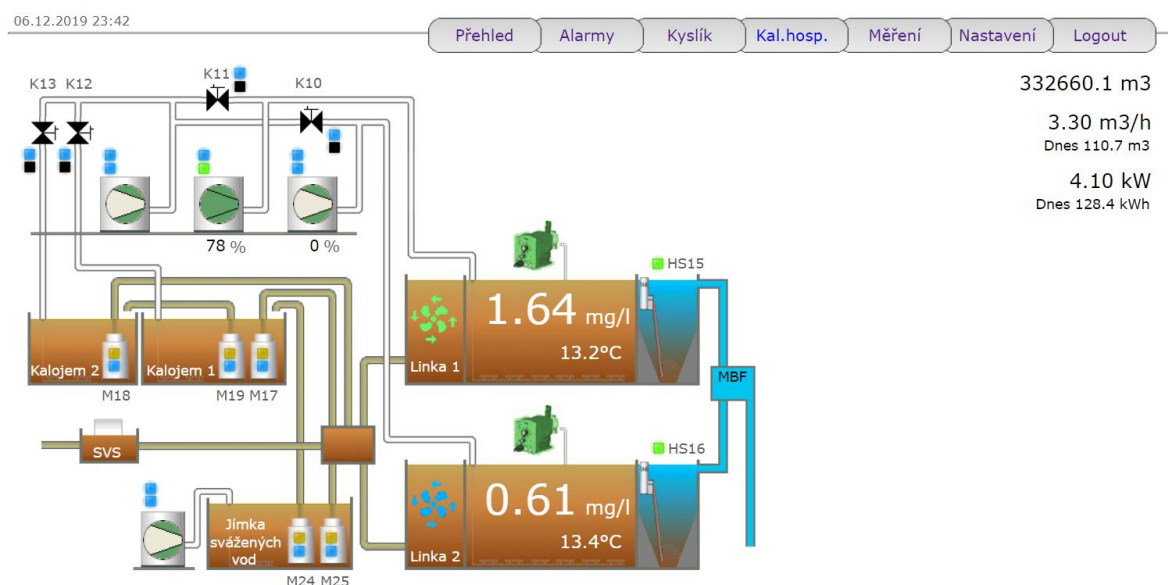
Hlavní rozvaděč je díky modulární koncepci, kterou umožňuje konstrukce firmy Hensel možno modulárně měnit, rozšiřovat. Jednotlivé modulární rozvodnice jsou popsány a navrženy ve výkresové dokumentaci, bohužel ta je předmětem utajení v rámci firemní strategie a není ji možné předložit k disertační práci.

Spolupráce technologie čištění a stavby s měřením jednotlivých složek umožňuje rovnoměrný odběr ze sítě a tedy snížení hodnoty hlavního jističe a využití nízkých sazeb energie. Pro plné využití této možnosti by musel být kalolis a flokulace zabezpečena s ohledem na hluk (noční provoz) a také z pohledu obecné bezpečnosti zařízení (provoz bez obsluhy).

Výše uvedené popisuje systém, který byl zvolen pro modulární koncepci čistíren a lze jej bezpečně využívat a kombinovat, kdy skutečně stačí poměrně malý zákrok v programu. Již se nemusí vytvářet kompletní systém řízení, který by byl vždy originální dané čistírně odpadních vod.

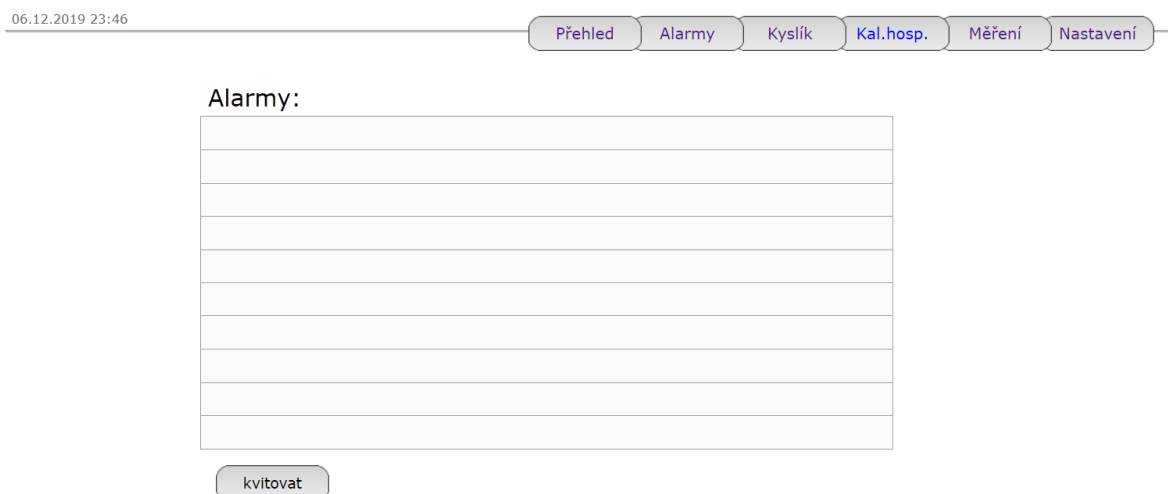
Validace SW probíhá přímo na pilotním projektu ČOV Moravičany. Aktuální stav čistírny je možné kontrolovat pomocí dálkové správy. Stejně tak je možné ji na dálku ovládat a kontrolovat případné poruchové stavy (kvitace havarijního chování, nastavení hladin koncentrace kyslíku, vyčítávání LOG souborů a jejich přehrání v SW včetně analýzy stavu apod.). Jedná se o graficky přívětivé GUI (*Graphical User Interface*), které obsluhuje jasně poskytuje informace o aktuálním stavu ČOV.

4.16.1 Popis vyvinutého SW



Obr. 4.72: Základní obrazovka vyvinutého SW

Základní obrazovka GUI Obr. 4.72 poskytuje základní aktuální informace o stavu ČOV. Dmychadla (zobrazena nahoře vedle sebe v počtu 3 kusů) jsou v režimu automatickém (AUT – svítí modrá horní ikona/žlutě - ruční provoz) a také v režimu připraveno (READY – modře – spodní symbol u každého sledovaného členu/žlutá - není připraven, není chod/zelená - je v chodu). Dmychadlo číslo 1 (prostřední) je zobrazeno v systému jako READY a RUN (běží s aktuální hodnotou 78 % n_{norm}). Stejně jsou zobrazeny i ostatní systémy. Klapky jsou otevřeny/uzavřeny – zelená/ černá.



Obr. 4.73 Obrazovka alarmů

Obrazovka Alarmy Obr. 4.73 zapisuje problémy na ČOV. Dále posílá SMS obsluze ČOV a upozorňuje na abnormality v provozu. V současném zobrazení je čistírna plně automatická bez jakékoliv chyby.



Obr. 4.74 Obrazovka kyslíku - vrchní graf ukazuje 24 hodinovou historii, spodní posledních 6 hodin s větším detailem

Obrazovka – Kyslík – přináší informace o vývoji kyslíku na sledovaných sondách v nitrifikačních nádržích. Jedná se o velmi důležitou hodnotu, která je určujícím vstupem do řídicího SW. V podstatě se dá říci, že kyslíkové sondy jsou nezbytným doplňkem jakékoliv čistírny odpadních vod. Pro správnou funkci je hladina O_2 držena v mezích 0,6 mg/l a 2 mg/l. Dmychadla jsou regulována pomocí FM na žádanou hodnotu neproporcionálně. Při poklesu kyslíku pod stanovenou úroveň, v našem případě pod 0,6 mg/l, dojde k najetí příslušného dmychadla na 70 % jmenovitých otáček. Pokud hladina kyslíku stoupá velmi pomalu nebo vůbec, je po 5 minutách chod dmychadel převeden na 100 % n_{norm} a systém řízení je proporcionální vzhledem k hladině rozpuštěného kyslíku v nádržích.

Obrazovka Kalového hospodářství Obr. 4.75 je speciálním požadavkem na řízení ČOV z pohledu obsluhy. Malé čistírny mají malé nádrže na odčerpaný kal z nitrifikačních nádrží. Pro správnou sedimentaci těchto kalů je nutné ukončit provzdušňování jímek (kvůli možnému zahánění je přiveden vzduch z dmychadla 3), tím dojde k oddělení fragmentů v jímce na vodu (při povrchu) a kal (dole). Díky této obrazovce lze provádět tuto činnost zcela automaticky bez zásahu obsluhy – dříve nebylo možné.

Obrazovka Měření Obr. 4.76 předkládá aktuální informace příkonů ČOV, jejich účinníky, napětí, proudy. Stejně tak poskytuje informace o FVE, jakožto doplňkového zdroje pro ČOV.

06.12.2019 23:47

Přehled Alarmy Kyslík Kal.hosp. **Měření** Nastavení

Dmychadlo do kalojemu 1

	Zablokovat	Upozornit	Ukončit
Po	00:00	00:00	00:00
Út	18:00	22:00	24:00
St	00:01	07:00	10:00
Čt	00:00	00:00	00:00
Pá	00:00	00:00	00:00
So	00:00	00:00	00:00
Ne	00:00	00:00	00:00

Dmychadlo do kalojemu 2

	Zablokovat	Upozornit	Ukončit
Po	00:01	07:00	12:00
Út	00:00	00:00	00:00
St	00:00	00:00	00:00
Čt	00:00	00:00	00:00
Pá	00:00	00:00	00:00
So	00:00	00:00	00:00
Ne	18:00	22:00	24:00

☒ M17 odsazená voda KLJ1
má běžet (hod:min) 01:00
Spustit běží 00:00

☒ M18 odsazená voda KLJ2
má běžet (hod:min) 02:00
Spustit běží 00:00

☒ M19: KLJ1 -> KLJ2
má běžet (hod:min) 01:00
Spustit běží 00:00

Obr. 4.75 Obrazovka kalového hospodářství s možnostmi definování si vlastních kalendářů pro odsazení kalových jímek (oddělení vody a sesednutí kalu)

06.12.2019 23:47

Přehled Alarmy Kyslík Kal.hosp. **Měření** Nastavení

El.energie

Spotřeba	148402.6 kWh
Dnes 129.0 kWh	

Příkon	6.72 kW
P1	2.09 kW
P2	2.25 kW
P3	2.38 kW
I1	11.10 A
I2	11.26 A
I3	12.52 A
cosFI1:	0.98
cosFI2:	1.00
cosFI3:	0.95

Voda

Celkem	332660.4 m3
Dnes 111.0 m3	
Průtok	2.59 m3/h

Výkazy

Ventilátory

aktivace	dmychárna	deodor.filtr

Obr. 4.76 Obrazovka měření. Jedná se o aktuální hodnoty, které odebírá technologie ČOV

06.12.2019 23:48

Přehled

Alarmy

Kyslík

Kal.hosp.

Měření

Nastavení

<- ->

Prosinec 2019

Den	kWh (denní)	m3 (denní)	kWh/m3	Den	kWh (denní)	m3 (denní)	kWh/m3
1.	147711 (144)	332192 (110)	1.30	16.	---	---	---
2.	147861 (150)	332279 (87)	1.73	17.	---	---	---
3.	148003 (142)	332365 (86)	1.65	18.	---	---	---
4.	148140 (136)	332462 (97)	1.40	19.	---	---	---
5.	148269 (130)	332549 (87)	1.49	20.	---	---	---
6.	148403 (133)	332660 (111)	1.20	21.	---	---	---
7.	---	---	---	22.	---	---	---
8.	---	---	---	23.	---	---	---
9.	---	---	---	24.	---	---	---
10.	---	---	---	25.	---	---	---
11.	---	---	---	26.	---	---	---
12.	---	---	---	27.	---	---	---
13.	---	---	---	28.	---	---	---
14.	---	---	---	29.	---	---	---
15.	---	---	---	30.	---	---	---
				31.	---	---	---

Obr. 4.77 Obrazovka výkazů. Jedná se o denní statistiku spotřeby elektrické energie a odtoku vody z ČOV

Obrazovka Výkazy Obr. 4.77 slouží k záznamu spotřebované energie (kWh) a odtoku vody ze zařízení. Dále informativně přináší přepočet spotřebované elektrické energie na vyčištěný m³ vody.

06.12.2019 23:48

Přehled

Alarmy

Kyslík

Kal.hosp.

Měření

Nastavení

Linka 1 (levá)

max.O2 2.0 mg/l

min.O2 0.6 mg/l

Linka 2 (pravá)

max.O2 2.0 mg/l

min.O2 0.6 mg/l

Log událostí

Elektroventil HS15

zapnut (hod:min) 00:20

vypnut (hod:min) 01:00

Elektroventil HS16

zapnut (hod:min) 00:20

vypnut (hod:min) 01:00

Dmychadlo jímky svážených vod

Spustit

Ukončit

Ráno 07:00

07:10

Večer 19:00

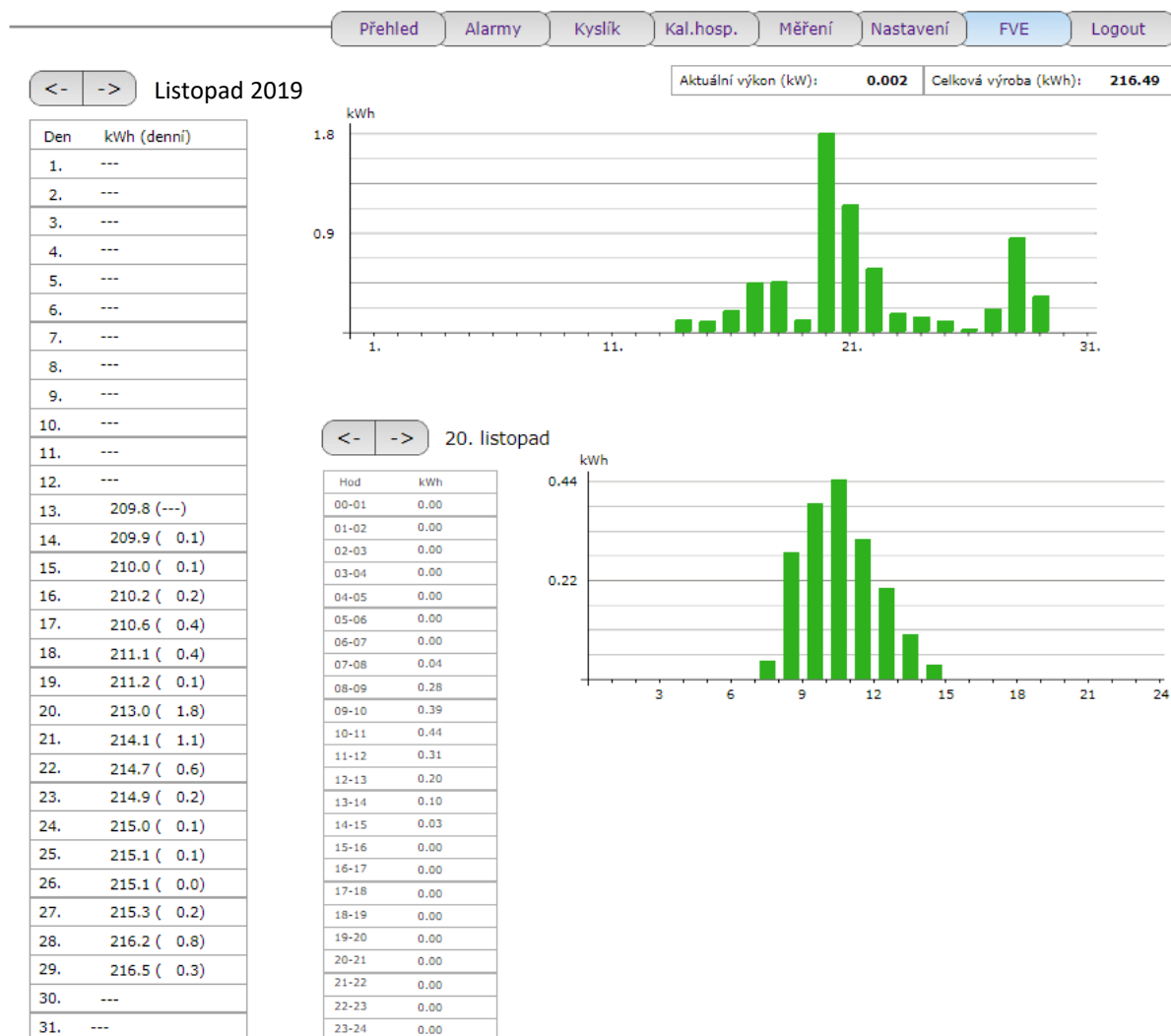
19:10

Obr. 4.78 Obrazovka Nastavení slouží k nastavení základních funkcí systému

Obrazovka Nastavení Obr. 4.78 slouží k nastavení základních parametrů ČOV (zejména meze kyslíku). Dále řeší automatické uzavírání a otevírání elektromechanických ventilů v provzdušňovací cestě. Samozřejmostí je stahování zaznamenaných průběžných stavů (logy) v souborech ve formátu CSV.

Pro zpracování a vyhodnocení těchto záznamů slouží další graficky uživatelská aplikace, která zobrazuje tyto data v kontextu se všemi informacemi ohledně technologie (zapnutí/vypnutí jednotlivých systémů – stykače, čidla apod.).

Závěrem realizace bylo prostředí GUI doplněno o záložku FVE, která zobrazuje aktuální stav FV systému s rozložením výroby během měsíce a rozložení během jednoho dne. Informace o výrobě jsou dostupná i zpětně a je možné procházet historické data po dnech nebo celých měsících.



Obr. 4.79 Záložka FVE informující o stavu produkce během jednoho dne a měsíce

4.17 Realizace, zkoušky, testy provozních stavů, událostí, a testovací provoz na ČOV

4.17.1 Popis a důvody realizace výměny ASŘ

Realizace výměny ASŘ byla provedena v 8/2019 z důvodu finančních požadavků na partnera projektu, obec Moravičany, dřívější výměna nebyla možná z důvodu nedostatku finančních prostředků obce Moravičany.

Důvodem pro realizaci kompletní náhrady řídicího systému bylo:

- Havarijní stav stávající technologie.
- Neznámý algoritmus stávající technologie.
- Ruční zásahy do regulace.
- Skončení životnosti některých prvků (jističe, releové přepínače, displej stávajícího PLC apod.).
- Současné spínání dmychadel náraz způsobovalo pohasínání světel (proudové nárazy).
- Regulace poměru obsahu kyslíku mezi oběma linkami probíhala ručně klapkou.
- Regulace celková byla řízena podle jedné sondy, v podstatě bez vazby na její prioritu.
- Výpadky provzdušňování kalojemů po restartu původního ASŘ.
- Velký důraz na lidské řízení se zkušenostmi z provozu.
- Nefunkční signalizace spuštěných strojů.
- Informace o chodu, dohled nad technologií byla minimální.

Po vyhodnocení možnosti implementace nového ASŘ do stávající technologie bylo odsouhlaseno, že tento krok není možné provést a je nutná kompletní rekonstrukce technologie řízení.



Obr. 4.80 Montáž nového ASŘ, včetně nových FM

Realizace probíhala za nepřetržitého chodu čistírny, technologie byla měněna za provozu, bez výpadkově, aby nedošlo k havárii na ČOV. Tento bod byl velmi komplikovaný a bylo nutné zabezpečit a sladit funkci starého a nového ASŘ. Došlo k výměně celé technologie ASŘ, dále mechanických jednotek stykačů, jističů, reléových výstupů a bylo nataženo několik nových vedení.

Byly naistalovány nové frekvenční měniče Danfoss VLT® AQUA Drive FC 202 FC-202P5K5T4E55H3XGC1 (řízení dmychadel) a FC-202P3K0T4E55H3XGC1 (řízení míchadel). Dále byl instalován softstarter MCD201007T4CV1 téhož výrobce (dmychadlo 3 do kalojemu).

Za těchto vstupních podmínek probíhala výměna ASŘ ČOV Moravičany. Za provozu, bez omezení kvality čištění ve třech etapách.

1. V první etapě byl vyměněn systém spouštění hlavních dmychadel a ověřena funkce namontovaných klapek, které jsou na vzduchovém potrubí. Současně byl v mezích možností zjištěn stav instalace. Namontovány byly FM hlavních dmychadel a RM-2 a RM-3.
2. Ve druhé etapě byla provedena úprava rozvodu vzduchu, která se bez omezení provozu neobešla, a došlo při ní k výpadku jedné nové kyslíkové sondy.
3. Ve třetí etapě proběhla demontáž hlavního rozvaděče a instalace RM-1 a RM-4, instalace 4. klapky a programování.
4. Instalace o testování FV panelů uložených na střeše budovy.

Hlavní fakta výměny ASŘ

- Modulární koncepce
- Omezení kabeláže (napájení a sběrnice)
- Moderní systém
- Známý algoritmus, otevřený systém
- Dálková správa
- Rozvaděče bez nutnosti obsluhy s elektrotechnickou kvalifikací
- Vysoké krytí IP (lze až 65 – bezpečnost obsluhy i systému)

4.17.2 Zkušební provoz - technologie ASŘ

Po zprovoznění řídicího systému a nastavení předpokládaných parametrů byl zahájen testovací provoz. V rámci testovacího provozu, probíhalo kontinuální měření a vyhodnocování základních ukazatelů (poměr spotřebované energie kWh/m³) apod. Průběžně docházelo k optimalizaci řídicího systému s cílem dosažení energetické optimalizace s efektivním využitím instalované energetické rezervy dané hlavním jističem. Optimalizace zahrnovala nastavení řídicího systému a frekvenčních měničů pro pohon dmychadel a míchadel. Výsledkem testovacího provozu je plně optimalizovaný a efektivní provoz ČOV Moravičany.

Původně (před výměnou ASŘ) nebyla známa informace o chování jednotlivých strojů, ani o dynamice spínání jednotlivých strojů (z původního PLC), nebyla známá informace o spotřebě el. energie ve vazbě na průtok a vazbě na aktivaci strojů a zařízení. Prvotní informace byly získány

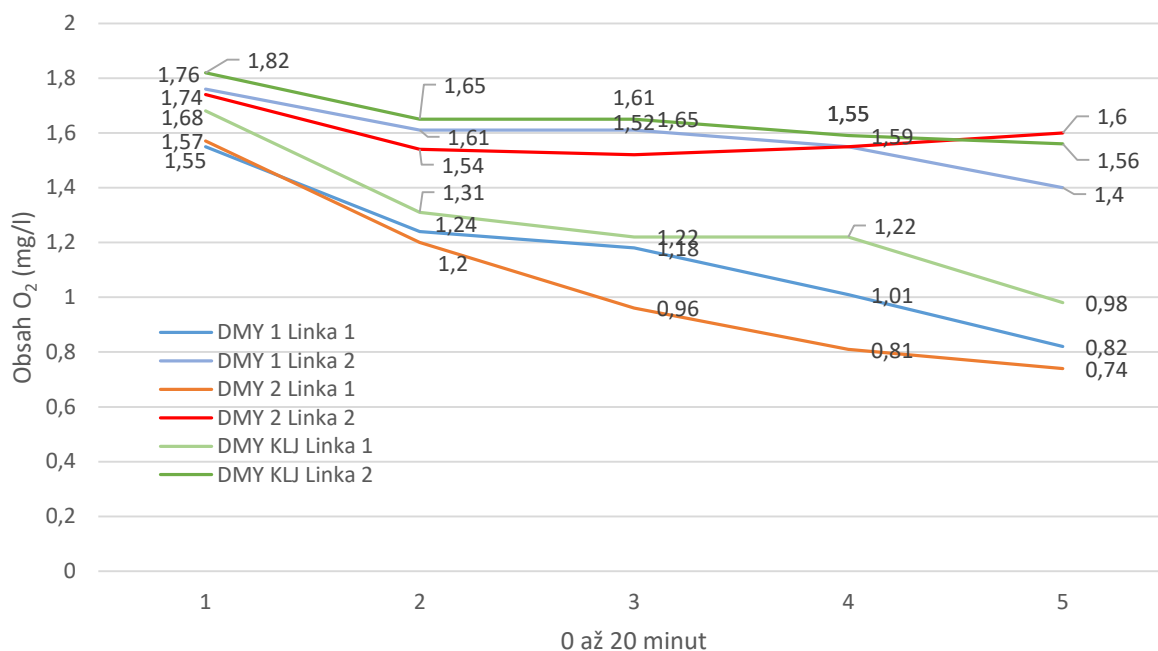
z doplňkového měření v roce 2017 a 2018, které jsme nasadili v minulosti, ale neznali jsme reakce soustavy na regulaci výkonu dmychadel a oddělení potrubí.

Ve zkušebním provozu se potvrdila potřeba velkého rozsahu výkonu dmychadel, v současnosti je nastaven provoz na rozmezí 35-50Hz, tedy cca 70%- 100% a v některých situacích (by bylo výhodou rozšířit pásmo (např. 20 – 60 Hz – provoz na 60 Hz byl testován s negativním výskytem kritických vibrací).

Dále byl testován minimalistický provoz na jedno dmychadlo kalojemu ve vymezených časech (23:00 – 7:00) s regulací pomocí klapek pro havarijní chod. Proporcionální pootevření jedné nebo druhé. Současně by to pomohlo vyrovnání motohodin jednotlivých dmychadel. Výsledek je uveden na obrázek Obr. 4.81. Tento chod se nakonec ukázal jako nedostatečný – dodávka vzduchu byla nízká. Nicméně úspora elektrické energie nebyla příliš výrazná (tlakové ztráty na ventilech, potrubích a klapkách eliminovaly zvýšenou efektivitu dmychadla)

Celkově bylo vyzkoušeno 7 variant řízení dmýchání (K_A (mg/l) – aktuální koncentrace kyslíku (měřená), K_Z (mg/l) - koncentrace kyslíku nastavená, 1 – spodní limit, 2 – horní limit), úspora je vztažena k režimu základnímu před rekonstrukcí, resp. k režimu (1):

1. Režim 0,1 – zapnutí dmychadel při $K_A < K_{Z1}$, vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ → úspora 0 %
2. Režim náběhu přes FM → zapnutí dmychadel při $K_A < K_{Z1}$, 100 % n , poté pokles na 70 % n , vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ + doběh (až 9 min) → úspora cca 5 %
3. Režim náběhu přes FM → zapnutí dmychadel při $K_A < K_{Z1}$, 100 % n , poté pokles na 70 % n , vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ + bez doběhu (0 min) → úspora cca 5 %
4. Režim náběhu přes FM → zapnutí dmychadel $K_A < K_{Z1}$, 70 % n , poté regulace de potřeb až na 100 % n , vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ + doběh (až 6 min) → úspora cca 5 % + snížení počtu startování Dmychadel
5. Režim náběhu přes FM → zapnutí dmychadel při $K_A < K_{Z1}$, 70 % n , poté regulace de potřeb až na 100 % n , vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ + bez doběhu (0 min) → úspora cca 15 % + snížení počtu startování Dmychadel
6. Režim náběhu přes FM pouze 1 dmychadlo do obou nádrží přes zpětnou klapku nebo využití dmychadla č. 3 (provzdušnění kalojemu) → noční režim s možností regulace 70 % až 118 % n . → úspora cca 5 % + snížení počtu startování Dmychadel (projevily se ztráty v potrubí, díky přechodům přes klapky a ventily)
7. Režim náběhu přes FM → zapnutí dmychadel při $K_A < K_{Z1}$, 70 % n , poté regulace de potřeb až na 100 % n , vypnutí při $K_A > K_{Z2}$ + bez doběhu (až 0 min) + regulace mamutkového čerpání vody bez opětovného spouštění dmychadel → úspora cca 25 % + snížení počtu startování dmychadel



Obr. 4.81 Koncentrace kyslíku při různých režimech vzdušnění

4.17.3 Zkušební provoz - technologie OZE

OZE bylo nejprve otestováno laboratorně. Samotná instalace na střechu budovy čistírny byla v kompetenci VUT. Panely byly nainstalovány v 11/2019, systém je v režimu off-grid (ostrovní režim). Systém FV je přiveden do nového rozvaděčového pole, který bylo nutné také nahradit. Tento požadavek na výměnu přívodního pole vznikl dodatečně po problémech se stářím a (ne)spolehlivostí současných elektrických prvků. Veškeré provozní stavy byly ověřeny na výše zmíněném pracovišti a v daném režimu. Výsledkem byla funkční technologie.

4.17.4 Identifikace specifik provozu

Specifika provozu vychází z nepřetržitého režimu fungování ČOV. I když nátok během různých časových období kolísá, proces čištění je kontinuální 24hodin denně, 7dní v týdnu a 365 dnů v roce. Nátok také kolísá s návazností na den v týdnu, noc a den. Tomu musí být přizpůsoben řídicí a vyhodnocovací algoritmus, pro řízení celé technologie, které má být plně automatické s možností manuálního zásahu v případě různých měření, zkoušek, revizí a kontrol. Systém také musí reagovat na alarmy, závady a upozorňovat na nestandardní situace. U většiny závad jejich odstranění probíhá v plném provozu, proto bylo nutné řídicí systém navrhnout tak aby i při jeho výpadku, se systém nastavil do bezpečných provozních hodnot, třeba i za ztráty efektivity.

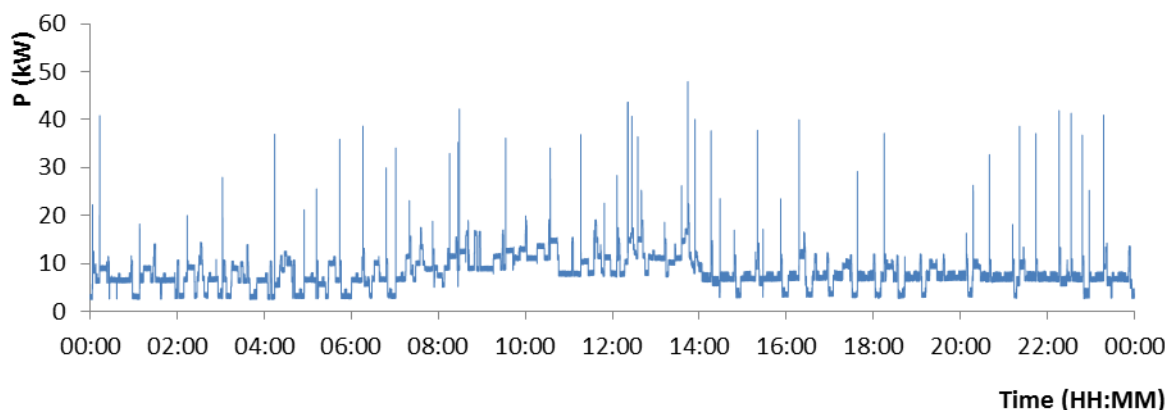
Řídicí systém přímo, pomocí regulace obsahu kyslíku, automaticky reguluje ve stanovených mezích ukazatele nutné pro zajištění řádného a spolehlivého provozu.

V tabulce Tab. 4.27 jsou uvedeny parametry před a po rekonstrukci ČOV. Z uvedených dat je patrné, že došlo k zlepšení požadovaných parametrů provozu čistírny z energetického hlediska.

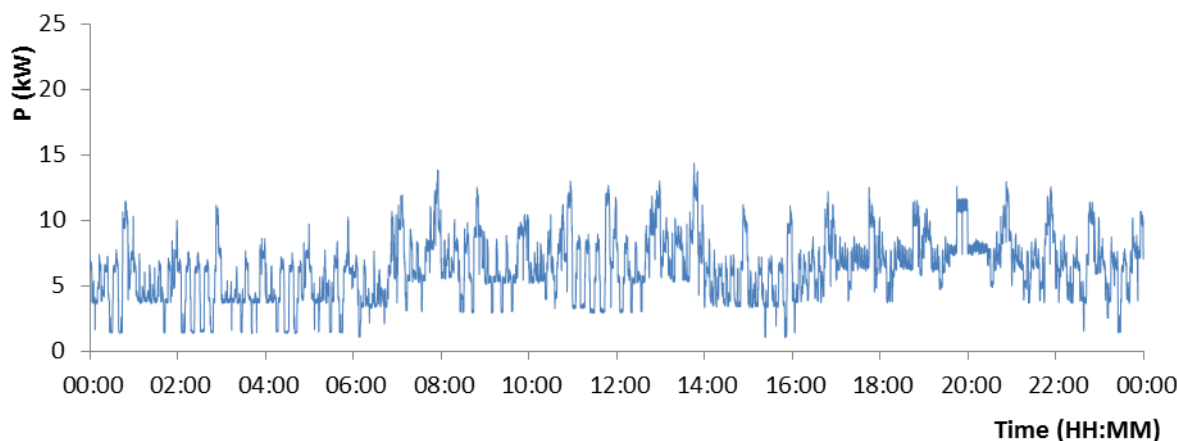
Tab. 4.27 Rozsahy provozních hodnot ČOV Moravičany.

	Minimum	Maximum	Průměr
Denní nátok před rekonstrukcí	47 m ³ /den	161 m ³ /den	103,74 m ³ /den
Poměr kWh/m ³ před rekonstrukcí	1,1 kWh/m ³	2,93 kWh/m ³	1,94 kWh/m ³
Hodnoty kyslíku v levé nádrži před rekonstrukcí	0,13 mg/l	6,03 mg/l	1,6 mg/l
Hodnoty kyslíku v pravé nádrži před rekonstrukcí	0,03 mg/l	4,39 mg/l	0,37 mg/l
Denní nátok po rekonstrukci	114 m ³ /den	158 m ³ /den	137,78 m ³ /den
Poměr kWh/m ³ po rekonstrukci	1,1 kWh/m ³	1,72 kWh/m ³	1,38 kWh/m ³
Hodnoty kyslíku v levé nádrži po rekonstrukci	0,71 mg/l	2,16 mg/l	1,52 mg/l
Hodnoty kyslíku v pravé nádrži po rekonstrukci	0,82 mg/l	2,17 mg/l	1,49 mg/l

Na Obr. 4.82 a Obr. 4.83 jsou zobrazeny denní průběhy příkonu na ČOV Moravičany před rekonstrukcí a po rekonstrukci. Je patrné, že došlo ke snížení špičkových hodnot (téměř 4x). Tento stav může vést ke snížení hodnoty hlavního jističe z 63 A na 40 A, což představuje úsporu v připojení odběrného místa.

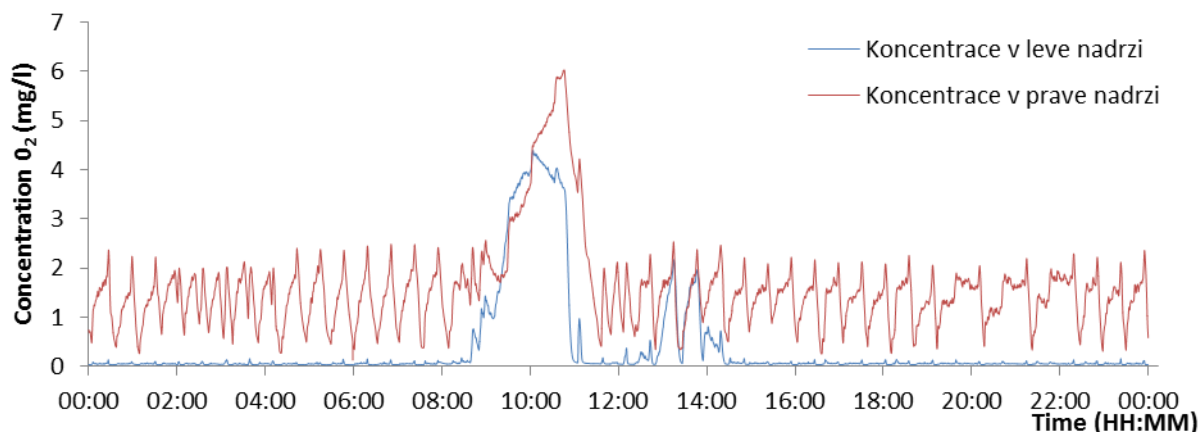


Obr. 4.82 Denní hodnoty průběhu příkonu před rekonstrukcí ASŘ

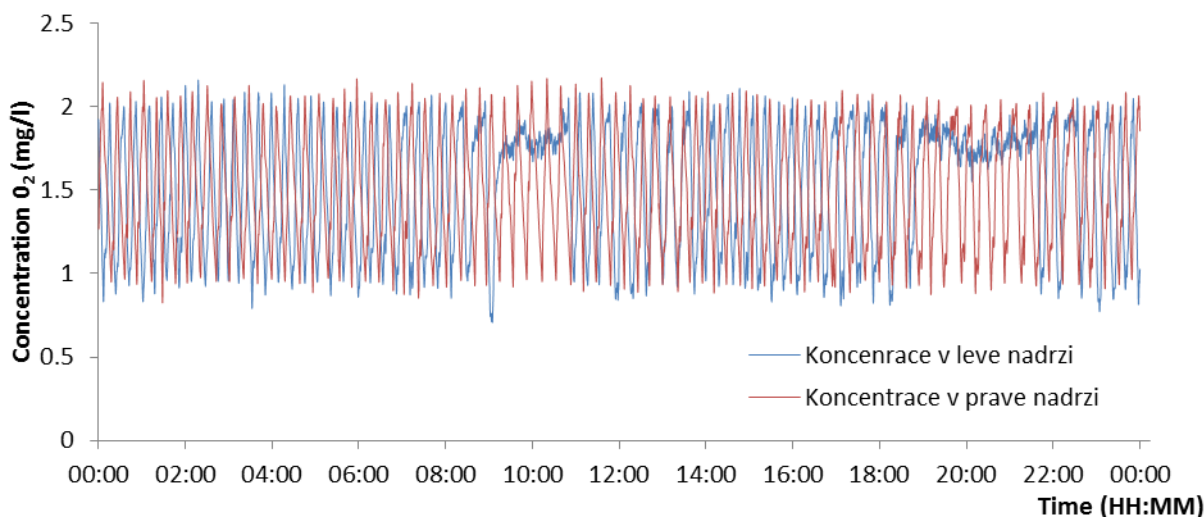


Obr. 4.83 Denní hodnoty průběhu příkonu po rekonstrukci ASŘ

Na Obr. 4.84 a Obr. 4.85 jsou uvedeny průběhy rozpuštěného kyslíku v nádržích. Původní ASŘ pracoval pouze s jednou kyslíkovou sondou, což vedlo k deprivaci biologických parametrů. Ovládání bylo prováděno pomocí manuální regulace.



Obr. 4.84 Průběh koncentrace kyslíku před rekonstrukcí ASŘ



Obr. 4.85 Průběh koncentrace kyslíku po rekonstrukci ASŘ

4.17.5 Monitoring provozu systému

Celý systém je postaven na databázovém řešení TECO, konkrétně na databázovém serveru webserver Foxtrotu. Jedná se o velmi elegantní řešení, které nevyžaduje příliš složitých hardwarových řešení a lze do ní naimportovat i více než jednu databázi. Dále byla otestována varianta exportu dat do databázové aplikace Microsoft AZURE (cloud řešení).

4.17.6 Závěrečné hodnocení modernizace ČOV Moravičany

Projekt přinesl jednoznačné zlepšení v následujících parametrech:

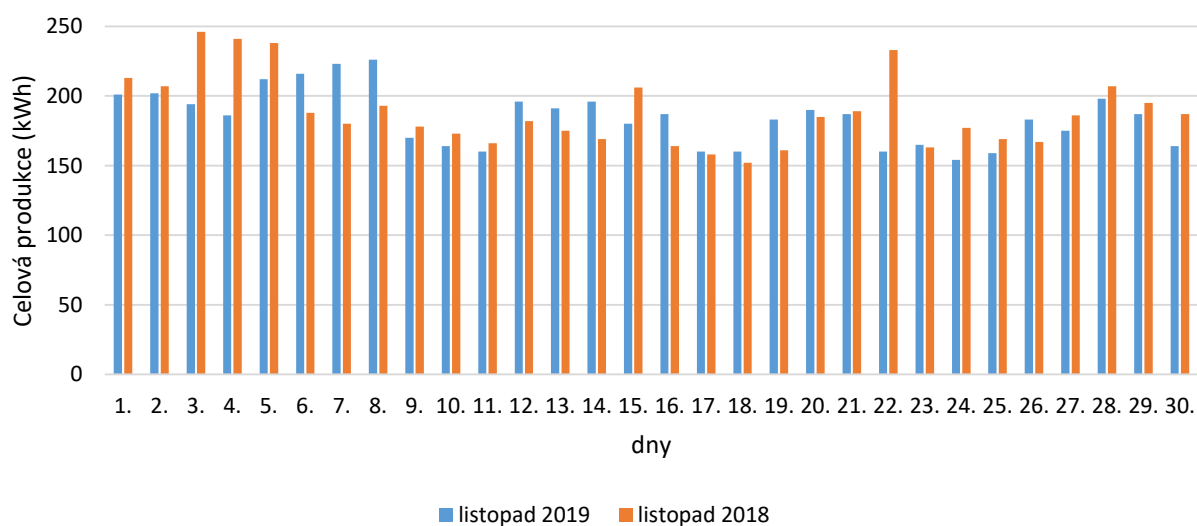
- Snížení příkonu hlavního jističe z hodnoty 63 A na 40 A díky kompenzaci účinníku z (0,37 na 0,9),
- Plynulý rozběh soustrojí (softstarter, FM) → omezení nárazového proudu (ze 70 A na 25 A u dmychadla 3), jsou potlačeny nárazové (rozběhové) proudy,
- Zlepšení parametrů na odtoku z čistírny odpadních vod Moravičany,
- Zlepšení účinníku odběru celé technologie,
- Zlepšení parametrů spotřeby elektrické energie (kWh) na vyčištění jednoho m³ vody (také poměr kWh/CHSK).

Následující tabulky Tab. 4.28 a Tab. 4.30 porovnávají naměřené hodnoty čistírny za měsíce listopad a prosinec před rekonstrukcí z roku 2018 a po rekonstrukci ASŘ 2019. Je zde patrná částečná úspora po modernizaci. V měsíci listopad není tak značná, ale v dalším měsíci je srovnání zajímavější. Tento jev nastal především z důvodu nasazení systému a postupného ladění a odstraňování chyb a situací, které nastali při zprovoznění čistírny.

Tab. 4.28 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci listopadu

11/2019					11/2018				
Den	Qv (m3)	VT (kWh)	NT (kWh)	součet (kWh)	Den	Qv (m3)	VT (kWh)	NT (kWh)	součet (kWh)
01.11.	123	141	60	201	01.11.	90	148	65	213
02.11.	74	138	64	202	02.11.	84	145	62	207
03.11.	70	135	59	194	03.11.	12	177	69	246
04.11.	66	132	54	186	04.11.	118	175	66	241
05.11.	96	147	65	212	05.11.	115	173	65	238
06.11.	80	154	62	216	06.11.	75	132	56	188
07.11.	109	156	67	223	07.11.	98	128	52	180
08.11.	118	157	69	226	08.11.	131	139	54	193
09.11.	99	117	53	170	09.11.	104	123	55	178
10.11.	96	114	50	164	10.11.	100	121	52	173
11.11.	93	113	47	160	11.11.	98	118	48	166
12.11.	94	138	58	196	12.11.	101	123	59	182
13.11.	86	136	55	191	13.11.	97	121	54	175
14.11.	103	141	55	196	14.11.	92	118	51	169
15.11.	80	126	54	180	15.11.	82	147	59	206
16.11.	101	133	54	187	16.11.	104	111	53	164

17.11.	105	115	45	160		17.11.	100	108	50	158
18.11.	95	116	44	160		18.11.	105	104	48	152
19.11.	97	135	48	183		19.11.	93	111	50	161
20.11.	93	137	53	190		20.11.	78	130	55	185
21.11.	96	132	55	187		21.11.	157	131	58	189
22.11.	90	112	48	160		22.11.	79	161	72	233
23.11.	95	117	48	165		23.11.	93	112	51	163
24.11.	106	106	48	154		24.11.	102	121	56	177
25.11.	106	110	49	159		25.11.	99	118	51	169
26.11.	94	134	49	183		26.11.	98	116	51	167
27.11.	96	128	47	175		27.11.	85	130	56	186
28.11.	102	148	50	198		28.11.	127	146	61	207
29.11.	110	129	58	187		29.11.	74	136	59	195
30.11.	110	116	48	164		30.11.	76	131	56	187
Suma	2883 m3		Suma	5529 kWh		Suma	2867 m3		Suma	5648 kWh



Obr. 4.86 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci listopadu

Tab. 4.29 Přehledová tabulka nového algoritmu řízení a jeho vliv na spotřebu elektrické energie

	11/2019	11/2018
Celkové průtočné množství (m3)	2883	2867
Celková spotřeba el. energie (kWh)	5529	5648

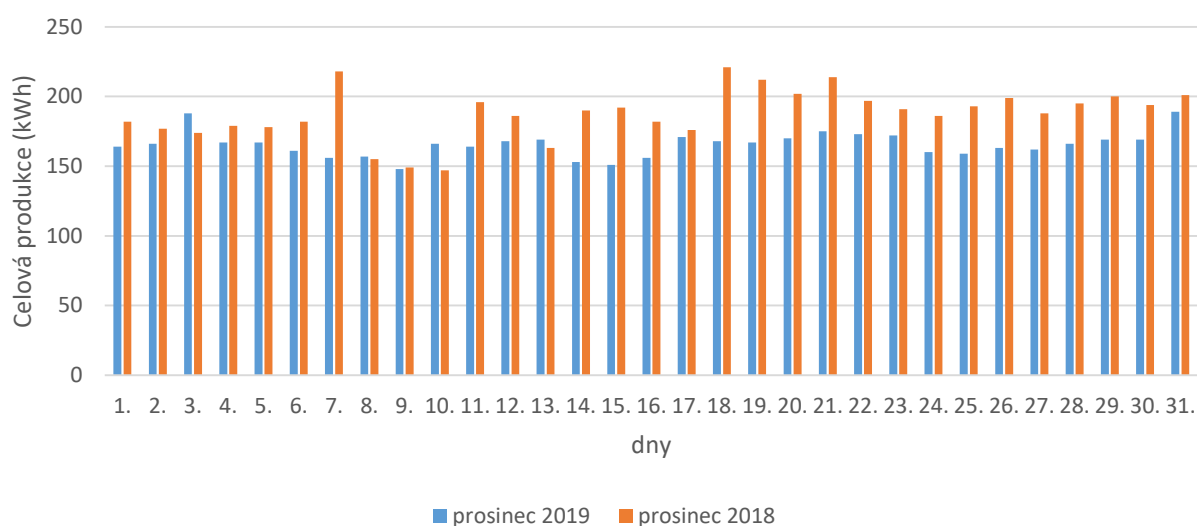
Poměr spotřebované el. energie a odtoku (kWh/m ³)	1,911	1,97
Úspora elektrické energie v (%)	2,15	0,0
Úspora elektrické energie vztažena k poměru kWh/m ³ (%)	2,72	0,0

Z tabulky Tab. 4.29 plyne, že našim systémem došlo k úspoře elektrické energie ve výši relativně pouze o 2,15 % (absolutně 119 kWh) a k vztažné hodnotě kWh/m³ je úspora ještě větší – 2,72 % (absolutně 0,06 kWh/m³). Tento nízký progres byl způsoben zejména havárií čidla měření koncentrace kyslíku ve vodě (odstranění trvalo cca 5 dní – sonda se postupně zhoršovala). V tomto stavu fungovala čistírna neefektivně, nicméně limity vypouštěných látek nebyly překročeny. Přesto jsme dosáhli úspory elektrické energie. Vliv FV systému byl na úrovni 23 kWh

Tab. 4.30 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci prosinec

12/2019					12/2018				
Den	Qv (m ³)	VT (kWh)	NT (kWh)	součet (kWh)	Den	Qv (m ³)	VT (kWh)	NT (kWh)	součet (kWh)
01.12.	110	116	48	164	01.12.	91	124	58	182
02.12.	110	116	50	166	02.12.	87	122	55	177
03.12.	88	136	52	188	03.12.	88	120	54	174
04.12.	87	120	47	167	04.12.	16	123	56	179
05.12.	94	120	47	167	05.12.	75	123	55	178
06.12.	89	114	47	161	06.12.	98	125	57	182
07.12.	114	110	46	156	07.12.	98	151	67	218
08.12.	114	111	46	157	08.12.	97	100	55	155
09.12.	114	101	47	148	09.12.	94	97	52	149
10.12.	98	119	47	166	10.12.	92	96	51	147
11.12.	90	119	45	164	11.12.	69	138	58	196
12.12.	81	121	47	168	12.12.	75	135	51	186
13.12.	94	122	47	169	13.12.	75	112	51	163
14.12.	103	107	46	153	14.12.	88	132	58	190
15.12.	105	105	46	151	15.12.	98	128	64	192
16.12.	103	109	47	156	16.12.	94	124	58	182
17.12.	114	123	48	171	17.12.	95	121	55	176
18.12.	97	124	44	168	18.12.	84	150	71	221
19.12.	101	120	47	167	19.12.	85	150	62	212
20.12.	93	124	46	170	20.12.	129	146	56	202
21.12.	114	126	49	175	21.12.	113	146	68	214
22.12.	116	126	47	173	22.12.	111	133	64	197

23.12.	114	125	47	172		23.12.	108	130	61	191
24.12.	111	110	50	160		24.12.	110	127	59	186
25.12.	115	110	49	159		25.12.	105	130	63	193
26.12.	113	111	52	163		26.12.	113	135	64	199
27.12.	93	116	46	162		27.12.	101	130	58	188
28.12.	104	118	48	166		28.12.	111	132	63	195
29.12.	100	115	54	169		29.12.	113	134	66	200
30.12.	104	115	54	169		30.12.	109	131	63	194
31.12.	102	136	53	189		31.12.	111	136	65	201
Suma	3185 m ³		Suma	5134 kWh		Suma	2933 m ³		Suma	5819 kWh



Obr. 4.87 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci prosinec

Tab. 4.31 Přehledová tabulka nového algoritmu řízení a jeho vliv na spotřebu elektrické energie

	12/2019	12/2018
Celkové průtočné množství (m ³)	3185	2933
Celková spotřeba el. energie (kWh)	5134	5819
Poměr spotřebované el. energie a odtoku (kWh/m ³)	1,611	1,984
Úspora elektrické energie v (%)	13,3	0,0
Úspora elektrické energie vztažena k poměru kWh/m ³ (%)	23,1	0,0

Z tabulky Tab. 4.30 plyne, že modernizací a zavedením nového ASŘ došlo k úspoře elektrické energie ve výši relativně 13,3 % (absolutně 685 kWh) a k vztažné hodnotě kWh/m³ je úspora ještě

větší – 23,1 % (absolutně 0,372 kWh/m³). Tyto výsledky jsou zapříčiněné tím, že v letošním roce měla čistírna větší množství zpracované odpadní vody (3185 m³ vs. 2933 m³, tedy o 252 m³ více). Vliv FV systému byl na úrovni 16 kWh.

4.17.7 Ekonomická bilance instalovaného ASŘ

Vzhledem k tomu v jakém stavu bylo zařízení na ČOV Moravičany, bylo přistoupeno k jeho celkové výměně.

Tento stav není standardní a původně výměna nebyla zamýšlena. Bohužel technické vybavení neumožňovalo pouhé nainstalování nového řídicího systému.

Pokud odhlédneme od rekonstrukce celého elektrického vybavení, lze konstatovat, že montáž pouze nového ASŘ by byla přibližně 400.000 Kč (montáž PLC, nová kabeláž, práce).

Proto pro vyčíslení úspor budeme vycházet z tohoto předpokladu. Parametry hodnocení jsou uvedeny v Tab. 4.32.

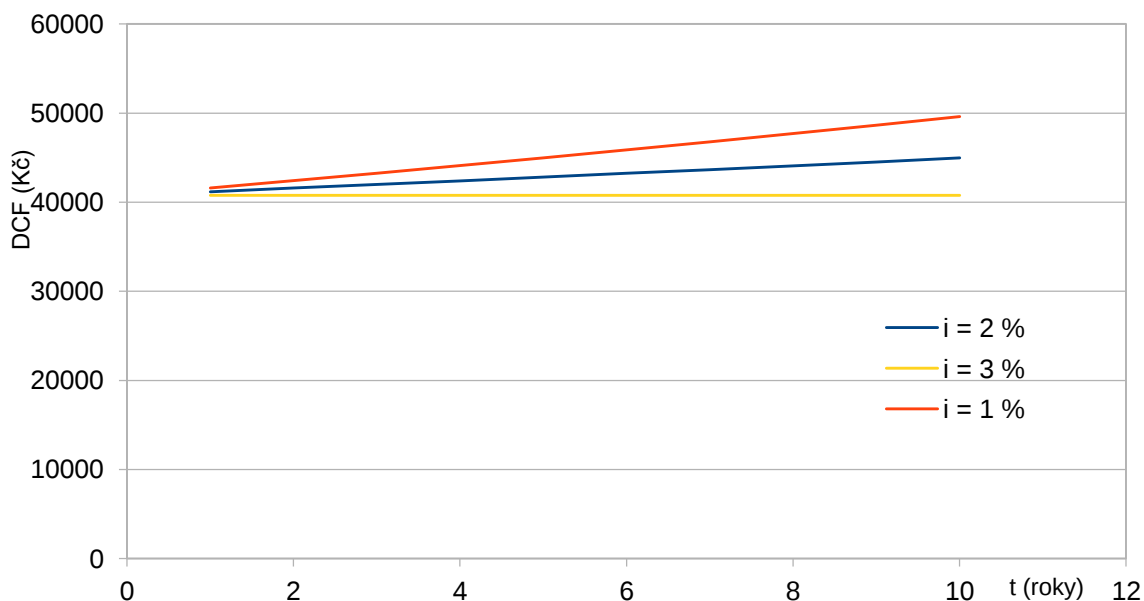
Tab. 4.32 Ekonomické ukazatele projektu (předpoklady vzhledem k parametrům k lednu 2020)

Cena technologie (Kč)	400.000
Úspora (kWh)/měsíc	1.000
Počet měsíců	12
Cena elektřiny (Kč/kWh)	3,5
Meziroční nárůst ceny elektřiny (%)	3
Úroková (diskontní) míra (%)	2
Střadatel (-)	11,46
Roční úspora (kWh)	12.000
Prostá finanční úspora (Kč)	42.000
Kumulovaná úspora za 10 let s růstem cen (Kč)	481.482,93
Kumulovaná diskontovaná úspora za 10 let (Kč)	430.413,97
NPV (Kč)	30.413,97
PB (let)	9,52
ROI (%)	20,37
IRR (%)	3,36

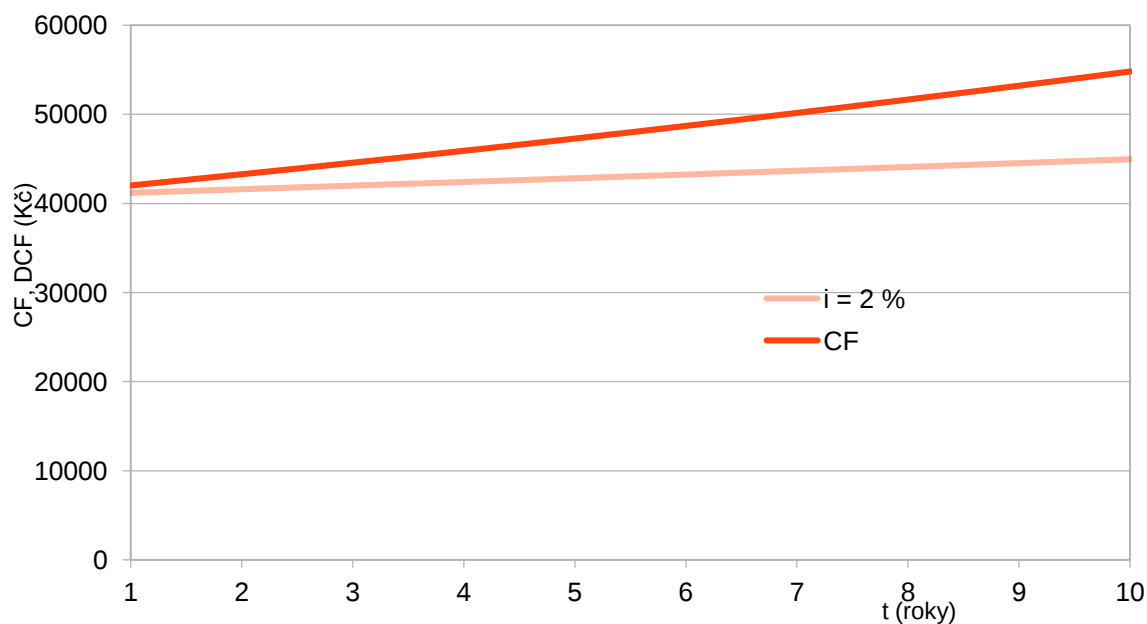
Na Obr. 4.88 je vidět citlivostní analýza na diskontní míru a vývoj diskontovaného Cash Flow, generovaný úsporami. Vše je za předpokladu vzrůstu cen elektrické energie o 3 %/rok. Je vidět, že pokud by byla úroková (diskontní) sazba na úrovni 3 % a více procent, projekt je neefektivní. To stejné lze zjistit i z pohledu vnitřní úrokové míry, která projekt posuzuje na 3,36 %. Čistá současná

hodnota (NPV) je kladné na úrovni 30.400 Kč. Tzn., že řešení je možné splatit do 10 let a prostá návratnost (PB) je na úrovni 9,5 roku.

Je také nutné zopakovat, že systém přináší silné Cost Benefits, jako jsou zlepšený dohled nad provozem, zapojení OZE a v neposlední řadě zlepšené ukazatele odběru elektrické energie i zlepšené parametry čištění odpadní vody. Tyto přínosy je obtížné vyčíslit, případně monetizovat.



Obr. 4.88 Vývoj diskontovaného Cash Flow pro tři diskontní míry (1, 2, 3) %



Obr. 4.89 Vývoj uspořené Cash Flow (CF) s předpokládaným vzrůstem cen elektřiny a vývoj diskontovaného CF

5 ZÁVĚR

Požadavky na úsporu energie efektivní provoz, měření a řízení jsou na poli energetiky aktuálním tématem. Na výrobce je kladen velký tlak o zvýšení účinnosti provozu elektrických strojů a zařízení. Vzniklá problematika řeší nejen možnosti, jak energii ušetřit, ale také, jak energii vyrobit s co možná s nejmenší ekologickou stopou. Tento trend lze sledovat v mnoha odvětví průmyslu, ale i mimo něj. Zmíněná problematika nabízí určité spektrum možností řešení, a proto je předmětem této disertační práce. Jednou z málo prozkoumaných oblastí techniky je obor čistírenství odpadních vod v kooperaci s automatizační technikou a obnovitelnými zdroji energie. Díky vzniklé myšlence propojení všech tří disciplín vzniklo téma disertační práce a následně i řešení ČOV, s možná co nejmenší možnou spotřebou elektrické energie a její udržitelností.

5.1 Současný stav

Současný trend vývoje energetiky kopíruje nařízení EU s názvem 20-20-20, kde se členské země zavázaly snížit o 20% emise skleníkových plynů, dosáhnout 20% podíl produkce z OZE a o 20% zlepšit energetickou účinnost zařízení. Mezi další zajímavé kroky patří na poli české legislativy přijetí zákona o zákazu skládkování komunálního odpadu od roku 2024. První fáze, platná od roku 2015 zavedla povinnost třídění odpadu. Současná druhá fáze, platná od ledna 2020 omezuje skládkování čistírenských kalů na zemědělské půdě.

Zmíněná opatření směřují k požadavkům na snížení spotřeby energie a také na druhotné zpracování, či přepracování odpadu. Tato problematika úzce souvisí i s oborem čistírenství, kdy čistírny odpadních vod již nejsou jen povinností velkých měst, ale je tendence zřízení kanalizačního řádu a čistíren i v menších obcích. Dle průzkumu těchto realizací bylo zjištěno, že velké množství ČOV do velikosti 2000 EO je v dosti neefektivním provozu.

Za příklad je možné uvést provozovnu čistírny, kde sice byl nasazen automatizační systém. Ten byl ve většině času odpojen a obsluha většinu úkonů prováděla náhodně a ne úplně odborně. Pokud je systém měření a regulace v provozu, málo kdy má zpětnou vazbu na stav zařízení (motohodiny, stavy sepnutí, apod.) a omezenou nebo žádnou možnost regulace či blokace některých zařízení.

Dle provedeného průzkumu bylo zjištěno, že daná problematika řízení a regulace provozu se řeší. Převážně však jen v interních provozech velkých společností a většinou separátně. Např. při produkci bioplynu je nasazena kogenerační jednotka. Za zmínku stojí spojení několika čistíren kolem města Chrudim, kde ve spojeném odpadním potrubí byla umístěna malá vodní turbína.

Ve světě lze najít také zajímavé řešení. Jednotlivé malé čistírny dehydrují odpadní kal z provozovny nebo jej rovnou sváží k větším ČOV, kde jej vysuší na požadovanou hodnotu sušiny. Následně dochází k zužitkování jako příměs paliva v cementárnách.

Další nalezená řešení se zabývají převážně jen určitou problematikou čištění. Případně se studie či projekty zabývají optimalizací určitého zařízení či části technologie – jako například můžeme uvést biologické palivové články, membránové čištění atd., Takto optimalizované zařízení jsou pak následně nasazeny do provozu a stanovuje se jejich účinnost či úspora.

5.2 Shrnutí nových vědeckých poznatků práce

Ze zmíněných témat (čistírenství, automatizace, měření a regulace) vyplynulo téma s řešením problematiky energetických toků, úspor elektrické energie a aplikace nových metod řízení ČOV. Výstupem práce je aplikace, která umocňuje díky blokovému uspořádání sestavit požadovanou čistírnu a namodelovat její chování. Stanovit a popsat elektrické i neelektrické veličiny. Díky těmto tokům je možné rozklíčovat danou čistírnu a navrhnout vhodná řešení úprav. Vytvořené modely OZE byly navrženy a přizpůsobeny pro aplikaci s využitím dotace energie pro snížení spotřeby provozovny ČOV. Lze určit vhodnost či vyloučit nasazení OZE na provozovně. Výstupem je ekonomické hodnocení jednotlivých zdrojů a celkového provozu.

Odladění OZE probíhalo v rámci vytipovaných čistíren odpadních vod - Polička, Chrudim, Beroun, Soběslav, Jindřichův Hradec, České Budějovice. Dle složení technologie a možnosti aplikace OZE byly zvoleny dvě provozovny – ČOV České Budějovice a ČOV Polička. Byl zde proveden energetický audit a vyhodnocení možnosti použití OZE s výstupním ekonomickým hodnocením.

Dalším postupem při tvorbě práce byl vývoj aplikace použitelné pro stanovení energetických toků na ČOV. První část vývoje aplikace a OZE probíhal nejprve v prostředí programu POWERSIM v kooperaci s GPS-X. Následně bylo rozhodnuto o určitém odklonu z důvodu nedostupnosti POWERSIMu pro koncové uživatele a byl zvolen open source modelovací program Modelica, která umožňuje zakomponovat jak elektrické, tak i neelektrické parametry provozovny. Program byl zvolen i z důvodu možnosti využití velkého množství bloků jednotlivých zařízení. Již vzniklé modely OZE byly přepracovány a zakomponovány v rámci jednotného software. Tak vznikla ucelená modulární aplikace, využitelná pro různé typy čistíren.

Následné kroky směřovaly s odladěním dle skutečného provozu čistírny, která byla vytipována a následně použita při tvorbě aplikace řídicího systému provozovny.

V rámci využití OZE na čistírně odpadních vod se ukázala tato aplikace částečně jako problematická. Byly vyzkoušeny různé OZE, ale bez úspěšného nasazení. Překážkou byla buď dlouhá návratnost (vysoké pořizovací náklady), problematický provoz, či malé zisky energie z těchto zdrojů. Kompromisem tedy bylo umístění malé FVE na střechu objektu bez akumulace, která částečně byla schopna pokrýt trvalou spotřebu ČOV.

5.3 Závěry práce a její přínos

Hlavním přínosem bylo vytvoření zmíněné aplikace, která na základně vstupních dat z měření dokáže namodelovat a stanovit energetické toky, se kterými je možné dále pracovat. Umožňuje zajistit doporučení na výměnu zařízení s vyšší účinností, či doporučit, případně nedoporučit nasazení OZE na provozovnu. Výsledkem je také ekonomické hodnocení provozu a OZE.

Při aplikaci vzniklého software na testovací čistírnu byla stanovena problematická místa a doporučení pro jejich vyřešení. Následkem toho čistírna prošla rekonstrukcí celého řídicího systému. Došlo k výměně zařízení v takovém rozsahu, aby bylo možné zvest nově vyvinutý řídicí systém. Po odladění řídicího systému a připojení FVE v ostrovním provozu měla čistírna úsporu

energie 13,3% a vzhledem k neefektivnímu řízení starého provozu vznikl nový funkční řídicí samostatně automatizovaný systém.

Výsledkem práce je tedy vytvoření funkčního celku čistírny odpadních vod s automatizovaným řízením a určitou schopností řešit nenadálé situace a dynamické jevy.

Vznikl modulární systém řízení a napájení jednotlivých komponent a zařízení ČOV využitelný při výstavbě nových čistíren pro obce do velikosti 2 000 EO. Tento systém je použitelný i při rekonstrukci stávajících provozů, s možností návrhu řešení v rámci matematického modelu a aplikací na danou problematiku

5.4 Návrh dalšího postupu

Vzniklou aplikaci bude třeba dále zdokonalovat a zajistit její plynulý chod při instalaci na menší nebo speciální provozovny. Je nutné dále rozšiřovat databázi nových čerpadel, dmychadel, a dalších zařízení tak, aby bylo možné udržet aplikaci aktuální.

Dle možností bude snaha software využít při rekonstrukcích a při stavbě nových čistíren s velikostí do 2000 EO. Tomu silně nahrávají legislativní kroky, vedoucí ke snížení spotřeby a nařízení o povinnosti napojení domácností v malých městech na kanalizační řád, a tím i nutnost ve městech zřídit čistírnu odpadní vody.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOVOTNY, V.; BROWN, P. *Cities of The Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. London: IWA Publishing, 2007. ISBN 1843391368.
- [2] Česle – mechanické předčištění. In: *LABTECH* [online]. Brno: LABTECH s.r.o., 2017 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <https://www.labtech.eu/princip-cistení-odpadních-vod/>
- [3] SÝBEK, J. Čistírna odpadních vod České Budějovice.: Na snímku aktivační nádrž, kde se napodobuje přirozené čištění vody. In: *Českobudějovický deník.cz* [online]. České Budějovice: Deník, 2011, 13.9.2011 [cit. 2015-06-30]. Dostupné z: https://ceskobudejovicky.denik.cz/galerie/cistirna_budejovice.html?photo=10
- [4] HOLBA, M.; BARTONÍK A.; PLOTĚNÝ K. VYUŽITÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU ODPADNÍCH VOD. *ASIO, čištění a úprava vod* [online]. Brno: ASIO, spol. s r.o., 2012 [cit. 2013-10-29]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/98.vyuziti-energetickeho-potencialu-odpadnich-vod>
- [5] Guimet V.; Kelly R.; Duong F.; Rosina M.; Audic J. M.; Terry J.M.; *Green energy resource: research and learning experiences from wastewater treatment plants*, IWA World Water Congress and Exhibition, Montreal, 2010.
- [6] Nakládání s čistírenskými kaly. In: *Tretiruka.cz* [online]. Praha: CEMC, c2013, 2.12.2017 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/nakladani-s-cistirenskymi-kaly1/>
- [7] [2] Český statistický úřad, *Vodovody, kanalizace a vodní toky v letech 2009-2016*
- [8] [3] Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe, Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>
- [9] [4] Z. Frček, J. Drechsler (2017): Sušení kalů na ČOV Karlovy Vary, Drahovice, Sovak 1/2017, 7-10.
- [10] [5] M. Kos (2015): Termochemická zpracování čistírenských kalů, Sovak 12/2015, 20-23.
- [11] Více zde: <https://www.tretiruka.cz/news/nakladani-s-cistirenskymi-kaly1/>
- [12] Chudoba P., Beneš O.: *Odpadní voda jako zdroj surovin a energie – technologické trendy 21. století*, Konference VODA 2011, Poděbrady, 2011.
- [13] [1] Ali Raza, Muhammad Saleem Mian, Dianguo Xu, Jawad Ahmed: A Micro Hydro Power Plant for Distributed Generation using Municipal Water Waste with Archimedes Screw. DOI: 10.1109/INMIC.2013.6731326
- [14] [2] Changfu Han, Junxin Liu, Hanwen Liang, Xuesong Guo, Lin Li: An innovative integrated system utilizing solar energy as power for the treatment of decentralized wastewater. DOI: 10.1016/S1001-0742(12)60034-5
- [15] [3] Feng, X.a , Chu, K.H: Cost optimization of industrial wastewater reuse systems. DOI: 10.1205/095758204323066019

- [16] [4] Bidart, C. , Fröhling, M., Schultmann, F.: Electricity and substitute natural gas generation from the conversion of wastewater treatment plant sludge. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.07.028
- [17] [5] Vineetha, V. , Shibu, K: Electricity production coupled with wastewater treatment using microbial fuel cell. DOI: 10.1109/ICEETS.2013.6533491
- [18] [6] Björklund, J. , Geber, U., Rydberg, T: Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge. DOI: 10.1016/S0921-3449(00)00091-4
- [19] [7] Weiwei Mo, Qiong Zhang: Energy nutrients water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.05.007
- [20] [8] Tauseef, S.M., Abbasi, T. , Abbasi, S.A.: Energy recovery from wastewaters with high-rate anaerobic digesters. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.056
- [21] [9] Plappally, A.K., Lienhard V, J.H.: Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. DOI: 10.1016/j.rser.2012.05.022
- [22] [10] Chae, K.-J.a , Kang, J.: Estimating the energy independence of a municipal wastewater. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.08.028
- [23] [11] Jun, C., Xiaoqin, L. , Xiaoli, Z., Zhengang, D., Yi, Z.: Sewage-source Heat Pump based on WebAccess - Remote Monitoring System. DOI: 10.1109/ICICTA.2011.187
- [24] [12] Tyagi, V.K. , Lo, S.-L.: Sludge_ A waste or renewable source for energy and resources. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.029
- [25] [13] Cheng, A.a , Li, J.b , Dong, P.b, Wei, D.: Study of CTBF-SFCW with Solar Power for Domestic Wastewater Treatment. DOI: 10.1109/GIWRM.2012.6349627
- [26] [14] Jos Frijns, Jan Hofman, Maarten Nederlof: The potential of (waste)water as energy carrier. DOI: 10.1016/j.enconman.2012.08.023
- [27] *Energy Efficiency Directive - European Commission* [online]. Belgium: European Commission, 2007 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en
- [28] PLOTĚNÝ, K. ASIO, spol. s.r.o. *Intenzifikace čistíren odpadních vod - energetický pohled*. Brno, 2012.
- [29] BODÍK, I. a Drtil M. Komplexné zhodnotenie energetickej náročnosti procesu čistenia odpadových vôd na slovenských komunálnych ČOV. In: *Nové metódy a postupy při provozování čistíren odpadových vod, XVIII. ročník, Moravská Třebová, 9.-10. dubna 2013: Sborník přednášek ze semináře*. Moravská Třebová: VHOS, 2013, s. 40-46. ISBN 978-80-86020-76-1.
- [30] ERTL T.; KRETSCHMER F.; PLIHAL H.; WEISSENBACHER N. Critical review and feasibility study: Energy recovery in the area of wastewater collection and treatment. Vídeň, 2011.
- [31] Chudoba P., Beneš O.: Odpadní voda jako zdroj surovin a energie – technologické trendy;
- [32] Tornow M.: Abwasserpumpanlagen DWA Seminar: Abwasserpumpanlagen, Freiburg;

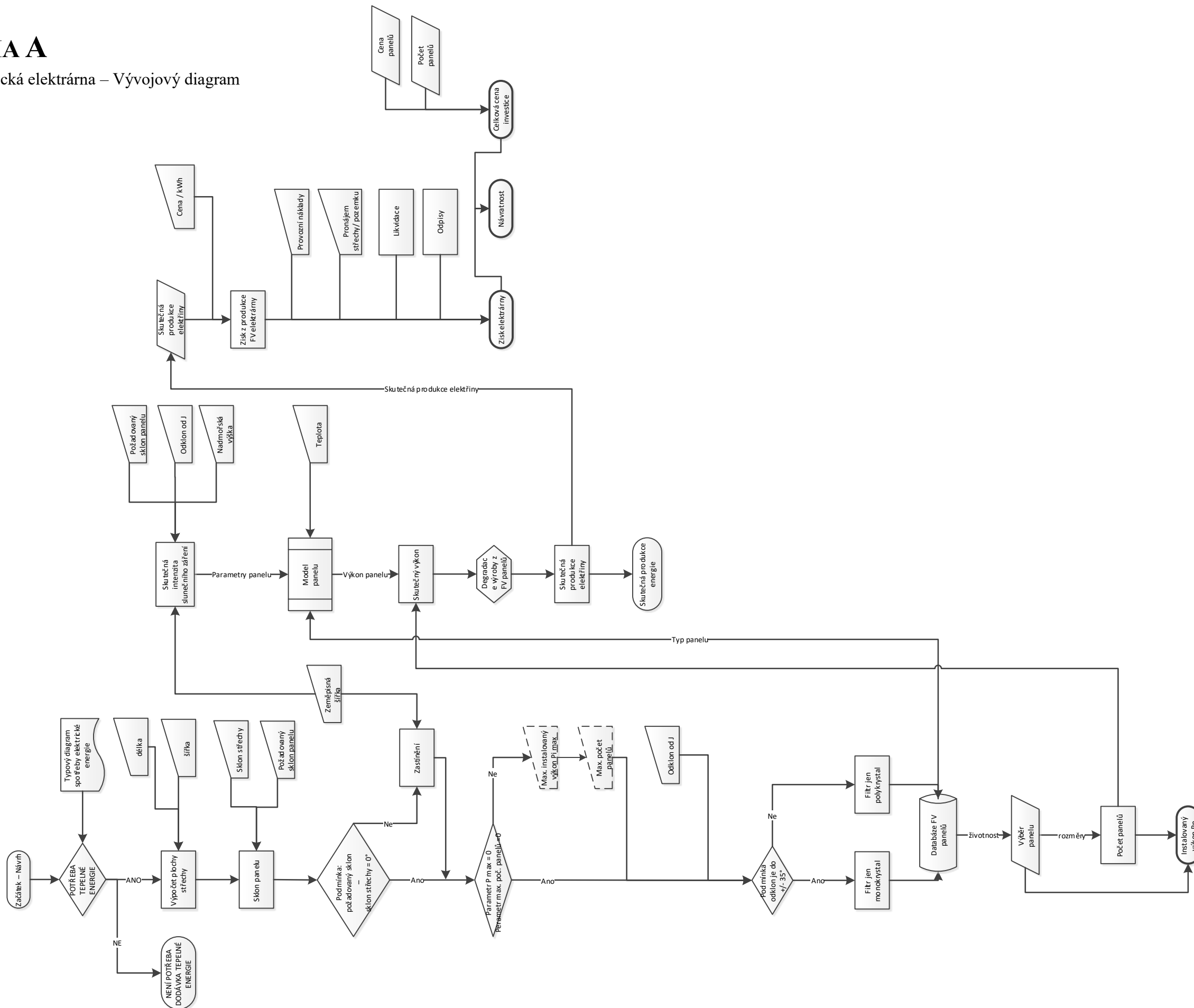
- [33] *Abwärmennutzung zur Schlamm Trocknung in der Kläranlage Mellingen*, Machbarkeitsstudie, Durena AG, Lenzburg, 2003
- [34] *Heizen und Kühlen mit Abwasser*, Ratgeber für Bauherrschaften und Kommunen, EnergieSchweiz, Bern, 2005
- [35] *Klärschlamm Trocknungsanlage Schwyz*, Technischer Beschrieb, Picotech Huber AG, Kriens, 2004
- [36] Burger, S.; Rohr, C.; Vetter, H. Energetische Optimierung der Klärschlammaufbereitung. In *Jahresbericht zum Forschungsprojekt 100673 des Bundesamts für Energie*, Bern, 2004
- [37] Čištění odpadních vod – Kompaktní čistírny. ENVI-PUR. ČOV - Kompaktní čistírny [online]. 2011 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/?page=kompaktni-cistirny-odpadnich-vod>
- [38] Zpracování kalů. ASIO, spol. s.r.o [online]. c 2011-2013 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/zpracovani-kalu>
- [39] Ebel, A.; Bongards, M.; McLoone, S., State Based Control of Wastewater Treatment Plants - Evaluation of the Algorithm in a Simulation Study. In *Hybrid Intelligent Systems, 2006. HIS '06. Sixth International Conference on*, pp.39,39, Dec. 2006. DOI: 10.1109/HIS.2006.264922
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4041419&isnumber=4041374>
- [40] Wang, L. Study on sewage treatment plant biological-chemical energy consumption monitor model based on BP network. In *Networking and Information Technology (ICNIT), 2010 International Conference on*, pp.326,328, June 2010. DOI: 10.1109/ICNIT.2010.5508501.
Online: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5508501&isnumber=5508441>
- [41] JUNSHENG, Li.; JINLONG, Z. Active Sand Filter Used in Municipal Wastewater Treatment Plant for Energy Saving. In: JINLONG, Zuo. *Energy and Environment Technology*. vol. 2. ICEET '09: International Conference, 2009, 393,396. DOI: 10.1109/ICEET.2009.334. Online: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5363339&isnumber=5362517>
- [42] ERTL, T.; KRETSCHMER, F.; PLIHAL, H.; WEISSENBACHER, N. *Critical review and feasibility study: Energy recovery in the area of wastewater collection and treatment*. Vienna, 2011.
- [43] CIHELKA, J. Solární tepelná technika. 1. vydání, Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [44] LORENZ, U. *Projektentwicklung – Vorgehen und Erfahrungen eines Stadtwerkes*. Pforzheim: DWA-Seminar: Heizenergie aus Abwasser, 2010.
- [45] PĚCHA, J.; MASTNÝ, P.; PLOTĚNÝ, K. Efficient Operation Wastewater Treatment Plant and Increasing its Energy Self-sufficiency. In *Recent Advances in Environmental Science*. Energy, Environmental and Structural Engineering Series. Lemesos, Cyprus, WSEAS Press. 2013. p. 82 - 86. ISBN 978-1-61804-167-8.
- [46] MATUŠKA, T. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup: TNI 73 0302*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní: ÚNMZ, 2014.

-
- [47] Bankiho turbína. *Malá voda* [online]. Olomouc: OK2TAR via OK0BF, JN89LO, c2016, c2016 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [48] *Photovoltaic Geographical Information Systém (PVGIS)|EU* [online]. Brussels: EU SCIENCE HUB, c2019 [cit. 2019-09-08]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [49] *TA ČR Stafos* [online]. Praha: Technická agentura ČR, c2018 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://starfos.tacr.cz/cs>

PUBLIKACE AUTORA

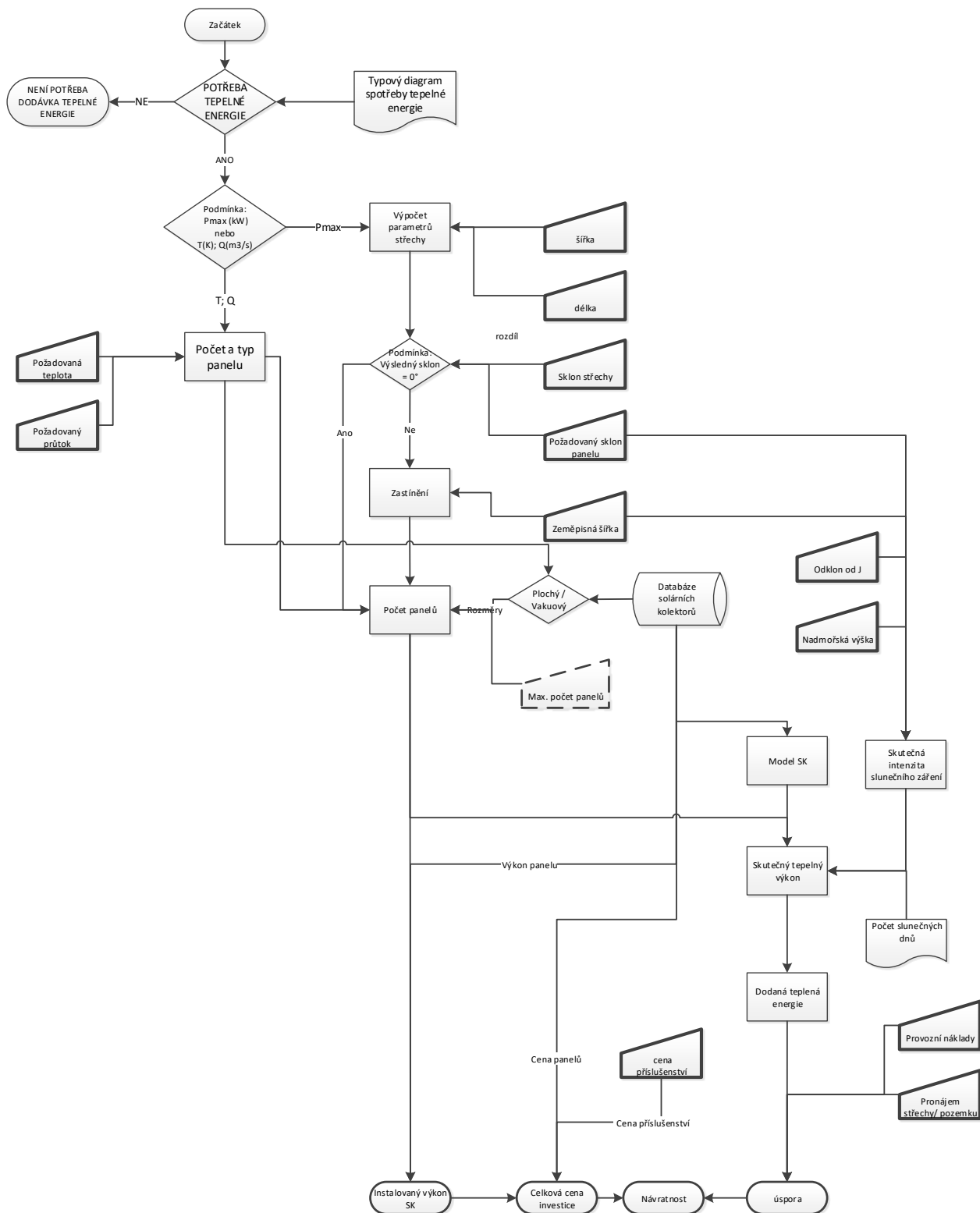
- [A1] PĚCHA, J.; MACHÁČEK, J. Vliv obnovitelných zdrojů energie na vývoj cen elektřiny. *Energyspectrum - International e-Journal*, www.energyspectrum.net, 2011, roč. 6, č. 1, s. 60-64. ISSN: 1214-7044.
- [A2] PĚCHA, J.; MASTNÝ, P.; KUBÍN, D.; ŠKORVAN, O. Cooperation of Small Hydropower Plant with Wastewater Treatment Plant. In *Proceedings of the 2014 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. 1. Brno: Brno university, 2014. p. 301-304. ISBN: 978-1-4799-3807-0.
- [A3] PĚCHA, J.; MASTNÝ, P. Increasing Production of Biogas from Wastewater Treatment Plant in Cooperation with Heat Pump. In *Recent Researches in Electric Power and Energy Systems*. Electrical Engineering Series. Chania, Crete Island, Greece: WSEAS Press, 2013. p. 93-98. ISBN: 978-960-474-328-5.
- [A4] PĚCHA, J.; MATOUŠEK, A. Renewable energy sources and their impact on the prices of electricity. In *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012*. First edition. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Electrical Power Engineering, 2012. p. 661-664. ISBN: 978-80-214-4514-7.
- [A5] PĚCHA, J.; MACHÁČEK, J. Vliv obnovitelných zdrojů energie na vývoj cen elektřiny. In *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012*. First edition. Brno, Czech Republic: Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Electrical Power Engineering, 2012. s. 617-621. ISBN: 978-80-214-4514-7.
- [A6] PĚCHA, J.; MASTNÝ, P.; PLOTĚNÝ, K. Efficient Operation Wastewater Treatment Plant and Increasing its Energy Self-sufficiency. In *Recent Advances in Environmental Science*. Energy, Environmental and Structural Engineering Series. Lemesos, Cyprus: WSEAS Press, 2013. p. 82-86. ISBN: 978-1-61804-167-8.
- [A7] HOFERKOVÁ, L.; HOLBA, M.; MATYSÍKOVÁ, J.; MACHÁČEK, J.; PĚCHA, J.; BÁTORA, B.; PTÁČEK, M.; RADIL, L.; SMÍLEK, P. Snížení energetické náročnosti na malých ČOV do 2000 EO. In *Zborník prednášok 10. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou Odpadové vody 2018*. 1. Bratislava: Asociácia čistiarenských expertov Slovenskej republiky, 2018. s. 1-6. ISBN: 978-80-973196-0-1.
- [A8] HOFERKOVÁ, L.; HOLBA, M.; MATYSÍKOVÁ, J.; MACHÁČEK, J.; PĚCHA, J.; BÁTORA, B.; PTÁČEK, M.; RADIL, L. *Energetické úspory a využití obnovitelných zdrojů energie na malých ČOV do 2000 EO*. Bienální konference Voda - sborník přednášek a posterových sdělení. 2019. s. 499-502. ISSN: 2694-7013.

Fotovoltaická elektrárna – Vývojový diagram

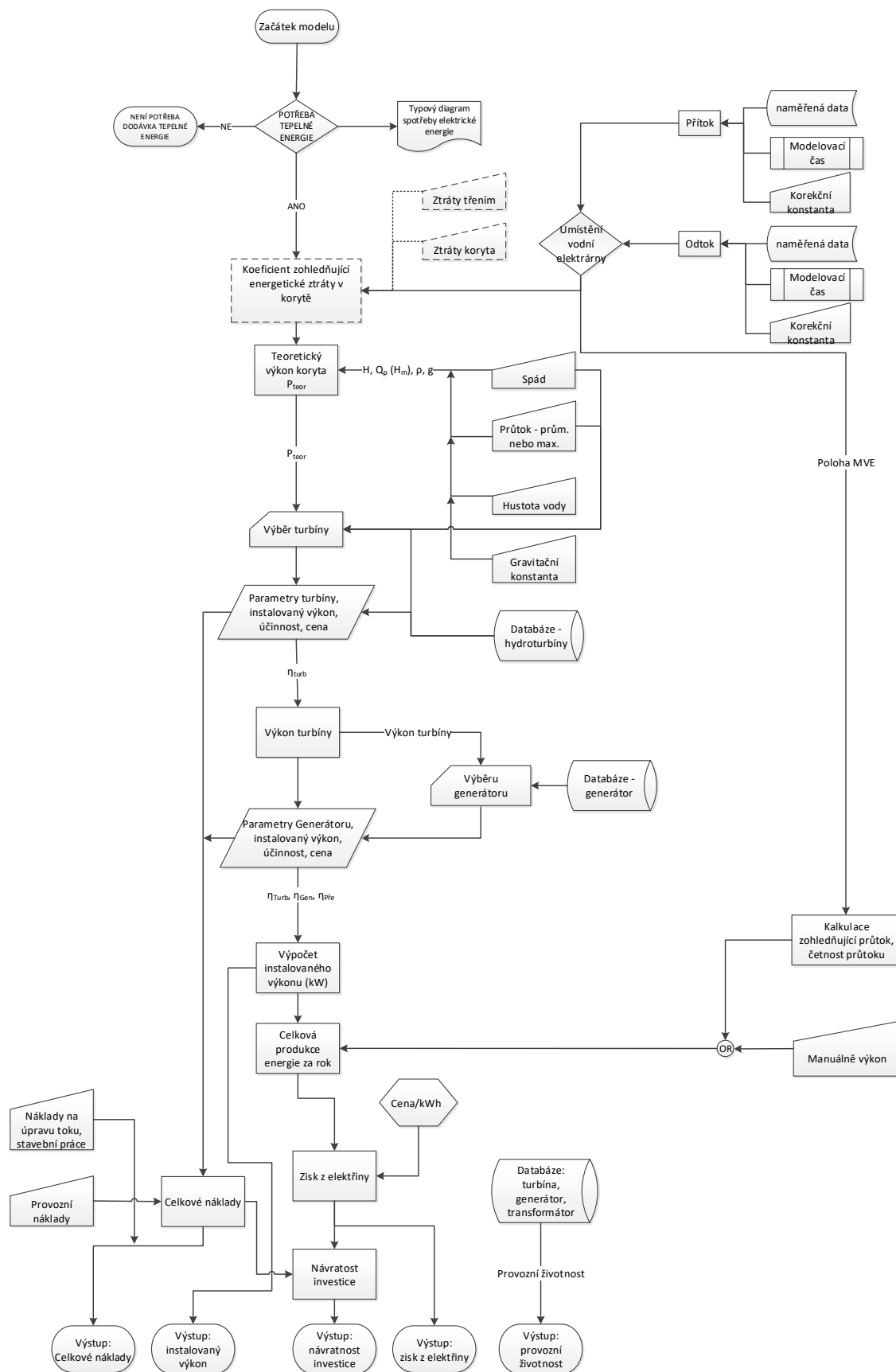


PŘÍLOHA B

Solární kolektor – Vývojový diagram

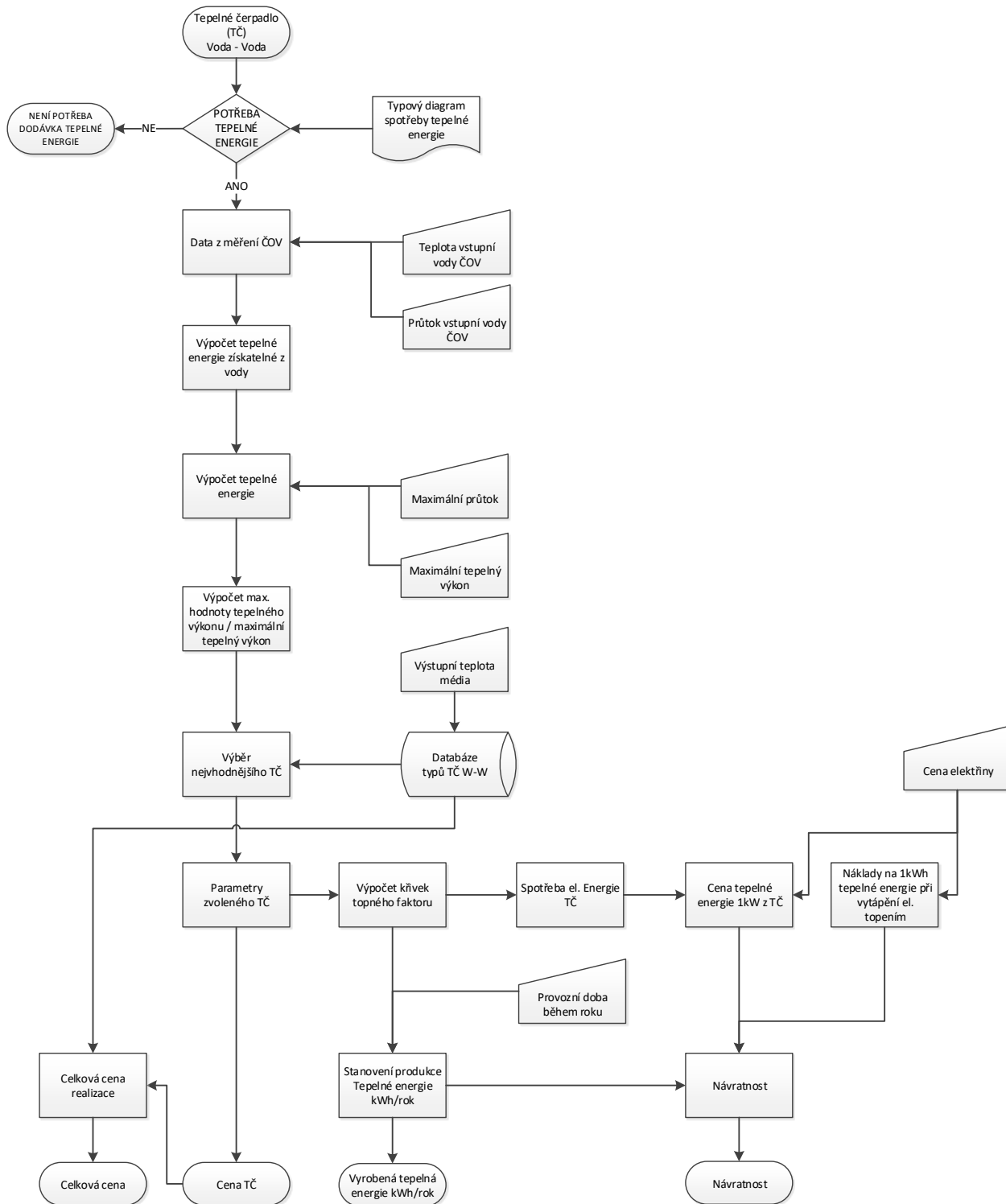


Malá vodní elektrárna – Vývojový diagram



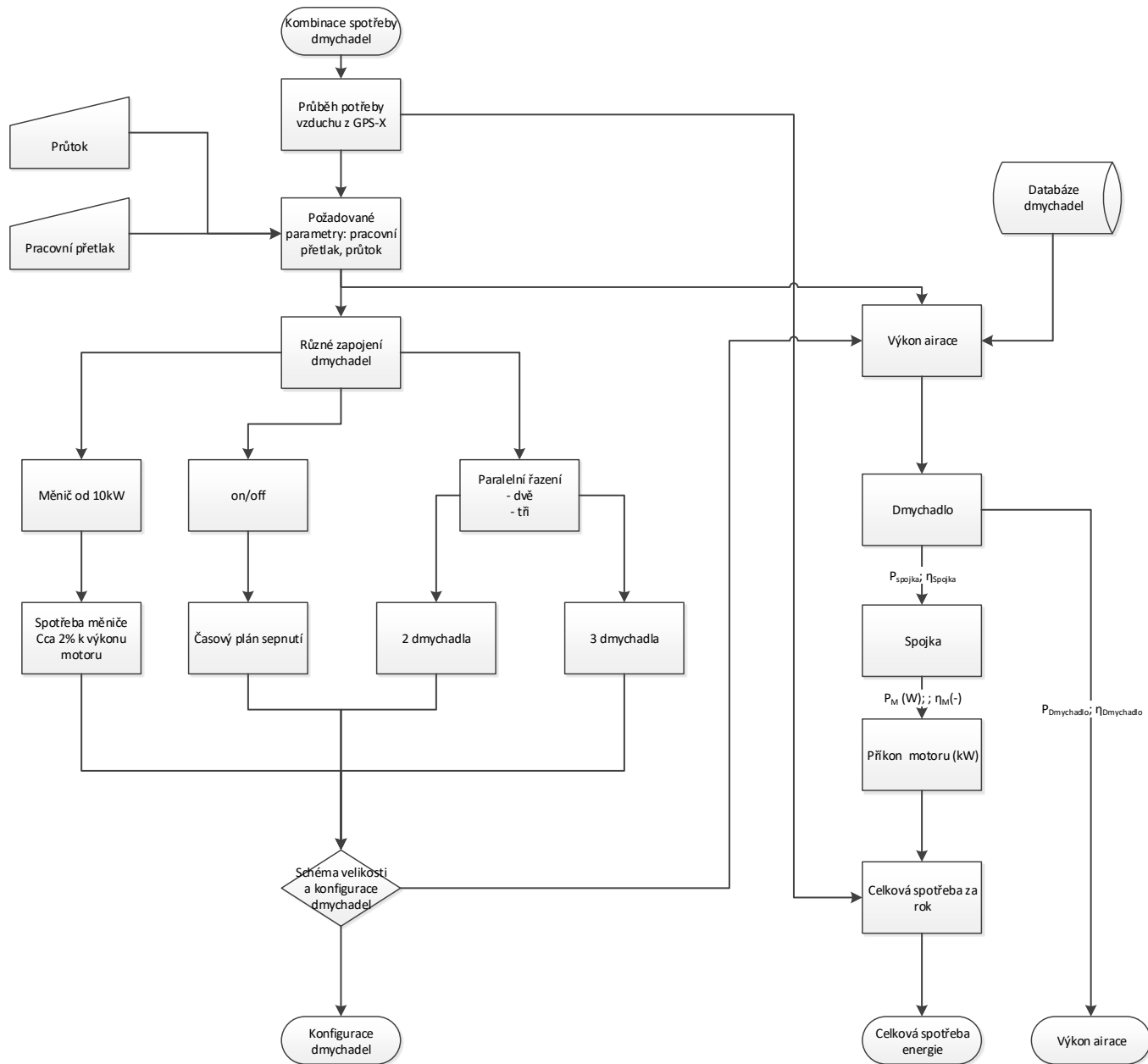
PŘÍLOHA D

Tepelné čerpadlo – Vývojový diagram



PŘÍLOHA E

Dmychadla, kaskáda dmychadel – Vývojový diagram



PŘÍLOHA F

Cenová nabídka na variantu 7 kWp od firmy SunLux

Počet modulů	26		
Výkon modulu	305		
Velikost FVE	7930		
FV moduly	IBC solar	Monosol 305 W	26
Střídač klasika	Fronius	FRONIUS SYMO 7.0-3-M	1
Monitoring střídače	Fronius	Ethernet	1
Nosná konstrukce FV modulů	K2	K2 - střešní háky	26
Rozvaděč AC vč. ochran	Sunlux	AC 3f H	1
Rozvaděč DC vč. ochran	Sunlux	DC 2s H	1
AC kabely	Sunlux	CYKY 5x6	20
DC kabely	Sunlux	Solar 6.0	160
Komunikační kabely	Sunlux	UTP outdoor	40
Zemnění a hromosvod + trasy	Sunlux	Úprava	1
Projektová dokumentace	Sunlux	Skutečné provedení (JPS)	1
Pomoc při vyřizování administrativy	Sunlux	Distribuce	1
Doprava a mechanizace	Sunlux		1
Recyklační poplatky	Sunlux		0
Montáž mechanická	Sunlux		1
Elektromontáž	Sunlux		1
Uvedení do provozu	Sunlux		1
Zaškolení obsluhy	Sunlux		1
Revize	Sunlux		1
HDO	Sunlux	HDO (David)	0
		Projekt celkem bez DPH	277669
		Základ pro dotaci	277669
		Dotace dle velikosti podniku	0%
		Projekt celkem po započítání dotace	277669
		DPH 21%	58310
		Celkem vč. DPH	335979

PŘÍLOHA G

Cenová nabídka pro variantu s veřejným osvětlením od firmy SunLux

Počet modulů	30				
Výkon modulu	305				
Velikost FVE (Wp)	9150				
Položka	Výrobce / dodavatel	Typ/popis	Počet jedin.	Jednotková prod. cena	Prodej celkem
FV modul s možností monitoringu a optimalizace (SMART funkcionality)	IBC	Monosol	30	3997	119910
Hybridní střídač s trvalým výkonem 3 500W, 30 minutovým výkonem 4 000W a 5s výkonem 10 500W	STUDER	XTM 4000-48	3	48516	145548
Řídící jednotka systému a střídače	STUDER	RCC 02	1	3432	3432
Monitoring střídačů (připojení do Internetu a do portálu)	STUDER	XCOM LAN	1	6708	6708
MPPT regulátor nabíjení 48V, maximální výstupní proud 80A	STUDER	Variotrack VT-65	2	13104	26208
Komunikační jednotka regulátoru nabíjení pro komunikaci s řídící jednotkou	STUDER	XCOM CAN	1	3276	3276
Baterie LiFePO4, nominální kapacita jedné baterie 6,8 kWh (využitelná kapacita 80%) kWh včetně BMS a komunikace s řídící jednotkou	BYD	Axistorage Li7s	3	82743	248229
Nosná konstrukce pro montáž FV modulu (montáž na šikmou střechu s krytinou pálená taška)	K2	K2 Vario2 SolidRail	30	806	24180
Rozvaděč pro umístění technologie vybavený vč. ochran (Skříň 2100x800x400 s montážním panelem, 2x Stykač 40-40, Pomocné trafo,7x Odpojovač DC + 2x rozvodnice 180x250, Vypínač 40A 3P+N, jistič 16B/1+N, 40B/3+N, 2x zásuvka soklová 230V, drátovací koryta , 3x DC vypínač 300A, svorkovnice PEN.)	Sunlux	Přístroje Schrack	1	57600	57600
AC kabel CYKY 5x 10	Sunlux		40	42	1680
DC kabel Solar 4.0	Sunlux	Solar 4.0	600	24	14400
DC kabel CYA 1x70mm2	Sunlux	CYA 70	24	264	6336
Komunikační kabel UTP outdoor	Sunlux	UTP outdoor	20	18	360
Zemnění a hromosvod - připojení na stávající rozvody	Sunlux	Úprava	1	2400	2400
Žlaby, upevňovací a další pomocný materiál	Sunlux		1	7200	7200
Projektová dokumentace	Sunlux	JPS	1	9000	9000
Energetický posudek	Sunlux	Dle NZÚ C 3.6	1	6000	6000
Pomoc při vyřizování administrativy	Sunlux	E.ON	1	1200	1200
Doprava	Sunlux		1	9600	9600
Recyklační poplatky	Sunlux		1	0	0
Montáž mechanická	Sunlux		1	24000	24000
Elektromontáž	Sunlux		1	24000	24000
Uvedení do provozu	Sunlux		1	9600	9600
Zaškolení obsluhy	Sunlux		1		
Revize	Sunlux		1	3600	3600
		Celkem bez DPH	754467		754467
		DPH 21%	158438		

		Celkem vč. DPH	912905		
		Dotace	0		
		Celkem po započítání dotace	912905		