

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTOENERGETIKY

Ing. Jiří Pěcha

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

OPTIMIZATION OF ENERGY FLOW DURING WWTP
OPERATION - SMART AREA NET

ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

Obor: Silnoprúdová elektrotechnika a elektroenergetika

Školitel: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2020

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

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

OBSAH

1 ÚVOD	4
2 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	4
2.1.1 VYUŽITÍ OBNOVITELNÉ ENERGIE	6
3 CÍLE PRÁCE	7
4 ŘEŠENÍ	7
4.1 VALIDACE A KALIBRACE MATEMATICKÝCH MODELŮ NA REÁLNÝCH PROVOZECH, PŘÍPADOVÁ STUDIE.....	8
4.1.1 ČISTÍRNA ČESKÉ BUDĚJOVICE.....	8
4.2 ENERGETICKÁ NÁROČNOST ČISTÍRNY MORAVIČANY.....	10
4.3 TVORBA MODELU ČOV	13
4.3.1 TVORBA MODELŮ ZDROJŮ A SPOTŘEBIČŮ	14
4.4 NÁVRH ARCHITEKTURY ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	16
4.4.1 POŽADAVKY NA NOVÝ SYSTÉM	16
4.4.2 TVORBA VIZUALIZACE A OVLÁDÁNÍ.....	17
4.5 ŘÍDICÍ, OPTIMALIZAČNÍ SW, TOPOLOGICKÉ USPOŘÁDÁNÍ	19
4.5.1 OBECNÝ POPIS PROGRAMOVACÍHO PROSTŘEDÍ	19
4.5.2 ALGORITMIZACE	20
4.5.3 MODULÁRNÍ KONCEPCE HARDWARU.....	20
4.5.4 DATABÁZOVÝ SERVER.....	20
4.6 VÝVOJ ALGORITMU ŘÍZENÍ, MĚŘENÍ, PREDIKCE A OPTIMALIZACE	21
4.6.1 POPIS VYVINUTÉHO SW.....	22
4.7 REALIZACE, ZKOUŠKY, TESTY PROVOZNÍCH STAVŮ, UDÁLOSTÍ, A TESTOVACÍ PROVOZ NA ČOV	24
4.7.1 IDENTIFIKACE SPECIFIK PROVOZU	24
4.7.2 ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ MODERNIZACE ČOV MORAVIČANY	26
4.7.3 EKONOMICKÁ BILANCE INSTALOVANÉHO ASŘ	27
5 ZÁVĚR.....	28
5.1 SOUČASNÝ STAV	28
5.2 SHRUTÍ NOVÝCH VĚDECKÝCH POZNATKŮ PRÁCE	29
5.3 ZÁVĚRY PRÁCE A JEJÍ PŘÍNOS.....	30
5.4 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	30
POUŽITÁ LITERATURA	31
PUBLIKACE AUTORA.....	35
ABSTRACT	36

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.

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.

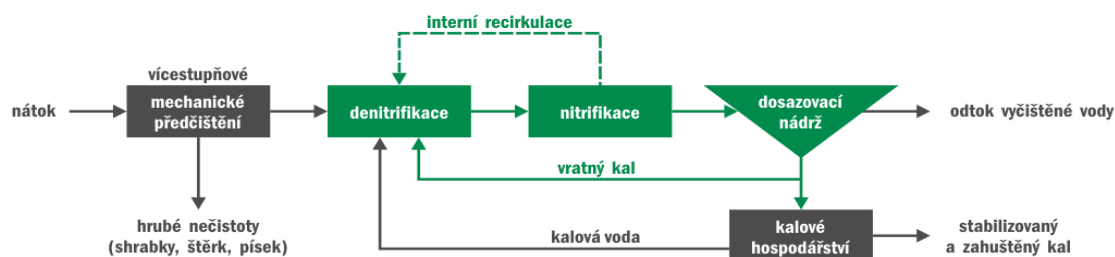
Disertace pojednává o zmiňované problematice zpracování odpadů a snížení provozních nákladů se zaměřením na čistírny odpadních vod (ČOV). Snaha o zvýšení soběstačnosti je uvažovaná pomocí komplexního řízení provozovny čistíren odpadních vod. Provoz těchto zařízení je velice specifický. Pracuje se zde 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

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 vody 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 redukci 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.

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.

2.1.1 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 střechách 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].

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.

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 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.

4.1.1 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.

- Hodnocení potenciálu vodní 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.

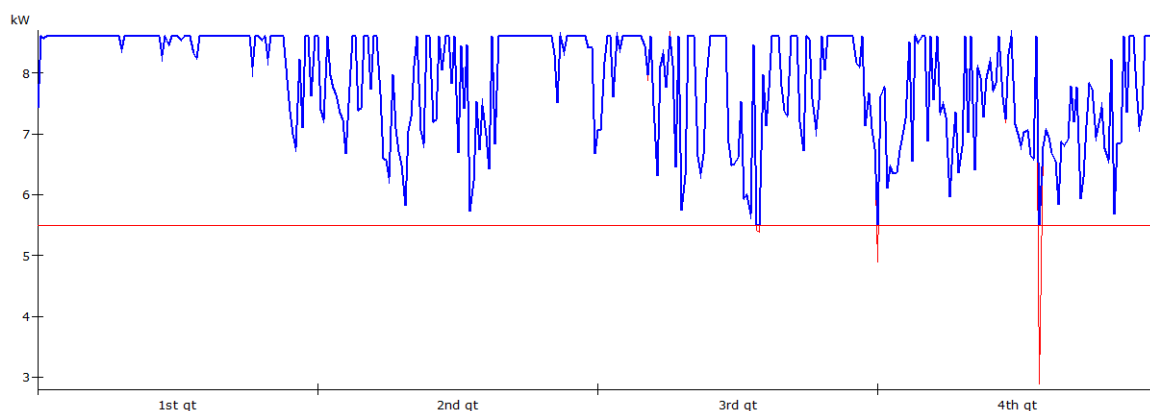
Připojení MVE je možné provést v prostorách provozu na rozvodnou síť s napětovou hladinou 400V v areálu ČOV. V rámci soustrojí s turbínou je nejvhodnější použít asynchronní generátor což je asynchronní motor s kotvou nakrátko. Výhodou jsou příznivé pořizovací náklady na samostatný motor, tak i na jeho 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.

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.

Následující průběh Obr. 4.1 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 hlností turbíny. Dále lze z průběhu vidět minimální provozní schopnost generátoru značenou červeně.

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. 4.1 Průběh produkce malé vodní elektrárny s pracovním rozsahem generátoru

▪ Využitelnost sluneční energie pro výrobu elektřiny

Dle analýzy instalačních ploch a jejich orientací, bylo vytipováno několik střech a travnatých prostor na čistě 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.

Celková využitelná plocha byla určena z veřejných map prostřednictvím webu pro měření plochy povrchu¹ 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. 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.

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.

Kalkulace jednotlivých instalací jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 4.1 Návrh instalace a parametrů FV panelů

Navržené a požadované parametry	Zelená plocha	Střecha plochá	Střecha se sklonem 16°
---------------------------------	---------------	----------------	------------------------

¹ <http://go.mapa.cz>

Plocha [m ²]	13 111	2 801	1 150
Sklon [°]	35	35	16
Instalovaný výkon [kWp]	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.

V rámci navrhované FV elektrárny, vyšel celkový navrhovaný instalovaný výkon 1058,4 kWp. 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.

4.2 Energetická náročnost čistírny 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 jističí 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.

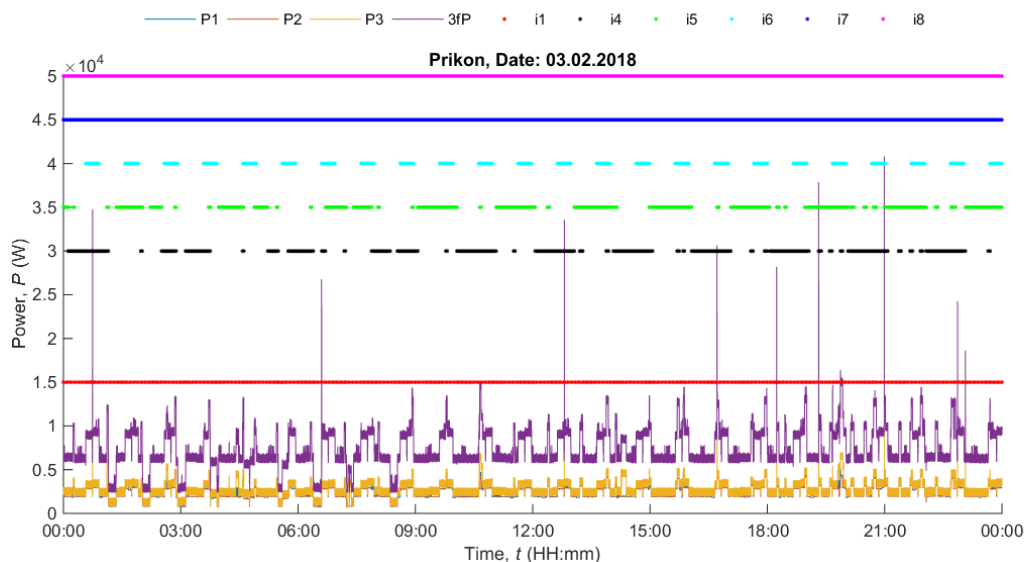
Pro bližší specifikaci a určení spotřeby energetické náročnosti bylo nainstalován přístroj pro měření dlouhodobé spotřeby na ČOV pomocí automatizovaného měření KMB 144 se sběrem dat. Nastavený záznam hodnot byl definován změřením okamžitých hodnot příkonů v jednotlivých fázích (L1, L2, L3) s časovou 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 dekantální odstředivky



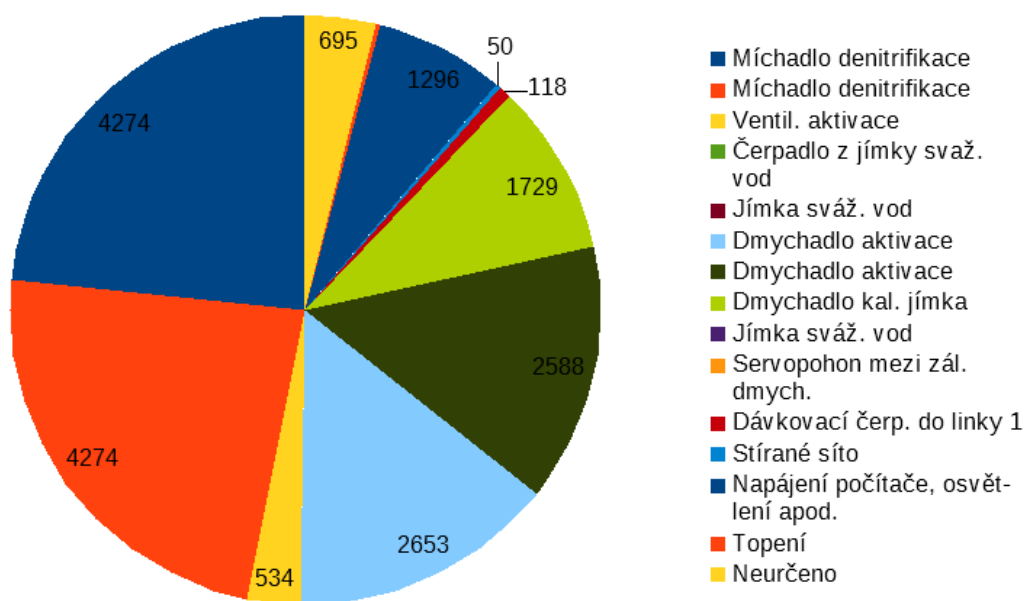
Obr. 4.2 Grafický průběh změřených hodnot příkonu v časovém okně jednoho dne. Události označené i1 - i8 představují sepnutí jednotlivých spotřebičů

Výsledky měření s periodou 5 s jsou zobrazeny na

Obr. 4.2. 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.

Při dlouhodobém měření, které probíhalo kontinuálně v období od 1.12.2017 do 28.2.2018 bylo zjištěno následující rozložení spotřeby dle Obr. 4.3:

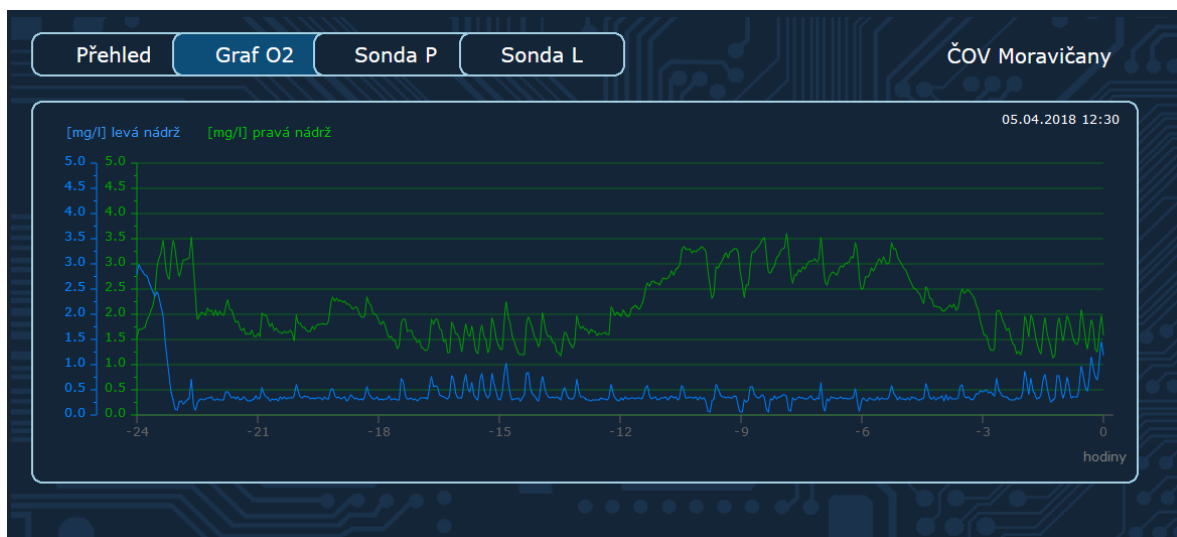
- Největší část spotřeby elektrické energie zaujímá míchadla denitrifikace. Příkon míchadel byl měřen, časy sepnutí již ne, protože se předpokládá kontinuální provoz.
- Velkou spotřebu energie mají také dmychadla, která nemají trvalý příkon 5,5 kW, ale cca 3,4 kW. Tzn., že nepracují na nominálních parametrech,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



Obr. 4.3 Rozložení celkové spotřeby jednotlivých strojů umístěných ve strojovně ČOV Moravičany. Číselné údaje uvedené v jako datový popis představuje spotřebovanou část energie v kWh

Grafu spotřeby Obr. 4.3 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.

Na následujícím obrázku Obr. 4.4 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. 4.4 Zobrazení z kyslíkových sond umístěných v denitrifikačních nádržích, 5.4.2018

4.3 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. 4.5, 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.

▪ 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.

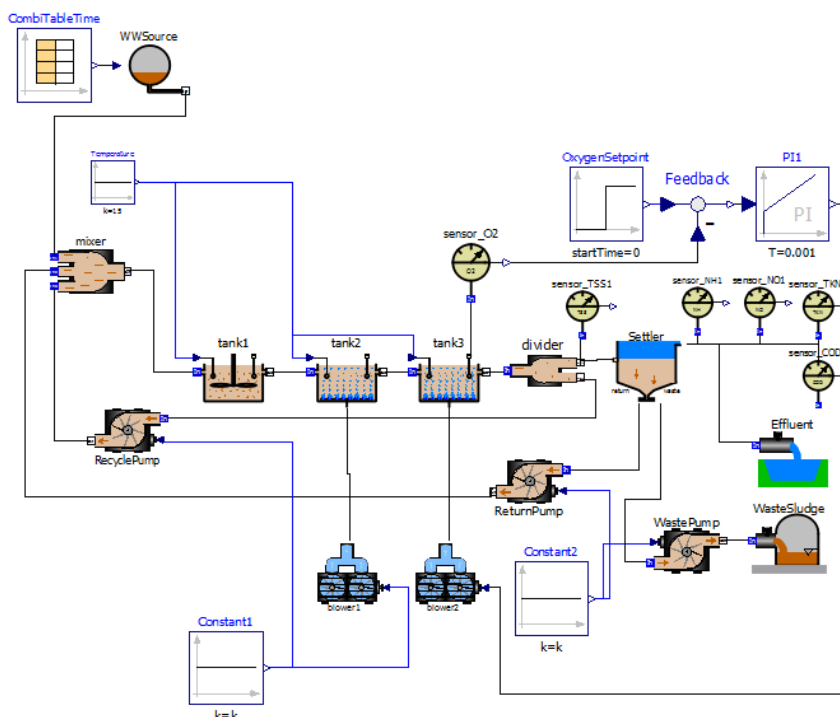
Po provedení biologické části modelu jsou data o potřebě kyslíku, čerpadlových skupin a promíchávačů převedeny do nové knihovny EnergyDemand. Tato knihovna je kompletně nová a vyvinutá v rámci projektu. Obsahuje modely čerpadel, dmychadel a jejich řízení. Tato knihovna

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:

■



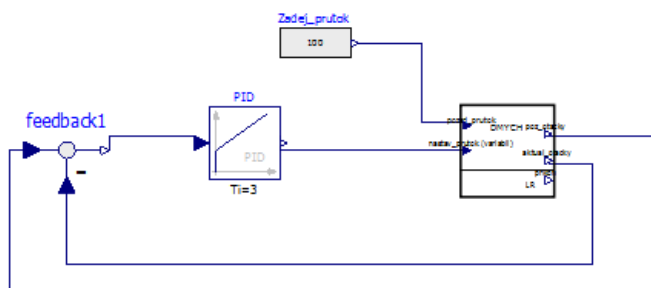
Obr. 4.5 Model ČOV Moravičany čistírny odpadních vod

Pro nastavení je potřeba znát přibližnou potřebu vzduchu v m^3/hod . Poté se automaticky zjistí příkon dmyhadla, v celkovém kontextu dojde ke zjištění celkové energetické bilance simulované ČOV. Jako příklad byla zvolena jedna z podsekcí, která je řízena pomocí PID regulátoru. Chod a výsledek simulace je uveden níže. Tato simulace pouze zobrazuje funkčnost modulu. S ohledem na konkurenčně významné informace uvedené ve zprávě, které by mohly ohrozit konkurenční výhodu hlavního příjemce projektu, nebudou s ohledem na obchodní tajemství ve smyslu § 504 zákona č. 89/2012 Sb. přiloženo plné originální znění dokumentace/zprávy/modely.

4.3.1 Tvorba modelů zdrojů a spotřebičů

Tvorba modelů spotřebičů je navržena tak, aby odpovídala reálnému nasazení na čistírnách odpadních vod. Modely byly vytvořeny v zásadě dva hlavní – model dmyhadel a model čerpadel. Pokud bychom se zaměřili na model dmyhadla, jakožto největší spotřebič elektrické energie, je model vytvořen několika submodely, které vycházejí ze základních fyzikálních předpokladů – Rootsova dmyhadla. Toto dmyhadlo je specifické svým objemovým průtokem vzduchu, tedy velkého množství za jednotku času. Pro velikost čistíren do 2000 EO je použití Rootsových

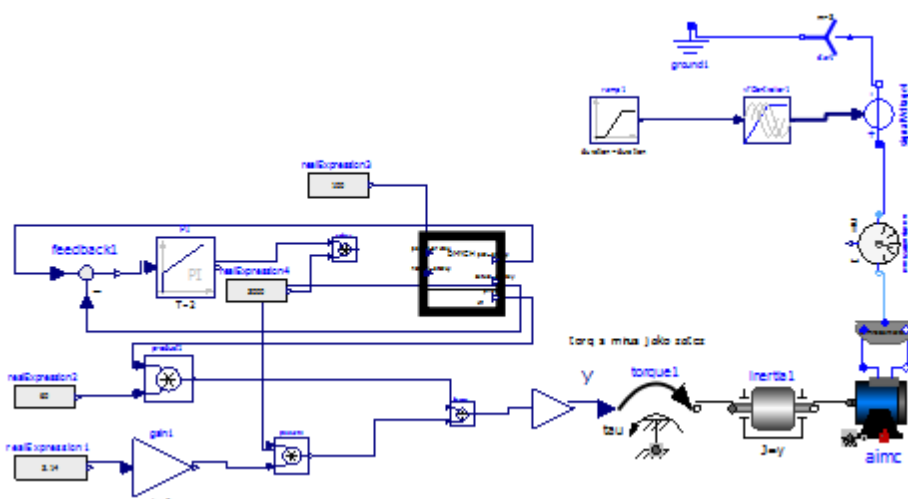
dmychadel zastoupeno téměř ve 100 %. Pouze některé mohou mít jiné typy dmychadel (axiální kompresory). Schematický model je zobrazen na obrázku:



Obr. 4.6 Zjednodušené schéma řízení dmychadel

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 dmychadlo.

Potřeba vzduchu, zjištěná z biologického čištění je následně převedena do tohoto modulu, který určuje potřebný příkon dmychadla. 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. 4.7 Schéma je rozšířené o skutečné řízení pomocí skutečných součástí (motory, frekv. měnič)

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.

4.4 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 stavbnice, 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 přírodní 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.

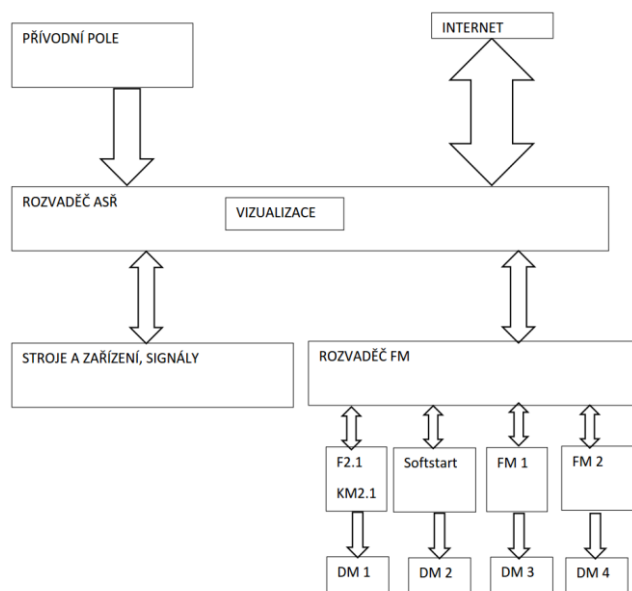
Systém by měl umožňovat vzdálené ovládání a monitorování celé technologie při dodržení maximálních bezpečnostních standardů s tím, že některé operace a parametry vzdáleně provést nejdou nikoliv z důvodu techniky, ale z důvodu bezpečnosti. Projekt ČOV Moravičany není navržen jako modulární, protože je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

4.4.1 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 havarijní 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. 4.8



Obr. 4.8 Struktura rozvaděčů a strojů

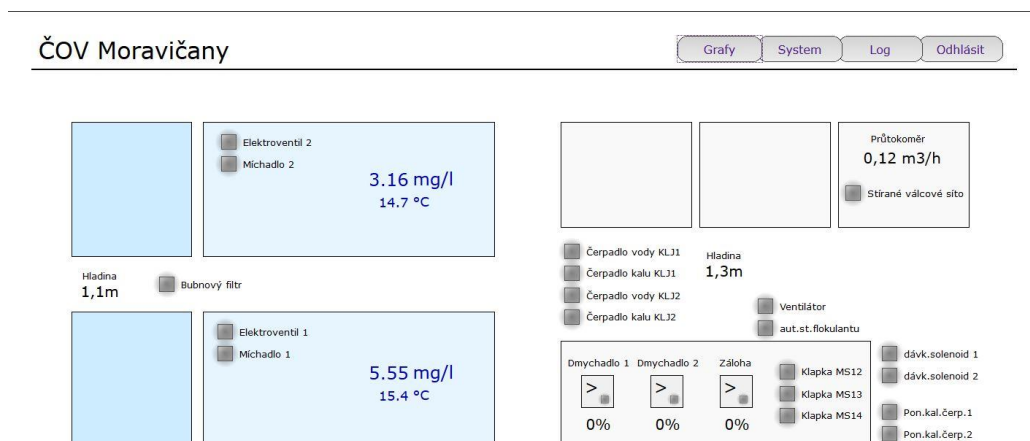
4.4.2 Tvorba vizualizace a ovládání

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

The diagram illustrates the control system for a wastewater treatment plant (WWTP). It shows the flow of wastewater through various stages: Anaerobic tank (Anaerobická nádrž), Activated sludge tanks (Aktivační nádrž 1 and 2), and Denitrification tanks (Denozačovací nádrž 1 and 2). Key components include pumps (PNEUMATICKÝ, PNEUMATICKÝ), valves (TM30, TM31, TM32, TM33, TM34, TM35, TM36, TM37, TM38, TM39, TM40, TM41, TM42, TM43, TM44, TM45, TM46, TM47, TM48, TM49, TM50, TM51, TM52, TM53, TM54, TM55, TM56, TM57, TM58, TM59, TM60, TM61, TM62, TM63, TM64, TM65, TM66, TM67, TM68, TM69, TM70, TM71, TM72, TM73, TM74, TM75, TM76, TM77, TM78, TM79, TM80, TM81, TM82, TM83, TM84, TM85, TM86, TM87, TM88, TM89, TM90, TM91, TM92, TM93, TM94, TM95, TM96, TM97, TM98, TM99, TM100), and sensors (TM30, TM31, TM32, TM33, TM34, TM35, TM36, TM37, TM38, TM39, TM40, TM41, TM42, TM43, TM44, TM45, TM46, TM47, TM48, TM49, TM50, TM51, TM52, TM53, TM54, TM55, TM56, TM57, TM58, TM59, TM60, TM61, TM62, TM63, TM64, TM65, TM66, TM67, TM68, TM69, TM70, TM71, TM72, TM73, TM74, TM75, TM76, TM77, TM78, TM79, TM80, TM81, TM82, TM83, TM84, TM85, TM86, TM87, TM88, TM89, TM90, TM91, TM92, TM93, TM94, TM95, TM96, TM97, TM98, TM99, TM100). The diagram also shows the flow of air (Vzduch do zahřívací nádrže) and the flow of water (Odtok z ČOV za předstřelové nádrže). The diagram is labeled 'Přehled z CS2' and 'Přehled z CS2'.

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.

Jako příklad provedení grafického rozhraní ukazuje Obr. 4.10 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. 4.10.



Obr. 4.10 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. 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).

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

4.5 Řídicí, optimalizační SW, topologické uspořádání

4.5.1 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)

4.5.2 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.

4.5.3 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.

4.5.4 Databázový server

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. 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 Foxtrout. 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 Foxtrout, kde je možné exportovat CSV soubory s daty do různých nástrojů pro vyhodnocení.

4.6 Vývoj algoritmu řízení, měření, predikce a optimalizace

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.

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 klapky 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.

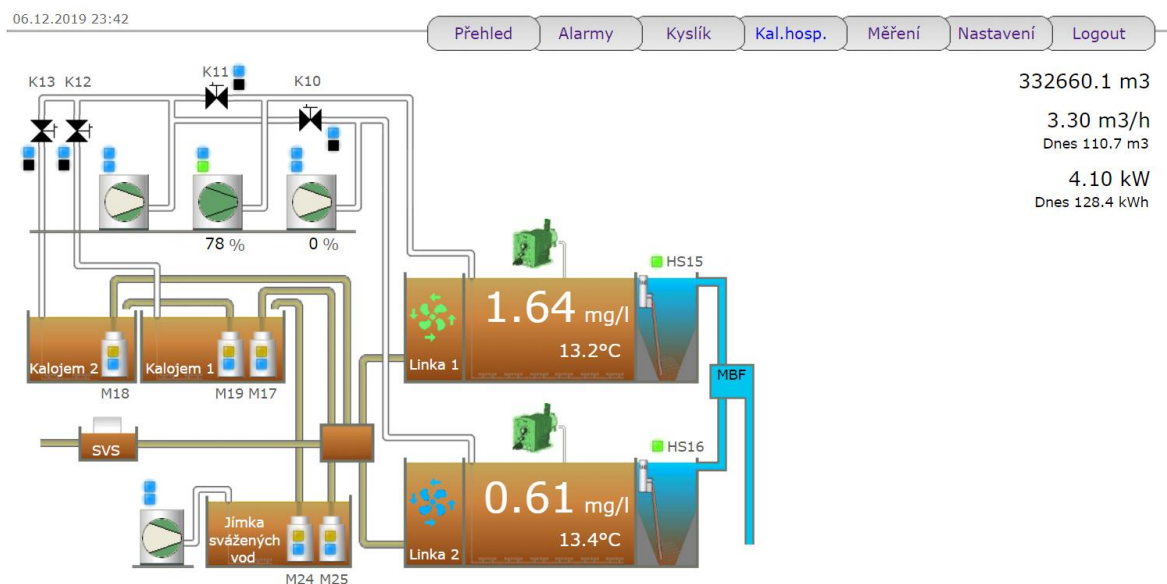
Spolupráce technologie čištění a stavby s měřením jednotlivých složek umožňuje rovnoměrný odběr ze sítě a tedy snížení hodnoty hlavního jističe a využití nízkých sazeb energie. Pro plné využití této možnosti by musel být kalolis a flokulace zabezpečena s ohledem na hluk (noční provoz) a také z pohledu 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 obsluze jasně poskytuje informace o aktuálním stavu ČOV.

Základní obrazovka GUI Obr. 4.11 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.

4.6.1 Popis vyvinutého SW



Obr. 4.11: Základní obrazovka vyvinutého SW



Obr. 4.12 Obrazovka kyslíku - vrchní graf ukazuje 24 hodinovou historii, spodní posledních 6 hodin s větším detailem

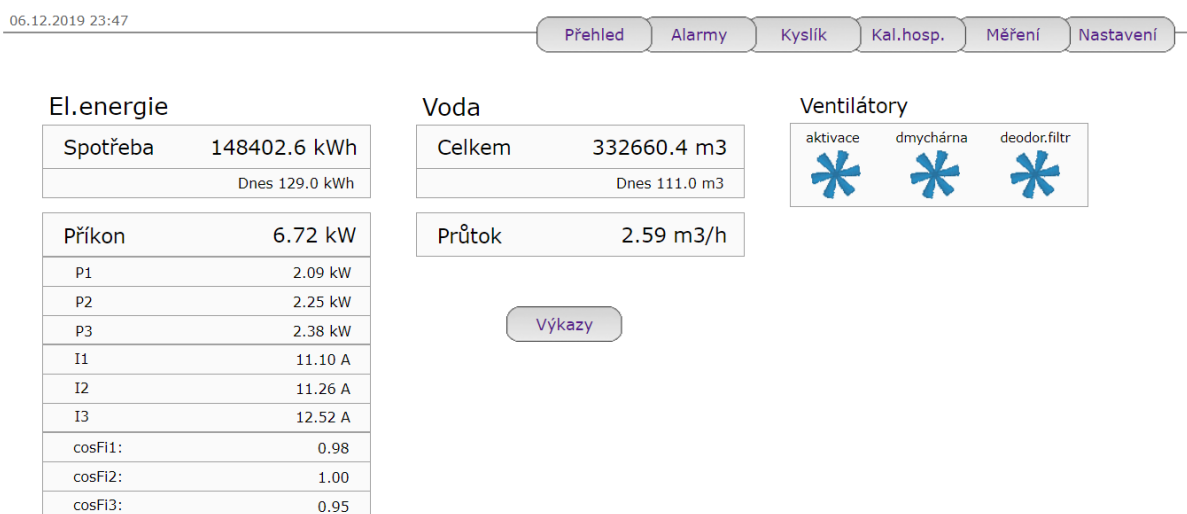
Obrazovka – Kyslík – přináší informace o vývoji kyslíku na sledovaných sondách v nitrifikačních nádržích. Jedná se o velmi důležitou hodnotu, která je určujícím vstupem do řídicího SW. V podstatě se dá říci, že kyslíkové sondy jsou nezbytným doplňkem jakékoliv čistírny odpadních vod. Pro správnou funkci 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 Měření Obr. 4.13 předkládá aktuální informace příkonů ČOV, jejich účinníky, napětí, proudy. Stejně tak poskytuje informace o FVE, jakožto doplňkového zdroje pro ČOV.

Obrazovka Nastavení 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.

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.

06.12.2019 23:47



Obr. 4.13 Obrazovka měření. Jedná se o aktuální hodnoty, které odebírá technologie ČOV

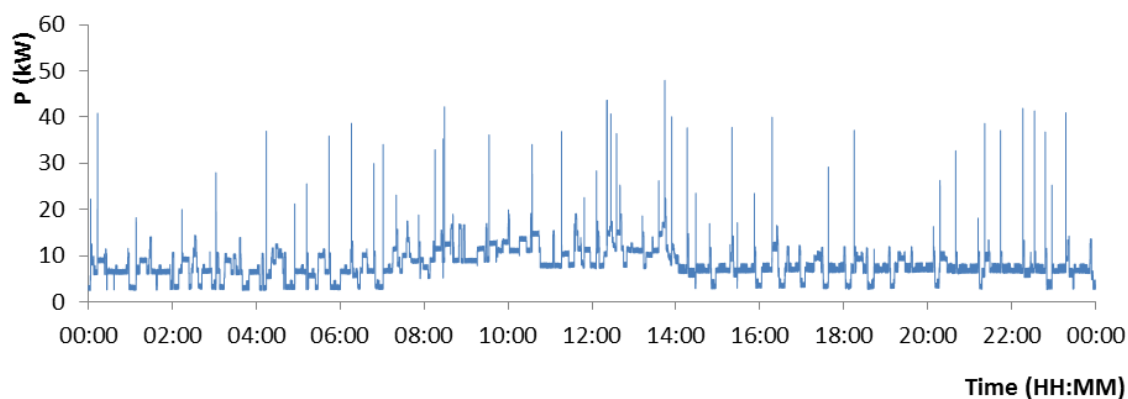
4.7 Realizace, zkoušky, testy provozních stavů, událostí, a testovací provoz na ČOV

4.7.1 Identifikace specifik provozu

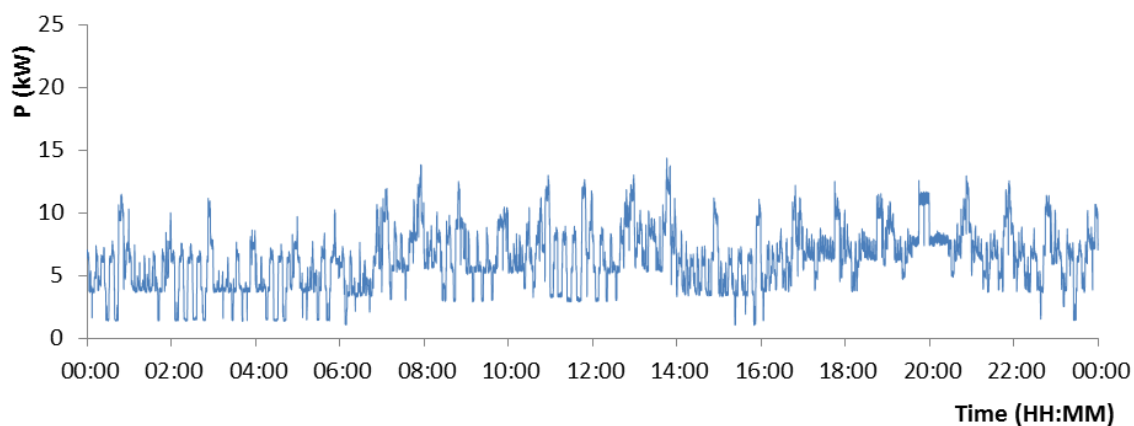
Specifika provozu vychází z nepřetržitého režimu fungování ČOV. I když nátok během různých časových období kolísá, proces čištění je kontinuální 24hodin denně, 7dní v týdnu a 365 dnů v roce. Nátok také kolísá s návazností na den v týdnu, noc a den. Tomu musí být přizpůsoben řídicí a vyhodnocovací algoritmus, 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.

Na Obr. 4.14 a Obr. 4.15 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.

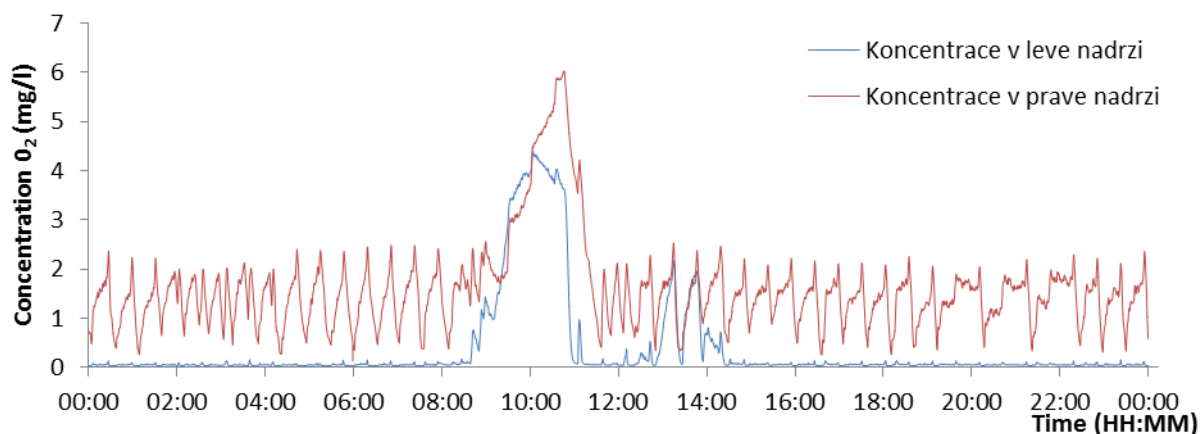


Obr. 4.14 Denní hodnoty průběhu příkonu před rekonstrukcí ASŘ

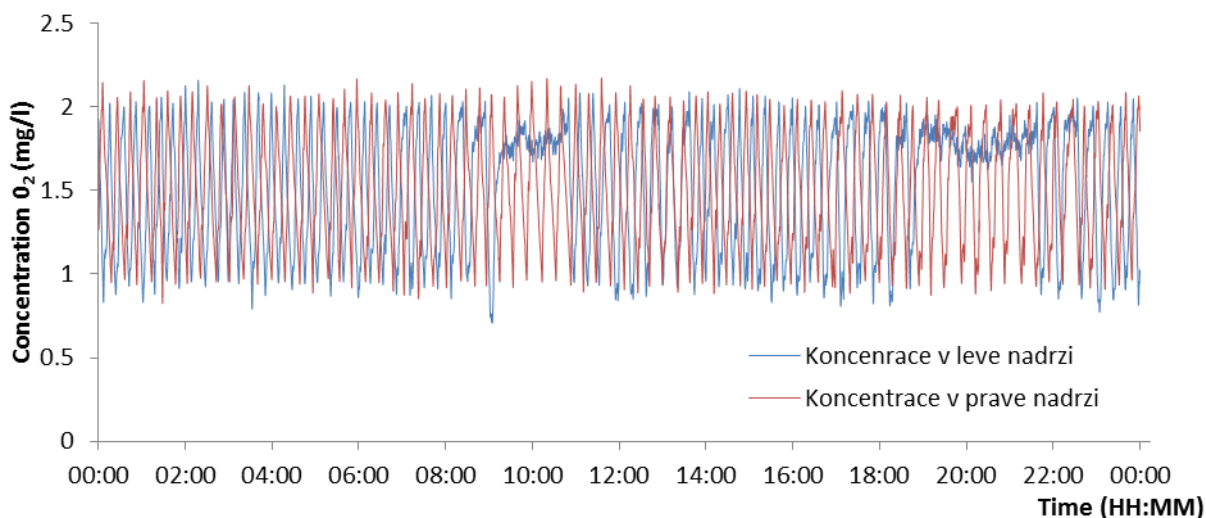


Obr. 4.15 Denní hodnoty průběhu příkonu po rekonstrukci ASŘ

Na Obr. 4.16 a Obr. 4.17 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. 4.16 Průběh koncentrace kyslíku před rekonstrukcí ASŘ

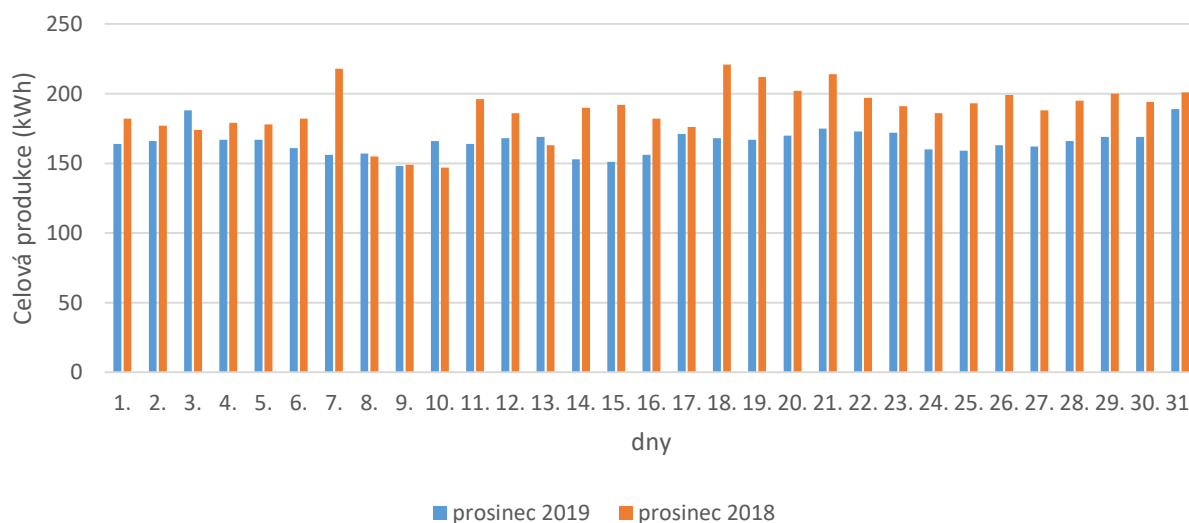


Obr. 4.17 Průběh koncentrace kyslíku po rekonstrukci ASŘ

4.7.2 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 dmyhadla 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).



Obr. 4.18 Porovnání spotřeby elektrické energie před a po rekonstrukci v měsíci prosinec

Tab. 4.2 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 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.

4.7.3 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. 4.3.

Tab. 4.3 Ekonomické ukazatele projektu (předpoklady vzhledem k parametrům k lednu 2020)

Cena technologie (Kč)	400.000
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
Kumulovaná diskontovaná úspora za 10 let (Kč)	430.413
NPV (Kč)	30.413
PB (let)	9,52
ROI (%)	20,37
IRR (%)	3,36

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 kladná 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.

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 blokáce 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 problematičtější. Byly vyzkoušeny různé OZE, ale bez úspěšného nasazení. Překážkou byla buď dlouhá návratnost (vysoké pořizovací náklady), problematičtější 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 základě 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 čistírně 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 zvést 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/cistrna_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] *Abwärmenutzung 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.

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.