

# **Automatizace čistírny odpadních vod**

## **Automation of the wastewater treatment plant**

**Michal Mana**

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Mana**  
Osobní číslo: **A21196**  
Studijní program: **B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**  
Specializace: **Průmyslová automatizace**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Automatizace čistírny odpadních vod**  
Téma práce anglicky: **Automation of a Wastewater Treatment Plant**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma Čistírny odpadních vod (ČOV) a jejich automatizace se zaměřením na malé ČOV.
2. Popište stávající konkrétní malou ČOV z hlediska jednotlivých kroků technologie.
3. Navrhněte řešení pro automatizaci malé ČOV.
4. U navrženého řešení realizujte softwarovou část, tj. především implementace řídicích algoritmů.
5. V případě úspěšné implementace řešení vyhodnoťte. Sumarizujte přínosy i slabá místa Vašeho řešení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. BINDZAR, Jan: Základy úpravy a čištění vod. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 9788070807293.
2. CHUDOBA, Jan: Odpadní vody a jejich čištění. Praha: KONEKO, 1991. ISBN 808512209X.
3. PLESKOT, Alois: Základy automatizace. Praha: Informatorium, 2019. ISBN 9788073331368.
4. Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 9788025136287.
5. ŠMEJKAL, Ladislav: PLC a automatizace. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 8073000873.
6. HRUŠKA, František: Technické prostředky automatizace IV: snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. Vyd. 3. Učební texty vysokých škol. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. ISBN 8073182742.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Sysala, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 16.5.2024

Michal Mana, v.r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá automatizací na nově postavené malé čistírně odpadních vod a to zejména tvorbou řídicích algoritmů. V teoretické části je vypracována literární rešerše popisující složení odpadní vody a základní procesy pro odstranění nečistot v odpadní vodě. Dále je popsáno složení běžné technologické linky střední a malé čistírny odpadních vod a popis elektrické přípojky, zařízení a systém řízení technologických procesů. Praktická část popisuje konkrétní malou čistírnu z hlediska jednotlivých kroků technologie, navrhuje řešení automatizace s následnou softwarovou realizací a to zejména řídicích algoritmů. Jednotlivé algoritmy pro konkrétní technologický blok jsou blíže vysvětleny v části práce, která se věnuje praktickému návrhu softwaru. Závěr práce se věnuje vyhodnocení přínosů a slabých míst řešení.

Klíčová slova: čistírna odpadních vod, PLC, Amit, vizualizace, DetStudio, proces

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the automation of a newly built small wastewater treatment plant, in particular with the creation of control algorithms and visualization. In the theoretical part, a literature review describing the composition of wastewater and the basic processes for removing impurities in wastewater is developed. Furthermore, the composition of the normal technological line of a medium and small wastewater treatment plant is described, as well as a description of the electrical connection, equipment and technological process control system. The practical part describes a specific small cleaning plant from the point of view of the individual steps of the technology, proposes an automation solution with subsequent software implementation, especially control algorithms. The individual algorithms for a specific technological block are explained in more detail in the part of the work that is devoted to the practical design of the software. The conclusion of the work is devoted to the evaluation of the benefits and weak points of the solution.

Keywords: wastewater treatment plant, PLC, Amit, visualization, DetStudio, process

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Tomáši Sysalovi Ph.D., za jeho čas, odborné vedení, cenné rady a připomínky k mé bakalářské práci. Dále bych chtěl poděkovat firmě Speco control s.r.o. za možnost zapůjčení technického vybavení k tvorbě a ladění programů a v neposlední řadě bych rád poděkoval starostovi obce Sosnová panu Romanu Frankovi za laskavé svolení pro zveřejnění fotografií pořízených na čistírně odpadních vod.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1. ODPADNÍ VODY A PROCESY PŘI JEJICH ČIŠTĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 CHARAKTER ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A PROCESY POUŽÍVANÉ K JEJICH ODSTRANĚNÍ.....	12
1.2 TECHNOLOGICKÁ LINKA VELKÝCH A STŘEDNÍCH ČISTÍREN .....	15
1.2.1 Lapáky štěrku .....	16
1.2.2 Česle .....	16
Likvidace shrabků.....	17
Lapáky písku.....	18
1.2.3 Usazovací nádrže .....	18
1.2.4 Aktivační nádrže a biofiltry .....	18
1.2.5 Dosazovací nádrže .....	19
1.2.6 Terciální čištění .....	20
1.2.7 Kalové hospodářství.....	20
Zahušťovací nádrž .....	20
Vyhnívací nádrže (anaerobní stabilizace kalu).....	20
Mechanické odvodnění kalu .....	21
1.3 TECHNOLOGICKÁ LINKA MALÝCH ČISTÍREN .....	21
1.3.1 Technologická linka malých čistíren s aerobní stabilizací kalu.....	22
1.3.2 Technologická linka malých čistíren s anaerobní stabilizací kalu .....	23
1.4 BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....	26
1.4.1 Aerobní čištění směsnou kulturou ve vznosu – aktivační proces .....	26
Aktivovaný kal.....	26
Způsoby provzdušňování (aerace) .....	27
1.4.2 Separace aktivovaného kalu a vyčištěné odpadní vody .....	28
Dosazovací nádrž.....	28
1.4.3 Anaerobní procesy .....	29
Porovnání aerobních a anaerobních procesů .....	29
1.4.4 Zpracování čistírenských kalů.....	30
Stabilizace kalů .....	31
<b>2. ELEKTROTECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ A AUTOMATIZACE</b> .....	<b>32</b>
2.1 NAPOJENÍ NA ELEKTRICKOU ENERGII .....	32
2.2 VLASTNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD .....	33
2.2.1 Motorové rozvody ČOV .....	34
2.2.2 Kabeláž.....	35
2.2.3 Kompenzace .....	35
2.2.4 Stavební elektroinstalace.....	35
2.3 SYSTÉM ŘÍZENÍ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ .....	35
2.3.1 Programovatelný automat – PLC jako součást systému řízení .....	36
2.3.2 Význam sekvenčních funkcí .....	37
2.3.3 Senzory.....	37
2.3.4 Akční členy .....	37

2.4	JEDNOTLIVÉ TECHNOLOGICKÉ CELKY ČISTÍREN .....	37
2.4.1	Hrubé předčištění .....	38
2.4.2	Čerpací stanice, odlehčovací objekt, dešťové zdrže a jímky .....	38
2.4.3	Česle .....	39
2.4.4	Lapák písku, praní a ukládání písku.....	39
2.4.5	Aerační zařízení a aktivace .....	39
2.4.6	Dosazovací nádrž .....	40
2.4.7	Stabilizace a uskladňování kalu .....	40
2.4.8	Odvodnění kalu .....	40
2.4.9	Měření průtoku odpadních vod .....	40
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>42</b>
<b>3.</b>	<b>POPIS OBJEKTU ČOV .....</b>	<b>43</b>
3.1	ČERPACÍ STANICE .....	44
3.2	STROJNÍ ČESLE .....	45
3.3	BIOLOGICKÁ LINKA .....	45
3.4	CHEMICKÉ HOSPODÁŘSTVÍ .....	45
3.5	ZÁSOBNÍ NÁDRŽ KALU (KALOJEM) .....	46
3.6	MĚŘENÍ NA ODTOKU .....	47
3.7	PROVOZNÍ BUDOVA .....	48
<b>4.</b>	<b>NÁVRH AUTOMATIZACE A FUNGOVÁNÍ ČOV. ....</b>	<b>50</b>
4.1	TEORETICKÝ NÁVRH .....	50
4.1.1	Čerpací stanice .....	50
4.1.2	Strojní česle .....	50
4.1.3	Biologická linka .....	51
	Aktivační nádrž.....	51
	Dosazovací nádrž .....	52
4.1.4	Chemické hospodářství .....	52
4.1.5	Kalojem .....	52
4.1.6	Měření na odtoku .....	53
4.2	PRAKTICKÝ NÁVRH .....	54
4.2.1	Schéma zapojení řídicího systému .....	55
4.2.2	Vstupy a výstupy .....	55
<b>5.</b>	<b>SOFTWARE PRO PLC.....</b>	<b>61</b>
5.1	PROCES – ANALOGY .....	62
5.2	PROCES – HI0_MODBUS .....	65
5.3	PROCES – M1_2_CS_M3 .....	66
5.4	PROCES – M4_M5_M7DMY .....	67
5.5	PROCES – M6_VENTIL.....	69
5.6	PROCES – M8_VRATNY.....	69
5.7	PROCES – M9_PREBYT.....	70
5.8	PROCES – PROCIDLE .....	71
5.9	PROCES – PROCINIT.....	71
5.10	PROCES – VSTVYSTUPY.....	71
<b>6.</b>	<b>PRAKTICKÉ POZNÁMKY ZJIŠTĚNÉ PŘI REALIZACI.....</b>	<b>73</b>



6.1	ČERPACÍ STANICE.....	73
6.2	AKTIVACE .....	73
6.3	DOSAZOVACÍ NÁDRŽ .....	74
6.4	KALOJEM .....	74
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

V současné době se stále více pozornosti věnuje ochraně životního prostředí a efektivnímu využívání přírodních zdrojů. Jedním z klíčových aspektů této problematiky je správa odpadních vod, která má zásadní význam pro udržení zdravého a bezpečného životního prostředí. Čistírny odpadních vod hrají nezastupitelnou roli v procesu ochrany vodních toků před znečištěním, což je základní předpoklad pro udržitelný rozvoj. S rostoucí potřebou efektivnějšího a ekologičtějšího zpracování odpadních vod se zvyšuje i důraz na inovace a technologický pokrok v této oblasti. Automatizace procesů čištění odpadních vod nabízí řešení, jak zvýšit efektivitu, snížit náklady a minimalizovat lidský zásah, což vede k zvýšené spolehlivosti a lepšímu výkonu čištění.

Cílem této práce je navrhnout a realizovat automatizaci na čistírně odpadních vod. Práce nejprve představuje teoretické základy, které jsou rozděleny na 2 hlavní části. První částí je samotné čištění odpadních vod, prvky znečištění, procesy pro jejich odstranění, složení technologické skladby čistírny a popis biologického čištění. Druhá část se zaměřuje na elektrotechnické zařízení a automatizaci. V této části je řešeno napojení na elektrickou energii, obsah silnoproudých záležitostí čistírny jako jsou motorové rozvody, kompenzace a stavební elektroinstalace, systém řízení technologie a část se věnuje i automatizaci jednotlivých technologických celků. Praktická část obsahuje jak popis konkrétní malé čistírny, tak návrh automatizace, realizaci softwarové části a vyhodnocení přínosů a slabých míst realizovaného řešení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1. ODPADNÍ VODY A PROCESY PŘI JEJICH ČIŠTĚNÍ

Pro pochopení skladby technologické linky čištění odpadních vod a smyslu použití jednotlivých operací bude vhodné se stručně seznámit s charakterem znečištění odpadních vod. Přitom znečištění vody můžeme definovat jako takovou změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, která omezuje nebo i znemožňuje její použití k danému účelu. [1]

### 1.1 Charakter znečišťujících látek a procesy používané k jejich odstranění

Znečišťující látky můžeme rozdělit do skupiny uvedených v tab. 1. Již letmý pohled na pestrý charakter znečišťujících látek prozradí, že lze jen těžko očekávat, že bude existovat jediný ekonomicky přijatelný univerzální proces, kterým by bylo možné odstranit všechny formy znečištění. Chceme-li odpadní vodu zbavit všech znečišťujících látek nebo alespoň většiny, musíme obvykle zařadit za sebou několik zcela rozdílných procesů. Jednotlivé procesy čištění můžeme nazvat jednotkovými operacemi a takto vzniklému sledu jednotkových operací budeme říkat technologická linka čištění.

Tabulka 1 – Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách [2]

Označení skupiny	Znečišťující látky	Příklady
1	Rozpuštěné	
1.1	-Organické	
1.1.1	-biologicky rozložitelné	Cukry, mastné kyseliny
1.1.2	-biologicky nerozložitelné	Azobarviva aj.
1.2	-Anorganické	Amonné ionty,...
2	Nerozpuštěné	
2.1	-Organické	
2.1.1	-biologicky rozložitelné	Škrob, bakterie
2.1.2	-biologicky nerozložitelné	Papír, plasty
2.1.3	-usaditelné	Celulosa vlákna

2.1.4	-neusaditelné	
2.1.4.1	-koloidní	Bakterie
2.1.4.2	-plovoucí	Papír
2.2	-Anorganické	
2.2.1	-usaditelné	Písek, hlína
2.2.2	-neusaditelné	Brusný prach

Volba a zařazení jednotlivých procesů do technologické linky záleží na charakteru znečištění a na splnění následujících požadavků:

- 1) Proces musí být účinný.
- 2) Proces by měl být ekonomicky přijatelný.
- 3) Proces by neměl být příliš náročný na spotřebu energie.
- 4) Při procesu by se neměly vnášet do čištění odpadní vody další znečišťující látky (např. chloridy, sírany, organické chlorderiváty ...)

Procesy používané v technologii čištění odpadních vod jsou shrnuty v tab. 2, ve které jsou rovněž uvedeny skupiny znečišťujících látek podle tabulky 1, pro jejichž odstranění se daný proces nejčastěji používá.

Tabulka 2 – Procesy používané v technologii čištění odpadních vod [2]

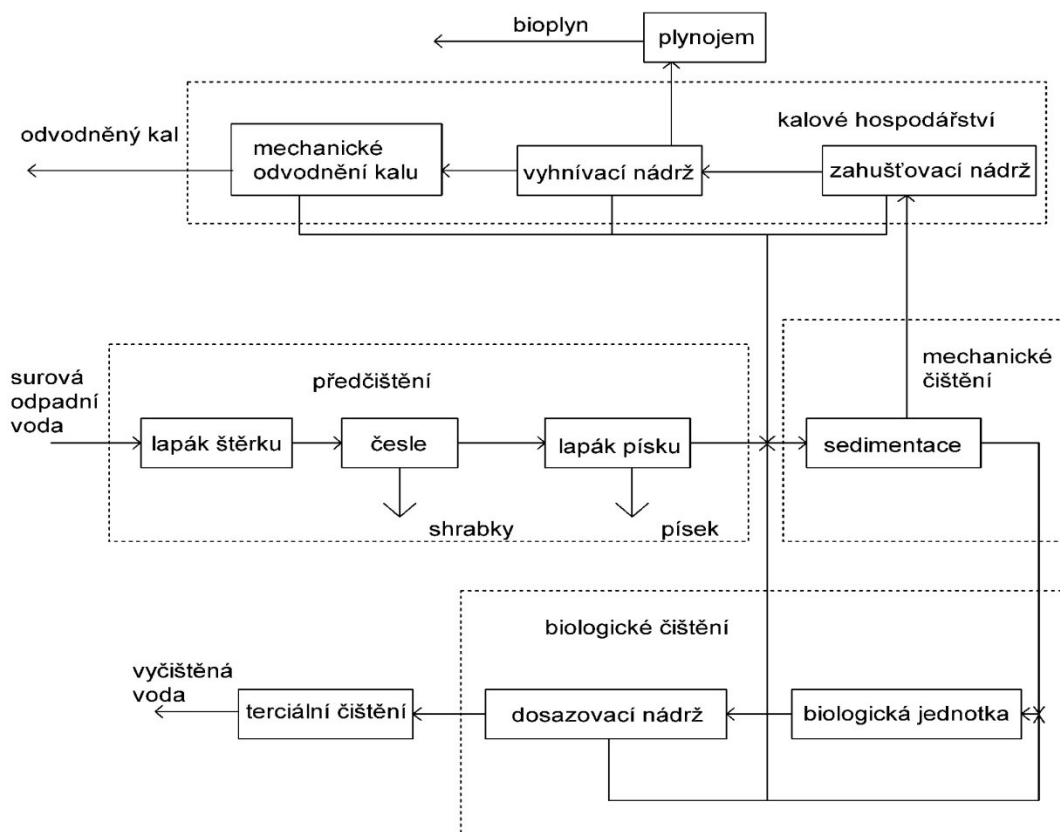
Procesy	Skupiny znečišťujících látek odstraňovaných (viz. tab. 1)
<b>Mechanické procesy</b>	
-cezení (česle)	2.1.2; 2.1.4.2
-usazování (usazovací nádrže)	2.1.3; 2.2.1
-centrifugace (centrifugy)	2.1.3; 2.2.1
-flotace (flotační nádrže)	2.1.3; 2.2.1
-filtrace (pískové filtry, síta)	2.1; 2.2

<b>Chemické a fyzikálně chemické procesy</b>	
-čiření (koagulace a srážení)	1.1.2; (vysokomol. ); 1.2; 2.1; 2.2
-neutralizace, oxidace a redukce	1.2
-sorpční procesy (aktivní uhlí aj.)	1.1.2; 1.2
-procesy založené na výměně iontů	1.2
-extrakce (např. fenol)	1.1.1; 1.1.2
-odpařování, spalování (silně konc. odpadní vody)	1.1.2
-vytváření (např. NH <sub>3</sub> )	1.2
<b>Biologické procesy aerobní</b>	
-biologické filtry	1.1.1; 1.2(N); 2.1.1
-aktivační proces	1.1.1; 1.2(N, P); 2.1.1
-stabilizační nádrže a laguny	1.1.1; 1.2(N, P); 2.1.1
<b>Biologické procesy anaerobní</b>	2.1.2; 2.1.4.2
-metanizace (kyselé a methanové kvašení)	1.1.1; 2.1.1

Při čištění odpadní vody je potřeba brát v potaz, že s rostoucí dobou trvání daného procesu je relativní zvýšení účinnosti již malé a je třeba daný proces nahradit procesem jiným, kvalitativně rozdílným. Tak například usazováním neodstraňujeme všechny látky usaditelné, protože by to bylo velice nákladné. Po určité době sedimentace, nutné k oddělení kolem 90% usaditelných látek předcházíme na proces nový, schopný odstranit koloidní a biologicky rozložitelné rozpuštěné látky - biologický proces čištění. Po určité době biologického čištění, kdy se odstraní kolem 90% odstranitelných látek, můžeme přejít na další procesy – pískovou filtraci s následující adsorpcí na aktivním uhlí. Důležité je, aby následující proces byl schopný efektivně odstranit to zbývající znečištění, které předchází proces již odstranit není schopen. [1]

## 1.2 Technologická linka velkých a středních čistíren

Městským čistírnám se také říká čistírny odpadních vod veřejných kanalizací. Veřejná kanalizace je ve smyslu zákona o vodách soubor objektů a zařízení k odvádění, popřípadě i zneškodňování odpadních a srážkových vod z obcí a sídlišť. Jejím provozovatelem bývají zpravidla organizace obecního úřadu.



Obrázek 1 - Blokové schéma technologické linky velkých a středních čistíren odpadních vod [1]

V první fázi čištění, kterému se říká předčištění, se surová voda zbavuje hrubých nerozpuštěných předmětů a látek, jejichž přítomnost je nežádoucí v dalších procesech čištění. Předčištění obvykle zahrnuje lapák štěrku, česle a lapák písku. Jenom velice zřídka se za lapáky písku zařazují lapáky tuků. [4]

### 1.2.1 Lapáky štěrku

Lapáky štěrku se obvykle zařazují tam, kde se používají strojně stírané jemné česle. Jsou to v podstatě jímky, ve kterých se zachytí hrubé nečistoty a těžké předměty sunuté odpadní vodou po dně stokové sítě. Minimální rychlost vody ve stokové síti je totiž kolem 1m/s, takže by se tyto těžké předměty mohly dostat až do čistírny. [4]

### 1.2.2 Česle

Česle slouží hlavně jako ochrana strojního zařízení čistíren, hlavně čerpadel. Zachycují se na nich větší předměty unášené vodou nebo plovoucí po hladině (kuchyňské odpadky, hadry, papír, zbytky obalů, dřevo apod.), které by v dalším procesu čištění byly příčinou provozních potíží. Jejich účinnost závisí na velikosti průlin (mezery mezi pruty), podle kterých je lze rozdělit do dvou skupin: hrubé česle (průliny 50-100mm) a jemné česle (průliny pod 30mm). Podle způsobu čištění se rozlišují česle ručně stírané a strojně stírané. Hrubé česle se obvykle používají na velkých a středních čistírnách jako ochrana strojně stíraných jemných česlí a jsou obvykle stírány ručně. Jemné česle jsou na středních a velkých čistírnách vždy strojně stírané a musí být chráněny proti povětrnostním vlivům vhodnou stavební úpravou. Prostor musí být větratelný a temperovatelný. Navrhují se vždy jedny rezervní. Základní částí česlí je rám s česlicovou mříží, která sestává z česlic vytvořených z plochých železných prutů. Rám se staví do přítokového kanálu pod úhlem 55° až 80° k horizontále, přičemž vrchní část je nad maximální hladinou vody. Byla vyvinuta celá řada různých konstrukčních typů se stíráním česlic shora nebo zespodu. Výhodou horního stírání je umístění všech strojních součástí nad vodou. Běžnější stírání zespodu má umístěnou spodní otočnou osu a ložiska stíracího pásu trvale pod vodou. V posledně uvedeném systému jsou česle mechanicky stírány ze spodní části oběžnými hřebenovými stírači, upevněnými na uzavřených řetězech. V horní části rámu pod vyklenutou mříží se umísťuje žlab nebo transportér pro odvodnění a odvedení zachycených shrabků. Strojně stírané česle musí být robustní konstrukce vyhovující těžkým provozním podmínkám. Průtoková rychlost mezi česlemi má být v rozmezí 0,6 – 1,0 m/s, aby se neusazoval písek. Materiál zachycený na česlích se nazývá shrabky (SH). [1]





Obrázek 2 - Samočisticí česle [19]

### ***Likvidace shrabků***

Manipulace se shrabky a jejich likvidace patří k hygienicky nejzávadnějším procesům na čistírně. Shrabky se likvidují takto: kompostováním nebo zpracováním do půdy, ukládáním na skládkách, lisováním a spalováním

-Kompostování shrabků, případně jejich zpracování do půdy představuje velice jednoduchý způsob jejich likvidace, kterého se používá především na malých čistírnách.

-Ukládání na skládkách se dosud hojně používá pro všechny velikostní kategorie čistíren. Skládky musí být určeny hygienickými orgány a při jejich výběru se musí dbát na to, aby nebyla znečištěna podzemní voda.

-Lisování a spalování je hygienicky nejméně závadným způsobem likvidace shrabků. Lisováním ve speciálních lisech se objem shrabků sníží na čtvrtinu až pětinu a vlhkost klesne na 70 – 60%. Spalování je možno provádět ve speciálních pecích přímo na čistírnách nebo ve spalovnách městských odpadků. Aby se zamezilo nepříjemného zápachu, musí být teplota spalování nejméně 800°C. [1]

### *Lapáky písku*

Důvod pro odstraňování písku odděleně od ostatních nerozpuštěných organických látek, které se odstraňují v nádrži sedimentační, je následující. Písek má přibližně dvojnásobnou hustotu než organické nerozpuštěné látky. Kdyby se takto rozdílné nečistoty zachytily spolu v usazovacích nádržích, dostal by se písek společně se smíchaným kalem až do nádrží vyhnívacích, kde by – vzhledem k relativně vysoké hustotě sedimentoval u dna a nevyplavil by se. Hromadění písku by zmenšovalo účinný objem vyhnívací nádrže, až nakonec by se musela nádrž odstavit a písek pracně vyklidit.[4]

#### **1.2.3 Usazovací nádrže**

Odpadní voda zbavená předčištěním hrubých nečistot a písku se přivádí na tzv. mechanické předčištění (MČ). Hlavní jednotkovou operací je zde sedimentace v usazovacích nádržích, ve kterých se zachytí většina usaditelných látek. Podle způsobu protékání odpadní vody můžeme usazovací nádrže rozdělit na:

- 1) pravoúhlé nádrže s horizontálním průtokem
- 2) kruhové nádrže s horizontálním průtokem
- 3) nádrže s vertikálním průtokem

[4]

#### **1.2.4 Aktivační nádrže a biofiltry**

Odpadní voda zbavená hrubých nečistot předčištěním (česle, lapáky písku) a většiny usaditelných látek a tuků mechanickým čištěním (usazovací nádrže) se přivádí na biologické aerobní čištění (BČ). Biologické aerobní čištění se skládá z vlastní biologické jednotky (aktivační nádrže nebo biofiltry) a z nádrže separační – dosazovací. Biologická jednotka a jednotka separační tvoří nedílnou součást aerobního biologického čištění. V biologické jednotce se odstraňují biochemickými oxidačními pochody a syntézními především biologicky rozložitelné organické látky. Syntézou nové biomasy se odstraňuje z odpadních vod i část dusíku a fosforu. Suspenze biomasy se od vyčištěné vody separuje v dosazovací nádrži a vrací se (cirkuluje) potrubím zpět do aktivační nádrže. V systémech s biofilmovými reaktory se v dosazovací nádrži separuje stržený biofilm, který se již necirkuluje zpět do biologického reaktoru. Přebytečná biomasa v obou systémech se vede potrubím do usazovací nádrže, kde se společně usazuje s kalem primárním. Směs, které se říká smíšený kal, se

vede potrubím do zahušťovací nádrže, ve které se zahustí na 4,5 – 7% a dále se zpracovává anaerobně. Hmotnostní poměr sušiny kalu primárního a biologického je asi 2:1, objemový poměr obou kalů je přibližně 1:1. [1]

### 1.2.5 Dosazovací nádrže

Dosazovací nádrž je na většině městských čistíren odpadních vod poslední jednotkovou operací v technologické lince čištění. Tím je dán její obrovský význam a důležitost. V odtocích z dobře navržených a provozovaných aktivačních nádrží je hodnota  $BSK_5$  způsobena ze 75% nerozpuštěnými látkami vynášenými z dosazovací nádrže. U žádné dosazovací nádrže nelze dosáhnout nulové koncentrace NL v odtoku, avšak hodnoty kolem 10 mg/l jsou u nepřetížených dosazovacích nádrží zcela reálné. Odtoky z našich čistíren obsahují obvykle NL v koncentracích 15-30 mg/l, často i nad 30 mg/l. [4]



Obrázek 3 – Biologická část [20]

### 1.2.6 Terciální čištění

Odtoky z ČOV mohou vykazovat ještě zbylý dusík a fosfor a někdy i vyšší hodnoty CHSK způsobené biologicky rezistentními látkami, které jednak vznikají ve vlastním čistícím procesu a jednak jsou obsaženy v surové vodě a biologickým čištěním procházejí nedotčeny. Takovéto odtoky jsou v některých případech nevyhovující, zvláště při jejich vypouštění do vodárenských toků nebo při dalším technologickém použití. Proto se mechanicko-biologicky vyčištěná odpadní voda podrobuje dalšímu, tzv. terciálnímu čištění. Terciální čištění můžeme definovat jako jakékoliv zpracování odtoků z mechanicko-biologických čistíren za účelem snížení zbylého chemického a mikrobiologického znečištění. [1]

### 1.2.7 Kalové hospodářství

Hlavním odpadním produktem vznikajícím při čištění odpadních vod je čistírenský kal. Surový kal je směsí kalu primárního a kalu biologického v hmotnostních poměrech tuhých látek přibližně 2:1. Na velkých a středních čistírnách se tento kal stabilizuje anaerobním způsobem. Na některých čistírnách v zahraničí se mechanicky odvodňuje (centrifugy, filtrační pásové lisy) a spaluje. Spalování řeší kalový problém velice rázně, ovšem ničí se cenný materiál s vysokým obsahem organických a hnojivých látek. Kalové hospodářství každé čistírny se skládá z nádrže zahušťovací, z nádrže vyhnívací, z mechanického odvodňování kalu a z plynojemu. [4]

#### *Zahušťovací nádrž*

Před anaerobní stabilizací je bezpodmínečně nutné surový kal dobře zahustit. Vyhřívání řídký kal na 35 °C je velice neekonomické. Zahušťovací nádrže by měly být kontinuálně provozovány, míchány, s dobou zdržení 24 h v létě a 48 h v zimě. Občas se stává, hlavně v letních měsících, že rozkladné pochody znemožňují dobré zhuštění kalu. V takovém případě se dávkuje do smíšeného kalu chlor nebo hydrát vápenatý

#### *Vyhnívací nádrže (anaerobní stabilizace kalu)*

Důkladně zahuštěný smíšený kal se čerpá do vyhnívacích nádrží, ve kterých se stabilizuje za anaerobních podmínek. Na čistírnách se převážně používá dvoustupňové rychlovyhnívání. [1]

### *Mechanické odvodnění kalu*

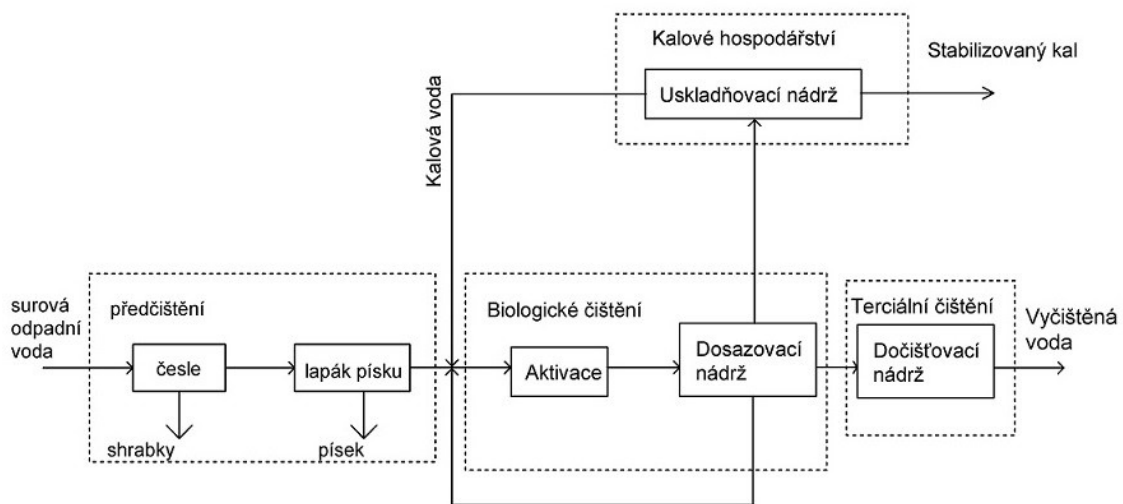
Na středních a velkých čistírnách se anaerobně stabilizovaný kal odvodňuje mechanicky. Vlastní mechanické odvodňování se provádí v centrifugách na filtračních pásových lisech a na vakuových bubnových filtrech. Kalolisy, jsou méně běžné.

V procesu anaerobní stabilizace vzniká energeticky bohatý bioplyn (BP), který se shromažďuje v plynojemu a používá se především k vyhřívání vyhnívacích nádrží, pro ohřívání teplé vody a k vytápění budov čistírny a po spálení pro výrobu elektrické energie a plynových generátorech. [1]

### **1.3 Technologická linka malých čistíren**

Malými čistírnami se myslí čistírny s celkovým počtem připojených ekvivalentních obyvatel (EO) do 5000. Technologická linka malých čistíren se liší od technologické linky velkých čistíren v tom, že je vynechána primární sedimentace a anaerobní stabilizace kalu. Čistírenská praxe totiž ukázala, že u malých čistíren není ekonomické kaly stabilizovat anaerobně, tj. investovat do methanizační (vyhnívací) nádrže s plynovým hospodářstvím, protože tyto náklady jsou racionální až od určité produkce bioplynu, která je pro malou čistírnu nereálná. V malých čistírnách se proto stabilizuje smíšený kal aerobně nebo chemicky. Pokud se prováděla anaerobní stabilizace, realizovala se v nevyhřívavých nádržích, zvaných nádrže emšerské nebo také šterbinové či Imhoffovy. Podobně dochází k anaerobní stabilizaci kalu i v septiku. [2]

### 1.3.1 Technologická linka malých čistíren s aerobní stabilizací kalu



Obrázek 4 – Blokové schéma technologické linky malých čistíren s aerobní stabilizací kalu [1]

Linka se skládá z těchto jednotek:

**Česle.** Na malých čistírnách se osazují obvykle jemně ručně stírané česle. Shrabky se většinou kompostují nebo zapravují do půdy.

**Lapák písku.** Na nejmenších čistírnách se obvykle setkáváme s dvoukomorovým lapákem písku, ručně stíraným. Lapák se skládá ze dvou úzkých a mělkých žlabů (komor). Odpadní voda může být pomocí stavitky rozdělena do obou komor (maximální průtoky) nebo pouze do jedné komory (minimální průtoky nebo v období vyklízení písku z jedné komory). Po naplnění komory pískem se uzavřou stavitka, otevře se drenážní systém, písek se odvodní a nakonec ručně vyklidí. Po vyklízení se drenáž uzavře a žlab je opět připraven k provozu. Tyto lapáky se neosazují clonami, a proto rychlost pohybu vody značně kolísá, což má za následek i usazování těžších organických látek. Proto se pro malá průtočná množství staví trojúhelníkový žlab s parabolickou clonou, známý jako šterbinový lapák. Usazený písek je sunut po dně lapáku, až nakonec přepadá šterbinami umístěnými ve dně žlabu do pískových jímek. Z jímek se písek odstraňuje mamutkou. Šterbiny jsou široké asi 10 cm a dělají se v první polovině a na konci lapáku. [1]

**Aktivační nádrže.** Doba zdržení odpadní vody je mnohem delší, než je zapotřebí k dobrému vyčištění odpadní vody. To proto, aby bylo možno udržet při přijatelné kalové sušině v nádrži dostatečně dlouhé stáří kalu (25-30 dní), při kterém dojde k dokonalé aerobní stabilizaci. Stáří kalu je hlavním parametrem určujícím stupeň stabilizace smíšeného kalu.

**Dosazovací nádrže.** Jak bude ukázáno dále, realizují se na malých čistírnách tyto způsoby separace:

- 1) Dosazovací nádrž je vestavěna v nádrži aktivační a aktivovaný kal přepadá z usazovacího prostoru do aeračního štěrbinou
- 2) Dosazovací nádrž tvoří s aktivační nádrží jeden celek a aktivovaný kal se čerpá z usazovacího aeračního prostoru mamutkou
- 3) Dosazovací nádrž je postavena mimo nádrž aktivační a aktivovaný kal je podle běžného schématu čerpán zpět čerpadlem.
- 4) Samostatná dosazovací nádrž není do technologické linky zařazena a její funkci periodicky přebírá nádrž aktivační, ve které je po dobu sedimentace vypnut aerátor

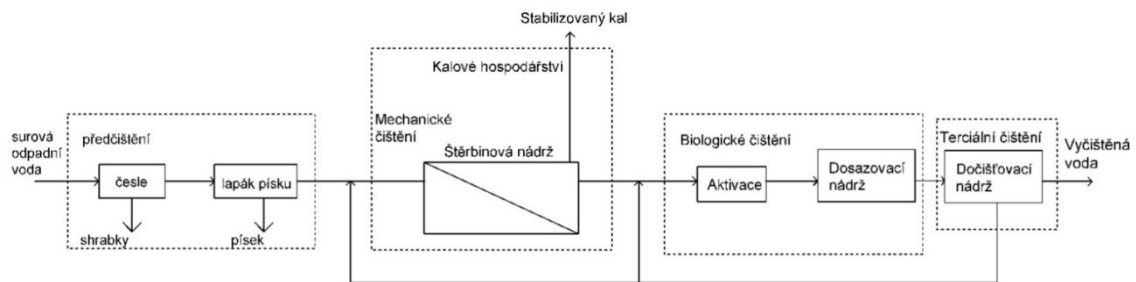
Provozní zkušenosti ukazují, že nejméně vhodným uspořádáním systému aktivační nádrž-dosazovací nádrž, je první případ.

**Objekty terciálního čištění.** Na malých čistírnách městských odpadních vod se procesů terciálního čištění používá jenom výjimečně, a pokud ano, pak výhradně jenom ve formě dočišťovacích nádrží

**Kalové hospodářství.** Aerobně stabilizovaný kal se uskladňuje v uskladňovací nádrži, kde se rovněž dále zahustí. Kalová voda se vrací do přítoku do aktivační nádrže a stabilizovaný kal se výhradně likviduje zpracováním do půdy. [1]

### 1.3.2 Technologická linka malých čistíren s anaerobní stabilizací kalu

Často se v technologické lince malých čistíren používají biofilmové reaktory. Do těchto reaktorů není vhodné přivádět hrubé nerozpuštěné látky, a proto se před ně zařazuje sedimentace.



Obrázek 5 – Blokové schéma technologické linky malých čistíren s anaerobní stabilizací kalu [1]

V tomto případě je vhodné do technologické linky zařadit šěrbinovou nádrž, která slouží jako nádrž usazovací a zároveň stabilizační. Odpadní voda protéká usazovacím prostorem, ve kterém se usazují nerozpuštěné látky a přepadají šěrbinou do nevyhříváného stabilizačního prostoru, ve kterém probíhá anaerobní rozklad při teplotách 15 – 20 °C. Anaerobně stabilizovaný kal se odpouští pod hydrostatickým tlakem potrubím. Minimální sklon dělicích stěn má být 1,4 : 1. Aby bubliny plynu nepronikaly z vyhnívajícího prostoru do prostoru usazovacího a nerušily tam usazování, jsou stěny vytvářející šěrbinu překryty nebo je šěrbinu zespodu chráněna odrazovým štítem. [1]

Technologické parametry pro usazovací prostor jsou stejné jako pro ostatní usazovací nádrže. Objem vyhnívacího prostoru závisí na počtu připojených obyvatel a na způsobu čištění. Na jednoho ekvivalentního obyvatele se počítá:

- Pouze mechanické čištění    0,050 m<sup>3</sup>
- Mechanické čištění + biofiltry    0,100 m<sup>3</sup>
- Mechanické čištění + aktivace    0,150 m<sup>3</sup>

Tyto hodnoty platí pro teplotu 12 °C a vyšší. Pro teploty nižší se výše uvedené hodnoty násobí k tomu určenými koeficienty.

Ostatní jednotkové operace (cezení, zachycování písku, biologické čištění, separace kalu a případné dočišťování) zůstávají stejně jako u malých čistíren s aerobní stabilizací kalu.



Štěrbínovou nádrž je pochopitelně možno zařadit i do technologické linky s aktivačním procesem. V takovém případě je navržena klasická aktivace bez aerobní stabilizace kalu. S touto technologickou linkou se můžeme setkat hlavně ve starších čistírnách.

Aerobně stabilizovaný kal se likviduje zpracováním do půdy. Likvidace se nabízí především u malých a středních čistíren, jejich kal obsahuje obvykle méně těžkých kovů než kal z čistíren velkých a od kterých nejsou zemědělská pole příliš vzdálena.

V zemích s intenzivním zemědělstvím, mezi něž patří i ČR, trpí půda chronickým nedostatkem organických látek. Proto se zpracováním čistírenských kalů do půdy vedle dusíku, fosforu a draslíku cenné organické látky. Je tedy celospolečenský zájem, aby čistírenský kal obsahoval co největší podíl organických látek. Současný způsob aerobní i anaerobní stabilizace však o ně čistírenský kal ochuzuje. Je proto žádoucí čistírenský kal, který má být zapraven do půdy, vůbec nestabilizovat, nýbrž pouze hygienicky zabezpečit, tj. vhodně dezinfikovat. Ze všech známých a aplikovatelných způsobů dezinfekce kalů je neekonomičtější velký přírůstek vápna tak, aby při pH kalu bylo cca 12. Pak je dostatečně zabezpečen z hygienického hlediska, aby mohl být zapraven do půdy. Navíc se tak spolu s cennými živinami dodá do půdy i tolik potřebné neutralizační činidlo. [1]

V důsledku kyselých dešťů je půda ve všech průmyslově vyspělých státech značně kyselá a zemědělci ji musí periodicky vápnit. Zpracováním kalu s velkým přírůstkem vápna do půdy se tedy dosáhne:

- 1) Relativně levné hygienické úpravy kalu.
- 2) Celospolečensky prospěšné likvidace kalu.
- 3) Kontinuálního přínosu organických látek, dusíku, fosforu, a draslíku
- 4) Neutralizace kyselých půd

Tento způsob se zdá perspektivní alespoň po dobu, po kterou se budou vyskytovat kyselá deště. Tyto deště vznikají při srážkách v atmosféře obsahující zplodiny spalování uhlí s vysokým obsahem síry. Vzhledem k uvedeným skutečnostem se jeví takové systémy jako oddělená aerobní stabilizace kalu a aerobní termofilní stabilizace kalu neekonomickými a tudíž neperspektivními. Aktivovaný kal, který má být likvidován zapravením do půdy, je ekonomické stabilizovat pouze natolik, aby proběhla úplná nitrifikace. To proto, že amoniak přítomný v kalové vodě by po velkém přírůstku vápna těkal z kapalné fáze a působil pachové potíže. [1]

Uvedený způsob stabilizace a likvidace kalů je rovněž velice vhodný při biologickém odstraňování fosforu. Přebytný kal s vysokým obsahem fosforu (4 až 6 %) při jakékoliv

další stabilizaci (aerobní či anaerobní) uvolňuje zpět fosforečnany do roztoku. Proto se kal musí stabilizovat přidáním vápna a likvidovat zapracováním do půdy. [1]

## 1.4 Biologické čištění odpadních vod

Podstatou biologického čištění je několikanásobné urychlení samočisticích pochodů, které probíhají v přírodních povrchových vodách. Snažíme se při něm vytvářet optimální podmínky pro život a rozvoj mikroorganismů rozkládajících (odbourávajících) rozpuštěné a suspendované organické látky odpadních vod. [3]

Pro rychlý rozvoj organismů, které odstraňují nečistoty z odpadních vod, je třeba vytvořit optimální podmínky, a to buď dostatečným přísunem kyslíku (vzduchu) do vody, nebo naopak vytvořením striktně bezkyslíkatého prostředí. [3]

### 1.4.1 Aerobní čištění směsnou kulturou ve vznosu – aktivační proces

Aktivační proces je dnes nejrozšířenějším způsobem biologického čištění odpadních vod. Principiálně se jedná o kontinuální kultivaci biomasy s recyklem.

Obecně je aktivační proces tvořen biologickou a separační jednotkou. Aktivační směs, vzniklá smísením odpadní vody a vratného aktivovaného kalu, přitéká do vlastní biologické jednotky, tj. aktivační nádrže, kde je provzdušňována. Poté je aktivovaný kal separován od vyčištěné vody v separační jednotce, tj. v dosazovací nádrži. Zahuštěný aktivovaný kal je následně recirkulován zpět jako inokulum (vratný aktivovaný kal), nově vytvořená biomasa je ze systému odstraňována (přebytečný aktivovaný kal). [2]

Na rozdíl od kontinuálních kultivací technické mikrobiologie se pracuje v otevřeném systému v nesterilních podmínkách a výsledné mikrobiální složení aktivovaného kalu se stabilizuje samovolně podle složení odpadní vody, uspořádání a technologických parametrů aktivace. [2]

#### *Aktivovaný kal*

Mikroorganismy aktivovaného kalu lze obecně rozdělit do dvou skupin:

- 1) Destruenti (až 95% mikroorganismů aktivovaného kalu)

Jsou zodpovědní za biochemický rozklad znečišťujících látek v odpadní vodě. Tato skupina je reprezentována hlavně bakteriemi, minoritní součástí tvoří např. mikromycety (mikroskopické houby) a bezbarvé sinice.

## 2) Konzumenti

Využívají bakteriální a jiné mikrobiální buňky jako substrát. V aktivovaném kalu jsou představovány tzv. vyšším osídlením (mikrofaunou). Vyšší osídlení je podle stavu funkční polykultury zastoupeno jednobuněčnými organismy (protozoa) i organismy mnohobuněčnými (metazoa)

Kvalitativní i kvantitativní složení aktivovaného kalu se stabilizuje samovolně a závisí zejména na složení substrátu, na kterém byl aktivovaný kal vypěstován (tzn. Přitékající odpadní vody) a na hodnotách technologických parametrů během kultivace. [2]

### *Způsoby provzdušňování (aerace)*

U oxických systémů je nutné dodávat potřebné množství kyslíku, ve vlastní aktivační nádrži musí být zároveň vločky aktivovaného kalu udržovány ve vznosu, aby se udržel potřebný kontakt s čištěnou odpadní vodou. Tyto dvě funkce musí splňovat aerační zařízení, kterým je aktivační nádrž vybavena. Do aktivačních nádrží se kyslík přivádí nejčastěji ve vzduchu, méně často (zejména při čištění silně znečištěných a/nebo průmyslových odpadních vod) ve formě čistého plynu (kyslíková aktivace).

V současnosti lze nejčastěji používané typy aerace aktivačních nádrží rozdělit do následujících skupin:

- 1) pneumatická
- 2) mechanická
- 3) hydropneumatická

z důvodu značného rozšíření pneumatického provzdušňování se zbývajícím dvěma skupinám nebudeme věnovat. [2]

#### Pneumatická aerace

Při pneumatické aeraci jsou dodávky kyslíku i míchání zajišťovány vháněním tlakového vzduchu do aktivační směsi různými aeračními elementy. V závislosti na velikosti otvorů a na pórovitosti aeračních elementů vznikají vzduchové bubliny různého průměru. Podle velikosti průměru ( $d$ ) vzduchových bublin se rozlišují tři druhy pneumatické aerace:

1. Jemnobublinná ( $d = 1-4$  mm)
2. Středobublinná ( $d = 4-10$  mm)
3. Hrubobublinná ( $d > 10$  mm)

Hrubobublinná aerace aktivačních nádrží, při které se vzduch dodává zejména ventilátory a jako aerační elementy se používají otevřené nebo děrované trubky, se dnes používá již jen minimálně. [2]

Při středněbublinné aeraci je dodávka tlakového vzduchu zajišťována převážně piškotovými čerpadly nebo zubovými turbodmychadly. Nejrozšířenějším typem aeračních elementů je v tomto případě aerační děrovaný s otvory na spodní straně. Pro možnost regulace intenzity aerace je třeba, aby na přírodním potrubí ke každému roštu byl osazen ventil.

Jednoznačným trendem v oblasti aerace je používání jemnobublinné aerace. Důvodem je vysoká energetická účinnost, dobré podmínky pro regulaci vnosu kyslíku podle aktuální spotřeby a malé mechanické namáhání vloček aktivovaného kalu. [2]

#### 1.4.2 Separace aktivovaného kalu a vyčištěné odpadní vody

Aktivační proces je založen na kontaktu čišťené odpadní vody se směsnou kulturou aktivovaného kalu. Aktivovaný kal spolu s nově vzniklou biomasou musí být následně od vyčištěné odpadní vody odseparován, a to ze dvou základních důvodů:

- 1) Aktivační proces je kontinuální kultivací s recyklem biomasy, takže aktivovaný kal je nutno separovat a vracet do systému jako inokulum
- 2) Biomasa rozptýlená ve vyčištěné odpadní vodě výrazně zhoršuje kvalitu odtoku z čistírny.

Biomasa unikající z dosazovací nádrže, jejíž koncentrace je vyjádřena jako sušina nerozpuštěných látek, nezpůsobuje jen zhoršení kvality odtoku v ukazateli nerozpuštěné látky (NL), ale prakticky ve všech hlavních ukazatelích sledovaných dle naší právní úpravy. [2]

#### *Dosazovací nádrž*

Základním úkolem dosazovací nádrže je separace biomasy (aktivovaného kalu, strženého biofilmu) od vyčištěné odpadní vody. V případě aktivačního procesu musí dosazovací nádrž odseparovaný aktivovaný kal současně i zahustit, aby bylo možno vratným kalem udržovat požadovanou koncentraci biomasy v aktivační nádrži a aby se zmenšil objem přebytečného kalu odváděného do kalového hospodářství. [2]

Účinná separace biomasy je rozhodující pro kvalitu finálního odtoku. Špatně fungující dosazovací nádrž může zcela zvrátit dobrý čistící efekt předchozího biologického reaktoru. Suspenze unikající z dosazovací nádrže je totiž živá biomasa, která zvyšuje hodnoty BSK<sub>5</sub>(biologická spotřeba kyslíku za 5 dní) odtoku asi o 50%. Tato biomasa obsahuje i

významné množství dusíku a fosforu – zvláště v systémech se zvýšeným biologickým odstraňováním fosforu. Vinou špatné konstrukce a pozorování může v dosazovací nádrži docházet i k sekundárnímu znečišťování vyčištěné odpadní vody. [2]

### 1.4.3 Anaerobní procesy

Mikrobiální rozklad organické hmoty za anaerobních podmínek probíhá v přírodě samovolně, zejména na dně rybníků, v močálech apod., a svými konečnými produkty methanem a oxidem uhličitým se podstatnou měrou účastní atmosférického uhlíkového cyklu. Jako mnoho jiných původně přirozených mikrobiálních procesů, i anaerobní rozklad organické hmoty na methan a oxid uhličitý je technologicky využíván jako metoda likvidace organického znečištění. Využívá se zejména při zpracování různých druhů organických kalů, vodních suspenzí a koncentrovaných roztoků, kdy je spalování ještě nerentabilní. Racionální využívání nejnovějších poznatků z bioinženýrství, biochemie, technologie vody a ostatních vědních oborů umožnilo intenzifikaci anaerobních procesů, které se tak stávají reálnou alternativou k tradičním metodám čištění odpadních vod v širokém rozsahu koncentrace znečištění, a to jak z hlediska technologického, tak zejména z hlediska energetického. Pod pojmem anaerobní čistírenské procesy rozumíme:

- 1) anaerobní čištění odpadních vod
- 2) anaerobní stabilizaci kalů

Při obou těchto procesech směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, plyny a vyčištěná odpadní voda respektive nerozložený zbytek organické hmoty, který je již z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí, neboť je již stabilizován. [2]

### ***Porovnání aerobních a anaerobních procesů***

Z bilance energie při aerobních a anaerobních mikrobiálních procesech vyplývá:

- 1) Při aerobních procesech je přibližně 60% energie spotřebováno na syntézu nové biomasy a 40% se ztrácí ve formě reakčního tepla.
- 2) Při anaerobních procesech je téměř 90% energie obsažené v substrátu zachováno ve vzniklém bioplynu, 5 až 7% je spotřebováno na růst nové biomasy a 3 až 5% se ztrácí ve formě reakčního tepla.

Z bilance uhlíku vyplívají následující závěry:

- 1) Při aerobních procesech je asi 50% uhlíku ze substrátu proměněno v biomasu a 50% v CO<sub>2</sub>
- 2) Při anaerobních procesech přechází asi 95% uhlíku ze substrátu do bioplynu a 5% do biomasy

Z technologického hlediska představují anaerobní procesy energeticky málo náročné metody anaerobní stabilizace kalů a anaerobního čištění odpadních vod. Odstranění jednotkového množství znečištění anaerobním způsobem je vždy ekonomicky výhodnější než aerobním způsobem. [2]

#### 1.4.4 Zpracování čistírenských kalů

Většina čistíren odpadních vod využívá v technologické lince biologické procesy, a proto jsou významným vedlejším produktem čištění odpadních vod čistírenské kaly. Ty je potřeba na čistírně nějakým způsobem zpracovat nebo využít a transportovat k dalšímu využití nebo likvidaci. Při zpracování kalů na větších čistírnách se kal zpravidla zahušťuje, stabilizuje, hygienizuje, odvodňuje, případně se také může vysušit a spálit. [2]

Objem čistírenských kalů představuje pouze několik málo jednotek procent z objemu čištěných odpadních vod, je však v nich koncentrována velká část znečištění a jejich zpracování představuje významnou položku provozních nákladů čistírny (až 50%). [2]

Již delší dobu je zřejmé, že racionální zpracovávání čistírenských kalů se stává jedním z mnoha kontroverzních ekologických problémů. Na jedné straně se zdůrazňuje, že kaly obsahují řadu polutantů (rezidua léčiv a kosmetických prostředků), které mohou být pro člověka nebezpečné. Na druhé straně se stále častěji připomíná, že kaly jsou cennou surovinou, jejíž energetická a hnojivá hodnota je nesporná a v rámci racionálního hospodaření se surovinovými zdroji je nezbytné je co nejvíce využívat. [2]

Organické čistírenské kaly (primární, aktivovaný) se na větších čistírnách téměř výhradně zpracovávají anaerobní stabilizací. Je to relativně nejvhodnější způsob jejich využití, přičemž současně dochází i k hmotnostnímu a objemovému úbytku organické hmoty uvolněním velké části organického uhlíku v plynné formě a uvolněním vody, původně vázané chemicky i fyzikálně. Významné je také snížení výskytu patogenních mikroorganismů. [2]

Pod pojmem kal rozumíme suspenzi pevných látek ve vodě. Pod pojmem surový kal rozumíme kal z čistíren odpadních vod, určený k methanizaci. Surový kal pochází jednak z mechanického stupně čistírny – tzv. primární kal (zachycený v usazovací nádrži), jednak z biologického stupně – přebytečný aktivovaný kal (zachycený v dosazovací nádrži). [2]

### *Stabilizace kalů*

Jedním z hlavních úkolů kalového hospodářství je produkce stabilního a bezpečného materiálu, který je možné z čistírny odvézt k dalšímu využití nebo likvidaci. Z toho důvodu je nezbytné zajistit jejich stabilizaci případně hygienizaci. [2]

Stabilizací kalu se rozumí takové jeho biologické či fyzikálně-chemické zpracování, které zajišťuje jeho hygienickou nezávadnost a relativní stabilitu vzhledem k jeho dalšímu použití. Princip stabilizace spočívá v poklesu přítomnosti patogenních a ostatních živých organismů a ve snížení rozložitelného organického podílu sušiny kalu. Stabilizovaný kal není náchylný k dalšímu rozkladu, takže při skladování nezpůsobuje pachové a hygienické problémy. Nejpoužívanějšími stabilizacemi jsou:

- 1) anaerobní
- 2) aerobní
- 3) chemická

Anaerobní stabilizace je nejčastějším typem používaným na středních a velkých čistírnách. Je výhodná tím, že při této stabilizaci dochází k transformaci organických látek na bioplyn, který lze energeticky využívat. Na menších čistírnách však investice do anaerobní technologie a plynového hospodářství nemá dostatečně rychlou návratnost. [2]

Aerobní stabilizace je založena na prodloužené aeraci kalu, která vede k oxidaci většiny biologicky rozložitelných látek. Aerobní stabilizaci lze zabezpečit přímo v aktivaci jejím zvětšením a prodloužením stáří kalu cca nad 20-30 dní (v závislosti na teplotě) nebo provzdušňováním přebytečného aktivovaného kalu v oddělené stabilizační nádrži – výhodou je, že zde koncentrace kalu může být podstatně vyšší než v aktivační nádrži. [2]

Chemická stabilizace je založena na přidavku páleného (nehašeného) vápna, které působí v důsledku reakce s vlhkostí kalu. Vápno je zpravidla přidáváno v takových množstvích, aby bylo zabezpečeno, že je dosaženo  $\text{pH} > 12$  po dobu alespoň 2 hodin, případně ještě po 14 denním působení přesahují hodnoty  $\text{pH} 11$ . Zvýšením  $\text{pH}$  a teploty dojde k inaktivaci většiny mikroorganismů, které by se mohly podílet na spontánním rozkladu tohoto kalu a tím je zabezpečena jeho stabilita. [2]

## 2. ELEKTROTECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ A AUTOMATIZACE

Tato část zahrnuje stručný popis elektrotechnického zařízení pro malé čistírny odpadních vod (napájení, motorový rozvod včetně ovládání a stavební elektroinstalace).

### 2.1 Napojení na elektrickou energii

Způsob napojení čistíren je dán jejich umístěním, požadovaným maximálním současným příkonem elektrozařízení a stupněm důležitosti čistírny podle ČSN 34 161 a k požadavku na jakost vody ve vodním recipientu pod čistírnou:

První stupeň důležitosti. Čistírny, u nichž není možno připustit ani krátkodobé vypouštění odpadních vod do vodního recipientu, zhoršení stupně čištění, nebo jejichž technologie čištění je taková, že by i několikahodinové přerušení čistícího procesu způsobilo obtíže při obnovení provozu.

Druhý stupeň důležitosti. Čistírny, u nichž je možno připustit na několik hodin zhoršení stupně čištění a čistírny, u nichž je možno přerušit na několik hodin provoz.

Třetí stupeň důležitosti. Čistírny, u nichž je možno připustit přerušení provozu. [3,15]

Je-li čistírna situována v areálu závodu, je místo a způsob napojení dán možnostmi stávajícího rozvodu. Je-li však umístěna samostatně, rozhodne o způsobu a místě napojení příslušný rozvodný závod dané oblasti. Pro každý objekt má být zřízena jen jedna elektrická přípojka. Je-li provedeno více přípojek pro jeden objekt, musí být tato skutečnost vyznačena v každé přípojkové skříně tohoto objektu. [3, 11]

Malé čistírny odpadních vod se svým maximálním současným příkonem ( $P_p$ ) pohybují v maloodběru. Napojení je realizováno kabelovou přípojkou NN – 0,4 kV ze stávajícího distribučního rozvodu. Elektrickou přípojkou se rozumí elektrické vedení začínající odbočením od rozvodného zařízení distributora elektřiny směrem k odběrateli. V případě vrchní sítě NN je nutno realizovat kabelový svod do výkopu směrem k čistírně, kde je přípojka ukončena zděným, popř. prefabrikovaným pilířem měření (RE), osazeným typovou rozvodnicí pro měřicí soupravu rozvodných závodů. Pilíř se umísťuje podle požadavku rozvodného závodu do oplocení čistírny, aby byl přístupný z veřejné komunikace. [3, 13]

Obdobně je řešeno napojení ze stávající kabelové sítě, např. přerušením stávajícího kabelu a na obou koncích naspojkováním přípojky NN pro čistírnu, která je zasmyčkována do pojistkové rozpojovací skříně, umístěné v pilíři měření pod rozvodnicí RE.



Pro přípojky NN se používají celoplastové hliníkové kabely do 1 kV (typ AYKY). Velikost průřezu je dána maximálním současným příkonem, který nesmí přesáhnout nejvyšší zatěžovací proud kabelu a dovolený napěťový úbytek, úměrný délce přípojky. Kabely se ukládají do výkopu 35x80 cm do pískového lože tloušťky 20 cm s překrytím (cihlou, betonovou deskou nebo výstražnou fólií) a dosypáním kopanou zeminou. V místech křížení s komunikací je kabel chráněn ocelovou nebo azbestocementovou troubou (průměr 100 až 200 mm), popř. jsou vhodné kabelové tvárnice. Chráničky musí být uloženy na podkladním betonu, který brání pohybu chráničky vlivem sesedáním zeminy, a tím i přestřižení kabelu. [3]

Nelze-li dosáhnout hospodárného napojení na distribuční NN rozvod nebo s ohledem na rozvoj rozvodných sítí, je nutno napájet přípojku NN z linky VN prostřednictvím stožárové trafostanice. Ta obvykle slouží jak pro vlastní čistírnu, tak pro posílení distribučního NN rozvodu rozvodných závodů. [3]

## 2.2 Vlastní čistírna odpadních vod

Podle velikosti čistírny a požadavků na elektrotechnické zařízení je elektrická část rozdělena na motorové rozvody pro elektrotechnologickou část a na zařízení systému řízení technologických procesů pro měření, popř. regulaci neelektrických veličin. Je-li areál čistírny vybaven stavebními objekty, je součástí elektrotechnické části také elektrotechnická stavební část, která zahrnuje osvětlení, zásuvkové rozvody, vzduchotechniku, temperování a hromosvody včetně zemních prací. [3]

Práce na čistírně mají být mechanizovány tak, aby přímý styk a manipulace pracovníků obsluhy s odpadními vodami nebo vytěženými odpadními produkty čištění odpadních vod (shrabky, plovoucí látky, šterk, písek, tuky, kal, sedimenty z biologických dočišťovacích nádrží, bioplyn) byly co nejmenší. Dále strojně-technologická zařízení čistíren musí zajistit spolehlivý, bezpečný a vysoce výkonný provoz čistírny. Tato zařízení jsou ovládána ručně nebo automaticky s možností i ručního ovládání. Ruční ovládání je buď u stroje, nebo dálkově. Pokud je zařízení ovládáno dálkově, je nutno zajistit též ovládání u stroje a dálkovou signalizaci chodu. U provozně důležitých strojně-technologických zařízení je nutné navrhnout rezervní zařízení (čerpadla, dmychadla, česle a další). Podle provozních a místních podmínek mají mít stroje, zařízení a tlaková potrubí možnost odvodnění a odvzdušnění. Čistírna se má navrhovat tak, aby bylo umožněno centrální řízení provozu a jeho automatizace. Rozsah automatizace se volí tak, aby byl zajištěn spolehlivý provoz s minimálními

nároky na obsluhu. Doporučuje se volit systém automatizace tak, aby bylo možné výhledové připojení na centrální dispečink. Elektrická instalace a motorový rozvod musí odpovídat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem. [15]

### 2.2.1 Motorové rozvody ČOV

Základním údajem pro motorové rozvody je napěťová soustava, na kterou je elektrické zařízení napojeno, včetně způsobu ochrany v daném systému. V současné době je nejuznávanější sítí pro běžnou výstavbu sítí TN-C-S, která postupně nahrazuje dříve používanou TN-C. Dalším důležitým údajem je instalovaný výkon elektrického zařízení ( $P_i$ ), který udává součet všech spotřebičů včetně namontovaných rezerv. Z tohoto údaje se ze znalosti režimu provozu určí maximální současný příkon čistírny ( $P_p$ ), který udává největší možnou spotřebu pro navržené napojení čistírny. Pro ekonomické hodnocení návrhu čistírny je nutno určit výpočtem z jednotlivých známých dob chodu elektrického zařízení celkovou spotřebu elektrické energie (nejčastěji za jeden rok), a tím též podle sazebníku za elektrickou energii odhadnout náklady za spotřebovanou elektrickou energii za jeden rok. [3, 9]

Rozvaděče. Motorové rozvody zahrnují jeden nebo více silových rozvaděčů (označeným RM), které mohou mít podle prostředí, v němž jsou umístěny, toto provedení: 1) skříňové, 2) oceloplechové rozvodnice 3) litinové typu U. Každý z rozvaděčů je vyzbrojen hlavním, výrazně vyznačeným vypínačem v přívodu a jednotlivými jistěnými silovými a ovládacími vývody k jednotlivým spotřebičům. Jistící prvky jsou voleny s ohledem na svoji zkratovou odolnost. Zkratové poměry na přípojnicích rozvaděče je nutno určit výpočtem směrem od zdroje do místa zkratu. Velikost jistících prvků v řazení za sebou je dána selektivitou, a to tak, že při přetížení nebo zkratu nejdříve odepne nejbližší jistící prvek. Pro trvalé zapínání spotřebičů se používají jednopólové, popř. trojpólové vypínače a pro automatické či dálkové zapínání stykače. Stykače mají odvozenou konstrukci relé a jsou konstruovány pro velké spínané proudy od hodnoty stovek až po tisíce ampér. Stykače jsou ovládány ručně dvojtlačítky z rozvaděče nebo dálkově od pohonu. Po deblokaci do automatického provozu jsou zapínány a odpínány např. pomocným relé, časovými relé, koncovými kontakty, popř. jinými prostředky automatizace. [3, 8]

Stykače jsou dále využívány pro motorové spotřebiče větších výkonů (asi nad 5 kW), kdy je s ohledem na napojení z distribuční sítě NN nutno zřídit rozběh hvězda trojúhelník, nebo tam, kde se vyžaduje změna směru otáčení motoru, tzv. reverzace. Motorový vývod musí být dále vyzbrojen nejen zkratovou ochranou ale i ochranou proti přetížení. To zajistí mo-

torový jistič nebo pomocné tepelné relé s vypínacím kontaktem vřazeným do ovládacího obvodu stykače. [3]

Ovládací prvky. Pro ovládání jednotlivých motorových vývodů (stykačových) se používají dvojtlačítka a trojtlačítka, přepínače, hladinové spínače, koncové spínače, elektrodové hladinové spínače, prostorové a kapilárové termostaty a další prvky automatizace, které zajišťují plynulý automatický chod čistíren. [3]

### 2.2.2 Kabeláž

Silovou kabeláž tvoří převážně kabely typu CYKY a ovládací kabeláž rovněž kabely typu CYKY nebo typu JYTY. Kabelové trasy jsou vedeny ve sdružených trasách mezi rozváděčem a spotřebiči ve výkopech hloubky 80 cm, popř. na kabelových roštích nebo v trubkách a ohebných hadicích přímo po konstrukci či zábradlí čistírny. Pokud jsou kabely vedeny v kabelových roštích tak je nutno oddělit kabely silové a to zejména kabely napojeny na frekvenční měniče od kabelů ovládacích a to z důvodu elektrického rušení signálu. [3]

### 2.2.3 Kompenzace

Při zřizování motorových rozvodů malých čistíren je nutno dbát na vykompenzování účinníku  $\cos\varphi$  na hodnotu 0,95. U čistíren napájených z areálu závodu to nebývá nutné, závod má centrální automatický kompenzační rozvaděč. U malých čistíren napájených z distribučního rozvodu je však tato kompenzace nutná, a proto se provádí u asynchronních motorů od výkonu asi 10kW. Při kompenzaci motorů představuje jalový výkon kompenzačních kondenzátorů asi 35% výkonu motoru. Tím se zabrání překompenzaci při provozu s částečným zatížením. [3, 12]

### 2.2.4 Stavební elektroinstalace

Malé čistírny odpadních vod doplněné stavebními objekty je nutno vybavit instalací, složenou z osvětlení, zásuvkových rozvodů, hromosvodu a zemnicích prací. Někdy zahrnují také napájení ventilátorů a temperování akumulacími kamny nebo infrazářiči či topnými kabely. [3]

## 2.3 Systém řízení technologických procesů

Automatizované systémy řízení (ASŘ) se používají k podpoře činnosti pracovníků obsluhy při řízení procesů v čistírně s cílem zajistit jakost procesů a ekonomický provoz čistírny. Dále slouží k dokumentování procesů, zvláště k monitorování a zaznamenávání hodnot, a

těž jako pomůcka k obsluze a údržbě čistírny. Dříve se řízení technologických procesů u malých čistíren odpadních vod uplatňovalo jen minimálně. Omezovalo se nejvýše na registraci přiváděného množství odpadních vod do čistírny nebo na měření odváděných vyčištěných vod. Dnes se různé senzory a snímače používají daleko více a častěji. A to hned z několika důvodů, jednak z důvodu lepšího monitoringu procesů a dění na čistírně, kdy za použití PLC a přístrojů SCADA lze celou čistírnu vizualizovat jak na stolním počítači nebo dotykovém panelu zabudovaném v elektrickém rozvaděči tak pomocí webového serveru vizualizovat dění na čistírně přímo do mobilu obsluhy čistírny, popřípadě lze i zajistit odesílání SMS o poruchových stavech na jednotlivých zařízeních čistírny v reálném čase. Obsluha čistírny má proto mnohem pohodlnější, rychlejší a efektivnější přístup k informacím o aktuálním průběhu a dění na čistírně a dokáže i rychleji a efektivněji reagovat na nečekané události jako jsou poruchy strojů, vysoké hladiny atd. Dalším důvodem pro zvýšené použití snímačů a senzorů je zefektivnění provozu a lepší a rychlejší reakce na okolní vlivy nikoliv obsluhou ale samotnou automatizací např. kdy se díky kombinaci PLC, senzorů průtoků a frekvenčními měniči dokáže regulovat výkon čerpadel v závislosti na přítoku, případně pokud hladina stoupne nad potřebnou mez zapnout další čerpadlo tak aby se hladina opět dostala pod kontrolu a na požadovanou výšku atd. [3, 16]

### 2.3.1 Programovatelný automat – PLC jako součást systému řízení

Pro systémy automatizace představují PLC základní jednotku pro centrální část systémů integrované automatizace. Jsou používány na procesní úrovni pro jednotlivou dílčí řídicí operaci i pro skupinu operací. Programovatelný automat je jen součástí systému řízení technologického objektu. Nadřazeno je mu operátorské rozhraní a dokumentační systém, případně informační systém podniku. Na této úrovni obvykle komunikuje po síti Internet. Řídicí systém komunikuje s řízenou soustavou prostřednictvím signálů ze senzorů, které vyhodnocuje, a prostřednictvím akčních členů a pohonů jimž předává povely. Algoritmy logického řízení strojů a zařízení jsou výhradně sekvenční. Lze je popsat jako soubor pravidel typu: „Ve stavu napouštění spusť čerpadlo – až sepne horní hladinový spínač, vypni čerpadlo a přejdi do stavu dávkování; po rozepnutí dolního vypínače ukonči stav dávkování a přejdi do stavu napouštění“. Pro charakter realizovaných funkcí se tento způsob řízení označuje jako sekvenční logické řízení, někdy úžeji jako sekvenční řízení. [5, 8]

### 2.3.2 Význam sekvenčních funkcí

V praxi se převážně setkáváme se sekvenčními logickými funkcemi. Jejich výstup rovněž závisí na kombinaci aktuálních hodnot vstupních proměnných, ale ještě na stavu systému. Ten charakterizuje okamžitou situaci logického systému nebo jím řízené či kontrolované soustavy. Je výsledkem dosavadního vývoje, nejčastěji posloupnosti (sekvence) vstupních hodnot. Odtud pochází přívlastek sekvenční. Mezi sekvenční systémy jsou ale zařazovány i logické funkce, jejichž výstupy závisí i na čase, na počtu opakování, případně na jiných vlivech. Při slovním popisu bývá stav systému charakterizován slovním vyjádřením situace, která jej vystihuje (např. „lis v horní úvratí“, „napouštění“, „pohyb vpravo“). Při programování je nejčastěji reprezentován souborem vnitřních proměnných – jednotlivých příznaků nebo souhrnným kódem stavu. [7]

### 2.3.3 Senzory

Senzory jsou důležitou součástí většiny moderních automatizovaných soustav a zařízení. Jejich prvořadým úkolem je zajišťovat přítomnost různých fyzikálních, většinou neelektrických veličin a umožnit další zpracování získaných údajů. Rychle postupující vývoj mikroelektroniky napomohl rozšíření systémové schopnosti senzorů. Ty se postupně mění na tzv. inteligentní a kompaktní měřicí systémy s vestavěnými funkcemi zpracování signálu a specifickými možnostmi komunikace. [5]

### 2.3.4 Akční členy

Akční členy regulují přívod hmoty nebo energie do regulované soustavy. Jsou to tedy prvky, které jsou určeny k využití zpracovávané informace. Podle druhu regulace mohou být elektrické, pneumatické a hydraulické. Jejich nejčastějšími představiteli jsou pohony. Pohon je obecnější výraz, který nenaznačuje způsob generování pohybu a je obvykle vybaven dalšími prvky, jako zpětnou vazbou, výkonovým zesilovačem, indikátorem polohy a ručním ovládním, a jeho součástí je motorická jednotka. Motorická jednotka je obvykle vnímána jako elektromotor, avšak názvoslovná norma mluví i o pneumatorech a hydromotorech. Výrazy pohon a motor je možné do jisté míry chápat jako synonyma. [5, 6]

## 2.4 Jednotlivé technologické celky čistíren

Přihlédneme-li ke schémátům nejrozšířenějších typů čistíren napojených na běžnou stokovou síť, lze jednotlivé objekty a zařízení monitorovat a ovládat následovně: [17]

### 2.4.1 Hrubé předčištění

Lapák šterku, česlicový koš nebo hrubé předčištění nebývá u této velikosti čistíren řešen automatikou. Důvodem je především malá frekvence nutných regulačních zásahů a malá časová náročnost na obsluhu těchto zařízení. [17]

### 2.4.2 Čerpací stanice, odlehčovací objekt, dešťové zdrže a jímky

Automatický režim této části zajišťuje rovnoměrnost zatížení biologického stupně a tím umožňuje jeho optimalizaci, jeho dobrá funkce je jedním z rozhodujících ukazatelů pro efektivní provoz celé čistírny. Řešení vychází z různých stupňů technické vyspělosti, ale i finanční náročnosti. Čerpání se řeší kaskádou čerpadel různých výkonů a řadou hladinových spínačů, vyšším komfortem jsou potom čerpadla s frekvenčním měničem počtu otáček a tím i výkonem v širokém pásmu. [17]

Používají se převážně ponorná kalová čerpadla ovládaná automaticky od hladiny v čerpací jímce. Hladina se sleduje hladinovými spínači, které při naplnění jímky sepnou stykačový vývod pro čerpadlo a při poklesu hladiny na minimum čerpadlo odstaví. Značně kolísající přítok do čistírny umožňují zvládnout šneková čerpadla. Ovládají se automaticky nejčastěji podle stavu hladin v čerpací jímce. Někdy se v malých čistírnách vyskytují čerpadla pro sáklé vody, jež se umísťují v jímce, do níž je prosáklá voda přiváděna. Ovládají se po odzkoušení ručně dvojtlačítkem, automaticky v normálním pracovním režimu od hladiny hladinovými spínači (při maximální hladině zapne, při minimální hladině vypne, při překročení maximální hladiny signalizuje poruchu). [3]

Čerpací technika mívá někdy namontovanou a elektricky zapojenou rezervu. Takový vývod se vyzbrojuje u každého čerpadla součtovými hodinami, které sčítají četnost zapnutí jednotlivých čerpadel. Obsluha podle těchto hodnot pravidelně v určitém časovém období předepsaném provozním řádem čistírny přepíná ručně na rozvaděči záměnu provozního čerpadla za čerpadlo rezervní. Podle velikosti čerpadel se toto období pohybuje od jednoho týdne do jednoho měsíce. U nejmenších čistíren se trvale instalovaná čerpadla s občasným provozem uplatňují výjimečně. Rezervní čerpadla jsou uložena ve skladovacích prostorách (ponorná čerpadla). Jejich napojení se realizuje občasně na zásuvku 400 nebo 230 V s ovládáním vypínačem přímo na pohonu. [3]

### 2.4.3 Česle

Česle můžeme řídit buď, hladinovým nebo časovým spínačem, nejčastěji kombinací obojího, přičemž hladinový spínač bývá nadřazen spínači časovému. Shrabovák opíše jednu svou dráhu a v horní úvratí je zastaven koncovým spínačem, který zároveň uvede do chodu časové relé, které po odměření časové prodlevy (asi 10 až 15 minut) zopakuje jeden cyklus. Koncový spínač (a tím i najíždění časového relé) je před česlemi blokován hladinovým spínačem, který hlásí zvýšení hladiny (zanesení česlí, zvýšení nátoky na ČOV). Tím jsou česle až do poklesu hladiny na základní výšku v trvalém nepřerušovaném provozu. Běžné je hlášení poruchového stavu. Rozváděč s touto automatikou je nutno navrhovat samostatně, nebo objednat jako dodávku strojní části. Pro strojní zařízení jako celek musí být vypracována v českém jazyce celková technická výrobní dokumentace. Ta má obsahovat celkový výkres strojního zařízení včetně schémat ovládacích obvodů a podrobné výkresy doplněné výpočty a výsledky zkoušek, jež jsou nezbytné pro ověření shody strojního zařízení se základními požadavky bezpečnosti, které jsou na ně kladené. Nezbytnou součástí této dokumentace je také srozumitelný a jasný návod k používání strojního zařízení. [3, 11, 17]

### 2.4.4 Lapák písku, praní a ukládání písku

Provoz a vyklízení lapače písku se většinou řeší časovým spínačem lze spojit i s provzdušňováním. Automatické řešení poruchových stavů není běžné, zapojena bývá poruchová signalizace. [17]

### 2.4.5 Aerační zařízení a aktivace

V malých čistírnách odpadních vod, kde se v aktivační nádrži provádí jak, provzdušňování tak promíchávání odpadní vody bývá, provzdušňování realizováno pomocí aeračního elementu do kterých vhání vzduch dmyhadlo a promíchávání je realizováno pomocí míchadla. Běžně se používá regulační vazby obsahu kyslíku v aktivaci na dodávku vzduchu. Nádrže bývají provzdušňovány, buď v časovém režimu kdy si obsluha čistírny pomocí parametru nastaví dobu provzdušňování a dobu klidu aerace nebo v kyslíkovém režimu kdy provzdušnění aktivace sleduje optická sonda a podle ní se řídí provzdušnění. U kyslíkového režimu se nastaví vypínací a zapínací hodnota kyslíku v nádrži a dmyhadla se spínají tak aby kyslík v aktivaci se pohyboval v nastavených mezích. Míchání se často zapíná při klidu aktivačních dmychadel a při chodu dmychadel je promíchávání aktivační nádrže vypnuto. Dmyhadla představují u malých čistíren největší motorové spotřebiče, které mívají

nějakou formu postupného rozběhu (Frekvenční měniče, přepínání Y-D,...). Častým typem dmychadel jsou rootsova dmychadla, což jsou zařízení, v nichž dochází k vnější kompresi plynného média pomocí dvou třízubých rotorů (rotačních pístů). Ty jsou uloženy podélně v rovnoběžných osách ve skříni dmychadla a otáčejí se v protisměru. Pohyb rotačních pístů způsobí nasávání média na sací straně zařízení, jeho transport do místa výtlaku a kompresi. Systém je opatřen synchronizačním soukolím s broušeným šikmým ozubením, které zajišťuje přesnost a plynulost otáčení rotorů. Současně vymezuje vůle pro bezdotykové odvalování rotorů, které tak není třeba mazat a nemůže proto dojít ke kontaminaci média olejem. [3, 14, 17]

#### **2.4.6 Dosazovací nádrž**

Zde nejde o pouhou separaci aktivovaného kalu od vyčištěné vody, ale někdy se uvažuje i doba zdržení kalu, nutná pro procesy při odstraňování dusíku. Většinou (opět u této kategorie ČOV) se zachycený kal přečerpává automaticky v časovém režimu (časové spínání). [17]

#### **2.4.7 Stabilizace a uskladňování kalu**

Uvažujeme pouze uskladnění nebo aerobní stabilizaci. Aerobní stabilizaci v automatickém provozu zajišťuje dávkování vzduchu (mechanické, pneumatické) v časovém režimu. Při dlouhodobém uskladnění se občasné promíchávání nádrže většinou nespojuje s automatickou provozu. Stejně tak se v této kategorii čistíren nepoužívá automatický režim odkalování kalových nádrží. [17]

#### **2.4.8 Odvodnění kalu**

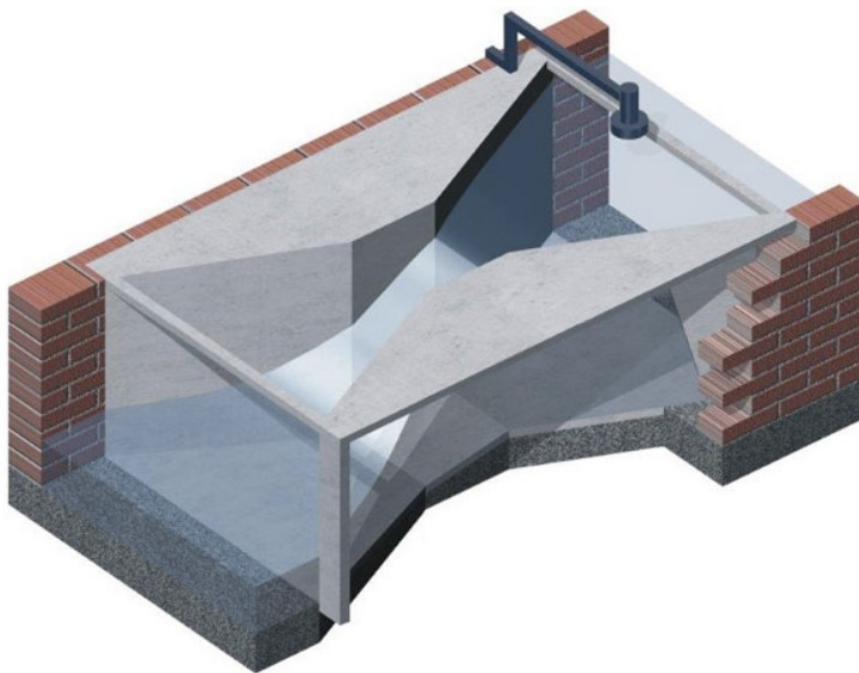
Do automatického provozu lze nastavit chod strojního zařízení pro odvodňování kalů, tj. nejčastěji používané odstředivky nebo sítopásové lisy. Prvotní optimální nastavení dávkování kalu a příslušného flokulantu připraví obsluha a také občasným dohledem kontroluje optimální průběh procesu. Do odvodňovacích vaků nebo na kalová pole může se stabilizovaný kal čerpat v nastavených časových intervalech, tato řešení však mají omezený význam. [17]

#### **2.4.9 Měření průtoku odpadních vod**

Zařízení pro kontinuální měření průtoků (dále průtokoměry) se sestávají z měrného profilu a elektronického vyhodnocovače průtoku (dále vyhodnocovač). Měrným profilem se ro-



zumí místo, kde dochází k přechodu z říčního proudění na bystřinné případně místo (prizmatický úsek), kde je možno přesně určit závislost průtočné plochy na hloubce a tato je v čase neměnná. Vyhodnocovačem se rozumí zařízení, které čidly (obvykle ultrazvuková, tlaková a magneticko-indukční čidla, plovák) snímá proměnné a údaje předává do vyhodnocovací jednotky. Ta je s využitím statistiky zpracovává a vypočítává průtok a proteklé množství. Vyhodnocovače mohou časovou řadu a statistické údaje ukládat do paměti, předávat údaje do dalších zařízení a případně spínat nebo rozepínat okruhy připojených zařízení (čerpadla, vzorkovače, alarmy, servopohony řízení průtoku atd.) [17]



Obrázek 6 – Parsahlluv měrný žlab [22]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3. POPIS OBJEKTU ČOV

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou řídicího softwaru pro nově postavenou malou čistírnu odpadních vod, která bude čistit a upravovat vodu pro cca 415 obyvatel. Čištění a úprava vody bude probíhat v následujících blocích technologie: čerpací stanice, mechanické předčištění, biologické linky skládající se z aktivační nádrže a dosazovací nádrže, chemické hospodářství, kalojem, a měřením na odtoku z ČOV. Jedna z firem, která se podílela na realizaci stavby ČOV a to zejména v oblasti elektro tak i automatizaci tzn. dodávka řídicího systému, řídicího softwaru a vizualizace je firma Speco control s.r.o sídlící v Tečovicích u Zlína. Firma se zaměřuje zejména na automatizaci čerpacích stanic pro čerpání vody, automatizaci čistíren odpadních vod a automatizaci vodojemů a zařízeních sloužící k úpravě vody.

Čistírna odpadních vod technologickou skladbou odpovídá malé čistírně odpadních vod s aerobní stabilizací kalu.



Obrázek 7 – Areál čistírny

### 3.1 Čerpací stanice

Prvním blokem kam samospádem teče surová odpadní voda je, čerpací stanice, kde budou osazeny 2 čerpadla, nátokový koš, plováky pro minimální a maximální hladinu, tenzometr pro snímání výšky hladiny. Jedná se o betonovou šachtu kruhového tvaru s průměrem 3 m a hloubkou 5 m. Přístup do čerpací stanice bude umožněn přes nerezový žebřík. Voda do čerpací stanice poteče přes nátokový koš, který bude osazen hned na vyústění kanalizace v čerpací stanici tak aby přes něj tekla veškerá přiváděná odpadní voda. Nátokový koš bude sbírat první hrubé nečistoty tak aby velké nečistoty nepronikly k čerpadlům a nezničily je. U nátokového koše bude na povrchu u čerpací stanice osazen jeřábek pro údržbu a čištění nátokového koše.



Obrázek 8 – Čerpací stanice

### 3.2 Strojní česle

Z čerpací stanice je surová voda čerpána do strojních česlí, jejichž jediným úkolem je odstranit ze surové odpadní vody hrubé nečistoty. Surová odpadní voda, která proudí do česlí, proudí přes průliny určenými pro sběr nečistot a vysypání shrabků do nádoby určené pro sběr shrabků. Česle jsou vybaveny kartáči, které automaticky pročištějí pás na sběr shrabků.

### 3.3 Biologická linka

Biologická linka je kompaktní zařízení – aktivace a dosazování jsou sdružené do jediného stavebního objektu. Jedná se o monolitickou betonovou nádrž o vnitřním průměru 7 m, ve které je osazeno technologické zařízení pro aktivaci a dosazování.



Obrázek 9 – biologická linka a chemické hospodářství

### 3.4 Chemické hospodářství

Pro možnost korigování biologického procesu a případné dosažení hodnoty celkového fosforu na odtoku je biologické čištění doplněno o chemické srážení. Jedná se pouze o doplnění fosforu do procesu čištění, jehož dávkování si řídí obsluha čistírny přímo na dávkovacím čerpadle.



Obrázek 10 – Chemické hospodářství

### 3.5 Zásobní nádrž kalu (kalojem)

Kalojem je železobetonová kruhová nádrž o vnitřním průměru 5 m a tloušťkou stěn 40 cm. Dno nádrže tvoří 40 cm silná železobetonová deska. Technologická zařízení v kalojenu jsou ovládána z ocelové plošiny opatřené zábradlím. Přístup na plošinu z terénu je umožněn žebříkem z ocelových trubek. Kal v kalojenu je promícháván a provzdušňován. Pro promíchávání a aerobní stabilizaci kalu je v dmychárně nainstalováno dmychadlo.



Obrázek 11 - Kalojem

### 3.6 Měření na odtoku

Je osazeno v areálu čistírny na odtokovém potrubí vyčištěné vody. Snímání zajišťuje ultrazvukové čidlo v měrném objektu a vyhodnocovací převodník v místnosti obsluhy provozní budovy.

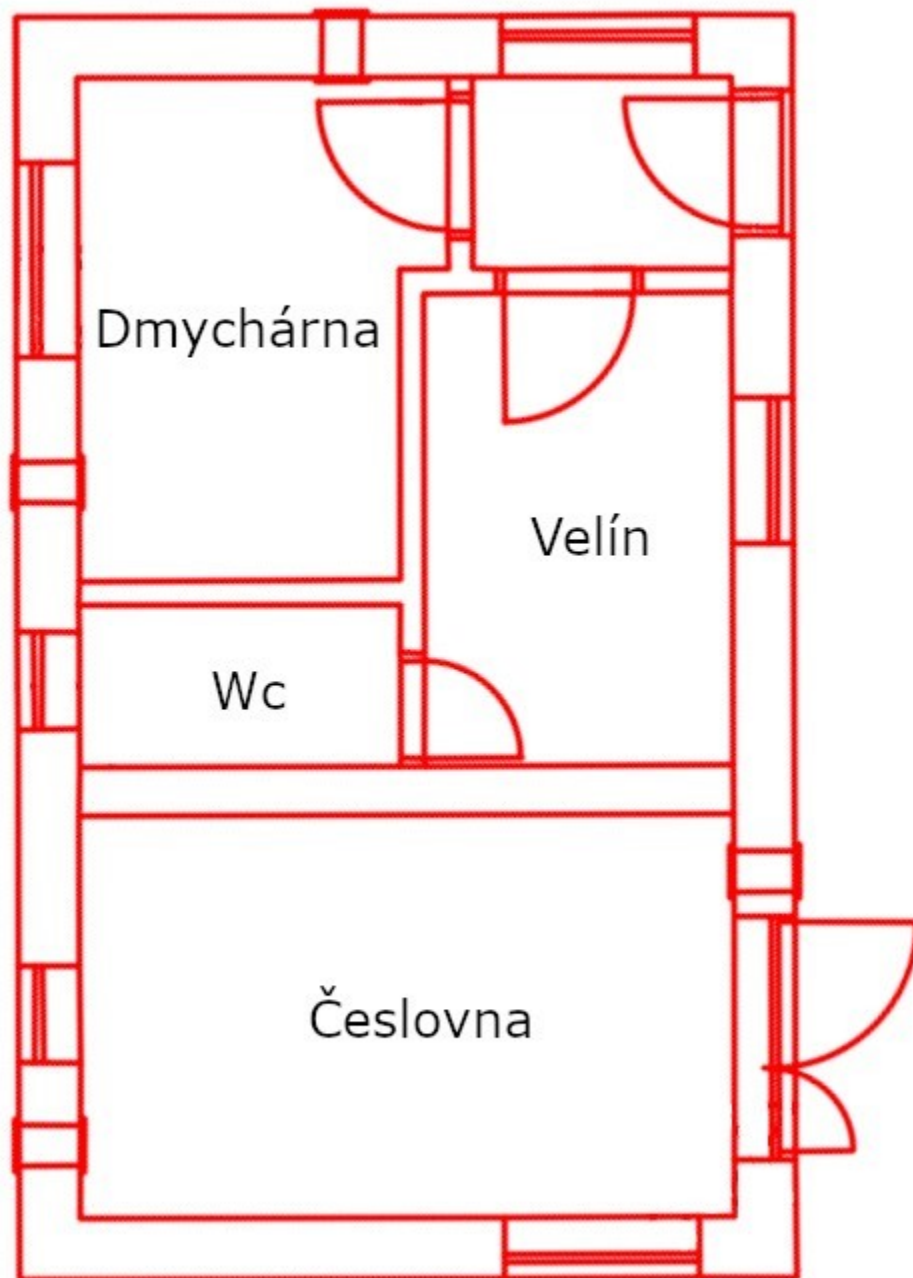


Obrázek 12 – Měření odtoku

### 3.7 Provozní budova

V areálu čistírny se nachází provozní budova, která je rozdělena na 2 části. V první části jsou umístěny rozvaděče technologie, dmychadla a zároveň slouží také jako zázemí pro obsluhu čistírny, tzn. je v ní sociální zařízení, pracovní stůl, provozní řád atd. Ve druhé části jsou osazeny česle.





Obrázek 13 – Provozní budova

## 4. NÁVRH AUTOMATIZACE A FUNGOVÁNÍ ČOV.

Automatická část provozu ČOV bude řízena centrálně v místnosti obsluhy pomocí systému řízení PLC s doplňujícími moduly umístěnými v rozvaděči RM a ovládním pomocí vizualizace na PC. Do řídicího systému ČOV budou od každého motoru přenášeny informace chod, porucha a automatický režim, registrace počtu hodin chodu jednotlivých zařízení, apod..

### 4.1 Teoretický návrh

#### 4.1.1 Čerpací stanice

Fungování čerpací stanice bude vypadat tak, že přímo u čerpací stanice bude na nerezovém stojanu umístěna ovládací (deblokační) skříň, kde bude pro každé ze dvou čerpadel samostatně osazena zelená kontrolka signalizace chodu, žlutá kontrolka signalizace poruchy, tak aby obsluha přímo na místě znala stav každého z čerpadel. Pod světelnou signalizací kontrolky bude umístěn opět pro každé čerpadlo samostatně přepínač se 3-mi polohami – „místně“, „vypnuto“ a „dálkově“. Režim „místně“ znamená zapnutí a vypnutí čerpadla z daného místa, režim „vypnuto“ uvede čerpadlo do klidu tzn. čerpadlo je vypnuto a nelze jej ovládat ani v dálkovém režimu. Pokud se přepneme do režimu „dálkově“ tak čerpadlo lze ovládat dálkově z vizualizace, kde je možnost přepnout do režimu „ručně“ nebo „automaticky“. V režimu „ručně“ se ve vizualizaci povolí možnosti „zapnout“ a „vypnout“ a pouhým kliknutím počítačové myši nebo dotykem na dotykovém panelu, můžeme čerpadlo na dálku vypnout nebo zapnout. Pokud ve vizualizaci vybereme režim „automaticky“ tak se čerpací stanice bude řídit podle minimální a maximální hladiny, které lze nastavit pomocí parametru přímo ve vizualizaci.

Tenzometr pro snímání hladiny bude mít výstup 4-20 mA. Obsluha bude mít možnost pomocí parametrů nastavit minimální a maximální hladinu v čerpací stanici. Tyto hladiny jsou informativní. Hladiny, které zajišťují spínání čerpadel, budou nastaveny 30 cm od maximální a minimální hladiny. Tzn. zapínací hladina, bude nastavena na 30 cm pod maximální hladinou a vypínací hladina bude nastavena 30 cm nad minimální hladinou.

#### 4.1.2 Strojní česle

Česle jsou ovládný v automatickém režimu pomocí vlastního elektrického rozvaděče, který je součástí zařízení. U česlí budou sledovány dva signály a sice chod a porucha česlí,

kteřé budou sloužit pro zaznamenání motohodin a pro informování obsluhy kvůli přehledu o aktuální situaci na ČOV. Motohodiny jsou sledovány kvůli přehledu stáří, opotřebení a nutnosti servisní kontroly zařízení.

#### 4.1.3 Biologická linka

##### *Aktivační nádrž*

Důležitým prvkem biologické linky jsou dmychadla, která budou umístěna v provozní budově mimo biologickou linku. V budově, kde budou osazena dmychadla, bude osazena ovládací (deblokační) skříň pro možnost sledování stavu a ovládnání dmychadel. Pro každé dmychadlo bude osazena světelná signalizace chodu, poruchy a přepínač se třemi polohami – „místně“, „vypnuto“, „dálkově“. Režim „místně“ ovládá čerpadlo ručně z daného místa, režim „vypnuto“ vypne čerpadlo, které v tuto chvíli nelze ovládat ani dálkově z vizualizace. Režim „dálkově“ přesune ovládnání dmychadel na vizualizaci kde, bude na výběr volba „ručně“ a „automaticky“. Při výběru volby „ručně“ se zobrazí možnosti „zapnout“ a „vypnout“. Tyto dvě volby umožňují ručně zapnout nebo vypnout dmychadlo přes vizualizaci. Volba „automaticky“ uvede zapínání nebo vypínání dmychadel do automatického režimu. Jedním z parametrů, které obsluha bude moct nastavovat pro optimalizaci chodu ČOV bude parametr „kyslíkový režim“. Pokud tento parametr bude roven 1 tak dmychadla pojedou v kyslíkovém režimu, pokud bude parametr roven 0 tak dmychadla pojedou v časovém režimu. Časový režim znamená, že dmychadla budou v provozu podle času, který bude moct obsluha zadat do systému pomocí parametru. Doba, po kterou budou dmychadla v klidu, bude mít obsluha možnost rovněž zadat do systému pomocí parametru. Dmychadla se budou v chodu střídát automaticky po sepnutí tzn. v chodu, bude vždy jen jedno dmychadlo, které poběží podle zvoleného času chodu a prodlevy. V kyslíkovém režimu bude chod dmychadel zajišťovat optická sonda, která bude snímat množství kyslíku v nádrži. Přes parametry vizualizace bude mít obsluha možnost zadat dolní a horní přípustnou mez kyslíku. Pokud bude kyslík pod dolní hranicí tak se sepne jedno z dmychadel a pojedou do doby pokud aktivaci neprovzdušní na horní požadovanou mez. Pokud kyslík v aktivaci dosáhne horní meze, dmychadlo se vypne a protože se dmychadla budou střídát po sepnutí tak ve chvíli, kdy kyslík opět klesne pod požadovanou mez, sepne se druhé dmychadlo.

Přímo u biologické linky bude osazena ovládací (deblokační) skříň pro míchadlo aktivace. Na ovládací skříně budou osazena světelná signalizace chodu a poruchy míchadla a přepí-

nač pro režim ovládání „místně“, „vypnuto“, „dálkově“. Režim „místně“ sepne míchadlo okamžitě z daného místa, v režimu „vypnuto“ míchadlo je v klidu a nelze jej zapnout ani dálkově z vizualizace. V režimu „dálkově“ bude možnost ovládat míchadlo z vizualizace, kde bude možnost volby „ručně“ a „automaticky“. Volba „ručně“ nám umožní míchadlo spínat z vizualizace. Volba „automaticky“ znamená, že míchadlo bude v klidu, pokud budou v provozu aktivační dmychadla. Míchadlo bude v provozu pouze v klidu aktivačních dmychadel.

Kyslíkový senzor bude mít vlastní převodník, jehož programování není v této práci řešeno. Data z kyslíkového senzoru budou do PLC zapisována komunikací modbus, kdy převodník bude modbus master a PLC bude modbus slave.

### ***Dosazovací nádrž***

V dosazovací nádrži budou osazena dvě čerpadla. Čerpadlo vratného a přebytečného kalu. Pro obě čerpadla bude platit, že v jejich blízkosti bude osazena ovládací (deblokační) skříň, na níž bude osazena světelná signalizace chodu a poruchy a třípolohový přepínač s režimy „místně“, „vypnuto“, „dálkově“. Režim „místně“ bude umožňovat zapnutí čerpadla z daného místa, režim „vypnuto“ znamená, že čerpadlo bude v klidu a nelze jej ovládat ani v dálkovém režimu z vizualizace. V režimu dálkově bude na vizualizaci možnost zvolit volbu „ručně“ a „automaticky“. V režimu „ručně“ lze čerpadlo ovládat z vizualizace a při volbě „automaticky“, budou čerpadla ovládána časově, kdy bude možnost u každého čerpadla nastavit dobu chodu a dobu prodlevy.

#### **4.1.4 Chemické hospodářství**

Pro možnost korigování biologického procesu je biologické čištění doplněno o chemické srážení, které bude prováděno pomocí membránového dávkovacího čerpadla. Vlastní nastavení bude prováděno přímo na čerpadle bez možnosti vnějšího řízení.

#### **4.1.5 Kalojem**

Kalojem bude provzdušňován pomocí třetího dmychadla v dmychárně. Toto dmychadlo bude dloužit i pro stahování plovoucích nečistot a jeho chod bude závislý na dvou ventilech. V dmychárně přímo u dmychadla bude osazena ovládací (deblokační) skříň osazena světelnou signalizací chodu a poruchy a třípolohovým přepínačem pro režimy – „místně“, „vypnuto“ a „dálkově“. V režimu „místně“ lze dmychadlo ovládat přímo z místa, v režimu „vypnuto“ je dmychadlo v klidu a nelze jej zapnout ani dálkově z vizualizace. A v režimu

„dálkově“ bude možnost ovládní dmyhadla dálkově z vizualizace. Ve vizualizaci budou volby „ručně“ a „automaticky“. Volba „ručně“ nám umožní spínání dmyhadla z vizualizace. To samé bude platit i pro dva ventily za dmyhadlem. U obou ventilů bude možnost volit na deblokačním přepínači režim „místě“, „vypnuto“ a „dálkově“. V automatickém režimu celého systému kalojemu a stahování plovoucích nečistot tzn. všechny tři pohony (dmyhadlo a dva ventily) jsou na deblokační skříni přepnuty do režimů „dálkově“ a ve vizualizaci jsou všude zaškrtnuty volby, automaticky bude systém fungovat následovně: V parametrech na vizualizaci bude možnost zaškrtnout volbu „povolení provzdušnění kalojemu“. Pokud bude volba zaškrtnuta tak bude mít prioritu provzdušnění kalojemu před stahováním plovoucích nečistot. Provzdušnění kalojemu bude probíhat v časovém režimu, kdy obsluha bude mít možnost zadat dobu chodu a dobu prodlevy pomocí parametru. Vzhledem k tomu, že je zaškrtnuta možnost „povolení provzdušnění kalojemu“ a tudíž provzdušňování kalojemu má prioritu tak stahování plovoucích nečistot bude probíhat vždy jen v době prodlevy kalojemu. Dmyhadlo bude závislé na poloze ventilů. Provzdušnění kalojemu bude probíhat pouze, pokud ventil provzdušnění kalojemu bude otevřen. To samé bude platit i pro stahování plovoucích nečistot. Pokud bude potřeba stahovat plovoucí nečistoty tak dmyhadlo pojede jen, pokud bude ventil plovoucích nečistot plně otevřen. V případě, že volba „povolení provzdušnění kalojemu“ nebude zaškrtnuta tak je zakázáno provzdušňovat kalojem a provzdušnění kalojemu nepojede. Tzn., budou se jen stahovat plovoucí nečistoty.

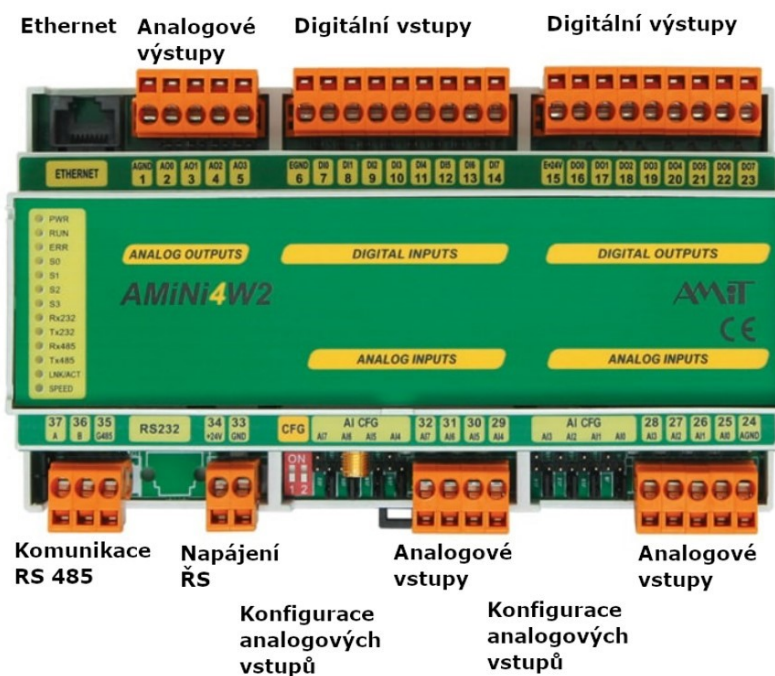
V kalojemu bude osazeno čidlo snímání hladiny v kalojemu s výstupem 4-20 mA sloužící jen pro informativní účely. Obsluha ČOV si bude moct v parametrech zvolit výšku minimální a maximální hladiny tak, aby pokud hladina překročí stanovené meze, byla obsluha o této skutečnosti informována.

#### 4.1.6 Měření na odtoku

Měření na odtoku bude probíhat pomocí ultrazvukového čidla s vyhodnocovacím převodníkem a měrným žlabem. Programování převodníku není v této práci řešeno. Údaje odtoku budou do PLC posílány přes modbus komunikaci kdy převodník odtoku bude modbus master a PLC modbus slave.

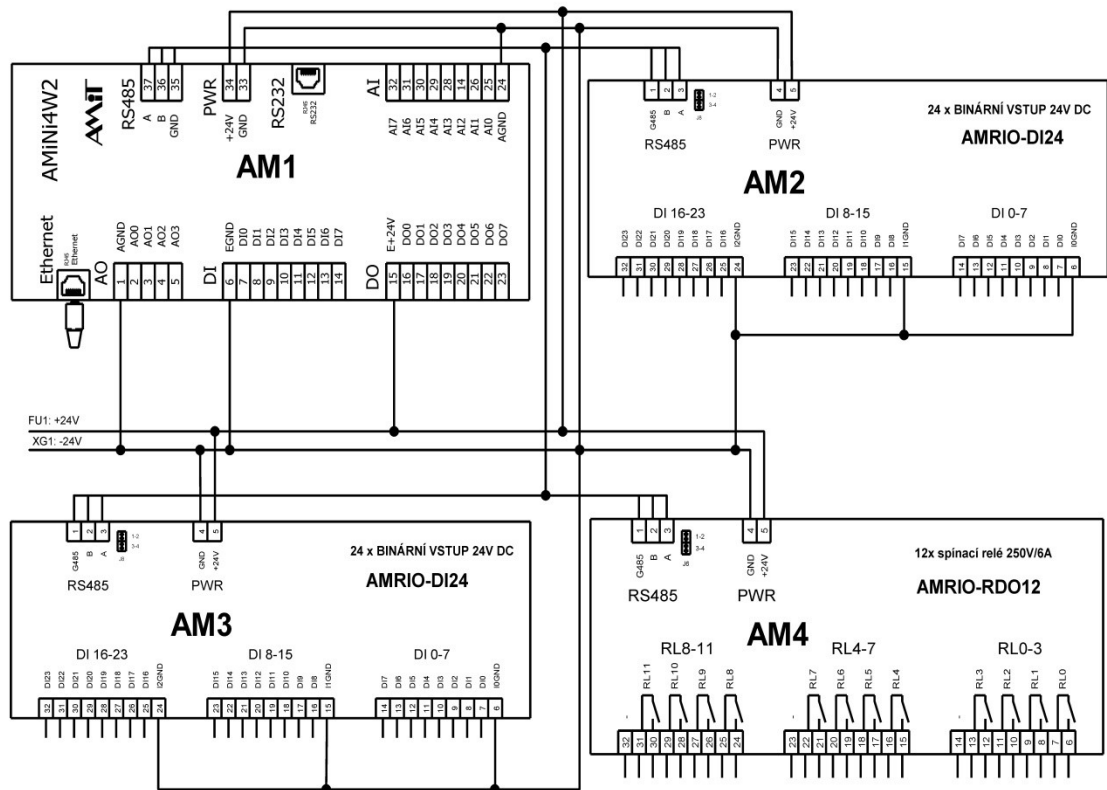
## 4.2 Praktický návrh

Realizace daných algoritmů a celkového systému řízení bude vytvořena pomocí PLC výrobce Amit a přídatných modulů AMRIO. Konkrétně se bude jednat o PLC Amit AMiNi4W2 s dvěma přídatnými moduly AMRIO-DI24 pro rozšíření o digitální vstupy. Z názvu je patrné, že jeden modul AMRIO-DI24 rozšíří řízení o 24 digitálních vstupů, tudíž celkem rozšíříme řídicí sestavu o celkem 48 digitálních vstupů. Posledním modulem, kterým rozšíříme naši sestavu je modul AMRIO-RDO12, pomocí kterého získáme 12 relových výstupů nutných pro dálkové ovládání elektrických pohonů.



Obrázek 14 – PLC AMiNi4W2 [18]

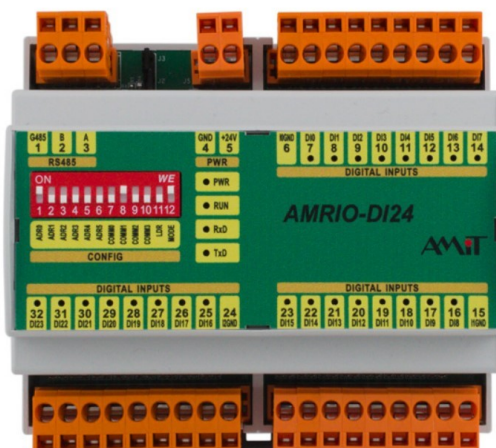
### 4.2.1 Schéma zapojení řídicího systému



Obrázek 15 – Zapojení řídicího systému

### 4.2.2 Vstupy a výstupy

Následující tabulky ukazují zapojení jednotlivých vstupů a výstupů včetně popisu na co jsou určeny, propojení procesoru s přídatnými moduly a napájení procesoru včetně přídatných modulů. U procesoru jsou některé vstupy a výstupy nevyužity.



Obrázek 16 – Rozšiřující modul digitálních vstupů AMRIO-DI24 [21]



Tabulka 3 – Tabulka vstupů a výstupů

Přístroj	Svorka	Typ	Význam
AM1	1	AGND	GND pro analogové výstupy
	2	AO 0	Rezerva
	3	AO 1	Rezerva
	4	AO 2	Rezerva
	5	AO 3	Rezerva
	6	EGND	GND pro digitální vstupy
	7	DI0	Porucha přepět'ové ochrany
	8	DI 1	Výpadek napájení
	9	DI 2	Rezerva
	10	DI 3	Rezerva
	11	DI 4	Minimální hladina v dosazováku
	12	DI 5	Maximální hladina kalojem
	13	DI 6	Rezerva
	14	DI 7	Rezerva
	15	E+24V	Napájení pro digitální výstupy
	16	DO0	Reset mikrotiku
	17	DO 1	Rezerva
	18	DO 2	Rezerva
	19	DO 3	Rezerva
	20	DO 4	Rezerva
	21	DO 5	Rezerva
	22	DO 6	Rezerva
	23	DO 7	Rezerva
	24	AGND	GND pro analogové vstupy
	25	AI0	Rezerva
	26	AI 1	Rezerva
	27	AI 2	Rezerva
	28	AI 3	Měření hladiny v čerpací stanici
	29	AI 4	Měření hladiny v kalojemu
	30	AI 5	Měření venkovní teploty
	31	AI 6	Rezerva
	32	AI 7	Rezerva
	33	GND	GND pro procesor
	34	24V	Napájení pro procesor
	35	GND	Sériová komunikace RS458
	36	B	Sériová komunikace RS458
	37	A	Sériová komunikace RS458

Tabulka 4 – Tabulka vstupů a výstupů

Přístroj	Svorka	Typ	Význam
AM2	1	AGND	Sériová komunikace RS458
	2	B	Sériová komunikace RS458
	3	A	Sériová komunikace RS458
	4	GND	GND napájení
	5	24V	24V napájení
	6	I0 GND	GND pro digitální vstupy
	7	DI 0	Čerpadlo M1 dálkově
	8	DI 1	Čerpadlo M1 Chod
	9	DI 2	Čerpadlo M1 porucha motorové ochrany
	10	DI 3	Minimální hladina v čerpací stanici
	11	DI 4	Maximální hladina v čerpací stanici
	12	DI 5	Čerpadlo M2 dálkově
	13	DI 6	Čerpadlo M2 Chod
	14	DI 7	Čerpadlo M2 porucha motorové ochrany
	15	I1 GND	GND pro digitální vstupy
	16	DI 8	Česle M3 chod
	17	DI 9	Česle M3 porucha
	18	DI 10	Dmyhadlo M4 dálkově
	19	DI 11	Dmyhadlo M4 Chod
	20	DI 12	Dmyhadlo M4 sdružená porucha
	21	DI 13	Dmyhadlo M4 porucha motorové ochrany
	22	DI 14	Dmyhadlo M5 dálkově
	23	DI 15	Dmyhadlo M5 chod
	24	I2 GND	GND pro digitální vstupy
	25	DI 16	dmyhadlo M5 sdružená porucha
	26	DI 17	dmyhadlo M5 porucha motorové ochrany
	27	DI 18	dmyhadlo M6 dálkově
	28	DI 19	dmyhadlo M6 chod
	29	DI 20	dmyhadlo M6 sdružená porucha
	30	DI 21	dmyhadlo M6 porucha motorové ochrany
	31	DI 22	Rezerva
	32	DI 23	Rezerva

Tabulka 5 – Tabulka vstupů a výstupů

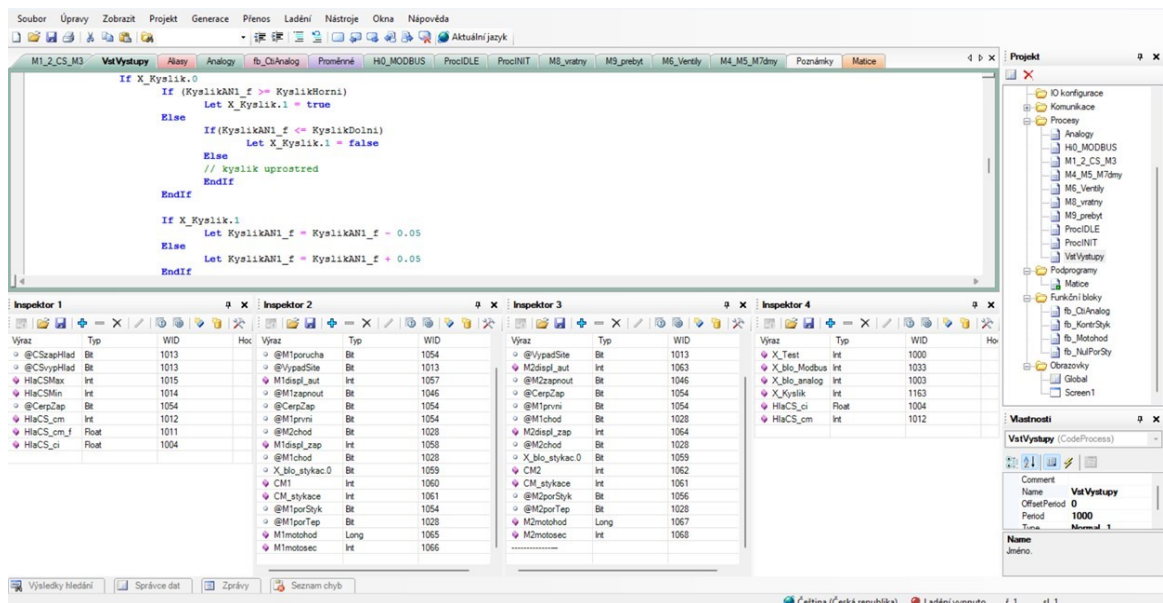
Přístroj	Svorka	Typ	Význam
AM3	1	AGND	Sériová komunikace RS458
	2	B	Sériová komunikace RS458
	3	A	Sériová komunikace RS458
	4	GND	GND napájení
	5	24V	24V napájení
	6	I0 GND	GND pro digitální vstupy
	7	DI 0	Ventil 6.1 dálkově
	8	DI 1	Ventil 6.1 otevřen
	9	DI 2	Ventil 6.1 porucha
	10	DI 3	Ventil 6.2 dálkově
	11	DI 4	Ventil 6.2 otevřen
	12	DI 5	Ventil 6.2 porucha
	13	DI 6	Míchadlo M7 dálkově
	14	DI 7	Míchadlo M7 chod
	15	I1 GND	GND pro digitální vstupy
	16	DI 8	Míchadlo M7 sdružená porucha
	17	DI 9	Míchadlo M7 porucha motorové ochrany
	18	DI 10	Vratný kal M8 dálkově
	19	DI 11	Vratný kal M8 chod
	20	DI 12	Vratný kal M8 porucha motorové ochrany
	21	DI 13	Přebytečný kal M9 dálkově
	22	DI 14	Přebytečný kal M9 chod
	23	DI 15	Přebytečný kal M9 porucha motorové ochrany
	24	I2 GND	GND pro digitální vstupy
	25	DI 16	Dávkovací stanice MT10 chod
	26	DI 17	Dávkovací stanice MT10 porucha
	27	DI 18	Dávkovací stanice MT10 nízká hladina
	28	DI 19	Rezerva
	29	DI 20	Rezerva
	30	DI 21	Rezerva
	31	DI 22	Rezerva
	32	DI 23	Rezerva

Tabulka 6 – Tabulka vstupů a výstupů

Přístroj	Svorka	Typ	Význam
AM4	1	AGND	Sériová komunikace RS458
	2	B	Sériová komunikace RS458
	3	A	Sériová komunikace RS458
	4	GND	GND napájení
	5	24V	24V napájení
	6	RL 0	Zapnutí čerpadla M1
	7	RL 0	Zapnutí čerpadla M1
	8	RL 1	Zapnutí čerpadla M2
	9	RL 1	Zapnutí čerpadla M2
	10	RL 2	Zapnutí dmyhadla M4
	11	RL 2	Zapnutí dmyhadla M4
	12	RL 3	Zapnutí dmyhadla M5
	13	RL 3	Zapnutí dmyhadla M5
	14		
	15	RL 4	Zapnutí dmyhadla M6
	16	RL 4	Zapnutí dmyhadla M6
	17	RL 5	Zapnutí ventilu 6.1
	18	RL 5	Zapnutí ventilu 6.1
	19	RL 6	Zapnutí ventilu 6.2
	20	RL 6	Zapnutí ventilu 6.2
	21	RL 7	Zapnutí míchadla M7
	22	RL 7	Zapnutí míchadla M7
	23		
	24	RL 8	Zapnutí čerpadla M8
	25	RL 8	Zapnutí čerpadla M8
	26	RL 9	Zapnutí čerpadla M9
	27	RL 9	Zapnutí čerpadla M9
	28	RL 10	Rezerva
	29	RL 10	Rezerva
	30	RL 11	Rezerva
	31	RL 11	Rezerva
	32		

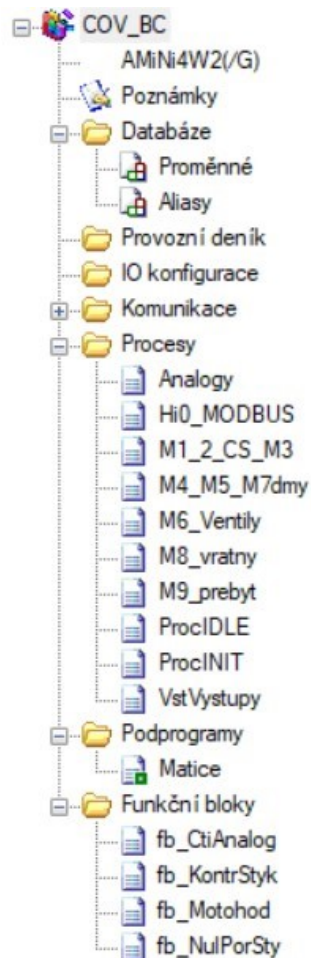
## 5. SOFTWARE PRO PLC.

Pro realizaci softwarové části jsem zvolil PLC výrobce Amit, a to zejména kvůli dobré pověsti a kladným zkušenostem s životností a spolehlivostí u firmy, která instaluje PLC od výrobce Amit již více než 15 let. Program byl vytvořen ve vývojovém prostředí DetStudio.



Obrázek 17 – Vývojové prostředí DetStudio

Software je tvořen z jednotlivých procesů pro ovládání jednotlivých kroků technologie. Tzn. každý krok technologie má vlastní proces. Dále má jeden podprogram a je tvořen několika funkčními bloky, pro usnadnění a zpřehlednění zdrojového kódu pro PLC. Funkční bloky, které zde používám, byly vytvořeny programátory firmy Speco control.



Obrázek 18 – Struktura programu

Následně si řekneme něco o každém z procesů, v pořadí, v jakém jsou uvedeny na obrázku. Viz. obrázek č.18. Vývojové prostředí DetStudio procesy seřadí podle abecedy.

### 5.1 proces – Analogy

Proces s názvem analogy nám slouží k zpracování analogových signálů. V tomto případě budeme sledovat 3 analogové signály. A sice výšku hladiny ve vstupní čerpací stanici pomocí tenzometru s výstupem 4-20 mA, výšku hladiny v kalojemu pomocí ultrazvukového čidla opět s výstupem 4-20 mA a nakonec pomocí odporového čidla Ni1000 venkovní teplotu. Pokud se podíváme na systém čtení analogového signálu tak postup je následující:

Nejprve použijeme modul AnIn, který slouží ke čtení analogového vstupu. Do modulu zadáme parametry jako např. identifikaci fyzického vstupu PLC, ze kterého bude analogový vstup číst, celkový rozsah čteného signálu, minimální a maximální hodnotu čteného

signálu a rozsah fyzikální veličiny, ve které je připojené čidlo schopna měřit. Např. 0-6 bar, 0-10 m atd.

```
AnIn #AI00_3, HlaCS_ci, 20.000, 4.000, 20.000, 0.000, HlaCSCi_R
```

Obrázek 19 – ukázka syntaxe modulu AnIn

Pro každý ze tří analogových vstupů použijeme funkční blok s názvem fb\_CtiAnalog, který má následující funkci a parametry. První proměnnou, kterou do funkčního bloku zadáme je proměnná čtená přímo z analogového vstupu, se kterou blok dále pracuje. Druhá proměnná s názvem odečet slouží pro možnost vykompenzování chybně umístěného nulového bodu čidla. Třetí proměnnou je filtr hladiny. Blok obsahuje filtr 1. řádu, tak aby vyfiltroval náhodné kmity a výstupní hodnota byla více ustálená. Čtvrtá a pátá proměnná obsahuje rozsah konkrétního čidla, šestá a sedmá proměnná je výstup tzn. vyfiltrovaná hodnota datového typu float a druhá je vyfiltrovaná hodnota datového typu integer. Poslední proměnná je datového typu alias běžně známého jako bool, která nám říká, jestli je čidlo v poruše.

Hladinu v čerpací stanici nejprve zadáme do funkčního bloku fb\_CtiAanlog, který nám přefiltruje analogový vstup. Pod funkčním blokem umístíme modul Limiter pro parametry minimální a maximální hladiny tak, aby případný vstup, který zadá uživatel, nemohl přesáhnout stanovené meze. Následně budeme vyhodnocovat binární proměnné minimální a maximální hladiny tak jestli minimální nebo maximální hladina nastala nebo nenastala.

Shodný kód bude i pro hladinu v kalojemu. Nejprve vstup z analogového vstupu zadáme do funkčního bloku fb\_CtiAanlog, kvůli odfiltrování vstupu. Modulem Limiter určíme meze parametrů zadávaných uživatelem, a nakonec budeme vyhodnocovat, jestli nastala nebo nenastala minimální a maximální hladina.

Pro venkovní teplotu již funkční blok použit nebude. Analogový vstup sloužící pro snímání venkovní teploty zadáme přímo do filtru prvního řádu, k čemuž nám slouží modul Filtr1R, do kterého zadáme proměnnou, kterou chceme přefiltrovat, hodnotu filtru v sekundách za kterou dosáhne 63% hodnoty a na výstupu dostaneme přefiltrovanou proměnnou. Dále vyhodnotíme, jestli se teplota nepohybuje mimo rozsah čidla. Pokud ano vyhlásíme poruchu čidla, pokud ne tak teplota bude normálně měřena.

```
// Teplota venkovni
FiltrIR TeplotVen_ci, TeploVen_f, FiltrTepB
Let Pom.0 = (TeploVen_f <- 80) OR (TeploVen_f > 130)
If Pom.0
    //porucha
    Let @TeploVenEr = true
    Let TeplotVen = -999
Else
    //O.K.
    Let @TeploVenEr = false
    Let TeplotVen = int(TeploVen_f * 10.0)
EndIf
```

Obrázek 20 – Ukázka zdrojového kódu pro měření teploty

Dále v procesu Analogy budeme číst hodnoty z převodníku optické sondy na měření provzdušnění aktivace a číst hodnoty z převodníku senzoru pro měření odtoku z čistírny.

S programátorem převodníku optické sondy bylo dohodnuto, že převodník bude zapisovat data do integerové matice o rozměrech jednoho řádku a šesti sloupcích. V prvním sloupci bude proměnná neustále zvyšující svou hodnotu kvůli kontrole komunikace, v druhém sloupci bude uložena hodnota o chybovém stavu senzoru. Třetí a čtvrtý sloupec bude sloužit pro samotnou hodnotu kyslíku v aktivaci, která bude mít datový typ float a pátý a šestý sloupec bude zapisovat teplotu vody rovněž datového typu float. Samotné čtení z převodníku zahájíme zjištěním, jestli se číslo v prvním sloupci matice mění, tak abychom vyloučili poruchu komunikace mezi převodníkem a PLC. Pokud nastane chyba, vyčkáme nějakou dobu, v našem případě jednu minutu a vyhlásíme chybu komunikace mezi PLC a převodníkem. Pokud komunikace probíhá v pořádku tak jako první věc kontrolujeme, jestli nenastala chyba senzoru. Poté podmínkou zkontrolujeme, jestli je porucha komunikace nebo jestli nenastala porucha senzoru. Pokud ano, uložíme do hodnot kyslíku a teploty vody vysoké záporné hodnoty, tak abychom na první pohled viděli, že kyslík neměří. Jestli všechny komunikace proběhly v pořádku a kyslíkový senzor není poruchový tak proběhne vyhodnocení provzdušnění aktivace a teploty vody.

Zápis hodnot z odtoku bude opět po dohodě s programátorem převodníku odtoku předáván maticí o rozměrech jednoho řádku a šesti sloupcích. První sloupec bude opět neustále se zvyšující číslo pro potřebu kontroly komunikace mezi PLC a převodníkem. Ve druhém sloupci matice bude předávána informace o chybovém stavu senzoru měřícího průtok. Dále bude v matici předávána informace o výšce hladiny a okamžitého průtoku a na posledních



dvou sloupcích bude předávána hodnota celkového průtoku, která bude datového typu word. Zdrojový kód je téměř shodný se zdrojovým kódem, který obsluhuje čtení hodnot z převodníku kyslíku. Nejprve se zjistí, jestli není nějaká chyba, ať již se jedná o poruchu komunikace mezi PLC a převodníkem nebo poruchu samotného senzoru. Pokud nastala chyba tak do výstupních hodnot zapíšeme opět vysoké záporné hodnoty tak aby bylo ihned patrné jestli měření a zápis hodnot probíhá správně. Pokud měření a zápis proběhne správně, uložíme hodnoty do proměnných, které jsou na to určeny.

## 5.2 proces – Hi0\_MODBUS

Proces Hi0\_MODBUS zjišťuje poruchu komunikace s přídatnými moduly AMRIO. AMRIO jsou moduly, které PLC Amit rozšiřují o přídatné vstupy, výstupy, releové kontakty apod.

Na začátku samotného procesu je umístěna podmínka, která hlídá proměnnou, která pro účely ladění programu, pokud je potřeba, vyřadí proces z provozu. Danou proměnnou může měnit jedině programátor, který potřebuje proces z nějakého důvodu (nejčastěji ladění celého programu) vyřadit. Pokud budeme považovat běžný stav tak je tato proměnná nulová a proces normálně běží. Proces je složen dále z jednotlivých bloků kódu.

Prvním blokem kód vykonává kontrolu komunikace a v případě, že zjistí chybu v komunikaci tak se po určitém časovém okamžiku pokusí nainiciovat zaseklý cyklus modbus. V našem případě je nastaveno 40s.

Pro zjišťování chyby komunikace u přídatných modulů bude použit podobný blok kódu, proto bude popsán jednou a na případné odlišnosti bude upozorněno.

Komunikace a zjišťování chyb proběhne v modulu Switch, který bude obsahovat 4 moduly Case. V prvním Case je vyžádáno čtení z modulu AM1. Ve druhém modulu začneme tím, že zjistíme, jestli komunikace s přídatným modulem proběhla, případně jestli probíhá. Pokud komunikace proběhla tak zjistíme, jestli proběhla správně, pokud ano vynulujeme čítače pro vyhodnocení chyby komunikace. Pokud komunikace proběhla s chybou, začneme počítat, kolikrát komunikace skončila s chybou a pokud přesáhne stanovený počet, vyhlásíme chybu komunikace s modulem. Ať již komunikace s prvním modulem proběhla s chybou nebo bez chyby tak na konci case se vyžádá vyčtení proměnné z modulu AM2 a proběhne stejné zjišťování průběhu komunikace, které bylo nyní popsáno. Na konci je rozdíl jen v tom, že se do proměnné, která se zapisuje do AM4 uloží požadované data. Opět

nezáleží na tom, jestli komunikace s přídatným modulem AM2 proběhla s chybou nebo bez chyby a přeskočí se na zjišťování chyb komunikace s modulem AM4 po jehož dokončení se celý cyklus Switch opakuje znovu.

### 5.3 proces – M1\_2\_CS\_M3

Proces, který řídí čerpací stanici, začneme definováním zapínací a vypínací hladiny. Vypínací hladina bude definována jako hladina 30 cm nad minimální hladinou, kterou zadá uživatel jako parametr pro vyhodnocení hlášení minimální hladiny. Zapínací hladina bude definována jako hladina 30 cm pod maximální hladinou zadanou uživatelem jako parametr. Následně je vyhodnocována potřeba čerpání, a sice jestli je hladina v mezích a jaký byl předchozí stav. Pokud hladina dosáhne hodnot zapínací hladiny tak se povolí čerpání do té doby, dokud se hladina nedostane do hodnot vypínací hladiny. Pokud hladina dosáhne vypínací hladiny tak se čerpání zakáže, dokud hladina opět nedosáhne zapínací hladiny.

```
//Hlídání zapínací a vypínací hladiny - zapínací je 30 cm
//pod maximalni a vypínací je 30 cm nad minimalni
Let @CSzapHlad = IF(HlaCS_cm >= (HlaCSMax-30), true, false)
Let @CSvypHlad = IF(HlaCS_cm <= (HlaCSMin+30), true, false)
// řízení čerpání

Let @CerpZap = IF (@CSzapHlad, true, @CerpZap)
Let @CerpZap = IF (@CSvypHlad, false, @CerpZap)
```

Obrázek 21 – Ukázka zdrojového kódu pro definici zapínací a vypínací hladiny a následné řízení podle hladin

Následně kód programu řeší střídání čerpadel. Čerpadla budou spínány po sepnutí. Nejprve se vyhodnocuje, jestli některé z čerpadel je v chodu. Poté do pomocné proměnné uložíme stav čerpadla M1. Pokud M1 bylo v chodu, uložíme do pomocné proměnné logickou „1“, pokud čerpadlo nebylo v provozu, uložíme do pomocné proměnné logickou „0“. Poté se vyhodnocuje podmínka, aby byla obě čerpadla v klidu. Pokud jsou obě čerpadla v klidu a pomocná proměnná, je v logické „1“ tzn. čerpadlo M1 bylo nyní v chodu tak se zjistí, jestli je M2 připraveno a pokud M2 je připraveno tak se povolí chod M2 a zakáže chod M1. Pokud by pomocná proměnná byla v logické „0“ tzn. čerpadlo M1 nebylo nyní v chodu tak se zjistí, jestli je M1 připraveno pro chod a pokud je M1 připraveno tak se povolí chod M1 a zakáže se chod M2.

Nyní si řekneme něco k bloku kódu, který se stará o základní řízení jednoho čerpadla. Bloky kódu jsou pro obě čerpadla velmi podobné, bude zde popsán blok kódu pro jedno čerpadlo a na odlišnosti druhého bloku kódu bude případně upozorněno. Vzhledem k tomu, že čerpadlo se dá na místě ovládat z ovládací skříně v ručním režimu na vypínač tak pro povel chodu čerpadla z řídicího systému je potřeba aby čerpadlo bylo na ovládací skříně přepnuto na automatický režim a nebyl výpadek napájení a čerpadlo nebylo v poruše. Pokud je čerpadlo v ručním režimu tak se nuluje porucha a zakáže chod, protože v ručním režimu čerpadlo není řízeno z PLC ale pouze přepínačem. Pokud je na deblokační skříně přepínač nastaven do polohy „dálkově“ tak záleží na tom, jestli je ve vizualizaci nastaven ruční nebo automatický chod. Pokud je ruční chod tak se to dá trvale zapnout nebo vypnout z vizualizace, pokud není sepnut plovák minimální hladiny. Pokud ve vizualizaci zvolíme možnost automatického režimu tak se čerpadla spínají, pokud jsou splněny podmínky:

- 1) povolení čerpání závislé na zapínací a vypínací hladině
- 2) pokud dané čerpadlo zrovna nejelo
- 3) pokud zrovna není v chodu druhé čerpadlo (vzájemná blokace).

Dále je zde využit funkční blok hlídající zpětnou vazbu sepnutí daného stykače nebo relé. Do funkčního bloku zadáme požadavek na zapnutí pohonu a signál sepnutí daného stykače nebo relé. Pokud je požadavek na sepnutí pohonu a nepříjde signál sepnutí tak se začne odpočítávat nastavená doba a po uplynutí stanovené doby se vyhlásí časová porucha. Na samotném konci bloku programu jsou použity 2 funkční bloky, a sice funkční blok pro nulování časové poruchy a pro počítání motohodin čerpadla. Časová porucha se nuluje přepnutím přepínače na deblokační skříně do jiné polohy než je poloha „dálkový režim“. Zaznamenávání motohodin je jen informační pro přehled opotřebení pohonu, případně pro včasné servisování.

Na konci celého procesu se sledují motohodiny česlí pouze pro informativní účely.

#### **5.4 proces – M4\_M5\_M7dmy**

Proces začíná ošetřením vybraných proměnných modulem Limiter tak aby vybrané proměnné nenabyli jiných než požadovaných hodnot. Následně zdrojový kód popisuje dva režimy chodu aktivace a aktivačních dmychadel, a sice režim časový a režim kyslíkový. Volba režimu bude záležet na obsluze, která bude mít možnost v parametrech vizualizace vybrat režim aktivace. Pokud je vybrán „kyslíkový“ režim tak se chod aktivačních

dmychadel řídí podle provzdušnění aktivace, které sleduje optický senzor. Chod dmychadel je naprogramován tak aby pokud bude aktivace provzdušněna na horní mez kyslíku tak bude zahlášeno pro informativní účely, že kyslík dosáhl horní meze, bude zakázán chod aktivačních dmychadel a povolen chod míchadla aktivace tak aby míchadlo aktivace bylo v souladu s požadavkem, kdy aktivační dmychadlo bude v chodu, pouze pokud nebude probíhat provzdušňování aktivace. Z důvodu zákazu chodu dmychadel bude provzdušnění aktivace postupně klesat. Ve chvíli kdy kyslík klesne pod dolní mez tak se pro informativní účely zahlásí dosažení dolní meze kyslíku v aktivaci, povolí chod aktivačních dmychadel a zakáže chod míchadla aktivace.

V případě, že uživatel zvolí časový cyklus aktivace, tak dmychadla pojedou v nastaveném času chodu a prodlevy. Čas chodu a prodlevy bude mít možnost uživatel nastavit v parametrech vizualizace. Samotný zdrojový kód časového režimu aktivace bude realizován modulem Switch se dvěma moduly Case. Časový režim začne modulem Case, který začne počítat dobu chodu provzdušnění a bude hlídat, aby čas chodu nepřekročil čas zadaný parametrem. Po dobu než dosáhne času nastaveného parametrem, bude povolen chod aktivace, zakázán chod míchadla a doba prodlevy bude vynulována. V případě, že čas chodu bude roven času, který byl zadán parametrem, vynuluje se čítač chodu a přepne se vykonávání programu do druhého modulu Case. Druhý modul Case bude fungovat velmi podobě s tím rozdílem, že bude hlídat dobu prodlevy. Po dobu kdy stanovená doba prodlevy nebyla dosažena, bude zakázán chod dmychadel a povolen chod míchadla s následným vynulováním čítače chodu. Až doba prodlevy dosáhne stanoveného času, vynuluje se čítač chodu a vykonávání programu bude přesměřováno na první modul Case.

Dalším kódem v pořadí je nulování cyklu. Nulování cyklu hlídá, aby alespoň některé z čerpadel bylo přepnuto do dálkového režimu na deblokační skříně a zároveň přepnuto na automatický režim ve vizualizaci. Pokud tahle podmínka není splněna tak se vynulují čítače chodu a prodlevy a zakáže chod aktivace.

Střídání dmychadel je řešeno stejně jako střídání čerpadel čerpací stanice, které je popsáno výše.

Základní řízení pohonů je řešeno opět stejně jako u čerpadel vstupní čerpací stanice, rozdíl je vždy jen v podmínce pro chod pohonu. U dmychadel musí být povolen chod aktivace a zároveň se hlídá, které z čerpadel bylo v chodu.

U míchadla se zjišťuje, pouze jestli je povolen chod.

## 5.5 proces – M6\_Ventil

Proces začínáme modulem Limiter pro parametry doby chodu a prodlevy jak pro sběr plovoucích nečistot, tak pro provzdušňování kalojemu. Modul Limiter je tam proto, aby obsluha ČOV nemohla zadat tyto parametry mimo určené meze. Zdrojový kód pokračuje dvěma bloky kódu, které řeší časový cyklus pro sběr plovoucích nečistot a časový cyklus pro provzdušňování kalojemu. Oba bloky kódu jsou až na malé rozdíly téměř shodné se zdrojovým kódem pro časový cyklus dmychadel, který je popsán výše, proto zde zmíním jenom rozdíly, ve kterých se kódy liší. U provzdušnění kalojemu je podmínka aby obsluha přes parametr vizualizace povolila provzdušňování kalojemu a až pokud je tato podmínka splněna tak se začne vykonávat časový cyklus. V době chodu se nastaví navíc dvě pomocné proměnné, a sice proměnná, která říká, jestli se kalojem aktuálně provzdušňuje a druhá, která určuje povolení chodu dmychadla z kalojemu. Zejména první proměnná je důležitá pro časový cyklus plovoucích nečistot, protože pokud probíhá provzdušnění kalojemu, které má prioritu tak se zakáže sběr plovoucích nečistot. I v časovém cyklu je pomocná proměnná pro povolení chodu dmychadla od sběru plovoucích nečistot. Obě proměnné tzn. proměnná povolení chodu dmychadla z kalojemu tak i od sběru plovoucích nečistot jsou podmíněny otevřením příslušného ventilu. Tzn., než se povolí chod dmychadla z kalojemu tak se čeká na koncový spínač ventilu, který otvírá potrubí pro provzdušnění kalojemu a než se povolí chod dmychadla pro sběr plovoucích nečistot tak se čeká na koncový spínač ventilu, který otvírá vzduchové potrubí pro sběr plovoucích nečistot. Na konci časových cyklů se povoluje chod dmychadla na základě toho, jestli je povolen chod z kalojemu nebo od sběru plovoucích nečistot pomocí logické funkce OR.

Základní řízení pohonů, tzn. hlídání, jestli je pohon v automatu, poruše, přepnut ve vizualizaci v automatickém režimu nebo jestli není výpadek napájení, je téměř shodné se základním řízením pohonů čerpací stanice, i aktivačních dmychadel. Opět se zde liší jenom v základní podmínce pro zapnutí pohonu, a sice u dmychadla je to pouze podmínka povolení chodu, který je závislý na povolení chodu signalizovaného buď z kalojemu, nebo plovoucích nečistot jak je popsáno výše. A u ventilů je tato podmínka spojena s vykonáváním doby chodu u příslušného procesu.

## 5.6 proces – M8\_vratny

Proces určuje chod čerpadla M8 vratného kalu. Proces začíná modulem Limiter tak aby proměnné pro chod a prodlevu dmychadla nepřesáhly stanovené meze. Dále proces pokračuje

čuje v podstatě 2 samostatnými bloky kódu. A sice první blok kódu bude hlídat dobu chodu a prodlevy tak aby se čerpadlo čerpalo jen stanovenou dobu a poté nečerpalo po dobu, kterou si určí obsluha. Blok kódu začíná podmínkou sepnutého plováku tak aby čerpadlo nejelo nasucho a pokud je podmínka splněna tak kód pokračuje modulem Switch, který má 2 případy Case, jeden pro chod a druhý pro prodlevu.

Switch Test	Přepínač podle hodnoty
Case 0	proměnné Test
. . .	Větev pro hodnotu proměnné=0
EndCase	Příkazy/moduley větve
Case 1	Konec větve
. . .	Větev pro hodnotu proměnné=1
EndCase	
Case 2	Větev pro hodnotu proměnné=2
. . .	
EndCase	
. . .	Implicitní větev pro všechny
	ostatní hodnoty proměnné
EndSwitch	Konec přepínače

Obrázek 22 – Ukázka syntaxe modulu Switch

Následné vysvětlení kódu bude velmi zestručněno z důvodu toho, že podobný blok kódů je použit v předchozích procesech. Pro případ, že proměnná modulu Switch má hodnotu logické „0“ tak se sepne čerpadlo vratného kalu a počítá se chod čerpadla. Pokud chod čerpadla dosáhne stanoveného času, přeskočí proměnná modulu Switch na hodnotu logické „1“ a zastaví se čerpadlo vratného kalu.

I zde je řešeno nulování cyklu. Tzn., hlídání jestli je pohon sepnut na deblokační skříní do dálkového režimu a zároveň ve vizualizaci přepnut do automatického režimu.

Základní řízení pohonů je řešeno stejně jako u ostatních pohonů, rozdíl je opět jen v podmínce pro chod pohonu. Zde je podmínka určena tím, že musí být povolen chod čerpadla a zároveň nesmí být minimální hladina v dosazovací nádrži.

## 5.7 proces – M9\_prebyt

Zdrojový kód a fungování čerpadla přebytečného kalu je jen s malými rozdíly téměř shodné jako u čerpadla vratného kalu. Rozdíl spočívá pouze v tom, že v základním řízení pohonu je jako podmínka pro chod určena - povolení chodu, zároveň nesmí být minimální hla-

dina v dosazovací nádrži a zároveň nesmí být maximální hladina v kalojemu tak aby se kalojem zbytečně nepřeplnil.

### **5.8 proces – ProcIDLE**

Tento proces je automaticky vytvořen vývojovým prostředím DetStudio a slouží k propojení softwarové části řídicí stanice se softwarovou částí určenou pro monitor, který slouží ke grafickému zobrazování na display, pokud PLC disponuje displayem.

### **5.9 proces – ProcINIT**

Tento proces je spuštěn právě jednou a to po startu procesní stanice a ještě před spuštěním jakéhokoliv jiného procesu. V tomto procesu je výhodné umístit veškeré inicializační sekvence, kterými se zajišťují počáteční podmínky běhu aplikace. Zde jsou uloženy moduly, které definují modbus komunikaci s přídatnými moduly a adresování proměnných pro modbus komunikaci s vizualizací.

### **5.10 proces – VstVystupy**

Proces začíná podmínkou proměnné, která umožňuje programátorovy ladění programu. V případě, že programátor nastaví příslušnou proměnnou do logické „1“ tak se načtou fyzické vstupy a výstupy a simuluje se zpětná vazba sepnutí u pohonů, simulace ventilů YV6.1 a YV6.2 pro kalojem a plovoucí nečistoty, které od povelu otevřít zahlásí signál otevřeno až po 10s a dále se simuluje provzdušnění aktivace.

```
// == simulace kyslíku|
//*****

If X_Kyslik.0
  If (KyslikAN1_f >= KyslikHorni)
    Let X_Kyslik.1 = true
  Else
    If(KyslikAN1_f <= KyslikDolni)
      Let X_Kyslik.1 = false
    Else
      // kyslik uprostred
    EndIf
  EndIf

  If X_Kyslik.1
    Let KyslikAN1_f = KyslikAN1_f - 0.05
  Else
    Let KyslikAN1_f = KyslikAN1_f + 0.05
  EndIf
EndIf
```

Obrázek 23 - Ukázka zdrojového kódu simulující provzdušnění aktivace pro účely ladění programu

Kyslíková simulace přičítá hodnotu kyslíku po 0,05, dokud nedosáhne horní stanovené meze a poté od hodnoty kyslíku odčítá 0,05, dokud nedosáhne dolní stanovené meze a pak se celý cyklus opakuje tak aby hodnota kyslíku se pohybovala mezi horní a dolní stanovenou mezí. Pokud ladění neprobíhá tak probíhá normální čtení fyzických vstupů z procesoru a následně probíhá čtení vstupů z přídatných modulů, kde se nejprve zjišťuje, jestli nenastala chyba komunikace s modulem. Pokud chyba komunikace nastala, proměnná, do které se ukládají vstupy z přídatného modulu, se nastaví na hodnotu „0“ tak aby všechny bity proměnné, do kterých se ukládají jednotlivé signály vstupů, byly nulové. Pokud chyba komunikace nenastala tak proběhne bitový součin tak aby bylo případně možné jednotlivé bity negovat, tzn., aby bylo možné negovat signál přicházející z fyzického vstupu přídatného modulu. To platí pro oba přídatné moduly digitálních vstupů. Zápis do modulu digitálních výstupů se provádí v procesu Hi0\_MODBUS. Po čtení přídatných modulů se provádí zápis na logické výstupy procesoru a na samotném konci procesu se nachází zdrojový kód, který obsluhuje zpoždění obnovení výpadku sítě tak aby byl opětovný provoz po výpadku sítě ustálen a nedocházelo k nárazovému zapínání a vypínání systému.



## 6. PRAKTICKÉ POZNÁMKY ZJIŠTĚNÉ PŘI REALIZACI.

Použití realizovaného řešení vedlo k přesnějším monitorování a řízení čistících procesů, což umožňuje rychlejší a přesnější reakce na měnící se vstupní podmínky a zajišťuje konstantní kvalitu vyčištěné vody. Výhody řešení také zahrnují snížení potřeby lidského zásahu a možnost kontinuálního provozu, což je zásadní pro zajištění nepřetržitého a kvalitního čištění odpadní vody. Jednou z výhod realizovaného řešení je, že u některých pohonů je možnost využití časových cyklů tak aby si obsluha ČOV mohla zvolit dobu chodu a dobu prodlevy. Tento systém ovládání je ceněn zejména v době rekonstrukce nebo poruchy a výměny čidel. Obsluha si tímto způsobem může pohodlně a poměrně efektivně uzpůsobovat dobu práce pohonu podle potřeb.

Slabá místa jsou zejména to, že zde není řešen alespoň přenos poruch prostřednictvím SMS tak aby na případné poruchy mohla obsluha nebo provozovatel ČOV adekvátně reagovat.

### 6.1 Čerpací stanice

Jedním z možných slabin řízení čerpací stanice je to, že zapínací a vypínací hladina je napevno stanovena na 30cm od minimální a maximální hladiny. Bylo by vhodnější zapínací a vypínací hladinu předávat do systému jako parametry tak aby byla možnost korekce těchto hladin obsluhou. V softwaru by se musel následně ošetřit vstup těchto hodnot tak aby uživatel nemohl do systému zadat vypínací hladinu výše než zapínací nebo vypínací hladinu níže než minimální, což by vzhledem k jistění čerpadla plovákem nemělo být likvidační pro čerpadlo, ale mohl by vzniknout zmatek při obsluze ČOV.

Rovněž v softwaru není řešeno hlídání polohy minimální a maximální hladiny takže reálně se může stát, že uživatel zadá minimální hladinu nad maximální. Software jen hlídá hodnoty ale nikoliv správné pořadí poloh. Tato chyba by ale z důvodu proškolení obsluhy a logické úvahy měla být minimalizována a mělo by na to být upozorněno v provozním řádu ČOV.

### 6.2 Aktivace

U aktivačních procesů se nabízí možnost využití PID regulátoru tak aby v kyslíkovém režimu bylo udržováno provzdušnění aktivace na konstantní hodnotě.

Další možnou slabinou je téměř okamžité spuštění míchadla aktivace po ukončení provzdušnění. Vhodnější by bylo, aby spuštění míchadla mělo určitou dobu zpoždění od vypnutí aktivačních dmychadel.

### **6.3 Dosazovací nádrž**

Zefektivnění procesu čerpání přebytečného kalu by se mohlo zrealizovat také tím, že se do softwaru zadá množství přebytečného kalu, které se má přečerpat za 24h. Software by si sám vypočítal a rozvrhl dobu chodu a klidu čerpadla tak aby tato doba byla rovnoměrně rozložena do celého dne.

### **6.4 Kalojem**

Na některých čistírnách se provzdušnění kalojemu realizuje jen v určitém rozmezí denních hodin. Realizace procesu provzdušnění kalojemu by proto mohla být vylepšena o možnost zvolit si přes parametry vizualizace denní hodinu pro povolení provzdušňování a denní hodinu pro zakázání provzdušňování kalojemu tak aby provzdušnění mohlo probíhat jen určitou část dne.

## ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabýval vytvořením řídicího softwaru pro automatizaci procesů čištění odpadních vod, které představují klíčový prvek v ochraně veřejného zdraví a životního prostředí. Software se podařilo realizovat podle teoretického návrhu fungování jednotlivých procesů na ČOV. Program obsluhuje jednotlivé procesy čistírny, zajišťuje střídání pohonů tak aby byla zátěž rozložena mezi pohony, zjišťuje připravenost jednotlivých pohonů, tzn., jestli jsou přepínače režimů práce pohonů přepnuty do správných poloh, jestli pohony nejsou v poruše, případně jestli není výpadek napájení na celé ČOV. Dále hlídá důležité meze hladin, hodnoty parametrů a komunikuje s jinými přístroji pomocí modbus komunikace z pozice modbus slave zařízení. Do PLC zapisuje např. převodník kyslíkové sondy koncentraci kyslíku v aktivaci. Převodník a zobrazovací jednotka odtoku zapisuje aktuální a celkový průtok. Zařízení SCADA/HMI do PLC zapisuje a čte hodnoty důležité pro vizualizaci, ovládání nebo regulaci procesů na ČOV. Do softwaru byly naprogramovány i simulace důležitých funkcí procesů kalojemu, plovoucích nečistot a aktivace z důvodu řádného odzkoušení před aplikací do ostrého provozu a zároveň pomocí simulátoru modbus master zařízení byla odladěna i modbusová komunikace.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CHUDOBA, Jan. *Odpadní vody a jejich čištění*. Praha: KONEKO, 1991. ISBN 808512209X.
- [2] BINDZAR, Jan. *Základy úpravy a čištění vod*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 9788070807293. Dostupné také z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid\\_isbn-978-80-7080-729-3/anotace/](http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-729-3/anotace/).
- [3] HERLE, Jaromír a BAREŠ, Pavel. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 8003005876.
- [4] CHUDOBA, Jan; DOHÁNYOS, Michal a WANNER, Jiří. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 8003006112.
- [5] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: ComputerPress, 2014. ISBN 9788025136287.
- [6] PLESKOT, Alois. *Základy automatizace*. Praha: Informatorium, 2019. ISBN 9788073331368.
- [7] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace*. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073000873.
- [8] HRUŠKA, František. *Technické prostředky automatizace IV: snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky*. Vyd. 3. Učební texty vysokých škol. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. ISBN 8073182742.
- [9] DVOŘÁČEK, Karel. *Příručka pro zkoušky projektantů elektrických instalací*. 3. aktual. vyd. ., 2018. ISBN 978-80-87942-38-3.
- [10] MACHÁČEK, Václav. *Elektrické přípojky z vedení distribučních soustav a připojení zákazníků*. 2. aktual. vyd. ., 2018. ISBN 978-80-87942-35-2.
- [11] KRÍŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky elektrotechniků*. 10. aktual. vyd. ., 2012. ISBN 978-80-87942-01-7.
- [12] KLAUS, Tkotz. *Příručka pro elektrotechnika*. 2. dopl. vyd. ., 2006. ISBN 978-3-8085-3034-4.
- [13] KRÍŽ, Michal. *Příručka pro zkoušky vedoucích elektrotechniků*. 4. aktual. vyd. ., 2020. ISBN 978-80-87942-62-8.

- [14] Soustrojí ROOTsových dmychadel [online]. 2024 [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://kubicekvhs.cz/cs/produkty/rootsova-dmychadla/>
- [15] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 756401, Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet (EO) větší než 500. Listopad 1998.
- [16] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 12255-12, Čistírny odpadních vod - Část 12: Automatizovaný systém řízení. Srpen 2004.
- [17] PYTL, Vladimír a kol. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. Praha: Medim, 2004. ISBN 80-239-2528-8.
- [18] AMIT. AMiNi4W2(/G) – univerzální řídicí systém. Online. 2024. Dostupné z: <https://amitotation.cz/produkt/ridici-systemy/amini4w2g/> [cit. 2024-04-19].
- [19] FONTANA R. Samočistící česle - SČČ, hrubé SČČ-H. Online. 2024. Dostupné z: <https://fontanar.cz/cz/reference/> [cit. 2024-04-19].
- [20] HAKOV. Certifikace a reference. Online. Dostupné z : <https://www.hakov.cz/certifikace.html>. [cit. 2024-04-19].
- [21] AMIT. AMRIO – moduly vzdálených Vstupů/Výstupů. Online. C2024. Dostupné z: <https://amitotation.cz/produkt/vzdalene-vstupy-vystupy/amrio/>. [cit. 2024-04-19].
- [22] PARS AQUA. Parshallův měrný žlab. Online. C2022. Dostupné z: <https://pars-aqua.cz/zlaby/parshalluv-merny-zlab.html>. [cit. 2024-04-20].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

BSK	Biologická spotřeba kyslíku
BSK <sub>5</sub>	Biologická spotřeba kyslíku za 5 dní
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
PLC	Programmable logic controller
ČOV	Čistírna odpadních vod
NL	Nerozpuštěné látky
EO	Ekvivalentní obyvatelé
ASŘ	Automatizované systémy řízení
PC	Personal computer
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Blokové schéma technologické linky velkých a středních čistíren odpadních vod [1].....	15
Obrázek 2 - Samočistící česle [19] .....	17
Obrázek 3 – Biologická část [20] .....	19
Obrázek 4 – Blokové schéma technologické linky malých čistíren s aerobní stabilizací kalu [1] .....	22
Obrázek 5 – Blokové schéma technologické linky malých čistíren s anaerobní stabilizací kalu [1] .....	24
Obrázek 6 – Parsahllův měrný žlab [22] .....	41
Obrázek 7 – Areál čistírny .....	43
Obrázek 8 – Čerpací stanice .....	44
Obrázek 9 – biologická linka a chemické hospodářství .....	45
Obrázek 10 – Chemické hospodářství .....	46
Obrázek 11 - Kalojem.....	47
Obrázek 12 – Měření odtoku .....	48
Obrázek 13 – Provozní budova.....	49
Obrázek 14 – PLC AMiNi4W2 [18].....	54
Obrázek 15 – Zapojení řídicího systému .....	55
Obrázek 16 – Rozšiřující modul digitálních vstupů AMRIO-DI24 [21].....	56
Obrázek 17 – Vývojové prostředí DetStudio.....	61
Obrázek 18 – Struktura programu .....	62
Obrázek 19 – ukázka syntaxe modulu AnIn.....	63
Obrázek 20 – Ukázka zdrojového kódu pro měření teploty .....	64
Obrázek 21 – Ukázka zdrojového kódu pro definici zapínací a vypínací hladiny a následné řízení podle hladin .....	66
Obrázek 22 – Ukázka syntaxe modulu Switch .....	70
Obrázek 23 - Ukázka zdrojového kódu simulující provzdušnění aktivace pro účely ladění programu.....	72

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách [2] .....	12
Tabulka 2 – Procesy používané v technologii čištění odpadních vod [2] .....	13
Tabulka 3 – Tabulka vstupů a výstupů .....	57
Tabulka 4 – Tabulka vstupů a výstupů .....	58
Tabulka 5 – Tabulka vstupů a výstupů .....	59
Tabulka 6 – Tabulka vstupů a výstupů .....	60



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – CD se zdrojovými kódy

## **PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY**

BCprace – adresář se zdrojovým kódem