

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021

Bc. Ondřej Kopáč



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MODEL ČISTIČKY ODPADNÍCH VOD ŘÍZENÝ POMOCÍ PLC

WASTEWATER TREATMENT PLANT TESTBED CONTROLLED BY PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Kopáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Pospíšil

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Ondřej Kopáč

ID: 174217

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Model čističky odpadních vod řízený pomocí PLC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Student se seznámí s problematikou čističek odpadních vod, díky tomu vytvoří vlastní simulaci čističky odpadních vod, která bude řízena pomocí programovatelně logického automatu (PLC). V teoretické části student popíše danou problematiku a zaměří se na možné kritické stavy a incidenty u čističek odpadních vod. V praktické části student navrhne a vytvoří vlastní řešení simulace čističky odpadních vod ovládané pomocí PLC. Následně ve vlastní vytvořené síti bude simulovat kritické stavy a provozní incidenty této čističky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SOJKA, Jan. Malé čistírny odpadních vod. Brno: ERA, 2001, 98 s. : il. ISBN 80-86517-11-X.

[2] DUNNING, Gary A. Introduction to programmable logic controllers. Cengage Learning, 2005.

Termín zadání: 1.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Pospíšil

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem čističky odpadních vod, která bude řízena pomocí PLC. V teoretické části jsou popsány druhy odpadních vod a stokových soustav, které jsou důležité při návrhu čističky. V práci jsou také popsány programovatelné logické automaty (PLC), programovací jazyky pro jejich naprogramování, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) systémy a automatizace. Dále se práce zabývá teoretickým popisem čističek vod, jejich funkcí a zabezpečením. V další části je popsán návrh čističky. Poslední částí práce je samotná realizace čističky odpadních vod.

KLÍČOVÁ SLOVA

Odpadní vody, stokové soustavy, čističky odpadních vod, SCADA, PLC, příčkový diagram, HMI, TIA Portal, testovací prostředí.

ABSTRACT

This master thesis deals with the design of a wastewater treatment plant, which will be controlled by a PLC. The theoretical part describes the types of wastewater and sewage systems that are important in the design of wastewater treatment plants. The thesis also describes programmable logic controllers, their programming languages, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) systems and automation. The thesis also deals with theoretical description of wastewater treatment plants, their functions and security. Next part describes the design of the wastewater treatment plant. The last part of the thesis describes implementation of the wastewater treatment plant controlled by a PLC.

KEYWORDS

Wastewater, sewage systems, wastewater treatment plants, SCADA, PLC, ladder diagram, HMI, TIA Portal, testbed.

KOPÁČ, Ondřej. *Model čističky odpadních vod řízený pomocí PLC*. Brno, 2021, 75 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Pospíšil

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Model čističky odpadních vod řízený pomocí PLC“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ondřeji Pospíšilovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
1 Automatizace a průmyslové sítě	12
1.1 Programovatelné logické automaty	13
1.1.1 Programovací jazyky PLC	14
1.2 SCADA	16
1.3 Automatizace čističek odpadních vod	17
2 Čističky odpadních vod	19
2.1 Odpadní vody	19
2.2 Odvádění odpadních vod	20
2.2.1 Jednotná stoková soustava	21
2.2.2 Oddílná stoková soustava	21
2.2.3 Modifikovaná stoková soustava	22
2.3 Rozdělení ČOV	23
2.4 ČOV v České republice	24
2.5 Malé čističky odpadních vod	24
2.6 Střední a velké čističky odpadních vod	25
2.7 Čištění odpadních vod	26
2.7.1 Mechanické čištění	26
2.7.2 Biologické čištění	27
2.7.3 Terciální čištění	28
2.8 Zabezpečení čističek odpadních vod	29
2.8.1 Základní zabezpečení areálu ČOV	29
2.8.2 Výstražné systémy	29
2.8.3 Kybernetická bezpečnost	30
2.9 Kritické stavy ČOV	30
3 Návrh čističky odpadních vod	32
3.1 Funkcionalita návrhu ČOV	34
3.2 Program	37
4 Realizace čističky odpadních vod	41
4.1 Nádrže	42
4.2 Čerpadla a dmychadla	43
4.3 Senzory	47
4.4 Zdroj	49
4.5 PLC	50

4.6	HMI	54
4.7	Program	60
4.8	Simulace kritických stavů	64
4.8.1	Výpadek elektrické energie	64
4.8.2	DoS útok	66
	Závěr	68
	Literatura	70
	Seznam příloh	73
	A Obsah přiloženého souboru s projektem	74

Seznam obrázků

1.1	Rozdělení průmyslových sítí.	12
1.2	Architektura PLC.	13
1.3	Pracovní cyklus PLC.	14
1.4	Příčkový diagram.	15
1.5	Architektura SCADA systému.	16
1.6	Automatizační systém ČOV.	18
2.1	Jednotná stoková soustava	21
2.2	Oddílná stoková soustava	22
2.3	Domovní čistička odpadních vod	25
3.1	Pohled shora a z boku na pracovní stůl s navrženými nádržemi.	33
3.2	Návrh nádrží pro ČOV.	34
3.3	Schéma ČOV.	35
3.4	První část programu.	37
3.5	Druhá část programu.	38
3.6	Třetí část programu.	39
3.7	Čtvrtá část programu.	40
4.1	Čistička odpadních vod	41
4.2	Nádrže realizované ČOV	42
4.3	Zapojení čerpadel a dmychadel	44
4.4	Měnič napětí	45
4.5	Propojení čerpadel/dmychadel s nádržemi	46
4.6	Zapojení plovákových senzorů	47
4.7	Zapojení bezkontaktních senzorů	48
4.8	Zapojení zdroje	49
4.9	Zapojení prvků v síti	50
4.10	Adresace vstupních a výstupních portů PLC	51
4.11	Napájení vstupních a výstupních portů PLC	52
4.12	HMI-úvodní obrazovka	55
4.13	HMI-menu	56
4.14	HMI-stav dmychadel	57
4.15	HMI-stav čerpadel	58
4.16	HMI-stav nádrží	59
4.17	HMI-Vypuštění ČOV	60
4.18	Network 1	61
4.19	Network 2	61
4.20	Network 39	63
4.21	Network 40	64

4.22	Zapojení při simulaci výpadku elektrické energie	65
4.23	Lokální síť pro DoS útok	66

Seznam tabulek

2.1	Vybrané informace o stavu ČOV v ČR mezi lety 2009-2019.	24
3.1	Navržené součástky k realizaci modelu ČOV.	32
4.1	Parametry nádrží.	43
4.2	Parametry vodního čerpadla.	44
4.3	Parametry napájecího modulu.	44
4.4	Parametry plovákového senzoru.	47
4.5	Parametry bezkontaktního senzoru.	48
4.6	Parametry zdroje.	49
4.7	Vybrané specifikace PLC.	50
4.8	Tabulka PLC tagů.	53
4.9	Vybrané specifikace HMI.	54

Úvod

S přibývajícím počtem obyvatel naší planety se zvyšuje i počet vyprodukovaných odpadních vod, se kterými si příroda bez pomoci neporadí. S touto skutečností začaly vznikat čističky odpadních vod (ČOV), jež jsou technologická zařízení pro předčištění již znečištěných vod před samotným vypuštěním do recipientu. ČOV existuje několik typů, dělí se především podle technologického postupu, který je využit při úpravě odpadních vod. Čističky odpadních vod spadají do vodohospodářství, jehož zařízení patří do skupiny kritické infrastruktury, která označuje prvky, jejímž narušením by došlo k závažnému dopadu na zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, bezpečnost státu, zdraví osob nebo ekonomiku státu [1].

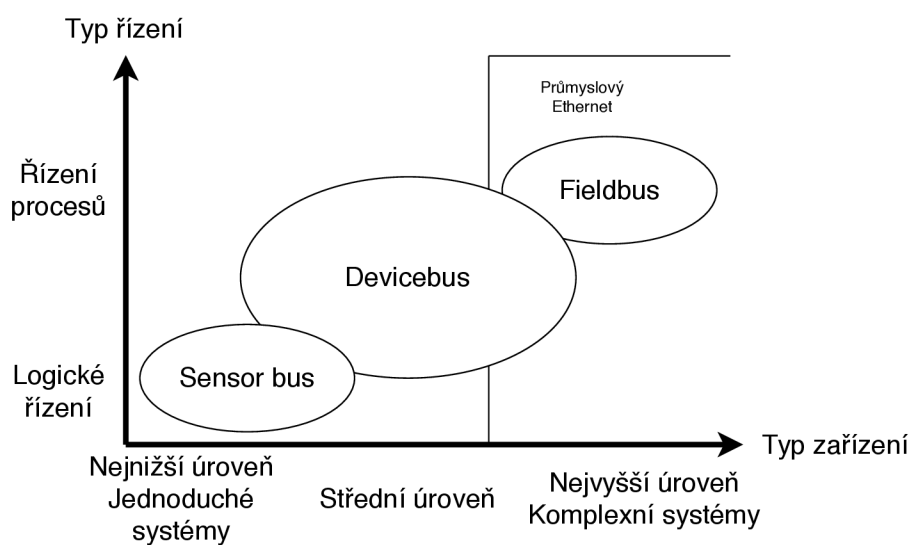
V současné době dochází ke kladení velmi vysokých nároků na efektivitu práce a kvalitu výroby, čímž je kladen vysoký důraz na automatizaci procesů. Automatizace není otázkou pouze průmyslu, ale i ostatních odvětví a jedním z nich jsou i čističky odpadních vod. Při automatizaci je mimo jiné velmi důležité chování systému při vzniku nevšedních situací. V takových situacích pak může dojít až ke kritickým stavům systému, kdy systém automatizace nemusí pracovat dle představ. Aby byl systém automatizace co nejspolehlivější, je nutné tyto stavy predikovat a znát chování systému na vzniklé stavy. Jelikož je velmi problematické simulovat tyto situace při ostrém provozu, jsou vytvářena testovací prostředí pro jednotlivá průmyslová odvětví. Testovací prostředí (TestBed) může být fyzické nebo virtuální a neslouží pouze k testování bezpečnosti a kritických stavů, ale i k implementaci a testování vyvíjených zařízení.

Prvním cílem práce bylo seznámení se s problematikou čističek odpadních vod a jejich automatizace. Po následném nastudování problematiky byl vytvořen návrh sestavení ČOV. Posledním cílem této práce byla samotná realizace ČOV řízené pomocí PLC s následnou simulací kritických stavů a provozních incidentů čističky.

Diplomová práce se zabývá popisem automatizace v průmyslových sítích, k čemuž neodmyslitelně patří programovatelné logické automaty, SCADA systémy a programovací jazyky, které jsou určeny k programování PLC. Další kapitola se věnuje odpadním vodám a stokovým soustavám, které jsou důležité při návrhu čističek odpadních vod. V práci jsou obecně popsány čističky odpadních vod, jejich zabezpečení, principy čištění a kritické stavy, které mohou nastat. V další kapitole je samotný návrh čističky odpadních vod, podle kterého byla čistička realizována. V návrhu je popsána funkcionality čističky s navrženým programem určeným k řízení čističky. V poslední části práce je popis realizace čističky odpadních vod. Čistička je složena ze sedmi nádrží, deseti čerpadel, tří dmychadel a dvanácti senzorů hladiny kapalin. Celá čistička je řízena pomocí PLC, které je připojeno k HMI, skrze které lze kontrolovat stav čističky a měnit různé parametry, ovlivňující chod čističky.

1 Automatizace a průmyslové sítě

V poslední době dochází k modernizaci průmyslu a jeho automatizace, což umožňuje řízení technologických procesů téměř libovolné složitosti, dohled nad jednotlivými procesy, sběr dat, jejich archivaci a předání dalším systémům. V průmyslové síti dochází ke komunikaci několika strojů s řídicím strojem, k čemuž je potřeba využití vhodné přístupové metody. K automatizaci jsou vhodné přístupové metody, které umožňují a zaručují definovaný přístup účastníků k síti. Jedná se převážně o metody klient-server a token ring. Metoda přístupu klient-server spočívá v tom, že server je řídicí zařízení na sběrnici, jako je například PLC s řídicím programem, počítač s vizualizací, nebo jiné rozhraní. Zařízení označené jako klient pak odpovídají požadavkům řídicího zařízení, počet zařízení s označením klient je omezen typem komunikační sběrnice. Přístupová metoda token ring spočívá v předávání tzv. tokenu mezi jednotlivými zařízeními, který autorizuje zařízení ke komunikaci. Průmyslové komunikační sběrnice slouží pro přenos dat a zajištění komunikace v průmyslových provozech. Umožňují distribuovaný systém řízení, což znamená paralelní chod úloh a zpracování dat. V současné době existuje mnoho desítek průmyslových komunikačních sběrnic. Průmyslové sítě lze v závislosti na typu zařízení a aplikace rozdělit do tří skupin, viz obrázek 1.1. [2]



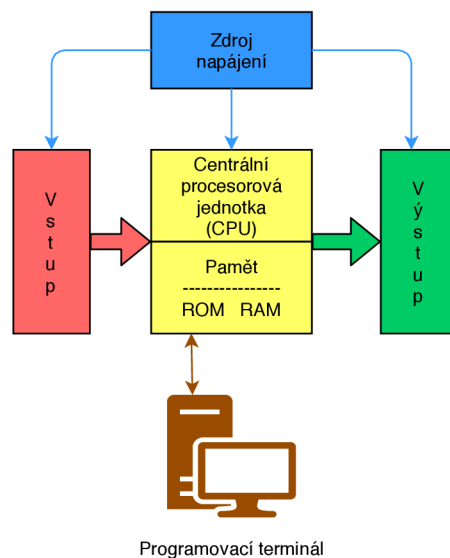
Obr. 1.1: Rozdělení průmyslových sítí [2].

Průmyslové sítě a automatizace nejsou používány pouze ve výrobě, ale jsou hojně využívány i v energetice, vodohospodářství, chytré domácnosti aj. V každém odvětví dochází k automatizaci většinou opakujících se procesů, a tím i k snadnějšímu monitorování a rychlejší reakce na případné akce, jelikož tyto systémy mají možnost

monitorování v reálném čase. Každý automatizační systém má určitý řídicí systém, který ovládá daný technologický proces. Řídicí systémy jsou v současnosti na bázi mikropočítačů, počítačů s potřebným rozhraním, programovatelných logických automatů (PLC) a dalších. Všechna tato zařízení je možné rozšířit o další systémy a rozhraní, jako jsou SCADA systémy (Supervisory Control And Data Acquisition) a HMI panely (Human Machine Interface).

1.1 Programovatelné logické automaty

Programovatelné logické automaty (PLC), jsou počítače řízené mikroprocesorem s vlastním operačním systémem, uzpůsobené pro řešení automatizačních úloh v reálném čase, s co nejkratší dobou odezvy. PLC monitoruje vstupy a výstupy, dle kterých provádí logická rozhodnutí pro automatizované procesy nebo stroje. Programovatelné logické automaty byly představeny v druhé polovině 20. století, aby poskytovaly stejné funkce jako reléové logické systémy, které měly tendenci selhat a vytvářet nechtěná zpoždění. Programovací jazyk pro PLC je snadno srozumitelný a lze je programovat bez větších obtíží. Nevýhodou PLC je horší zpracování komplexnějších dat a nemožnost zobrazení dat, proto jsou často využity externí zobrazovací prvky. [3] [4]



Obr. 1.2: Architektura PLC [3].

Na obrázku 1.2 lze vidět architekturu PLC, která se skládá ze zdroje napájení, centrální procesorové jednotky (CPU), programovou a datovou paměť, vstupní a výstupní moduly. K programování PLC a následném nahrání programu do systému je zapotřebí využít počítače či konzole. V ROM (Read Only Memory) paměti jsou uložena data operačního systému, zatímco v RAM (Random Access Memory) paměti se ukládají informace o stavu vstupních a výstupních zařízení, hodnoty časovačů, čítačů apod. CPU pracuje v cyklech, viz obrázek 1.3, pracovní cyklus začíná vyko-

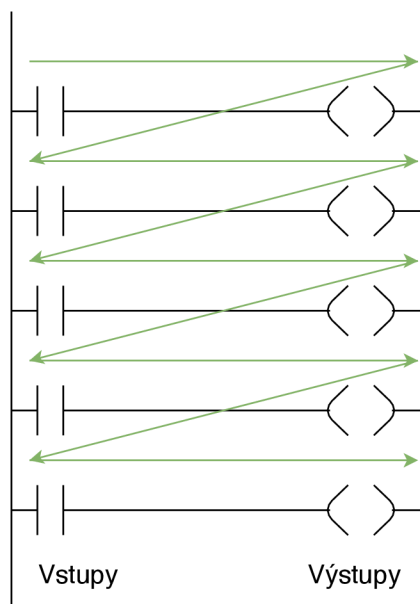


Obr. 1.3: Pracovní cyklus PLC.

náním systémových operací v CPU, jedná se o interní kontrolu, komunikaci, apod. Dalším krokem je skenování všech vstupů a uložení těchto stavů do paměti. Poté je spuštěno zpracování programu, uloženého v paměti PLC, program je zpracováván shora dolů. Během zpracování programu dochází ke generaci stavů výstupů, které se ukládají do paměti a až po dokončení zpracování programu jsou v dalším kroku stavy zapsány na výstupní periférie. [3]

1.1.1 Programovací jazyky PLC

PLC lze programovat pomocí pěti programovacích jazyků, které jsou definované mezinárodní normou. Nejčastěji používaným jazykem je příčkový diagram, neboli ladder logic, což je grafický jazyk. Tyto diagramy obsahují symboly, jež představují čítače, časovače, posuvné registry, matematické operace a relé. Diagram se skládá z jednotlivých řádků tzv. příček, které končí jedním výstupem. Jeden vstup lze použít na několika příčkách, a tím řídit vícero výstupů. Příčkové diagramy se čtou zleva doprava, počínaje v levém horním rohu, viz obrázek 1.4 [3]. Dalším programovacím

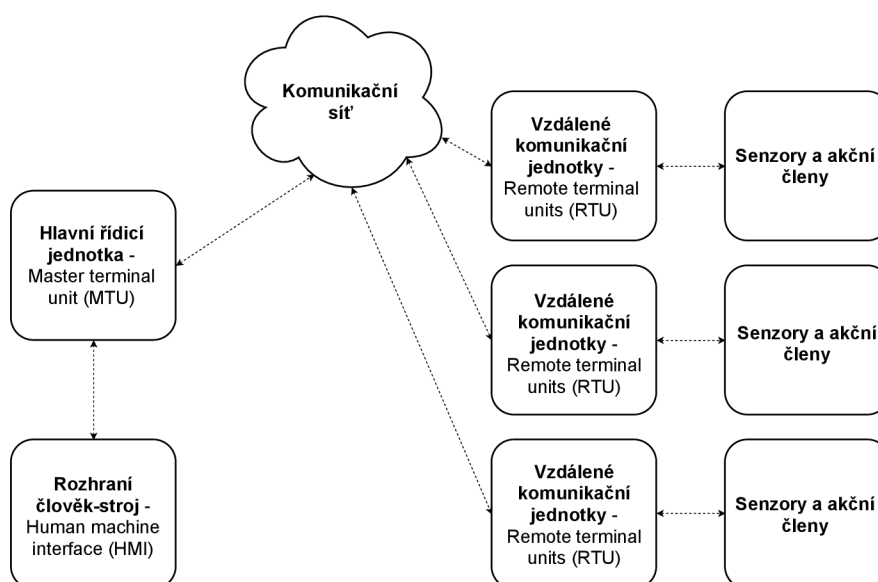


Obr. 1.4: Příčkový diagram, průběh programu značen zelenou šipkou.

jazykem je schéma z funkčních bloků, neboli FBD, jedná se o grafický programovací jazyk. Tento jazyk používá symboly z booleovské algebry, které jsou reprezentovány jednotlivými bloky. Dalším možným programovacím jazykem je strukturovaný text (ST), což je vysokoúrovňový programovací jazyk, který obsahuje podstatné prvky jako je větvení a iterační smyčky. Je vhodné jej používat pro definování komplexních funkčních bloků. Předposledním programovacím jazykem je jazyk seznamu instrukcí (IL), jedná se o nízkoúrovňový textový programovací jazyk, k jehož programování se využívá instrukční sada, což je sada všech možných instrukcí konkrétního PLC. Posledním programovacím jazykem je sekvenční funkční diagram (SFC), grafický programovací jazyk. Definuje kroky, kterými se program pohybuje, zápis programu se podobá vývojovému diagramu. Mezi každými kroky program přechází na základě splnění přechodové podmínky, která je vyjádřena binárním signálem. Je využíván při tvoření složitějších programovacích úloh, čímž je rozdělí na menší úkoly a celkově program zpřehlední. [3]

1.2 SCADA

SCADA (supervisory Control And Data Acquisition) je počítačový systém, který umožňuje vzdálený dohled, řízení procesů a sběr dat v reálném čase. Tyto systémy jsou nedílnou a kritickou součástí průmyslové automatizace, fungující jako izolované sítě, nevyžadující konkrétní mechanismy kybernetické bezpečnosti. V poslední době se systémy SCADA vyvinuly tak, že nabízejí možnost vzdáleného přístupu a dohledu prostřednictvím internetu, což je činí zranitelnými vůči kybernetickým útokům. Na obrázku 1.5 lze vidět jednoduchou architekturu SCADA systému, která se skládá z hlavní řídicí jednotky MTU (Master Terminal Unit), z jednotek RTU (Remote Terminal Unit) nebo PLC, HMI, komunikační sítě a SCADA softwaru. [6] MTU označuje dedikovaný počítač, PLC nebo síťový server, který komunikuje



Obr. 1.5: Architektura SCADA systému [6].

s jednotkami RTU. Hlavní řídicí jednotka iniciuje veškerou komunikaci, shromažďuje data, ukládá je do databáze, umožňuje uživatelům provádět řídicí funkce a odesílá informace do jiných systémů. Dalším prvkem jsou RTU jednotky nebo PLC, které shromažďují informace z připojených senzorů, akčních členů atd. Tyto prvky také odesílají informace do MTU, přijímají řídicí příkazy od MTU a odpovídajícím způsobem tak ovládají připojené prvky. Některé RTU mají možnost ukládat data do své databáze, kde čekají na požadavek od MTU k odeslání. Mezi RTU a MTU dochází ke komunikaci prostřednictvím sítě, komunikace může být kabelová nebo bezdrátová. Systémy SCADA lze propojit pomocí různých přenosových médií, včetně koaxiálních

a optických kabelů, telefonních linek apod. Topologie sítě systému SCADA závisí na typu systému nebo aplikace, pro kterou je určena. U kritických řídicích aplikací je doporučena redundantní topologie. HMI je rozhraní mezi člověkem a strojem, které umožňuje přístup a řízení připojených zařízení k řídicímu počítači. [6]

V rámci čističek odpadních vod lze systém SCADA využít pro sledování parametrů jako jsou průtoky, hladina vod, kvalita vod aj. Systém může automaticky na tyto parametry reagovat a určité procesy zautomatizovat. SCADA systémy mohou také integrovat konkrétní zabezpečovací systémy, jako jsou alarmy, kamery, snímače pohybu atd. čímž poskytují informace o dění v prostoru čističky. SCADA dokáže všechna data poskytovat v reálném čase, což umožňuje rychlou reakci na dané situace.[7]

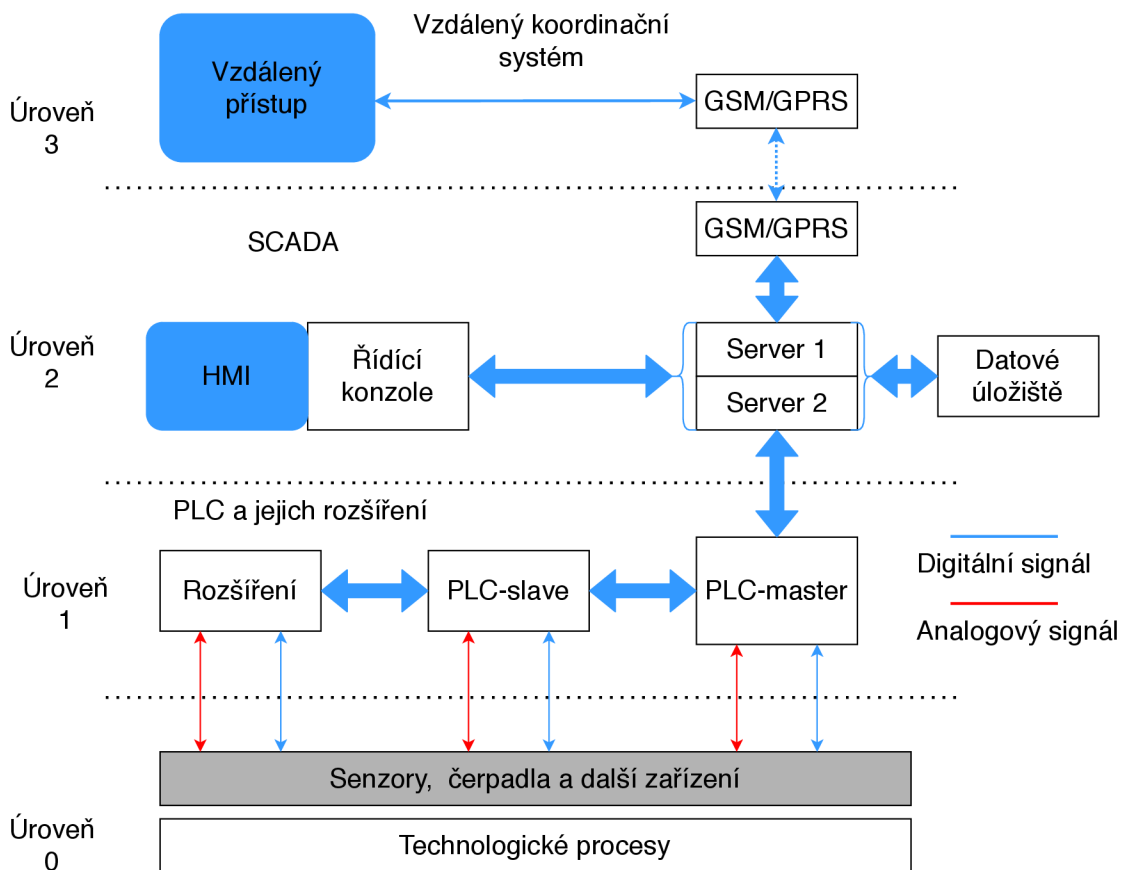
Systémy jako jsou SCADA mohou být zranitelné vůči kybernetickým útokům jako je blokování komunikace prostřednictvím sítí, neoprávněné změny instrukcí naprogramovaných v PLC, zasílání nepravdivých dat, a tím vyvolání nevhodných reakcí aj. Aby k útokům na tyto systémy nedocházelo, je zapotřebí zvýšit jejich bezpečnost, čehož lze docílit například [7]:

- Odpojením nepotřebných připojení k síti, což má za následek odizolování SCADA sítě od jiných sítí v co nejvyšší míře.
- Identifikací všech připojení do SCADA sítě, ať už se jedná o připojení z lokální sítě, bezdrátové připojení či jiné.
- Vyhodnocením a zvýšením bezpečnosti zbývajících připojení do sítě, jelikož síť SCADA je pouze bezpečná v takové míře, jako její nejslabší přístupový bod. Proto je nezbytně nutné mít zabezpečené přístupové body implementací firewallů a jiných opatření.

1.3 Automatizace čističek odpadních vod

Zvýšené nároky na ochranu životního prostředí vyvolávají potřebu nových objektů, technologií a zařízení v oboru čištění odpadních vod. To je rovněž provázáno novými požadavky na řízení provozu čistíren. Jak již bylo popsáno výše, řízení technologických procesů umožňují automatizované systémy řízení, které dokáží dohlížet nad jednotlivými procesy, sbírat data, data archivovat a dále je zpracovávat. Na základě těchto potřeb jsou vyvíjeny a implementovány SCADA systémy. SCADA systémy tvoří nedílnou součást řetězce, který začíná u měřicích sond a končí např. v podnikovém informačním systému. Automatizační systémy ČOV lze rozdělit do tří úrovní, viz obrázek 1.6, kde v úrovni 0 se nacházejí senzory a aktivní členy jako čerpadla, dmýchadla, motory a další. [5]

V úrovni 1 se nachází samotné PLC a jeho případné rozšíření. Počet PLC na úrovni 1 je dán velikostí sítě, v případě použití vícero logicky programovatel-



Obr. 1.6: Automatizační systém ČOV [5].

ných automatů slouží jeden automat jako master a zbytek automatů jako slave. Ve druhé úrovni se nachází zařízení, které přijímají informace z první úrovně a dohlíží na globální provoz čističky. Úroveň představuje systém SCADA a HMI, který běží na serveru a umožňuje komunikaci mezi místním dispečinkem a vzdáleným dispečinkem pomocí mobilní GSM/GPRS sítě. Pro bezpečnost mohou systémy SCADA a HMI běžet na vícero redundantních serverech, pokud by i přes to došlo k vypnutí SCADA a HMI systémů, dojde k automatickému řízení procesů logicky programovatelným automatem. Na poslední třetí úrovni je vzdálený dispečink, který koordinuje činnost čističky přes vzdálený přístup. [5]

2 Čističky odpadních vod

Odpadní vody jsou zpracovávány kombinací několika procesů v systému čističek odpadních vod. Primárním úkolem čističek vod je dosáhnout přijatelné kvality odpadních vod k vypuštění do recipientu nebo k opětovnému použití (např. zavlažování).

2.1 Odpadní vody

Důležitými aspekty při realizaci čističky odpadních vod je objem odpadních vod, které přitékají na samotnou čističku, typ odpadních vod a zda je v oblasti recipient, který má dostatečnou samočisticí schopnost. Odpadní vody jsou vody, u kterých došlo ke zhoršení kvality lidskou činností. Tyto vody po použití mění své fyzikální a chemické vlastnosti, proto dochází k čištění odpadních vod v čistírnách před vypuštěním do recipientu. Odpadní vody se dělí na [8]:

- **Splaškové odpadní vody**
 - Jedná se o odpadní vody vypouštěné z domácností, jež vznikají převážně lidskou činností v domácnostech. Do této kategorie spadají i odpadní vody z městské vybavenosti (hotely, úřady, školy apod.), které mají podobný charakter odpadních vod z domácností.
- **Infekční vody**
 - Jsou vody ze zdravotnických, veterinárních a jim podobných zařízení. Tyto vody jsou produkovány se zvýšeným obsahem rizikových chemických látek, zejména léčiv, infekčních odpadních vod, radioaktivních odpadních vod aj. Tyto vody vyžadují zvláštní opatření před vypouštěním do stokové sítě pro veřejnou potřebu.
- **Průmyslové odpadní vody**
 - Jedná se o vody, které byly použity při výrobních procesech průmyslové a zemědělské výroby. Na základě znečištění těchto vod, jež závisí na technologii výroby, se určí postup čištění.
- **Srážkové vody**
 - Tyto vody nejsou odpadní, ale jsou odváděny ze zastavěné části obce, komunikací nebo jiných ploch veřejnou kanalizací. Množství a znečištění srážkových vod závisí na ročním období, kvalitě atmosféry a povrchu, na který srážky dopadají.
- **Balastní vody**
 - Jsou vody, které vnikají do kanalizačního potrubí vlivem netěsnosti a bodovým zaústěním povrchových vod. Přítok těchto vod má za následek snížení kapacity odpadních systémů, zvýšení čerpaných objemů na přečerpávacích stanicích, zvýšení objemu vod přitékajících do ČOV, ochla-

zení a ředění odpadní vody, což je nežádoucí, jelikož dochází ke snížení účinnosti čištění.

2.2 Odvádění odpadních vod

Odpadní vody je zapotřebí neškodně dopravit do čistírny odpadních vod daného území, což je realizováno pomocí stok. Stokové soustavy sestávají z kanalizačních přípojek a veřejného systému kanalizačního potrubí, které je pravidelně kontrolováno a udržováno. Existují odlišné soustavy stokových sítí, které jsou rozděleny podle toho, jaké vody jsou soustavou odváděny. Soustavy stokových sítí jsou následující [8][9]:

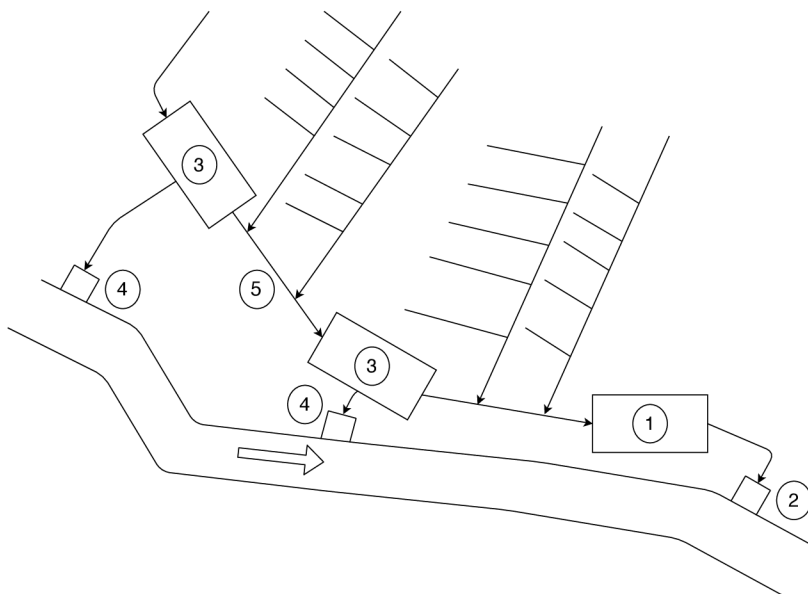
- Jednotná stoková soustava
- Oddílná stoková soustava
- Modifikovaná stoková soustava

Dalším rozdělením je dle způsobu dopravy odpadních vod, které záleží na morfologii terénu. Doprava odpadních vod je rozdělena na [8][9]:

- **Tradiční způsob odvádění odpadních vod**
 - Jedná se o gravitační dopravu odpadních vod, je kladen důraz na spolehlivost a jednoduchost provozování. V ČR je tento způsob odvádění odpadních vod nejrozšířenější.
- **Alternativní způsoby odvádění odpadních vod**
 - Jedná se o tlakovou, podtlakovou a pneumatickou kanalizaci, tyto způsoby jsou používány v oblastech malých sídelních celků s velmi roztroušenou zástavbou nebo v oblastech, kde nelze použít gravitační dopravu odpadních vod vzhledem ke členitosti terénu. Nevýhodami oproti tradičním způsobům dopravy jsou provozní náročnosti systému, vyšší nároky na provozní energii, vyšší četnost provozních poruch, kratší životnost a nevhodnost pro odvádění dešťových vod.

2.2.1 Jednotná stoková soustava

V této soustavě dochází k odvodu všech odpadních i srážkových vod společnou potrubní sítí do čistírny odpadních vod. Nevýhodou tohoto systému je, že při deštích dochází k ředění splaškové vody vodou dešťovou a svým objemem výrazně splaškovou vodu převyšuje. Z tohoto důvodu se realizují odlehčovací komory, které slouží k odlehčení průběžné stoky směrem k ČOV, viz obr. 2.1. Pokud hladina odpadní vody ve stoce dosáhne úrovně přepadu, přeteče do odlehčovací stoky, která zředěné odpadní vody odvádí do recipientu nebo do dešťové nádrže. Nevýhodou odlehčovacích komor je, že při velkém naředění odpadních vod vodami srážkovými dochází k zanášení čerstvého fekálního znečištění do recipientu. Podobnému výsledku lze dosáhnout zařazením retenční dešťové nádrže místo odlehčovací komory, které slouží pouze k vyrovnání odtoku, kdy maximální přítok do příčného profilu je větší než navržený odtok.[8][9]

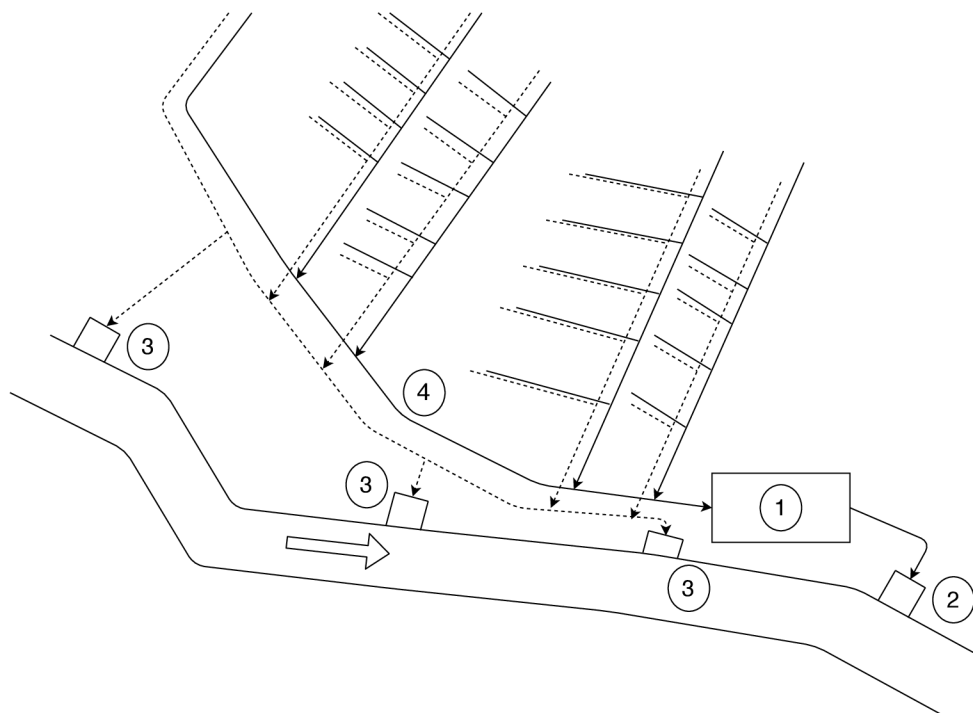


Obr. 2.1: Jednotná stoková soustava; 1 – ČOV, 2 – Výpust vyčištěné odpadní vody do recipientu, 3 – Odlehčovací komory, 4 – Výpustě odlehčovacích komor do recipientu, 5 – Kmenová stoka [8].

2.2.2 Oddílná stoková soustava

V této soustavě se jedná o dvě stokové soustavy, jedna soustava odvádí srážkové vody do recipientu a druhá soustava odvádí splaškové vody do čističky, viz obr. 2.2.

Výhodou je neředění splaškových vod vodami srážkovými, čímž nedochází k takovému zatížení čističek odpadních vod. Nevýhodou je finančně náročné řešení, jelikož je zapotřebí vytvořit síť dvou oddělených stokových soustav. [8][9]



Obr. 2.2: Oddílná stoková soustava; 1 – ČOV, 2 – Výpust vycištěné odpadní vody do recipientu, 3 – Výpustě srážkových odpadních vod, 4 – Kmenová stoka, plnou čarou jsou značeny splaškové stoky a přerušovanou stoky pro dešťovou vodu [8].

2.2.3 Modifikovaná stoková soustava

Jedná se o soustavu, jež je kombinací jednotné a oddílné stokové soustavy, její princip spočívá v odvodu splaškových vod stokami, které jsou uloženy hluboko pod úrovní terénu, zatímco srážkové vody jsou odváděny stokami, které jsou uloženy blíže k povrchu. Oba systémy jsou pospojovány spojovacím potrubím. Při začátku deště dochází prvně k plnění stok, které jsou určeny pro splaškové vody, spojovacím potrubím. Po naplnění této stoky nad úroveň dna dešťové stoky dochází k odtoku dešťové vody srážkovou stokou do recipientu a splašková voda smíšená se znečištěnou dešťovou vodou odtéká splaškovými stokami do čističky odpadních vod. [8][9]

2.3 Rozdělení ČOV

ČOV lze rozdělit do několika kategorií dle počtu tzv. ekvivalentních obyvatel (EO), což je uměle vytvořená jednotka, jenž označuje osoby trvale napojeny k čistírně. Hodnota ekvivalentního počtu obyvatel lze vypočítat dle vztahu:

$$EO = \frac{Q * BSK_5}{60} [-], \quad (2.1)$$

kde Q je množství odpadní vody v m^3d^{-1} na výrobní jednotku produktu nebo výchozí suroviny, BSK_5 je průměrná hodnota znečištění odpadních vod v gm^{-3} a 60 je specifické znečištění produkované jedním obyvatelem v BSK_5d^{-1} .

Čistírny odpadních vod do 2000 EO jsou rozděleny na: [10] [11]

- **ČOV od 5 do 50 EO.**
 - Tyto čističky slouží pro čištění vod z jednotlivých objektů a často jsou nazývány jako domovní.
- **ČOV od 50 do 500 EO.**
 - Čističky této kategorie jsou určeny pro malé až střední zdroje odpadních vod, které se nemohou napojit na kanalizaci.
- **ČOV od 500 do 2000 EO.**
 - Tato kategorie čističek je pro střední zdroje odpadních vod a jsou nazývány jako městské.

Čističky odpadních vod lze dělit do skupin i podle procesů čištění, které v čističkách probíhají. Tyto skupiny jsou:

- **Primární čištění**
 - Jedná se o čističky, ve kterých dochází pouze k mechanickému čištění nerozpuštěných látek.
- **Sekundární čištění**
 - Tyto čističky jsou mechanicko-biologické bez dodatečného odstraňování dusíku a fosforu. U těchto ČOV dochází k mechanickému předčištění odpadních vod od nerozpuštěných látek a v dalším kroku dochází k biologickému čištění pomocí mikroorganismů.
- **Terciální čištění**
 - Čističky jsou podobné ČOV se sekundárním čištěním, mají pouze navíc dočištění od fosforu a nerozpuštěných látek před vypuštěním do recipientu.

2.4 ČOV v České republice

Provozování čističek odpadních vod na území ČR se řídí několika zákony, které mimo jiné předepisují, jak se má s odpadními vodami nakládat a s jakou kvalitou vody lze vody z čističek vypouštět do recipientu, aby nedocházelo ke znečištění životního prostředí.

Za deset let vzrostl počet obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci s ČOV na hodnotu 8 817 732, hodnota z roku 2019, přičemž počet napojených obyvatel v roce 2009 činil 8 000 514, což má za následek i růst počtu čističek odpadních vod na území ČR, viz tabulka 2.1. [12]

Rok	Počet ČOV	Celková kapacita ČOV (m^3 /den)	Počet obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci s ČOV
2009	2 158	3 832 673	8 000 514
2011	2 251	3 799 039	8 189 430
2013	2 382	3 711 710	8 270 948
2015	2 495	3 915 844	8 514 835
2017	2 612	3 914 493	8 714 364
2019	2 731	4 283 028	8 817 732

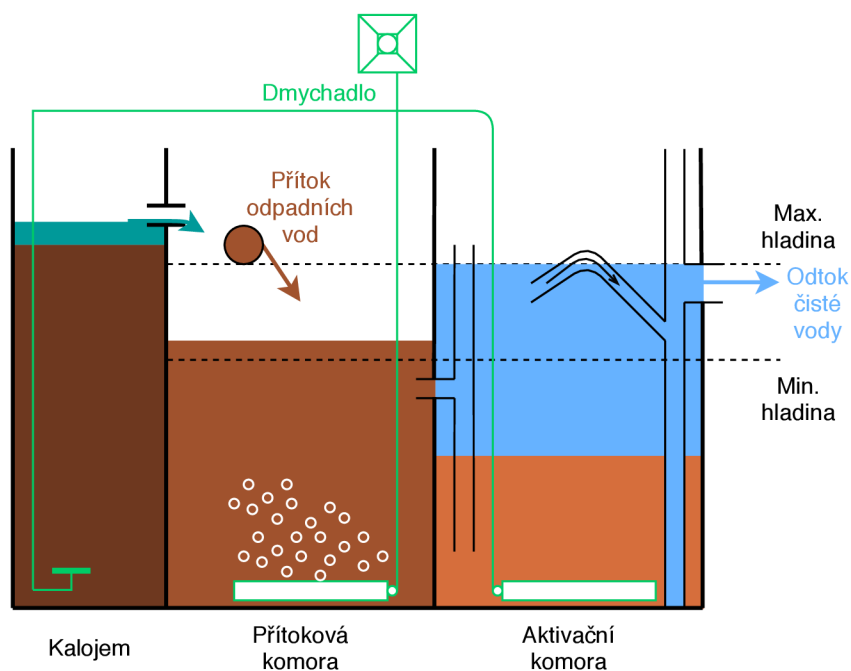
Tab. 2.1: Vybrané informace o stavu ČOV v ČR mezi lety 2009–2019 [12].

V České republice jsou nejpočetnější skupinou čističky odpadních vod s terciálním čištěním, počet těchto ČOV roste. Obdobně na tom jsou čističky se sekundárním čištěním, zatímco počet ČOV pouze s primárním čištěním je minimum, jelikož u těchto čističek nedochází k požadované úrovni čištění odpadních vod.

2.5 Malé čističky odpadních vod

Jedná se převážně o domovní čističky odpadních vod a čističky do 500 EO, které jsou určeny pro čištění splaškových vod z jednotlivých objektů a objektů nemající možnost připojení k veřejné kanalizaci. Tyto čističky jsou ve většině případů vyráběny v typových řadách a na místo instalace jsou dovezeny jako hotový výrobek. Výhodou těchto ČOV je rychlá instalace, kompaktní rozměry, snadná obsluha a díky technologiím dosahují srovnatelných parametrů účinnosti a spolehlivosti velkých ČOV. Vyčištěná voda z těchto odpadních vod se může vypouštět do povrchových nebo podzemních vod, kanalizace anebo ji akumulovat, přičemž nakládání s vyčištěnou vodou se řídí vodním zákonem a příslušnými vyhláškami. Využití akumulované vody je vhodné pro zalévání, opětovné splachování toalet nebo tam, kde není nutné využívat pitnou vodu.[11]

Čištění odpadních vod v domovních čističkách má několik fází, na obrázku 2.3 lze vidět náčrt domovní ČOV. V první fázi dochází k plnění přítokové komory, kde zároveň dochází k zachycení hrubých nečistot. Z přítokové komory je plněna aktivační komora, během plnění je aktivační komora provzdušňována, čímž dochází k biologickému čištění.



Obr. 2.3: Domovní čistička odpadních vod [13].

Druhá fáze nastane po naplnění aktivační komory, kdy je provzdušňování přerušeno, dochází k sedimentaci kalu ke dnu komory a k oddělení vyčištěné vody od kalu. V poslední fázi je kal z aktivační komory z části přečerpán do kalojemu, kde je kal udržován aktivní provzdušňováním a přepadem vracen zpět do přítokové komory. Zároveň je pomocí mamutkového čerpadla odčerpána vyčištěná voda do zásobníku čisté vody, který má přepad vyústěný do odtoku ČOV. [13]

2.6 Střední a velké čističky odpadních vod

Tyto čističky jsou dimenzované pro více jak 500 EO a ústí do nich soustavy stokových sítí. Čističky nejsou vyráběny jako hotový výrobek, ale jsou složeny z několika betonových nádrží se stavěnou nadzemní zastřešenou částí, do kterých je instalována technologie. Vyčištěná voda z těchto čističek ústí do přílehlého recipientu. Jelikož se

jedná o čističky, které čistí velké množství odpadních vod, využívají k čištění větší škálu technologií než tomu je u menších ČOV. V první fázi dochází k mechanickému čištění za pomoci lapáků štěrku, česlí, sít, lapáků písku a v ojedinělých případech jsou použity i lapáky tuků a olejů. Posledním prvkem mechanického čištění jsou usazovací nádrže, kde dochází vlivem gravitace k oddělení tuhých částic těžších než voda.

Další fází je biologické čištění, které se skládá z aktivační nádrže, dosazovací nádrže a odvodu aktivovaného kalu. V aktivační nádrži dochází k čištění aktivovaným kalem, což je směs mikroorganismů, které mají schopnost čistit odpadní vodu. K čištění pomocí kalu je zapotřebí směs vody a kalu provzdušňovat, popřípadě i promíchat. Odpadní voda s aktivním kalem je poté přiváděna do dosazovací nádrže, kde je sedimentací oddělen kal od vyčištěné vody. Aktivovaný kal je zčásti vrácen do aktivační nádrže a přebytečný kal je využit v kalovém hospodářství ČOV. Poslední fází je terciální čištění, které je především využíváno při odtoku vody do citlivého recipientu. K tomuto je určena tzv. stabilizační nádrž, kde dochází zdržením vody na určitou dobu k další sedimentaci nerozpuštěných částic, ke snížení obsahu dusíku a fosforu. Stabilizační nádrž může být v určitých případech nahrazena pískovým filtrem.

2.7 Čištění odpadních vod

Jak již bylo popsáno, čističky disponují několika stupni čištění, které probíhají v určitých objektech čističek odpadních vod. Existují tři stupně čištění, a to mechanické, biologické a terciální. [14]

2.7.1 Mechanické čištění

Prvním stupněm je mechanické čištění, při kterém dochází k odstranění plovoucích hrubých nečistot. Toto čištění především slouží jako ochrana strojního vybavení čističky před mechanickým poškozením. K mechanickému čištění slouží několik zařízení, která jsou popsána níže. [14] [7]

Lapák štěrku

Prvním zařízením je lapák štěrku. Jedná se o prohlubeň různého tvaru, které je součástí stoky a slouží pro zachycení nejobjemnějších nečistot sunutých odpadní vodou po dně stokových sítí. [15]

Česle

Další důležitou součástí jsou česle, které mohou být hrubé, střední a jemné. Česle zachytávají menší nerozpuštěné nečistoty, které se nazývají shrabky. Česle se od shrabků čistí ručně nebo strojně. Shrabky jsou hygienicky závadné, a proto po vysušení je lze spalovat, kompostovat nebo uložit na skládku odpadů. U menších ČOV lze místo česlí využít síta. [15]

Lapák písku

Po předčištění odpadní vody lapákem šterku a česlemi je zapotřebí odstranit z odpadní vody písek a jiné minerální částice, které by mohly poškodit čerpadla a usazovat se v jiných částech čističky. K tomuto úkolu jsou určeny lapáky písku, které pracují na principu rozdílné hustoty minerálních a organických částí, jež jsou od sebe odděleny gravitační nebo odstředivou silou. Lapáky písku, stejně jako česle, mohou být ručně či strojně vyklizené. Zachycený písek je možné využít ve stavebnictví či jej uložit na skládku odpadů. [1] [15]

Lapák tuků a olejů

Lapák tuků a olejů je zařízení určené k separaci tuků a olejů od odpadních vod. Lapák tuků je zařazen do procesu čištění pouze při zvýšené koncentraci olejů a tuků v odpadních vodách. Funguje na principu rozdílné hustoty odpadní vody, tuku a olejů, kdy se oleje a tuky usazují na hladině, odkud jsou ručně nebo strojně sbírány do sběrného žlabu.

Usazovací nádrže

V usazovacích nádržích dochází k separaci tuhých a těžších nečistot než je voda pomocí gravitační síly. Usazené nečistoty je potřeba pravidelně odstraňovat, ať už strojně nebo ručně. K důkladnému odstranění všech nečistot dochází jak po dně, tak i po hladině nádrže.

2.7.2 Biologické čištění

Biologické čištění je druhým stupněm čištění odpadních vod a je založeno na schopnosti mikroorganismů, zejména bakterií, rozkládat organické znečištění. [14] [7]

Aktivační nádrže

Po mechanickém předčištění je odpadní voda přiváděna do aktivačních nádrží. V těchto nádržích dochází k čištění organických látek, částečně i dusíku a fosforu, jež jsou

obsaženy v odpadních vodách. Čištění probíhá za pomoci mikroorganismů, které ke svému životu potřebují kyslík, proto je zapotřebí nádrže dobře provzdušňovat za pomoci dmychadel. Tyto mikroorganismy se nazývají aktivovaný kal a díky svému vločkovitému tvaru je využíván právě k čištění odpadních vod. V některých aktivačních nádržích nedochází pouze k provzdušňování, ale i k promíchávání odpadní vody pro lepší kontakt aktivovaného kalu s odpadní vodou.

Dosazovací nádrže

Po čistících procesech v aktivační nádrži je potřeba odstranit aktivovaný kal z odpadní vody, k čemuž dochází v dosazovacích nádržích. V těchto nádržích dochází k sedimentaci aktivovaného kalu pomocí gravitace, což má za následek oddělení aktivovaného kalu od odpadní vody. Po usazení kalu na dně nádrže dochází k odčerpání odpadní vody do recipientu nebo k dalšímu procesu čištění. Samotný kal je ze dna nádrže odčerpán z části do aktivační nádrže, kde jsou mikroorganismy vybuzeny k dalšímu procesu čištění a zbytek je odveden do kalového hospodářství čističky odpadních vod.

2.7.3 Terciální čištění

Třetím a posledním stupněm čištění je terciální. Třetí stupeň slouží k dočištění vody od znečištění, které se nepodařilo v předešlých stupních odstranit. Většinou se jedná o odstranění zbylého kalu z druhého stupně čištění a dodatečné odstranění dusíku a fosforu před vypuštěním odpadní vody do recipientu, který nemá dostatečnou samočisticí schopnost. Lze využívat vícero procesů terciálního čištění. [14] [7]

Stabilizační nádrže

Voda z dosazovacích nádrží je přečerpána do stabilizačních nádrží, kde je voda dočišťována od kalu, dusíku, fosforu a jiných látek. K čištění dochází biologickou nebo chemickou cestou, přičemž biologický způsob je založen na sedimentaci a snížení obsahu nerozpuštěných látek pomocí mikroorganismů a řas ve stabilizační nádrži. Nerozpuštěné látky lze zachytávat i pomocí pískových filtrů. Při chemickém způsobu dočištění dochází k dávkování železnatých, železitých nebo hlinitých solí do nádrže s odpadní vodou. Nevýhodou je produkce kalu, který je potřeba dále zpracovat před vypuštěním do recipientu, například sedimentací. Další úpravou vod ve třetím stupni čištění je dezinfekce, která slouží ke snížení počtu mikroorganismů ve vodě za pomoci chloru, ozonu nebo ultrafialového světla. Dezinfekce je poslední možná úprava vody, poté je voda vypuštěna do recipientu. [15]

2.8 Zabezpečení čističek odpadních vod

Čističky odpadních vod jsou důležité soustavy systémů sloužící k čištění odpadních vod, k prevenci proti různým chorobám a k ochraně životního prostředí. Při narušení těchto systémů nebo služeb ČOV může dojít k ekonomickým dopadům, ohrožení v oblasti veřejného zdraví či znečištění životního prostředí. Z tohoto důvodu je potřebné řádné zabezpečení čističek odpadních vod. Níže jsou popsány alespoň nejzákladnější bezpečnostní prvky, kterými by měla každá čistička odpadních vod disponovat. [7]

2.8.1 Základní zabezpečení areálu ČOV

Nejzákladnějším zabezpečením, kterým by měla disponovat každá ČOV, je důkladné oplocení celého areálu čističky. Jelikož pouhé oplocení není žádnou překážkou před případným fyzickým útokem a systémy čističek odpadních vod jsou složeny z mnoha komponentů, které jsou rozprostřeny po celém areálu čističky, je zapotřebí zabezpečit i je. Z důvodu bezpečnostních rizik spjatých s omezeným prostorem při uložení pod povrchem země, jsou komponenty, jež se pravidelně využívají a vyžadují pravidelnou údržbu, uloženy nad povrchem země. Jedná se především o odvzdušňovací a regulační ventily, čerpadla, motory, měřiče aj. Samotné komponenty je potřeba chránit před manipulací cizími osobami, proto je nejúčinnějším opatřením umístění takovýchto zařízení uvnitř budov. Pokud umístění v budovách není možné, měly by se zařízení uzamknout do tzv. skříní nebo přístřešků s přístupovými zámky.[7]

2.8.2 Výstražné systémy

Výstražný systém je druh elektronického monitorovacího systému, který se používá k detekci a reakci na konkrétní typy událostí, jako je neoprávněný přístup, možný požár atd. V zařízeních čističek odpadních vod se využívají i výstražné systémy pro upozornění na provozní nebo monitorovací činnosti, které jsou integrovány do monitorovacího a informačního systému, jako je například SCADA. Tyto systémy se skládají ze senzorů, které detekují různé typy akcí, z ovládacího panelu, který přijímá a zpracovává informace a poté je posílá dále. Ovládací panel může generovat jak zvukovou, tak i vizuální výstrahu a může upozornit centrální monitorovací stanici. Komunikace senzorů s ovládacím panelem může probíhat bezdrátově nebo přenosem dat po kabelu. [7]

2.8.3 Kybernetická bezpečnost

Dalším velmi důležitým zabezpečením je kybernetická bezpečnost. V současnosti je k dispozici mnoho prostředků, které lze pro kybernetickou bezpečnost použít. Jelikož je v dnešní době možné řídit čističku odpadních vod vzdáleně, je velice důležité řádné zabezpečení koncových zařízení. Mezi základní a nejrozšířenější zabezpečovací prvky patří antivirové softwary. Antivirové programy jsou určeny k detekci a reakci na programy nebo části kódu, které jsou určeny k poškození cílového zařízení. Tyto škodlivé programy jsou známé jako malware, který zahrnuje počítačové viry, červy, trojské koně apod. Nejdůležitějšími vlastnostmi antivirových programů jsou schopnosti identifikovat potenciální malware a varovat uživatele před infekcí, stejně jako jejich schopnost reagovat na hrozbu, která již v systému sídlí. Mnoho poskytovatelů antivirových softwarů nabízí bezplatné aktualizace, které jsou schopné detekovat a reagovat na nejnovější typy virů.

Dalším důležitým bezpečnostním prvkem je firewall, což je zařízení či software, který odděluje provoz mezi dvěma sítěmi. Firewally fungují na principu vyhodnocení a následným filtrováním příchozích informací prostřednictvím veřejné sítě do počítače či jiného elektronického systému. Takové filtrování může zahrnovat identifikaci zdrojových nebo cílových adres a portů, dle kterých dochází k povolení nebo odepření přístupu. Proto firewall zejména brání před neoprávněnými průniky do sítě a odesílání dat bez vědomí a souhlasu uživatele. [7]

2.9 Kritické stavy ČOV

Kritické stavy jsou takové stavy, při kterých může dojít k narušení funkce čističky odpadních vod, což může mít katastrofální následky pro životní prostředí a veřejné zdraví. Havárie se rozlišují na vzniklé uvnitř a vzniklé vlivem vnějšího okolí. [16]

Mezi situace vzniklé vlivem vnějšího okolí patří zimní provoz, kdy může dojít k zamrznutí pohyblivých mechanických částí, nezaizolovaného potrubí či jiného strojního vybavení. Proto je nutné tyto části čističky řádně kontrolovat, popřípadě provést izolaci. Dalším vlivem vnějšího okolí jsou přívalové deště a přítok toxických látek. Při přívalových deštích může dojít k zahlcení přítoku na ČOV a srážkových zdržích, čímž dochází k odtoku odpadních vod přímo do recipientu. Pokud dojde k přítoku toxických látek, může dojít k odumírání kalu v nádržích, a tím k narušení nebo dokonce i k zastavení biologického procesu čištění. V takovém případě se provoz ČOV řídí dle technologa dané čističky a následně orgány státní správy. Kritický stav může nastat i v době epidemie a jiných mimořádných situacích. V době vyhlášené epidemie může dojít v případě nutnosti dezinfikovat odpadní vody k časové prodlevě čistících procesů, není-li čistička odpadních vod vybavena pro případnou chlo-

raci vody. Mezi jiné mimořádné situace patří povodně, požár a výpadek elektrické energie. Pokud nastanou povodně, je ČOV provozována dle rozhodnutí povodňové komise Krajského úřadu. Dojde-li k výpadku ČOV, je možné ji uvést do provozu až po provedení revizí jednotlivých zařízení. Při vypuknutí příliš rozsáhlého požáru, může nastat odstavení zasažené části, nebo celé ČOV, o čemž rozhoduje technolog. Při dlouhodobém výpadku elektrické energie se obsluha ČOV snaží udržet česle a síta co nejdéle průchodná. Do 2 hodin od výpadku je nutné odstavit přítok do biologické části čističky. Při delším nátoku odpadních vod do biologického stupně bez možnosti provzdušňování dochází ke zhoršení podmínek pro udržení aktivního kalu, která bez dodávky kyslíku a odstavení přítoku přežívá cca 24 hodin. [16]

Mezi situace vzniklé uvnitř ČOV patří havárie vzniklé únikem nebezpečných látek, jedná se především o různé oleje, ředidla a síran železitý, kterým se odstraňuje fosfor z odpadních vod. Únik takových látek pak převážně vzniká vlivem lidského pochybení obsluhy ČOV. Čističky odpadních vod realizují mnoho technických preventivních opatření, které však nejsou veřejně dostupná z důvodů možného zneužití. [16]

Kritické stavy mohou být zapříčiněny i nedostatečným zabezpečením čističky odpadních vod nebo nedostatky či poruchou výstražných systémů, které jsou popsány v předchozí kapitole. Dále pak rozsáhlou oblastí, které mohou zapříčinit kritické stavy, je kybernetická bezpečnost, kde útočník může ovlivňovat chod čističky různými způsoby.

3 Návrh čističky odpadních vod

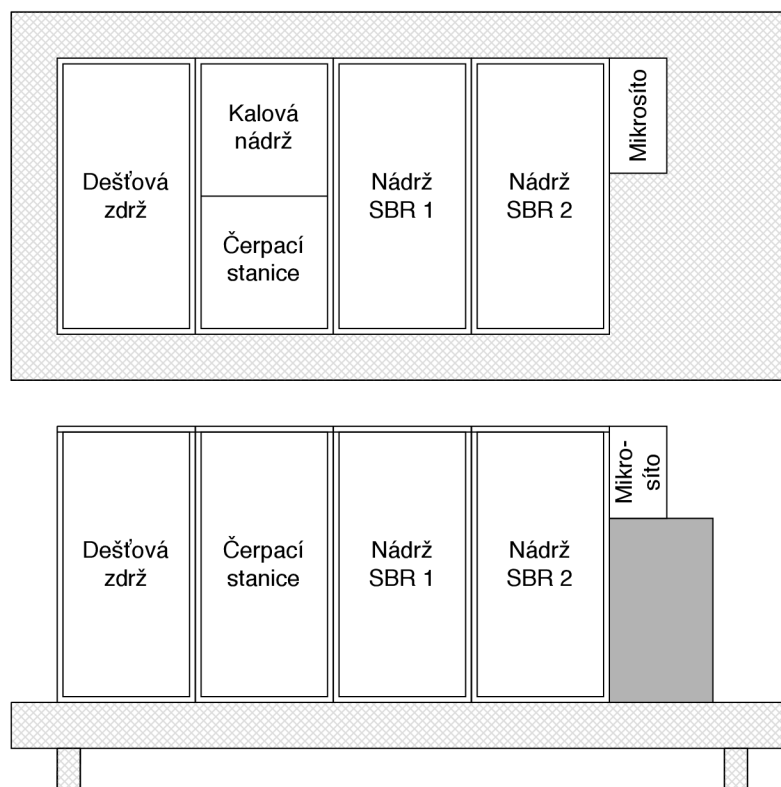
Pro návrh ČOV byla vybrána čistička odpadních vod se systémem SBR, což je označení pro nádrž, ve které dochází zároveň k biologickému čištění pomocí provzdušňování a k separaci vzniklého kalu od vyčištěné vody. Návrh vychází z reálné čističky odpadních vod, která se nachází v Jihomoravském kraji. Tohoto systému je využíváno převážně u domovních čistíren, ale je možné jej využít pro větší čistírny.

Pro funkci čističky odpadních vod bude využito několik komponent, které budou řízeny pomocí PLC, bude využíván model SIMATIC S7-300 od firmy Siemens. Tento model byl zvolen díky dostupnosti rozšiřujících modulů. PLC bude programováno laptopem, komunikace bude probíhat pomocí protokolu S7comm. S7comm je proprietární protokol firmy Siemens a slouží k programování PLC, výměny dat mezi automaty a k přístupu dat ze SCADA systému. Využit bude i router a osobní počítače pro vzdálený přístup. Pro snadnější řízení automatizačních zařízení bude využít HMI panel, který bude komunikovat s PLC pomocí protokolu PROFINET, který je taktéž od firmy Siemens. Protokol PROFINET je založen na Ethernetu a umožňuje komunikaci v celé průmyslové síti.

Zařízení	Cena za ks vč. DPH	Odkaz
Ponorné čerpadlo	67 Kč	viz [17]
Neponorné čerpadlo	249 Kč	viz [18]
Bezkontaktní čidlo hladiny kapalin	311 Kč	viz [19]
Vertikální snímač hladiny vody	200 Kč	viz [20]
Plovákový senzor hladiny vody	68 Kč	viz [21]
Dmychadlo	249 Kč	viz [18]

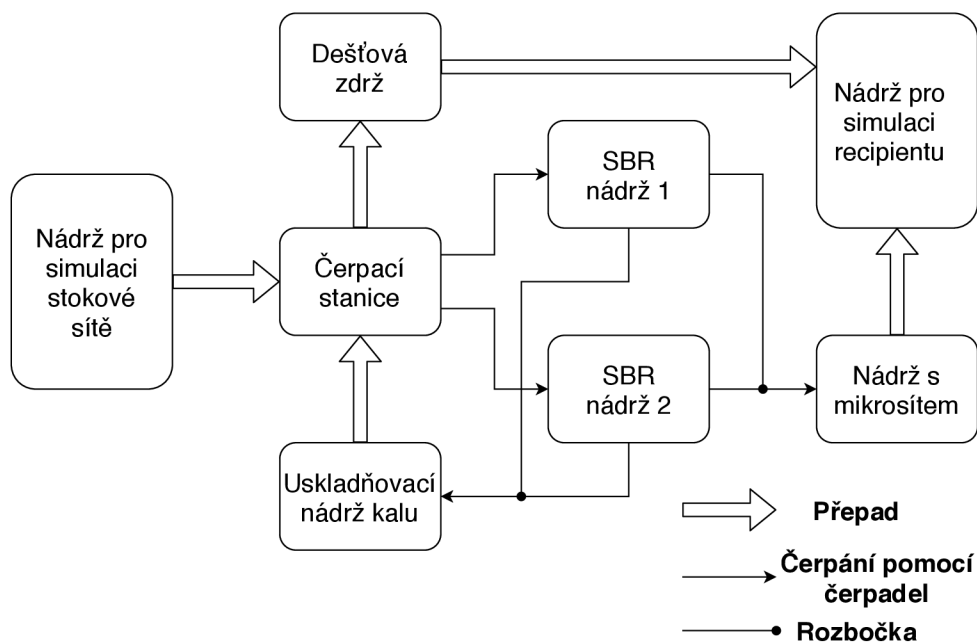
Tab. 3.1: Navržené součástky k realizaci modelu ČOV.

Na obrázku 3.1 lze vidět nákres rozvržení nádrží na pracovním stole, která budou vyrobeny z plexiskla. Ke sledování hladiny odpadních vod v nádržích bude využito několika senzorů hladiny, bude se jednat o plastové a nerezové plovákové senzory a bezkontaktní čidla hladiny kapalin. Senzory hladiny budou kombinovány, použity po jejich odzkoušení, ověření jejich spolehlivosti a vhodnosti pro dané nádrže. K přečerpání vod budou sloužit přepadové hrany, při nevhodnosti těchto hran budou využita ponorná čerpadla, ale i neponorná, která je možné využít i k čerpání vzduchu, a proto mohou být využita i jako dmychadla k provzdušňování kalu. U reálné čističky odpadních vod je využito i průtokoměrů, tenzometrů pro měření aktuálních hladin kapalin a dalších zařízení, které není možné využít při návrhu ČOV, jelikož vyráběná zařízení nejsou vhodná pro vytvářený model.



Obr. 3.1: Pohled shora a z boku na pracovní stůl s navrženými nádržemi.

Návrh bude sloužit jako fyzické testovací prostředí (TestBed), což je nakonfigurovaná platforma, která je kombinací hardwarového a softwarového prostředí, určená pro testování. TestBed je složen z prototypů a částí skutečných komponent, aby se platforma co nejvíce přiblížila skutečnému zařízení. Nákres navržené čističky je na obrázku 3.2, kde lze vidět počet a typy nádrží pro funkčnost čističky. Návrh se skládá celkem z osmi nádrží, kde jedna nádrž bude sloužit jako simulace stokové sítě a další bude simulovat recipient. První nádrž použitá pro proces čištění je čerpací stanice, kde dochází k mechanickému předčištění a přečerpávání předčištěné vody dále k dalším procesům čištění. Pro další procesy čištění jsou určeny dvě SBR nádrže, ve kterých dochází k provzdušňování, a tím i biologickému čištění. Pro poslední proces čištění bude sloužit nádrž s mikrosíťovým filtrem. Další potřebnou nádrží je dešťová zdrž, která slouží k odlehčení čističky při větším přítoku odpadních vod na ČOV, např. při větších srážkách. Poslední nádrží je uskladňovací nádrž kalu, do které je přečerpáván kal z SBR nádrží.

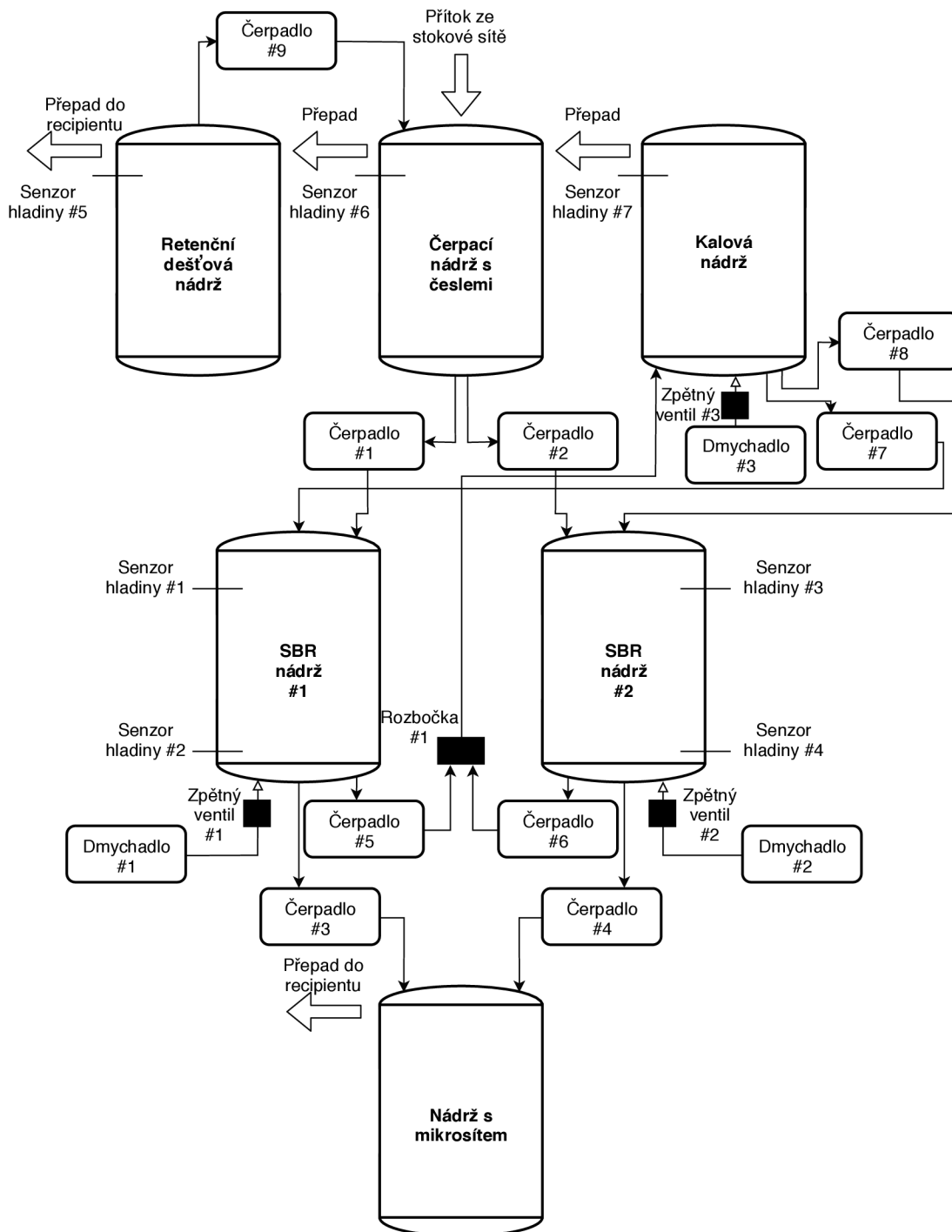


Obr. 3.2: Návrh nádrží pro ČOV.

3.1 Funkcionalita návrhu ČOV

Na obrázku 3.3 lze vidět návrh čističky i s použitými senzory a zařízeními. Senzor hladiny #5 v retenční dešťové nádrži slouží pouze informativně a podává informaci o maximální hodnotě vody, při které už dochází k odtoku vody do recipientu. Obdobně na tom je senzor hladiny #7 v kalové nádrži, přičemž přepad je situován do čerpací nádrže s česlemi. Dmychadlo #3 slouží k neustálému provzdušňování kalu v časových intervalech, přičemž spínání dmychadla nezávisí na chodu jiného zařízení, pouze při prvním spuštění dojde ke spuštění provzdušňovacího cyklu až při čerpání čerpadel #5 a #6, aby nedošlo ke zbytečnému provzdušňování prázdné nádrže. Senzor hladiny #6 v čerpací nádrži slouží k indikaci hladiny odpadní vody. Podle tohoto senzoru se spouští čerpadlo #9, které čerpá vodu z retenční dešťové nádrže zpět do čerpací nádrže. Čerpadla #1 a #2 čerpají vodu do SBR nádrží, přičemž dochází k jejich střídání podle stavu cyklu v jednotlivých SBR nádržích. Počet funkčních SBR nádrží a k nim příslušných čerpadel a dmychadel je během provozu čističky optimalizován. Se spuštěním čerpadla #1 nebo #2 se zároveň spouští i dmychadlo #1 nebo #2 k provzdušňování odpadní vody v SBR nádrži. Doba spuštění čerpadla #1 je omezena senzorem hladiny #1, který indikuje maximální možnou hladinu v SBR nádrži #1. To stejné platí pro čerpadlo #2 se senzorem hladiny #3 v SBR nádrži #2.

Pokud dojde k signalizaci senzorem hladiny #1 nebo #3 dojde k zastavení čerpa-



Obr. 3.3: Schéma navrhované čističky odpadních vod.

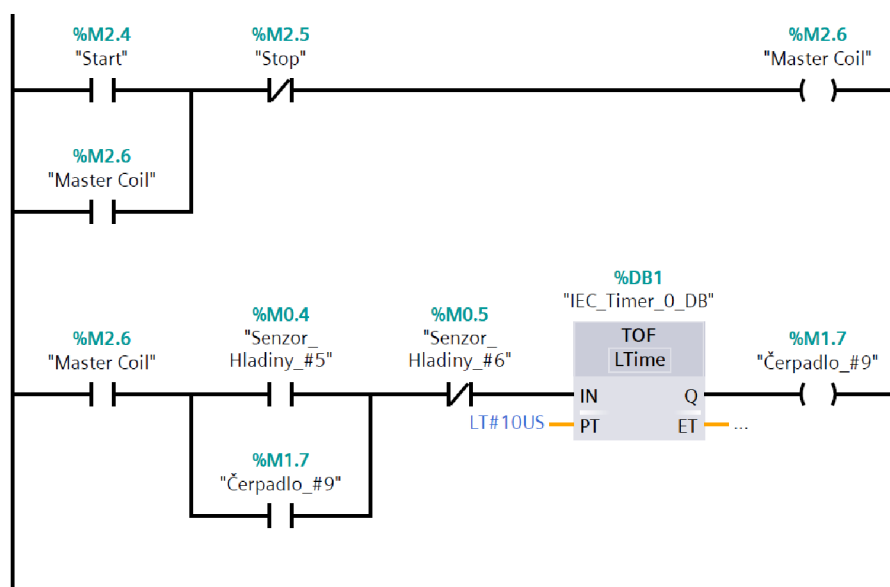
dla #1 nebo #2 a příslušného dmyhadla. Dmyhadla #1 a #2 po vypnutí příslušným senzorem hladiny jsou nečinná určitý časový interval, po kterém dojde k opětovnému spuštění dmyhadla. Dmyhadlo je spuštěno stejný časový interval, jaký bylo pozastaveno, a poté dojde opět k zastavení. Počet těchto cyklů není dán a je

definován až při provozu čističky k optimálnímu čistícímu procesu. Po dokončení provzdušňování je spuštěno čerpadlo #3 nebo #4, která čerpají vodu do nádrže s mikrosítem. Zároveň je na krátký časový interval spuštěno čerpadlo #5 nebo #6, které slouží k částečnému odčerpání kalu do kalové nádrže. Doba spuštění čerpadel #3 a #4 je ovlivněna senzory hladiny #2 a #4, které udávají konečnou hladinu po odčerpání vody z nádrže.

Po signalizaci senzory hladiny #2 nebo #4 dojde k opětovnému spuštění čerpadla #1 nebo #2 a plnění SBR nádrží. Čerpadla #7 a #8 slouží k čerpání kalu z kalové nádrže do SBR nádrží. Tato čerpadla jsou spuštěna po několika plnicích cyklech SBR nádrží zároveň s čerpadly #1 nebo #2 pro obnovení aktivovaného kalu v SBR nádržích. Interval spuštění čerpadel #8 a #7 se upravuje až při provozu čističky. Čerpadlo #9 je spouštěno pouze při splnění určitých podmínek, pokud není retenční dešťová nádrž prázdná a zároveň nedochází k dostatečnému naplnění SBR nádrží (senzor hladiny #6, #1 a #2).

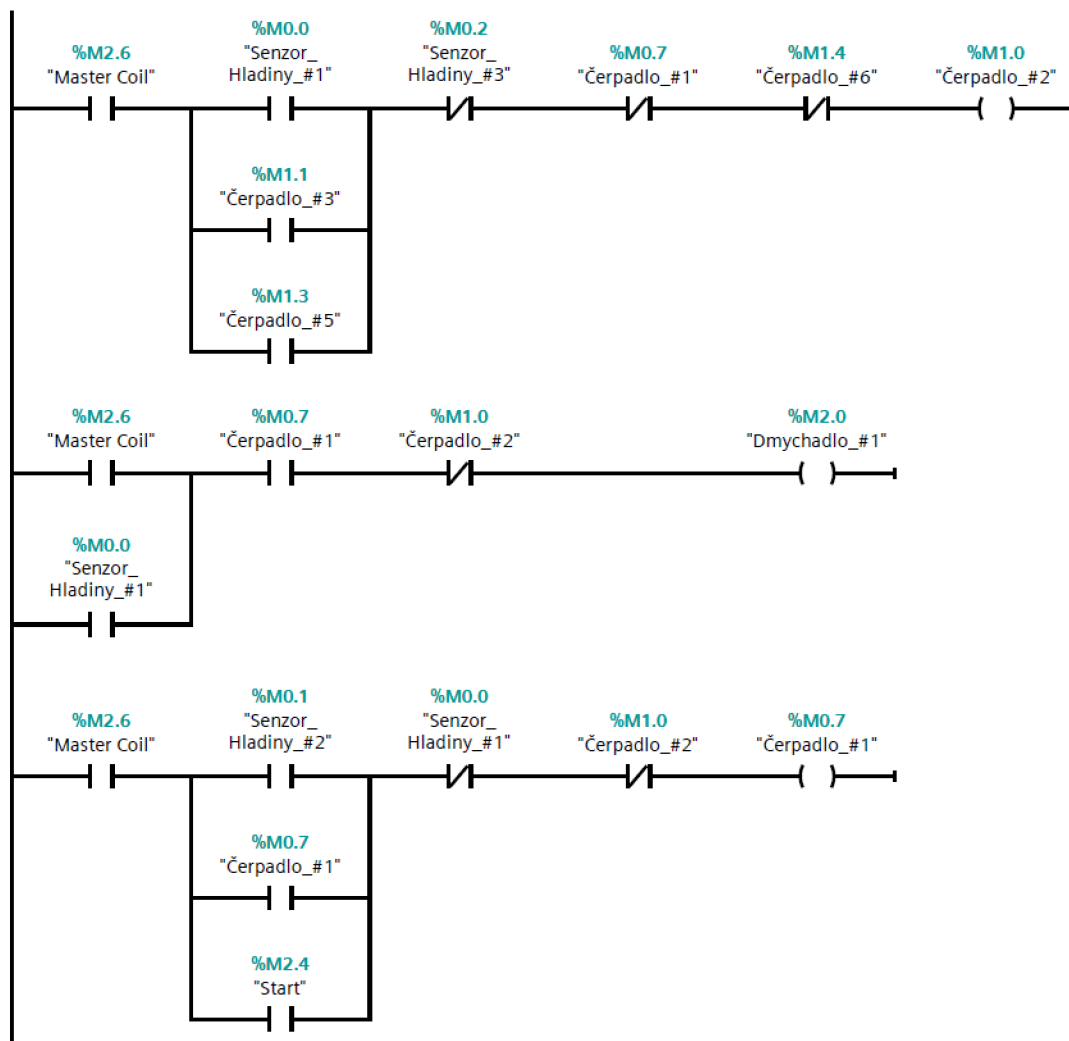
3.2 Program

Program byl napsán v programu TIA Portal od firmy Siemens. Program je rozdělen do čtyř částí pro snadnější popis funkce, pojmenování vstupů a výstupů souhlasí s pojmenováním z obrázku 3.3. Jedná se o první návrh programu, který bude během další části práce optimalizován a upraven dle potřeb. První část lze vidět na obrázku 3.4, kde první příčka slouží pro spuštění nebo zastavení běhu programu, tudíž simuluje tlačítko start a stop. Druhá příčka slouží k řízení čerpání vody z dešťové zdrže do čerpací stanice pomocí čerpadla #9, dokud senzor hladiny #6 nesepe kontakt. Poté čerpadlo ještě čerpá vodu dle nastaveného času na bloku TOF časovače.



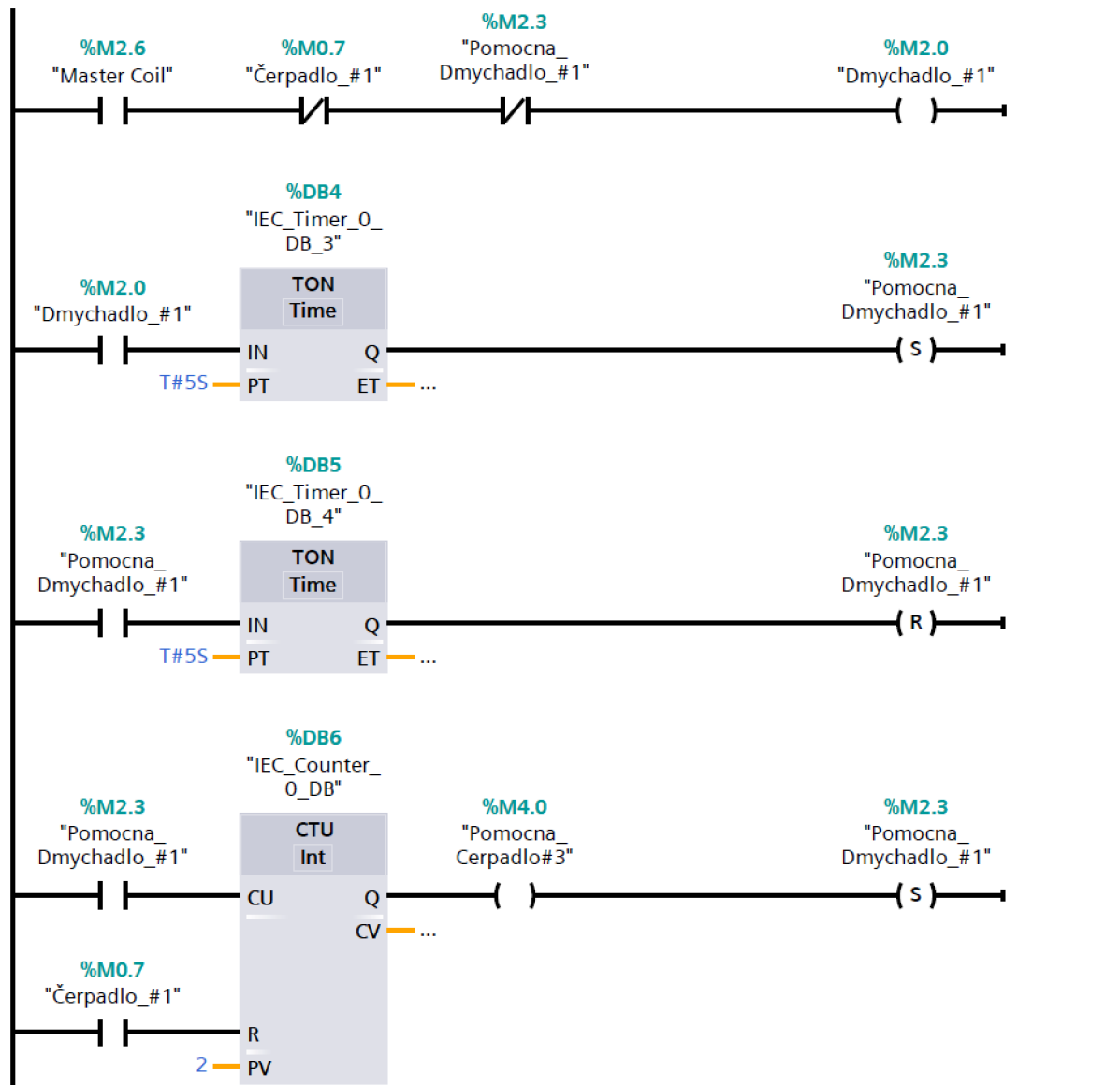
Obr. 3.4: První část programu.

Druhá část programu, viz obrázek 3.5, slouží k plnění nádrže SBR1, na první příčce této části dochází k rozhodnutí, zda se spustí čerpadlo #2 na základě procesů čištění v nádrži SBR #1. Čerpadlo #1 má větší prioritu, tudíž pokud nastane situace, že obě SBR nádrže jsou prázdné, tak se začne plnit nádrž SBR #1. Na druhé příčce dochází ke spuštění dmyhadla #1 podle chodu čerpadla #1, tudíž dochází k provzdušňování nádrže rovnou s přítokem odpadních vod do nádrže. Na třetí příčce se spouští čerpadlo #1, není-li nádrž SBR #1 plná, viz senzor hladiny #1.



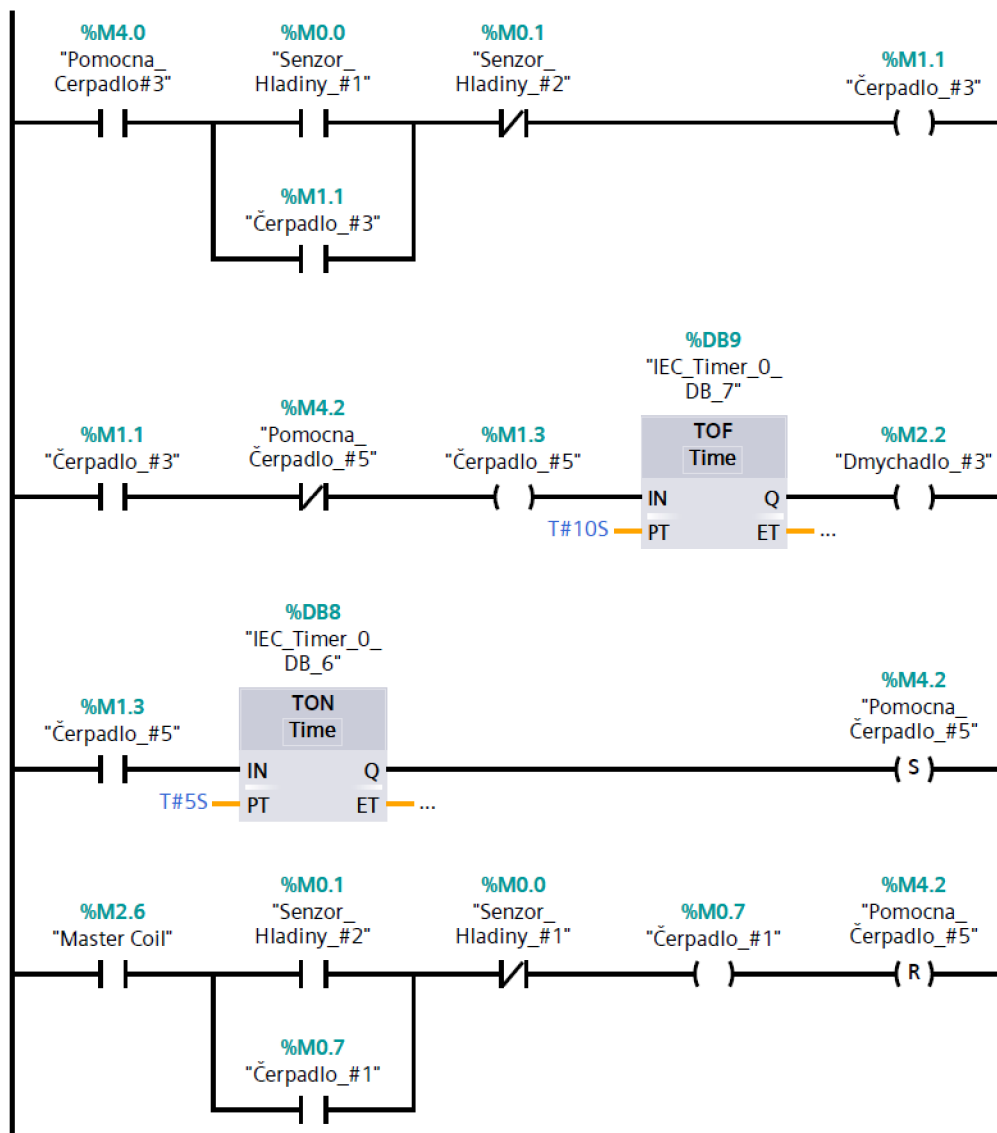
Obr. 3.5: Druhá část programu.

Předposlední část programu řídí provzdušňování nádrže SBR #1 po jejím naplnění, viz obrázek 3.6. Na první příčce je dmychadlo #1 spouštěno, podle nastavení pomocného kontaktu a je-li čerpadlo #1 vypnuto. Druhá a třetí příčka nastavuje pomocný kontakt, kde bloky TON časovače slouží k nastavení časového intervalu provzdušňování a vypnutí dmychadla #1. Na poslední příčce dochází k počítání provzdušňovacích cyklů, které je resetováno spuštěním čerpadla #1. Při dosažení zadaného počtu cyklů dojde k vypnutí dmychadla #1 a nastavení pomocného kontaktu pro čerpadlo #3, které je řízeno v poslední části programu.



Obr. 3.6: Třetí část programu.

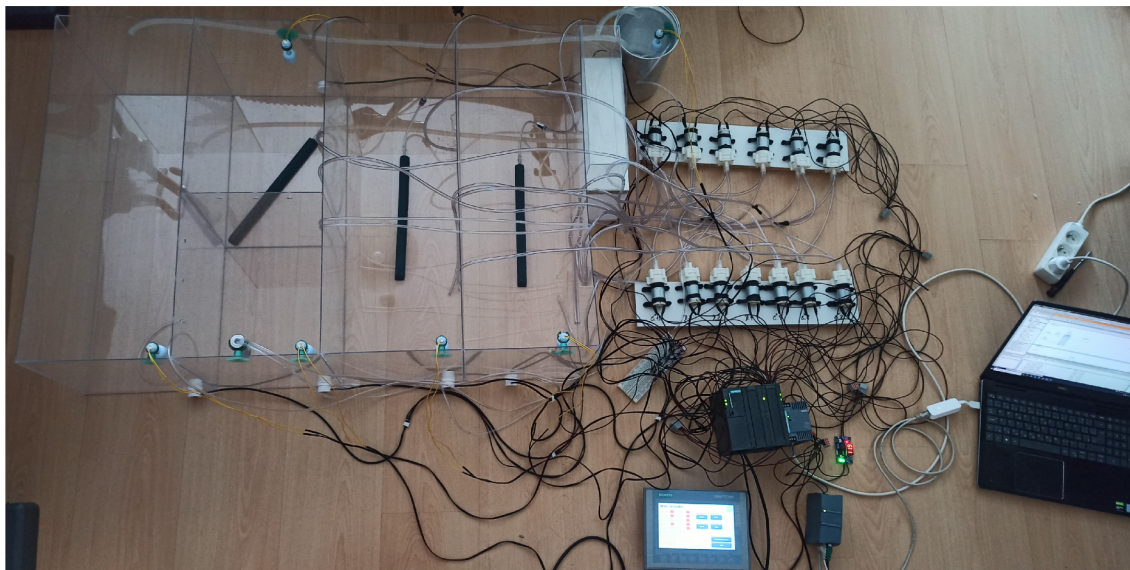
Ve čtvrté části programu je řízeno odčerpání vycištěné vody do nádrže s mikrosítem a odčerpání kalu do kalové nádrže, viz obrázek 3.7. Na první příčce je spuštěno čerpadlo #3 podle pomocného kontaktu z předchozí části programu a podle senzorů hladin #1 a #2. Na další příčce je spuštěno čerpadlo #5 zároveň s dmychadlem #3, kde interval čerpání čerpadla #5 je dán v bloku TON na třetí příčce. Po vypnutí čerpadla #5 dochází ještě k provzdušňování kalové nádrže pomocí dmychadla #3, a to po nastavenou dobu v bloku TOF na druhé příčce. Poslední příčka slouží pro zahájení čerpání čerpadlem #1 do SBR #1. Část programu pro nádrž SBR #2 není zobrazena, jelikož se jedná o stejnou část programu, jako druhá, třetí a čtvrtá část, pouze se liší pojmenováním a adresací.



Obr. 3.7: Čtvrtá část programu.

4 Realizace čističky odpadních vod

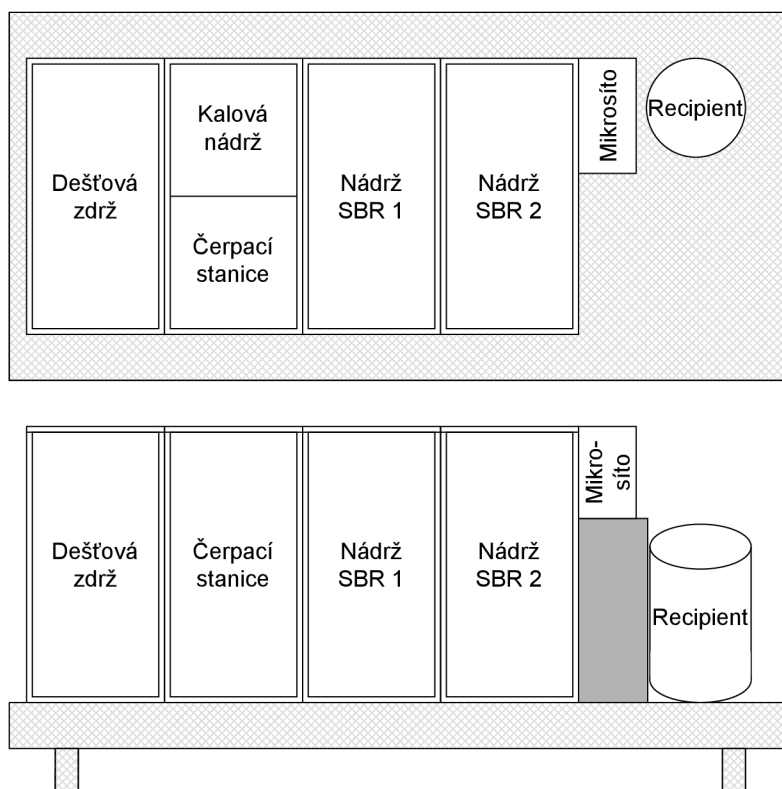
Čistička odpadních vod byla realizována na základě vytvořeného návrhu, který je v práci popsán. Vytvořený model se skládá ze samotných nádrží, senzorů hladin kapalin, čerpadel a dmychadel. Chod celé čističky odpadních vod je řízen pomocí PLC propojeného s HMI, které umožňuje dohled nad chodem ČOV a nastavení určitých parametrů, dle kterých čistička pracuje. Na obrázku 4.1 lze vidět samotnou realizaci čističky odpadních vod.



Obr. 4.1: Čistička odpadních vod.

4.1 Nádrže

Realizovaný model se skládá celkem ze sedmi nádrží, viz obr. 4.2. Materiál nádoby představující recipient je kov, ostatní nádrže jsou slepeny z plexisklových desek. Přesněji se jedná o plexisklové desky vyrobené z polystyrolu, které se prodávají v několika tloušťkách. [22] Pro potřeby čističky byly zvoleny desky plexiskla o tloušťce 2 mm, které byly nařezány externí firmou na požadované rozměry. Nařezané desky bylo potřeba slepit dohromady a vytvořit tak samotné nádrže čističky.



Obr. 4.2: Nádrže realizované ČOV.

Při lepení takových nádrží je potřebné především dbát na pevnost a voděodolnost spoje. Odzkoušeno bylo několik komerčně dostupných lepidel, jako jsou vteřinová lepidla, tavná pistole a chemoprén. Obě požadované vlastnosti poskytovalo pouze lepení pomocí tavné pistole, ale spoje nebyly esteticky přijatelné, protože nebylo možné nanést souvislou vrstvu lepidla. Žádná metoda nebyla dostačující, proto bylo použito jednosložkové polymerové transparentní lepidlo přímo určené k lepení plexiskel, konkrétně lepidlo Acrifix 116 [23]. Lepení probíhalo postupně, protože použité lepidlo potřebuje k úplnému vytvrzení alespoň 24 hodin. Kvůli nerovnostem na hranách plexisklových desek bylo lepidlo nanášeno na samotné hrany, které byly následně přiloženy na požadované místo. Po částečném vytvrzení lepidla se na vzniklý spoj nanasla souvislá vrstva lepidla, protože lepidlo nemá dostatečnou schopnost vyplňování takových nerovností díky své střední viskozitě. V tabulce 4.1 jsou parametry jednotlivých nádrží a jejich celkový objem.

Typ nádrže	Délka hrany a [cm]	Délka hrany b [cm]	Délka hrany c [cm]	Objem [l]
Čerpací stanice	30	24,5	30	22
Nádrž kalu	36	24,5	30	26,5
SBR1	66	24,5	30	48,5
SBR2	66	24,5	30	48,5
Dešťová zadrž	66	24,5	30	48,5
Nádrž s mikrosítem	30	7,5	12,5	2,7

Tab. 4.1: Parametry nádrží.

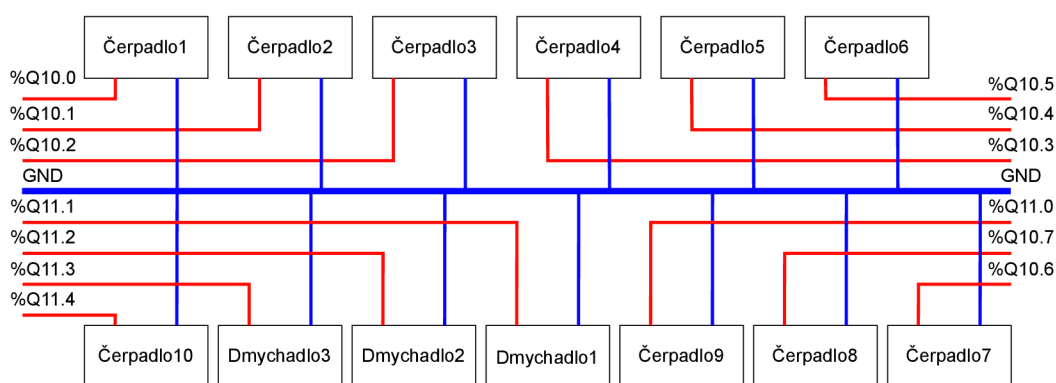
4.2 Čerpadla a dmychadla

Pro přečerpávání vody z jednotlivých nádrží byla použita vodní čerpadla se silent-bloky DC 6-12V R385. Jedná se o čerpadla, která nejsou ponorná a při použití naprázdno dokáží pumpovat vzduch, proto jsou v realizaci použita i jako dmychadla. Při zapojení těchto čerpadel není nutné dodržovat polaritu, směr čerpání kapaliny nebo vzduchu se otáčením polarity nemění. Při provozu čističky je nutné použít pouze čistou vodu, protože při čerpání znečištěné vody dochází k ucpávání čerpadel a samotných hadiček. Tabulka 4.2 zobrazuje základní parametry čerpadla, které jsou pro realizaci čističky dostatečné. V reálné čističce odpadních vod jsou použita pouze dvě čerpadla, která se v čerpání střídají, a trasa čerpané kapaliny je řízena pomocí elektromagnetických ventilů. U realizovaného modelu nebylo možné využít takové ventily, jelikož elektromagnetické ventily jsou vyráběny s většími průměry vstupů a výstupů, než jsou použité průměry u modelu čističky. Z tohoto důvodu je použit větší počet čerpadel/dmychadel než u reálné čističky.

Napájecí napětí	12 V
Proud	300–700 mA
Průtok	až 2 l/min
Max. dosah sání	až 1,2 m

Tab. 4.2: Parametry vodního čerpadla [18].

Na obrázku 4.3 je znázorněno zapojení jednotlivých čerpadel/dmychadel. Všechna čerpadla a dmychadla jsou připojena na společnou zem (modrá barva), zároveň je každé čerpadlo/dmychadlo připojeno na jednotlivé výstupy PLC, čímž jsou připojena k napájecímu napětí. Výstupy PLC jsou označeny ve tvaru %QXX.X.



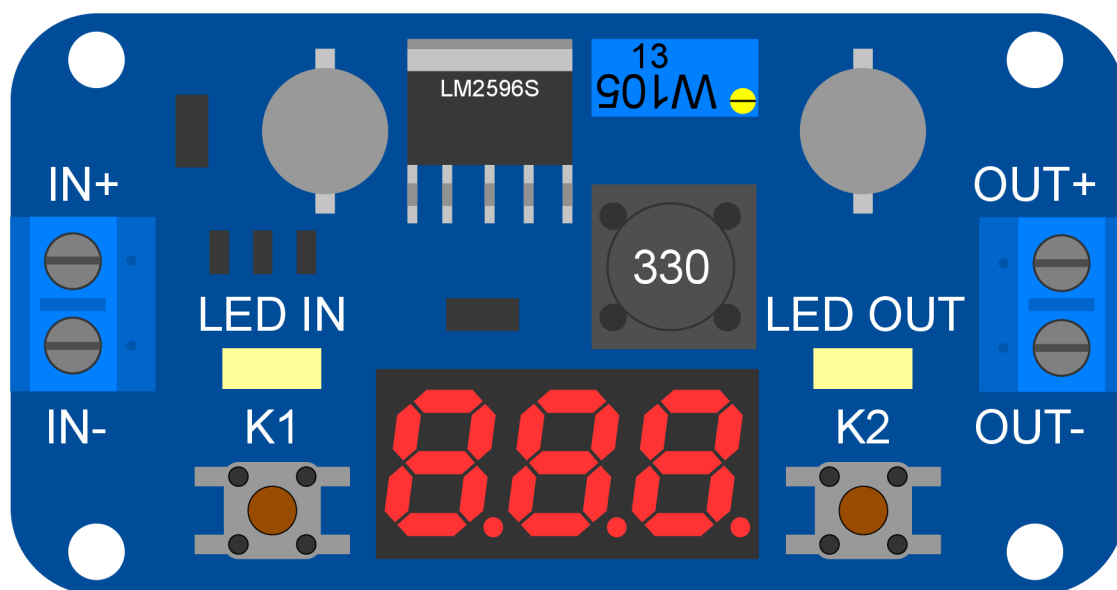
Obr. 4.3: Zapojení čerpadel a dmychadel.

Výstupní napětí použitého zdroje je 24 V a napájecí napětí čerpadla je 12 V, bylo zapotřebí snížit 24 V na požadovaných 12 V. Ke snížení napětí byl použit step-down měnič napětí, a to modul LM2596 Buck. Modul funguje jako převodník napěťových úrovní, kde výstupní napětí je vždy nižší než napětí vstupní. V tabulce 4.3 lze vidět základní specifikace modulu.

Hlavní čip	LM2596
Vstupní napětí	4–40 V
Výstupní napětí	1,25–37 V
Max. výstupní proud	3 A
Měřicí rozsah voltmetru	0–40 V
Max. chyba měření	0,1 V

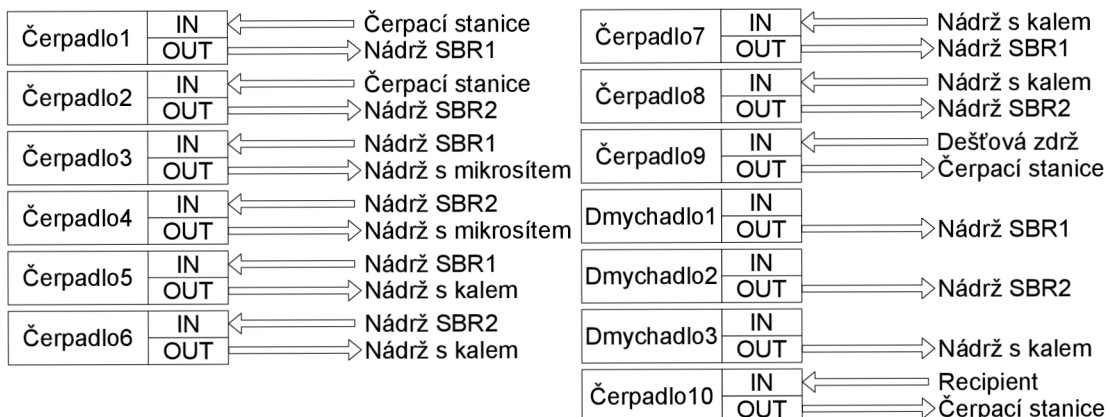
Tab. 4.3: Parametry napájecího modulu [24].

Modul je zobrazen na obrázku 4.4. Modul disponuje i vestavěným voltmetrem, který zobrazuje vstupní nebo výstupní napětí, přepínání je řešeno pomocí tlačítka K1 a zobrazované napětí je indikováno pomocí diod LED IN a LED OUT. Tlačítko K1 slouží k zapnutí/vypnutí displeje. Výstupní napětí se nastavuje pomocí víceotáčkového trimru.



Obr. 4.4: Měnič napětí [24].

Každé čerpadlo čerpá vodu z jedné nádrže do druhé za určitých podmínek a dmychadla slouží k provzdušňování určitých nádrží. K propojení čerpadel nebo dmychadel byly použity hadičky s vnitřním průměrem 4 mm a vnějším průměrem 6 mm. Tyto byly použity pro nedostupnost hadiček s optimálním průměrem. Propojení nádrží s jednotlivými čerpadly a dmychadly pomocí hadiček je zobrazeno na obr. 4.5.



Obr. 4.5: Propojení čerpadel/dmychadel s nádržemi.

Čerpadlo1 a čerpadlo2 slouží k plnění SBR nádrží z čerpací stanice. Po ukončení všech čistících procesů čerpadlo3 a čerpadlo4 čerpají vyčištěnou vodu z SBR nádrží do nádrže s mikrosítem. Zároveň čerpadlo5 a čerpadlo6 čerpají usazený kal z SBR nádrží do nádrže s kalem. Naopak čerpadlo7 a čerpadlo8 čerpají kal z nádrže s kalem do SBR nádrží, pokud dojde k deaktivaci kalu. Čerpadlo9 čerpá vodu z dešťové zdrže do čerpací stanice, není-li dostatečný přítok odpadních vod do čističky. Dmychadlo1 a dmychadlo2 slouží k provzdušňování SBR nádrží, zatímco dmychadlo3 provzdušňuje nádrž s kalem. Posledním je čerpadlo10, které slouží k čerpání z recipientu do čerpací stanice, aby docházelo k recirkulaci vody, a tím i k simulaci recipientu a přítoku do čističky. Čerpadlo10 mimo jiné slouží i k manuálnímu vypuštění čističky.

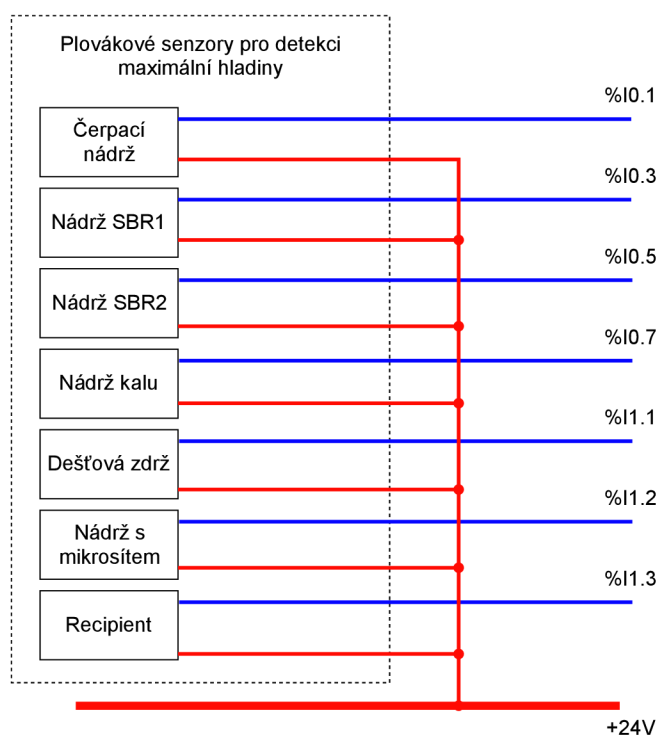
4.3 Senzory

Pro snímání hladiny vody jsou použity plovákové senzory a bezkontaktní senzory hladiny kapalin XKC-Y25-V. Plovákové senzory jsou použity pro detekci maximální hladiny vody v jednotlivých nádržích. Plovákový senzor lze používat jak v konfiguraci NO, tak i v konfiguraci NC. V tabulce 4.4 jsou základní parametry senzoru.

Typ spínače	NO/NC
Max. spínané napětí	230 VAC, 230 VDC
Max. spínaný výkon	50 W
Max. spínaný proud	500 mA
Max. trvalý proud	1 A

Tab. 4.4: Parametry plovákového senzoru [21].

Na obrázku 4.6 je zapojení plovákových senzorů a jejich rozmístění v jednotlivých nádržích. Každý senzor je napájen napětím o velikosti 24 V a zároveň je každý senzor zapojen k příslušnému vstupnímu portu PLC, které jsou adresovány ve tvaru %IXX.X.

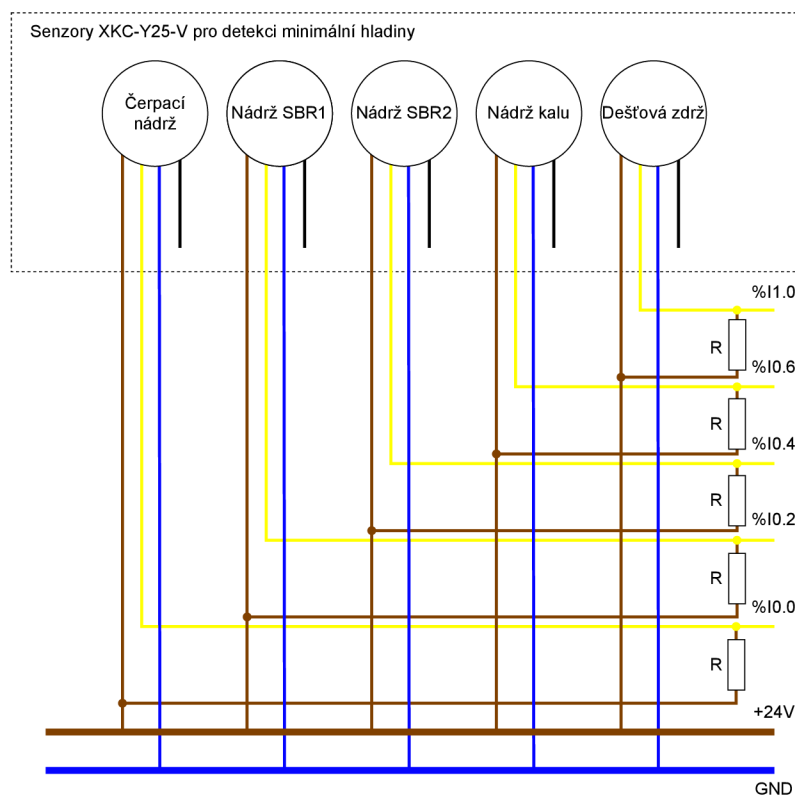


Obr. 4.6: Zapojení plovákových senzorů.

Bezkontaktní senzory jsou použity pro detekci minimální hladiny vody v jednotlivých nádržích. Základní specifikace senzoru je sepsána v tabulce 4.5. Jelikož senzory pracují v režimu NPN a je doporučeno mít PLC zapojené tak, aby pracovalo s PNP logikou, byl mezi připojené napětí a výstup senzoru zapojen pull-up rezistor o velikosti 2,7 k Ω , viz obr. 4.7, čímž je vyřešena rozdílná logika PLC a senzorů. Na obrázku lze vidět zapojení a rozmístění jednotlivých senzorů. Všechny senzory jsou připojeny ke společnému napájecímu napětí a ke společné zemi. Výstupy senzoru jsou pak připojeny k jednotlivým vstupním portům, jež jsou adresovány jako plovákové senzory ve tvaru %IXX.XX.

Typ spínače	NO/NC
Vstupní napětí	5–24 V
Vstupní proud	5 mA
Výstupní proud	1–100 mA
Doba odezvy	500 ms

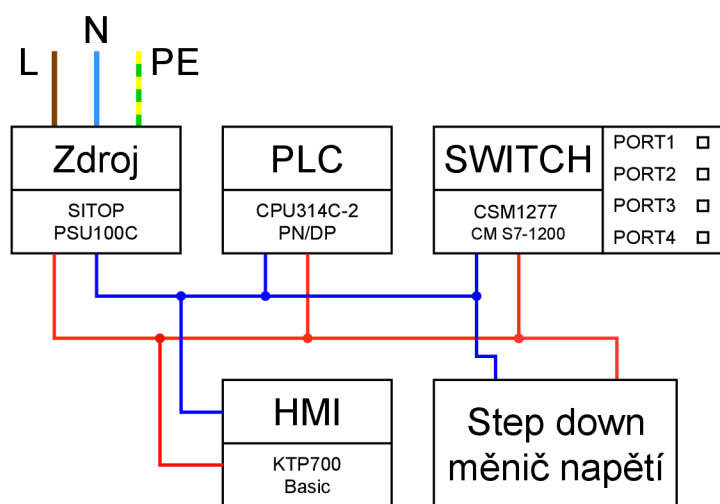
Tab. 4.5: Parametry bezkontaktního senzoru [19].



Obr. 4.7: Zapojení bezkontaktních senzorů, odpor rezistorů je 2,7 k Ω .

4.4 Zdroj

K napájení všech částí čističky slouží stabilizovaný zdroj napětí s katalogovým číslem 6EP1332-5BA10 z řady SITOP PSU100C od firmy Siemens. Zdroj je připojen ke střídavému napětí o velikosti 230 V, na výstupu zdroje pak lze velikost stejnosměrného napětí měnit v rozsahu 22,2–26,4 V pomocí potenciometru. Pro potřeby čističky je výstupní napětí nastaveno na hodnotu 24 V. Zapojení samotného zdroje a všech prvků, které jsou ke zdroji připojeny, viz obrázek 4.8.



Obr. 4.8: Zapojení zdroje, červená barva značí kladný vodič a tmavě modrá záporný vodič.

Zdrojem napětí je napájeno samotné PLC, HMI a Switch, jejichž napájecí napětí je 24 V. Napětím ze zdroje je napájen i měnič napětí, který snižuje vstupní napětí na výstupních 12 V, jež jsou požadovány pro napájení čerpadel a dmychadel. Ze zdroje lze také napájet samotné vstupní a výstupní porty PLC. V tabulce 4.6 jsou uvedeny vstupní a výstupní parametry zdroje.

Vstupní střídavé napětí	85–264 V
Vstupní stejnosměrné napětí	110–300 V
Výstupní napětí	22,2–26,4 V
Výstupní proud	0–4 A

Tab. 4.6: Parametry zdroje [25].

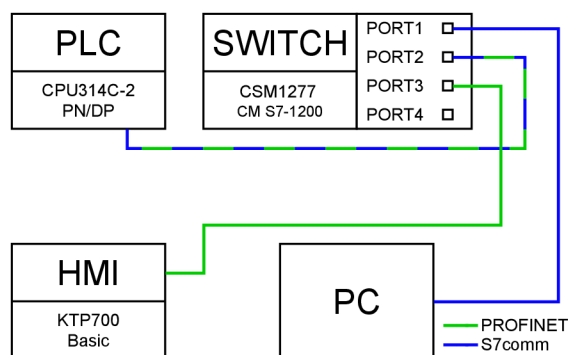
4.5 PLC

Pro automatizaci čističky odpadních vod je použito PLC CPU314C-2 PN/DP z řady SIMATIC S7-300 od firmy Siemens. PLC má 24 integrovaných digitálních vstupních portů, 16 digitálních vstupů, 5 analogových vstupů a 2 analogové výstupy. Firma Siemens nabízí několik rozšiřujících modulů, které lze využít při složitější realizaci. U realizované čističky stačil počet již integrovaných digitálních vstupů a výstupů, proto nebylo třeba použít další rozšiřující moduly. V tabulce 4.7 lze vidět základní parametry PLC. Jelikož PLC nemá integrovanou nahrávací paměť, je použita paměťová karta o velikosti 512 kB od firmy Siemens, jejíž velikost je pro program čističky dostačující.

Napájecí napětí	24 V	Počet digitálních výstupů	16
Min. napájecí napětí	19,2 V	Min. proud pro logickou 1	5 mA
Max. napájecí napětí	28,8 V	Max. proud pro logickou 1	0,6 A
Integrovaná pracovní paměť	192 kB	Max. proud pro logickou 0	0,5 mA
Max. nahrávací paměť	8 MB	Počet analogových vstupů	5
Počet digitálních vstupů	24	Pro měření napětí/proudu	4
Napětí pro logickou 0	-3 až 5 V	Pro měření odporu/odporového teploměru	1
Napětí pro logickou 1	15 až 30 V	Počet analogových výstupů	2

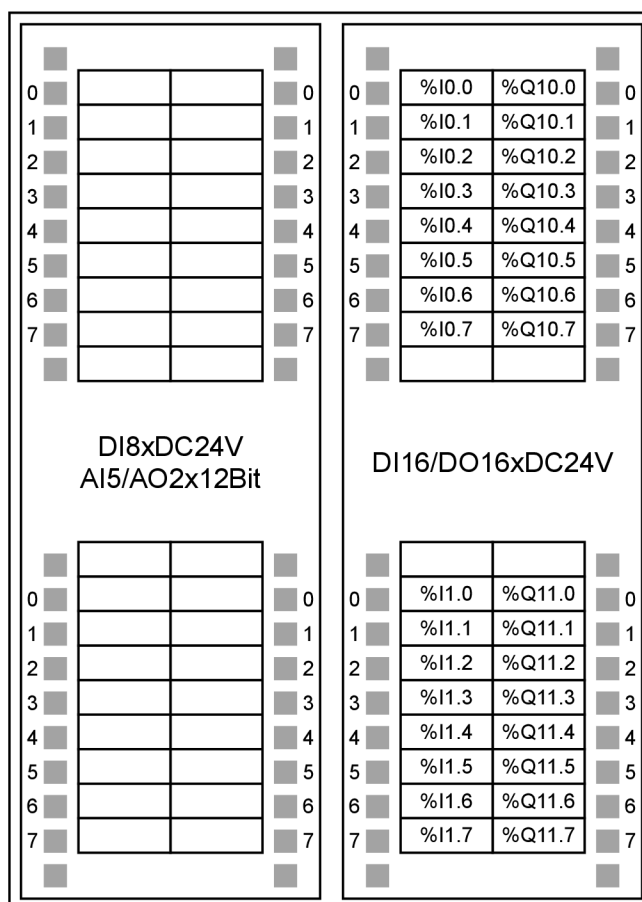
Tab. 4.7: Vybrané specifikace PLC [26].

Na obrázku 4.9 je zobrazena vytvořená síť, kde jednotlivé prvky byly propojeny pomocí UTP kabelu přes switch CSM1277 od firmy Siemens. Switch je napájen napětím o velikosti 24 V a má čtyři RJ45 porty. [27] Komunikace mezi PLC a PC probíhá pomocí protokolu S7comm, což je proprietární protokol firmy Siemens. HMI komunikuje s PLC prostřednictvím PROFINET protokolu, který je taktéž od firmy Siemens. Počítač není pro samotný chod čističky nutný.



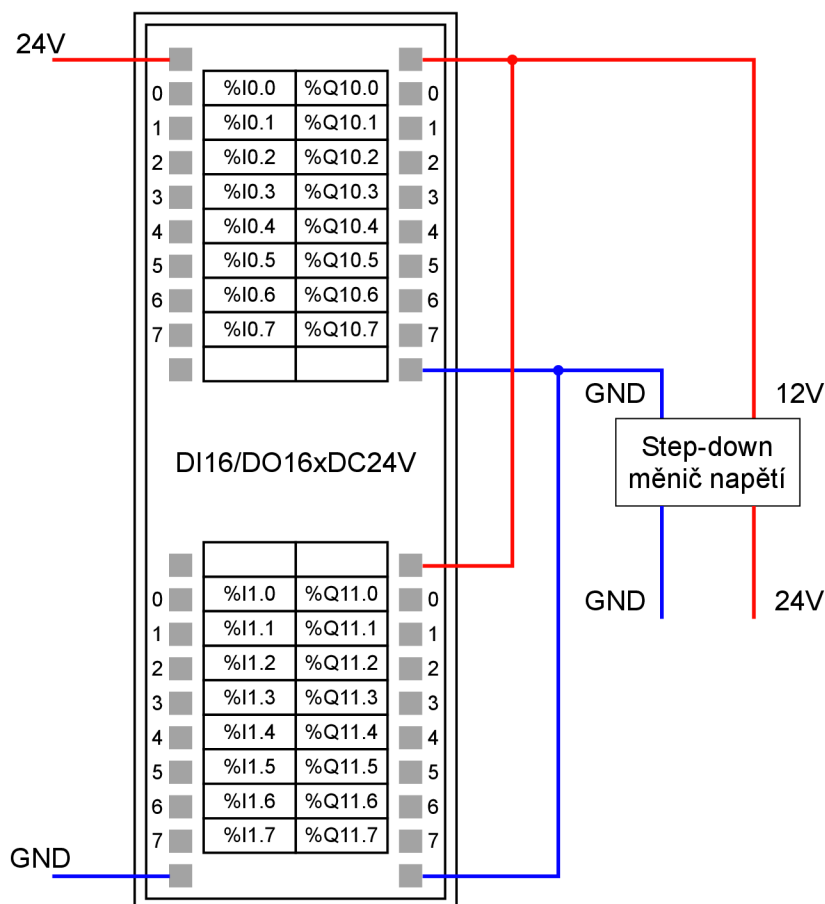
Obr. 4.9: Zapojení prvků v síti.

Na obrázku 4.10 je zobrazení integrovaných vstupních a výstupních portů PLC a adresace použité části s porty, která je nastavena v TIA Portalu. Část s integrovanými analogovými porty a osmi digitálními vstupy není při realizaci použita. Adresace vstupních portů je ve tvaru %IXX.X, zatímco adresace výstupních portů je ve tvaru %QXX.X. V TIA Portalu lze nastavit počáteční adresy vstupních i výstupních portů, přičemž počáteční adresa pro vstupní porty byla nastavena na %I0.0 a konečná adresa je automaticky nastavena dle počáteční na %I2.7. Počáteční adresa pro výstupní porty je nastavena na %Q10.0 a konečná adresa je %Q11.7.



Obr. 4.10: Adresace vstupních a výstupních portů PLC.

Pro správnou funkčnost PLC je potřeba napájet i samotné vstupní a výstupní porty. Napájení portů je znázorněno na obrázku 4.11, kde vstupní porty jsou napájeny napětím o velikosti 24 V, tímto napětím je napájeno všech 16 vstupních portů. U výstupních portů lze napájet prvních 8 portů jiným napětím, než je napájeno druhých 8 portů. Jelikož jsou na výstupních portech připojena pouze čerpadla, jejichž napájecí napětí je 12 V, je všech 16 výstupních portů napájených 12 V, které jsou získány z 24 V pomocí step-down měniče napětí.



Obr. 4.11: Napájení vstupních a výstupních portů PLC.

Tag	Adresa	Tag	Adresa
Cerpaci_Senzor_Min	%I0.0	Cerpadlo_1_Cerpaci->SBR1	%Q10.0
Cerpaci_Senzor_Max	%I0.1	Cerpadlo_2_Cerpaci->SBR2	%Q10.1
SBR1_Senzor_Min	%I0.2	Cerpadlo_3_SBR1->Mikro	%Q10.2
SBR1_Senzor_Max	%I0.3	Cerpadlo_4_SBR2->Mikro	%Q10.3
SBR2_Senzor_Min	%I0.4	Cerpadlo_5_SBR1->Kal	%Q10.4
SBR2_Senzor_Max	%I0.5	Cerpadlo_6_SBR2->Kal	%Q10.5
Kal_Senzor_Min	%I0.6	Cerpadlo_7_Kal->SBR1	%Q10.6
Kal_Senzor_Max	%I0.7	Cerpadlo_8_Kal->SBR2	%Q10.7
Dest_Senzor_Min	%I1.0	Cerpadlo_9_Dest->Cerpaci	%Q11.0
Dest_Senzor_Max	%I1.1	Dmychadlo_1_SBR1	%Q11.1
Mikro_Senzor	%I1.2	Dmychadlo_2_SBR2	%Q11.2
Rec_Senzor	%I1.3	Dmychadlo_3_Kal	%Q11.3
Start/Stop	%M30.6	Cerpadlo_10_Rec->Cerp	%Q11.4

Tab. 4.8: Tabulka PLC tagů.

Po nastavení adresace portů byly nastaveny v TIA Portalu **tagy** v tabulce tagů PLC zařízení. Tagy jsou jména, která jsou přiřazena jednotlivým adresám. Volbou správného pojmenování adresy se ve vytvořeném programu lépe orientuje. V tabulce 4.8 lze vidět přiřazená jména k jednotlivým adresám. Jména byla zvolena tak, aby bylo zřejmé, které zařízení je na určitý port s přiřazenou adresou připojeno. Jediný tag **Start/Stop** neoznačuje žádný fyzický port, ale jedná se o adresu paměťového prostoru PLC. Tento tag slouží k zapnutí nebo vypnutí chodu čističky.

4.6 HMI

Jako rozhraní mezi PLC a člověkem je použito KTP700 Basic od firmy Siemens. Jedná se o rozšiřující displej pro PLC, který má 8 funkčních kláves, jinak je ovládán dotykově. Tabulka 4.9 zobrazuje základní parametry HMI.

Napájecí napětí	24 V
Min. napájecí napětí	19,2 V
Max. napájecí napětí	28,8 V
Typ procesoru	ARM
Využitelná paměť pro uživatelská data	10 MB
Počet USB portů	1; až 16 GB
Počet RJ45 portů	1
Horizontální rozlišení obrazu	800 px
Vertikální rozlišení obrazu	480 px

Tab. 4.9: Vybrané specifikace HMI [28].

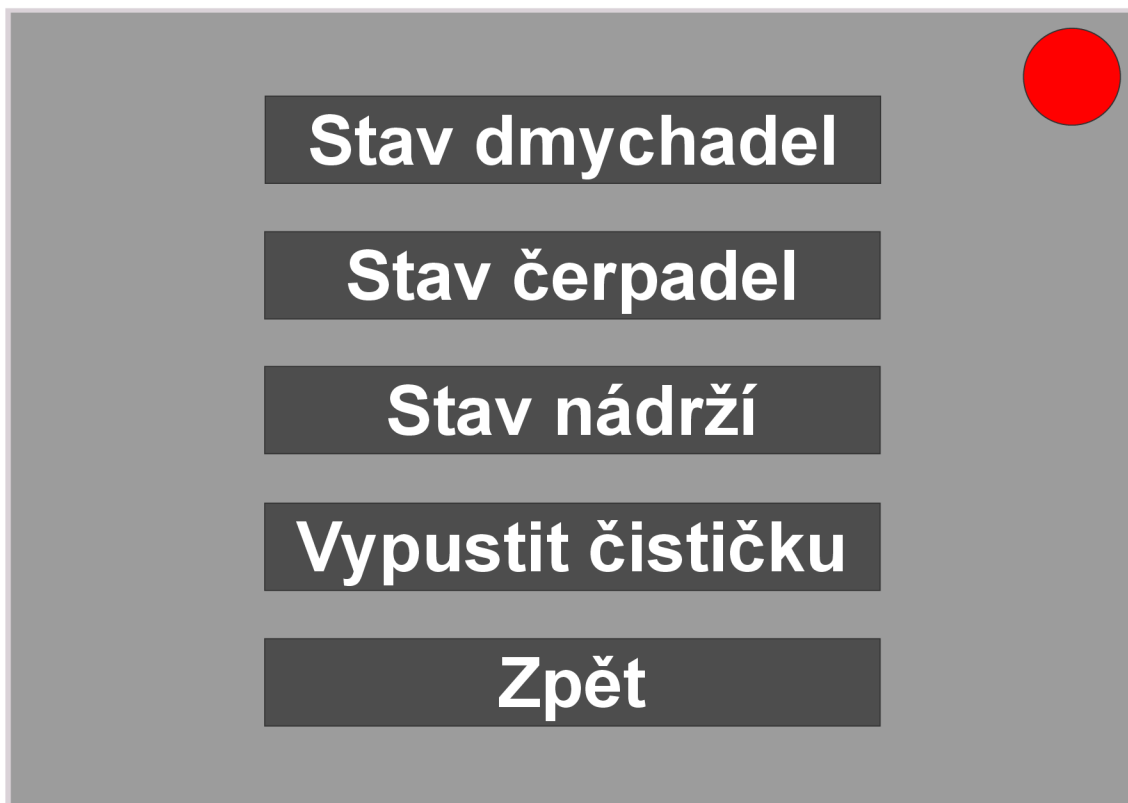
HMI bylo nakonfigurováno v prostředí TIA Portal, kde bylo nakonfigurováno propojení mezi PLC a HMI. Pro HMI se tvoří jednotlivé obrazovky, mezi kterými lze přepínat dle nastavených prvků, které jsou zobrazeny na displeji. Mezi zobrazené prvky patří tlačítka, textová pole, základní obrazce, vstupně-výstupní pole atd. Každý z těchto prvků má mnoho možností nastavení, ať už vizuálních tak i funkčních. Při tvorbě vizualizace HMI byly prvně vytvořeny jednotlivé obrazovky s příslušnými prvky. Poté bylo nutné propojit použité tagy z tabulky tagů PLC s tabulkou tagů HMI. Propojení tagů lze vytvořit mnoha způsoby, v případě této realizace byl při nastavování funkce jednotlivých prvků vždy vybrán tag z tabulky tagů PLC, tím se tag automaticky vytvořil se stejným názvem i v tabulce tagů HMI s příslušným spojením. Pro potřeby čističky bylo vytvořeno pět obrazovek, mezi kterými lze přepínat.



Obr. 4.12: HMI – úvodní obrazovka.

Na obrázku 4.12 je úvodní obrazovka, která se zobrazí při prvním spuštění PLC s HMI. Na obrazovce jsou tři tlačítka a v pravém horním rohu je kruh, který signalizuje chod programu. Pokud je kruh vyplněn červenou barvou, je chod programu zastaven, zatímco zelená barva značí, že program běží. Tlačítko **Start** slouží ke spuštění chodu programu. K zastavení chodu programu slouží tlačítko **Stop**. Obě tlačítka pouze ovládají chod programu, nikoliv chod samotného PLC, které je potřeba vypnout fyzickým přepínačem na samotném PLC. Pokud dojde k zastavení chodu programu a opětovnému spuštění, tak stav chodu čističky pokračuje v činnosti, ve kterém se čistička nacházela před zastavením. Pokud ovšem dojde k zastavení chodu čističky a úmyslné manipulaci s čističkou, např. přelévání vody z jedné nádrže do druhé, může po opětovném spuštění čističky dojít k narušení funkcionality čističky.

Na obrázku 4.13 je nabídka menu, která se skládá z několika tlačítek a indikace chodu programu. Tlačítka **Stav dmychadel**, **Stav čerpadel**, **Stav nádrží** a **Vypustit čističku** slouží pouze k přepnutí na další obrazovky. Pomocí tlačítka **Zpět** se uživatel vrátí zpět na úvodní obrazovku.



Obr. 4.13: HMI – menu.

Obrazovka stavu dmychadel je zobrazena na obrázku 4.14. Na obrazovce je opět v pravém horním rohu ukazatel chodu programu. Ve spodním pravém rohu se nachází dvě tlačítka, kde tlačítko **Úvodní obrazovka** vrátí uživatele na úvodní obrazovku HMI a tlačítko **Zpět** přepne uživatele na obrazovku s menu. Na obrazovce se nachází tři ukazatele chodu jednotlivých dmychadel. Pokud je dmychadlo nečinné, je příslušný indikátor ve tvaru čtverečku zabarven červeně, zatímco při chodu dmychadla je indikátor zabarven zeleně. Na této obrazovce lze nastavovat parametry, které ovlivňují chod dmychadel. Prvním parametrem je počet cyklů aerace a sedimentace, který se nastavuje kliknutím na příslušné vstupně-výstupní pole a zadáním celočíselné hodnoty v rozmezí od jedné do pěti cyklů. Tyto limity jsou nastaveny v tagu HMI, který je přiřazen k danému poli a nastavuje vstup čítače pro **nádrž SBR1** a zároveň nastavuje i vstup čítače pro **nádrže SBR2**. Defaultní hodnota tagu je nastavena na dva cykly. Dalšími nastavitelnými parametry je doba aerace a sedimentace. Oba parametry se nastavují obdobně jako počet cyklů, pouze se hodnota udává v sekundách a nastavují vstupy časovačů. Parametr doby aerace lze nastavit v rozmezí 10 až 1800s, kdy defaultní hodnota parametru je 10s. Opět je vstupně-výstupní pole spjato s tagem HMI, který nastavuje vstupy dvou časovačů pro každou **SBR nádrž**. Jelikož vstup časovačů musí být v mikrosekundách a uži-

vatel hodnotu zadává v sekundách je před zápisem hodnoty do časovačů hodnota převedena ze sekund na mikrosekundy. Doba sedimentace se nastavuje stejně jako doba aerace i se stejnými limity, pouze dochází k zapisování hodnot na jiné časovače.

Stav dmychadel

Dmychadlo 1: Dmychadlo 2: Dmychadlo 3:

Počet cyklů aerace/sedimentace

Počet cyklů:

Nastavení provzdušňování v SBR nádržích

Doba aerace:

Doba sedimentace:

Nastavení provzdušňování v kalové nádrži

Doba aerace:

Úvodní obrazovka

Zpět

Obr. 4.14: HMI – stav dmychadel.

Další obrazovkou je **Stav čerpadel**, viz obrázek 4.15, která má opět indikaci chodu programu a dvě tlačítka pro přepnutí do menu a na úvodní obrazovku. Na obrazovce je seznam všech dostupných čerpadel, u kterých je indikátor chodu jednotlivých čerpadel. Pokud čerpadlo čerpá, je indikátor zbarven zeleně, v opačném případě je zbarven červeně. Čtyřmi tlačítky lze ovládat čerpadlo7 a čerpadlo8. Čerpání kalu do nádrže SBR1 je pomocí čerpadla7. Čerpání je možné pouze do jedné SBR nádrže, proto při pokusu zapnout obě čerpadla dojde k vypnutí čerpadla, které je již zapnuté a zapne se čerpadlo, u kterého bylo stisknuto tlačítko **Start**. Dalším nastavitelným parametrem je doba čerpání vody z SBR nádrží pomocí čerpadla3 a čerpadla4 do nádrže s mikrosítem. Tento parametr se nastavuje vstupně-výstupním polem, které je spjaté s tagem z tabulky tagů pro HMI. Hodnota tagu je defaultně 10s a lze nastavit v rozmezí 10 až 600s. Uživatel hodnotu zadává v sekundách a je zapisována na vstup časovačů. Před zápisem je opět uživatelem zadaná hodnota převedena na mikrosekundy. Stejně se nastavuje doba čerpání

kalu z SBR nádrží, pouze zadávaná hodnota musí být v rozmezí 10 až 300 s. U reálné čističky odpadních vod se místo času zadává hladina vody v metrech, které by mělo být docíleno čerpáním vody z nádrže. Jelikož model nedisponuje žádnými měřidly aktuální hladiny kapalin, je tato možnost nahrazena alespoň možností nastavit čas čerpání čerpadel.

Stav čerpadel

Čerpadlo 1: Čerpadlo 6: Čerpání kalu do nádrže SBR1:

Čerpadlo 2: Čerpadlo 7: Start Stop

Čerpadlo 3: Čerpadlo 8: Čerpání kalu do nádrže SBR2:

Čerpadlo 4: Čerpadlo 9: Start Stop

Čerpadlo 5: Čerpadlo 10:

Nastavení doby čerpání vyčištěné vody z SBR nádrží do nádrže s mikrosítem:

Úvodní obrazovka

Nastavení doby čerpání kalu z SBR nádrží:

Zpět

Obr. 4.15: HMI – stav čerpadel.

Předposlední obrazovku lze vidět na obrázku 4.16, kde jsou opět dvě tlačítka pro vrácení uživatele na předchozí obrazovky a indikátor chodu programu. Na této obrazovce lze vidět seznam pěti hlavních nádrží, kterými čistička disponuje. U každé nádrže se nachází indikátor minimální hladiny vody a indikátor maximální hladiny vody. Pokud je nádrž prázdná, je indikátor minimální hladiny zbarven zeleně a indikátor maximální hladiny je zbarven červeně. Je-li v nádrži hladina vody výše, než je pozice senzoru, měřící minimální hladinu, je indikátor minimální hodnoty zbarven červeně. Pokud je sepnut senzor maximální hladiny vody, je indikátor maximální hladiny zbarven zeleně. U reálné čističky lze nastavit korekci senzorů aktuální hladiny vody a sledovat v jaké výšce jsou hladiny jednotlivých nádrží.



Obr. 4.16: HMI – stav nádrží.

Poslední obrazovkou je **Vypuštění ČOV**, která je na obrázku 4.17. Opět jsou zde tlačítka k návratu na předchozí obrazovky a indikátor běhu programu. Dále zde jsou indikátory minimální hladiny vody pěti hlavních nádrží a indikátor čerpadla, přičemž se jedná o čerpadlo10. Indikátory minimální hladiny vody fungují stejně jako na obrazovce **Stav nádrží**, kdy indikátory jsou zbarveny zeleně, pokud v nádržích není žádná voda, a červeně jsou zbarveny, pokud nějaká voda v nádržích je. Indikátor čerpadla je zbarven zeleně, pokud je čerpadlo v chodu, Je-li čerpadlo nečinné, je indikátor zbarven červeně. Tlačítka **Spustit čerpání** a **Zastavit čerpání** lze řídit čerpadlo10, přičemž při spuštění čerpání je zastaven chod programu a je možný pouze chod čerpadla10. Při vypouštění ČOV je nutné hadičky čerpadla10 přenést do nádrží, ve kterých se nachází voda, jinak čerpadlo bude čerpat pouze vzduch. Pokud je spuštěno čerpání a uživatel se vrátí na některou z obrazovek, je čerpání automaticky zastaveno.



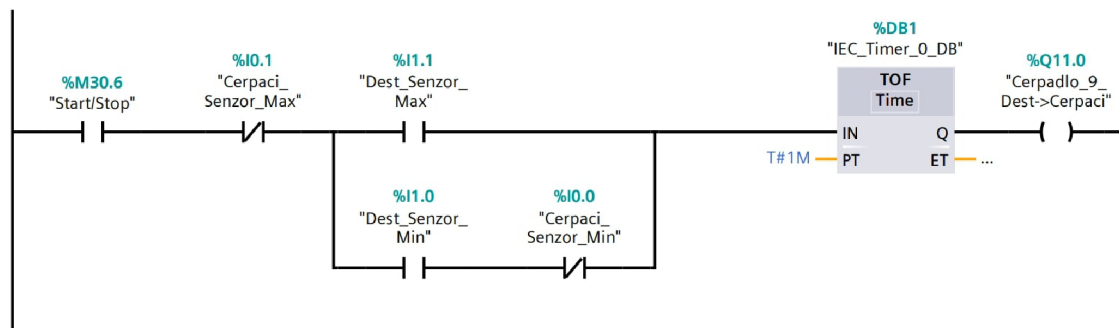
Obr. 4.17: HMI – Vypuštění ČOV.

4.7 Program

Program řídicí chod celé čističky odpadních vod byl napsán v TIA Portalu a samotný program v jazyce příčkových diagramů. Program i návrh programu je rozdělen do tzv. networks, které slouží k přehlednosti a lepší čitelnosti. Na rozdíl od návrhu, který byl navržen pro PLC řady S7-1200, musel být program rozdělen do víceero networks, jelikož u PLC z řady S7-300 je možné mít v jednom network jednu hlavní příčku. Tudíž navržená část programu, která pro PLC z řady S7-1200 lze napsat do jednoho network, viz obrázek 3.4, musí být pro PLC z řady S7-300 rozdělena do dvou networks. Z tohoto důvodu program obsahuje čtyřicet networks, které jsou okomentovány, aby bylo jasné, jakou činnost čističky určité části programu vykonávají. V programu jsou použity tagy, které jsou zobrazeny v tabulce 4.8. Navíc jsou použity i další tagy, které slouží jako pomocné. Jelikož nelze například za časovačem či čítačem použít instrukci `set output` nebo `reset output`.

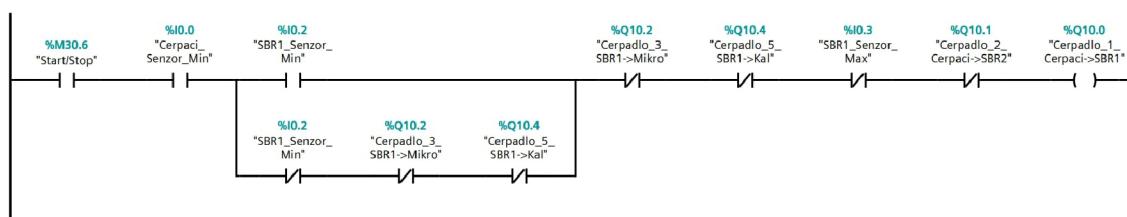
Network 1 slouží k čerpání vody z dešťové zdrže do čerpací stanice pomocí čerpadla9. Čerpadlo je spuštěno, pokud je chod programu pomocí HMI spuštěn. Sensor maximální hladiny vody v dešťové zdrži je sepnut, tudíž je detekována maximální hladina vody a zároveň sensor maximální hladiny vody v čerpací stanici

žádnou hladinu nedetekuje. Ve druhém případě je čerpadlo spuštěno, je-li čerpací stanice zcela prázdná a zároveň senzor minimální hladiny v dešťové zdrži detekuje hladinu. Čerpadlo9 po vypnutí ještě minutu čerpá. Na obrázku 4.18 lze vidět část programu v **network 1**.



Obr. 4.18: Network 1.

Network 2 obsahuje část programu, která slouží k čerpání vody z čerpací stanice do nádrže SBR1 pomocí čerpadla1, viz obrázek 4.19. Čerpadlo začne čerpat, pokud je v čerpací stanici voda, senzor pro maximální hladinu v nádrži SBR1 nedetekuje hladinu, z nádrže není čerpána voda ani kal a není plněna nádrž SBR2.



Obr. 4.19: Network 2.

V **network 3** až **network 9** je naprogramováno provzdušňování nádrže SBR1 pomocí dmychadla1. K provzdušňování dochází, pokud je nádrž plněna. Po naplnění dochází k opakování aerace a sedimentace v cyklech. Střídání aerace a sedimentace je nastavováno pomocí pomocných výstupů. Počet cyklů a dobu sedimentace s aerací může uživatel měnit pomocí HMI. Defaultně je počet cyklů nastaven na dva cykly, doba aerace na 10 s a doba sedimentace taktéž na 10 s.

Network 10 až **network 12** slouží k čerpání vody z SBR1 nádrže do nádrže s mikrosítem pomocí čerpadla3. Čerpání probíhá po skončení cyklů aerace a sedimentace z předchozích kroků pomocí pomocného výstupu. Doba čerpání je nastavena pomocí časovače, který má defaultní hodnotu nastavenou na 10 s. Tuto dobu může uživatel opět měnit pomocí HMI.

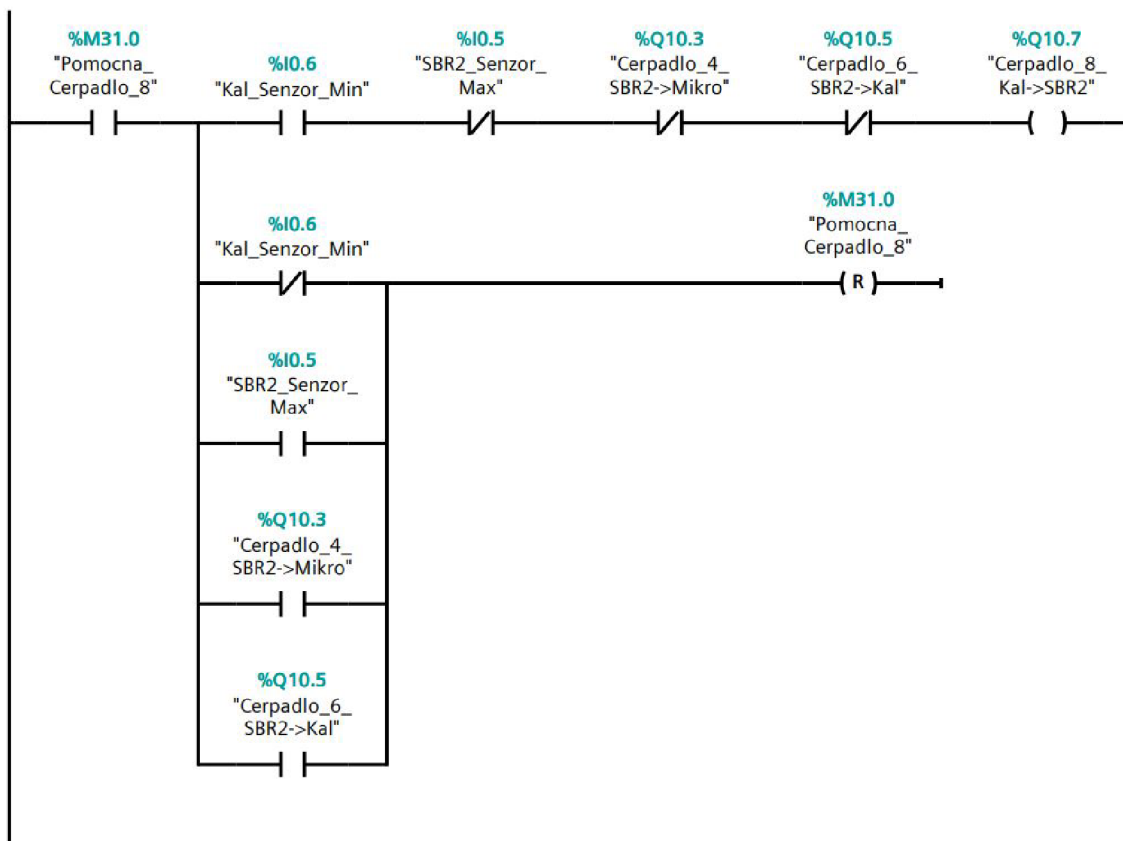
Čerpání kalu z **SBR1** nádrže a provzdušňování nádrže s kalem je realizováno v **network 13** až **network 21**. Pomocí pomocného výstupu z předchozího kroku jsou nastaveny další pomocné výstupy, dle kterých je řízeno čerpání kalu a provzdušňování nádrže s kalem. Čerpání kalu je spuštěno, jakmile je ukončeno čerpání vody do nádrže s mikrosítem z předchozího kroku. Zároveň s čerpáním je spuštěno provzdušňování nádrže s kalem. Od začátku provzdušňování běží doba, po kterou je **dmychadlo3** v chodu. Doba je defaultně nastavena na 10 s a uživatel ji může nastavit skrze HMI. Samotné čerpání **čerpadlo5** je také omezeno dobou, defaultně čerpadlo čerpá 10 s. Tuto dobu lze také změnit pomocí HMI. Po ukončení těchto procesů jsou pomocné výstupy zresetovány, tudíž je do nich zapsána logická nula.

Network 22 slouží k čerpání vody z čerpací stanice do nádrže **SBR2** pomocí **čerpadlo2**. Čerpadlo je spuštěno, je-li dokončen proces plnění v nádrži **SBR1** nebo dochází k odtoku vody, popřípadě kalu, z nádrže **SBR1**. Zároveň musí být v čerpací stanici voda, která bude čerpána, a nedochází k odtoku vody nebo kalu z nádrže **SBR2**. Navíc k plnění nádrže dojde pouze, nedetekuje-li senzor maximální hladiny vody v **SBR2** nádrži žádnou hladinu.

V **network 23** až **network 28** je naprogramováno provzdušňování nádrže **SBR2** pomocí **dmychadlo2**. Část programu je téměř shodná s částí programu pro provzdušňování nádrže **SBR1**, jen jsou použity jiné tagy výstupních portů. Tudíž k provzdušňování dochází zároveň s čerpáním vody do nádrže **SBR2**. Po naplnění nádrže dojde k cyklům aerace a sedimentace. Počet cyklů uživatel nastaví pomocí HMI, defaultní hodnota jsou dva cykly. Doba aerace a sedimentace je taktéž nastavena přes HMI, přičemž defaultní hodnoty obou činností je nastavena na 10 s. Všechny tři parametry, nastavené uživatelem pomocí HMI jsou pro obě **SBR** nádrže, nelze tedy nastavit parametry pro každou nádrž zvlášť.

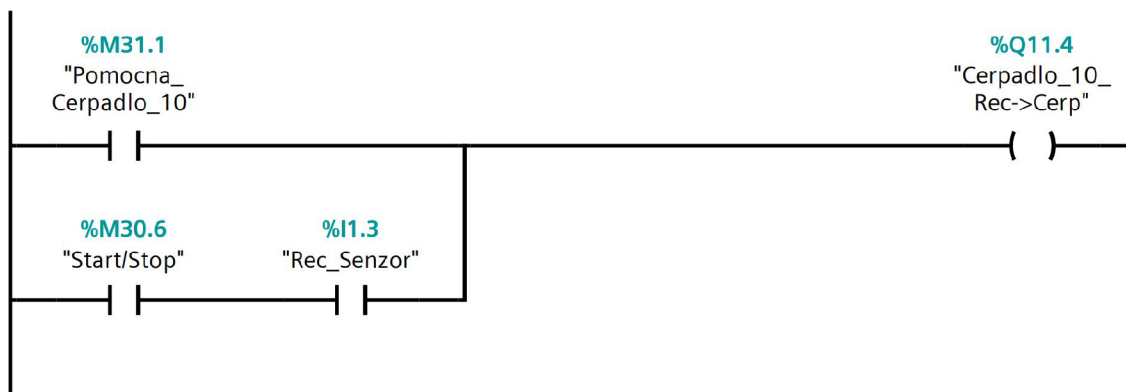
Network 29 až **network 33** obsahuje část programu pro čerpání vody z **SBR2** nádrže do nádrže s mikrosítem skrze **čerpadlo4**. K čerpání dojde, jsou-li ukončeny všechny cykly aerace a sedimentace v nádrži **SBR2**. Čerpání je omezeno časovačem, který má nastavenou defaultní hodnotu na 10 s. Tato doba lze nastavit pomocí HMI a opět je tento parametr promítnut do obou **SBR** nádrží, proto nelze nastavit každou nádrž zvlášť. Na konci této části programu jsou nastaveny pomocné výstupy, díky kterým je řízena další část programu.

Čerpání kalu z nádrže **SBR2** je naprogramováno v **network 34** až **network 37** pomocí **čerpadlo6**. Čerpání kalu je spuštěno, je-li ukončeno čerpání vody z nádrže **SBR2** do nádrže s mikrosítem. Doba čerpání kalu je omezena časovačem, kdy defaultní doba je 10 s a lze tuto dobu změnit přes HMI. Nastavená hodnota je opět nastavena pro obě **SBR** nádrže. Zároveň s čerpáním kalu dochází k provzdušňování nádrže s kalem, které běží určitou dobu, jež je defaultně nastavena na 10 s. Tuto dobu lze nastavit pomocí HMI. Doposud popsáný program běží automaticky, chod



Obr. 4.20: Network 39.

programu může být zastaven či zapnut uživatelem skrze HMI. V network 38 je naprogramováno manuální čerpání kalu z kalové nádrže do nádrže SBR1. Network 39 slouží k čerpání kalu do nádrže SBR2, viz obrázek 4.20. Čerpání kalu je řízeno uživatelem pomocí HMI, k zastavení čerpání může dojít manuálně nebo automaticky, pokud se v kalové nádrži nenachází žádný kal, SBR nádrž je plná nebo dochází k odtoku kalu a vody z SBR nádrže.



Obr. 4.21: Network 40.

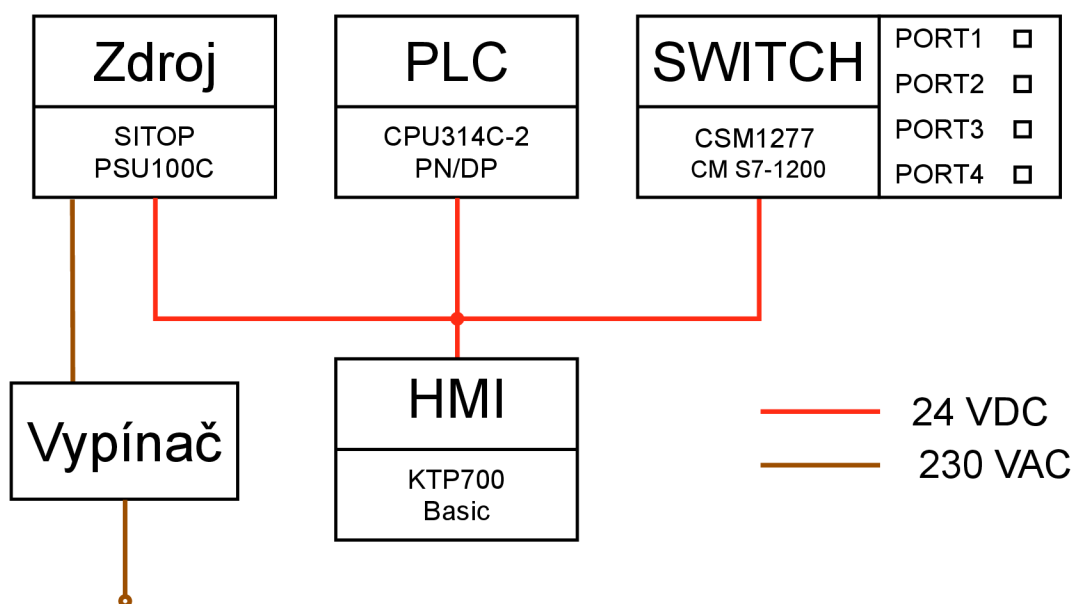
Poslední částí programu je **network 40**, viz obrázek 4.21, kde je řízeno čerpadlo10, které slouží k čerpání vody z recipientu do čerpací stanice, je-li spuštěn chod programu. Pokud je chod programu zastaven, slouží toto čerpadlo k vypuštění ČOV, které je řízeno uživatelem přes HMI.

4.8 Simulace kritických stavů

Kromě kritických stavů, které jsou popsány v teoretické části, může být systém čističky odpadních vod napaden útočníkem. V takovém případě může dojít k nepředvídatelnému chování samotné čističky. V rámci kritických stavů byly simulovány dvě situace. První z nich je výpadek elektrické energie, který může nastat vlivem různých faktorů, např. počasí, neodborná manipulace, útočník a jiné. Druhou situací je DoS (Denial of Service) útok vedený na HMI, které je zapojeno v lokální síti s PLC.

4.8.1 Výpadek elektrické energie

Pro simulaci výpadku elektrické energie byl před zdroj zapojen vypínač, viz obrázek 4.22. Vypínač sloužil ke snazšímu odpojení zdroje od elektrické energie, čímž dojde k odpojení všech připojených komponent. První simulace výpadku elektrické energie proběhla po uvedení chodu čističky odpadních vod do provozu. Jakmile docházelo k plnění nádrže SBR1, byla celá čistička odpojena a následně připojena k elektrické energii. Protože je chod programu řízen přes HMI, nebylo ho možné okamžitě spustit, jelikož HMI má po připojení k elektrické energii prodlevu, než je možné s ním pracovat. Po načtení HMI byl spuštěn chod programu a opět bylo spuštěno plnění nádrže SBR1. Při první simulaci se může zdát, že PLC je schopno si pamatovat stavy bez elektrické energie, ale není tomu tak. Tato situace nastala především z důvodu odpojení elektrické energie téměř okamžitě po spuštění čističky.



Obr. 4.22: Zapojení při simulaci výpadku elektrické energie.

U druhé simulace výpadku elektrické energie byla čistička odpadních vod spuštěna delší dobu. Výpadek elektrické energie proběhl v okamžiku, kdy docházelo k odtoku kalu a vyčištěné vody z nádrže SBR2. Doby čerpání kalu a vyčištěné vody byly nastaveny na maximální hodnoty pomocí HMI pro snazší sledování chování čističky při výpadku elektrické energie. Po odpojení elektrické energie došlo k zastavení chodu čističky a následnému připojení elektrické energie. Opět po načtení HMI byl zapnut chod programu čističky. Nyní ale nedošlo k pokračování čerpání kalu a vyčištěné vody z nádrže SBR2, tudíž nebyl proces odčerpání dokončen. Hlavním důvodem je, že část programu řídicí odčerpávání z nádrže SBR2 je především řízena podle pomocných proměnných, které jsou uloženy v energeticky závislé paměti PLC. Tudíž po odpojení elektrické energie došlo ke ztrátě stavu těchto proměnných, a tím nemohla čistička pokračovat v odčerpávání z nádrže SBR2.

Simulací výpadku elektrické energie bylo dokázáno, že takový stav může výrazně ovlivnit chod čističky odpadních vod, což je nežádoucí, a to nejen u čističky odpadních vod. Výpadkům elektrické energie lze předejít použitím alespoň jednoho záložního zdroje. Ve většině případů není nutné záložním zdrojem napájet senzory a akční členy, ale pouze řídicí členy jako je PLC a HMI, aby nedocházelo ke ztrátám stavů uložených v energeticky závislé paměti.

4.8.2 DoS útok

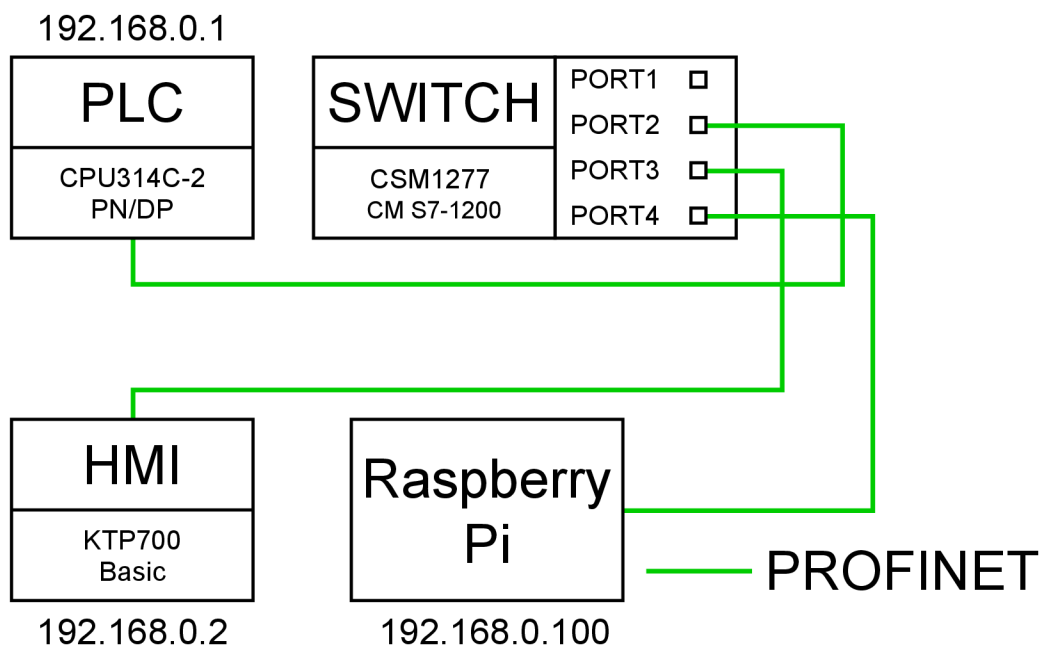
Při realizaci čističky odpadních vod byla vytvořena lokální síť, ve které se nachází HMI propojené s PLC přes porty 3 a 2 použitého switche. V lokální síti se nachází PLC s adresou 192.168.0.1 a HMI s adresou 192.168.0.2, obě adresy jsou nakonfigurovány v prostředí TIA Portal. Protože se jedná o lokální síť, není možné provést vzdálený útok na síť, proto útočník potřebuje přístup do této sítě. K přístupu do sítě stačí útočníkovi obejít případné zabezpečení prostoru čističky odpadních vod. Pro simulaci DoS útoku bylo do lokální sítě připojeno Raspberry Pi, na kterém běží Linux Ubuntu 21.04. Raspberry Pi bylo připojeno na port 4 použitého switche, viz obrázek 4.23. K provedení DoS útoku byl použit síťový nástroj `hping3`, který slouží k testování zabezpečení sítí. Před použitím nástroje `hping3` je nutné ho nainstalovat, a to příkazem:

```
1 sudo apt install hping3 -y
```

Po instalaci nástroje byla čistička zprovozněna a následně byl spuštěn DoS útok pomocí příkazu:

```
1 sudo hping3 -c 90000 -d 150 -S -p 120 --flood 192.168.0.2
```

Přičemž `-c 90000` značí počet odeslaných paketů, `-d 150` nastavuje velikost paketu, `-S` specifikuje SYN pakety, `-p 120` značí port a `--flood` nastavuje ignorování odpovědí a proto budou pakety odesílány co nejrychleji.



Obr. 4.23: Lokální síť pro DoS útok.

Během DoS útoku byl chod čističky zcela normální, avšak nastal problém při komunikaci mezi HMI a samotným PLC. Špatná komunikace byla rozpoznána, podle chybné indikace stavu čerpadel a nemožnosti řízení čističky pomocí HMI. Skutečnost, že došlo k chybné komunikaci mezi HMI a PLC, může mít v určitých případech až fatální následky. Z důvodu napadení rozhraní, díky kterému je čistička operátorem řízena a umožňuje dohled nad chodem čističky, může dojít k nemožnosti nastavení parametrů aerace a sedimentace, jež jsou pro správný chod čističky velice důležité. Při nenastavení optimálních parametrů se chod čističky nemění, ale může dojít k nedostatečnému čištění vody, a tím dochází ke znečištění recipientu. DoS útok byl sice proveden pouze v rámci lokální sítě, ale obdobně lze provést tento útok i vzdáleně, přičemž by útočník provedl útok přes router, který by sloužil ke vzdálené komunikaci mezi PLC s HMI a operátorem čističky.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámení s problematikou čističek odpadních vod, vytvoření návrhu čističky s programem pro ovládání čističky a realizace čističky odpadních vod řízenou pomocí PLC. V úvodní části diplomové práce byl obecný popis automatizace v průmyslových sítích a jednotlivých částí těchto sítí. Následující kapitola se věnovala čističkám odpadních vod, které jsou důležitými prvky vodohospodářství. S čističkami odpadních vod souvisí odpadní vody a jejich přívod k čističce pomocí stokových soustav. ČOV se dělí podle počtu ekvivalentních obyvatel a podle procesů čištění, které se v čističce odehrávají. V závěru kapitoly jsou popsány kritické stavy, které mohou nastat, a obecné zabezpečení čističek odpadních vod. V další kapitole je samotný návrh čističky odpadních vod, přičemž jsou popsány jednotlivé nádrže, které budou potřebné ke správnému chodu čističky, a také samotný chod ČOV a jednotlivých prvků, které budou řízeny pomocí PLC. Návrh ČOV obsahuje i program, který bude sloužit k řízení jednotlivých prvků připojených k PLC.

Poslední částí práce je realizace ČOV, která vychází z návrhu. V první řadě bylo nutné slepit plexiskla, čímž byly vytvořeny nádrže čističky. Po dostatečném vytvrzení použitého lepidla byl proveden test nádrží, při kterém došlo k mírnému protékání vody především u dna nádrží a patrnému vyboulení delších bočních stěn nádrží. Protékání i vyboulení stěn je způsobeno velikostí nádrží a flexibilitou použitých plexisklových desek. Řešením je vlepení rozpěr dovnitř nádrží. Rozpěry by byly vlepeny od vrchní hrany nádrží, minimálně však do poloviny výšky nádrže, jelikož v těchto místech jsou boky nejpružnější. Do větších nádrží je vhodnější vlepit alespoň tři takové rozpěry pro větší pevnost boků nádrží. Dalším řešením je použití plexiskel o větší tloušťce nebo jiného materiálu, který není tak pružný. Dalším krokem bylo připravení čerpadel/dmychadel a senzorů hladin kapalin pro připojení všech prvků k PLC. Jelikož čerpadla, respektive dmychadla, byla dodána bez přívodních kabelů, musely být přívodní kabely napájeny na kontakty čerpadel a osazeny konektory. Sensory byly dodány s přívodními kabely, tudíž byly pouze osazeny konektory. Dále byly připraveny kabely o různých délkách, které byly osazeny konektory dle potřeby.

Posledními kroky bylo připojení PLC, HMI, switche a popřípadě PC do jedné sítě a nakonfigurování jednotlivých prvků. Nakonec proběhlo samotné programování čističky s testováním chodu programu. Programování probíhalo bez větších komplikací a když se nějaké problémy objevily, byly následně úspěšně vyřešeny. Chod samotné čističky je také funkční, i když nedisponuje částmi, které jsou implementovány v reálné předloze, jako např. snímač aktuální polohy hladiny, elektromagnetické ventily, měřidla průtoků atd. I přesto byl vytvořený model čističky co nejvíce přiblížen reálné předloze. Celý projekt vytvořený v prostředí TIA Portal je obsažen v příloze a program je nahrán na paměťové kartě, která je vložena v PLC.

V rámci realizace testovacího prostředí čističky odpadních byly nasimulovány dva kritické stavy, výpadek elektrické energie a DoS útok. Při simulaci výpadku elektrické energie bylo zjištěno, že je vhodné mít řídicí prvky čističky napájené i záložním zdrojem, který by eliminoval ztrátu stavů, které jsou v řídicích prvcích uloženy. Při DoS útoku došlo k ovlivnění komunikace mezi HMI a PLC, čímž se znemožnila kontrola stavu čističky a její řízení. Podobně vzniklých situací je možné v rámci testovacího prostředí simulovat nespočet. Jelikož ve většině případů nemá operátor dohled pouze nad jednou ČOV, ale je jich poměrně více, a kontrolovat stavy ČOV pouze vzdáleně není možné, je osoba žijící v blízkosti čističky pověřena fyzickým dohledem nad čističkou. Tato osoba je většinou proškolená a čističku kontroluje v různých časových intervalech s fotodokumentací, která je následně zasílána operátorovi. Tato skutečnost nabízí další možné simulace kritických stavů, protože vzniká časové rozmezí, ve kterém může dojít k fatálním následkům. Příkladem může být nahrazení zobrazované obrazovky stavů čističky pouhým obrázkem této obrazovky a změnou chování samotné čističky, čímž dojde k nedostatečnému čištění odpadních vod. Jelikož operátor stále vidí stav čističky, který je nastražený útočníkem, a pověřená osoba fyzicky potvrdí, že čistička je v pořádku, nastává značné znečištění recipientu bez vědomí operátora. Na takovou situaci pak není snadné přijít a zjištění špatného chodu čističky může trvat až několik týdnů.

Literatura

- [1] MÜLLEROVÁ, Hana. *Čištění odpadních vod v rámci kritické infrastruktury*. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko – správní. Vedoucí práce Ing. Ondřej Svoboda.
- [2] *Průmyslové sítě* [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní [cit. 1. 12 2020]. Dostupné z: <http://352lab.vsb.cz/Podklady/03_PAR/S_Zaklady.html/>
- [3] *Engineering Essentials: What Is a Programmable Logic Controller?* [online]. Endeavor, JUN 01, 2015 [cit. 1. 12 2020]. Dostupné z: <<https://www.machinedesign.com/learning-resources/engineering-essentials/article/21834250/engineering-essentials-what-is-a-programmable-logic-controller/>>
- [4] FIGUEIREDO, Joao, GUEDES, Luiz Affonso, ed. *Programmable Logic Controller*. Croatia: InTech, 2010. ISBN 978-953-7619-63-3.
- [5] SELIȘTEANU, Dan, Ion Marian POPESCU, Emil PETRE, Monica ROMAN, Dorin ȘENDRESCU a Bogdan POPA. *Distributed Control Systems for a Wastewater Treatment Plant: Architectures and Advanced Control Solutions* [online]. Rijeka: IntechOpen, 2018 [cit. 1. 12 2020]. Dostupné z: <<https://www.intechopen.com/books/wastewater-and-water-quality/distributed-control-systems-for-a-wastewater-treatment-plant-architectures-and-advanced-control-solu/>> doi:10.5772/intechopen.74827
- [6] *ELECTRONICS HUB: SCADA System* [online]. c2020 [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z: <[https://www.electronicshub.org/scada-system/#2_Human_Machine_Interface_\(HMI\)](https://www.electronicshub.org/scada-system/#2_Human_Machine_Interface_(HMI))>
- [7] SPELLMAN, Frank R. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. 2nd ed. Boca Raton, c2009. ISBN 978-1-4200-7530-4.
- [8] VÁCLAVÍK, Vojtěch. *Vodohospodářská zařízení II* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 3. 12. 2020]. Dostupné z: <<http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ2/index.html/>>
- [9] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *Stokování a čištění odpadních vod: Modul 1 Stokování* [online]. Brno, 2006 [cit. 3. 12. 2020]. Dostupné z: <<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/>>

- BP02-Stokovani%20a%20cistení%20odpadnich%20vod/Stokovani%20a%20cistení%20odpadnich%20vod%20-%20stokovani.pdf/> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [10] KŘÍŽ, Miloslav. *Technicko-ekonomické vyhodnocení vybraných technologií ČOV do 2.000 EO*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.
- [11] JÁGLOVÁ, Veronika a Martin ŠNAJDR. *Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2000 ekvivalentních obyvatel - metodická příručka* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2009 [cit. 3. 12. 2020]. Dostupné z: <[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/0989B086A5D140A7C1257589003ACE96/\\$file/Metodicka%20prirucka_zneskodnovani%20odpadnich%20vod.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/0989B086A5D140A7C1257589003ACE96/$file/Metodicka%20prirucka_zneskodnovani%20odpadnich%20vod.pdf)>
- [12] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD [ČSÚ]. *Vodovody, kanalizace a vodní toky* [online]. Český statistický úřad, c2009-2020 [cit. 1. 12. 2020]. Dostupné z: <www.czso.cz/>
- [13] *TopolWater* [online]. Čáslav: TopolWater, 2006 [cit. 1. 12. 2020]. Dostupné z: <<http://www.cistirny.cz/index.html>>
- [14] PESCOD, M.B. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture (FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER)*. Rome: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1992. ISBN 9251031355.
- [15] MICHÁLEK, Ondřej. *Projektový návrh systému čištění odpadních vod v Zoologické zahradě Ostrava* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/97799/MIC473_HGF_N2102_2102T006_2013.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jan Thomas Ph.D.
- [16] BELEŠOVÁ, Petra. *Environmentální bezpečnost systému odpadních vod*. České Budějovice, 2015. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Ing. Lenka Brehovská, Ph.D.
- [17] *Arduino-shop: Ponorné čerpadlo* [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/1271-eses-mini-cerpadlo.html>>
- [18] *Arduino-shop: Vodní čerpadlo se silentbloky* [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/7521-vodni-cerpadlo-se-silentbloky-dc-6-12v-r385.html>>

- [19] *Arduino-shop: Bezkontaktní čidlo hladiny kapalin* [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/5005-bezkontaktni-cidlo-hladiny-kapalin-xkc-y25-v.html/>>
- [20] *Arduino-shop: Vertikální snímač hladiny vody* [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/1643-vertikalni-snimac-hladiny-vody-mini-45mm-plovouci-spinac.html/>>
- [21] *Arduino-shop: Plovákový senzor vodní hladiny* [online]. [cit. 4. 12. 2020]. Dostupné z: <<https://arduino-shop.cz/arduino/1160-plovakovy-senzor-vodni-hladiny.html/>>
- [22] *Gutta: Polystyrol Hobbyglass 2mm* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://www.guttashop.cz/polystyrol-hobbyglass-2-mm-.7908/>>
- [23] *MULTIPLAST: Lepidlo Acrifix 116* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://www.multiplast.cz/eshop/lepidla-na-plasty-140/lepidlo-acrifix-116-164>>
- [24] *Arduino-shop: LM2596 Buck, Step-down Napájecí Modul* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://dratek.cz/arduino/1332-lm2596-buck-step-down-napajeci-modul-dc-4.0-40-1-3-37v-led-voltmetr.html/>>
- [25] *SIEMENS: 6EP1332-5BA10* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6EP1332-5BA10>>
- [26] *SIEMENS: 6ES7314-6EH04-0AB0* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7314-6EH04-0AB0>>
- [27] *SIEMENS: 6GK7277-1AA10-0AA0* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6GK7277-1AA10-0AA0>>
- [28] *Conrad: Siemens SIMATIC HMI KTP700 BASIC* [online]. [cit. 15. 5. 2021]. Dostupné z: <<https://www.conrad.cz/p/siemens-simatic-hmi-ktp700-basic-rozsirujici-displej-pro-plc-24-vdc-1359103>>

Seznam příloh

A Obsah přiloženého souboru s projektem

74

A Obsah přiloženého souboru s projektem

