



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH ŘÍZENÍ PRO OVLÁDÁNÍ VODNÍ SHOW

DEVELOPMENT OF WATER SHOW CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Havran

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Štěpánek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Bc. Lukáš Havran
Studijní program:	Mechatronika
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Vojtěch Štěpánek, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh řízení pro ovládání vodní show

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je navrhnout řídicí software pro ovládání vodní atrakce. Velký důraz je kladen na navržení metodiky transformace grafické předlohy do podkladu pro řízení vodní show. Součástí závěrečné práce je také rešerše dostupných HW prostředků a návrh 3D modelu včetně vizualizace vytvářeného efektu pomocí organizovaného vodního sloupce.

Cíle diplomové práce:

Rešerše dostupných řídicích systémů pro ovládání zvolené technologie.

Rešerše dostupných nástrojů pro transformaci grafických podkladů na datový vstup do řídicího systému.

Vytvoření metodiky pro řízení vodní show.

Zprovoznění řídicího SW a výběr HW komponent.

Návrh 3D modelu vytvořené atrakce.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN ISBN978-80-906310-8-3.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed.

Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Online manuál pro konfiguraci PLC řídicího systému [cit. 3.10.2023]: infosys.beckhoff.com

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem metodiky řízení digitální vodní opony. Rešeršní část se zaměřuje na analýzu řídicích systémů vhodných pro tuto technologii a na softwarové nástroje, které umožňují implementaci uživatelské aplikace určené k ovládní vodní opony. Na základě rešerše je v praktické části provedena implementace uživatelské aplikace pro sestavování vodních inscenací a jejich realizaci. Dalším bodem praktické části je výběr a naprogramování řídicího hardwaru, který ovládá vodní trysky. Princip řízení spočívá v komunikaci mezi obslužnou aplikací a řídicím hardwarem. Praktická část je dále doplněna o konstrukční návrh digitální vodní opony ve formě 3D modelu, který zahrnuje všechny prvky konstrukce včetně řídicího hardwaru.

Summary

This thesis deals with the design methodology for controlling a digital water curtain. The research section focuses on analyzing control systems suitable for this technology and on software tools that enable the implementation of a user application designed to control the water curtain. Based on the research, the practical part involves the implementation of a user application for composing and executing water scenes. Another aspect of the practical part is the selection and programming of control hardware that manages the water jets. The control principle relies on communication between the user application and the control hardware. The practical part is further complemented by the construction design of the digital water curtain in the form of a 3D model, which includes all construction elements, including the control hardware.

Klíčová slova

Vodní atrakce, digitální vodní opona, návrh řízení, softwarové nástroje, uživatelská aplikace, PLC, konstrukce

Keywords

Water show, digital water curtain, control design, software tools, user application, PLC, construction

Bibliografická Citace

HAVRAN, Lukáš. Návrh řízení pro ovládní vodní show [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157822>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Vojtěch Štěpánek.

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Štěpánka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

Lukáš Havran

Brno

.

Děkuji vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Štěpánkovi, Ph.D., za jeho cenné rady a podmínky při řešení této práce. Rovněž bych chtěl poděkovat celé své rodině a hlavně své přítelkyni za pomoc a podporu po celou dobu studia.

Lukáš Havran

Obsah

1	Úvod	9
2	Úvod do problematiky	10
2.1	Digitální vodní opona	10
2.2	Řízené prvky digitální vodní opony	12
2.2.1	Elektromagnetické ventily	13
2.2.2	Osvětlení	17
2.2.3	Čerpadlo	17
2.3	Výběr řízených komponent	18
2.4	Metodika řízení	20
2.4.1	Kritéria pro volbu softwarového nástroje	22
2.4.2	Kritéria pro volbu řídicího systému	23
3	Rešerše PLC řídicích systémů	25
3.1	Základní popis PLC systému	25
3.1.1	Hardware	27
3.1.2	Provedení	27
3.1.3	Bezpečnost	28
3.1.4	Programovací jazyky	28
3.1.5	Programování	29
3.1.6	Výrobci	29
3.2	Beckhoff PLC	30
3.2.1	PLC CX7000	31
3.2.2	Výstupní modul EL2809	31
3.2.3	Napájecí modul EL9100	33
3.2.4	Zdroj napájení PS1061-2420-0000	34
3.2.5	Vývojové prostředí TwinCAT 3	35
3.3	Siemens PLC	35
3.3.1	PLC SIMATIC S7-1200	36
3.3.2	Výstupní modul SM1222	38
3.3.3	Zdroj napájení SITOP PSU100S	39
3.3.4	Vývojové prostředí TIA Portal	40
3.4	Controllino PLC	40
3.4.1	Controllino MEGA	41
3.4.2	Vývojové prostředí Arduino	42
3.5	Srovnání vybraných variant	43

4	Rešerše nástrojů pro transformaci grafických podkladů	45
4.1	MATLAB	45
4.1.1	App designer	45
4.1.2	Komunikační knihovny	49
4.1.3	Knihovna pro práci se vstupními podklady	50
4.2	.NET Framework	52
4.2.1	Windows Presentation Foundation	53
4.2.2	Komunikační knihovny	54
4.2.3	Knihovny pro práci se vstupními podklady	55
4.3	LabVIEW	55
4.3.1	Komunikační knihovny	57
4.3.2	Knihovny pro práci se vstupními podklady	58
4.4	Srovnání softwarových nástrojů	58
5	Praktická realizace softwaru	61
5.1	Řídící aplikace	61
5.1.1	Panel nastavení	61
5.1.2	Parametry vodní atrakce	63
5.1.3	Sestavení vodní inscenace	64
5.1.4	Transformace vstupů na výstupní formát	65
5.1.5	Simulace	67
5.1.6	Připojení k PLC	67
5.1.7	Odesílání dat do PLC	69
5.2	Řídící PLC kód	71
6	Návrh konstrukce	73
6.1	Nosný rám	73
6.2	Distribuční modul	75
6.3	Záchytná nádrž	76
6.4	Čerpací systém	77
6.5	Řídící hardware	77
6.6	Krycí systém	79
6.7	Shrnutí parametrů konstrukce	81
7	Závěr	82
	Zdroje	84
	Seznam obrázků	88
	Seznam tabulek	90
	Seznam příloh	91

1 Úvod

V posledních letech došlo k významnému pokroku v oblasti digitálních technologií a jejich aplikací v různých odvětvích. Obzvláště oblast vodních atrakcí prochází technologickou revolucí, která umožňuje tvorbu sofistikovaných a vizuálně působivých vodních show. Digitální vodní opony mají schopnost zobrazovat neomezené množství zpráv a log, což je výhodné pro reklamní účely. Dále se tyto opony mohou přizpůsobit různým prostorům a situacím a sloužit jako stěny nebo přepážky, které umožňují efektivní rozdělení prostoru. Technologie digitálních vodních opon nachází uplatnění v mnoha prostředích, od obchodních center a hotelů po letiště, výstavy a umělecké performance, což přispívá k jejich rostoucí popularitě a významu.

Cílem této diplomové práce je vytvořit komplexní návrh vodní atrakce, která by byla schopna nejen zaujmout široké publikum svými estetickými kvalitami, ale také byla flexibilní a efektivní z hlediska instalace a údržby. Práce si klade za cíl především vytvořit metodiku řízení digitální vodní opony, která spočívá ve vytváření 2D obrazců synchronizovaným pádem vodních sloupců na základě vstupních grafických podkladů ve formě textové nebo obrazové předlohy. Součástí tohoto cíle je vytvoření uživatelského softwaru, ve kterém uživatel sestavuje vizuální scénáře, které jsou následně zobrazovaný vodní atrakcí. Druhým cílem je návrh řídicího hardwaru, který na základě dat z aplikace, dokáže ovládat vodní ventily a docílit tak požadovaného efektu.

V teoretické části se práce věnuje porovnání řídicích systémů, které lze použít pro řízení vodní atrakce z hlediska výkonnosti, počtu komponent, omezení a dalších kritérií. Druhá část rešerše se zaměřuje na vhodné softwarové nástroje, které umožňují snadnou implementaci softwarového řešení. Zvláštní důraz je kladen na možnosti vytváření grafických uživatelských prostředí a dostupnost knihoven v těchto nástrojích.

Praktická část je zaměřena převážně na software. V této části jsou popsány postupy transformace grafických podkladů do formátu, který slouží k samotnému řízení. Vedle samotné transformace se praktická část věnuje také virtuální simulaci vytvářeného vizuálního efektu, bez nutnosti použití řídicího hardwaru. Druhá část praktické části se soustředí na implementaci softwaru na řídicí hardware, který zajišťuje ovládání vodních trysek.

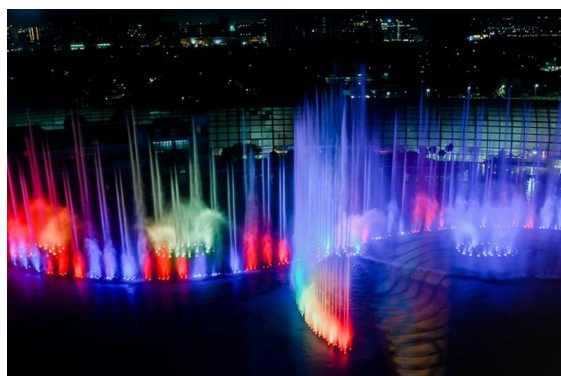
Závěr praktické části se věnuje konstrukčnímu návrhu digitální vodní opony. Návrh zahrnuje popis klíčových prvků konstrukce a jejich funkcí v rámci celého systému. Práce se zaměřuje na vytvoření konstrukce, která je modulární a snadno přemístitelná.

2 Úvod do problematiky

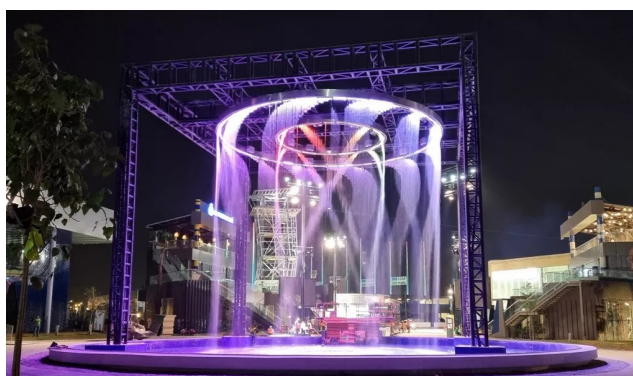
V posledních letech se značně změnila potřeba lidí v oblastech estetického vkusu, pohodlí a pozornosti k detailům. V oblasti venkovního nábytku stále více lidí požaduje specifické vlastnosti, aby své prostory učinili útulnějšími, obyvatelnějšími a originálnějšími. Tento trend ovlivnil i klasický prvek venkovního vybavení: fontány. Jednoduchý výtrysk fontány již zkrátka není dostatečný. Lidé chtějí a snaží se dosáhnout většího vizuálního efektu [1].

Reakcí na rostoucí poptávku po inovativních vodních atrakcích bylo uvedení na trh takzvaných tanečních fontán (nebo hudebních fontán) a digitálních vodních opon (známých také jako vodní tiskárny). Tyto instalace vytvářejí z vodních paprsků vizuální efekty a jsou obvykle doplněny o osvětlení a někdy i zvukový doprovod, což divákům poskytuje komplexní audiovizuální zážitek. Díky tomu tento typ vodních atrakcí v posledních letech získal významný úspěch a vytvořil nový segment na trhu s fontánami. Příklady instalací obou typů fontán jsou ilustrovány na obrázku 2.1.

Právě komplexnímu návrhu digitální vodní opony se věnuje tato práce, jelikož tento typ fontány již není omezený pouze na venkovní dekoraci, ale začíná se objevovat i v interiérech. Přesto zůstává většina instalací na venkovních prostranstvích. V interiéru si našli uplatnění například ve firemním prostředí, kde jsou využívány k zobrazení loga nebo monogramu společnosti pomocí vodních paprsků. Tímto způsobem se firmy snaží prezentovat svou značku ve veřejném prostoru, často s velkým vizuálním dopadem. Primárním cílem je však oživení prostoru a vytvoření relaxačního nebo vizuálně působivého prostoru.



(a) Taneční fontána



(b) Digitální vodní opona

Obrázek 2.1: Ukázka sofistikovaných fontán [2], [3]

2.1 Digitální vodní opona

Digitální vodní opona (*Digital Water Curtain*) představuje fontánu nejnovější generace, která spojuje různé technologické prvky k vytvoření vizuálních inscenací s výrazným estetickým efektem. Tyto fontány jsou navrženy k zobrazování grafického obsahu, jako jsou obrázky, texty a symboly. Je důležité nepřehlédnout, že se liší od tradičních projekčních

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

fontán, které promítají obrazy na padající vodní paprsky. V digitálních vodních oponách se obrazy formují přesně řízenými, synchronizovaně přerušovanými vodními paprsky, vytvářející tak tvary a siluety kombinací vody a vzduchu [4].

Konstrukce digitální vodní opony je relativně jednoduchá, ale její složitost se může lišit v závislosti na rozsahu a velikosti navrhované instalace. Přesto je možné identifikovat několik klíčových komponent, které jsou běžné pro všechny modely. Základními prvky jsou (viz obrázek 2.2):

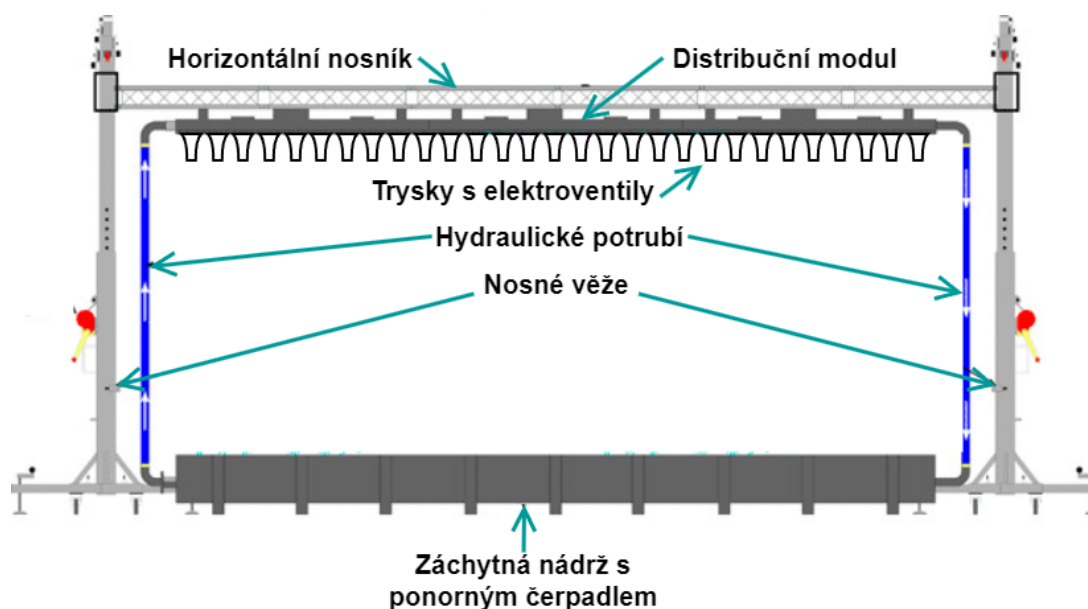
- **Vodní trysky:** Jsou zodpovědné za vytváření vodních paprsků, z nichž se skládá výsledný obraz.
- **Elektromagnetické ventily:** Umístěné nad vodními tryskami, slouží k přerušování vodního paprsku. Pro dosažení optimálního vizuálního efektu je nezbytná rychlá reakce těchto ventilů.
- **Distribuční modul:** Funguje jako zásobník vody, zásobující vodou výstupní trysky.
- **Záchytná nádrž:** Slouží k zachytávání vodních paprsků a je umístěna pod distribučním modulem, resp. pod vodními tryskami. V některých případech, kdy je distribuční modul umístěn nad jinou nádrží nebo zdrojem vody (např. jezírkem), není záchytná nádrž nezbytná, neboť systém může pracovat s tímto zdrojem vody.
- **Nosný rám:** Je primárně využívána u přenosných instalací. Jedná se o druh rámové konstrukce, která je zpravidla modulární a lze ji snadno složit a rozložit. Na konstrukci jsou uchyceny veškeré výše uvedené komponenty.
- **Čerpadlo:** Zásobuje distribuční modul vodou. Musí poskytovat dostatečný průtok, aby dokázalo udržet průtok i při otevření všech trysek. Čerpadlo může být ponorné, umístěno v záchytné nádrži, nebo může být vnější, které nasává vodu z nádrže.
- **Osvětlovací systém:** Nejenže zvyšuje estetický dojem, ale také osvětluje vodní paprsky, což umožňuje využití atrakci i za snížené viditelnosti. Světelné zdroje jsou obvykle integrovány do potrubí vedoucího k tryskám, ale mohou být umístěné i samostatně.
- **Řídicí systém:** Zajišťuje synchronizaci otevírání a zavírání elektroventilů. Nejčastěji se využívá PLC systém pro jeho flexibilitu a vysokou kapacitu výstupů. Alternativně může být použit i mikrokontrolér s doplňkovými integrovanými obvody.

Celý systém digitální vodní opony je zpravidla navrhován s modulární koncepcí, což umožňuje flexibilní konstrukci vodních opon různých délek a tvarů. Každý modul obsahuje část potrubí s odpovídajícím počtem trysek a tyto moduly jsou spolu s nosnou konstrukcí skládány do finální podoby fontány. Existují tři základní typy instalací této fontány [4]:

- **Pevná instalace:** Je ideální pro trvalé umístění, jako je například vstupní hala firmy, kde může být fontána vkusně začleněna do stěn. Instalace je vhodná pro existující konstrukce a distribuční modul se montuje k již stávající struktuře situované nad vodní nádrží. Tato konfigurace nevyžaduje další nosné prvky.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

- **Přenosná instalace:** Zahrnuje všechny komponenty pro instalaci vyjmenované výše. Nádrže bývají esteticky maskovány zelenými stěnami nebo dekorativními panely. Nosné věže umístěné po stranách nádrže mohou být výškově nastavitelné a jsou také obvykle zakryté panely. Distribuční modul je zavěšen na hlavním nosníku mezi věžemi. Příklad přenosné instalace je uveden na obrázku 2.2.
- **Smíšená instalace:** Umožňuje instalaci pouze určitých částí celkové struktury. Buď je instalována záchytná nádrž s čerpadlem, nebo nosná konstrukce (nosník a boční věže). Samozřejmě v obou případech je zahrnut distribuční modul a řídicí systém. V případě volby záchytné nádrže je třeba distribuční modul připevnit k již existující konstrukci a umístit sběrnou nádrž pod něj. Pokud je zvolena nosná konstrukce, systém nezachytává vodu. Voda je dodávána z externího zdroje, a proto v systému necirkuluje.



Obrázek 2.2: Schéma přenosné konstrukce digitální vodní opony [5]

Stejně jako u jiných fontán, zejména těch, které jsou umístěné v blízkosti lidí a navíc s nimi interagují, je nezbytné udržovat vodu v optimálním stavu. Aby toho bylo dosaženo, digitální vodní opony zpravidla obsahují filtrační systém, podobný těm bazénovým (písková filtrace). Kromě toho čerpadlo obvykle zahrnuje další filtr, který nejen zlepšuje kvalitu vody, ale také brání možnému ucpání elektroventilů nečistotami. Tyto ventily jsou zpravidla náchylné k ucpávání většími částicemi ve vodě, kvůli jejich malému vnitřnímu průměru [4].

Velmi zajímavým prvkem, může být také implementace hudby. Systém je poté doplněn o analyzátor hudby, který řídí vytváření obrazů podle rytmu hudby. Analyzátor synchronizuje otevírání a zavírání elektroventilů podle jednotlivých not a hudebních pasáží.

2.2 Řízené prvky digitální vodní opony

Základním řízeným prvkem digitální vodní opony jsou elektromagnetické ventily, které synchronním přerušováním vodního paprsku vytvářejí výsledný efekt. Ventily jsou vy-

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

baveny elektromagnetem, který umožňuje jejich otevírání a zavírání připojením nebo odpojením zdroje proudu. Při otevírání a udržování v otevřené poloze spotřebovávají nezanedbatelné množství energie.

Digitální vodní opona nevyužívá pouze jeden elektroventil, ale obvykle mnoho. Minimální počet trysek, a tedy i elektroventilů, je 5. Tento počet vychází z tzv. 7x5 bodové maticové abecedy (*dot matrix font*), která se používá u základních LCD displayů a umí zobrazovat všechny znaky základní abecedy. Pro dosažení vyššího rozlišení a schopnosti zobrazovat celá slova nebo rozpoznatelné obrazy je digitální vodní opona obvykle vybavena desítkami nebo až stovkami trysek a ventilů. Počet ventilů zároveň určuje počet řízených digitálních výstupů a celkovou spotřebu energie.

Dalším řízeným prvkem může být vodní čerpadlo, které zásobuje horní distribuční modul vodou. Čerpadlo lze ovládat řídicím systémem pomocí stykače, což umožňuje jeho sepnutí před zahájením pracovního cyklu. Alternativně může být čerpadlo trvale připojeno na síť, kde je neustále v provozu a přebytečná voda se vrací přepadem, čímž cirkuluje v systému. Třetí možností je ruční spouštění čerpadla uživatelem.

2.2.1 Elektromagnetické ventily

Ventily jsou zařízení, které regulují průtok tekutin (plyn, kapalné látky, kapaliny) otevíráním, zavíráním, nebo částečnou blokadou potrubí. Ventily jsou z technického hlediska část potrubní armatury, ale obvykle se uvažují separátně. Nachází uplatnění v mnoha odvětvích, včetně ropy, zemního plynu, energetiky, těžby, rozvodů vody, kanalizací a chemické výroby.

Elektromagnetický ventil (*Solenoid valve*), je druh uzavíracího ventilu. Jedná se o elektromechanické zařízení, umožňující elektrickým zařízením ovládat tok tekutin. Elektrické zařízení způsobí protékání elektrického proudu skrz cívku umístěnou v elektromagnetickém ventilu, čímž dojde ke vzniku magnetického pole, který způsobí posunutí feromagnetického jádra. Mechanicky způsobuje otevírání resp. zavírání ventilu právě poloha jádra, kterou ovládá solenoidová cívka. V tomto systému je pružina použita pro návrat jádra resp. ventilu do svého výchozího stavu po přerušení elektrického proudu v cívce. Elektromagnetické ventily jsou využívány všude tam, kde průtok kapalin musí být řízen automaticky [6].

Operační princip

Podle způsobu otevírání resp. uzavírání ventilu se rozlišuje mezi přímo ovládanými (*direct-acting*) ventily, a nepřímo ovládanými (*pilot*) ventily. Schémata těchto variant jsou zobrazeny na obrázku 2.3 a další popis se bude odkazovat na tato schémata. Druhým rozlišovacím znakem je počet připojovacích portů.

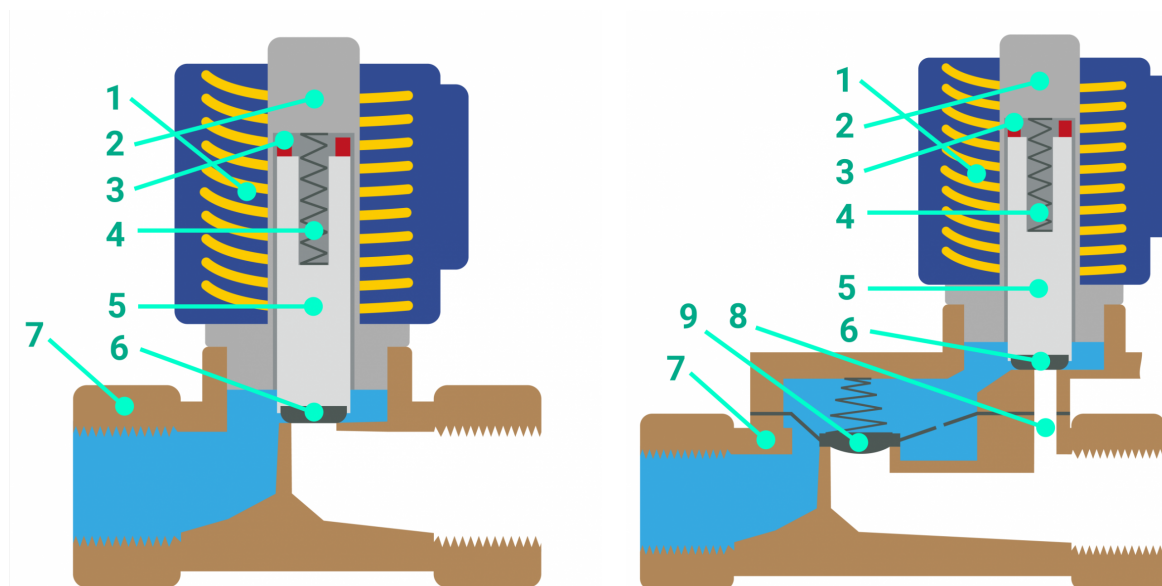
Přímo ovládaný elektromagnetický ventil (viz obrázek 2.3a) má těsnění(6) sedla upevněno k jádru(5) solenoidové cívky. Ve stavu bez napájení, je výstupní sedlo uzavřeno. K otevření dojde, když je cívka(1) připojena k napájení a tím dojde k vytvoření magnetického pole uvnitř cívky, které způsobí vtažení jádra(5) do těla cívky(2), což umožní proudění kapaliny ze vstupu na výstup. Po odpojení cívky(1) od napájení, dochází k přerušení magnetického pole a vratná pružina(3) vrací jádro(5) zpět do výchozí polohy, čímž uzavírá výstupní sedlo a přerušuje proud kapaliny. U přímo ovládaných ventilů se statická tlaková síla zvětšuje v závislosti na průměru výstupního sedla. Z toho vyplývá, že

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

magnetická síla, vytvářená cívkou, musí být úměrná právě průměru výstupního sedla [6].

Nepřímo ovládaný elektromagnetický ventil (viz obrázek 2.3b) pracuje na principu rozdílných tlaků mezi vstupem a výstupem. Membrána(9) těsní hlavní sedlo ventilu. Když je tento typ ventilu uzavřen, tlak kapaliny je stejný na obou stranách membrány(9) skrz přepouštěcí otvory. Dokud je tlakový rozdíl mezi vstupním a výstupním portem, pak je k dispozici uzavírací síla, kvůli větší efektivní ploše horní strany membrány(9). Otevření ventilu nastává otevřením vedlejšího přepouštěcího otvoru(8). Zde je princip stejný jako v předchozím odstavci u přímo ovládaných ventilů. Při otevření přepouštěcího otvoru(8), dojde k uvolnění tlaku z horní strany membrány(9). Tímto dojde k porušení silové rovnováhy působící na membránu(9) a větší tlaková síla ze spodní strany zvedne membránu(9) a tím otevře ventil. Obecně lze říct, že nepřímo ovládané ventily vyžadují minimální tlakový rozdíl, pro zajištění jejich správné funkčnosti [6].

Nepřímo ovládané elektromagnetické ventily jsou využívány pro spínání vyšších tlaků společně s větší jmenovitou světlostí potrubí. V takovémto případě rozdíl tlaků vykonává většinu práce při otvírání resp. zavírání ventilu.



(a) Přímý ovládaný ventil

(b) Nepřímý ovládaný ventil

Obrázek 2.3: Provedení elektromagnetických ventilů [7]

1 - cívka, 2 - pouzdro cívky, 3 - tlumič, 4 - vratná pružina, 5 - píst, 6 - těsnění, 7 - tělo ventilu, 8 - otvor, 9 - membrána

Z předchozího popisu jasně vyplývá, že pro digitální vodní oponu jsou vhodnější **přímo ovládané** elektromagnetické ventily. Tento typ ventilů je navržen pro menší průměry potrubí, což znamená, že mají menší rozměry a lze je umístit blíže k sobě. Dalším důvodem je, že tyto ventily fungují bez ohledu na tlakové rozdíly, což je ideální pro digitální vodní oponu, která pracuje při atmosférickém tlaku, nikoli při přetlaku.

Řídící signál

Oba typy elektromagnetických ventilů jsou řízeny stejným způsobem. Hlavním ovládacím prvkem je solenoidová cívka, která řídí otvírání resp. zavírání ventilu a to připojováním

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

cívky ke zdroji. Cívky jsou napájeny buďto stejnosměrným (DC) nebo střídavým proudem (AC). Vlastnosti obou možností napájení elektromagnetický ventilů je shrnuto v tabulce 2.1.

Pro DC typ je princip poměrně jednoznačný. Nabuzená cívky vytvoří magnetické pole, které posune feromagnetické jádro, čímž otevře ventil. Po odpojení zdroje se cívky odbudí a vratná pružina navrátí jádro do výchozí polohy, čímž uzavře ventil.

Avšak AC typ pracuje mírně odlišně. Cívka je napájena střídavým sinusovým proudem, neboli polarita proudu se mění několikrát za vteřinu. Při pohledu na funkci sinus lze vidět, že v jedné periodě proudu se nachází dvě místa, kde je proud nulový. V těchto bodech vratná pružina tlačí jádro zpět. Výsledkem jsou významné vibrace, které způsobují velké namáhání a přehřívání cívky. Z toho důvodu AC elektromagnetické ventily obsahují měděné stínící kroužky okolo jádra cívky. Tyto kroužky ukládají určitou magnetickou energii, pro překonání vratné pružiny, když elektromagnetické pole zaniká. V porovnání se vstupní sinusovou vlnou, kroužky uvolňují magnetickou energii z fázovým posunem 90° . To znamená, že když magnetické pole cívky je nulové, magnetické pole kroužků dosahuje svého maxima, čímž kompenzuje tato místa. Kombinací obou magnetických polí je zaručené, že výsledné magnetické pole nedosáhne nuly, čímž je eliminován výskyt vibrací. Problém stínících kroužků je, že mohou být neúčinné když se oblast kolem jádra zaplní nečistotami [8].

Z hlediska spotřeby energie vychází střídavé napájení lépe, nežli stejnosměrné. Typicky se střídavé napětí přivádí na cívku aktivací mechanického nebo polovodičového spínače. Magnetické pole však není generováno napětím, ale proudem procházejícím cívkou. Magnetické pole v cívce je rovno:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{L} \quad (2.1)$$

Proud je roven přivedenému napětí ku celkové impedanci cívky:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (2.2)$$

Pro střídavou sinusovou impedanci platí:

$$Z = R + j2\pi f L \quad (2.3)$$

Kde:

U = napětí na cívce	L = délka cívky
I = proud protékající cívkou	N = počet závitů cívky
R = odpor cívky	B = magnetická indukce v cívce
Z = celková impedance cívky	μ_0 = permeabilita vakua
f = napájecí frekvence	τ = časová konstanta

Z obrázku 2.4a lze vidět, že spotřeba energie elektromagnetického ventilu po připojení ke střídavému napájení je rozdílná pro stavy kdy dochází k otevírání a kdy se drží otevřený. Na začátku, kdy je cívka připojena ke zdroji, spotřebovává velké množství energie k vytvoření velkých špičkových proudů. I když se to může zdát jako nevýhoda, je to nutné, protože počáteční magnetická síla na jádro musí být dostatečně vysoká, aby překonala

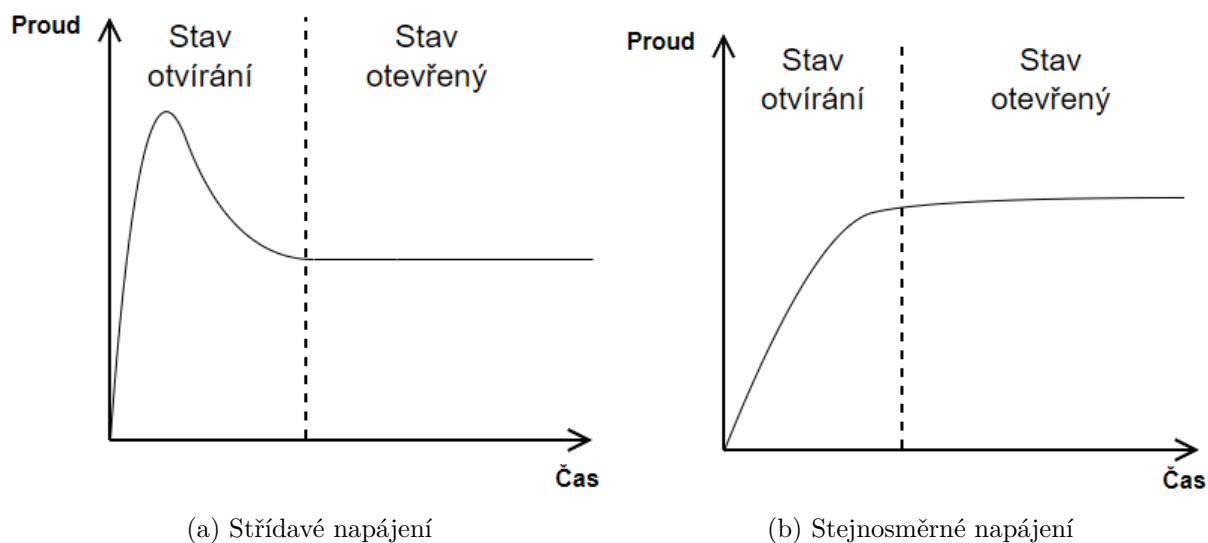
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

hydraulický tlak z média, tření a sílu pružiny. Následně dochází k otevření ventilu resp. vtahování jádra cívky. Vtažené jádro zmenšuje vzduchovou mezeru v cívce, což má za následek zvýšení indukčnosti L . Vyšší indukčnost podle rovnice 2.3 znamená vyšší celkovou impedanci a podle rovnice 2.2 nižší proud. Po otevření ventilu je tedy proud potřebný k udržení jádra v otevřené poloze relativně nízký. Z těchto důvodů AC elektromagnetické ventily poskytují dostatečnou otevírací sílu a poté spotřebovávají málo energie, což pomáhá šetřit spotřebu energie [9].

U stejnosměrného napájení je situace jiná. Připojením cívky na stejnosměrný zdroj napětí dochází k asymptotickému zvyšování proudu jak je zobrazeno na obrázku 2.4b. Proud roste dokud není splněna rovnice 2.2. V tomto případě je impedance složeno pouze ze složky odporu vinutí R . Čas nutný k dosažení ustáleného stavu závisí na časové konstantě cívky [9]:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2.4)$$

Stejnoseměrné buzení se svým relativně pomalým nárůstem proudu, vytváří přesný opak rychlého nárůstu potřebného pro energetický účinný provoz. Navíc z důvodu konstantní impedance cívky spotřebovává konstantní množství proudu, které je větší než množství potřebné k udržení ventilu v otevřeném stavu.



Obrázek 2.4: Průběh proudu po připojení cívky ke zdroji

Z předchozího popisu vyplývá, že pro digitální vodní oponu je vhodnější použít elektromagnetické ventily napájený **stejnoseměrným proudem**. Ačkoliv střídavě napájené ventily nabízejí rychlé spínání a nižší spotřebu energie v otevřeném stavu, jejich řízení by bylo obtížnější, kvůli vysokému napětí. Z tohoto důvodu by bylo nutné použít spínací relé. Toto řešení by bylo nepraktické kvůli vysokému počtu sepnutí, což by vyžadovalo častou výměnu relé spínačů. Navíc existuje riziko poškození ventilu nečistotami. Naopak, stejnosměrné napájení poskytuje dostatečně rychlé spínání a umožňuje přímé ovládání pomocí řídicích systémů, jako je PLC, což je efektivnější a spolehlivější řešení.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Tabulka 2.1: Porovnání vlastností napájení elektromagnetický ventilů

Vlastnosti	DC	AC
Rozsah napětí	12 - 48 V	110 - 230 V
Frekvence	-	50 - 60 Hz
Počet závitů vinutí	větší	nižší
Proud při otvírání	nominální	může být až 15x nominální
Proud při držení	nominální	nominální
Spotřeba energie	konstantní	vyšší při otevírání, nižší při držení
Rychlost spínání	pomalejší	rychlejší
Náchylnost na nečistoty	ne	ano
Spálení cívky	ne	při zaseknutí

2.2.2 Osvětlení

Principem digitální vodní opony je zaujmout pozornost lidí a přimět je ke sledování vytvořených inscenací. Živé a barevné osvětlení je dalším aspektem pro zaujetí publika. Osvětlení vodní opony může být buďto po celé délce bílým světlem, nebo individuálními RGB LED diodami. Bílé světlo slouží převážně pouze pro osvětlení scény, při špatných světelných podmínkách. Zatímco RGB osvětlení se skládá z velkého množství RGB LED diod, jejichž počet odpovídá počtu trysek a každá dioda osvětluje jednotlivé vodní prsky synchronně při jejich vytváření. Jsou dvě možnosti pro použití LED diod. Buďto použít jednotlivé diody nebo LED pásy.

Jednotlivé LED diody nabízí široké možnosti využití, jelikož každá může být ovládaná separátně. S využitím paralelního posuvného registru, 8 LED diod lze řídit pouze pomocí 3 výstupních pinů. Těchto 8 LED diod se chová jako 8 bitové číslo a lze je řídit binární matematikou. Z vhodným kódem lze dosáhnout různých barevných vzorů. Hlavní nevýhoda použití jednotlivých LED diod je nutnost použít další elektrické součástky v podobě paralelního posuvného registru a navíc i přesto by bylo nutné mít k dispozici pro každých 8 LED diod 3 výstupní porty.

Při použití LED pásek lze řídit stovky LED diod pouze pomocí jednoho výstupního pinu. To tedy znamená, že pro řízení osvětlení celé vodní opony stačí mít k dispozici pouze jeden digitální výstupní pin. Navíc LED pásy jsou vodotěsné a lze je umístit libovolně blízko výstupním tryškám, bez rizika kontaminace vodou. I přesto že samotné LED pásy jsou vodotěsné, připojovací vodiče a ostatní elektronika není. Z toho důvodu vodiče, které se mohou potencionálně dostat do kontaktu s vodou nesmí být odhalené. Další výhodou je možnost jejich zkrácení na libovolnou délku, která odpovídá dané aplikaci. Kvůli těmto významným výhodám je realizace osvětlení pomocí LED pásek nejvýhodnější.

2.2.3 Čerpadlo

Nezbytným prvkem vodní opony je zásobovací čerpadlo, které dopravuje vodu k výstupním tryškám. Hydraulický systém u těchto atrakcí může být různý. Jednou z možností, zobrazenou na obrázku 2.2, je cirkulační systém, kde čerpadlo dopravuje vodu ze sběrné nádrže do distribučního modulu. Alternativně mohou být trysky zásobovány z jiného

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

zdroje.

Používané čerpadla bývají zpravidla dvojího typu: ponorné čerpadlo umístěné uvnitř sběrné nádrže nebo klasické povrchové čerpadlo umístěné vně nádrže, s přívodním potrubím napojeným na nádrž.

Nejdůležitějším parametrem zásobovacího čerpadla je dodávaný průtok. Čerpadlo musí být schopné zásobit horní nádrž i při plném otevření všech trysek. Ovšem ne vždy vytvořená instalace využívá veškeré trysky, nebo je využívá pouze po krátkou dobu. V těchto případech by bylo dodávané množství vody příliš velké a hrozilo by její přetečení. Existují dvě možná řešení této situace: buďto řídit výkon čerpadla během provozu, nebo vybavit distribuční modul přepadem, který by nadbytečnou vodu odváděl zpět do sběrné nádrže. Z hlediska řízení je výhodnější pouze zapínat a vypínat čerpadlo před a po pracovním cyklu a využít přepadové potrubí pro regulaci nadbytečné vody.

K určení vhodného čerpadla je zapotřebí stanovit požadovaný průtok. Nejhorší možný scénář nastane v případě, kdy budou otevřeny všechny trysky. Pro určení výstupního průtoku lze využít Torricelliho vztah:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.5)$$

Z rovnice zákona zachování hmotnosti lze určit průtok jednou tryskou:

$$Q = Sv \quad (2.6)$$

Po dosazení rovnice 2.5 do rovnice 2.6 a za předpokladu, že výstupních trysek je N bude požadovaný průtok čerpadla roven:

$$Q = NS\sqrt{2gh} \quad (2.7)$$

Kde:

Q = průtok čerpadlem

v = výstupní rychlost z trysek

S = průřez trysek

N = počet trysek

g = tíhové zrychlení

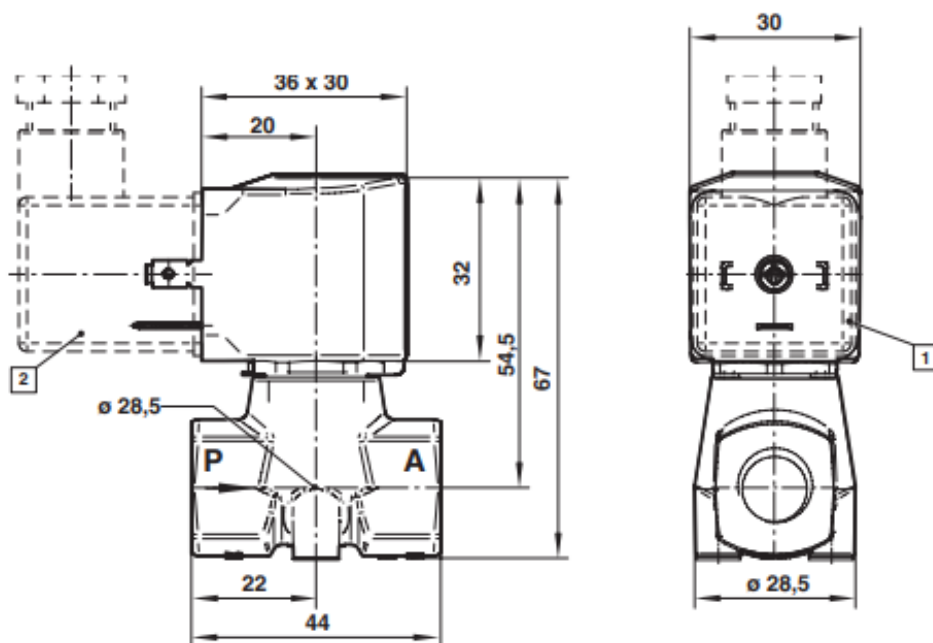
h = výšky hladiny od ústí trysek

2.3 Výběr řízených komponent

V případě elektromagnetických ventilů jsou klíčovými parametry velikost, ovládací napětí a rychlost spínání. Velikost ventilů by měla být co nejkompaktnější, aby bylo možné je umístit co nejbližší k sobě. Ovládací napětí musí odpovídat napěťové úrovni zvoleného řídicího systému, který byl vybrán v kapitole 3.5. Rychlost spínání by měla být co nejvyšší, aby bylo dosaženo co největšího rozlišení digitální vodní opony.

Na základě těchto parametrů byly vybrány přímo ovládané elektromagnetické ventily 8251020.9101.0000. Parametry tohoto ventilu jsou uvedeny v tabulce 2.2 a schéma provedení je zobrazeno na obrázku 2.5. Tyto kompaktní ventily mají malé rozměry a poměrně dobrou spínací rychlost.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY



Obrázek 2.5: Schéma elektromagnetického ventilu 8251020.9101.0000 [10]

Tabulka 2.2: Technické parametry elektromagnetického ventilu 8251020.9101.0000 [10]

Vlastnosti	
Typ ovládání	přímo řízený
Velikost portu	G1/4
Rozměry (V x Š x H)	67 x 30 x 44 mm
Napájecí napětí	24 VDC
Spotřeba při otevírání	8 W
Spotřeba při držení	8 W
Rychlost spínání	30 ms

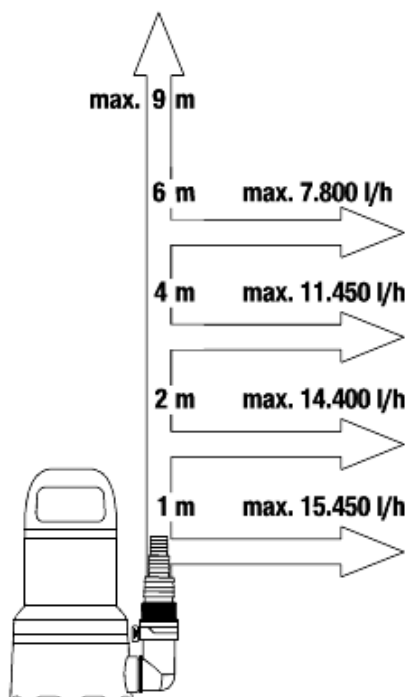
Druhým vybraným zařízením je vodní čerpadlo. Jeho výběr se primárně odvíjel od požadovaného průtoku a vnějších rozměrů. Potřebný průtok byl určen pomocí rovnice 2.7 na základě konstrukčních požadavků uvedených v kapitole 6.7:

$$Q = NS\sqrt{2gh} = 47 \cdot \frac{\pi \cdot 0.06^2}{4} \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.2} = 2.66 \text{ l/s} \quad (2.8)$$

Na základě tohoto průtoku bylo vybráno zahradní čerpadlo Gardena 17000 Aquasensor 230V 9036-20. Toto kompaktní ponorné čerpadlo má dva režimy provozu. V automatickém režimu je čerpadlo spouštěno na základě výšky hladiny, ve které je ponořeno. Naproti v manuálním režimu je čerpadlo spouštěno vždy, když je připojeno k elektrické síti. Manuální režim je ideální pro digitální vodní oponu, protože čerpadlo bude spínáno pomocí stykače řízeného řídicím systémem, který jej aktivuje před pracovním cyklem.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Ačkoli čerpadlo nabízí maximální průtok 4,7 l/s, což může působit nadbytečně, tento průtok platí pouze pro výtlak 1 m. Potřebného průtok 2,66 l/s (9576 l/h) je čerpadlo schopné dosáhnout pouze do maximální výtlačné výšky cca 5 m. Výsledkem toho je, že výška digitální vodní opony může být maximálně 5 m, což splňuje konstrukční parametry uvedené v kapitole 6.7. Podrobnosti o vlastnostech čerpadla jsou uvedeny v tabulce 2.3 a schéma výtlaku je zobrazeno na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Schéma zahradního čerpadla Gardena 17000 [11]

Tabulka 2.3: Technické parametry zahradního čerpadla Gardena 17000 [11]

Vlastnosti	
Výtlak	9 m
Průtok	4,7 l/s
Jmenovité napětí	230 VAC
Výkon	0,75 kW
Max. hloubka ponoru	7 m
Max průměr soustrojí	259 mm

2.4 Metodika řízení

Navržená řídicí metodika vychází z předpokladu vytvoření komplexní uživatelské aplikace, která umožňuje tvorbu vodní inscenace na základě grafických podkladů bez nutnosti fyzického řídicího hardwaru. Aplikace využívající osobní počítač mohou snadno implementovat

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

sofistikované softwarové nástroje a provádět náročnější operace, které by byly obtížné nebo finančně náročné při realizaci přímo na řídicím hardwaru.

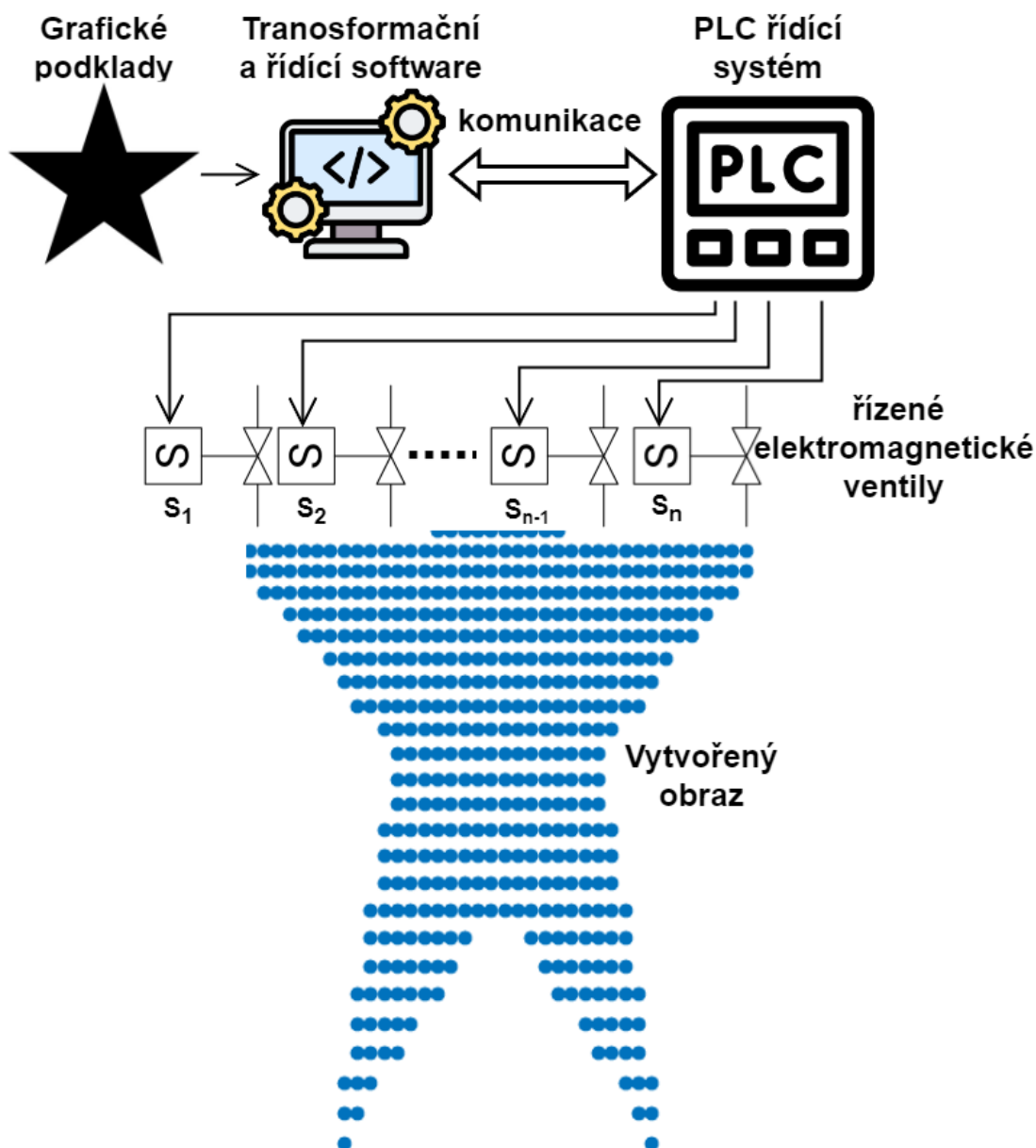
Cílem je tedy, aby aplikace fungující na osobním počítači umožňovala vytvoření vodní inscenace pro digitální vodní oponu na základě uživatelského textu nebo externích obrazových podkladů. Po dokončení inscenace lze tuto inscenaci spustit na reálném hardwaru pouhým připojením k řídicímu hardwaru pomocí komunikačního rozhraní, pomocí kterého se pracovní data přenášejí do řídicího systému. Tento systém následně řídí výstupní elektromagnetické ventily na základě přijatých dat, čímž je dosažen výsledný efekt.

Druhým předpokladem při návrhu řídicí metodiky je použití odolného, spolehlivého a jednoduchého řídicího hardwaru pro řízení elektromagnetických ventilů. Tento hardware musí být schopný najednou řídit mnoho prvků a zároveň být odolný vůči okolnímu prostředí. Hlavní myšlenka spočívá v implementaci řídicího systému, který nedisponuje velkým výpočetním výkonem, protože zpracovává pouze jednoduché logické hodnoty. Zároveň musí být tento systém snadno rozšiřitelný, což umožňuje ovládání mnoha výstupů i v případě rozsáhlých vodních atrakcí.

Výsledná navržená řídicí metodika je znázorněna na obrázku 2.7, který ilustruje jednotlivé kroky aplikačního postupu. Tento postup se skládá z následujících kroků:

1. **Import grafických podkladů:** Uživatel nahraje do aplikace grafické prvky, které mají být následně zobrazeny pomocí vodní opony.
2. **Sestavení vodní inscenace:** Na základě grafických podkladů je vytvořena celá pracovní sekvence grafických prvků, která má být zobrazena pomocí vodní opony.
3. **Simulace:** Simulace umožňuje uživateli získat představu o výsledném efektu bez nutnosti využití reálného hardwaru.
4. **Spojení s řídicím PLC:** Osobní počítač s řídicí aplikací je propojen s PLC řízením prostřednictvím komunikačního protokolu.
5. **Spuštění inscenace:** Aplikace vyšle pokyn ke spuštění vodní inscenace a odesílá řídicí data obsahující stavy elektromagnetických ventilů do PLC. PLC tato data aplikuje v rámci své pracovní sekvence.

Tento aplikační postup zajišťuje efektivní a přesné řízení vodní opony, které umožňuje snadnou manipulaci s grafickými podklady a poskytuje uživateli nástroje pro simulaci.



Obrázek 2.7: Schéma řídicí metodiky

2.4.1 Kritéria pro volbu softwarového nástroje

Tato kapitola je věnována specifikaci požadavků, které by měl splňovat softwarový nástroj, aby byl co nejvhodnější pro transformaci grafických podkladů na datový vstup do řídicího systému. Cílem je zajistit, aby tento nástroj nejen podporoval širokou škálu grafických formátů, ale také aby byl schopen efektivně komunikovat s PLC řídicími systémy a nabízel intuitivní uživatelské prostředí. Mezi hlavní požadavky patří:

1. **Kompatibilita s různými formáty:** Nástroj musí podporovat různé formáty grafických podkladů, včetně bitmapových a vektorových obrázků (jpg, png). Důležité je také, aby podporoval audio formáty pro tvorbu komplexnějších inscenací. To zajistí flexibilitu při práci s různými druhy médií a umožní vytvářet bohaté a dynamické vizuální efekty.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

2. **Komunikační kompatibilita:** Nástroj by měl být schopen komunikovat s širokou škálou zařízení. To zahrnuje podporu standardních komunikačních protokolů (např. TCP/IP, RS485), nebo dostupnost knihoven pro specializovanější komunikační protokoly. Tím se zajistí spolehlivý a efektivní přenos dat mezi transformačním nástrojem a řídicím systémem.
3. **Podpora grafických uživatelských prostředí (GUI):** Aby mohl vodní oponu ovládat kdokoli, měl by nástroj umožňovat vytvoření intuitivního grafického uživatelského rozhraní. Toto rozhraní by mělo integrovat všechny funkce pro ovládání digitální vodní opony, čímž se zjednoduší její použití a zvýší přístupnost pro uživatele bez technických znalostí.
4. **Efektivní práce s daty:** Transformace dat spočívá ve vytvoření logické matice, která reprezentuje danou inscenaci. Proto je nezbytné, aby nástroj dokázal rychle a efektivně pracovat s daty a datovými strukturami a aby zvládal provádění logických operací.

Přestože existuje mnoho dalších požadavků, které by měl transformační nástroj splňovat, tento výčet zahrnuje pouze ty klíčové. Na základě těchto požadavků byly pro řešerši vybrány tři softwarové nástroje: MATLAB, .NET Framework a LabVIEW, kterým je věnována kapitola 4. Tyto nástroje budou podrobně analyzovány v následujících kapitolách, přičemž cílem je vybrat ten nejvhodnější pro implementaci softwarové části řízení digitální vodní opony, tedy softwaru pro transformaci grafických dat do formátu, se kterým pracuje PLC řídicí systém.

2.4.2 Kritéria pro volbu řídicího systému

Pro řízení digitální vodní opony je nutné, aby řídicí systém splňoval určité parametry. Na trhu existuje několik možností. Jednou z nich je použití mikrokontroléru. Další, sofistikovanější možnosti jsou programovatelné logické automaty (PLC). Třetí možností jsou specializované hardwary navržené přímo pro řízení digitálních vodních opon. Pro spolehlivé řízení digitální vodní opony by měl řídicí systém mít následující vlastnosti:

1. **Kompatibilita s externím softwarem:** Umět přijímat a zpracovávat data nebo příkazy z externího softwaru, ideálně přes TCP/IP nebo sériovou komunikaci.
2. **Ovládání trysek:** Přesně a rychle ovládat elektroventily podle přijatých dat, což je klíčové pro vytvoření požadovaných vzorů a efektů.
3. **Real-time zpracování:** Minimální zpoždění mezi odesláním dat a aktivací trysek je nezbytné pro synchronizaci vizuálních efektů. Systém by měl zvládnout real-time zpracování bez výpadku nebo ztráty dat.
4. **Flexibilita a rozšiřitelnost:** Systém by měl umožňovat snadné rozšíření o další trysky, neboli o další řídicí výstupy. Rovněž by měl umožňovat integraci s dalšími systémy.
5. **Uživatelské rozhraní a konfigurace:** Pakliže to daná aplikace vyžaduje, měl by mít možnost uživatelského rozhraní pro manuální ovládání, testování a ladění.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

6. **Spolehlivost a odolnost:** Systém by měl spolehlivě odolat prostředí, ve kterém bude umístěn, včetně odolnosti proti vodě, teplotě a dalším vnějším vlivům.
7. **Cena a dostupnost:** Celkové náklady na řídicí systém by měly být zohledněny v rámci celkového rozpočtu projektu, stejně jako dostupnost hardwarových komponent systému.

Specializované řídicí systémy, vytvořené právě pro vodní atrakce, splňují všechny potřebné parametry. Avšak zpravidla jsou chráněné duševním vlastnictvím společnosti, které poskytují kompletní řešení vodních atrakcí. Kvůli nedostupnosti informací o těchto systémech nebudou dále zvažovány.

Mikrokontroler pro řízení digitální vodní opony může být cenově dostupnou volbou, která splňuje většinu požadovaných parametrů. Hlavní nevýhodou je omezený počet vstupů a výstupů, které nelze snadno rozšířit. Toto lze řešit doplňkovými integrovanými obvody, což však komplikuje každý pokus o rozšíření systému. Dalším problémem je odolnost, jelikož mikrokontrolery jsou často citlivé na náročnější prostředí, například vlhkost, která může být přítomná u vodní opony. Z těchto důvodů nebudou mikrokontrolery v této práci dále zvažovány.

PLC řídicí systémy představují nákladnější, avšak velmi efektivní řešení díky jejich modulární architektuře, která umožňuje snadné rozšíření systému podle potřeb. Modulární struktura umožňuje přidání potřebného počtu výstupních modulů, což je ideální pro vytváření velkých digitálních vodních opon. Každé PLC podporuje vlastní komunikační protokol, což umožňuje snadnou integraci s externími softwary pomocí příslušných komunikačních knihoven. Navíc, díky HMI (human-machine interface) panelům, lze snadno vytvářet uživatelská rozhraní pro manuální ovládání a úpravy. PLC systémy jsou navrženy pro průmyslové prostředí, což zaručuje jejich spolehlivost a odolnost vůči nepříznivým podmínkám. Z těchto důvodů se tato práce zabývá pouze variantou řízení pomocí PLC řídicího systému, kterému se věnuje kapitola 3.

3 Rešerše PLC řídicích systémů

Následující kapitola se zaměřuje na PLC řídicí systémy vhodné pro řízení digitální vodní opony. Volba právě tohoto způsobu řízení je zdůvodněna v kapitole 2.4.2, zatímco umístění v rámci řídicí hierarchie je vysvětleno v kapitole 2.4. Tato kapitola také zahrnuje návrh řízení digitální vodní opony pomocí PLC, s výběrem tří variant od tří různých výrobců. Hlavním cílem je porovnat tato řešení a identifikovat nejvhodnější variantu.

Programovatelné logické automaty (*Programmable logic controllers*), zkráceně PLC je speciální forma mikroprocesorového kontroléru, využívající programovatelnou paměť k uchování instrukcí a k implementaci funkcí jako jsou: logické funkce, řazení, časování, počítání, aritmetika, manipulace s daty a komunikaci za účelem řízení strojů a procesů. Jsou navrženy tak, aby je mohli obsluhovat inženýři s omezenou znalostí počítačů a počítačového jazyka. Proto jsou PLC systémy předprogramovány jejich výrobci, aby řídicí program mohl být vytvářen intuitivnější formou jazyka. Z hlediska programování se jedná především o implementaci logických a přepínacích operací [12].

PLC systémy představují základní pilíř v moderní automatizaci průmyslových procesů. Tato zařízení poskytují flexibilitu, spolehlivost a efektivitu v řízení a monitorování strojů a zařízení, což je klíčové pro optimalizaci výrobních operací a zvyšování produktivity. Od doby, kdy byly PLC poprvé představeny v průmyslovém prostředí, prošly výrazným vývojem a inovacemi, což vedlo k širokému využití v mnoha odvětvích včetně automobilového průmyslu, potravinářství, farmacie a energetiky.

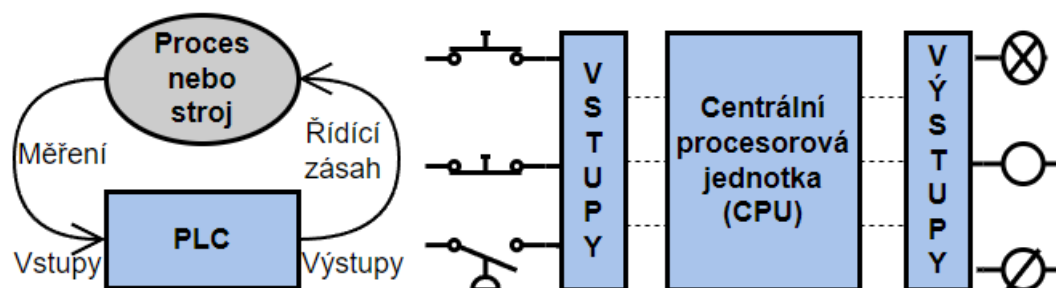
3.1 Základní popis PLC systému

Fungování programovatelného automatu je relativně jednoduché a jeho princip je znázorněn na obrázku 3.1. Vstupně/výstupní (I/O) periférie je fyzicky propojena s ostatními zařízeními, která se vyskytují ve strojích, nebo která se používají při řízení procesů. Tato zařízení mohou být diskrétní nebo analogová vstupně/výstupní. Vstupní signály ze senzorů (tlačítka, spínače, analogové senzory atd.) jsou připojena k rozhraní na vstupní stranu. Řízená zařízení jako motory, elektroventily, světelné zdroje jsou připojena k rozhraní na výstupní straně. I/O rozhraní poskytuje propojení mezi CPU a poskytovateli informací (vstupy) a ovládanými zařízeními (výstupy). Během svého pracovního cyklu, CPU vykoná 3 procesy:

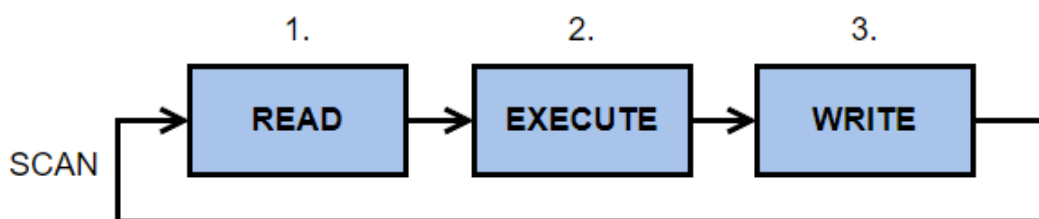
1. **Čte (READ)** - vstupní data z externích zařízeních, skrz vstupní rozhraní.
2. **Provede (EXECUTE)** - řídicí program uložený v paměti systému.
3. **Zapíše (WRITE)** - výstupy pro výstupní zařízení skrz výstupní rozhraní.

Tento sekvenční proces čtení vstupů, vykonání programu z paměti a aktualizaci výstupů je také známý jako **scanning** [12]. PLC *scan* je schématicky znázorněn na obrázku 3.2.

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ



Obrázek 3.1: Aplikační diagram PLC



Obrázek 3.2: PLC cyklus

PLC mají významnou výhodu v tom, že stejný základní kontrolér může být použit pro řízení širokého spektra strojů nebo procesů. K úpravě vytvořeného řídicího systému a pravidel, která mají být použita, stačí, aby programátor zadal jinou sadu instrukcí. Díky tomu není potřeba fyzického přepojování. Výsledkem je flexibilní a efektivní řídicí systém, který lze libovolně a komplexně měnit. Hlavními výhodami PLC systému jsou [13]:

- Snadná implementace změn. Změny jsou implementovány softwarově, oproti komplexním hardwarovým změnám.
- Snadná rozšiřitelnost, jednoduchým přidáním dalších PLC modulů.
- Robustnější a spolehlivější hardware bez mechanických částí.
- Kompaktní velikost.
- Vyžadují nižší míru údržby.
- Pracují na vyšších pracovních frekvencích.

PLC systémy jsou podobné osobním počítačům, ale zatímco osobní počítače jsou optimalizovány pro výpočetní a zobrazovací úkoly. PLC jsou optimalizovány pro řídicí úkoly a pro průmyslové prostředí. Proto v porovnání s osobním počítačem, PLC [13]:

- Jsou navrženy, aby odolávaly vibracím, teplotám, vlhkosti a hluku.
- Disponují rozhraním pro vstupy a výstupy uvnitř kontroléru. Modulární PLC, lze snadno rozšířit a dosáhnout tak velkého počtu vstupů/výstupů.
- Lze snadno programovat a mají jednodušší programovací jazyk na porozumění, primárně zaměřený na logické a spínací operace.

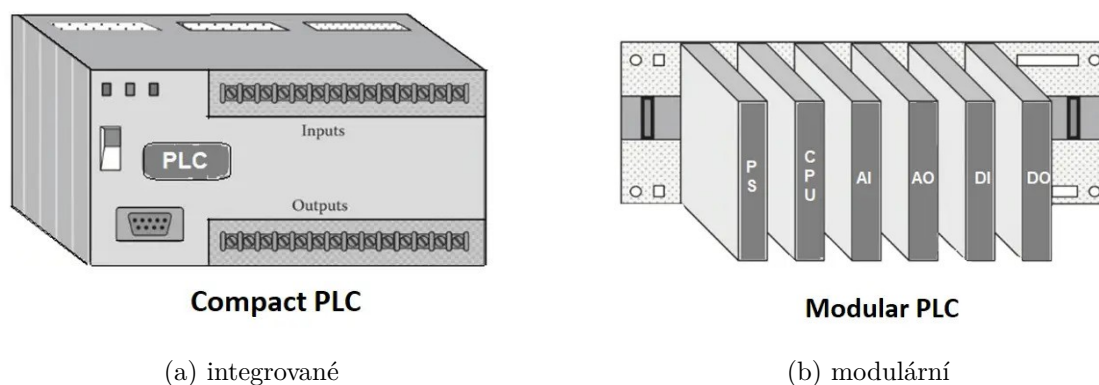
3.1.1 Hardware

Typický PLC systém má tyto základní funkční komponenty [13]:

- **Centrální procesorová jednotka (CPU):** Obsahuje mikroprocesor, který interpretuje vstupní signály a vyhodnocuje kontrolní zásahy podle programu uloženého v paměti.
- **Napájecí zdroj:** Transformuje hlavního střídavého (AC) napětí na nízké stejnosměrné (DC) napětí, vyhovující procesorové jednotce a obvodech ve vstupních a výstupních modulech.
- **Programovací zařízení:** Obvykle osobní počítač, slouží k vývoji a přenosu programů do paměti PLC.
- **Paměťová jednotka:** Ukládá program s řídicími příkazy. Rovněž ukládá data ze vstupů pro následné zpracování a výstupní data po vyhodnocení.
- **Vstupní a výstupní periferie:** Zajišťují příjem informací z externích zařízení a odesílání vyhodnocených výstupů.
- **Komunikační periferie:** Slouží pro přenos dat mezi PLC a jinými zařízeními přes komunikační sběrnice.

3.1.2 Provedení

Existují dvě běžná provedení PLC systémů vyobrazená na obrázku 3.3. Prvním typem je integrovaný PLC systém (*single box*) a tím druhým je modulární (*modular/rack*) typ. Integrovaný PLC systém je běžně používán pro menší řízené systémy a dodává se jako integrovaný kompaktní celek vybaven vším nezbytným (viz obrázek 3.3a): napájecím zdrojem, procesorem, pamětí, vstupní/výstupní jednotkou. Obvykle mohou mít takovéto PLC 6, 8, 12, 24 vstupů a 4, 8 nebo 16 výstupů a paměť, která je schopná uchovat okolo 300 - 1000 instrukcí [13].



Obrázek 3.3: Provedené PLC systémů [14]

Systémy z velkým počtem vstupů a výstupů jsou zpravidla modulární a navržený tak, aby je bylo možné usadit to racku. Modulární PLC systém se skládá z jednotlivých modulů pro napájení, procesor, vstupy, výstupy atd. Moduly jsou upevňovány na kolejnici

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

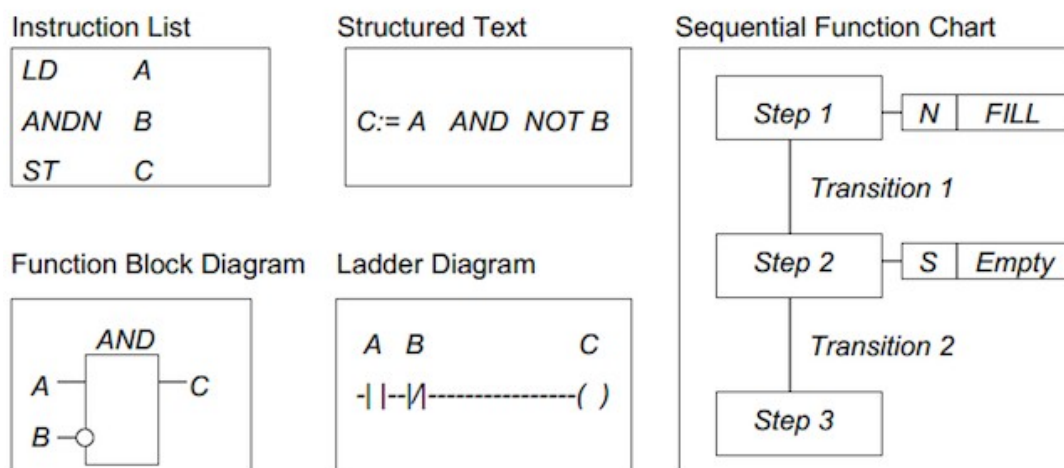
umístěnou v kovovém rozvaděči (viz obrázek 3.3b). Modulární typ lze použít pro jakoukoliv velikost řízeného systému. Kombinaci modulů potřebných pro řešenou úlohu vybírá uživatel a ty nejvhodnější jsou poté zapojeny do racku. V porovnání z integrovanými PLC, lze těmto snadno rozšiřovat počet vstupů/výstupů prostým přidáním dalšího vstupního/-výstupního modulu, nebo rozšířit paměť přidáním další paměťové jednotky. Napájecí a datové rozhraní pro jednotlivé moduly poskytují měděné vodiče na zadní straně racku. Když jsou moduly vloženy do racku dojde k jejich propojení skrz konektory na zadní straně [13].

3.1.3 Bezpečnost

Protože PLC systémy mohou být připojeny do sítí a používají real-time operační systém, vzniká zde problém s bezpečností. Sítě mohou být napadeny, což může vést k úniku informací z PLC nebo k infiltraci škodlivého softwaru. PLC může být rovněž ohroženo, pokud je napaden počítač, se kterým komunikuje. Tento typ zranitelnosti může mít vážné důsledky pro průmyslové procesy a zařízení, které jsou na PLC systémech závislé.

3.1.4 Programovací jazyky

Programy pro PLC mohou být psané v řadě formátů. Pro inženýry s nižší znalostí programování, bylo vyvinuto programování pomocí *ladderu*. Většina výrobců PLC přijala tuto metodu psaní kódu. Avšak každý výrobce vyvinul vlastní verzi a proto byla přijata mezinárodní norma pro všechny metody používané při programování PLC. Norma vydána v roce 1993 mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) 1131-3, dnes označována jako IEC 61131-3. Poslední vydání této normy bylo v roce 2013 a jedná se o rozšíření k předchozím verzím [13].



Obrázek 3.4: Ukázka jazyků normy IEC 61131-3 [15]

Norma IEC 61131-3 programovacích jazyků obsahuje *Ladder Diagrams* (LD), *Instruction List* (IL), *Sequential Function Charts* (SFC), *Structured Text* (ST), *Function Block Diagram* (FBD). Podoba těchto jazyků je uvedena na obrázku 3.4. Norma obsahuje předprogramovanou knihovnu funkcí a funkčních bloků, což jsou separátní části řídicího programu, které mohou být použity v různých částech stejného programu, nebo v různých

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

programech. IEC norma stanovuje formální definici pro každý vstupní a výstupní parametr, takže navržené funkční bloky mohou být snadno propojovány. Každé PLC které je v souladu s normou IEC podporuje tyto funkce a jejich knihovnu má uloženou ve své paměti [13].

Structured Text a *Instruction List* jsou textové jazyky a příkazy jsou vkládány z klávesnice programovacího zařízení řádek po řádku. Naproti tomu ostatní jazyky jsou grafické a program je vystavěn grafickými elementy na obrazovce programovacího zařízení.

3.1.5 Programování

Programovacím zařízením může být přenosné zařízení, stolní konzole nebo osobní počítač. Teprve až je program vytvořen v programovacím zařízení a je připraven, pak je přenesen do paměťové jednotky PLC. Jednotlivá programovací zařízení se vyznačují těmito vlastnostmi:

- **Ruční programovací zařízení:** Běžně obsahuje dostatek paměti, aby jednotce umožnil uchovat program při přenosu zařízení z místa na místo.
- **Stolní konzole:** Disponuje zpravidla kompletní klávesnicí a obrazovým displejem.
- **Osobní počítač:** Je hojně využíván pro programování PLC. Hlavní výhodou osobního počítače je ta, že vytvořený program může být uložen na úložišti počítače. Počítač je k PLC připojen pomocí různých komunikačních protokolů, příkladem může být Ethernet, RS-232, RS-485, EtherCAT atd.

Navíc výrobci PLC systémů poskytují ke svému hardwaru vývojové prostředí pro programování. Tato prostředí umožňují vytvářet řídicí programy, provádět systémovou a síťovou konfiguraci, realizovat řízení pohybu, nastavovat servo pohony a vytvářet rozhraní HMI (Human Machine Interface).

3.1.6 Výrobci

Na trhu existuje mnoho výrobců PLC, kteří nabízejí širokou škálu produktů od kompaktních až po výkonné průmyslové jednotky s různými funkcemi a vlastnostmi. Mezi největší výrobce PLC systémů patří:

- | | | | |
|-------------|-------------|-----------|----------------|
| • Siemens | • Toshiba | • ABB | • Mitsubishi |
| • Beckhoff | • Schneider | • Emerson | • Allen-Bradly |
| • Panasonic | • GE | • Omron | • Honeywell |

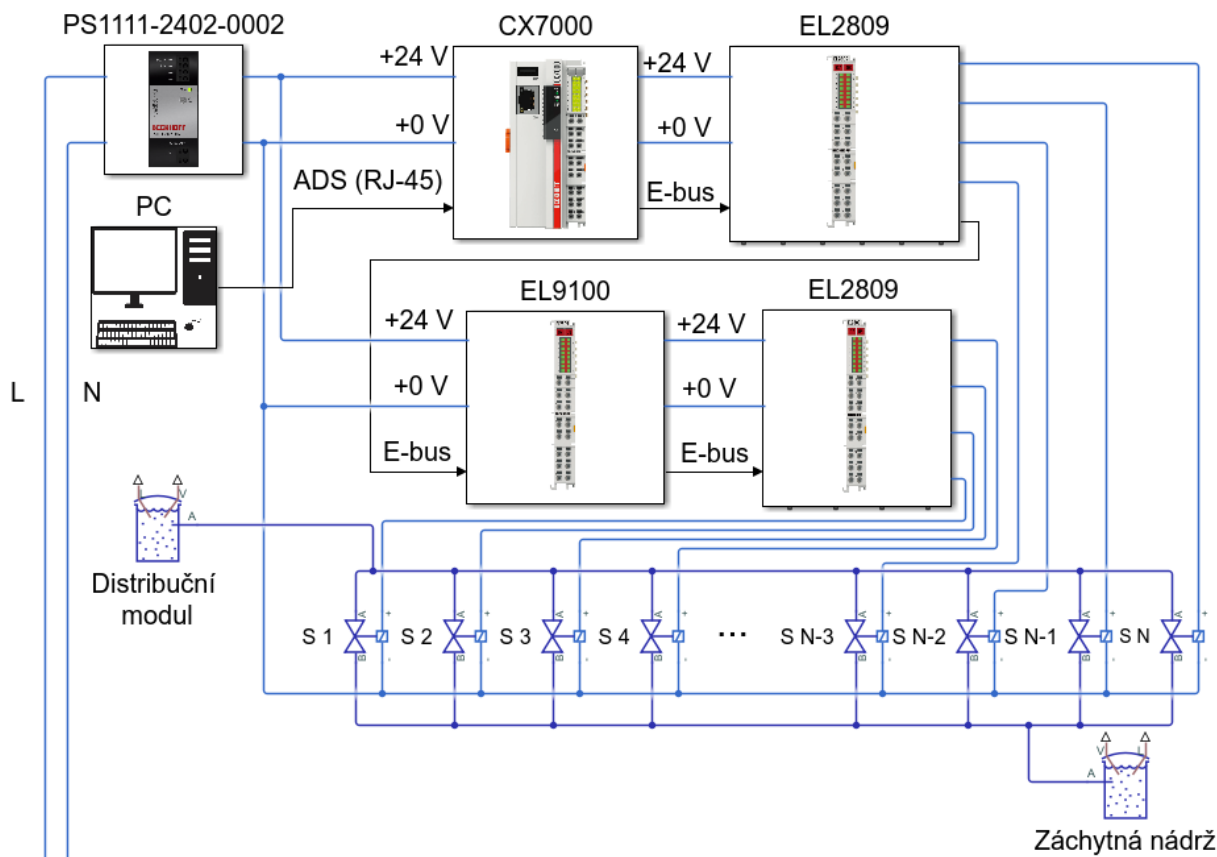
V následujících kapitolách budou detailněji prozkoumány hardwarové možnosti pro řízení digitální vodní opony. K porovnání byly vybrány produkty od osvědčených výrobců PLC, jako jsou Siemens a Beckhoff. Německá společnost Siemens dominuje evropskému trhu, v oblasti PLC systémů, s přibližným tržním podílem 31%. Beckhoff, rovněž německý výrobce, má výrazně menší tržní podíl, ale stejně jako Siemens poskytuje kvalitní PLC řídicí systémy. Zvažováno bude i PLC Controllino, založené na platformě Arduino, které splňuje průmyslové bezpečnostní standardy a je navíc open-source.

3.2 Beckhoff PLC

Beckhoff Automation je předním výrobcem v oblasti průmyslové automatizace, specializující se na vysoce efektivní automatizační technologie, jako jsou PLC, embedded PC a EtherCAT komunikační řešení. Na obrázku 3.5 je znázorněno schéma řízení digitální vodní opony s komponenty od Beckhoffu. V následujících podkapitolách budou detailněji popsány jednotlivé komponenty řízení uvedené ve schématu, které splňují požadavky popsané v kapitole 2.4.2.

Systém je napájen jednofázově z elektrické sítě, která je připojena ke zdroji PS1111-2402-0002. Tento zdroj transformuje síťové napětí na napětí 24 V stejnosměrné, které napájí řídicí PLC CX7000 a všechny elektromagnetické ventily. Napájení je přivedeno do řídicího PLC a také do napájecího modulu EL9100. Tento modul je v konfiguraci zařazen, protože napájecí kontakty na bočních stranách modulů, mají proudové omezení na 10 A. To znamená, že pokud počet připojených elektromagnetických ventilů překročí spotřebu proudu 10 A, je nutné do konfigurace zahrnout tento modul, který obnoví napájení. Elektroventily jsou ovládány pomocí 16-kanálového digitálního výstupního modulu EL2809, který je připojuje ke zdroji napětí, čímž je otevírá.

Počítač z uživatelským softwarem je připojen kabelem k řídicímu PLC a komunikace probíhá přes ADS (*Automation Device Specification*) komunikaci, což je interní komunikační protokol společnosti Beckhoff. Řídicí PLC dále šíří výstupní informace do připojených modulů skrz datovou sběrnici E-bus.

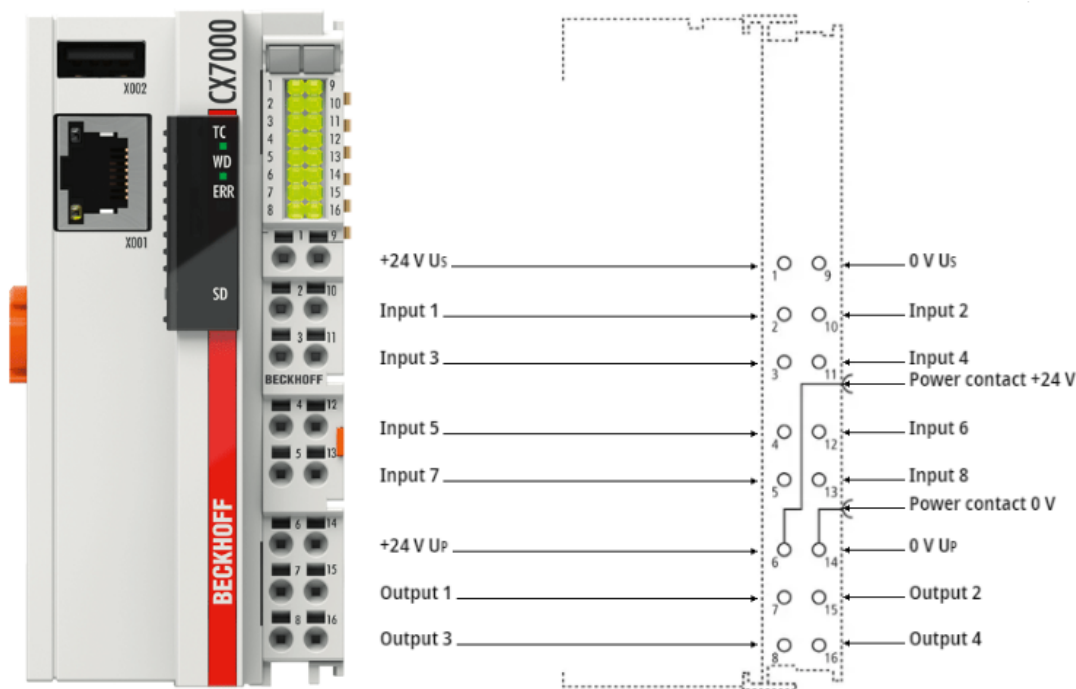


Obrázek 3.5: Schéma řízení s komponenty Beckhoff

3.2.1 PLC CX7000

CX7000 je cenově dostupné a kompaktní PLC navržené pro jednoduché až středně složité aplikace. Podoba tohoto PLC, včetně zapojovacího schématu, je uvedena na obrázku 3.6. Vzhledem k tomu, že veškeré náročnější výpočty a operace jsou prováděny na externím zařízení, není nutné, aby řídicí PLC mělo vysoký výkon. Díky procesoru ARM Cortex-M7 nabízí dostatečný výkon pro zpracování dat a ovládání procesů v reálném čase. CX7000 podporuje komunikaci přes Ethernet, což umožňuje efektivní výměnu dat mezi externím softwarem a řídicím systémem při synchronním ovládní trysek v reálném čase.

Připojovací svorky jsou umístěny na přední straně a zahrnují napájecí kontakty, 8 digitálních vstupů a 4 digitální výstupy. Na pravé straně se nacházejí kontakty pro připojení přídatných modulů a napájecí kontakty pro jejich napájení. Tyto napájecí kontakty jsou propojeny s napájecími kontakty PLC, jak je znázorněno na obrázku 3.6. Zadní strana je uzpůsobena pro upevnění na DIN lištu, což usnadňuje instalaci v elektrických rozvaděčích. Podrobnější seznam parametrů tohoto PLC je uveden v tabulce 3.1.



Obrázek 3.6: PLC CX7000 [16]

3.2.2 Výstupní modul EL2809

EL2809 je 16-kanálový digitální výstupní modul, ideální pro aplikace digitálních vodních opon, které vyžadují řízení velkého množství digitálních výstupů. Z tohoto důvodu byl zvolen právě tento modul, který poskytuje 16 digitálních výstupů, protože moduly s větším počtem výstupů firmy Beckhoff nevyrobí.

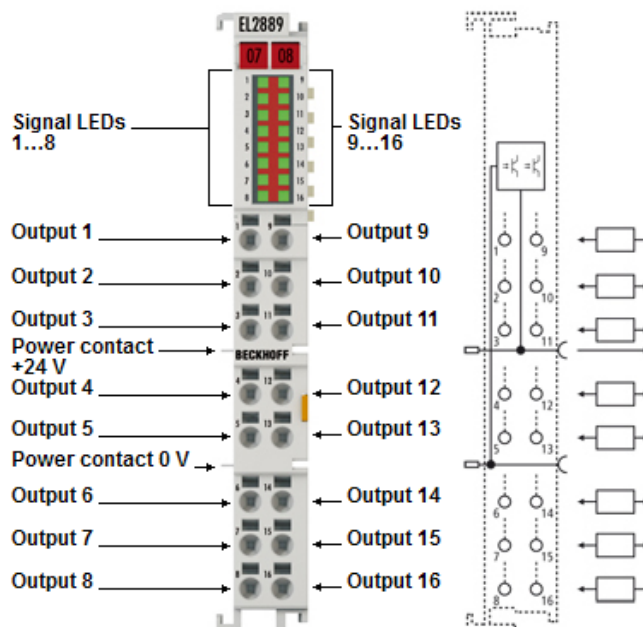
Modul EL2809 využívá tranzistorové výstupy, které umožňují rychlé spínání, což je ideální pro aplikace vyžadující rychlou odezvu. Modul je navržen pro 24 V DC výstupní napětí s maximálním proudem 0,5 A na kanál. Připojovací svorkovnice se nachází na přední straně a obsahuje 16 výstupních svorek. Na levé straně jsou přívodní napájecí

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Tabulka 3.1: Technické parametry PLC CX7000 [16]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	49 x 100 x 73 mm
Procesor	ARM Cortex™-M7 (480 MHz)
Napájení	24 V DC (min. 20,4 V, max. 28,8 V)
Spotřeba	< 2 W
Spotřeba proudu max. (I/O terminály)	1,5 A
Spotřeba proudu max. (kontakty)	10 A
Digitální vstupy/výstupy	8/4
Analogové vstupy/výstupy	0/0
Spínací čas	$T_{on} = 20 \mu s, T_{off} = 10 \mu s$
Rozšiřitelnost	Až 65534 terminálů
Síťové Rozhraní	1x RJ45, 1x USB
Komunikace	ADS
Montáž	DIN lišta

kontakty, které napájejí modul i digitální výstupy. Napájecí kontakty na pravé straně zajišťují napájení pro další připojené moduly. Celkové schéma připojovacích kontaktů je uvedeno obrázku 3.7.



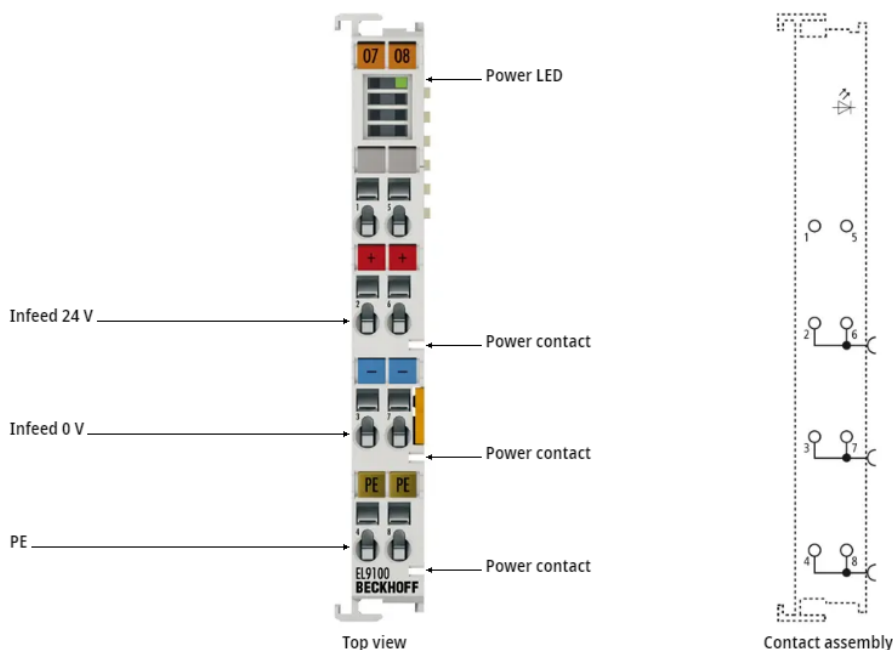
Obrázek 3.7: Digitální výstupní modul EL2809 [17]

Tabulka 3.2: Technické parametry modulu EL2809 [17]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	15 x 100 x 70 mm
Počet kanálu	16
Napájení	24 V DC (min. 20,4 V, max. 28,8 V)
Napájecí proud	140 mA
Ztrátový výkon	0,8 W
Výstupní proud max.	0,5 A na kanál
Spínací čas	$T_{on} = 60 \mu s$, $T_{off} = 300 \mu s$
Průrazná energie	150 mJ na kanál
Montáž	DIN lišta

3.2.3 Napájecí modul EL9100

Napájecí modul EL9100 je nutné zařadit do sestavy kvůli proudovému omezení 10 A na napájecích kontaktech (*power contact*). Pokud jsou k digitálním výstupním modulům připojeny elektromagnetické ventily s parametry uvedenými v tabulce 2.2, je třeba obnovit napájení modulem EL9100 po každých 30 připojených ventilech.



Obrázek 3.8: Napájecí modul EL9100 [18]

Funkce modulu EL9100 je přerušit napájecí kontakty přicházející z levé strany a obnovit napájení prostřednictvím připojovací svorkovnice na přední straně. Tímto způsobem přivádí nový zdroj napájení, který napájí moduly připojené napravo od něj. Celkové schéma připojovacích kontaktů je uvedeno obrázku 3.8.

Tabulka 3.3: Technické parametry modulu EL9100 [18]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	15 x 100 x 70 mm
Napájení	24 V DC (min. 20,4 V, max. 28,8 V)
Spotřeba proudu max. (kontakty)	10 A
Montáž	DIN lišta

3.2.4 Zdroj napájení PS1061-2420-0000

Napájecí zdroj PS1061-2420-0000 převádí síťové střídavé napětí na stejnosměrné napětí 24 V, které je využíváno PLC řídicím systémem. Zdroj je jednofázový a je schopný dodávat proud až 20 A. Vyznačuje se také vysokou účinností 95,7 %.

Volba tohoto zdroje byla založena na celkové spotřebě napájených zařízení, což zahrnuje nejen PLC, ale i všechny připojené moduly a výstupy. V kapitole 6.7 byly specifikovány konstrukční požadavky, ze kterých vyplývá, že je potřeba napájet 47 elektromagnetických ventilů, jejichž spotřeba je 8 W (viz tabulka 2.2). Na základě těchto předpokladů lze určit celkovou minimální spotřebu proudu zdroje:

$$N \cdot P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{N \cdot P}{U} = \frac{47 \cdot 8}{24} = 15,67 \text{ A} \quad (3.1)$$

Kde:

$$\begin{aligned} N &= \text{počet elektromagnetických ventilů} & U &= \text{jmenovité napětí zdroje} \\ P &= \text{spotřeba elektromagnetických ventilů} & I &= \text{spotřeba proudu ze zdroje} \end{aligned}$$

Z rovnice 3.1 plyne že minimální dodávaný proud musí být 15,67 A. Jak vyplývá z tabulky 3.4, zdroj nejenže splňuje tento požadavek, ale také poskytuje rezervu pro napájení všech modulů.

Tabulka 3.4: Technické parametry zdroje PS1061-2420-0000 [19]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	49 x 124 x 124 mm
Napájení	100 - 240 V AC
Napájecí frekvence	50 - 60 Hz
Vstupní proud	typ. 2,2 A
Výstupní napětí	24 V DC
Výstupní proud	0 - 20 A
Účinnost	95,7%
Montáž	DIN lišta



Obrázek 3.9: Zdroj PS1061-2420-0000 [19]

3.2.5 Vývojové prostředí TwinCAT 3

TwinCAT 3 je komplexní softwarová platforma od společnosti Beckhoff, určená pro programování, spouštění a diagnostiku automatizačních systémů. Integruje PLC, motion control, robotiku, vizualizaci, komunikaci a další funkce do jednotného vývojového prostředí. Podporuje širokou škálu programovacích jazyků dle normy IEC 61131-3, jako jsou ladder diagramy, strukturovaný text a funkční bloky (viz kapitola 3.1.4).

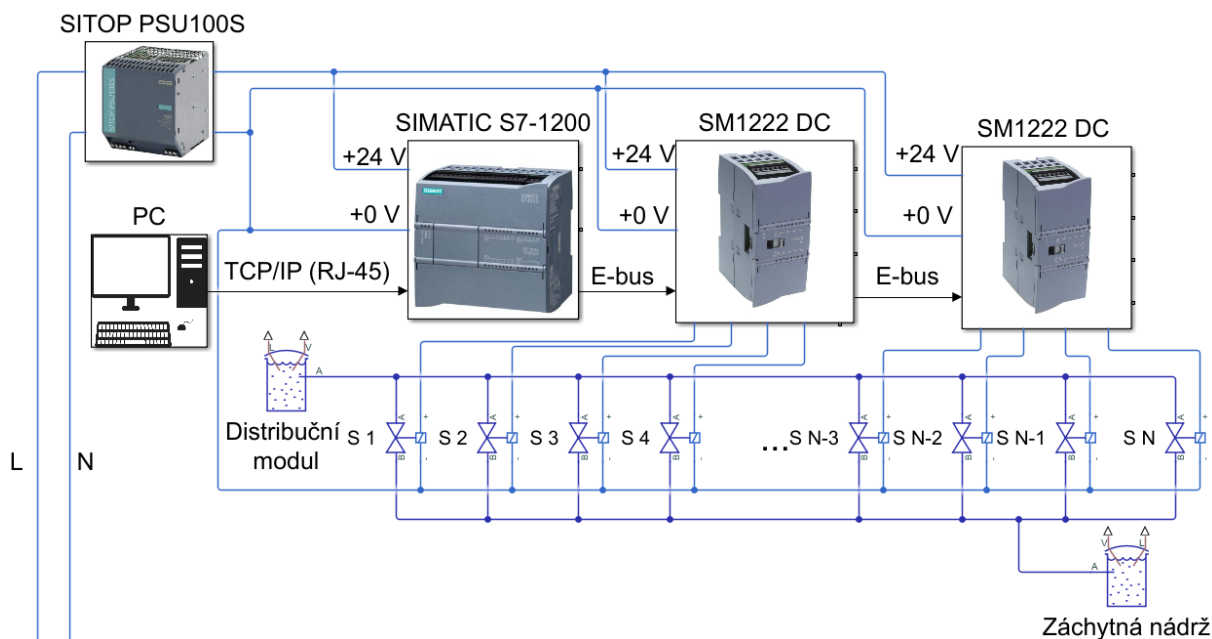
Vývojové prostředí XAE (eXtended Automation Engineering) nabízí intuitivní grafické rozhraní, které usnadňuje konfiguraci systému, programování a ladění aplikací. Díky podpoře vizualizací a HMI lze snadno vytvářet uživatelská rozhraní pro monitorování a ovládání procesů, což zlepšuje interakci s obsluhou a zvyšuje přehlednost chodu systému.

3.3 Siemens PLC

Siemens AG je německý nadnárodní konglomerát s dlouhou tradicí inženýrských a technologických inovací. Společnost působí v oblasti průmyslové automatizace a nabízí širokou škálu produktů a řešení pro různé průmyslové sektory, od PLC systémů přes distribuované řídicí systémy (DSC) až po softwarové nástroje pro vizualizaci. Na obrázku 3.10 je znázorněno schéma řízení digitální vodní opony s komponenty od Siemensu. V následujících podkapitolách budou detailněji popsány jednotlivé komponenty řízení uvedené ve schématu, které splňují požadavky popsané v kapitole 2.4.2.

Systém je napájen jednofázově z elektrické sítě, která je připojena ke zdroji SITOP PSU100S. Tento zdroj transformuje síťové napětí na napětí 24 V stejnosměrné. Toto napětí napájí řídicí PLC SIMATIC S7-1200 a všechny elektromagnetické ventily. Napájení je vedeno do řídicího PLC a jednotlivých přídatných modulů. V tomto případě není potřeba dodatečný modul pro obnovu napájení, protože všechny moduly jsou napájeny samostatně. Elektroventily jsou ovládány pomocí 16-kanálového digitálního výstupního modulu SM1222 DC, který je připojuje ke zdroji napětí, čímž je otevírá. Navíc samotné PLC má 10 digitálních výstupů, které lze rovněž použít k řízení.

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ



Obrázek 3.10: Schéma řízení s komponenty Siemens

Počítač z uživatelským softwarem je připojen kabelem k řídicímu PLC a komunikace probíhá přes TCP/IP komunikaci. Řídicí PLC dále šíří výstupní informace do připojených modulů skrz interní systémovou sběrnici.

3.3.1 PLC SIMATIC S7-1200

SIMATIC S7 je PLC jednotka od firmy Siemens. Jedná se o robustní, spolehlivé a výkonné zařízení, což z něj činí jedno z nejpreferovanějších řešení pro automatizaci ve všech průmyslových odvětvích. V případě vodní atrakce není nutný vysoký výpočetní výkon, proto k řízení bude nejvhodnější použít základní model SIMATIC S7-1200.

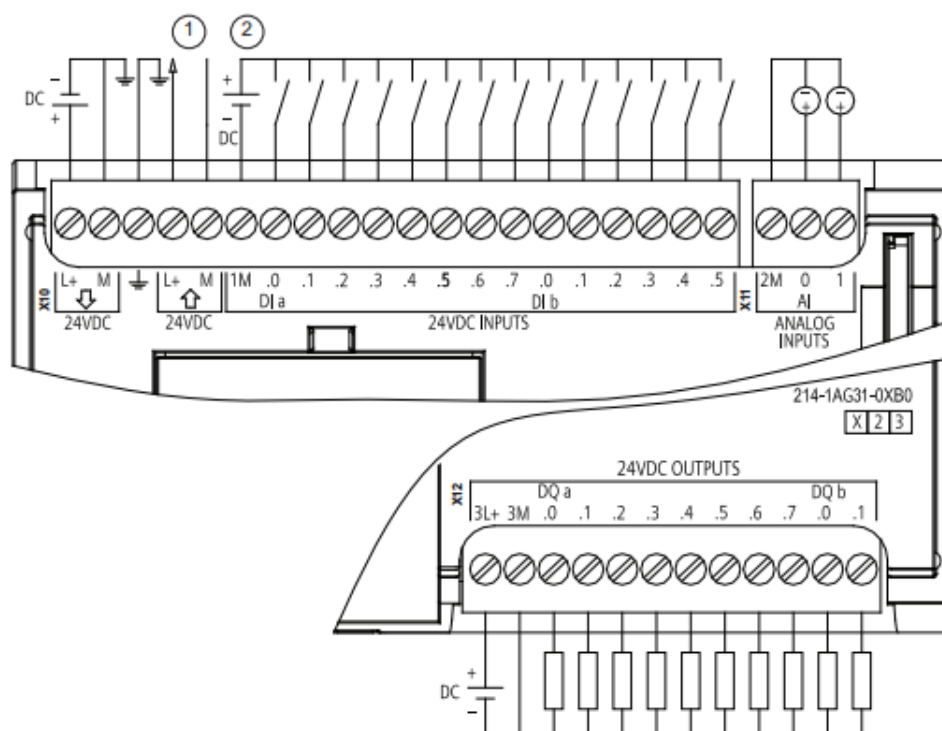
Tento model se prodává v několika variantách podle použitého CPU, přičemž každá varianta má různě omezený počet přídatných modulů. Toto omezení je oproti Beckhoffu výrazné. Pro řízení vodní opony, která vyžaduje mnoho digitálních výstupů, je obvykle nutné mít možnost přidat větší množství přídatných modulů. Z toho důvodu je nejvhodnější variantou SIMATIC S7-1200 ve verzi CPU1214C, která umožňuje připojit až 8 přídatných modulů, což je maximum pro tento model. V porovnání s PLC CX7000 od Beckhoffu, které nabízí rozšiřitelnost až o 65534 terminálů, je tato hodnota dramaticky nižší.

Druhou volbou je systém napájení a spínání. Pro tento případ byla zvolena konfigurace typu DC/DC/DC. Toto označení znamená, že napájecí napětí/digitální vstupy/digitální výstupy jsou napájeny stejnosměrným napětím. Volba této konfigurace byla nejvýhodnější, protože napájení jak samotného PLC, tak jeho digitálních výstupů je řešeno skrz napájecí zdroj SITOP PSU100S, jehož výstupem je DC napětí.

Připojovací svorky jsou umístěny pod odnímatelnými kryty z horní a spodní strany. Na horní straně jsou umístěny napájecí svorky, 14 digitálních vstupů a 2 analogové vstupy. Naproti na spodní straně je umístěno 10 digitálních výstupů. Celkové schéma připojovacích svorek je uvedeno obrázku 3.11. Propojování s přídatnými moduly se realizuje pomocí kontaktů na bočních stranách. Zadní strana je uzpůsobena pro upevnění na DIN lištu,

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

což usnadňuje instalaci v elektrických rozvaděčích. Podrobnější seznam parametrů tohoto PLC je uveden v tabulce 3.5.



Obrázek 3.11: Připojovací schéma PLC SIMATIC S7-1200 ve variantě DC/DC/DC [20]

Tabulka 3.5: Technické parametry SIMATIC S7-1200 CPU1214C [20]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	110 x 100 x 75 mm
Procesor	1214C (12,5 Mhz)
Napájení	24 VDC (min. 20,4 V, max. 28,8 V)
Spotřeba proudu (procesor)	0,5 A
Spotřeba proudu max. (procesor + terminály)	1,5 A
Digitální vstupy/výstupy	14/10
Analogové vstupy/výstupy	2/0
Spínací čas	$T_{on} = 1 \mu s$, $T_{off} = 5 \mu s$
Rozšířitelnost	Až 8 signálových + 3 komunikační moduly
Sítové Rozhraní	1x RJ45
Komunikace	PROFINET
Montáž	DIN lišta

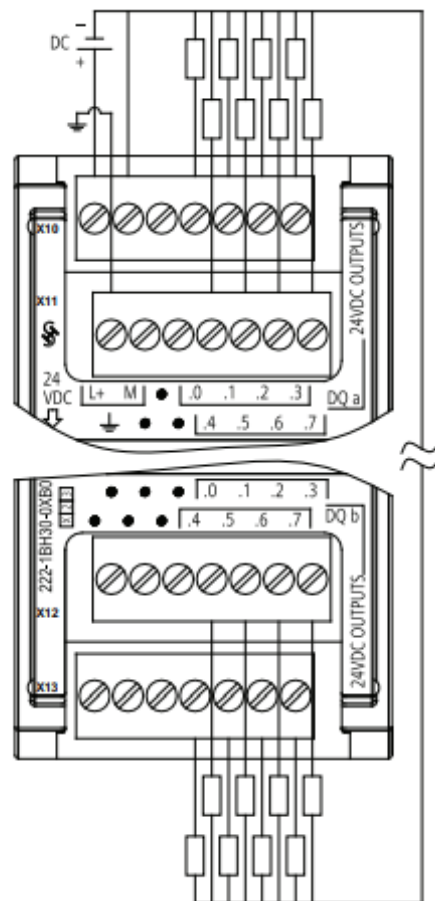
3.3.2 Výstupní modul SM1222

SM1222 je 16-kanálový digitální výstupní modul určený pro PLC řady SIMATIC S7-1200. Jedná se o přídatný modul, poskytující nejvyšší počet digitálních výstupů, který Siemens nabízí. Tyto moduly se stejně jako PLC nabízí v několika variantách podle spínacího signálu. Celé označení zvoleného přídatného modulu je SM1222 DQ 16 x 24 VDC (6ES7 222-1BH30-0XB0). Tento modul má stejný typ digitálních výstupů jak řídicí PLC.

Modul SM1222 DQ 16 x 24 VDC využívá tranzistorové výstupy, které umožňují rychlé spínání, což je ideální pro aplikace vyžadující rychlou odezvu. Modul je navržen pro 24 V DC výstupní napětí s maximálním proudem 0,5 A na kanál. Připojovací svorkovnice se nachází na vrchní a spodní straně pod odnímatelnými kryty. Celkem obsahuje 16 výstupních svorek. Na levé straně jsou vysouvány připojovací kontakty, kterými je modul propojen s řídicím PLC. Propojovací kontakty na pravé straně slouží pro připojení dalšího modulu do série. Celkové schéma připojovacích svorek je uvedeno obrázkem 3.12b.



(a) Tělo výstupního terminálu



(b) Schéma zapojení DC

Obrázek 3.12: Výstupní modul SM 1222 DQ 16x 24 VDC [21]

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Tabulka 3.6: Technické parametry modulu SM 1222 DQ 16x 24 VDC [21]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	45 x 100 x 75 mm
Počet kanálů	16
Napájení	24 VDC (min. 20,4 V, max. 28,8 V)
Napájecí proud	140 mA
Ztrátový výkon	2,5 W
Výstupní proud max.	0,5 A na kanál
Spínací čas	$T_{on} = 50 \mu s$, $T_{off} = 200 \mu s$
Mez indukovaného vypínacího napětí	-48 V
Montáž	DIN lišta

3.3.3 Zdroj napájení SITOP PSU100S

Napájecí zdroj SITOP PSU100S 20A (6EP1336-2BA10) převádí síťové střídavé napětí na stejnosměrné napětí 24 V, které je využíváno PLC řídicím systémem. Zdroj je jednofázový a je schopný dodávat proud až 20 A. Vyznačuje se také vysokou účinností 90 %. Rozsáhlejší seznam parametrů je uveden v tabulce 3.7.

Tento zdroj je parametrově srovnatelný se zdrojem od Beckhoffu diskutovaným v kapitole 3.2.4, což znamená, že splňuje požadavek na velikost dodávaného proudu (viz tabulka 3.7). Nicméně, zdroj od Beckhoffu je menší a účinnější ve srovnání s tímto zdrojem.



Obrázek 3.13: Zdroj SITOP PSU100S 20A [22]

Tabulka 3.7: Technické parametry zdroje SITOP PSU100S 20A [22]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	115 x 150 x 145 mm
Napájení	120/230 V AC
Napájecí frekvence	50/60 Hz
Vstupní proud	7,5/3,5 A
Výstupní napětí	24 V DC
Výstupní proud	0 - 20 A
Ztráty	53 W
Účinnost	90%
Montáž	DIN lišta

3.3.4 Vývojové prostředí TIA Portal

TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) od firmy Siemens je pokročilé prostředí, navržené pro projektování, programování, diagnostiku a správu aplikací v průmyslové automatizaci. Jedná se o centrální platformu pro konfiguraci a programování řady produktů od firmy Siemens, včetně PLC systému, HMI panelů a pohonů. TIA portal urychluje vývojový proces řídicích aplikací, díky intuitivnímu uživatelskému rozhraní, nástrojům pro vizualizaci a možnostem simulace. Tyto prvky umožňují efektivní testování a ladění před samotnou fyzickou implementací. Z hlediska programovacích jazyků, TIA portál podporuje všechny jazyky podle normy IEC 6111-3 (viz kapitola 3.1.4).

3.4 Controllino PLC

Controllino je rakouský startup, který vznikl v roce 2016 s cílem vytvořit průmyslový řídicí systém založený na open-source platformě Arduino. Tento koncept vedl k vývoji stejnojmenného PLC řídicího systému Controllino.

PLC Controllino využívá mikrokontrolery ATmega328 a ATmega2560, čímž kombinuje open-source ekosystém Arduina s flexibilitou, bezpečností a spolehlivostí průmyslových PLC. Controllino splňuje průmyslové bezpečnostní standardy a má certifikaci CE. Jednoduchost a flexibilita ekosystému Arduino může významně snížit čas a náklady na vývoj projektu.

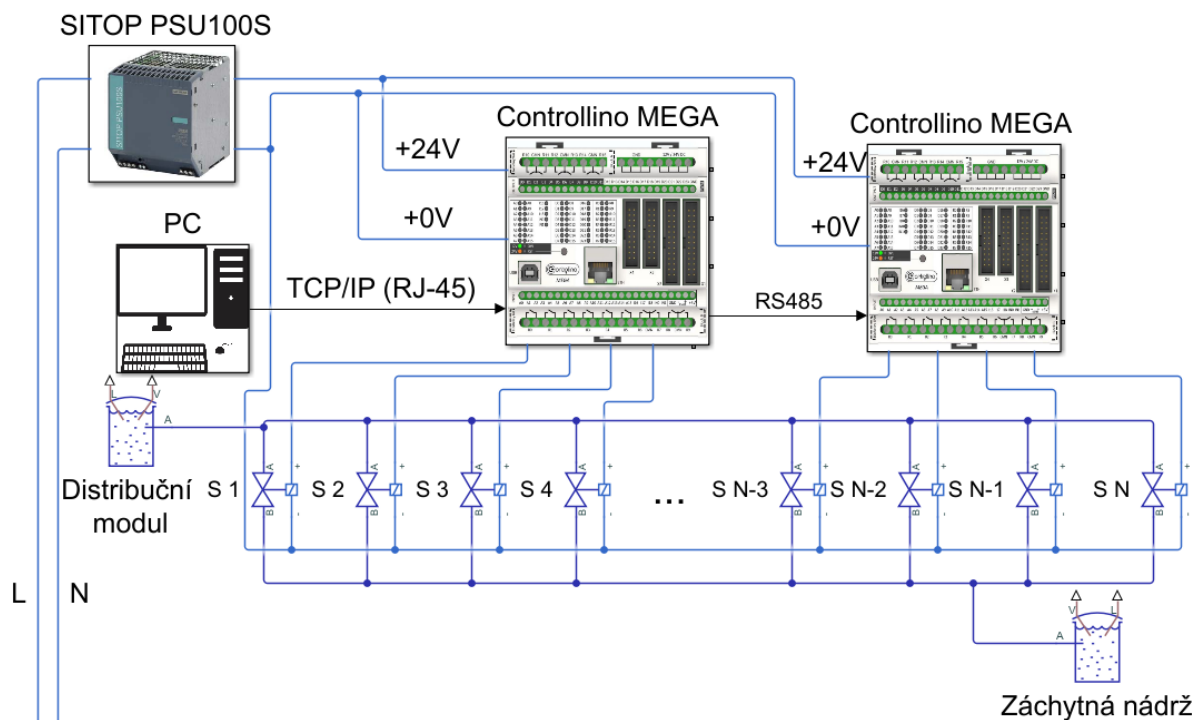
Nicméně, jednoduchost Controllina má i své nevýhody. Nabídka zahrnuje pouze čtyři typy: MICRO, MINI, MEGA a MAXI, které se liší pouze použitým mikrokontrolerem (ATmega328 a ATmega2560), velikostí a počtem vstupních a výstupních portů. Na rozdíl od tradičních průmyslových PLC, Controllino nenabízí rozšiřující moduly, které by umožňovaly zvýšit počet vstupů/výstupů nebo rozšířit komunikační kanály.

Z tohoto důvodu je použití Controllina pro řízení digitální vodní opony omezené. Pro menší instalace s nižším počtem trysek je Controllino vhodné, protože všechny ventily lze připojit k jednomu zařízení. U větších instalací je však výhodnější zvolit modulární PLC systémy, jako jsou ty od Beckhoffu nebo Siemensu, které jsou podrobněji popsány v kapitolách 3.2 a 3.3.

I když je možné použít několik jednotek Controllina, které mezi sebou komunikují.

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Avšak toto řešení se stává pro velké instalace cenově nevýhodné. Na obrázku 3.14 je znázorněno schéma řízení digitální vodní opony s komponenty od Controllino. V následujících podkapitolách budou detailněji popsány jednotlivé komponenty řízení uvedené ve schématu, které splňují požadavky popsané v kapitole 2.4.2. Firma Controllino neposkytuje své vlastní napájecí zdroje. Z toho důvodu byl použit zdroj od firmy Siemens, jehož parametry jsou popsány v kapitole 3.3.3.



Obrázek 3.14: Schéma řízení s komponenty Controllino

Systém je napájen jednofázově z elektrické sítě prostřednictvím zdroje SITOP PSU100S, který transformuje síťové napětí na napětí 24 V stejnosměrné. Toto napětí napájí všechny řídicí PLC Controllino MEGA a všechny elektromagnetické ventily. Pro řízení jsou použity dvě jednotky Controllino MEGA, které komunikují pomocí protokolu RS485. Tento způsob zapojení byl zvolen, protože jednotlivé PLC nedisponují dostatečným počtem výstupů a neumožňují připojení rozšiřujících modulů. Elektroventily jsou ovládány pomocí digitálních výstupů Controllino, které je připojuje ke zdroji napětí, čímž je otevírá.

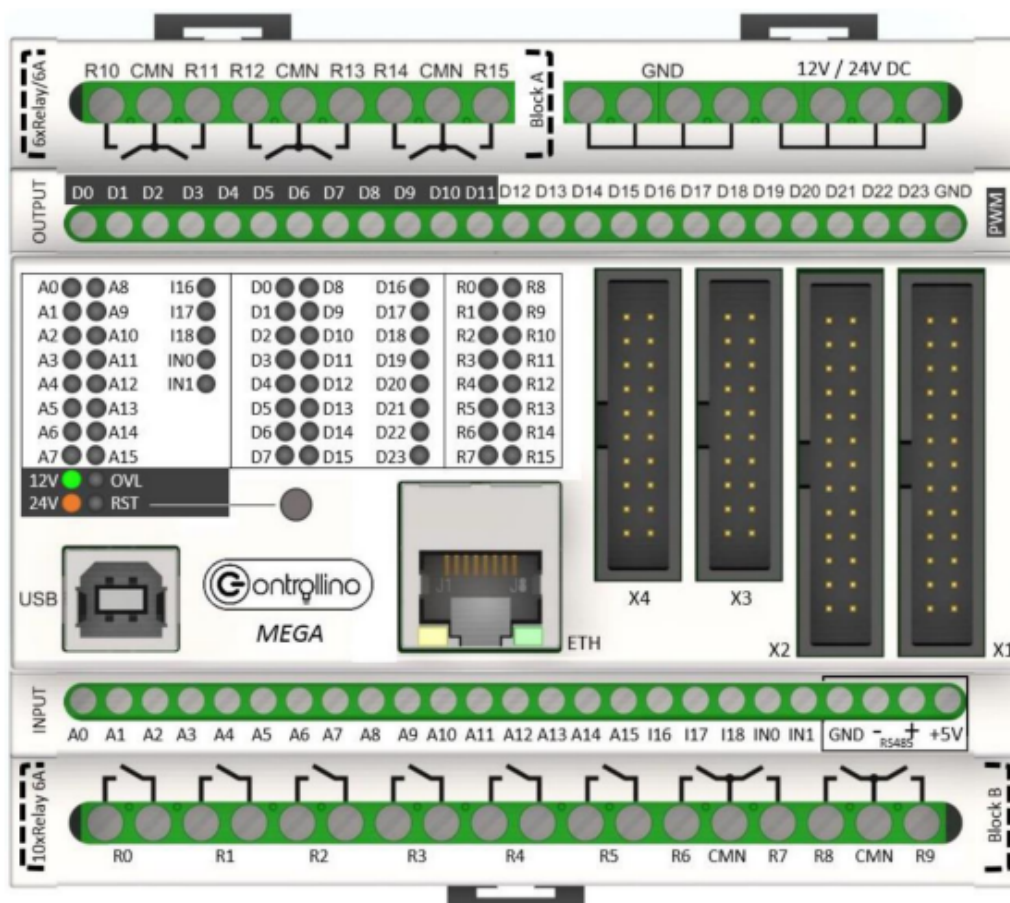
Počítač s uživatelským softwarem je připojen k hlavnímu řídicímu PLC kabelem a komunikace probíhá přes TCP/IP. Hlavní PLC dále předává výstupní informace podružným PLC prostřednictvím komunikačního protokolu RS485.

3.4.1 Controllino MEGA

Controllino MEGA je nejvyšším modelem z řady Controllino. Jedná se o robustní, spolehlivé a výkonné zařízení určené pro soukromé nebo průmyslové použití podle normy EN 61010-2-201. Controllino MEGA je dodáváno ve dvou provedeních. Klasické provedení Controllino MEGA (100-200-00) má na přední straně připojovací pinové konektory a připojovací svorky na horní a spodní straně. Verze Controllino MEGA Pure (100-200-10) neobsahuje připojovací pinové konektory na přední straně.

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Na horní straně jsou napájecí svorky, 24 digitálních výstupů (tranzistorové) a 6 relé výstupů. Na spodní straně se nachází 16 analogových vstupů, 5 digitálních vstupů, 10 relé výstupů a svorky pro komunikační protokol RS485. Rozmístění připojovacích svorek je znázorněno na obrázku 3.15. Propojování s dalšími PLC systémy lze realizovat pomocí kontaktů vyhrazených pro komunikační protokol RS485. Zadní strana je uzpůsobena pro upevnění na DIN lištu, což usnadňuje instalaci v elektrických rozvaděčích. Podrobnější seznam parametrů tohoto PLC je uveden v tabulce 3.8.



Obrázek 3.15: Controllino MEGA 100-200-00 [23]

3.4.2 Vývojové prostředí Arduino

Controllino je programováno v integrovaném vývojovém prostředí Arduino™ IDE, což je open-source prostředí s kompilátorem pro jazyk C. Toto prostředí nabízí předem implementované základní funkce, které usnadňují programování v jazyce C. K dispozici je také široká škála programovacích knihoven.

Arduino IDE poskytuje uživatelům intuitivní grafické rozhraní, které umožňuje snadné psaní, kompilaci a nahrávání kódu do mikrokontroleru. Jednou z hlavních výhod Arduino IDE je podpora široké škály hardwarových desek, včetně Controllina. K dispozici je také rozsáhlá knihovna zdrojového kódu, která obsahuje množství funkcí pro různé aplikace.

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Tabulka 3.8: Technické parametry Controllino MEGA 100-200-00 [23]

Vlastnosti	
Rozměry (Š x V x H)	107 x 90 x 62 mm
Procesor	ATmega2560 (16 Mhz)
Napájení	12/24 V DC (-15%, +25%)
Spotřeba proudu (procesor)	0,5 mA
Spotřeba proudu max. (procesor + kanály)	30 A
Digitální vstupy/výstupy/relé	5/24/16
Analogové vstupy/výstupy	16/0
Spínací čas	neznámý
Rozšiřitelnost	nelze
Síťové Rozhraní	1x RJ45, 1 x USB-B
Komunikace	RS485, SPI, 2x UART, I2C,
Montáž	DIN lišta

3.5 Srovnání vybraných variant

V předchozích kapitolách 3.2, 3.3 a 3.4 byly vytvořeny tři návrhy zapojení řídicího systému od tří různých výrobců PLC. Princip řízení je u všech variant stejný, liší se však použitými komponenty a architekturou. Každý návrh proto obsahuje odlišné zapojení komponent, vycházející z technologií společností Beckhoff, Siemens a Controllino.

Beckhoff a Siemens byly vybrány kvůli jejich silnému zastoupení v průmyslové automatizaci. Obě společnosti mají dlouholetou tradici na trhu a poskytují rozsáhlou podporu a dokumentaci pro své produkty. Nabízejí také bezplatné vývojové prostředí pro studenty, ale komerční využití vyžaduje zakoupení licencí, což může být finančně náročnější.

Naopak Controllino bylo zvoleno jako průmyslové PLC založené na open-source platformě Arduino. Tato kombinace nabízí spolehlivost požadovanou v průmyslu a flexibilitu Arduino ekosystému. Programování lze provádět v Arduino IDE, které obsahuje předprogramované knihovny pro Controllino. Díky open-source povaze je vývojové prostředí i veškeré knihovny zdarma i pro komerční využití.

Tabulka 3.9 obsahuje přehled vybraných komponent a jejich hlavních vlastností pro všechny tři uvedené varianty. U každé komponenty je uveden také její počet, potřebný pro řízení digitální vodní opony, který vychází z konstrukčních parametrů uvedených v kapitole 6.7. Podrobnější popis vlastností jednotlivých komponent je uveden v předchozích kapitolách.

Beckhoff varianta obsahuje celkem 7 komponent. Z hlediska spotřeby jde o poměrně úspornou variantu s celkovou spotřebou 16,4 W. Hlavní výhodou této varianty je velká rozšiřitelnost PLC CX7000, která umožňuje připojit až 65 534 modulů. To znamená, že pokud je řídicí sestava vybavena dostatečně výkonným napájením, které je do sestavy přiváděno pomocí doplňkových napájecích modulů EL9100, pak tato varianta řízení dokáže obsluhovat i velké vodní atrakce pouze s jednou centrální PLC řídicí jednotkou. Další výhodou je kompaktnost všech modulů včetně napájecího zdroje, což činí tuto variantu

3 REŠERŠE PLC ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ

Tabulka 3.9: Shrnutí výběru komponent řídicího systému

	komponenty	Rozměry (Š x V x H) [mm]	Spotřeba proudu [mA]	Počet kanálů I/O	Rychlost procesoru [Mhz]	Spínací čas T_{on}/T_{off} [μs]
Beckhoff	CX7000	49 x 100 x 73	83	8/4	480	20/10
	EL2809 (3x)	15 x 100 x 70	140	0/16	-	60/300
	EL9100 (2x)	15 x 100 x 70	90	-	-	-
	PS1061	49 x 124 x 124	2200	-	-	-
Siemens	SIMATIC S7-1200	110 x 100 x 75	500	16/10	12,5	1/5
	SM1222 DC (3x)	45 x 100 x 75	140	0/16	-	50/200
	SITOP PSU100S	115 x 150 x 145	3500	-	-	-
Controllino	Controllino MEGA (2x)	107 x 90 x 62	0,5	32/40	16	neuveдена
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	SITOP PSU100S	115 x 150 x 145	3500	-	-	-

nejmenší z hlediska rozměrů.

Siemens varianta obsahuje pouze 5 komponent, díky separátnímu napájení jednotlivých přídavných modulů. Nevýhodou je omezený počet přídavných modulů, které lze k PLC SIMATIC S7-1200 připojit. V tomto případě lze připojit pouze 8 vstupně/výstupních modulů. Výpočetní výkon je sice menší, ale stále dostatečný pro danou aplikaci. Rozměrově se jedná o větší variantu ve srovnání s Beckhoffem. V ostatních parametrech jsou téměř totožné s předchozí variantou.

Controllino varianta obsahuje pouze 3 komponenty. Jelikož Controllino neposkytuje žádné napájecí zdroje, byla použita varianta napájecího zdroje SITOP PSU100S. Controllino také nenabízí žádné rozšiřující moduly, takže každé PLC řídí určitou část trysek a komunikují mezi sebou pomocí sériového komunikačního protokolu. Ačkoliv Controllino má dostatečný počet digitálních výstupů, nejsou všechny tyto výstupy stejné. Controllino MEGA je navrženo univerzálně, což znamená, že digitální výstupy nejsou pouze tranzistorové, ale také reléové. Lze použít k řízení i tyto výstupy, ale komplikuje to zapojení. Hlavní výhoda Controllina spočívá v open-source charakteru celé platformy. Pro komerční využití může být tato varianta nejlevnější.

Na základě podrobné analýzy a srovnání komponent byla zvolena varianta s využitím komponent od firmy **Beckhoff**. Kompletní popis tohoto řízení je uveden v kapitole 3.2. Tato varianta byla vybrána kvůli své kompaktnosti, malé spotřebě a hlavně kvůli své rozšiřitelnosti. Umožňuje připojení mnoha výstupních modulů a tím umožňuje i řízení rozsáhlých vodních atrakcí. Dalším důležitým důvodem byl zájem autora této práce o prohloubení znalostí v oblasti řídicích komponent od firmy Beckhoff a o práci ve vývojovém prostředí TwinCAT 3.

4 Rešerše nástrojů pro transformaci grafických podkladů

Následující kapitola se zaměřuje na softwarové nástroje vhodné k implementaci transformační uživatelské aplikace, jejíž funkce je popsána v kapitole 2.4. Aplikace slouží pro transformaci vstupních grafických podkladů, jako jsou texty nebo obrázky, na datový vstup do řídicího systému. Jak bylo rozhodnuto v kapitole 3.5, bude se jednat o PLC řídicí systém od firmy Beckhoff. Z těchto předpokladů vyplývají určité požadavky, které by měl nástroj splňovat, aby umožňoval snadnou implementaci transformačního softwaru a zajišťoval komunikaci s PLC řízením.

4.1 MATLAB

MATLAB, vyvinutý společností MathWorks, je jedním z předních výpočetních a vizualizačních prostředí používaných v široké škále aplikací, od analýzy dat a vývoje algoritmů až po simulaci a modelování v inženýrství a vědeckém výzkumu.

Společnost MathWorks poskytuje své softwarové nástroje univerzitám a studentům zdarma, díky čemuž jsou tyto nástroje široce rozšířené ve vědecké a akademické oblasti. Pro komerční použití jsou však softwarové nástroje od společnosti MathWorks licencované a vyžadují uhrazení licenčních poplatků.

MathWorks také nabízí rozsáhlou podporu ke všem svým softwarovým nástrojům. Díky širokému spektru inženýrských aplikací, které MATLAB podporuje, byly za dobu jeho existence vytvořeny kvalitní knihovny pro nepřeberné množství aplikací, od manipulace s obrazy až po návrh hydraulických systémů.

Celý MATLAB a jeho doplňky jsou navrženy tak, aby byly co nejvíce uživatelsky přívětivé, což umožňuje jejich využití širokým spektrem inženýrů, kteří nemusí mít hluboké znalosti v oblasti programování. Rozhraní MATLABu je intuitivní a nabízí vizuální nástroje, které usnadňují práci s daty a algoritmy. Kromě toho MATLAB poskytuje rozsáhlou dokumentaci a online tutoriály, které uživatelům pomáhají rychle se seznámit s prostředím a jeho funkcemi.

V následujících kapitolách budou analyzovány klíčové vlastnosti MATLABu, které lze využít při tvorbě transformačního softwaru. MATLABu a jeho klíčovými funkcemi bude v této práci věnována větší pozornost než ostatním variantám, protože právě v MATLABu bude vytvořena výsledná aplikace (viz kapitola 4.4).

4.1.1 App designer

App Designer je moderní nástroj pro vytváření grafických uživatelských rozhraní (GUI), který kombinuje vizuální editor s podporou systému *drag-and-drop* a knihovnu uživatelských ovládacích prvků, jako jsou tlačítka, textová pole, posuvníky atd. Tento nástroj je

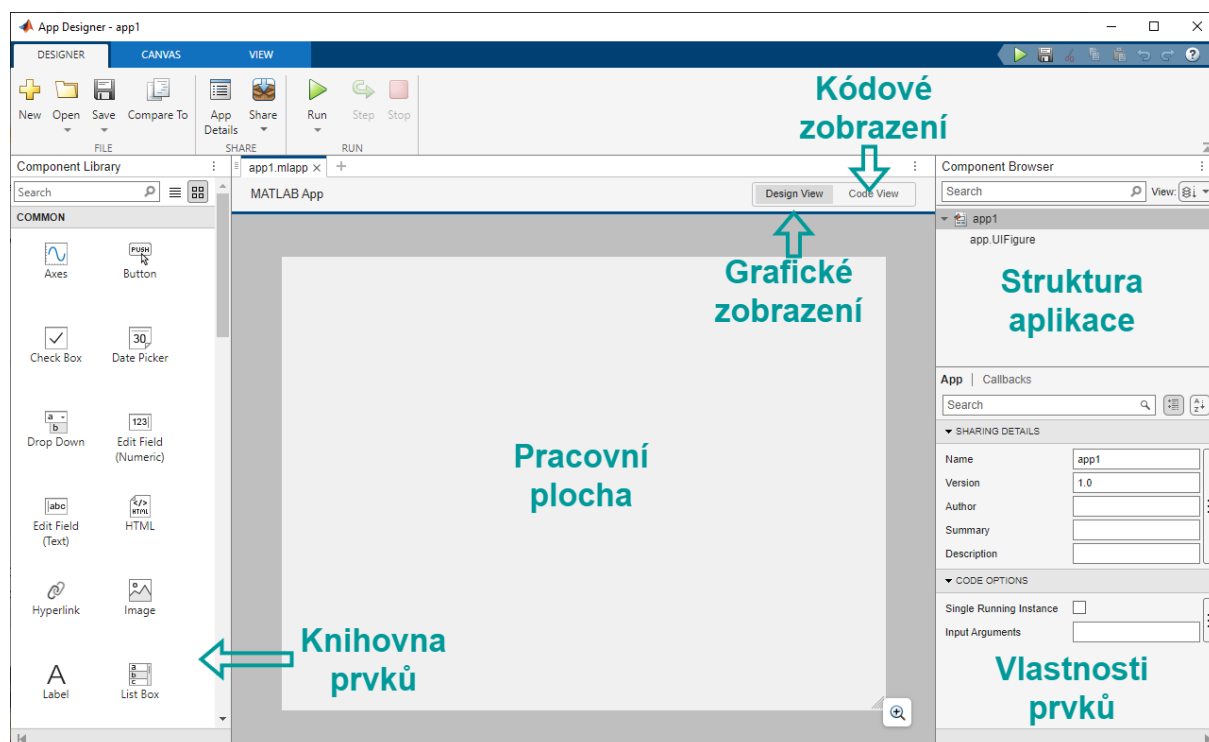
4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

plně integrován s výkonným výpočetním jádrem MATLABu, což umožňuje snadno propojit uživatelské rozhraní s algoritmy a datovými funkcemi MATLABu. Tato integrace umožňuje tvorbu sofistikovaných GUI bez potřeby hlubokých znalostí v oblasti vývoje softwaru.

Popis prostředí App designeru

Po otevření aplikace App Designer se zobrazí uživatelské rozhraní, jak je znázorněno na obrázku 4.1. Úvodní obrazovka je rozdělena do několika částí. Ve střední části se nachází pracovní plocha, kde se navrhuje vizuální podoba aplikace. Na levé straně je panel s knihovnou základních prvků, jako jsou grafy, tlačítka, posuvníky atd. Na pravé straně je panel, který zobrazuje stromovou strukturu vytvářené aplikace a vlastnosti vybraných prvků. V pravé horní části se nachází přepínač pro přepínání mezi grafickým zobrazením (*Design View*) a kódovým zobrazením (*Code View*).

Po dokončení návrhu vizuální části aplikace se přechází k tvorbě akčních funkcí, což se provádí v kódovém náhledu. Zde je již automaticky vygenerován kód pro grafickou část aplikace. Také jsou automaticky vygenerovány funkce, které byly přiřazeny k jednotlivým interaktivním prvkům. Interaktivní prvky zpravidla obsahují více forem interakce, přičemž každá forma může vyvolávat jinou funkci. Nastavení, jaké funkce mají být vyvolány po provedení určité formy interakce s určitým prvkem, se provádí ve vlastnostech daného prvku. Do těchto funkcí je dále vkládán další kód, který je spuštěn při interakci s konkrétním grafickým prvkem, který se na tuto funkci odkazuje.

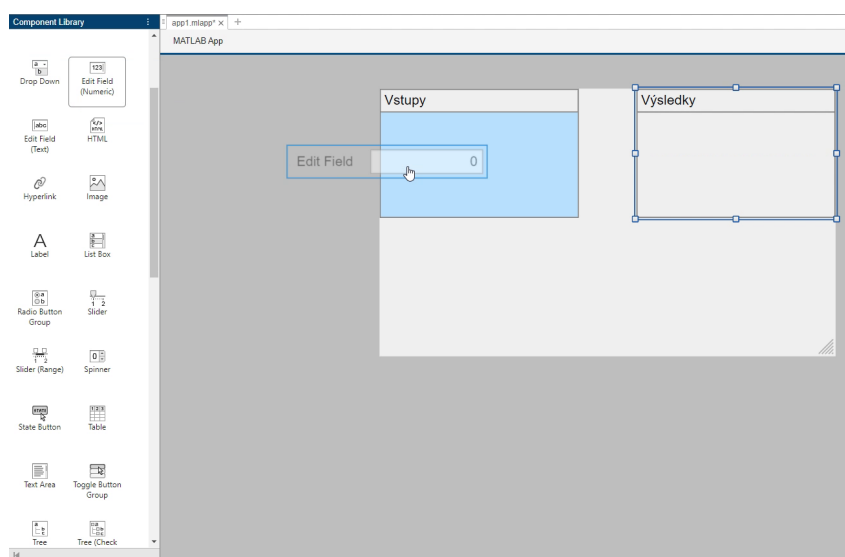


Obrázek 4.1: Úvodní obrazovka App designeru

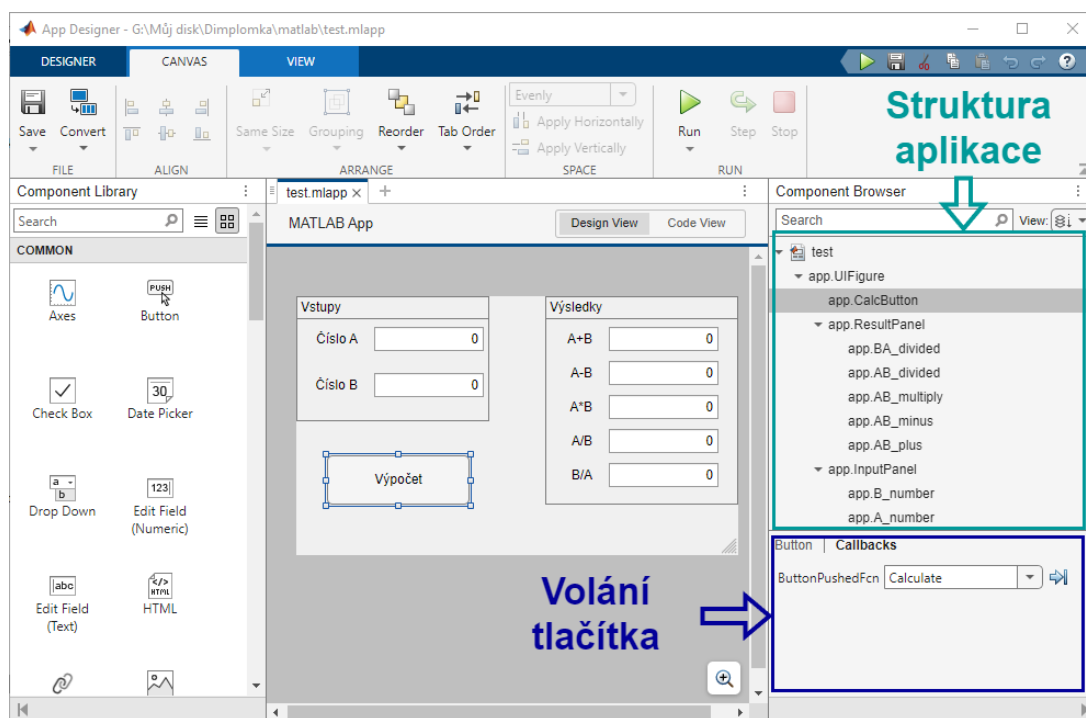
4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

Postup tvorby GUI v App designeru

Postup tvorby GUI v App Designeru bude demonstrován na jednoduché aplikaci, která ze dvou zadaných čísel A a B po stisknutí tlačítka vypočítá a zobrazí hodnoty $A+B$, $A-B$, $A*B$, A/B a B/A . Pomocí principu drag-and-drop (viz obrázek 4.2) se z prvků v knihovně na levé straně sestaví grafická podoba aplikace. Použité prvky jsou: panel, tlačítko a numerické editovatelné pole. Výsledná grafická podoba sestavené aplikace je uvedena na obrázku 4.3, kde je také zobrazen strom aplikace, který ukazuje hierarchii jednotlivých prvků.



Obrázek 4.2: drag-and-drop princip



Obrázek 4.3: Grafická podoba demonstrační aplikace

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

Po vytvoření grafického rozhraní aplikace následuje implementace řídicího kódu. V této jednoduché aplikaci, jde pouze provedení pracovního kódu po zmačknutí tlačítka "Výpočet". Nejprve je nutné vytvořit takzvaný *Callback* pro toto tlačítko. Po kliknutí na tlačítko se v levé dolní části zobrazí jeho vlastnosti. Tyto vlastnosti obsahují dvě záložky. V záložce *Button* jsou uvedeny všechny hlavní nastavitelné vlastnosti tlačítka, zatímco v záložce *Callbacks* se nacházejí funkce, které lze přiřadit k tlačítku.

Pro tlačítko "Výpočet" je relevantní funkce *ButtonPushedFcn*, což je funkce vyvolaná při stlačení tlačítka, jak je znázorněno na obrázku 4.3. Ve výchozím stavu je tato funkce prázdná, tedy není přiřazena žádná akce. Po zadání názvu funkce do tohoto pole dojde k automatickému přiřazení nebo vytvoření nové funkce s daným názvem, pokud dosud neexistuje. Tato funkce se spustí pokaždé, když je tlačítko stisknuto.

Po přepnutí do zobrazení kódu, jak je vidět na obrázku 4.4, se zobrazí nově vytvořená funkce. Ve výchozím stavu je tato funkce prázdná a čeká na doplnění kódu. Do této funkce je třeba vložit následující kód:

```
A = app.A_number.Value ;      % Inicializace cisla A
B = app.B_number.Value ;      % Inicializace cisla B

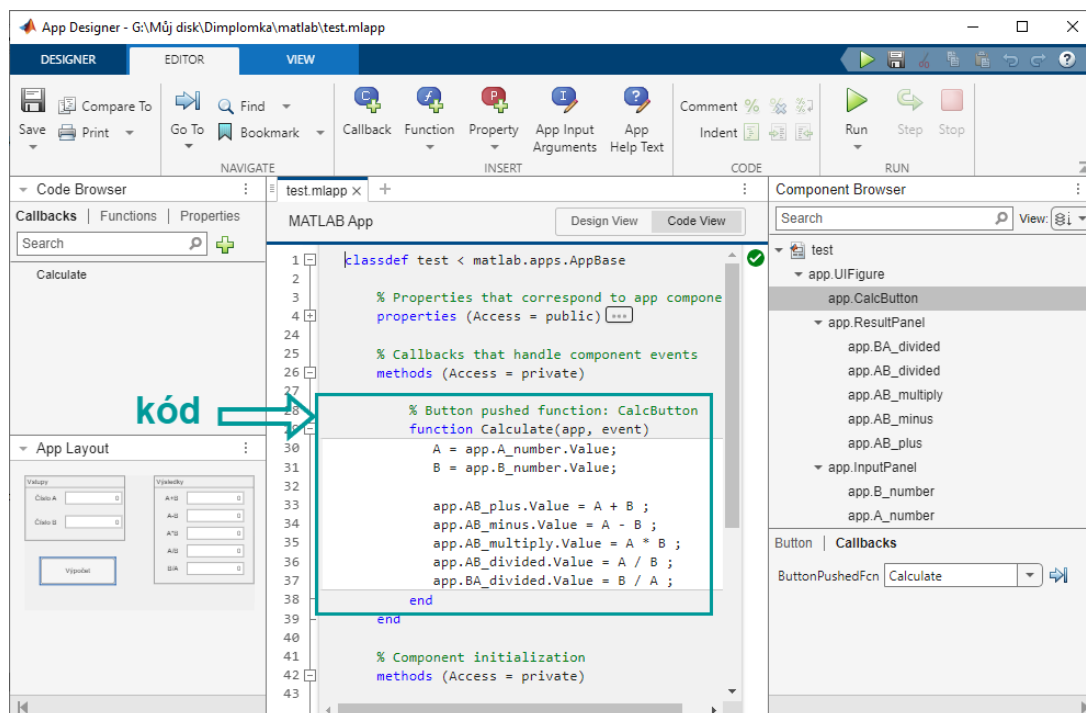
app.AB_plus.Value = A + B ;    % Zobrazeni A+B
app.AB_minus.Value = A - B ;   % Zobrazeni A-B
app.AB_multiply.Value = A * B ; % Zobrazeni A*B
app.AB_divided.Value = A / B ; % Zobrazeni A/B
app.BA_divided.Value = B / A ; % Zobrazeni B/A
```

Tyto příkazy nejprve inicializují proměnné A a B a následně zapisují výsledky numerických operací do příslušných textových polí. Tento přístup využívá objektově orientovaného programování, kde každý prvek v aplikaci je reprezentován jako objekt, který obsahuje různé vlastnosti a metody. Tyto objekty mají specifické datové typy, které definují parametry daného prvku a umožňují snadnou manipulaci s daty a funkcemi v rámci aplikace.

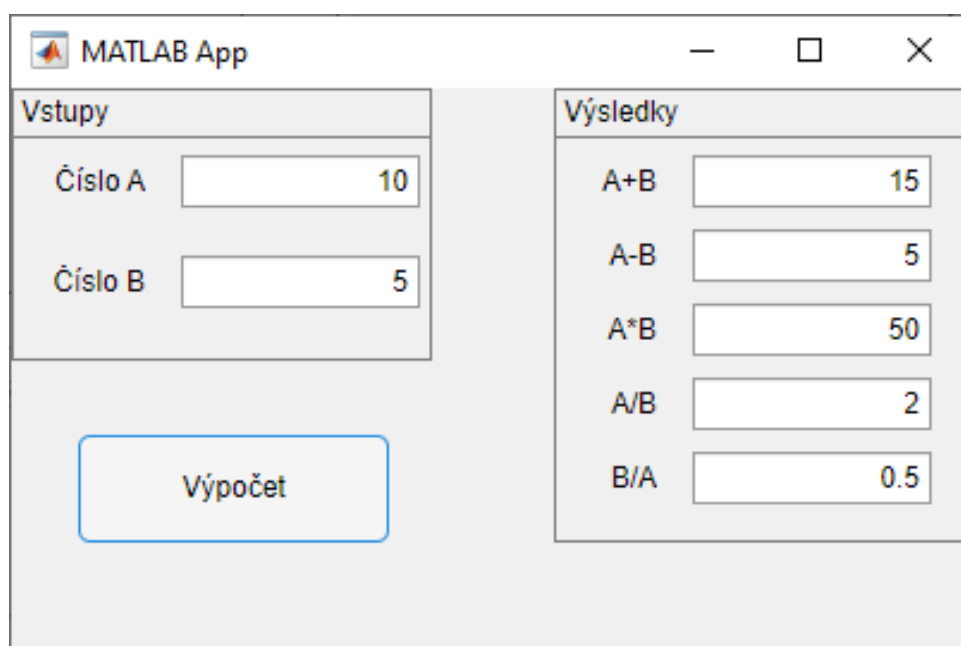
Tato jednoduchá aplikace je nyní plně funkční a připravená ke spuštění. Po spuštění se uživateli zobrazí konečná podoba aplikace, jak je znázorněno na obrázku 4.5. Další postup je velmi intuitivní: uživatel zadá čísla A a B do vstupních polí a po stisknutí tlačítka "Výpočet" se vypočtené hodnoty zobrazí v panelu výsledků.

Takovým způsobem lze vytvářet i složitější grafická rozhraní, bez hlubokých znalostí z oblasti vývoje softwaru. Jak je patrné z této ukázky, tvorba grafických rozhraní v aplikaci App Designer je velmi jednoduchá a efektivní. V kombinaci s výkonným výpočetním jádrem MATLABu se jedná o ideální nástroj pro vytváření aplikací, například pro tvorbu scén digitální vodní opony.

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ



Obrázek 4.4: Kód demonstrační aplikace



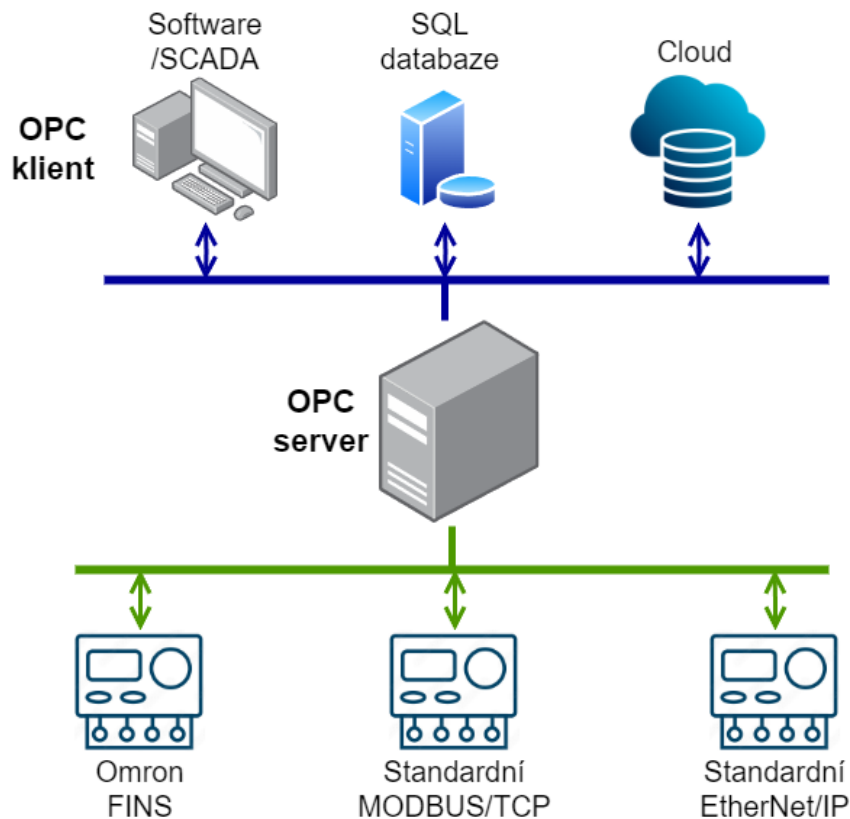
Obrázek 4.5: Výsledná podoba demonstrační aplikace

4.1.2 Komunikační knihovny

Pro komunikaci s průmyslovými řídicími systémy a PLC využívá MATLAB rozšiřující knihovnu s názvem *Industrial Communication Toolbox*. Tato knihovna umožňuje připojení k OPC serverům, které představují standardní průmyslové komunikační rozhraní pro

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

výměnu dat mezi různými hardwarovými a softwarovými komponentami. Schéma OPC komunikace v průmyslovém prostředí je znázorněno na obrázku 4.6. Integrace MATLABu s těmito komunikačními protokoly umožňuje nejen získávání a odesílání dat v reálném čase, ale také jejich analýzu a zpracování přímo v prostředí MATLABu.



Obrázek 4.6: Schéma komunikace pomocí OPC serveru

MATLAB je podporovaný u většiny předních výrobců PLC. Zpravidla tito výrobci poskytují své knihovny přímo do MATLABu, které umožňují snadnou komunikaci s jejich produkty.

Příkladem může být knihovna TE1410, neboli TwinCAT 3 rozhraní pro MATLAB a Simulink. Více informací o této knihovně lze nalézt v [24]. Tato knihovna, integrovaná do MATLABu, obsahuje funkce pro správu a komunikaci s PLC od Beckhoffu. Umožňuje komunikaci prostřednictvím ADS (Automation Device Specification) protokolu, který je výchozím komunikačním prostředkem mezi jednotlivými moduly TwinCATu.

Nevýhodou této formy komunikace je zpoplatněná licence knihovny. Pro dlouhodobé užívání je nutné uhradit licenční poplatek. Knihovna funguje i bez licence, ale pouze po dobu 30 minut od jejího načtení v MATLABu. Po uplynutí této doby knihovna přestane fungovat, a její funkčnost lze obnovit restartováním MATLABu. Tato ochrana umožňuje vyzkoušet a testovat knihovnu bez licence, avšak pro praktické nasazení je nutné zajistit její neomezené fungování, což vyžaduje zakoupení licence.

4.1.3 Knihovna pro práci se vstupními podklady

Z podstaty fungování digitální vodní opony vyplývá, že lze touto formou zobrazovat pouze 2D černobílé obrazy. Rozlišení výsledných obrazů závisí na hustotě trysek a rychlosti

jejich spínání, což znamená, že je obtížné, ne-li nemožné, zobrazovat složité a detailní obrazy. Mnoho detailů je tedy pro účely digitální vodní opony zbytečných, stejně jako barevná informace, která je v tomto kontextu irelevantní. Cílem softwarové transformace je ze vstupních podkladů získat jednoduchou reprezentaci v binární logice, kde logická 1 znamená otevřenou tryšku a logická 0 uzavřenou.

Aby nebyla konečnému uživateli kladena omezení na vstupní data, musí software efektivně zpracovat libovolný text a libovolný předložený obraz. Princip spočívá v sestavení binární matice reprezentující tvar vstupního textu na základě databáze obsahující písmena s odpovídající 7x5 binární reprezentací. V případě obrazu jde o vložení obrazu v libovolném formátu a jeho transformaci do binární reprezentace se správným rozlišením odpovídajícím vodní oponě.

Další sofistikovanější varianta vytváření vodních inscenací zahrnuje použití hudby. Vstupem je tedy audio nahrávka, na které je provedena audiovizualizace. Audiovizualizace je metoda převádějící audio signály, jako je hudba, na animované obrazy nebo vzory, které vizuálně reprezentují hudební nahrávku. Tyto obrazce obvykle reagují na různé aspekty hudby, jako je rytmus, tempo, hlasitost a tónová výška. Tato práce se však zaměřuje výhradně na grafické podklady, a proto tato metoda není implementována. Avšak v rámci rešerše softwarových nástrojů budou zmíněny knihovny vhodné k implementaci audiovizualizace.

Na základě výše uvedených předpokladů je nutné, aby MATLAB efektivně pracoval s textem, obrazy, audiem, maticemi a datovými strukturami. Většinu těchto požadavků již splňuje ve své základní podobě. Práce s obrazy a audiem je však omezená, a proto MathWorks poskytuje k tomuto účelu specializované knihovny popsáné níže.

Knihovna pro zpracování obrazu

Image Processing Toolbox™ je klíčové rozšíření MATLABu, které poskytuje rozsáhlé nástroje pro zpracování obrazu. Obsahuje funkce pro filtraci, segmentaci obrazu, analýzu a morfologické operace. Vzhledem ke komplexnosti této knihovny je zřejmé, že všechny základní funkce pro manipulaci s obrazy, které jsou v tomto případě vyžadovány, jsou zahrnuty. Tato knihovna umožňuje efektivní manipulaci s obrazy a jejich vizualizaci, což je nezbytné pro úspěšnou implementaci digitální vodní opony. Detailnější popis této knihovny poskytuje společnost MathWorks a lze jej nalézt na [25].

Knihovna pro zpracování audia

Audio Toolbox™ je další klíčové rozšíření MATLABu, které poskytuje komplexní nástroje pro pokročilé zpracování audia. Obsahuje funkce pro analýzu, zpracování a syntézu zvukových signálů, včetně nástrojů pro filtraci, redukci ozvěny a šumu, stejně jako algoritmy pro detekci a rozpoznávání hlasu. Tato knihovna nabízí všechny potřebné funkce pro práci s audiem, které jsou nezbytné k implementaci audiovizualizace, kterou lze využít pro vytvoření vodní inscenace. Detailnější popis této knihovny poskytuje společnost MathWorks a lze jej nalézt na [26].

4.2 .NET Framework

Platforma .NET Framework od společnosti Microsoft je jedním z předních vývojových prostředí, jež nachází uplatnění především v tvorbě desktopových a webových aplikací. Je široce používána pro vývoj robustních a škálovatelných softwarových řešení v různých odvětvích. Společnost Microsoft poskytuje .NET Framework bezplatně všem vývojářům, což přispívá k jeho rozšíření a popularitě.

.NET Framework nabízí vývojářům výkonné prostředí pro běh aplikací, známé jako *Common Language Runtime (CLR)*, které zajišťuje správu paměťových prostředků, bezpečnost při běhu aplikace a další základní služby. Dále poskytuje obsáhlou knihovnu tříd, tzv. *.NET Framework Class Library (FCL)*, která obsahuje základní funkcionality pro vývoj aplikací.

Mezi hlavní výhody platformy .NET je její jazyková nezávislost. Aplikace mohou být napsány v různých programovacích jazycích, jako jsou C#, VB.NET nebo F#. Bez ohledu na použitý jazyk jsou aplikace přeloženy do mezikódu zvaného *Common Intermediate Language (CIL)*, což umožňuje jejich spouštění na různých typech zařízení a operačních systémech [27]. Další výhody platformy .NET jsou především:

1. **Robustní knihovny:** FCL poskytuje širokou škálu předpřipravených funkcí, které zrychlují vývoj aplikací.
2. **Bezpečnost:** CLR zajišťuje bezpečný běh aplikací tím, že poskytuje řízení přístupu k paměti a jiným systémovým prostředkům.
3. **Portabilita:** Díky překladu do CIL mohou být aplikace provozovány na různých platformách bez úprav zdrojového kódu.
4. **Správa paměti:** Automatická správa paměti a odstraňování nevyužívaných objektů z paměti (*garbage collection*) usnadňuje vývoj a zvyšuje stabilitu aplikací.

Nejpoužívanější programovací jazyky pro vývoj .NET aplikací jsou C# a Visual Basic.NET. C# je programovací jazyk podobný jazykům C nebo Java. Visual Basic.NET je pokračovatelem jazyka Visual Basic. K dispozici je nicméně řada dalších programovacích jazyků, například:

- C++/CLI
- F# (funkcionální programovací jazyk)
- J# (jazyk velmi podobný Javě)
- IronPython
- Object Pascal (vývojové prostředí Delphi)

V následujících kapitolách budou analyzovány klíčové vlastnosti .NET Frameworku, které mohou být využity při tvorbě transformačního softwaru. První část analýzy je zaměřena na možnosti vytváření grafických uživatelských rozhraní (GUI) na této platformě. Druhá část se věnuje způsobům realizace komunikace s hardwarovými komponenty. Na závěr je prozkoumána dostupnost knihoven pro práci s obrazem a audiem.

4.2.1 Windows Presentation Foundation

Windows Presentation Foundation (WPF) je integrovanou součástí .NET Frameworku, poskytující rozsáhlé možnosti pro tvorbu GUI. WPF umožňuje vytvářet propracovaná a dynamická uživatelská rozhraní díky své schopnosti kombinovat sofistikovaný design s komplexními výpočetními operacemi. WPF rovněž podporuje moderní grafické standardy a technologie, jako je vektorová grafika, animace, a 3D grafika. Díky tomu lze vytvářet vizuálně atraktivní a interaktivní aplikace, které mohou zahrnovat složité grafické prvky a animace. Navíc se WPF těší široké podpoře komunity vývojářů a množství dostupných knihoven, což výrazně rozšiřuje jeho možnosti nad rámec základních nástrojů poskytovaných samotným frameworkem.

Stejně jako App Designer od MATLABu, i WPF integruje vizuální editor s podporou *drag-and-drop*. Tento framework nabízí širokou škálu předpřipravených komponent, ze kterých lze snadno sestavit grafickou podobu vyvíjené aplikace. Mezi tyto komponenty patří tlačítka, textová pole, posuvníky, popisky a mnoho dalších.

Navíc, pokud je potřeba specifických funkcionalit nebo vlastností, WPF umožňuje vytváření vlastních komponent. I když tato potřeba obvykle nevzniká, možnost přizpůsobení a rozšíření funkcionality je velmi užitečné pro pokročilé aplikace. Tím se zajišťuje, že WPF je dostatečně flexibilní pro různé typy projektů, od základních až po velmi komplexní aplikace.

Proces vytváření uživatelského prostředí je v podstatě stejný jako v případě App Designeru od MATLABu. Z tohoto důvodu nebude v této kapitole detailněji popsán postup tvorby aplikace v WPF, protože postup práce v App Designeru, uvedený v kapitole 4.1.1, je velmi podobný práci v prostředí WPF. Pro detailnější návod postupu práce v WPF lze odkázat na zdroj [28].

Nicméně, WPF má jeden klíčový rozdíl oproti App Designeru, a to je **databinding**. Databinding je proces, při kterém jsou GUI prvky přímo propojeny s datovými zdroji. Díky tomu může WPF efektivně oddělit logiku aplikace od jejího uživatelského rozhraní pomocí Model-View-ViewModel (MVVM) architektury. Tato architektura rozděluje aplikaci do tří hlavních částí [29]:

- **Model:** Základní doménový model aplikace. Obsahuje datovou logiku a struktury, které neobsahují informace o uživatelském rozhraní. Model reprezentuje reálné datové objekty, které aplikace zpracovává.
- **View:** Grafické prostředí, které uživatel vidí a s kterým interaguje. Ve WPF jsou to obvykle XAML soubory, které definují strukturu a vzhled uživatelského rozhraní, včetně rozložení, stylu a animací.
- **ViewModel:** Slouží jako prostředník mezi Modelem a View. ViewModel zpracovává všechny vstupy z View a transformuje je do příkazů pro Model. Naopak, změny v Modelu jsou ViewModelu sděleny a ViewModel je převede na formát, který může být snadno zobrazen ve View. ViewModel také může držet stav uživatelského prostředí (UI), například jako indikátor načítání nebo aktuálně vybrané položky, a tím odlehčuje View od potřeby řídit tento stav.

Využitím MVVM architektury lze dosáhnout vyšší úrovně dekompozice a modularity v aplikaci, což vede k lepší správě zdrojového kódu a usnadňuje jeho testování, protože

ViewModely mohou být testovány nezávisle na uživatelském rozhraní. Hlavními výhodami MVVM architektury je:

1. **Údržba kódu:** Oddělením logiky od UI se kód stává čistějším a snazším na údržbu.
2. **Usnadnění testování:** ViewModel nezávisí na View, což usnadňuje automatizované testování funkcionality aplikace.
3. **Flexibilita designu:** UI designeři mohou pracovat na View bez toho, aby museli zasahovat do kódu aplikace.
4. **Zjednodušená kolaborace:** Programátoři a designeři mohou pracovat paralelně a nezávisle na sobě.

MVVM je v .NET WPF ideální pro vytváření komplexních aplikací s bohatými GUI, protože poskytuje čistý a modulární způsob, jak oddělit vizuální aspekty od logiky a dat aplikace. Na rozdíl od App Designeru, který je více zintegrováný a kompaktní nástroj vhodný pro rychlý vývoj inženýrských a vědeckých aplikací.

4.2.2 Komunikační knihovny

Integrace PLC s aplikacemi vytvořenými v .NET Frameworku je klíčová pro průmyslovou automatizaci a řízení systémů. .NET framework poskytuje řadu nástrojů a knihoven pro efektivní komunikaci s PLC zařízeními, což umožňuje realizaci komplexních kontrolních a monitorovacích aplikací.

Mezi nejpoužívanější komunikační protokoly patří OPC (OLE for Process Control) a OPC UA (Unified Architecture), které slouží jako standardní protokoly pro výměnu dat mezi různými průmyslovými zařízeními a softwarem, jak je znázorněno na obrázku 4.6. Tyto protokoly umožňují .NET aplikacím číst a zapisovat data do PLC v reálném čase, což zajišťuje vysokou úroveň interaktivity systému. Jednou z nejpoužívanějších knihoven obsahující tyto standardy je **OPC Foundation .NET Standard**.

Jedná se o oblíbenou komunikační knihovnu vytvořenou, nezávislou organizací OPC Foundation. Tato organizace stanovuje průmyslové standardy pro otevřenou konektivitu prostřednictvím protokolu OPC a je zodpovědná za vývoj a udržování standardů OPC, včetně OPC UA, které jsou široce používány v průmyslové automatizaci.

.NET je již dlouho dobu oblíbeným softwarovým nástrojem v průmyslové automatizaci. Proto většina výrobců PLC řídicích systémů, poskytuje již svoje vytvořené knihovny pro komunikaci s PLC do frameworku .NET. Příkladem může být knihovna TwinCAT ADS .NET, což je knihovna poskytovaná společností Beckhoff, která obsahuje funkce pro komunikaci s jejich PLC komunikačním protokolem ADS. Více informací o této knihovně lze získat na [30]. Navíc jelikož je .NET zdarma přístupný tak i tato knihovna od Beckhoffu je zdarma přístupná a nevztahuje se na ni licenční poplatek, jako je tomu v případě knihovny do MATLABu (viz kapitola 4.1.2).

.NET je dlouhodobě oblíbeným softwarovým nástrojem v oblasti průmyslové automatizace. Díky tomu většina výrobců PLC systémů poskytuje své knihovny v rámci platformy .NET, které umožňují snadnou komunikaci s jejich produkty.

Příkladem může být knihovna TC1000, neboli TwinCAT 3 ADS .NET V6. Více informací o této knihovně lze nalézt v [30]. Tato knihovna, určená pro platformu .NET obsahuje

funkce pro správu a komunikaci s PLC od Beckhoffu. Umožňuje komunikaci prostřednictvím ADS protokolu, který je výchozím komunikačním prostředkem mezi jednotlivými moduly TwinCATu.

Navíc, vzhledem k tomu, že .NET je volně dostupný, je i tato knihovna od Beckhoffu k dispozici zdarma a není na ni uvalen licenční poplatek. To je výhoda oproti některým jiným knihovnám, například knihovně TE1410 pro MATLAB, za kterou je nutné platit licenční poplatek (viz kapitola 4.1.2).

4.2.3 Knihovny pro práci se vstupními podklady

V kapitole 4.1.3 byly zmíněny operace potřebné pro softwarovou realizaci transformačního softwaru digitální vodní opony. Zejména se jedná o základní práce s obrazem, audiem, maticemi a datovými strukturami. Tato kapitola se zaměřuje na výběr vhodných knihoven pro implementaci transformačního softwaru na platformě .NET.

.NET Framework, vytvořený v roce 2002, je již řadu let oblíbeným nástrojem mezi vývojáři softwaru. Díky podpoře od Microsoftu se stal výkonným a efektivním prostředkem pro vývoj různých aplikací. Jeho popularita vedla k vytvoření mnoha knihoven jak od Microsoftu, tak od třetích stran. Díky tomu existuje velké množství robustních knihoven pro širokou škálu aplikací.

Na rozdíl od MATLABu, .NET ve své základní podobě neumožňuje práci s maticemi. Nicméně, tato platforma nabízí robustní knihovnu s názvem **Accord.NET**, kterou lze snadno a zdarma stáhnout a implementovat. Tato rozsáhlá knihovna podporuje práci s maticemi, datovými strukturami, a také zpracování obrazu a audia. Accord.NET tedy poskytuje všechny potřebné funkce pro implementaci transformačního softwaru v jedné knihovně, což z ní činí ideální volbu pro tento účel.

V oblasti zpracování obrazu nabízí Accord.NET funkce jako filtrace, detekce hran, segmentace a další. Pro práci s audiem poskytuje nástroje pro zpracování signálu, analýzu a syntézu zvuku, což zahrnuje operace jako jsou FFT (rychlou Fourierovu transformaci), filtraci a detekci tónů. Tyto schopnosti umožňují efektivně manipulovat jak s obrazovými, tak i zvukovými daty a aplikovat na ně různé transformace.

Accord.NET nabízí mnoho sofistikovaných funkcí, které mohou být nadbytečné při implementaci transformačního softwaru pro digitální vodní oponu. Nicméně, obsahuje také všechny základní funkce potřebné pro tuto aplikaci. Vzhledem k tomu, že je tato knihovna zdarma, může být bez problémů použita i pro tento účel.

4.3 LabVIEW

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, známý především jako LabVIEW, je grafický programovací jazyk a vývojové prostředí od společnosti National Instruments. LabVIEW se zaměřuje především na aplikace pro sběr dat, měření, řízení procesů a automatizaci. Toto prostředí je velmi populární mezi inženýry a vědci díky své intuitivní vizuální syntaxi a schopnosti snadné integrace různých hardwarových zařízení. LabVIEW je ideální pro vytváření aplikací, které vyžadují rychlé prototypování a integraci různých technologií, což z něj činí vynikající nástroj pro vývoj komplexních inženýrských a vědeckých projektů.

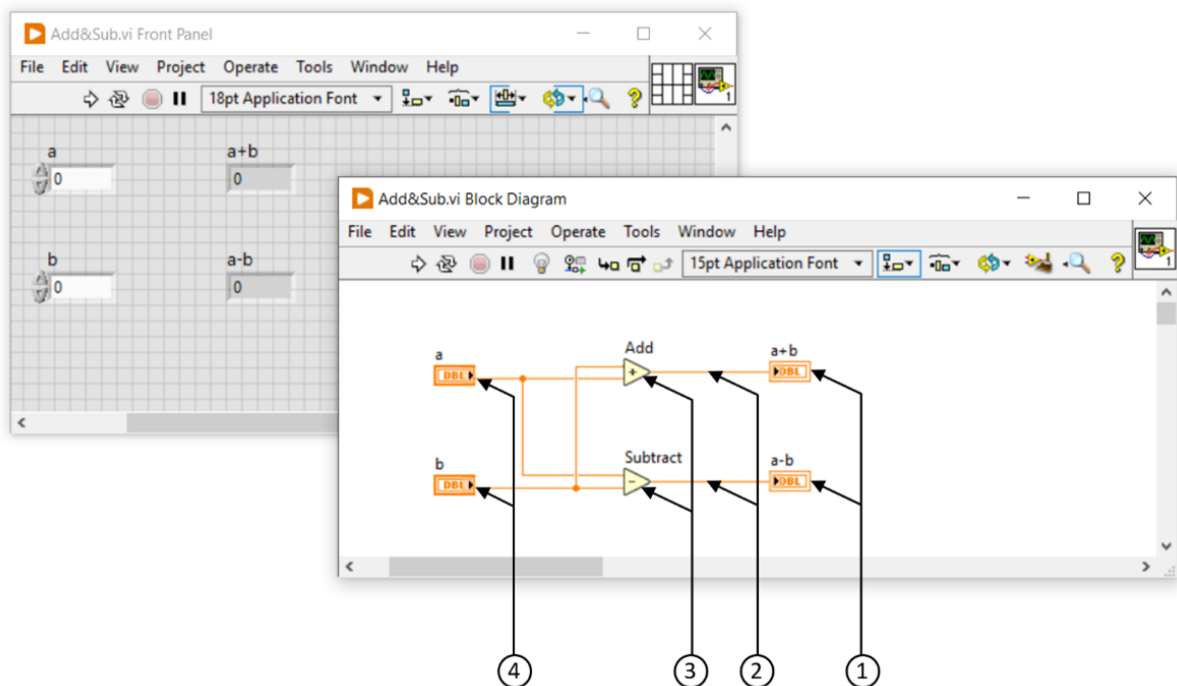
Společnost National Instruments poskytuje LabVIEW univerzitám a studentům zdarma. Pro komerční použití je však LabVIEW licencováno a vyžaduje uhrazení licenčních poplatků. Zpoplatněny jsou zpravidla i doplňkové knihovny, které National Instruments

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

poskytuje.

Architektura a způsob programování v LabVIEW se výrazně liší od MATLABu a .NET frameworku. LabVIEW je grafický programovací jazyk, který již ve své základní podobě obsahuje integrované grafické uživatelské prostředí. LabVIEW rozděluje své prostředí do dvou hlavních oken jak lze vidět na obrázku 4.7:

1. **Block Diagram:** Toto okno je určeno pro tvorbu kódu pomocí grafických bloků, které jsou vzájemně propojovány. Každý blok představuje určitou funkci nebo operaci. Bloky jsou propojeny dráty, které přenášejí data mezi nimi. Bloky s vizuálními prvky, jako jsou kontrolky a ukazatele, jsou automaticky zobrazeny na front panelu.
2. **Front Panel:** V tomto okně se současně s tvorbou kódu vytváří i odpovídající grafické uživatelské rozhraní. Tento panel může obsahovat různé ovládací prvky, jako jsou tlačítka, posuvníky, grafy a další, které umožňují uživateli interagovat s aplikací. Front panel může být využíván podle potřeb konkrétního programu. Pokud kód nevyžaduje uživatelskou interakci, front panel se nepoužívá, s výjimkou testování. Naopak, u aplikací, které vyžadují nebo umožňují interakci s uživatelem, je front panel aktivně využíván a optimalizován pro zajištění přehlednosti a intuitivního ovládání.



Obrázek 4.7: Prostředí LabVIEW [31]

1 - indikátory (výstupy), 2 - dráty, 3 - uzly, 4 - kontrolky (vstupy)

Výsledkem je vývojové prostředí, které nepotřebuje další rozšiřující nástroj pro vytváření GUI, protože grafické prostředí se vytváří současně se sestavováním kódu. LabVIEW umožňuje snadné a vizuálně přístupné programování, které je vhodné zejména pro inženýrské aplikace, kde je potřeba rychle a efektivně vytvářet a testovat komplexní systémy.

Další výhodou je možnost testování jednotlivých funkcí odděleně pomocí vytvořeného testovacího Front Panelu přímo v rámci dané funkce.

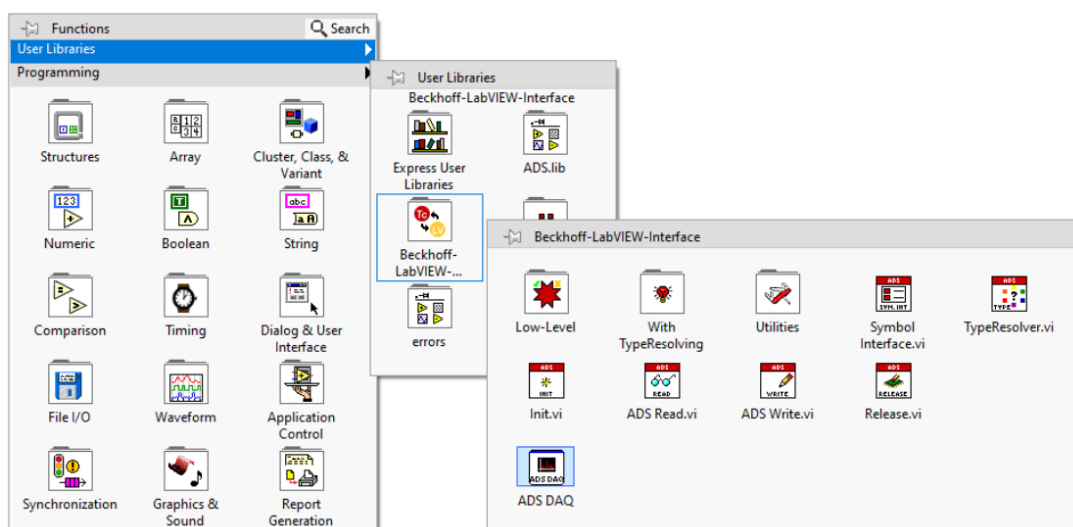
V následujících kapitolách budou analyzovány klíčové vlastnosti LabVIEW, které mohou být využity při tvorbě transformačního softwaru. Na rozdíl od předchozích kapitol (4.1 a 4.2), zde nebude analyzován proces vytváření GUI, jelikož je tento proces nedílnou součástí samotného programování v LabVIEW. Detailnější postup práce v LabVIEW lze nalézt na [31]. Analýza se tedy zaměří pouze na způsoby realizace komunikace s hardwarovými komponenty a na dostupnost knihoven pro práci s obrazem a audiem.

4.3.1 Komunikační knihovny

LabVIEW ve svém základu poskytuje sadu komunikačních protokolů. Zahrnuje sériové komunikační protokoly jako UART, I2C, SPI a další. Kromě těchto nabízí také podporu pro síťové protokoly jako TCP, UDP a HTTP. Navíc, LabVIEW podporuje i další komunikační protokoly, které však nejsou součástí standardní sady, ale mohou být získány prostřednictvím knihoven poskytovaných buďto samotným National Instruments, nebo třetími stranami, například výrobcí PLC. Tímto způsobem lze snadno rozšířit možnosti komunikace a integrace s různými hardwarovými zařízeními.

LabVIEW je často využíván jako nadřazený řídicí systém, který ovládá mnoho podřízených řídicích systémů. Z tohoto důvodu je nezbytné zajistit spolehlivou komunikaci mezi LabVIEW a různými systémy, které mohou používat různé komunikační protokoly. LabVIEW proto podporuje oblíbené průmyslové standardy OPC a OPC UA, které slouží k výměně dat mezi různými průmyslovými zařízeními a softwarem, jak je znázorněno na obrázku 4.6. Tyto protokoly však nejsou součástí základního balíčku LabVIEW. National Instruments nabízí knihovnu **LabVIEW OPC UA Toolkit**, která obsahuje tyto standardy, avšak tato knihovna je zpoplatněná cenou 300 € na jeden rok.

Díky široké popularitě LabVIEW většina průmyslových výrobců nabízí své produkty s již vytvořenými knihovnami pro integraci do LabVIEW, čímž zvyšují svou konkurenceschopnost. To platí i pro většinu výrobců PLC, kteří poskytují připravené knihovny pro bezproblémovou komunikaci s jejich zařízeními.



Obrázek 4.8: Bloky pro LabVIEW z knihovny TF3710 [32]

Příkladem může být knihovna TF3710, známá jako TwinCAT 3 rozhraní pro LabVIEW. Více informací o této knihovně lze nalézt v [32]. Sada grafických bloků, které knihovna obsahuje, umožňuje efektivní komunikaci s PLC řídicími systémy od Beckhoffu pomocí ADS komunikace, což je komunikační protokol používaný společností Beckhoff pro komunikaci mezi svými softwarovými moduly. Příklady těchto bloků lze vidět na obrázku 4.8.

4.3.2 Knihovny pro práci se vstupními podklady

V kapitole 4.1.3 byly zmíněny operace potřebné pro softwarovou realizaci transformačního softwaru digitální vodní opony. Zejména se jedná o základní práce s obrazem, audiem, maticemi a datovými strukturami. Tato kapitola se zaměřuje na dostupnost vhodných funkcí pro implementaci transformačního softwaru v LabVIEW.

Základní podoba LabVIEW poskytuje relativně hodně funkcí pro práci s maticemi a datovými strukturami. Díky tomu není pro tyto účely nutné používat žádnou doplňkovou knihovnu. Práce s obrazem a audiem je však omezená, a proto National Instruments poskytuje specializované knihovny, která jsou popsány níže.

Knihovna pro zpracování obrazu

Vision Development Module je zásadní rozšíření pro LabVIEW, které nabízí širokou škálu nástrojů pro pokročilé zpracování obrazu. Tento modul zahrnuje funkce pro filtraci, segmentaci, analýzu a morfologické operace, což umožňuje efektivní manipulaci s obrazovými daty. Všechny základní funkce potřebné pro práci s obrazy jsou v tomto modulu zahrnuty, což je klíčové pro implementaci projektů, jako je digitální vodní opona. Detailní popis a možnosti tohoto modulu poskytuje společnost National Instruments a lze jej nalézt v [33]. Nevýhodou této knihovny je pořizovací cena knihovny, která je 2 200 € na 1 rok.

Knihovna pro zpracování audia

LabVIEW Sound and Vibration Toolkit je rozšíření pro LabVIEW, které nabízí pokročilé nástroje pro zpracování a analýzu zvukových signálů. Tato knihovna zahrnuje funkce pro analýzu, filtraci, redukci ozvěny a šumu, a algoritmy pro detekci a rozpoznávání hlasu. Díky těmto funkcím je možné efektivně manipulovat se zvukovými daty a provádět komplexní analýzy, což je klíčové pro implementaci audiovizualizace, která se může využít například při tvorbě vodní inscenace. Knihovna poskytuje veškeré nezbytné nástroje pro práci s audiem, od základní analýzy až po pokročilé zpracování signálu. Detailní popis a možnosti tohoto modulu poskytuje společnost National Instruments a lze jej nalézt v [34]. Nevýhodou této knihovny je pořizovací cena knihovny, která je 1 120 € na 1 rok.

4.4 Srovnání softwarových nástrojů

V předchozích kapitolách 4.1, 4.2 a 4.3 byly analyzovány tři vybrané softwarové nástroje, které lze využít k implementaci transformačního softwaru pro digitální vodní oponu. Požadavky na tyto softwarové nástroje jsou pro všechny stejné, což usnadňuje jejich porovnání.

MATLAB a LabVIEW jsou komerční softwarové nástroje široce využívané především pro průmyslové aplikace. Oba nástroje jsou na trhu již dlouho a nabízejí kvalitní výpočetní

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

jádro, robustní knihovny a rozsáhlou dokumentaci. Rovněž poskytují své produkty zdarma pro akademické účely, což je činí oblíbenými mezi studenty a výzkumníky. Nicméně, pro komerční využití je třeba zaplatit licenční poplatky, které mohou být velmi vysoké.

Naproti tomu .NET Framework je bezplatný komplexní softwarový nástroj, využívaný především v oblasti vývoje desktopových a webových aplikací. Díky své dlouhé historii na trhu a oblíbenosti mezi vývojáři, nabízí .NET Framework množství rozsáhlých knihoven, které pokrývají téměř jakoukoliv aplikaci. Tento široký ekosystém knihoven a nástrojů z něj činí velmi všestranný a přístupný nástroj pro různé softwarové projekty. Navíc díky svému otevřenému ekosystému je mnoho knihoven a doplňků zdarma.

Tabulka 4.1: Shrnutí vlastností softwarových nástrojů

	MATLAB	.NET framework	LabVIEW
Vývoj	MathWorks	Microsoft	National Instruments
Jazyk	strukturovaný text	strukturovaný text	blokový diagram
Oblast	inženýrská	softwarová	inženýrská
Rozhraní pro GUI	App designer	WPF	součástí kódu
Knihovny pro práci s obrazem	Image Processing Toolbox	Accord.NET	Vision Development Module
Knihovny pro práci s audiem	Audio Processing Toolbox	Accord.NET	LabVIEW Sound and Vibration Toolkit
Knihovny pro komunikaci s PLC	Industrial Communication Toolbox, TE1410	OPC Foundation .NET Standard, TC1000	LabVIEW OPC UA Toolkit, TF3710
Licenční poplatky	ano	ne	ano
Studentská licence	ano	ne	ano
Celková náročnost vytvoření aplikace	nízká	vysoká	střední

V tabulce 4.1 je uveden souhrn vlastností vybraných softwarových nástrojů, které byly v této práci analyzovány. Z přehledu vyplývá, že pokud jde o poskytované funkce, jsou tyto nástroje v podstatě rovnocenné. Každý z nich umožňuje realizaci požadovaného transformačního softwaru, buď díky funkcím dostupným v základní verzi, nebo prostřednictvím dostupných knihoven. Rozdíly se však projevují v používaných programovacích jazycích, uživatelské přívětivosti a cenových nákladech.

Rozhodujícími faktory jsou v této práci celková náročnost tvorby aplikace, intuitivní programovací jazyk, kvalita dokumentace a cena. V případě licencovaného MATLABu a LabVIEW byly k dispozici studentské licence, které umožňují zdarma přístup k těmto

4 REŠERŠE NÁSTROJŮ PRO TRANSFORMACI GRAFICKÝCH PODKLADŮ

nástrojů a ke všem jejich knihovnám. Zatímco .NET je všeobecně volně dostupný. Z toho důvodu nehrála cena ve výběru roli.

Nicméně, .NET je komplexní nástroj navržený primárně pro softwarové vývojáře, což může představovat překážku pro inženýry s omezenými znalostmi v oblasti softwarového vývoje a programování. Tato skutečnost způsobuje, že vytvoření i jednoduchého transformačního softwaru pro digitální vodní oponu může být na platformě .NET značně náročné bez hlubší programátorské zkušenosti. Z tohoto důvodu nebyla implementace realizována na této platformě.

LabVIEW poskytuje prostředí s intuitivním grafickým programovacím jazykem, který již ve své základní verzi integruje tvorbu GUI. Nicméně grafický jazyk může vést k tomu, že některé jednoduché funkce, které by byly snadno napsané strukturovaným textem, se v grafickém formátu stávají zbytečně složitými. Navíc hlavní nevýhodou je celková cena softwaru spolu s vysokými poplatky za doplňkové knihovny pro případné komerční využití. Z těchto důvodů nebyla implementace softwaru realizována v LabVIEW.

Po zvážení všech faktorů byla implementace transformačního a řídicího softwaru digitální vodní opony provedena v **MATLABu**. Hlavním důvodem je uživatelsky přívětivé a intuitivní prostředí, které MATLAB poskytuje, čímž odpadá nutnost hlubokých znalostí vývoje softwaru. Dalším důvodem je nástroj App Designer, který umožňuje rychlou, efektivní a přehlednou tvorbu grafického uživatelského rozhraní.

5 Praktická realizace softwaru

Následující kapitola se věnuje implementaci softwarové části navržené metodiky řízení digitální vodní opony. Jak bylo popsáno v kapitole 2.4, řízení je rozděleno na dvě části. První část se zaměřuje na popis aplikace, která slouží koncovým uživatelům k tvorbě, sestavování, simulaci a spuštění vodních inscenací pro digitální vodní oponu. Výstupem této aplikace jsou data v logickém formátu, která jsou prostřednictvím komunikace předávána PLC řídicímu systému. Druhá část se zabývá popisem řídicího kódu implementovaného na PLC, který ovládá elektromagnetické ventily a tím vytváří výsledný efekt.

Cílem kapitoly je poskytnout ucelený pohled na tok dat v rámci řízení. To zahrnuje, jak je grafická předloha transformována na logické hodnoty, jak jsou tyto hodnoty předávány PLC řídicímu systému a jak tento systém na základě těchto dat řídí stavy vodních ventilů.

5.1 Řídicí aplikace

Na základě rozvahy provedené v kapitole 4.4 byla řídicí aplikace vytvořena v MATLABu, přičemž její grafické rozhraní bylo navrženo pomocí integrovaného prostředí App Designer. Grafická podoba výsledné aplikace byla sestavena z předdefinovaných prvků, jako jsou tlačítka, seznamy, textová pole a další. Postup realizace byl stejný jako v demonstrační ukázce uvedené v kapitole 4.1.1.

Výslednou grafickou podobu řídicí aplikace lze vidět na obrázku 5.1. Aplikace obsahuje všechny potřebné funkce pro vytvoření, simulaci a implementaci vodní inscenace na reálnou digitální vodní oponu. Rozhraní aplikace je sestaveno z několika ovládacích panelů, které představují postup práce (*Step 1 - 6*) a panelů pro náhled a simulaci (*Image Preview, Simulation*).

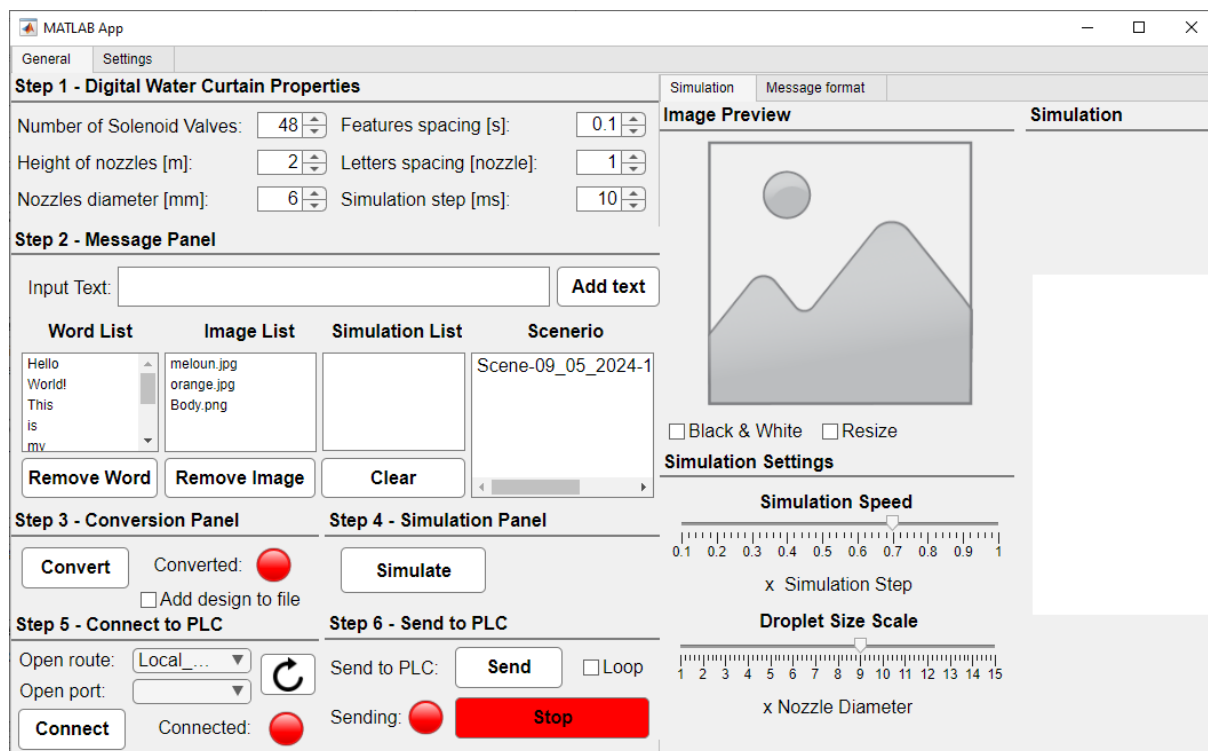
Číslování jednotlivých ovládacích panelů odpovídá správnému postupu práce při realizaci vodní inscenace. V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé ovládací panely resp. prvky uvnitř nich, včetně vysvětlení funkcí, které tyto prvky vykonávají.

5.1.1 Panel nastavení

Z obrázku 5.1 je patrné, že aplikace se skládá ze dvou karet. Hlavní karta (*General*) slouží k provádění veškerých operací, zatímco karta nastavení (*Settings*) je podpůrná a obsahuje konfigurace cest pro různé vstupy a výstupy aplikace. Přepnutím na kartu nastavení se zobrazí rozhraní uvedené na obrázku 5.2. V této verzi aplikace obsahuje karta nastavení konfiguraci pouze 4 pracovních cest:

1. **Image path:** Obrázky které jsou obsaženy na této cestě, neboli soubory s koncovkou png a jpg, jsou automaticky načteny do seznamu obrázku (*Image List*) na hlavní kartě. Obrázky na této cestě lze integrovat do vodní inscenace.
2. **Memory path:** Jedná se o pomocnou cestu, která zahrnuje databázi obsahující znaky abecedy a jejich odpovídající maticovou reprezentaci. Tato cesta také slouží

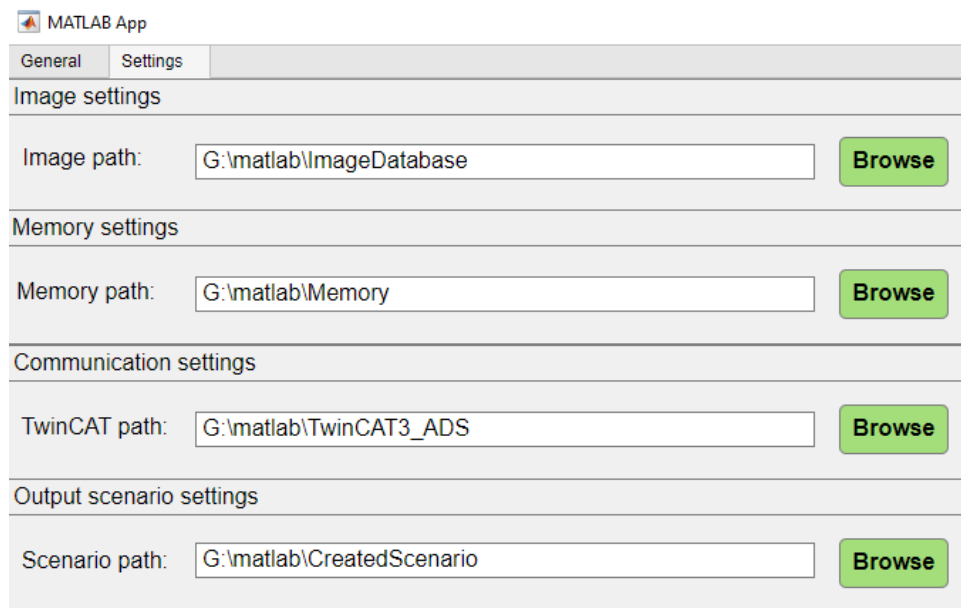
5 PRAKTICKÁ REALIZACE SOFTWARE



Obrázek 5.1: Výchozí obrazovka řídicí aplikace

k ukládání nastavených parametrů při ukončení aplikace. Při uzavření aplikace dochází k exportu datové struktury, která obsahuje především parametry uvedené v kapitole 5.1.2. Tato data jsou automaticky znovu načtena při otevření aplikace. V případě, že se na této cestě žádný soubor nenachází, je aplikace spuštěna s výchozími parametry, které musí být správně nastaveny.

3. **TwinCAT path:** Tato cesta je určena pro externí komunikační knihovnu TE1410, kterou poskytuje společnost Beckhoff (viz [24]). Knihovna nabízí funkce pro MATLAB, jež umožňují snadnou implementaci ADS komunikace s jejich PLC systémy.
4. **Scenario path:** Tato výstupní cesta slouží k ukládání vytvořených uživatelských inscenací. Pokud je na simulačním panelu zaškrtnuta volba *Add design to file* (viz kapitola 5.1.4), vytvořená inscenace se automaticky uloží do této cesty a lze ji kdykoliv znovu načíst. Tato cesta se rovněž používá pro export videa simulace dané inscenace, což umožňuje její náhled bez nutnosti načítání do aplikace.

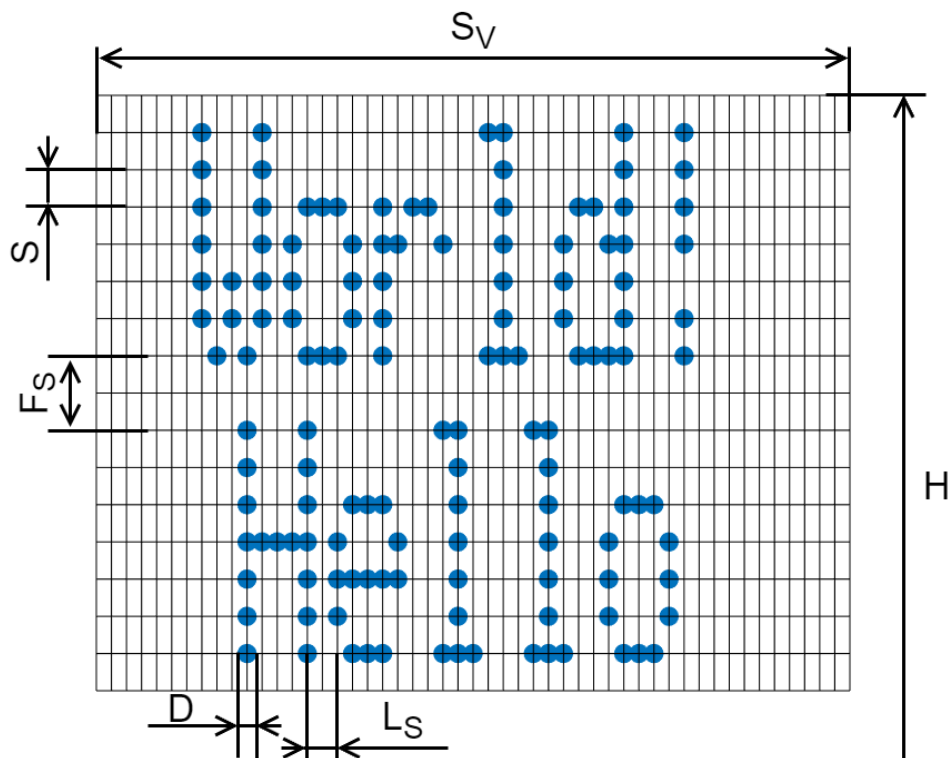


Obrázek 5.2: Karta nastavení řídicí aplikace

5.1.2 Parametry vodní atrakce

Před zahájením realizace vodní inscenace je nezbytné nastavit parametry digitální vodní opony, pro kterou bude inscenace vytvářena. Tyto parametry ovlivňují jak výsledné rozlišení inscenace, tak správnou funkci simulace. Parametry jsou umístěny v panelu s názvem *Step 1 - Water Printer Properties* (viz obrázek 5.1). Význam jednotlivých parametrů je znázorněn na obrázku 5.3 a jejich význam je následující:

- **Number of Solenoid Valves (S_V):** Parametr specifikující množství řízených elektromagnetických ventilů ve vodní atrakci, který zároveň určuje rozlišení vytvářených obrazců.
- **Height of Nozzles (H):** Parametr stanovující výšku výstupních trysek od země, respektive od hladiny nulové potenciální energie. Tento parametr je klíčový zejména pro simulaci, kde se využívá k výpočtu trajektorie padajících vodních kapek.
- **Nozzles diameter (D):** Parametr určující vnitřní průměr výstupních trysek, tedy průměr vodních kapek. Tento parametr je také klíčový pro simulaci, kde se využívá k výpočtu Reynoldsova čísla, které se dále používá k určení odporového koeficientu a následně odporové síly působící na vodní kapku.
- **Features spacing (F_S):** Parametr určující časovou prodlevu mezi jednotlivými zobrazovanými prvky.
- **Letters spacing (L_S):** Parametr určující velikost horizontální mezery mezi jednotlivými písmeny vytvářeného textu. Při zobrazování obrazů je tento parametr irelevantní.
- **Simulation step (S):** Parametr určující časový krok simulace. Tento časový krok se využívá pro výpočet závislosti polohy vodní kapky na čase, což ovlivňuje kvalitu vytvářené simulace vodní inscenace.



Obrázek 5.3: Nastavitelné parametry digitální vodní opony

5.1.3 Sestavení vodní inscenace

Proces realizace vodní inscenace probíhá v panelu s názvem *Step 2 - Message Panel* (viz obrázek 5.1). Princip spočívá ve vkládání obrázků ze seznamu *Image List* a textů ze seznamu *Word List* do výstupního seznamu *Simulation List*, jak je patrné z obrázku 5.4. Pořadí, ve kterém jsou jednotlivé prvky vkládány do výstupního seznamu, odpovídá pořadí, ve kterém budou tyto prvky zobrazovány vodní oponou.

Textové podklady jsou vkládány prostřednictvím vstupního textového pole, označeného jako *Input Text*. Vzhledem k tomu, že digitální vodní opony obvykle nejsou dostatečně dlouhé na zobrazení celých vět najednou, dochází při vložení věty tlačítkem *Add Text* k jejímu rozložení na jednotlivá slova. Tato slova jsou vložena do příslušného seznamu *Word List*.

Obrazové podklady jsou v seznamu *Image List* reprezentovány názvy všech obrázků, které se nacházejí v příslušné cestě *Image Path* popsané v kapitole 5.1.1. Při **jednoduchém kliknutí** na název obrázku se zobrazí jeho náhled v panelu *Image Preview* (viz obrázek 5.4). K dispozici jsou také dvě ikony, které umožňují upravit náhled na daný obraz:

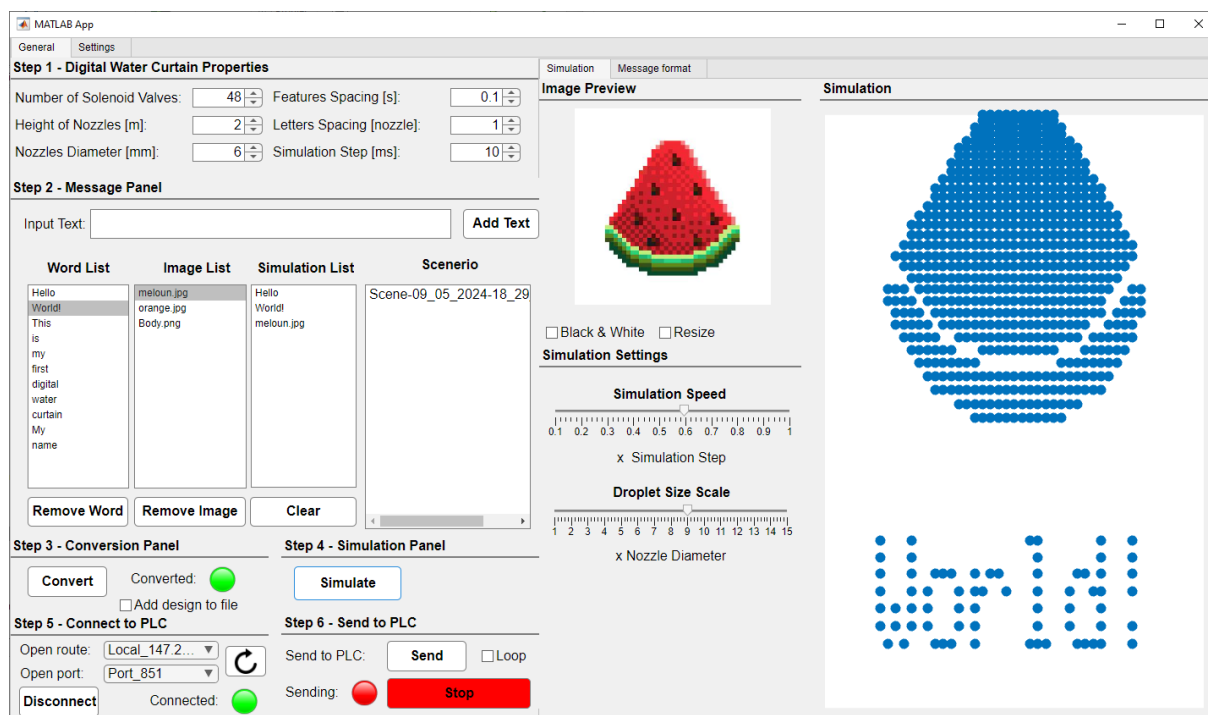
- **Black & White:** Po zaškrtnutí této ikony je obraz zobrazen binárně, což poskytuje lepší představu o výsledné podobě na digitální vodní oponě, protože barvy jsou v této aplikaci irelevantní.
- **Resize:** Po zaškrtnutí této ikony je obraz zobrazen v rozlišení odpovídajícím parametřům vodní opony (viz kapitola 5.1.2, parametr H). Tímto způsobem lze předem

5 PRAKTICKÁ REALIZACE SOFTWARE

ověřit, zda při daném počtu trysek nedojde k deformaci obrazu nebo k úplnému zániku informace v tomto obrazu. Pokud je rozlišení vstupního obrazu výrazně vyšší, dochází k jeho škálování, což může způsobit uvedené situace.

Výsledné sestavení vodní inscenace se provádí **dvojklikem** na slova v seznamu *Word List* nebo názvy obrazů v seznamu *Image List*, čímž se zvolený prvek vloží do výstupního seznamu *Simulation List*. Tento seznam lze kdykoliv vymazat pomocí příslušného tlačítka *Clear* a začít sestavovat inscenaci znovu.

Sestavené inscenace lze během transformace uložit a exportovat (viz kapitola 5.1.4). Tyto inscenace jsou uloženy do příslušné cesty *Scenario Path*, jak je popsáno v kapitole 5.1.1. Všechny takto vytvořené inscenace jsou zároveň zobrazeny v doplňkovém seznamu *Scenario*. **Dvojklikem** na název inscenace dojde k jejímu automatickému načtení do aplikace.



Obrázek 5.4: Výchozí obrazovka řídicí aplikace po sestavení vodní inscenace

5.1.4 Transformace vstupů na výstupní formát

Sestavená inscenace, tvořená prvky v seznamu *Simulation List*, je připravena k transformaci. Vstupy z tohoto seznamu jsou pomocí tlačítka *Convert*, umístěného v panelu *Step 3 - Conversion Panel* (viz obrázek 5.1), převedeny do výstupního formátu. Výstupní formát má podobu logické matice, která je využívána pro simulaci a pro PLC řízení. Úspěšné dokončení transformace je indikováno zelenou barvou indikátoru s názvem *Converted*.

Pokud je požadováno uložení dané inscenace, je k dispozici ikona s názvem *Add design to file*. Po zaškrtnutí této ikony dojde po transformaci k uložení klíčových dat do externího souboru s názvem **Scene + aktuální datum a čas**. Inscenace je následně automaticky zobrazena v seznamu *Scenario* a lze ji kdykoliv načíst dvojklikem na její název. Současně dojde také k exportu videa, které obsahuje simulaci vytvořené inscenace. Toto video slouží

k náhledu na danou inscenaci bez nutnosti použití aplikace.

Popis algoritmu

Na obrázku 5.5 je vyobrazen vývojový diagram transformačního algoritmu. Na začátku se ověřuje, zda seznam *Simulation List* není prázdný. Pokud je tato podmínka splněna, začne samotný transformační algoritmus. V opačném případě algoritmus neproběhne, protože nejsou zvoleny žádné vstupní grafické podklady.

Další postup vychází z prvků v seznamu *Simulation List*. Tyto prvky jsou jeden po druhém postupně transformovány. Nejprve se ověřuje, zda daný prvek v seznamu obsahuje obrazovou příponu, jako je .png nebo .jpg. Pokud ano, jedná se o obraz. V opačném případě se jedná o text.

V případě, že se jedná o obraz, dojde k sestavení cesty k obrazu. Cesta je vytvořena spojením příslušné cesty *Image Path*, popsané v kapitole 5.1.1, a názvu daného obrazu. Poté je obraz načten do systému. Následně je obraz binarizován, což znamená, že dochází ke ztrátě barevné informace. Původní RGB reprezentace obrazu je nahrazena dvouhodnotovou logikou, kde logická 1 představuje **bílou** barvu a logická 0 **černou** barvu. Na závěr je obraz škálován podle počtu trysek, pro které je inscenace vytvářena (viz kapitola 5.1.2, parametr H). V případě, že by bylo trysek málo, tedy nízké rozlišení, může po škálování dojít k úplné ztrátě informace z obrazu. Finální obraz je uložen jako logická matice a algoritmus se vrací a pokračuje s dalším prvkem ze seznamu *Simulation List*.

V případě, že se jedná o text, je tento text rozdělen na jednotlivá písmena. Následně je načtena tabulka charakterů, která obsahuje seznam základních znaků a jejich odpovídající 7x5 logické matice, reprezentující grafickou podobu každého znaku. Po získání všech matic jsou tyto matice horizontálně spojeny, čímž vznikne binární matice graficky reprezentující vstupní text. Stejně jako u obrazů je výsledná matice škálována podle počtu trysek. Při nízkém počtu trysek a dlouhém slově může také dojít ke ztrátě informace, což znamená, že slovo bude ve výsledku nerozpoznatelné. Výsledná logická matice je rovněž uložena a algoritmus se vrací a pokračuje s dalším prvkem ze seznamu *Simulation List*.

Následuje sestavení celé inscenace ve dvou formátech. První formát je datová struktura určena pro PLC řízení. V tomto případě jsou získané logické matice vloženy do buněk v opačném pořadí, nežli jsou v seznamu *Simulation List*. Data z tohoto formátu jsou odesílány do PLC řízení při spuštění vodní inscenace na reálném hardwaru.

Druhý formát je určen pro potřeby simulace. Vývojový diagram tohoto algoritmu je vyobrazen na obrázku 5.6. Podstata algoritmu spočívá především ve výpočtu závislosti polohy volně padající kapky na čase. Tento výpočet je založen na aplikaci 2. Newtonova zákona na volně padající vodní kapku:

$$\underbrace{\rho_V V_V \frac{\pi d^3}{6}}_{\text{hmotnost kapky}} \cdot \frac{dv}{dt} = \underbrace{-\rho_V V_V g}_{\text{tíhová síla}} + \underbrace{\rho_A V_V g}_{\text{vztlaková síla}} + \underbrace{\frac{1}{2} \lambda_d \frac{\pi d^2}{4} v^2}_{\text{odporová síla}} \quad (5.1)$$

Kde:

ρ_V = hustota vody

ρ_A = hustota vzduchu

V_V = objem vodní kapky

d = průměr vodní kapky

$\frac{dv}{dt}$ = zrychlení vodní kapky

v = rychlost vodní kapky

g = tíhové zrychlení

λ_d = tvarový součinitel odporu

5 PRAKTICKÁ REALIZACE SOFTWARE

Z diferenciální rovnice 5.1 je získána rychlost a poloha vodní kapky v závislosti na čase, s krokem *Simulation Step* (viz kapitola 5.1.2). Na základě celkového počtu stavů vodní inscenace, který je určen počtem řádků logické matice vodní inscenace, je vytvořen časový vektor celého průběhu inscenace s tímto časovým krokem. Ke každému tomuto časovému kroku jsou přiřazeny souřadnice vodních kapek, které se v daném čase vyskytují. Následně dochází ke škálování těchto souřadnic v závislosti na velikosti simulačního okna. Takto vytvořená datová struktura je využívána pro simulaci, která je popsána v kapitole 5.1.5. Tímto je algoritmus téměř dokončen. Úspěšná transformace je signalizována zelenou barvou indikátoru s názvem *Converted*.

V případě, že je zaškrtnuta možnost *Add design to file*, jsou vytvořené datové struktury a další podpůrná data uloženy do samostatného souboru s názvem *Scene-DD_MM_YYYY-HH_mm_ss.mat*. Tento soubor se okamžitě objeví v seznamu *Scenario* a **dvojklikem** na jeho název dojde k načtení inscenace.

5.1.5 Simulace

Před samotným spuštěním vodní show je možné provést simulaci vytvořené inscenace v simulačním panelu s názvem *Simulation*. Simulace se spouští tlačítkem *Simulate* v panelu *Step 4 - Simulation Panel* (viz obrázek 5.1). Tento algoritmus využívá simulační datovou strukturu, jejíž vytvoření je popsáno v kapitole 5.1.4. Data z této struktury jsou postupně zobrazovány v simulačním okně, čímž vzniká výsledná podoba simulace, která je vyobrazena na obrázku 5.4. Simulace se skládá z modrých koleček, která reprezentují vodní kapky padající od vrchu dolů. Během simulace tyto kapky postupně zrychlují, čímž se dosahuje realistického efektu.

Pro lepší přehlednost simulace jsou v aplikaci přidány dva posuvníky umístěné vedle simulačního panelu (viz obrázek 5.1). První posuvník, s názvem *Simulation Speed*, upravuje rychlost simulace. Rozmezí posuvníku je 0,1 - 1, přičemž jeho hodnota je vztažena ke skutečné rychlosti padající vodní kapky. Hodnota 1 odpovídá skutečné rychlosti, a pomocí posuvníku lze tuto rychlost snížit až desetinásobně.

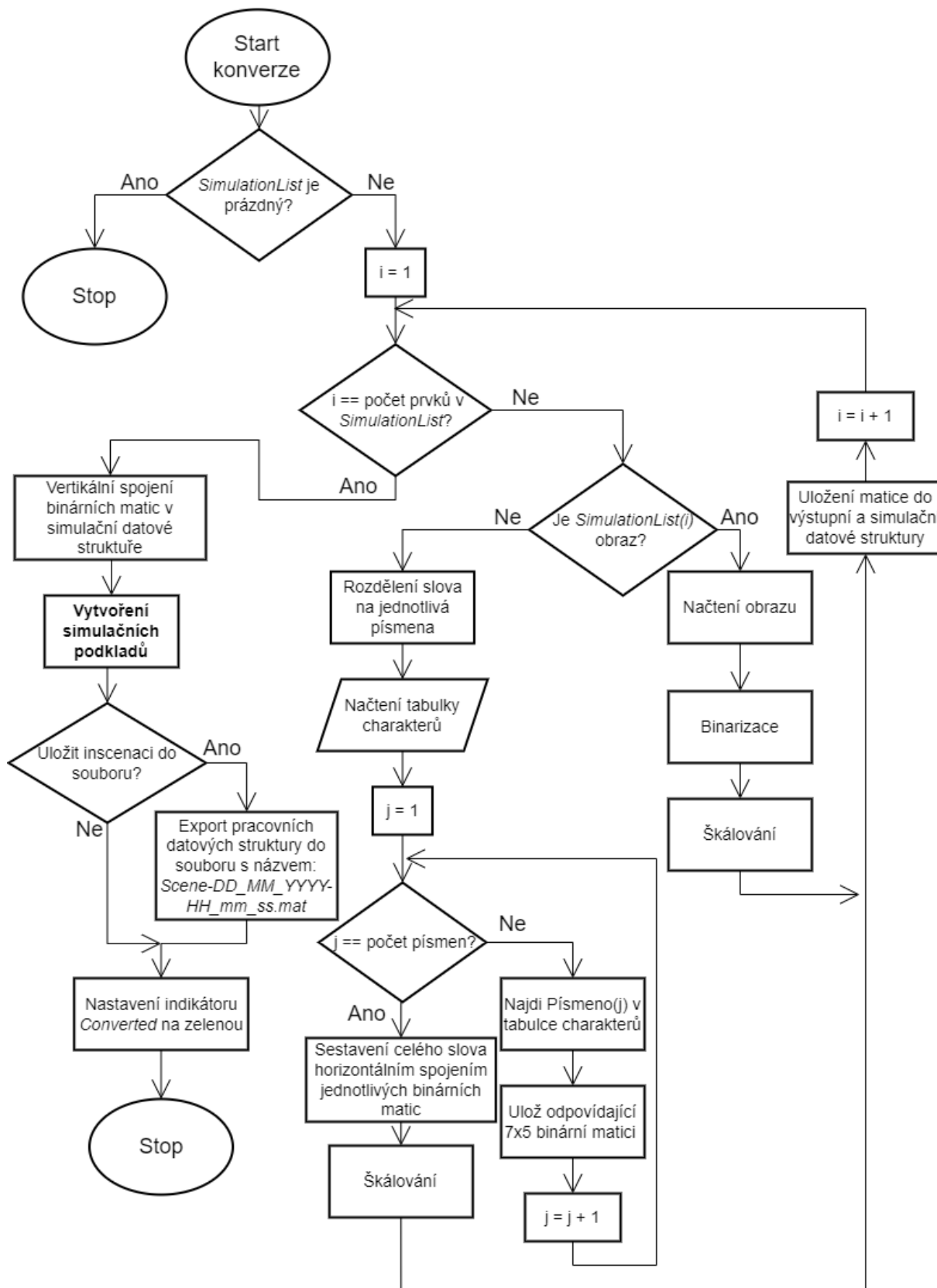
Druhý posuvník, s názvem *Droplet Size Scale*, slouží k úpravě velikosti vodní kapky. Rozmezí posuvníku je 1 - 15, přičemž jeho hodnota je vztažena ke skutečné velikosti vodní kapky určené průměrem vodní trysky (viz kapitola 5.1.2, parametr D). Hodnota 1 odpovídá průměru trysky, a pomocí posuvníku lze velikost kapky zvětšit až patnáctinásobně, což umožňuje dosáhnout lepšího vizuálního vzhledu simulace.

5.1.6 Připojení k PLC

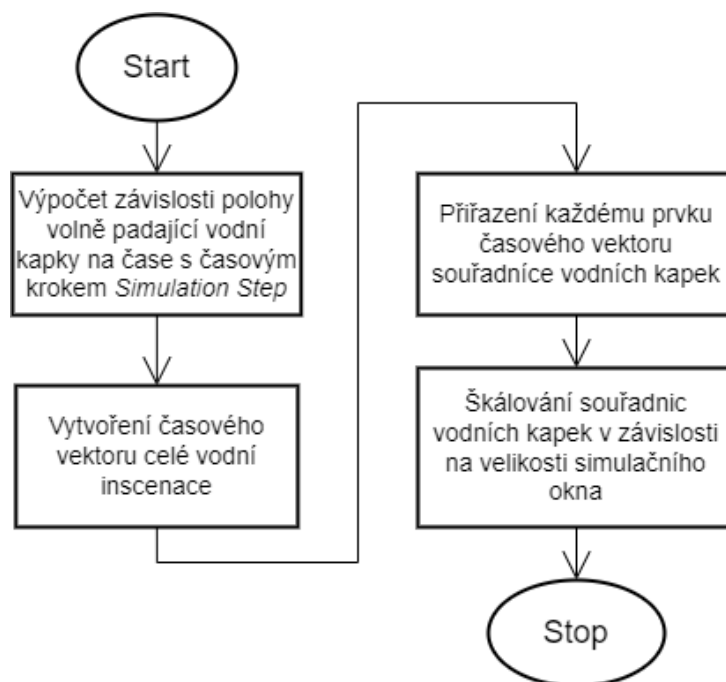
Před spuštěním vytvořené inscenace na reálném hardwaru je nutné připojit se k řídicímu PLC. K tomuto účelu slouží prvky v panelu s názvem *Step 5 - Connect to PLC* (viz obrázek 5.1). V tomto panelu je primárně nutné zvolit IP adresu správného PLC. V rozevíracím seznamu *Open route* jsou uvedeny IP adresy PLC připojených k místní síti. Z tohoto seznamu je nutné vybrat odpovídající adresu PLC, které řídí vodní atrakci.

Druhý parametr, s názvem *Open port*, specifikuje část PLC programu, na kterém probíhá řízení. Pokud je na PLC více než jeden PLC program, resp. *PLC task*, je nutné zvolit ten správný, který ovládá řízení vodní show. Seznamy lze aktualizovat pomocí příslušného tlačítka se symbolem šipky ve tvaru čtvrtkruhu. Samotné připojení je navazováno tlačítkem *Connect* a úspěšné připojení je signalizováno zelenou barvou indikátoru s názvem *Connected*, jak je znázorněno na obrázku 5.4.

V případě, že je seznam *Open route* prázdný, znamená to, že není k místní síti připojeno



Obrázek 5.5: Vývojový diagram algoritmu transformace



Obrázek 5.6: Vývojový diagram algoritmu vytvoření simulačních podkladů

žádné viditelné PLC. Pokud však v tomto seznamu je uvedena správná IP adresa PLC, ale seznam *Open port* je prázdný, znamená to, že PLC program, resp. *PLC task*, není spuštěn.

5.1.7 Odesílání dat do PLC

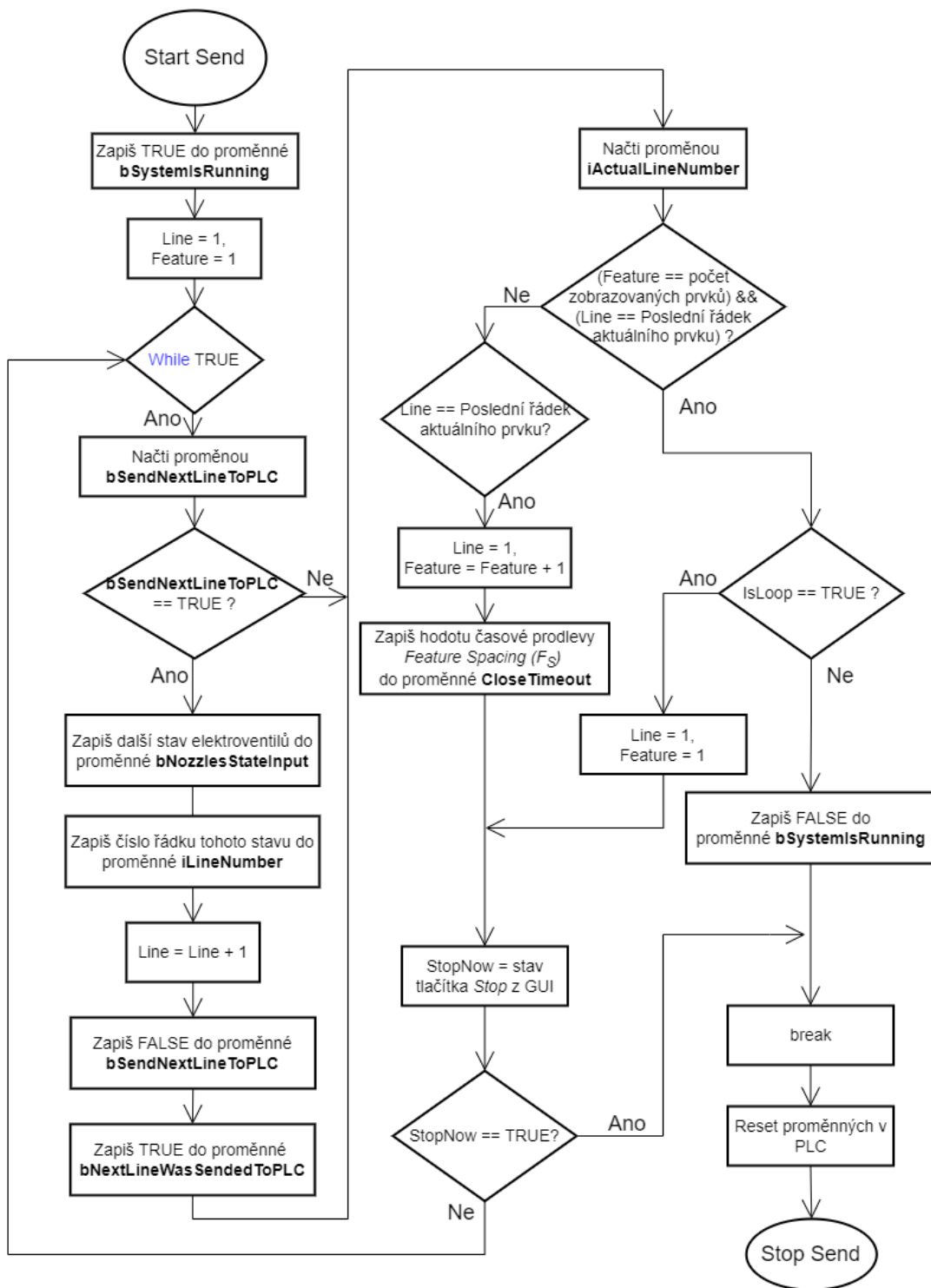
Pro spuštění vodní inscenace na reálném hardwaru slouží prvky v panelu s názvem *Step 6 - Send to PLC* (viz obrázek 5.1). Spuštění digitální vodní opony je zajištěno tlačítkem *Send*, které aktivuje stavový automat na PLC (viz kapitola 5.2) a spustí algoritmus, který postupně odesílá stavy elektromagnetických ventilů do PLC řízení. Tyto stavy jsou získány z transformace, která je popsána v kapitole 5.1.4 a komunikační algoritmus je popsán níže.

Ve chvíli, kdy probíhá pracovní sekvence, je tento stav signalizován zelenou barvou indikátoru s názvem *Sending*. Pokud je potřeba přerušit tuto sekvenci, slouží k tomuto účelu červené tlačítko *Stop*. V případech, kdy je požadováno, aby byla inscenace zobrazována opakovaně, je možné zaškrtnout ikonu s názvem *Loop*.

Popis algoritmu

Na obrázku 5.7 je vyobrazen vývojový diagram komunikačního algoritmu, který komunikuje s řídicím PLC a postupně do něj odesílá transformovaná data. Tento algoritmus spolupracuje se stavovým automatem probíhající na PLC, jehož vývojový diagram je znázorněn na obrázku 5.8 a kterému se věnuje kapitola 5.2.

Zahájení algoritmu spočívá v zápisu logické 1 do proměnné **SystemIsRunning**, čímž se PLC přepne z čekacího do pracovního stavu. Jádro algoritmu spočívá v nekonečné *while* smyčce, která monitoruje a řídí stav dvou logických proměnných vyčítaných z PLC. Stavový automat v PLC požaduje přijetí následujícího stavu vodních elektromag-



Obrázek 5.7: Vývojový diagram algoritmu odesílání dat do PLC

netických ventilů změnou logické proměnné **bSendNextLineToPLC** na hodnotu logické 1. V tomto okamžiku smyčka odešle další pole logických hodnot do PLC, které reprezentuje stav všech ventilů. Následně dojde k negaci příznaku zápisem logické 0 do proměnné **bSendNextLineToPLC**. Současně se zapíše logická 1 do proměnné **bNextLineWasSendedToPLC**, čímž se PLC informuje, aby byl realizován další průchod stavovým autotatem.

Následuje kontrolní podmínka, která ověřuje, zda odeslaný stav elektromagnetických ventilů odpovídá poslednímu stavu posledního prvku. Pokud je tato podmínka splněna, znamená to, že byla provedena celá vodní inscenace, a přechází se ke kontrole ukončovací podmínky. V opačném případě se přechází k dalšímu prvku a číslo řádku se resetuje. Současně je hodnota prodlevy mezi prvky (viz kapitola 5.1.2, parametr S_F) zapsána do proměnné **CloseTimeOut**, což způsobí časovou prodlevu mezi následujícími prvky.

Nekonečná smyčka je ukončena ve chvíli, kdy odeslaný stav elektromagnetických ventilů odpovídá poslednímu stavu posledního prvku. Ukončovací podmínka také zahrnuje kontrolu, zda má být inscenace promítána opakovaně. Pokud je tato podmínka splněna, algoritmus začíná znovu. V opačném případě je smyčka ukončena a jsou odeslány ukončovací příkazy do PLC, které resetují pracovní proměnné a uvedou PLC zpět do stavu čekání.

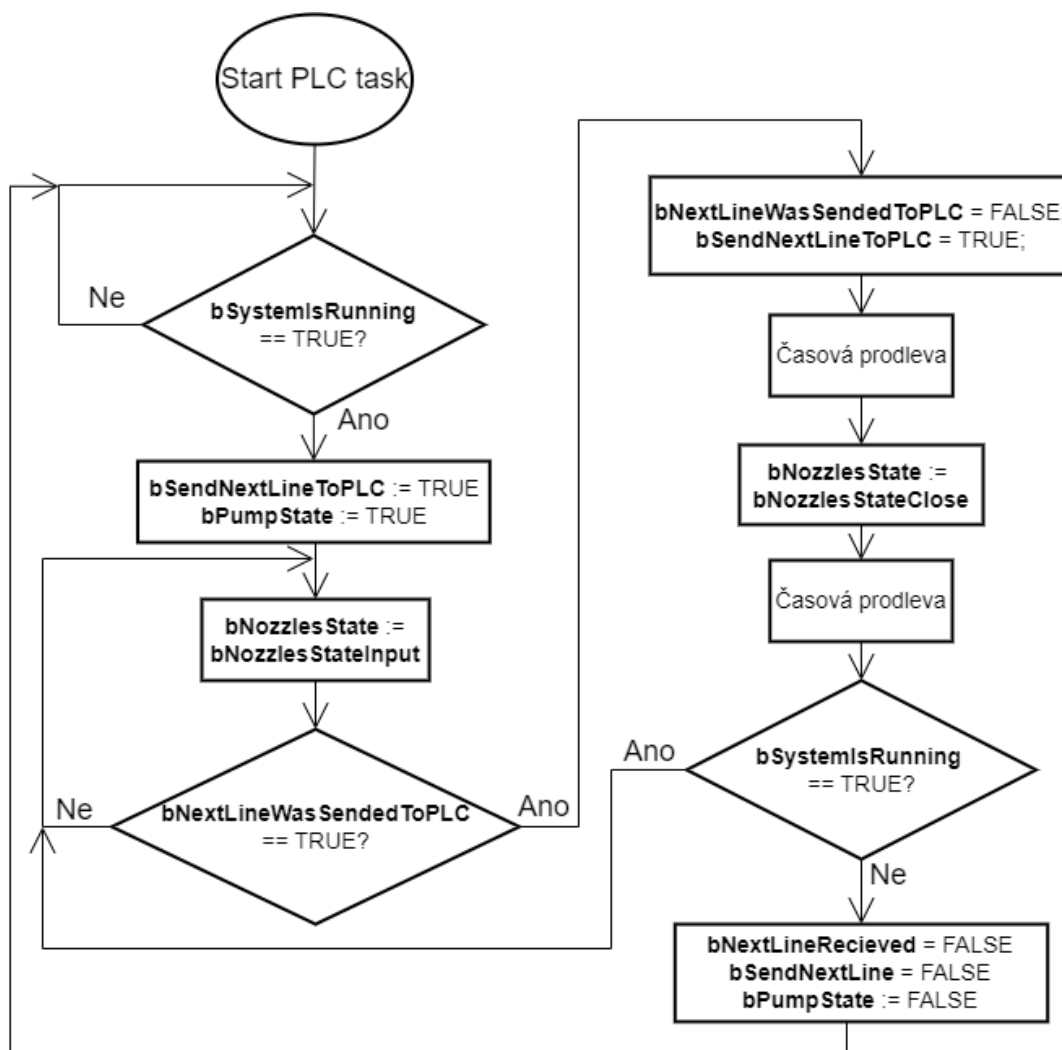
5.2 Řídicí PLC kód

Na základě rozvahy provedené v kapitole 3.5, byl řídicí hardware realizován pomocí PLC systému od společnosti Beckhoff. Řídicí PLC kód je proto implementován ve vývojovém prostředí TwinCAT 3 od Beckhoffu. Na obrázku 5.8 je znázorněn vývojový diagram algoritmu, který byl implementován do PLC systému. Tento algoritmus slouží především k řízení stavu vodních trysek na základě přijatých dat z externí aplikace (viz kapitola 5.1.7).

Algoritmus je sestaven formou stavového automatu. V případě nečinnosti se PLC nachází ve stavu vyčkávání (0), kde periodicky kontroluje stav logické proměnné **bSystemIsRunning**. Když je tato podmínka splněna (logická hodnota 1), dochází ke spuštění pracovní sekvence. Zároveň se nastaví logická hodnota 1 do proměnné **bSendNextLineToPLC**, čímž se předá informace externí aplikaci, aby odeslala pole logických hodnot reprezentujících stav elektromagnetických ventilů. Stejně tak se nastaví logická hodnota 1 do proměnné **bPumpState**, což spustí dopravní čerpadlo. Algoritmus tímto přechází do stavu nastavení trysek (10).

Ve stavu 10 dochází k fyzickému nastavení stavu všech trysek podle přijatých dat. V tomto stavu automat setrvává, dokud není splněna podmínka, že proměnná **bNextLineWasSendedToPLC** je nastavena na logickou 1. Tuto proměnnou nastavuje externí aplikace, čímž potvrzuje, že data byla skutečně odeslána a lze pokračovat k dalšímu stavu. Po splnění této podmínky PLC neguje obě předchozí logické proměnné (**bSendNextLineToPLC** a **bNextLineWasSendedToPLC**), čímž signalizuje, že je připraveno přijmout další část dat.

V této fázi PLC přechází do stavu časové prodlevy (20), ve kterém setrvává po určité době. Po uplynutí tohoto času přechází do stavu uzavření trysek (30). V tomto stavu jsou všechny trysky nastaveny na logickou 0, což znamená jejich uzavření. Následuje stejná časová prodleva jako v předchozím případě, nebo delší, pokud je čas prodlevy prodloužen externí aplikací. Poté se kontroluje stav logické proměnné **bSystemIsRunning**. Pokud je tato proměnná nastavena na logickou 1, automat přechází zpět do stavu 10 a proces se opakuje. V opačném případě přechází do stavu čekání (0) a resetuje všechny logické proměnné, včetně **bPumpState**, čímž se dopravní čerpadlo vypne.



Obrázek 5.8: Vývojový diagram stavového automatu řídicího PLC

6 Návrh konstrukce

Následující kapitola je věnována popisu vytvořeného konstrukčního návrhu digitální vodní opony. Existuje několik konstrukčních řešení, přičemž vhodnost každého z nich je určena převážně prostorem, ve kterém je vodní atrakce umístěna. Cílem této práce je vytvořit modulární konstrukci vodní atrakce, kterou lze snadno přemísťovat a sestavovat v různých rozměrech.

Jelikož se tato práce primárně zaměřuje na návrh řídicí metodiky a nikoli na konstrukci, nebudou v této části analyzovány všechny detaily konstrukčního řešení, ale pouze klíčové aspekty. Kapitoly se zaměřují na hlavní části konstrukce, kterým je věnována pozornost. Celý návrh byl vytvořen jako 3D model v softwaru Inventor a je obsažen v příloze.

6.1 Nosný rám

Primární funkcí nosného rámu je spojení všech prvků vodní opony do jednoho celku. Konstrukční požadavky dále určují, že konstrukce musí být modulární a snadno přemístitelná. Z tohoto důvodu je nosná konstrukce sestavena z tzv. modulárních nosníků, jak lze vidět na obrázku 6.1. Jedná se o stavebnicovou konstrukci, která se běžně využívá v zábavním průmyslu, kde se z těchto nosníků sestavují pódia.

Výhodou této konstrukce je robustnost, vysoká nosnost a velmi rychlá a snadná montáž resp. demontáž. Díky těmto vlastnostem lze atrakci snad přemísťovat a zároveň lze sestavovat atrakce v různých délkách podle potřeby. Další podstatnou výhodou je vysoká nosnost konstrukce, které je v této aplikaci potřeba, aby zvládla unést váhu horního distribučního modulu ve stavu kdy je plně naplněn vodou.

Výhodou této konstrukce je rychlá a snadná montáž i demontáž. Díky těmto vlastnostem lze atrakci snadno přemísťovat a sestavovat v různých délkách podle potřeby. Další významnou výhodou je robustnost a vysoká nosnost konstrukce, která je v této aplikaci nezbytná, zejména pro podporu distribučního modulu zavěšeného na spodní straně horizontálního nosníku. Váha tohoto modulu zahrnuje jak hmotnost samotného modulu, tak hmotnost vody. Tuhost konstrukce zajišťuje, že i při plném naplnění modulu vodou je průhyb horizontálního nosníku zanedbatelný.

Celá konstrukce je sestavena z profilů označených jako H30V. Jedná se o čtvercový profil s vnějšími rozměry 287 x 287 mm. Navržený nosný rám digitální vodní opony, uvedená na obrázku 6.1, se skládá z následujících částí:

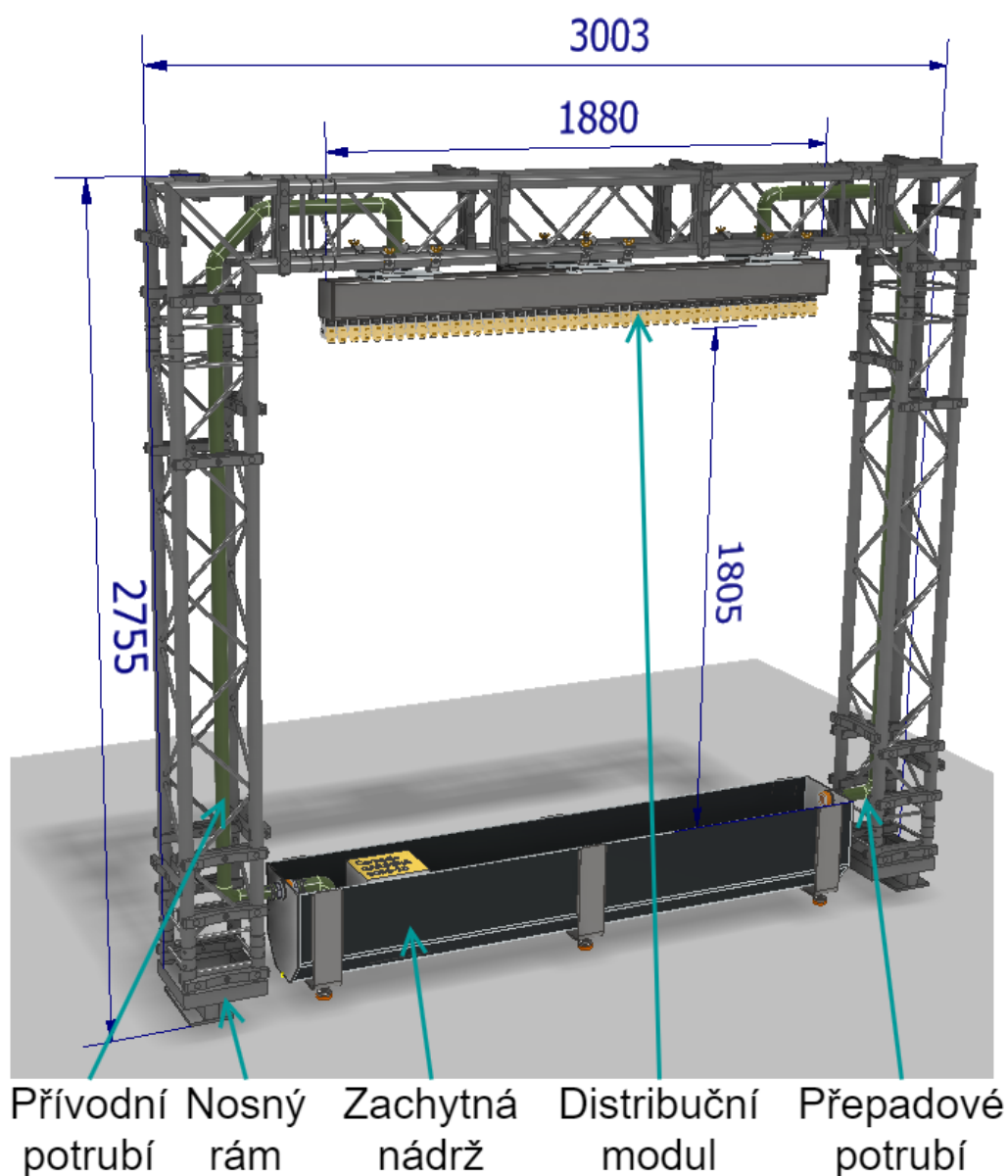
- 2x ukončovací noha,
- 3x nosník s délkou 2 m,
- 2x rohový spojovací profil s úhlem 90°.

Princip spojování jednotlivých prvků je velmi snadný. V tomto případě jsou použity

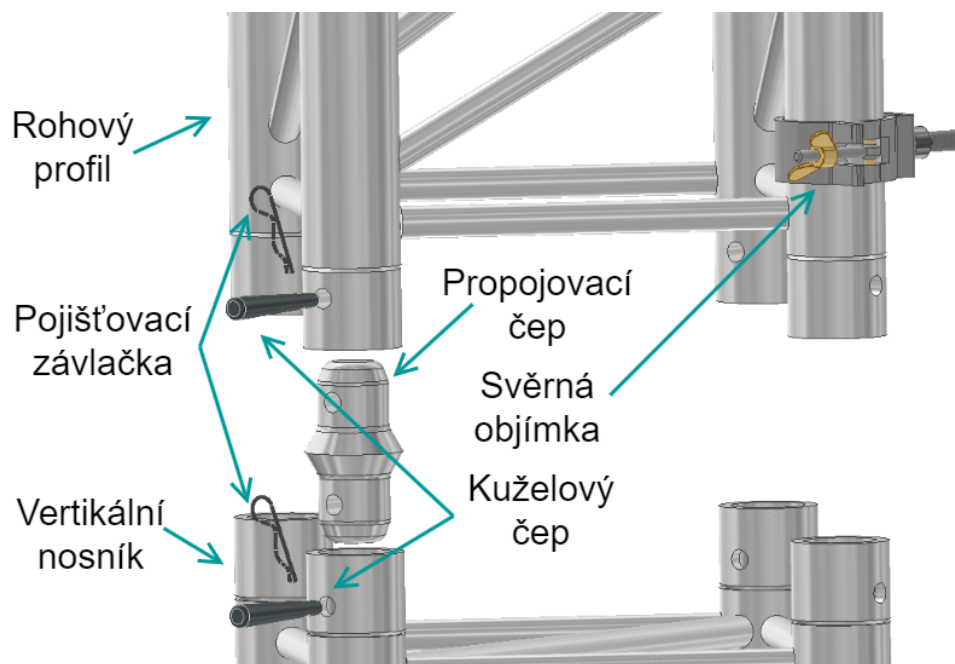
6 NÁVRH KONSTRUKCE

pouze samotné profily, propojovací oboustranné čepy, zajišťovací kuželové čepy a pojišťovací závlačky. Princip spojování konstrukce je vyobrazen na obrázku 6.2. Tímto systémem je sestaven celý základní nosný rám.

Dalším důvod pro volbu této konstrukce je způsob připojování ostatních komponent na základní rám. Existuje několik možností, jak komponenty připojit, ale v tomto případě byl například horní distribuční modul připojen ke konstrukci pomocí svěrných objímek, které jsou rovněž vyobrazeny na obrázku 6.2. Objímky jsou připojeny k distribučnímu modulu pomocí šroubového spoje a ke konstrukci pomocí svěrného spoje.



Obrázek 6.1: 3D model návrhu digitální vodní opony (odkrytý)



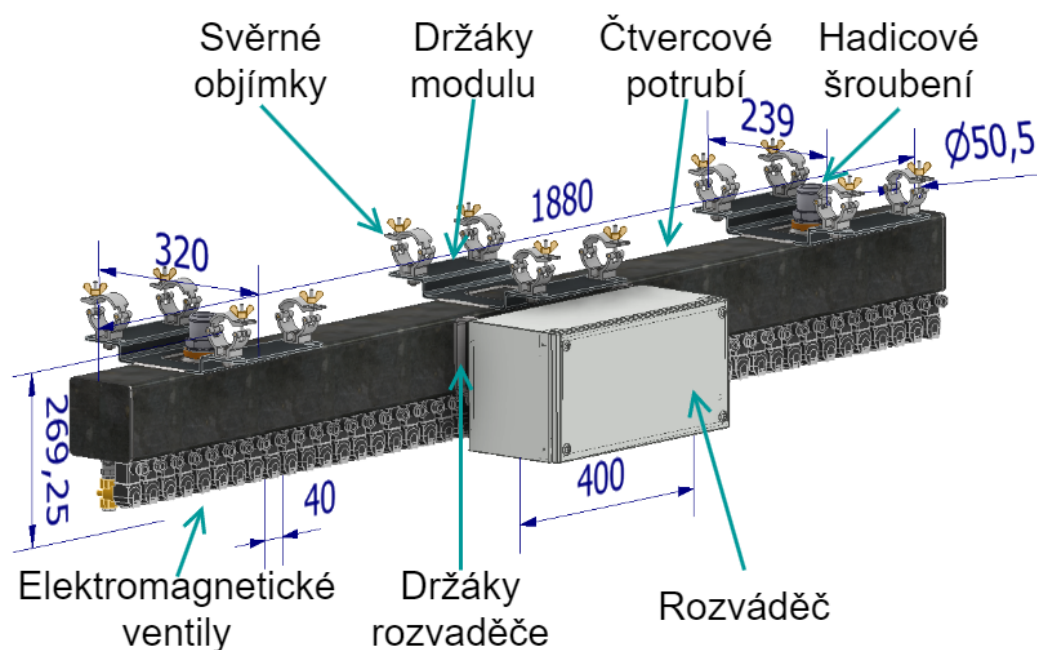
Obrázek 6.2: Princip spojování modulární konstrukce

6.2 Distribuční modul

Distribuční modul je hlavní částí celé vodní atrakce a detailnější pohled na celou konstrukci distribučního modulu je uveden na obrázku 6.3. Tento modul je umístěn na nosné konstrukci na spodní straně horizontálního nosníku, aby vodní trysky směřovaly směrem k zemi. Modul slouží jako zásobník, který napájí vodní trysky, a nese na sobě elektromagnetické ventily spolu s řídicím hardwarem. Tento způsob řešení umožňuje snadnou montáž a demontáž, takže při každé demontáži není nutné opětovně zapojovat elektrické vedení elektromagnetických ventilů.

Distribuční modul je postaven okolo čtvercového potrubí ČSN EN 10219-2 120 x 120 x 4 mm. Oba konce potrubí jsou vodotěsně zavařeny. Ze spodní strany je vytvořeno 47 závitových děr s rovnoměrnou roztečí pro připojení elektromagnetických ventilů. Z vrchní strany, na obou koncích, jsou navařeny nátrubky, do kterých je našroubováno hadicové šroubení. Tyto porty slouží k přívodu vody a jako přepad.

Navíc jsou z vrchní strany přivařeny 3 držáky modulu, které disponují drážkami pro upevnění svěrných objímek. Objímky jsou k těmto držákům přišroubovány šroubovým spojem a k nosnému rámu jsou uchyceny spojem svěrným. Ze zadní strany potrubí jsou navíc přivařeny dva držáky rozváděče, které obsahují dvě drážky pro jeho upevnění. Rozváděč je k těmto držákům upevněn šroubovým spojem.



Obrázek 6.3: Detail distribučního modulu

6.3 Záchytná nádrž

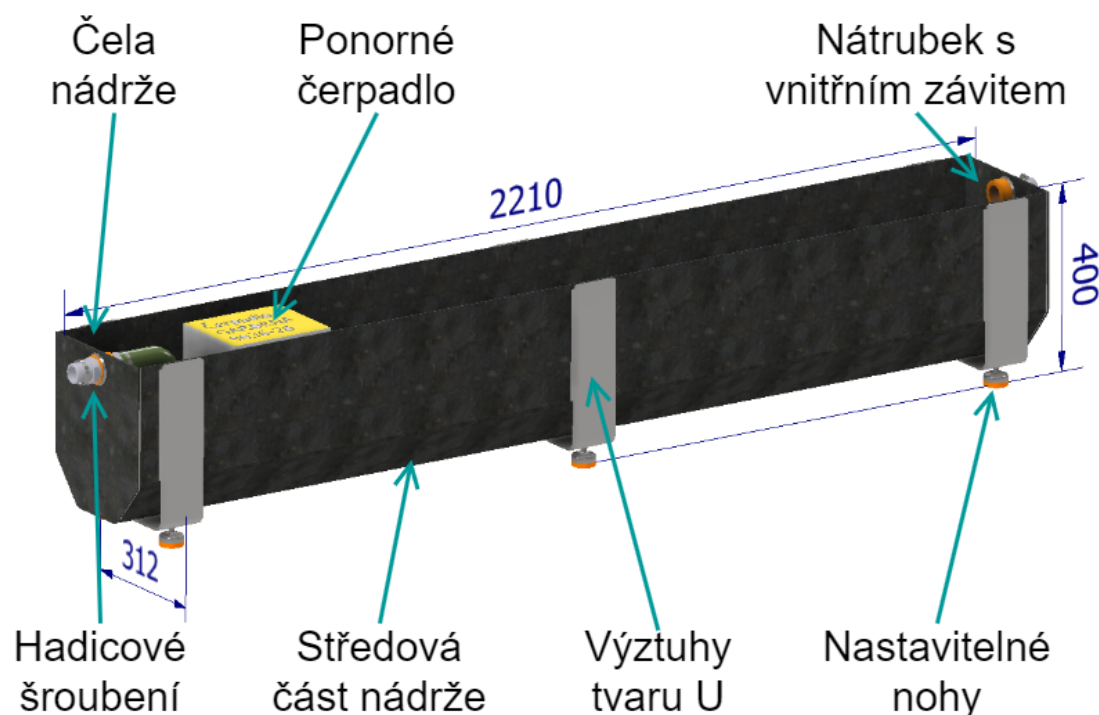
Záchytná nádrž je umístěna přímo pod tryskami a jejím hlavním účelem je zachytávat dopadající vodní paprsky. Nádrž je umístěna přímo na zemi, a tudíž není připevněna k nosnému rámu. Ovšem ne všechny konstrukce vyžadují implementaci této nádrže.

V případech, kdy je atrakce umístěna nad jiným vodním dílem, do kterého voda padá, nebo když je voda do distribučního modulu dodávána z externího zdroje, není nutné nádrž umísťovat pod trysky. Avšak v případech, kdy voda cirkuluje v systému, nádrž zachycuje dopadající vodu a čerpadlo následně vodu z nádrže dopravuje zpět do distribučního modulu.

Konstrukce záchytné nádrže je převážně svařovaná a detailnější pohled na celou konstrukci záchytné nádrže je uveden na obrázku 6.4. Konstrukce je složena ze středové části, dvou čelních plechů a tří výztuh.

Středová část je tvořena plechem dlouhým 2210 mm, ohnutým do tvaru rovnoramenného lichoběžníku. Z obou stran jsou vodotěsným svářem přivařeny čelní plechy. V obou čelech jsou přivařeny nátrubky s vnitřním závitem pro hadicové šroubení. Tyto porty slouží pro výstup z nádrže a vstup přepadu.

Okolo nádrže jsou přivařeny také 3 výztuhy. Jedná se o plechy ohnuté ve tvaru U, které jsou přivařeny k nádrži a ve spodní straně mají vytvořené drážky pro upevnění stavitelných noh. Uvnitř nádrže je navíc umístěné ponorné čerpadlo, které zajišťuje čerpání vody z této nádrže do distribučního modulu.



Obrázek 6.4: Detail záchytné nádrže

6.4 Čerpací systém

Vodní okruh digitální vodní opony je složen z dopravního čerpadla, které čerpá vodu ze záchytné nádrže do distribučního modulu. Dopravní čerpadlo je neregulované, proto je vždy spínáno před započítáním vodní inscenace. Je nutné, aby čerpadlo bylo schopné dopravit dostatečné množství vody, které pokryje spotřebu i v případě otevření všech trysek.

V případech, kdy nejsou otevřeny všechny trysky a čerpadlo dopravuje nadměrné množství vody, přebytek se vrací zpět do záchytné nádrže přepadovým potrubím. Schéma vodního okruhu je znázorněno na obrázku 6.5 a výběrem dopravního čerpadla se zabývá kapitola 2.3.

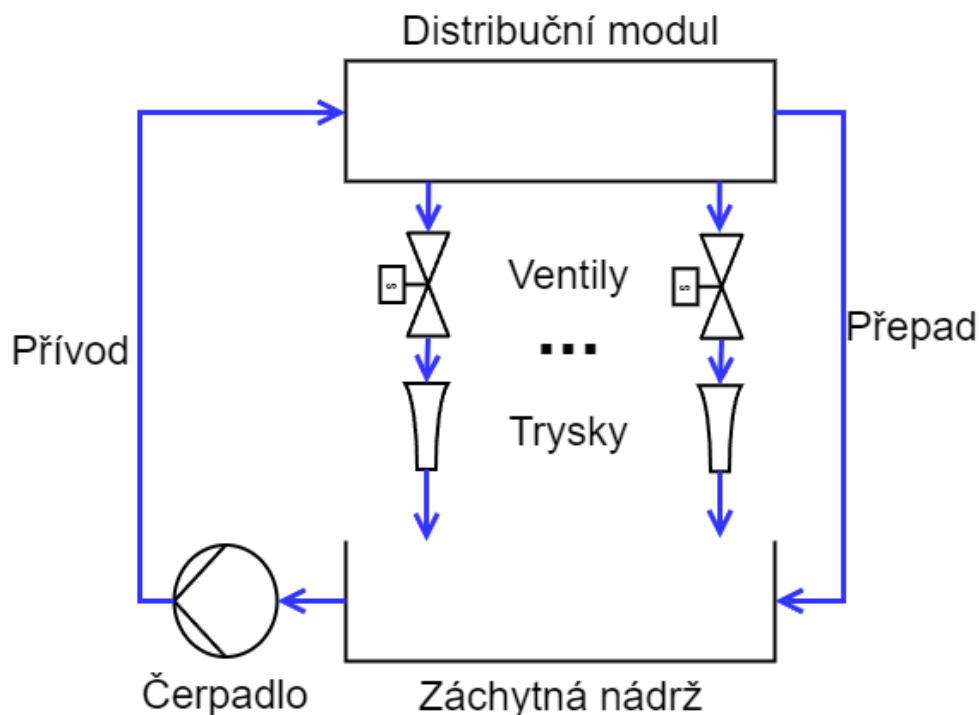
6.5 Řídící hardware

Řídící hardware je umístěn v rozváděči, který je upevněn k distribučnímu modulu. Toto upevnění zajišťuje, že při demontáži není nutné rozpojovat elektrické zapojení elektromagnetických ventilů.

Uvnitř rozváděče je umístěn ochranný jistič typu C, napájecí zdroj stejnosměrného napětí, jednofázový stykač a PLC řízení. PLC řízení se skládá z PLC počítače, napájecích modulů a digitálních výstupních modulů. Popis jednotlivých elektrických komponent, s výjimkou jističe a stykače, je uveden v kapitole 3.2.

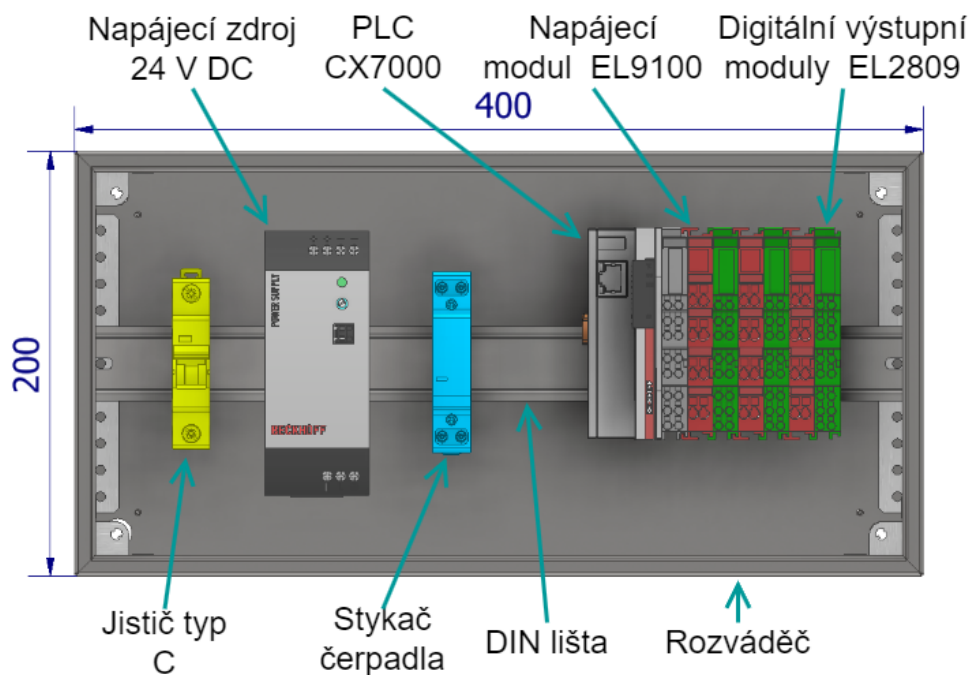
Energie je do rozváděče přivedena pomocí jedné fáze, která je jištěna pomocí jističe a přivedena do napájecího zdroje a ke stykači. Napájecí zdroj usměrňuje přivedenou fázi na napěťovou úroveň 24 V DC. Z tohoto zdroje je rozvedeno napájení k PLC řídicímu systému skrz PLC CX7000 a napájecí modul EL9100.

6 NÁVRH KONSTRUKCE



Obrázek 6.5: Diagram vodního okruhu

Digitální výstupní moduly jsou připojeny ke kladnému pólu elektromagnetických ventilů a také ke kladnému pólu stykače. Záporný pól ventilů a stykače je připojen k zápornému pólu napájecího zdroje. K PLC CX7000 je navíc přiveden Ethernet kabel pro účely komunikace s externí aplikací.



Obrázek 6.6: Detail řídicího hardwaru

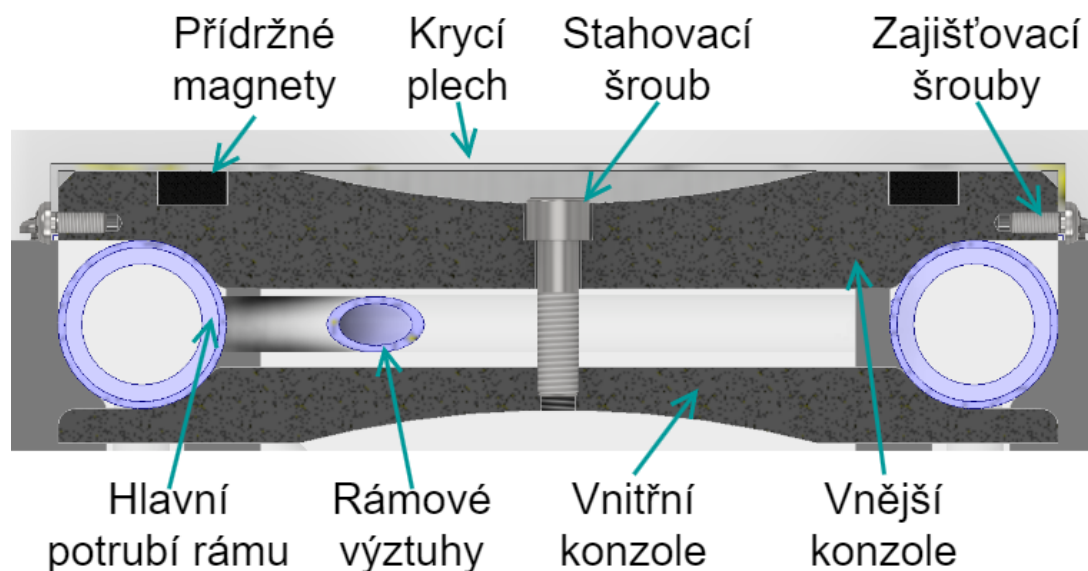
6.6 Krycí systém

Vodní opona je vizuální atrakcí, a proto je nutné vytvořit dobrý vizuální dojem nejen samotnou atrakcí, ale i jejím okolím. Konkrétně u tohoto typu konstrukce (viz obrázek 6.1) je nutné zakrýt celou konstrukci tak, aby divák viděl pouze to, co je mu určeno, a nebyl rozptylován prvky konstrukce.

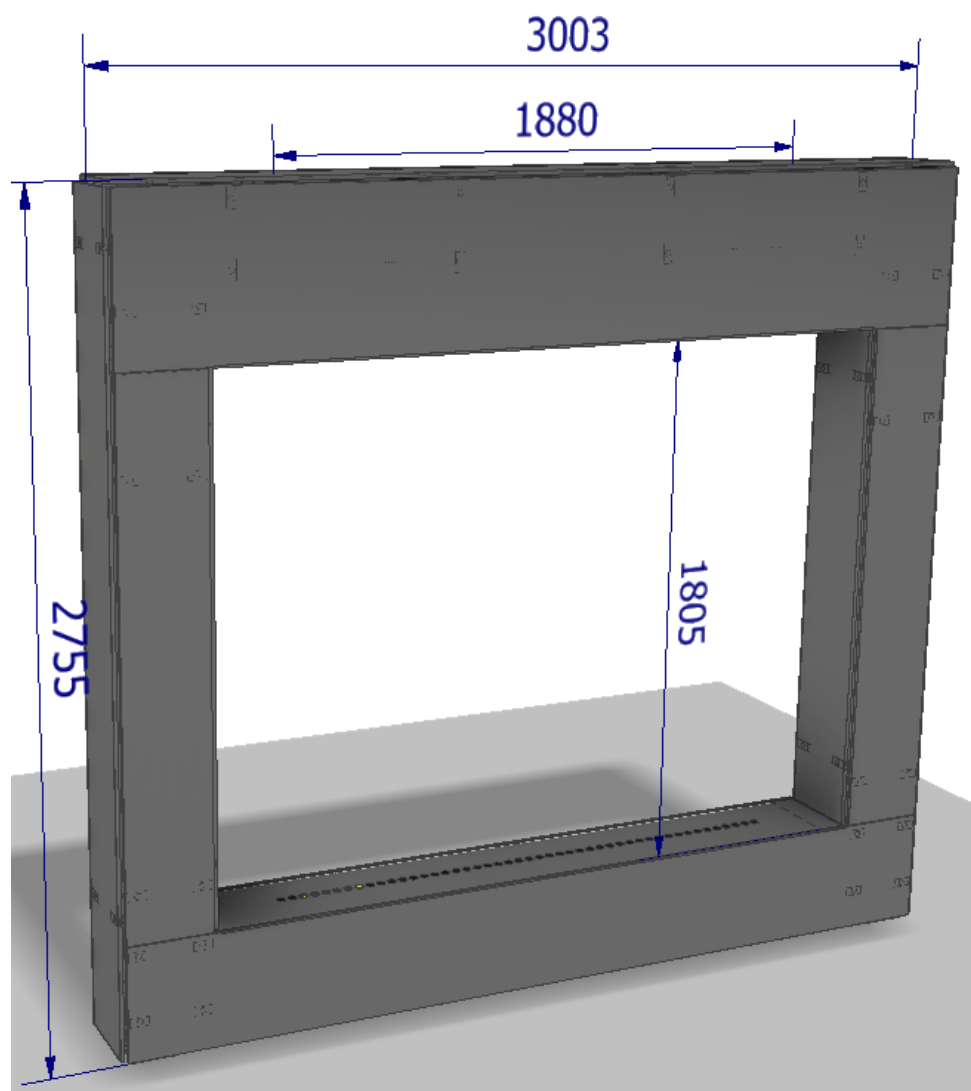
Zakrytování zajišťuje, že všechny konstrukční prvky jsou skryty před pohledem diváků, čímž se zvyšuje estetický dojem a udržuje pozornost na samotné vodní oponě. Toto zakrytování nejen přispívá k vizuální atraktivitě, ale také zajišťuje bezpečnost tím, že chrání citlivé a potenciálně nebezpečné části konstrukce před neautorizovaným přístupem.

V kapitole 6.1 je popsán nosný rám konstrukce, který je tvořen modulárními nosníky. Existuje mnoho způsobů, jak k těmto nosníkům něco upevnit. Jedním z těchto způsobů, který byl v tomto případě implementován, je tzv. *bracket*. Princip tohoto spojení je znázorněn na obrázku 6.7. Tento typ svěrného spoje je složen ze dvou hliníkových částí, které jsou k sobě vzájemně přitahovány šroubem umístěným v jejich středu. Tato sestava je připevněna k nosníku, respektive k jeho vnějším trubkám. Na vnější straně sestavy jsou ve vnější konzole integrovány dva přídržné magnety, které přidržují na místě krycí plechy.

Krycí plechy mají navíc zahnuté konce směrem dovnitř, aby na vnější straně nevznikaly ostré hrany, které by mohly potenciálně způsobit úraz. Těchto zahnutých konců je navíc využito pro zajištění krycího plechu. Z boční strany vnější konzole jsou zajišťovací šrouby, kterými jsou zahnuté části krycích plechů zajištěny. Výsledkem je, že kryty lze odstranit pouze pomocí nástroje. Výsledná podoba digitální vodní opony s použitím krytů je uvedena na obrázku 6.8.



6 NÁVRH KONSTRUKCE



Obrázek 6.8: 3D model návrhu digitální vodní opony (zakrytý)

6.7 Shrnutí parametrů konstrukce

Předchozí kapitoly 6.1 - 6.6 se zaměřily na popis vytvořeného konstrukčního návrhu digitální vodní opony. Z tohoto návrhu vyplývají specifické požadavky na řídicí systém a další komponenty. Proto je tato kapitola věnována shrnutí hlavních konstrukčních parametrů navržené digitální vodní opony, které jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1: Shrnutí konstrukčních parametrů

Vlastnosti	
Vnější rozměry (D x V x Š):	3003 x 2755 x 331 mm
Vnitřní rozměry záchytné nádrže (D x V x Š):	2200 x 347 x 294 mm
Vzdálenost mezi hranou nádrže a ústí trysek:	1805 mm
Vzdálenost mezi zemí a ústí trysek:	2204 mm
Maximální dopravní výška čerpadla:	2600 mm
Maximální výška hladiny vody od ústí trysek:	200 mm
Průměr výstupních trysek:	6 mm
Rozteč výstupních trysek:	40 mm
Počet elektromagnetických ventilů:	47

7 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout systém řízení digitální vodní opony. To zahrnovalo rešerši softwarových nástrojů pro implementaci uživatelské aplikace a rešerši řídicích systémů vhodných pro tuto technologii. V praktické části bylo cílem vytvořit řídicí aplikaci, určenou pro transformaci grafických podkladů a naprogramovat řídicí systém. Posledním cílem bylo realizovat konstrukční návrh vodní atrakce ve formě 3D modelu.

Úvodní část rešerše byla zaměřena na analýzu elektromagnetických ventilů a čerpacího systému. Tato část zahrnovala analýzu dostupných typů elektromagnetických ventilů a povahu jejich spínacího signálu. Analýza čerpacího systému byla zaměřena na stanovení minimálního průtoku čerpadla potřebného pro systém.

Druhá část rešerše byla zaměřena na analýzu řídicích systémů pro tuto technologii. Z analýzy vyplynulo, že nejvhodnější jsou PLC řídicí systémy díky jejich modulárnosti, spolehlivosti a odolnosti. Rešerše byla zaměřena na popis hlavních vlastností PLC systémů a analýzu tří PLC systémů od různých výrobců.

Výsledkem této analýzy je praktické doporučení zvolit PLC řídicí systém, který nevyžaduje vysoký výpočetní výkon, ale umožňuje připojení velkého množství přídavných modulů. V tomto případě bylo zvoleno PLC od Beckhoffu. Tento přístup umožňuje efektivní řízení i větších vodních atrakcí. Při rozšiřování vodní atrakce není nutné měnit celý řídicí systém, ale postačuje pouze přidat další výstupní modul.

Třetí část rešerše byla zaměřena na softwarové nástroje, vhodné k implementaci grafického uživatelského rozhraní pro vytváření vodních inscenací a jejich distribuci k řídicímu hardwaru. Zkoumány byly nástroje MATLAB, .NET a LabVIEW. Na základě analýzy možností a knihoven, které tyto nástroje nabízejí, bylo zjištěno, že ve všech těchto nástrojích je možné aplikaci realizovat. Nicméně každý z těchto nástrojů se vyznačuje odlišnými vlastnostmi a možnostmi.

Analýza ukázala, že nejvhodnějším nástrojem je MATLAB, zejména za předpokladu dostupnosti jeho licence. V praxi je však vhodnější variantou .NET framework, který je zdarma a poskytuje rovněž všechny potřebné nástroje. Nicméně, .NET framework je primárně určen pro softwarové inženýry, což znamená, že implementace uživatelské aplikace je náročnější.

První část praktické části byla zaměřena na implementaci aplikace v MATLABu pro vytváření vodních inscenací na základě vstupních grafických podkladů. Aplikace umožňuje nastavit parametry vodní atrakce, sestavovat inscenace z textových a obrazových podkladů, virtuálně simulovat výsledný vizuální efekt a navázat spojení s řídicím PLC. Aplikace je jednoduchá, přehledná a funguje dle očekávání. Nebylo však možné ji otestovat s reálným hardwarem.

Součástí praktické části bylo naprogramování řídicího PLC systému. Vzhledem k tomu, že bylo zvoleno PLC od společnosti Beckhoff, byl řídicí kód vytvořen v prostředí Twin-CAT 3. Na PLC byl naprogramován stavový automat, který řídí stav vodních trysek na základě přijatých dat. Práce je teoretická a nebyla testována na skutečném zařízení. Z

7 ZÁVĚR

tohoto důvodu by bylo potřeba naladit stavový automat, zejména časové prodlevy mezi jednotlivými stavy.

Závěrem praktické části bylo vytvoření kompletního 3D modelu digitální vodní opony. Výsledkem je návrh vodní atrakce, která je modulární, snadno přemístitelná a zaujme svými vizuálními efekty.

Při vytváření konstrukce byl velkým problémem prostor. Všechny funkční části musely být umístěny uvnitř rámu, aby nebylo nic umístěno vně krytování a nikdo do těchto částí nezasahoval. Toto se bohužel nepodařilo u elektrického rozváděče s řídicím hardwarem, který nebylo možné uschovat uvnitř. Nicméně tento rozváděč je chráněn svou polohou, protože je namontován na vrcholu konstrukce.

Zdroje

- [1] VISCONTI, Paolo; COSTANTINI, Paolo; CAVALERA, G. Smart electronic system for dancing fountains control capable to create water and lighting scenarios synchronized with a music track. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016, roč. 11, č. 9, s. 5669–5675.
- [2] STAR, The Philippine. *Okada Manila's iconic The Fountain dances again* [online]. 2022. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.philstar.com/business/business-as-usual/2022/08/03/2199940/okada-manilas-iconic-fountain-dances-again>.
- [3] LUMIARTECNIA. *Double Circular Digital Water Curtain at Boulevard Riyadh KSA*. [online]. 2021. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.lumiartecnia.com/blog-2/double-circular-digital-water-curtain-at-boulevard-riyadh/>.
- [4] SÁNCHEZ, Jesús. *Digital water curtain* [online]. 2015. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://www.saferain.com/fr/blog/digital-water-curtain.html>.
- [5] CRESPO, Juan David. *How to make a Digital Water Curtain* [online]. 2014. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.saferain.com/en/blog/how-to-make-digital-water-curtain.html>.
- [6] ZHANG, Peng. *Advanced industrial control technology*. William Andrew, 2010.
- [7] SYSTEMS, BOLA. *What are solenoid valves?* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.bolasystems.com/help-advice/what-are-solenoid-valves>.
- [8] VALVES.COM, ELECTRIC SOLENOID. *AC vs. DC Current Solenoid Valves* [online]. [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.electricsolenoidvalves.com/blog/ac-vs-dc-solenoid-valves/>.

ZDROJE

- [9] GLAUDE, Stephen. *Optimizing Power Management in Solenoid Valves* [online]. [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://butlerandland.com/optimizing-power-management-in-solenoid-valves/>.
- [10] *82510/82520 2/2-way seat valves* [online]. NORGREN, 2022. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.norgren.com/cz/cs/detail/8251060915102400>.
- [11] *GARDENA Ponorné čerpadlo na čistou vodu* [online]. GARDENA, 2020. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/ponorne-cerpadlo-gardena-17000-aquasensor-230v-9036-20>.
- [12] BRYAN, Luis A; BRYAN, Eric A. *Programmable controllers: theory and implementation*. 1997.
- [13] BOLTON, William. *Programmable logic controllers*. Newnes, 2015.
- [14] WORLD, Ladder Logic. *PLC Architecture and Types: With Comparison Table* [online]. [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://ladderlogicworld.com/plc-architecture/>.
- [15] BUDIMIR, MILES. *What are IEC 61131-3 and PLCopen?* [online]. [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/iec-61131-3-plcopen/>.
- [16] *CX7000 Embedded PC* [online]. BECKHOFF, 2024. Ver. 1.4 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/ipc/embedded-pcs/cx7000-arm-cortex-m7/cx7000.html?>
- [17] *EL28xx 8- / 16-Channel Digital HD Output Terminals* [online]. BECKHOFF, 2023. Ver. 2.6 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2809.html?>
- [18] *EL9xxx EtherCAT System Terminals* [online]. BECKHOFF, 2024. Ver. 4.8.1 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el9xxx-system/el9100.html?>
- [19] *PS1061-2420-0000* [online]. BECKHOFF, 2021. Ver. 1.0 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/power-supplies/ps1000/ps1061-2420-0000.html?>

ZDROJE

- [20] *P6ES7214-1AG40-0XB0* [online]. Siemens, 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/it/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>.
- [21] *6ES7222-1BF32-0XB0* [online]. Siemens, 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7222-1BF32-0XB0>.
- [22] *6EP1336-2BA10* [online]. Siemens, 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6EP1336-2BA10>.
- [23] *Controllino MEGA / 100-200-00* [online]. Controllino, 2021. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.controllino.com/product/controllino-mega/>.
- [24] *TE1410* [online]. BECKHOFF, 2022. Ver. 1.2.0 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1410.html?>.
- [25] *Image Processing Toolbox™* [online]. MathWorks, 2024. Ver. 24.1 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/image-processing.html>.
- [26] *Audio Toolbox™* [online]. MathWorks, 2024. Ver. 24.1 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/audio.html>.
- [27] ŠELIGA, Ondřej. *Vizualizace dat na platformě .NET*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2012.
- [28] HARTINGER, David. *Lekce 1 - Úvod do WPF (Windows Presentation Foundation)* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/csharp/wpf>.
- [29] DAJBYCH, Václav. *mvvm: model-view-viewmodel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.dotnetportal.cz/clanek/4994/MVVM-Model-View-ViewModel>.
- [30] *TC1000 TwinCAT 3 ADS .NET V6* [online]. BECKHOFF, 2024. Ver. 1.3.0 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twincat/tc1xxx-twincat-3-base/tc1000.html?>.

ZDROJE

- [31] INSTRUMENTS, National. *LabVIEW Tutorial* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://learn.ni.com/learn/article/labview-tutorial#TARGET_2%7D.
- [32] *TF3710* [online]. BECKHOFF, 2024. Ver. 1.5.2 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twincat/tfxxxx-twincat-3-functions/tf3xxx-measurement/tf3710.html?>
- [33] *NI Vision* [online]. National Instruments, 2005. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://cdn.graftek.com/system/files/336/original/NI_Vision_for_LabVIEW_User_Manual_052013.pdf.
- [34] *Sound and Vibration Toolkit* [online]. National Instruments, 2004. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://docsamples.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/02/svt_um.pdf.

Seznam obrázků

2.1	Ukázka sofistikovaných fontán [2], [3]	10
2.2	Schéma přenosné konstrukce digitální vodní opony [5]	12
2.3	Provedení elektromagnetických ventilů [7]	14
2.4	Průběh proudu po připojení cívky ke zdroji	16
2.5	Schéma elektromagnetického ventilu 8251020.9101.0000 [10]	19
2.6	Schéma zahradního čerpadla Gardena 17000 [11]	20
2.7	Schéma řídicí metodiky	22
3.1	Aplikační diagram PLC	26
3.2	PLC cyklus	26
3.3	Provedené PLC systémů [14]	27
3.4	Ukázka jazyků normy IEC 61131-3 [15]	28
3.5	Schéma řízení s komponenty Beckhoff	30
3.6	PLC CX7000 [16]	31
3.7	Digitální výstupní modul EL2809 [17]	32
3.8	Napájecí modul EL9100 [18]	33
3.9	Zdroj PS1061-2420-0000 [19]	35
3.10	Schéma řízení s komponenty Siemens	36
3.11	Připojovací schéma PLC SIMATIC S7-1200 ve variantě DC/DC/DC [20]	37
3.12	Výstupní modul SM 1222 DQ 16x 24 VDC [21]	38
3.13	Zdroj SITOP PSU100S 20A [22]	39
3.14	Schéma řízení s komponenty Controllino	41
3.15	Controllino MEGA 100-200-00 [23]	42
4.1	Úvodní obrazovka App designeru	46
4.2	drag-and-drop princip	47
4.3	Grafická podoba demonstrační aplikace	47
4.4	Kód demonstrační aplikace	49
4.5	Výsledná podoba demonstrační aplikace	49
4.6	Schéma komunikace pomocí OPC serveru	50
4.7	Prostředí LabVIEW [31]	56
4.8	Bloky pro LabVIEW z knihovny TF3710 [32]	57
5.1	Výchozí obrazovka řídicí aplikace	62
5.2	Karta nastavení řídicí aplikace	63
5.3	Nastavitelné parametry digitální vodní opony	64
5.4	Výchozí obrazovka řídicí aplikace po sestavení vodní inscenace	65
5.5	Vývojový diagram algoritmu transformace	68
5.6	Vývojový diagram algoritmu vytvoření simulačních podkladů	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

5.7	Vývojový diagram algoritmu odesílání dat do PLC	70
5.8	Vývojový diagram stavového automatu řídicího PLC	72
6.1	3D model návrhu digitální vodní opony (odkrytý)	74
6.2	Princip spojování modulární konstrukce	75
6.3	Detail distribučního modulu	76
6.4	Detail záchytné nádrže	77
6.5	Diagram vodního okruhu	78
6.6	Detail řídicího hardwaru	78
6.7	Řez krycího systému (<i>bracket</i>)	79
6.8	3D model návrhu digitální vodní opony (zakrytý)	80

Seznam tabulek

2.1	Porovnání vlastností napájení elektromagnetický ventilů	17
2.2	Technické parametry elektromagnetického ventilu 8251020.9101.0000 [10] .	19
2.3	Technické parametry zahradního čerpadla Gardena 17000 [11]	20
3.1	Technické parametry PLC CX7000 [16]	32
3.2	Technické parametry modulu EL2809 [17]	33
3.3	Technické parametry modulu EL9100 [18]	34
3.4	Technické parametry zdroje PS1061-2420-0000 [19]	34
3.5	Technické parametry SIMATIC S7-1200 CPU1214C [20]	37
3.6	Technické parametry modulu SM 1222 DQ 16x 24 VDC [21]	39
3.7	Technické parametry zdroje SITOP PSU100S 20A [22]	40
3.8	Technické parametry Controllino MEGA 100-200-00 [23]	43
3.9	Shrnutí výběru komponent řídicího systému	44
4.1	Shrnutí vlastností softwarových nástrojů	59
6.1	Shrnutí konstrukčních parametrů	81

Seznam příloh

Příloha Aplikace:	Transformační aplikace
Příloha ZdrojovéKody:	Zdrojové kódy transformační aplikace ve formátu m
Příloha Sestava:	3D model sestavy vodní atrakce ve formátu step
Příloha TwinCAT:	Projekt v TwinCAT 3 ve formátu tzip
Příloha VykresSestavy:	Výkres sestavy ve formátu pdf