

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra elektrotechniky a automatizace**



**Diplomová práce**

**Virtuální laboratoř pro výuku automatizace**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Monika Hromasová, Ph.D.**

**Diplomant: Bc. Matěj Kohútek**

© 2023 ČZU v Praze



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Kohútek

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Virtuální laboratoř pro výuku automatizace**

Název anglicky

**Virtual laboratory for teaching automation**

---

## Cíle práce

Cílem práce je vytvoření virtuální laboratoře pro výuku předmětu Automatizace. Úkolem je vytvoření rozhraní pro možnost ovládání a sledování výsledků výukové úlohy i ve spojení s kamerou pro sledování pohybu úlohy. Výuková úloha bude ovládána přes webové prostředí. Bude vytvořen program a vizualizace pro řízení PLC Siemens.

## Metodika

- Tvorba reálné výukové úlohy s variantním řešením,
- tvorba uživatelského rozhraní pro vybranou úlohu,
- tvorba rozhraní pro vzdálený přístup k úloze,
- vytvoření návodů a protokolu pro měření.

## Doporučený rozsah práce

50-60 stran

## Klíčová slova

PLC, automatizace, vizualizace, senzory, akční členy

---

## Doporučené zdroje informací

*Automatizace* : časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku. Praha: ISBN 0005-125.

BALÁTEĚ, J. *Automatické řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-148-9.

BENEŠ, P. *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-239-4.

LACKO, B. *Automatizace a automatizační technika. 1, Systémové pojetí automatizace*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-246-7.

MORRISS, S B. *Automated manufacturing systems : actuators, controls, sensors, and robotics*. New York: Glencoe, 1995. ISBN 0028023315.

ŠVARC, I. – VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Automatizace : automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7.

VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika. 2, Automatické řízení*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-247-5.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2022

**doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Virtuální laboratoř pro výuku automatizace“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31. 3. 2023

.....

Matěj Kohútek

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Monice Hromasové, Ph.D. za vedení mé práce. Dále Ing. Jiřímu Kuřeti a doc. Ing. Miloslavu Lindovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při realizaci úlohy. Na závěr bych chtěl poděkovat Mgr. Petru Kohútkovi za pomoc s korekturou, Bc. Davidu Trejtnarovi za pomoc v oblasti elektrotechniky a Bc. Danielu Filipovi za pomoc s 3D tiskem.

# Virtuální laboratoř pro výuku automatizace

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá průmyslovou automatizací, hlavně použitím PLC Siemens LOGO! 8. V teoretické části se rekapituluje, co je PLC a jak se toto zařízení používá. Zmiňují se i další zařízení, která se také používají, nebo která byla používána na automatizaci. Jsou popsány způsoby vizualizace průmyslových procesů a důvody jejího použití. Poté je vysvětleno fungování vzdáleného přístupu přes VPN a způsoby správného zabezpečení LAN. Což vede k praktické části diplomové práce, která se zaměřuje na přizpůsobení stávající úlohy, používané pro distanční výuku v předmětu Automatizace. Nejdříve jsou analyzovány jednotlivé části úlohy. Poté se popisuje implementace navržených změn. Výstupem je protokol k úloze, schéma zapojení, návod na použití úlohy pro distanční výuku, referenční program a vizualizace ve webovém prostředí PLC. Součástí je také přidání nových funkcionalit do úlohy a modelace a 3D tisk robustnějších komponent. Celý proces je zdokumentován tak, aby mohl být použit jako vzor pro adaptování dalších úloh, a to nejen těch používaných pro předmět automatizace.

**Klíčová slova:** PLC, distanční výuka, VPN, automatizace, vizualizace, virtuální laboratoř

# **Virtual laboratory for teaching automation**

**Abstract:** This master thesis deals with industrial automation, mainly using PLC Siemens LOGO! 8. In the theoretical part it is recapitulated what is a PLC and how is this device used. Other devices that are also used or have been used for automation are also mentioned. Methods of industrial processes visualisation and reasons for its use are discussed. After that there is a description of remote access using VPN and the ways of ensuring proper security of a LAN. Which leads to the practical section of the master thesis, which focuses on adapting an existing assignment used for distance learning in the Automation course. First, the individual parts of the task are analysed. Then, the implementation of the proposed changes is described. The output includes a task protocol, a wiring diagram, instructions for using the task for distance learning, a reference program, and a visualization in a web-based PLC environment. Also included is the addition of new functionalities to the task and the modelling and 3D printing of more robust components. The whole process is documented, so that it can be used as a template for adapting other tasks, used not only in the Automation course.

**Keywords:** PLC, distance learning, VPN, automation, visualization, virtual laboratory



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika .....</b>	<b>2</b>
2.1	Cíl práce .....	2
2.2	Metodika .....	2
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska .....</b>	<b>3</b>
3.1	PLC .....	3
3.1.1	Komponenty.....	4
3.1.2	Typy architektur.....	5
3.1.3	Operační cyklus .....	7
3.1.4	Bezpečnostní PLC.....	8
3.2	Vstupy a výstupy.....	9
3.2.1	Analogové IO.....	9
3.2.2	Digitální IO .....	11
3.3	Způsoby ovládání.....	12
3.4	Programování.....	15
3.5	Zabezpečení .....	17
3.6	Automatizační hardware .....	18
3.7	Senzory .....	21
3.7.1	Pomocné obvody.....	22
3.7.2	Kompenzační obvody .....	23
3.7.3	Měřicí můstky .....	23
3.8	Akční člen .....	24
3.9	Vizualizace.....	25
3.10	VPN.....	25
3.10.1	Rozdíl mezi VPN a Proxy serverem.....	26
3.10.2	Bezpečnostní model nulové důvěry .....	27
<b>4</b>	<b>Analýza úlohy .....</b>	<b>28</b>
4.1	Složení úlohy .....	29
4.2	Způsob provedení akční části.....	30
4.3	Způsob provedení řídicí části.....	31
4.4	Způsob propojení řídicí a akční části úlohy.....	32
4.5	Akční členy .....	32
4.5.1	Relé .....	32
4.5.2	Motory .....	33

4.6	Senzory.....	34
4.7	Schéma zapojení.....	35
4.8	Řídící PLC Siemens LOGO!.....	37
<b>5</b>	<b>Důvody inovace.....</b>	<b>38</b>
5.1	Změna zapojení .....	38
5.2	Oprava úlohy .....	38
5.3	Distanční výuka.....	39
5.4	Dokumentace.....	39
5.5	Referenční program.....	39
5.6	Protokol.....	40
<b>6</b>	<b>Návrh a implementace vylepšení .....</b>	<b>41</b>
6.1	Vzdálený přístup k úloze.....	41
6.2	Schéma zapojení.....	43
6.3	Webové rozhraní .....	44
6.4	Protokol a návod .....	46
6.5	Fyzické provedení akční části úlohy .....	46
6.6	NodeMCU .....	50
6.7	Referenční program.....	50
<b>7</b>	<b>Zhodnocení výsledků.....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Závěr a doporučení .....</b>	<b>55</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>67</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>68</b>

## Seznam použitých zkratk

ADC	–	Analogový na digitální konvertor
ALU	–	Aritmeticko-logická jednotka
COM	–	Komunikace / Společná zem
DPDT	–	Relé se dvěma stavy a dvěma od sebe oddělenými spínači
FBD	–	Diagram funkčních bloků je grafický programovací jazyk
HART	–	Vzdálený převodník s adresovatelným způsobem přenosu dat
HMI	–	Rozhraní mezi člověkem a strojem
HSC	–	Vysokorychlostní čítač
HTL	–	Logika vysokého prahu
HTTP	–	Protokol pro přenos hypertextu
IL	–	Instrukční seznam je jazyk pro programování automatických systémů
IO	–	Vstup / Výstup
IPC	–	Průmyslový osobní počítač
IoT	–	Internet věcí
LAN	–	Lokální síť
LD	–	Žebříčkový diagram je grafický programovací jazyk
LWE	–	LOGO! Web Editor
NC	–	Normálně zavřený
NO	–	Normálně otevřený
OIKT	–	Odbor informačních a komunikačních technologií ČZU
PAC	–	Programovatelný automatizační kontrolér
PC	–	Osobní počítač
PLC	–	Programovatelný Logický Automat

- PLR – Programovatelné logické relé
- ROM – Paměť pouze pro čtení
- RTU – Vzdálená telemetrická jednotka
- SCADA – Dohledová kontrola a získávání dat
- SFC – Diagram sekvencí funkcí
- SIL – Úroveň integrity bezpečnosti
- SPDT – Relé se dvěma stavy a jedním spínačem
- ST – Strukturovaný text je jazyk pro programování automatických systémů
- TTL – Tranzistor-tranzistorová logika
- UX – Uživatelská zkušenost
- VCC – Napájecí napětí
- VDC – Stejnoseměrné napětí
- VPN – Virtuální privátní síť

# 1 Úvod

V současné době je vzdělávání stále častěji dostupné i prostřednictvím moderních technologií. Distanční výuka se stává populární volbou pro studenty, kteří se chtějí rozvíjet a zlepšovat své znalosti bez nutnosti fyzicky navštěvovat vzdělávací instituce. Tento trend se projevuje i v oblasti průmyslové automatizace a programování programovatelných logických automatů (PLC).

Ovládání a někdy i programování PLC na dálku se využívá v automatizovaných prostředích, které jsou těžko dostupné, nebo nehostinné. Například k některým přehradám v Kanadě je problém se v zimě dostat. Z těchto důvodů je tam nutné mít nastavený vzdálený přístup a personál vyškolený k tomu, aby byl schopen s PLC na dálku pracovat. [1]

Vzdálený přístup má své nevýhody, otevírá cestu pro lidi, kteří se bez oprávnění chtějí dostat do vnitřního systému a provádět nekalé činnosti, které by mohly majiteli daného systému způsobit vysoké finanční ztráty. Takovýto „hacker“ přenastaví činnost PLC, ukradne firemní tajemství atp. Přístupy zvenčí i zevnitř se proto zabezpečují. Pracovat je možné pouze na zaheslovaném počítači, do vnitřní sítě se připojuje pouze přes VPN. Každý krok musí být autentizován, uplatňuje se tzv. model nulové důvěry. [2]

PLC není jediným automatizačním hardwarem. I před nimi se již vědělo, že automatizace průmyslových procesů je cestou ke zvýšení efektivity. Nejdříve se používaly mechanické systémy, jako jsou časovače vačky. S příchodem integrovaných obvodů se začínají používat programovatelná logická relé, vzdálené telemetrické jednotky (RTU) atd. Postupem času se výroba integrovaných obvodů zlevňovala a s tím se automatizační technika dostala i do běžných domácností, kde se používají zařízení, jako Arduino, Raspberry Pi nebo ESP.

Tato práce se zaměřuje na PLC, konkrétně PLC Siemens LOGO! [3]. Je zde popsáno jeho fungování a možnosti programování a integrování s akčními prvky a senzory. Dále jsou stručně popsány alternativy, které se běžně používají. V části zabezpečení a možnostech připojení se diplomová práce zaměřuje na VPN.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem diplomové práce je vytvoření návrhu a implementace technického provedení výukové úlohy v předmětu Automatizace. Dílčím cílem je definovat způsob připojení a ovládání PLC Siemens LOGO! ze zařízení nacházejícího se mimo lokální síť učebny. Stanoví se a předvedou způsoby, které zlepší studentovo UX při distanční výuce. A to vizuálními úpravami úlohy pro lepší ovládání za pomoci IP kamery a vytvořením virtuální kopie úlohy ve webovém prostředí PLC. Touto prací vznikne dokumentace úlohy, která zjednoduší případné budoucí úpravy a opravy.

Pro účely výuky se vytvoří návod a protokol k úloze. Protokol bude obsahovat teoretické podklady a zadání úkolu. Pro předvedení fungování systému se vytvoří řídicí program pro PLC. Součástí budou drobné úpravy a opravy úlohy, které by omezovaly použití úlohy při distanční výuce.

Výsledkem práce bude postup, podle kterého bude možné předělat další úlohy z hlediska UX a vzdáleného přístupu, pro účely distanční výuky.

### **2.2 Metodika**

Nejprve se provede důkladná analýza a vytvoří se dokumentace stávající úlohy, která bude základem pro budoucí návrhy a změny. K analýze se bude přistupovat metodou reverzního inženýrství. Po zdokumentování stávajícího stavu se zhodnotí možnosti přístupu k úloze ze zařízení nacházející se mimo školní síť. Vybere se nejvhodnější možnost a provedou se všechny kroky potřebné ke vzdálenému připojení. Všechny kroky se pečlivě zdokumentují.

Fyzicky se úloha upraví tak, aby jednotlivé komponenty reflektovaly fakt, že student při distanční výuce nemůže reagovat okamžitě na akutní situace, a tudíž jim předcházet.

Podle fyzického modelu se vytvoří virtuální kopie ve webovém prostředí. Nakonec vznikne protokol a návod k upravené úloze.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 PLC

PLC, *angl. Programmable Logic Controller*, je malý počítač, který se používá v průmyslovém prostředí na ovládání, kontrolu a sběr dat, tedy celkovou automatizaci, viz obr. 1. Z čehož hlavní je monitorování, hlášení a diagnostikování chyb. Přijímá vstupy z automatizovaných sběrných bodů, nebo manuálně od lidí. Například pomocí tlačítek a spínačů. Pomocí svých výstupních modulů ovládá širokou škálu zařízení od motorů, po bezpečnostní vypínání. [4; 5]



Obrázek 1 PLC Siemens LOGO! [6]

V průmyslovém prostředí se usiluje o co největší automatizaci procesů, s co nejmenšími intervencemi lidí. Firmy investují do zařízení jako jsou *průmyslové IoT (Internet of Things)*, stroje komunikující po síti apod. Všechna tato zařízení musejí být nějakým způsobem propojena, aby mohla komunikovat. Propojení zařízení mezi sebou, způsob, kterým se to stále někdy dělá, je složitý na údržbu. Při větším množství zařízení může být takový systém nepřehledný. Novější způsob je, propojit stroje pomocí PLC. Tím se více integruje kontrola produkčních procesů. [5]

PLC jsou vytvořena do průmyslového prostředí. Musejí být schopna zajišťovat stabilní řízení v náročných provozních podmínkách. Jsou na ně kladeny vysoké nároky na jejich odolnost vůči vlivům prostředí (teplota, přepětí, vlhkost, prašnost, otřesy).

Před PLC se v průmyslu používaly reléové řídicí systémy. Ty byly složité a náchylné k poruchám. První průmyslový počítačový řídicí systém PLC si objednala firma GM a Landis od firmy Modicon. První model 084, vytvořil v roce 1969 vynálezce Richard E. Morley. První komerčně úspěšné PLC, model 184, bylo předvedeno o pár let později v roce 1973. To vytvořil Michael Greenberg. [4; 7]

Největší výhodou v použití PLC je možnost jednoduše změnit a replikovat operaci, nebo proces. Při přidání dodatečného hardwaru se nemusí vytvářet nové zapojení logického obvodu, jako to bylo u reléových řídicích systémů. Změna se provede jednoduše v kódu. PLC se skládá ze vstupních, výstupních a procesních modulů, viz kapitola 3.1.1 Komponenty. [7]

Běh programu v PLC je specifický, pracuje cyklicky v krocích. Říká se tedy že pracuje v operačních cyklech. To má zajistit stabilitu při ovládní průmyslových strojů (např. výrobních linek), viz kapitola 3.1.3 Operační cyklus. [7]

### 3.1.1 Komponenty

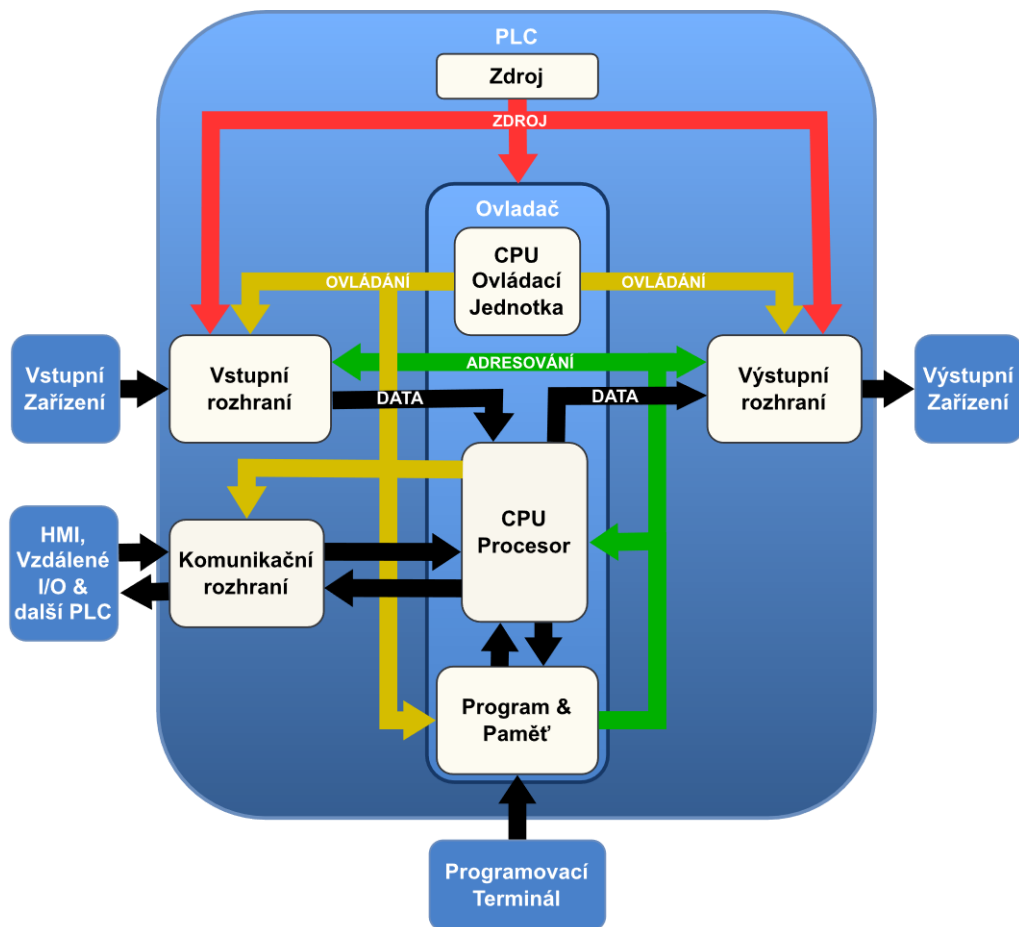
Základní komponenty PLC jsou podobné jako u počítače, viz obr. 2, jsou však na ně kladeny vyšší nároky na spolehlivost. Komponenty jsou buď vestavené v jednom modulu, nebo mohou být rozděleny do modulů separátních.

- **CPU** – je to základní komponenta v PLC. Může se také použít mikroprocesor. Protože musí zpracovávat pouze základní logické operace, měřit, kontrolovat, zaznamenávat a provádět pouze základní zpracování signálu, tak většinou stačí 1bitový procesor. Když je potřeba zpracovávat text, tak je potřeba textový procesor; [8; 9]
- **Zdroj** – dodává energii PLC, bývá řešen jako spínaný. Standardně má výstup 24 V DC. Používá se zdroj s dostatečnou výkonovou rezervou pro případ, že by se PLC rozšiřovalo o dodatečné moduly a periferie (např. senzory, indikátory);
- **Programovací terminál** – je potřeba pro nahrání vlastního programu do paměti procesoru;
- **Paměťová jednotka** – v té je uložen program, který udává logiku akcí při běhu. Také se do ní ukládají vstupní (tlačítka, senzory atp.) a výstupní proměnné, kterými se ovládají výstupy;



- **Jednotka řízení vstupů a výstupů** – pomocí které PLC získává informace od ostatních zařízení a pomocí kterých s nimi také komunikuje;
- **Komunikační rozhraní (COM)** – používá se na přijímání a vysílání dat na komunikačních sítích od a pro vzdálené PLC, nebo jejich částí. Komunikace probíhá po ethernetu, sériové lince nebo USB;
- **SPEC** – označuje speciální funkce, jako jsou časovače, čítače hodiny, algoritmy pro regulace a matematické funkce;

[8; 9; 10; 11]

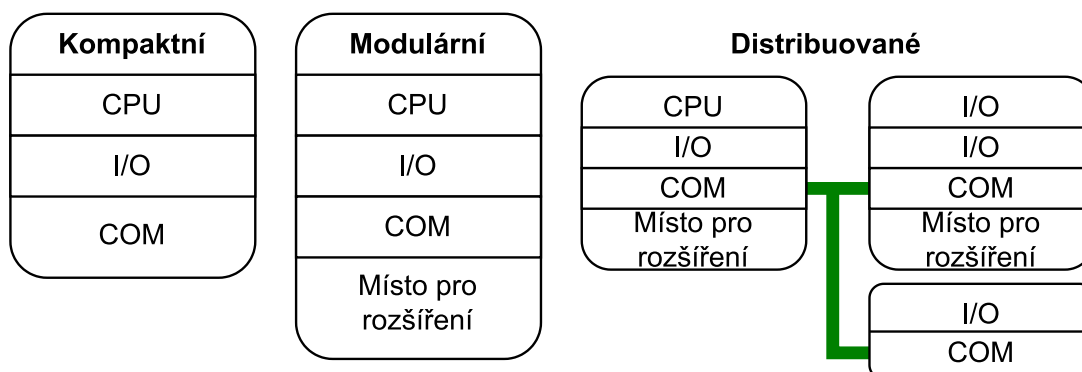


Obrázek 2 Komponenty PLC, vzor: [11]

### 3.1.2 Typy architektury

Architektura PLC se rozděluje na tři hlavní typy – kompaktní, modulární a distribuované (*angl. fixed, modular, distributed*), viz obr. 3. Hlavní rozdíly mezi nimi jsou v možnostech rozšiřování, přizpůsobení vlastním potřebám, ceně a rozmístění jednotlivých modulů.

Terminologie se mezi výrobci PLC může lišit, kompaktní PLC mohou mít prvky modulární. Modulární PLC mohou zase mít prvky distribuované architektury. [9; 11]



Obrázek 3 Architektury PLC

**Kompaktní PLC** bývají nejlevnější variantou. Jsou malé, nedají se rozšířit a mají malý výkon a nízkou spotřebu. Většina modulů je vestavěná. Používají se pro malé projekty. Dávají se jim v angličtině názvy jako: fixed, integrated, nano, micro, compact, small, mini, basic, unitary, standard, brick. [9; 11]

**Modulární PLC** mají separátní modul pro každou hardwarovou komponentu. Moduly jsou připojeny v racku. Separování komponent do modulů umožňuje upravit modulární PLC tak, aby vyhovovalo specifické aplikaci. Moduly od různých výrobců nebývají mezi sebou kompatibilní. Používají se v případech, kdy jsou vyšší nároky na výkon, počet I/O a celkovou komplexitu řešení. [9; 11]

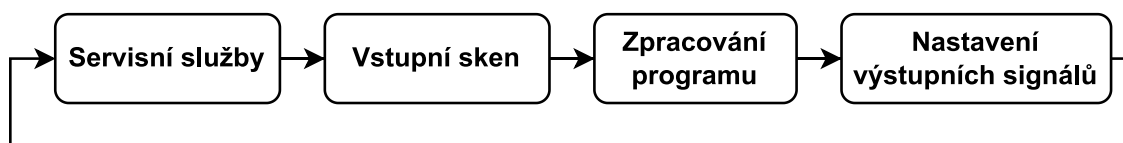
**Distribuovaná PLC** mají základní princip stejný jako PLC modulární. Komponenty jsou rozděleny do modulů. Moduly spolu komunikují pomocí vysokorychlostního spojení, což jim umožňuje, aby byly umístěny ve stojanech (*angl. rack*) na různých místech. V každém stojanu musí být komunikační modul. Distribuovaná PLC se používají ve velkých továrnách. Dávají se jim názvy jako distribuovaný, nebo modulární se vzdáleným I/O (*angl. modular with remote I/O*). [11]

### 3.1.3 Operační cyklus

Běh PLC musí být přesný, každý cyklus má předem dané, jak dlouho bude trvat a kdy se provede každý krok operace. Proto je práce PLC řízena v cyklech, tzv. skenovacích periodách. Běh programu řízený událostmi se v současné době nepoužívá, tuto problematiku popisuje *Chmiel a spol* [12].

Výhody řízení ve skenovacích periodách jsou:

- Odolnost proti rušení;
- Snadná programovatelnost;
- Stanovená maximální doba cyklu programu – nepřekročení času;
- Při výpadku lze spustit od posledního dosaženého stavu;



Obrázek 4 Skenovací perioda

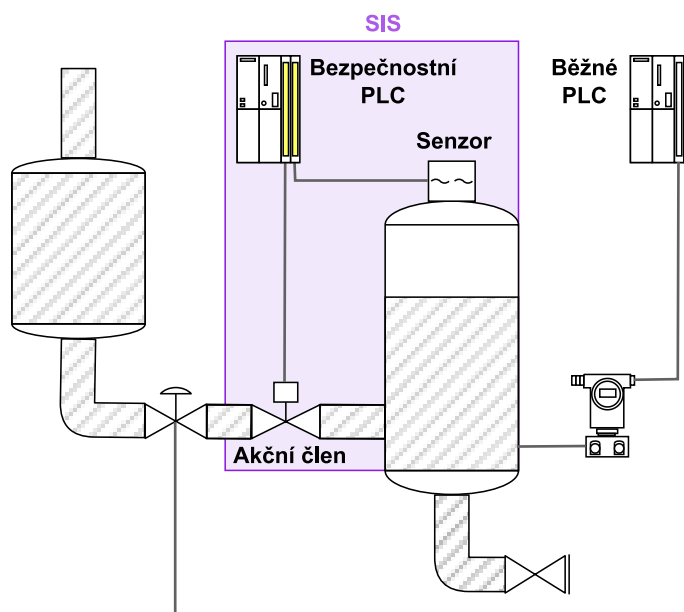
Jak je vidět na obr. 4, v každém operačním cyklu PLC jsou čtyři kroky:

1. **Servisní služby** – v tomto kroku se vykonávají systémové operace, které uživatel nemá možnost ovlivnit. PLC komunikuje s programovacím terminálem, provádí se interní diagnostika, manipulace s programovými bloky apod.;
2. **Vstupní sken** – udělá se *obraz vstupů*, což znamená že najednou zapíše hodnoty všech vstupů do paměti, aby v průběhu dalšího kroku nedošlo k chybě. Kdyby to tak nebylo, tak by se program mohl dostat do neplatného stavu. Je to jako kdyby se pod rukama měnila hmotnost závaží při tom, co se srovnávají podle hmotnosti;
3. **Zpracování programu** – dojde k provedení naprogramovaného programu, jako vstupní proměnné se používá obraz vstupů uložený v paměti. Výstupní hodnoty se zapíšou do paměti, říká se tomu *obraz výstupů*;
4. **Nastavení výstupních signálů** – všechny výstupní signály se nastaví najednou podle obrazu výstupů, to se dělá proto, aby nedošlo k desynchronizaci procesu neboli aby se něco nespustilo dřív než zbytek;

Na běh programu kladeny přísné nároky proto, že PLC většinou ovládá více strojů najednou. Kdyby se chovalo nepředvídatelně (neurčitá doba běhu cyklu), tak by v prostředí, ve kterém je vše naplánováno na necelé sekundy, mohlo pozdě pohnout například s robotickým ramenem a už by do něj narazil polotovar na páse. [4; 10]

### 3.1.4 Bezpečnostní PLC

V průmyslové výrobě je mnoho strojů, kabelů, senzorů, které musí plně fungovat. Může dojít např. k nebezpečnému přetlakování tlakové nádoby. Proto se do výroby nasazuje bezpečnostní PLC. To má za úkol hlídat, neboli provádět diagnostiku. Bezpečnostní PLC se může na první pohled zdát stejné jako normální PLC. Navenek vypadají stejně, až na jejich rozdílné barevné označení. Zde ale podobnost končí. Použití bezpečnostního PLC je vidět na obr. 5. [13; 14; 15]



Obrázek 5 Použití bezpečnostního PLC; vzor: [16]

Bezpečnostní PLC má zamčenou a bezpečnostně podepsanou logiku tak, aby se nemohla změnit. Jsou v něm integrované diagnostické funkce, které dokážou detekovat možné vnitřní selhání v hardwaru i softwaru. To zaručuje, že i selhání bezpečnostního PLC nezpůsobí nebezpečnou situaci. [13; 14; 15]

Bezpečnost na pracovišti se měří podle stupně integrity bezpečnosti (SIL – *angl. Safety Integrity Level*). Je to čtyřstupňová škála, kde SIL 1 značí nejnižší a SIL 4 nejvyšší úroveň

integrity. Je vytvořena podle IEC 61508 a její varianty se používají i v dalších bezpečnostních standardech. Používá se jako způsob minimalizace systematických chyb. To jsou chyby, které není možné kvantifikovat – když se porouchá senzor, tak je jedno kolik měření provede, výstup je chybný. [14; 15]

## 3.2 Vstupy a výstupy

Interakci mezi CPU a okolím zajišťuje periferie pomocí generování výstupních signálů, nebo zpracovávání vstupních signálů. Periferie je část řídicího systému. Periferie se rozlišují podle směru toku na vstupní, výstupní a kombinované. Ke komunikaci s periferními zařízeními dochází pomocí periferií:

- **Analogová periferie** (analogové vstupy a výstupy) – zpracovávají signály spojitého charakteru elektrických veličin napětí a proudu. Jsou složitější než digitální. Analogové výstupní hodnoty se generují se pomocí D/A převodníků. Vstupní hodnoty se zpracovávají v cyklech pomocí tzv. vzorkování;
- **Digitální periferie** (digitální vstupy a výstupy) – zpracovává dvoustavové signály podle definovaných úrovní napětí. Většinou jsou vstupně-výstupní neboli digitální IO moduly;
- **Komunikační periferie** (distribuované řízení) – zprostředkovává sériovou komunikaci mezi zařízeními. Komunikační periferie se využívá v tzv. distribuovaném řízení;
- **Funkční periferie** – jsou moduly, které mohou vykonávat nějaké technologické funkce. Pracují nezávisle na hlavním CPU a ovladač jim pouze zadává práci, sbírá data a provádí diagnostiku. Jsou také nazývány *inteligentní periferie*. Jsou to například čítač, ALU, vizualizace (HMI), vysokorychlostní čítač (HSC – *angl. High Speed Counter*) apod.;

### 3.2.1 Analogové IO

Analogovými vstupy se do automatizačního ovladače připojují senzory, jako jsou odporové snímače teploty, tenzometry nebo ultrazvukové snímače. Parametry analogových IO modulů jsou v tab. 1. Snímat stav senzoru je možné dvěma způsoby: měřením napětí a měřením proudu. Senzory a akční členy mohou být na vzdálených místech od ovladače

v těchto případech je výhodnější měřit proudem. Odpor vodičů se totiž zvyšuje se vzdáleností, proud procházející kabelem je však ve všech částech smyčky stejný. Při měření napětí je možné využít pomocné měřicí obvody a senzory s více výstupními vodiči, které odpor vodičů kompenzují.

Tabulka 1 Parametry analogových IO modulů [17]

PARAMETR	HODNOTA
NAPĚTÍ	0 – 10 V 0 – 5 V -10 – 10 V -5 – 5 V
PROUD	0 – 20 mA 4 – 20 mA (doopravdy 0 – 24 mA) -20 – 20 mA
VZORKOVACÍ FREKVENCE	většinou do 60 Hz
ROZLIŠENÍ	10, 12, 14, 16 bitů

V průběhu vývoje je možno zaznamenat přechod od proudových smyček s proudem v rozmezí 0 – 60 mA ke skoro třetinovému proudu 0 – 20 mA, resp. 4 – 20 mA. Z každé úrovně proudu je možné získat určitou informaci.

Často používané rozpětí je 4 – 20 mA, a to kvůli jeho specifické vlastnosti. Jeho rozpětí doopravdy je 0 – 24 mA. Dolní interval pod 4 mA a horní interval nad 20 mA je diagnostický. Umožňuje sledovat zkrat a odpojení, nebo selhání senzoru.

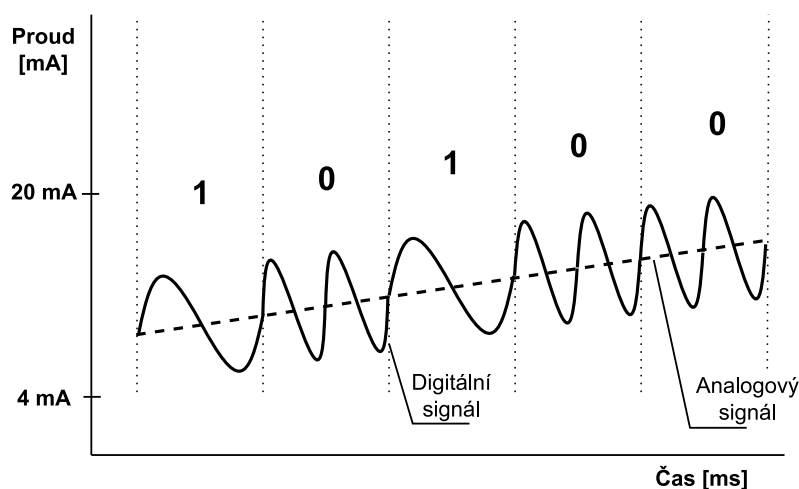
- Proud pod 4 mA může indikovat přerušené vedení;
- Proud nad 20 mA může indikovat potenciální zkrat;

## HART protokol

Analogová komunikace využívá oproti digitální větší množství kabelů. Nové inteligentní senzory dokážou posílat data z různých čidel po jednom kabelu, protože tu však byly analogové systémy dříve a jsou levnější než nové inteligentní senzory, byl již ve 20. století vyvinut nový protokol HART (*angl. Highway-addressable Remote Transducer*). Spolu

s analogovou hodnotou může po proudové smyčce tento protokol posílat digitální komunikaci. Funguje tak, že se k analogové hodnotě, představované velikostí proudu, přičítá oscilující signál, nesoucí digitální informaci. Vizuální interpretace bitového toku pomocí protokolu HART je vidět na obr. 6. Logická nula a logická jednička se rozlišují počtem kmitů za daný časový úsek. [18]

- 1 kmit za časový úsek je logická 1;
- 2 kmity za časový úsek je logická 0;



Obrázek 6 Vizualizace HART protokolu; vzor: [18]

### 3.2.2 Digitální IO

Digitální signály jsou dvoustavové, v praxi to znamená, že je ze signálu možné vyčíst dva stavy (log. 0 / log. 1, zapnuto / vypnuto, detekuje / nedetekuje). Digitální signály je také možné použít na sofistikovanější posílání dat. Když se jednotlivé stavy přijaté nebo vyslané budou interpretovat jako sekvence, je možné pomocí nich posílat data zakódovaná do binárního systému. Podobně jako to funguje v počítači. [19]

Logické stavy zapnuto a vypnuto jsou definovány pomocí mezních hodnot napětí. Standardně používané mezní hodnoty pro rozmezí 0 – 5 V jsou TTL a HTL. HTL, díky větším vzdálenostem mezních hodnot, lépe odolává rušení. Standardní logické úrovně napětí jsou vidět v tab. 2. [19]

V případě potřeby práce s vysokofrekvenčními signály, které se pohybují od 5 Hz do 1 MHz [20], se používá HSC – vysokorychlostní čítač. Používá se proto, že by tak vysoké frekvence nedokázalo CPU zpracovat, nebo by jimi bylo příliš zatíženo. CPU z HSC získává buď aktuální stav čítače, nebo stavovou informaci. [21]

*Tabulka 2 Standardní logické úrovně [19]*

TECHNOLOGIE	LOGICKÁ ÚROVEŇ [V]	
	Nízká	Vysoká
<b>TTL</b>	0 – 0,8	2,0 – 5,0
<b>HTL</b>	0 – 1,0	3 – 5,0

Čítač může pracovat v několika módech: [21]

- **Jednofázové zapojení** – k HSC je připojen jeden kabel, po kterém přichází data ze senzoru např. přiblížení. Pomocí jednofázového zapojení je možné posílat informaci o směru pohybu, ta ale musí být zakódovaná.
- **Dvoufázové zapojení** – k HSC jsou připojeny dva kabely. Jsou tři způsoby, jak tyto dva kabely využít:
  - **Způsob 1:** kabel A přičítá a kabel B odčítá;
  - **Způsob 2:** kabel A posílá pulzy a kabel B udává směr;
  - **Způsob 3:** kabel A a kabel B jsou proti sobě fázově posunuté, podle toho, která fáze předbíhá se určí směr počítání;

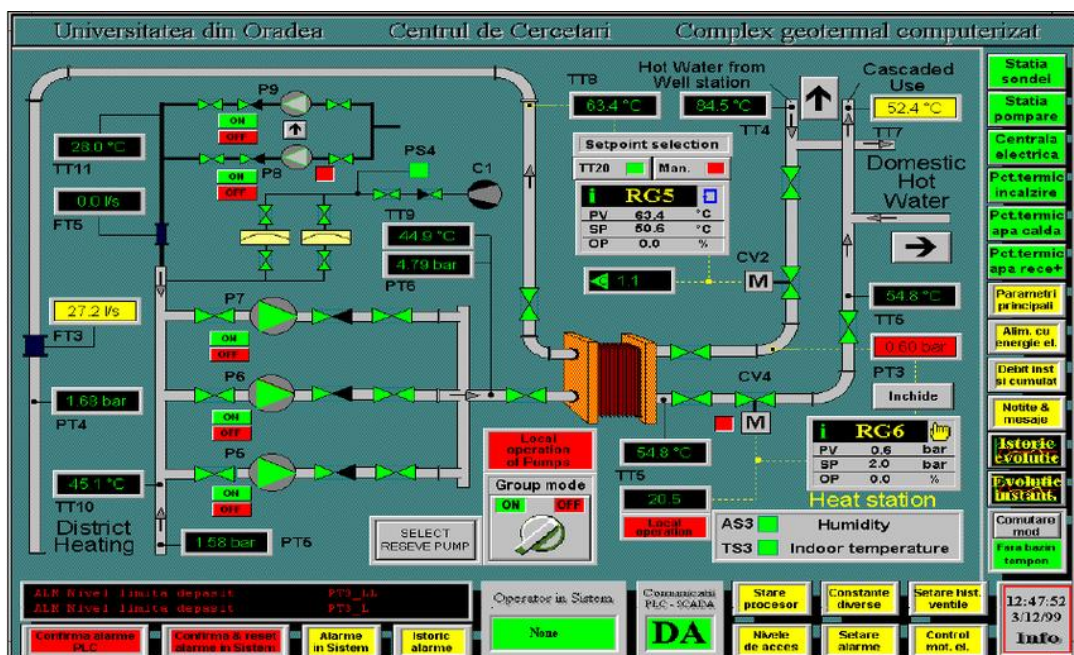
### 3.3 Způsoby ovládání

V současnosti jsme na takové úrovni, kdy se celé technologické procesy provádí automaticky skoro bez zásahu člověka. Avšak, i zde je člověk stále nepostradatelný. Kontroluje, i když ne jednotlivé části, tak alespoň celky a řeší problémy, které by zatím bylo příliš drahé zautomatizovat, nebo se na ně při návrhu automatizovaných procesů nepomyslelo.



## HMI a SCADA

Ke komunikaci mezi člověkem a strojem slouží tzv. „rozhraní mezi člověkem a strojem“ (HMI – *angl. Human Machine Interface*). HMI umožňuje člověku zadávat příkazy, a z druhé strany dokáže zobrazovat aktuální stav. HMI mají různou podobu podle prostředí a podle toho, na co se používají. Obrazovka na PLC s tlačítky je jednoduchý způsob, jak s PLC interagovat. Existují sofistikované systémy sestávající z hardware i software, kterým se říká SCADA (*angl. Supervisory Control and Data Acquisition*). Tyto systémy shromažďují data ze senzorů a PLC, aby je všechny mohly přehledně zobrazit na jednom místě, viz obr. 7. [22; 23; 24]



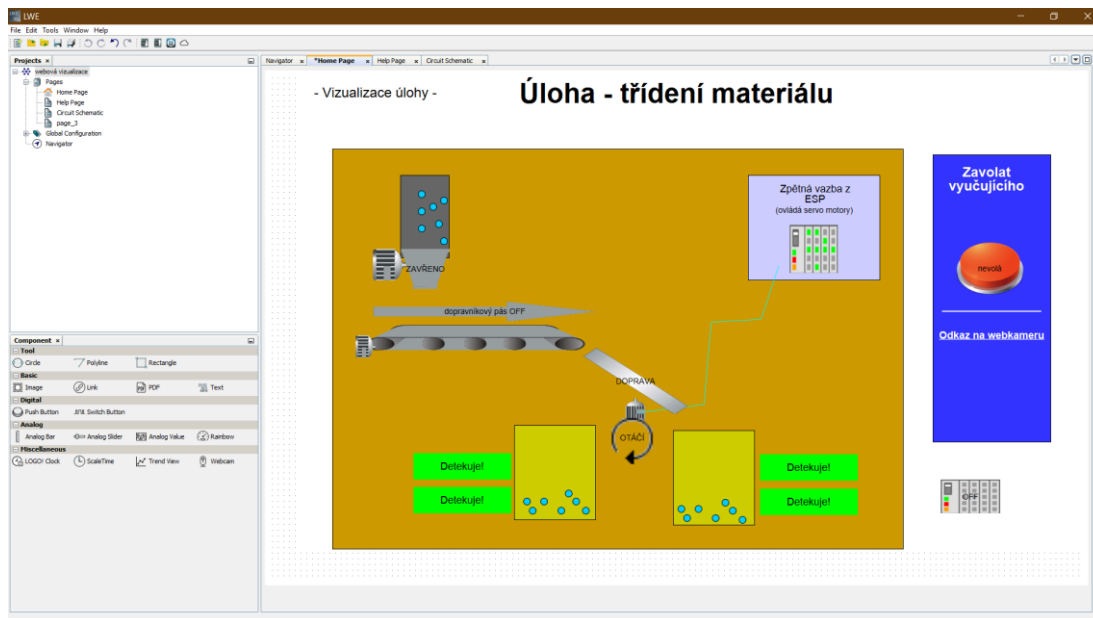
Obrázek 7 SCADA systém [24]

## Vzdálené ovládání

Všechny tyto systémy musejí být zabezpečené, proto se k nim většinou není možné dostat mimo lokální síť (LAN – *angl. Local Area Network*). Pro relativně velmi bezpečný přístup přes otevřený internet se používá virtuální privátní síť (VPN – *angl. Virtual Private Network*). Funguje jako tunel mezi zařízeními na jedné straně a sítí v továrně na straně druhé. Mimo lokální síť je vidět pouze vnější tunel čili je vidět probíhající komunikace mezi dvěma body, ale obsah komunikace je bezpečně zašifrovaný, většinou pomocí 256bit nebo 512bit asymetrického AES šifrování. [25; 26]

## Webové rozhraní

Implementovat jednoduchý SCADA systém je možné přímo do PLC. Novější PLC, např. LOGO! 8, mají integrovanou možnost vytvořit základní webové rozhraní, na které je možné se připojit nezabezpečeně přes HTTP nebo zabezpečeně přes HTTPS. Zobrazit takovou webovou stránku je možné na většině zařízení, jako jsou počítače a telefony. V posledních pár letech se začaly hodně používat tablety, ze kterých se mohou technici připojit k webovému rozhraní PLC uvnitř továrny a například provádět diagnostiku, údržbu, nebo opravu. [27] Na obr. 8 je vidět software LOGO! Web Editor (LWE), který se používá na vytvoření a nahrání webové stránky do PLC LOGO!. Aby bylo možné nahrát a spustit na PLC LOGO! webový server, musí být do něj vsunutá SD karta.



Obrázek 8 Siemens LOGO! Web Editor (LWE)

## IP kamera

Kromě toho, že je možné se na dálku podívat na webovou stránku PLC, na které je vidět aktuální stav tak, jak ho vidí PLC, je často potřeba se podívat i vizuálně. Existují vzdálená místa, kde se člověk často nepohybuje a procesy jsou řízeny automaticky, nebo na dálku. Například v jaderných elektrárnách se při běžném provozu nemůže vstoupit do prostoru s jaderným reaktorem. Toto prostředí bývá ve vakuu a hrozí zde člověku nebezpečí z ozáření. Pro kontrolu a ovládání procesů se proto používají na dálku ovládaná a monitorovaná PLC. [28]

IP kamery lze integrovat do webové stránky PLC, což umožňuje jejich využití pro vzdálenou výuku. Logiku programovanou do PLC lze sledovat v reálném čase. Pokud se využívá rychlého a stabilního připojení, pak je zpoždění obrazu v řádu jednotek sekund. To umožňuje studentům sledovat výsledky své práce na vlastní oči.

### 3.4 Programování

PLC může být naprogramováno pomocí standardního počítače a softwaru na programování PLC. Většina automatizačních počítačů a automatů s pevným časem operačního cyklu se programuje podobným způsobem. Kdyby firma používala PLC od více než jednoho výrobce, tak by se musela pro každý naučit jiný způsob programování a diagnostikování. Proto se zavedly normy, které sjednocují a tím i zjednodušují kompatibilitu mezi výrobci. Způsoby programování PLC jsou upraveny normou IEC 1131-3 (v evropské legislativě s označením IEC EN 61131-3). [29] Tato norma definuje pět jazyků na programování PLC, viz tab. 3. Tři z nich pro programování používají grafické rozhraní (LD, FBD, SFC), zbylé dva používají textové rozhraní (IL, ST). [4; 7; 30]

*Tabulka 3 Programovací jazyky specifikované v normě IEC EN 61131-3*

ZKRATKA	ANGLICKÝ NÁZEV	VHODNÝ NÁZEV V ČEŠTINĚ
<b>LD</b>	Ladder Diagram	Reléové schéma Jazyk příčkového diagramu
<b>FBD</b>	Function Block Diagram	Jazyk funkčního blokového schématu
<b>IL</b>	Instruction List	Jazyk seznamu instrukcí
<b>ST</b>	Structured Text	Strukturovaný text
<b>SFC</b>	Sequential Function Chart	Sekvenční funkční diagram

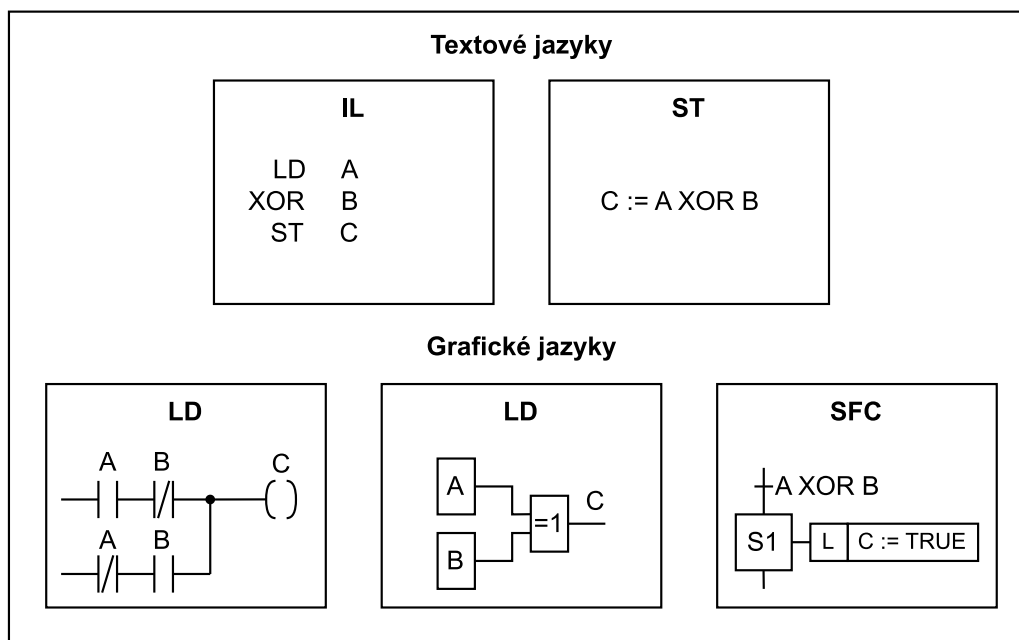
Historicky nejpoužívanějším programovacím jazykem je LD (reléové schéma). Předtím, než se začala používat PLC, tu byly reléové řídicí systémy. Lidé je už uměli používat a okolí jim bylo přizpůsobeno. Nicméně jiné programovací jazyky, jako například FBD nebo ST, nabízejí sofistikovanější nástroje. Na obr. 9 je vidět implementace jedné funkce v různých jazycích. [4]

## Ladder Diagram

PLC jsou také používána inženýry, kteří nemají zkušenosti s programováním. LD je grafický programovací jazyk. Pro vytvoření programu stačí umět sestavit logický obvod z relé, protože v jeho grafické podobě vypadá podobně jako obvod z relé. Jeho výhodou je jednoduchost, což je i jeho nevýhodou. Při vytváření složitějších logických funkcí je nepřehledný. Je vhodný pro zpracování většího množství signálů. [7; 31; 32]

## Function Block Diagram

Další grafický programovací jazyk. Skládá se z bloků, které se navzájem propojují. Funkce mají podobu hradel, jsou k dispozici bloky znázorňující logické operace (AND, OR, NOT atp.), speciální funkce, které v sobě musí PLC mít zabudované, např. časovač a další. Podle toho, kolik má funkce vstupů a výstupů, tak tolik má i funkční blok vstupních a výstupních signálů. [7; 32]



Obrázek 9 Způsoby programování PLC

## Sequential Function Chart

SCF není technicky programovací jazyk, ale způsob, jak program graficky rozdělit a zobrazovat. Sestává z propojených bloků znázorňujících funkce, které jsou naprogramované v ostatních jazycích definovaných v IEC 1131-3. Je vhodný při realizaci

sekvenční logiky. Tento přístup umožňuje koordinovat velké a komplikované programové procesy do procesů menších a přehlednějších. SFC přebírá základní prvky z GRAFCET. [7; 33]

### **Instruction List**

Seznam instrukcí (IL) je textový zápis programu, podobný nízko-úrovňovému jazyku jako je assembler. Skládá se z posloupnosti základních instrukcí. Výhodou použití IL oproti grafickým programovacím jazykům je to, že je rychlý a efektivní, používá také méně paměti. Používá se proto v případech, kdy je potřeba, aby byl operační cyklus co nejrychlejší. Nevýhodou je, že je složitý na naprogramování a udržování. [7; 32]

### **Structured Text**

Textový programovací jazyk vyšší úrovně, podobný programovacímu jazyku C, nebo Pascal. Použitím ST na naprogramování procesu do PLC umožňuje programu být strukturovaný, tudíž přehlednější. Části kódu se mohou opakovat použitím funkcí. Je vhodný pro práci s databázemi, řetězci a složitými algoritmy. Nehodí se pro práci s větším množstvím digitálních signálů. [7; 32]

## **3.5 Zabezpečení**

Nové průmyslové systémy jsou díky svým schopnostem vnímání pomocí senzorů, komunikace po síti a výpočetních schopnostech lépe než kdy předtím schopny propojit kybernetický prostor s tím fyzickým do uzavřené smyčky. Bohužel se tím otevírá příležitost nepřátelům, kteří mohou tyto technologie využít k často skoro neviditelným, ale ničivým útokům. [34] Jeden takový útok byl proveden USA a Izraelem proti íránským jaderným zařízením. Virus, kterému se říká Stuxnet, byl přenesen do jaderného zařízení a tam pomocí SCADA a PLC nepozorovaně změnil rychlost otáčení plynových centrifug na separování jaderného materiálu, čímž způsobil jejich selhání. [35]

Způsobů, jakými se tomu bránit je mnoho, ale žádný z nich není dokonalý. Nejjednodušším způsobem je vytvořit vzduchovou mezeru mezi interní sítí a vnějším světem, nebo alespoň DMZ – demilitarizovaná zóna. [36] Přes vzduchovou mezeru je možné se dostat jedině fyzicky. Stane se buď, že jeden ze zaměstnanců nahrál úmyslně škodlivý virus do sítě. Nebo, například pomocí malware, se virus dostane do telefonu zaměstnance.

Ten ho pak nevědomky přenese dovnitř. [37] Proto je zapotřebí neustále své zaměstnance školit a platit firmám, které provádějí penetrační testy, aby neustále hledaly skulinky v zabezpečení. V případě webového rozhraní je přinejmenším nezbytné mít nastavené silné přístupové heslo, o délce alespoň 15 znaků [38] a zabezpečený přenos pomocí protokolu HTTPS, skrz VPN.

### 3.6 Automatizační hardware

PLC nejsou první, ani jediná varianta pro automatizaci procesů. Možností je celá řada a záleží na parametrech daného použití, jaká varianta se použije. V průmyslu je důležitější spolehlivost a robustnost než nízká cena. Pro domácí automatizaci stačí levnější varianta s většími možnostmi přizpůsobení.

Nevyčerpávající seznam alternativ je: programovatelný automatizační ovladač (PAC – *angl. Programmable Automation Controller*), vzdálená telemetrická jednotka (RTU – *angl. Remote Telemetry Unit*), programovatelné logické relé (PLR – *angl. Programmable Logic Relays*), průmyslový osobní počítač (IPC – *angl. Industrial Personal Computer*), časovač vačky (*angl. cam timer*), mikrokontroler, jednodeskový počítač, PID ovladač, Arduino, Raspberry Pi, ESP.

#### PAC

Programovatelný automatizační ovladač, je relativně nová technologie, byl představen okolo roku 2000. PAC je ve většině případech dalším stupněm na vývojovém žebříčku automatizačních zařízení. Začleňuje funkcionalitu tradičního PLC, ale umožňuje sofistikovanější programování a má více funkcionalit, periferních kapacit a paměti. PAC je komplexnější systém, pro případy, kdy je potřeba rozsáhlejší IO konektivita. PAC systémy již v sobě mají integrované schopnosti propojování, ať už se jedná o komunikaci po síti, nebo záznam dat na USB disk. Často také dokážou nativně interagovat s databázemi. PAC je vidět na obr. 10. [39; 40]

## RTU

Vzdálená telemetrická jednotka, je varianta PLC, která se používá ve vzdálených místech, viz obr. 10. Většinou má nízký výkon a funguje jako komunikační spojka mezi vzdáleným místem a centrálním ovládacím systémem (typicky SCADA). Protože většinou komunikuje přes nespolehlivou rádiovou komunikaci, umožňuje RTU zprávy ukládat do vyrovnávací paměti, kde k nim připojí časové razítko. Zprávy poté odešle, až když bude znovu navázáno spojení. [23]

I když se většinou používá jako spojka mezi PLC a SCADA, může se samotné RTU díky svým vlastním IO portům a možnosti programování pomocí jazyků definovaných v IEC 61131-3 použít jako samostatné zařízení, schopné přijímat signály a ovládat další zařízení. [23]



*Obrázek 10 PAC (vlevo) [41] a RTU (vpravo) [42]*

## PLR

Programovatelné logické relé, jsou jako PLC, ale s méně vstupy a jsou primárně používané v lehkém průmyslu s potřebou automatizovat menší počet procesů, viz obr. 11. Umožňují vysokoúrovňové algoritmické ovládání automatizace. Není je možné škálovat jako PLC. [23]

## IPC

Průmyslové osobní počítače jsou přímo stavěné pro průmyslové aplikace a do průmyslového prostředí, viz obr. 11. Dokážou přežít prostředí s extrémními teplotami,



zvýšenou prašností a otřesy. Charakteristické vlastnosti pro průmyslové PC jsou bezlopatkové chlazení, odolnost vůči vibracím, otřesům a vlhkosti.

Malé množství IO portů je integrováno přímo na základní desce, možné je také přidání rozšiřující karty s dalšími IO porty. Software, který se může použít na naprogramování logiky je například *LabView*, *Labtech Notebook*, *Wonder Ware* nebo *TwinCAT*.

[43; 44]



Obrázek 11 PLR (vlevo) [45] a IPC (vpravo) [46]

## Časovač vačky

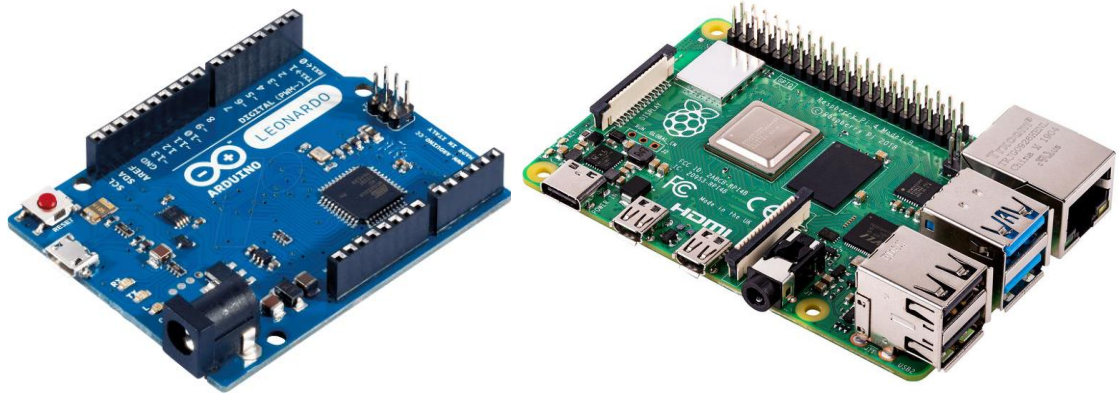
Časovač vačky je zařízení podobné *automatofonu*. Používaly se například v myčkách. Paul Reed o něm napsal, že je to mechanické zařízení poháněné elektřinou, které ovládá řadu spínačů pohybem otočného kola nebo vačky. Tyto časovače byly široce používány před vynálezem digitálních programovatelných časovačů. Vačkové časovače jsou užitečné, když je třeba stroj nebo proces řídit v sérii kroků, které se vyskytují jeden po druhém. [47]

## Arduino

Arduino je open-source platforma vytvořená pro stavění elektronických projektů, viz obr. 12. Arduino je tvořené z fyzického programovatelného obvodu a vývojového prostředí na počítač (IDE – *angl. Integrated Development Environment*). Výhoda Arduina oproti jiným podobným projektům je ten, že na nahrání softwaru není potřeba dodatečného hardware (programátoru). Stačí napsat program ve zjednodušené verzi C++ a nahrát jej na desku pomocí Arduino IDE. Oproti PLC není Arduino tak robustní a spolehlivé. Pro



prototypy a domácí použití je však dostačující a k jeho popularitě přispívá jeho velmi nízká cena. Arduino je vytvářeno v mnoha provedeních, s různými počty IO portů, tvarech, velikostech a dalších parametrech. [48; 49]



*Obrázek 12 Arduino (vlevo) [50] a Raspberry Pi (vpravo) [51]*

## **Raspberry Pi**

Stejně jako Arduino bylo Raspberry Pi vytvořeno jako výukový nástroj, viz obr. 12. Na rozdíl od PLC běží na Raspberry Pi operační systém Linux. Jeho využití je velmi rozšířené. Může se například použít jako levný počítač, na vytvoření domácího serveru, nebo se může použít na automatizaci domácnosti. Často se používá společně s Arduinem, kdy Raspberry Pi ovládá více Arduino. Do průmyslového prostředí se nehodí, není na to dostatečně spolehlivé a robustní. Při špatném vypnutí se může poškodit. [48]

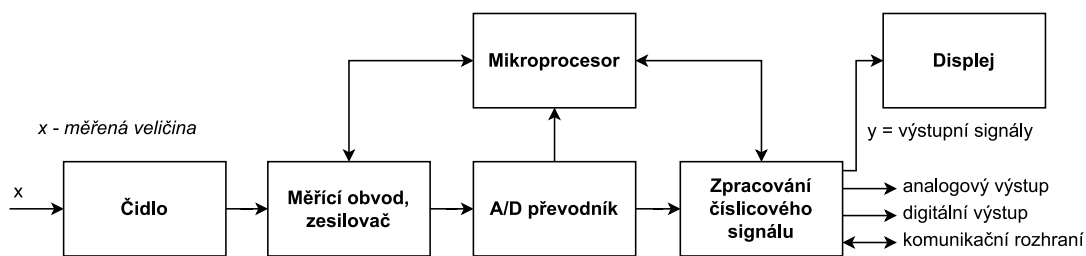
## **3.7 Senzory**

Automatický, ne-li autonomní systém je samo-regulující se entita, která získává zpětnou vazbu z prostředí pomocí senzorů. [52; 53; 54; 55] Systém pomocí senzorů zjišťuje aktuální stav. Stav výšky hladiny v nádrži, teploty svářeného spoje, zrychlení a natočení robotického ramene atd. Data získaná ze senzorů se zpracovávají (např. v PAC) a na jejich základě se provádí akce v podobě akčních členů, viz kapitola 3.8 Akční člen. [56]

Na začátek je užitečné definovat si pár základních pojmů: [57; 58]

- **Senzor** – je zařízení, které převádí měřenou veličinu na elektrickou veličinu, skládá se z měřicího řetězce;
- **Inteligentní senzor**

- je senzor s možností kalibrace a nastavování, může v něm být integrované HMI;
- umožňuje oboustrannou komunikaci po sběrnici, diagnostiku a korekci chyb;
- výstup může být stavový, analogový, nebo číslicový;
- **Čidlo** (snímač) – je vstupní část senzoru, která provádí převod měřené veličiny;
- **Detektor** – je zařízení, které zjišťuje přítomnost nějakého fyzikálního jevu;
- **Hlídač** – je pojistné zařízení, které automaticky signalizuje nebezpečí poruch;
- **Hlásič** – je zařízení, které odhaluje nebezpečí, např. pohyb, požár;
- **Měřicí řetězec** – sekvence jednotlivých prvků mezi čidlem, který je prvním prvkem a vyhodnocovacím zařízením, viz obr. 13;
- **převodník** – prvek, který (převádí) vstupní veličinu na vhodnou výstupní veličinu, příkladem může být převod analogového signálu z čidla na digitální signál pomocí analogově-digitálního převodníku (ADC – *angl. Analog to Digital Convertor*);



Obrázek 13 Měřicí řetězec senzoru; vzor: [57]

### 3.7.1 Pomocné obvody

Měření je ovlivňováno ze všech stran, vnějšími vlivy (např. teplota prostředí), měřícím obvodem, senzorem atp. Samotné senzory nemají přesně lineární charakteristiku. Často je dokonce silně nelineární, což také ovlivňuje přesnost měření. Proto, aby se minimalizovaly nejistoty se používají pomocné obvody. [59; 60]

Pomocné obvody pomáhají při měření v mnoha různých ohledech. Jsou kompenzační obvody, které kompenzují nežádoucí vlivy při měření a snižují tak nejistotu měření. Řadí se sem také linearizační obvody, které se používají pro linearizaci výstupní charakteristiky snímačů. Měřicí můstky zase umožňují snadno měřit elektrickou veličinu (např. odpor, nebo kapacita) pomocí známých prvků. [59; 60]

### 3.7.2 Kompenzační obvody

Kompenzační obvody kompenzují chybu vzniklou při měření a snižují tak vzniklou nejistotu měření. Příkladem mohou být tyto tři způsoby kompenzování chyb při měření: [59; 60]

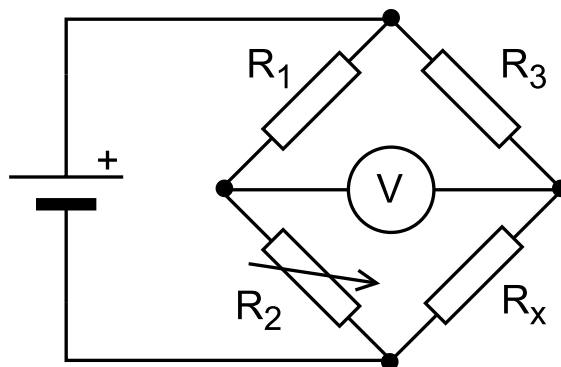
1. **Metoda kompenzačního senzoru** – spolu s hlavní snímanou veličinou, se snímá další veličina, která ovlivňuje hlavní měření. Například výstupní charakteristika tenzometru je závislá na teplotě. Proto se spolu s deformací měří teplota, aby se mohl její vliv na měření zkompenzovat;
2. **Metoda diferenčního senzoru** – dva stejné senzory s identickými charakteristikami se zapojí do obvodu s opačnou polaritou. Zatímco se tímto obrátí polarita měřené veličiny, polarita chyby zůstane stejná. Díky tomu je možné chybu z měření jednoduše odečíst;
3. **Zpětnovazební kompenzace** – v tomto případě je zpět do vnitřního obvodu senzoru zavedená zpětná vazba z jeho výstupu;
4. **Linearizační obvody** – linearizace výstupu se provádí například pomocí mikročipu a charakteristiky uložené v ROM;

### 3.7.3 Měřicí můstky

Používají se při přesném měření elektrických veličin, a to odporu, kapacity a indukčnosti. Můstek je složený ze dvou větví. V jedné větvi je zapojený prvek s neznámou měřenou veličinou. Pokud jsou vlastnosti obou větví stejné, teče jimi stejný proud a je mezi nimi tudíž nulové napětí, viz schéma *Wheatstoneova můstku* na obr. 14. Můstky jsou přesné pouze v úzkém rozsahu, místo jednoho pevného prvku se proto zapojuje jeden přepínatelný. [61]

Typy můstků: [61]

- Stejnoseměrné
  - Wheatstoneův můstek – měření malých odporů;
  - Thomsonův můstek – měření velmi malých odporů;
- Střídavé
  - De Sautyho můstek – měření kapacity;
  - Maxwellův můstek – měření indukčnosti nebo kapacity;



Obrázek 14 Wheatstoneův můstek

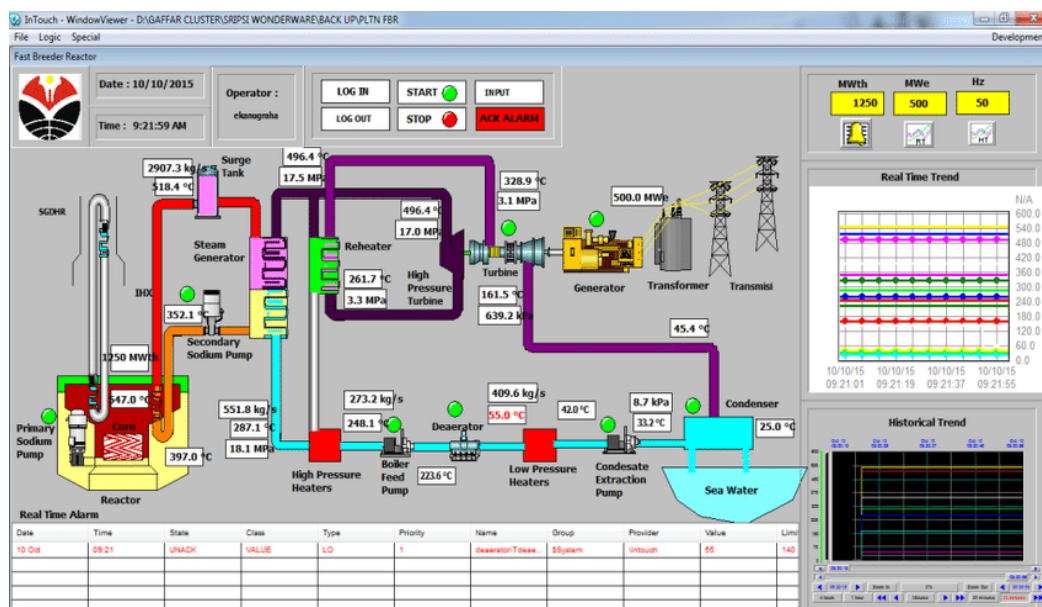
### 3.8 Akční člen

Akční člen, nebo také aktuátor je část mechatronického zařízení, které provádí zadané příkazy. Mechatronické zařízení jsou zařízení, které převádí nějaký druh energie - pneumatický, hydraulický, elektrický na mechanický pohyb. Příkazy mohou být zadávané buď manuálně, nebo se mohou řídit pomocí počítačových systémů, např. PLC. [62; 63]

Pomocí akčních členů se v automatizačním systému rozpočívají věci. Akční členy jsou většinou použité spolu se senzory, které umožňují například určovat polohu, tlak, rychlost, kterou akční člen ovlivňuje. [62] Pokud jsou senzory pro automatizační systém to, co smysly pro lidi, pak se může říct, že akční členy jsou pro automatizační systém to, co svaly pro lidi. Systém pomocí ultrazvukového senzoru pozná, že je na dopravníkovém pásu výrobek, pomocí akčního členu (dopravníkového pásu) ho přesune k robotickému ramenu atd.

### 3.9 Vizualizace

Vizualizace v průmyslu má za cíl znázornit stavy a informace pomocí komunikačních, technických prostředků. Stále se navyšuje počet a komplexita informací, které je potřeba zobrazit. Zlepšením vizualizace se zvyšuje efektivita procesů. Vizualizace je o to důležitější v provozu, kde lidé spolupracují se synchronními a plně automatizovanými stroji. Aby se díky použití synchronních strojů zrychlily procesy, je potřeba, aby se informace o aktuálním stavu co nejjednodušším způsobem dostala k pracovníkovi. [22; 23]



Obrázek 15 Vizualizace pomocí SCADA na PC [64]

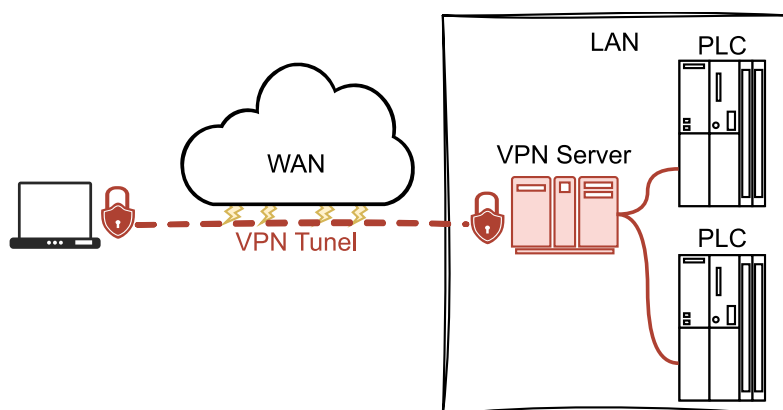
Lidé si jednodušeji představí hodnotu pomocí grafické vizualizace než číselného údaje. Proto se ve vizualizacích často objevují grafy, obrázky představující zjednodušenou realitu – nádrž, která se naplňuje apod. Informace se mohou zobrazovat na různých zařízeních: obrazovka integrovaná na PLC, SCADA viz obr. 15, tablet / telefon, tabule atp. [22; 23]

### 3.10 VPN

VPN (Virtual Private Network) je technologie, která umožňuje zařízením komunikovat mezi dvěma body na síti pomocí šifrovaného tunelu. Ten zprostředkovává pro třetí strany téměř neprolomitelný, a tudíž soukromý přenos dat. Šifrovaný tunel propojuje zařízení

s VPN serverem. Zabezpečená je pouze komunikace uvnitř tunelu, před komunikujícím zařízením a za VPN serverem je třeba komunikaci dále zabezpečit, viz obr. 16. [26; 65]

Jsou různé možnosti nastavení VPN, záleží na požadovaném použití. VPN server může být v lokální síti firmy a umožňovat tak zaměstnancům bezpečnou práci s citlivými daty. Nebo se VPN často používá na obcházení geografických omezení. Pokud se VPN server nachází v Japonsku, pak se všechna zařízení, komunikující skrz daný VPN server tváří, jako kdyby se také nacházela v Japonsku.



Obrázek 16 Zabezpečená komunikace přes VPN

V průmyslu se VPN často používá pro tyto účely:

- Šifrovaný přenos dat – VPN umožňuje přenášet citlivé informace, tak aby se k nim nedostaly nepovolané osoby
- Zabezpečený vzdálený přístup k průmyslovým zařízením – technici a inženýři se mohou přes VPN připojit na vzdálené průmyslové zařízení (např. PLC). To umožňuje vzdálené diagnostiku, základní opravy a monitorování.
- Kontrola přístupu – přístup do lokální sítě se řídí a kontroluje pomocí přístupu přes VPN.
- Vzdálená práce – možnost práce na dálku zvyšuje efektivitu a mobilitu

### 3.10.1 Rozdíl mezi VPN a Proxy serverem

Proxy server funguje jako prostředník mezi zařízením a internetem. Například zařízení pošle Proxy serveru požadavek na zobrazení webové stránky. Ten požadavek pod svou vlastní IP adresou pošle na webový server. Zpětná komunikace jde zase přes Proxy server. [66]

Může se použít jako způsob ovládní a monitorování přístupu k webovým stránkám, slouží tedy jako takový webový filtr. Proxy server umožňuje ukládat do mezipaměti často navštěvované webové stránky, a tak zvyšovat rychlost připojení. Komunikace mezi Proxy serverem a koncovým zařízením také může být šifrována. [66]

V mnoha ohledech fungují Proxy server a VPN podobně a je možné je použít v podobných případech. VPN je vhodné použít v případě, kdy je potřebná vyšší bezpečnost a soukromí. Proxy server pak pokud je požadována vyšší rychlost.

Hlavní rozdíly mezi VPN a Proxy serverem jsou:

- Šifrování pomocí VPN je bezpečnější;
- VPN zvyšuje rychlost kompresí dat;
- Proxy server může být rychlejší, protože nemusí šifrovat komunikaci;
- Proxy server může monitorovat a filtrovat přístup k webovým stránkám;

### **3.10.2 Bezpečnostní model nulové důvěry**

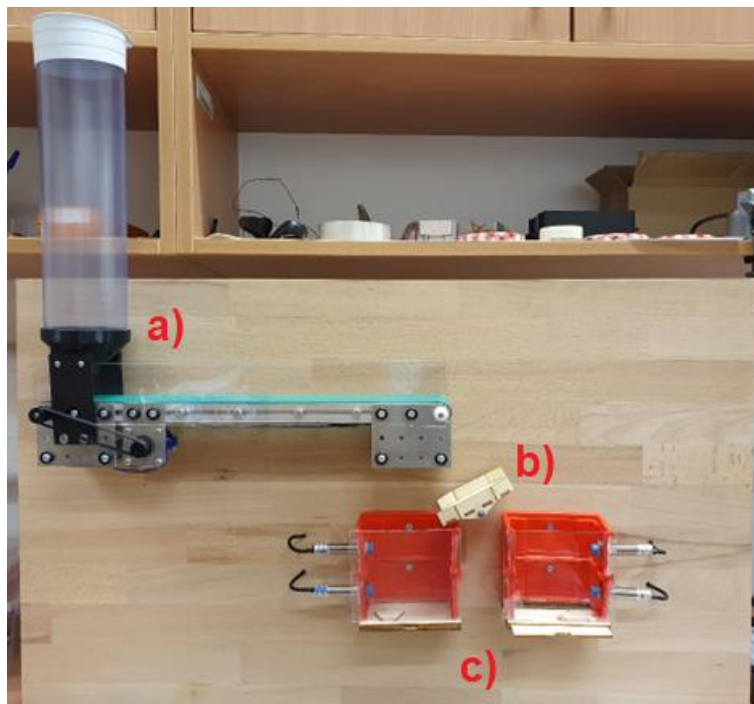
Bezpečnostní model nulové důvěry, z anglického „*Zero Trust Security Model*“, popisuje přístup k návrhu a implementaci informačních systémů. Hlavní myšlenkou tohoto bezpečnostního modelu je, že by se nemělo věřit vůbec žádnému zařízení. I když přistupuje přes VPN, nebo LAN. Zaručené přístupy nemá ani zařízení, které už se v minulosti připojilo. Každé zařízení se musí bezpečně identifikovat. Neexistují žádná defaultní práva na připojení [2].

Po zařízeních, které se připojují do sítě může být požadováno: autentizace uživatele, autentizace stroje, kontrola bezpečnosti zařízení (např. antivirus), autorizace k přístupu, zabezpečení zařízení (např. přístupové heslo). [2]

## 4 Analýza úlohy

Tato úloha bude sloužit jako pomůcka při studiu v předmětu automatizace. Jejím cílem je seznámit studenty s návrhem a implementací řídicího programu, se kterým by se setkali v průmyslu. Díky této úloze si mohou vyzkoušet, jak funguje reálné PLC, nejen to simulované softwarově. Poznají, jak propojit senzory a akční členy k PLC přes jeho IO moduly.

V současném stavu není úloha připravená k výuce. Specifické nedostatky budou popsány později. Obecně je možné říct, že se úloha, která je vidět na obr. 17, nachází v prototypové fázi. Je vytvořena z materiálu, který neopatrné zacházení nevydrží dlouho. Není vymyšlený mechanismus, který by zadržoval materiál v zásobníku, aby se najednou celý nevysypal na pás, viz obr. 17 a). Mechanismus, který má určovat, do které nádoby bude materiál padat, je rozbitý a jeho nesprávným použitím je možné poškodit část úlohy, viz obr. 17 b). Vyjímatelné části zásobníků a jejich část, za kterou se spodní část vyndává, jsou ze dřeva, které je vlivem dosavadního používání poškozené.



Obrázek 17 Akční část před úpravami. a) zásobník, b) třídící klapka, c) zásobník

K úloze není vypracovaný protokol, ve kterém by byly specifické informace, které student potřebuje pro tuto úlohu. A ve které by byla část, kterou by student musel vyplnit a tím dokázat, že se s danou problematikou seznámil. Úloha také postrádá referenční



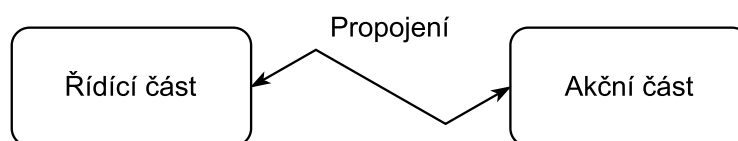
program, který by sloužil pro demonstraci fungování úlohy a jako vzor pro učitele. Úloha není připravena na vzdálenou výuku, chybí jí také vizualizace ve webovém prostředí PLC.

Praktická výuka je důležitou částí studia a bez ní by nemohl být student plně připraven na fungování v reálném průmyslovém prostředí. Aby si mohl každý student sám vyzkoušet práci s PLC, je potřeba, aby bylo k dispozici dostatečné množství úloh. K tomu je vhodné použít menší úlohy, které sice rozměrově neodpovídají reálnému prostředí, avšak jejich cena a velikost odpovídají možnostem a potřebám výuky na vysoké škole.

Předtím, než se student začne učit s touto úlohou, tak by měl vědět, jak funguje PLC a jaké jsou možnosti programování. Dále by měl vědět o fungování periférií, jejich principy, parametry, způsob ovládání apod. Nezbytné je, aby měl student základy logiky, které jsou potřeba pro správné vytvoření programu. Uvedené předchozí znalosti mu pomohou k lepšímu pochopení celého procesu od návrhu po testování svého programu.

#### 4.1 Složení úlohy

Jak je vidět na obr. 18, analyzovaná úloha se skládá ze dvou vzájemně propojených částí, a to z části řídicí a části řízené. Řídicí část je mozek celého systému, která ovládá řízenou část. Ta simuluje část průmyslového procesu. Rozdělením těchto dvou částí od sebe vzniká modulární systém, který je možné s minimálními úpravami zaměňovat. Pokud se například jedná část poškodí, není nic jednoduššího než po dobu opravy tuto část vyměnit za jinou, která je funkční.

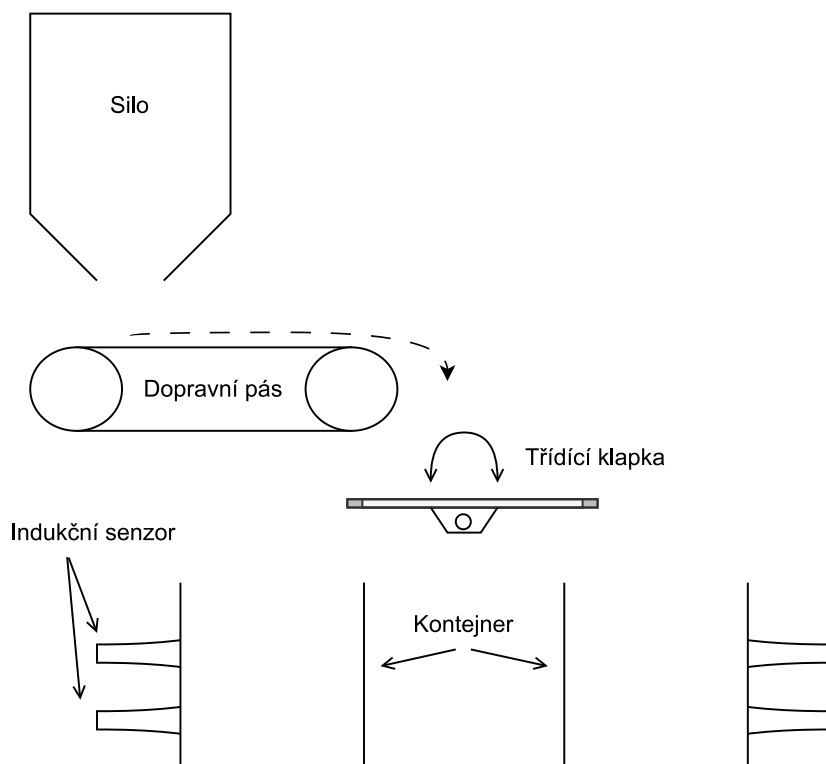


Obrázek 18 Rozdělení úlohy na části

Díky tomuto provedení je také možné vytvořit více různých variant částí, které simulují průmyslový proces a tím přinést diverzitu do výuky. Protože je řídicí část poměrně drahá, tak stačí, když je k dispozici dostatečný počet řídicích částí pro potřeby výuky v hodině. Pro jiné úlohy v dalších hodinách je pak možné pokaždé vyměnit řízenou část, za část, která se bude využívat v dané hodině.

## 4.2 Způsob provedení akční části

Tato část úlohy simuluje postupné vyprazdňování zásobníku do dvou nádob. Jak je vidět na obr. 19, materiál se ze zásobníku přesouvá pomocí dopravního pásu. Nádobu se nemohou plnit najednou. Nejdříve se plní jedna nádoba, a poté se pomocí otočení třídící klapky změni plněná nádoba. Zásobník není možné zavřít, proto jakmile se do něj nasype materiál, je potřeba zapnout program a nechat ho běžet do té doby, dokud se zásobník nevyprázdní. V nádobách se nachází indukční senzory, které se mohou použít na určení výšky hladiny.

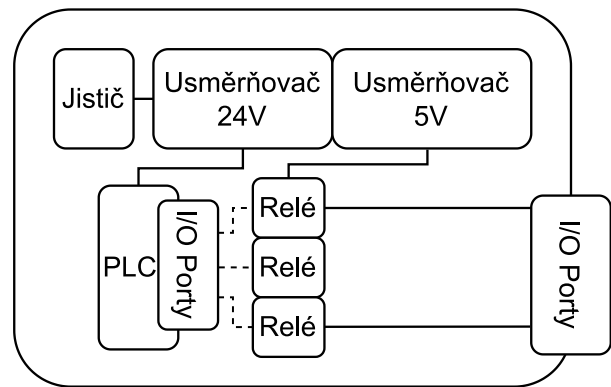
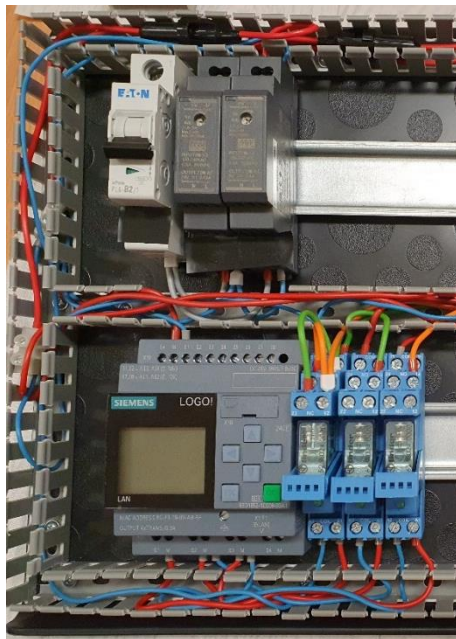


Obrázek 19 Schéma akční části úlohy

Všechny komponenty jsou přidělané na dřevěné desce, což je vidět na obr. 19. V zadní části se nachází vývody kabelů a motor, který ovládá třídící klapku. Při používání úlohy pak kabely v přední části nepřekázejí. Komponenty jsou přehledně přidělané a většina částí, které by úlohu zakrývaly jsou průhledné. Díky tomu jsou jednotlivé operace přehledné, tak jak by tomu mělo být průmyslovém prostředí.

### 4.3 Způsob provedení řídicí části

Tato část úlohy je centrálním prvkem systému. Celá tato část, která je vidět na obr. 20, je připevňována na plastové desce. Ta je vytvarovaná tak, aby byla celá řídicí část úlohy nadzvednutá a tím lépe viditelná ze strany, když například student, pracující na úloze, sedí. Po stranách a uprostřed jsou prostory, do kterých je možné schovat kabely a ty následně uzavřít krytem. Schování kabelů zamezí jejich poškození a také sníží riziko kontaktu živého vodiče s kůží. To je obzvláště důležité, protože se do úlohy zapojuje 230 V AC.

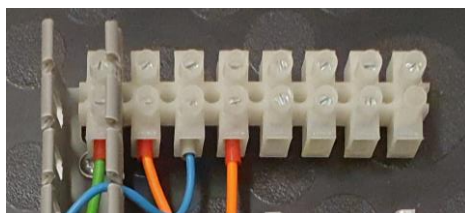


Obrázek 20 Řídicí část úlohy – fotografie (vlevo), schéma (vpravo)

Jak je vidět na schématu řídicí části na obr. 20, nachází se zde zdroj elektrické energie. Ta je připojená přes jistič, který slouží také jako hlavní vypínač celého systému. Protože je pro fungování PLC, použitých senzorů a akčních členů potřeba zdroj stejnosměrného proudu, usměrňuje se pomocí usměrňovačů elektřina ze zásuvky 230 V AC na 24 V DC a 5 V DC. V dolní části obr. 20 je PLC a tři relé. Relé jsou ovládaná pomocí PLC, slouží ke spínání akčních členů. Na PLC se nachází IO porty, kterými se v tomto případě ovládají relé a pomocí kterých se do PLC dostávají data z připojených senzorů.

## 4.4 Způsob propojení řídicí a akční části úlohy

Způsob propojení je naznačený, ale není plně implementovaný. Řídicí a akční část budou propojené pomocí kabelů vedoucích z akční části. Ty se připojí k řídicí části pomocí portů, které jsou vidět na obr. 21. V současném stavu není počet portů dostatečný k tomu, aby se mohly připojit všechny akční prvky a senzory. Ze strany řídicího PLC nejsou k portům ani vyvedeny všechny potřebné kabely.



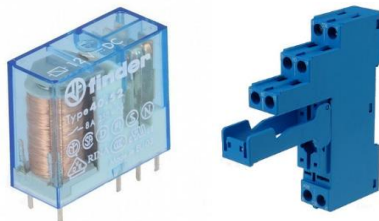
Obrázek 21 Porty, které se mohou použít na propojení částí úlohy

## 4.5 Akční členy

Použité akční členy jsou relé a motory. Relé se nachází v řídicí části úlohy, motory jsou přidělané na dřevěné desce akční části. Relé jsou použité proto, že řídicí PLC pracuje na 24 V a motory na 5 V. PLC tedy spíná okruh pro motory pomocí relé, které tyto dva napěťové okruhy galvanicky odděluje.

### 4.5.1 Relé

Jsou použité relé se dvěma různými konfiguracemi kontaktů. Jak je vidět v tab. 4, dvě relé mají své kontakty v podobě jednoho spínače se dvěma vývody (SPDT – *angl. Single Pole Double Throw*) a jedno relé se dvěma spínači a dvěma vývody (DPDT – *angl. Double Pole Double Throw*). Rozdíl mezi nimi je takový, že SPDT funguje jako jeden spínač, zatímco DPDT funguje jako dva spínače, jejichž přepínání je propojeno.



Obrázek 22 Použité relé (vlevo) a patice (vpravo)

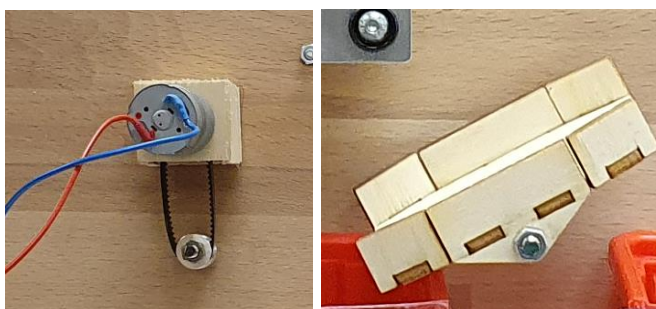
Jedno SPDT relé má být použito na ovládání dopravního pásu. Druhé SPDT relé má být použito na spínání proudu pro DPDT relé. DPDT relé je zapojeno do můstku, kterým se řídí směr otáčení třídící klapky. Zapojení je vidět na obr. 26.

*Tabulka 4 Parametry použitých relé [67; 68]*

PARAMETRY	RELÉ DPDT	RELÉ SPDT
<b>OZNAČENÍ VÝROBCE</b>	40.52.9.024.0000	40.61.9.024.0000
<b>KONFIGURACE KONTAKTŮ</b>	DPDT	SPDT
<b>JMENOVITÉ NAPĚTÍ CÍVKY</b>	24 V DC	24 V DC
<b>MAX. PROUD KONTAKTŮ</b>	15 A	30 A
<b>PROUD CÍVKY</b>	27 mA	27 mA
<b>ODPOR CÍVKY</b>	900 $\Omega$	900 $\Omega$
<b>VÝROBCE</b>	FINDER	FINDER
<b>CENA</b>	75 Kč	90 Kč
<b>POUŽITÝ POČET</b>	1 ks	2 ks

#### 4.5.2 Motory

V této úloze jsou použité dva elektrické motory. Na obr. 23 je vidět první motor, který se používá na naklánění třídící klapky. Druhý elektrický motor je vidět na obr. 24, tento motor pohání dopravní pás. Ze zapojení v řídicí části bylo možné odvodit, že motor na natáčení třídící klapky se má otáčet oběma směry. A motor, který pohání dopravní pás, se má otáčet pouze jedním směrem.



*Obrázek 23 Motor na natáčící třídící klapku (vlevo), třídící klapka (vpravo)*



*Obrázek 24 Dopravní pás*

Protože není k dispozici dokumentace k úloze, bylo potřeba parametry těchto motorů vyvodit ze způsobu zapojení řídicí části. Tyto parametry jsou vidět v tab. 5. Oba motory jsou připojené pomocí ozubeného řemenu. Použití ozubeného řemenu umožňuje motoru, který ovládá třídící klapku, prokluzovat a tím zamezit poškození jeho, a i dalších komponent.

*Tabulka 5 Parametry použitých motorů*

<b>PARAMETR</b>	<b>HODNOTA</b>
<b>NAPĚTÍ</b>	5 V
<b>SMĚR OTÁČENÍ</b>	obousměrný
<b>ZPŮSOB ZMĚNY SMĚRU OTÁČENÍ</b>	prochození polarity na vstupu
<b>POUŽITÝ PŘEVOD</b>	ozubený řemen
<b>ODHADOVANÁ CENA</b>	100 až 400 Kč
<b>POUŽITÝ POČET KUSŮ</b>	2 podobné ks

## 4.6 Senzory

Na detekování výšky hladiny v nádobách se používají indukční senzory, viz obr. 25. V každé nádobě se nacházejí dva nad sebou, připevněné ke straně nádoby. Jejich vývodní kabely jsou protažené skrz dřevěnou desku do zadní části. Z každého senzoru vedou tři kabely:

- Hnědý kabel – V<sub>CC</sub>;
- Modrý kabel – GND;
- Černý kabel – Výstup;

Jak je vidět v tab. 6, mají tyto senzory napájecí napětí 6 až 36 VDC, je možné je zapojit do 24 V okruhu. V současném stavu není pro tyto senzory připraveno připojení ke zdroji, ani připojení do PLC.



Obrázek 25 Použité indukční čidlo

Tabulka 6 Parametry použitého indukčního čidla [69]

PARAMETR	HODNOTA
MODEL	LJ13A3-4-Z/BY
NAPÁJECÍ NAPĚTÍ	6 až 36 VDC
MAX. VÝSTUPNÍ PROUD	300 mA
TYP	PNP
DETEKČNÍ VZDÁLENOST	do 4 mm
POČET POUŽITÝCH KUSŮ	4 ks
CENA	98 Kč

#### 4.7 Schéma zapojení

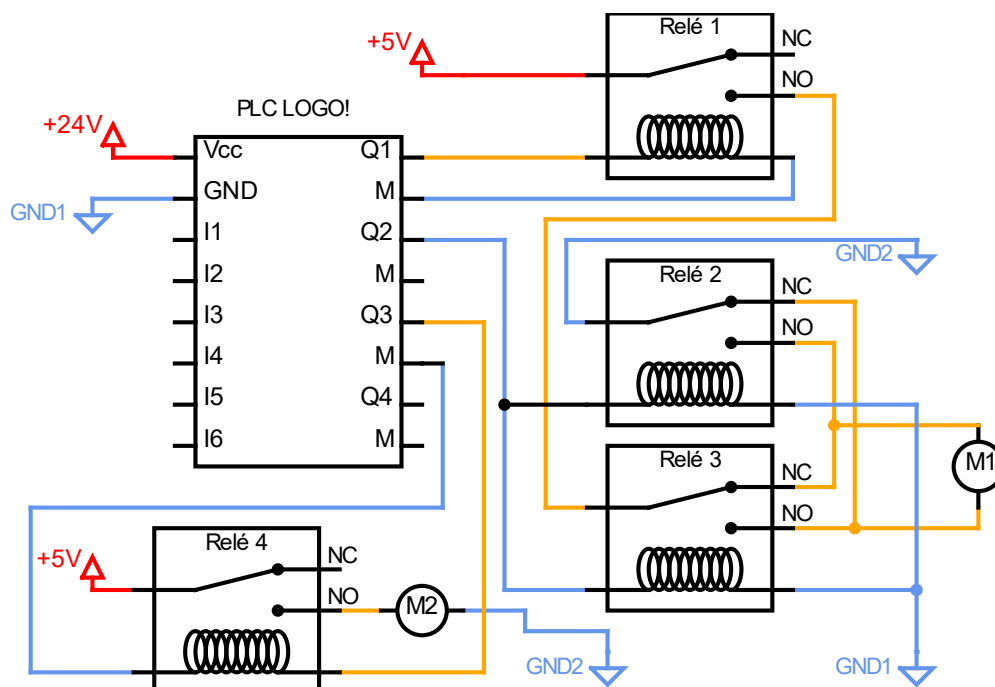
Schéma zapojení úlohy je vidět na obr. 26. Za účelem zvýšení přehlednosti schématu se uvádí obvod, který se nachází až za usměrňovači napětí. Jsou použity dva usměrňovače, jeden na 24 V a druhý na 5 V. Výstupy z 24VDC usměrňovače jsou znázorněny jako +24 V a *GND1*, a pro 5VDC usměrňovač +5 V a *GND2*.

Obvod je rozdělen do dvou napěťových okruhů 5VDC a 24VDC. V 24VDC okruhu je připojené PLC, které tímto napětím pomocí cívky spíná relé. V 5VDC okruhu jsou připojené oba motory, které jsou ovládané pomocí spínacích relé. Motor, který pohání dopravní pás je

připojen na relé s konfigurací kontaktů SPDT, toto relé je označeno jako *Relé 4*. To mu umožňuje se zapnout a vypnout, ale není takto možné měnit směr otáčení. Motor, který otáčí třídící klapku je řízen jedním relé SPDT s označením *Relé 1* a jedním relé s označením DPDT, na obrázku je znázorněno jako *Relé 2 a 3*. SPDT relé roztáčí a zastavuje motor tím, že spíná motor ke zdroji a DPDT relé, které je zapojené do můstku, mění směr otáčení tím, že mění polaritu. Ovládání směru otáčení motoru pomocí můstku zapojeného do DPDT relé je vidět na obr. 26 (*Relé 2 a Relé 3*).

Z nevysvětleného důvodu je pin GND cívky pro DPDT relé připojen k zemi ke zdroji, a ne do PLC (pin M). V obou případech zapojení se chování obvodu z pohledu řízení nemění, ale správně by se měl obvod vedoucí z výstupního pinu PLC uzemnit do pinu M.

V levé horní části je PLC *LOGO!*, do kterého je připojené napájení 24 VDC (pin  $V_{CC}$  a GND). Vstupní piny nejsou připojeny, ale analyzováním úlohy bylo zjištěno, že mohly být využity k připojení indukčních senzorů. Výstupní piny (Q1/M, Q2/M ...) jsou využity tři, a to na ovládání motorů, pomocí spínacích relé.



Obrázek 26 Schéma zapojení úlohy

Pozn.:

Modrá – Znázorňuje část okruhu připojenou k  $GND1$ , nebo  $GND2$

Červená – Znázorňuje část okruhu připojenou k  $+5$  VDC, nebo  $+24$  VDC



<i>Žlutá</i>	– Znázorňuje část okruhu s měnícím se potenciálem
<i>GND1</i>	– Zem vedoucí z usměrňovače napětí na 24 VDC
<i>GND2</i>	– Zem vedoucí z usměrňovače napětí na 5 VDC
<i>+24 V</i>	– Zdroj napětí vedoucí z usměrňovače napětí na 24 VDC
<i>+5 V</i>	– Zdroj napětí vedoucí z usměrňovače napětí na 5 VDC
<i>NC</i>	– Normálně sepnutý
<i>NO</i>	– Normálně rozepnutý
<i>M1</i>	– Elektrický motor, který ovládá třídící klapku
<i>M2</i>	– Elektrický motor, který ovládá dopravní pás
<i>Relé 1 a 4</i>	– Relé s konfigurací kontaktů typu SPDT
<i>Relé 2 a 3</i>	– Dohromady tvoří relé s konfigurací kontaktů typu DPDT

## 4.8 Řídící PLC Siemens LOGO!

PLC LOGO! je programovatelné logické relé od firmy Siemens. Je možné s ním ovládat čtyři různé výstupní porty, což je bez rozšíření dostatečné pro projekty podobné úloze zpracovávané v této diplomové práci. Nachází se na něm také osm vstupních portů, z toho čtyři z nich je možné použít také jako analogový vstup.

Je potřeba si uvědomit, že počet a typ IO portů se může lišit v závislosti na konkrétním použitém PLC LOGO! a jeho modelu. V případě potřeby použití více IO portů je možné připojit rozšiřující modul. Například modul s označením *6ED1055-1MB00-0BA2*, který přidá další čtyři digitální vstupy a výstupy.

Podporuje komunikaci přes různé komunikační protokoly jako jsou Ethernet, Modbus a Profibus, což mu umožňuje komunikovat s dalšími zařízeními ve výrobně nebo továrně. Díky vestavěnému displeji je možné získávat zpětnou vazbu, bez potřeby připojení externích zařízení. Zjednodušuje to také provádění základního nastavení. Jeho výhodou je nízká cena, která se v době psaní této práce pohybuje okolo 4000 Kč.

Toto PLC je možné programovat rovnou z displeje pomocí FBD, jednodušší ale je použít odpovídající software právě k tomu určený. Ve škole se používá *Siemens LOGO! Soft Comfort 8.3*. V tomto software lze programovat pomocí FBD, nebo LD. Automaticky také dokáže přepínat mezi těmito dvěma typy programování.

## 5 Důvody inovace

Úloha je ve stavu, kdy není použitelná k distanční výuce, je na ní potřeba udělat mnoho změn a pár oprav. Opravy ale nejsou hlavním důvodem pro inovaci úlohy. Tato úloha (a další jí podobné) jednoduše nejsou připravené na distanční výuku, která má proti prezenční výuce svá specifika. Výsledky z této práce proto budou moci posloužit i jako vzor pro práce na budoucích úlohách, které díky tomu budou ve výsledku lépe přizpůsobené distanční výuce.

Důvody na inovací:

- Zpřehlednit a vylepšit zapojení;
- Oprava částí úlohy (např. části ze dřeva);
- Přípravení úlohy na distanční výuku;
- Vytvoření dokumentace;
- Vytvoření referenčního programu;
- Vytvoření protokolu pro studenty;

### 5.1 Změna zapojení

Zapojení je potřeba zpřehlednit a doplnit chybějící propojení. V některých případech se jedná o upravení délky vodiče na takovou, aby nepřekážel a snadno se s ním pracovalo. Také je potřeba popsat jednotlivé napěťové okruhy tak, aby nedošlo k poškození, nebo zničení komponent. V akční části úlohy jsou vodiče pouze smotané do chuchvalců. Pro přehlednost je lepší seskupit vodiče tak, aby nedocházelo při manipulaci s nimi k poškozování výstupů a vstupů do komponent, ale pouze k opotřebení vodiče.

### 5.2 Oprava úlohy

Některé části jsou rozbité, nebo jsou z materiálu, který není vhodný na výukové prostředí. Také materiál, se kterým se v úloze manipuluje je oproti překližce velice pevný a je také poměrně těžký (ocelové matičky), jeho boucháním do slabé překližky rychle dojde k trvalému poškození části. Příkladem jsou části vytvořené z laserem vyřezaného tenkého dřeva.

### 5.3 Distanční výuka

Původně nebyla úloha vytvářena s cílem distanční výuky, proto je potřeba její části upravit tak, aby byly této formě výuky přizpůsobeny. Při distanční výuce není možné, aby studenti prováděli zapojování úlohy. To bude dělat učitel, a proto je důležité, aby bylo zapojení co nejjednodušší a nejrychlejší. Zkrátí se tím čas, který je potřeba strávit přípravou distanční výuky a sníží se počet problémů způsobených chybným zapojením.

Ladění programu na dálku je ztíženo omezenými možnostmi vidět a slyšet úlohu. V případě, kdy bude student kontrolovat, zda funguje dopravní pás, je vhodné přidat vizuální vodítka, která fungování zviditelňují. Zjednodušeně je možné říct, že je potřeba zlepšit UX – uživatelský zážitek. Vizuálními vodítky se myslí například změna barvy, velikosti, tvaru atp.

### 5.4 Dokumentace

V současnosti není k úloze dokumentace, která by se dala použít jako vodítko při diagnostikování chyb, pochopení fungování, rozšiřování, nebo aktualizování této úlohy. Dokumentace je potřebná pro různé celky, kterými jsou:

- **Komponenty** – specifikace použitých komponent;
- **Obvody** – schéma zapojení obvodu a popis portů, které propojují jednotlivé části;
- **Software** – použitý software a jeho doporučené nastavení;
- **Program** – řídicí program v PLC, popř. v dalších ovladačích;

### 5.5 Referenční program

Program, který slouží pro předvedení fungování úlohy je důležitým prvkem jak pro distanční, tak i pro prezenční výuku. Učitel je díky takovému referenčnímu programu schopen snáze vysvětlit zadání úlohy. Také se může použít na předvedení požadovaného chování. Stejně jako protokol a dokumentace má referenční program za úkol zjednodušit přípravu a zvýšit efektivitu každé hodiny.

## 5.6 Protokol

Protokol slouží pro studenty jako zdroj základních informací o úloze, které mají za úkol nasměrovat studenta správným směrem. Jsou zde také informace potřebné ke zprovoznění úlohy. Jedná se o nastavení připojení (IP adresy) při distanční výuce. Je zde také prostor pro zaznamenání použitých vstupních a výstupních portů, které se použijí jak při distanční, tak při prezenční výuce.

Druhou částí protokolu jsou pak zadání úkolů, které má student vypracovat. Vhodné je vytvořit úlohy odstupňované podle složitosti, postupně zapojující více částí a přidávající komplikovanější vzájemné interakce. Student tak může vypracovat všechny úlohy do různé hloubky, podle svých možností a podle času, který na to má.

## 6 Návrh a implementace vylepšení

Nejprve bylo potřeba rozvrhnout si všechny úkoly, které je potřeba na úloze udělat a seřadit si je podle priority. Tato úloha má sloužit jako demonstrace toho, jak by měly vypadat další úlohy, přizpůsobené distanční výuce. Proto byla dána vyšší priorita úkolům, které tohoto cíle mají dosáhnout.

Postup:

1. Najít způsob, jak nahrát řídicí program do PLC ze zařízení, které se nachází mimo školní síť;
2. Vytvořit návrh webového rozhraní pro ovládání úlohy;
3. Upravit úlohu tak, aby byla ovladatelná ze vzdáleného počítače;
4. Vytvořit schéma zapojení;
5. Vytvořit protokol a návod k úloze;
6. Upravit části úlohy tak, aby byly z pevnějšího materiálu;

### 6.1 Vzdálený přístup k úloze

Bylo zvažováno několik možností, z nichž byla postupně vybrána ta nejjednodušší a nejlevnější. Možnosti byly: a) nahrání programu posláním souboru na server, kde se zkompiluje a nahraje na PLC; b) připojení k počítači v síti přes vzdálenou plochu; c) připojit se přes VPN.

Už ze začátku bylo zřejmé, že možnost a) je zbytečně složitá, vyžadovala by vytvoření programu, který by byl spuštěn na serveru. Na ten by se nahrál soubor s programem uloženým například v LOGO! Soft. Možnost b) už byla proveditelnější, stačilo by, aby se student připojil přes program, který umožňuje připojení ke vzdálené ploše. Tato varianta musela být také zavrhnuta, protože software, který by danou věc dokázal snadno provést, neměla škola zakoupený.

Zbývala poslední možnost c), která zahrnovala připojení do školní sítě pomocí VPN. Zabezpečený přístup přes VPN server je již ve škole nastavený. Pro připojení přes VPN je potřeba zjistit, co všechno je potřeba zařídit, aby se mohl student připojit přes VPN do školní sítě, konkrétně k PLC a IP kameře.

Aby se student mohl připojit, musí se zařídit identifikace (zařízení, ke kterým se bude připojovat a studenta, který se bude připojovat) a autorizace (zpřístupnění zařízení a otevření komunikačních portů).

Parametry potřebné k nastavení přístupu:

- **MAC Adresa (PLC a IP kamery)** – identifikátor podle kterého se pozná identita zařízení;
- **Popis zařízení** – podle kterého se v systému pozná, co je to za zařízení;
- **Porty** – různé služby většinou používají na zařízení různé porty, proto je nutné, zapsat si ty porty, které používají námi používané služby. Porty použité pro tuto úlohu jsou v tab. 7;
- **Xname studenta** – toto je unikátní uživatelské jméno každého studenta v systému školy;

*Tabulka 7 Použité porty*

<b>ZAŘÍZENÍ</b>	<b>PORT</b>	<b>SLUŽBA</b>
<b>PLC LOGO!</b>	1001, 1005	LOGO! Soft
	8080	Webové rozhraní
<b>IP KAMERA</b>	80	Přístup k živému přenosu
	443	

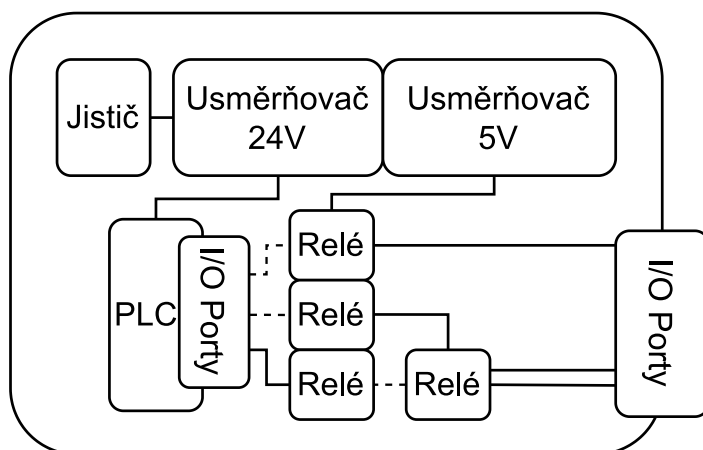
Pro připojení k VPN serveru se používá program *Forticlient*. Aktuální informace ke zřízení přístupu do školní sítě přes VPN jsou na stránkách OIKT (Odbor informačních a komunikačních technologií ČZU).

Aby bylo PLC viditelné přes VPN, je třeba do něj nastavit statickou IP adresu, která byla pro jeho MAC adresu přidělena správcem sítě. Po otevření spojení je nejdříve potřeba, aby se PLC tzv. ozvalo neboli provedlo jakoukoli komunikaci z jeho strany směrem do sítě. To je možné provést u PLC Siemens LOGO! pomocí nástroje PING, na jakoukoli IP adresu.

Na kamerě se změní přihlašovací údaje pro uživatele *admin* a vytvoří se nový uživatel s omezenými právy jménem *student*. Na kamerě se nastaví dynamická IP adresa, kterou po připojení do sítě nastaví DHCP server na statickou IP adresu, která je spojená s MAC adresou IP kamery. Obraz z IP kamery je vidět v *Příloze D*.

## 6.2 Schéma zapojení

Na obr. 27 je vidět zjednodušené schéma řídicí části úlohy. Oproti obrázku v *Příloze E* je na něm vidět i jistič a oba usměrňovače. Z jističe vedou kabely do 24V a 5V usměrňovače. Vývodní kabely usměrňovačů mají v sobě zabudované pojistky, které chrání člověka a komponenty při zkratu. Veškeré propojení mezi řídicí částí a akční částí jde přes porty, které jsou vidět na obr. 27, vpravo dole.



Obrázek 27 Zjednodušené schéma zapojení řídicí části

Schéma zapojení úlohy je vidět v *Příloze E*. Stejně jako na obr. 26 se za účelem zvýšení přehlednosti schématu uvádí obvod, který se nachází až za usměrňovači napětí. Stále se používají dva usměrňovače, jeden na 24 V a druhý na 5 V. Výstupy z usměrňovače jsou znázorněny jako +24 V a GND1, pro 24VDC usměrňovač a +5 V a GND2, pro 5VDC usměrňovač.

Do PLC *LOGO!*, je připojené napájení 24 VDC (pin  $V_{CC}$  a GND). Na řízení třídící klapky, zavírání sila a dopravního pásu jsou využity tři ze čtyř výstupních pinů. Na digitální vstupní piny jsou připojeny čtyři indukční senzory a jedna zpětná vazba.

Do Node MCU je připojené napájení 5 VDC (pin Vin a GND). I když interně pracuje na 3,3 V, je k němu možné připojit 5 VDC, protože je vstupní napětí usměrňování vnitřním usměrňovačem na pracovní napětí. Jsou z něho využity dva digitální vstupy (a pin 3V3) na komunikaci ze strany PLC, dva PWM výstupy na ovládání servomotorů a jeden digitální výstup na komunikaci směrem k PLC.

NodeMCU je ovládané pomocí dvou digitálních vstupů, protože pracovní napětí NodeMCU je 3,3 V, je do těchto digitálních vstupů přivedeno napětí z pinu 3V3, které se nachází na daném čipu. Spínáním těchto dvou okruhů pomocí *Relé 2* a *3*, komunikuje PLC s NodeMCU.

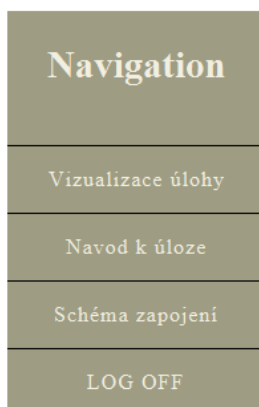
Tato inovovaná verze obvodu je rozdělena do tří napěťových okruhů 3,3VDC, 5VDC a 24VDC. V 24VDC okruhu je připojené PLC, které tímto napětím pomocí cívky spíná relé, dále čtyři indukční senzory. V 5VDC okruhu jsou připojené oba servomotory a jeden stejnosměrný motor. Tento motor pohání dopravní pás, a protože není potřeba, aby se měnil směr otáčení, tak je zapojen pouze na jedno SPDT relé (*Relé 1*), které mu spíná zdroj. Servomotor (*S1*) otáčí třídící klapku a servomotor (*S2*) zavírá silo. Oba servomotory jsou připojené k 5V zdroji a jejich poloha je řízená pomocí PWM přes NodeMCU.

Zpětná vazba od NodeMCU do PLC je tvořená podobně. Do vstupního pinu PLC (na obrázku pin 5) je přivedeno 24 V. Ty jsou spínané pomocí *Relé 4*. Na sepnutí *Relé 4* je potřeba na  $V_{CC}$  přivést 5 V. Ovládat se může nižším napětím díky tomu, že je spínací a ovládací obvod spojen optočlenem.

### **6.3 Webové rozhraní**

Webové rozhraní bylo navrženo tak, aby odráželo skutečnou podobu úlohy. Použitím textu spolu se statickými a dynamickými obrázky se snížila složitost ovládání úlohy na dálku. Může se totiž stát, že někdy nebude kamera fungovat pak bude důležité, aby fungovala úloha alespoň virtuálně. Na vytvoření webového rozhraní se použil program od Siemens *LWE* (LOGO! Web Editor).

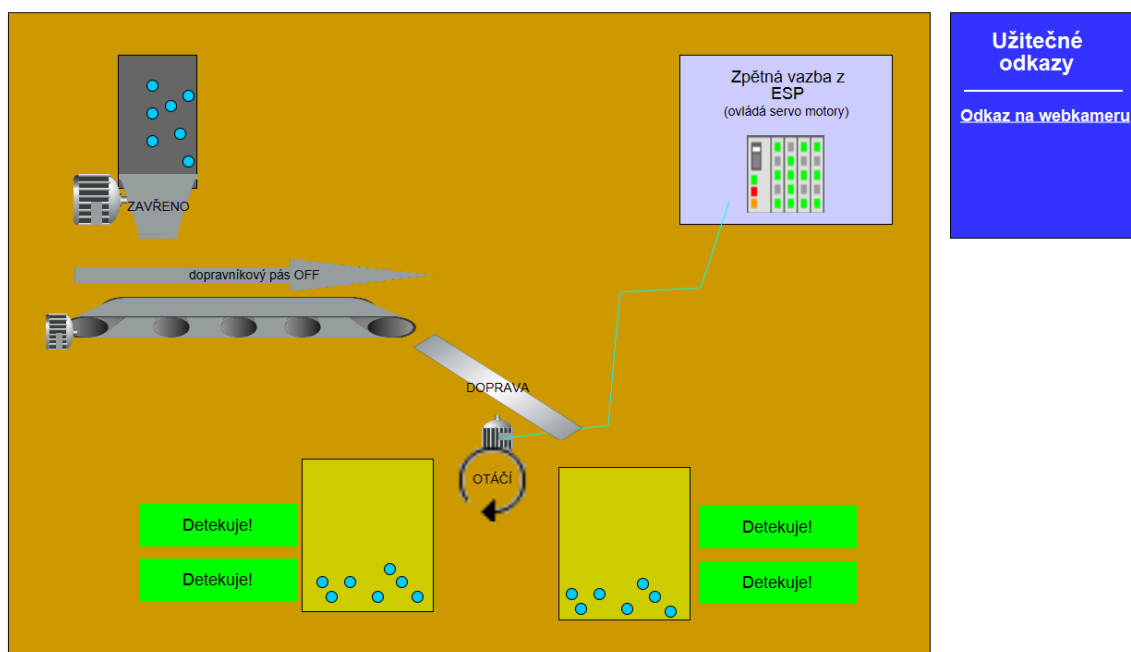




Obrázek 28 Navigační stránka webového rozhraní PLC

- Vizualizace úlohy -

## Úloha - třídění materiálu



Obrázek 29 Hlavní stránka webového rozhraní PLC

Na obr. 29 je vidět hlavní stránka s názvem „Vizualizace úlohy“. V oranžové části je pomocí proměnlivých obrázků znázorněna úloha. Modrá část, která je vpravo na obrázku, slouží jako pomocná část. Jsou zde užitečné odkazy na různé zdroje, popř. na adresu IP kamery.

Navigace je vidět na obr. 28, jsou zde možnosti na přepnutí se na Vizualizaci úlohy, Návod k úloze, Schéma zapojení a odhlášení (LOG OFF). Kliknutím na Vizualizaci úlohy

se otevře *Hlavní stránka*, která je popsána výše. Návod k úloze obsahuje návod a protokol k úloze. Na stránce schéma zapojení je vloženo schéma zapojení, viz obrázek v *Příloze E*. Díky němu se při prezenční i distanční výuce mohou studenti seznámit se způsobem zapojení.

## 6.4 Protokol a návod

Protokol má za úkol seznámit studenta se základními principy, fungování úlohy. Musí z něj být zřejmé, co bude náplní a jaké budou úkoly. Vypracovaný protokol je vidět v *příloze B*.

V první části je uvedené zadání pro tuto úlohu rozepsané do 4 bodů. Je na začátku protokolu proto, aby měl student představu o tom, co se bude od něj očekávat. Následuje schéma zapojení, které je vidět na obrázku z *Přílohy E*. Díky němu se lépe a rychleji zorientuje v zapojení způsobu fungování úlohy. Další kapitola se jmenuje „Teoretické podklady“. Je zde stručně popsána úloha, co představuje, jak jsou jednotlivé části ovládány a princip fungování.

Samotná úloha se dělí na tři části. V první části je prostor pro zapsání parametrů, které se použijí při vzdáleném připojení k úloze (IP adresa PLC, IP adresa kamery) a zapojení IO portů pro jednotlivé komponenty. Jsou zde také uvedeny porty, které se používají pro přístup k PLC a IP kameře. V druhé části úlohy je zadání úkolu. Úkol se dělí na hlavní část a vedlejší pod-úkoly, které může student splnit v případě, že na to bude čas. Ve třetí části úlohy je prostor pro vypracování stavového diagramu, který je za úkol vypracovat. Výhoda použití stavového diagramu je ta, že má student možnost zamyslet se nad jednotlivými stavy, které mohou nastat. Vytvořený program v FBD a IL, pak bude více strukturovaný a přehledný.

## 6.5 Fyzické provedení akční části úlohy

Aby se úloha přizpůsobila distanční výuce bylo potřeba změnit pár věcí které by nebyly z kamery zřejmé, nebo by se, kvůli zpoždění videa, mohly jednoduše poničit. Třídící klapka byla nakláněna pomocí stejnosměrného motoru, který bylo možné nechat zapnutý po delší časový úsek. Třídící klapka se může naklonit jen pár stupňů na obě strany, proto by se při delším otáčení zasekla. Tím by se mohl buď poškodit motor nebo i další komponenty. Proto

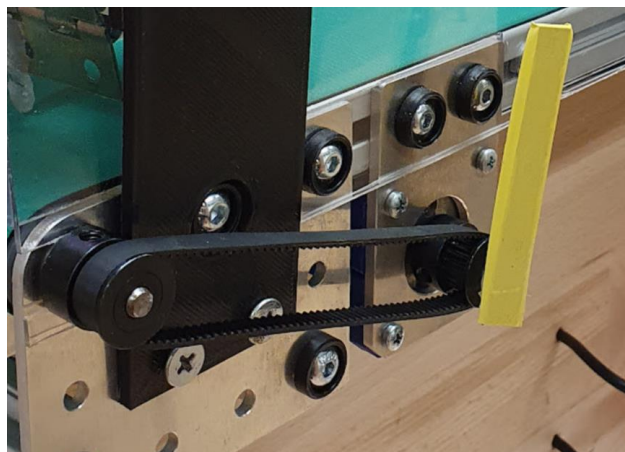
se mechanismus naklánějící třídící klapku vyměnil za jiný, který využívá servomotoru. Použil se servomotor SG90 s maximálním otočením 180° a provozním napětím 3,0–7,2 V.

Servomotor je možné otočit pro tyto účely na velice přesný úhel a tím zabezpečit, že se žádná okolní část nepoškodí. Servomotor ale nemůže být ovládán pomocí PLC LOGO!, protože nedokáže generovat PWM s frekvencí 50 Hz. Místo toho se použil NodeMCU s ESP8266. Místo propojení servomotoru s hřídelí, na které je třídící klapka je vidět na obr. 30. Na levou část šroubu se zachytí závaží, které bude klapku natáčet doleva. Pravá část se pomocí provázku spojí se servomotorem. Když se servomotor otočí, zatáhne za provázek a natočí klapku napravo. Doprostřed provázku se může také vložit pružina, která by zaručila, že se při zaseknutí klapky nespálí servomotor.



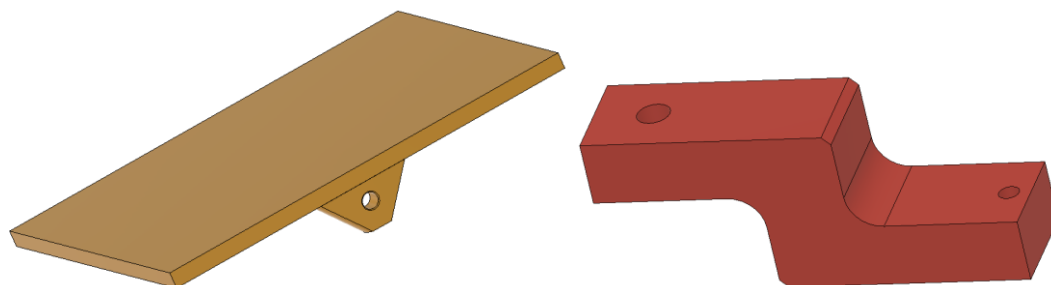
*Obrázek 30 Uchycení a propojení servomotoru s třídící klapku*

Dopravní pás je akční člen, který je možné zapnout a vypnout. Jeho pohyb na kameře není možné zřetelně vidět. To se může spravit dvěma způsoby, když nepočítáme možnost, ke každému akčnímu členu a senzoru přidat LED, která bude při aktivaci svítit. To ale taky, nemusí být vidět tak dobře jako přidání pruhů na pás. Když se bude pás pohybovat, bude to na nich vidět. Druhou možností je připevnit na rotující část pohonu objekt nepravidelného tvaru, například šipku jdoucí jedním směrem ze středu osy otáčení ke kraji. Bonus bude, když se pomyslí na kontrastující barvy šipky s pozadím. V tomto případě se použila hliníková destička, na kterou se připevnila páska z výrazné barvy. Destička se poté přichytila na ozubené kolo, které se točí spolu s dopravním pásem, viz obr. 31.



*Obrázek 31 Destička zvýrazňující pohyb dopravního pásu*

Další na radě je nahrazení dřevěných částí jiným, nejlépe pevnějším materiálem, který by vydržel větší počet odučených hodin. Nabízelo se vytvořit 3D model dřevěných částí, a ty pak vytisknout na 3D tiskárně z plastu. Tak vznikl 3D model třídící klapky (obr. 32), spodní části nádoby (obr. 33) a držáků na servomotor, který naklání třídící klapku (obr. 32).

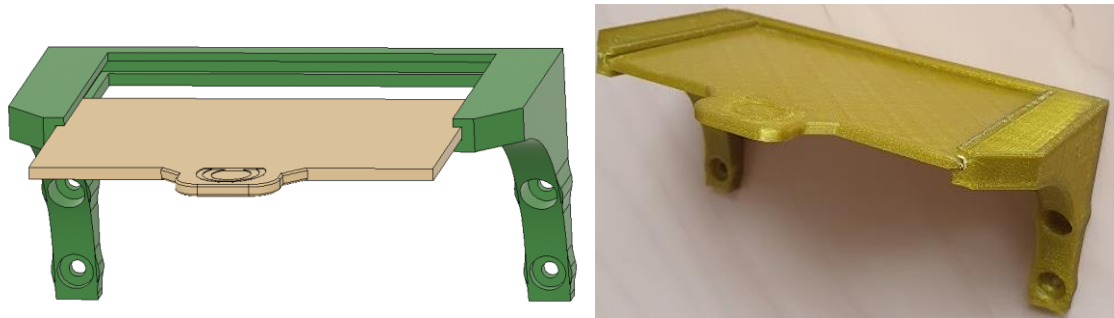


*Obrázek 32 3D model třídící klapky (vlevo) a držáku na servomotor (vpravo)*

Vytištěný držák na servomotor je vidět na obr. 30, protože fungoval jako prototyp, bylo dobře že byl o něco větší. Díky tomu se s ním a se servomotorem mohlo více hýbat. Až po vytištění spodní části nádoby, viz obr. 33, se přišlo na to, že pohyblivá deska a kolejnice, po kterých má deska zajiždět, mají stejné rozměry. Musely se proto oba díly obrousit, aby do sebe zapadly. Rám (na obrázku zeleně) není dost robustní, a proto se při zandávání desky rozjíždějí ramena od sebe. To by se dalo vyřešit tím, že se konce ramen spojí, aby se vůči sobě nemohly hýbat. Na tiskárně byly vytisknuty dvě desky a pro testovací účely jeden rám. Po vyzkoušení rámu bylo vyhodnoceno, že při vysypávání více překáží, než přináší užitku.

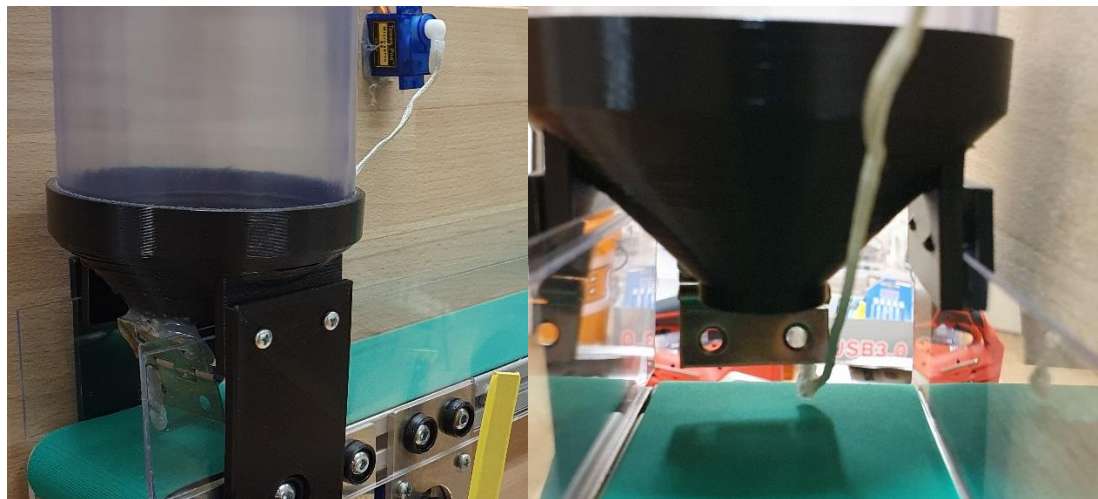
Třídící klapka byla sestavená dohromady a připevněna k hřídeli, na které se může natáčet. Protože se bude používat ocelový materiál, bude potřeba opatřit povrch třídící

klapky a spodní části nádoby nějakým materiálem, který bude tlumit nárazy, aby nedošlo k rozbití součástí.



*Obrázek 33 3D model (vlevo) a vytištěná (vpravo) spodní částí nádoby*

Poslední věc, která byla v akční části úlohy změněna bylo zavírání sila. S tím byl problém, protože otvor do sila je v těžko přístupném místě, jen 25 mm nad dopravním pásem. Problém byl také v tom, aby se servomotor pohánějící zavírací mechanismus nespálil, kdyby se zavírání zaseklo. Součástí mechanismu musel být pružný člen, který by případné omezení pohybu způsobené zaseknutím minimalizoval. Nejjednodušším řešením se zdály být tzv. padací dveře.



*Obrázek 34 Mechanismus zavírání sila*

Zavírání sila funguje tak, že se z jedné strany ústí otvoru přichytí deska. Deska je otáčena provázkem přichyceným k servomotoru, který provázek pro zavření otvoru navíjí a otevření otvoru odvíjí. Případné zaseknutí pokryje pružný člen, ve formě pružiny, nebo gumičky. Na zavírání sila se použil pant, který vyhovuje rozměrově a pevnostně. Pant se přichytil na silo

a na jeho pohyblivou část se připevnila hliníková tyčka, která vytváří rameno a umožňuje servomotoru, přes připevněný provázek, silo otevírat a zavírat. Implementace zavírání je vidět na obr. 34.

## 6.6 NodeMCU

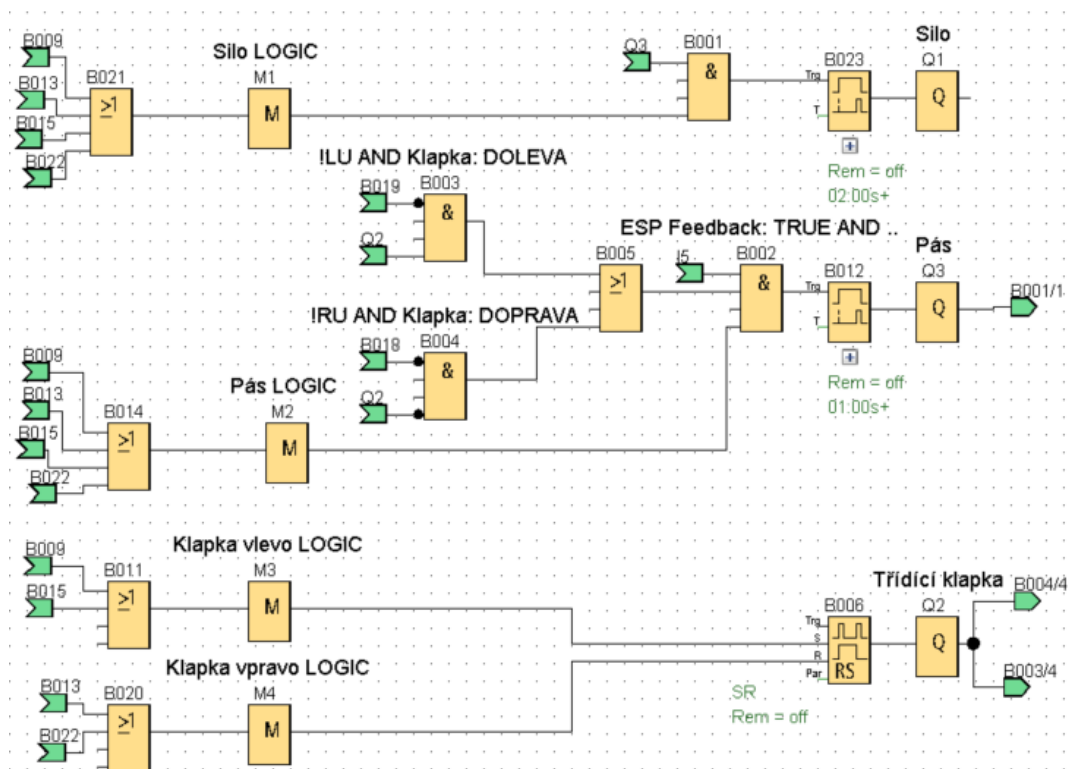
Ovládání servomotoru se provádí pomocí NodeMCU. Na naprogramování bylo použito kompatibilní vývojové prostředí Arduino IDE. V příloze A je vidět program, který podle digitálního vstupu ovládá dva servomotory. Testováním se přišlo na hodnoty, které odpovídají správnému pootočení servomotorů v jejich dvou stavech. Program má také možnost využít zpětné vazby k PLC. V tomto případě se zasílá zpět informace o pohybu servomotoru. Digitální nula pro stav *Třídící klapka je na místě* a digitální jednička pro stav *Třídící klapka se hýbe*.

Přidáním dalšího ovládacího prvku do úlohy se přidala možnost nechat studenty při prezenční výuce naprogramovat jak PLC, tak i NodeMCU. Museli by zjistit, jak pomocí něj ovládat servomotory (základní informace o ovládání servomotorů je v protokolu).

## 6.7 Referenční program

Na obr. 35 a obr. 36 je vidět referenční program, který se může nahrát do PLC na předvedení fungování úlohy. V levé části jsou vidět vstupy a jejich zpracování. V pravé části jsou vidět výstupy a jejich ošetření. Aby nedocházelo k falešně pozitivnímu určení výšky hladiny z důvodu detekování padajícího materiálu jsou vstupy ošetřeny tak, že se vstupní signál bude propagovat až po 1 sekundě bez přerušení detekování. To je zajištěno bloky *B016*, *B017*, *B018* a *B019*. Kroky jsou aktivovány podle kombinace vstupních logických signálů v blocích *B009*, *B013*, *B015*, *B022*.





Obrázek 36 Referenční řídicí program - pravá část



## 7 Zhodnocení výsledků

Vytvořením dokumentace ke zpracovávané úloze se zjednoduší a zrychlí budoucí úpravy a opravy. Byly vypsány použité komponenty a jejich parametry. Samozřejmě se budou některé komponenty měnit, pak bude potřeba aktualizovat také dokumentaci.

Při testování se někdy stávalo, že obraz z IP kamery, která monitorovala chod úlohy zamrzl, nebo byl snižené kvality. Právě kvůli tomu, aby se nemuselo spoléhat pouze na tuto zpětnou vazbu, bylo vytvořeno webové rozhraní, pomocí kterého je možné úlohu nejen monitorovat, ale také ovládat. Toto rozhraní je díky své blízké podobě k reálné úloze snadné na pochopení. Protože je naprogramované v nativním programu pro PLC Siemens LOGO! LWE, je možné virtuální úlohu upravovat podle aktuálního stavu reálné úlohy.

Pro vzdálený přístup k PLC a IP kameře bylo vybráno připojení přes VPN. Protože je už v celé škole připravená infrastruktura, která podporuje zabezpečené připojení přes VPN, jak pro učitele, tak pro studenty. Nemusí se kupovat ani instalovat nový software, což zjednodušuje přípravu pro další úlohy. Také, protože je již infrastruktura na místě, je možné použít tento způsob připojení bez nutnosti vynaložení dodatečných finančních prostředků, když se nepočítá cena za internetové připojení apod.

Vytvořený protokol se může použít nejen při distanční výuce, ale i při té prezenční. Díky tomu, že jsou na něm uvedeny základní informace o fungování úlohy, definovaný úkol a zobrazené zapojení, budou studenti chápat co se od nich očekává. Informace v protokolu nevysvětlují všechny jevy dopodrobna, očekává se předchozí vzdělávání v tomto oboru a trocha vlastního výzkumu.

Referenční řídicí program pro PLC není nezbytně nutný pro studenty, kteří by si měli umět poradit i bez něj. Poslouží jako podklad pro učitele, který se díky němu nemusí zdržovat vymýšlením celého programu od začátku. Díky své jednoduchosti je na něm možné studentům předvést a vysvětlit fungování jednotlivých částí, způsobu fungování PLC a jednotlivých bloků. Protože se v předmětu automatizace programuje převážně v FBD, je i řídicí program v FBD. V případě potřeby je možné jej zkonvertovat v program LOGO! Soft do programovacího jazyka LD.

Komponenty vytisknuté z plastu jsou bytelnější a lépe snesou hrubé zacházení. Pro nádoby, které se plní materiálem, se spodní díl vytištěný z plastu osvědčil a příští model by mohl počítat s celou nádobou vytisknutou na 3D tiskárně z jednoho dílu. V dnešní době se 3D tiskárny už běžně používají, a proto není problém vytisknout náhradní díl. Celá úloha je vidět v *Příloze C*.

## 8 Závěr a doporučení

V rámci této diplomové práce jsme stávající úlohu pro předmět Automatizace inovovali a a adaptovali pro použití při distanční výuce. Nejdříve bylo potřeba provést důkladnou analýzu stávajícího řešení, podle které se pak vytvořil návrh inovací a jejich následná implementace. Z důvodu chybějící dokumentace bylo nutné úlohu celou rozebrat a postupně dávat zpět dohromady, aby se zjistila funkce jednotlivých vodičů.

Distanční forma výuky má proti prezenční formě omezené možnosti interakce s úlohou a vyučujícím. Student nemá možnost si sám zjistit jaké jsou použité akční členy a senzory. Nevidí ani, způsob zapojení jednotlivých částí do sebe. Proto se k němu musí všechny relevantní informace dostat jinou formou. Z tohoto důvodu byl vytvořen protokol, ve kterém jsou uvedeny základní informace, potřebné k seznámení se s úlohou. Jsou v něm také úkoly, které pro danou úlohu může vypracovat.

Vizualizace úlohy se skládá z živého přenosu a virtuální kopie úlohy. Živý přenos je zajištěn IP kamerou, která je postavená před úlohou. Virtuální kopie úlohy je ve webovém rozhraní PLC. Byla vytvořena v programu LWE, který byl součástí *LOGO! Soft Comfort 8.3*, což je programovací prostředí pro PLC Siemens LOGO! 8.

Vzdálený přístup musel být jednoduchý na nastavení a nejlépe pokud by využíval již existujícího řešení, které se ve škole využívá. Z navrhovaných řešení bylo nejlepší použít VPN. Zabezpečený přístup přes VPN je již na celé škole dostupný a používaný. Pro přístup k IP kameře a PLC je potřeba zažádat na příslušném oddělení o přidělení statické IP adresy a vytvořit oprávnění pro studenty, aby mohli s těmito IP adresami komunikovat. Musí se také povolit komunikace přes specifické porty, které se budou používat.

Třídící klapka, se svým omezeným úhlem otočení, byla poháněna stejnosměrným motorem, který se mohl točit nepřetržitě 360°, a tím poničit sebe a okolní komponenty. Pohon se proto vyměnil za servomotor. Protože PLC LOGO! 8 není stavěné na to, aby řídilo servomotory, byl přidán řídicí prvek – NodeMCU, který má v sobě integrované piny s PWM výstupem.

Pracovní napětí NodeMCU je 3,3 V, proto ho nebylo možné propojit s PLC, které pracuje na 24 V, napřímo. Tento problém byl vyřešen relé moduly, které spínají 3,3V okruh pomocí galvanicky oddělených 24 V. Stejným způsobem byla vyřešena zpětná vazba od NodeMCU k PLC. Relé je řízeno pomocí 3,3 V a spíná 24 V na vstup PLC.

Části úlohy se upravovaly i na fyzické úrovni, komponenty z tenkého dřeva byly nahrazeny pevnějšími, vymodelovanými v softwaru Fusion 360 a vytisknutými na 3D tiskárně.

Celý proces inovace úlohy, aby byla použitelná pro distanční výuku je v této práci důkladně zdokumentován tak, aby mohl sloužit jako podklad k budoucímu modernizování výukových úloh. V případě nutnosti distančního vzdělávání, bude přesun na něj o to jednodušší.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] SCOTT, Tom. *An actual, real-world use for robot dogs* [Video]. In: . YouTube, 2021 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://youtu.be/PkW9wx7Kbws>
- [2] RAINA, Kapil. *ZERO TRUST SECURITY EXPLAINED: PRINCIPLES OF THE ZERO TRUST MODEL* [online]. USA: CrowdStrike, 2022 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.crowdstrike.com/cybersecurity-101/zero-trust-security/>
- [3] *LOGO!* [online]. ČR: Siemens, 2023 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>
- [4] What Is a Programmable Logic Controller (PLC)?. In: *Polycase* [online]. 2021 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.polycase.com/techtalk/electronics-tips/what-is-a-programmable-logic-controller.html>
- [5] LEMAY, Patrick. *Programmable Logic Controller: What Is a PLC and How Does It Work?* [online]. Somerville USA: TULIP INTERFACES, INC., 2022 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://tulip.co/blog/programmable-logic-controller-what-is-a-plc/>
- [6] LOGO!. In: *SIEMENS* [online]. Německo: Siemens AG, 2023 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://cz.wiautomation.com/siemens/plc-systems/>
- [7] *What is a PLC?* [online]. Terryville USA: Advanced Micro Controls, Inc., 21. století [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-plc/>
- [8] *Programmable Logic Controller - PLC* [online]. UK: DAE Notes, 21. století [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.daenotes.com/electronics/industrial-electronics/PLC-programable-logic-control>
- [9] TUSER, Cristina. *What is a Programmable Logic Controller (PLC)?* [online]. Fort Atkinson USA: Endeavor Business Media, LLC, 2022 [cit. 2023-01-11].

Dostupné z: <https://www.wwdmag.com/home/article/21016258/what-is-a-programmable-logic-controller-plc>

- [10] *IT Explained: PLC* [online]. Nuremberg Germany: Paessler AG, 2023 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://www.paessler.com/it-explained/plc>
- [11] *PLC Architecture and Types* [online]. ladder logic world, 2021 [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://ladderlogicworld.com/plc-architecture/>
- [12] CHMIEL, Mirosław, Edward HRYNKIEWICZ a Adam MILIK. COMPACT PLC WITH EVENT-DRIVEN PROGRAM TASKS EXECUTION. In: *IFAC Proceedings Volumes*. 2006, , s. 99-104. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.3182/20060926-3-PL-4904.00017
- [13] HOSKE, Mark. *Safety PLCs* [online]. IL USA: Control Engineering, 2005 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.controleng.com/articles/safety-plcs/>
- [14] *What is a safety PLC?* [online]. Madrid Spain: Enertria, 2023 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://plcdesign.xyz/en/whats-safety-plc/>
- [15] VOJÁČEK, Antonín. *Bezpečnostní PLC programované bez PC* [online]. ČR: HW server s. r. o., 2016 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/plc-a-prumyslova-pc-bezpecnost-stroju-komponenty/bezpecnostni-plc-programovane-bez-pc-sick-flexi-classic.html>
- [16] MORTENSON, Ted. *What is a Safety PLC?* [online]. Rotterdam: RealPars, 2020 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://realpars.com/safety-plc/>
- [17] *LOGO! Expansion Modules* [online]. Germany: Siemens, 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-expansion-modules.html>
- [18] *HART Protocol* [online]. India: Elprocus, 2023 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/hart-protocol/>

- [19] *Logic Signal Voltage Levels* [online]. EETech Media, 2020 [cit. 2023-03-26].  
Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-3/logic-signal-voltage-levels/>
- [20] *HSC ADAM-5081* [online]. Taipei, Taiwan: Advantech, © 1983-2023 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: [advantech.com/en-eu/products/](https://www.advantech.com/en-eu/products/)
- [21] *A Guide to HSC used in PLCs* [online]. Raleigh, NC: DOSupply.com, 2023 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.dosupply.com/tech/2020/11/20/a-guide-to-high-speed-counters-hsc-used-in-programmable-logic-controllers-plcs/>
- [22] LOSHIN, Peter. *SCADA* [online]. USA: TechTarget, 2021 [cit. 2023-03-27].  
Dostupné z: [techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition](https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition)
- [23] *SCADA Device: Programmable Logic Controller (PLC)* [online]. USA: Digital Prototype Systems, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.dpstele.com/rtu/plc/programmable-logic-control.php>
- [24] ANTAL, Cornel a Teodor MAGHIAR. *SCADA for geothermal systems* [online]. ResearchGate, 2023 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net>
- [25] *What Is a VPN* [online]. ČR: Avast, 2020 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.avast.com/c-what-is-a-vpn>
- [26] EMPEY, Charlotte a Nica LATTO. *VPN* [online]. ČR: Avast, 2020 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.avast.com/c-what-is-a-vpn>
- [27] ROTHWELL, Mike. *Web-Enabling Your PLC* [online]. USA: Automation.com, 2010 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.automation.com/en-us/articles/2010-1/web-enabling-your-plc>
- [28] SEN, S.K., G. KARMAKAR, Jose JOSEPH a R.K. PATIL. *Programmable logic controller (PLC) for safety systems of nuclear plants*. India: Bhabha Atomic Research Centre, 2002. Dostupné také z: [http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:34011475](http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:34011475)

- [29] MASLAR, M. PLC standard programming languages: IEC 1131-3. In: *Conference Record of 1996 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference* [online]. IEEE, 1996, s. 26-31 [cit. 2023-01-15]. ISBN 0-7803-3148-6. Dostupné z: doi:10.1109/PAPCON.1996.535979
- [30] URBAN, Ing. Luboš. Programování PLC podle normy IEC EN 61131-3. *Automa*. 2005, (02). Dostupné také z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005\\_02\\_30310\\_1237/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005_02_30310_1237/)
- [31] Co by měl každý vědět o programovacích jazycích PLC. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2017 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/software/co-by-mel-kazdy-vedet-o-programovacich-jazycich-plc>
- [32] BOLTON, W. Ladder and functional block programming. In: *Programmable Logic Controllers* [online]. Elsevier, 2006, s. 80-107 [cit. 2023-01-15]. ISBN 9780750681124. Dostupné z: doi:10.1016/B978-075068112-4/50023-1
- [33] BOLTON, W. IL, SFC and ST programming methods. In: *Programmable Logic Controllers* [online]. Elsevier, 2006, s. 108-131 [cit. 2023-01-15]. ISBN 9780750681124. Dostupné z: doi:10.1016/B978-075068112-4/50024-3
- [34] *Cyber Security for Industrial Control Systems*. 1. CRC Press, 2020. ISBN 9780429091810.
- [35] *What Is Stuxnet?* [online]. USA: Musarubra, 2023 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.trellix.com/en-us/security-awareness/ransomware/what-is-stuxnet.html>
- [36] LUTKEVICH, Ben. *DMZ in networking* [online]. Massachusetts USA: TechTarget, 2021 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/DMZ>
- [37] GANDOTRA, Ekta, Divya BANSAL a Sanjeev SOFAT. Malware Analysis and Classification: A Survey. *Journal of Information Security* [online]. 2014,



05(02), 56-64 [cit. 2023-02-02]. ISSN 2153-1234. Dostupné z:  
doi:10.4236/jis.2014.52006

- [38] JETHVA, Hitesh. *NIST Password Guidelines* [online]. Buckinghamshire UK: Cloud Infrastructure Services, 2022 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z:  
<https://cloudinfrastructureservices.co.uk/nist-password-guidelines-requirements-best-practices/>
- [39] ALTON, Cory. *PLC vs PAC: Similar but not the same* [online]. Sheffield UK: Technique Learning Solutions, 2017 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:  
<https://learntechnique.com/plc-vs-pac-similar-not/>
- [40] KERNS, Jeff. *Has the PLC Met Its Match?* [online]. California USA: Endeavor Business Media, 2016 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:  
<https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/controllers/article/21834756/has-the-plc-met-its-match>
- [41] PAC. In: *Parker* [online]. ČR: PARKER HANNIFIN, 2023 [cit. 2023-02-05].
- [42] Remote Telemetry Unit. In: *Environmental XPRT* [online]. Madrid Španělsko: XPRT Media, 2023 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:  
<https://www.environmental-expert.com/products/tbox-model-lt2-remote-telemetry-units-rtu-639974>
- [43] *What is an Industrial PC?* [online]. UK: Datasound Laboratories, 2023 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.dsl-ltd.co.uk/what-is-an-industrial-pc/>
- [44] COX, Shawn. *What is an industrial PC?* [online]. California USA: Endeavor Business Media, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:  
<https://www.controldesign.com/control/embedded-control/article/11289752/what-is-an-industrial-pc>
- [45] PLR. In: *Akytec* [online]. 2023 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:  
<https://www.directindustry.com/prod/akytec-gmbh/product-161335-1655891.html>

- [46] Průmyslové PC. In: *Acquisys* [online]. FR, 2023 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.acquisys.fr/en/fonction/industrial-pc-integrated-pc/>
- [47] REED, Paul. *What Is a Cam Timer?* [online]. San Francisco USA: Conjecture, 2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.aboutmechanics.com/what-is-a-cam-timer.htm>
- [48] SHARP, Ira. *PLC, Arduino, and Raspberry Pi* [online]. LinkedIn, 2020 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/plc-arduino-raspberry-pi-whats-right-your-application-ira-sharp-jr/>
- [49] *What is an Arduino?* [online]. Colorado USA: SparkFun, 2012 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>
- [50] Arduino Leonardo. In: *PngAAA* [online]. 2020 [cit. 2023-02-05].
- [51] Raspberry Pi. In: *Distrelec* [online]. 2023 [cit. 2023-02-05].
- [52] *Vision Sensors Technical Guide* [online]. Tokyo Japan: PTEX FA, 2023 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: [https://www.optex-fa.com/tech\\_guide/vision/guide/](https://www.optex-fa.com/tech_guide/vision/guide/)
- [53] *Electronic nose* [online]. New Jersey USA: IEEE, 2018 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/meet-the-enose-that-actually-sniffs>
- [54] WU, Xiao, Yusuke TAHARA, Rui YATABE a Kiyoshi TOKO. Taste Sensor: Electronic Tongue with Lipid Membranes. *Analytical Sciences* [online]. 2020, **36**(2), 147-159 [cit. 2023-02-08]. ISSN 0910-6340. Dostupné z: doi:10.2116/analsci.19R008
- [55] SHAWN. *What is a sound sensor?* [online]. Shenzen China: Seedstudio, 2020 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.seedstudio.com/blog/2020/01/03/what-is-a-sound-sensor-uses-arduino-guide-projects>
- [56] SHELDON, Robert. *Sensor* [online]. USA: TechTarget, 2022 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/sensor>

- [57] KADLEC, Karel. Analyzátořy plynu a jejich charakteristické vlastnosti. *Automa* [online]. ČR: Automa, 2020, **2020**(12) [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/web-clanky/analyzatory-plynu-a-jejich-charakteristicke-vlastnosti-0\\_13309/](https://automa.cz/cz/web-clanky/analyzatory-plynu-a-jejich-charakteristicke-vlastnosti-0_13309/)
- [58] PEISAR, Miroslav. Senzory, snímače a čidla. *Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. ČR: FFC Public, 2020, **2020**(8) [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: [odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/senzory-snimace-a-cidla](http://odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/senzory-snimace-a-cidla)
- [59] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005. ISBN 9788073001452.
- [60] VOJÁČEK, Antonín. Teorie zpracování signálu ... senzorů. In: *Automatizace.hw.cz* [online]. ČR [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>
- [61] ORBIT MERRET. *Měření kolem nás (30) Můstky* [online]. ČR: FFC Public, 2021, [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mereni-kolem-nas-30-mustky-1--17879>
- [62] *Different Types of Actuators* [online]. Indie: Components101, 2021 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://components101.com/articles/types-of-actuators>
- [63] MORTENSON, Ted. *WHAT IS AN ACTUATOR?* [online]. Rotterdam: RealPars, 2020 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://realpars.com/actuator/>
- [64] NUGRAHA, E, A G ABDULLAH a D L HAKIM. Designing a SCADA system simulator for fast breeder reactor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2016, **128** [cit. 2023-03-27]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: [doi:10.1088/1757-899X/128/1/012006](https://doi.org/10.1088/1757-899X/128/1/012006)
- [65] DUFFY, Jill. *VPN* [online]. Columbia USA: Zapier, 2018 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://zapier.com/blog/what-is-a-vpn/>

- [66] BUCKBEE, Michael. *What is a Proxy Server and How Does it Work?* [online]. New York USA: Varonis, 2018 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://www.varonis.com/blog/what-is-a-proxy-server>
- [67] *Spínací relé patičové Finder* [online]. ČR: K&V Elektro [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/spinaci-rele-paticove-finder-2p-8a-24vdc-40-52-9-024-0000-p1219649>
- [68] *SPDT Spínací relé patičové* [online]. ČR: K&V Elektro [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/spinaci-rele-paticove-finder-1p-16a-24vdc-40-61-9-024-0000-p1182001>
- [69] *Indukční přibližovací čidlo* [online]. ČR: Dratek.cz [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1140-indukcni-priblizovaci-cidlo-lj12a3-4-z-by.html>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 PLC Siemens LOGO! [6] .....	3
Obrázek 2 Komponenty PLC, vzor: [11] .....	5
Obrázek 3 Architektury PLC .....	6
Obrázek 4 Skenovací perioda.....	7
Obrázek 5 Použití bezpečnostního PLC; vzor: [16].....	8
Obrázek 6 Vizualizace HART protokolu; vzor: [18].....	11
Obrázek 7 SCADA systém [24].....	13
Obrázek 8 Siemens LOGO! Web Editor (LWE) .....	14
Obrázek 9 Způsoby programování PLC .....	16
Obrázek 10 PAC (vlevo) [41] a RTU (vpravo) [42].....	19
Obrázek 11 PLR (vlevo) [45] a IPC (vpravo) [46] .....	20
Obrázek 12 Arduino (vlevo) [50] a Raspberry Pi (vpravo) [51].....	21
Obrázek 13 Měřící řetězec senzoru; vzor: [57].....	22
Obrázek 14 Wheatstoneův můstek.....	24
Obrázek 15 Vizualizace pomocí SCADA na PC [64] .....	25
Obrázek 16 Zabezpečená komunikace přes VPN .....	26
Obrázek 17 Akční část před úpravami. a) zásobník, b) třídící klapka, c) zásobník.....	28
Obrázek 18 Rozdělení úlohy na části.....	29
Obrázek 19 Schéma akční části úlohy .....	30
Obrázek 20 Řídící část úlohy – fotografie (vlevo), schéma (vpravo).....	31
Obrázek 21 Porty, které se mohou použít na propojení částí úlohy.....	32
Obrázek 22 Použité relé (vlevo) a patice (vpravo).....	32
Obrázek 23 Motor na natáčící třídící klapku (vlevo), třídící klapka (vpravo) .....	33
Obrázek 24 Dopravní pás.....	34

Obrázek 25 Použité indukční čidlo .....	35
Obrázek 26 Schéma zapojení úlohy .....	36
Obrázek 27 Zjednodušené schéma zapojení řídicí části.....	43
Obrázek 28 Navigační stránka webového rozhraní PLC .....	45
Obrázek 29 Hlavní stránka webového rozhraní PLC.....	45
Obrázek 30 Uchycení a propojení servomotoru s třídící klapku.....	47
Obrázek 31 Destička zvýrazňující pohyb dopravního pásu .....	48
Obrázek 32 3D model třídící klapky (vlevo) a držáku na servomotor (vpravo).....	48
Obrázek 33 3D model (vlevo) a vytištěná (vpravo) spodní části nádoby .....	49
Obrázek 34 Mechanismus zavírání sila.....	49
Obrázek 35 Referenční řídicí program - levá část.....	51
Obrázek 36 Referenční řídicí program - pravá část .....	52

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Parametry analogových IO modulů [17].....	10
Tabulka 2 Standardní logické úrovně [19].....	12
Tabulka 3 Programovací jazyky specifikované v normě IEC EN 61131-3 .....	15
Tabulka 4 Parametry použitých relé [67; 68].....	33
Tabulka 5 Parametry použitých motorů.....	34
Tabulka 6 Parametry použitého indukčního čidla [69] .....	35
Tabulka 7 Použité porty .....	42

## Seznam příloh

<b>Příloha A</b> – Zdrojový kód ESP.....	I až II
<b>Příloha B</b> – Protokol k úloze .....	III až V
<b>Příloha C</b> – Fotka hotové úlohy .....	VI
<b>Příloha D</b> – Pohled přes IP kameru .....	VI
<b>Příloha E</b> – Schéma zapojení inovované úlohy.....	VII až VIII



```
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo myservo_silo;
4  Servo myservo_directionPlate;
5
6  #define PIN_IN_SERVO_SILO D1
7  #define PIN_IN_SERVO_DIRECTIONPLATE D2
8
9  #define PIN_OUT_SERVO_SILO D6
10 #define PIN_OUT_SERVO_DIRECTIONPLATE D5
11 #define PIN_OUT_FEEDBACK D7
12
13 #define SERVO_SILO_ANGLE_MAX 0
14 #define SERVO_SILO_ANGLE_MIN 180
15 #define SERVO_DIRECTIONPLATE_ANGLE_MAX 0
16 #define SERVO_DIRECTIONPLATE_ANGLE_MIN 180
17
18 long stopTime = 0L;
19 bool busy = false;
20 int in_servo_directionplate_previous = 0;
22 void setup() {
23     myservo_silo.attach(PIN_OUT_SERVO_SILO);
24     myservo_directionPlate.attach(PIN_OUT_SERVO_DIRECTIONPLATE);
25
26     pinMode(PIN_OUT_FEEDBACK, OUTPUT);
27     pinMode(PIN_IN_SERVO_SILO, INPUT);
28     pinMode(PIN_IN_SERVO_DIRECTIONPLATE, INPUT);
29     feedback_startBusy();
30 }
```

```
32 void loop() {
33     int in_servo_silo_current =
34         digitalRead(PIN_IN_SERVO_SILO);
35     int in_servo_directionplate_current =
36         digitalRead(PIN_IN_SERVO_DIRECTIONPLATE);
37
38     bool isDirectionPlateDirectionChanged =
39         in_servo_directionplate_current != in_servo_directionplate_previous;
40     if (isDirectionPlateDirectionChanged) {
41         feedback_startBusy();
42     }
43
44     myservo_silo.write(
45         in_servo_silo_current ?
46         SERVO_SILO_ANGLE_MAX : SERVO_SILO_ANGLE_MIN
47     );
48     myservo_directionPlate.write(
49         in_servo_directionplate_current ?
50         SERVO_DIRECTIONPLATE_ANGLE_MAX : SERVO_DIRECTIONPLATE_ANGLE_MIN
51     );
52
53     in_servo_directionplate_previous = in_servo_directionplate_current;
54     feedback_checkStopBusy();
55 }
57 void feedback_startBusy() {
58     digitalWrite(PIN_OUT_FEEDBACK, 0);
59     busy = true;
60     stopTime = millis() + (1000 * 4); // BUSY TIME 1000ms * 4 = 4s
61 }
62 void feedback_checkStopBusy() {
63     if (busy && millis() > stopTime) {
64         digitalWrite(PIN_OUT_FEEDBACK, 1);
65         busy = false;
66     }
67 }
```

Jméno:

Datum:

## Protokol k úloze řízení plnění nádob pomocí PLC

### Zadání:

- 1) Vytvořit stavový diagram pro úlohu
- 2) Vytvořit program v LD
- 3) Vytvořit program v FBD
- 4) Porovnání LD a FBD

Za úkol je přesunout materiál ze sila do nádrží. Aby byly nádrže vyrovnané, střídáte průběžně plněnou nádrž. Hladina jedné nádrže nesmí být o dvě hladiny výše než druhé nádrže. V průběhu otáčení směrové plochy nesmí na směrovou plochu padat materiál. Na konci nesmí zůstat materiál na dopravním páse.

**Za bonusové body:** možnost stanovit výšku hladiny zvlášť pro levou a pravou nádrž

### Parametry

IP adresa PLC:

IP adresa kamery:

- *pro přístup k PLC je potřeba mít VPN s přístupem k IP adrese PLC a odemčené porty 10001, 10005, 8080, 80*
- *pro přístup k IP kameře je potřeba mít VPN s přístupem k IP adrese IP kamery a odemčený port 80, 443*

### IO Porty:

Senzor levý horní: .....Senzor pravý horní: .....

Senzor levý dolní: .....Senzor pravý dolní: .....

Zpětná vazba z ESP: ..... Přivolání učitele: .....

Náklonná plocha: ..... Zavírání sila: .....

Dopravní pás: .....

### Stavový diagram:

*(diagram nakreslete na druhou stranu listu)*



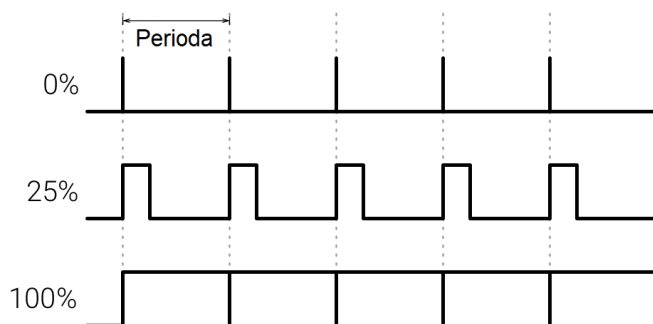
### Dopravní pás

Dopravní pás je poháněn stejnosměrným elektrickým motorem. Ovládá se pomocí relé, které je připojeno na výstup PLC. Otáčí se pouze na jednu stranu. Chod dopravního pásu je zvýrazněn pomocí točícího se kola, které je na něm připevněné.

### Servomotory

Naklánění plošiny a zavírání sila je poháněno servomotory. Úhel natočení servomotoru se určuje pomocí PWM signálu. Jak je vidět na *obr. 1* PWM signál je digitální signál, který má pevně danou periodu. Mění se pouze doba stavu logické 1. Podle doby trvání logické 1 se servomotor natočí na určitý počet stupňů.

*Obrázek. 1 PWM Signál*



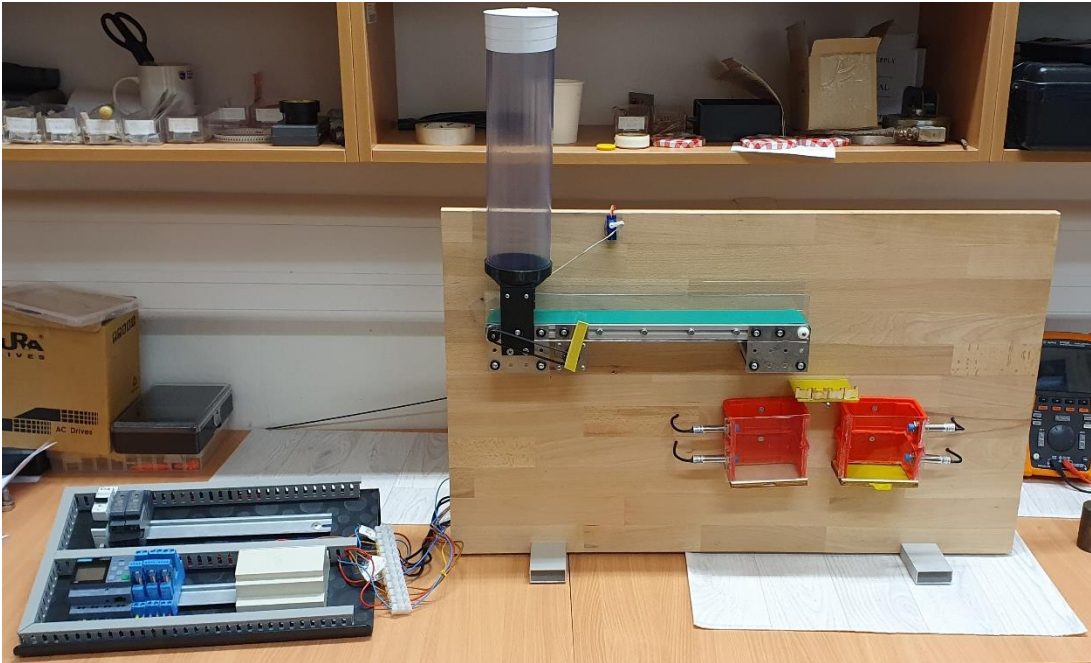
Řídicí PWM signál je pro servomotory, vytvářen pomocí ESP8266 (NodeMCU). V ESP je vytvořen program, který nakloní plošinu doleva nebo doprava a otevře nebo zavře silo. PLC pak pouze vydává dvoustavový pokyn pro ESP, aby se plocha naklonila, nebo silo otevřelo. Maximální frekvence spínání výstupů u PLC je 10 Hz. Pro ovládání servomotorů je potřeba 40-200 Hz (běžně 50 Hz), proto se pro ovládání servomotorů v této úloze používá ESP8266.

Otáčení servomotoru není instantní, proto je potřeba při otáčení počkat, až se servomotor dostane na pozici. Toho může být dosaženo buď pevně danou časovou prodlevou v PLC, nebo zpětnou vazbou z ESP.

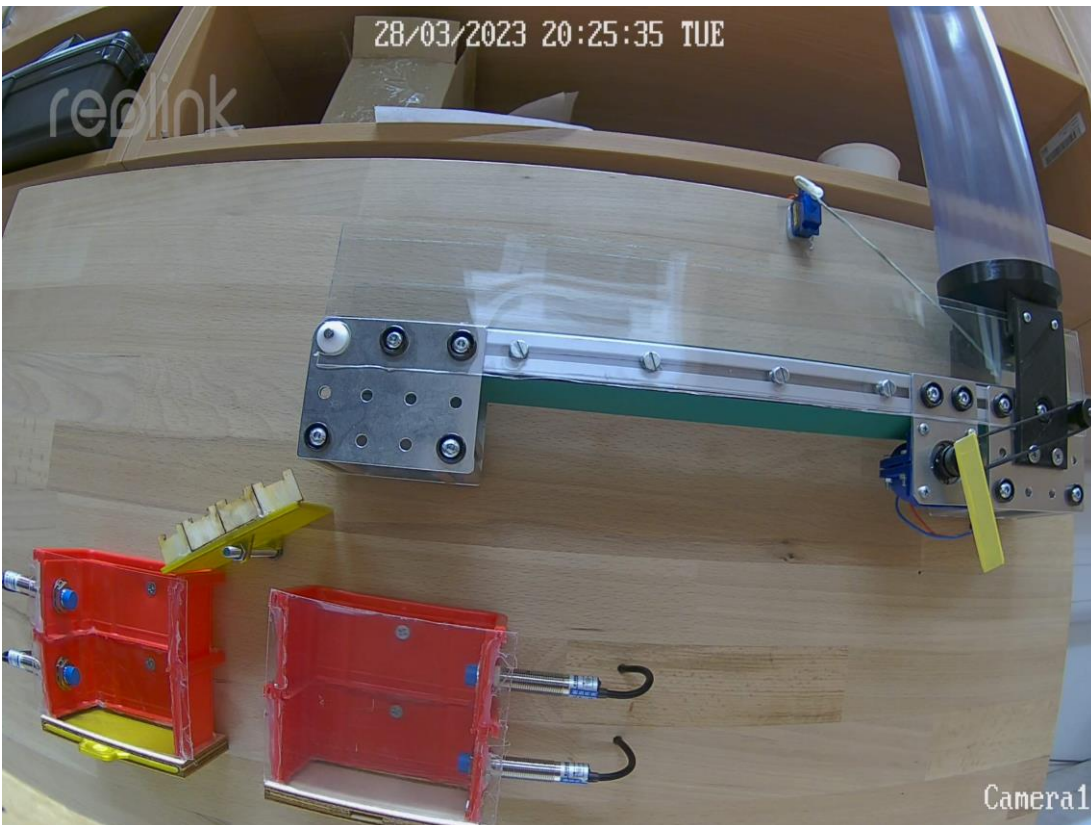
### Indukční senzor

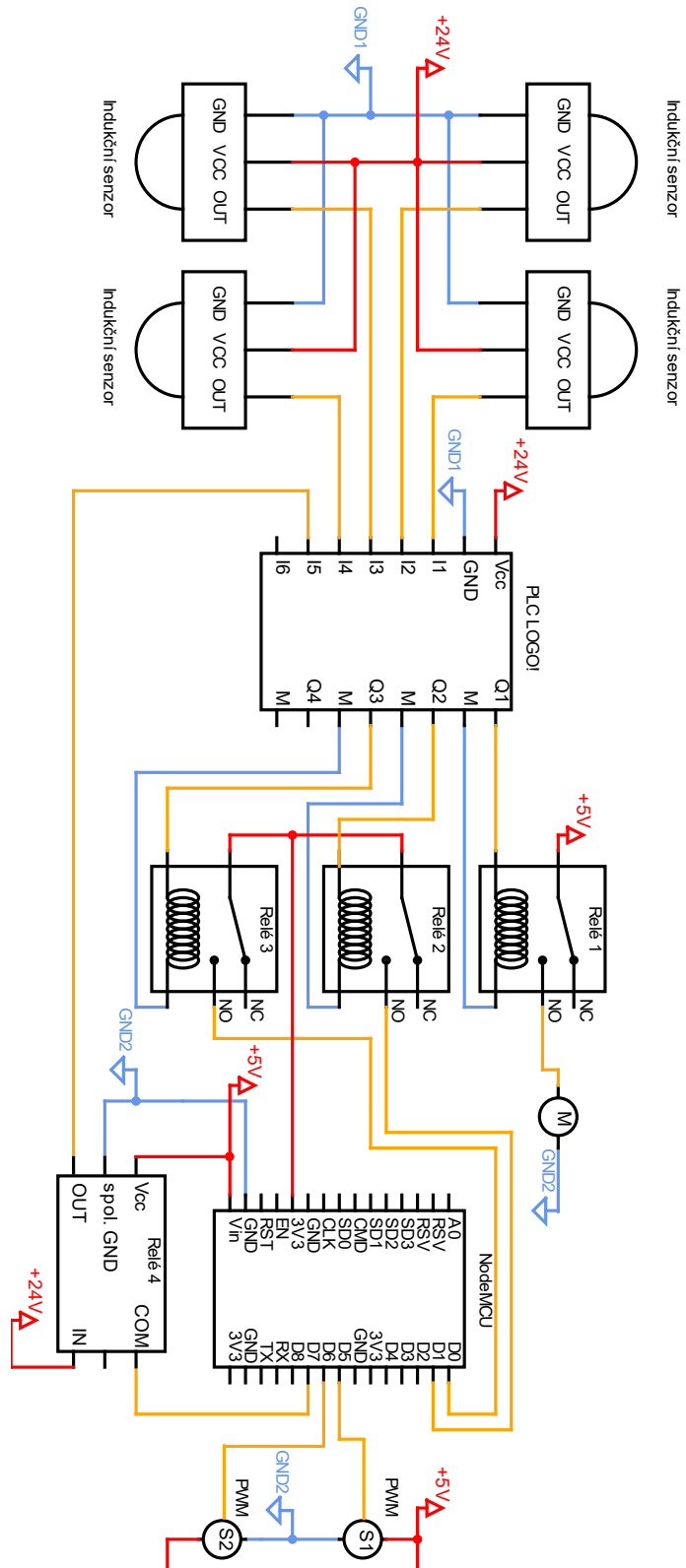
Pro určování výšky hladiny se používají indukční senzory. V každé nádrži se nacházejí dva senzory, pomocí kterých je možné sledovat dva stavy výšky hladiny materiálu. Používají se indukční senzory, aby byla výška hladiny detekována, musí být materiál z elektricky vodivého materiálu.

**Příloha C: Fotka hotové úlohy**



**Příloha D: Pohled přes IP kameru**





*Pozn.:*

- Modrá* – Znázorňuje část okruhu připojenou k *GND1*, nebo *GND2*
- Červená* – Znázorňuje část okruhu připojenou k *+5 VDC*, nebo *+24 VDC*
- Žlutá* – Znázorňuje část okruhu s měnícím se potenciálem
- GND1* – Zem vedoucí z usměrňovače napětí na *24 VDC*
- GND2* – Zem vedoucí z usměrňovače napětí na *5 VDC*
- +24 V* – Zdroj napětí vedoucí z usměrňovače napětí na *24 VDC*
- +5 V* – Zdroj napětí vedoucí z usměrňovače napětí na *5 VDC*
- NC* – Normálně sepnutý
- NO* – Normálně rozepnutý
- S1* – Servomotor, který ovládá třídící klapku
- S2* – Servomotor, který ovládá závěr sila
- M* – Motor, který ovládá dopravní pás
- Relé 1 až 3* – Relé s konfigurací kontaktů typu *SPDT*
- Relé 4* – Relé s optočlenem schopné spínat *24 VDC*