



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**NÁVRH, KONSTRUKCE A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ
INTELIGENTNÍHO SKLADU PRO TESTBED PRŮMYSLU
4.0**

DESIGN OF MECHANICAL, ELECTRICAL CONSTRUCTION AND SOFTWARE EQUIPMENT OF SMART
WAREHOUSE FOR INDUSTRY 4.0 TESTBED.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Rejchlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Lukáš Rejchlík

ID: 174386

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Návrh, konstrukce a programové vybavení inteligentního skladu pro testbed Průmyslu 4.0

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a zkonstruovat buňku inteligentního skladu pro testbed Průmyslu 4.0, implementovat řízení v PLC a vizualizaci pro HMI a demonstrovat autonomní funkčnost výrobní buňky.

1. Seznamte se s koncepcí a aktuálním stavem testbedu a popište je.
2. Nastudujte a popište existující rozhraní, prostřednictvím kterých dochází k výměně dat a výrobků mezi jednotlivými autonomními buňkami.
3. Proveďte mechanický návrh jedné z autonomních buněk v kontextu možností budoucího automatického řízení.
4. Vybavte mechanicky zkonstruovanou buňku snímači, akčními členy a řídicí logikou.
5. Navrhněte, realizujte, zprovozněte a otestujte programové vybavení, dokumentujte průběžně všechny dílčí úkoly.
6. Proveďte přizpůsobení programového vybavení tak, aby buňka mohla být připojena do systému demonstrátoru.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design (Kaczmarczyk, 2018)

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 13.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem, konstrukcí a programovým vybavením inteligentního skladu pro testbed Průmyslu 4.0. První část práce je věnována problematice skladů, skladování, Průmyslu 4.0 a popisu testbedu Barman. Druhá část práce se zabývá vývojem buňky skladu. Nejdříve je pozornost věnována popisu návrhu a konstrukce buňky, poté následuje popis použitých snímačů a řídicího vybavení. Následující část se zabývá programovým vybavením buňky a na závěr jsou zhodnoceny dosažené cíle práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmysl 4.0, inteligentní sklad, testbed, Barman, 3D modelování, PLC

ABSTRACT

This thesis deals with design, construction and software of intelligent warehouse for testbed Industry 4.0. The first part is dedicated to the issue of warehousing, storage, Industry 4.0 and the description of the testbed Barman. The second part deals with the development of the cell storage. Firstly, there is a description of the design and construction of the cell, followed by a description of the sensors and control equipment used. The following part deals with the software of the cell and finally the goals of the thesis are evaluated.

KEYWORDS

Industry 4.0, smart warehouse, testbed, Barman, 3D modelling, PLC

Bibliografická citace

REJCHLÍK, Lukáš. *Návrh, konstrukce a programové vybavení inteligentního skladu pro testbed Průmyslu 4.0* [online]. Brno, 2019, 85 s [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118406>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Václav Kaczmarczyk.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Návrh, konstrukce a programové vybavení inteligentního skladu pro testbed Průmyslu 4.0“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne:

.....
Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

V Brně dne:

.....
Podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíl práce.....	10
2	Skladování	11
2.1	Skladový management.....	12
2.2	Inteligentní sklady	12
2.2.1	Pick by Light	13
2.2.2	Pick by Voice	13
2.3	Moderní skladovací systémy	13
3	Průmysl 4.0	15
3.1	Cíle průmyslu 4.0	15
3.2	Vertikální integrace systémů	16
3.3	Horizontální integrace systémů	17
3.4	Přizpůsobení strojů	17
4	Koncepce a aktuální stav testbedu	18
4.1	Konstrukce stolu.....	19
4.2	Robotický manipulátor	20
4.3	Dopravník	21
4.4	Zásobník sklenic.....	22
4.5	Drtič ledu.....	23
4.6	Výrobník sycené vody	23
4.7	Sklad nealkoholických chlazených nápojů.....	23
4.8	Sklad alkoholických nápojů	23
4.9	Shaker.....	24
4.10	Sklenice.....	24
5	Návrh a konstrukce skladu alkoholu.....	25
5.1	Rám buňky.....	26
5.2	Skladování lahví	26
5.2.1	Dávkovače alkoholu.....	27
5.2.2	Uchycení lahví	28
5.3	Konstrukce manipulátoru	31
5.3.1	Pohonné jednotky.....	31
5.3.2	Vertikální vedení.....	32
5.3.3	Horizontální vedení.....	35
5.3.4	Montážní profily.....	36

5.3.5	Vozík	37
5.3.6	Protizávaží	40
5.4	Energetické řetězy	41
5.5	Tlačítko nouzového zastavení	42
5.6	Signalizační sloupek	43
6	Snímače	44
6.1	Snímač ifm RB3500	44
6.2	Snímač ifm KQ5100	45
6.3	Koncový optický snímač	45
6.4	Indukční snímač LJ12A3-4-Z/BY	46
6.5	Koncový mikrospínač V-153-1C25	47
6.6	Koncový mikrospínač DM-03S01P	48
7	Řídicí vybavení	49
7.1	PLC Siemens Simatic S7-1200	49
7.1.1	Rozšiřovací modul Siemens S7-1200 SB 1222	49
7.2	HMI panel Siemens KTP400 Basic Color	50
7.3	ifm IO-Link master AL1900	50
7.4	Switch Linksys SD205	50
7.5	Driver TB67S109AFTG	50
7.6	PWM modul	51
8	Elektroinstalace	52
8.1	Rozvaděč	53
8.2	Zapojení prvků v rozvaděči	54
8.3	Rozvod ke snímačům a krokovým motorům	55
8.4	Elektroinstalace manipulátoru	55
9	Programové vybavení	58
9.1	Konfigurace pohonů	59
9.1.1	Technologické objekty	60
9.1.2	Krokové motory	63
9.1.3	Stejnoseměrný motor	64
9.1.4	Nalezení referenčních pozic os	67
9.2	Datové typy UDT	68
9.2.1	Stepper	68
9.2.2	DC_Drive	69
9.2.3	Warehouse	69
9.2.4	Drink	70

9.2.5	TableParam	70
9.2.6	Struktury obsluhy funkcí nižších úrovní	70
9.3	Funkce programu.....	71
9.3.1	Pomocné funkce.....	71
9.3.2	Základní operace	72
9.3.3	Řídící moduly.....	73
9.3.4	Moduly zařízení	74
9.4	Vizualizace	76
10	Závěr	79
	Literatura.....	81
	Seznam příloh	83
	Příloha 1	84

Seznam obrázků

Obr. 1:	Příklad konstrukce a funkce moderního skladu [10]	14
Obr. 2:	Časové rozložení průmyslových revolucí [11]	15
Obr. 3:	Pyramida řídicího a informačního systému podniku [13]	17
Obr. 4:	Celkový pohled na model Barmana [1]	18
Obr. 5:	Princip montáže pomocí rychlospojky [15].....	20
Obr. 6:	Úchop na sklenice.....	21
Obr. 7:	Dopravník na sklenice	22
Obr. 8:	Model navrhované buňky skladu.....	25
Obr. 9:	Horní pohled na konstrukci buňky s vyznačením rozložení prostorů	26
Obr. 10:	Model podstavy (stolku) na sklenice	27
Obr. 11:	Dávkovač alkoholu	28
Obr. 12:	Model držáku dávkovače a dávkovače	29
Obr. 13:	Objímka hrdla lahve s držákem kapacitního snímače	30
Obr. 14:	Modely svorek lahví	31
Obr. 15:	Model konstrukce manipulátoru (vlevo) a napínacího mechanismu (vpravo).....	33
Obr. 16:	Modely držáků převodovky Zeitlauf a DC motoru PAPST	35
Obr. 17:	Sestava pohonu, řemenice a rotačního enkodéru RB3500	35
Obr. 18:	Model držáku motoru NEMA17 (vlevo) a ložiskového domku (vpravo)	36
Obr. 19:	Sestavy prvků hliníkových profilů.....	37
Obr. 20:	Modely ploten a vozíku	38
Obr. 21:	Uchycení řemenu s vlastním napínacím mechanismem.....	39
Obr. 22:	Sestava vozíku	39
Obr. 23:	Dvoudílné pouzdro na závaží	41
Obr. 24:	Držáky energetického řetězu	42

Obr. 25: Spodní a horní díl krabice pro ovladač nouzového zastavení.....	42
Obr. 26: Prvky signalizačního sloupku	43
Obr. 27: Rotační inkrementální enkodér RB3500 včetně držáků	45
Obr. 28: Kapacitní snímač KQ5100.....	45
Obr. 29: Schéma elektrického zapojení optického snímače [18].....	46
Obr. 30: Uchycený indukční snímač.....	47
Obr. 31: Připojení PNP a NPN snímače	47
Obr. 32: Koncový mikropsínač a koncový optický snímač	48
Obr. 33: Koncový mikropsínač DM-03S01P umístěný v objímce na sklenice	48
Obr. 34: Modul pro PWM regulaci	51
Obr. 35: Zapojení napájecího konektoru.....	52
Obr. 36: Rozvaděč.....	53
Obr. 37: Řešení změny směru chodu DC motoru	55
Obr. 38: Prvky sestavy krycí krabice svorkovnice	56
Obr. 39: Uchycení koncových snímačů	56
Obr. 40: Popis os manipulátoru.....	60
Obr. 41: Dělení rozsahu os [20]	61
Obr. 42: Ukázka nastavení ramp v prostředí TIA Portal	62
Obr. 43: Signál se střídou 33 %	65
Obr. 44: Znázornění sekvence referování	67
Obr. 45: Hierarchie volání funkcí	71
Obr. 46: Vývojový diagram funkčního bloku MakeDrink	76

Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry DC motoru PAPST [17]	32
Tab. 2: Parametry krokového motoru NEMA17	32
Tab. 3: Parametry PLC S7-1200	49
Tab. 4: Parametry HMI panelu	50
Tab. 5: Prvky umístěné na DIN liště rozvaděče.....	54
Tab. 6: Připojení vstupů a výstupů.....	59
Tab. 7: Konfigurace technologických objektů Os	63
Tab. 8: Poskytnuté <i>Motion Control</i> instrukce	64
Tab. 9: Konfigurace vysokorychlostního čítače	65

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí a tvorbou programového vybavení jedné z buněk spadajících do projektu testbedu Průmyslu 4.0 s názvem Barman. Koncept projektu Barman byl vytvořen za účelem znázornění principů a funkce Průmyslu 4.0 na reálném projektu minimalizovaných průmyslových procesů.

První část práce je věnována seznámení se s problematikou skladů a skladování. Následuje objasnění pojmu a popis Průmyslu 4.0, který má projekt Barman reprezentovat. Další text je věnován seznámení a popisu aktuálního stavu testbedu Barman, na jehož vývoji se podílí tým složený ze studentů a zaměstnanců Vysokého učení technického v Brně, fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií. Účelem Barmana jako celku je realizovat výrobní proces míchaných nápojů pomocí spolupráce menších procesních jednotek zajišťujících jednotlivé fáze procesu. Mezi tyto fáze patří manipulace s uskladněnými sklenicemi, výroba sody, sklad nealkoholických nápojů, sklad alkoholických nápojů, shaker, drtič ledu, manipulace se sklenicemi pomocí SCARA robotu a výdej sklenic na dopravník. [1]

Další část práce je věnována návrhu konstrukce a vybavení buňky určené pro skladování a dávkování alkoholických nápojů do sklenic. Jedná se o rozměrově největší buňku použitou v projektu Barman, a to z důvodu potřeby uskladnění dostatečně různorodého množství alkoholu. Činnost buňky spočívá v přečtení požadované receptury, uložené pomocí NFC čipu nacházejícího se na sklenici, následném automatickém nadávkování požadovaného množství všech ingrediencí do sklenice a poskytnutí sklenice k dalším částem procesu. Návrh konstrukce buňky probíhal nejdříve formou vytvoření 3D modelů všech prvků konstrukce a jejich spojení do sestavy buňky jako celku. Výhodou virtuálního modelu je odladění všech prvků konstrukce před započítáním výroby. Velká část vytvořených prvků (modelů) byla následně vyrobená pomocí 3D tisku.

Následující část popisuje použité snímače a řídicí vybavení buňky skladu alkoholu. Tato část zároveň obsahuje popis elektroinstalace a zapojení buňky.

V poslední části práce je řešena problematika oživení buňky, zprovoznění všech pohonů a tvorba programového vybavení a vizualizace.

1.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace buňky inteligentního skladu pro testbed Barman. Nejdříve je nutné vytvořit virtuální model buňky skladu, podle kterého bude následně sestavován fyzický model. Pro výrobu prvků konstrukce se uvažuje využití technologie 3D tisku. Sestavený model je potřeba vybavit řídicími prvky, akčními členy a snímači. V posledním fázi je cílem vytvořit a otestovat programové vybavení skladu.

2 SKLADOVÁNÍ

Skladování je důležitou součástí logistického řetězce, kde zastupuje hlavní spojovací článek mezi dodavatelem a odběratelem. Pod pojmy sklad a skladování si lze v zásadě představit fyzické úložiště materiálu za účelem jeho uschování k dalšímu zpracování. Sklad jako fyzické úložiště přijímá materiál od dodavatele a následně poskytuje eventuální distribuci materiálu odběratelům, z tohoto důvodu je často označován jako distribuční centrum. Toto přiřazení však není zcela přesné, distribuční centra jsou především určena ke krátkodobým procesům příjmu, rozdělování a expedice zboží do dalších podniků a zaměřují se především na zboží s vysokou poptávkou na trhu. Sklady oproti distribučním centrům poskytují a plní funkce [2]:

- příjmu,
- uskladnění,
- vystavení objednávky,
- shromažďování většího množství produktů,
- označování,
- balení,
- uspořádání a odesílání zásilek.

Všechny tyto funkce mají společné prvky, kterými jsou přesnost a úplnost dodávky, minimalizace časové náročnosti, maximalizace využití prostoru a další indikátory kvality a produktivity manipulace s materiálem. Skladování materiálu může být přechodné, kdy se jedná o periodické naskladňování daného typu produktu k doplnění základního minimálního množství, nebo časově omezené, kde je zahrnuto skladování zásob s nestálou a ve větší míře proměnnou poptávkou. Obecně je v podniku kladen důraz na obměňování všech uskladněných produktů tak, aby žádný z nich pouze nezabíral prostor skladu a neklesala jak hodnota nežádoucího produktu, tak i možnost využití prostoru skladu pro výhodnější produkt. Nejen z těchto důvodů je potřeba zpracovávat informace o stavu skladu a zásob, zpracovávaném zboží, umístění veškerého zboží, dodávkách a expedicích, využití prostor a zaměstnanců. Získané informace z dat jsou poté poskytovány nadřazené úrovni řízení podniku. [3]

Při návrhu skladu je potřeba se zaměřit na čtyři základní kritéria. Prvním kritériem je vybavenost skladu manipulační technikou a skladovými soustavami. V případě volby nekorektního vybavení by došlo k narušení interní logistiky skladu. Druhým kritériem je dostatečná kapacita skladu pro obsluhu všech vnějších požadavků zákazníků. Při nevyužití kapacity skladu je problém s neefektivním využitím prostorů a tím i vyššími náklady. Třetím kritériem je umístění skladu, které je rozhodující pro optimální přístup k příjmu a výdeji produktů. Podle umístění je sklad modifikován v závislosti na infrastrukturu. Posledním kritériem je množství udržovaných zásob ve skladu. Velké množství uchovávaných zásob znamená velké množství kapitálu nejen v daných

zásobách, ale i v jejich správě. Malé množství naopak znamená případné neumožnění expedice dostatečného objemu produktu v reálném čase. [4]

2.1 Skladový management

Skladový management je proces kontroly a koordinace příjmového zboží, jeho následné uskladnění, sledování a konečné distribuce. V minulosti byl skladový management řešen pouze pomocí papírové administrace a kontroly aktivit, tento systém byl postupně inovován zaváděním systémů řízení skladů. Systémy řízení skladu WMS (Warehouse management systems – systémy řízení skladů) jsou určeny pro sledování a koordinaci skladovaných produktů od doby jejich příjmu po jejich distribuci. [5]

Mezi základní znaky těchto systémů patří:

- automatická identifikace zboží pomocí RFID (Radio Frequency Identification),
- přesná lokalizace zboží v prostoru skladu,
- záznam všech aktivit ve skladu v reálném čase,
- optimalizační algoritmy skladování produktů,
- dodržování pravidel metod FIFO (First In First Out), FEFO (First Expired First Out),
- automatizace inventarizace,
- využitelnost různých ukazatelů kvality, výkonnosti a nákladů. [6]

Využívání systémů WMS tak nabízí možnost přehledné kontroly všech činností ve skladu, optimalizaci těchto činností a tím zvýšení efektivity. Reálně řízený sklad zobrazuje všechny aktuální stavy zboží včetně jeho rozdělení mezi zadané, rezervované, objednané a případně další. Systémy nabízejí i další třídící kritéria, kterými mohou být například rozměry, typ obsahu, balení. O produktech v daných kategoriích lze poté hromadně vystavovat případné doklady jako příjemky, výdejky, expirační lhůty a další. Pomocí evidovaných informací mohou systémy rozhodovat o toku materiálu a jeho manipulaci například u produktů s omezenou trvanlivostí dodržovat zásady FIFO bez potřeby kontroly a zásahu člověka. Identifikace a inventarizace zboží pomocí RFID nebo čárových kódů čtených čtečkami propojenými přímo se systémem řízení skladu zjednodušuje a urychluje katalogizaci a práci s produkty. [7]

2.2 Inteligentní sklady

Převážná část skladů je v dnešní době řízená, problematika tzv. inteligentních skladů se stává objektem zájmu v oblasti skladování. Inteligentní sklad je tvořen automatizovanými a plně propojeným nejmodernějšími prvky skladovacích systémů, mezi které patří skladovací roboty, dopravníky, skenery, senzory, typy vychystání, skladovací management. Výsledkem propojení a automatizace všech těchto prvků je schopnost systému jako celku pracovat do velké míry autonomně bez nutnosti zásahu člověka ať už v podobě fyzického skladování nebo administrativní práce. Řešení problematiky skladování pomocí inteligentních skladů přináší následující výhody:

- Online kontrola objektů a procesů,
- Větší bezpečnost a ochrana zaměstnanců,
- Adaptabilita logistických procesů,
- Vyšší přesnost logistických procesů,
- Snížení chybovosti,
- Vyšší produktivita, efektivita a rychlost logistických procesů. [8]

Se zavedením inteligentních skladů však souvisí i zvýšené nároky na náklady pro realizaci skladu, celková náročnost prvotního technického řešení skladu nebo jeho inovace, potřeba logiky řízení a softwaru pro celý systém skladu, zvýšené nároky na kvalitu obsluhy systémů skladu a definitivní závislost skladu na energetických a informačních sítích. Pro zlepšení přehledu operátora se začali zavádět systémy vychystávání „Pick by light“ a „Pick by voice“.

2.2.1 Pick by Light

Technologie „Pick by Light“ navádí operátora pomocí světelných signálů k místu uložení hledaného výrobku. Takový přístup ulehčuje a zrychluje nalezení všech požadovaných výrobků ve skladu. Díky orientaci pomocí světelných signálů má operátor volné obě ruce a může tak efektivněji kompletovat zakázky. Vhodným doplněním ke světelným signálům jsou informační displeje u koncových pozic skladovaných výrobků ukazující například aktuální a požadovaný počet výrobků ke kompletaci. Informace zobrazující se na displeji mohou být specifikovány spolu se světelnými signály systémem WMS.

2.2.2 Pick by Voice

Druhou zmíněnou technologií je „Pick by Voice“, kde je vhodné využití především v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Průběh vychystání objednávky je realizován formou rozhovoru. Operátor je vybaven sluchátkem a mikrofonom a při kompletování zakázek mu jsou poskytovány informace a příkazy verbální komunikací. Operátor potvrzuje splněné úkony specifikovanou odpovědí ve formě slova nebo číselného označení. [9]

Mezi další systémy vychystávání patří „Put to Light“, „Supply of Material“ a „Picking Cart“.

2.3 Moderní skladovací systémy

Stále více společností začíná ve skladování využívat automatizované skladovací systémy, kde je zásah člověka do logistiky ve skladování minimální. Výhodou těchto systémů je minimalizace vlivu lidského faktoru, zvýšení využití skladových prostor a rychlosti a přesnosti manipulace se skladovanými produkty.

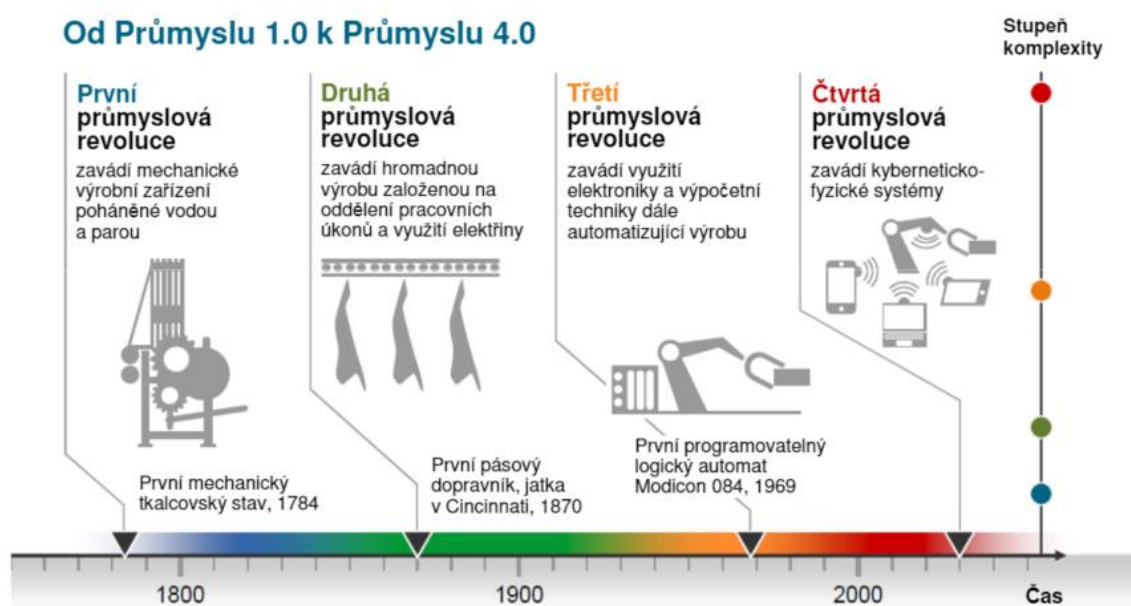


Obr. 1: Příklad konstrukce a funkce moderního skladu [10]

Manipulace s produkty ve skladu je řešena pomocí různých robotů, zakladačů a vozíků, které jsou navrženy pro danou regálovou strukturu a pohybují se v přesně daných drahách. Tím, že zde není uvažován pohyb člověka, je docíleno zmenšení manipulačních prostor a zvětšení prostor skladovacích. Příklad konstrukce moderního skladu je na obr. 1.

3 PRŮMYSL 4.0

Průmysl 4.0 (angl. Industry 4.0) je velmi často označován jako čtvrtá průmyslová revoluce (obr. 2). Jeho koncept je zaměřen především na aktuální trend digitalizace a automatizace procesů na všech úrovních výroby. To zahrnuje také kyberneticko-fyzikální systémy, internet věcí a zpracování informací s využitím „cloudu“. Poprvé byly myšlenky vývoje průmyslu k Průmyslu 4.0 uvedeny v roce 2011 na Hannoverském veletrhu, ale až v roce 2013 byla iniciativa Průmyslu 4.0 poprvé uvedena na témže místě. Vize zaměření automatizačních technologií v této průmyslové revoluci vedou k preferování distribuovaných systémů a zahrnují automatickou optimalizaci, konfiguraci a diagnostiku, strojové vnímání a inteligentní podporu dělníka. Vznik Evropské iniciativy Průmyslu 4.0 je založen ve snaze udržení Evropy na vysoké úrovni technologického vývoje.



Obr. 2: Časové rozložení průmyslových revolucí [11]

3.1 Cíle průmyslu 4.0

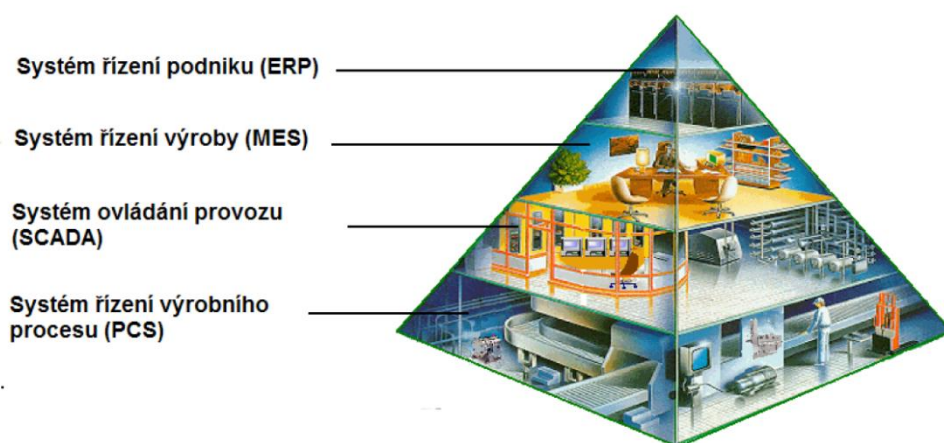
Jak již bylo zmíněno, jedná se o už započatou 4. průmyslovou revoluci, která obsahuje kompletní automatizaci, robotizaci a digitalizaci velkého množství lidských činností za účelem zvýšení rychlosti a efektivity výroby, parametrizace výrobků a efektivního využití všech zdrojů spojených s výrobou.

Základní charakteristiky inovace výrobních továren průmyslu 4.0:

- Optimalizace všech výrobních procesů i v souvislosti s celým hodnototvorným řetězcem za použití integrace vertikálních i horizontálních informačních systémů a všech inženýrských procesů.
- Nahrazení izolovaných, úzce zaměřených výrobních jednotek výrobními linkami, které jsou plně automatizované a vzájemně propojené.
- Vytvoření virtuálních návrhů a modelů výrobních zařízení, prototypů návrhů výrobků, jejich výrobních prostředků a výrobních procesů. Průběh následného uvedení do provozu tvořený samostatným integrovaným procesem ovlivněným jak výrobcem, tak i dodavatelem.
- Zavedení a zvýšení flexibility výrobních procesů, která umožní efektivní výrobu velkých i malých výrobních dávek vycházejících z individuálních požadavků různých zákazníků.
- Umožnění vzájemné komunikace mezi výrobky, roboty a výrobními zařízeními pro zajištění určité míry autonomního rozhodování v reálném čase a zvýšení flexibility a efektivity výrobního procesu.
- Automatická diagnostika, optimalizace a konfigurace výrobních zařízení určené v závislosti na získaných datech o aktuálně zpracovávaném výrobku.
- Zaměření na logistické zázemí výrobního podniku a automatizace logistického zázemí s využitím autonomních dopravních vozíků a robotů, pomocí kterých má být dosaženo automatického přizpůsobení potřebám výroby. Zlepšení koordinace v rámci všech statických a pohybujících se zařízení i tím optimalizace dopravních spojení. [12]

3.2 Vertikální integrace systémů

Vertikálními systémy se rozumí tzv. automatizační pyramida (obr. 3), která popisuje klasickou hierarchii a uspořádání funkcí v řízení podniku. Pyramida se skládá ze čtyř vzájemně komunikujících vrstev, jejichž celkovým rámcem je výrobní podnik. Zde je potřeba propojit dvě klíčová znalostní odvětví, odvětví řídicí techniky a automatizace a odvětví vývoje informačních systémů.



Obr. 3: Pyramida řídicího a informačního systému podniku [13]

3.3 Horizontální integrace systémů

Horizontální integrace je propojení napříč dodavatelským řetězcem, zahrnující všechny části hodnototvorného řetězce dodavatel-odběratel. Těmito částmi jsou míněni dodavatelé, výrobci, koncoví zákazníci a případný servis. Sdílením dat, a následně i informací napříč tímto celým řetězcem může být získána větší flexibilita celého procesu, snížení nákladů a optimalizace výroby.

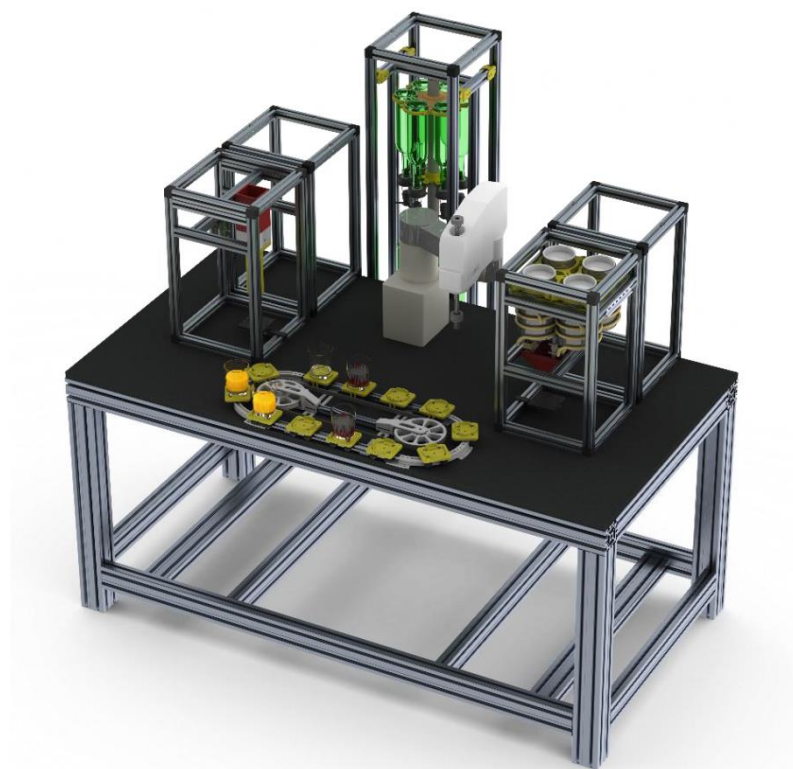
3.4 Přizpůsobení strojů

Přizpůsobením strojů se rozumí implementace inteligence a z ní vycházející do určité míry schopnosti samostatného rozhodování výrobních strojů na základě dostupných dat a snímání. Implementace inteligence má tak podpořit zlepšení kvality výroby jako takové, ale i samotných výrobků, plánování výroby, a zaměřit se i na automatickou diagnostiku výrobních strojů. Automatickou diagnostikou strojů je myšleno nejen upozornění na vzniklé problémy, ale i upozornění na problémy, které v budoucnu mohou nastat a stroje jsou schopny rozpoznat a predikovat na základě snímaných dat. Další prvek přizpůsobení strojů souvisí i s jejich konstrukcí, kde je snaha o vývoj strojů, které budou flexibilní a adaptivní vůči požadavkům na výrobu.

4 KONCEPCE A AKTUÁLNÍ STAV TESTBEDU

Testbed Průmyslu 4.0 s názvem Barman se sestává z pracovního stolu o ploše pracovní desky 2 m^2 , samostatných výrobních buněk, SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm – selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno) robotu a dopravníku. Pro lepší orientaci v textu je model testbedu ukázán na obr. 4. Jednotlivé buňky jsou samostatné a zastávají určitou část výrobního procesu nápoje. Většina z buněk je umístěna na pracovní ploše stolu, kde styčná plocha každé z buněk se stolem činní $330 \times 330\text{ mm}$. Prostor pro umístění buněk na ploše stolu je pevně vymezen, avšak koncepce Barmana má umožnit variabilní umístění buněk a možnost změny vzájemné pozice jednotlivých buněk. Mezi jednotlivé autonomní buňky patří:

- zásobník čistých a použitých sklenic s vlastním robotickým manipulátorem,
- sklad alkoholu s vlastním robotickým manipulátorem,
- dávkovač nealkoholických nápojů,
- drtič ledu s chlazením,
- výrobek sycené vody s vlastním plněním a chlazením,
- shaker. [14]



Obr. 4: Celkový pohled na model Barmana [1]

Sklad alkoholu s vlastním robotickým manipulátorem pro manipulaci se sklenicemi a dávkování nápojů je jedinou buňkou, která se nenachází na ploše stolu, ale je ke stolu

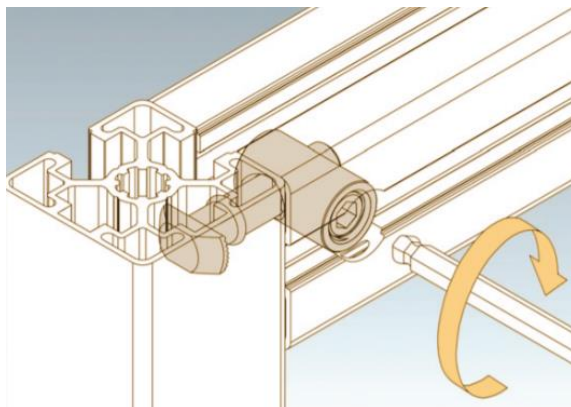
přisazena z důvodu větších rozměrů buňky. Míchané nápoje mají být dávkovány do sklenic s jednotným tvarem a uložení informací o vlastním receptu nápoje pro danou sklenici se uvažuje využitím NFC (Near Field Communication – komunikace na blízkou vzdálenost) čipu. Umístění čipu je na spodní straně sklenice. Pro přemísťování a manipulaci se sklenicemi mezi jednotlivými buňkami je použit SCARA robot. Výdejní místo hotových produktů pro koncového uživatele je tvořeno automatickým dopravníkem. Druhou funkcí dopravníku je odebírání vyprázdněných sklenic, které by následně měly být přemístěny robotickým manipulátorem do zásobníku s čistými a použitými sklenicemi.

Pro všechny buňky testbedu jsou definovány dva základní společné parametry. Prvním parametrem je manipulace s definovaným typem sklenic. Druhým parametrem je sjednocené umístění podstavce na sklenice v rámci všech buněk plnicího účel příjmové a výdejní platformy buňky.

4.1 Konstrukce stolu

Základním prvkem testbedu je konstrukce stolu, jehož pracovní plocha je určena pro umístění jednotlivých procesních struktur a zařízení. Prostor pod pracovní plochou je určen pro montáž podpůrných a řídicích prvků. Konstrukce rámu stolu je vytvořena z čtvercových a obdélníkových hliníkových konstrukčních profilů stavebnicového systému. Rozměry použitých hliníkových profilů jsou 50 x 100 mm a 100 x 100 mm a zajišťují dostatečnou nosnost, pevnost a houževnatost celé konstrukce. Profily se čtvercovým průřezem tvoří nohy stolu a jeho nosné příčky, profily s obdélníkovým průřezem jsou použity jako stabilizační příčky stolu. Stůl je vybaven otočnými kolečky pro lepší manipulaci při jeho transportu a obsahuje dvě dřevotřískové desky o tloušťce 20 mm. Horní pracovní deska má plochu 2000 x 1000 mm, spodní deska disponuje rozměry 1720 x 1000 mm. Výsledné rozměry stolu jsou 2000 x 1000 x 900 mm.

Jak již bylo zmíněno, rám stolu je tvořen hliníkovými konstrukčními profily stavebnicového systému. Tento typ profilů poskytuje velkou variabilitu při stavbě konstrukcí a jejich snadnou kompletaci. Profilů je na trhu k dostání velké množství co se rozměrů a tvaru průřezu týče. Rozdělit je lze v základu podle šířky drážky v profilu, která může být standardně široká 6, 8, nebo 10 mm.



Obr. 5: Princip montáže pomocí rychlospojky [15]

Pro jednotlivé procesní buňky jsou využity profily o rozměrech 30 x 30 mm. Všechny konstrukční hliníkové profily jsou pro zvýšení jejich odolnosti vůči vnějším vlivům eloxované. Konstrukce jsou kompletované pomocí speciálních spojek zasazených do středů profilů s vyčnívající hlavou ve tvaru T, která po zasazení drážky druhého profilu tento profil přitáhne. Spojení profilů je znázorněno na obr. 5.

4.2 Robotický manipulátor

Aktuálním zařízením pro přemisťování sklenic mezi jednotlivými buňkami je robot EPSON H55BN typu SCARA (Selective Compliant Articulated Robot Arm). SCARA roboty jsou čtyřosé několikaramenné roboty umožňující rychlou a přesnou manipulaci. Ramena robotů jsou konstruována k vertikálnímu a horizontálnímu pohybu. Pohyb v zápěstí je dán rotací v jedné ose. [16]

Robot EPSON H55BN má tedy čtyři osy pohybu. První dvě osy umožňují pohyb v horizontálním směru, třetí osa robotu umožňuje pohyb ve vertikálním směru a čtvrtá osa poskytuje možnost rotace s uchopeným předmětem. Umístění robotu je (při uvažování čelního pohledu na celek Barmana) ve středu zadní poloviny plochy stolu. Tímto umístěním je dosaženo co největšího využití pracovního rozsahu robotu. Na zápěstí robota je instalovaný úchop obsahující pohyblivé čelisti určené k držení skleniček. Úchop je zobrazen na obr. 6.



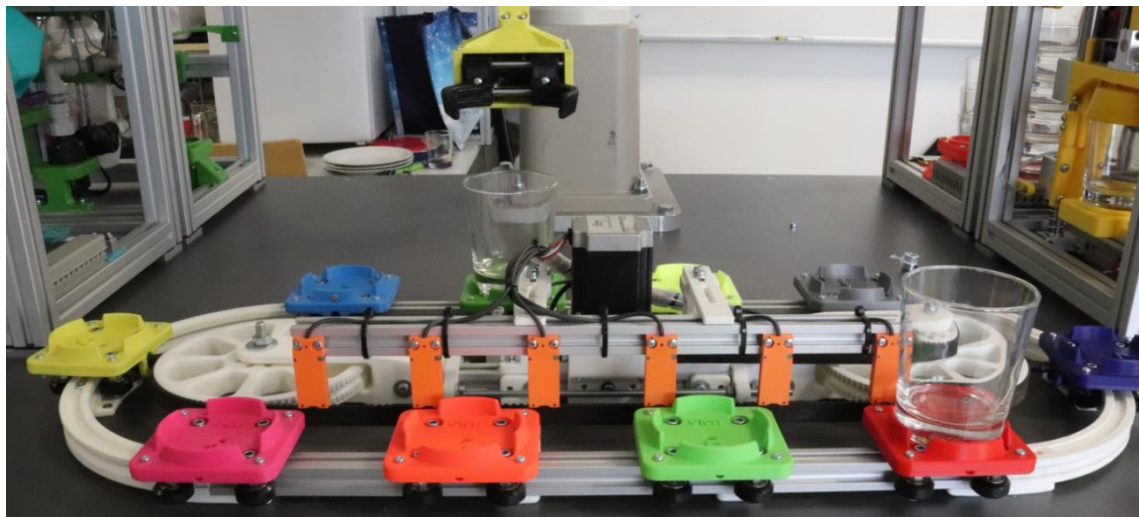
Obr. 6: Úchop na sklenice

Pohyb zápěstí robotu je dán stanovenými trasami mezi určenými body, které jsou definované pomocí routovací tabulky. Všechny položené buňky na stole mají sjednocenou pozici umístění podstavce pro příjem a výdej sklenic v rámci své konstrukce. Umístěním buňky na kterýkoliv slot stolu se výchozí pozice stolku nemění a robot přistupuje na stejné místo. Pozice stolků buněk jsou koncovými body popsány v routovací tabulce. Výška umístění stolku je shodná u všech buněk. U paty konstrukce SCARA robotu je místo vyčleněné pro sklad skleniček s možnou funkcí „bufferu“, tento sklad má v budoucnu obsahovat příjmové místo s NFC čtečkou, které je popsáno dalším bodem routovací tabulky, a odkladní místa pro skleničky. Zbylé významné body jsou určeny v souvislosti s kooperací s dopravníkem popsáném v další podkapitole.

4.3 Dopravník

Dopravník je umístěn v přední části stolu před robotem a je vystředěn vzhledem k delší hraně stolu. Sestaven je z kolejnice, vozíků sklenic, krokového motoru NEMA23, řemenů a řemenic. Kolejnice dopravníku vychází z hliníkového konstrukčního profilu s průřezem o rozměrech 20 x 20 mm. Dva tyto hliníkové profily o délce 500 mm jsou spojeny pomocí dvou plastových půloblouků se středním poloměrem 140 mm a průřezem podobného tvaru jako je průřez profilů. Tím vzniká uzavřená dráha, po které se mohou pohybovat vozíky určené k přepravě sklenic. Vozíky obsahují čtveřici rolen sloužících jako pojezd a pohybujících se v bočních drážkách profilů. Ve středu dopravníku je umístěn motor NEMA23, který následně pomocí řemenových převodů pohybuje se všemi deseti vozíky současně. Vozíky jsou od sebe rozmístěny ve stejných vzdálenostech po celém obvodu dopravníku. V přední (výdejní a příjmové) části je dopravník osazen šesti kapacitními snímači Ifm KQ5100 pro kontrolu přítomnosti sklenic a obsahu v nich. V zadní části je dopravník osazen dvěma limitními indukčními snímači umožňujícími detekci vozíků. Do budoucna se připravuje umístění displeje nad

výdejní místo dopravníku pro zobrazení informací o projíždějících sklenicích. Na obr. 7 je znázorněn fyzický model dopravníku.



Obr. 7: Dopravník na sklenice

Princip funkce spočívá v myšlence, že se na dopravník budou přemísťovat požadované sklenice pomocí SCARA robotu, který bude sklenice pokládat a odebírat z vozíků jedoucích po přilehlé straně dopravníku. Z tohoto důvodu je potřeba pohyb robotu synchronizovat s rychlostí dopravníku tak, aby bez kolizí pokládal a odebíral sklenice z vozíků. Sklenice umístěné na dopravník by poté měly být připraveny k odběru osobám stojícím u čelní strany stolu. Dopravník by měl zároveň sloužit jako odběrní místo pro použité sklenice.

4.4 Zásobník sklenic

Buňka je vytvořena za účelem skladování čistých i použitých sklenic a rozměry vnější konstrukce 330 x 330 x 500 mm. Jedním ze základních prvků buňky je dno buňky vytisknuté pomocí 3D tisku. Dno buňky je účelně profilované jako podstavec pro sklenice. Ty lze v buňce skládat do čtyř sloupců umístěných po stranách buňky tak, aby byl uprostřed buňky ponechán prostor pro manipulaci se sklenicemi pomocí robotického ramene. Na úrovni dna buňky je zároveň umístěn držák pro motor NEMA17, který je připevněn s orientací hřídele do vertikálního směru a je použit jako pohon pro lineární posuv robotického ramene. Hřídel motoru je spojena pomocí pružné spojky, vyrovnávající nesouososti hřídelí a tlumící vibrace, k trapézové tyči, pomocí které se pohybuje s ramenem ve vertikálním směru. Samotná trapézová tyč neslouží jako vedení robotického ramene. Pro tento účel je souběžně s tyčí umístěn hliníkový konstrukční profil. Rameno a samotný úchop, manipulující se sklenicemi, jsou konstruovány tak, že se úchop může pohybovat po kruhové trajektorii se středem přibližně ve středu buňky. Tím je zajištěn přístup ke všem skladovacím místům sklenic a zároveň i k výdejnímu a odběrnému místu na sklenice.

4.5 Drtič ledu

Buňka plnící funkci drtiče ledu je složena z šesti hlavních tištěných částí, kterými jsou: násypka na led, montážní panel, drtič ledu, svod drceného ledu do sklenice, držák sklenice a držák motoru. Vytištěná násypka na led bude obsahovat nerezovou vložku stejného tvaru z potravinářské, zdravotně nezávadné oceli. Z horní strany je násypka krytá tištěným víkem a ze spodní strany navazuje na drtič ledu. Dosednutí víka je kontrolováno mikropsínači a v případě jeho nepřítomnosti nelze spustit funkci drcení ledu. Ve víku je zároveň instalován ultrazvukový senzor pro kontrolu množství ledu v násypce. Montážní panel je složen ze dvou částí a plní funkci nosné a spojovací části prvků sestavy drtiče ledu. Drtič je tvořen rotujícími noži a mřížkou, o kterou je led drcen. Nože jsou nasunuty na hranaté hřídeli, která je spojena pomocí pružné spojky s hřídelí motoru. Drcený led spadá tištěným svodem přímo do sklenice. Váha sklenice má být kontrolována pomocí tenzometrických členů umístěných na podstavci pro sklenici.

4.6 Výrobník sycené vody

Výrobník využívá plynu CO_2 stlačeného v tlakové nádobě k nasycení vody. Sycení probíhá ve směšovacím kontejneru, kterým je plastová láhev Sodastream. Láhev je plněna pitnou vodou pomocí čerpadla, které tuto vodu přečerpává ze zásobního tanku pitné vody umístěného v buňce. Plnění sklenice sycenou vodou je založeno na diferenci velikosti tlaku mezi směšovacím kontejnerem a vnějším atmosférickým tlakem. Pro správné nastavení pracovního tlaku v systému je použit redukční ventil umístěný na tlakové láhvi. Za redukčním ventilem je umístěn bezpečnostní přetlakový ventil, který omezuje tlak v systému v případě poruchy a tím zabraňuje destrukci některých částí buňky.

4.7 Sklad nealkoholických chlazených nápojů

Buňka je určena pro skladování a podávání nealkoholických nápojů v množství 1 – 3 dl. Nealkoholickými nápoji jsou myšleny například ovocné džusy. Nápoje lze skladovat ve čtyřech nerezových zásobnících opatřených chladicím systémem a následně dávkovat pomocí elektromagnetických ventilů a impulzních průtokoměrů. Pro přesné dávkování nastavených objemů je využito tenzometrického členu, který kontroluje množství kapaliny ve sklenici. [1]

4.8 Sklad alkoholických nápojů

Bude popsán od kapitoly 5.

4.9 Shaker

Účelem shakeru je míchání nápojů přímo v dodané sklenici. Sklenice se umísťuje na podstavec, který je upnut k lineárnímu vedení. Lineární vedení je tvořeno dvojicí svisle umístěných vodících tyčí a ložiskovými komplety SC16UU. Podstavec sklenice je upnut k ložiskovým kompletům na obou vodících tyčích. Druhým prvkem je příklopné víko, které je upevněno ke druhé dvojici ložiskových kompletů. Podstavec na sklenice s víkem lze automaticky sesadit a tím i pevně sevřít sklenici mezi těmito díly. Víko je spojeno s klikovým mechanismem, který převádí rotační pohyb na periodicky se opakující lineární pohyb na lineárním vedení. Pohonnou jednotkou je stejnosměrný motor BCI6355, který je pomocí ozubeného řemene HTD-5M a dvojice řemenic spojen s hřídelí navazující na klikový mechanismus. Příklopné víko lze po každém použití omýt, aby nedocházelo k mísení nových nápojů se zbytky nápojů z předešlého cyklu. K tomuto účelu je určena miska, kterou lze polohovat do prostoru mezi lineární vedení pod příklopné víko. Miska obsahuje rozprašovač, kterým omyje víko čistou vodou, a použitá voda stéká do odtokového otvoru misky. Vodu přečerpává ze zásobníku pitné vody, umístěného přímo v buňce, membránové čerpadlo.

4.10 Sklenice

Celý projekt testbedu využívá jeden typ sklenic (označení GODIS) s přesně danými rozměry. Sklenice jsou kónického tvaru s kruhovým průřezem a tomuto tvaru jsou uzpůsobeny všechny manipulační prvky v testbedu. Modulárnost jednotlivých buněk umožňuje při změně typu sklenice výměnu pouze koncových prvků úchopů a tím je zajištěna určitá úroveň univerzálnosti. Žádná z buněk však nedokáže reagovat na změnu typu sklenice bez mechanického zásahu do její konstrukce.

5 NÁVRH A KONSTRUKCE SKLADU ALKOHOLU

Účelem buňky je skladování a dávkování alkoholických nápojů a ochucených sirupů. Dávkování jednotlivých ingrediencí je řešeno pomocí stlačovacích dávkovačů s danými objemy dávek 2,5 nebo 5 cl. S využitím receptu uloženého na čipu NFC má být buňka schopna automaticky dodat ingredience do poskytnuté sklenice. Umístění buňky v rámci celého testbedu je uvažováno přisazením k zadní straně stolu a přichycením ke konstrukci stolu pomocí čepů. Volba tohoto umístění je rozhodující pro konečné rozměry buňky skladu alkoholu a umožňuje vytvořit mohutnější konstrukci, než mají buňky určené pro umístění na ploše stolu.



Obr. 8: Model navrhované buňky skladu

Vzhledem ke svému účelu skladování lahví s lihovinami je buňka rozměrnější než buňky zmíněné v předchozích podkapitolách. Základním požadavkem na konstrukci byla možnost uskladnění a dávkování alespoň 12 různých alkoholických nápojů bez použití speciálních nádob, tedy v jejich originálních obalech. Celkový počet lahví, které je možno uskladnit závisí na jejich objemu, vnějších rozměrech a tvaru. Při vývoji konstrukce buňky byl uvažován objem lahví 0,5 – 1 l s maximálním průměrem lahve

nepřesahujícím 10 cm. Pro lepší orientaci v následujícím textu je na obrázku číslo 8 znázorněn model konstruované buňky.

Prvky celé sestavy buňky byly nejdříve vyvíjeny a modelovány v 3D CAD (Computer Aided Design - počítačem podporované projektování) softwaru SolidWorks. Virtuální model buňky poskytuje možnost optimalizace tvaru a umístění dílů. Po odladění sestavy byly díly postupně tištěny, vyráběny a sestavovány.

5.1 Rám buňky

Vnější konstrukce buňky je vytvořena pomocí konstrukčních hliníkových profilů s rozměry 30 x 30 mm. Vzhledem k umístění buňky, kdy buňka nemá být posazena na ploše stolu, ale má být přisazena a připevněna ke stolu z jeho zadní strany, mohou být rozměry buňky navýšeny pro uskladnění většího počtu lahví. Celkové vnější rozměry rámu buňky jsou 1600 x 760 x 330 mm. Výška a šířka buňky byla tedy upravena oproti rozměrům ostatních buněk testbedu. Hloubka buňky zůstává shodná o rozměru 330 mm.

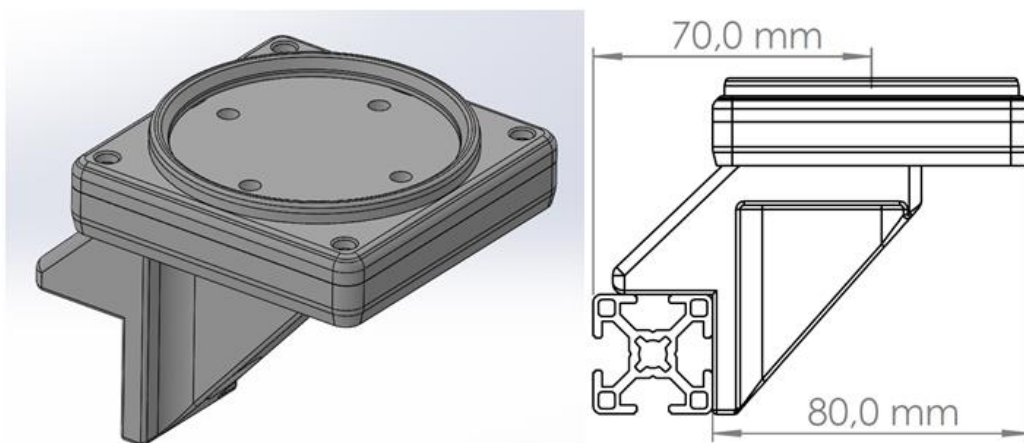
5.2 Skladování lahví

Lahve lze umisťovat do dvou skladovacích prostorů k tomuto účelu vyhrazených. Tyto prostory se nacházejí u čelní a zadní strany buňky. Jejich velikost je dána šířkou a výškou vnitřních rozměrů buňky a hloubkou je 100 mm. Celkové rozdělení prostorů znázorňuje obrázek 9 s pohledem na konstrukci rámu buňky shora.



Obr. 9: Horní pohled na konstrukci buňky s vyznačením rozložení prostorů

Prostor uprostřed buňky je určen pro pohyb vlastního manipulátoru se sklenicemi a je hluboký 90 mm. Z obr. 9 je zřejmé, že skladovací prostory pro lahve nelícují s pomyslnými stěnami buňky. Tato skutečnost souvisí jednak s ochranou a uchycením skleněných lahví, ale také s rozměry a umístěním podstavce (stolku) pro příjem a výdej sklenic, znázorněného na obr. 10. Podstavce jsou ve všech buňkách totožné a připevňují se na konstrukční hliníkové profily. Středky sklenic jsou podstavci centrovány do vnitřních prostorů buněk ve vzdálenosti 70 mm od vnějšího okraje konstrukce buněk.



Obr. 10: Model podstave (stolku) na sklenice

Do stejné vzdálenosti je potřeba upevnit a centrovat lahve umístěné ve skladovacích prostorech. Skladovací prostor číslo 2 má větší úložní kapacitu než přední úložný prostor. Omezení skladovacího prostoru číslo 1 je dáno použitím jedné příčky, na které se nachází stolek pro příjem a výdej sklenic. Pozice stolku je dána dvěma kritérii. Prvním kritériem je umístění stolku na hranici desky stolu tesbedu. Druhým kritériem je umístění stolku do takové pozice, aby byl v pracovním dosahu úchopu SCARA robotu. Prostorové omezení skladovacího prostoru 1 prostoru lze částečně eliminovat vhodnou kombinací velikostí lahví a upevnění lahví i na příčku určenou montáž stolku.

5.2.1 Dávkovače alkoholu

Jak již bylo zmíněno, pro plnění sklenice obsahem dané lahve jsou použity stlačovací dávkače alkoholu (obr. 11). Dávkač obsahuje dutý trn osazený kónickým pryžovým těsněním zabraňujícím průsaku kapaliny z lahve, který se naráží do hrdla lahve. Tímto trnem následně protéká tekutina z lahve do přepouštěcí komory dávkače s přesně daným objemem. Spodní díl dávkače je stlačitelný a jeho stlačením je utěsněn napouštěcí otvor přepouštěcí komory a zároveň otevřen otvor vypouštěcí. Uvolněním stlačeného dílu je komora opět naplněna.

Při používání dávkačů nastal problém s jejich opakovaným použitím, kdy se první dávka vypustila a po uvolnění dávkače nebyla přepouštěcí komora opět naplněna tekutinou z lahve. Tento problém je způsoben malým průměrem napouštěcího otvoru do přepouštěcí komory. Uvolněním stlačitelného mechanismu dávkače vzniká v napouštěcím otvoru neporušená hladina kapaliny. Povrchové napětí na hladině kapaliny je dostatečně velké, aby nedošlo k opětovnému naplnění přepouštěcí komory dávkače. Prvním řešením je naklonění lahve, kdy se změní velikost plochy hladiny v otvoru napouštěcího trnu, ale také poměr působících sil na hladinu kapaliny.

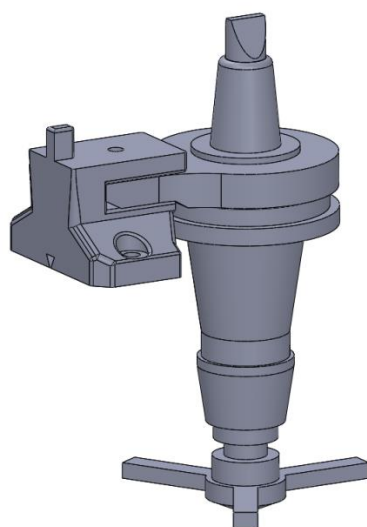


Obr. 11: Dávkořač alkoholu

Takové řešení nezasahuje do konstrukce řavkovače a zásadním způsobem mění možnost uchycení lahví a výslednou konstrukci manipulátoru, kdy by bylo potřeba stlačovat řavkovače nakloněnou objímkou se sklenicí pohybem ve dvou směrech. Druhé řešení je vyrobení malého trnu s možností upnutí na uzavíracím dílu napouštěcího otvoru. Účelem trnu je narušení povrchu spodní hladiny kapaliny a tím následné stečení kapaliny do prostoru komory řavkovače. Pomocí 3D tisku lze takovýto trn jednoduše vytvořit přesně podle požadavku na jeho tvar. Dalším kritériem je zdravotní nezávadnost a chemická odolnost použitého materiálu trnu, kterým může být tisknutelný materiál PET (polyethylentereftalát). Problém špatné funkce řavkovače je minimalizován pomocí druhého řešení, tedy použitím trnu.

5.2.2 Uchycení lahví

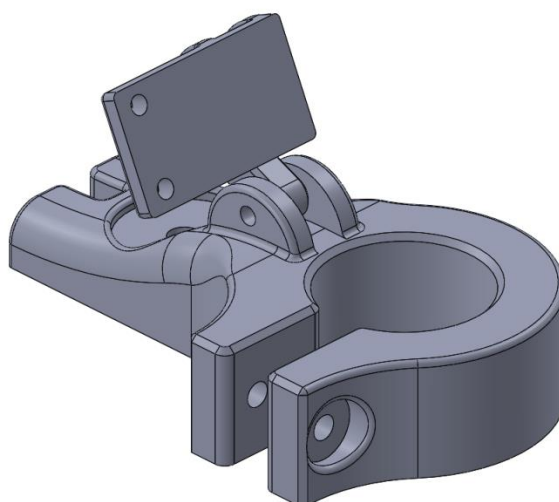
Hlavními nosnými prvky lahví jsou konstrukční hliníkové profily, které se upevňují do konstrukce rámu buňky a jejich délka 700 mm vychází ze šířky buňky. Každým použitým profilem je vytvořeno jedno patro v daném skladovacím prostoru, na které lze umístit maximálně 5 řavkovačů. Maximální možný počet řavkovačů vychází z pracovního rozsahu manipulátoru a rozměrů buňky. Uchycení lahve spočívá v jejím nasazení na trn řavkovače a následném upnutí samotného řavkovače. Celou váhu lahve nese řavkovač a tím se stává jedním z nosných prvků. Pro uchycení řavkovače k nosnému hliníkovému profilu byl vytvořen model držáku znázorněný na obr. 12. Princip uchycení řavkovače spočívá v zasunutí jeho nosné části do čelistí držáku a jeho následné zajištění stahovacím šroubem M5, který prochází oběma tělesy. Držák řavkovače je pevně spojen s nosným profilem dvojicí šroubů M4.



Obr. 12: Model držáku dávkovače a dávkovače

Výhodou umístění lahví do jednotlivých pater je stejné zarovnání spodní části všech dávkovačů a tím sjednocený prostor pro pohyb manipulátoru se sklenicí. Počet možných pater je dán především výškou použitých lahví. K této výšce jsou dále připočteny výšky dávkovačů, sklenic a rezervního prostoru pro manipulaci se sklenicí mezi jednotlivými patry.

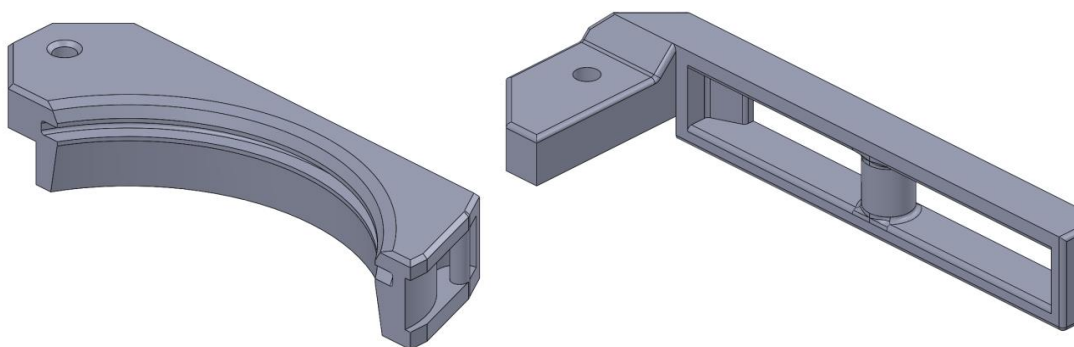
Po nasazení dávkovače na lahev a následném upnutí dávkovače ke konstrukci, je držení celé lahve v místě, kde je hrdlo lahve nasunuté na trn dávkovače. Pouze takové držení lahve ale není stabilní vzhledem k jejímu vysokému těžišti a nebylo by žádoucí z důvodu možného vypadnutí lahve způsobeného možnými otřesy buňky, které mohou vzniknout například v souvislosti s manipulací buňky při přemísťování. Z tohoto důvodu bylo potřeba vytvořit minimálně jeden díl zajišťující lahev proti vypadnutí. Vzhledem ke skutečnosti, že lahve jsou obráceny dnem vzhůru a spojení s dávkovačem je v jejich nejnižším bodě, je nejvhodnější variantou s ohledem na rozložení sil při náhlém pohybu, úchyt lahví umístěný v co možná nejvyšším bodě. Volba způsobu držení a umístění pomocných držáků lahví je zásadně ovlivněna rozmanitostí tvaru lahví alkoholických nápojů dostupných na trhu. Zmíněné omezení lze vyřešit například použitím stejného typu lahví a následného přelévání alkoholu. Takové řešení však není vzhledem k zadání žádoucí.



Obr. 13: Objímka hrdla lahve s držákem kapacitního snímače

Zajištění pevné pozice hrdla lahve na trnu dávkovače je podpořeno vytvořenou objímkou nasunutou na hrdle lahve. Objímka znázorněná na obr. 13 je upnuta k držáku dávkovače a jejím účelem je pevné uchycení hrdla z vnější strany lahve v místě nasazení na trn dávkovače. Umístění objímky v místě závitu hrdla lahve vychází z předpokladu podobného tvaru této části hrdla u většiny lahví běžně dostupných na trhu. U dostupných lahví se za závitem buď tvar lahve ihned rozšiřuje, nebo je hrdlo prodloužené a tvar je v těchto případech profilovaný a úzký. Proto je objímka umístěna přímo na závitu lahve tak, aby byla univerzální. V takovém případě není nutné řešit výšku umístění pomocného držáku a jeho tvar pro každou láhev zvlášť, ale pouze rozdílný průměr hrdel lahví, který se mění v rozmezí přibližně 5 mm. Při běžném provozu buňky objímka zajišťuje dostatečné uchycení lahve tak, aby nedošlo k jejímu vysazení z dávkovače a následnému rozbití. Objímka zároveň slouží jako příchytné místo pro polohovatelný držák kapacitního snímače KQ5100.

Druhým prvkem zajištění jsou dvoudílné svorky umístěné ve vyšší pozici pro držení lahví. Tyto svorky se umísťují na konstrukční hliníkový profil 20 x 20 mm, který je vždy umístěn nad nosným profilem lahví. Vzdálenost mezi nosným profilem a profilem pro montáž přídržných svorek je vždy dána výškou nejnižší lahve umístěné v daném patře. Tím není zajištěno držení všech lahví v nejvyšších bodech při použití různě vysokých lahví, přesto by držení mělo být dostatečné. U pomocných svorek je také nutné zohlednit možný tvar lahví, které jsou různě profilované. Z tohoto důvodu byly vytvořeny dva typy svorek (Obr. 14), první typ je pro lahve s oblým tvarem, druhý typ lze potom použít především pro čtyřstěnné lahve.



Obr. 14: Modely svorek lahví

Oba typy svorek lze stáhnout řemenem pro lepší stabilitu a pevnější úchop lahve.

5.3 Konstrukce manipulátoru

Manipulátor je konstruován tak, aby se mohl pohybovat ve třech osách. Pro vertikální (osa Z) a horizontální (osa X) pohyb manipulátoru se v buňce využívá uzavřeného lineárního vedení, třetí pohyb je rotační (osa Y). Manipulátor je zobrazen na obrázku číslo 15. Lineární vedení je řešeno pomocí kalených broušených vodících tyčí a kuličkových pouzder umístěných v hliníkových domcích. Volba tohoto typu lineárního vedení je dána především jednoduchostí provedení a nízkou cenou jednotlivých částí vedení. Vertikální lineární vedení je tvořeno dvojicí vodících tyčí umístěných po stranách buňky. Po tomto vedení se pohybuje konstrukce lineárního vedení horizontálního, tvořeného opět dvojicí vodících tyčí. Na vertikálním se pohybuje vozík obsahující objímku na sklenice, se kterou lze vykonávat rotační pohyb.

5.3.1 Pohonné jednotky

Manipulátorem je pohybováno pomocí trojice pohonů, kde je jeden pohon přiřazen k jedné ose. Zvolené pohony jsou dvojího typu, jedná se o jeden stejnosměrný motor a dvojici krokových motorů.

5.3.1.1 Stejnosměrný motor BCI 6355

Stejnosměrný motor BCI 6355 s přidanou převodovkou tvoří pohonnou jednotku pro pohyb manipulátoru v ose Z. K motoru výrobce PAPST je přimontována převodovka Zeitlauf, tím je vytvořena složená pohonná jednotka. Parametry motoru jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tab. 1: Parametry DC motoru PAPST [17]

Model BCI 6355	
Jmenovité napětí [V]	24
Jmenovitý proud [A]	4,9
Jmenovitý otáčivý moment [Nm]	0,27
Jmenovité otáčky [ot/min]	3300
Průměr hřídele [mm]	8
Stupeň krytí [IP]	40

Převodovka Zeitlauf PGN 50.2 má převodový poměr $i = 21,6:1$. Jmenovité otáčky na výstupní hřídeli převodovky s průměrem 10 mm lze vypočítat vztahem:

$$\omega_{OUT} = \frac{\omega_{IN}}{i} = \frac{3300}{21,6} \doteq 152,8 \text{ [ot/min]}. \quad (1)$$

Kde: ω_{OUT} jsou otáčky hřídele převodovky, v ot/min;
 ω_{IN} jmenovité otáčky motoru BCI 6355, v ot/min;
 i převodový poměr převodovky.

Jedná se tedy o převod do pomala a tím o převod do síly. Točivý moment by se v ideálním případě i -krát zvýšil, avšak je potřeba brát v úvahu ztráty v převodech, proto velikost momentu na výstupní hřídeli převodovky nedosáhne přesně i -krát vyšší hodnoty.

5.3.1.2 Krokové motory NEMA17

Krokové motory s přírubou NEMA17 jsou použity jako pohonné jednotky pro pohyb manipulátoru v ose X a v ose Y. Na použité pohony v těchto dvou osách jsou kladeny menší požadavky, jelikož zde nedochází k takovému mechanickému namáhání jako v ose Z, kde pohon pohybuje s velkou částí konstrukce manipulátoru a musí vyvinout dostatečnou sílu pro stlačení dávkovače. Ke krokovým motorům nejsou přidána další převodová ústrojí. Základní parametry použitého typu krokového motoru jsou v tab. 2:

Tab. 2: Parametry krokového motoru NEMA17

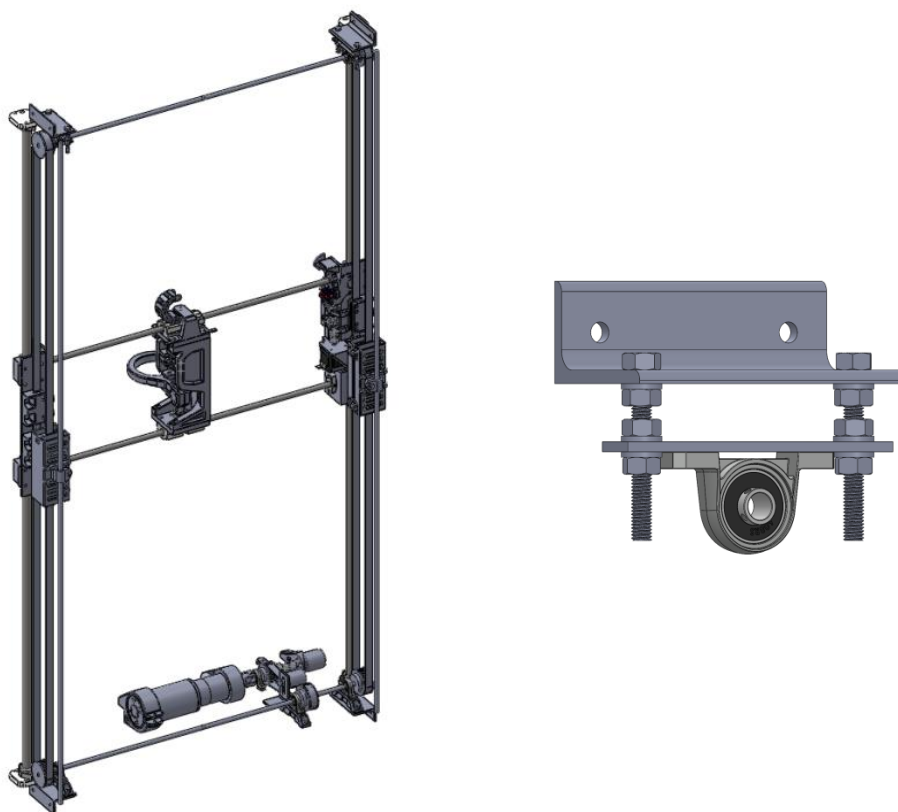
Hanpose 17HS4401	
Počet fází [-]	2
Jmenovitý proud [A]	1,7
Přidrzný moment [Nm]	0,4
Úhel kroku [°]	1,8
Průměr hřídele [mm]	5

5.3.2 Vertikální vedení

Pro vedení pohybu ve vertikálním směru jsou použity vodící tyče o průměru 16 mm, které jsou připevněny ke konstrukci buňky tištěným dílem. Díl vychází z uchycení

vodících tyčí SHF16 a lze ho případně za toto uchycení vyměnit. Tyče jsou umístěny ve středech bočních stran buňky. Uchycení vodících tyčí SHF16 není možné připevnit přímo do konstrukčních hliníkových profilů rámu buňky z důvodu použití kuličkových pouzder umístěných v hliníkových domcích, kde by část těla domků vyčnívala z konstrukce buňky. Z tohoto důvodu jsou použity vymežovací podložky mezi hliníkovými profily a uchycením tyčí tak, že jsou tyče mírně přesazeny do vnitřního prostoru buňky, aby tělesa domků byla zapuštěna do konstrukce buňky o 4 mm od vnějšího okraje rámu. Po vertikálním vedení se pohybují všechny zbylé složky manipulátoru. Na obou vodících tyčích vedení se nachází dvojice ložiskových kompletů SC16UU. Ložiskové komplety na dané vodící tyči jsou spojeny pomocí hliníkového L profilu o rozměrech 60 x 60 x 5 mm a délce 300 mm. Tímto způsobem jsou vytvořeny montážní a nosné platformy pro další prvky konstrukce manipulátoru.

S ložiskovými komplety na obou vodících tyčích je pohybováno pomocí soustavy ozubených řemenů HTD-5M a řemenic 32-5M-15. Napříč jsou vedeny dvě hřídele, které jsou umístěny v horní a spodní části buňky. Obě hřídele jsou uloženy v ložiskových domcích KP08, horní hřídel ve třech a spodní ve čtyřech. K upevnění ložiskových domků po stranách hřídelí byly vyrobeny čtyři montážní díly tvořené železnými L profily o rozměrech 30 x 50 x 4 mm a délce 90 mm a mezikusy z pásové oceli 10 x 4 mm se shodnou délkou. Železné profily jsou spojeny s rámem buňky dvěma šrouby M4 a zasahují do vnitřního prostoru buňky. Tím zajišťují předsazení ložiskových domků. Upevnění ložiskových domků se u horní a spodní hřídele liší.



Obr. 15: Model konstrukce manipulátoru (vlevo) a napínacího mechanismu (vpravo)

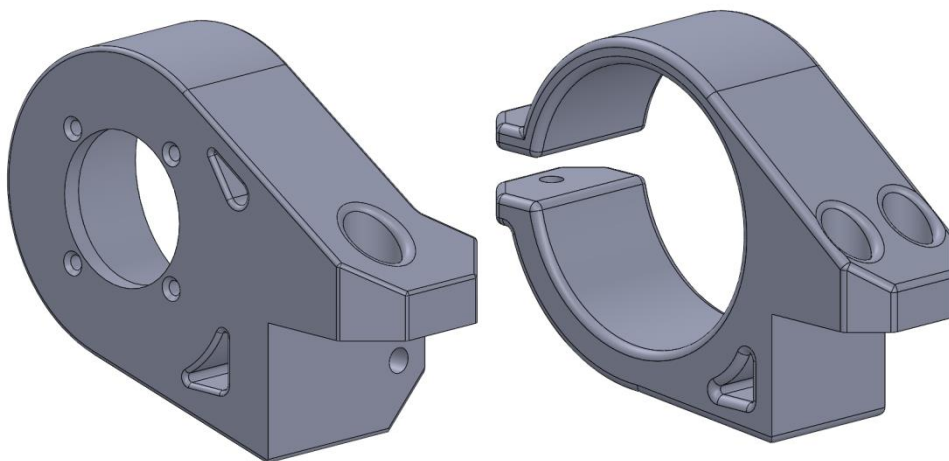
Horní hřídel lze ustavovat ve vertikálním směru z důvodu potřeby napínání řemenů. Napínání je řešeno pomocí dvou pevně upnutých šroubů k železnému profilu (obr. 15 vpravo). Ložisko je připevněno k dílu z pásové oceli, který je nasunut na zmíněné šrouby a lze ho pevně ustavit pomocí dvojice matek na každém šroubu. Původní návrh napínání řemenů obsahoval namísto železných dílů, díly tištěné na 3D tiskárně a nastavování polohy ložiska pomocí jednoho šroubu. Tento návrh byl zamítnut z důvodu očekávaného velkého namáhání této části konstrukce. Třetí ložiskový díl na horní hřídeli je umístěn v jejím středu pro podporu a kompenzaci průhybu horní hřídele, která nese váhu manipulátoru a protizávaží. Prostřední ložiskový komplet KP08 lze i v tomto případě ustavovat, obdobně jako komplety na bočních stranách. Spodní hřídel je pevně usazena ve stanované výšce dané tištěnými mezikusy, které spojují ložiskové domky a železné profily. Hřídel je spojena s pohonem pomocí nekonečného ozubeného řemene HTD-5M o délce 350 mm a jedné přidané řemenice 32-5M-15, která je na spodní hřídeli upnutá. Z důvodu tahu na hřídeli při napínání řemene je hřídel po obou stranách této řemenice uložena v ložiskových domcích zabraňujících průhybu hřídele.

Obě hřídele jsou vzájemně svázány pomocí dvojice ozubených řemenů HTD-5M-15 o délkách 3000 mm, které jsou nasazeny na řemenicích umístěných na koncích hřídelí. Konce řemenů jsou upnuty do tištěných svorek připevněných k hliníkovým profilům, spojujícím ložiskové komplety SC16UU, pomocí dvou šroubů M4. Upnutí řemene je založeno na principu vytištěného ozubení, do kterého zapadá ozubený řemen a je tak pevně upnut ve svorce. Pro pojistné zajištění jak vysunutí řemene, tak i rozevření svorky vlivem tahu řemene, lze svorky stáhnout dvojicí šroubů M4. Tvar jedné ze svorek se mírně odlišuje z důvodu obsazení části prostoru pro její umístění držákem motoru NEMA17. Držák motoru a svorka jsou namodelovány a sesazeny tak, aby funkce upnutí řemene nebyla narušena. Spojením řemenů přes svorky a hliníkové profily s lineárními ložisky je vyřešen přenos pohybu k lineárním ložiskům.

5.3.2.1 Propojení s pohonem

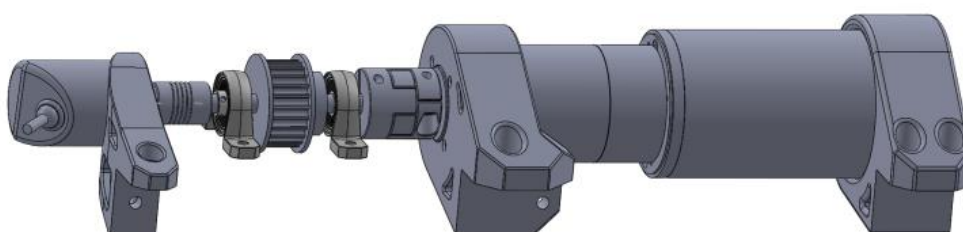
Motor s převodovkou je připevněn ve spodní části buňky k jejímu rámu a jejich uložení je orientováno podélně s profilem. Připevnění ke konstrukci buňky je řešeno použitím dvojice držáků, které svírají sestavu motor-převodovka.

Držák motoru (obr. 16 vpravo) upíná motor principem stažitelné objímky a vzhledem k předpokládané vyšší zatíženosti motoru je vytisknut z teplotně odolného materiálu CPE. Ke konstrukčnímu profilu se upíná pomocí dvou šroubů, stahuje se jedním šroubem M4. Držák na straně převodovky (obr. 16 vlevo) se na převodovku nasouvá a obsahuje čtyři montážní otvory pro pevné spojení s převodovkou pomocí šroubů M3. Toto spojení zamezuje možnému otáčení pohonného ústrojí v držácích. Držák převodovky je přichycen k hliníkovému profilu dvěma šrouby.



Obr. 16: Modely držáků převodovky Zeitlauf a DC motoru PAPST

Oba díly obsahují otvory pro vedení kabeláže k motoru. Hřídel převodovky je pomocí pružné hřídelové spojky (LK20-C30) spojena s pracovní hřídelí o průměru 8 mm, na které se nachází ozubená řemenice 24-5M-15. Na řemenici se nachází zmíněný nekonečný řemen propojující pohonnou jednotku s prvky sestavy lineárního vedení. Pracovní hřídel je uložena v ložiskových domcích KP08 a na druhé straně je spojena s inkrementálním rotačním snímačem RB3500 pružnou hřídelovou spojkou. Celý komplet je znázorněn na obr 17 pro lepší přehlednost zde nejsou zobrazeny hliníkové profily, ke kterým je sestava včetně ložiskových domků přichycena.



Obr. 17: Sestava pohonu, řemenice a rotačního enkodéru RB3500

5.3.3 Horizontální vedení

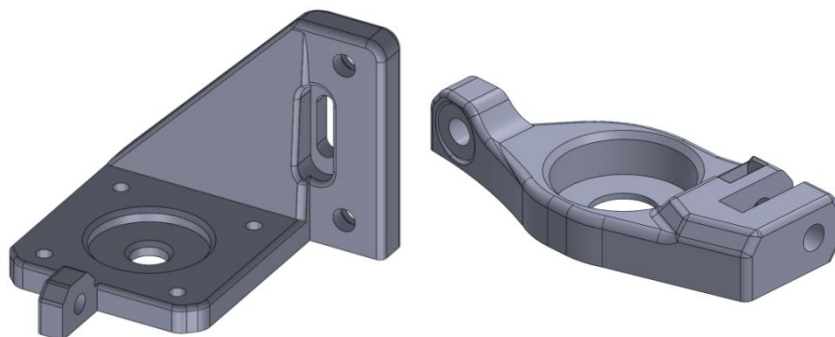
Horizontální lineární vedení je tvořeno dvěma vodícími tyčemi o průměru 10 mm a délce 652 mm. Tyče jsou umístěny nad sebou a nachází se mezi dvojicí hliníkových profilů, se kterými jsou spojeny pomocí vytištěných uchycení vycházejících z typu uchycení vodících tyčí SHF10. Tímto spojením montážních hliníkových profilů

vodícími tyčemi je sjednocena vertikální poloha profilů a zároveň vytvořeno horizontální lineární vedení. Rozteč 226 mm mezi středy tyčí je dána rozměry vozíku, který se mezi tyčemi pohybuje. Na obou tyčích se opět nachází dvojice ložiskových kompletů SC10UU, mezi které je následně připevněn vozík. Vozík je podrobněji popsán v podkapitole 5.3.5. Podrobný popis konstrukce související s horizontálním lineárním vedením se nachází v následující kapitole.

5.3.4 Montážní profily

V přechozích podkapitolách byly již několikrát zmíněny hliníkové L profily, které tvoří pevný spoj mezi dvojicí lineárních ložisek umístěných na jedné vodící tyči. Hliníkové domky spojené profily, jsou od sebe odsazeny o 176 mm. Tímto odsazením vzniká volný prostor mezi hliníkovými domky, který lze využít. Prostor mezi profily je určen pro pohyb manipulátoru v horizontálním směru a je žádoucí, aby rozsah tohoto pohybu byl co největší. Vzhledem k tomuto požadavku jsou hliníkové profily vyfrézovány a do vzniklého prostoru lze vložit další prvky konstrukce, které tímto způsobem umístění méně zasahují do manipulačního prostoru a tím ho méně omezují. Prostorem mezi profily je veden uzavřený kabelový žlab držený tištěnými díly. Na obou profilech jsou zároveň umístěny držáky pro havarijní mechanické snímače a koncové optické snímače horizontální polohy manipulátoru.

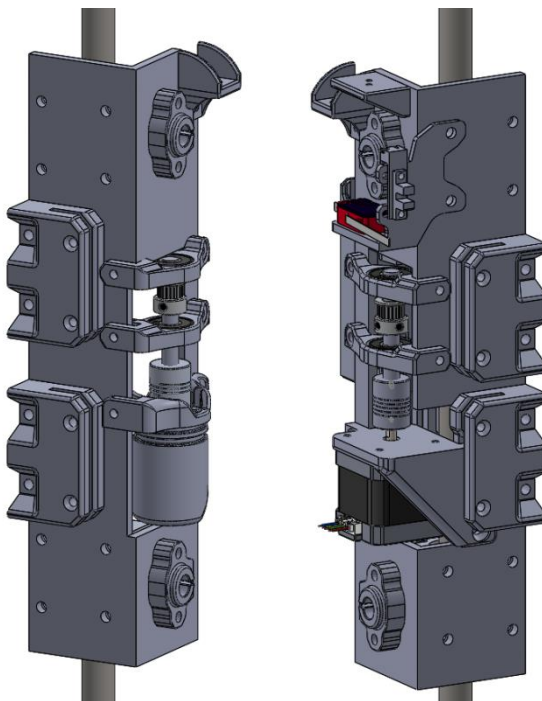
Do prvního profilu (obr. 19 vpravo) je upnut krokový motor s přírubou typu NEMA17 tvořící pohon pro horizontální pohyb manipulátoru. Motor je připevněn k profilu pomocí držáku vytisknutého na 3D tiskárně znázorněného na obr. 18 vlevo. Z důvodu úspory místa je část držáku určena jako protikus ke sorce řemenu HTD5 a zároveň je zde vytvořená drážka pro zasazení matice, pomocí které se řemen pevně stáhne. Řemen se upíná do míst, kde se zároveň nacházejí šrouby spojující držák a hliníkový profil. Aby nedošlo k poškození řemenu, jsou použity zápustné šrouby.



Obr. 18: Model držáku motoru NEMA17 (vlevo) a ložiskového domku (vpravo)

Hřídel motoru je spojena pomocí pružné hřídelové spojky s pracovní hřídelí o průměru 8 mm, na které se nachází řemenice GT2 s dvaceti zuby. Uchytení pracovní hřídele je zajištěno dvěma identickými vytištěnými ložiskovými domky (obr. 18 vpravo) s ložisky 608ZZ. Tištěné domky, mezi nimiž se nachází zmiňovaná řemenice, jsou upevněny dvojicí šroubů k hliníkovému profilu. Připojením samostatně upevněné

pracovní hřídele na hřídel motoru je eliminováno radiální zatížení na hřídel motoru, které by vznikalo napínáním řemene.

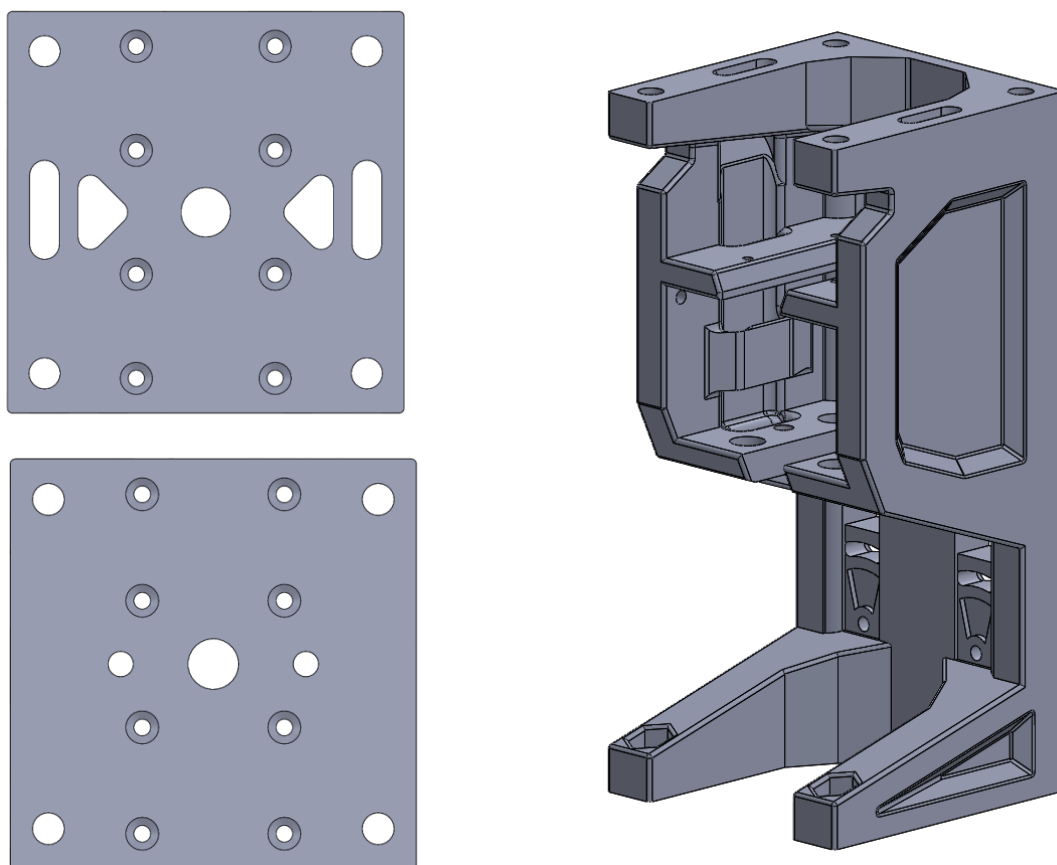


Obr. 19: Sestavy prvků hliníkových profilů

Ve vyfrézovaném prostoru druhého profilu (obr. 19 vlevo) je umístěn inkrementální rotační senzor s plnou hřídelí RB3500 od firmy Ifm. V prvním návrhu byl tento senzor umístěn ve stejném profilu jako krokový motor NEMA17, ale důvodu lepšího rozložení váhy a využití prostoru byl přemístěn do protějšího profilu. Hřídel senzoru je pomocí pružné hřídelové spojky spojena s pracovní hřídelí, na které se nachází řemenice GT2 (stejný systém upnutí hřídele, jako v prvním případě). Senzor bude podrobněji popsán v kapitole 6.

5.3.5 Vozík

Vozík (konečný prvek manipulátoru) je nosná konstrukce pro objímku určenou k manipulaci se sklenicemi, a pro krokový motor NEMA17 využitý k rotačnímu pohybu objímky. Sestava vozíku je spojená s domky lineárních ložisek SC10UU, mezi kterými je vozík umístěn. Konstrukce vozíku se skládá ze tří částí. Zmíněnými částmi jsou dvě plotny a profilovaný sloupek vozíku. Všechny tři části jsou tisknutelné na 3D tiskárně. Rozdělení vozíku na dané tři části je zamýšleno ve snaze jednodušší kompletace a servisu této části konstrukce manipulátoru. Plotny a sloupek vozíku jsou zachyceny na obr. 20.



Obr. 20: Modely ploten a vozíku

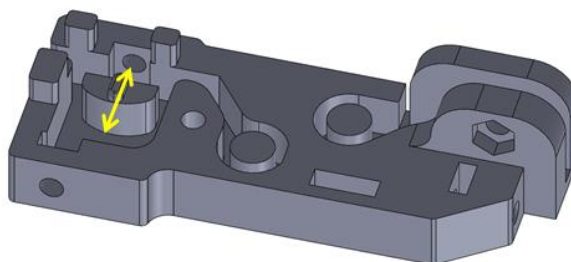
5.3.5.1 Plotny

Základními prvky ploten je 12 montážních otvorů. Čtveřice otvorů rozmístěných v rozích ploten je určena pro spojení ploten a sloupku. Přes zbylých 8 otvorů jsou plotny připevněny k domkům lineárních ložisek. Horní plotna obsahuje otvory pro vedení kabeláže do prostoru sloupku. Spodní plotnou prochází dva montážní otvory určené pro připevnění ložiskového domku KFL08, a jeden otvor pro případnou manipulaci s hřídelí.

5.3.5.2 Sloupek

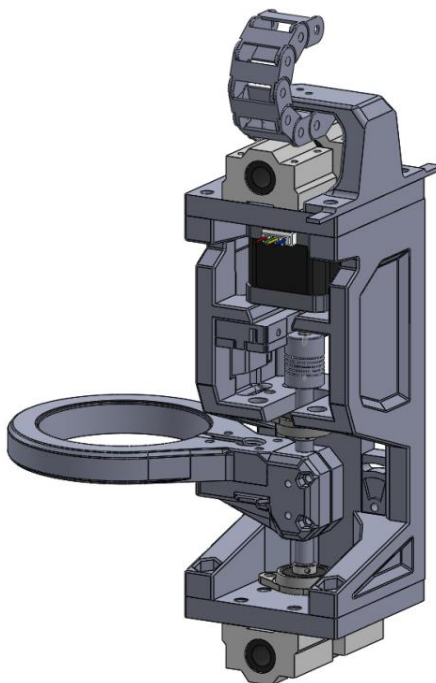
Samotný sloupek je ve své horní a spodní části, tedy v místech spojení s plotnami, zesílen pro větší tuhost a pevnost konstrukce při zatížení. Sloupek je členěn dvěma přepážkami na tři prostory. Horní prostor je určen pro upnutí krokového motoru NEMA17. Prostřední prostor je vyhrazen k umístění ložiskového domku KFL08, pružné hřídelové spojky a svorky řemene GT2, pomocí kterého lze s vozíkem pohybovat. Zadní strana vozíku je v tomto prostoru odebrána z důvodu průchodu a vedení řemene touto částí vozíku. Svorka je profilována k uchycení konců řemene a jeho možného dopnutí napínacím šroubem. Model svorky je znázorněna na obr. 21, kde je zároveň vyznačen směr pohybu napínáku řemene. Typ uchycení řemene nevyžaduje tisk malého ozubení GT2, do kterého by zapadlo ozubení řemene. V dílu jsou vytvořeny dva čepy, přes které

se řemen převlékne a následně usadí do přesných drážek. Ozubení řemene do sebe navzájem zapadne a řemen je pevně uchycen.



Obr. 21: Uchycení řemenu s vlastním napínacím mechanismem

Spodní polovina sloupku je profilována pro pohyb ramene držáku sklenice v rozsahu 180° a obsahuje otvory pro snímače koncových poloh ramene. Horní polovinou sloupku (vertikálně po jeho stranách) prochází dvojice kanálů určená pro vedení kabeláže ke snímačům. Hřídel krokového motoru je spojena pomocí pružné hřídelové spojky s pracovní hřídelí o průměru 8 mm. K upnutí pracovní hřídele jsou určeny zmíněné ložiskové komplety KFL08. Na této hřídeli je nasazen držák manipulačního ramene pro sklenice. Celá sestava je zobrazena na obrázku 22.



Obr. 22: Sestava vozíku

5.3.5.3 Objímka

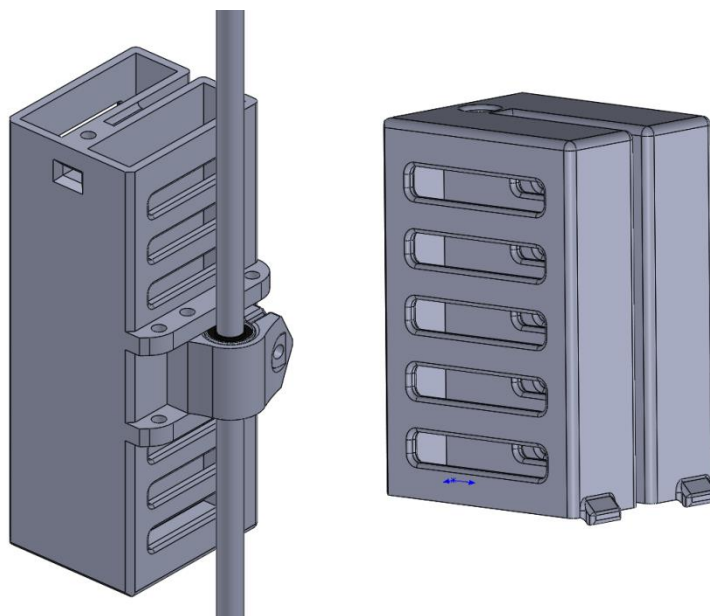
Rameno je tvořeno objímkou a jejím držákem nasunutým na hřídeli. Takovéto rozdělení manipulačního ramene souvisí s možnou výměnou objímky na sklenice v případě použití sklenic s jiným tvarem. Držák objímky lze stáhnout dvěma šrouby a zajistit tak pevně danou pozici na hřídeli. Objímka na sklenice je s držákem spojena pomocí čtyř šroubů

M4, které zajišťují pevný spoj v namáhané oblasti vlivem stlačování dávkovačů. Model objímky je navržen s ohledem na plánované dlouhodobé namáhání právě vlivem stlačování dávkovačů. Použitá metoda vrstveného 3D tisku obecně vykazuje omezení při používání mechanicky namáhaných dílů. Pro krátkodobé zatížení s menším počtem pracovních cyklů by mohl být model objímky zeslaben, ale vzhledem požadavku na vysokou životnost a nízkou poruchovost je většina dílů buňky včetně objímky vyvíjena robustně. Do objímky je zasazen mikropsínač DM-03S01P za účelem detekování přítomnosti sklenice v objímce. Volba tohoto způsobu detekce vychází z výsledného zeslabení objímky pouze v jednom místě, které je zároveň zesíleno. Jiné typy snímačů mají zpravidla větší velikost a nebylo by je možné do objímky usadit. Dalším možným řešením je použití dvouprvkové optické závory, kdy by se musela objímka zeslabit po celém obvodu a ve dvou protilehlých místech určených k upevnění součástí.

Pro vedení a ochranu kabeláže vedoucí k vozíku je využito energetického řetězu umístěného nad vozíkem. Řetěz je tištěnými držáky uchycen jak k vozíku, tak i k hliníkovému L-profilu.

5.3.6 Protizávaží

Na obou řemenech vertikálního vedení jsou umístěna protizávaží z důvodu snížení zátěže DC motoru určeného pro vertikální pohyb manipulátoru. Použití protizávaží vychází především z faktu, že hmotnost části konstrukce manipulátoru, která se pohybuje po vertikálním vedení, je přibližně 5 kg. Protizávaží sníží zátěž DC motoru a namáhání většiny prvků pohybového ústrojí, které zprostředkovává vertikální pohyb manipulátoru. Zároveň by bez využití protizávaží musela být použita mechanická brzda nebo například elektromagnetická spojka, která by zamezovala pohybu manipulátoru v klidovém stavu. Vhodným materiálem pro protizávaží byla zvolena plochá ocel s šířkou 50 mm a tloušťkou 15 mm. Celková délka ploché oceli 880 mm je rozdělena na 4 stejné díly s délkou 220 mm. Tyto díly jsou vloženy do dvou tištěných pouzder, jejichž modely jsou znázorněny na obr 23.

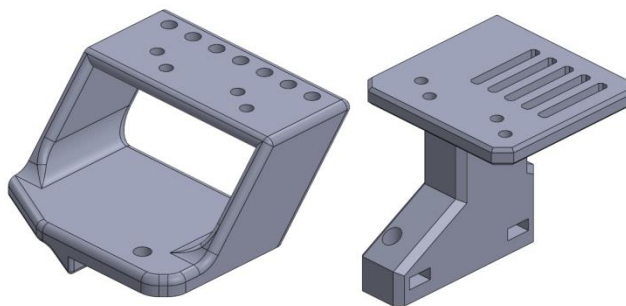


Obr. 23: Dvoudílné pouzdro na závaží

Pouzdro se sestává ze dvou dílů, spodního nosného a vrchního krycího dílu. Při vývoji pouzdra byl kladen důraz na rovnoměrné rozložení hmotnosti, která bude zavěšena na řemen. Jednotlivá závaží tedy měla být umístěna po obou stranách řemene (ozubené a neozubené). Oba díly pouzdra obsahují dvě kapsy, do kterých se závaží umísťuje. Spodní část pouzdra obsahuje jak ozubení, které zapadá do ozubení řemene, tak i prvky pro stáhnutí pouzdra dvojicí šroubů. Tím je zajištěna pozice pouzdra na řemenu. Celá sestava protizávaží dále obsahuje lineární ložisko LM8UU, jeho držák pro spojení s pouzdrem a vodící tyč o průměru 8 mm. Lineární ložisko s vodící tyčí zajišťují vedení protizávaží po stanovené dráze.

5.4 Energetické řetězy

Pro vedení kabeláže k prvkům umístěným na konstrukci manipulátoru jsou využity dva energetické řetězy. Mezi pevnou konstrukcí buňky a hliníkovým L profilem je upnut první energetický řetěz s rozměry 15 x 30 mm. Jeden konec řetězu je přichycen k rámu buňky a druhý konec k hliníkovému L profilu. K uchycení jsou použity vytištěné držáky, které jsou původně konstruovány pro použití dvou energetických řetězů (případné oddělení signálních a napájecích vodičů nebo přidání dalších snímačů do konstrukce manipulátoru) umístěných vedle sebe. Konstrukce držáků je zároveň navržena i k pevnému zajištění kabelů (odlehčení tahu) vedoucích v energetických řetězech. Zatímco pozice držáku řetězu na hliníkovém profilu je pevně dána, pozici držáku na konstrukci rámu buňky lze upravovat. Držák je nyní umístěn ve středu buňky z důvodu nejmenší možné potřebné délky energetického řetězu.



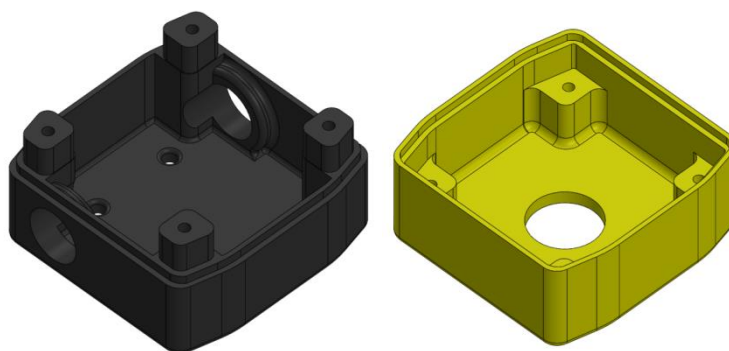
Obr. 24: Držáky energetického řetězu

V případě posuvu držáku směrem vzhůru by bylo potřeba řetěz včetně vedení v něm prodloužit. Posuv držáku směrem dolů není možný, vzhledem k umístění v konstrukci buňky by při pohybu manipulátoru do spodních pozic docházelo ke kolizi a poškození energetického řetězu.

Druhý řetěz o rozměrech 10 x 20 mm je upnut mezi stejným hliníkovým L profilem a vozíkem pohybujícím se po horizontálním lineárním vedení. Držáky jsou zobrazeny na obr 24.

5.5 Tlačítko nouzového zastavení

Buňka skladu je vybavena ovladačem nouzového zastavení LA5-ES542. Z důvodu absence příslušné krabice pro ovladač byla krabice namodelována a vytištěna pomocí 3D tisku. Vrchní díl krabice je vytištěn z materiálu žluté barvy, spodní díl potom z materiálu barvy černé. Modely obou dílů krabice jsou znázorněny na obr. 25.

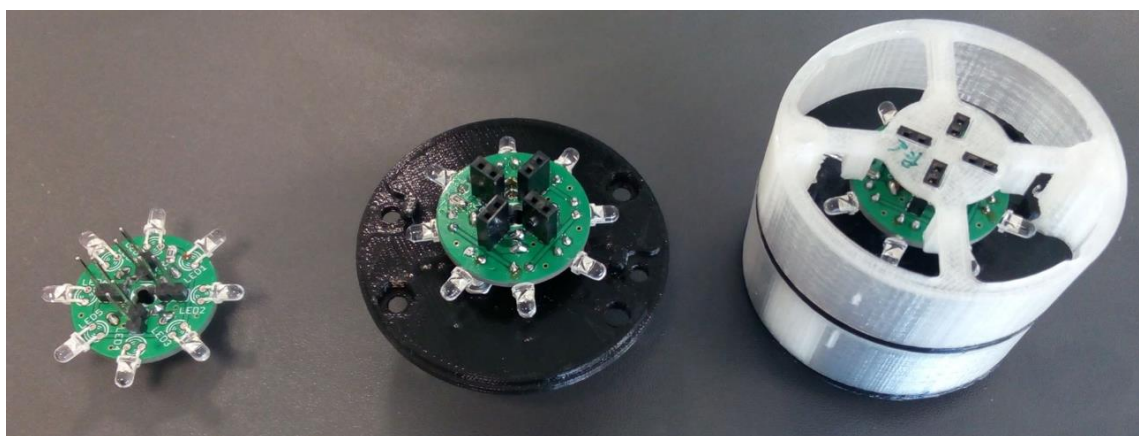


Obr. 25: Spodní a horní díl krabice pro ovladač nouzového zastavení

Rozměry krabice jsou 68 x 68 x 54 mm. Dosedací plochy obou dílů jsou vytvořeny jako dvoustupňové tak, aby se zabránilo průniku stříkající vody do vnitřního prostoru krabice. Horní díl obsahuje otvor o průměru 22 mm pro umístění ovladače nouzového zastavení. Dnem spodního dílu prochází dva otvory pro montáž krabice a na bočních stěnách jsou dva otvory pro umístění kabelových průchodek.

5.6 Signalizační sloupek

Dalším prvek, kterým je buňka skaldy vybavena, je modulární signalizační sloupek. Sestava modelu signalizačního sloupku je převzata z vytvořeného vzoru pro celý projekt testbedu. Všechny části sestavy jsou vytvořeny pomocí 3D tisku z černého a průsvitného materiálu. Použitý sloupek je sestaven ze tří signalizačních pater, kde se v jednotlivých patrech nachází plošné spoje osazené zelenými, žlutými nebo červenými LED. Plošné spoje bylo potřeba osadit a sloupek sestavit. Prvky sloupku jsou znázorněny na obr. 26.



Obr. 26: Prvky signalizačního sloupku

6 SNÍMAČE

Velké zastoupení mezi použitými snímači mají snímače firmy Ifm. Mezi zvolení snímače výrobce ifm patří inkrementální rotační snímač RB3500 a kapacitní snímač KQ5100. Snímače podporují připojení pomocí rozhraní IO Link.

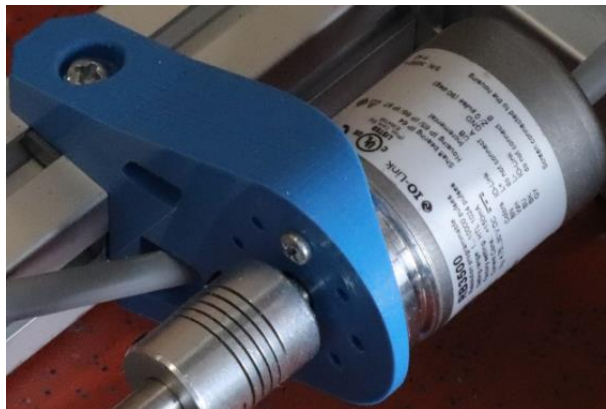
IO Link je komunikace typu point-to-point zajišťující spojení mezi I/O modulem a snímačem, případně akčním členem. IO Link master zařízení mapuje všechna připojená IO Link slave zařízení a je připojen k nadřazené průmyslové sběrnici. Pro propojení se standardně využívají konektory M5, M8 a M12. Délka komunikačního kabelu je omezena na 20 metrů.

6.1 Snímač ifm RB3500

Ifm RB3500 je inkrementální rotační snímač s plnou hřídelí převádějící rotační pohyb na digitální signál. Snímač funguje na principu magnetické detekce realizované pomocí pohyblivého nosiče magnetu. Snímači lze definovat počet impulsů za otáčku, který určuje úhel natočení hřídele. Měřicí rozsah rotačního enkodéru je možno nastavovat v rozmezí 1 – 10000 pulzů na otáčku, výchozí nastavení je 1024 pulzů. Součástí snímače je pětivodičový kabel, jednotlivé vodiče jsou označeny barvami:

- hnědá – napájení 4,75 – 30 V DC,
- bílá – signálový vývod A,
- modrá – zem,
- šedá – signálový vývod B,
- černá – signálový vývod Z (IO-Link).

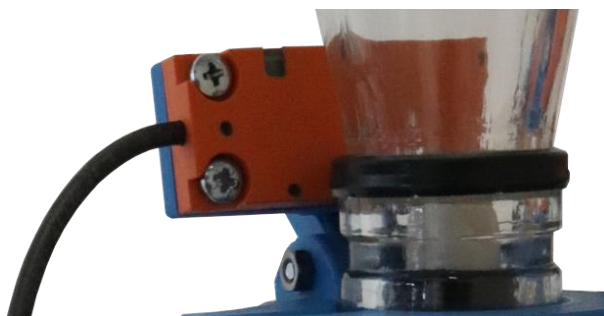
V buňce jsou umístěny dva snímače RB3500 a to pro zamýšlenou kontrolu pohybu vozíku ve vertikálním a horizontálním směru. První snímač je připojen pomocí pružné hřídelové spojky k pracovní hřídeli stejnosměrného motoru. Druhý snímač je umístěn v jednom z hliníkových L profilů. Spojení hřídele snímače a krokového motoru je realizováno ozubeným řemenem GT2 a příslušnými řemenicemi s 20 zuby. Snímače jsou připevněny pomocí vytištěných držáků zobrazených na obrázku 27.



Obr. 27: Rotační inkrementální enkodér RB3500 včetně držáků

6.2 Snímač ifm KQ5100

Jedná se o kapacitní snímač s kvádrovým pouzdem o rozměrech 20 x 7 x 48 mm, volitelnou výstupní funkcí (spínání / rozpínání) a signalizací stavu pomocí LED diody. Spínací vzdálenost snímače je $S_r = 12$ mm. Snímače lze parametrizovat pomocí rozhraní IO-Link. Připojení je řešeno trojžilovým kabelem, který je součástí snímače.



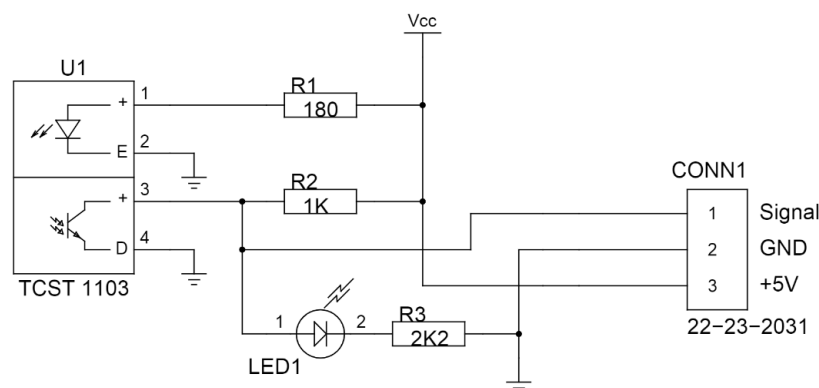
Obr. 28: Kapacitní snímač KQ5100

Využití tohoto typu snímače v buňce je zamýšleno především pro kontrolu přítomnosti kapalin v lahvích. Snímače jsou umístěny u hrdel lahví a detekují přítomnost kapaliny nad trnem dávkovačů. Upevnění snímačů je řešeno dvou kloubovým mechanismem pro vhodné nastavení polohy snímače v závislosti na tvaru lahve. Snímač je zobrazen na obr. 28.

6.3 Koncový optický snímač

Koncový optický snímač zobrazený na obr. 31 vychází z open-source projektu RepRap, což je mezinárodní projekt 3D tiskárny. Zde byl poskytnut a popsán návrh snímače „Gen7 Endstop“ (OptoEndstop 2.1). Z tohoto návrhu vycházejí koncové optické snímače dostupné na trhu především právě pro stavbu 3D tiskáren. Snímač je tvořen optickou závorou TCST2103, deskou plošných spojů, SMD (Surface Mount Device – součástka

pro povrchovou montáž) rezistory, a konektorem NX2500-03SMS. Původní zapojení snímače (obr. 29) je určeno k použití napájecího napětí 5 V, proto bylo potřeba zapojení upravit pro 24 V logiku, se kterou pracuje PLC.



Obr. 29: Schéma elektrického zapojení optického snímače [18]

Upravení snímače pro 24 V logiku spočívá v nahrazení původního rezistoru R1 s hodnotou 180 Ω . Rezistor omezuje proud tekoucí diodou na 20 mA, úbytek napětí na rezistoru je tedy 3,6 V a napětí na diodě 1,2 V. Při použití napájecího napětí 24 V a požadavku zachování napětí na diodě 1,2 V vychází potřebný úbytek napětí na rezistoru 22,8 V, z Ohmova zákona lze vypočítat žádaný odpor rezistoru:

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{22,8}{0,02} = 1,14 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

Rezistor R1 je u všech použitých optických snímačů přepájen za rezistor s hodnotou 1,2 k Ω . Rezistor R2 může být ponechán, maximální napětí fototranzistoru v optické závoře je $U_{ce} = 70 \text{ V}$. Mezera vidlicové optické závoře TCST 2103 má šířku 3,1 mm. [19]

Koncové optické snímače detekují mezní pozice vozíku na horizontálním lineárním vedení a krajní pozice objímky na sklenici. Bezprostředně za koncovým optickým spínačem krajní pozice vozíku je uchycen havarijní mikrospínač. Uchycení obou typů snímačů je realizováno společným vytištěným držákem. Umístění druhé dvojice spínačů je přímo v tělese sloupku, kde jsou snímače mírně zapuštěny do zadní strany sloupku.

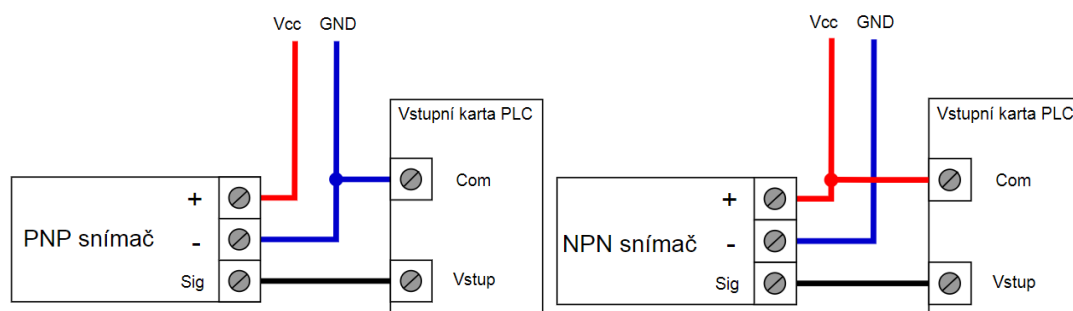
6.4 Indukční snímač LJ12A3-4-Z/BY

Kovové pouzdro indukčního snímače tvoří vnější metrický závit M12 s délkou 67 mm. Udávaná spínací vzdálenost snímače je 0 – 4 mm s typem výstupu PNP. Napájení snímače lze realizovat stejnosměrným napětím 6 – 36 V DC. Připojení je řešeno pomocí trojžilového kabelu, který je součástí snímače.



Obr. 30: Uchycený indukční snímač

Indukční snímače jsou použity pro detekci koncových poloh manipulátoru na vertikálním lineárním vedení. Pro uchycení indukčních snímačů ke konstrukci buňky je navržen držák tisknutelný na 3D tiskárně, na kterém lze polohovat indukční snímač a koncový havarijní mikrospínač. Držák se snímačem je částečně zobrazený na obr. 30.

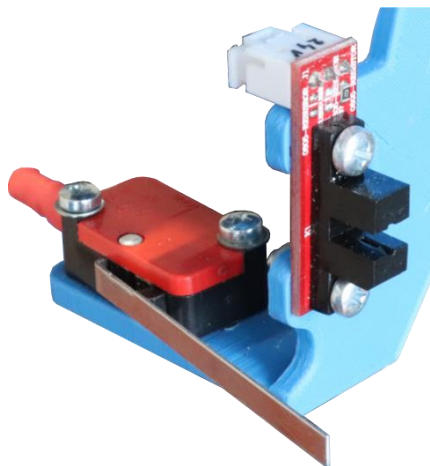


Obr. 31: Připojení PNP a NPN snímače

Při výběru použitých snímačů bylo potřeba uvažovat stejný typ výstupu (PNP/NPN) u všech snímačů, připojených přímo na jeden vstupní modul PLC. Zvolené PLC S7-1200 dokáže pracovat s oběma typy snímačů, z principu ne však na jednom vstupním modulu. Rozdíl mezi připojením PNP a NPN snímače je znázorněn na obr. 31.

6.5 Koncový mikrospínač V-153-1C25

Koncové mikrospínače (obr. 32) mají být použity jako havarijní spínače krajních poloh pojezdů na lineárních vedeních. Zapojení mikrospínačů je zamýšleno sériovým připojením přímo do přívodu napájení DC (direct current – stejnosměrný proud) motoru (pohybujícího s manipulátorem ve vertikálním směru) a krokového motoru NEMA17 (pohybujícího s manipulátorem v horizontálním směru).



Obr. 32: Koncový mikrospínač a koncový optický snímač

Montáž mikrospínačů (pro vertikální lineární vedení) je uskutečněna umístěním mikrospínačů na montážní drážky určené i pro indukční snímače.

6.6 Koncový mikrospínač DM-03S01P

Mikrospínač je určen k zakomponování do těla objímky na sklenice, kde má plnit funkci detekce přítomnosti sklenice. Umístění snímače je znázorněno na obr. 33. Konkrétní typ byl vybrán na základě požadavků na malé rozměry snímače tak, aby bylo tělo objímky co nejméně zeslabeno. Spínač je původně určen k zasazení do DPS (desky plošných spojů), to v řešené aplikaci není třeba. Rozměry spínače jsou 12,8 x 6,5 x 5,8 mm, páčka spínače je dlouhá 14 mm. Maximální spínaný proud je 3 A při 125 V AC (alternating current – střídavý proud), počet cyklů sepnutí je 10^6 .



Obr. 33: Koncový mikrospínač DM-03S01P umístěný v objímce na sklenice

7 ŘÍDICÍ VYBAVENÍ

7.1 PLC Siemens Simatic S7-1200

Buňka skladu je řízena pomocí PLC (Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat) Simatic řady S7-1200 značky Siemens. Systém S7-1200 obsahuje 5 standartních výkonostních tříd CPU a dvě bezpečnostní třídy. Konkrétně je použita procesorová výkonostní třída CPU 1214C DC/DC/DC s provozním napětím 24 V. Základní parametry zvoleného PLC jsou zaznamenány v tabulce 3.

Tab. 3: Parametry PLC S7-1200

CPU 1214C DC/DC/DC	
Rozměry (mm)	110 x 100 x 75
Komunikační port	PROFINET
Pracovní paměť	100 kB
Zaváděcí paměť	4 MB
Integrované digitální I/O	14/10
Integrované analogové I/O	2/0
Rozšíření pomocí signálových modulů	8
Rozšíření pomocí komunikačních modulů	3
Rozšíření pomocí signálové karty	1
Vysokorychlostní čítače	6
Pulzní výstupy	4
Přerušení náběžná/sestupná hrana	12/12

Vstupy je možné zapojit pro použití pozitivní logiky i pro použití negativní logiky. Funkcí vysokorychlostního čítání (HSC – High Speed Counter) lze zpracovávat třemi vstupy frekvence do 100kHz a třemi vstupy frekvence do 30 kHz. Pulzní výstupy umožňují použití funkcí PTO (Pulse Train Output – frekvenční výstup) nebo PWM (Pulse Width Modulation – pulzní šířková modulace) s frekvencemi do 100 kHz bez použití signálního modulu. S použitím signálního modulu je maximální frekvence 200 kHz.

V aplikaci se uvažuje použití funkce vysokorychlostního čítání v souvislosti s použitím rotačního enkodéru RB3500, použití PTO pro řízení krokových motorů i použití PWM pro řízení stejnosměrného motoru.

7.1.1 Rozšiřovací modul Siemens S7-1200 SB 1222

Z důvodu nedostatečného počtu výstupů je k PLC připojen rozšiřovací modul SB 1222 obsahující 4 digitální výstupy (DQ4.0 – DQ4.3). Výstupy modulu jsou použity pro světelnou signalizaci. Volba tohoto zapojení výstupů je dána možností neomezeného chodu stroje i při odebrání, výměně nebo poruše rozšiřovacího modulu SB 1222. Tabulka 6 popisuje konečné zapojení vstupů/výstupů.

7.2 HMI panel Siemens KTP400 Basic Color

HMI (Human Machine Interface) tvoří rozhraní mezi člověkem a zařízením. Pomocí HMI panelu může tedy operátor přistupovat k funkcím ovládání a datům, které jsou spojeny s PLC. Pro řešenou aplikaci byl vybrán panel KTP400 Basic Color. Označení KTP (Key Touch Panel – tlačítkový dotykový panel) a popisuje tím typ dotykového panelu obsahujícího zároveň hardwarová tlačítka. Základní parametry panelu popisuje tabulka 4.

Tab. 4: Parametry HMI panelu

KTP400	
Úhlopříčka obrazovky	4,3"
Rozlišení	480 x 272
Typ displeje	TFT, rezistivní
Počet barev	65536
HW tlačítka	4
Napájecí napětí	24 V DC
Komunikační rozhraní	PROFINET

7.3 ifm IO-Link master AL1900

Snímače firmy Ifm jsou připojeny k zařízení IO-Link master AL1900. Zařízení poskytuje možnost připojení 8 snímačů s IO-Link rozhraním a jejich konfiguraci pomocí softwaru LR DEVICE. Komunikace a přenos diagnostických a procesních dat do PLC jsou řešeny rozhraním PROFINET. Při použití více zařízení AL1900 lze využívat IoT (Internet of Things – internet věcí) portu.

7.4 Switch Linksys SD205

Propojení PLC S7-1200, operátorského panelu KPT400 a IO-Link masteru AL1900 je realizováno pomocí síťového přepínače Linksys SD205, obsahujícího 5 portů pro připojení Ethernetu.

7.5 Driver TB67S109AFTG

Řízení krokových motorů NEMA 17 je zprostředkováno pomocí dvojice driverů TB67S109AFTG. Driver TB67S109AFTG je určen pro řízení bipolárního krokového motoru a obsahuje funkce mikrokrokování, nastavení pracovního proudu a omezení pracovního proudu při nečinnosti. Mikrokrokování lze nastavit maximálně na 1/32 základního kroku a maximální výstupní proud je 4 A. Driver obsahuje vstupy pro:

- napájení 8 – 47 V DC,
- Enable (povolení),
- Direction (směr),

- Step (krok).

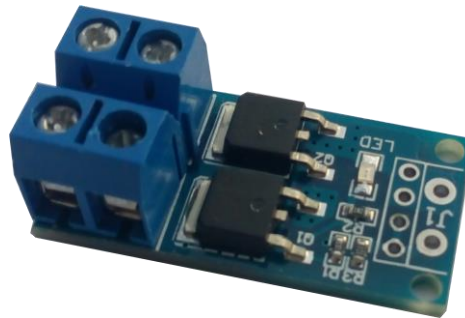
Maximální frekvence vstupu Step je stanovena na 200 kHz. Všechny vstupy lze ovládat přímo řídicími napěťovými úrovněmi z PLC, tedy 24 V logikou. Vstupy jsou opticky odděleny. Výstupy driveru (A+, A-, B+ a B-) jsou určeny pro připojení na dvojici vinutí krokového motoru.

7.6 PWM modul

Otáčky stejnosměrného motoru BCI jsou ovládány pomocí PWM modulu tvořeného dvojicí tranzistorů MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Parametry modulu znázorněného na obr. 34 jsou:

- Provozní napětí: 5 – 36 V DC.
- Spouštěcí napětí: 3,3 – 24 V DC.
- Frekvence signálu: 0 – 20 kHz.
- Maximální proud (při pokojové teplotě): bez chlazení 15 A, s chlazením 30 A.

Změna směru otáčení hřídele je řešena pomocí DPDT (Double Pole Double Throw – relé se dvěma přepínacími kontakty) relé. Z důvodu spínání indukční zátěže PWM modulem je nezbytné výstup modulu opatřit ochrannou diodou pro zabránění poškození MOSFET tranzistorů. Tato dioda byla připojena do desky plošného spoje modulu.



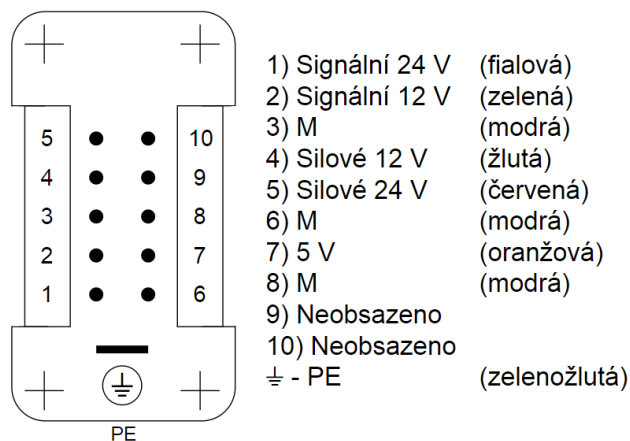
Obr. 34: Modul pro PWM regulaci

8 ELEKTROINSTALACE

Přívod elektrické energie do buňky je realizován pomocí průmyslového konektoru výrobce Wieland. Konektor se skládá ze čtyř dílů:

- vidlicového konektorového dílu - SM 70.310.1040.0,
- zásuvkového konektorového dílu - SM 70.300.1040.0,
- spodního konektorového krytu - SM 70.330.1035.0,
- horního konektorového krytu - SM 70.352.1035.0.

Konektor má 10 kontaktů + PE, jejichž zapojení je vyobrazeno na 35.



Obr. 35: Zapojení napájecího konektoru

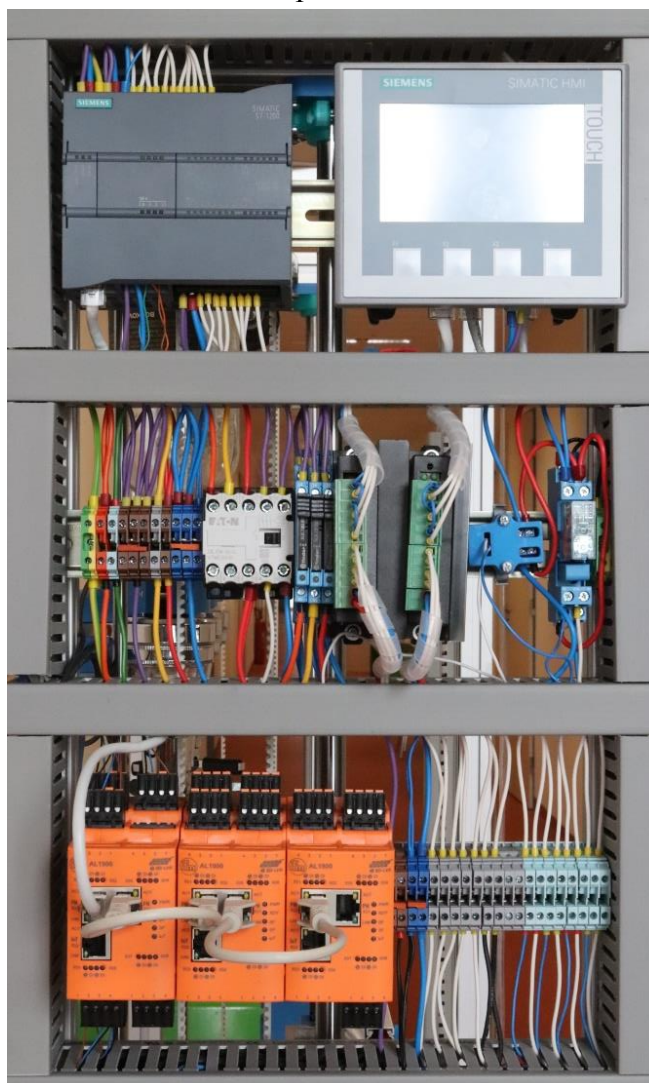
U všech buněk v testbedu Barman je použit tentýž konektor se stejným zapojením. Horní i spodní konektorové kryty jsou osazeny kabelovými průchodkami s krytím IP68. U každého slotu pro buňku se zároveň nachází přípojný napájecí konektor a tím je zároveň umožněno připojení menších buněk ke kterémukoliv slotu na ploše stolu.

Konektor je umístěn ve spodní části buňky (jedná se o levou boční stranu z čelního pohledu) skladu, kde je spodní konektorový kryt vně buňky připevněn přímo k hliníkovým konstrukčním profilům. Na kabelovou průchodku v krytu navazuje kabelový žlab o rozměrech 30 x 60 mm, který je připevněn podél svislého hliníkového profilu konstrukce buňky. Tímto žlabem jsou vedeny jak napájecí kabely od konektoru, tak i napájení k DC motoru a kabel rotačního enkodéru RB3500.

Celkové schéma zapojení všech prvků buňky se nachází v příloze 1.

8.1 Rozvaděč

Přívodní napájecí kabely jsou připojeny na vstupní svorkovnici rozvaděče, ze které je poté řešen rozvod napájení do zařízení v rozvaděči, který je umístěn v horní části levé strany buňky. Rozvaděč zobrazený na obr. 36 je umístěn na vnější straně a je tvořen třemi perforovanými DIN lištami a kabelovými žlaby, není kryt v žádné skříni. DIN lišty s rozměry 35 x 7,5 mm a délkou shodnou s hloubkou buňky 330 mm jsou přišroubovány k hliníkovým profilům a tvoří tři montážní patra rozvaděče.



Obr. 36: Rozvaděč

Kabelové žlaby tvoří vnější rám a ohraničují vnitřní prostor rozvaděče a zároveň příčky mezi DIN lištami pro vedení kabeláže. V rozvaděči jsou umístěny řídicí prvky, spínací prvky a hlavní část elektroinstalace. V nejvyšším patře je umístěno PLC s HMI panelem a síťovým přepínačem. Zatímco PLC je určeno přímo pro montáž na DIN lištu, pro HMI panel a síťový přepínač byly použity tištěné držáky pro přichycení na DIN lištu. Tyto (již převzaté) držáky umožňují sjednocení síťového přepínače a HMI panelu do jedné sestavy, kde přepínač je umístěn za HMI panelem. Na další DIN liště je

umístěna zmíněná vstupní svorkovnice napájení, stykač, patice na síťová relé, drivery krokových motorů, PWM modul a patice na DPDT relé. Prvky jsou popsány v tabulce 5:

Tab. 5: Prvky umístěné na DIN liště rozvaděče

Prvek	Označení	Počet
Svorkovnice	BEC RSA 2.5 A	10
Svorkovnice	BEC RSA PE	2
Stykač	EATON DILEM-10-G(24VDC) 4KW 1Z 10213	1
Patice úzká	FI 93.01.0.024 1P 6-24VAC/DC BO DIN	3
Relé	FI 34.51.7.005.0010	1
Relé	FI 34.51.7.012.0010	1
Relé	FI 34.51.7.024.0010	1
Driver		2
PWM modul		1
Patice	FI 95.85.3	1
Relé	FI 40.52.9.024.0000 8A 24VDC	1

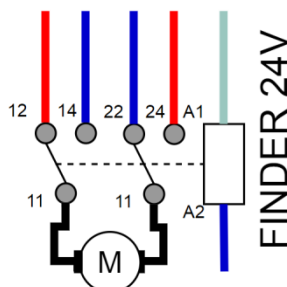
Jednotlivá relé řady 34.51.7 mají jmenovitá napájecí napětí 5, 12 a 24 V a jsou umístěna v paticích, které jsou usazeny na DIN liště. Patice jsou osazeny signalizační diodou, která zároveň plní ochrannou funkci vstupních obvodů proti špičkám rušivého napětí indukovaného cívkou relé při jeho sepnutí/rozepnutí. Relé jsou připojena na 5 V a silových 12 a 24 V. Spínané kontakty relé jsou zapojeny do série, přičemž na spínaný kontakt 5 V relé je přivedeno signální napětí 24 V. Kontakt posledního relé je připojen na vstup PLC, tím je zajištěna možnost monitorování připojeného napájecího napětí. Patice s označením 95.85.3 není z výroby osazena ochrannou diodou, obsahuje však slot pro externí ochrannou diodu FI 99.80.3.000.00, kterou jsou patice osazeny.

Na poslední osazené DIN liště jsou umístěna tři zařízení IO-Link master AL1900 a svorkovnice pro připojení vstupů a výstupů PLC a výstupy driverů krokových motorů. Aktuálně je zapojen pouze jeden IO-Link master AL1900 a to z důvodu použití pouze 5 kapacitních snímačů KQ5100 a dvou rotačních enkodérů RB3500. Počet použitých kapacitních snímačů vychází z pěti dostupných dávkovačů alkoholu a tedy i aktuální možnosti detekce hladiny v pěti láhvích. Zbýlá zařízení AL1900 jsou připravena pro plné obsazení buňky skladu.

8.2 Zapojení prvků v rozvaděči

Cívce stykače EATON je předřazen ovladač nouzového zastavení LA5-ES542, na který je přivedeno signálních 24 V ze vstupní svorkovnice rozvaděče. Na napájecí svorku A1 stykače EATON je přivedeno signálních 24 V z ovladače nouzového zastavení. Stykač obsahuje čtyři spínací kontakty, na které je připojeno 5 V, silových 12 a 24 V a signálních 24 V. Signálních 24 V je následně vedeno na vstup PLC, což zajišťuje signalizaci použití tlačítka nouzového zastavení. Silových 24 V je následně vedeno k napájení driverů krokových motorů a DC motoru.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 7, rychlost otáček stejnosměrného motoru je ovládána pulzně šířkovou modulací pomocí výkonového PWM modulu. Do vedení napájení modulu jsou v sérii zapojeny dva mechanické mikrosplínače zastupující funkci havarijních snímačů. Reverzace směru otáčení hřídele je řešena použitím DPDT relé. Zapojení relé a motoru zobrazuje obr. 37.



Obr. 37: Řešení změny směru chodu DC motoru

Z důvodu ovládání motoru pulzně šířkovou modulací je přívod napájení od svorek relé k motoru řešen dvoužilovým stíněným kabelem s PVC pláštěm F-CY-OZ (LiY-CY) $2 \times 1 \text{ mm}^2$. Vysokofrekvenční spínání výkonové indukční zátěže přes kabeláž s délkou 1600 mm by mohlo vést k vyzařování elektromagnetického rušení. Použití stíněného kabelu toto rušení eliminuje, je však potřeba dbát na správné uzemnění stínění (uzemnění stínění pouze na straně zdroje).

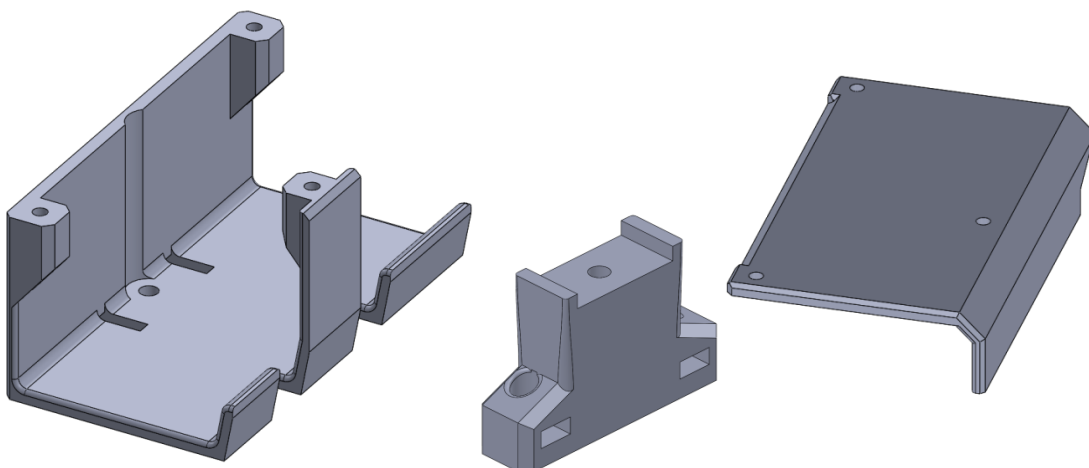
8.3 Rozvod ke snímačům a krokovým motorům

Použití svorkovnic na spodní DIN liště je zvoleno z důvodu lepšího připojení ke vstupům a výstupům řídicích zařízení, snímačů a akčních členů buňky. Svorkovnice tak tvoří přípojně místo signálních vedení do rozvaděče jako celku. Tím je zvýšena přehlednost a snadnější výměna či zapojování snímačů bez nutnosti zásahu do kabeláže rozvaděče jako celku. Na téže DIN liště jsou umístěny i svorkovnice pro napájení snímačů. Vedení kabeláže k pohyblivým částem manipulátoru je realizováno energetickými řetězy.

8.4 Elektroinstalace manipulátoru

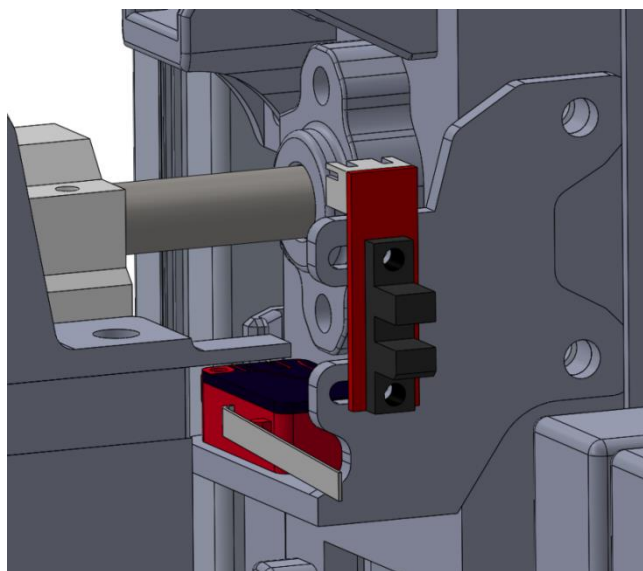
Vzhledem ke snaze o úsporu použité kabeláže jsou napájení a zem pro snímače vedeny do konstrukce manipulátoru pouze jednou dvojicí vodičů. Na hliníkovém L profilu se nachází dvojice svorek WAGO 222-415, do nichž je přivedeno napájení a zem. Svorky slouží jako přípojně místo napájení snímačů, uchyceny jsou do profilovaného držáku. Dalšími prvky pro montáž elektroinstalace na profilu jsou montážní krabice pro svorkovnici a držák této krabice (obr. 38). Jak již z předešlého vypovídá, v krabici je připevněná svorkovnice (12 pólová svorkovnice SVL 1,5) pro propojení vodičů. Volba použití svorkovnice vychází z předpokladu jednoduššího připojení snímačů a snazšího přístupu a výměny kabeláže v energetickém řetězu díky

rozebíratelnému spoji. Příklad výměny kabeláže může nastat například z důvodu cyklického namáhání vodičů vlivem ohybu v energetickém řetězu.



Obr. 38: Prvky sestavy krycí krabice svorkovnice

Na obou hliníkových profilech jsou uchyceny mechanické mikrospínače zastupující funkci havarijních snímačů a koncové snímače s optickou závorou. Tato dvojice snímačů je použita pro horizontální lineární vedení. Mechanické mikrospínače jsou zapojeny do série před napájecím vstupem driveru krokového motoru použitého pro pohyb manipulátoru v horizontálním směru. Sepnutím jednoho ze spínačů dojde k úplnému odpojení napájení krokového motoru. Obě dvojice mikrospínače a optického snímače jsou přichyceny na tištěných držácích určených pro přichycení obou snímačů. Držáky jsou pevně upnuty k hliníkovým profilům a jsou uzpůsobeny k polohování obou typů snímačů, model držáku je na obr. 39. Stínícími clonkami pro koncové optické snímače jsou výstupky na držáku energetického řetězu, připevněném na vozíku. Dotykovou plochou havarijních mikrospínačů je horní plotna sestavy vozíku.



Obr. 39: Uchycení koncových snímačů

V kapitole 5 byl zmíněn kabelový žlab vedoucí mezi hliníkovými profily. Rozměry žlabu jsou 15 x 15 mm a žlab je určen k vedení kabeláže od dvojice koncových snímačů a rotačního enkodéru RB3500. Užitím kabelového žlabu nevzniká potřeba umisťovat druhý energetický řetěz, který by spojoval konstrukci lineárního vedení a rám buňky.

Na svorkovnici SVL 1,5 jsou napojeny všechny vodiče vedoucí druhým energetickým řetězem do sestavy vozíku. Vozík obsahuje krokový dvoufázový motor NEMA17, dvojici optických snímačů a jeden mikrospínač. Optické snímače zastávají funkci koncových snímačů polohy objímky na sklenice a mikrospínač slouží k detekci přítomnosti sklenice v objímce. Stínící clonky pro koncové optické snímače jsou součástí držáku objímky. Optické snímače jsou umístěny v dolní části vozíku. Z tohoto důvodu byly při vývoji ve stěnách vozíku vytvořeny instalační kanály určené právě pro tuto kabeláž.

Indukční koncové snímače vertikální polohy manipulátoru jsou umístěny spolu s havarijními mikrospínači na pravé straně buňky. Model tištěného držáku indukčních snímačů je na obr 38. Držák je vytvořen tak, že nezáleží, zdali jsou snímače umístěny v horní straně buňky nebo ve spodní straně buňky. Do držáku lze nasunout ze dvou směrů tištěnou profilovanou destičku určenou pro upnutí havarijního spínače a tím je zaručeno rozdílné vzájemné odsazení snímačů. Indukční snímač detekuje přítomnost hliníkového domku lineárního ložiska SC16UU a stejným domkem lze následně stisknout páčku mikrospínače, který po stisku odepne napájení motoru. Kabeláž je vedena kabelovými žlaby s rozměry 30 x 30 mm umístěnými ve vnitřním prostoru buňky.

9 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Vývoj a tvorba programového vybavení byly řešeny pomocí softwaru TIA Portal společnosti Siemens. Hlavním účelem buňky skladu je skladování alkoholických nápojů a jejich poskytování dávkováním do sklenic k dalším fázím procesu výroby nápoje. Programové vybavení buňky je proto zaměřeno k ovládání manipulátoru a administraci skladu. Obě tyto funkce lze ovládat pomocí vizualizace nebo přístupem k proměnným v příslušných datových blocích (DB – Data Block).

Ovládání manipulátoru je sestaveno pomocí funkčních bloků (FB – Function Block) plnicích dané funkce procesu, které jsou děleny do tří kategorií podle úrovně náročnosti: základní operace, kontrolní moduly, moduly zařízení. Funkční bloky jsou tedy určeny k ovládání základních pohybů jednotlivých os, ale i k víceosým pohybovým operacím. V očekávaném provozu buňky skladu je zamýšleno použití pouze tří konkrétních funkcí. První dvě funkce jsou určeny k přípravě uvedení manipulátoru do provozu. Jedná se o referování pozic všech os manipulátoru a polohování na výchozí místo. Třetí funkce je přidělena pro provedení požadavku objednávky na naplnění sklenice. Vytvořené funkce jsou popsány v kapitole 9.3.

Administrace skladu spočívá v definování rozmístění konstrukce skladu a jeho obsazení. Obsahuje funkce pro definici jednotlivých skladovacích pater a jejich umístění v rámci buňky skladu, parametrizaci slotů a jejich umístění na daných patrech. Sloty poskytují všechny potřebné informace o objektech dávkovače a lahve. Veškeré informace o skladu jsou uloženy v datových blocích pomocí UDT (User defined Data Type – uživatelem definovaný datový typ) struktur.

Vizualizace poskytuje možnost jak ovládání manipulátoru, tak i kompletní správu skladu. Je zde umožněn přístup i k pohybovým funkcím nižších úrovní. Avšak jejich použití není při provozu třeba a nedoporučuje se. Referování os je nutné zadat pouze po zapnutí buňky, následně se uvažuje pouze používání funkce pro plnění objednávek. Podrobný popis vizualizace se nachází v kapitole číslo 9.4.

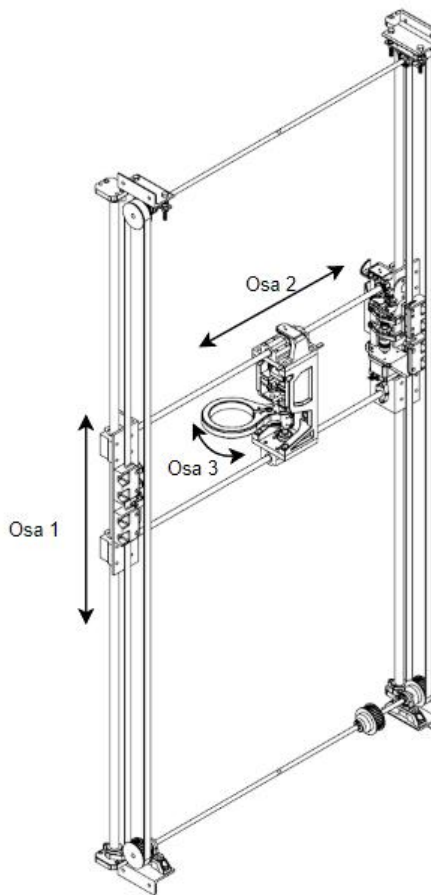
Před započítím tvorby programu je třeba připojit akční členy a snímače k fyzickým vstupům a výstupům PLC, toto zapojení popisuje tabulka 6. Následuje nastavení hardwarové konfigurace PLC a připojeného modulu. Na hardwarovou konfiguraci je v následujícím textu odkazováno a je zde i částečně popsána. Celkové nastavení si lze prohlédnout v přiloženém projektu v elektronické příloze 3. Prvním krokem po propojení PLC s akčními prvky a snímači a po hardwarové konfiguraci bylo zásadním úkolem oživení a zprovoznění funkce pohonů. Popis programového vybavení proto začíná podkapitolami věnujícími se tomuto úkolu.

Tab. 6: Připojení vstupů a výstupů

Vstup/výstup	Popis
DI0.0	E-Stop tlačítko
DI0.1	Porucha napájení
DI0.2	Enkoder 1 - A
DI0.3	Enkoder 1 - B
DI0.4	Koncový optický snímač - zadní
DI0.5	Koncový optický snímač - přední
DI0.6	Koncový indukční snímač - spodní
DI0.7	Koncový indukční snímač - horní
DI1.0	Koncový optický snímač - levý
DI1.1	Koncový optický snímač - pravý
DI1.2	Snímač přítomnosti sklenice
//	
DQ0.0	DC motor - směr
DQ0.1	DC motor - PWM
DQ0.2	Driver krokový motor (úchop) - Povolení
DQ0.3	Driver krokový motor (úchop) - Směr
DQ0.4	Driver krokový motor (úchop) - Krok
DQ0.5	Driver krokový motor (pojezd) - Povolení
DQ0.6	Driver krokový motor (pojezd) - Směr
DQ0.7	Driver krokový motor (pojezd) - Krok
DQ4.0	Signalizace
DQ4.1	Signalizace
DQ4.2	Signalizace

9.1 Konfigurace pohonů

Hlavním prvkem tříosého manipulátoru jsou pohony, pomocí kterých je pohybováno s manipulátorem v jednotlivých osách. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5, dvojice krokových motorů je určena pro pohyb s vozíkem (osa X) a pro pohyb s objímkou na sklenice (osa Z). Stejnoseměrný motor je určen k pohybu manipulátoru ve vertikálním směru (osa Y). Osy manipulátoru jsou znázorněny na obr. 40. Vzhledem ke skutečnosti, že použité pohony fungují na odlišných principech, je důležité k jejich zprovoznění a ovládání přistupovat dvojím způsobem. Odlišnost ovládání pohonů se zároveň odvíjí od typu použitého řídicího vybavení. První způsob spočívá ve vytvoření technologických objektů os a v ovládání pohonu knihovními instrukcemi. Druhým způsobem je vytvoření vlastních instrukcí. Zprovoznění pohonů je popsáno v následujících kapitolách.



Obr. 40: Popis os manipulátoru

9.1.1 Technologické objekty

Použité PLC řady S7-1200 s CPU 1214C je vybaveno základními instrukcemi pro *Motion Control*, tedy ovládání pohonů. Použití těchto instrukcí je podmíněno vytvořením technologických objektů typu Osa (Axis) a jejich konfigurací pro dané pohony. Technologické objekty se dělí do tří hlavních skupin, jimiž jsou: *Motion Control*, *PID* a *SIMATIC Ident*. Nabídka použitelných objektů ve skupině *Motion Control* se odlišuje typem použitého PLC, kde například PLC S7-1500 obsahuje rozšířenější programovou výbavu pro řízení pohonů. Technologickými objekty, které u použitého PLC S7-1200 lze vytvořit, jsou Osy (Axes) a příkazové tabulky (*CommandTables*). Vytvořením technologického objektu osy lze konfigurovat parametry pohonu, příkazové tabulky dále slouží k definování a navazování pohybu pohonů.

Technologický objekt osy je definován dvěma skupinami parametrů: základními a rozšířenými parametry. Množství zadávaných parametrů se liší od typu řízení pohonu, kterým může být PTO výstup, analogový výstup nebo PROFIdrive. Všechny tři možnosti vyžadují použití driveru pro ovládaný pohon, liší se typem ovládacího signálu a typem smyčky (otevřená, uzavřená). V aplikaci jsou použity technologické objekty os s ovládáním pohonu pomocí PTO výstupu. Zadávané parametry se dělí do následujících skupin:

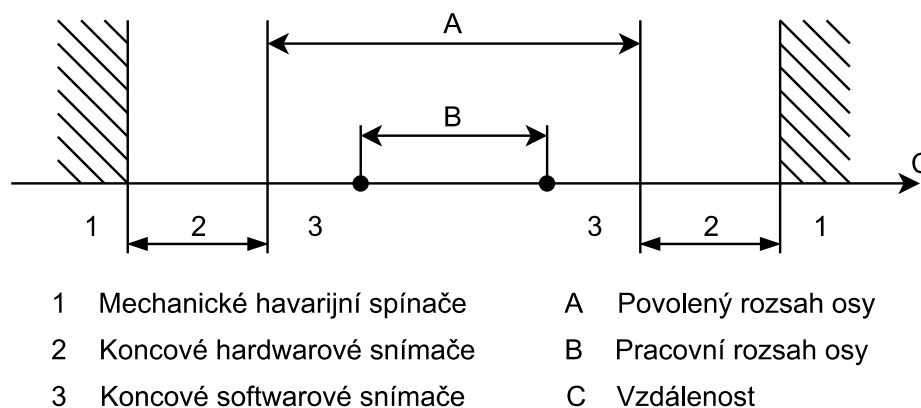
- Základní parametry:
 - hlavní,
 - pohon.
- Rozšířené parametry:
 - mechanika,
 - omezení polohy,
 - dynamika:
 - hlavní,
 - nouzové zastavení,
 - referování:
 - aktivní,
 - pasivní.

9.1.1.1 Základní parametry

V základních parametrech se nachází kromě volby typu ovládání pohonu i jednotky měření, které lze definovat vzdáleností, úhlem nebo krokem. Volba jednotek závisí na dané aplikaci a odvíjí se od výsledného vykonávaného pohybu. V parametrech pohonu je nejdůležitějším hardwarové rozhraní, kde se definuje generátor pulzů, typ signálu, pulzní výstup a výstup určující směr pohybu. Generátory pulzů je nezbytné nejdříve nastavit v hardwarové konfiguraci, kde se zároveň přiřazují patřičné výstupy tak, aby funkce PTO nebo PWM mohla být použita.

9.1.1.2 Rozšířené parametry

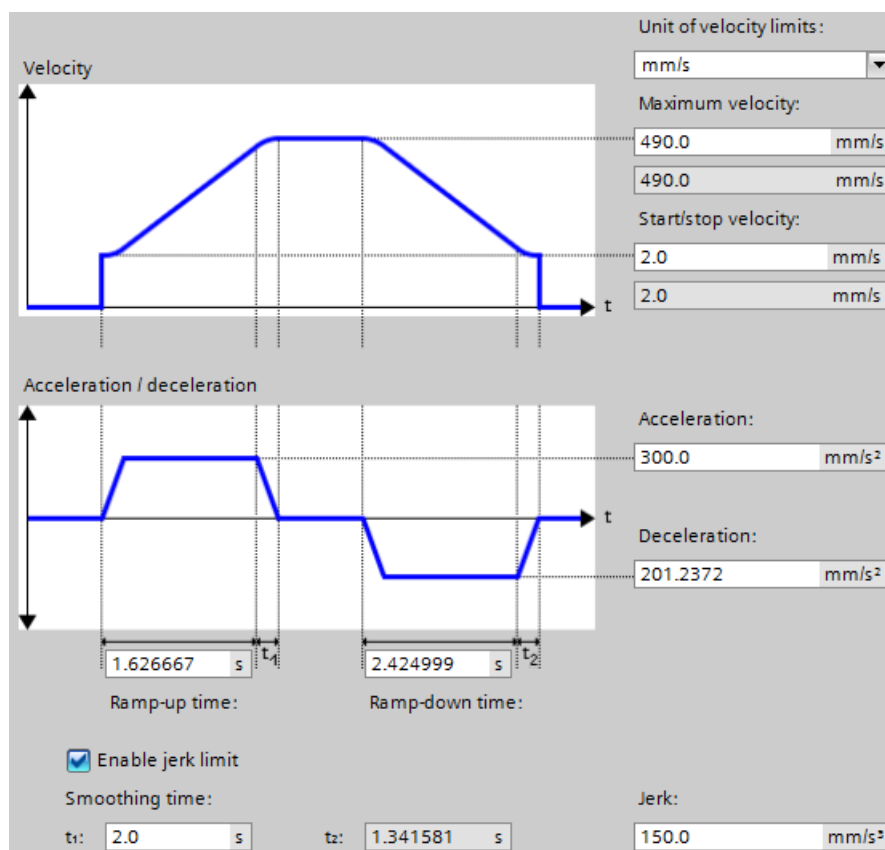
Mechanika, spadající pod rozšířené parametry, je definována potřebným počtem pulzů pro jednu otáčku hřídele motoru, změnou vzdálenosti koncového prvku při jedné otáčce hřídele a povoleným směrem rotace hřídele. Nastavení omezení polohy je velmi důležité pro bezkolizní funkci stroje. Jsou zde definovány limitní spínače dané osy určující pracovní rozsah osy. Volitelně lze použít hardwarové a softwarové limitní spínače, kde se definuje virtuální pozice vůči hardwarovým spínačům. Celkový pracovní rozsah osy je pak znázorněn na obrázku 41.



Obr. 41: Dělení rozsahu os [20]

Použití softwarových koncových snímačů není v dané aplikaci potřeba a díky jejich absenci je rozšířen povolený pracovní rozsah manipulátoru.

Dynamika obecně definuje rychlosti a zrychlení, z nichž jsou tvořeny rozjížděcí a zpomalovací rampy. Prvním parametrem je určení jednotky, ve které se rychlost bude zadávat. Typem jednotek mohou být mm/s, 1/min, pulzy/s případně °/s. Poté lze nastavit maximální rychlost pohybu, počáteční a koncovou rychlost pohybu, velikost zrychlení a zpomalení pohybu, a na závěr omezení trnutí pohonu. Tyto parametry souhrnně definují tvar rampy pohybu pohonu (obr. 42). Jedním z účelů manipulátoru je přemísťování sklenic s tekutinou. Z tohoto důvodu je nutné, aby nebyly rampy příliš strmé. Velká strmost ramp by způsobila možné vylití obsahu sklenice způsobené velkým zrychlením nebo zpomalením. Jediný stav, kdy požadavek na nízkou strmost ramp neplatí, je nouzové zastavení, které je použito pouze v krizových stavech nebo při dosažení limitních snímačů (HW i SW). Pro nouzové zastavení je velikost zpomalení definována samostatně.



Obr. 42: Ukázka nastavení ramp v prostředí TIA Portal

Na závěr se nastavuje referování, které je důležité pro zjištění a korekci polohy manipulátoru. Referování se v základu dělí na pasivní a aktivní, celkově však lze volit až 7 různých režimů. Při konfiguraci a oživování pohonů bylo zjištěno, že vhodný režim aktivního referování nefunguje zcela správně a proto je pro referování vytvořena samostatná funkce.

9.1.2 Krokové motory

Každý z krokových motorů je definován jedním technologickým objektem osy s názvem *Axis_2* (pohyb manipulátoru v horizontálním směru) a *Axis_3* (rotační pohyb objímky). Jak již bylo zmíněno, pro oba motory jsou použity drivery popsané v kapitole 7. Trojice vstupů driverů (*Step*, *Enable*, *Direction*) je připojena na výstupy PLC. Výstupy pro povolení je nutné negovat, jelikož drivery mají vstupy *Enable* zapojeny s negativní logikou. Parametry technologických objektů jsou zaznamenány v tabulce 7.

Tab. 7: Konfigurace technologických objektů Os

Parametr	Axis_2	Axis_3
Pulzní generátor	Pulse_2	Pulse_3
Typ signálu	PTO (pulse A and direction B)	
Pulzní výstup	Q0.7	Q0.4
Výstup pro směr	Q0.6	Q0.3
Povolení	M100.0 (Q0.5)	M100.1 (Q0.2)
Pulzů za otáčku	1600	
Vzdálenost za otáčku	40 mm	360 °
Povolený směr rotace	Oba směry	
HW limitní spínače	Použity	
SW limitní spínače	Nepoužity	
Jednotky rychlosti	mm/s	°/s
Maximální rychlost	490 mm/s	450 °/s
Počáteční/koncová rychlost	2 mm/s	1 °/s
Zrychlení	300 mm/s ²	200 °/s ²
Zpomalení	201 mm/s ²	200 °/s ²
Jerk	150 mm/s ²	112 °/s ²
Nouzové zpomalení	488 mm/s ²	600 °/s ²

Firmware použitého PLC S7-1200 nabízí řízení krokových motorů PTO výstupem pouze bez použití zpětné vazby v podobě enkodéru. Při základním použití krokových motorů je možno skutečnou změnu úhlu natočení hřídele odvodit z počtu uskutečněných kroků, kde se jedním krokem změní úhel natočení hřídele o pevně danou konstantu. V reálné situaci však může nastat ztráta kroku například vlivem kolize a přeskočením řemene, tu nelze bez přidaných snímačů detekovat. Využití enkodérů v souvislosti s řízením pohonů poskytuje S7-1500, které poskytuje možnost enkodér definovat jako technologický objekt a použít ho v nastavení osy ke svázání s daným motorem. Po konfiguraci technologických objektů os lze motory ovládat instrukcemi popsány v tabulce 8.

Tab. 8: Poskytnuté *Motion Control* instrukce

Instrukce	Popis
MC_Power	povolení os,
MC_Reset	potvrzení chyb,
MC_Home	referování pozice,
MC_Halt	zastavení osy,
MC_MoveAbsolute	absolutní pozicování,
MC_MoveRelative	relativní pozicování,
MC_MoveVelocity	pohyb definovanou rychlostí,
MC_MoveJog	pohyb definovanou rychlostí po definovanou dobu,
MC_CommandTable	uskutečnění definovaných pohybů v dané sekvenci,
MC_ChangeDynamics	změna dynamických parametrů,
MC_WriteParam	změna parametrů,
MC_ReadParam	čtení parametrů.

Detailní popis funkce instrukcí se nachází v systémovém manuálu PLC S7-1200 v kapitole 10 – Technologické instrukce. [20]

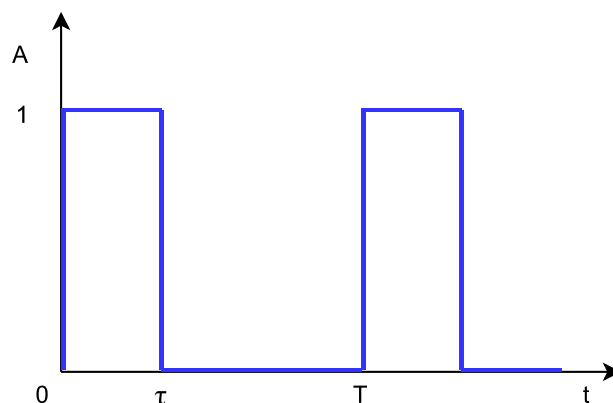
9.1.3 Stejnosměrný motor

Pro zvolené zapojení stejnosměrného motoru nelze vytvořit ekvivalentní technologický objekt typu „Axis“ ze dvou důvodů:

- absence analogového výstupu,
- absence driveru pro stejnosměrné motory.

Stejnosměrný motor tak není možné ovládat stejnými instrukcemi jako motory krokové, tato možnost by byla reálně v případě použití PLC S7-1500 s větší podporou řízení pohonů. Velikost otáček motoru je ovládána pomocí pulzně šířkové modulace a směr otáčení je měněn dvoupólovým relé.

Prvním krokem k uvedení motoru do pohybu je povolení PWM funkce v hardwarové konfiguraci (obdobně jako u PTO funkce) a přiřazení fyzického výstupu. Při ovládání pomocí PWM je většinou nastavena pevně daná frekvence impulzů a změnou jejich střídou určován výsledný výkon na koncovém zařízení, PLC dovoluje měnit i frekvenci impulzů. Obr. 43 znázorňuje pulzy s periodou T a střídou τ 33 %.



Obr. 43: Signál se střídou 33 %

V nastavení hardwarové konfigurace je potřeba vhodně zvolit frekvenci a formát pro zadávání střidy. Frekvence je určena časovou základnou (mikrosekundy) a periodou (350 μ s), tedy přibližně 2,86 kHz. Pro zadávání střidy je zvolen S7 analogový formát s rozsahem (0 – 27648), pomocí kterého lze střidu regulovat s největším rozlišením. Pro zjištění natočení hřídele je použit rotační enkodér RB3500, díky kterému je zavedena zpětná vazba a vytvořena uzavřená smyčka řízení stejnosměrného motoru. Enkodér měl být původně připojen do IO-Link masteru AL1900, kde však nastal problém s jeho efektivním využitím. S7-1200 nepodporuje vytvoření technologických objektů typu Enkodér a z tohoto důvodu bylo možné číst pouze údaj o natočení hřídele v nastaveném rozmezí 0 – 1024. Připojení IO-Link do zařízení AL1900, které komunikuje s PLC pomocí PROFINETu, neumožňovalo dostatečnou rychlost čtení stavu snímače, aby byla možná efektivní kontrola změny natočení hřídele ve dvou směrech při přetečení intervalu. Výsledně jsou výstupy A a B rotačního enkodéru připojeny přímo na vstupy PLC, které podporují funkci vysokorychlostního čítače do 100 kHz a vytvořen HSC (High Speed Counter). Tímto typem připojení lze dosáhnout dostatečně rychlého čtení pro kontrolu polohy a rychlosti otáčení hřídele. Funkci vysokorychlostního čítače je nejdříve potřeba povolit a parametrizovat v hardwarové konfiguraci (obdobně jako PWM funkci), parametry jsou zaznamenány v tabulce číslo 9.

Tab. 9: Konfigurace vysokorychlostního čítače

Změněné parametry v HW konfiguraci	
Název	HSC_1
Typ čítání	čítání
Operační fáze	A/B čítač kvadrurní
Počáteční směr čítání	čítání vzestupně
Počáteční hodnota	0
Vstup A	I0.2
Vstup B	I0.3
Vnitřní adresa	1000

Po nadefinování vysokorychlostního čítače v hardwarové konfiguraci lze použít instrukci CTRL_HSC v programu, která vrací počet pulzů získaných z výstupů A a B enkodéru. Pulzy jsou přepočítávány na jednotku vzdálenosti (lineární posun manipulátoru ve vertikálním směru). V prvním kroku se musí určit převodový poměr. Pracovní hřídel mezi motorem a enkodérem je osazena hnací řemenicí s 24 zuby, která je pomocí řemene spojena s hnanou řemenicí s 32 zuby. Počet zubů hnané řemenice je shodný s počtem zubů na koncích hnané hřídele. Převodový poměr i je:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{24}{32} = 0,75 [-]. \quad (3)$$

Kde: i je převodový poměr;

z_1 počet zubů hnacího kola, [-];

z_2 počet zubů hnaného kola, [-].

Vynásobením obvodu (160 mm) hnaných řemenic (32-5M-15) převodovým poměrem i je následně získána výsledná změna vzdálenosti manipulátoru při jedné otáčce hřídele stejnosměrného motoru:

$$dZ_{ot} = i * O_2 = 0,75 * 160 = 120 \text{ mm}. \quad (4)$$

Kde: dZ_{ot} je vzdálenost lineárního posunu na vedení při jedné otáčce hřídele motoru;

i převodový poměr mezi řemenicemi;

O obvod hnané řemenice.

V posledním kroku je převeden počet pulzů na změnu polohy:

$$dZ = dZ_{ot} * \frac{k}{4 * Roz} = 120 * \frac{k}{4 * 1024}. \quad (5)$$

Kde: dZ je změna vzdálenosti;

k počet pulzů;

Roz rozlišení enkodéru na otáčku.

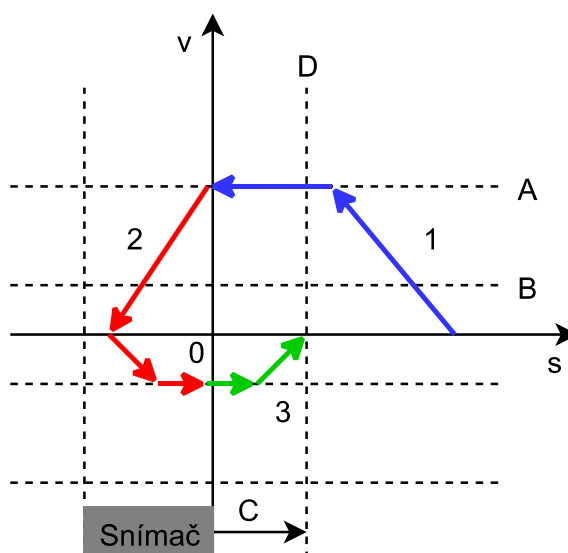
Konstanta 4 vychází z použití kvadraturního dekodování signálů A a B.

Možné vylepšení ovládání pohonu může být v jeho absolutním pozicování bez nutnosti počáteční reference polohy. Myšlenka vychází z možnosti použití rotačního inkrementálního enkodéru RB3500 jako snímače absolutního. Snímač lze použít jako absolutní pouze pro jednu otáčku jeho hřídele, a bylo by ho zároveň potřeba parametrizovat na nejvyšší možné rozlišení (10000 pulzů na otáčku). Při vhodně zvoleném převodu mezi hřídelí enkodéru a hřídelí převodovky nebo hnanou hřídelí lze docílit změnu polohy hřídele enkodéru menší než je 360° v celém rozsahu pohybu

manipulátoru. Rotační enkodér by tak udával vždy absolutní polohu bez potřeby počátečního referování pozice.

9.1.4 Nalezení referenčních pozic os

Jak již bylo předesláno, aktivní referenční režim (Mód 3) osy nebyl použit z důvodu jeho špatné funkcionality. Přehled referenčních režimu se nachází na straně 738 systémového manuálu S7-1200. Ze zmíněného důvodu byla napsána vlastní funkce pro nalezení a určení referenční pozice. Funkce využívá přímého absolutního referování (Mód 1). Vstupem funkce je datový blok technologického objektu osy určené k referování její pozice. V prvním kroku je provedena kontrola, zda se daná osa nenachází v krajní pozici. Pokud ano, změni svoji polohu o daný ofset směrem ke středu vedení a označí referenční pozici. Hodnota parametru referenční pozice závisí na pozici osy a nabývá hodnoty 0 nebo maximální pracovní vzdálenosti dané osy. Pokud se daná osa nenachází v žádné z krajních pozic, započne pohyb určeným směrem přibližovací rychlostí. Po dosažení koncového snímače je osa zastavena vnitřní funkcí nouzového zastavení a pro další pohyb je potřeba vynulovat chybová hlášení osy. Následuje upravení rychlosti osy na hodnotu určenou pro pohyb při referování a změna směru pohybu. Osa následně vykoná pohyb o daný ofset a referuje aktuální pozici. Diagram pohybu při referování je znázorněn na obrázku 44.



Obr. 44: Znázornění sekvence referování

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| A - přibližovací rychlost, | 1 - hledání koncového snímače, |
| B - referenční rychlost, | 2 - brždění a otáčení směru pohybu, |
| C - referenční pozice, | 3 - dojezd na referenční pozici, |
| D - ofset referenční pozice. | |

U osy ovládané stejnosměrným motorem nebylo možné bez vytvoření jeho technologického objektu použít totožnou funkci pro referování pozice. Stejnosměrný

motor je tedy ovládán vlastním typem funkcí s obdobnou vnitřní strukturou jako motory krokové.

9.2 Datové typy UDT

Program pracuje z větší části s uživatelsky definovanými datovými typy UDT pro zlepšení přehlednosti a struktury programu. Použití UDT zároveň zjednoduší ovládání funkcí skladu, po připojení buňky k testbedu Barman, nadřazeným systémem. Datové typy jsou tvořeny v závislosti na ovládaných prvcích a funkcích programu.

9.2.1 Stepper

Struktura *Stepper* je určena k ovládání funkcí souvisejících s krokovými motory a je dělena na tři části: příkazy (*CMD*), stavy (*STATE*) a parametry (*PARAM*). Příkazy souvisejí s povolením pohybů motorů, stavy informují o dokončení pohybů a v parametrech se definují rychlosti, vzdálenosti a hodnoty související s referováním dané osy.

Příkazy:

- **PowerEnable** – povolení osy,
- **ResetExecute** – povolení resetování osy,
- **HomeExecute** – povolení zapsání referenční pozice,
- **HomingEnable** – povolení sekvence referování,
- **MoveAbsoluteExecute** – povolení absolutní pohybu,
- **MoveRelativeExecute** – povolení relativního pohybu,
- **MoveVelocityExecute** – povolení pohybu danou rychlostí.

Stavy:

- **ResetDone** – úspěšné resetování osy,
- **HomingDone** – úspěšné zapsání referenční pozice,
- **MAbsDone** – dokončení absolutního pohybu,
- **MRelDone** – dokončení relativního pohybu,
- **Homed** – informace o stavu, zda je osa referována.

Parametry:

- **VelocityAct** – nastavení rychlosti osy,
- **MinPos** – hodnota minimální pozice,
- **MaxPos** – hodnota maximální pozice,
- **AbsPos** – požadovaná absolutní pozice,
- **DistRel** – požadovaná relativní pozice,
- **HomeOffset** – offset referenční pozice,
- **VelocityHome** – rychlost pohybu pro referování,

- **VelocityWork** – pracovní rychlost osy,
- **Direction** – směr pohybu,
- **HomePos** – referenční pozice.

9.2.2 DC_Drive

Struktura *DC_Drive* je určena k ovládání funkcí souvisejících se stejnosměrným motorem. Opět je řazena na tři části: *CMD*, *STATE*, *PARAM*. Část *PARAM* je nejvíce odlišná od struktury *Stepper*, namísto rychlostí se zde určují parametry velikosti střídavého pulzu signálu.

9.2.3 Warehouse

Struktura *Warehouse* tvoří členění a logiku skladovacích prostor. Struktura obsahuje pole *Slots* o 30 prvcích struktury *Slot* a pole *Levels* o 8 prvcích struktury *Level*. Počet prvků pole *Slots* je dán maximálním možným počtem umístěných lahví v buňce. Jedním slotem se rozumí místo obsahující držák dávkovače, dávkovač a lahev. Maximální počet dávkovačů umístěných na jednom nosném profilu je pět dávkovačů. Maximální zamýšlený počet pater na jeden skladovací prostor jsou tři patra, dva prvky pole *Levels* jsou určeny pro přednastavení patra a jeho rychlé změny za jiné.

9.2.3.1 Slot

Struktura *Slot* obsahuje všechny potřebné informace o prvcích, které jsou na daném místě upevněny. Tyto informace jsou děleny do třech dalších vnořených struktur: *Bottle* (Lahev), *Dispenser* (Dávkovač), *Coordinates* (Souřadnice). Slot dále obsahuje proměnnou *Empty* typu *Bool*, která informuje o obsazenosti slotu jako celku.

9.2.3.2 Bottle

Ve struktuře *Bottle* jsou uloženy potřebné informace o láhvi na daném slotu. Proměnné ve struktuře jsou následující:

- *ID* (Int) – číselný identifikátor láhve, podle něhož je láhev vyhledávána.
- *Name* (WString) – doplňková informace o názvu alkoholu.
- *VolumeMax* (Int) – maximální objem láhve.
- *VolumeActual* (Int) – aktuální množství tekutiny v láhvi.
- *Empty* (Bool) – indikace prázdné láhve.

9.2.3.3 Dispenser

Struktura *Dispenser* poskytuje informace o dávkovači a obsahuje:

- *NumOfPresses* (Int) – celkový počet stlačení dávkovače.
- *ID* (Int) – identifikátor dávkovače.
- *Volume* (Int) – obsah přepouštěcí komory dávkovače.

9.2.3.4 Coordinates

Struktura *Coordinates* informuje o umístění daného slotu v prostoru buňky a je složena ze tří parametrů:

- *X* (Int) – pozice v ose X.
- *Side* (Bool) – strana skladu.
- *Level* (Int) – číslo patra, ve kterém je slot umístěn.

9.2.3.5 Levels

Datový typ *Levels* obsahuje pole o osmi prvcích struktury typu *Level*, každý prvek poté informuje o umístění a obsazení daného patra:

- *ZPosition* (Int) – výškové umístění patra.
- *Empty* (Bool) – informace o obsazení patra.
- *Side* (Bool) – strana skladu, na které je patro umístěno.

9.2.4 Drink

Struktura *Drink* je určena pro zadávání informací o objednávce na daný nápoj a obsahuje:

- *ID* (Int) – identifikační číslo žádaného nápoje.
- *Name* (WString) – název nalezeného nápoje.
- *Volume* (Int) – požadované množství k podání.
- *Complete* (Bool) – dokončení objednávky.
- *Enable* (Bool) – povolení k vykonání objednávky.

9.2.5 TableParam

V této struktuře jsou uloženy informace o umístění podstavce (stolku) na sklenice. Je zde definována trojice souřadnic, příznak *MoveToTableExecute* (povolení funkce k dojetí manipulátoru nad stolek) a příznak *MoveToTableDone* (dokončení polohování).

9.2.6 Struktury obsluhy funkcí nižších úrovní

9.2.6.1 Fill

Struktura určená pro obsloužení funkce *FillGlass*. Obsahuje parametr *Distance* (Int) s údajem vzdálenosti, o kterou se má manipulátor zvednout, *Enable* (Bool) pro povolení funkce, *Done* (Bool) pro indikaci ukončení a *Num* (Int) pro žádaný počet stlačení dávkovače.

9.2.6.2 PickUp/PutDown

Struktury *PickUp* a *PutDown* obsahují pouze parametry po povolání funkcí a indikaci ukončení funkcí.

9.2.6.3 Reverse

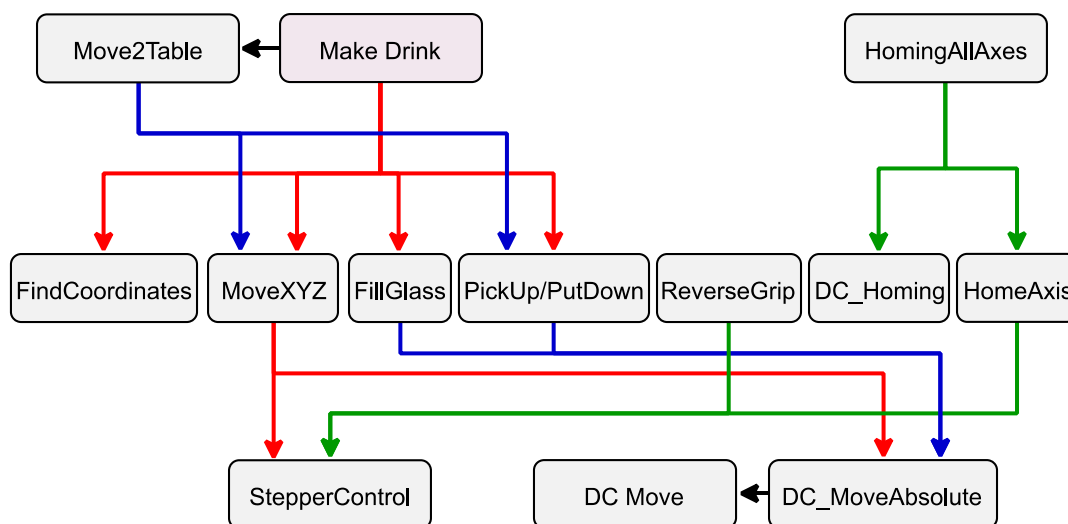
Struktura *Reverse* vytvořena k obsluze funkce *ReverseGrip*, popsané v kapitole 9.3.3. Obsahuje parametr *Execute* (Bool) pro povolení, *Direction* (Bool) pro směr otočení a *Done* pro informaci o ukončení.

9.2.6.4 ReverseAngle

Struktura *ReverseAngle* je určena k obsluze funkce *ReverseAngleGrip*, která je podobná funkci *ReverseGrip* s tím rozdílem, že polohuje objímku do pozice vhodné k pohybu manipulátoru v ose Z.

9.3 Funkce programu

Veškeré dílčí funkce programu jsou tvořeny pomocí programových bloků typu FB nebo FC. Tyto funkční bloky jsou cyklicky volány z hlavního organizačního bloku OB1. Funkce vyšší úrovně obsahují volání funkcí nižších úrovní a zároveň mohou volat funkce na stejné úrovni. Ukázka hierarchie hlavních používaných funkcí je na obr. 45.



Obr. 45: Hierarchie volání funkcí

9.3.1 Pomocné funkce

Pomocné funkce neřeší žádné pohyby manipulátoru, jsou vytvořeny pouze pro zpracování a úpravu dat do potřebné formy.

9.3.1.1 OutputProcessing

Zajišťuje negaci výstupů pro drivery krokových motorů. Konfigurace technologických objektů os neumožňuje určení pozitivní nebo negativní logiky.

9.3.1.2 CheckGripOnTable

Kontrola pozice manipulátoru, zdali se objímka nachází na výchozím místě nad podstavcem na sklenice. Pokud ano, je nastavena booleovská proměnná *GripReady* na TRUE, v ostatních případech je nastavena na FALSE.

9.3.1.3 FindCoordinates

Funkční blok *FindCoordinates* provádí prohledávání struktury *Storeroom* a jeho účelem je nalezení souřadnic lahve s daným identifikačním číslem. Po nalezení lahve uloží její souřadnice do struktury *Coordinates*.

9.3.1.4 Encoder

Funkční blok obsahuje a obsluhuje pouze knihovní instrukci CTRL_HSC pro vytvoření funkce vysokorychlostního čítače potřebného pro zpracování dat z rotačního enkodéru propojeného s hřídelí stejnosměrného motoru.

9.3.1.5 Axis_1_PositionProcess

Blok typu OB30 s rychlým cyklickým vykonáváním. Zde je vypočítávána aktuální pozice na ose Z pomocí rovnice (5).

9.3.2 Základní operace

9.3.2.1 StepperControl

Poskytnutí základních funkcí potřebných k ovládání technologických objektů os. Blok obsahuje tři vstupy a jeden vstup/výstup. Na trojici vstupů se připojuje vždy stejný datový blok ovládané osy, vstup/výstup je určen pro strukturu typu *Stepper*, pomocí které je osa ovládána. Připojení stejného datového bloku osy na tři různé vstupy je dáno funkčním omezením v TIA portálu, kde vytvořený funkční blok obsahuje následující *Motion Control* instrukce: *Power*, *Reset*, *Home*, *MoveAbsolute*, *MoveRelative*, *MoveVelocity* a *Halt*. Všechny tyto instrukce pracují s datovým blokem technologického objektu osy, avšak při předávání tohoto datové bloku jako parametru funkčního bloku vznikají problémy s odlišnými verzemi MC instrukcí. Instrukce *Power*, *Reset* a *Home* pracují s datovým typem TO_Axis, instrukce *MoveAbsolute* a *MoveRelative* s datovým typem TO_PositioningAxis a instrukce *MoveVelocity* s datovým typem TO_SpeedAxis.

9.3.2.2 MoveAbsolute

Funkční blok obsluhující instrukci *MC_MoveAbsolute*, definovanou v *StepperControl*. Blok kontroluje a omezuje maximální a minimální zadanou absolutní pozici a zadává pracovní rychlost.

9.3.2.3 DC_Move

Funkce *DC_Move* obsluhuje základní ovládání stejnosměrného motoru a obsahuje knihovní instrukci *CTRL_PWM* k povolení pulzního výstupu PLC. Instrukce *CTRL_PWM* má přiřazené dva vstupy, a to *PWM* a *ENABLE*. Vstup *PWM* je datového typu *HW_PWM* a je potřeba mu přiřadit *HW* identifikátor použitého pulzního generátoru, který byl zvolen v hardwarové konfiguraci v nabídce *Properties – General – Pulse generators (PTO/PWM) – PTO/PWM – Hardware identifier*. Vstup *ENABLE* je typu *bool* a povoluje pulzní výstup při hodnotě *TRUE*.

Ve funkci je dále řešeno přiřazení proměnné určující směr otáčení k fyzickému výstupu a přiřazení proměnné definující střídu *PWM* k výstupní adrese sloužící k regulaci střídy pulzů.

9.3.2.4 DC_MoveAbsolute

Funkční blok zajišťuje absolutní polohování osy *Z*. Namísto použití ramp pro akceleraci a deceleraci je zde použit jednoduchý proporcionální regulátor s omezením akčního zásahu. Volba proporcionálního regulátoru souvisí se zapojením pohonu a ovládáním pohonu, kde se změna směru otáčení hřídele stejnosměrného motoru řeší mechanickým relé. Regulační odchylka *e* je dána absolutní hodnotou rozdílu aktuální pozice a požadované pozice manipulátoru v ose *Z*. Hodnota zesílení *K* = 35 byla experimentálně zjištěna pro bezpečnou manipulaci s prázdnou a naplněnou sklenicí. Akční zásah je omezen na maximální hodnotu danou parametrem *Drive.Param.PWM_Work*, který je nastaven na hodnotu 5000. Koncový dojezd na cílovou pozici je řešen přidáním offsetu s nízkou hodnotou k velikosti střídy. Tím je zajištěno odstranění trvalé regulační odchylky.

9.3.3 Řídicí moduly

9.3.3.1 ReverseGrip

Zde je prováděna změna polohy objímky na sklenice v ose *Y* při zachování její polohy v ose *X* v průběhu pohybu. Konečné natočení objímky v ose *Y* dosahuje vždy jedné z krajních poloh. Po kontrole aktuální pozice manipulátoru funkce započne pohyb s vozíkem směrem k nižší krajní poloze osy *X* a pohyb s objímkou směrem k polovině jejího pracovního rozsahu. Při průchodu tímto bodem objímka pokračuje v pohybu a pohyb v ose *X* je reverzován opačným směrem. Oba pohyby končí po dosažení objímky opačné krajní polohy.

9.3.3.2 ReverseGripAngle

Funkční blok *ReverseGripAngle* je strukturou podobný předchozímu popisovanému bloku. Jeho účel spočívá v natočení objímky na sklenice do definovaného úhlu. Natočení objímky je důležité pro možnost pohybu manipulátoru ve vertikálním směru. Pokud by

byl použit předchozí popisovaný funkční blok, mohlo by dojít ke kolizi manipulátoru s konstrukcí buňky.

9.3.3.3 PickUp/PutDown

Funkční bloky zastupující jednoduché funkce zvedání a pokládání sklenice na podstavec. V prvním kroku funkce kontrolují, zdali se manipulátor již nenachází v cílové pozici. Pokud se manipulátor v cílové pozici nenachází, je manipulátoru přikázán pohyb v ose Z. Potřebná vzdálenost pohybu je čtena ze struktury *TablePar*. Dokončení funkce je indikováno kladným pulsem příznaku *Done*.

9.3.3.4 FillGlass

Plnění sklenice stlačováním dávkovače, vykonávání pohybu v ose Z. Manipulátor vyjíždí v ose Z o hodnotu stanovenou parametrem X, po stlačení dávkovače čeká stanovenou dobu potřebnou k plnému vyprázdnění dávkovače. Po vyprázdnění dávkovače je dávkovač uvolněn a zkontrolován požadovaný počet cyklů. Pokud není požadovaný počet cyklů dokončen, funkce čeká stanovený čas pro naplnění dávkovače a poté opakuje cyklus stlačování.

9.3.3.5 HomingAxis

Funkční blok pro referování os ovládaných pomocí technologických objektů (osy X a Z). Hledání referenčních pozic je popsáno v kapitole X.

9.3.3.6 Home_DC

Hledání referenční pozice osy Z.

9.3.3.7 MoveXYZ

Funkční blok vykonávající soubor pohybů potřebných pro polohování manipulátoru do jakékoliv pozice v jeho pracovním rozsahu. Pro pohyb v ose Z je potřeba objímku manipulátoru umisťovat do přesně dané pozice, kde nedojde ke kolizi s konstrukcí buňky nebo upevněnými láhvemi. Kód je tvořen stavovým automatem. Po povolení k vykonání je nejdříve kontrolována poloha manipulátoru, zdali se nachází ve výchozí pozici nad podstavcem na sklenice. Pokud se objímka nachází nad podstavcem, nejdříve vykoná pohyb pro zvednutí sklenice a následně vykoná pohyby k umístění manipulátoru pro umožnění polohování v ose Z. Pokud se objímka nenachází nad podstavcem, vykonávají se pohyby pro pojezd v určených drahách do elevační pozice.

9.3.4 Moduly zařízení

Rozšířené funkce neboli moduly zařízení se sestávají z řídicích modulů. Jejich účelem je provádění koncových procesních akcí pomocí volání řídicích modulů. Modul zařízení může obsahovat i volání jiného modulu zařízení. Mezi koncové procesní akce patří

sekvence referování všech os, pohyb manipulátoru na výchozí pozici a obsluha objednávky plněním sklenice.

9.3.4.1 HomingAllAxes

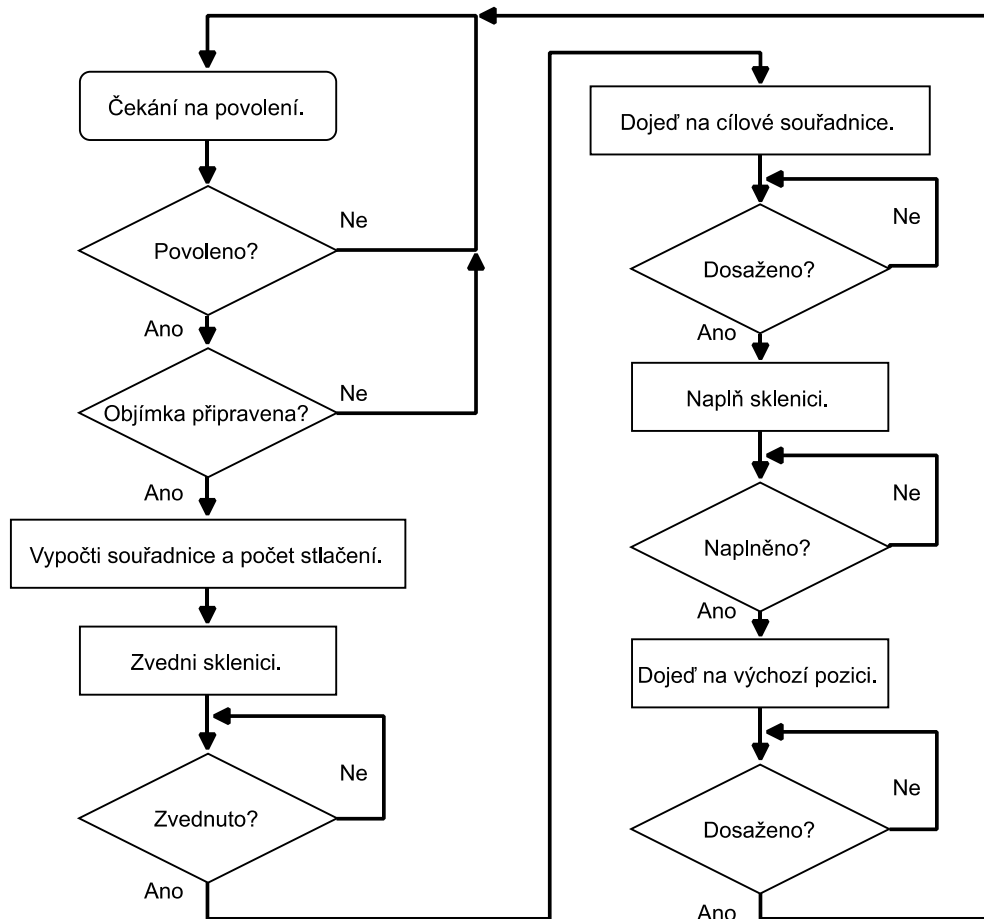
Funkční blok postupně volá referování jednotlivých os, v základním (doporučeném) nastavení probíhá referování do nulových pozic. Nejdříve je započato referování osy X a po jeho dokončení následuje referování osy Y. Před referováním osy Z je vozík přemístěn na maximální pozici v ose X a následně je povolena funkce *ReverseAngle* pro nastavení povolené polohy objímky k umožnění pohybu v ose Z. Dokončením této operace je započato referování osy Z.

9.3.4.2 MoveToTable

Funkční blok *MoveToTable* je tvořen jednoduchým stavovým automatem se třemi stavy. První stav vyčkává na povolení k vykonání funkce, po kterém jsou získány souřadnice výchozí pozice (podstavce na sklenice) a povolena funkce *MoveXYZEx*. Následující stav po dokončení funkce *MoveXYZ* povoluje položení sklenice na podstavec. Poslední stav generuje impuls pro příznak *Done* a nastavuje stav do nuly.

9.3.4.3 MakeDrink

Funkční blok realizující operace pro naplnění sklenice daným typem alkoholu. Celá fáze plnění produktu je vytvořena pomocí stavového automatu a skládá se z dále popsáných kroků. V případě příkazu k vykonání funkce (*Drink.Enable* = TRUE) a umístění manipulátoru na vyčkávací pozici je nejdříve zavolána funkce *FindCoordinates* k nalezení souřadnic slotu s daným typem alkoholu a vypočítán potřebný počet stlačení dávkovače v závislosti na zadaném požadovaném množství. Následuje zvednutí sklenice povolením *PickUp* a přesun na nalezené souřadnice. Po dosažení polohy manipulátoru pod daným dávkovačem je povolena operace stlačování s daným počtem cyklů a po jejím dokončení je aktualizován počet stisknutí daného dávkovače a objem náplně láhve. Posledním krokem je přejezd do výchozí pozice a položení sklenice. Vývojový diagram je znázorněn na obrázku číslo 46.



Obr. 46: Vývojový diagram funkčního bloku MakeDrink

9.4 Vizualizace

Vizualizace je vytvořena v procesním vizualizačním systému WinCC Advanced, který je součástí prostředí TIA Portal V14. Použití HMI panelu KTP400 s rozměry dotykové obrazovky 95 x 54 mm je rozhodující pro formu vizualizace. Vzhledem k malým rozměrům obrazovky je vizualizace dělena do většího počtu vizualizačních obrazovek pro dostatečný komfort při ovládání panelu. Všechny obrazovky lze nalézt v příloženém projektu v příloze 3. Čtveřice hardwarových tlačítek panelu je určena pro rozdělení vizualizace do čtyř základních bloků, kterými jsou:

- úvodní a přehledová obrazovka (tlačítko F1 – **Overview**),
- ovládání manipulátoru (tlačítko F2 - **Control**),
- výpis chybových hlášení (tlačítko F3 – **Error list**),
- servisní funkce (tlačítko F4 - **Parameters**).

Úvodní obrazovka obsahuje přehledové informace o buňce skladu jako je: stav ovladače nouzového zastavení, stav připojení silového napájení, stav referování manipulátoru, požadavek na servis, stav běhu některé z funkcí.

Hlavní obrazovka ovládání manipulátoru rozděluje funkce ovládání manipulátoru do tří skupin. První dvě skupiny (*Homing* a *Make drink*) jsou určeny pro operátora a třetí skupina (*Basic Functions*) je určena pro servisní operace a obsahuje především ovládání základních pohybů a funkcí manipulátoru. Základní popis:

- **Homing** – referování os manipulátoru. Výchozí obrazovka obsahuje ovládací prvky pro referování (*Homing*), nastavení výchozí pozice (*Set Home*) a zastavení (*Stop*). Dále obsahuje signalizaci stavu os, zdali jsou referované nebo ne. Aktivací tlačítka *Homing* se zobrazí „vyskakovací“ okno s povolením referování jednotlivých os (*Home X*, *Home Y* a *Home Z*) nebo sekvence referování (*Homing sequence*). Zde je potřeba dbát na správné určení strany referování osy Y tak, aby nedošlo ke kolizi objímky na sklenice s obsahem skladu. Tlačítko *Set Home* je určeno pro stav, kdy se objímka na sklenice nachází na výchozím místě (na podstavci na sklenice), tehdy lze referovat osy přímo podle známých souřadnic podstavce.
- **Make drink** – vytvoření nápoje. Pro úspěšné vytvoření nápoje je nezbytné nejdříve zadat objednávku a jejím potvrzením je spuštěna sekvence plnění sklenice. Prvním parametrem objednávky je identifikační číslo druhu alkoholu k naplnění sklenice. Po zadání parametru jsou zobrazeny informace o dostupnosti daného produktu ve skladu. Následuje zvolení požadovaného množství k naplnění sklenice. To se provádí dvojicí tlačítek s označením „+“ a „-“. Množství lze volit v násobcích objemu použitého dávkovače v mezích 0 – 300 ml. Po zvolení zmíněných dvou parametrů lze spustit sekvenci plnění sklenice.
- **Basic Functions** – tato skupina funkcí není ke klasickému provozu skladu potřeba a je chráněna heslem pro servisního technika. Jsou zde obsaženy základní pohybové funkce i složené pohybové funkce.

Obsah obrazovky dostupné pod třetím hardwarovým tlačítkem není vytvořen. Měly by se zde zobrazovat souhrnné informace o vzniklých chybách a možné obsluhy chybových stavů.

Poslední skupina funkcí, dostupná pod čtvrtým hardwarovým tlačítkem, nabízí především přehled, parametrizaci rozložení a správu obsahu skladu. Hlavní obrazovka nabízí následující rozřazení:

- **Level settings** – přidání a nastavení parametrů úložných pater. Po zvolení čísla patra jsou zobrazeny informace o nastavené pozici patra, zda je patro povoleno k užívání a na jaké straně skladu je patro umístěno. Po zvolení parametrů o povolení patra, straně umístění a pozici patra lze potvrzujícím tlačítkem parametry přepsat.
- **Slot settings (Basic)** - správa základních parametrů slotů. Po zvolení čísla slotu jsou zobrazeny základní informace o umístění slotu: patro obsahující slot, strana skladu, využití slotu, pozice slotu v patře, pozice patra. U slotu lze měnit parametry pozice v patře, číslo patra obsahujícího slot a využití slotu. Po kontrole

zvolených parametrů jsou změny stiskem potvrzujícího tlačítka přepsány do UDT.

- **Slot settings (Advanced)** – zobrazení a správa veškerých parametrů souvisejících se slotem rozdělená do třech skupin. První skupinou jsou parametry vztažené k patru (číslo patra, pozice slotu v patře), druhou skupinou jsou parametry vztažené k lahvi ve slotu (název lahve, identifikační číslo lahve, maximální objem a aktuální objem tekutiny v lahvi). Do třetí skupiny spadají parametry vztažené k dávkovači (identifikační číslo dávkovače, objem dávkovače, celkový počet stlačení dávkovače). Změněné parametry jsou přepsány do UDT po stisku potvrzujícího tlačítka.
- **Slot overview** – obsahuje dvě obrazovky s přehledovým náhledem na skupinu slotů. Každá obrazovka zobrazuje stav patnácti slotů pomocí čísla slotu podbarveného rámečkem s šedou (neobsazený slot), zelenou (obsazený slot s nevyprázdněnou lahví) nebo červenou (obsazený slot s vyprázdněnou lahví) barvou. Volbou čísla slotu se lze dostat do nabídky „*Slot settings (Advanced)*“.
- **Add Bottle** – přiřazení lahve do slotu. Volbou čísla slotu jsou zobrazeny aktuální informace slotu a informace o lahvi, pokud slot obsahuje lahev. Slotu poté lze přiřadit novou lahev nebo změnit aktuální parametry lahve.

10 ZÁVĚR

První kapitoly této práce jsou věnovány seznámení se s problematikou týkající se řešeného tématu – návrhu, konstrukci a programovým vybavením testbedu Průmyslu 4.0. První, úvodní kapitola, stručně nastiňuje základní popis a cíle práce. Druhá kapitola se zabývá problematikou objektů skladů a principů skladování. Třetí kapitola se věnuje popisu čtvrté průmyslové revoluce nazývané se Průmysl 4.0 a je určena pro objasnění principů a vizí, které tato revoluce přináší.

Čtvrtá kapitola se zabývá samotným testbedem Průmyslu 4.0 s názvem Barman. Testbed si klade za cíl reálnou ukázkou principů Průmyslu 4.0 na jednoduchém modelu výrobní linky, jejímž účelem je výroba různých typů nápojů od zadání objednávky po konečnou distribuci spotřebiteli. Výrobní linka se skládá z hlavního manipulačního robotu typu SCARA, který má za úkol obsluhovat jednotlivé přilehlé autonomní buňky plnící určitou část výrobního procesu. Jednou z těchto buněk je právě sklad alkoholu řešený v této práci, jehož účelem je skladování různých druhů alkoholu a pomocí vlastního robotického manipulátoru zároveň distribuce daných ingrediencí do sklenic.

Pátá kapitola je věnována návrhu a mechanické konstrukci buňky. Nejdříve je popsána vnější konstrukce buňky a rozložení jejího vnitřního prostoru jak pro skladování lahví, tak i pro pohyb manipulátoru. Následuje popis konstrukce samotného manipulátoru, který se může pohybovat ve třech osách, a popis použitých pohonných jednotek. Poslední část kapitoly obsahuje popis dalších prvků konstrukce buňky. Celý model buňky a modely všech vytvořených prvků si lze prohlédnout v obsahu příloženého CD (příloha 2).

Obsahem šesté kapitoly je popis použitých snímačů, mezi kterými mají velké zastoupení snímače výrobce ifm. Pro buňku skladu byly poskytnuty dva inkrementální rotační enkodéry RB3500. Oba tyto enkodéry jsou osazeny v buňce, avšak momentálně je používán pouze jeden. Plné využití obou enkodérů pro reálný provoz by vyžadovalo použití PLC S7-1500 a měniče pro stejnosměrné pohony. Výrobce Siemens v této oblasti nabízí měniče řady Simoreg nebo Sinamics. Kapacitní snímače KQ5100 jsou připojeny, avšak je potřeba vyřešit validaci jejich výstupních hodnot pro různé typy lahví a při fázi dávkování, kdy hrdlem lahve prochází vzduchové bubliny. Ostatní snímače jsou určeny jako koncové a havarijní snímače koncových poloh manipulátoru. U optických snímačů bylo potřeba upravit zapojení pro 24 V logiku PLC.

V sedmé kapitole je popsáno použité řídicí vybavení, kde hlavním prvkem je PLC S7-1200 výrobce Siemens.

Osmá kapitola se věnuje elektrickému zapojení všech zařízení, snímačů a akčních prvků v buňce. Schéma celkového zapojení se nachází v příloze 1.

Realizaci programového vybavení a vizualizace buňky se věnuje devátá kapitola. Nejprve je zde řešena problematika potřebných úkonů ke zprovoznění pohonů. Následně je popsáno programové vybavení zahrnující vytvořené datové typy a funkce. Závěr

kapitoly je věnován popisu funkce vizualizace. Celý podrobně okomentovaný projekt programového vybavení si lze detailně prohlédnout na přiloženém CD (příloha 3).

Výsledkem této diplomové práce je zkonstruovaná plně mechanicky funkční buňka skladu alkoholu s vlastním robotickým manipulátorem. Velká část vytvořených dílů a sestav poskytuje variabilitu a modularitu umožňující další vylepšení nebo výměnu pouze části celku v závislosti na vnějších požadavcích. Buňka je osazena snímači, řídicím prvky a akčními členy. Pro buňku je navrženo a otestováno programové vybavení, které umožňuje administraci skladových prostor a produktů v nich umístěných i ovládání manipulátoru. Buňka je schopná referovat své osy a následně provádět obsluhu zadané objednávky na naplnění sklenice daným typem produktu. Programové vybavení je přizpůsobeno k budoucímu připojení do systému demonstrátoru.

LITERATURA

- [1] KACZMARCZYK, Václav, Zdeněk BAŠTÁN, Ondřej BAŠTÁN a Jakub ARM. An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design. *IFAC-PapersOnLine (ELSEVIER)* [online]. 2018, (51), 263-270 [cit. 2019-01-04]. ISSN 2405-8963. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318309108>
- [2] HÁDEK, Ladislav. *Nákup a zásobování*. První vydání. Ostrava: Vysoká škola podnikání, a.s., 2008. ISBN 978-80-7410-009-3.
- [3] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: Teorie a praxe*. První vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2005. ISBN 80-251-0573-3.
- [4] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století*. První vydání. Praha: Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4.
- [5] Historie a současnost skladování. *Czech industrial* [online]. Praha: Webový servis Company s.r.o., 2009 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.czech-industrial.cz/skladovani-industrial-historie-a-soucasnost>
- [6] Kontrola nad celým skladem - Warehouse Management System. *Smart Industry řešení EMANS* [online]. Česká Lípa: Studio Max Media SK, s.r.o., 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.anasoft.com/emans/cz/home/Novinky-blog/Blog/Co-s-preplnenym-skladem-vyresi-to-Warehouse-management-syste>
- [7] Řízený sklad (WMS). *Informační systém K2: podnikový software pro firmy* [online]. Ostrava: K2 atmitec, s.r.o., 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.k2.cz/cs/rizeny-sklad-wms>
- [8] JUROVÁ, Marie. *Skladem Výrobní a logistické procesy v podnikání*. První vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- [9] STEJSKAL, Petr. Inteligentní sklad přemýšlí za vás. *System online: ekonomické a informační systémy v praxi* [online]. Brno: Webservis, 2012, s. 1 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/it-pro-logistiku/inteligentni-sklad-premysli-za-vas.htm>
- [10] Automated storage system for pallets. In: *STAMH: Storage technologies & material handling* [online]. Vídeň: STAMH, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://stamh.com/en/products/automation-conveying/automated-storage-system-for-pallets/>
- [11] DVOŘÁK, Leoš. *Průmysl 4.0: Budoucnost průmyslové výroby* [online]. Praha: Siemens, 2016, , 42 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/27536934-Prumysl-4-0-budoucnost-prumyslove-vyroby.html>
- [12] MAŘÍK, V. *Národní Iniciativa Průmysl 4.0*. [online]. In: . Praha, 2016 [cit.

2019-03-13].

- [13] PÁSEK, Jan. *Programovatelné automaty v řízení technologických procesů* [online]. První vydání. Brno: VUT, 2007 [cit. 2019-05-12].
- [14] *Barman: Factory 4.0 testbed at Brno University of Technology* [online]. Brno: VUT, 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <http://factory4.eu/>
- [15] *Technický list AKSMT: Rychloupínací spojka 30* [online]. Litvínov: ASKMT, 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.askmt.com/cz/eshopfile-technicky-list-203-219.pdf>
- [16] SCARA. *The Robot Hall of Fame* [online]. Pittsburgh: Carnegie Mellon, 2006 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <http://www.robotohalloffame.org/inductees/06inductees/scara.html>
- [17] *BCI motors: the complete drive solution with a design made to order* [online]. Hermann-Papst-Straße 1: ebm-papst, 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.ebmpapst.com/media/content/products_1/downloads_9/bci_kampagne/BCI_motors_GB.pdf
- [18] Generation 7: OptoEndstop. In: *GitHub* [online]. GitHub, Inc., 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://github.com/Traumflug/Generation_7_Electronics/blob/release-1.3.1/release%20documents/OptoEndstop%20Schematic.pdf
- [19] *Transmissive Optical Sensor with Phototransistor Output: TCST2103, TCST2202, TCST2300* [online]. VISHAY, 2017, (91000) [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://download.siliconexpert.com/pdfs/2018/4/1/6/32/5/828/vsh_/manual/2951450111027218tcst2103.pdf
- [20] *S7-1200 Programmable controller: System manual* [online]. NÜRNBERG: Siemens, 2012 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Schéma elektrického zapojení

Příloha 2: Vytvořené modely (na přiloženém CD)

Příloha 3: Zdrojové kódy a vizualizace – projekt TIA Portal (na přiloženém CD)

Příloha 4: Fotografie buňky skladu (na přiloženém CD)

Příloha 5: Elektronická verze diplomové práce (na přiloženém CD)

PŘÍLOHA 1

Schéma elektrického zapojení

