



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

AUTOMATICKÝ DÁVKOVAČ PLAT

AUTOMATIC TRAY FEEDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Zmítko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

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

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Václav Zmítko

ID: 203385

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Automatický dávkovač plat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Proveďte průzkum konkurence a trhu dávkovačů plat.
- 2) Podle návrhu realizujte hardware zařízení.
- 3) Podle návrhu realizujte řídicí elektroniku.
- 4) Ověřte své řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Motion Analyzer Software. User Manual. Rockwell Automation. 2012
ESP32-S2 Family. Datasheet. Version 1.3. Espressif Systems 2021.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 18.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Konzultant: Ing. Luděk Mrázek

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací automatického dávkovače JEDEC plat s funkcí posuvu plata po řádcích, kterou nedisponuje žádný z komerčně dostupných dávkovačů plat. Cílem práce je návrh a realizace hardwaru celého zařízení a jeho řídicí elektroniky. V návrhu jsou zahrnuty výpočty pneumatických a motorových pohonů, 3D konstruování, výpočty elektronických obvodů a jejich design ve vývojovém programu KiCad.

Klíčová slova

Programovací automat, automatický dávkovač, plato, řídicí elektronika, lineární osa, pohon, dopravník.

Abstract

The thesis deals with design and realization of an automatic tray feeder for JEDEC trays with a line-by-line tray scrolling function, which is not available in any of the commercially available tray feeders. The aim of the work is the design and realization of the hardware of the whole device and its control electronics. The design includes calculation of the pneumatic and motor drives, 3D design, electronic circuit calculations and design in the KiCad development program.

Keywords

Automatic programming machine, automatic feeder, tray, control electronics, linear axis, drive, shuttle.

Bibliografická citace

ZMÍTKO, Václav. *Automatický dávkovač plat* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142290>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Radek Štohl.

Prohlášení autora o původnosti díla

| | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Jméno a příjmení studenta: | <i>Václav Zmítko</i> |
| VUT ID studenta: | <i>203385</i> |
| Typ práce: | <i>Diplomová práce</i> |
| Akademický rok: | <i>2021/22</i> |
| Téma závěrečné práce: | <i>Automatický dávkovač plat</i> |

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 1. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc při výpočtu kinematiky zařízení. Dále děkuji svému konzultantovi a řediteli společnosti EPS Czech, s.r.o. Ing. Luďku Mrázkovi za všechno, zejména za projevenou důvěru.

V Brně dne: 1. května 2022

podpis autora

Obsah

| | |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 9 |
| SEZNAM TABULEK..... | 11 |
| ÚVOD | 12 |
| 1. PRŮZKUM TRHU..... | 13 |
| 1.1 QUASYS JTF2 JEDEC TRAY FEEDER..... | 13 |
| 1.2 VÝROBCE DEDIPROG | 15 |
| 1.2.1 DP Auto Tray-250..... | 15 |
| 1.2.2 DP Auto Tray-350..... | 16 |
| 2. POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ..... | 18 |
| 2.1 OBECNÉ POŽADAVKY | 18 |
| 2.2 ROZMĚRY A DOSAH DOPRAVNÍKU | 18 |
| 2.3 PŘIPOJOVACÍ ROZHRANÍ..... | 20 |
| 3. NÁVRH HARDWARU ZAŘÍZENÍ | 21 |
| 3.1 NÁVRH PRACOVNÍ SEKVENCE..... | 21 |
| 3.2 NÁVRH ZÁSOBNÍKU | 24 |
| 3.2.1 Návrh dvířek spodního zásobníku | 24 |
| 3.2.2 Návrh snímání pozic plat v zásobníku..... | 25 |
| 3.2.3 Návrh vodících lišt v zásobníku | 27 |
| 3.2.4 Návrh výklopných zobáčků..... | 28 |
| 3.2.5 Návrh výklopných výsuvů..... | 29 |
| 3.2.6 Návrh osy výtahu..... | 30 |
| 3.2.7 Výpočet pohonu výtahu | 33 |
| 3.3 NÁVRH DOPRAVNÍKU | 36 |
| 3.3.1 Návrh lineárního vedení dopravníku | 37 |
| 3.3.2 Návrh vertikální osy dopravníku..... | 38 |
| 3.3.3 Návrh snímání pozic dopravníku | 40 |
| 3.3.4 Návrh aretace plata k desce dopravníku..... | 41 |
| 3.3.5 Návrh pohonu horizontální osy dopravníku..... | 42 |
| 3.3.6 Výpočet pohonu dopravníku..... | 43 |
| 3.3.7 Výpočet pohonu druhého stupně horizontální osy..... | 45 |
| 3.3.8 Výpočet pohonu prvního stupně vertikální osy | 46 |
| 3.3.9 Výpočet pohonu výklopných výsuvů | 47 |
| 3.4 NÁVRH POJÍZDNÉ KONSTRUKCE SE ZVEDÁKEM | 48 |
| 3.4.1 Návrh pojízdne nosné konstrukce..... | 48 |
| 3.4.2 Návrh horní nosné konstrukce | 49 |
| 3.4.3 Integrace zvedáku do nosné konstrukce | 50 |
| 4. NÁVRH ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY | 51 |
| 4.1 DEFINOVÁNÍ POŽADAVKŮ | 51 |
| 4.2 NÁVRH ZAPOJENÍ ZDROJŮ NAPĚTÍ | 53 |
| 4.3 NÁVRH ZAPOJENÍ S RELÉ..... | 54 |
| 4.4 NÁVRH ZAPOJENÍ KROKOVACÍCH DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ | 55 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5 | NÁVRH ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ | 56 |
| 4.6 | NÁVRH ZAPOJENÍ DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ | 57 |
| 4.7 | VÝBĚR KOMPONENT | 58 |
| 4.7.1 | <i>Mikrokontroler</i> | 58 |
| 4.7.2 | <i>IO Expander</i> | 58 |
| 4.7.3 | <i>Ethernet modul</i> | 59 |
| 4.8 | ZAPOJENÍ MIKROKONTROLERU A ETHERNET MODULU | 59 |
| 4.9 | NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY | 61 |
| 4.9.1 | <i>Návrh hlavní desky s mikrokontrolerem</i> | 62 |
| 4.9.2 | <i>Návrh desky digitálních výstupů</i> | 63 |
| 4.9.3 | <i>Návrh desky digitálních vstupů</i> | 65 |
| 4.9.4 | <i>Sestava desek</i> | 65 |
| 5. | REALIZACE ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY | 67 |
| 5.1 | OSAZENÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ | 67 |
| 5.2 | UMÍSTĚNÍ DESEK DO ŽLABU | 67 |
| 6. | REALIZACE HARDWARU | 68 |
| 6.1 | KONSTRUKCE KOSTRY | 68 |
| 6.2 | KONSTRUKCE ZÁSOBNÍKU | 68 |
| 6.2.1 | <i>Sestavení výklopných zobáčků</i> | 69 |
| 6.2.2 | <i>Sestavení dvířek spodního zásobníku</i> | 70 |
| 6.3 | KONSTRUKCE OSY VÝTAHU | 70 |
| 6.4 | KONSTRUKCE OSY DOPRAVNÍKU | 71 |
| 6.5 | KONSTRUKCE UNAŠEČE PLATA | 73 |
| 6.6 | KONSTRUKCE VÝKLOPNÝCH VÝSUVŮ | 74 |
| 6.7 | NASTAVENÍ MOTOROVÝCH DRIVERŮ | 75 |
| 6.8 | ZAPOJENÍ PNEUMATIKY | 76 |
| 6.9 | ELEKTRICKÉ ZAPOJENÍ | 77 |
| 6.9.1 | <i>Zapojení hlavní řídicí desky</i> | 77 |
| 6.9.2 | <i>Zapojení digitálních vstupů</i> | 78 |
| 6.9.3 | <i>Zapojení digitálních výstupů</i> | 79 |
| 7. | OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ | 81 |
| 7.1 | FIRMWARE | 81 |
| 7.2 | ZJIŠTĚNÉ PARAMETRY | 81 |
| 7.3 | CENA ZAŘÍZENÍ | 82 |
| 7.4 | POROVNÁNÍ S OSTATNÍMI VÝROBCI | 82 |
| 7.5 | PŘIPOJENÍ K PROGRAMOVACÍMU AUTOMATU HYPERSTORM | 83 |
| | ZÁVĚR | 85 |
| | LITERATURA | 86 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 90 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 91 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 – Plato JEDEC s čipy | 13 |
| Obr. 2 - Quasys JTF2 umístěn v automatu CYCLONE a jeho řetězové rozvody | 13 |
| Obr. 3 – Auto Tray-250 osazený v automatu DP3000 spolu s Tape&Reel Machine [3]..... | 15 |
| Obr. 4 – Auto Tray-350MD v samonosné variantě [4]..... | 16 |
| Obr. 5 – Auto Tray-350MJ [4]..... | 17 |
| Obr. 6 – HyperStorm a nejzazší pozice osy pro posuv plata (zeleně)..... | 18 |
| Obr. 7 – Boční pohled ze strany podavače na původní pojezd plat HyperStormu | 19 |
| Obr. 8 – Boční pohled na původní pojezd plat s odejmutým unašečem plat | 19 |
| Obr. 9 – Pracovní sekvence podavače Quasys JTF2..... | 21 |
| Obr. 10 – Návrh pracovní sekvence EPS automatického dávkovače plat..... | 22 |
| Obr. 11 – Pohled na systém otevírání dvířek | 24 |
| Obr. 12 – Pohled na umístění indukčního snímače v protikusu dvířek..... | 25 |
| Obr. 13 – Rozmístění snímačů pozic plat na bočnici zásobníku..... | 26 |
| Obr. 14 – Vedení rozlišující orientaci plata | 27 |
| Obr. 15 – Vedení zásobníku se šikmým profilem..... | 27 |
| Obr. 16 – Postup při vsunutí prvního plata do výklopných zobáčků | 28 |
| Obr. 17 – Modul usazení zobáčků | 28 |
| Obr. 18 – Systém výklopných výsuvů | 29 |
| Obr. 19 – Sekvence vyklopení výsuvu..... | 29 |
| Obr. 20 – Sekvence vložení plata do výstupního zásobníku výklopným výsuvem | 30 |
| Obr. 21 – Deska výtahu | 30 |
| Obr. 22 – Vodící tyče výtahu..... | 31 |
| Obr. 23 – Sestava řemenice, kuličkové matice a jejich uložení | 32 |
| Obr. 24 – Řemenový rozvod výtahu | 32 |
| Obr. 25 – Sestava pohyblivé osy výtahu..... | 34 |
| Obr. 26 – Pohled na dvoustupňový dopravník podavače..... | 36 |
| Obr. 27 – Kolejnice lineárního vedení dopravníku..... | 37 |
| Obr. 28 – Druhý stupeň osy dopravníku | 37 |
| Obr. 29 – Umístění pístu posuvu druhého stupně dopravníku..... | 38 |
| Obr. 30 – Horní pohled na bočnice dopravníku..... | 38 |
| Obr. 31 – Vyzvednutí plata výsuvem prvního stupně vertikální osy | 39 |
| Obr. 32 – Umístění snímače snížené pozice desky dopravníku..... | 40 |
| Obr. 33 – Rozmístění snímačů absolutní pozice dopravníku..... | 40 |
| Obr. 34 – Bližší pohled na umístění snímačů absolutní pozice dopravníku | 41 |
| Obr. 35 – Aretace plata zasunutím pístnice | 42 |
| Obr. 36 – Řemenový pohon dopravníku..... | 42 |
| Obr. 37 – Sestava dopravníku pro určení jeho hmotnosti a momentu setrvačnosti | 43 |
| Obr. 38 – Sestava druhého stupně posuvu dopravníku | 45 |
| Obr. 39 – Sestava desky dopravníku vertikální osy | 46 |
| Obr. 40 – Zadní pohled na spodní pojízdnou konstrukci | 48 |
| Obr. 41 – Přední pohled na spodní pojízdnou konstrukci | 48 |
| Obr. 42 – Horní nosná konstrukce osazená krycími plechy | 49 |
| Obr. 43 – Horní nosná konstrukce | 50 |
| Obr. 44 – Integrace zvedáku do nosné konstrukce | 50 |
| Obr. 45 – Schéma zapojení napájecí části..... | 53 |
| Obr. 46 – Schéma zapojení relé se spínacím tranzistorem..... | 54 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 47 – Schéma zapojení stepovacích digitálních výstupů..... | 55 |
| Obr. 48 – Schéma zapojení digitálního vstupu | 56 |
| Obr. 49 – Schéma zapojení digitálního PNP výstupu | 57 |
| Obr. 50 – Schéma zapojení mikrokontroleru ESP32 a Ethernet modulu..... | 60 |
| Obr. 51 – Návrh hlavní desky s mikrokontrolerem..... | 62 |
| Obr. 52 – Návrh desky s šestnácti digitálními výstupy | 64 |
| Obr. 53 – Návrh desky s šestnácti digitálními vstupy | 65 |
| Obr. 54 – Předběžný náhled uložení desek ve žlabu..... | 66 |
| Obr. 55 – Způsob montáže desky řídicí elektroniky v kostře | 66 |
| Obr. 56 – Layout sestavených desek..... | 66 |
| Obr. 57 - Deska řídicí elektroniky v montážním žlabu..... | 67 |
| Obr. 58 - Sestavený automatický dávkovač plat..... | 68 |
| Obr. 59 - Pohled na vnitřní stranu zásobníku..... | 69 |
| Obr. 60 - Sestava výklopných zobáčků..... | 69 |
| Obr. 61 - Dvířka spodního zásobníku | 70 |
| Obr. 62 - Lineární vedení a šroubovice osy výtahu | 70 |
| Obr. 63 - Pohon a vedení osy výtahu ze spodního pohledu | 71 |
| Obr. 64 - Lineární vedení a pohony osy dopravníku | 72 |
| Obr. 65 - Upnutí řemenu a pístnice k dopravníku..... | 72 |
| Obr. 66 - Spodní pohled na unašeč plata | 73 |
| Obr. 67 - Vyjetí výklopných výsuvů..... | 74 |
| Obr. 68 - Nastavení a zapojení motoru pohonu dopravníku | 75 |
| Obr. 69 - Schéma zapojení pneumatiky | 76 |
| Obr. 70 - Zapojení a umístění elektromagnetických ventilů..... | 77 |
| Obr. 71 - Schéma zapojení hlavní řídicí desky | 77 |
| Obr. 72 - Schéma zapojení digitálních vstupů ke snímačům | 78 |
| Obr. 73 - Schéma zapojení digitálních výstupů | 80 |
| Obr. 74 – Propojení zařízení napájecím kabelem | 83 |
| Obr. 75 – Zajetí automatického dávkovače plat v zaváděcí výšce..... | 83 |
| Obr. 76 – Automatický dávkovač plat v pracovní pozici..... | 84 |
| Obr. 77 – Připojení stlačeného vzduchu a komunikačního rozhraní Ethernet | 84 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 - Seznam zjištěných momentů setrvačnosti pohonu výtahu | 34 |
| Tab. 2 – Seznam zjištěných momentů setrvačnosti pohonu dopravníku..... | 44 |
| Tab. 3 – Seznam ovládaných rozhraní digitálními výstupy | 51 |
| Tab. 4 – Seznam měřených signálů digitálními vstupy | 52 |
| Tab. 5 – Měření času výměny plata | 81 |
| Tab. 6 – Měření spotřeby elektrické energie..... | 82 |
| Tab. 7 – Porovnání navrženého zařízení s ostatními výrobci | 82 |

ÚVOD

Automatický dávkovač plat je zařízení sloužící k automatizování procesu výměny plat s čipy v programovacím automatu. Jedná se o normovaná plata JEDEC, která je možné vrstvit na sebe a která mají definovanou orientaci pozice. V principu má zařízení dvojici zásobníků, kde první z nich slouží jako vstup ke vložení plat s čipy určených k programování a druhý je výstup po dokončení procesu. Na cestě od vstupního do výstupního zásobníku je plato doručeno dávkovačem na danou pozici ve stroji pomocí dopravníku (shuttle).

Hlavním cílem je vyrobit takový automatický dávkovač plat, který bude schopen krokovat pozici plata ve stroji po řádcích plata, protože jeho primární použití bude v programovacím automatu HyperStorm, který nevyužívá systému os X a Y, ale pouze osy Y a pohyblivého uložení plata. Na trhu žádný automatický dávkovač plat funkcí krokování pozice nedisponuje, jelikož jejich jedinou funkcí je dopravit plato na koncovou pozici dopravníku, tedy do stroje využívajícího systému os X a Y.

Další motivací pro vývoj vlastního automatického dávkovače plat je cena, jelikož prodejní cena jednoho takového zařízení na trhu je přibližně 20 000 EUR. Projekt se tedy zabývá výrobou zařízení za zlomek této částky. Další výhodou vlastního designu je implementace do koncového zařízení, protože je velmi jednoduché dávkovači např. prodloužit dopravník pro větší dosah do stroje nebo zařízení jakkoliv jinak modifikovat. V neposlední řadě je výhodou konektivita, která v případě tohoto zařízení bude probíhat přes ethernet, který je v programovacích automatech firmy EPS Czech s.r.o. hojně využíván pro připojení externích komponent.

Práce se bude nejprve zabývat průzkumem trhu s automatickými dávkovači plat. Na základě zjištěných parametrů konkurenčních výrobků budou definovány požadavky na návrh zařízení. Požadavky na zařízení budou definovány i na základě kompatibility s programovacím automatem HyperStorm.

V další části bude probíhat samotný návrh hardwaru mechanické části a výpočet potřebných pohonů. Následuje návrh řídicí elektroniky a dle návrhu její zhotovení. Na základě návrhu bude zařízení sestaveno a otestováno. Procesem testování budou zjištěny parametry zařízení a budou ověřeny vytyčené požadavky. Na konci práce bude uveden popis instalace automatického dávkovače plat do programovacího automatu HyperStorm.

1. PRŮZKUM TRHU

Kapitola se zabývá průzkumem konkurenčních řešení automatických podavačů JEDEC plat a možností jejich implementace do programovacích automatů EPS. Na *Obr. 1* lze vidět plato, pro která jsou podavače určeny.



Obr. 1 – Plato JEDEC s čipy

1.1 Quasys JTF2 JEDEC Tray Feeder

Quasys je švýcarská společnost založena roku 1989 specializující se na výrobu a vývoj automatických podavačů různých typů plat. V sortimentu nabízí variantu podavače JEDEC plat buď jako stackovací (typ JTF2) nebo ve verzi s náhodným přístupem (JTF3) [1]. Pro účely strojového programování je vhodná volba stackovací varianty. Varianta náhodného přístupu zásobníku je vhodná spíše pro osazovací stroje.



Obr. 2 - Quasys JTF2 umístěn v automatu CYCLONE a jeho řetězové rozvody

JTF2 je možné pořídit ve třech variantách délky dopravníku a je schopný pracovat se dvěma tloušťkami JEDEC plat. V konfiguraci pro nižší plata má podavač zásobníky dimenzovány pro 30 plat. U strojového programování bývají série čipů dodávány běžně po deseti, maximálně patnácti kusech plat. Takto velký zásobník je spíše přítěží vzhledem k dlouhé době najíždění na pozici výtahu z jeho výchozí spodní pozice.

Jeho velkou výhodou je minimální zástavba, díky které je možné do koncového zařízení zařadit více podavačů vedle sebe. Podavač svou šířkou přesahuje šířku plata na každé straně o pouhých 13 mm. Další výhodou je vysoká rychlost výměny plata. V případě nejkratší konfigurace délky dopravníku a rychlého módu je podavač schopen vyměnit plato za méně než 5 sekund. V případě pomalého módu pro manipulaci s citlivými součástkami je doba výměny v intervalu od 6 do 10 sekund. Další výhodou je montáž zařízení, které je realizováno jako samonosné přes uchycený dopravník ve stroji. Zařízení tedy díky robustnímu provedení dopravníku nevyžaduje dodatečnou konstrukci, která by zajišťovala opěrný bod o zem.

Zařízení je napájeno 24 V DC a komunikace probíhá buď pomocí trigger signálu pro výměnu, nebo pomocí rozhraní RS232. Dále zařízení vyžaduje připojení stlačeného vzduchu o tlaku alespoň 5,2 bar, maximálně však 9 bar [1].

Nevýhody zařízení plynou už z principu jeho funkce. Jeho dopravník plat je realizován pomocí dvou gumových pásů, které se po čase opotřebí a ztratí potřebnou přilnavost a pnutí. Ty poté prokluzují na hnací řemenici nebo pod samotným platem se součástkami a zařízení není schopné dodat plato na pozici. Dalším slabým článkem je využívání uhlíkových DC motorů pro pohon výtahu a dopravníku, které nejsou vhodným řešením v průmyslové automatizaci z důvodu jejich omezené životnosti. Podavač nemá žádnou ochranu proti přepólování napájecího napětí. Při záměně polarit dojde k celkovému zničení elektroniky zařízení. K zařízení vede dvojice kabelů, kde jeden obsahuje napájení a ovládací signály, druhý realizuje připojení komunikace přes RS232. Jedno z úskalí spočívá v tom, že barevné značení napájecích žil je shodné s barevným značením vodičů komunikace RS232. Může zde poté dojít k záměně při osazení konektory koncovým uživatelem a zničení komunikačního rozhraní zařízení.

K opotřebení dále dochází u gumových pružných spojek použitých mezi diferenciálem a řetězovým rozvodem výtahu. Točivý moment přenášený pružnou spojkou není tak velký, aby nebylo možné použít pružnou spojku z hliníku.

Nevýhodou je dále použití miniaturních samomazných plastových dílů jako spojky řetězu výtahu a přechodu na nosný díl výtahu, který nese celou váhu třiceti plat s čipy a který je rovněž vyroben ze samomazného plastu.

Quasys JTF2 je velmi výkonný a rychlý stroj, kterému se vyrovná jen málokterý konkurenční produkt a tím je i špičkou ve své třídě.

1.2 Výrobce DediProg

DediProg je společnost založena roku 2005 na Taiwanu, zaměřující se na řešení programování integrovaných obvodů s pamětmi EEPROM, SPI Flash, NOR Flash, NAND Flash, eMMC a dalšími. Společnost DediProg se tedy zabývá jednak vývojem a výrobou programovacích automatů, tak i vývojem a výrobou programátorů a jejich softwarového rozhraní. Dále DediProg vyvíjí i vlastní komponenty programovacích automatů, jako např. vlastní TapeIN feedery, Tray feedery a Tape&Reel machine. Na tomto systému nabízí strojové programování čipů společně v globálním měřítku. K zakoupeným produktům zahrnujícím programátory, programovací automaty či jejich komponenty, DediProg nabízí možnost technické podpory. [2]

1.2.1 DP Auto Tray-250

Jedním z nabízených podavačů plat je Auto Tray-250, který využívá stejně jako Quasys JTF2 systém dvou zásobníků umístěných nad sebou. Do spodního zásobníku jsou obsluhou vložena plata s nenaprogramovanými čipy. Ty jsou pomocí zařízení dodána do programovacího automatu. Po ukončení manipulace s čipy (programování), je plato pomocí podavače vloženo do jeho horního zásobníku a celý proces je opakován, dokud není spodní zásobník vyprázdňen.



Obr. 3 – Auto Tray-250 osazený v automatu DP3000 spolu s Tape&Reel Machine [3]

Auto Tray-250 má plata orientována stejně jako Quasys, tedy podélně. Oproti němu je ale výrazně pomalejší, jelikož výměna plata u tohoto zařízení trvá 25 sekund. Zařízení disponuje zásobníky na 25 plat a je napájeno střídavými 230 V. Komunikace s automatem probíhá přes rozhraní RS-232. Zařízení opět vyžaduje připojení stlačeného vzduchu o tlaku v rozmezí od 5 do 6 bar [3].

Auto Tray 250, stejně jako ostatní komponenty programovacích automatů DediProg, obsahuje ovládací rozhraní v podobě navigačních tlačítek a LCD displeje. Systém obsahuje navigační menu, které umožňuje konfiguraci zařízení a manuální spuštění výměny plata.

Zařízení lze použít jak v automatech DediProg, tak v automatech jiných výrobců nebo teoreticky i v programovacích automatech EPS. Nicméně je zde celkem složitá integrace do cílového systému kvůli výšce zařízení a floušce dopravníku, který se nachází v činné oblasti programovacího automatu.

Jedním z hlavních požadavků na podavač plat určený k použití v programovacím automatu HyperStorm je posuv pozice plata po řádcích vzhledem k absenci osy X. Z mechanického hlediska by této funkce byl Auto Tray-250 schopen, protože dopravník plato pevně uchopí. Nicméně tato funkce není součástí standardního firmwaru zařízení.

1.2.2 DP Auto Tray-350

Dalším z podavačů plat od společnosti DediProg je Auto Tray-350, který může být rovněž osazen v programovacím automatu DP3000. Dále Auto Tray-350 využívá stejné komunikační rozhraní, napájení, tlak připojeného vzduchu a velikost zásobníků jako Auto Tray-250. Doba výměny plata je rovněž 25 sekund. Rozdíl je hlavně v konstrukci, kde Auto Tray-350 orientuje plata příčně a zásobníky nyní nejsou v konfiguraci nad sebou, ale za sebou. Podavač má nyní zvětšenou zástavbu, co se týče šířky a hloubky [4]. Rozdílem je také samonosná konstrukce, která lze vidět na *Obr. 4*.



Obr. 4 – Auto Tray-350MD v samonosné variantě [4]



Obr. 5 – Auto Tray-350MJ [4]

Tento podavač je osazen tečkovačkou v konfiguraci MD, viz *Obr. 4*. Nicméně je zde možnost osazení miniaturní inkoustovou tiskárnou ve verzi MJ, viz *Obr. 5*. V této konfiguraci je k podavači přidán dotykový panel pro editaci textu, který je tisknut přímo na čipy. Tečkovačka je v takovém případě nahrazena miniaturní tiskárnou [4].

Zařízení využívá tiskárnu či tečkovačku nezávisle na programovacím automatu, tím je funkcionality celého systému rozšířena při nezměně zástavby. Tento princip navíc celý proces zrychluje, protože zatímco jsou čipy ve stroji programovány, čipy z předchozí skupiny jsou před vložením do výstupního zásobníku otečkovány nebo potisknuty.

Díky konfiguraci zásobníků za sebou je značně zjednodušen systém dopravníku. Ten je poté tvořen lineární osou přes celou délku podavače. Pro vložení plata do dopravníku ze vstupního zásobníku je vysunuto táhlo ze spodní části, které plato položí na dopravník, který si ho pomocí pístu uzamkne do definované pozice. Pro vložení plata do výstupního zásobníku je postup opakován v opačném pořadí, kde je využito druhé táhlo umístěné pod výstupním zásobníkem.

Tento podavač svou konstrukcí splňuje možnost funkce krokování plata, nicméně firmware opět touto funkcí nedisponuje. Implementace pro programovací automat HyperStorm je nemožná vzhledem ke krátkému dosahu dopravníku a příčné orientaci plat.

2. POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ

Následující kapitola pojednává o definování požadavků na konstrukci automatického podavače plat pro použití v programovacích automatech HyperStorm.

2.1 Obecné požadavky

Jak již bylo zmíněno, hlavním požadavkem na dávkovač plat je funkce krokování plat po jeho řádcích po definovaných vzdálenostech na činné délce původního pojezdu plat programovacího automatu HyperStorm.

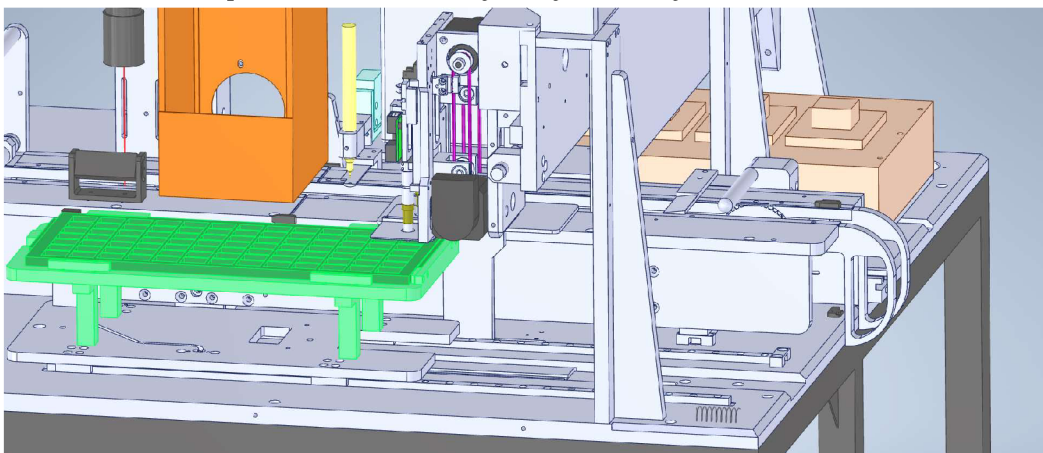
Automatický dávkovač bude dimenzován na kapacitu vstupních a výstupních zásobníků o deseti platech. Pro dodržení původní orientace budou plata zajiždět do stroje podélně. Celý systém bude navržen pro použití tenčí varianty JEDEC plat o tloušťce 7,5 mm.

Požadavek na dobu výměny plata není blíže specifikován, nicméně by bylo vhodné se pohybovat v čase od dvaceti do třiceti sekund, jako je to v případě dávkovačů DediProg Auto Tray. Zajištění doby výměny plata pod dvacet sekund bude ale jistě výhodou, nicméně to není primárním požadavkem. Oproti tomu požadavek na jemnou manipulaci s platy plných čipů má daleko vyšší prioritu. Celý systém musí zahrnovat takové součásti, které zajistí absenci prudkých pohybů při manipulaci s platy.

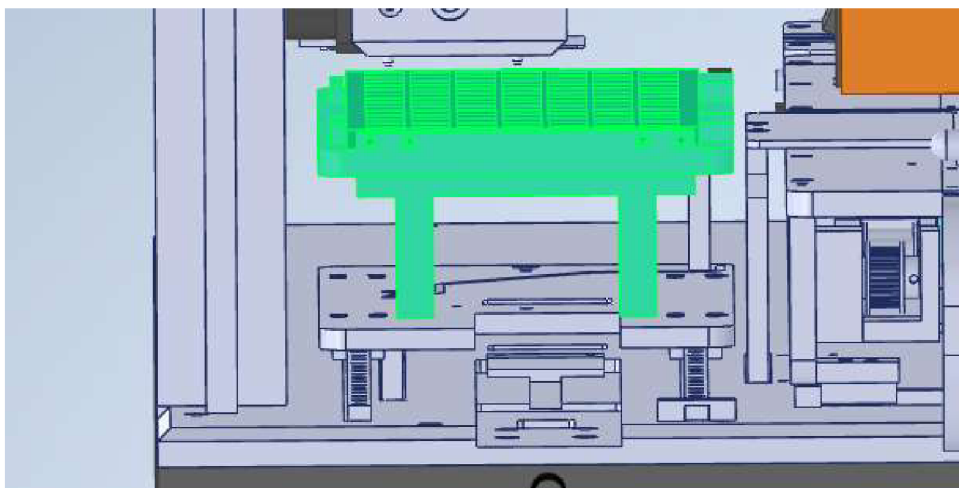
V neposlední řadě je zde výrobní cena zařízení, která by měla být výrazně nižší než prodejní cena konkurenčního Quasys JTF2, který má tržní hodnotu přibližně 20 000 Euro.

2.2 Rozměry a dosah dopravníku

Automatický dávkovač plat určený pro programovací automat HyperStorm bude muset být schopen zajistit původní pozici plata a celou činnou dráhu původní osy, viz *Obr. 6*. Dávkovač se bude nacházet v pravé části HyperStormu. Dopravník dávkovače bude muset zasahovat alespoň 630 mm do stroje od jeho okraje.

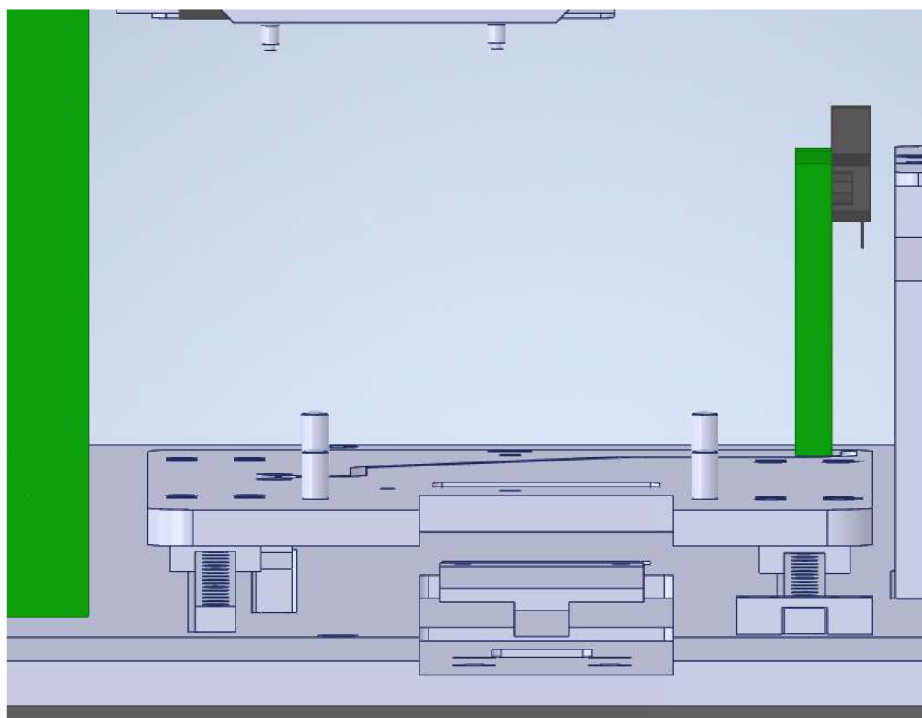


Obr. 6 – HyperStorm a nejzazší pozice osy pro posuv plata (zeleně)



Obr. 7 – Boční pohled ze strany podavače na původní pojezd plat HyperStormu

Dalším požadavkem je celková maximální šířka a výška dopravníku podavače. Jelikož je podavač vkládán do stroje na původní místo unašeče plata, je zapotřebí zařízení adaptovat. Omezení maximální šířky zařízení zprava plyne z pozice držáku optického snímače pro zjišťování přítomnosti vloženého plata. Na levé straně realizuje omezení nosná konstrukce osy Y viz *Obr. 7* v levé části, nicméně maximální šířka je zde ještě snížena dosahem přísavek v ose Y, které mají nejzazší pozici pouze několik mm za koncem činné plochy plata. Maximální šířka dopravníku poté činní 140 - 150 mm, pokud bude dopravník obsahovat vybrání kvůli držáku snímače, viz *Obr. 8* v pravé části. Výška zařízení je dána vzdáleností od desky pojezdu po původní pozici plata, tedy 80 – 85 mm.



Obr. 8 – Boční pohled na původní pojezd plat s odejmutým unašečem plat

V programovacím automatu je prostor, viz *Obr. 8*, vyhrazen buď pro osazení TapeIN feederem, Tube feederem nebo unašečem pro plata. Výměna komponent musí být proveditelná jedním operátorem, proto bude automatický dávkovač plat umístěn na kolečkách. Podavač potom nebude mít samonosnou konstrukci jako konkurenční zařízení, ale díky tomu bude zvýšena jeho mobilita, což je dalším požadavkem na konstrukci zařízení. Kvůli vyváženosti zařízení bude nutné, aby jedna část koleček zasahovala do půdorysu automatu. Budou tedy muset zajíždět pod rám programovacího automatu. Pozice podavače je až na samotném rohu stroje, který má ve spodní části rámu na každém rohu nohu s kruhovým půdorysem o průměru 50 mm. Spodní rám podavače realizující uchycení dvojice předních koleček bude muset mít takový rozchod, aby levé kolečko s rezervou objelo nohu stroje.

Dopravník podavače bude usazen do kolíků původního unašeče plat. Zde bude nutné, aby podavač plat dokázal plynule měnit svou aktivní výšku. Pro tuto aplikaci bude nutné zakomponovat do konstrukce zvedák, který bude při zavádění podavače do programovacího automatu realizovat žádanou činnou výšku zařízení a plynulé dosednutí dopravníku na pojezd plat v automatu HyperStorm. Díky tomu bude zajištěna také aretace komponenty na žádané pozici.

Pro dodržení požadavku na minimální plochu rozšiřující celkovou zástavbu programovacího automatu a připojených komponent bude zvolena konfigurace dvou zásobníků umístěných nad sebou i za cenu složitější konstrukce zařízení, přičemž vstupní zásobník se bude nacházet ve spodní části a výstupní v horní části.

2.3 Připojovací rozhraní

Jedním z předních požadavků na zařízení je způsob jeho připojení do programovacího automatu. Co se týče napájení, je výhodné použití střídavých 230 V ze silnoproudé části stroje a spínaný zdroj 230 V AC na 24 V DC umístit uvnitř podavače. Výhodou je, že zde poté není nutné dimenzovat spínané zdroje uvnitř programovacího automatu pro napájení vnějších komponent a postačuje se zařízením počítat při vývoji rozvaděče.

Dávkovač plat bude obsahovat akční členy využívající pneumatiku, bude tedy zapotřebí přípojky stlačeného vzduchu o tlaku alespoň 5 bar. Běžně jsou externí komponenty připojovány panelovou rychlospojkou a hadicí o průměru 6 mm.

Komunikace automatického dávkovače plat a programovacího automatu bude realizována pomocí ethernetu. Jeho výhoda spočívá v připojení velkého počtu externích zařízení do switche zajišťujícího lokální síť programovacího automatu.

3. NÁVRH HARDWARU ZAŘÍZENÍ

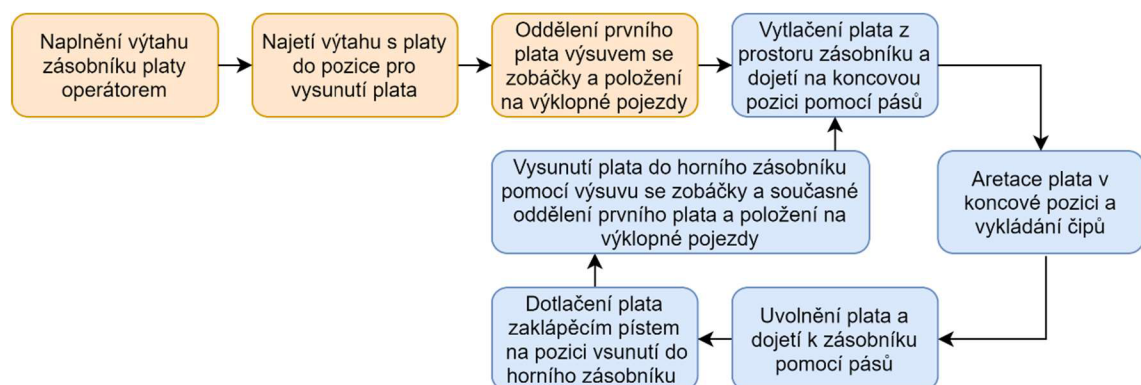
Následující kapitola je věnována postupu návrhu hardwarové části zařízení. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, zařízení musí být pojízdné pro snadnou mobilitu a výškově stavitelné pro pohodlné zavádění na aretační kolíky programovacího automatu. Jeho zásobníky budou situovány nad sebou pro dosažení minimálního možného půdorysu. Dopravník bude muset plato s čipy pevně uchopit pro manipulaci v podélné ose.

EPS automatický dávkovač bude inspirován některými funkčními principy zmíněného Quasys JTF2. Takovým základním principem jsou výklopné zobáčky pro zachycení plata, které jsou při průchodu plata směrem vzhůru vykloněny a posun plata nijak neomezí, ale jakmile je plato vysunuto nad určitou úroveň, zobáčky jsou samy sklopeny pomocí zkrutných pružin a vytvoří čtveřici opěrných bodů pro usazení plata.

Dalším principem je výtah spodního zásobníku, u kterého nebude pohon realizován složitým řetězovým rozvodem, který je choulostivý, složitý a nákladný, i když prostorově úsporný, nýbrž hliníkovou deskou a šroubovicemi. Šroubovice budou zajíždět pod úroveň základny spodního zásobníku. Takový systém bude vyžadovat prostor o minimální délce chodu výtahu od spodní po vykládací pozici. Nicméně podavač není nijak zásadně hloubkově omezen, a proto toto řešení bude výrazně robustnější, jednodušší a méně údržbově náročné.

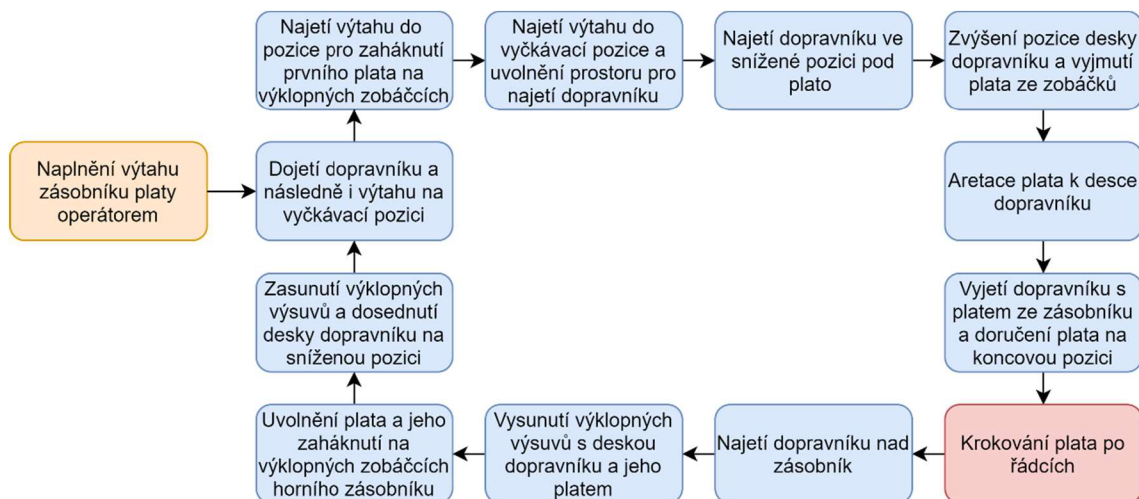
3.1 Návrh pracovní sekvence

Automatický dávkovač plat bude částečně vycházet z konfigurace Quasys JTF2, jehož pracovní sekvence je zobrazena na *Obr. 9*.



Obr. 9 – Pracovní sekvence podavače Quasys JTF2

Cyklus výměny plata, který je zobrazen modrou barvou, je v podstatě velmi jednoduchý a díky tomu je čas výměny krátký, tj. přibližně 5 sekund. Jak již ale bylo zmíněno, podavač nedisponuje funkcí krokování plata, která je pro použití v automatu EPS HyperStorm naprosto zásadní, kde v neposlední řadě hraje roli i vysoká pořizovací cena.



Obr. 10 – Návrh pracovní sekvence EPS automatického dávkovače plat

Z Obr. 10 je zřejmé, že pracovní sekvence EPS automatického dávkovače plat je výrazně složitější než u Quasys JTF2. Nicméně pro dosažení funkce krokování plata po řádcích, která je v diagramu vyznačena červeně, je takový složitý cyklus nezbytný. Krokování plata po řádcích je stěžejní funkcí pro návrh tohoto automatického dávkovače plat, kterou nenabízí žádný z komerčně vyráběných dávkovačů.

Prvním krokem při použití dávkovače plat je jeho zavedení do programovacího automatu, ke kterému bude sloužit spodní nosná konstrukce s kolečky. Pro usazení dávkovače slouží elektronický zvedák, který bude ovladatelný kolébkovým vypínačem na bočním panelu, jehož funkce bude po inicializaci zablokována. Zadní dvojice otočných koleček bude disponovat brzdami pro ještě lepší aretační vlastnosti zařízení do pracovní pozice. Po usazení dávkovače do automatu bude nutné propojit obě zařízení komunikačním rozhraním Ethernet, 230 V AC napájením a hadicí pro stlačený vzduch. Po připojení, inicializaci řídicí elektroniky a komunikace s automatem začne dávkovač homovat dopravník a výtah, které jsou poháněny krokovými motory.

Když je zařízení připravené, obsluha vloží do spodního zásobníku plata s čipy o maximálním počtu 10 kusů. Do spodního zásobníku bude přístupováno výklopnými ESD plexisklovými dvířky, u nichž bude snímán stav uzavření či otevření pro vyhodnocení hazardního stavu, u kterého by mohlo dojít ke zranění obsluhy v případě neoprávněného přístupu.

V případě uzavřených dvířek najede výtah do vyčkávací pozice, kde je připraven přijmout příkaz pro výměnu plata. Po přijetí příkazu výtah pokračuje v posuvu plat směrem vzhůru do pozice pro zaháknutí plata na čtveřici výklopných zobáčků. Po dosažení určité výškové úrovně bude výtah reverzován a dojde k posuvu do vyčkávací pozice, aby nedošlo ke kolizi výtahu a dopravníku.

Po uvolnění prostoru ve střední části zásobníku dojedě dopravník tvořený prvním stupněm pomocí motoru a druhým stupněm pomocí pístu nad zásobník do pozice pro vyzvednutí plata, které je zaháknuté na výklopných zobáčcích. Tohoto podjetí plata je dopravník schopen díky své posuvné desce ve vertikálním směru. První stupeň zvýšení pozice plata pro vyzvednutí plata je realizován miniaturními jednočinnými písty. Díky tomu je plato vyjmuto z výklopných zobáčků a nyní je již usazeno na dopravníku.

Po usazení plata na desku dopravníku je na desce dopravníku aretováno pomocí pístu. Píst druhého stupně posuvu dopravníku bude zasunut a pomocí motoru prvního stupně posuvu bude plato dovezeno do koncové pozice určené k vykládání čipů do stroje. Zde je již prostor pro vyzdvihovanou funkci krokování plata, která je realizována prvním stupněm posuvu, tedy krokovým motorem a synchronním řemenovým rozvodem. Funkce krokování plata po řádcích slouží k posuvu plata v podélném směru, které není programovací automat HyperStorm sám o sobě schopen. Po dokončení manipulace s čipy programovacím autem je dopravník s platem přesunut opět do prostoru zásobníku.

V pozici dopravníku pro vyzvednutí a odevzdání plata jsou vysunuty výklopné výsuvy poháněné pístem ve vertikálním směru, které plato společně s deskou dopravníku zvýší do úrovně pro zaháknutí na druhé sadě výklopných zobáčků, tvořící čtveřici opěrných bodů výstupního zásobníku s naprogramovanými čipy. Po dosažení takovéto vertikální úrovně je plato uvolněno od desky dopravníku vysunutím aretačního pístu. Dále je píst tvořící pohon výklopných výsuvů reverzován, výklopné výsuvy jsou zasunuty zpět do bočnic zásobníku a deska dopravníku dosednuta do snížené pozice, ve které bude v dalším cyklu schopen dojet na pozici pod platem.

Dopravník po dodání plata do výstupního zásobníku dojedě do vyčkávací pozice a uvolní tak střední pásmo zásobníku výtahu, který opět vertikálním pohybem oddělí první plato na první sadě výklopných zobáčků pro předání plata dopravníku. Dále by byl cyklus opakován dle *Obr. 10*. Nicméně skutečná výchozí pozice cyklu výměny plata se nachází při doručení plata na koncovou pozici, kde je dopravník připraven toto plato krokovat a cyklus výměny plata bude vždy ukončen v tomto místě s výjimkou prázdného vstupního zásobníku, kde již neexistuje žádné plato, které by mohlo být vyměněno. V takovém případě je cyklus ukončen doručením posledního plata do výstupního zásobníku, najetím dopravníku do vyčkávací pozice a tím i uvolnění středního pásma zásobníku pro činnost výtahu. Výtah dojedě do spodní homovací pozice pro vložení dalších plat do spodního zásobníku a vyjmutí plat z horního výstupního zásobníku obsluhou. V případě plného výstupního zásobníku bude tento stav snímán a obsluha bude vyzvána k jeho vyprázdnění, jinak nebude zařízení spuštěno.

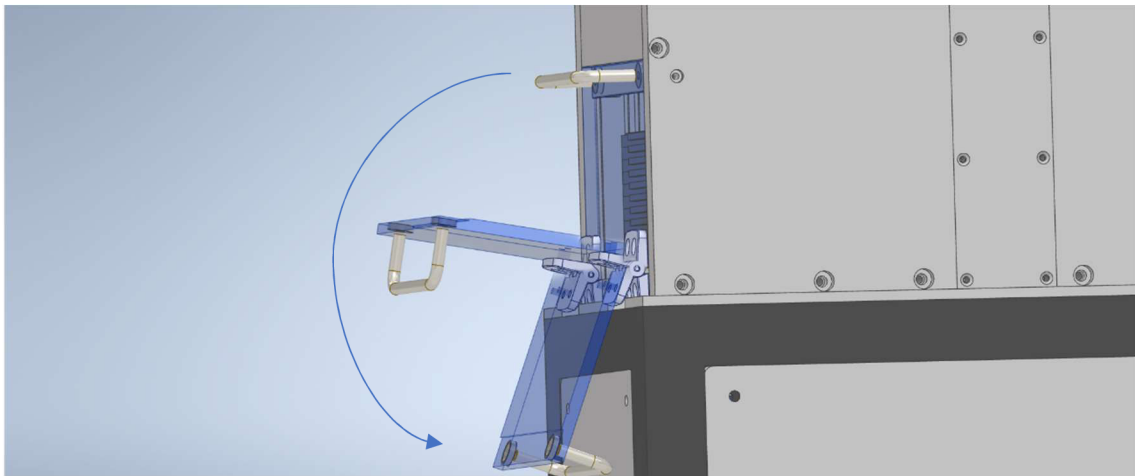
Celý cyklus působí velmi složitě, nicméně disponuje velkými výhodami, které jsou v případě návrhu nutné. Zařízení bude schopné posouvat plato po řádcích, a navíc nebude obsahovat takové součásti, které podléhají tak kritickému opotřebení, jako je tomu v případě podavače Quasys JTF2.

3.2 Návrh zásobníku

Jak již bylo zmíněno, zásobník bude mít konfiguraci se vstupním zásobníkem ve spodní části, výstupním zásobníkem v horní části a místem pro vyzvednutí plata ve střední části. Zásobník bude muset obsahovat pohyblivou osu výtahu, který zajistí posun plat pro pozici vložení plat do zásobníku operátorem, která bude zároveň homovací. Dále pak vyčkávací pozici pro vjetí dopravníku nad zásobník a pozici pro uložení horního plata do zobáčku pro vyzvednutí dopravníkem.

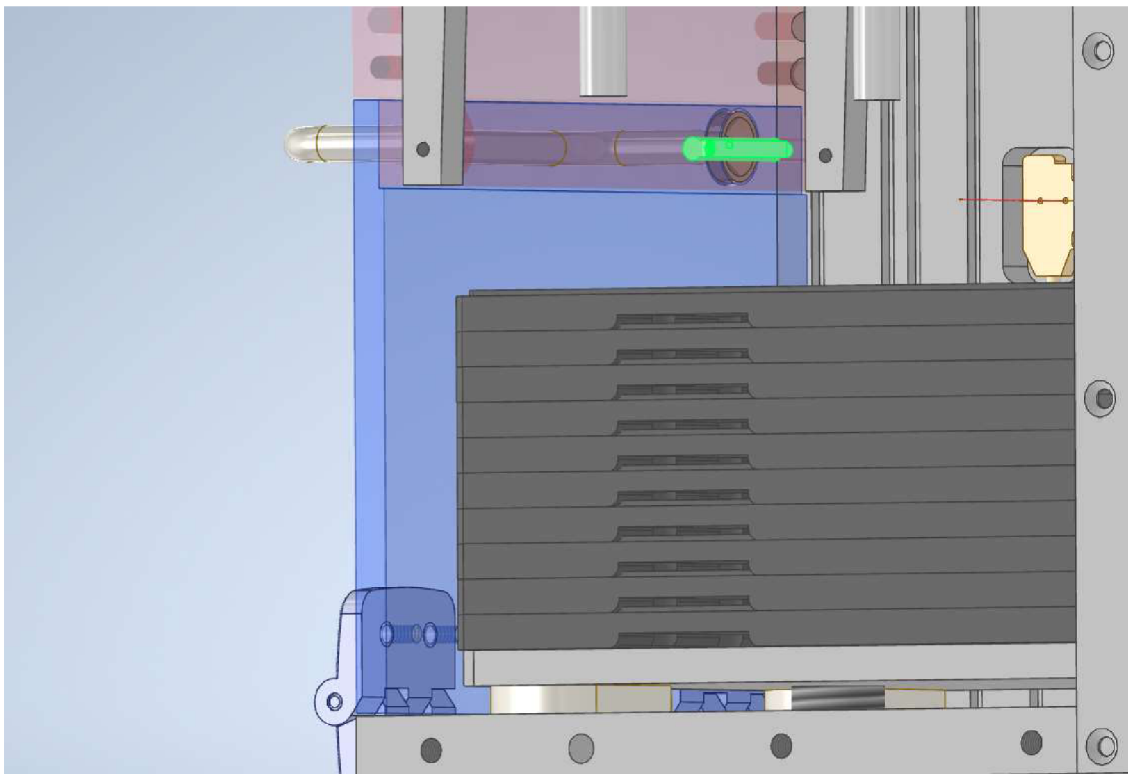
3.2.1 Návrh dvířek spodního zásobníku

Dvířka jsou koncipována jako průhledná, aby obsluha měla přehled o počtu plat ve vstupním zásobníku i bez interakce s aplikací na programovacím automatu. Dvířka slouží především jako ochrana operátora před nepovoleným přístupem a zároveň jako ochrana před hazardními stavy, kde by mohlo dojít ke kolizi cizího předmětu a pohyblivé osy. Otvor pro vložení plat vzniklý otevřením dvířek je přesně vysoký pro pohodlné vložení maximálně deseti plat. Hazardním stavem je, když je vloženo i jedenácté plato. Takový stav automatický podavač zaznamená již při najíždění do vyčkávací pozice, kde na základě posuvu od homovací spodní pozice dochází k výpočtu vložených plat.



Obr. 11 – Pohled na systém otevírání dvířek

Pomocí dvojice plastových pantů jsou dvířka vykloněna směrem k operátorovi a v otevřeném stavu jsou dosednuta madlem vůči plechu nosné konstrukce, viz *Obr. 11*. Dvířka jsou operátorem uchopena pomocí madla s roztečí montážních děr o standardních 96 mm. Z druhé strany, kde se nachází montážní šrouby madla, jsou i magnety s axiální polarizací se zápusť, kde u pravého šroubu slouží jako aretace dvířek v uzavřeném stavu, a u druhého šroubu jako snímání pozice dvířek pomocí limitního indukčního snímače CS-9DN(P) [5], nebo alternativních kopií, který je hojně využíván ke snímání polohy pístnice. Jeho umístění je viditelné na *Obr. 12*, kde je snímač zvýrazněn zeleně a je usazen v drážce hliníkového dílu.



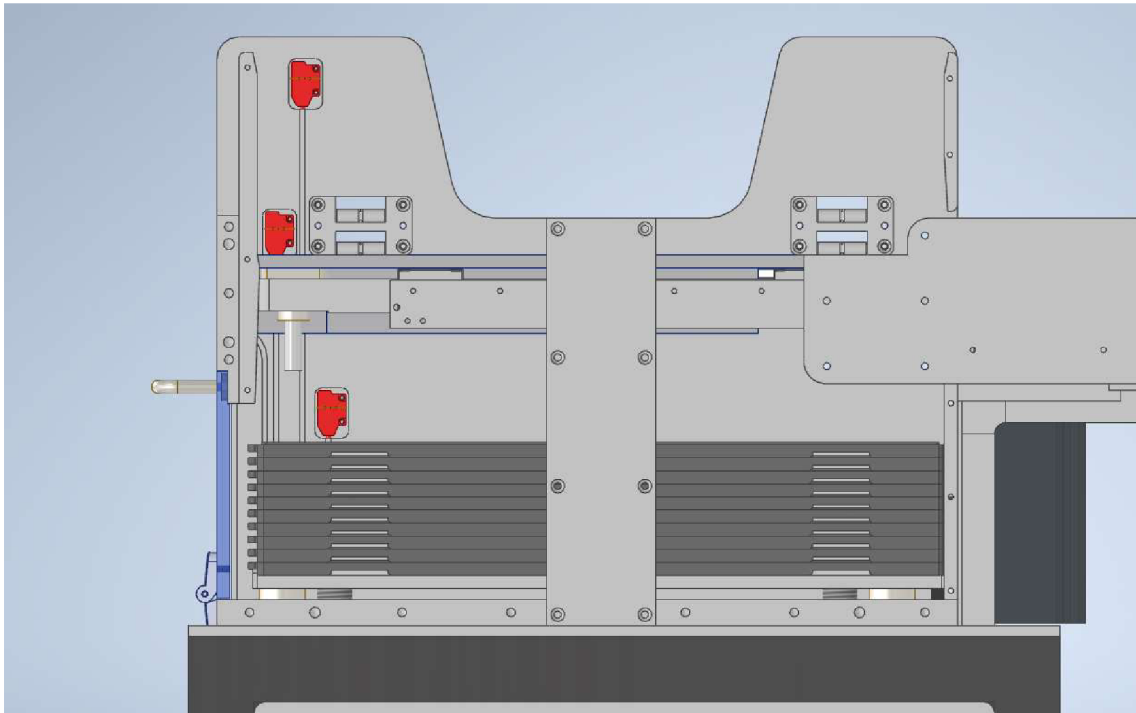
Obr. 12 – Pohled na umístění indukčního snímače v protikusu dvířek

Průhledně červený díl tvoří jak prostor pro usazení limitního indukčního snímače, tak doraz dvířek. V jeho horní části je také umístěn fotoelektrický snímač typu miniaturní optická závora, který slouží ke snímání pozice dopravníku. Tato část bude blíže popsána dále v této práci.

3.2.2 Návrh snímání pozic plat v zásobníku

Jak již bylo zmíněno, je nutné snímat pozice plat v zásobníku kvůli předejití kolizím mezi osami zásobníku a dopravníku, a dále také kolizím mezi osami a platy, které mohou být omylem vloženy či zapomenuty ve středním pásmu zásobníku.

Původně návrh počítal se snímači Panasonic EX-11A [6] typu miniaturní komponentní optická závora, která je dvoudílná a obsahuje vysílač a přijímač. Snímač byl vhodný díky jeho miniaturním rozměrům, přesnosti a snímací vzdálenosti v rozsahu od 0 do 150 mm, kde při snímací vzdálenosti 140 mm v této aplikaci jde o velmi vhodnou volbu. Nicméně později byl zvolen fotoelektrický reflexní snímač Panasonic EX-14 [6], který je rovněž velmi přesný, jeho snímací rozsah od 2 do 25 mm je vyhovující a rozměry také dostatečně miniaturní. Jeho použití přináší výhody jako snadnější zapojení, levnější výroba hliníkových dílů tvořících bočnice zásobníku a nižší pořizovací náklady oproti komponentní optické závoře. Vzhledem k minimální snímací vzdálenosti snímače 2 mm je nutné, aby byl snímač dostatečně zapuštěn do bočnice. Na *Obr. 13* jsou vyobrazeny pozice snímačů plat a jsou zvýrazněny červenou barvou.



Obr. 13 – Rozmístění snímačů pozic plat na bočnici zásobníku

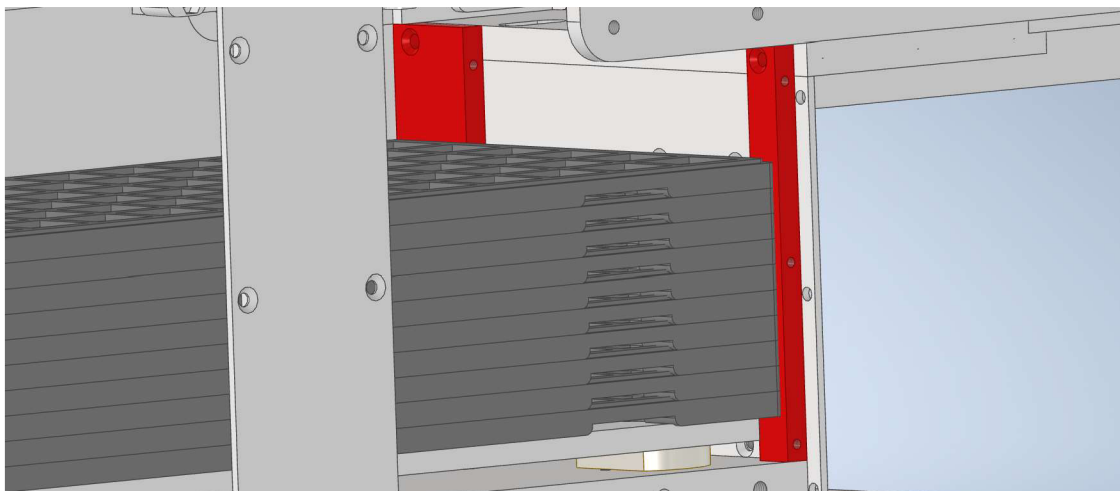
Spodní snímač pozice plata slouží ke snímání vyčkávací pozice výtahu. K tomuto snímači najíždí výtah při cestě od homovací spodní pozice a od této vzdálenosti se vypočítá počet vložených plat v zásobníku. Pod tento snímač také výtah najíždí po vyložení prvního plata na výklopných zobáčcích pro vyzvednutí plata dopravníkem, aby spolehlivě nedošlo k jejich vzájemné kolizi.

Snímač ve středním pásmu zásobníku slouží k indikaci pozice plata, které zde vyčkává na vyzvednutí dopravníkem. Při oddělování prvního plata ze stacku je také reverzován směr pohybu výtahu s platy, kde tuto pozici rovněž signalizuje snímač ve středním pásmu. Výtah se tedy cyklicky pohybuje mezi spodním snímačem a snímačem ve středním pásmu.

Snímač v horní části slouží jako indikátor plného výstupního zásobníku. Ten sepne výstupní napětí až když je v horním zásobníku naskládáno 10 a více plat. Pokud je v tomto zásobníku vloženo více než 10 plat, není to hned chybový stav, ale spíše varování operátora, jelikož navrstvení většího počtu plat na výstupním zásobníku může zapříčinit poškození mechanických částí automatického dávkovače plat, nebo nezajištění vyložení plata z dopravníku kvůli vyšší síle, než dokáže vyvinout píst pohánějící výklopné výsuvy.

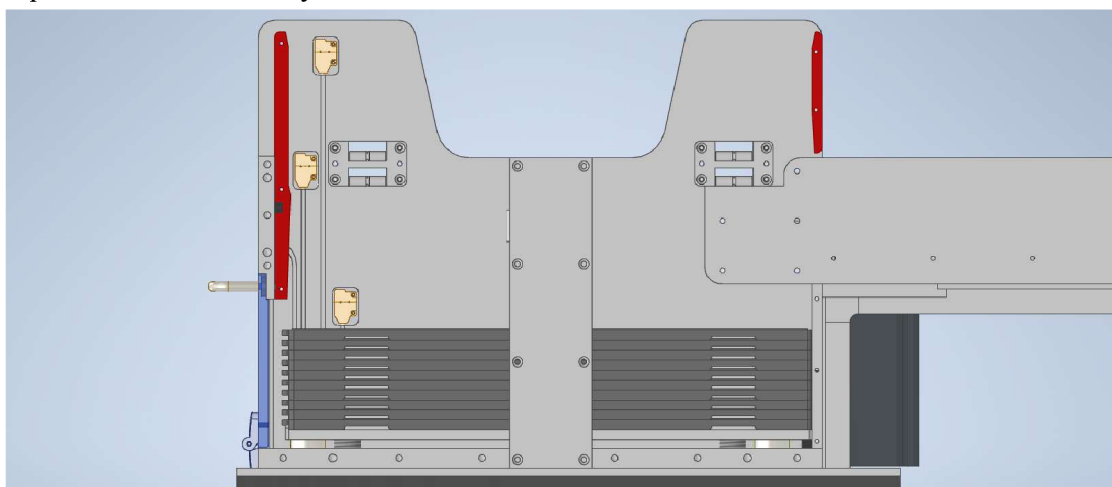
3.2.3 Návrh vodících lišt v zásobníku

Na *Obr. 14* jsou červeně vyobrazeny vodící lišty, které se nachází na protilehlé straně spodního zásobníku vůči vstupním dvířkům. Tyto lišty slouží k rozlišení orientace plata, které díky své rozdílné šířce nedovolí vložení otočených plat. Tyto lišty jsou vzájemně zaměnitelné po vyšroubování šestice šroubů. Pokud by plata byla vložena v opačném směru, nebude možné je korektně osadit na výtah a následně nebude možné zavřít dvířka.



Obr. 14 – Vedení rozlišující orientaci plata

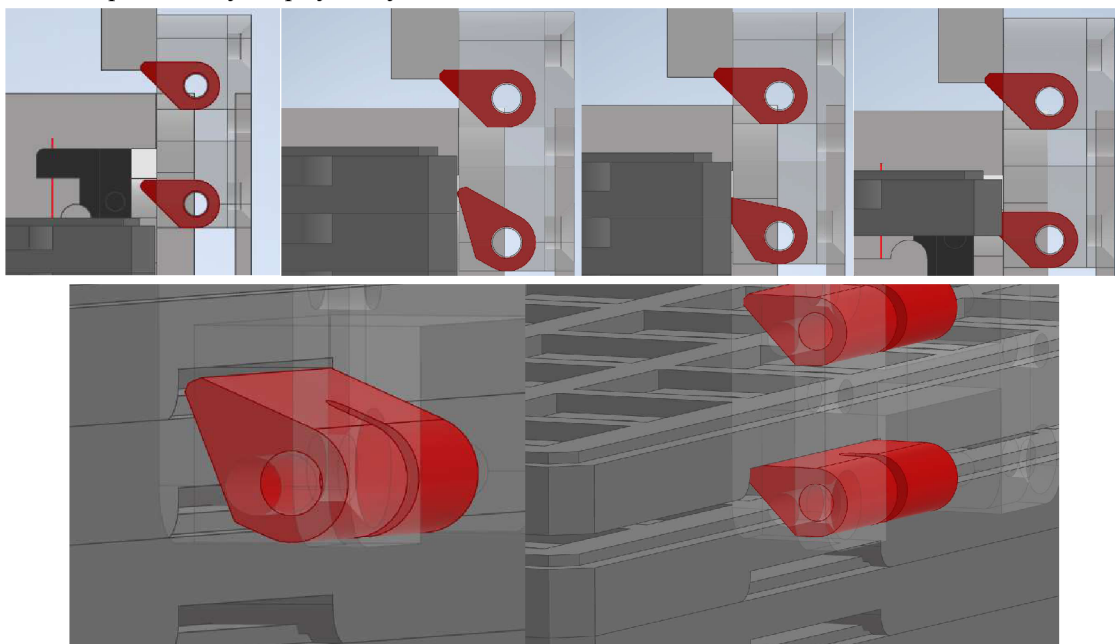
Vodící lišty jsou zvýrazněny červeně na *Obr. 15* a slouží k dorovnání plat do žádané pozice. Spodní část levé lišty slouží svým náběhem k dosunutí plata do takové pozice, aby podavač plato spolehlivě podjel v podélné ose a nestalo se, že zadní zarážka desky dopravníku nebude za půdorysem plata. Horní část vodící lišty vlevo již slouží pouze jako zábrana proti vysunutí plata ze zásobníku v podélném směru. Obdobně pracuje i pravá horní vodící lišta, která navíc obsahuje obdobně šikmý profil jako spodní část lišty. Ta dorovnává pozici plata při vyjmutí plata z dopravníku do horního zásobníku. Pokud by tato lišta byla prodloužena napříč celým zásobníkem, došlo by ke kolizi dopravníku a vodící lišty.



Obr. 15 – Vedení zásobníku se šikmým profilem

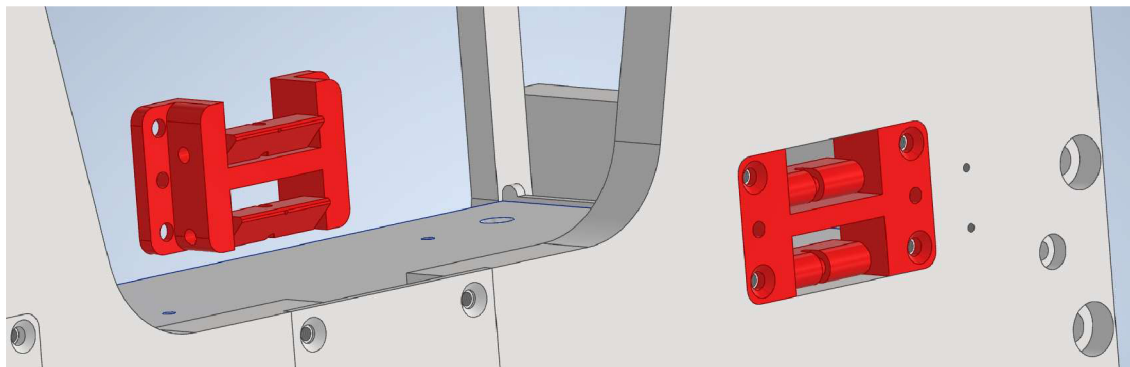
3.2.4 Návrh výklopných zobáčků

Výklopné zobáčky jsou klíčovým prvkem celého projektu. V zásobníku se nachází čtyři páry těchto zobáčků. Zajišťují mechanické oddělování plat vzájemně od sebe a ve výstupním zásobníku tvoří opěrné body pro celý stack plat. Spodní čtveřice tedy slouží k oddělení prvního plata pro uložení do pozice pro vyzvednutí plata dopravníkem. Horní čtveřice tvoří opěrné body horního zásobníku, do kterých je plato při výměně na závěr vsunuto pomocí výklopných výsuvů.



Obr. 16 – Postup při vsunutí prvního plata do výklopných zobáčků

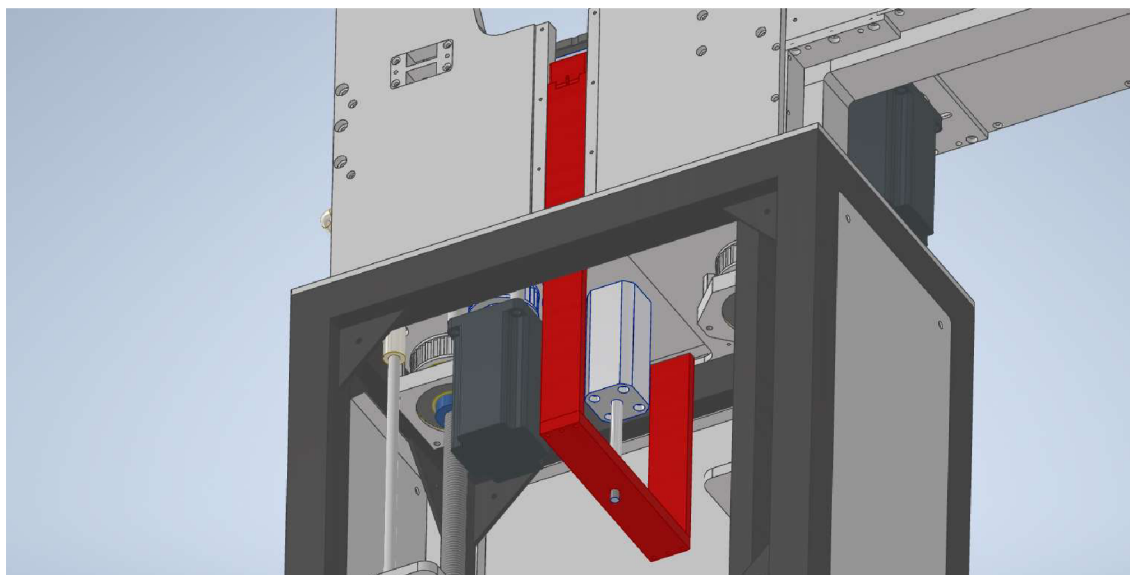
Na *Obr. 16* je znázorněno postupné vyklonění zobáčku při pohybu plata směrem vzhůru a jeho opětovné vyrovnání do horizontální pozice pro vytvoření čtveřice opěrných bodů. Návrat zobáčku do jeho výchozí pozice je zajištěn zkrutnou pružinou, která je umístěna v drážce zobáčku a její osa je shodná s hřídelkou, na které je usazen i zobáček. Zobáčky jsou usazeny v jednotlivých modulech, které zjednodušují sestavení dílu a umožňují případnou změnu konfigurace výškových pozic, viz *Obr. 17*.



Obr. 17 – Modul usazení zobáčků

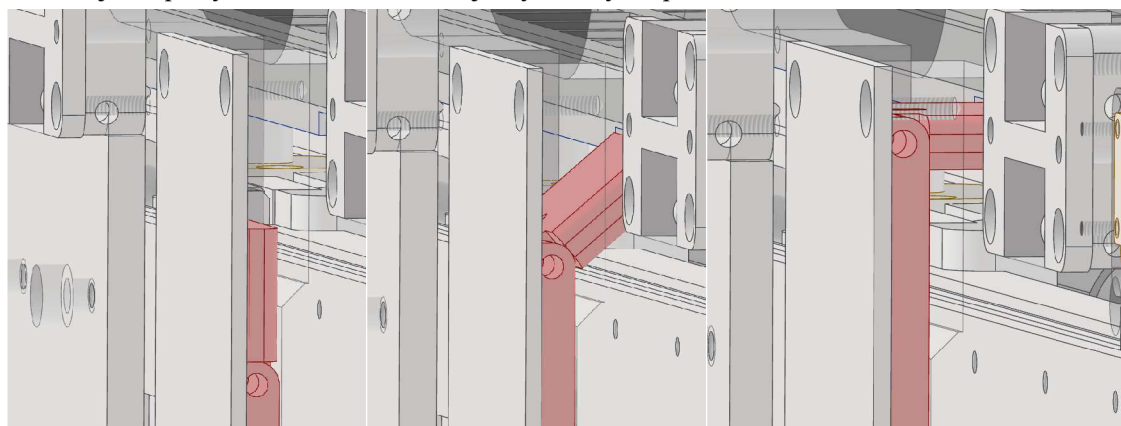
3.2.5 Návrh výklopných výsuvů

Výklopné výsuvy jsou takovým prvkem, který zajišťuje vsunutí plata do výstupního zásobníku. Je poháněn pístem SMC C55 o průměru pístnice 20 mm a chodem 60 mm, který je schopen při tlaku 5 bar vyvinout sílu 115 N při zasouvání pístnice, viz datasheet [7]. Tento píst musí být schopen uzvednout 10 plných plat s čipy a zároveň překonat třecí síly vzniklé pohybem samomazných plastových výsuvů v hliníkovém uložení bočnice zásobníku, viz *Obr. 18*.



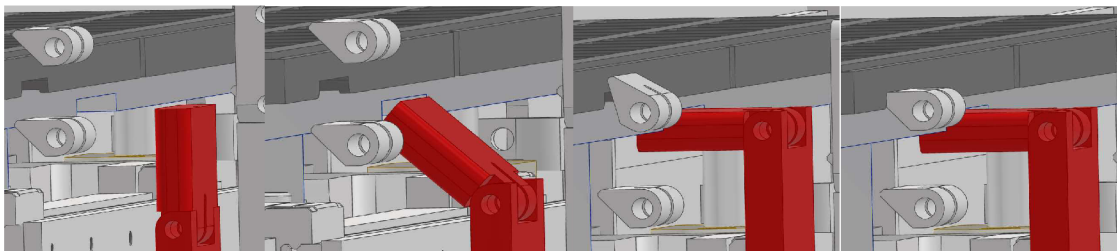
Obr. 18 – Systém výklopných výsuvů

Jelikož je nutné zajistit, aby tento systém neblokoval průjezd dopravníku do středního pásma zásobníku, jeho horní část bude výklopná. Pomocí zkrutné pružiny a hřídelky o rozměru 3x30 mm mezi výklopným a vodícím dílem bude řešeno vyklopení výsuvu po dojetí dopravníku do zásobníku. Jak je z předchozího obrázku zřejmé, v době nečinnosti výsuvu se jeho výklopná část nachází ukryta v dutině bočnice zásobníku. Během jeho pohybu směrem vzhůru je výsuv vyklopen dle *Obr. 19*.



Obr. 19 – Sekvence vyklopení výsuvu

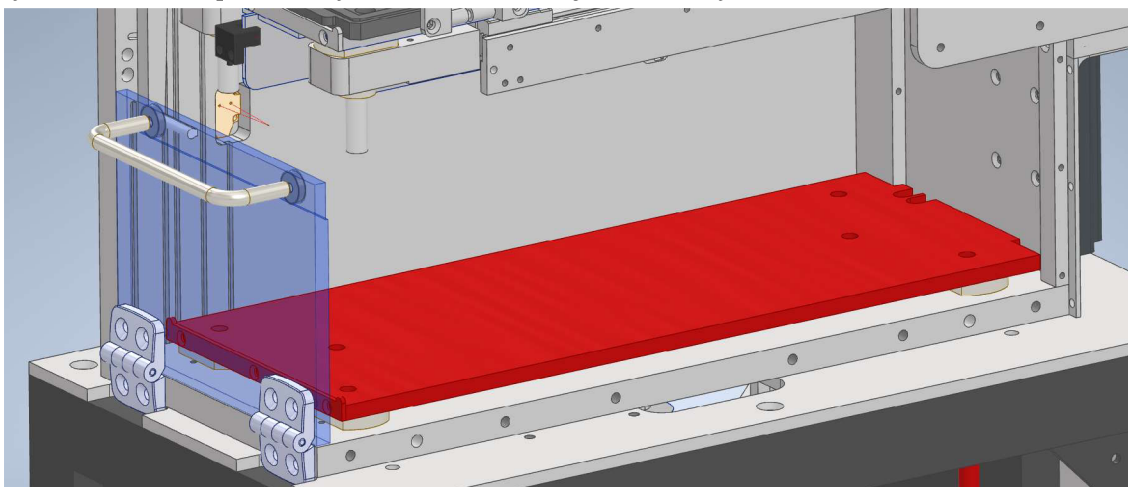
Na *Obr. 19* je viditelné, že při pohybu vzhůru se výsuv začne vyklápět po překonání hrany na konci dutiny zásobníku. Při návratu výklopného výsuvu směrem dolů tvoří bočnice zásobníku náběžnou hranu pro sklopení výsuvu k jeho ukrytí do dutiny. Čtvrtá strana dutiny je tvořena hliníkovým plechem o tloušťce 2 mm. Na *Obr. 20* je zřejmé, jak je výklopný výsuv po jeho vyklopení usazen o spodní stranu desky dopravníku. Následně je společně s výsuvem vysunuta i deska dopravníku s platem, které je zaháknuto na výklopných zobáčcích výstupního zásobníku.



Obr. 20 – Sekvence vložení plata do výstupního zásobníku výklopným výsuvem

3.2.6 Návrh osy výtahu

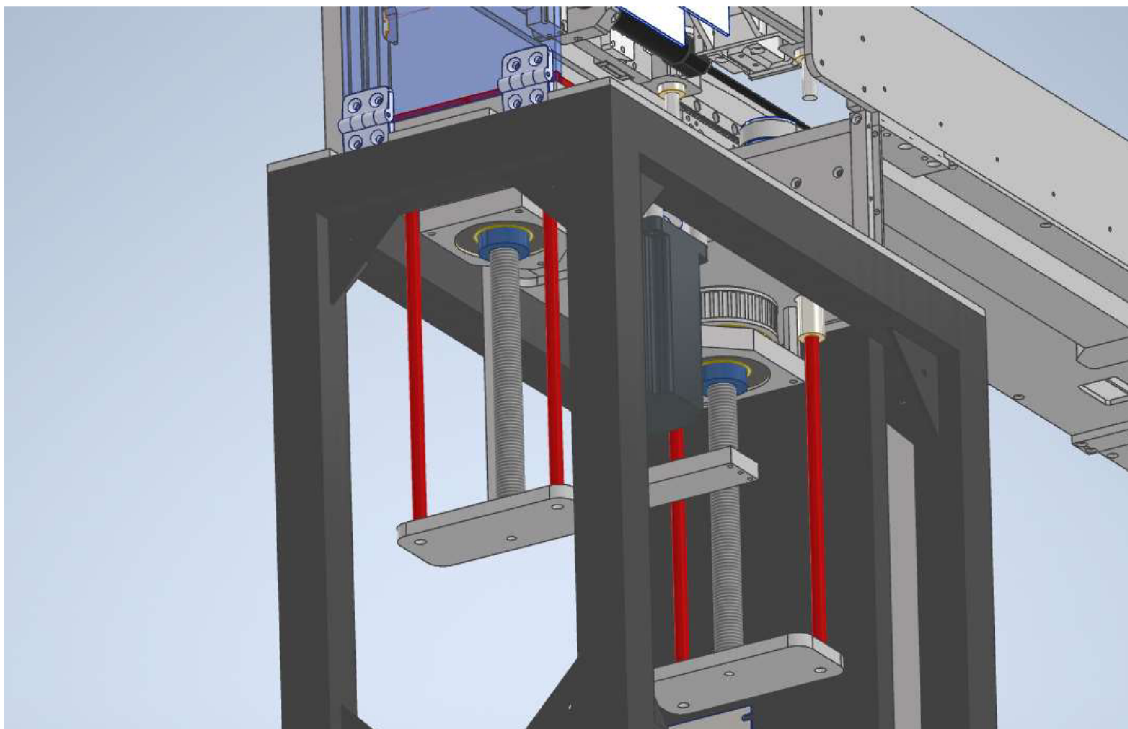
Základem osy výtahu je deska, na kterou jsou pokládána plata ve vstupním spodním zásobníku. Je vyrobena z hliníkové díly o tloušťce 8 mm a slouží jako spojnice vodících tyčí a šroubovic pohonu výtahu. Na *Obr. 21* je deska zvýrazněna červeně.



Obr. 21 – Deska výtahu

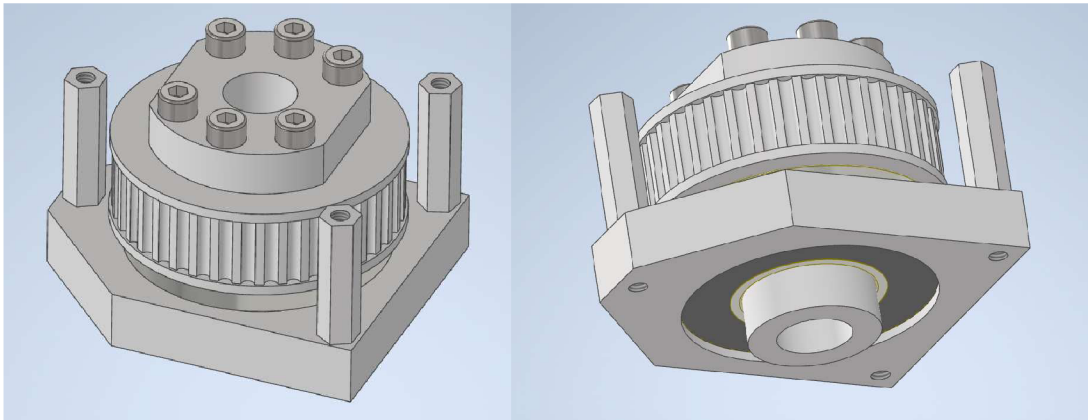
U strany dvířek je z jejího čela přišroubován plech tvořící zarážku plata. Druhá strana desky obsahuje vyfrézování kvůli lištám rozlišující orientaci vloženého plata. Na této straně se nachází i dvojice drážek, které slouží jako výřez pro najetí do miniaturní optické závory Panasonic PM-25L [8], která slouží jako homovací snímač celé osy.

Obr. 22 znázorňuje systém lineárního vedení osy výtahu, který je realizován pomocí čtveřice vodících tyčí o průměru 8 mm. Jejich vedení je umožněno čtveřicí tandemových kuličkových pouzder s čtvercovou přírubou JBKL-08AWW [9] od firmy HIWIN nebo jejich levnějších alternativ jako například LMH8LUU [10].



Obr. 22 – Vodící tyče výtahu

Tandemová kuličková pouzdra lineárního vedení byla zvolena kvůli dlouhému chodu vodících tyčí. Tyto vodící tyče jsou přišroubovány jak k desce výtahu, tak ke spodnímu spojnicovému dílu tyčí a šroubovice pomocí závitových děr v ose tyče z jejich čel. Systém lineárního vedení pomocí tyčí byl zvolen kvůli nižším pořizovacím nákladům oproti kolejnicím. Dále by musel být hliníkový díl bočnice zásobníku protažen více do hloubky v případě použití kolejnic. Díky použití šroubovic namísto řetězového rozvodu u pohonu výtahu, jako je tomu u podavače Quasys, musí být spodní část rezervována pro jejich umístění. Proto umístění vodících tyčí společně se šroubovicemi do tohoto prostoru návrh nijak neomezuje. Klíčovým prvkem osy je její pohon. Ten je realizován krokovým motorem a synchronním rozvodem pomocí řemenu a ozubených řemenic, které přenáší rotační pohyb na matice šroubovice, která zajišťuje pohyb osy. Řemenice je přišroubována ke kuličkové matici uložené v ložisku, které leží v domečku přišroubovaným k základně zásobníku pomocí distančních sloupků, viz *Obr. 23*. Jejím základem je řemenice o dostatečném průměru, aby do ní bylo možné vyvrtat díru pro uložení kuličkové matice a závitových děr pro její montáž. Jako vhodnou volbou se jeví řemenice s profilem 5M pro řemen o šířce 15 mm a 40 zuby [11]. Tato řemenice je schopna pojmout kuličkovou matici SFU1610-3 [12] pro pohyb šroubovic SFU1610 [12], které jak již název napovídá mají stoupání 10 mm na otáčku a průměr 16 mm. Jelikož je zde přenos točivého momentu motoru na posuv pomocí kuličkových šroubů, je vhodné použít šroubovice s co největším chodem pro vykompenzování převodu do síly.

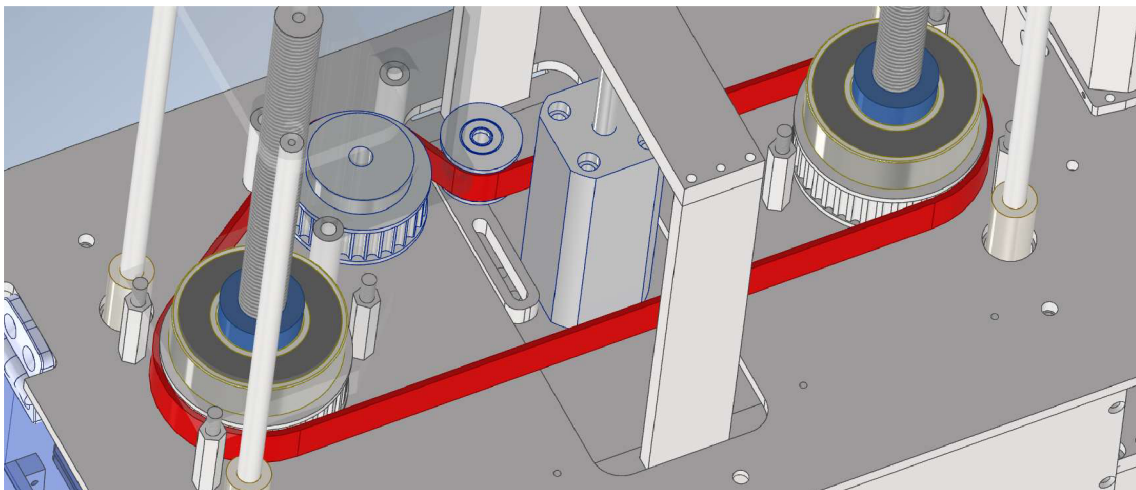


Obr. 23 – Sestava řemenice, kuličkové matice a jejich uložení

Na *Obr. 23* je viditelné uložení matky do kuličkového ložiska SKF 62/22 [13], které je umístěno v domečku. Tento domeček je přišroubován pomocí distančních sloupků M5x30 mm k základně zásobníku.

Běžně by k pohonu osy postačoval jeden kuličkový šroub, který by byl umístěn ve středu (těžišti) osy. Nicméně v této aplikaci je tento prostor rezervován pro píst pohonu výklopných výsuvů. Proto je zde použita dvojice kuličkových šroubů, z nichž je každý využit po synchronní posuv dvojice vodících tyčí na každé straně desky výtahu.

Na motoru je umístěna řemenice s profilem 5M, 30 zuby a šířkou řemenu 15 mm [11]. Zde dochází k převodu do síly, a proto je opět vhodně využití kuličkového šroubu s co nejvyšším stoupáním pro dosažení vyšší rychlosti posuvu osy namísto síly.



Obr. 24 – Řemenový rozvod výtahu

Celkový přepočítaný posuv výtahu je 7,5 mm na jednu otáčku motoru. Výpočet vychází z poměrného počtu zubů hnací řemenice (30 zubů) a hnané řemenice (40 zubů), v neposlední řadě ze stoupání kuličkového šroubu, které činí 10 mm. Jak již bylo řečeno, řemenový rozvod obsahuje dvojici řemenic s kuličkovými maticemi. Dále se zde nachází motorová hnací řemenice. Za zmínku dále stojí hladká napínací řemenice, která obsahuje dvojici ložisek a je spojena s domečkem řemenice pomocí hřídelky o průměru 6 mm.

3.2.7 Výpočet pohonu výtahu

Rozměrově výhodným krokovým motorem se jeví NEMA23. Výpočtu potřebného točivého momentu motoru bude věnována tato kapitola, která vychází ze zdroje [14]. Výpočet potřebného točivého momentu motoru pohonu řeší rovnice v této podkapitole.

$$T_{M_elev} = (T_{L_elev} + T_{A_elev}) \cdot S_f \quad (1)$$

| | | |
|---------------|---|---------------------------------------------|
| T_{M_elev} | – | Požadovaný točivý moment motoru výtahu [Nm] |
| T_{L_elev} | – | Moment poháněného mechanismu výtahu [Nm] |
| T_{A_elev} | – | Akcelerační (dynamický) moment výtahu [Nm] |
| S_f | – | Součinitel bezpečnosti [-] |

Z rovnice (1) vyplývá, že výpočet se skládá ze dvou částí, přičemž první část řeší potřebný točivý moment v rámci potřebné síly k udržení mechanismu v konstantním pohybu a druhá jeho uvedení do pohybu. Tyto dva momenty lze pro aplikaci pohonu s kuličkovými maticemi rozepsat do rovnic (2), (3) a (4):

$$T_{L_elev} = \left(\frac{F_{elev} \cdot P_S}{2\pi \cdot \eta_{elev}} + \frac{\mu_0 \cdot F_{0_elev} \cdot P_S}{2\pi} \right) \cdot \frac{1}{i_{elev}} \quad (2)$$

$$T_{A_elev} = \frac{J_{0_elev} \cdot i_{elev}^2 + J_{L_elev}}{9,55} \cdot \frac{N_{M_elev}}{t_{acc_elev}} \quad (3)$$

$$F_{elev} = m_{elev} \cdot g \cdot (\sin(\theta_{elev}) + \mu_{elev} \cdot \cos(\theta_{elev})) \quad (4)$$

| | | |
|-----------------|---|------------------------------------------------------------------------|
| F_{elev} | – | Síla působící na osu výtahu při konstantním pohybu [N] |
| P_S | – | Stoupání kuličkového šroubu [m/otáčku] |
| η_{elev} | – | Účinnost pohonu výtahu [-] |
| μ_0 | – | Vnitřní koeficient tření kuličkové matice (typ. 0,1 - 0,3) [-] |
| F_{0_elev} | – | Předpětí kuličkové matice ($\approx F_{elev}/3$) [N] |
| i_{elev} | – | Převodový poměr pohonu výtahu [-] |
| J_{0_elev} | – | Moment setrvačnosti pohonu výtahu [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] |
| J_{L_elev} | – | Moment setrvačnosti mechanismu výtahu [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] |
| N_{M_elev} | – | Nominální otáčky motoru výtahu [ot./min] |
| t_{acc_elev} | – | Doba dosažení nominálních otáček motoru výtahu [s] |
| m_{elev} | – | Hmotnost poháněného mechanismu výtahu [kg] |
| g | – | Tíhová síla [N] |
| θ_{elev} | – | Sklon osy výtahu vůči horizontální poloze [$^\circ$] |
| μ_{elev} | – | Koeficient tření lineárního vedení výtahu [-] |

Nominální otáčky motoru vychází z požadované rychlosti osy, v tomto případě výtahu s platy. Byla určena požadovaná rychlost $v_{elev} = 60 \text{ mm/s}$, tedy $0,06 \text{ m/s}$ a maximální zrychlení $a_{elev} = 1 \text{ m/s}^2$. Pomocí rovnic (5), (6) a (7) bude přepočítána rychlost pohybu osy výtahu na nominální otáčky jeho hnacího motoru:

$$i_{elev} = \frac{N_{PN}}{N_{PM}} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3} \quad (5)$$

$$N_{M_elev} = \frac{v_{elev}}{p_S} \cdot i_{elev} \cdot 60 = \frac{0,06}{0,01} \cdot \frac{4}{3} \cdot 60 \text{ ot./min} = 480 \text{ ot./min} \quad (6)$$

$$t_{acc_elev} = \frac{v_{elev}}{a_{elev}} = \frac{0,06}{1} \text{ s} = 0,06 \text{ s} \quad (7)$$

N_{PN} – Počet zubů hnané řemenice [-]

N_{PM} – Počet zubů hnací řemenice [-]

v_{elev} – Rychlost posuvu osy výtahu [m/s]

a_{elev} – Maximální akcelerace posuvu osy výtahu [m/s²]

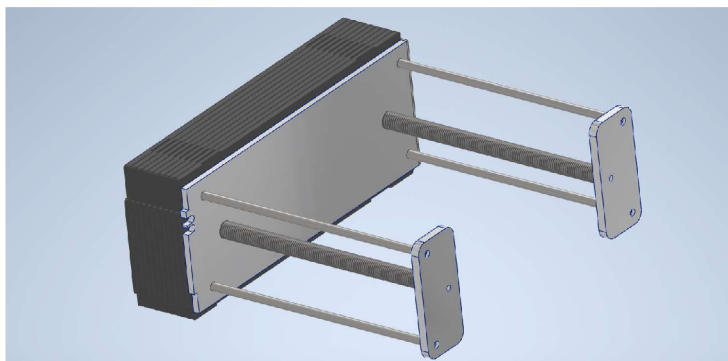
V rovnici (5) je nejprve vypočítán momentový převodový poměr pohonu podle počtu zubů řemenic synchronního rozvodu, přičemž hnací řemenice obsahuje 30 zubů a hnané řemenice mají zubů 40. Dále jsou v rovnici (6) vypočteny nominální otáčky motoru na základě tohoto převodového poměru a stoupání kuličkového šroubu. Nakonec je vypočítána doba dosažení nominálních otáček t_{acc_elev} z maximálního zrychlení a_{elev} .

Pro výpočet dynamického momentu je zapotřebí znát dílčí momenty setrvačnosti částí hnacího systému. Do tohoto výpočtu je nutné zahrnout moment setrvačnosti rotoru motoru a hnací řemenice. Dále jsou do výpočtu zahrnuty i s momenty setrvačnosti kuličkových matic a jejich řemenic, které rovněž konají rotační pohyb. Standardní výpočet by měl obsahovat také moment setrvačnosti osy v lineárním pohybu, nicméně ten bude v případě pohonu pomocí vertikálně umístěných kuličkových šroubů zanedbán. Pomocí fyzikálních vlastností modelu byly zjištěny následující hodnoty momentů setrvačnosti umístěné v Tab. 1. Byly zanedbány montážní šrouby matice k řemenici a vnitřní rotační části ložisek uložení matice.

Tab. 1 - Seznam zjištěných momentů setrvačnosti pohonu výtahu

| Označení | Součást | Hodnota [kg·m ²] |
|-----------|------------------|------------------------------|
| J_{0R} | Rotor motoru | $0,3 \cdot 10^{-4}$ |
| J_{0PM} | Řemenice motoru | $48,8 \cdot 10^{-6}$ |
| J_{LPN} | Řemenice matice | $110 \cdot 10^{-6}$ |
| J_{LN} | Kuličková matice | $51,5 \cdot 10^{-6}$ |

V neposlední řadě je nutné zjistit hmotnost pohyblivé části osy, která lze rovněž vyčíst z fyzikálních vlastností modelu, viz Obr. 25.



Obr. 25 – Sestava pohyblivé osy výtahu

Hmotnost výtahu bez plat byla stanovena na 2 kg a hmotnost samostatného plata bez čipů na 0,3 kg. Při uvažování dvojnásobku hmotnosti v případě plně osazeného plata čipy činní hmotnost jednoho plného plata 0,6 kg. Celková hmotnost poháněného systému včetně deseti plně osazených plat v zásobníku je přibližně 8 kg. S přihlédnutím k výkonové rezervě pohonu a zanedbání momentu setrvačnosti v lineárním pohybu bude uvažovaná hmotnost poháněného systému $m_{elev} = 10$ kg. Rovnice (8), (9), (10) a (11) realizují výpočet potřebného točivého momentu motoru na základě zjištěných hodnot:

$$T_{A_elev} = \frac{J_{0_elev} \cdot i_{elev}^2 + J_{L_elev}}{9,55} \cdot \frac{N_{M_elev}}{t_{acc_elev}} = \frac{(J_{0R} + J_{0PM}) \cdot i_{elev}^2 + 2 \cdot (J_{LPN} + J_{LN})}{9,55} \cdot \frac{N_{M_elev}}{t_{acc_elev}} =$$

$$\frac{(48,8 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 10^{-4}) \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^2 + 2 \cdot 110 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 51,5 \cdot 10^{-6}}{9,55} \cdot \frac{480}{0,06} Nm = 0,371 Nm \quad (8)$$

$$F_{elev} = m_{elev} g (\sin(\theta_{elev}) + \mu \cos(\theta_{elev})) = 10 \cdot 9,81 (\sin(90^\circ) + \mu \cos(90^\circ)) N = 98,1 N \quad (9)$$

$$T_{L_elev} = \left(\frac{F_{elev} \cdot P_S}{2\pi \cdot \eta_{elev}} + \frac{\mu_0 \cdot F_0 \cdot P_S}{2\pi} \right) \cdot \frac{1}{i_{elev}} = \left(\frac{98,1 \cdot 0,01}{2\pi \cdot 0,9} + \frac{0,2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 98,1 \cdot 0,01}{2\pi} \right) \cdot \frac{1}{\frac{4}{3}} Nm = 0,138 Nm \quad (10)$$

$$T_{M_elev} = (T_{L_elev} + T_{A_elev}) \cdot S_f = (0,371 + 0,138) \cdot 2 Nm \approx 1 Nm \quad (11)$$

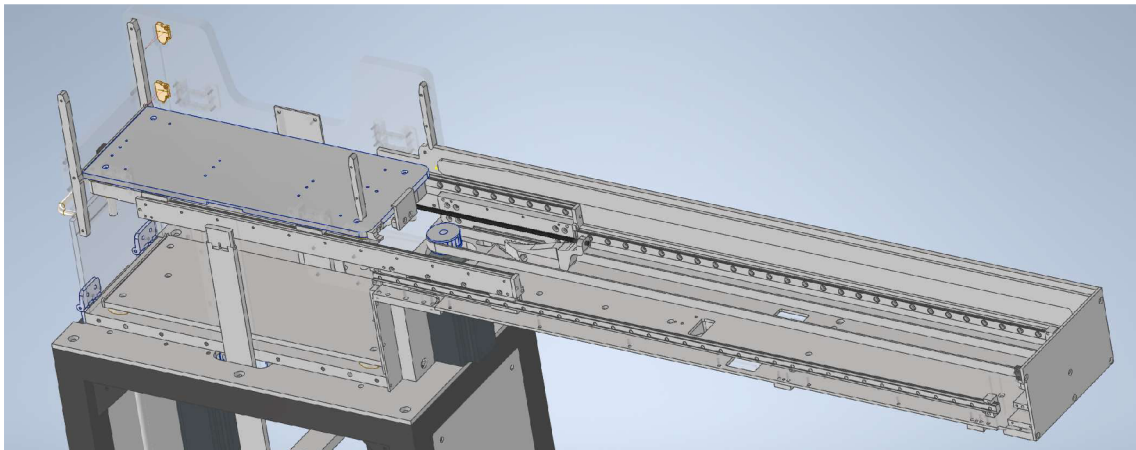
Hodnota požadovaného točivého momentu krokového motoru pohonu je dle rovnice (11) stanovena na 1 Nm. Lze si povšimnout, že dynamický moment je přímo úměrný akceleraci neboli nepřímo úměrný času potřebného k dosažení nominálních otáček motoru. Hodnota t_{acc_elev} je při výběru motoru s točivým momentem právě 1 Nm nejkratším možným časem dosažení nominálních otáček při dodržení všech ostatních parametrů, zejména součinitele bezpečnosti. Tento parametr byl zvolen $S_f = 2$ i kvůli zanedbání některých momentů setrvačnosti v systému, odhadu účinnosti, tření atd.

Při výběru motoru je důležité uvažovat nejen výsledný točivý moment motoru T_M , ale také točivý moment poháněného mechanismu T_{L_elev} . Tento točivý moment odpovídá v tomto případě nominálním otáčkám $N_{M_elev} = 380$ ot./min a vhodný motor ve své momentové charakteristice musí mít při těchto otáčkách shodný nebo větší točivý moment než aktuálně vypočtená hodnota T_{L_elev} . Jak již bylo řečeno, dynamický moment je přímo závislý na velikosti akcelerace, proto v případě nedostačujícího točivého motoru lze tuto hodnotu jednoduše snížit. Pokud ale motor nebude mít tento točivý moment při nominálních otáčkách, celý systém bude muset být zpomalen do oblasti, kde motor již nemá takový pokles točivého momentu s rostoucími otáčkami.

Pro pohon výtahu byl zvolen krokový motor NEMA23 iHSS57-10 [15], který disponuje točivým momentem 1 Nm a integrovaným driverem s optickým enkoderem pro řízení v uzavřené smyčce. Výhodou je jednoduchost použití, kompaktnost a v neposlední řadě nezvyšování skladových položek, jelikož je tento motor již v některých projektech využíván. Jeho momentová charakteristika bohužel není k dispozici, nicméně NEMA23 od konkurenčního výrobce s točivým momentem okolo 1 Nm dosahuje při otáčkách 380 ot./min vyššího točivého momentu než potřebných $T_{L_elev} \approx 0,2$ Nm.

3.3 Návrh dopravníku

Dopravník musí být schopen pohybu v rozsahu od koncové pozice v automatu až po pozici vyzvednutí plata přímo nad zásobníkem. Při použití lineárního vedení je jasné, že kolejnice nesmí přesahovat do zásobníku, protože v něm nesmí vzniknout žádné hrany, které by bránily hladkému chodu plat v zásobníku při pohybu nahoru a dolů. Z toho vychází že osa dopravníku musí být dvoustupňová, přičemž první stupeň bude unášen proporcionálně pomocí krokového motoru a synchronního rozvodu s ozubenými řemenicemi, a pozice druhého stupně pomocí pneumatického pístu s dostatečným chodem.



Obr. 26 – Pohled na dvoustupňový dopravník podavače

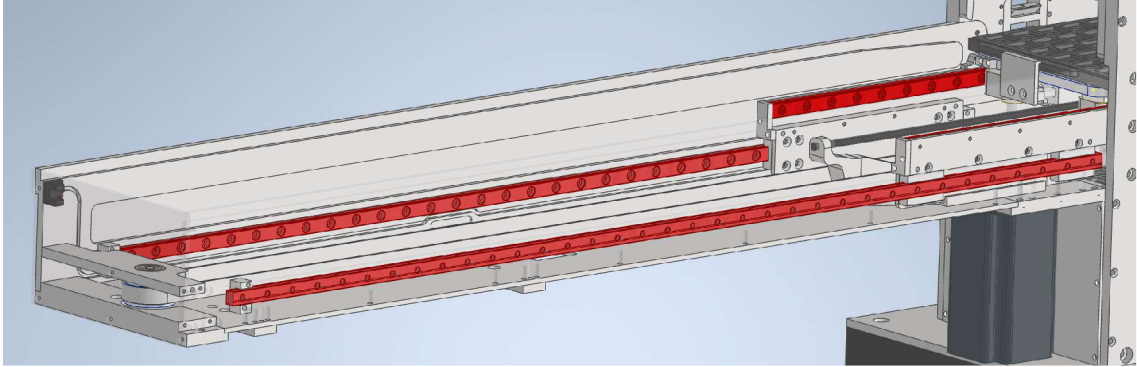
Na *Obr. 26* lze vidět dvoustupňový systém osy dopravníku, který je složen ze dvou sad kolejnic HIWIN MGN9 [16], přičemž unášec prvního stupně končí u řemenice motoru a druhý stupeň před půdorysem zásobníku. Na prvním stupni jsou uchyceny mezikusy, které nesou lineární vedení druhého stupně. Sestava dopravníku obsahuje dvě sady vozíků. Vozíky jezdí po kolejnicích druhého stupně, díky kterému je možné dojet na pozici nad zásobník, která je určena k vyzvednutí a vrácení plata.

Dopravník jezdící po kolejnicích druhého stupně dále disponuje vertikální osou, aby bylo možné měnit jeho výškovou pozici. Na obou bočnicích dopravníku se nachází dvojice kuličkových pouzder LMH8UU [17], které vytváří vedení pro čtveřici tyčí o průměru 8 mm, které jsou přišroubovány k desce dopravníku. Tato deska slouží k uložení plata a disponuje také aretačním pístem SMC MGJ10-10 s vedením [18], který je konstruován jako dvojčinný. Nicméně je zde osazeno pouze jediné šroubení, a to pro ovládání zasunutí pístu. Pro jeho vysunutí je na pístnici přidána vratná pružina. Tím je ušetřeno vedení jedné hadice e-chainem.

Posun v této vertikální ose je v první fázi řešen pomocí dvojice jednočinných pístů SMC CDUJB10 – 10 a v druhé fázi pomocí výklopných výsuvů. První fáze slouží k vyzvednutí plata po jeho podjetí dopravníkem a druhá k usazení plata do výstupního zásobníku. Deska je vrácena do své výchozí snížené pozice pomocí dvojice vratných pružin umístěných u pístů realizujících první fázi vertikálního posuvu.

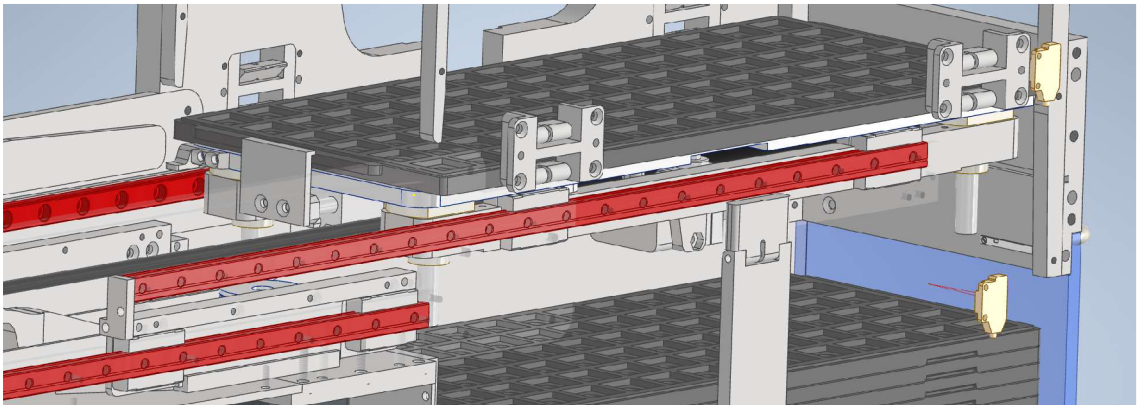
3.3.1 Návrh lineárního vedení dopravníku

Konstrukce dopravníku je tvořena dvojicí hliníkových plátů o tloušťce 8 mm. Tato ramena jsou přišroubována pěticí šroubů do bočnic zásobníku, kde je jim přizpůsobeno přesné uložení pro dosažení vyšší pevnosti spoje.



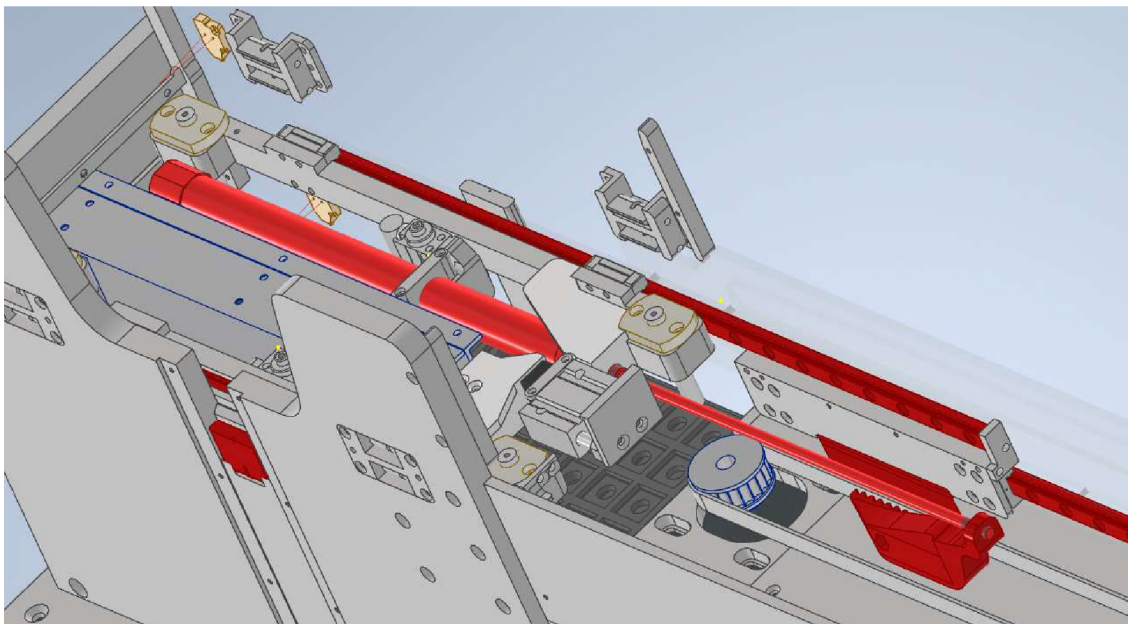
Obr. 27 – Kolejnice lineárního vedení dopravníku

Na *Obr. 27* je zobrazena konfigurace kolejnic lineárního vedení osy dopravníku, přičemž spodní pár kolejnic je pevně přišroubován k ramenům nosné konstrukce. Na těchto kolejnicích jezdí vozíky přišroubovány k mezikusku nesoucího druhý pár kolejnic realizující osu druhého stupně.



Obr. 28 – Druhý stupeň osy dopravníku

Na *Obr. 28* je zobrazen dopravník, který se pohybuje pomocí dvou párů vozíků po ose druhého stupně. V této části dopravníku se nachází píst s chodem 200 mm SMC CJ2ZB16 – 200 [19], který realizuje pohon druhého stupně posuvu dopravníku, zajišťující nadjetí do prostoru zásobníku. Tento píst má pístnici uchycenou k unašeči, jež je společný pro pohon prvního i druhého stupně, jelikož realizuje i pevné spojení s řemenem, jak je to zřejmé z *Obr. 29*. Jedna strana osy má tedy jasně danou pozici vzhledem k její pevné vazbě s unašečem, nicméně druhá strana osy, jež je pevně svázána s tou první pomocí vodících tyčí přes desku dopravníku, má pozici na prvním nebo druhém stupni náhodnou. Až na druhém stupni dojde osa do dorazu, pokračuje v posuvu na prvním a naopak.

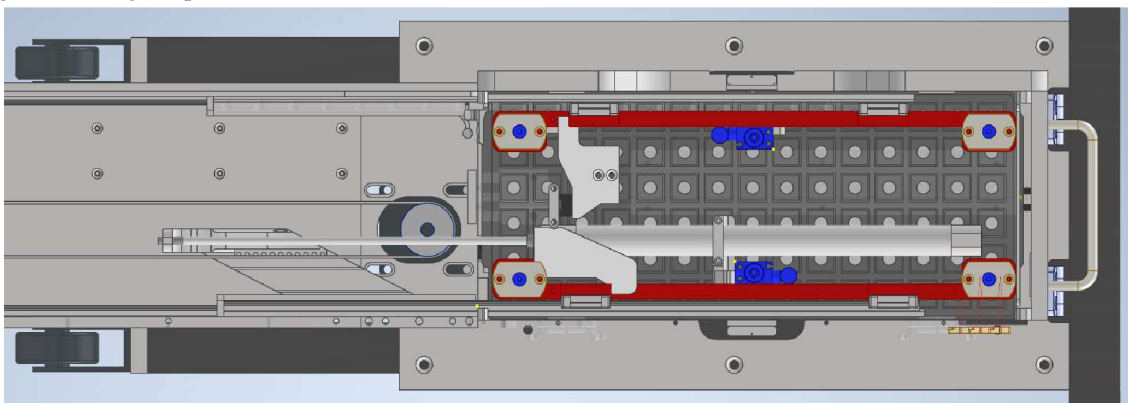


Obr. 29 – Umístění pístu posuvu druhého stupně dopravníku

Na *Obr. 29* lze pozorovat způsob montáže pístu realizujícího pohon druhého stupně posuvu dopravníku a spojení jeho pístnice s unašečem řemenu. Píst je pomocí dvou dílů přimontován k jedné ze dvou bočnic dopravníku, která zároveň nese vozíky a pár kuličkových pouzder.

3.3.2 Návrh vertikální osy dopravníku

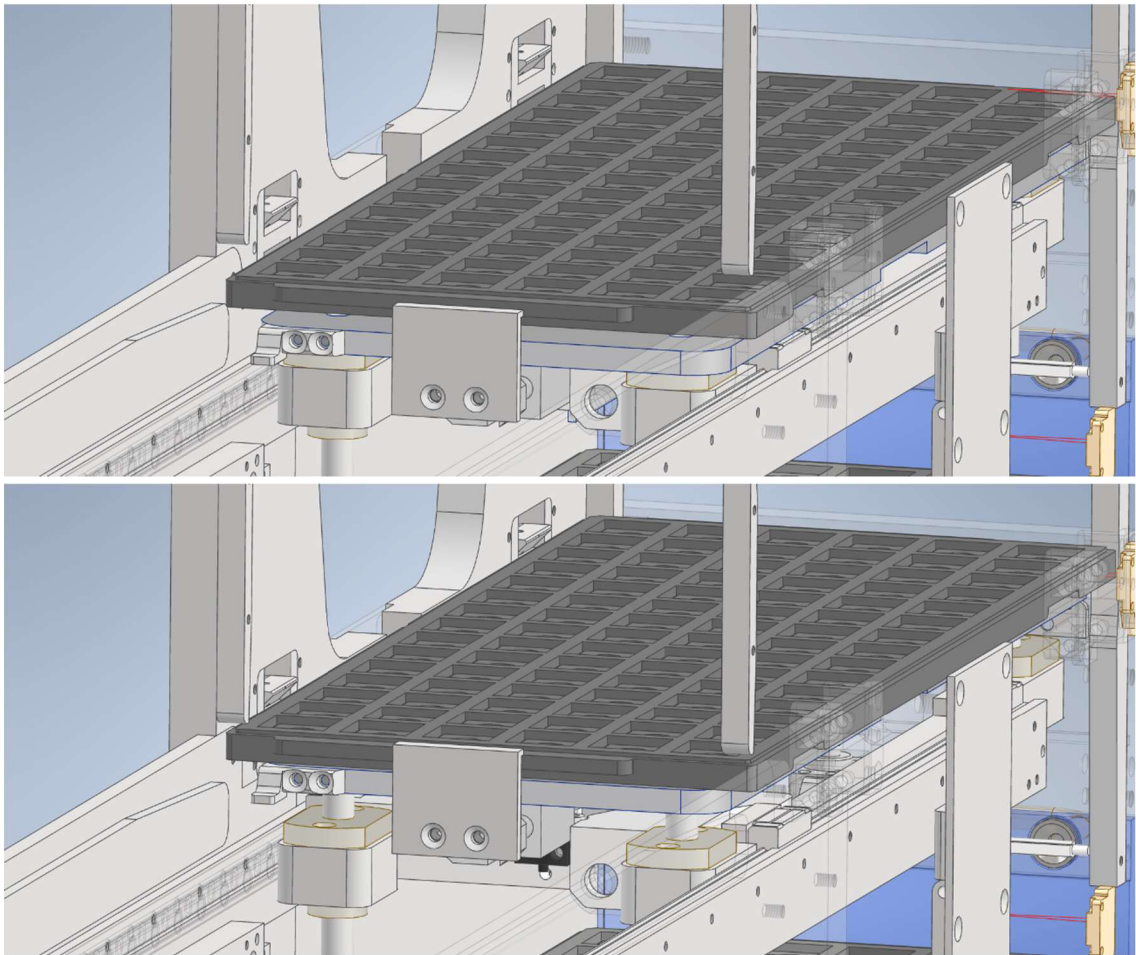
Vertikální osa dopravníku zajišťuje změnu výškové pozice desky, která slouží k uložení plata. Ve snížené pozici dopravník podjíždí plato, které je umístěno výtahem do spodní čtveřice výklopných zobáčků ve středním pásmu zásobníku. První stupeň zvýšení výškové pozice zajišťuje vyzvednutí plata z výklopných zobáčků. Jak již bylo řečeno, pohon prvního stupně vertikální osy směrem vzhůru je realizován dvojicí jednočinných pístů CDUJB10-10S [20], které jsou na *Obr. 30* zvýrazněny modře, a pohon směrem dolů při návratu do snížené pozice řeší dvojice tažných pružin umístěných u těchto jednočinných pístů.



Obr. 30 – Horní pohled na bočnice dopravníku

Na *Obr. 30* jsou červeně zvýrazněny bočnice dopravníku, které nesou páry kuličkových pouzder pro vedení tyčí vertikální osy. Dále nesou jednočinné písty pohonu prvního stupně změny výškové úrovně desky dopravníku. Bočnice ve spodní části obrázku nese zároveň i úchyt pístu realizujícího druhý stupeň posuvu osy dopravníku, který se skládá ze dvou částí. První část úchytu řeší uchopení pístu na jeho přírubě a druhá část je společným úchytem pro střední část tohoto pístu a pro jednočinný píst realizující první stupeň vertikálního posuvu desky dopravníku. K bočnici dopravníku v horní části obrázku je přimontován kromě páru kuličkových pouzder také držák e-chainu společně se snímačem nejnižší pozice desky dopravníku, který je realizován miniaturní optickou závorou PM-L25 [8]. Dále se zde nachází úchyt pro druhý jednočinný píst.

Z *Obr. 30* je také zřetelné nesouměrné umístění vozíků jedné bočnice vůči druhé. Je to řešení, které snižuje tendenci osy k jejímu křížení.

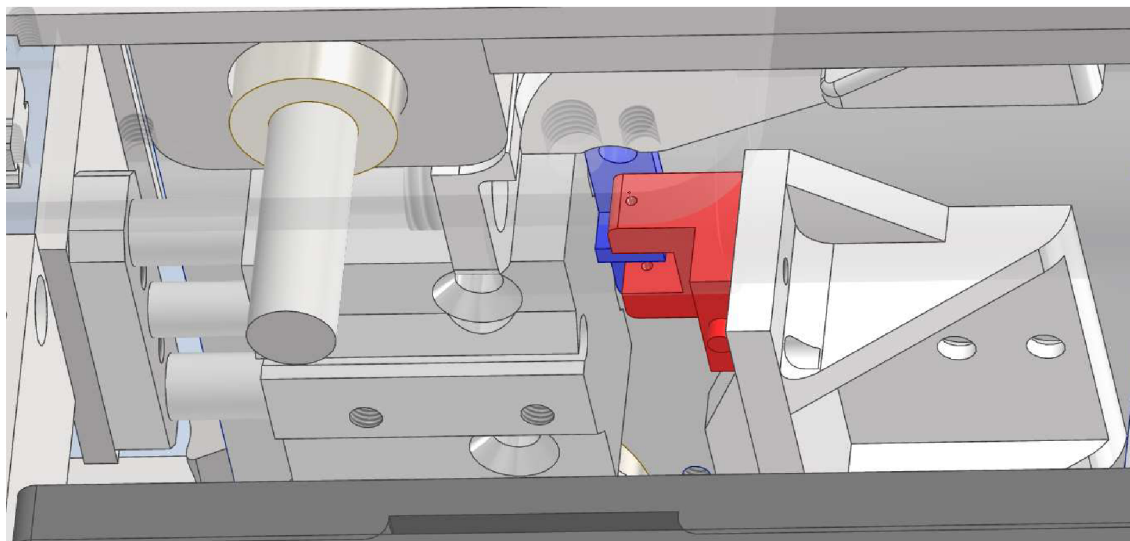


Obr. 31 – Vyzvednutí plata výsuvem prvního stupně vertikální osy

Na *Obr. 31* je viditelný postup vyzvednutí plata zvýšením pozice desky dopravníku ve vertikální ose. K desce je přimontován píst sloužící k aretaci plata, který má vysunutou pístnici ve výchozí pozici a dojde k jejímu zasunutí až při požadavku pro aretaci plata.

3.3.3 Návrh snímání pozic dopravníku

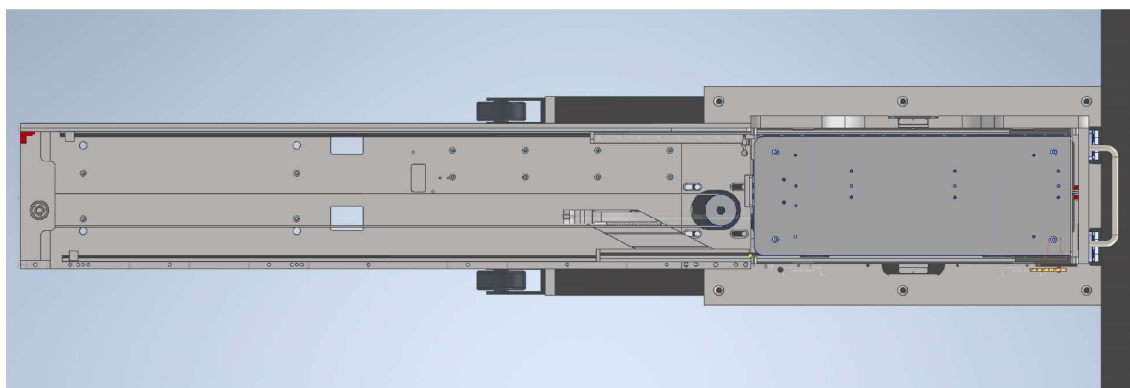
Tato část bude rozdělena do dvou základních sekcí. První sekce se zabývá snímáním vertikální a druhá horizontální pozice dopravníku. Jak již bylo řečeno, snížená pozice dopravníku je snímána miniaturní optickou závorou Panasonic PM-L25, která je umístěna na držáku e-chainu a na *Obr. 32* je zvýrazněna červeně.



Obr. 32 – Umístění snímače snížené pozice desky dopravníku

Tato optická závora je přerušována plíškem (modře) přišroubovaným k desce, která se pohybuje ve vertikálním směru. Toto řešení tedy vytváří celkem citlivý systém snímání pozice, které zaručuje spolehlivou informaci o snížené pozici desky dopravníku. Pokud by tato pozice nebyla zajištěna během podjíždění plata, které je připraveno na vyzvednutí ve střední části zásobníku, došlo by ke kolizi plata a dopravníku. Kolize by měla za následek rozsypaní čipů a jejich následné poškození.

Další klíčovou snímanou pozicí je první stupeň vysunutí desky ve vertikální ose. Ta je snímána limitním snímačem CS-9DN(P) na jednom z dvojice jednočinných pístů. V případě nedodržení pozice při vyzvedávání plata ze zásobníku by došlo ke kolizi plata s výklopnými zobáčky a vodícími drážkami v ramenech dopravníku.

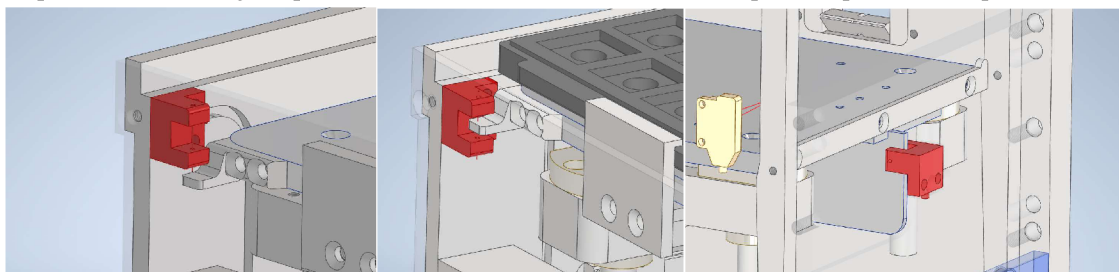


Obr. 33 – Rozmístění snímačů absolutní pozice dopravníku

Snímání horizontální pozice osy dopravníku bude opět rozděleno do dvou sekcí. První částí je snímání absolutní pozice dopravníku a druhá je dílčí snímání pozice posuvu druhého stupně dopravníku. Pozice dopravníku v ose druhého stupně je realizována dvojicí indukčních limitních snímačů CS-9DN(P), které jsou umístěny na pouzdře pístu realizujícího pohon druhého stupně posuvu dopravníku, přičemž zde snímají polohu pístnice. Tím je známa dílčí pozice dopravníku.

Absolutní pozice dopravníku je snímána pomocí dvojice miniaturních optických závor Panasonic PM-L25, které jsou umístěny na koncových pozicích dopravníku a na *Obr. 33* jsou zvýrazněny červeně. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v nemožnosti pohybovat s oběma stupni pohonu současně, jelikož pro snímání absolutní pozice musí být dokončen pohyb posuvu druhého stupně. Tento problém by mohlo vyřešit snímání pozice unašeče, ke kterému je ukotven ozubený řemen pohonu krokového motoru posuvu prvního stupně.

Další nevýhodou je umístění snímače na konci dopravníku, který snímá pouze pozici dopravníku ve zvýšené vertikální pozici prvního stupně. V případě pohybu desky ve vertikální ose v koncové pozici dopravníku navíc může dojít k poškození plíšku nebo snímače. Nevýhodné je umístění snímače absolutní pozice dopravníku na druhé straně, tedy v zásobníku. Ten snímá pozici dopravníku pouze ve snížené a přizvednuté pozici prvním stupněm. V případě vysunutí výklopnými výsuvy při vkládání plata do výstupního zásobníku již snímač nedetekuje pozici dopravníku. Ke snímání pozice dojde až po vrácení desky dopravníku do snížené nebo zdvižené pozice prvním stupněm.

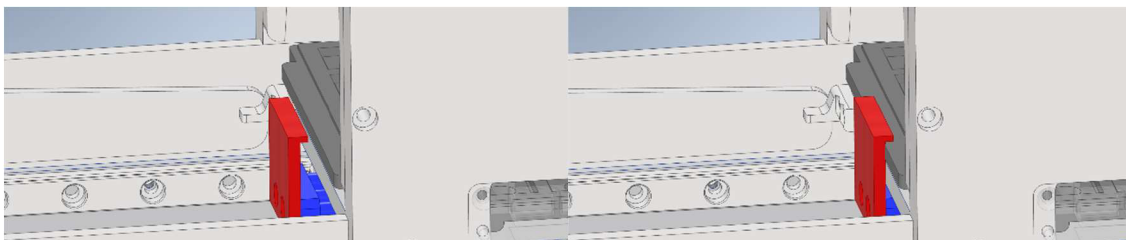


Obr. 34 – Bližší pohled na umístění snímačů absolutní pozice dopravníku

Na *Obr. 34* je na prvních dvou snímcích zleva viditelná možná kolize plíšku a snímače. Programově by k takovému manévru nikdy nemělo dojít, nicméně volba pozice snímače byla vhodná kvůli snadné montáži.

3.3.4 Návrh aretace plata k desce dopravníku

Po podjetí plata dopravníkem a vysunutím jeho desky do zvýšené pozice prvním stupněm je nutné toto plato aretovat, aby nedošlo k jeho ztrátě nebo rozsypání čipů. Tato aretace je vyobrazena na *Obr. 35*, kde je plato dotlačeno pístem MGJ10-10 proti plechu o tloušťce 2 mm přišroubovanému na opačné straně. Tento plech přesahuje desku o 3,5 mm, aby bylo stále možné podjet plato umístěné na výklopných zobáčcích. Pozice pístnice aretačního pístu je snímána indukčním limitním snímačem CS-9DN(P).

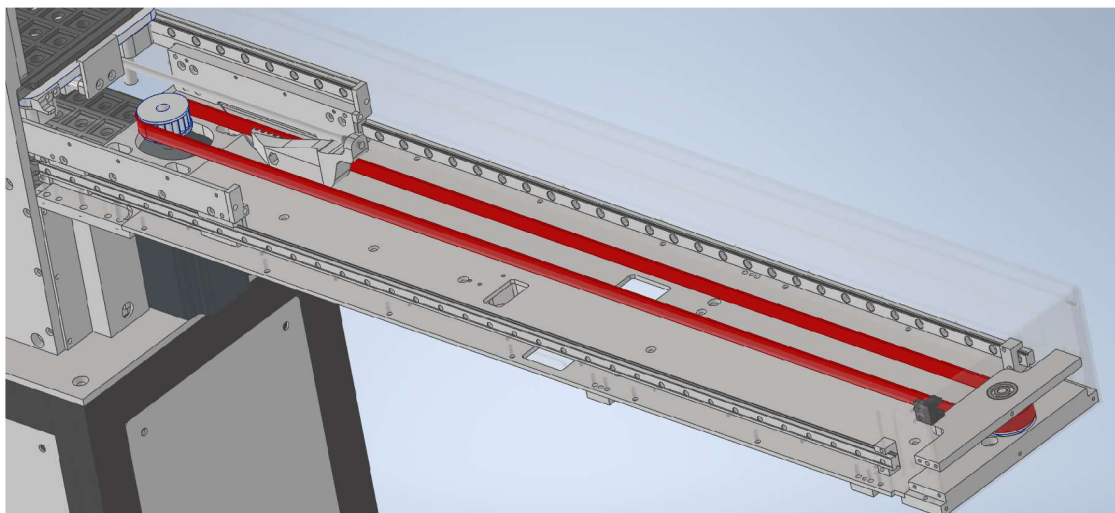


Obr. 35 – Aretace plata zasunutím pístnice

Pozice pístnice je snímána kvůli ošetření kolize aretačního dílu s platem při jeho vyzvedávání. Dále je snímač klíčový k zjištění informace o aretaci plata před manipulací s ním v horizontální ose. V neposlední řadě tento snímač slouží k ověření informace o uvolněném platu od desky dopravníku po jeho vsunutí do výstupního zásobníku. Toto plato musí být uvolněno před pohybem desky směrem dolů do své výchozí pozice.

3.3.5 Návrh pohonu horizontální osy dopravníku

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, horizontální osa dopravníku je rozdělena do dvou fází neboli stupňů. Pohon druhého stupně je realizován pomocí pístu a první pomocí krokového motoru s ozubenou řemenicí s profilem 5M o 20 zubech a šířkou řemenu 10 mm [11]. Ozubený řemen je upnut k unašeči osy dopravníku, který je připevněn k mezikusu realizujícího horizontální osu druhého stupně posuvu dopravníku.



Obr. 36 – Řemenový pohon dopravníku

Z *Obr. 36* je viditelné, že napnutí řemenu je realizováno montáží motoru do drážek. Tyto drážky jsou vytvořeny do držáku motoru, který je zároveň spojnicí obou ramen dopravníku. Na protější straně se nachází dvoudílný domeček řemenice, který je složen ze dvou dílů, přičemž v každém z nich je hřídel řemenice usazena v ložisku VRF 626-Z [13]. Celý pohon je ze spodní strany zakryt hliníkovým plechem o tloušťce 3 mm, který zároveň zvyšuje celkovou pevnost konstrukce dopravníku. Do tohoto plechu jsou současně vyřiznuty otvory, do kterých jsou zapuštěny kryty snímačů v programovacím automatu HyperStorm.

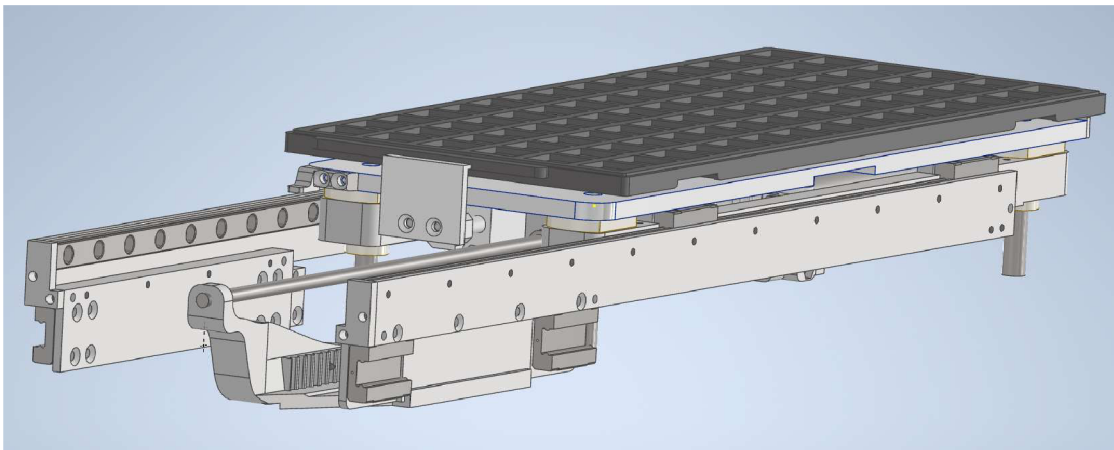
3.3.6 Výpočet pohonu dopravníku

Pro pohon dopravníku je opět výhodné použít motor NEMA23 pro jeho vhodné rozměry. Výpočet pohonu pro lineární systém se synchronním rozvodem je zčásti podobný výpočtu pohonu s kuličkovým šroubem [14]. Shodnou částí je zde výpočet dynamického momentu, přičemž již nelze zanedbat moment setrvačnosti lineárního pohybu osy, který tady naopak tvoří majoritní část. Předpis výpočtu pro celkový požadovaný točivý moment motoru dopravníku T_{M_shut} je shodný, jako pro výpočet T_{M_elev} , viz rovnice (1) a (12).

$$T_{M_shut} = (T_{L_shut} + T_{A_shut}) \cdot S_f \quad (12)$$

$$T_{L_shut} = \frac{F_{shut} \cdot D_{Pshut}}{2 \cdot \eta_{shut}} \quad (13)$$

| | | |
|---------------|---|-------------------------------------------------|
| T_{M_shut} | – | Požadovaný točivý moment motoru dopravníku [Nm] |
| T_{L_shut} | – | Moment poháněného mechanismu dopravníku [Nm] |
| T_{A_shut} | – | Akcelerační (dynamický) moment dopravníku [Nm] |
| D_{Pshut} | – | Průměr hnací řemenice motoru dopravníku [m] |
| η_{shut} | – | Účinnost pohonu dopravníku [-] |



Obr. 37 – Sestava dopravníku pro určení jeho hmotnosti a momentu setrvačnosti

Dle fyzikálních vlastností modelu byla zjištěna hmotnost dopravníku na 3,15 kg, viz Obr. 37. K této hmotnosti je nutné dále připočítat hmotnost čipů, což zvýší celkovou hmotnost na 3,5 kg. Kvůli zanedbání přítomnosti e-chainu, hadic, šroubů a kabelů bude výsledná hmotnost sestavy počítána pro $m_{shut} = 5$ kg.

$$F_{shut} = m_{shut} \cdot g \cdot (\sin(\theta_{shut}) + \mu_{shut} \cdot \cos(\theta_{shut})) = 5 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \text{ N} \approx 5 \text{ N} \quad (14)$$

| | | |
|-----------------|---|-------------------------------------------------------|
| F_{shut} | – | Síla působící na dopravník při konstantním pohybu [N] |
| m_{shut} | – | Hmotnost dopravníku [kg] |
| θ_{shut} | – | Úhel sklonu osy dopravníku [°] |
| μ_{shut} | – | Koeficient tření lineárního vedení dopravníku [-] |

Výpočet síly F_{shut} v rovnici (14) je opět shodný jako u výpočtu F_{elev} , přičemž nyní již systém nekoná vertikální, ale horizontální pohyb. Úhel sklonu osy dopravníku θ_{shut} bude odpovídat 0° . Po výpočtu hodnoty síly působící na dopravník při konstantním pohybu je již možné vypočítat moment poháněného mechanismu dle rovnice (15).

$$T_{L_shut} = \frac{F_{shut} \cdot D_{Pshut}}{2 \cdot \eta_{shut}} = \frac{5 \cdot 0,032}{2 \cdot 0,8} Nm = 0,1 Nm \quad (15)$$

Do Tab. 2 byly zaznamenány hodnoty momentů setrvačnosti jednotlivých dílů sestavy dopravníku.

Tab. 2 – Seznam zjištěných momentů setrvačnosti pohonu dopravníku

| Označení | Součást | Hodnota [kg·m ²] |
|------------|-----------------|------------------------------|
| J_{0R} | Rotor motoru | $0,3 \cdot 10^{-4}$ |
| J_{0PMs} | Řemenice motoru | $6,14 \cdot 10^{-6}$ |
| J_{LPs} | Vodící řemenice | $6,14 \cdot 10^{-6}$ |
| J_{shut} | Dopravník | $6,16 \cdot 10^{-3}$ |

Výpočet dynamického momentu bude vypočítán pro rychlost posuvu dopravníku $v_{shut} = 0,1$ m/s. Pro maximální zrychlení osy bude uvažováno $a_{shut} = 1$ m/s², kterému odpovídá čas dosažení nominálních otáček motoru $t_{acc_shut} = 0,1$ s při konstantní akceleraci osy dopravníku. Výpočet nominálních otáček motoru při posuvu dopravníku a výpočet dynamického momentu realizují následující rovnice (16), (17) a (18).

$$N_{M_shut} = \frac{v_{shut}}{l_{pshu} \cdot N_{pshut}} \cdot 60 = \frac{0,1}{0,005 \cdot 20} \cdot 60 \text{ ot./min} = 60 \text{ ot./min} \quad (16)$$

$$t_{acc_shut} = \frac{v_{shut}}{a_{shut}} = \frac{0,1}{1} \text{ s} = 0,1 \text{ s} \quad (17)$$

$$T_{A_shut} = \frac{(J_{0_shut} \cdot i_{shut}^2 + J_{L_shut})}{9,55} \cdot \frac{N_{M_shut}}{t_{acc_shut}} = \frac{(J_{0R} + J_{0PMs}) \cdot i_{shut}^2 + J_{LPs} + J_{shut}}{9,55} \cdot \frac{N_{M_shut}}{t_{acc_shut}} =$$

$$\frac{(0,3 \cdot 10^{-4} + 6,14 \cdot 10^{-6}) \cdot 1 + 6,14 \cdot 10^{-6} + 6,16 \cdot 10^{-3}}{9,55} \cdot \frac{60}{0,1} Nm = 0,39 Nm \quad (18)$$

- N_{M_shut} – Nominální otáčky motoru dopravníku [ot./min]
- v_{shut} – Rychlost osy dopravníku [m/s]
- l_{pshut} – Rozteč zubů profilu hnací řemenice [m]
- N_{pshut} – Počet zubů hnací řemenice [-]
- a_{shut} – Maximální zrychlení osy dopravníku [m/s²]
- t_{acc_shut} – Doba dosažení nominálních otáček motoru [s]
- i_{shut} – Převodový poměr pohonu dopravníku [-]

Po zjištění akceleračního momentu T_{A_shut} dopravníku a momentu poháněného mechanismu dopravníku T_{L_shut} je opět možné vyčíslit celkový požadovaný točivý moment motoru pohonu dopravníku, viz rovnice (19).

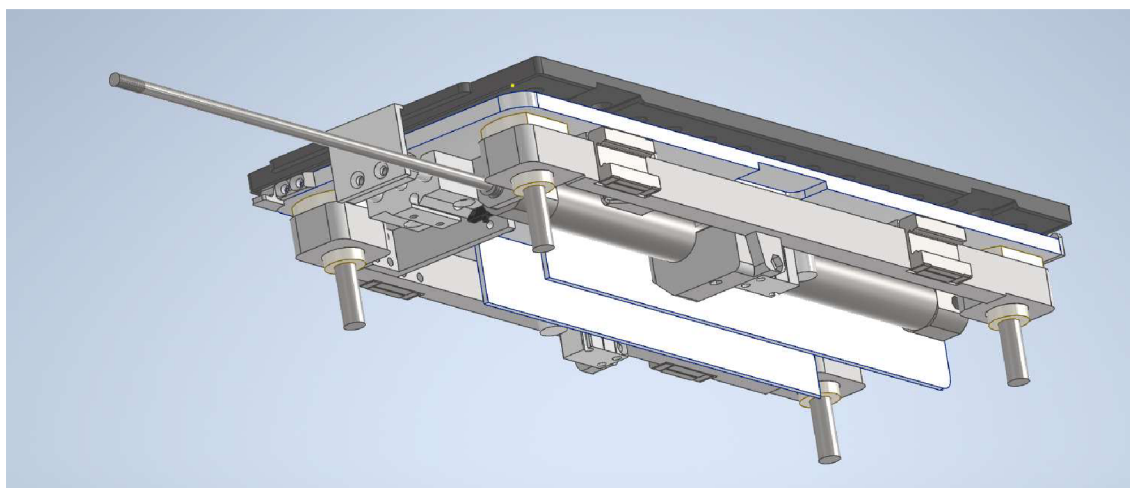
$$T_{M_shut} = (T_{L_shut} + T_{A_shut}) \cdot S_f = (0,1 + 0,39) \cdot 2 Nm = 0,98 Nm \approx 1 Nm \quad (19)$$

Výpočet celkového požadovaného točivého momentu motoru pohonu dopravníku ukazuje, že při dodržení hodnot maximální akcelerace $a_{shut} = 1 \text{ m/s}^2$ a nominálních otáček motoru $N_{M_shut} = 60 \text{ ot./min}$ bude možné použít shodný motor NEMA23 iHSS57-10, jako pro pohon výtahu.

Výpočet bohužel nezahrnuje odpor pohybu e-chainu, který se v závislosti na své vnitřní kabeláži těžko kvantifikuje. Z důvodu opomenutí některých proměnných ve výpočtu byla zvolena hodnota součinitele bezpečnosti $S_f = 2$, namísto např. 1,5.

3.3.7 Výpočet pohonu druhého stupně horizontální osy

Druhý stupeň pohonu horizontální osy je realizován pomocí pístu SMC CJ2ZB16 – 200, u kterého bude v následující podkapitole ověřena vhodnost použití v této aplikaci. Nejprve je nutné vypočítat potřebnou sílu posuvu osy dopravníku, která vychází z hmotnosti modelu na Obr. 38.



Obr. 38 – Sestava druhého stupně posuvu dopravníku

Obr. 38 znázorňuje objekt, který bude poháněn již zmíněným pístem. Hmotnost modelu byla dle jeho fyzikálních vlastností stanovena na $m_{shut2} = 2,7 \text{ kg}$, přičemž tato hodnota již zahrnuje hmotnost čipů. Rovnice (20) a (21) řeší potřebnou sílu vyvinutou hnacím pístem.

$$F_{shut2} = m_{shut2} \cdot g \cdot (\sin(\theta_{shut2}) + \mu_{shut2} \cdot \cos(\theta_{shut2})) = 2,7 \cdot 9,81 \cdot (\sin(0^\circ) + 0,05 \cdot \cos(0^\circ)) \text{ N} = 2,7 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \text{ N} = 5,3 \text{ N} \quad (20)$$

$$F_{act_s2} = F_{shut2} \cdot S_f = 5,3 \cdot 2 \text{ N} = 10,6 \text{ N} \quad (21)$$

| | | |
|------------------|---|-------------------------------------------------------|
| F_{shut2} | – | Síla působící na dopravník při konstantním pohybu [N] |
| m_{shut2} | – | Hmotnost druhého stupně dopravníku [kg] |
| θ_{shut2} | – | Úhel osy druhého stupně dopravníku [°] |
| μ_{shut2} | – | Součinitel tření lineárního vedení [-] |
| F_{act_s2} | – | Žádaná síla vyvinutá pístem pohonu [N] |

Dále je nutné vypočítat sílu, kterou je píst schopen vyvinout, jelikož není uvedena v jeho datasheetu. Teoretický výstup pístu je vypočítán z provozního tlaku připojeného stačeného vzduchu a jeho plochy. Není nutné počítat sílu pístu jak pro vysouvání, tak pro zasouvání vzhledem k tomu, že postačí minimální hodnota vyvinuté síly. Ta je uplatněna právě při zasouvání díky snížené činné ploše pístu. Tímto výpočtem se zabývá následující rovnice (22).

$$F_{act_ss2} = P_{act_ss2} \cdot S_{IN_ss2} = P_{act_ss2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{ss2}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{ss2}^2}{4} \right) =$$

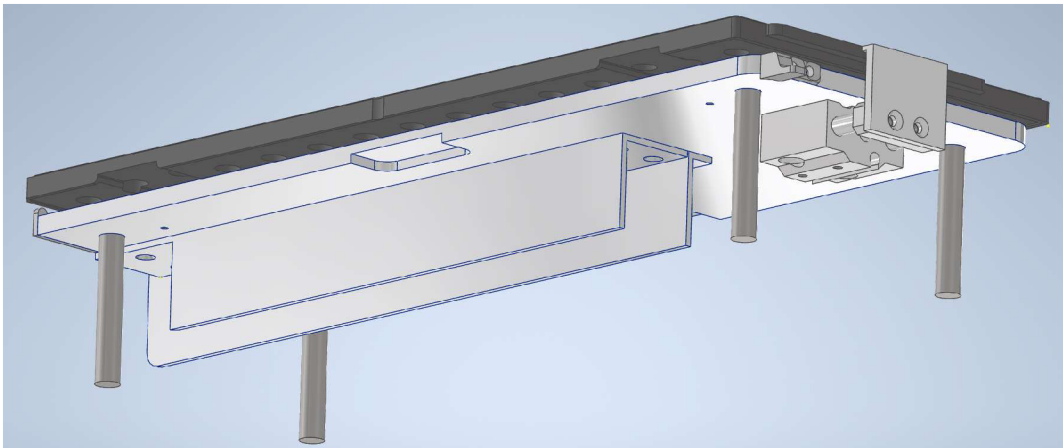
$$500000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} \right) N = 90,7 N \quad (22)$$

| | | |
|----------------|---|--------------------------------------------------------------|
| F_{act_ss2} | – | Teoretická síla zvoleného pístu [N] |
| P_{act_ss2} | – | Pracovní tlak zvoleného pístu [Pa] |
| S_{IN_ss2} | – | Činná plocha zvoleného pístu při zasouvání [m ²] |
| D_{ss2} | – | Průměr pístu [m] |
| d_{ss2} | – | Průměr pístnice [m] |

Z předchozího výpočtu rovnice (22) je zřejmé, že zvolený píst mírou svého teoretického výstupu několikanásobně převyšuje požadovanou sílu. Konfigurace pístu s 16 mm pístem a délkou chodu 200 mm byl zvolen zejména kvůli jeho robustnosti.

3.3.8 Výpočet pohonu prvního stupně vertikální osy

Jak již bylo řečeno, první stupeň výsuvu desky dopravníku slouží k vyzvednutí připraveného platu. Tento pohyb realizuje dvojice jednočinných pístů SMC CDUJB10 – 10S [20], z nichž každý dle datasheetu disponuje teoretickou výstupní silou $F_{act_vshut1} = 18,36 N$. Tato hodnota je vypočtena z rozdílu teoretické výstupní síly pístu a stlačené pružiny. Byla zvolena konfigurace se dvěma písty kvůli rozložení působení síly na desku. Pokud by byl použit píst pouze na jedné straně, celý lineární systém by křížil. Uprostřed desky by nemohl být situován kvůli absenci prostoru pro jeho umístění.



Obr. 39 – Sestava desky dopravníku vertikální osy

Hmotnost desky z modelu na *Obr. 39* byla stanovena dle fyzikálních vlastností včetně hmotnosti čipů na $m_{vs1} = 1,5$ kg. Tato hodnota bude pomocí rovnic (23) a (24) přepočítána na potřebnou sílu pístu pro pohon vertikálního posuvu.

$$F_{vs1} = m_{vs1} \cdot g = 1,5 \cdot 9,81 \text{ N} = 14,72 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_{act_sv1} = F_{vs1} \cdot S_f = 14,72 \cdot 2 \text{ N} \approx 30 \text{ N} \quad (24)$$

| | | |
|----------------|---|---------------------------------------------------|
| F_{vs1} | – | Síla působící na desku při konstantním pohybu [N] |
| m_{vs1} | – | Hmotnost desky vertikální osy [kg] |
| F_{act_sv1} | – | Žádaná síla použitého pístu [N] |

Při použití dvojice pístů, kde každý má sílu $F_{act_vshut1} = 18,36$ N bude výsledná síla rovna dvojnásobku, tedy 36,72 N. Použité písty by měly disponovat dostatečnou silou pro pohon desky prvního stupně vertikální osy i přes zanedbání koeficientu tření lineárního vedení.

3.3.9 Výpočet pohonu výklopných výsuvů

Základem pohonu výklopných výsuvů je dvojčinný píst SMC C55B20-60 [7], který má dle své specifikace sílu při zasouvání $F_{act_vshut2} = 118$ N. Tento píst musí být schopen uzvednout táhla výsuvů, jejich spojnicí a dále také 10 plně obsazených plat společně s deskou vertikální osy desky dopravníku s vodícími tyčemi. Výpočet potřebné síly realizují následující rovnice (25), (26) a (27).

$$m_{vs2} = m_{vs1} + 10 \cdot m_{pp} + m_{vv} = 1,5 + 10 \cdot 0,6 + 0,5 \text{ kg} = 8 \text{ kg} \quad (25)$$

$$F_{vs} = m_{vs2} \cdot g = 8 \cdot 9,81 \text{ N} = 78,5 \text{ N} \quad (26)$$

$$F_{act_sv2} = F_{vs2} \cdot S_{fsv2} = 78,5 \cdot 1,5 = 117,75 \text{ N} \quad (27)$$

| | | |
|----------------|---|-----------------------------------------------------|
| M_{vs2} | – | Celková hmotnost zvedána výklopnými výsuvy [kg] |
| M_{pp} | – | Hmotnost plata s čipy [kg] |
| M_{vv} | – | Hmotnost táhel výklopných výsuvů [kg] |
| F_{vs2} | – | Síla působící na osu při konstantním pohybu [N] |
| F_{act_sv2} | – | Žádaná síla pístu pohonu [N] |
| S_{fsv2} | – | Součinitel bezpečnosti pohonu výklopných výsuvů [-] |

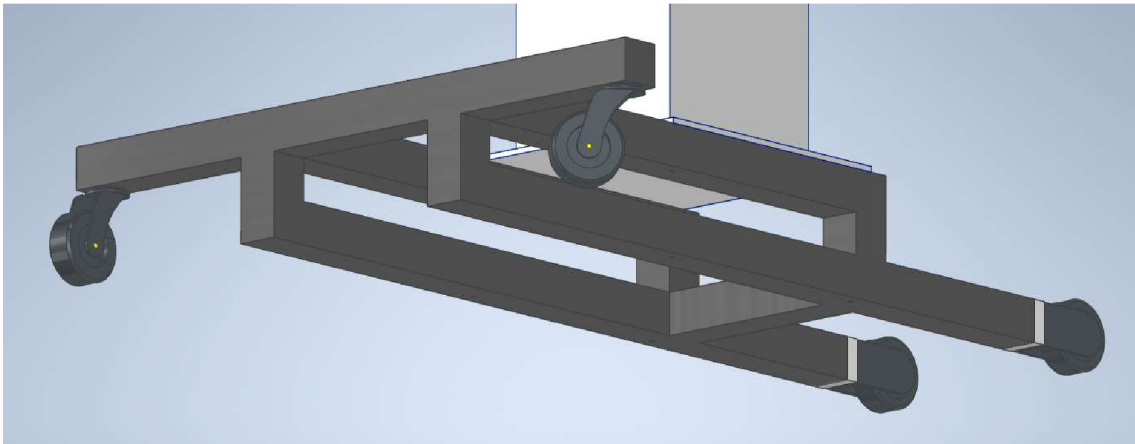
Zvolený píst je vhodný k realizaci pohonu výklopných výsuvů. Z hlediska zajištění stabilní funkčnosti pohonu by bylo vhodné pro dosažení možného součinitele bezpečnosti $S_{fsv2} = 2$ použít o řadu větší píst o průměru 25 mm, který disponuje silou při zajíždění 189 N při pracovním tlaku 5 bar. Takový píst už svými rozměry není vhodný pro integraci do spodní části zásobníku.

3.4 Návrh pojízdné konstrukce se zvedákem

Mobilita celého zařízení je zajištěna pomocí rámové konstrukce umístěné na kolečkách. Tato konstrukce je složena ze dvou dílů, přičemž tyto části propojuje elektronicky poháněný zvedák. Základním stavebním prvkem konstrukce je svařený rám z ocelových čtvercových profilů o rozměru 30x30x2 mm.

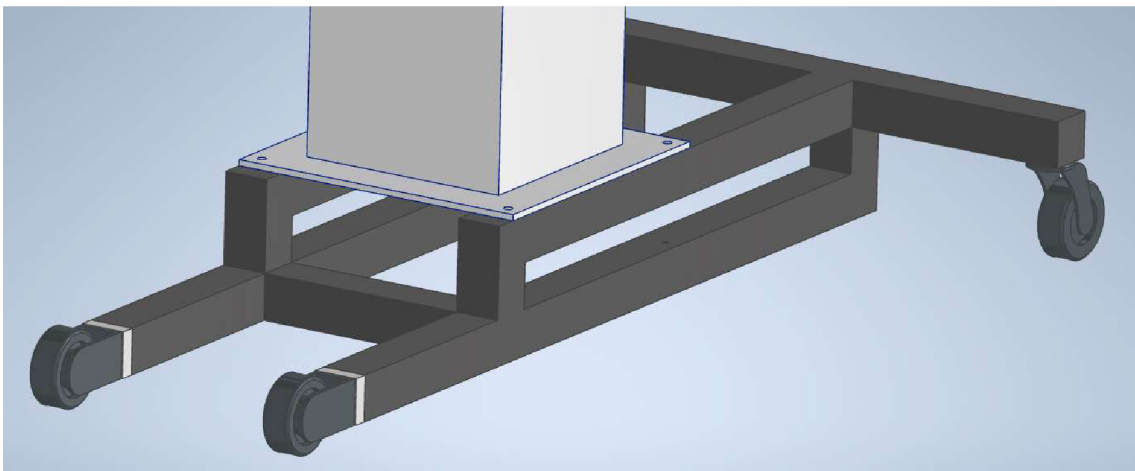
3.4.1 Návrh pojízdné nosné konstrukce

Spodní část konstrukce tvoří zástavbu pro umístění koleček a montáž zvedáku. Tato konstrukce musí být svými opěrnými body stabilní natolik, aby volně stojící podavač plat mimo programovací automat udržel vertikální polohu.



Obr. 40 – Zadní pohled na spodní pojízdnou konstrukci

Na *Obr. 40* je možné pozorovat návrh spodní pojízdné nosné konstrukce. V přední části se nachází dvojice pevných koleček Blicke BRA-TPA 50G o průměru 50 mm [21]. Tato kolečka jsou přišroubována pomocí M10 šroubů k navařeným ocelovým ploškám na čela profilu. Kolečka jsou umístěna v takto protažené pozici kvůli kompenzaci hmotnosti dopravníku vysutého shodným směrem. Jejich velikost umožňuje najetí pod svařený rám programovacího automatu.

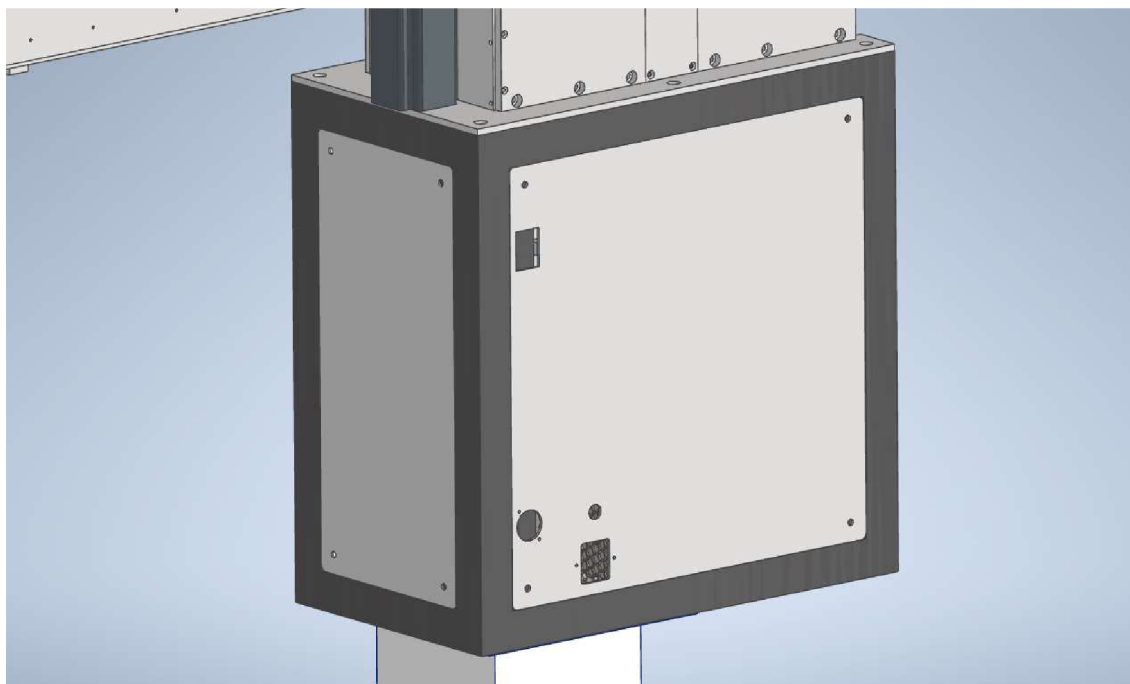


Obr. 41 – Přední pohled na spodní pojízdnou konstrukci

Obr. 41 umožňuje pohled na způsob, jakým je vytvořen výškový rozdíl pro montáž předních a zadních koleček. Výškový rozdíl je nutný vzhledem k volbě otočných brzditelných koleček Blickle LRA-TPA 50G [22] v zadní části konstrukce, která jsou montována vertikálně, nikoliv horizontálně jako je tomu u pevných předních koleček.

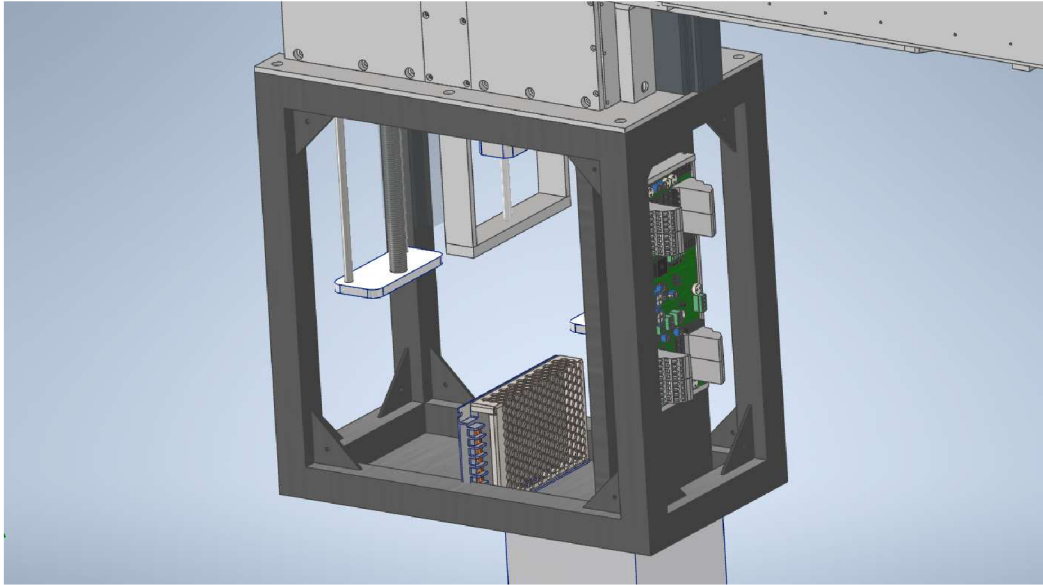
3.4.2 Návrh horní nosné konstrukce

Horní nosná konstrukce je tvořena klecí ze čtvercových ocelových profilů o rozměru 30x30x2 mm, která je ze čtyř stran oplechována odnímatelnými kryty. Její spodní část je zakryta přivařeným plechem. K její horní části je přišroubována ocelová deska o tloušťce 5 mm, na které je usazena již hliníková konstrukce zásobníku podavače. Na *Obr. 42* je vyobrazena horní část nosné konstrukce a bočního plechu s vyříznutými otvory pro konektory připojení stlačeného vzduchu, 230 V AC napájení a Ethernetu. V horní části tohoto plechu se nachází otvor pro vložení kolébkového přepínače, pomocí kterého je ovládán zvedák.



Obr. 42 – Horní nosná konstrukce osazená krycími plechy

Po odejmutí předního panelu je získán přístup k řídicí elektronice a její kabeláži. Za bočními kryty jsou situovány vodící tyče a šroubovice výtahu. Ve střední části pod pístem pohonu výklopných výsuvů je umístěn spínaný zdroj o výkonu 150 W a výstupním napětím 24 V [23]. V přední části konstrukce je po celé délce navařen ocelový plech, který obsahuje ohyby do 90° po delších hranách. Tento plech odděluje řídicí elektroniku od pohyblivých částí. Z jedné strany je k němu přišroubován žlab, ve kterém jsou osazeny desky plošných spojů řídicí elektroniky, a z druhé strany je přišroubován hliníkový pneumatický rozvaděč osazený čtveřicí ventilů Chelic SR-300 [24].

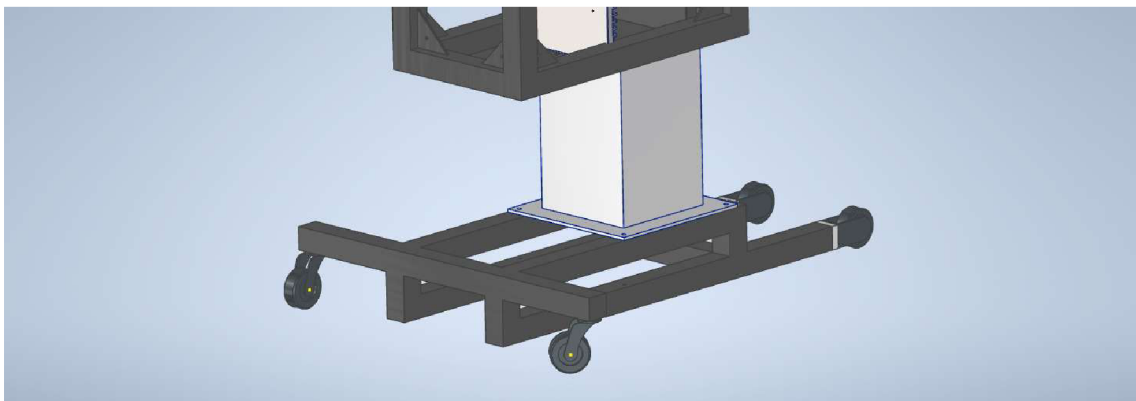


Obr. 43 – Horní nosná konstrukce

Na *Obr. 43* je viditelná odkrytá konstrukce, ve které je osazen spínaný zdroj ve střední části a řídicí elektronika v přední části. Z druhé strany plechu, který drží řídicí elektroniku je situován hliníkový blok s ventily. Toto rozmístění je výhodné z hlediska připojení ovládacích cívek ventilů pomocí jejich originální kabeláže o délce 150 mm s digitálními výstupy řídicí elektroniky.

3.4.3 Integrace zvedáku do nosné konstrukce

Integrace zvedáku do nosné konstrukce je jedním z požadavků při návrhu hardwaru zařízení, protože je potřebný pro pohodlné usazení podavače na aretační kolíky v programovacím automatu. Dalším důvodem použití zvedáku je nekonzistentní výška programovacích automatů kvůli jeho šroubovatelným nožkám. Byl zvolen zvedák tatami s chodem 100 mm a maximální vertikální zatžitelností 100 kg, který je využíván jako komponenta výškově stavitelných stolů, viz *Obr. 44*. Jeho výhodou je jednoduchost použití, jelikož směr posuvu je řešen polaritou napájecího napětí a jeho konstrukce již nevyžaduje žádné další lineární vedení.



Obr. 44 – Integrace zvedáku do nosné konstrukce

4. NÁVRH ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY

Jak již bylo zmíněno, automatický podavač plat je zařízení se dvěma základními motorem poháněnými osami a čtyřmi dodatečnými osami poháněnými pneumatickými válci. Dále je zde značný počet snímačů, ze kterých jsou vyhodnocovány stavy jednotlivých částí zařízení.

4.1 Definování požadavků

Základním požadavkem je napájecí napětí, které je zvoleno na 24 V DC, což je výhodné pro napájení současně jak driverů krokových motorů, tak průmyslových snímačů. 24 V DC je zároveň jmenovité napájecí napětí zvedáku a ventilů pro ovládání pneumatických pohonů.

Řídicí elektronika bude disponovat Ethernetovým rozhraním pro komunikaci s nadřazeným systémem. Rychlost této komunikace není v tomto případě kritickým parametrem.

Digitální vstupy musí být plně opticky odděleny od vnitřních obvodů, resp. vývodů mikrokontroleru. Vstupy budou schopny pracovat s připojeným napětím v rozsahu 5 až 30 V, přičemž bude možné připojit NPN i PNP snímače. Vstup bude ve výchozí konfiguraci PNP, v případě osazení pull-up rezistoru bude možné tento vstup používat jako NPN.

Digitální výstupy budou typu PNP, opticky odděleny a budou disponovat jmenovitým výstupním proudem 2 A. Napětí digitálních výstupů je shodné s napájecím napětím, tedy 24 V.

Řídicí elektronika bude obsahovat mechanický spínací prvek typu relé pro odepínání napájení zvedáku po inicializaci a zadokování zařízení v programovacím automatu, aby nemohlo dojít ke změně pozice během jeho činnosti. *Tab. 3* obsahuje seznam potřebných digitálních výstupů.

Tab. 3 – Seznam ovládaných rozhraní digitálními výstupy

| Název potřebného digitálního výstupu | Napětí [V] | Typ výstupu |
|-----------------------------------------------------|------------|--------------|
| Step driveru pro motor dopravníku | 5 – 24 | PNP nebo NPN |
| Step driveru pro motor výtahu | 5 – 24 | PNP nebo NPN |
| Direction driveru pro motor dopravníku | 5 – 24 | PNP nebo NPN |
| Direction driveru pro motor výtahu | 5 – 24 | PNP nebo NPN |
| Ventil pro ovládání pístu zámku plata | 24 | PNP |
| Ventil pro ovládání horizontálního pístu dopravníku | 24 | PNP |
| Ventil pro ovládání vertikálního pístu dopravníku | 24 | PNP |
| Ventil pro ovládání pístu výklopných výsuvů | 24 | PNP |

Z *Tab. 3* je zřejmé, že je možné všechny periferie napájet 24V digitálními výstupy typu PNP. Vytvoření 24V PNP opticky odděleného digitálního výstupu je výrazně složitější než vytvoření 5V NPN opticky neodděleného digitálního výstupu, kterým je možné ovládat rozhraní driveru motorů. Vstupy driveru jsou opticky oddělené, proto je celkem bezpečné nevyužít optického oddělení na desce řídicí elektroniky pro účely krokování driveru krokového motoru, ale připojit je pouze přes spínací NPN tranzistor. Takové zjednodušení zajistí tu výhodu, že nebude docházet k zásadnímu zvyšování časové konstanty digitálního výstupu vlivem řetězení několika spínacích prvků za sebe, a to zejména optočlenů.

V *Tab. 4* jsou zaznamenány signály, které je potřebné snímat a dále typ použitých snímačů. Bylo by jednodušší využít všechny snímače typu PNP, nicméně některé snímače jsou shodné s těmi používanými v programovacích automatech, kde jsou připojeny do NPN vstupu driveru servomotoru.

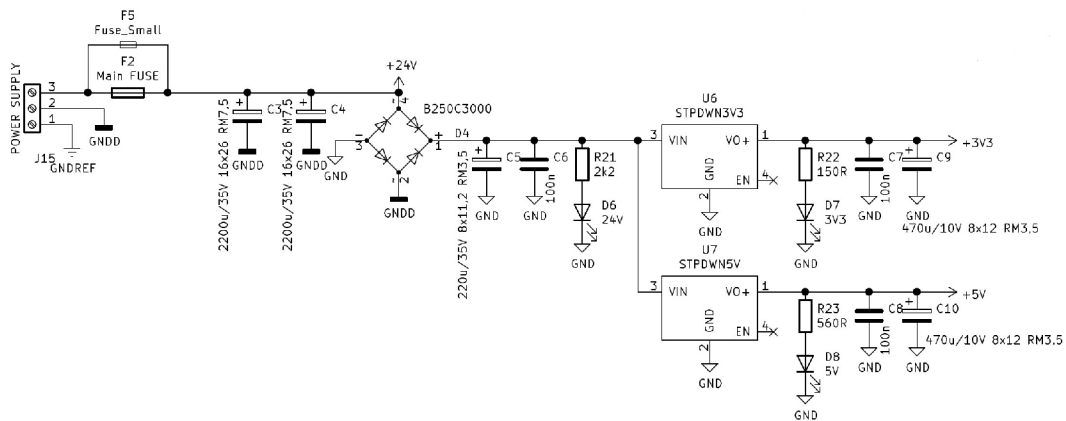
Tab. 4 – Seznam měřených signálů digitálními vstupy

| Název potřebného digitálního vstupu | Napětí [V] | Typ |
|-----------------------------------------------------------|------------|-----|
| Alarm driveru pro motor dopravníku | 5 – 24 | NPN |
| Alarm driveru pro motor výtahu | 5 – 24 | NPN |
| PM-25L – Snímač spodní pozice výtahu | 5 – 24 | NPN |
| PM-25L – Snímač počáteční pozice dopravníku | 5 – 24 | NPN |
| PM-25L – Snímač koncové pozice dopravníku | 5 – 24 | NPN |
| PM-25L – Snímač spodní pozice desky dopravníku | 5 – 24 | NPN |
| EX-14 – Snímač vyčkávací pozice výtahu | 5 – 24 | NPN |
| EX-14 – Snímač vykládací pozice výtahu | 5 – 24 | NPN |
| EX-14 – Snímač plného výstupního zásobníku | 5 – 24 | NPN |
| PSN-05-04 – Snímač tlaku připojeného vzduchu [25] | 12 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice uzavřených dveří | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu výklopných výsuvů 1. | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu výklopných výsuvů 2. | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu uzamknutí plata | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu vertikální osy dopravníku | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu horizontální osy 1. | 5 – 24 | PNP |
| CS-9DN(P) – Snímač pozice pístu horizontální osy 2. | 5 – 24 | PNP |

Z *Tab. 4* je zřejmé, že deska řídicí elektroniky bude muset obsahovat 8 digitálních vstupů typu PNP a 9 digitálních vstupů NPN. Jak již bylo zmíněno, vstupní obvod bude typu PNP a jeho transformace na připojení NPN snímačů bude realizována pull-up rezistorem. Tímto je zajištěna univerzálnost pro snadné změny v použitých snímačích apod.

4.2 Návrh zapojení zdrojů napětí

Deska řídicí elektroniky ke své činnosti vyžaduje napětí 24 V, 5 V a 3,3 V. Snížení napětí je zajištěno dvojicí DC-DC step-down měničů napětí [26], ve schématu jsou označeny U6 a U7, které dosahují výrazně vyšší účinnosti než lineární regulátory napětí. Napětí 5 V je využíváno ke spínání optočlenů digitálních výstupů, vstupů Step motorových driverů a dále i k napájení mikrokontroleru. Napětí 3,3 V napájí všechny periferie připojené na společné I2C sběrnici, viz *Obr. 45*.



Obr. 45 – Schéma zapojení napájecí části

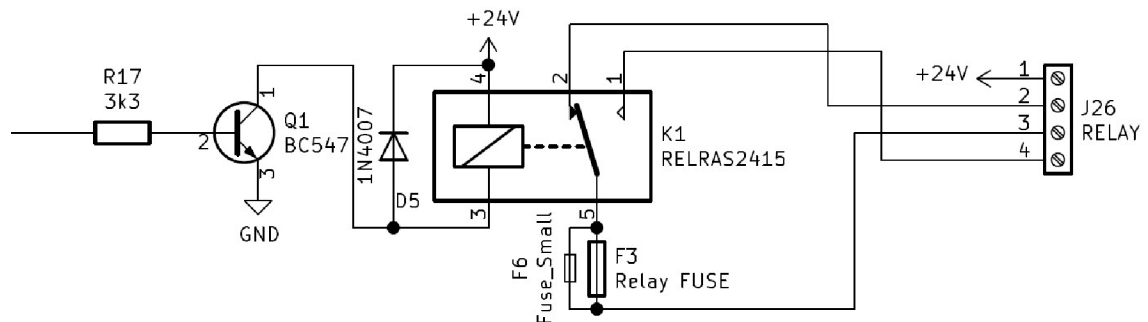
Na *Obr. 45* je ke vstupní svorce J15 je připojeno napájecí napětí 24 V ze spínaného zdroje zařízení, jeho zem a kostra zařízení. Napájecí napětí je vedeno skrz hlavní pojistku Shurter MS series 003 1.7601 označenou F2 [27], nebo Littelfuse 0154001.DR označenou F5 [28], kde při osazování mohou být použity dva typy pojistkových pouzder a tato konstrukce je využita i v dalších částech návrhu. Zajištění stabilního napájecího napětí je realizováno dvojicí filtračních kondenzátorů C3 a C4 o kapacitě 2200 μF [29], jelikož deska řídicí elektroniky je využívána i k připojení napájení driverů krokových motorů. Ochrana proti přepólování a zničení logické části je řešena diodovým můstkem D4 [30], který v případě otočení napěťové polaritě na vstupní svorce propustí v každém případě napětí o shodné polaritě. Pokud by došlo k záměně polaritě, došlo by k pouhému zničení elektrolytických filtračních kondenzátorů, pokud tomuto stavu nezamezí hlavní pojistka.

Indikace správnosti funkce napájecí části desky řídicí elektroniky je zajištěna trojicí LED D6, D7 a D8. Tyto LED svítí stabilně, pokud jsou dodržena v jejich místech všechna napětí 24 V, 5 V a 3,3 V. Podle změny jejich aktuálního stavu lze přibližně snadno a rychle diagnostikovat správnou funkci napájecí části bez potřeby využití měřicího přístroje.

DC-DC měniče s řídicím obvodem MP2315GJ [31] mají na svých vstupech a výstupech osazeny filtrační a blokovací kondenzátory pro stabilizaci jejich funkce a minimalizaci zvlnění výstupního napětí. Jejich využití zamezí problémům s rušením na sběrnících apod. Doporučený kontinuální výstupní proud měniče je 1 A, přičemž je krátkodobě zatížitelný až do 3 A.

4.3 Návrh zapojení s relé

Zvedák automatického podavače má jmenovitý proud 2 A. Teoreticky by tento zvedák mohl být napájen digitálním výstupem, nicméně kvůli zamezení zničení výstupního tranzistoru např. proudovou špičkou, byla zvolena varianta se spínacím relé. Relé bylo zvoleno Sun Hold typ RAS-24-15 [32] a jak již označení napovídá, jmenovité napětí jeho spínací cívky je 24 V a jeho jmenovitý spínací stejnosměrný je proud 15 A. Díky dlouhým periodám mezi jednotlivými spínáními cívky a velké rezervě proudové zatížitelnosti je zajištěna dlouhá životnost tohoto prvku.



Obr. 46 – Schéma zapojení relé se spínacím tranzistorem

Po připojení napětí 3,3 V IO pinem mikrokontroleru na rezistor R17 začne téct proud do báze tranzistoru Q1, který je jeho vlivem otevřen. Napětí mezi jeho kolektorem a emitorem se poté blíží nule a dojde ke zvýšení napětí na cívce relé z limitní nuly na limitní napájecí napětí, tedy 24 V. Vlivem vytvořeného magnetického pole vybuzením spínací cívky relé dojde k přepnutí mechanických kontaktů uvnitř relé. Napájení zvedáku je připojeno do svorky J26 na pin 2 anebo 4 podle toho, jestli má být NO nebo NC, kde musí současně dojít i k propojení pinů 1 a 3 v případě použití napájení 24 V, viz Obr. 46. Pokud by měl být použit zvedák s jiným jmenovitým napětím, je nutné na pin 3 připojit toto napětí externě. Spínací kontakt relé a ostatní prvky připojené prvky jsou chráněny pojistkou F3. Výpočet bázového odporu a vhodnosti použití tranzistoru BC547C [33] je řešen pomocí rovnic (28), (29) a (30).

$$I_C = \frac{U_{CC}}{R_R} = \frac{24}{1600} = 15 \text{ mA} \quad (28)$$

$$R_{B_max} = \frac{U_B - U_{BE}}{I_C} \cdot h_{21_min} = \frac{3,3 - 0,7}{15} \cdot 420 = 72,8 \text{ k}\Omega \quad (29)$$

$$I_{B_3k3} = \frac{U_B - U_{BE}}{R_B} = \frac{3,3 - 0,7}{3,3} = 0,79 \text{ mA} \quad (30)$$

| | | |
|--------------|---|-------------------------------------------------------------|
| I_C | – | Nominální proud cívky, kolektorový proud [A] |
| U_{CC} | – | Napájecí napětí pro spínání relé [V] |
| R_R | – | Jmenovitý odpor cívky relé [Ω] |
| R_{B_max} | – | Maximální bázový odpor při minimálním h_{21} [Ω] |
| U_B | – | Bázové napětí před bázovým rezistorem [V] |

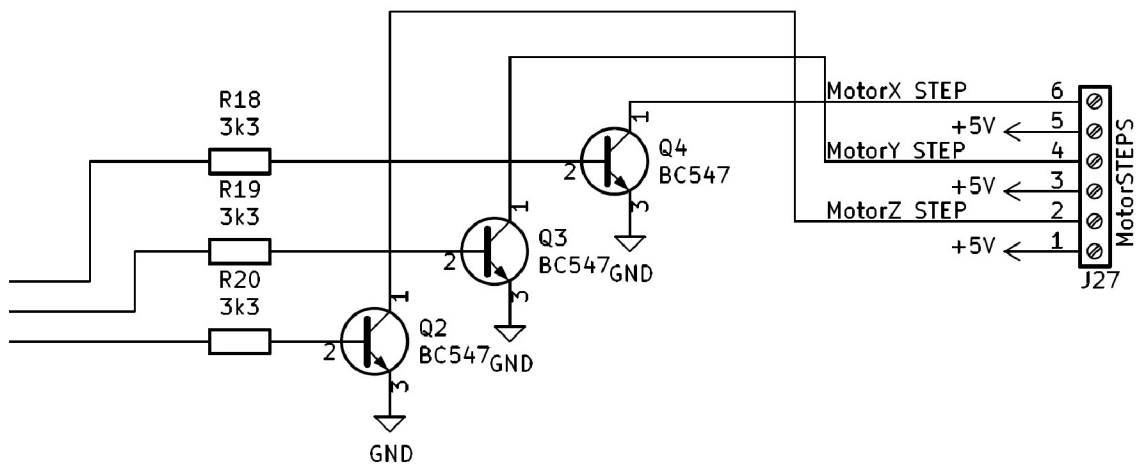
- U_{BE} – Napětí báze – emitor [V]
- R_B – Volený bázevý odpor [Ω]
- $I_{B,3k3}$ – Bázevý proud při použití bázevého odporu 3,3 k Ω [A]

Z rovnic (28), (29) a (30) je zřejmé, že pokud je tranzistor BC547C schopen kontinuálního proudu kolektorem 100 mA, je možné s velkou rezervou spínat proud 15 mA. Dále je zde vypočtena největší možná hodnota bázevého rezistoru. Při zvolení bázevého rezistoru 3,3 k Ω je bázevý proud menší než 1 mA a je zde vždy dosaženo dostatečného proudového zesílení pro sepnutí cívky relé.

Jelikož je spínána zátěž induktivního charakteru, která disponuje proudovou setrvačností, je nutné po rozepnutí spínacího tranzistoru vybit naakumulovanou energii v magnetickém poli cívky relé. Toto vybití je realizováno diodou D5 1N4007 [34] zapojenou v závěrném směru v sepnutém stavu spínacího tranzistoru. Při rozepnutí tranzistoru se cívka relé chová jako zdroj proudu o opačné polaritě napětí než v režimu spotřebiče a poté se dioda nachází v propustném směru. Tímto zapojením je zajištěna ochrana spínacího tranzistoru, u kterého poté není riziko proražení velikou napěťovou špičkou vytvořenou v důsledku situace proudového zdroje a jeho nekonečně velké zatěžovací impedanci.

4.4 Návrh zapojení krokovacích digitálních výstupů

Pro krokování driverů krokových motorů, které mají NPN vstupní opticky oddělené vstupy je využíváno zapojení se spínacími tranzistory vyobrazené na Obr. 47.

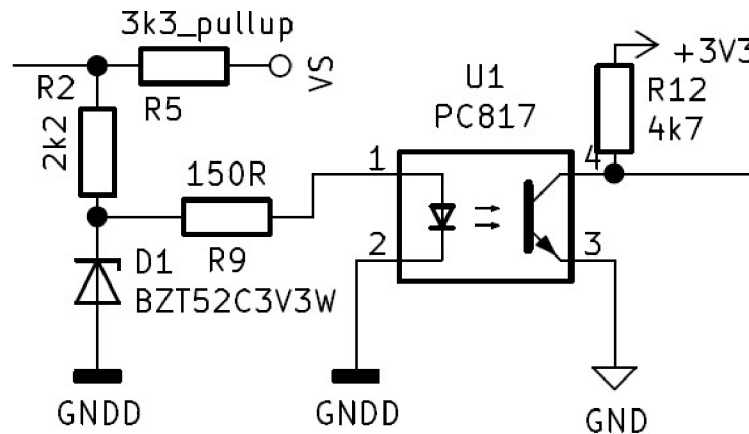


Obr. 47 – Schéma zapojení stepovacích digitálních výstupů

Výpočet bázevých rezistorů je obdobný jako v případě spínání relé, jelikož jsou použity naprosto stejné tranzistory BC547C a proud kolektorem je přibližně 15 mA při spínání optočlenů na vstupech driverů. Každý kanál má svůj vývod 5 V, pomocí tranzistoru je vstup driveru přizemňován a cyklickým opakováním vznikají budící pulzy.

4.5 Návrh zapojení digitálních vstupů

Hlavním prvkem tohoto zapojení je optočlen PC817 [35], který zajišťuje galvanické oddělení vnitřních a vnějších obvodů. Do uzlu vnější části mezi rezistory R2 a R5 je přivedeno vstupní nominální napětí 24 V. Rezistor R2 a Zenerova dioda D1 BZT52C3V3W tvoří stabilizátor napětí, který zajišťuje ochranu budicí části optočlenu proti přepětí [36]. Takto upravené napětí na nominálních 3,3 V napájí vstup optočlenu přes rezistor R9, kde dojde k sepnutí fototranzistoru, který přizemní pull-up digitální vstup mikrokontroleru, viz *Obr. 48*.



Obr. 48 – Schéma zapojení digitálního vstupu

Rovnice (31) a (32) řeší výpočet rezistorů R2 a R9, kde R2 je předřadný odpor stabilizátoru a R9 předřadný rezistor budicí diody optočlenu.

$$R_{opt} = \frac{U_{Zener_nom} - U_{opt_nom}}{I_{opt_nom}} = \frac{3,3 - 1,2}{20} = 105 \, \Omega \quad (31)$$

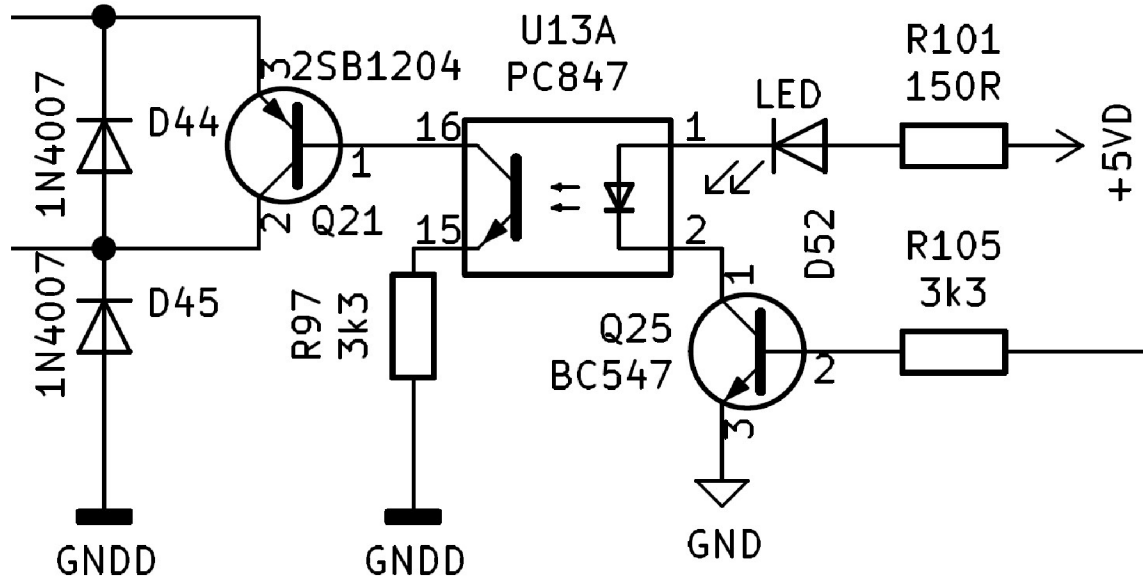
$$R_{Zener} = \frac{U_{IN_nom} - U_{Zener_nom}}{I_{opt_nom} + I_{Zener}} = \frac{24 - 3,3}{20 + 5} = 828 \, \Omega \quad (32)$$

| | | |
|------------------|---|----------------------------------------------|
| R_{opt} | – | Předřadný odpor optočlenu R9 [Ω] |
| R_{Zener} | – | Předřadný odpor stabilizátoru R2 [Ω] |
| U_{Zener_nom} | – | Nominální napětí Zenerovy diody [V] |
| U_{opt_nom} | – | Nominální napětí vstupní diody optočlenu [V] |
| I_{opt_nom} | – | Nominální proud vstupní diody optočlenu [A] |
| I_{Zener} | – | Nominální proud Zenerovy diody [A] |
| U_{IN_nom} | – | Nominální vstupní napětí [V] |

Jelikož je optočlen schopen pracovat s výrazně nižším budicím proudem než 20 mA, tj. v řádu jednotek mA, byly hodnoty rezistorů pro větší bezpečnost zvýšeny. Předřadný rezistor optočlenu byl zvětšen z teoretických 105 Ω na praktických 150 Ω. U stabilizačního odporu bylo zvýšení více než dvojnásobné, a to na 2,2 kΩ. I s tímto vysokým nárůstem hodnot je vstup schopen bezpečně spínat v rozsahu od 5 do 45 V.

4.6 Návrh zapojení digitálních výstupů

Digitální výstupy typu PNP jsou opět opticky odděleny optočlenem od vnitřní části. Ve vnitřní části obvodu, tedy vpravo od optočlenu na Obr. 49 je vyobrazen spínací tranzistor BC547C, u kterého je bázový odpor zvolen obdobně jako u předchozích jeho zapojení, jelikož se jedná o srovnatelný spínaný kolektorový proud.



Obr. 49 – Schéma zapojení digitálního PNP výstupu

Sepnutím tranzistoru Q25 dojde ke snížení napětí U_{CE} limitně na nulu a na sériovém zapojení předřadného rezistoru R101, indikační LED D52 a budící části optočlenu je připojeno téměř 5 V. Tím je rozsvícena LED D52 a vybuzen optočlen, který následně sepne výstupní fototranzistor. Sepnutím fototranzistoru je uzemněna báze a začne téct bázový proud přes bázový rezistor R97. V důsledku bázového proudu je otevřen PNP tranzistor 2SB1204 [37] s označením Q21, který zajistí propojení digitálního výstupu (pin 2 tranzistoru Q21) s napájecím napětím (pin 3 tranzistoru Q21). Diody v závěrném směru D44 a D45 zajišťují vybití naakumulované energie ve spínané indukční zátěži, tj. cívky ventilů, relé apod. Rovnice (34) a (35) řeší výpočet bázového rezistoru R97 a výpočet předřadného rezistoru R101 realizuje rovnice (33).

$$R_{101} = \frac{U_{+5VDC} - U_{LED} - U_{opt_nom}}{I_{opt_nom}} = \frac{5 - 2 - 1,2}{20} = 90 \, \Omega \quad (33)$$

$$R_{97_min} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{OUT_opt_nom}} = \frac{24 - 0,7}{50} = 466 \, \Omega \quad (34)$$

$$R_{97_max} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{OUT_max}} \cdot h_{21_2SB12} \quad \text{min} = \frac{24 - 0,7}{2} \cdot 140 = 1631 \, \Omega \quad (35)$$

| | | |
|-------------|---|----------------------------------------------------|
| R_{101} | – | Předřadný odpor optočlenu a diody D52 [Ω] |
| U_{+5VDC} | – | Napájení buzení vstupu optočlenu a indikátoru [V] |
| U_{LED} | – | Jmenovité napětí indikační diody D52 [V] |

| | | |
|-------------------------|---|---------------------------------------------------------------|
| R_{97_min} | – | Minimální bázový odpor spínacího tranzistoru Q21 [Ω] |
| R_{97_max} | – | Maximální bázový odpor spínacího tranzistoru Q21 [Ω] |
| $I_{OUT_opt_nom}$ | – | Nominální výstupní proud optočlenu [A] |
| I_{OUT_max} | – | Maximální výstupní proud, kolektorový proud [A] |
| $h_{h21_2SB1204_min}$ | – | Minimální proudové zesílení tranzistoru Q21 řady S [-] |

Rovnice (33) ukazuje, že předřadný rezistor R101 by měl mít hodnotu 90 Ω . Jelikož je optočlen velmi dobrý ve spínání i menším budicím proudem, je tato hodnota zvolena na 150 Ω , aby bylo možné použít stejný rezistor jako v případě digitálních vstupů. Výpočet maximální hodnoty bázového rezistoru R97 ukazuje na 1631 Ω . Tento výpočet počítá s výstupním, resp. kolektorovým proudem maximálně 2 A, a minimálním proudovým zesílením tranzistoru. Jelikož v automatickém podavači není zařízení, které bylo potřeba napájet digitálním výstupem o vyšším výstupním proudu než 1 A, byla zvolena hodnota bázového rezistoru 3,3 k Ω , aby šly využívat shodné hodnoty součástek napříč celou řídicí elektronikou.

4.7 Výběr komponent

V této kapitole bude popsán výběr tří základních komponent řídicí elektroniky, což je mikrokontroler, IO Expander a Ethernet modul.

4.7.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler byl zvolen modul s ESP32 DevkitC [38], jelikož je ve firmě využíván v ostatních projektech. Jeho výhodou je dvoujádrový procesor, možnost komunikace přes sběrnice I2C, SPI a UART. V neposlední řadě je jeho výhodou nízká cena v řádu jednotek dolarů. Nevýhodou je nízký počet využitelných IO pinů, které by nezasahovaly do stabilní funkce mikrokontroleru.

4.7.2 IO Expander

Vzhledem k požadavku na vysoký počet vstupně výstupních digitálních pinů je nutné využít takový obvod, který zajistí jejich rozšíření. Dostupnými a snadno integrovatelnými IO Expandery, které vyhovují požadavkům na 16 IO pinů, 3,3V napájení a I2C rozhraní, jsou např. TCA9555 [39], PCA9555 [40] či PCF8575 [41]. PCA9555 a TCA9555 disponují možností konfigurování kontrolního registru který řeší, zda je IO pin realizován jako vstup či výstup. PCF8575 tento registr neobsahuje, jelikož jeho IO porty jsou obousměrné a je možné zároveň porty použít jako vstup i výstup současně bez potřeby jejich konfigurace. Tento konkrétní IO Expander byl použit v modulu během prototypování a zároveň i ve finálním řešení.

4.7.3 Ethernet modul

Pro komunikaci desky řídicí elektroniky s nadřazeným systémem bude využíváno Ethernetové rozhraní. Existují dvě základní možnosti, jak realizovat Ethernetové připojení řídicí elektroniky. Prvním z nich je použití integrované rozhraní RMI v mikrokontroleru ESP32, které by bylo schopné dosáhnout rychlosti připojení až 100 Mbps a možnosti DMA. Nevýhodou je použití devíti pinů mikrokontroleru. Další nevýhodou je složitá realizace fyzické vrstvy tohoto rozhraní, která vyžaduje ethernetový transceiver RMI na MDI, transformátorové oddělení a RJ45 konektor [42].

Druhá varianta realizace Ethernetového připojení je použití převodníku Ethernet na SPI. Tyto převodníky jsou vyráběny i jako hotové moduly se všemi potřebnými komponentami [43]. Takovým je například modul s čipem W5500 [44], který jako celek lze zakomponovat do řídicí desky přes SPI sběrnici. Jeho velkou výhodou je jednoduchost výroby řídicí desky s takto předpřipraveným modulem. Tyto moduly dosahují rychlosti připojení 10 nebo 100 Mbps a obsahují buffer o velikosti 32 kB. Připojení tohoto modulu vyžaduje pouze 4 piny mikrokontroleru tvořící SPI rozhraní, přičemž dva z těchto pinů mohou být společné pro další Slave zařízení na této sběrnici.

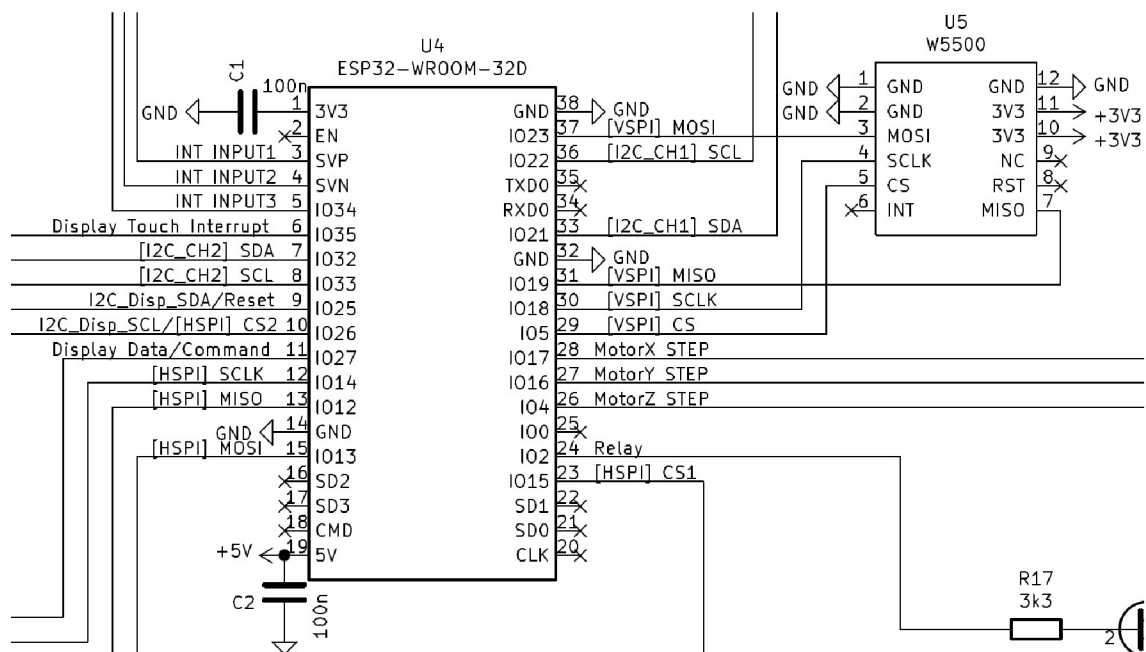
Elegantnějším řešením z hlediska korektnosti využívání potenciálu použitých komponent je lepší první uvedená varianta s rozhraním RMI. Z hlediska výrobní jednoduchosti a rychlé realizace Ethernetového připojení mikrokontroleru k nadřazenému systému je lepší ta varianta s převodníkem Ethernet – SPI vyrobeným jako hotový modul. Jelikož není hlavním předmětem této práce návrh fyzické vrstvy Ethernetu, byl použit Ethernetový modul s čipem W5500.

4.8 Zapojení mikrokontroleru a Ethernet modulu

V této kapitole bude řešeno zapojení modulu mikrokontroleru ESP32 v rámci všech jeho pinů. Jak již bylo zmíněno, bez rozšíření IO pinů pomocí expanderů by nebylo možné tento mikrokontroler použít jako řídicí modul elektroniky automatického dávkovače plat. Tyto expandery jsou připojeny na I2C sběrnici, přičemž expandery digitálních vstupů mají oddělený samostatný kanál I2C od těch realizujících digitální výstupy. Tímto způsobem je možné adresovat dvakrát třemi bity. Zapojení poté zahrnuje možnost osazení osmi vstupními a osmi výstupními šestnácti portovými IO expandery. Potom je teoretická rozšiřitelnost digitálních portů až do 128 digitálních vstupů a 128 digitálních výstupů.

První kanál I2C, který je zároveň výchozím na tomto mikrokontroleru, je připojen k vývodům IO21 pro SDA a IO22 pro SCL. K prvnímu kanálu je připojen IO Expander realizující rozšíření digitálních výstupů. Druhý kanál I2C je realizován na pinech IO32 pro SDA a IO33 pro SCL, přičemž na druhý kanál bude připojen IO Expander rozšiřující digitální vstupy.

Krokovací rozhraní pro buzení vstupů Step krokových driverů je připojeno k pinům IO17, IO16 a IO04, přičemž jeden krokovací výstup právě na IO04 je záložní.



Obr. 50 – Schéma zapojení mikrokontroleru ESP32 a Ethernet modulu

Ethernet modul s čipem W5500 je připojen k mikrokontroleru pomocí sběrnice VSPI. VSPI je jednou ze dvou SPI sběrnic mikrokontroleru ESP32. Tento modul využívá piny IO23 pro MOSI, IO19 pro MISO, IO18 pro hodinový signál SCLK a IO05 pro Chip Select. Chip Select by mohl být teoreticky nezapojen a tím i ušetřen jeden IO pin mikrokontroleru, nicméně tento pin je rezervován knihovnou pro komunikaci s Ethernet modulem a využít pro jiné účely potom nelze. Napájení Ethernet modulu je shodné s napětím SPI sběrnice realizované mikrokontrolerem, tedy 3,3 V viz *Obr. 50*.

Spínací relé, které umožňuje znemožnění pohybu zvedáku po zadokování zařízení do programovacího automatu, je připojeno k pinu IO02 přes spínací tranzistor.

Dále se zde nachází trojice vstupů připojených k vývodům IO36 (SVP), IO39 (SVN) a IO34. Tuto trojici společně s IO34 lze použít pouze jako digitální vstupy. Jelikož je potřeba snímat 17 digitálních vstupů a IO Expander jich řeší jen 16, je potřeba některé další vytvořit přímo na pinech mikrokontroleru. Tyto vstupy mají tu výhodu, že je na nich možné realizovat přerušování procesoru na základě změny jejich stavu a tím je zde možnost snímání časově kritických signálů, které by při aktivním čekání mohly být nezachyceny.

Druhý kanál SPI, tedy HSPI, je vyveden na samostatný deseti pinový konektor pro připojení dalších periférií, jako například dotykového displeje apod. Do nějž jsou přivedeny další IO piny mikrokontroleru, které by v případě připojeného displeje realizovaly přepínání displeje a dotykové plochy pomocí Chip Select, dále pak signál o přerušení od dotykové plochy a v neposlední řadě přepínání Data/Command. Tyto vývody lze různě kombinovat či částečně osadit. Například některé displeje vyžadují připojení dotykové plochy přes I2C, nebo lze použít pouze I2C displej bez dotyku. Daný konektor je zkrátka univerzálním rozhraním v případě nutného rozšíření řídicí elektroniky o další SPI/I2C periferie oddělené od těch rezervovaných pro výše zmíněné účely.

4.9 Návrh desky plošných spojů řídicí elektroniky

Vzhledem k vysokému počtu součástek a absenci modulárnosti či univerzálnosti této řídicí elektroniky by bylo výhodné návrh rozdělit do několika samostatných částí. Elektronika by byla složena z jedné hlavní a několika vedlejších desek. Vedlejší desky by představovaly samostatné moduly realizující například digitální vstupy, digitální výstupy, převodníky, zkrátka jakékoliv rozhraní připojitelné na společnou I2C sběrnici v případě potřeby. Tato konkrétní realizace, resp. řídicí deska automatického dávkovače plat, si vystačí s jednou hlavní deskou, jednou vedlejší deskou s šestnácti digitálními vstupy a jednou vedlejší deskou s šestnácti digitálními výstupy.

Hlavní deska bude obsahovat veškeré zbývající komponenty popsané v předchozích kapitolách mimo vstupů a výstupů realizovaných přes IO Expandery. Té se týká Ethernet modul, napájecí část, relé, 10 pinové bonusové rozhraní, trojice digitálních vstupů, krokovací rozhraní pro tři motorové drivery a mikrokontroler.

Je výhodné umístit těchto několika desek za sebe do žlabu s drážkami pro DPS o tloušťce 1,6 mm, které zajišťují snadnou montáž. Pro lepší univerzálnost způsobu použití této elektroniky by bylo zároveň výhodné, kdyby jednotlivé desky bylo možné montovat i nad sebe. Z toho je jasné, že pro takový způsob řetězení desek je vhodné, aby jednotlivé desky byly nejen shodně vysoké, ale i shodně široké. Výška desek je dána rozměrem žlabu, který pojme desky o výšce, resp. délce 110 mm.

Spojování desek ve žlabu bude realizováno pomocí dvojitých úhlových pin lišt. Jejich umístění bude realizováno tak, aby k hlavní desce bylo možné symetricky připojovat přidružené desky a aby byly kompatibilní z obou stran. Vedlejší desky budou realizovány jako průchozí, tedy aby za ně bylo možné připojovat další desky. Jak již bylo výše zmíněno, teoretická rozšiřitelnost této řídicí elektroniky je 8 desek se vstupy či výstupy z každé strany na jednu hlavní desku s mikrokontrolerem. Poté je omezujícím kritériem pouze rychlost obsluhy a proudová zatíženost cest a pin lišt na této hlavní desce.

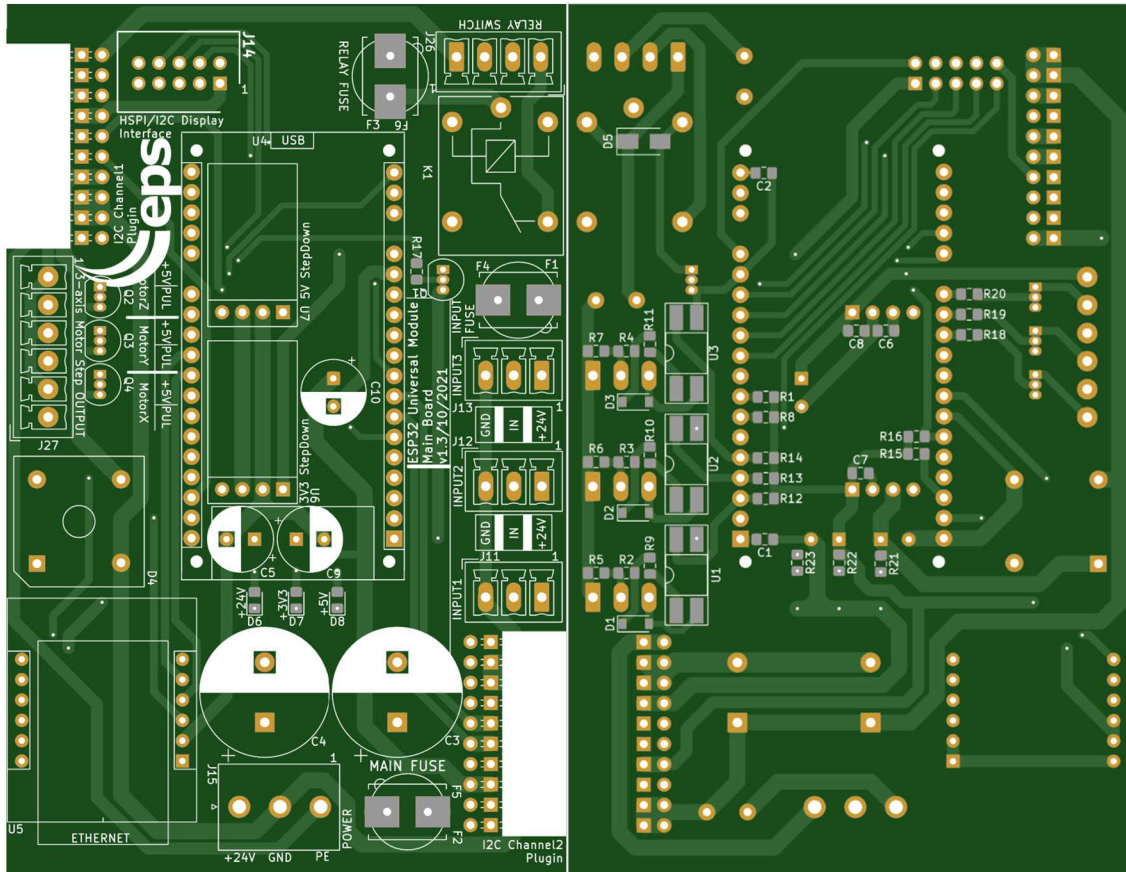
Mezi deskami bude distribuována I2C sběrnice obsahující signály SDA a SCL, Dále zde bude rozváděno napájení 24 V, 5 V, 3,3 V, zem vnitřních obvodů, zem vnějších obvodů a kostra. Kostra je zde připojena z důvodu možného využití v ostatních firemních projektech k uzemnění např. vodivých konektorů, či distribuci tohoto potenciálu na ESD plastové díly apod.

Nesporná výhoda tohoto systému je ta, že pokud dojde k defektu na jednom z komponentů, který by byl neopravitelný, je možné vyměnit pouze defektní dílčí desku a ne všechny, jako by tomu bylo při návrhu na společnou desku. Další výhodou je rozšiřitelnost v případě použití této řídicí elektroniky v jiných firemních projektech.

Její nevýhodou je, že kvůli vysokému počtu použitých pin lišt je omezena využitelná plocha desky a tím je celá sestava desek větší, než by tomu bylo v případě desky společné.

4.9.1 Návrh hlavní desky s mikrokontrolerem

Na Obr. 51, přičemž vlevo se nachází horní a vpravo spodní pohled, je možné sledovat návrh desky plošných spojů hlavní desky s mikrokontrolerem ESP32, který je situován do středu této desky a je zasouván do dutinkových lišt. Pod ním je umístěna dvojice DC-DC měničů pro 5V a 3,3V napájení z 24 V. V jejich blízkosti jsou umístěny filtrační kondenzátory.



Obr. 51 – Návrh hlavní desky s mikrokontrolerem

Ve spodní části uprostřed se nachází šroubovací svorkovnice pro připojení napájení celé řídicí elektroniky. Nad ní je umístěna dvojice filtračních kondenzátorů C3 a C4 vstupního napájecího napětí. Hlavní pojistka F2 tohoto napájení je vpravo od této svorkovnice. Mezi DC-DC měniči a hlavní pojistkou je umístěn diodový můstek D4, který je kvůli zahřívání vlivem proudu situován mimo půdorys mikrokontroleru.

V levém spodním rohu je umístěn Ethernet modul, který je připájen k řídicí desce pomocí pin lišt a jak již bylo zmíněno, je k němu přivedena SPI sběrnice a 3,3V napájení.

Nad diodovým můstkem je šestipinová svorkovnice sloužící k připojení krokovacího rozhraní pro ovládání Step driverů krokových motorů. Vpravo od ní je trojice spínacích NPN tranzistorů realizujících toto rozhraní.

Připojení desek vstupů a výstupů je realizováno přes dvojité úhlové dutinkové lišty umístěné v levém horním a pravém spodním rohu. Tyto konektory jsou svým

rozhraním shodné, avšak každý z nich realizuje samostatný I2C kanál.

V pravé části se nachází trojice třipinových svorkovnic, které tvoří tři digitální vstupy s možností snímání pomocí přerušení. Na spodní straně pod těmito svorkovnicemi je umístěna trojice optočlenů. Tyto tři pinové svorkovnice mají klasické připojovací rozhraní limitních snímačů, tedy 24 V napájení, signál a zem. Tyto vstupy mají společnou pojistku.

Nad těmito svorkami je situováno relé a jeho čtyřpinová svorkovnice sloužící k odpojení napájení zvedáku. Spínací kontakt relé je chráněn pojistkou. U všech použitých pojistek platí, že je možné osadit buď vývodovou nebo SMD variantu pojistkového držáku.

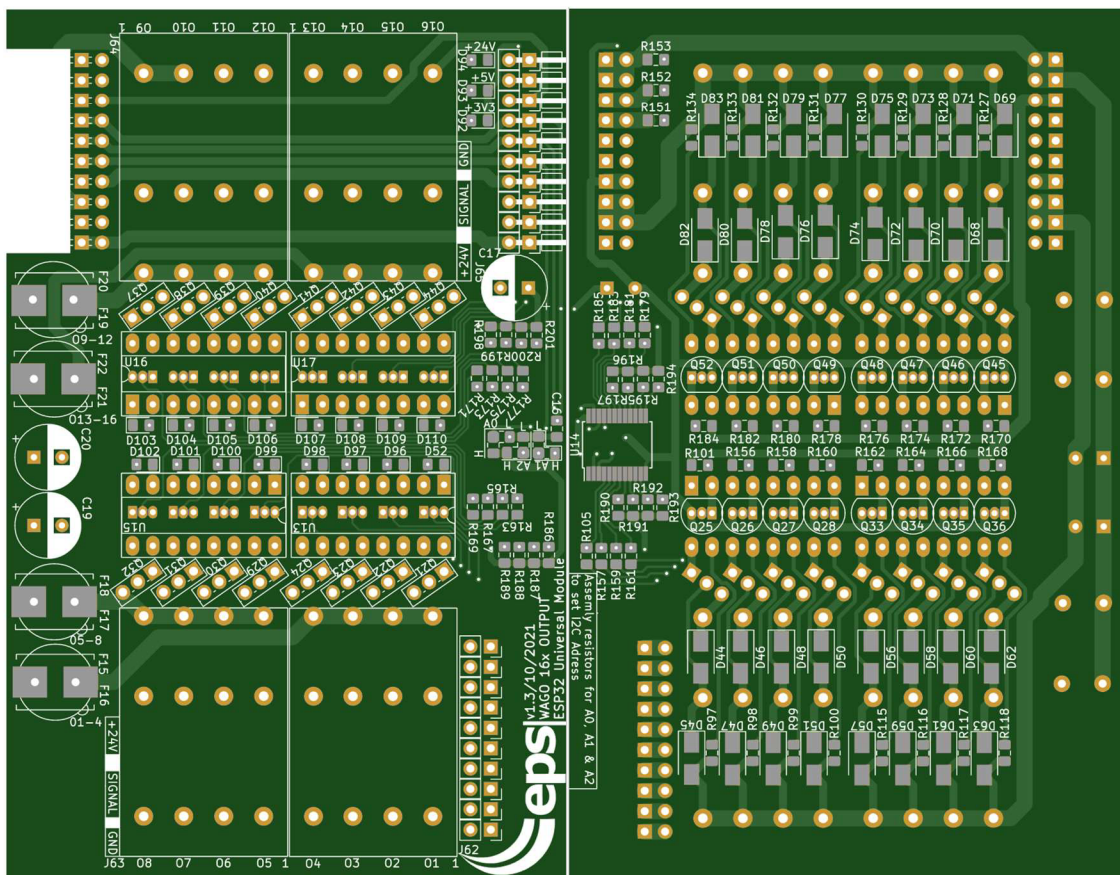
V levé horní polovině je umístěn desetipinový konektor Molex C-Grid III [45] realizující připojení přídavných periférií přes druhý kanál SPI či třetí kanál I2C. Jelikož má ESP32 pouze dva I2C řadiče, při použití tohoto rozhraní by poté nemohl být použit jeden z kanálů připojovaných k bočním deskám. Nicméně jak je výše uvedeno, je možné připojit například dotykový displej, či SPI snímače apod.

4.9.2 Návrh desky digitálních výstupů

Rozšiřující deska bude obsahovat 16 digitálních výstupů. Jádrem této realizace je IO Expander PCF8575 umístěn na spodní straně desky. Tento IO Expander obsahuje tříbitové adresování na I2C sběrnici. Adresa je nastavena pomocí trojice plošek u každého z adresních bitů, kde je adresní vstup IO Expanderu buď připojen k napájecímu napětí 3,3 V či k zemi. Logickou kombinací těchto úrovní vzniká adresa rozšiřující desky.

Digitální výstupy jsou rozděleny do čtyř segmentů po čtyřech digitálních výstupech. Každý tento segment má samostatnou dvanáctipinovou Wago svorkovnici 737-104 [46] a pojistku. Na každý segment také připadá společný čtyřkanálový optočlen PC847 [47]. Na desce jsou výstupy situovány tak, že se na nich nachází 8 na horní a 8 na spodní straně desky. Tomuto uspořádání jsou přizpůsobeny zároveň i spínací tranzistory, optočleny, indikační LED apod. Signály jsou symetricky rozváděny od IO Expanderu, viz *Obr. 52*. Deska je rozdělena na signálovou část v pravé a střední části. Silová napájecí část je situována u pojistek v levé části, kde je rozváděno napájení digitálních výstupů.

Jak již bylo zmíněno, rozšiřující desky jsou připojovány k hlavní desce pomocí dvojité úhlové pin lišty. Každá rozšiřující deska obsahuje pokračování tohoto rozhraní v podobě dvojité úhlové dutinkové lišty na odvrácené straně od připojovací pin lišty, na které může být připojena další z rozšiřujících desek. Lze si povšimnout, že deska má v pravé spodní části nikam nepřipojenou dvojitou přímou pin lištu. Ta slouží k propojování mezi deskami, pokud by jejich sestava nebyla s deskami vedle sebe, ale nad sebou. Slouží k přenesení připojovacího rozhraní druhého kanálu na tu v další úrovni, nebo jednoduše k poskytnutí vyšší stability montáže vertikálně sestavovaných desek.



Obr. 52 – Návrh desky s šestnácti digitálními výstupy

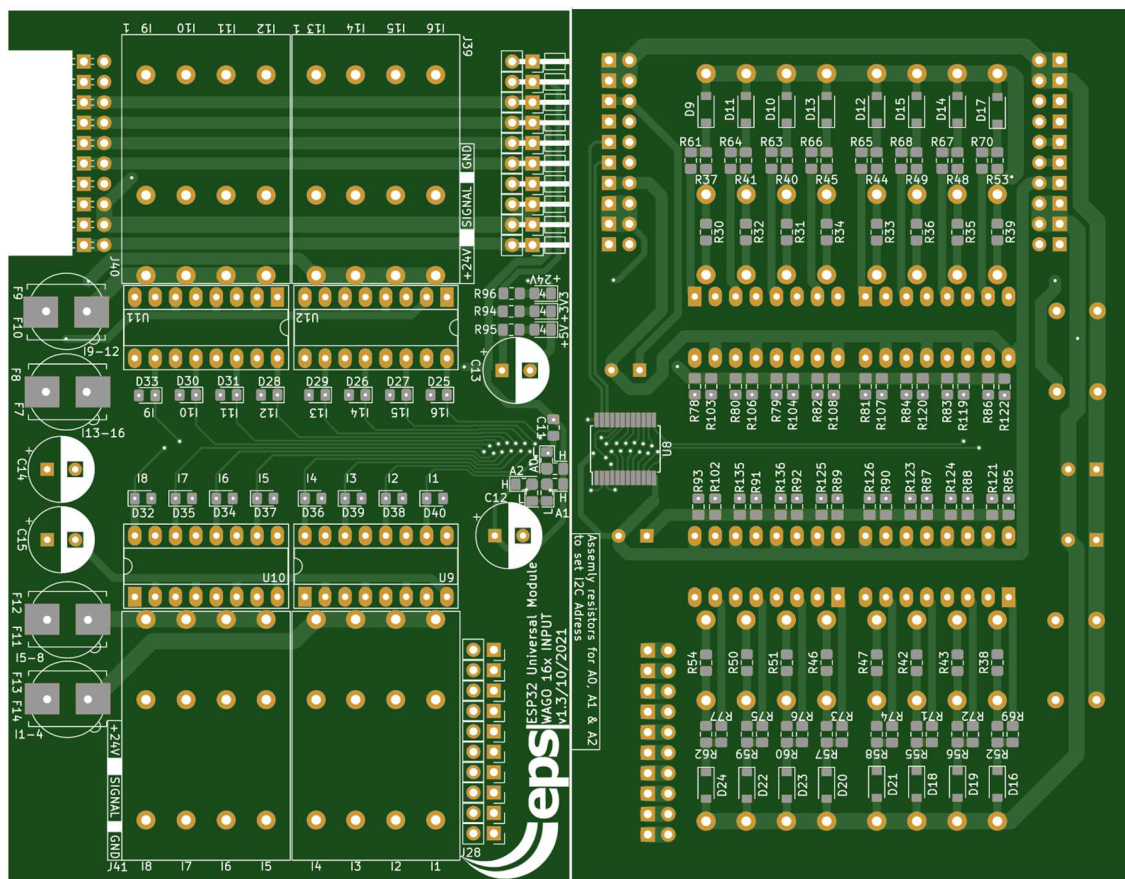
Na desce jsou mimo jiné osazeny filtrační kondenzátory pro 24V napájení C19 a C20 a 3,3V napájení C17. Pojistky jednotlivých segmentů digitálních výstupů jsou umístěny v pravé části desky. Opět platí že je možné osadit jak vývodové, tak SMD provedení pojistkových pouzder.

Jednotlivé segmenty digitálních výstupů tedy obsahují svorkovnice se třemi řadami a jsou umístěny nejbližší ke kraji desky. Pod nimi na spodní vrstvě jsou umístěny vybíjecí diody. Dále jsou zde pod úhlem umístěny spínací tranzistory 2SB1204, aby bylo možné dodržet rozměry desky. Následují optočleny PC847, které jsou zasazeny do patič DIP-16. Aby bylo možné dodržet rozměry desky, spínací tranzistory optočlenů byly umístěny z druhé strany desky. Toto řešení má tu nevýhodu, že jejich plošky se nachází pod paticemi optočlenů. Tranzistory musí být osazeny dříve než patice a v případě defektu jednoho z nich je výrazně snížena pravděpodobnost jejich úspěšné výměny. Ve středu desky jsou podélně ve dvou řadách umístěny indikační LED, které jsou rozsvíceny v případě logické 1 na digitálním výstupu. Z druhé strany desky jsou umístěny předřadné rezistory k těmto LED.

V blízkosti úhlové dvojitě pin lišty jsou umístěny LED pro indikaci napájecího napětí 3,3 V, 5 V a 24 V. Tyto LED slouží k rychlé diagnostice v případě potíží s řídicí elektronikou bez nutnosti použití měřicího přístroje.

4.9.3 Návrh desky digitálních vstupů

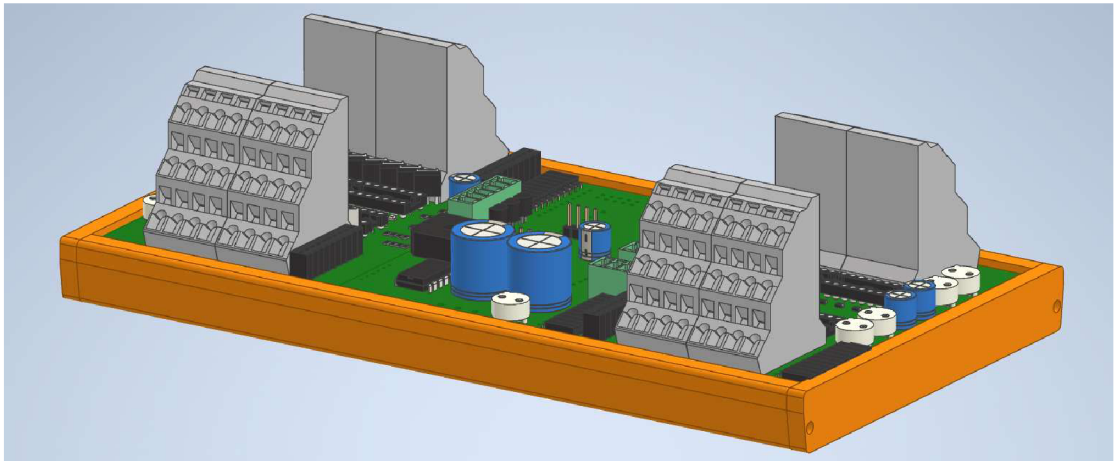
Řešení desky s digitálními vstupy je v podstatě obdobný jako u desky digitálních výstupů. Rozhraní pin lišt je naprosto shodné, a to stejné platí i pro rozmístění svorkovnic, pojistkových pouzder, optočlenů, indikačních LED a IO Expanderu. Díky absenci spínacích tranzistorů je počet součástek značně zredukován a návrh této desky je značně jednodušší než v případě desky digitálních výstupů, viz *Obr. 53*.



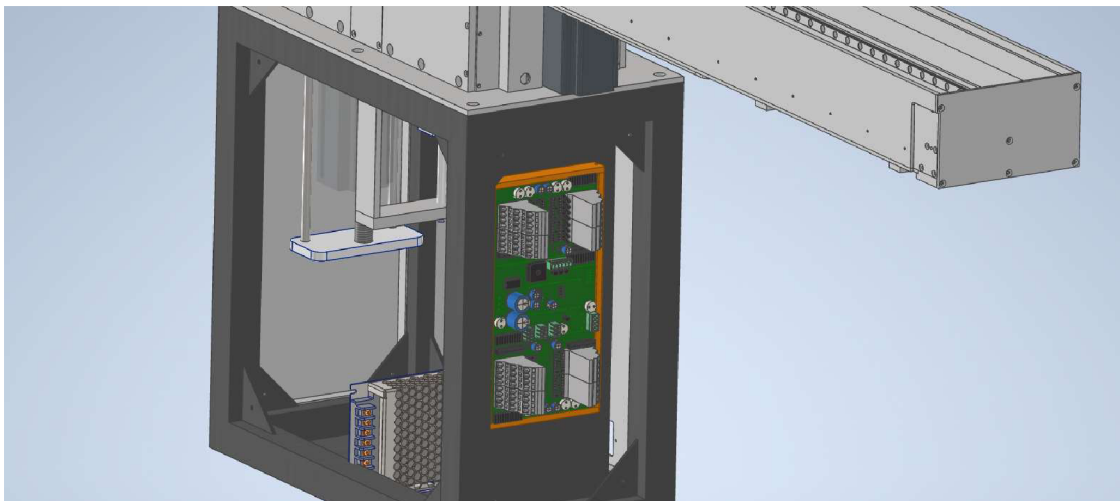
Obr. 53 – Návrh desky s šestnácti digitálními vstupy

4.9.4 Sestava desek

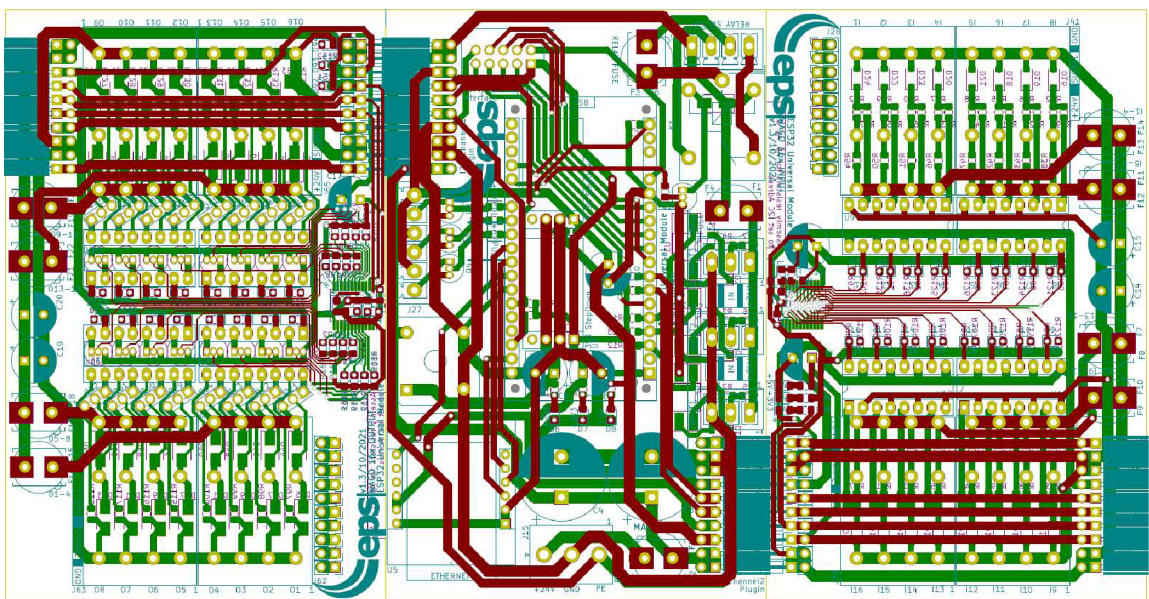
Na *Obr. 54* je vyobrazena sestava desek ve žlabu. *Obr. 55* vyobrazuje sestavu desek se žlabem umístěna v kostře automatického dávkovače plat. Na *Obr. 56* je zobrazen layout sestavených desek. Nachází se zde hlavní deska uprostřed a desky s digitálními vstupy a výstupy od ní na každé straně. Na *Obr. 54* a *Obr. 55* si lze povšimnout provedení třířadých dvanácti pinových Wago svorkovnic. Sestava umístěna v kostře poté s minimální výškovou rezervou vychází právě na toto místo. Výškové omezení pro uložení sestavy desek plyne právě z použitých Wago svorkovnic.



Obr. 54 – Předběžný náhled uložení desek ve žlabu



Obr. 55 – Způsob montáže desky řídicí elektroniky v kostře



Obr. 56 – Layout sestavených desek

5. REALIZACE ŘÍDICÍ ELEKTRONIKY

Následující kapitola stručně popisuje postup výroby a konstrukci řídicí elektroniky.

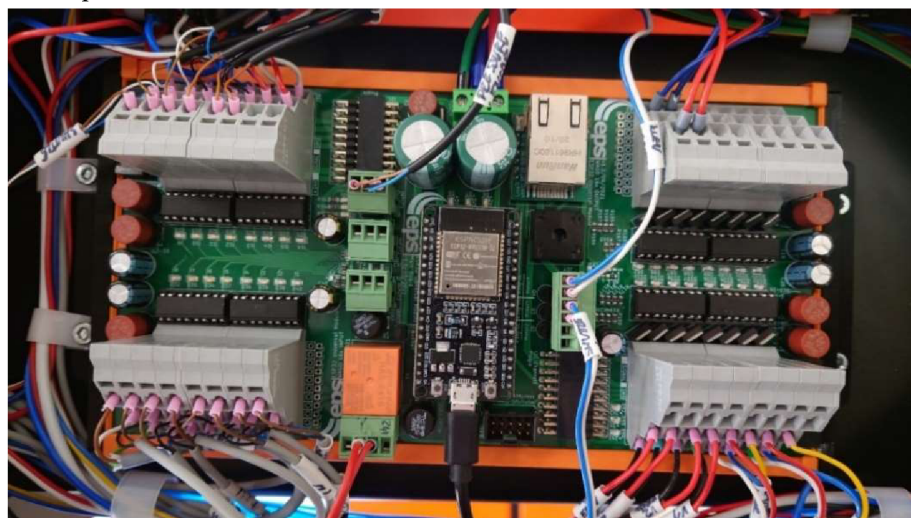
5.1 Osazení desek plošných spojů

Desky plošných spojů byly osazeny nejprve SMD součástkami pomocí horkovzdušné pájecí stanice a pájecí pasty. Následovalo osazení vývodových součástek pomocí pájecího hrotu. Nakonec byly desky vyčištěny v ultrazvukové čističce v isopropyl alkoholu.

5.2 Umístění desek do žlabu

Jednoduchost montáže elektroniky je zajištěna 110mm žlabem, který je připevněn pomocí dvou plastových úchytů k plechu. Uprostřed je umístěna hlavní deska, na které je osazen mikrokontroler ESP32, Ethernet převodník, relé, zdroje pulzů pro tři osy a tři digitální vstupy s možností přerušení. K této desce je připojeno napájení 24 V DC a ochranný vodič, pokud by jej některá s přidružených desek v budoucnu vyžadovala. Na zmíněné desce se rovněž nachází hlavní pojistka T4A hned za vstupem napájení.

Vlevo na *Obr. 57* se nachází modul s šestnácti digitálními vstupy, ke kterým je připojeno 14 snímačů a alarmy dvojice motorových driverů. Vpravo je situován modul s šestnácti digitálními výstupy, ke kterým jsou připojeny cívky elektromagnetických ventilů a řídicí signály pro motorové drivery. Z této desky jsou také motorové drivery napájeny, jelikož každý segment se čtyřmi digitálními výstupy je chráněn samostatnou pojistkou T2A. Tento přístup je obdobný i u modulu digitálních vstupů, které mají T1A na každou čtveřici vstupů. Desky jsou vzájemně propojeny pomocí dvojitého úhlového pin lišt. Zdvojení distribuce napájení a I2C sběrnice napříč deskami zaručuje vyšší spolehlivost a proudovou zatížitelnost.



Obr. 57 - Deska řídicí elektroniky v montážním žlabu

6. REALIZACE HARDWARU

V následující kapitole je popsán postup výroby zařízení. Podkapitoly se věnují jak montáži mechanické části, tak zapojení elektroniky a pneumatiky.

6.1 Konstrukce kostry

Kostrou jsou myšleny dva svařené železné díly, které tvoří nosný rám zařízení. Mezi spodním a horním dílem je umístěn zvedák, který je přišroubován čtveřicí šroubů M5 ke spodní a horní části. Ten byl usazen do pozice až po kompletaci celého zbytku zařízení, aby bylo zajištěno umístění do jeho těžiště. Ke spodnímu rámu jsou přišroubovány dvě otočná kolečka s brzdou a dvě pevná přední kolečka. Horní část rámu je osazena ze čtyř stran krycími plechy, z nichž je každý přišroubován čtveřicí šroubů M5, které jsou snadno odnímatelné za účelem údržby či servisu. K hornímu dílu je z vrchní strany přišroubována železná deska, která je základem celého zařízení a dodává rámu dodatečnou pevnost. Ze spodní strany je navařen krycí plech, který obsahuje průchodku na kabel od zvedáku, viz *Obr. 58*.

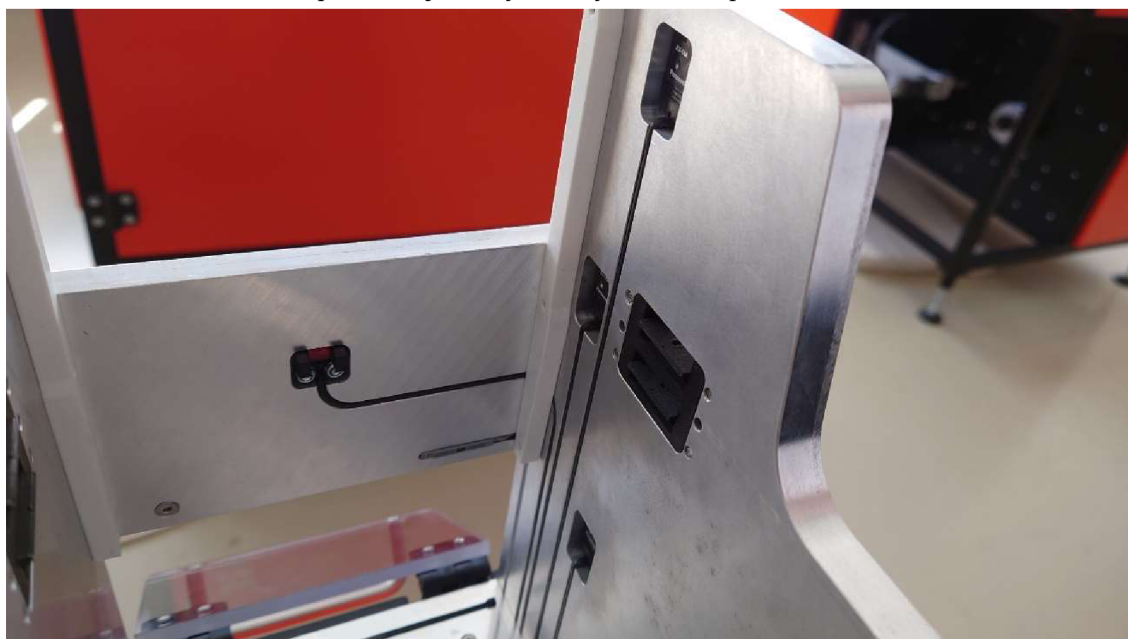


Obr. 58 - Sestavený automatický dávkovač plat

6.2 Konstrukce zásobníku

Zásobník je tvořen třemi hlavními díly, kterými je dvojice bočnic a spodní deska. Bočnice jsou pomocí šroubů a kolíků přimontovány k této spodní desce. Na vnitřní straně bočnice je přimontována trojice snímačů pozic dopravníku Panasonic EX14 pomocí M2 šroubů. Pro zvýšení pevnosti je nad dveřmi umístěna dodatečná deska spojující obě bočnice. V této desce se nachází limitní snímač otevřených dveří a koncový snímač polohy

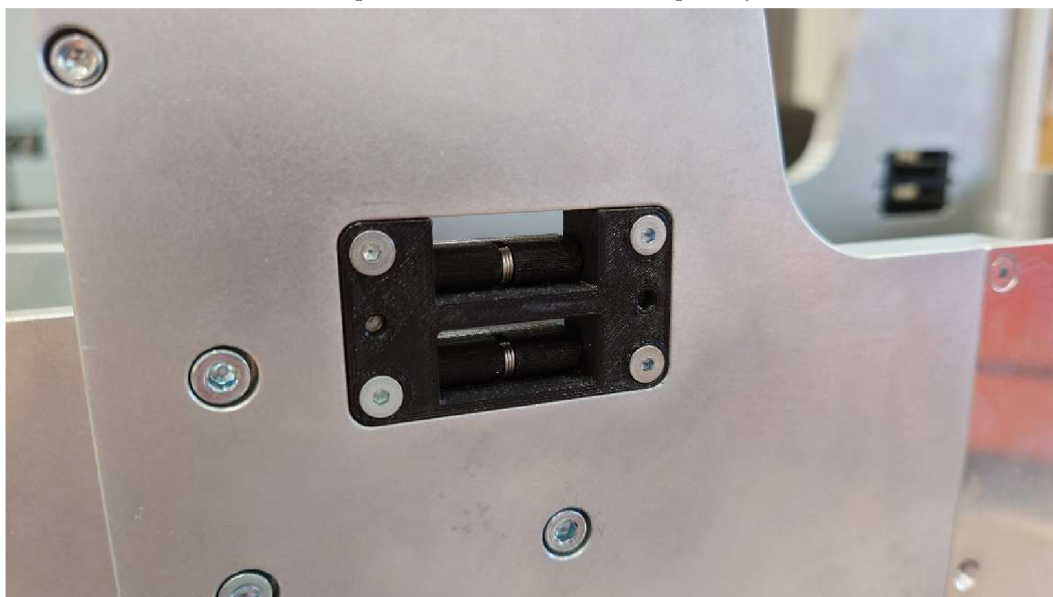
dopravníku. Kabely od snímačů jsou vedeny zapuštěnými drážkami do kostry, kudy jsou vedeny k řídicí elektronice. Na bočnicích jsou zároveň umístěny i vodící lišty ve přední a zadní části zásobníku, přičemž jsou vyrobeny z PETG plastu, viz *Obr. 59*.



Obr. 59 - Pohled na vnitřní stranu zásobníku

6.2.1 Sestavení výklopných zobáčků

Výklopné zobáčky jsou tvořeny pouzdem a dvojicí pacek. Packy jsou nasunuty na kolíkách o průměru 3 mm a délce 30 mm. Uprostřed jsou situovány zkrutné pružiny se dvěma a půl závity. Jedna část pružiny je zasunuta do pouzdra a druhý konec do díry v pace. Celá sestava pouzdra s výklopnými zobáčky je poté vložena do vyfrézovaných pozic v bočnicích zásobníku a přišroubována čtveřicí zápusťných šroubů M3, viz *Obr. 60*.



Obr. 60 - Sestava výklopných zobáčků

6.2.2 Sestavení dvířek spodního zásobníku

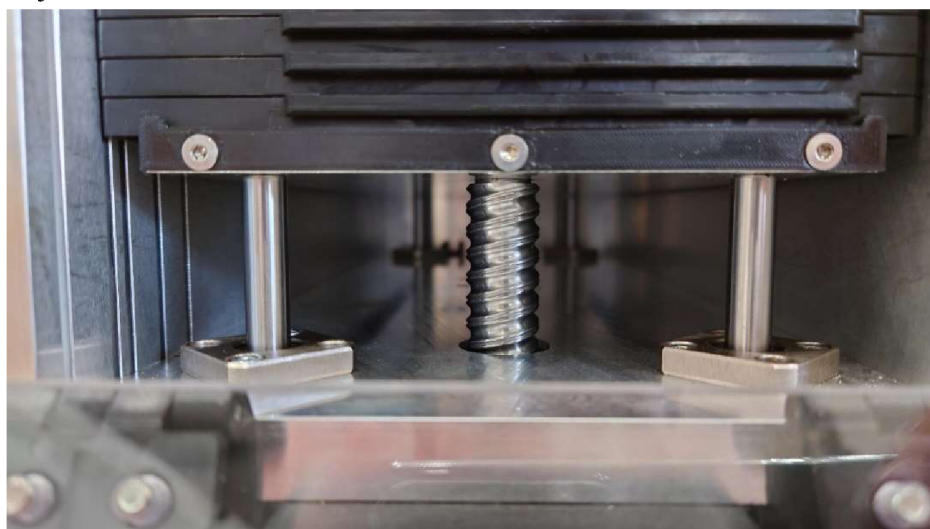
Dvířka spodního zásobníku jsou vyrobeny z ESD polykarbonátu o tloušťce 6 mm. Dvířka jsou přišroubována ke dvojici pantů skrze závity M4 v polykarbonátu a na druhé straně v hliníkové desce. K polykarbonátové desce dvířek je přišroubováno přes magnety se zápusťí kovové madlo o standardní rozteči 96 mm. Na pravé straně slouží magnet k aretaci dvířek v uzavřené poloze a na opačné straně ke snímání pozice dvířek magnetickým limitním snímačem, viz *Obr. 61*.



Obr. 61 - Dvířka spodního zásobníku

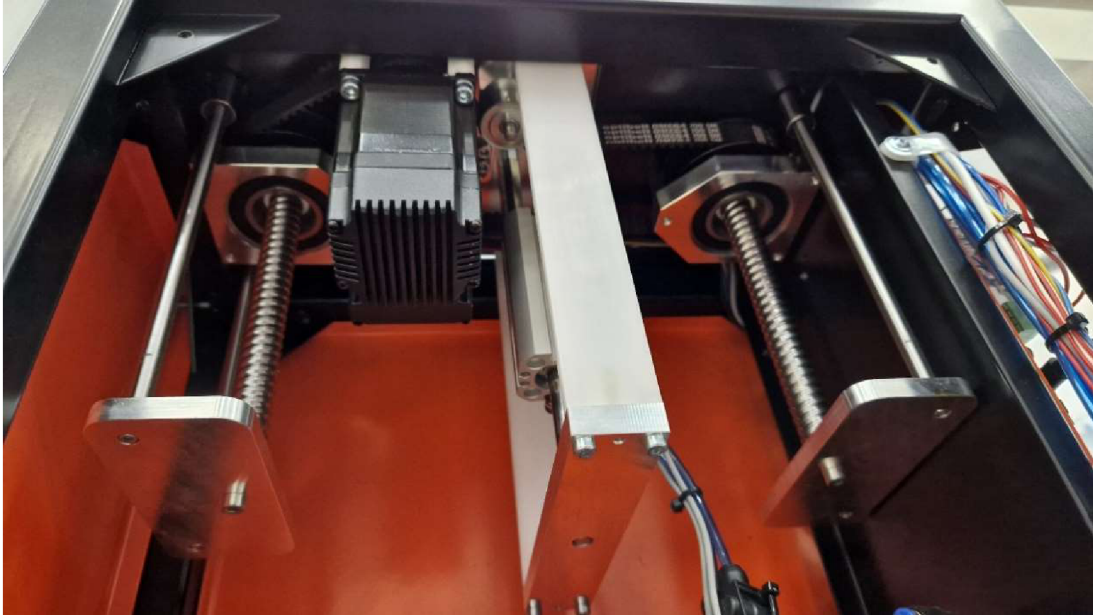
6.3 Konstrukce osy výtahu

Osa výtahu je tvořena horní deskou, dvojicí šroubovic a čtveřicí vodicích tyčí, viz *Obr. 62*. Tyče a šroubovice jsou přišroubovány k této horní desce. Na opačné straně ve spodní části je vždy jedna ze šroubovic spojena s dvojicí vodicích tyčí, které díky tomu kompenzují kroucení.



Obr. 62 - Lineární vedení a šroubovice osy výtahu

Vodící tyče jsou vedeny ve dvojitych kuličkových pouzdech, které jsou pro dlouhý chod výhodnější než jednořadé. Pro hladký chod je nutné utáhnout montážní šrouby kuličkových pouzder a tyčí vždy v koncových pozicích osy. Tím je dosaženo souososti jednotlivých elementů lineárního vedení.



Obr. 63 - Pohon a vedení osy výtahu ze spodního pohledu

Dalším prvkem osy výtahu je její pohon. Ten je tvořen synchronním řemenovým rozvodem, viz *Obr. 63*. Každou šroubovici posouvá kuličková matice uložená v hnané řemenici a ložisku. Tyče jsou z pohledu rotačního pohybu statické, ale v lineárním pohybu jsou vertikálně posouvány s konstrukcí výtahu. Kuličková matice je k řemenici připevněna pomocí šroubů. Ložiska kuličkových pouzder jsou umístěny v domečkách, které jsou přišroubovány k železné základně pomocí distančních sloupků. Další řemenice, tedy hnací, se nachází na hřídeli krokového motoru. Motor je obdobně jako ložiskové domečky přišroubován k železné základně přes distanční sloupky. Posledním prvkem řemenového synchronního rozvodu je hladká napínací řemenice umístěna na vnější straně řemenu. Napínací řemenice obsahuje kuličková ložiska, do kterých je zalepena hřídel, která je zalepena i do dílu obsahující drážku na průchod šroubů, pomocí kterých je úchyt napínací řemenice připevněn k hliníkové desce zásobníku.

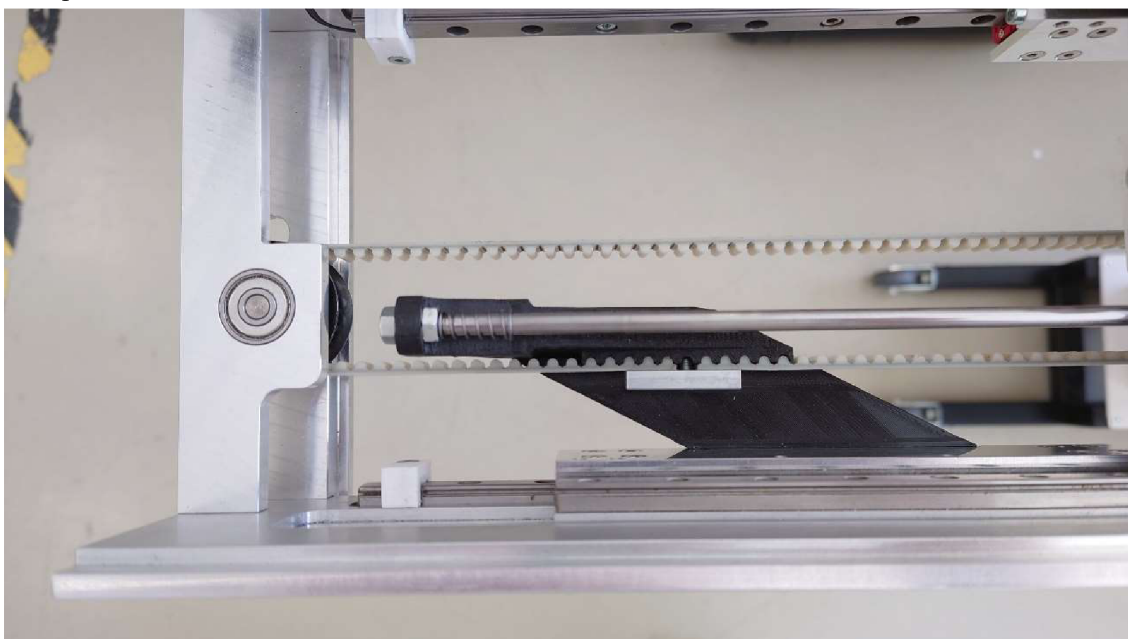
6.4 Konstrukce osy dopravníku

Osa dopravníku je tvořena dvěma páry lineárního vedení, kde první pár je pevně přimontován k nosným ramenům. Tento první pár realizuje první stupeň lineárního posuvu dopravníku a jeho pohon je řešen pomocí krokového motoru. Na vozíčkách pohybujících se po těchto kolejnicích jsou umístěny mezikusy, které nesou druhý pár kolejnic, které tvoří druhý stupeň lineárního posuvu. Jeden z mezikusů obsahuje upínací díl pro řemen a pístnici. Lineární posuv je tedy vždy vztažen k tomuto dílu, viz *Obr. 64*.



Obr. 64 - Lineární vedení a pohony osy dopravníku

Pohon druhého stupně je zajištěn pomocí pneumatického pístu o chodu 200 mm. Tento druhý stupeň zajišťuje možnost najetí dopravníku do zásobníku. K vozíkům na druhém stupni osy dopravníku je umístěna dvojice mezikusů, které obsahují kuličková pouzdra pro vedení vertikálního pohybu dopravníku. Variabilní výška desky dopravníku umožňuje podjetí, vyzvednutí a vyložení plata. Deska dopravníku pomocí vodících tyčí spojuje obě části horizontální osy dopravníku. Strana obsahující upínací díl má vždy jasně definovanou pozici prvního a druhého stupně osy dopravníku, zatímco druhá strana má tuto pozici zcela náhodnou.



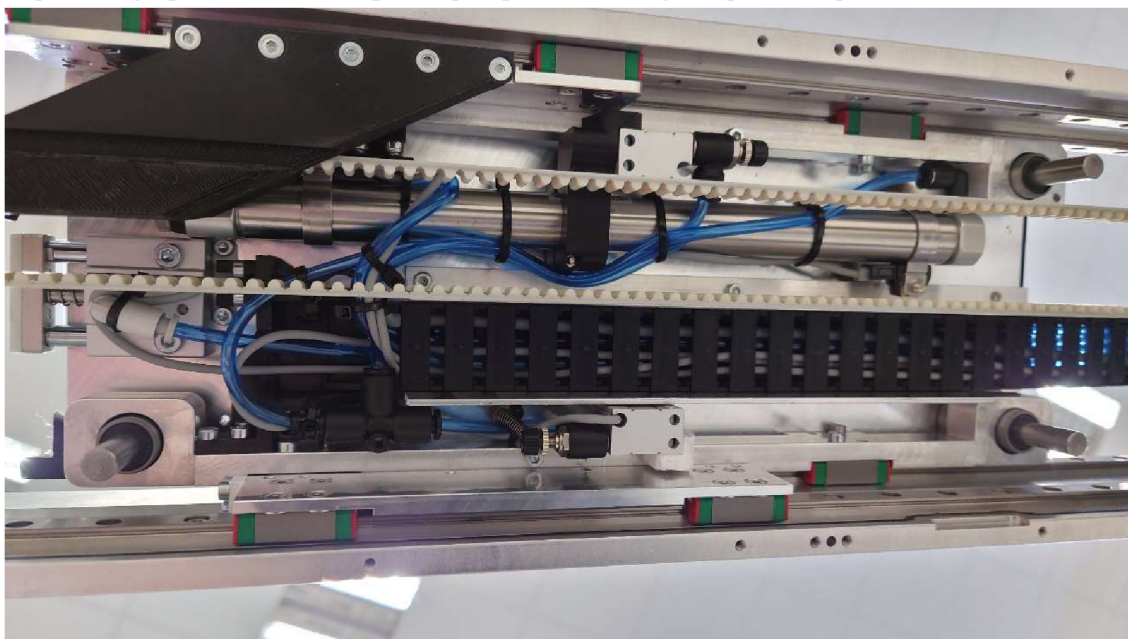
Obr. 65 - Upnutí řemenu a pístnice k dopravníku

Řemenový rozvod je tvořen dvěma řemenicemi, přičemž ta hnací je umístěna na hřídeli krokového motoru, který je situován před spodním zásobníkem. Na opačné straně je ze dvou hliníkových spojovacích dílů tvořen domeček hnané řemenice. V těchto dílech jsou nalepena SKF 626 kuličková ložiska, tedy z obou stran z pohledu řemenice. Na *Obr. 65* je také možné pozorovat upnutí řemenu přes hliníkový bloček a pístnice ke společnému unašeči dopravníku, montovanému k druhému stupni osy. Řemen je napínán pomocí posunutí motoru po jeho montážních drážkách s maticemi.

6.5 Konstrukce unašeče plata

Unašeč plata tvoří vertikální osu dopravníku. Je tvořen deskou se čtyřmi vodícími tyčemi. Postup dodržení sousostí tyčí vůči kuličkovým pouzdrům je obdobný jako u osy dopravníku. První stupeň vertikálního pohybu je zajištěn pomocí dvojice jednočinných pístů umístěných na mezikusech dopravníku na plastových úchytech. Písty obsahují vzduchové přívody v podobě škrťacího šroubení realizující regulaci rychlosti pohybu pístnice. Přívod vzduchu k těmto pístům je spojen T rychlospojkou od hadice vedoucí z e-chainu. Návrat desky unašeče do výchozí spodní pozice je řešen dvojicí tažných pružin, kde první konec je přišroubován k desce a druhý k mezikusu s kuličkovými pouzdry. Pružiny jsou situovány u vodících tyčí po úhlopříčce kvůli rovnoměrnému tahu. Na jednom ze dvojice pístů je umístěn snímač polohy pístnice, aby bylo možné snímat horní polohu vertikální osy.

Píst realizující aretaci plata je továrně dvojitý. Nicméně kvůli úspoře vedení jedné hadice e-chainem byl tento píst modifikován na jednočinný pomocí pružiny vložené na pístnici. Na tomto pístu je situován snímač polohy pístnice pro kontrolu uvolnění plata. K pístnici je přišroubován L profil pro přenesení síly od pístu na plato, viz *Obr. 66*.



Obr. 66 - Spodní pohled na unašeč plata

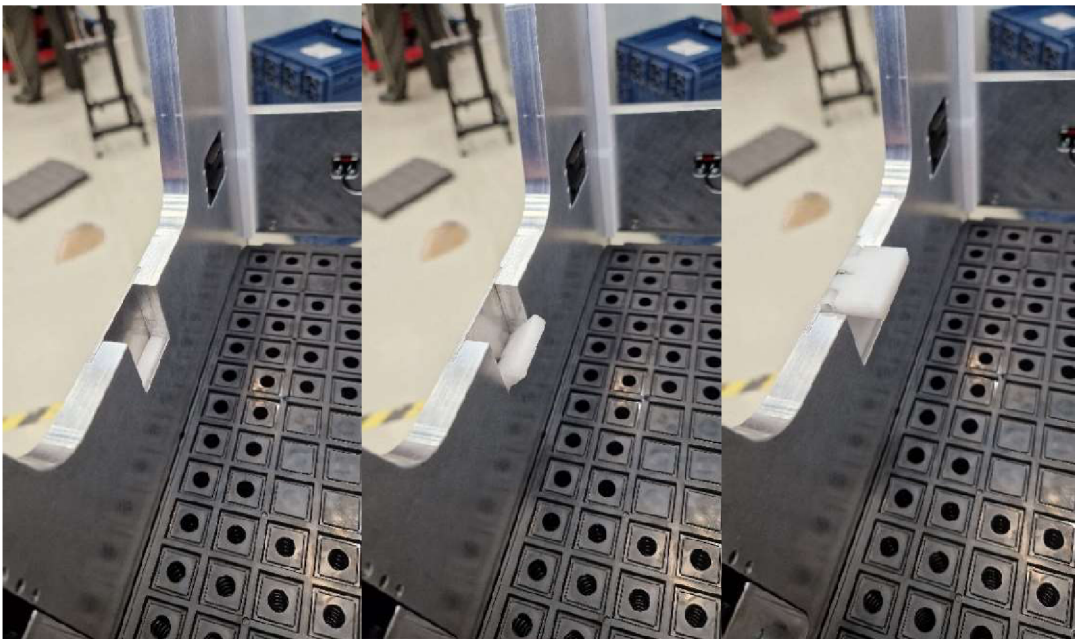
Na unašeči plata je přimontován také dvojčinný píst realizující pohon druhého stupně horizontálního pohybu dopravníku. Je přimontován k bočnici s kuličkovými pouzdry. Tento píst nemůže být přimontován k desce unašeče, jelikož ten vykonává vertikální pohyb. Na pístu se nachází dvojice snímačů polohy pístnice, které jsou nastaveny na koncové polohy.

K desce unašeče plata je přišroubována dvojice hliníkových L profilů, které tvoří vedení e-chainu. Jelikož deska vykonává vůči e-chainu vertikální i horizontální pohyb, těsné hliníkové vedení tře o plastové články. Nicméně přesně vedení e-chainu je nutné kvůli tomu, aby se neodíral o řemen synchronního pohonu. Nakonec je na společném dílu úchyty pístu pohonu a e-chainu umístěn i snímač snížené polohy desky unašeče plata.

Snímače polohy pístnice disponují přívodními kabely, které je možné vést e-chainem. Snímač snížené polohy desky unašeče plata je nastaven kabelem vhodným pro vedením e-chainem, aby nedošlo k brzké destrukci originálního kabelu snímače. Tyto kabel jsou vedeny e-chainem společně s pneumatickými hadicemi.

6.6 Konstrukce výklopných výsuvů

Výklopné výsuvy slouží k vsunutí plata do výstupního zásobníku. Výsuvy jsou umístěny ve středu po obou delších stranách plata, viz *Obr. 67*. Jsou vedeny ze spodní části konstrukce, tedy z kostry. Základem pohonu výklopných výsuvů je píst SMC C55B20-60 [7] přišroubovaný k železné desce kostry. Nevýhodou této konfigurace je, že při vkládání plat do výstupního zásobníku je pístnice zasouvána do pouzdra. V důsledku menší činné plochy pístnice, než je tomu u vysouvání pístnice, není využita maximální výstupní síla pístu. V aplikaci zvedání deseti plat není třeba brát tento jev v potaz, jelikož píst i přesto pracuje s rezervou.



Obr. 67 - Vyjetí výklopných výsuvů

K pístnici je přišroubována rozpěrná deska, která rovnoměrně distribuuje sílu mezi oba výklopné výsuvy po stranách zásobníku. Táhla výklopných výsuvů jsou přimontována z vrchní strany k této rozpěrné desce. Táhla jsou vedena dutinou v bočnici zásobníku, přičemž z vnější strany jsou překryta plechem. Na vrchní straně táhla je vytvořen kloub, který realizuje v kombinaci se zkrutnou pružinou a patkou výklopnou funkci výsuvu. Kloub obsahuje obdobně jako výklopné zobáčky kolík o průměru 3 mm a délce 30 mm. Zkrutná pružina je jedním koncem zapuštěna do táhla a na druhé straně do patky. Výřez v táhlu tvoří plošku pro dosednutí boku patky, aby bylo možné dodržet chod výsuvu 90°.

Pro zjednodušení není v této aplikaci využito žádného lineárního vedení. Kdyby byla táhla vyrobena z hliníku, po několika vysunutí by se táhla zadržela v hliníkové dutině. Z toho důvodu jsou táhla a patky vyrobeny ze samomazného plastu, konkrétně polyamidu. Ten je dostatečně pevný a zároveň není příliš křehký. V opačném případě by mohlo při tahu váhy plat dojít k prasknutí díle v místě kloubu.

6.7 Nastavení motorových driverů

Na *Obr. 68* lze vidět nastavení motorového driveru dopravníku pomocí DIP řadového spínače.

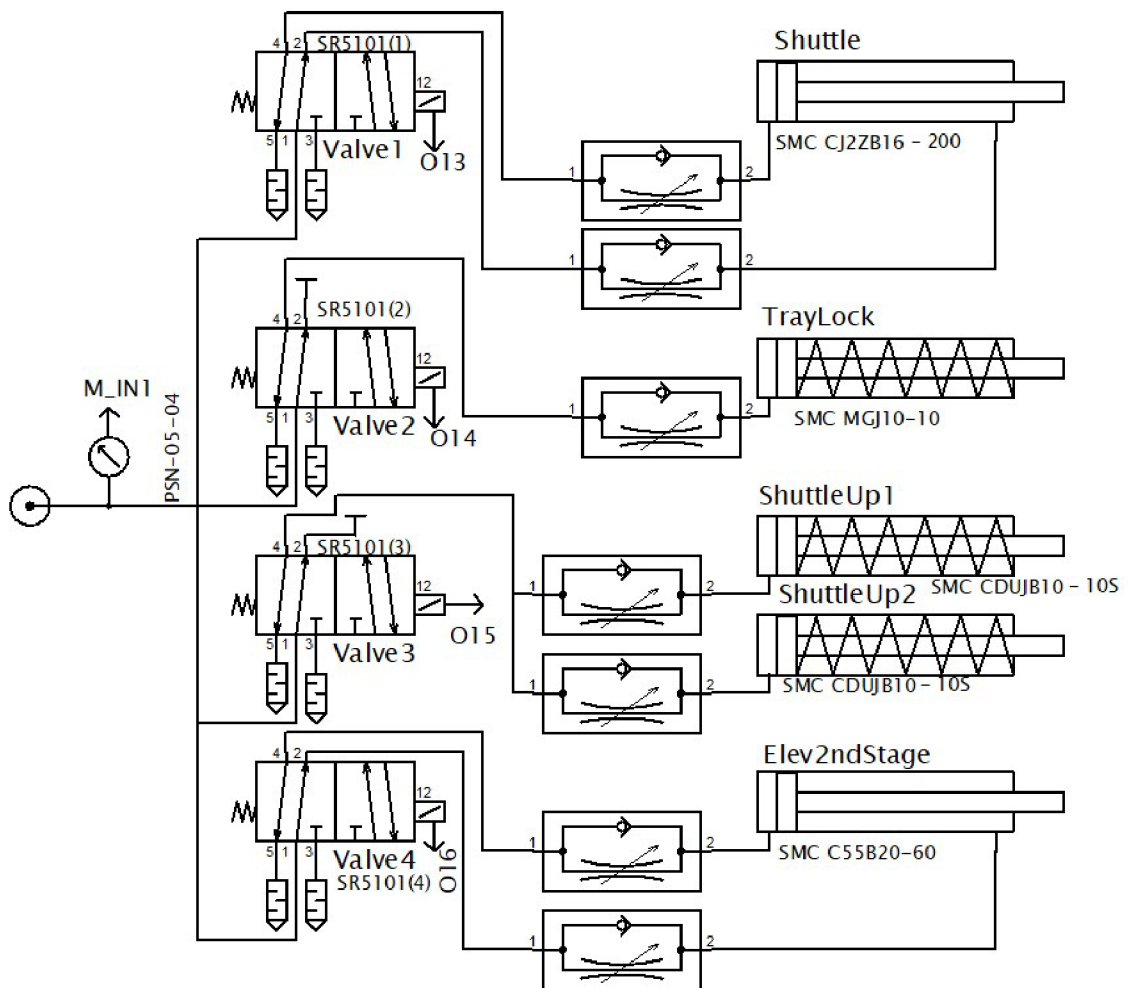


Obr. 68 - Nastavení a zapojení motoru pohonu dopravníku

Podle pravdivostní tabulky dostupné z datasheetu [15] je nastaven počet mikrostepů na hodnotu 64, tedy 12800 pulzů na otáčku motoru pomocí spínačů S1, S2, S3 a S4. Dále je pomocí spínače S5 nastaveno snímání náběžné hrany pulzů pomocí úrovně OFF. S6 ve stavu OFF řeší základní směr otáčení proti směru hodinových ručiček. Nastavení je pro jednoduchost shodné s driverem motoru výtahu.

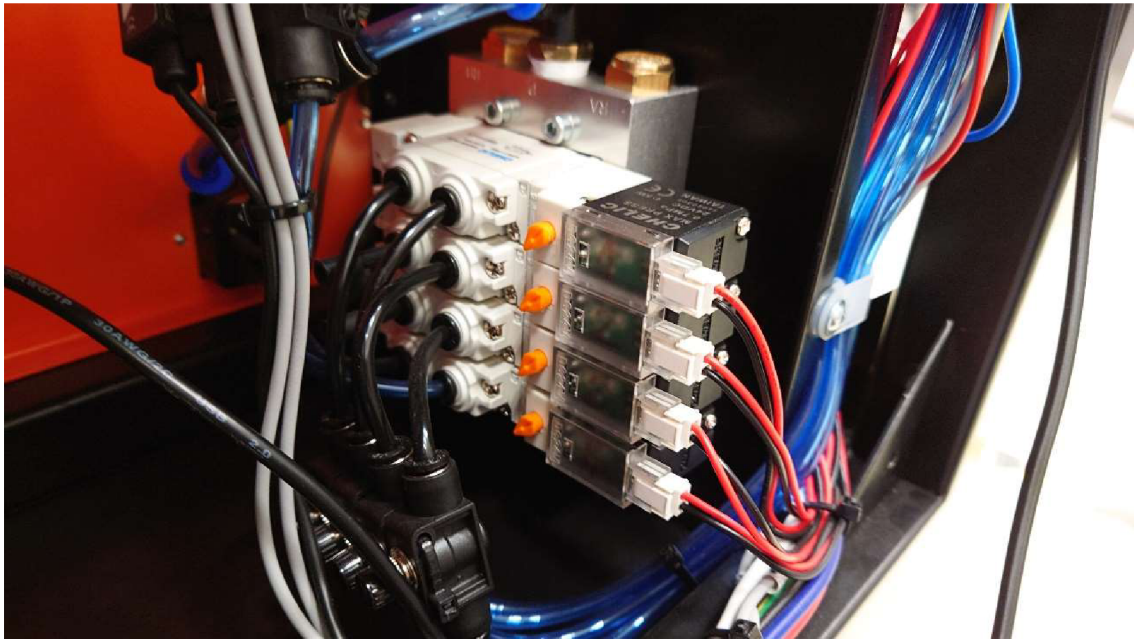
6.8 Zapojení pneumatiky

Zařízení je připojeno k programovacímu automatu pomocí hadice o průměru 4 mm. Ta je připojena k průchozí panelové rychlospojce. Ta tvoří z pohledu spotřebiče zdroj vzduchu pro automatický podavač plat. Mezi panelovou průchodkou a vzduchovým rozvaděčem ventilů je umístěn tlakový snímač PSN-05-04, který je zdrojem informace o nízkém tlaku připojeného vzduchu. Jak již bylo zmíněno, čtveřice ventilů je umístěna na společném vzduchovém rozvaděči a sdílí jak přívod, tak tlumiče hluku, viz *Obr. 70*.



Obr. 69 - Schéma zapojení pneumatiky

Pro jednoduchost byly použity 5/2 ventily i pro ovládání jednočinných pístů, přičemž druhý výstup je zaslepen. Z *Obr. 69* lze vidět, že na vedení mezi písty a ventily je umístěno omezení průtoku vzduchu, které řeší regulaci rychlosti posuvu pístnice. Omezení průtoku, a tedy i rychlosti posuvu pístnice, zajišťuje citlivější manipulaci zařízení s platem. Takové opatření prodlužuje dobu potřebnou k výměně plata, nicméně se zásadní mírou podílí na zvýšení spolehlivosti.



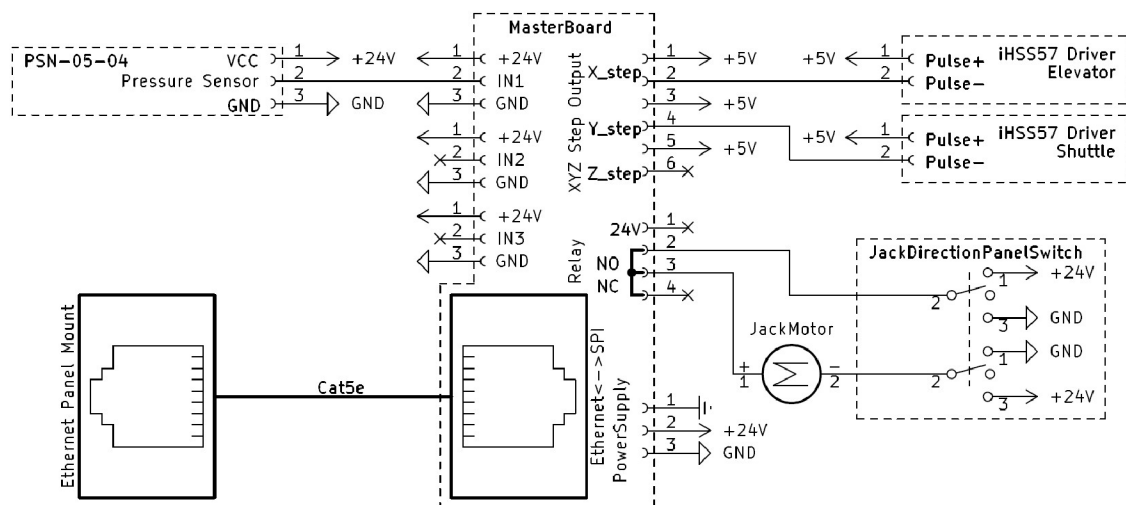
Obr. 70 - Zapojení a umístění elektromagnetických ventilů

6.9 Elektrické zapojení

V následujících podkapitolách je vyobrazeno a popsáno připojení snímačů, motorů a napájení k řídicí elektronice. Napájení 24 V DC je realizováno pomocí spínaného zdroje MEANWELL RS-150-24 [23]. Vstupní napětí 230 V AC a kostra je přivedena přes panelový EURO konektor s integrovanou pojistkou v cestě fáze.

6.9.1 Zapojení hlavní řídicí desky

Na *Obr. 71* je vyobrazeno připojení hlavní desky k ostatním periferiím. Avšak nevyobrazuje sběrnici pro řetězení přidružených desek s digitálními vstupy a výstupy. K desce je připojeno napájecí napětí 24 V DC ze spínaného zdroje.



Obr. 71 - Schéma zapojení hlavní řídicí desky

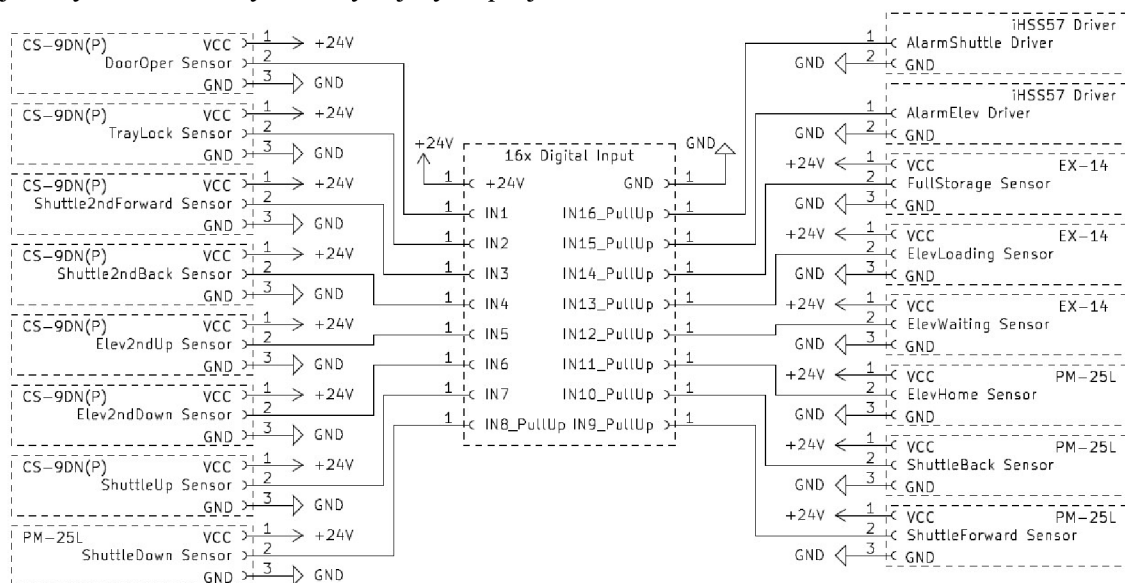
Od desky je vyvedeno komunikační rozhraní Ethernet, které je pomocí kabelu Cat5e s konektory RJ45 přivedeno na panelový konektor se samicemi RJ45. Integrované relé řeší odepnutí napájení motoru zvedáku. Je zde i znázorněn způsob zapojení panelového přepínače, který realizuje ovládání směru výsuvu zvedáku. Po zadokování automatického podavače plat do programovacího automatu, resp. po navázání komunikace je zakázán pohyb zvedáku odepnutím napájení jeho motoru.

K hlavní desce je připojen snímač tlaku na její digitální vstup, jelikož se jedná o sedmnáctý snímač a nebylo tedy možné jej připojit do modulu s šestnácti digitálními vstupy.

Dále je k desce připojena dvojice driverů, resp. jejich vstupy pulse pro krokování pozice motoru. Kvůli potřebě krátkých period impulzů není možné krokování realizovat pomocí přidružené desky digitálních výstupů, která má frekvenci výstupního signálu limitovanou použitým IO expanderem připojeným k I2C sběrnici. Díky opticky odděleným vstupům driveru postačuje výstup realizovaný NPN tranzistorem, který uzemňuje vstup driveru. Použité zapojení se nazývá „sinking output“.

6.9.2 Zapojení digitálních vstupů

Přidružená deska obsahující 16 digitálních vstupů je připojena na druhý kanál sběrnice I2C k hlavní desce pomocí dvojitých úhlových pin lišt. Je zde distribuováno napětí 24 V DC, 5 V DC, 3,3 V DC, GND 24 V napájení, GND 5V a 3,3V napájení, a nakonec i I2C sběrnice se signály SCL a SDA. K tomuto modulu jsou připojeny zbylé snímače využitě v automatickém dávkovači plat. Digitální vstupy IN8 – IN16 jsou nastaveny na Input PullUp pro připojení NPN snímačů. Vstupy IN1-IN7 jsou ponechány ve výchozím nastavení, tedy pro připojení PNP snímačů, viz *Obr. 72*. Jak již bylo dříve zmíněno, použití NPN snímačů je z důvodu držení minimálního počtu skladových položek, jelikož jsou tyto snímače využívány v jiných projektech.



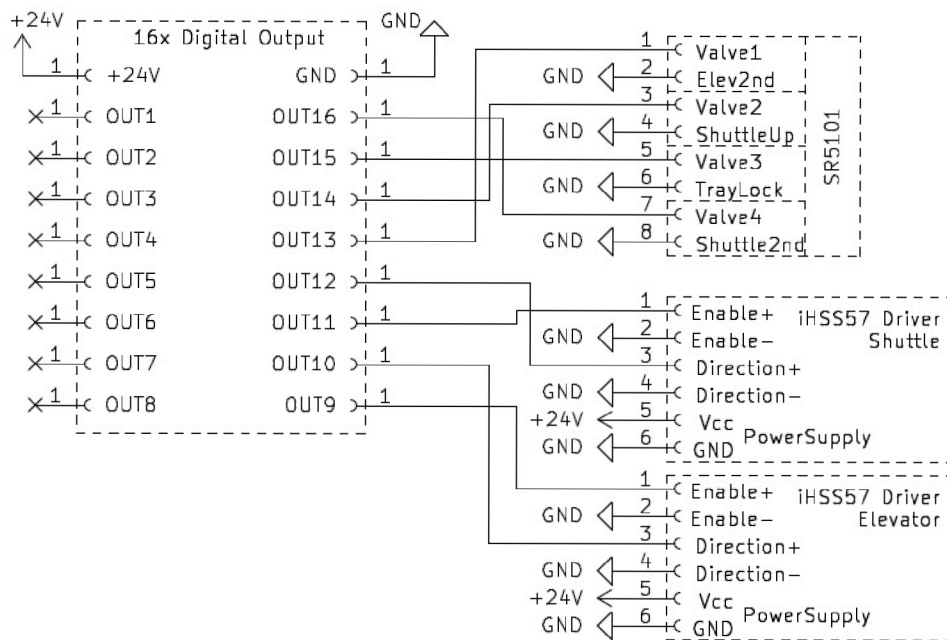
Obr. 72 - Schéma zapojení digitálních vstupů ke snímačům

Ke vstupu IN1 je připojen indukční limitní snímač realizující bezpečnost provozu zařízení. Při otevření dveří je zaznamenána změna výstupní úrovně. IN2 obsahuje informaci o pozici pístnice zámku plata na dopravníku. V případě, že by nebyl zámek v potřebné pozici, mohlo by dojít k vysypání součástek během manipulace s platem v horizontální i vertikální ose. Na vstupy IN3 a IN4 je připojen snímač pozice pístnice realizující druhý stupeň horizontální osy dopravníku. Během pohybu v horizontální ose jsou signály ze snímačů ověřením, že se dopravník nachází v koncových pozicích. Na vstupech IN5 a IN6 jsou zapojeny snímače polohy pístnice realizující druhý stupeň vertikální osy nebo také polohy výklopných výsuvů. IN5 řeší pozici pro přepnutí směru posuvu pístnice. IN6 zajišťuje informaci o zasunutých výklopných výsuvěch. V tomto stavu je bezpečné pohybovat s dopravníkem. Ke vstupu IN7 je připojen snímač pozice zvednutého dopravníku, která je zároveň pozicí pro vyzvednutí a transport plata. IN8 obsahuje informaci o sníženém dopravníku. V takovém stavu je bezpečné podjíždět připravené plato k vyzvednutí dopravníkem. Na IN9 a IN10 jsou připojeny snímače absolutní koncové pozice dopravníku. IN11 obsahuje snímač výchozí (spodní) pozice výtahu. Na vstupy IN12 a IN13 jsou připojeny snímače pozic výtahu v zásobníku. Snímač na IN14 dodává informaci o plném výstupním zásobníku. Tato znalost je pouze informativní, jelikož přeplněný výstupní zásobník nepředstavuje zásadní problém do doby, dokud píst výklopných výsuvů disponuje dostatečnou silou. K IN15 a IN16 jsou připojeny výstupy motorových driverů. Tento signál nese informaci o chybě driveru, který ztratil svou pozici. V takovém stavu je nutné zařízení restartovat odpojením napájecího napětí, jelikož není možné nadále ovládat motory. S absencí tohoto signálu by nebylo možné zjistit chybový stav motorových driverů.

6.9.3 Zapojení digitálních výstupů

Modul digitálních výstupů je realizován obdobně jako modul digitálních vstupů. Rozdíl je v připojení k hlavní desce na první kanál I2C sběrnice. Modul obsahuje 16 digitálních PNP výstupů s výstupním proudem do 2 A. Výstupy jsou ošetřeny vybíjecími diodami zapojenými v závěrném směru, které realizují ochranu proti proudové setrvačnosti, ke které dochází při spínání indukivní zátěže, což jsou v tomto případě cívky elektromagnetických ventilů připojených k výstupům OUT13 – OUT16.

Digitální výstupy jsou připojeny ke vstupům motorových driverů, které mají vstupní napětí v rozsahu 5 – 24 V. Jedná se o signály Enable a Direction, které zajišťují ovládání funkce zanechání motoru naprázdno (Enable) a změny směru otáčení (Direction). Ze svorek +24 V modulu digitálních výstupů je připojeno napájení motorových driverů, viz *Obr. 73*.



Obr. 73 - Schéma zapojení digitálních výstupů

7. OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole jsou interpretovány výsledky zařízení během měření a testování. Po vytvoření firmware bylo zařízení testováno z hlediska rychlosti výměny plata. Dále bylo provedeno měření spotřeby elektrické energie.

7.1 Firmware

Jelikož firmware není součástí zadání této diplomové práce, byl vytvořen společností Electronic Product Services Czech s.r.o. ve spolupráci s autorem této diplomové práce.

7.2 Zjištěné parametry

Na zařízení byla provedena série měření času, který je zapotřebí k výměně plata, viz *Tab. 5*. Jedná se o jeden z hlavních parametrů komerčně vyráběných automatických dávkovačů plat. Po dvaceti měřeních času pomocí stopek byl průměrný čas výměny plata roven 23 s se směrodatnou odchylkou 0,4 s.

Tab. 5 – Měření času výměny plata

| Číslo měření [-] | Čas výměny plata [s] |
|------------------|----------------------|
| 1 | 23,6 |
| 2 | 22,7 |
| 3 | 23,2 |
| 4 | 23,1 |
| 5 | 23,0 |
| 6 | 23,4 |
| 7 | 23,9 |
| 8 | 23,1 |
| 9 | 22,1 |
| 10 | 22,7 |
| 11 | 22,9 |
| 12 | 22,5 |
| 13 | 23,0 |
| 14 | 23,1 |
| 15 | 23,2 |
| 16 | 23,3 |
| 17 | 22,9 |
| 18 | 22,8 |
| 19 | 23,3 |
| 20 | 23,0 |
| průměr | 23,0 |
| σ | 0,4 |

Dalším zjišťovaným parametrem je spotřeba elektrické energie, viz *Tab. 6*. Pomocí digitálního multimetru UNI-T UT70A byl měřen proud fází na rozsahu 10 A při síťovém napětí 230 V.

Tab. 6 – Měření spotřeby elektrické energie.

| | Proud [A] | Příkon [W] |
|--------------------------------|-----------|------------|
| Klidový stav | 0,11 | 25,3 |
| Maximum během spuštění | 0,89 | 204,7 |
| Výměna plata | 0,20 | 46 |
| Ladění provozní výšky zvedákem | 0,32 | 73,6 |

Díky tomu, že nikdy nebude současně laděna provozní výška a probíhat automatická výměna plata, není třeba sčítat tyto dílčí příkony a tím i dimenzovat pojistku na fázi u napájení 230 V.

7.3 Cena zařízení

Pořizovací cena kovoobráběných, elektronických a pneumatických dílů je vyčíslena na 3000 EUR. Pokud bude uvažováno, že výroba a seřízení bude trvat jednomu pracovníkovi dva pracovní týdny po osmi hodinách, je potřeba k této ceně přičíst dalších 1000 EUR. Výsledná celková cena poté bude 4000 EUR, tedy přibližně 100 000 Kč.

7.4 Porovnání s ostatními výrobci

Jak již bylo zmíněno, mnoho výrobců se na trhu s automatickými dávkovači JEDEC plat nepohybuje. Dvěma hlavními představiteli jsou Quasys [1] a DediProg [3][4], přičemž ani jeden nedisponuje funkcí krokování plata, což je zásadní podmínka provozu dávkovače plat v programovacím automatu HyperStorm, který využívá pouze osy Y.

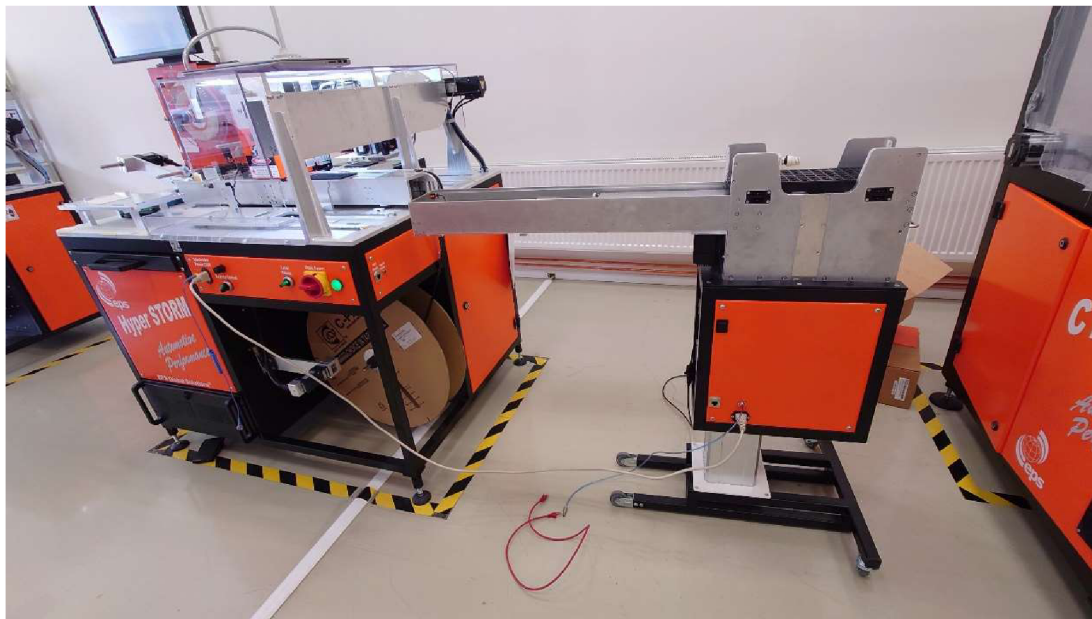
Tab. 7 – Porovnání navrženého zařízení s ostatními výrobci

| | EPS Versatile Tray Feeder | Quasys JTF2 | DediProg AutoTray-350 | DediProg AutoTray-350 |
|----------------------|---------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Cena [EUR] | 4000 | 20000 | 12000 | nezjištěno |
| Čas výměny plata [s] | 23 | 5 | 25 | 25 |
| Krokování plata | Ano | Ne | Ne | Ne |
| Kapacita zásobníku | 10 plat | 30 plat | 25 plat | 25 plat |
| Komunikační rozhraní | Ethernet | RS232 | RS232 | RS232 |
| Napájecí napětí [V] | 230 V AC | 24 V DC | 230 V AC | 230 V AC |

Z *Tab. 7* je zřejmé, že navržený a realizovaný automatický dávkovač plat přináší zejména funkci krokování plata. Dobou výměny plata se řadí do kategorie společně s dávkovači od DediProg. Oproti konkurenci přináší komunikaci přes Ethernet.

7.5 Připojení k programovacímu automatu HyperStorm

Proces připojení a zavedení automatického dávkovače plat do programovacího automatu HyperStorm probíhá tak, že nejprve se obě zařízení propojí 230 V AC napájecím kabelem s EURO konektory, aby bylo spuštěno napájení zvedáku. Pomocí kolébkového přepínače v horní části bočního plechu je nastavena optimální pozice dávkovače pro jeho zavedení do programovacího automatu, viz *Obr. 74*.



Obr. 74 – Propojení zařízení napájecím kabelem

Po nastavení výšky je automatický dávkovač natlačen do programovacího automatu do zaváděcí pozice, viz *Obr. 75*. Ta je definována kolíky na desce unašeče plata na programovacím automatu, která musí být v koncové poloze.



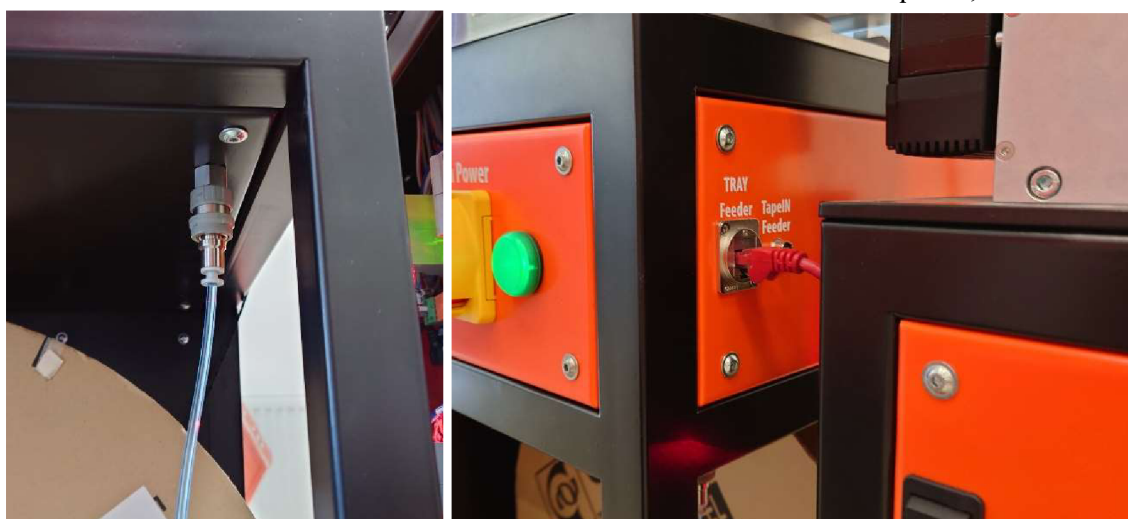
Obr. 75 – Zajetí automatického dávkovače plat v zaváděcí výšce

Po dosažení pozice je pomocí snížení výšky zvedákem usazen dopravník na kolíky a desku unašeče plata v programovacím automatu, viz *Obr. 76*. Následně proběhne ruční zabrzdění otočných koleček spodního dílu kostry obsluhou.



Obr. 76 – Automatický dávkovač plat v pracovní pozici

Následuje připojení stačeného vzduchu a komunikačního rozhraní. Komunikační rozhraní Ethernet je propojeno kabelem CAT5 s konektory RJ45 do panelových přípojek. Stlačený vzduch je připojen pomocí hadice o průměru 4 mm skrze panelové rychlospojky s automatickým uzávěrem. Pomocí nich po odpojení automatického dávkovače plat nedochází k samovolnému úniku vzduchu a není třeba koncovku zaslepovat, viz *Obr. 77*.



Obr. 77 – Připojení stlačeného vzduchu a komunikačního rozhraní Ethernet

Odinstalace automatického dávkovače plat z programovacího automatu HyperStorm je opačným postupem jeho instalace.

ZÁVĚR

Bylo navrženo, realizováno a otestováno kompletní zařízení určené k výměně plat v programovacích automatech dle vytyčených požadavků. Hlavním požadavkem na automatický dávkovač plat byla funkce krokování plata pro použití v kombinaci s programovacím automatem HyperStorm, který využívá pouze osu Y.

Na začátku práce byly představeny komerčně dostupné automatické dávkovače plat. Byly u nich uvedeny parametry a principy funkce. Dále bylo vysvětleno, že kvůli absenci funkce posuvu plata po řádcích, žádný z těchto zařízení není možné použít v programovacích automatech HyperStorm, který nemá pohyblivou osu z toho důvodu, že používá samostatnou osu pro pohyb uloženého plata. V neposlední řadě byly popsány technické nedostatky komerčně dostupných zařízení, kterých by se měl navrhovaný dávkovač vyhnout.

V kapitole 2 byly vytyčeny požadavky na zařízení. Mezi ně patří zejména rozměry, způsob montáže, rychlost výměny plata, způsob komunikace a napájení.

Následně bylo představeno možné řešení, které by splňovalo všechny vytyčené požadavky. Byl zde pomocí diagramu představen cyklus výměny plata a jeho porovnání s cyklem konkurenčního Quasys JFT2. Postupně byl proveden návrh všech jednotlivých hardwarových částí automatického podavače. Tento návrh byl rozdělen do tří základních částí, a to na návrh zásobníku, návrh dopravníku a pojízdné konstrukce. Návrh pohonů jednotlivých pohyblivých částí je podložen uvedenými výpočty.

U návrhu řídicí elektroniky v kapitole 4 jsou představeny jednotlivé funkční bloky a potřebné výpočty u použitých součástek. Jsou zde představeny použité komponenty a důvody jejich využití. Řídicí elektronika je kvůli univerzálnosti rozdělena na hlavní a vedlejší desky, přičemž hlavní deska je osazena mikrokontrolerem a rozšiřující vedlejší desky řeší digitální vstupy či výstupy. Po návrhu schémat následoval design jednotlivých desek plošných spojů, u kterých byl představen způsob řazení a montáže. Dalším krokem byla realizace desek plošných spojů a následné oživení.

Kapitola 5, která se zabývá realizací hardwaru, popisuje sestavení zařízení. Nejprve je věnována pozornost nosné konstrukci, tedy kostry. Dále je popsáno sestavení zásobníku a osazení snímači. Jsou zde popsány i další klíčové komponenty automatického dávkovače plat. Součástí je i popis a ukázka elektrického a pneumatického zapojení.

Na konci práce byla věnována pozornost zjišťování parametrů zařízení, výpočtu ceny a porovnání parametrů s ostatními výrobci. Poslední podkapitola zachycuje způsob instalace a zapojení automatického dávkovače plat do programovacího automatu HyperStorm.

Zařízení bylo vyrobeno a otestováno. Jedná se o první prototyp, který slouží zejména k otestování zamýšlené funkcionality. Zjištěné skutečnosti tvoří základy pro další iteraci automatického dávkovače plat společnosti EPS Czech s.r.o.

LITERATURA

- [1] Feeder JEDEC. Quasys [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.quasys.ch/en/home/feeder/feeder-jedec.html>
- [2] About Us. DediProg [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.dediprogram.com/product/Auto%20Tray-250>
- [3] Auto Tray-250 Auto Tray Loader. DediProg [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.dediprogram.com/product/Auto%20Tray-250>
- [4] Auto Tray-350 Auto Tray Loader. DediProg [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.dediprogram.com/product/Auto%20Tray-350>
- [5] Accessories — Sensor Switch Series [online]. CHELIC [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.chelic.com/document/TW/technical/QRuse/en/CS_all-E.pdf
- [6] Ultra-slim Photoelectric Sensor Amplifier Built-in EX-10 SERIES Ver.2 [online]. Panasonic, 2017 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/fasys/sensor/photoelectric/catalog/ex-10_e_cata.pdf?f_cd=250
- [7] Compact Cylinder Series C55: ISO Standards [ISO/21287] [online]. SMC [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/C55-B_EU.pdf
- [8] U-shaped Micro Photoelectric Sensor Amplifier Built-in: PM-25 SERIES PM-45 SERIES PM-65 SERIES [online]. Panasonic, 2017 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/fasys/sensor/micro/catalog/pm-254565_e_cata.pdf?f_cd=402226
- [9] Přírubové kuličkové pouzdro tandemové JBKL. HIWIN [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodicityce/kulickova-pouzdra/228_pribove-kulickove-pouzdro-tandemove-jbkl
- [10] Linear Bushing LMH-L Type (Flange Type / Oval / Long) (LMH8LUU). MiSUMi [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://sg.misumi-ec.com/vona2/detail/221000091746/?HissuCode=LMH8LUU>
- [11] Řemenice ozubené HD 5M [online]. Mateza [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.mateza.cz/images/shop/documents/category/61c2621c8f72f_023503.pdf
- [12] Kugelumlaufspindeln [online]. DOLD Mechatronik [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.dold-mechatronik.de/documents/Datenblaetter/Kugelumlaufspindeln/Datenblatt-Kugelumlaufspindel-einbaufertig.pdf?utm_source=webshop&utm_medium=pdf&utm_content=Kugelumlaufspindeln-einbaufertig&utm_campaign=datenblatt-download
- [13] Jednořadá kuličková ložiska [online]. Mateza [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.mateza.cz/index.php?option=com_redshopaddon&task=product.download&id=28441152&fb35508e18c8c719d39677d51c25c967=1

- [14] Motor Sizing Calculation. ORIENTAL MOTOR [online]. 2020 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.orientalmotor.com/technology/motor-sizing-calculations.html>
- [15] IHSS57-XX Integrate Stepper Servo Motor [online]. Shenzhen Just Motion Control Electro-mechanics Co. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.upload.sorotec.de/doku/manuals/iHSS57_EnglishManual.pdf
- [16] Úzký vozík MGN. HIWIN [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/miniaturni-vedeni/236_uzky-vozik-mgn
- [17] Linear Bushing LMH Type (LMH8UU). MiSUMi [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://mx.misumi-ec.com/en/vona2/detail/221000091757/?HissuCode=LMH8UU>
- [18] Miniature Guide Rod Cylinder: Series MGJ [online]. SMC [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://static.smc.eu/pdf/MGJ_EU.pdf
- [19] Air Cylinder: Series CJ2 [online]. SMC [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/CJ2-Z-D_EU.pdf
- [20] Mini Free Mount Cylinder: Series CUJ [online]. SMC [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://static.smc.eu/pdf/CUJ-C_EU.pdf
- [21] BRA-TPA 50G. Blickle [online]. Blickle [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.blickle.cz/v%C3%BDrobek/BRA-TPA-50G-453126>
- [22] LRA-TPA 50G-ELS-GS10. Blickle [online]. Blickle, 2020 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.blickle.cz/v%C3%BDrobek/LRA-TPA-50G-ELS-GS10-693697>
- [23] 150W Single Output Switching Power Supply: RS-150 series [online]. MEAN WELL, 2005 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.332-278.1.pdf>
- [24] Directional control – SR series Body Ported Solenoid Valve [online]. Chelic [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.chelic.com/document/TW/technical/QRuse/en/SR-E.pdf>
- [25] PSN(V) - 05 series - Pressure Switch [online]. Chelic [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.chelic.com/document/TW/technical/QRuse/en/PS-05_all-E.pdf
- [26] Mikro step-down měnič, nastavitelný. Laskakit [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/mikro-step-down-menic--nastavitelny/>
- [27] Fuseholder open design Type FMS: through hole mounting [online]. Schurter [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gmelectronic.com/data/attachments/dsh.829-056.1.pdf>
- [28] 154/154T/154L/154TL Series OMNI-BLOK® Fuse and Holder Assembly: Surface Mount Fuses [online]. Littlefuse, 2016 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/2140394.pdf>
- [29] EXR SERIES [online]. Hitano [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.123-997.1.pdf>

- [30] KBPC1005 THRU KBPC110: 3A SINGLE-PHASE SILICON BRIDGE RECTIFIERS [online]. Vigan [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.227-053.1.pdf>
- [31] MP2315 [online]. MonolithicPower, 2014 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/97a205ad669bca30061d3fc6908e138e/MP2315GJ-DTE.pdf>
- [32] RAS series [online]. Sun Hold, 2009 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.634-272.1.pdf>
- [33] BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C: technický list [online]. Vigan [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.210-027.1.pdf>
- [34] M1D THRU M7D: technický list [online]. Vigan [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.917-016.1.pdf>
- [35] BPC-817S: BRIGHT LED ELECTRONICS CORP. [online]. BRTLLED [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.961-067.1.pdf>
- [36] BZT52C...W: technický list [online]. Vigan [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.919-104.1.pdf>
- [37] 2SB1204: Bipolar Transistor [online]. ON Semiconductor, 2013 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/308/2SB1204-D-41209.pdf>
- [38] ESP32 Series: Datasheet [online]. Espressif Systems, 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [39] TCA9555 Low-Voltage 16-Bit I²C and SMBus I/O Expander with Interrupt Output and Configuration Registers [online]. Texas Instruments, 2019 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tca9555.pdf?ts=1640156393202&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [40] PCA9555 Remote 16-bit I²C and SMBus I/O Expander with Interrupt Output and Configuration Registers [online]. Texas Instruments, 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pca9555.pdf?ts=1640102458278&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [41] PCF8575 Remote 16-BIT I²C AND SMBus I/O Expander with Interrupt Output [online]. Texas Instruments, 2020 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8575.pdf?ts=1640158709791&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [42] ESP-IDF Programming Guide: ESP32 [online]. V5.0-dev-810-gb886dc6. Espressif Systems, 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8575.pdf?ts=1640158709791&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

- [43] Mikro Ethernet modul W5500. Laskakit [online]. 2021 [cit. 2021-12-22].
Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/mikro-ethernet-modul-w5500/>
- [44] W5500 Datasheet [online]. Version 1.0.9. WIZnet, 2013 [cit. 2021-12-22].
Dostupné z: https://docs.wiznet.io/img/products/w5500/w5500_ds_v109e.pdf
- [45] 2.54mm (.100") Pitch C-Grid III: Modular Interconnect System [online]. Molex, 2011 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z:
<https://www.content.molex.com/dxdam/literature/987650-6201.pdf>
- [46] Třípatrová svorka na desky pl. spojů; 2,5 mm²; Rozteč 5 mm; 12pól.; CAGE CLAMP®; 2,50 mm²; Šedá. WAGO [online]. 2021 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z:
<https://www.wago.com/cz/svorky-na-desky-plo%C5%A1n%C3%BDch-spoj%C5%AF-a-konektory/t%C5%99%C3%ADpatrov%C3%A1-svorka-na-desky-pl--spoj%C5%AF/p/737-104#details>
- [47] High Density Mounting Type Photocoupler: LTV-817 Series [online]. Liteon [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.523-060.2.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

| | |
|------|-------------------------------------|
| DP | DediProg |
| EPS | Electronic Product Services |
| DC | Direct Current |
| AC | Alternating Current |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LED | Light-Emitting Diode |
| NO | Normally Open |
| NC | Normally Closed |
| IO | Input-Output |
| RMII | Reduced Media-Independent Interface |
| Mbps | Megabity za sekundu |
| DMA | Direct Memory Access |
| MDI | Medium Dependent Interface |
| SPI | Seriál Peripheral Interface |
| MOSI | Master Out Slave In |
| MISO | Master In Slave Out |
| SCLK | Serial Clock |
| ESD | ElectroStatic Discharge |
| SDA | Serial Data |
| SCL | Serial CLock |
| SMD | Surface Mount Device |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. – CD, které je součástí tištěné práce

Tato příloha obsahuje:

- Text práce („Automatický_dávkoč_plat.pdf“)
- Návrh DPS („ESP32_Universal_Module“)