FAKULTA MECHATRONIKY,
INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH
STUDIÍ TUL

Diplomová práce

Poloautomatický stroj na výrobu desek na výkresy

Studijní program: N0714A270010 Mechatronika
Autor práce: **Bc. Jakub Novák**
Vedoucí práce: Ing. Lukáš Hubka, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2025

FAKULTA MECHATRONIKY,
INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH
STUDIÍ TUL

Zadání diplomové práce

Poloautomatický stroj na výrobu desek na výkresy

Jméno a příjmení:	**Bc. Jakub Novák**
Osobní číslo:	M22000051
Studijní program:	N0714A270010 Mechatronika
Zadávající katedra:	Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok:	2024/2025

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte důkladnou analýzu současných metod výroby kartonových desek na výkresy. Zahrňte technologické aspekty nanášení lepidel a postupy manipulace s výrobky, s důrazem na efektivitu a kvalitu výroby.
2. Navrhněte výrobní proces, který zohlední technické, ekonomické a environmentální požadavky zadavatele. Zaměřte se na efektivitu výroby, minimalizaci odpadu a energetickou účinnost.
3. Navrhněte mechanickou konstrukci stroje, který umožní realizovat zadaný úkol.
4. Proveďte výběr a dimenzování vhodných elektrických pohonů, pneumatických členů a dalších mechanických prvků.
5. Vyberte vhodnou řídicí jednotku, senzory a ostatní nezbytné prvky stroje. Navrhněte a zdokumentujte elektrické a pneumatické zapojení stroje.
6. Navrhněte řídicí algoritmus, který umožní bezpečný a efektivní provoz stroje. Algoritmus by měl zahrnovat diagnostiku chyb. Zaměřte se na splnění bezpečnostních norem.
7. V rámci provozních možností proveďte praktické testování navrženého stroje a analyzujte jeho funkčnost z hlediska spolehlivosti, výkonu a kvality výsledného produktu.

Rozsah grafických prací:	dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy:	40 až 50 stran
Forma zpracování práce:	tištěná/elektronická
Jazyk práce:	čeština

Seznam odborné literatury:

[1] SOUČEK, Pavel. Servomechanismy ve výrobních strojích. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02902-6.

[2] ČSN EN ISO 12100 (833001) Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. url: https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-12100-833001-230781.html#.

[3] ČSN EN ISO 13849-1 (833205) Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci. url: https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-13849-1-833205-230804.html.

[4] Označení CE. Your Europe [online]. 2023 [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_cs.htm.

Vedoucí práce:	Ing. Lukáš Hubka, Ph.D. Ústav mechatroniky a technické informatiky
Datum zadání práce:	12. října 2024
Předpokládaný termín odevzdání:	9. května 2025

L.S.

doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
děkan

doc. Dr. Ing. Jaroslav Hlava
garant studijního programu

V Liberci dne 12. října 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

1. dubna 2025 Bc. Jakub Novák

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Lukáši Hubkovi Ph.D. za trpělivost, kontrolu, a rady při psaní této diplomové práce. A dále všem ostatním, kteří mi ať už poskytnutím odborné konzultace, cennou radou k řešené problematice, nebo jakýmkoliv jiným způsobem pomohli k dokončení této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá automatizací ruční výroby kartonových desek na výkresy. V první části práce je popsán hotový produkt se všemi jeho součástmi, způsoby jejich výroby, a k tomu potřebné výrobní technologie. Na základě provedené analýzy je nejprve hledán vhodný koncept automatizace a jsou diskutovány různé odlišné přístupy včetně jejich efektivity, přesnosti výroby, a energetické účinnosti. Po výběru nejlepšího řešení je navržena samotná mechanická konstrukce stroje a jsou detalně představeny jeho klíčové prvky. Dále jsou zvoleny vhodné elektrické pohony, pneumatické členy a je zpracováno schéma pneumatického zapojení. Další část práce se věnuje elektrickému zapojení stroje, výběru vhodných elektrických komponent, senzorů, ovládacích prvků a řídící jednotky. Přičemž je kladen důraz na dodržení norem a zajištění elektrické bezpečnosti. Součástí práce je i návrh řídícího algoritmu pro PLC a ukázka části zdrojového kódu. Jsou vysvětleny jednotlivé stavy stroje, rozepsána výrobní sekvence programu a nastíněny principy jako programové řízení motoru nebo zpětnovazební regulace teploty. V závěrečné části je opět diskutována bezpečnost celého zařízení a je provedena analýza možných rizik. Nakonec je vyhodnoceno splnění stanovených požadavků na stroj a výrobu, jsou popsány další kroky k realizaci a naznačeny možné budoucí úpravy či zlepšení.

Klíčová slova:
automatizace výroby, mechanická konstrukce stroje, pneumatické systémy, elektrické pohony, senzorika, PLC, logické řízení, bezpečnost strojů

Abstract

This thesis focuses on the automation of manual production of cardboard art portfolio cases. The first part describes the final product, including all its components, their manufacturing methods, and the necessary production technologies. Based on this analysis, a suitable automation concept is first sought, and various different approaches are discussed, considering their efficiency, production accuracy, and energy efficiency. After selecting the optimal solution, the mechanical design of the machine is proposed, with its key components presented in detail. Furthermore, appropriate electric drives and pneumatic components are chosen, and a pneumatic circuit diagram is created. The next part of the thesis is devoted to the machine's electrical wiring, the selection of suitable electrical components, sensors, control elements, and the control unit, with a strong emphasis on compliance with safety standards and ensuring electrical safety. The work also includes the design of a control algorithm for the PLC, along with a demonstration of a part of the source code. The individual machine states are explained, the production sequence of the program is detailed, and principles such as programmatic motor control and temperature feedback control are outlined. In the final section, the overall safety of the device is reviewed, and a risk analysis is conducted. Lastly, the fulfillment of the specified requirements for the machine and production process is evaluated, followed by a discussion of the next steps toward implementation and potential future modifications or improvements.

Keywords:
production automation, machine design, pneumatic systems, electric drives, sensors, PLC, machine control, machine safety

Obsah

Obsah 8
Seznam zkratek 10
Seznam obrázků, tabulek a grafů 11
1 Úvod 12
1.1 Výrobek 12
1.2 Požadavky na návrh 13
1.3 Současná výroba 13
1.4 Technologie výroby 14
1.4.1 Lepení 14
1.4.2 Lisování 14
2 Koncept výroby 15
2.1 Navrhovaná řešení 16
2.1.1 Varianta č. 1 - "Manuál" 16
2.1.2 Varianta č. 2 - "Žehlička" 17
2.1.3 Varianta č. 3 - "Válec" 18
2.1.4 Varianta č. 4 - "Rameno" 20
3 Mechanická konstrukce stroje 22
3.1 Stůl 22
3.1.1 Rozměry a ergonomie 22
3.1.2 Nastavení formátu desek 23
3.1.3 Výsuvné trny 23
3.2 Rameno 24
3.2.1 Lineární vedení 25
3.2.2 Přenos síly 25
3.2.3 Motor 26
3.3 Lepící ústrojí 28
3.3.1 Aplikační hlava s brzdou a nůžkami 28
3.3.2 Žehlička 30
4 Pneumatické zapojení 34
5 Elektrické zapojení 37
5.1 Ovladač motoru 38
5.2 Senzory a čidla 39
5.3 Ovládací panel 40
5.4 Řídící jednotka 41
5.4.1 Vybrané PLC 43
6 Řízení stroje 44
6.1 Software a řídící program 46
6.1.1 Funkční bloky programu 47
6.1.2 Technologické objekty 48

6.1.3 Simulace 50
7 Bezpečnost 51
7.1 Analýza rizik 52
8 Závěr 53
8.1 Hotové zařízení 53
8.1.1 Pokračování a realizace 54
8.2 Zhodnocení práce 55
Seznam literatury 56
Seznam příloh 58
Přílohy 59

Seznam zkratek

FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
BP	bakalářská práce
IS/STAG	Informační systém studijní agendy
ISBN	International Standard Book Number, mezinárodní standardní číslo knihy
ISSN	International Standard Serial Number, identifikační číselný kód pro názvy periodik a pokračujících zdrojů
ČSN	česká technická norma
ČSN EN	česká verze evropské normy
ČSN ISO	česká verze mezinárodní normy (ISO = International Organization for Standardization)
ČSN IEC	česká verze normy vydané Mezinárodní organizací pro normalizaci v elektrotechnice (IEC)
AC	alternating current, střídavý proud
DC	direct current, stejnosměrný proud
PLC	programovatelný logický automat
HMI	human-machine interface
3D	„trojrozměrný“
CAD	computer-aided design, počítačem podporované projektování
DO	digital output, digitální výstup
DI	digital input, digitální vstup
LED	light-emitting diode, světelná dioda
NO	normally open, parametr spínačů - v normálním stavu rozpojený
NC	normally closed, parametr spínačů - v normálním stavu sepnutý
PTO	pulse train output, DO schopen generovat sekvence pulzů pro řízení motorů
RTD	resistance temperature detector, zařízení měřící teplotu pomocí změny elektrického odporu
DIN	Deutsches Institut für Normung
SSR	solid state relay, polovodičové relé
PL	performance level, požadovaná úroveň vlastností podle [1]
SIL	úroveň integrity bezpečnosti podle [2]
CE	conformité européenne, označení výrobku spňující požadavky viz. [3]
LAD	ladder diagram, grafický programovací jazyk
STL	structured text, textový programovací jazyk podobný Pascalu
FBD	function block diagram, grafický programovací jazyk
IL	instruction list, textový programovací jazyk podobný Assembleru
SFC	sequential function chart, grafický programovací jazyk
PID	regulátor s proporcionální, integrační a derivační složkou

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky:

1. Kartonové desky na výkresy
2. Náčrt varianty stroje “Manuál”
3. Náčrt varianty stroje “Žehlička”
4. Náčrt varianty stroje “Válec”
5. Lepící ústrojí varianty “Válec”
6. Náčrt varianty stroje “Rameno”
7. Lepící ústrojí varianty “Rameno”
8. Model konstrukce stolu stroje
9. Průřez pístu s výsuvným trnem
10. Model pojízdného ramene stroje
11. Typy pojízdného vedení
12. Typy převodových mechanismů
13. Model aplikační hlavy s válečkem
14. Upravený model aplikační hlavy s vahadlovým mechanismem
15. Model pístu s žehličkou
16. Výsledek simulace teploty v softwaru Ansys
17. Ventilový blok stroje
18. Zapojení pístů trnů a žehličky
19. Zapojení pístů zdvihu hlavy, brzdy a nůžek
20. Zapojení prvků v rozvaděči - silová část
21. Zapojení motoru s enkodérem
22. Zapojení digitálních vstupů přídavného IO modulu PLC
23. Uspořádání prvků v ovládacím panelu
24. Diagram struktury programu řídící jednotky
25. Realizace přepínání stavu stroje v LAD
26. Ukázka programu uvnitř FB bloku “RESET” stavu
27. Nastavení PID regulátoru pro regulaci teploty žehličky
28. Virtuální simulace PLC a HMI

Grafy:

1. Momentové charakteristiky zvažovaných pohonů
2. Průběhy teploty žehličky během simulace
3. Určení stupně PL

Tabulky:

1. Rozměry vyráběných formátů desek
2. Součásti desek a jejich výroba
3. Parametry stroje pro výpočet motoru
4. Vstupy a výstupy PLC
5. Parametry různých typů řídících zařízení
6. Základní parametry stroje

1 Úvod

Cílem této práce je zrychlit a zautomatizovat současný ruční způsob výroby papírových desek na výkresy tak, aby provoz umožnil firmě produkovat výrobek ve vyšším taktu, kvalitněji zpracovaný, a zároveň snížit nároky na schopnosti a čas obsluhy. Toto obnášelo navrhnout jednotlivé výrobní procesy a vytvořit kompletní návrh jednotlivých výrobních zařízení (3D CAD model, elektrické schéma, pneumatické schéma, kusovníky, řídící algoritmus, systémový kód).

1.1 Výrobek

Obrázek 1: Kartonové desky na výkresy

Jedná se o desky sloužící k úschově a transportu výkresů, papírů či uměleckých děl nebo dokumentů (obr. 1). Jde o dva kartony z tvrdého papíru, spojené nalepeným textilním ohebným hřbetem. Jednotlivé rohy kartonů jsou vyztuženy proti poškození. Dále mají desky látkové provázky nebo gumičky na zavázání k sobě, a vyrábí se dvě varianty, s papírovými chlopněmi uvnitř na aretaci výkresů, a bez nich. Celé desky jsou poté vyráběny celkem v devíti různých standardizovaných formátech (tabulka 1).

Tabulka 1: Rozměry vyráběných formátů desek

Formát	Délka [mm]	Šířka [mm]
A0	1189	841
A1	841	594
A2	594	420
A3	420	297
A4	297	210
B1	1000	707
B2	707	500
B3	500	353
B4	353	250

1.2 Požadavky na návrh

Výsledné navržené zařízení nebo výrobní proces by tedy měl být schopen vyrábět tyto desky za pomoci jednočlenné obsluhy. Požadavkem bylo:

- v rámci možností co největší automatizace výroby
- výrobek musí splňoval potřebnou kvalitu a přesnost výroby
- výrobní proces musí být ekonomicky udržitelný
- automatizovaná výroba musí být rychlejší a jednodušší pro obsluhu než manuální
- cena stroje musí být rentabilní v řádu několika let výroby
- stroj musí být nastavitelný a schopen vyrábět všech devět daných rozměrů desek
- veškeré úkony spojené s výrobou musí zvládnout jediná osoba obsluhy
- výroba a ovládání stroje musí být jednoduché a intuitivní
- výrobní proces a stroje musí být bezpečné pro obsluhu fyzicky i po stránce elektrické bezpečnosti

1.3 Současná výroba

Při rešerši současného způsobu výroby jsem nenašel žádnou evidenci o tom, že by desky na výkresy někdo vyráběl automatizovaně ani poloautomatizovaně. Standardní dosavadní způsob výroby probíhá tedy zejména ručně a přibližně následovně:

1. formátování velkých kartonových desek na dané rozměry
2. formátování role plátna na popruhy o dané délce
3. nános disperzního lepidla na popruh pomocí štětce
4. nalepení a zalisování popruhu s lepidlem na desky
5. stejným způsobem přilepení druhého popruhu z druhé strany desek
6. stejným způsobem lepení popruhu na rohy desek
7. vyražení otvorů pro látkové tkanice
8. aplikace disperzního lepidla a lepení látkových tkanic
9. u větších formátů stejným způsobem lepení látkového držadla desek
10. vyražení a nalepení krycích papírových koleček
11. vyražení, rýhování a nalepení papírových chlopní
12. tisk a nalepení samolepky s popisem výrobku a čárovým kódem

Tento proces má mnoho nevýhod. Hlavní nevýhodou je rychlost výroby zejména kvůli velkému množství ručních operací, a dlouhé době zasychání disperzního lepidla. Dalším problémem je že obsluha musí být manuálně zručná, aby byla schopna výrobek vytvořit. A dále také dochází poměrně často k výrobě nedokonalých kusů, nejčastěji následkem křivého slepení, nebo příliš velkým či malým množstvím lepidla.

1.4 Technologie výroby

1.4.1 Lepení

Klíčovou výrobní operací je zalepení textilního hřbetu desek. V současné ruční výrobě se k nanášení lepidla používá štětec nebo váleček. Tento způsob však není pro strojní nanášení vhodný, bude tedy nutné použít nějaký jiný ze způsobů aplikace lepidla:

- **Ruční**
  - Štětec
  - Váleček
  - Tavná pistole
  - Oboustranná páska
  - Nažehlovací textilie
- **Strojní**
  - Disperzní lepidla
    - Nános válečkem
    - Nános sprejovací hlavou
    - Nános tryskou
  - Tavná lepidla
    - Nános válečkem
    - Nános sprejovací hlavou
    - Nános tryskou
    - Vakuový lis + tavná folie
    - Nažehlovací textilie

Jak již bylo řečeno, klíčovým požadavkem je rychlost. Z toho důvodu je možné zcela vyloučit použití disperzního lepidla. Nejlepším řešením tedy bude nános tavného lepidla, a to s použitím trysky, spreje, nebo pomocí nažehlovací textilie.

1.4.2 Lisování

Čerstvě nalepený hřbet je pro vyšší pevnost a kvalitu nutné alespoň malou silou zalisovat. Nabízí se hned několik možných variant lisů, které jsou běžně používány při jiných podobných operacích v průmyslu:

- **Mechanické**
- **Hydraulické**
- **Pneumatické**
- **Válcové**
- **Klikové**
- **Vřetenové**
- **Vakuové**

2 Koncept výroby

Máme-li tedy zadané požadavky na návrh i prostudovanou současnou ruční výrobu, a jednotlivé výrobní technologie, je možné přistoupit k vymýšlení vlastního postupu. Hlavní řešenou problematikou, která značně znesnadňuje zadaný úkol jsou:

- různé a velmi odlišné rozměry desek
- velké množství jednotlivých výrobních operací
- malá kvantita výroby pro ekonomickou návratnost složitější výrobní linky
- nutnost přístupu k deskám ze všech stran pro provedení úkonů
- strojní práce s ohebnou a pružnou textilií

Jednotlivé části desek a kroky výroby (tabulka 2) si můžeme rozdělit na:

Tabulka 2: Součásti desek a jejich výroba

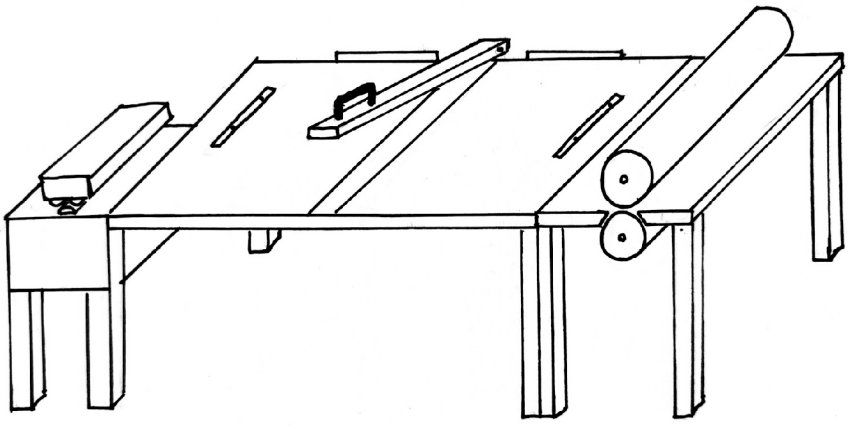
Součást	**Výroba**	**Zařízení**
Kartonové desky	Kartonové desky se dají sehnat již v konkrétních rozměrech, tudíž se formátováním nemusíme zabývat.	Žádné
Rohy	Rohy se lepily ručně z kusů plátna což trvá příliš dlouho. Namísto toho bylo vymyšleno použití lisovacích kovových rožků.	Lis
Hřbet	Lepení hřbetu je jednoznačně nejsložitější a nejdelší operací výroby. Také nelze jednoduše zautomatizovat a bude tedy nutné pro účely jeho zalepení navrhnout zcela unikátní nové zařízení.	Neexistuje, je třeba navrhnout a realizovat
Tkanice	Tkanice slouží k tomu aby se desky neotvíraly. Namísto tkanic by bylo možné použít i jiná řešení například: suchý zip, gumička, řemínek, nebo pant. Každopádně všechny možnosti musí být připevněny víceméně ručně a to pomocí lepení a nebo spíše rychlejším způsobem - nýtováním.	Nýtovačka
Držadlo	U desek větších rozměrů je pro snazší přenášení látkové držadlo. Jeho uchycení je principem shodné jako uchycení tranice.	Nýtovačka
Chlopně	Chlopně jsou volitelným příslušenstvím pro dražší řadu desek. Mohou být vyříznuty z tvrdého papíru například pomocí laserového plotru, poté narýhovány a nakonec ručně nalepeny.	Řezací plotr, rýhovačka

Jak bylo řečeno v tabulce, na všechny výrobní operace kromě lepení hřbetu lze použít již hotový stroj nebo výrobní technologii. Ve zbytku této práce už se tedy nebudu zabývat ostatními částmi výroby, ale pouze návrhem jednoúčelového výrobního stroje, schopného vykonat tento úkol, a automaticky nebo alespoň poloautomaticky lepit hřbety desek podle požadavků zadavatele.

2.1 Navrhovaná řešení

V rámci vymýšlení samotného principu fungování stroje bylo zvažováno nespočet různých řešení. Ve většině z nich se jednalo o "pracovní stůl" s různorodými přídavnými mechanismy sloužící k zalepení, lisování a manipulaci s výrobkem. V některých variantách bylo zvažováno i vertikální pracovní postavení desek. Nebudu zde představovat všechny možnosti, ale pouze čtyři svým přístupem velmi odlišné varianty, ze kterých byla nakonec vybrána jedna finální, která splňovala požadavky zadavatele nejlépe.

2.1.1 Varianta č. 1 - "Manuál"



Obrázek 2: Náčrt varianty stroje "Manuál"

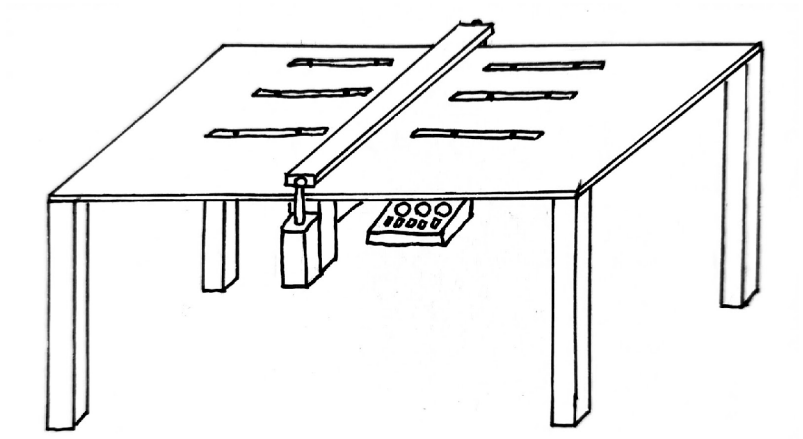
Inspirací pro tento konkrétní návrh byly relativně široce používané stroje na výrobu tvrdých lepených knižních a albumových desek (příloha 1). Jde o jednoduchý stroj (obr. 2) skládající se ze tří částí, nanášečka tavného lepidla (vlevo), pracovní stůl s pravítky (uprostřed), a válcový lis (vpravo). Samotná výroba pak probíhá velmi "manuálním způsobem":

- nejprve se pravítka seřídí na konkrétní vyráběný rozměr
- obsluha vezme pruh plátna a nanese na něj pomocí válcové nanášečky lepidlo
- umístí popruh doprostřed stolu
- přiklopí popruh horním pravítkem
- přiloží kartonové desky
- zdvedne pravítko a přehne přesahující kraje popruhu
- nanese lepidlo na druhý (kratší) krycí popruh

- přilepí druhý popruh doprostřed desek
- slepené desky projedou válcovým lisem

Tato konfigurace je velmi jednoduchá, a vzhledem k tomu, že nanášečka lepidla i válcový lis se dají pořídit jako hotové stroje, tak by zbývalo dovyrobit jen stůl s pravítky. Také tento stroj nepotřebuje přívod stlačeného vzduchu, žádná čidla, přídavné akční členy a dokonce nepotřebuje ani žádnou řídící jednotku nebo ovládací panel. Z toho plyne největší výhoda této konfigurace, což je bezpochyby její velmi nízká výrobní cena. Naproti tomu je ovšem jedna velká logická nevýhoda, a to, že téměř všechny výrobní operace a manipulaci provádí lidská obsluha. S tím se nevyhnutelně pojí dlouhá doba výroby, nutnost dostatečné zručnosti obsluhy, vyšší procento vyrobených "zmetků", a v důsledku toho tedy i vysoké provozní náklady. Dalším problémem je potom také samotná manipulace při lepení. Jelikož kvůli výrobě formátů A0 musí být šířka stolu minimálně 90 cm, ale tím pádem už obsluha není schopna dosáhnout na vzdálenou stranu stolu.

2.1.2 Varianta č. 2 - "Žehlička"



Obrázek 3: Náčrt varianty stroje "Žehlička"

Další vymyšlené řešení (obr. 3) počítá s použitím takzvané nažehlovací textilie. Jde o plátěnou látku, která je již z výroby z jedné strany pokrytá tenkou vrstvou tavného lepidla. Díky tomu už není třeba lepidlo na popruh nanášet, ale pouze zalisovat za zvýšené teploty. Tato varianta je v podstatě tedy jednoduchý stůl s pravítky, a k tomu je na dvou pneumatických pístech připevněn lisovací nosník s topným tělesem. Výrobní sekvence je tedy následující:

- pravítka se seřídí na konkrétní vyráběný rozměr
- obsluha přiloží z obou stran papírové kartony
- vezme ustřižený popruh z nažehlovací textilie
- vloží ho pod lis
- tlačítkem spustí lisování za zvýšené teploty
- vyjme desky a otočí je
- vezme druhý popruh a opakuje proces z opačné strany

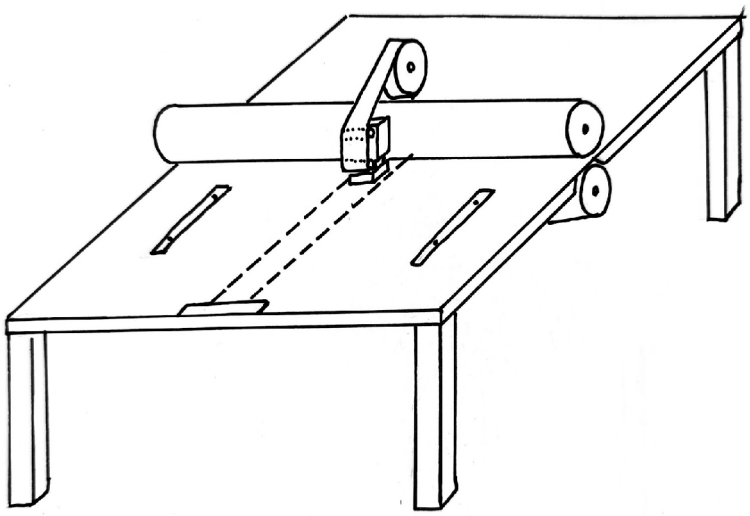
Tento princip je na první pohled velmi elegantní a jednoduchý. Výhodou tohoto stroje by opět byla relativně nízká pořizovací cena z důvodu toho, že stroj je jednoduchý a nepotřebuje žádnou řídící jednotku nebo jiné složité mechanismy. Problémem tohoto způsobu výroby je ovšem manipulace s výrobkem. Šířka stolu musí být opět kvůli výrobě formátu A0 minimálně 90 cm, což vylučuje, aby obsluha dosáhla na zadní stranu desek. Dále by bylo nutné popruh umístit velmi přesně a to přímo pod rozpálené topné těleso, což určitě není příliš bezpečné. Také není dořešeno, jak by se zahýbaly a lepily konce popruhů. Ještě můžeme vypočítat přibližný příkon topného tělesa (vzorec 1 a 2), které vytápí lisovací nosník, abychom si udělali představu, jakou bude mít spotřebu elektrické energie. Uvažujeme-li velikost nosníku 60 x 60 x 1000 mm, jeho teplotu 200°C, teplotu okolního vzduchu 20°C, a součinitel prostupu tepla do okolí 25 W/K·m^2 , a ztrátu sáláním zanedbáme, potom:

$$S = 2 \cdot (60 \cdot 60) + 4 \cdot (60 \cdot 1000) = 247\,200\, mm^2 = 0,2472\, m^2 \tag{1}$$

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T = 25 \cdot 0,2472 \cdot (200 - 20) = 1\,113\, W \tag{2}$$

I když se jedná o velmi hrubý odhad, tak je zřejmé, že se zvýšenou spotřebou energie je u tohoto řešení jistě nutné počítat. A v poslední řadě je proces stále pomalý. Provozní náklady by tedy byly vysoké.

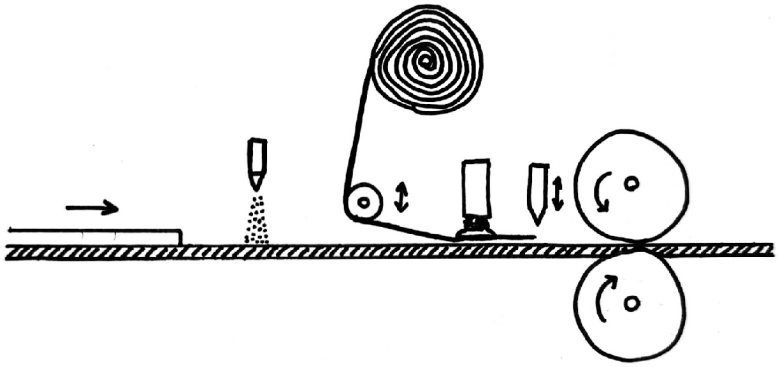
2.1.3 Varianta č. 3 - "Válec"



Obrázek 4: Náčrt varianty stroje "Válec"

Jelikož u prvních dvou variant byl problém, že obsluha potřebovala mít přístup na vzdálenou stranu stolu, na kterou nedosáhla, bylo nutné vymyslet jiné řešení. Dalším návrhem tedy bylo vytvořit jakýsi "portál", kterým by desky projížděly (obr. 4), a kde by se textilní popruh nelepil celý v kuse naráz, ale postupně. Tento stroj se tedy skládá ze stolu s pravítky, válcového lisu, a lepící soustavy (obr. 5) s popruhem navinutým v roli. V této

soustavě by byly za sebou: sprejovací hlava na tavné lepidlo (vlevo), zvedací váleček, kterým by se aplikoval popruh, vakuová přísavka na přidržení volného konce, a vysunovací řezací nůž (vpravo před válci).



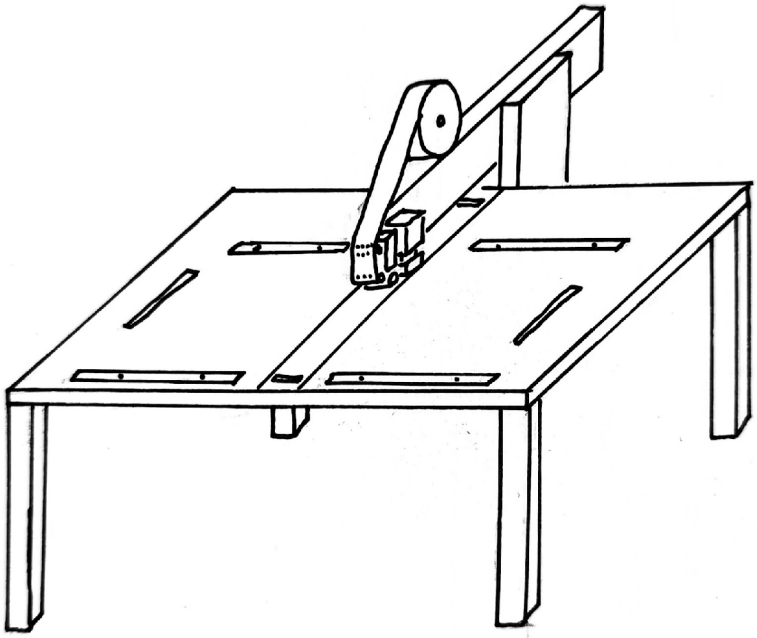
Obrázek 5: Lepící ústrojí varianty "Válec"

Potom je také nutné, aby měl stůl v sobě zabudovaný pojezd schopný posouvat desky skrz lepící ústrojí konstantní rychlostí pro přesné a rovnoměrné zalepení. Výroba by tedy probíhala tímto způsobem:

- pravítka se seřídí na konkrétní vyráběný rozměr
- obsluha položí papírové kartony na stůl
- stiskne tlačítko a spustí se výrobní sekvence
    - desky projedou skrze lepící soustavu a válcový lis, a vrátí se zpět
- obsluha otočí desky a spustí druhou část procesu
    - desky projedou znovu a zalepí se druhá strana hřbetu

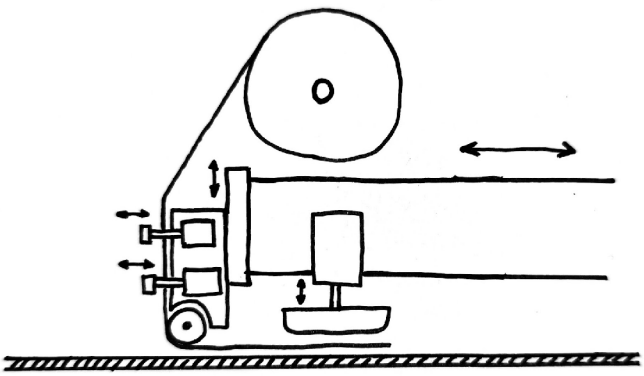
Tato varianta už je více automatizovaná oproti prvním dvěma, a je tedy jistě rychlejší a přesnější. Obsluha už nepotřebuje dosáhnout na zadní část stolu a stačí ji pouze přinést desky a zapnout proces. Z důvodu toho, že je proces automatizovaný, už je nutné použití logického řídícího systému, a řízených akčních členů je celkem šest: sprejovací hlava, motor válce, motor posuvu, píst válečku, vakuová přídrž, píst nože. Tato varianta už splňuje požadavky zadavatele. Její nevýhodou je pouze to, že opět není schopna ohnout a zalepit konce hřbetu, tudíž to musí dodatečně udělat obsluha ručně. Také průmyslové stříkací hlavice (příloha 2) tavného lepidla jsou relativně drahou položkou.

2.1.4 Varianta č. 4 - "Rameno"



Obrázek 6: Náčrt varianty stroje "Rameno"

Poslední představená varianta stroje je, dá se říci, kombinací předchozích dvou řešení. Namísto toho, aby desky projížděly portálem jako u varianty "Válec", jsou v tomto případě desky staticky položeny na stole a lepící ústrojí se pohybuje na posuvném rameni nad nimi (obr. 6). Samotné lepící ústrojí je modifikováno na použití nažehlovací textilie v pásu (obr. 7), stejného jako u varianty "Žehlička". Skládá se z posouvatelné žehličky (vpravo dole), posouvatelného aplikačního válce (vlevo dole), stříhacích nůžek (vlevo nad válcem) a brzdy (vlevo nad nůžkami).



Obrázek 7: Lepící ústrojí varianty "Rameno"

Dále jsou pak ve stole zabudované výsuvné písty, umožňující zahnutí a zalepení krajů popruhu. Výrobní proces je pak téměř plně automatický. Je pouze nutné otočit desky pro zalepení z obou stran. Výrobní sekvence je následující:

- pravítka se seřídí na konkrétní vyráběný rozměr
- obsluha položí papírové kartony na stůl
- stiskne tlačítko a spustí se lepení jedné strany
    - rameno projede nad deskami a zažehlí popruh
    - na konci popruh přestřihne a vrátí se zpět
- obsluha otočí desky a spustí lepení druhé strany
    - rameno projede nad deskami a zažehlí popruh
    - na konci popruh přestřihne
    - vysune se ohýbací píst a zalepí se první okraj
    - rameno se vrátí zpět
    - vysune se druhý ohýbací píst a zalepí se druhý okraj

Tato varianta stroje již vyžaduje řídící jednotku, jelikož je nutné ovládat několik akčních členů v přesných a na sobě závislých časových okamžicích. Vzhledem k nutnosti řízení i většímu počtu akčních členů se jedná o relativně dražší variantu. Nicméně jako jediná je schopná zalepit i volné okraje popruhu, a také je velmi jednoduchá pro obsluhu. Požadavkům zadavatele tedy vyhovuje i díky své rychlosti nejlépe, a proto byla nakonec vybrána jako finální konfigurace stroje.

3 Mechanická konstrukce stroje

Když je už princip výroby a konfigurace stroje jasná, můžeme přistoupit k detailnějšímu navrhu konstrukce. K tomu se používají specializované softwary na modelování takzvaných 3D CAD modelů. Konkrétně na vytvoření modelu v této diplomové práci byl použit program Fusion od firmy Autodesk [4].

3.1 Stůl

Konstrukce stolu je vytvořena z hliníkových profilů 80 x 40 mm a 120 x 40 mm spojených šroubovatelnými spojkami (obr. 8). Hlavním důvodem pro použití profilů místo svařené ocelové konstrukce je jednoduchost sestavení, k čemuž stačí pouze imbusový klíč, a také možnost snadné budoucí modifikace a úprav na stroji. Pracovní deska je navržena z 18mm voděodolné oboustranně foliované překližky.

Obrázek 8: Model konstrukce stolu stroje

3.1.1 Rozměry a ergonomie

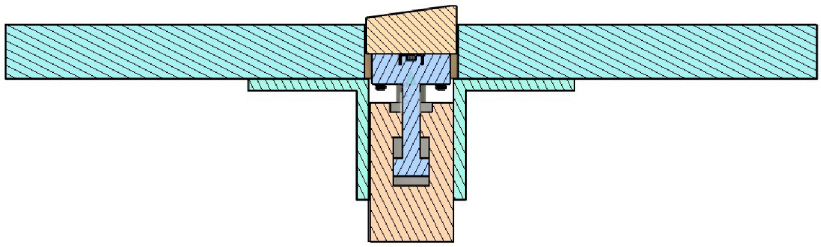
Velikost pracovní desky stolu je pevně spjatá s největším vyráběným rozměrem desek, což je formát A0 velikosti 1189 x 841 mm. Pracovní deska je tedy o něco větší, 1900 x 910 mm. Výšku stolu od země je potom pouze 80 cm, a to z důvodu toho, že obsluha nepotřebuje provádět nijak přesné úkony, ani příliš dlouho nestojí před strojem. Naopak potřebuje manipulovat s ne zcela lehkými kartony velkých rozměrů, kde je nižší výška stolu výhodou [5]. Nohy stolu jsou také opatřeny nastavitelnými podpěrkami, pro vyrovnání nerovností podlahy.

3.1.2 Nastavení formátu desek

K seřízení stroje na požadovaný rozměr vyráběných desek slouží sada polohovatelných pravítek. Na obrazku (obr. 8) je znázorněno seřízení na rozměr A3 vpravo, a rozměr A0 vlevo. Spodní pravítka jsou pevně spojena s pracovní deskou stolu, vrchní a boční pravítka jsou připevněna pomocí šroubů s širokou rýhovanou hlavou pro snadné utáhnutí a povolení rukou. Kromě nastavení fyzických rozměrů je také nutné zvolit na ovládacím panelu stroje správný výrobný program na konkrétní formát desek.

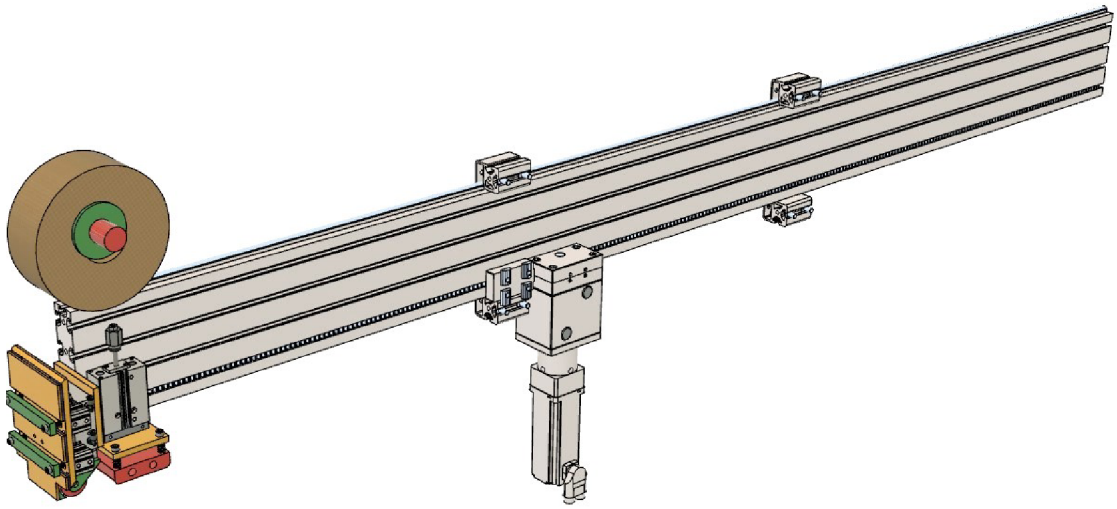
3.1.3 Výsuvné trny

Výsuvné trny (obr. 9) po obou stranách stolu slouží k zahnutí konců popruhu při druhé fázi procesu lepení. Trny se po zalepení horního hřbetu jednoduše zdvihnou, čímž nadzvednou volné konce popruhu na spodní straně desek, které poté žehlička pohybem do strany přitiskne a přilepí na vrchní stranu kartonu. Vysunutí je provedeno dvojčinným pneumatickým válcem DFM-12-10-P-A-GF z katalogu firmy FESTO [6], se zdvihem 10 mm a průměrem pístnice 12 mm. Výhodou tohoto válce je, že rovnou obsahuje kluzné vodící vedení, tudíž již není třeba dodatečného lineárního vedení, a je zajištěna dostatečná odolnost válce vůči bočnímu zatížení.



Obrázek 9: Průřez pístu s výsuvným trnem

3.2 Rameno



Obrázek 10: Model pojízdného ramene stroje

Pojízdné rameno stroje je tvořeno z jednoho kusu hliníkového profilu, který je k rámů připevněn lineárním vedením, a na jeho opačném konci se nachází lepící ústrojí (obr. 10). Při volbě jaký profil použít, zda 80 x 40 mm, 120 x 40 mm, 160 x 40 mm, byl použit orientační výpočet odchylky (průvěsu) při zatížení d a ohybového napětí σ (vzorce 3-7). Je-li rameno na jednom konci pevně ukotveno ve vedení a na druhé straně zatíženo pracovní silou F = 100 N, dále je vysunuto na maximální délku l = 1500 mm, modul pružnosti v tahu hliníku E = 70000 N/mm², moment setrvačnosti průřezů profilů I_{160} = 500,32 cm^4, I_{120} = 220,54 cm^4, I_{80} = 69,54 cm^4, hmotnost profilů m_{160} = 5,64 kg/m, m_{120} = 4,35 kg/m , m_{80} = 3,04 kg/m, potom:

$$F_g = m_{160} \cdot l \cdot g = 5,64 \cdot 1500 \cdot 9,81 = 82,99\ N \tag{3}$$

$$d_g = \frac{F_g \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot I_{160} \cdot 10^4} = \frac{82,99 \cdot 1500^3}{8 \cdot 70000 \cdot 500,32 \cdot 10^4} = 0,1\ mm \tag{4}$$

$$d_F = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_{160} \cdot 10^4} = \frac{100 \cdot 1500^3}{3 \cdot 70000 \cdot 500,32 \cdot 10^4} = 0,32\ mm \tag{5}$$

$$d_{160} = d_g + d_F = 0,1 + 0,3 = 0,42\ mm \tag{6}$$

$$\sigma_{160} = \frac{F \cdot l}{W_{160}} = \frac{100 \cdot 1500}{62,54} = 2,4\ N/mm^2 \tag{7}$$

A pro zbylé dva profily d_{120} = 0,9 mm , σ_{120} = 4,08 N/mm^2, d_{80} = 2,7 mm , σ_{80} = 8,63 N/mm^2. Výsledné ohybové napětí není problém, jelikož mez kluzu této hliníkové slitiny, při které

dochází k permanentní deformaci, je 195 N/mm^2 [7]. Nicméně průvěs nosníku je nezanedbatelný. Sice se nejedná o aplikaci, kde by byla nutná vysoká přesnost, přesto zvolíme raději nejpevnější profil 160 x 40 mm.

3.2.1 Lineární vedení

Při volbě pohyblivého vedení ramene se nabízelo hned několik možností (obr. 11). Asi nejjednodušší a nejlevnější variantou je umístění speciálních pojízdných vozíků přímo do drážky profilu. Tyto vozíky mají kontaktní plochy pokryty speciálním plastem s nízkým koeficientem tření a nevyžadují žádnou lubrikaci.

Dalším velmi hojně používaným řešením je použití vozíku s oběžnými řadami kuliček, jedoucím po speciální kolejnici. Tyto vozíky se vyrábějí v pestré škále provedení a vynikají zejména svou přesností pohybu.

Nakonec ale bylo vybráno vedení pomocí válečků na ložiscích, jedoucích po kolejnici kulatého profilu. Je to z důvodu toho, že je to jakýsi kompromis mezi předchozími dvěmi variantami. Stejně jako vozík v drážce, ani válečky na kolejnici nepotřebují téměř žádnou údržbu, naproti tomu kuličkové vedení je třeba pravidelně promazávat. Dále zde dochází jen k minimálnímu opotřebení a třecím silám, což je problém u vozíků do drážky, kde je kvůli přímému kontaktu plastu a kovu tření i opotřebení nezanedbatelné. A v poslední řadě je toto řešení levnější než kuličkové vedení, snazší k instalaci a pro naší aplikaci i dostatečně přesné.

Obrázek 11: Typy pojízdného vedení

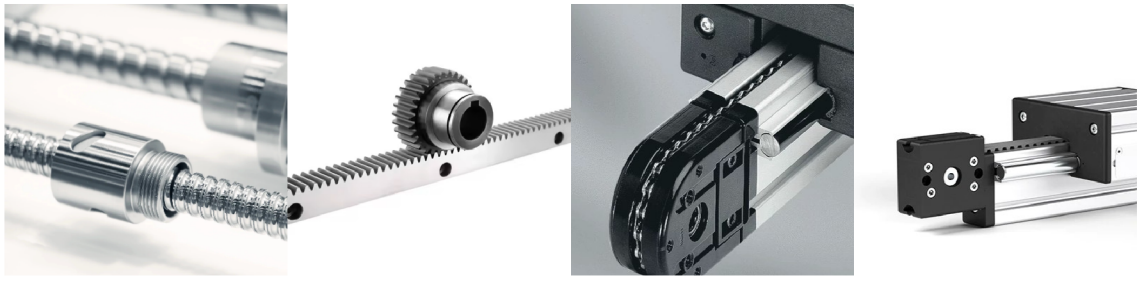
3.2.2 Přenos síly

K převodu otáčivého pohybu motoru na lineární posuv ramene je třeba zvolit vhodný mechanismus. Možností je opět několik (obr. 12). Pro kratší zdvihy a přesné pohyby se hodí posuv pomocí šroubu a kuličkového pouzdra. V našem případě, kdy je zdvih 1500 mm, už by ovšem u šroubu nižších průměrů mohlo docházet k průhybu a vibracím, a také bývá posuv šroubem zpravidla pomalý, proto tato varianta není úplně vhodná.

Další možností je přenos pohybu pomocí řemene nebo řetězu. Řetěz dokáže velmi dobře zvládat i velká zatížení. Použití řemene je zase zcela nejlevnější variantou, která splňuje dostatečnou přesnost a lze použít i na delší vzdálenosti.

Nakonec ovšem byl zvolen přenos síly pomocí hřebene a pastorku. Sice je tento způsob většinou mírně dražší než ostatní a může mít vůli mezi jednotlivými zuby, s čímž se pojí odchylky v poloze ramene, ale jeho instalace je velmi jednoduchá. Například firma ITEM [8] nabízí ozubený hřeben, který je možné snadno připevnit přímo do drážky

konstrukčního profilu. A také tato varianta umožňuje snadné, a prostorově kompaktní připevnění motoru přímo k rámu, takže motor nemusí "vozit" vlastní hmotnost, jako kdyby byl na rameni.



Obrázek 12: Typy převodových mechanismů

3.2.3 Motor

Pohyb ramene stroje je prováděn pomocí elektromotoru. Na trhu existuje široká škála typů, variant a provedení elektromotorů, převodovek i ovladačů motorů. K výběru vhodného řešení je vždy nejprve nutné spočítat a určit potřebné parametry a charakteristiky pohybu. Vycházet budeme z již navržené mechanické konstrukce (tabulka 3) kde:

Tabulka 3: Parametry stroje pro výpočet motoru

Délka posuvu ramene [l]	1500 mm
Jedna otáčka pastorku je rovna [o]	144 mm
Účinnost převodu [u]	75 %
Hmotnost profilu	12,4 kg
Hmotnost vodících tyčí	3 kg
Hmotnost hřebenu	1,5 kg
Hmotnost žehličky	1,5 kg
Hmotnost hlavy	3 kg
Hmotnost pásky	1 kg

Dále je nezbytně nutné znát rychlost pohybu ramene. Tento údaj ještě přesně neznáme, jelikož správná rychlost lepení i teplota žehlení bude určena až při testování a zavádění stroje do provozu. Pro výpočet tedy budeme uvažovat, že rameno urazí celou délku posuvu za 10 s, což odpovídá maximální rychlosti posuvu ramene v = 0,15 m/s (v praxi potom bude pravděpodobně nižší) . Můžeme tedy spočítat pracovní otáčky motoru [ω] (vzorec 8) jako:

$$\omega = \frac{v}{o} = \frac{150}{144} \approx 1\,ot/s \Rightarrow 60\,ot/min \tag{8}$$

Tímto známe první zásadní potřebný parametr a druhým stejně důležitým je točivý moment. K určení točivého momentu (vzorce 9-12) potřebujeme nejprve zjistit síly, které bude motor překonávat [9]. Jednou z nich je třecí síla vznikající při posouvání žehličky/lisu po lepeném plátně. Uvažujeme-li normálovou sílu přítlaku F_n = 80 N a součinitel smykového tření látkového popruhu a kovové žehličky μ = 0,5 pak:

$$F = Fn \cdot \mu = 80 \cdot 0,5 = 40\,N \tag{9}$$

$$o = 2 \cdot \pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{o}{2\pi} = 22,9\,mm \tag{10}$$

$$M = F \cdot r = 40 \cdot 0,0229 = 0,916\,Nm \tag{11}$$

$$M_m = \frac{M}{u} = \frac{0,916}{0,75} = 1,22\,Nm \tag{12}$$

Tímto známe moment na motoru při lepení. Další silou, kterou musí motor překonat, je setrvačná síla, neboli odpor hmoty vůči zrychlení. K výpočtu tedy potřebujeme znát celkovou hmotnost pohybujícího-se ramene (vzorec 13), kterou vypočteme jako součet dílčích hmotností:

$$m = \sum m_i \approx 25\,kg \tag{13}$$

A dále je třeba znát zrychlení pohybu (vzorec 14). Opět se jedná o nedefinovanou veličinu, ale můžeme si stanovit například to, že chceme, aby se rameno dostalo do pracovní rychlosti v = 0,15 m/s během 0,1 s potom:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,15}{0,1} = 1,5\,m/s^2 \tag{14}$$

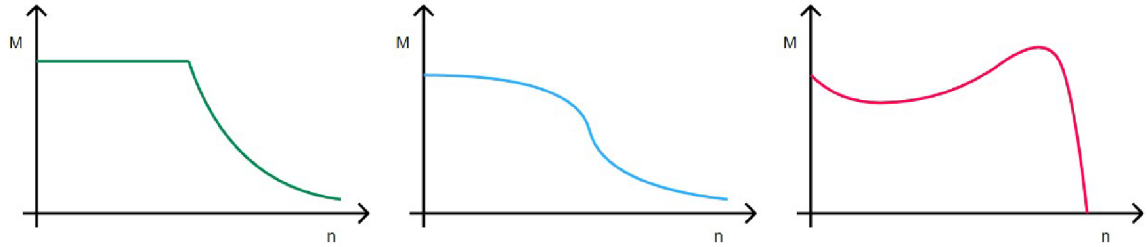
$$F = m \cdot a = 37,5\,N \tag{15}$$

$$M = F \cdot r = 37,5 \cdot 0,0229 = 0,859\,Nm \tag{16}$$

$$M_m = \frac{M}{u} = \frac{0,859}{0,75} = 1,15\,Nm \tag{17}$$

Tímto máme spočítaný točivý moment na motoru při rozjezdu (vzorce 15-17). Je také důležité si uvědomit, že tyto dvě vypočtené síly by neměly pusobit společně, protože spuštění žehličky se provede vždy už při pohybu ramene pracovní rychlostí.

Když máme spočítané parametry, můžeme přejít k výběru typu motoru. K dispozici jsou vesměs tři možné varianty, a to asynchronní elektromotor, servomotor a krokový motor. Klíčovými parametry výběru jsou tedy vypočítané pracovní otáčky a moment, dále "řiditelnost" motoru řídící jednotkou, a poté pochopitelně také pořizovací cena.



Graf 1: Momentové charakteristiky zvažovaných pohonů. Servomotor s ovladačem (vlevo), Krokový motor s ovladačem (uprostřed), Asynchronní motor (vpravo)

Asynchronní motor je zdaleka nejlevnější variantou. Z momentové charakteristiky (graf 1) plyne, že sice nemá příliš dobré vlastnosti při nízkých otáčkách, ale to by se dalo vyřešit převodovkou. Jeho problémem je ovšem velmi špatná polohovatelnost. Při výrobní sekvenci potřebujeme rameno polohovat na různé vzdálenosti, a to se u asynchronních motorů dělá velmi složitě. Dále se také asynchronní motory špatně zastavují. Toto řešení je tedy nevhodné.

Synchronní servomotor je pro své vlastnosti parametrově asi nejlepším možným řešením. Lze relativně snadno řídit, dosahuje vysokých hodnot točivého momentu v námi požadovaných nízkých otáčkách (vzorec 8), je v porovnání ke svému výkonu lehký a velmi často disponuje absolutním odměřováním, které dokáže přesně určit polohu i po ztrátě proudu nebo prokluzu [10] . Jeho hlavní nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

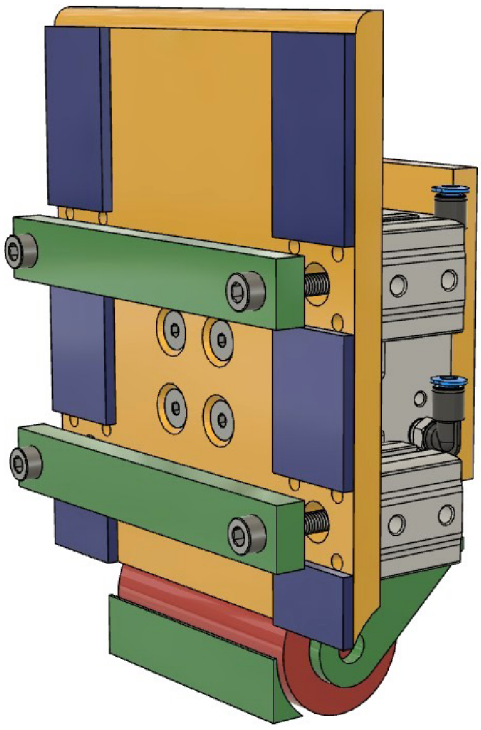
Právě kvůli několikanásobně nižší pořizovací ceně byl zvolen krokový motor. Jeho řízení je relativně snadné. Lze polohovat pomocí odpočítávání kroků nebo lze dovybavit přídavným enkodérem a také dosahuje vysokých hodnot točivého momentu při nízkých otáčkách. Přeci jen jsou ale vypočtené otáčky $\omega \leq 60$ ot/min relativně pomalé i na krokový motor. Dále také poměr o = 144 mm/ot by pro krokový motor s například 200 kroky znamenal, že jeden krok motoru pohne ramenem rovnou o 0,72 mm. Z obou těchto důvodů bude vhodné použít krokový motor společně s převodovkou do pomala.

Konkrétně byl vybrán krokový motor 23HS30-5004D-E1000 (příloha 4) s přírubou NEMA23, přídržným momentem 2 Nm, 200 kroky, s přídavným optickým enkodérem a zpětnovazební smyčkou viz. kapitola 5.1 Ovladač motoru. V kombinaci s planetovou 5:1 převodovkou MG23-G5-D8 (příloha 3).

3.3 Lepící ústrojí

3.3.1 Aplikační hlava s brzdou a nůžkami

Aplikační hlava (obr. 13) slouží k několika účelům. Dochází v ní zejména k manipulaci a aplikaci nažehlovacího popruhu, dále také k jeho přidržování a řezání. Jádrem celé hlavy jsou pneumatické dvojčinné saně DGST-16-20-P1A, o zdvihu 20 mm, s dvojicí pístnic o průměru 16 mm, s vedením v kuličkových oběžných pouzdrech, a tlumením dorazů pomocí elastomerových tlumičů.



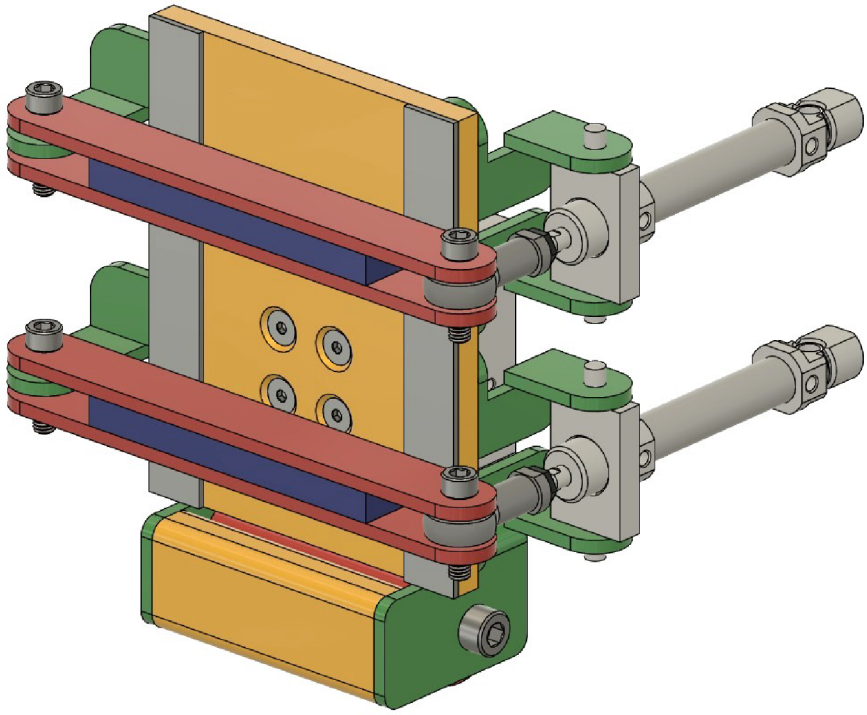
Obrázek 13: Model aplikační hlavy s válečkem

Zespodu saní je připevněn plastový váleček o průměru 36 mm na ložiskách, sloužící k odvíjení textilního popruhu poté, co dojde ke spuštění saní dolů a přitlačení na desky. Z přední strany jsou k saním uchyceny dvě hliníkové desky, mezi kterými je veden popruh.

Na desce jsou dále připevněny dva páry dvojčinných pneumatických pístů ADN-S-12-10-I-P, průměru 12 mm, zdvihu 10 mm, s pružnými tlumícími kroužky. Každý pár pístů je spojen hliníkovou hrazdou. Spodní pár pístů slouží k nastřihnutí popruhu. Na zadní části hrazdy bude připevněna čepel, která má za cíl při secvaknutí naříznout právě lepený popruh.

Druhý pár pístů slouží k uchycení popruhu. Na zadní straně hrazdy bude umístěn proužek gumy, který při secvaknutí popruh pevně přichytí. Po přichycení je potom rameno pohybem vpřed nebo vzad schopno "utrhnout" z jedné strany přilepený popruh na předem nastřiženém místě.

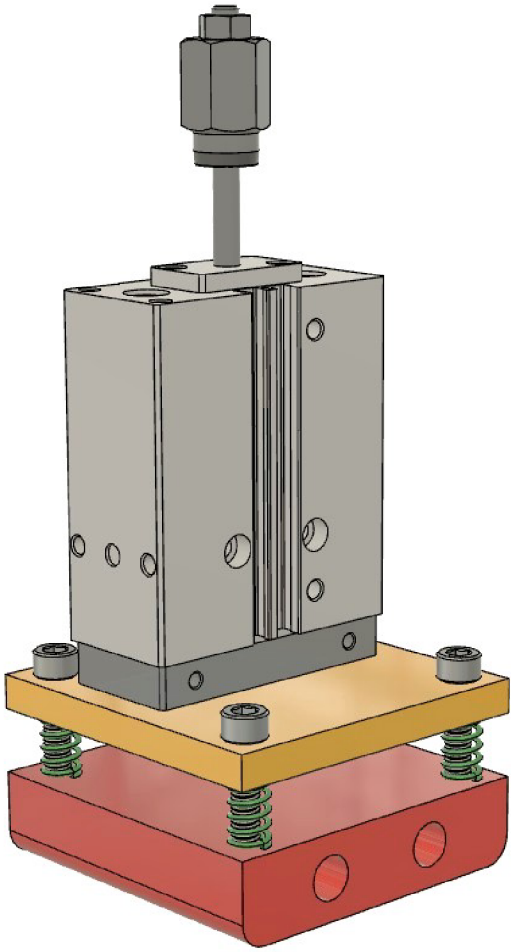
Tento prvotní model byl ovšem během procesu návrhu časem upraven. To zejména z toho důvodu, že pevné spojení dvou pneumatických válců sice teoreticky funguje bez problému, ovšem v praxi se mu snažíme vyhnout. I když jsou písty identické a napojené na stejný řídící ventil, přesto v průběhu času vlivem výrobních nepřesností a různé lubrikaci pístnic dochází k rozdílným polohám vysunutí, a tím pádem i k nepříjemným bočním silám, které mohou způsobit rychlé opotřebení a netěsnost pístů. Proto byl navržen nový model (obr. 14), který používá k pohybu pouze jeden píst, konkrétně dvojčinný píst DSNU-12-30-P-A, průměru 12 mm, zdvihu 30 mm, s pružnými tlumícími kroužky. Ten je připevněn na rotačním kloubu a zajišťuje zdvih nůžek a brzdy. Nový návrh je tedy konstrukčně mírně složitější než původní, ale zato je potřeba méně pneumatických prvků, a také by hlava měla mít delší životnost a větší robustnost.



Obrázek 14: Upravený model aplikační hlavy s vahadlovým mechanismem

3.3.2 Žehlička

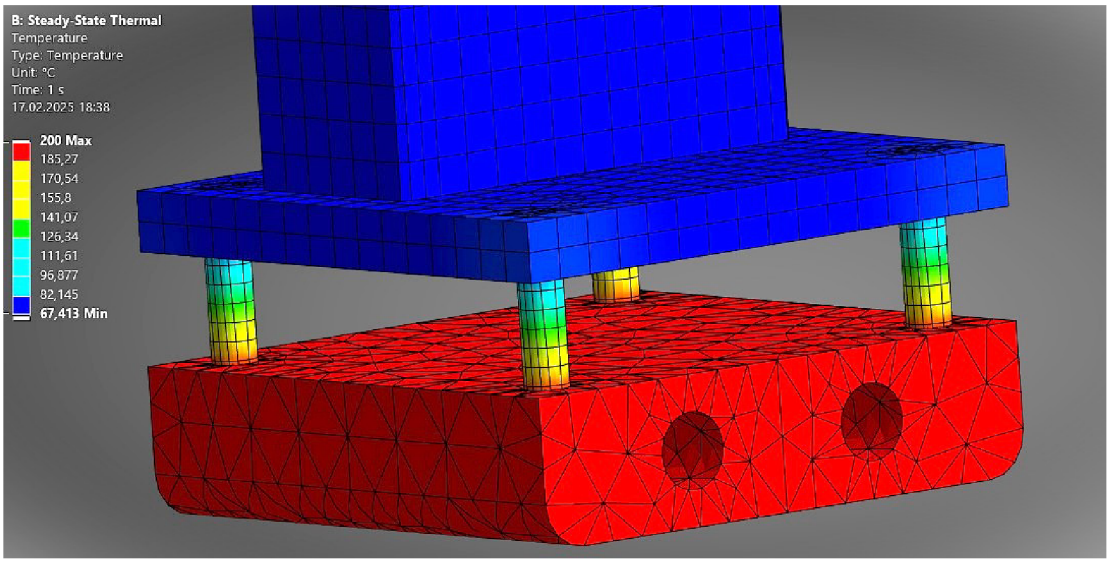
Žehlička je část stroje provádějící lepení a lisování nažehlovací textilie k papírovým deskám (obr. 15). Jde o hliníkový blok (na obrázku červeně) s dvěma otvory pro umístění topných těles (příloha 5), které ho ohřívají na stanovenou provozní teplotu. Tato topná tělesa se vyrábí v nejrůznějších provedeních, konkrétně se jedná o válcová tělesa o průměru 10 mm, délce 80 mm, napětí 220 V, a výkonu 200 W. Hliníkový blok je k ramenu připevněn na dvojčinném pneumatickém pístu DFM-16-20-P-A-GF s lineárním vedením v kuličkových oběžných pouzdrech, průměrem pístnice 16 mm, zdvihem 20 mm, tlumením dorazů pomocí pružných tlumících kroužků, umožňující zdvihání a spouštění žehličky tak, jak to vyžaduje výrobní sekvence. Limity zdvihu jsou u tohoto provedení pístu nastavitelné, což je potřeba, kdyby se měla v budoucnu měnit tloušťka lepených kartonů. Spojení pístu a topného bloku je navrženo pomocí nastavitelných šroubů s předpjatými ocelovými pružinami. To z důvodu toho, aby bylo možné zajistit stálý a zároveň nastavitelný tlak kontaktu mezi topným blokem a lepenými deskami, a tím zajistit optimální podmínky pro perfektní přilepení poruhu.



Obrázek 15: Model pístu s žehličkou

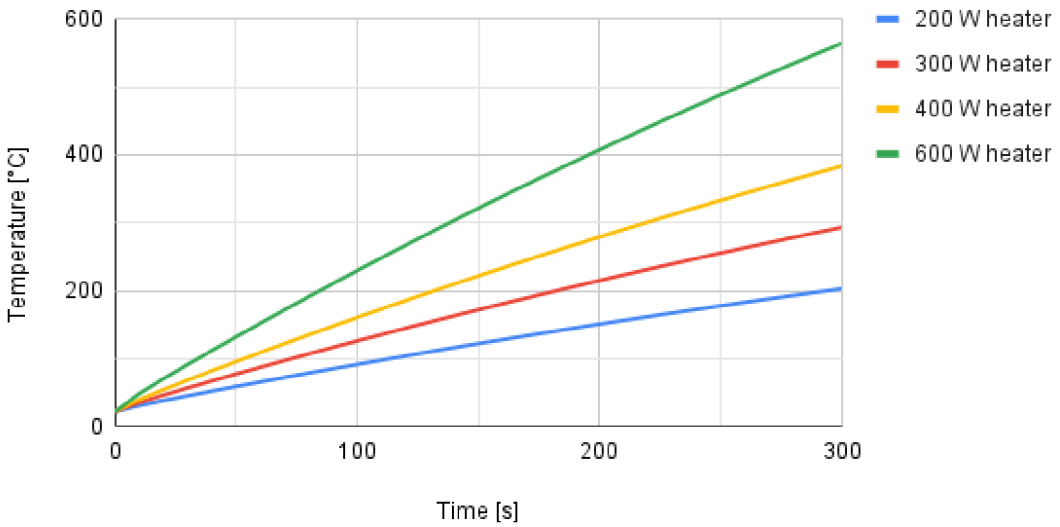
V souvislosti s umístěním topného tělesa na rameno stroje je vhodné položit si pár otázek. Jak ovlivní zvýšená teplota žehličky další části stroje? Jaký příkon by mělo mít topné těleso? Dají se nějakým způsobem omezit úniky tepla a tím snížit spotřebu energie stroje? K zodpovězení těchto otázek byla provedena termální analýza soustavy v softwaru ANSYS [11].

Nejprve byla provedena simulace prostupu tepla z topného tělesa na zbytek soustavy (obr. 16). To, jak se v provozu zahřejí ostatní sousedící díly, nás zajímá zejména proto, že navržený pneumatický píst zdvihu žehličky podle informací výrobce může pracovat maximálně při teplotě 80°C. Do simulace byla tedy zadána teplota žehličky 200°C, a únik tepla do okolního vzduchu (20°C) konvekcí s hodnotou součinitele prostupu tepla h = 25 W/(m²·K). Po ustálení procesu teplota válce zůstala na 67°C. Vzhledem k tomu, že při této simulaci byl zanedbán vliv "chlazení" připevněním k rámu stroje, a i přesto vyšla ustálená teplota válce pod hranici 80°C, můžeme téměř s jistotou prohlásit, že zvýšená teplota by neměla být problém.



Obrázek 16: Výsledek simulace teploty v softwaru Ansys

Další otázkou byl příkon topného tělesa. Udržování nastavené teploty bude mít na starosti řídící jednotka stroje s pomocí regulační smyčky a informací v podobě naměřených dat z teploměru viz. 6.1.2 Technologické objekty. Příkon topného tělesa tedy nijak zvlášť neovlivní kvalitu regulace teploty, ale má zásadní vliv na maximální možnou pracovní teplotu, a na dobu nahřívání žehličky. Požadovaná pracovní teplota procesu má být pro správné zažehlení popruhu přibližně 200°C. Můžeme tedy provést simulaci teploty soustavy s různými hodnotami příkonu topného tělesa a pozorovat, za jak dlouho a zda vůbec dosáhnou požadované pracovní teploty. Byly testovány celkem čtyři varianty topných těles: 200 W, 300 W, 400 W a 600 W. Na výsledném grafu simulace (graf 2) můžeme vidět, že všechny varianty dokaží dosáhnout požadované teploty 200°C. Nahřívání při použití 200 W topného tělesa trvá téměř 5 minut, při 300 W přibližně 3 minuty, při 400 W přibližně 2 minuty, a při 600 W 1,5 minuty. Byla tedy vybrána 400 W varianta která by měla pro své účely bohatě stačit.

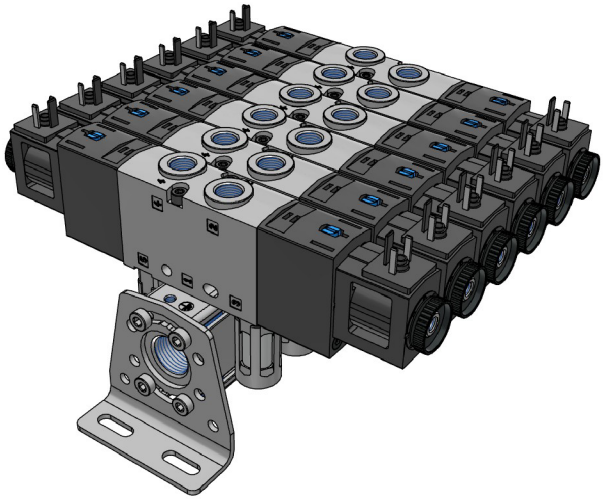


Graf 2: Průběhy teploty žehličky během simulace

Poslední otázkou bylo, zda se dají omezit úniky tepla a tím snížit spotřebu energie stroje. Na tuto otázku už bylo myšleno při prvotním návrhu designu žehlícího ústrojí, a proto bylo navrženo uchycení pouze pomocí čtyř šroubů a pružin. Tím pádem je kontaktní plocha mezi žehličkou a zbytkem stroje velmi malá. Jedinou možností, jak ještě více omezit ztráty tepla, by bylo použít šrouby menšího průměru nebo je nějakým způsobem odizolovat. Nicméně i takto jsou tepelné ztráty natolik nízké, že není třeba se tím příliš zabývat.

4 Pneumatické zapojení

Všechny akční členy kromě motoru ramene jsou poháněny stlačeným vzduchem. Stroj je navržen pro připojení ke standardnímu rozvodu stlačeného vzduchu o tlaku 6-10 bar. Jelikož rozvod v místě umístění stroje nemá centrální úpravu vzduchu, bude stroj vybaven vlastní kombinací jednotek pro úpravu stlačeného vzduchu LFR-1/4-DB-7-MINI-KC. Ta se skládá ze čtyř částí: filtru mechanických nečistot zamezující vstup prachových a jiných nežádoucích částic, regulátoru tlaku, kterým lze nastavit vstupní tlak do zařízení, maznice, která promazává procházející tlakový vzduch a přispívá k bezporuchovému chodu pístů, a odlučovače kondenzátu určeného k odstranění kapalných částic a regulaci vlhkosti vzduchu.



Obrázek 17: Ventilový blok stroje

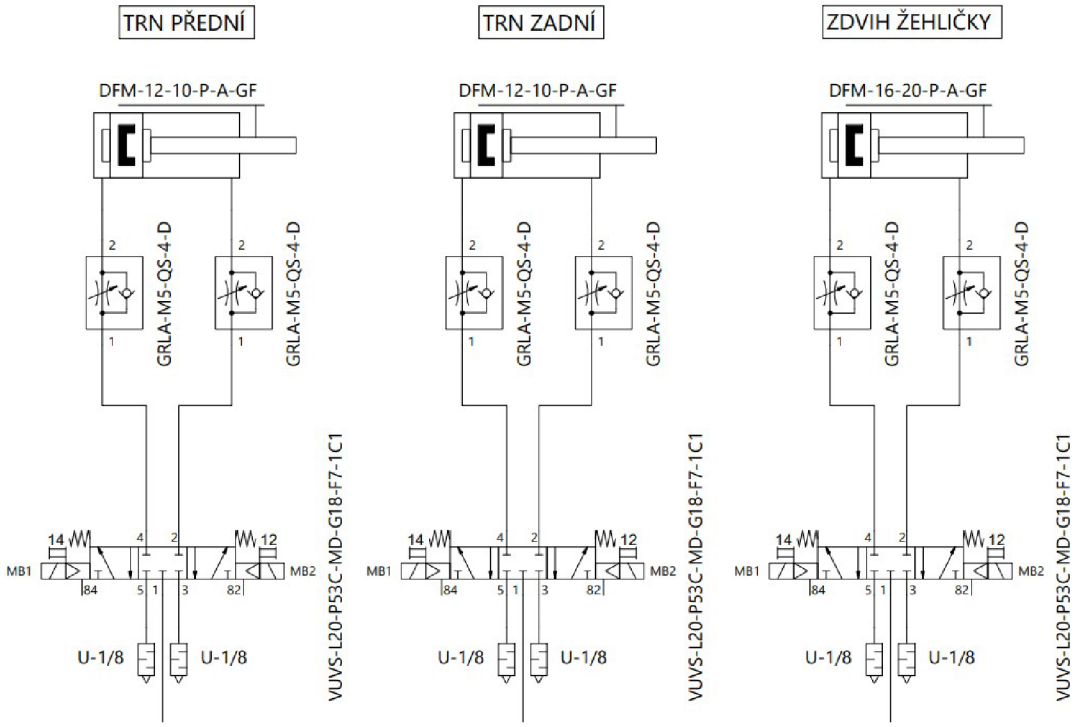
Z jednotky pro úpravu je vzduch veden do ventilového bloku (obr. 17) skládajícího-se z přípojné lišty a šesti ventilů. Šest ventilů je třeba proto, že každý píst je potřeba ovládat samostatně a nezávisle. Na obrázku (obr. 18) je zobrazena část pneumatického schématu se zapojením pístu trnů a zdvihu žehličky. Pro vytvoření schématu zapojení byl použit software FluidDraw P6 [12]

Pneumatické písty existují buď jednočinné nebo dvojčinné. Jednočinné zdvihá stlačený vzduch, ale zpět do původní polohy je navrací mechanická pružina. Dvojčinné jsou potom ovládány tam i zpět stlačeným vzduchem [13]. Mají tedy dva přívody a ventil k jejich ovládání musí být mírně složitější, ale zato se dají lépe ovládat, a také případně lze měnit jejich rychlosti a síly pohybu.

V našem návrhu jsou všechny písty dvojčinné, a proto je můžeme ovládat všechny pomocí stejných ventilů. Konkrétně jde o ventil VUVS-L20-P53C-MD-G18-F7-1C1, což je 5/3 elektromagnetický ventil s uzavřenou střední hodnotou. To znamená, že má 5 vývodů, 3 pracovní polohy a o přepínání jednotlivých poloh se stará dvojice elektromagnetů. Pět vývodů je napojeno na: přívod vzduchu, přední stranu pístu, zadní stranu pístu, a dva odfuky. A tři pracovní polohy jsou:

1. přívod vzduchu do přední strany pístu, ze zadní odfuk
2. přívod vzduchu do zadní strany pístu, z přední odfuk
3. všechny vývody samostatně uzavřeny

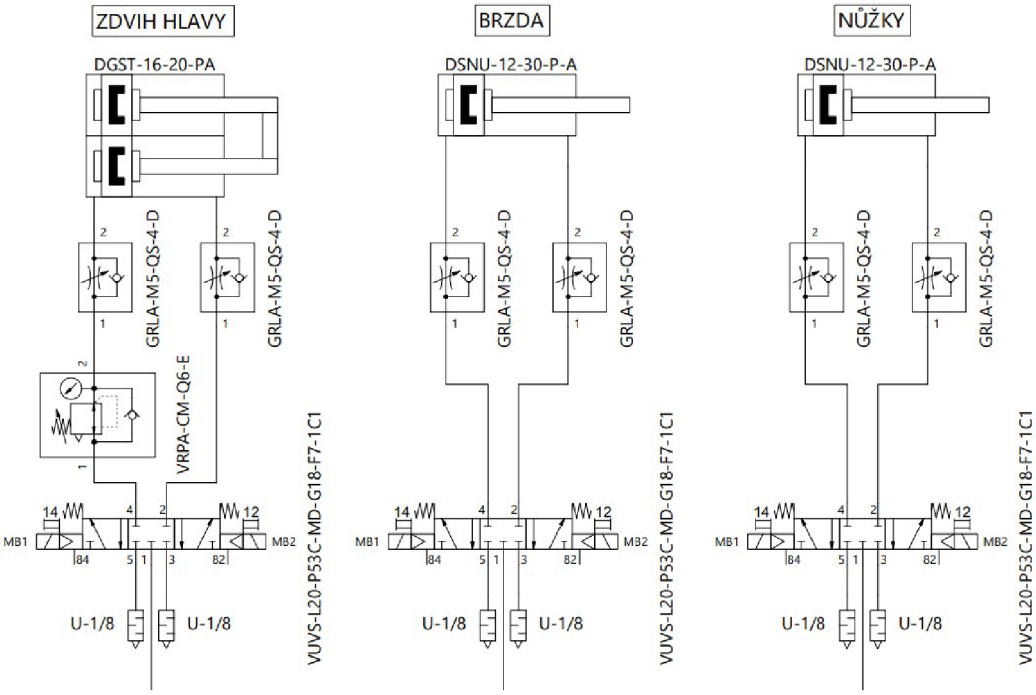
Do dvou volných výstupů ventilu jsou zašroubovány tlumiče hluku U-1/8.



Obrázek 18: Zapojení pístů trnů a žehličky

Prvek mezi pístem a ventilem s názvem GRLA-M5-QS-4-D je takzvaný škrtící ventil. V našem případě se jedná o jednosměrný škrtící ventil zabudovaný přímo ve šroubení k pístu. Jeho funkcí je, že šroubkem na ventilu lze měnit průřez otvoru, tím pádem rychlost proudění stlačeného vzduchu, a přímo úměrně k tomu tedy i rychlosti vysunutí a zasunutí pístu. Po sestavení stroje se tedy během fáze testování a ladění škrtící ventily seřídí, aby se písty nehýbaly příliš rychle a nedocházelo příčinou nárazů k vibracím, a zároveň aby se písty nepohybovaly až příliš pomalu.

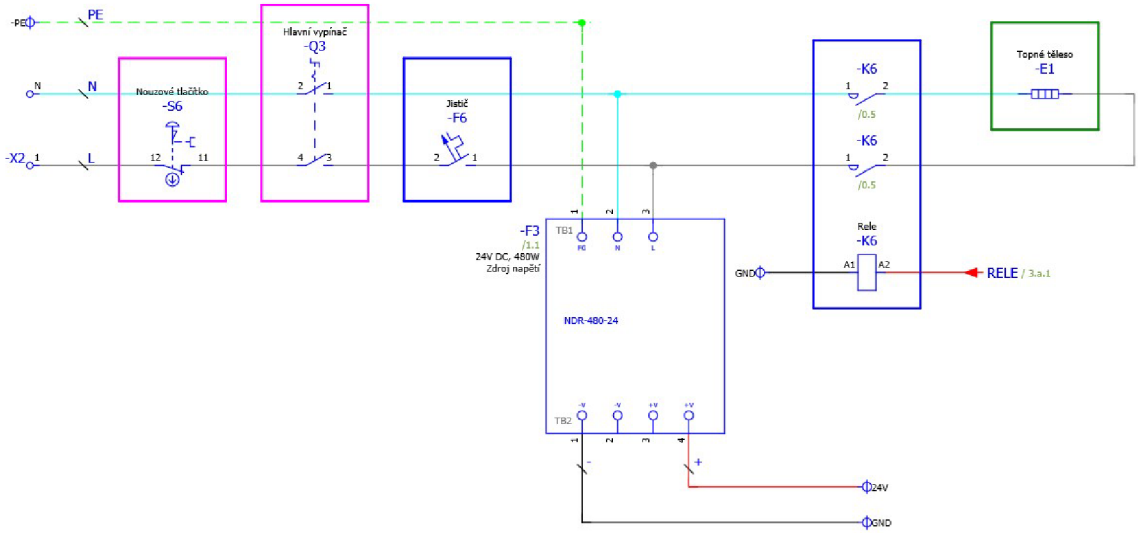
Zapojení zbylých třech pístů v druhé části schématu (obr. 19) je téměř totožné. Rozdílem je přidání jednoho prvku navíc na připojení k pístu zdvihu hlavy. Jde o regulátor tlaku s odvzdušněním a zpětným ventilem. Pomocí něho je možné snadno nastavovat tlak přívodu vzduchu do válce. To proto, že na tlaku v pístu závisí, jakou silou bude přitlačován aplikační váleček s popruhem. Jaká síla na to bude vhodná, je možné zjistit pouze testováním. Celé pneumatické zapojení je zobrazeno v příloze (příloha 6).



Obrázek 19: Zapojení pístů zdvihu hlavy, brzdy a nůžek

5 Elektrické zapojení

Stroj je navržen pro kabelové připojení ke klasické 230 V zásuvce. Jelikož žádný z akčních členů stroje nemá příliš vysoký příkon, tak jsou všechny prvky stroje i řídící jednotka napájeny stejnosměrným napětím 24 V. Jedinou výjimkou je topné těleso, které je stavěno na napětí 230 V a má příkon 400 W, tudíž je připojeno přímo do silové části a spínáno pomocí externího relé. Celé silové schématické zapojení (obr. 20) je tedy poměrně jednoduché [14].



Obrázek 20: Zapojení prvků v rozvaděči - silová část

Nejprve je proud veden přes hřibové tlačítko nouzového zastavení (růžové vlevo), pro okamžité odpojení stroje od sítě v případě poruchy nebo v nebezpečné situaci.

Dále je proud veden přes hlavní vypínač, umístěný v ovládacím panelu, který slouží k zapínání a vypínání stroje.

Poté je fázový vodič připojen na jednopólový jistič charakteristiky B se jmenovitým proudem 6 A, který zajišťuje nadproudovou ochranu a v případě průrazu automaticky odpojí elektrický obvod.

Z jističe je proud veden do spínaného zdroje NDR-480-24 (dole) (příloha 8) který usměrňuje a převádí proud na stejnosměrný o napětí 24 V, na který dále běží řídící PLC, všechny senzory, i většina akčních členů. Jde o provedení s uchycením na DIN lištu a s výkonem 480 W. K tomuto číslu se dospělo jednoduchým součtem dílčích příkonů jednotlivých elektrických prvků, vynásobením koeficientem 1,3 , aby vznikla dostatečná rezerva schopna pokrýt případné výkyvy v odběru.

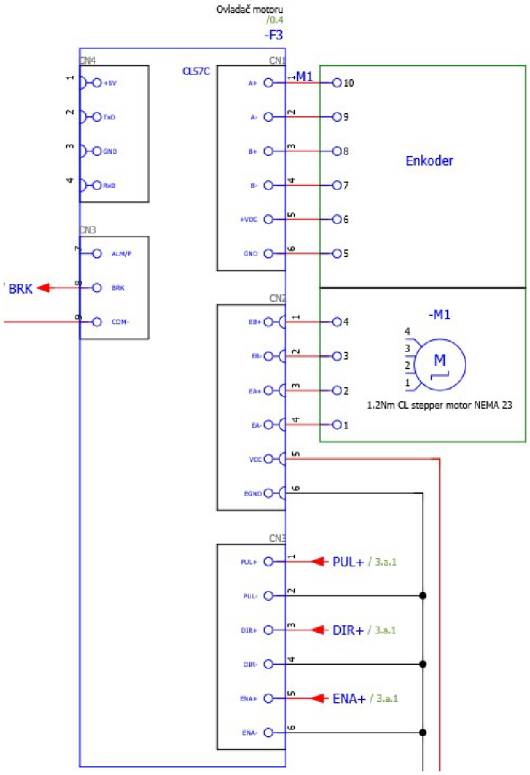
Dalším prvkem v rozvaděči je dvoupólové SSR relé Z-R23/16-20 sloužící ke spínání topného tělesa, respektive páru dvou topných těles 200 W, 230 V. Relé je více druhů, nejběžnější jsou elektromagnetická relé, které jsou i výrazně levnější než polovodičová SSR relé (Solid-State-Relay). V našem případě bylo ale použito dražší SSR, a to z důvodu toho, že

při regulaci teploty bude relé spínáno relativně často, což elektromagnetickému relé fungujícímu na čistě mechanickému principu z dlouhodobého hlediska příliš nesvědčí.

Zapojení stejnosměrné 24 V části rozvaděče je k náhledu v příloze (příloha 7). Prvky připojené k 24 V síti v rozvaděči jsou: řídící PLC, přídavný modul PLC, ovladač motoru, a RTD převodník viz. 5.2 Senzory a čidla. Přibližné uspořádání všech prvků v rozvaděči viz. příloha (příloha 9). Na vytvoření schémata elektrického zapojení byl použit software EPLAN [15].

5.1 Ovladač motoru

Odůvodnění výběru typu a výkonu motoru bylo už popsáno v části práce zabývající se mechanickou konstrukcí stroje. V této kapitole bude vysvětleno jeho zapojení a řízení. Krokové motory se skládájí z magnetického rotoru a statoru s cívkami vinutí. Při zapojení cívek k elektrickému proudu se hřídel pootočí o jeden krok (definovaný úhel). Při souvislém sekvenčním spínání jednotlivých cívek se motor začne otáčet. Ke generování těchto impulzů slouží ovládací jednotka motoru (driver). V našem případě jde o driver CL57T-V41 [25] (příloha 10) doporučený k vybranému motoru výrobcem. Jde o pokročilý driver se zpětnou vazbou z enkodéru, který je schopen sám kontrolovat prokluz rotoru vůči řízení, a disponuje funkcemi jako soft-start nebo mikrokrokování (individuální dávkování proudu cívek, umožňující mezipolohy mimo definované kroky). Zapojení motoru a enkodéru je znázorněno níže (obr. 21) a vychází s diagramu ukázáného v datasheetu driveru (příloha 11).



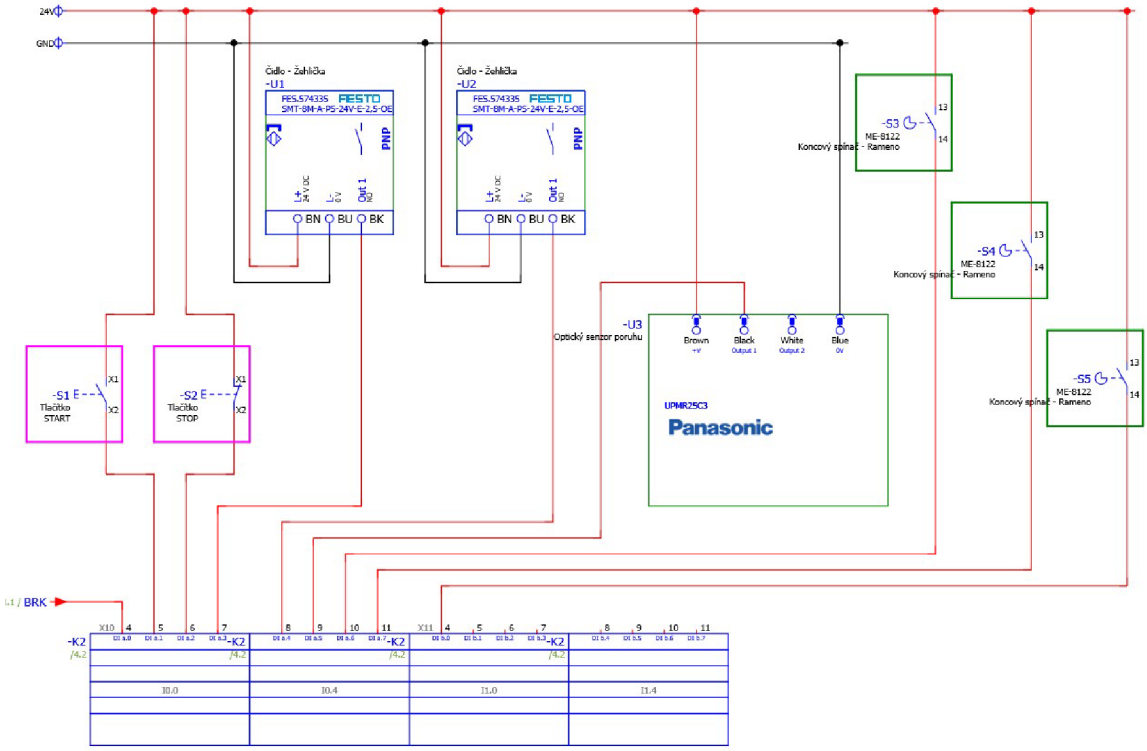
Obrázek 21: Zapojení motoru s enkodérem

Pro připojení a komunikaci s řídící jednotkou PLC slouží pět kontaktů:

- **BRK** (Brake) – Input, Ovládá brzdění motoru (zajištění motoru v určité poloze)
- **PUL** (Pulse) – Input, Pulzní signál (každý pulz odpovídá jednomu kroku)
- **DIR** (Direction) – Input, Určuje směr otáčení motoru
- **ENA** (Enable) – Input, Aktivuje nebo deaktivuje motor
- **ALM** (Alarm) – Output, signál který informuje o chybě nebo přetížení motoru

5.2 Senzory a čidla

Během procesu výroby bude řídící jednotka potřebovat informace o polohách jednotlivých akčních členů. Nejdůležitější zpětná vazba je informace o poloze výsuvného ramene. Jelikož pohyb ramene je řízen krokovým motorem bez absolutního enkodéru, řídící jednotka nemůže vědět, kde se rameno nachází. Za tím účelem je na zadní konstrukci stroje navrženo upevnění tří koncových spínačů ME-8122 (příloha 12) se svislým válečkovým plunžrem (obr. 22) (zelené bloky vpravo). Dva z nich hlídají koncové limity posuvného pohybu, aby v případě hrozícího vyjetí z kolejnice vedení řídící jednotka ihned zastavila pohyb motoru. Třetí poté slouží jako takzvaný HOME senzor, aby se stroj při každém novém spuštění mohl kalibrovat na správnou nulovou polohu ramene.



Obrázek 22: Zapojení digitálních vstupů přídavného IO modulu PLC

Dalšími senzory o polohách členů stroje je dvojice magnetických přibližovacích čidel SMT-8M-A-PS-24V-E-2,5-OE, připevněných do drážek válce zdvihu žehličky. Ty slouží

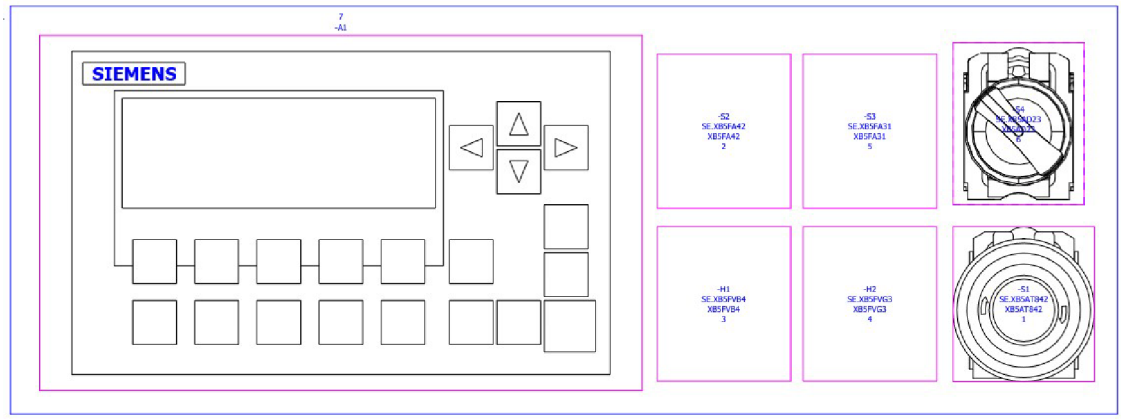
jednoduše pro kontrolu, zda se píst opravdu nachází z poloze, ve které má být. Je celkem běžnou praxí, že se tato koncová čidla umísťují na úplně všechny pneumatické členy v celém stroji. Nicméně v našem případě by případné selhání ovládacího ventilu některého z pístů, a pokračování procesu bez něj, nemělo znamenat ohrožení obsluhy ani poškození stroje, takže použití těchto čidel bylo v rámci zjednodušení a snížení pořizovacích nákladů vyhodnoceno jako zanedbatelné. Jedinou výjimkou je zdvih žehličky, kde by při selhání mohlo dojít k permanentnímu přitlačení, a vláčení horkého lisu po podkladu, což už by mohlo vést k poškození desky stolu i jiným komplikacím. Polohu pístu zdvihu žehličky je tedy třeba nutné kontrolovat.

Dále je také vhodné, aby řídící jednotka měla informaci o přítomnosti nebo nepřítomnosti lepeného popruhu. Do aplikační hlavy je tedy umístěn fotoelektrický senzor PM-R25 (příloha 13), který kontroluje, zda lepený popruh nedošel.

Posledním čidlem na stroji je odporový snímač teploty Pt100. Ten slouží k měření a následné regulaci teploty žehličky. Jelikož čidlo Pt100 je ve své podstatě pouze resistor měnící svůj elektrický odpor při teplotě, není jej možné jednoduše připojit přímo k analogovému vstupu PLC. Je nutné použít speciální RTD převodník jako například MAX-AT-1U-PT (příloha 14), který dokáže převést změnu odporu na změnu napětí v rozmezí 0-10 V (rozsah našeho PLC), kterou už je PLC schopno zpracovat. Pro vyšší přesnost měření a eliminaci odporu vedení zapojíme Pt100 namísto dvou pomocí tří vodičů [16].

5.3 Ovládací panel

Ovládací panel je umístěn v přední části stroje a obsahuje klíčové prvky k řízení a nastavení stroje pro obsluhu. Obrázek níže (obr. 23) znázorňuje rozložení prvků na panelu. V levé části je umístěn HMI panel SIEMENS 6AV6647-0AH11-3AX1 viz. kapitola 5.4.1 Vybrané PLC, který slouží zejména k nastavení výrobního programu pro různé formáty desek, dále také k zobrazení a nastavení teploty žehličky, chybových hlášek, počítání vyrobených kusů, nebo k úpravě programu.



Obrázek 23: Uspořádání prvků v ovládacím panelu

Vpravo od displeje HMI jsou uspořádány: pár dvou LED signalizačních kontrolek READY (zelená) a BUSY (červená), pod nimi dvojice tlačítek START (zelené, NO spínač) a STOP

(červené, NC spínač), úplně vpravo nahoře hlavní vypínač stroje, a pod ním červené bezpečnostní NC tlačítko nouzového zastavení. NO (normally open) spínač je v klidovém stavu rozpojený a sepne při aktivaci, zatímco NC (normally closed) spínač je v klidovém stavu sepnutý a rozpojí se při aktivaci. Proto jsou NC spínače používané u kritických operacích jako zastavení stroje, protože při případné poruše tlačítka nebo kabeláže se stroj automaticky vypne, a nikdy se nedostane do stavu, kdy by ho nebylo možné zastavit.

5.4 Řídící jednotka

Ještě před výběrem řídící jednotky je dobré si definovat, co na stroji je tedy nutné ovládat, a co je nutné měřit pomocí čidel nebo senzorů, tj. počet digitálních a analogových vstupů a výstupů. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, nutné je ovládat: motor, všech dvanáct cívek ventilového bloku, topné těleso, a LED kontrolky. Snímány jsou koncové polohy ramene a pístu žehličky, tlačítka, výstup driveru motoru, a senzor popruhu. Jednotlivá rozhraní si můžeme zapsat do tabulky (tabulka 4).

Tabulka 4: Vstupy a výstupy PLC

Typ	Název	Zkratka	Poznámka	Celkem
Digitální vstupy (DI)	Žehlička - END1	U1	-	
	Žehlička - END2	U2	-	
	Rameno - END1	U3	-	
	Rameno - END2	U4	-	
	Rameno - HOME	U5	-	
	Popruh - optický sensor	U6	-	
	Tlačítko START	S1	-	
	Tlačítko STOP	S2	-	
	Motor driver error ALM	ALM	-	9
Digitální výstupy (DO)	Motor driver PUL	PUL	PTO	
	Motor driver DIR	DIR	PTO	
	Motor driver ENA	ENA	-	
	Topné těleso	K1	+ Relé	
	LED kontrolka READY	K2	-	
	LED kontrolka BUSY	K3	-	
	Žehlička - ventil cívka A	V1	-	
	Žehlička - ventil cívka B	V2	-	
	Hlava - ventil cívka A	V3	-	
	Hlava - ventil cívka B	V4	-	
	Brzda - ventil cívka A	V5	-	
	Brzda - ventil cívka B	V6	-	
	Nůžky - ventil cívka A	V7	-	18

	Nůžky - ventil cívka B	V8	-	
	Trn zadní - ventil cívka A	V9	-	
	Trn zadní - ventil cívka B	V10	-	
	Trn přední - ventil cívka A	V11	-	
	Trn přední - ventil cívka B	V12	-	
Analogové vstupy (AI)	Odporový snímač teploty Pt100	PT	+ RTD převodník	1
Další rozhraní	HMI displej		Ethernet/Modbus/RS485	1

Celkem tedy potřebujeme minimálně: 9 digitálních vstupů, 18 digitálních výstupů, 1 analogový vstup, a 1 speciální rozhraní pro komunikaci s displejem na ovládacím panelu. Na trhu existuje pestrá škála řídících zařízení a jednotek (tabulka 5). Pro jednoduchost je můžeme rozdělit na: svou podstatou spíše hobby řešení jako například zařízení na bázi Arduino nebo Raspberry, programovatelná relé, a plnohodnotná řídící PLC (Programmable Logic Controller).

Tabulka 5: Parametry různých typů řídících zařízení

	Arduino	**Raspberry Pi**	**Programovatelná relé**	**PLC**
Příklad zařízení	Arduino Mega 2560 + Industrial shields	Raspberry Pi + Industrial shields, RevPi	Siemens LOGO, Schneider ZELIO, Eaton EASY	Siemens S7 1200, Modicon M221, Omron CP1L
Typické použití	Bastlení, DIY	IoT, Servery	Jednoduchá automatizace	Průmyslová automatizace
Spolehlivost	Nízká	Střední	Vysoká	Vysoká
Rozšiřitelnost, počet IO	Omezená	Omezená	Omezeně modulární	Modulární
Složitost použití	Nízká	Střední	Nízká	Vysoká
Programování	C/C++	Python, C, Node.js	FBD, LAD	FBD, LAD, STL
Cena	Nízká	Střední	Střední	Vysoká

Žádná z uvedených variant v tabulce není vyloženě špatná a určitě je pro řízení našeho navrženého stroje možné použít jakoukoliv z nich. Nakonec bylo ovšem zvoleno použití plnohodnotného PLC.

Arduino nebo Raspberry jsou sice výrazně levnější, nejsou ale dělaná do drsného průmyslového prostředí, které často vyžaduje dlouhodobý a nepřetržitý provoz. Také jejich software a programování, byť je jednoduché, tak nemá žádné kontrolní mechanismy, tudíž může snadno docházet k chybám. Nehledě na to, že změny a úpravy programu by v budoucnu pro někoho, kdo se nepodílel na jeho tvorbě, mohly být komplikované a nepřehledné.

Programovatelná relé už jsou výrazně robustnější řešení. Jejich programování a práce s nimi je jednoduchá. Důvodem, proč je ale přeci jen lepší použití PLC, je jejich nízká paměť programu, a značně omezené programovatelné funkce, zejména při práci s HMI a displejem.

5.4.1 Vybrané PLC

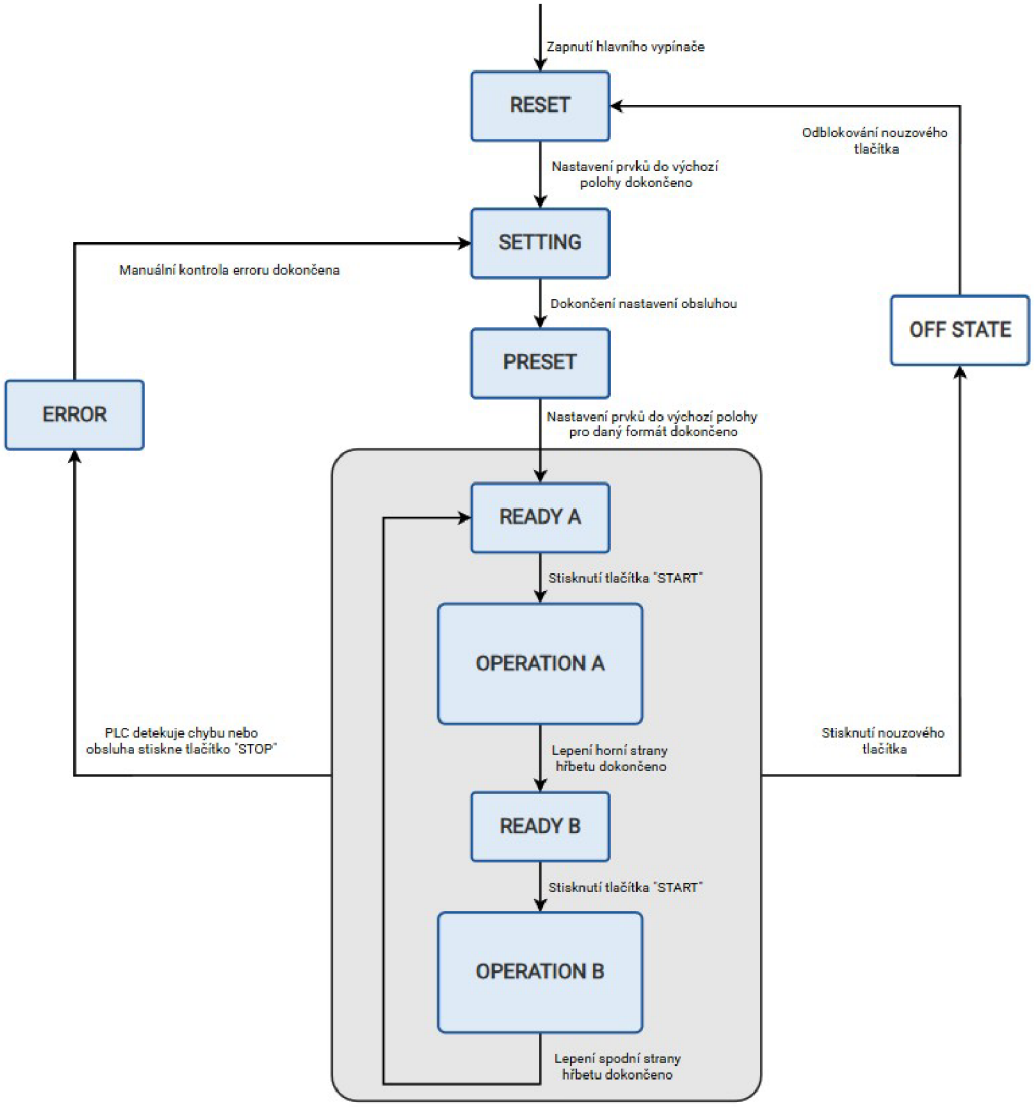
Z možných variant bylo vybráno PLC S7 1200 (6ES7212-1AE40-0XB0) (příloha 15 a 16) [20] od firmy SIEMENS [17], ve střední konfiguraci s 6 DO a 8 DI, s napájení 24 V DC. U digitálních výstupů je zpravidla na výběr ze dvou možností: relé a tranzistory. Relé výstupy zvládnou větší proudy, mohou spínat AC i DC, ale jsou pomalejší a mají omezenou životnost. Tranzistorové výstupy jsou rychlé, spolehlivé ale mají nižší proudovou zátěž a neumí spínat AC. Jediný prvek na AC s větším proudem v našem stroji je topné těleso. Na ostatní prvky je tranzistorové spínání dostatečné a vhodnější. Zvolíme tedy verzi PLC s tranzistory a na spínání topného tělesa použijeme externí relé.

Množství vstupů a výstupů tohoto modelu PLC ale nestačí. Je tedy nutné jej rozšířit o přídavný modul. Konkrétně modul 6ES7223-1BL32-0XB0 (příloha 17 a 18), obsahující dalších 16 digitálních vstupů a 16 digitálních výstupů.

Pro nastavení výrobního programu, sledování teploty žehličky a další možnosti kontroly nad strojem je nutné vybavit ovládací panel stroje displejem a klávesnicí napojenou na řídící jednotku. Nejjednodušším způsobem, jak toho docílit, je použití HMI panelu. To je modul PLC obsahující zmíněnou obrazovku, malou klávesnici nebo dotykový displej, a port pro připojení k PLC pomocí kabelu. Jelikož není třeba pomocí obrazovky dělat složité úkony, tak stačí pouze nejnižší řada HMI panelu od firmy Siemens: 6AV6647-0AH11-3AX0 (příloha 19) [21]. Tento panel má 3,6 palcový monochromatický displej, celkem 20 tlačítek, a s PLC komunikuje prostřednictvím Ethernetového připojení s komunikačním protokolem PROFINET.

6 Řízení stroje

Navržený stroj bude takzvaně poloautomatický. To znamená že je částečně ovládán ručně obsluhou a částečně automaticky řídící jednotkou. Obsluha po zapnutí stroje provede nejprve seřízení pravítek a nastavení výrobního programu na HMI panelu. Samotná výrobní sekvence každého kusu desek je poté rozdělena na dva samostatné automatické bloky řízené pomocí PLC, které obsluha pokaždé spouští stisknutím tlačítka "START". Diagram struktury programu stroje je znázorněn na obrázku (obr. 24). Program je postaven na modelu "Stavového automatu" [18]. Jde o princip řízení, kdy má stroj jednotlivé jasně definované stavy, mezi kterými za daných podmínek přepíná. Zároveň se nikdy nemůže nacházet mimo ně, v nedefinovaném stavu, nebo ve více stavech najednou. Každý tento stav stroje má přiřazené operace, co se v něm odehrávají (funkce), a dále má pevně definované podmínky pro jeho opuštění. V našem případě je jednotlivých stavů stroje celkem osm respektive devět.



Obrázek 24: Diagram struktury programu řídící jednotky

- **RESET** - PLC se zapne, připraví a nastaví písty a rameno do startovní pozice
- **SETTING** - Obsluha může provádět nastavení formátu desek (a další), stroj je v klidu
- **PRESET** - PLC nastaví rameno do startovní pozice už pro konkrétní rozměr desek
- **READY A** - Stroj je připraven a čeká na příkaz ke spuštění od obsluhy
- **OPERATION A** - Stroj provede automatickou výrobní sekvenci lepení jedné strany hřbetu desek
- **READY B** - Stroj je pozastaven a čeká, než obsluha otočí desky a dá pokyn k pokračování výroby
- **OPERATION B** - Stroj provede automatickou výrobní sekvenci lepení krajů a druhé strany hřbetu desek
- **ERROR** - PLC detekovalo chybu, selhání některého z prvků, nebo obsluha přerušila výrobu. Stroj se zastavil, a čeká na provedení kontroly obsluhou a další pokyny
- **OFF STATE** - (nejde o stav programu) Došlo k nouzovému zastavení, stroj byl odpojen od sítě, PLC je vypnuté, čeká se na uvolnění hřibového nouzového tlačítka obsluhou

Takto (obr. 24) tedy vypadá hlavní řídící smyčka programu a jednotlivé stavy stroje. Samotná automatická výroba ovšem probíhá uvnitř OPERATION bloků. Zde rameno přejíždí nad deskami, lepí, lisuje, ohýbá, a stříhá popruh. Už nejde o stavový automat, jelikož všechny operace za sebou plynule navazují a tvoří jakýsi řetězec (sekvenci). Takto zjednodušeně probíhá výrobní sekvence:

OPERATION-A

obsluha stiskne tlačítko START…

1. Rameno se rozjede
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost…
2. Hlava se spustí dolů
3. Žehlička se spustí dolů
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost…
   "popruh je lisován a lepen na desky"
4. Rameno se zastaví
5. Nůžky "nastřihnou" popruh
6. Rameno se rozjede
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost…
7. Hlava se zdvihne nahoru
8. Žehlička se zdvihne nahoru
9. Brzda se sepne
   "dojde k přetržení perforovaného popruhu"
10. Brzda se vypne
11. Rameno se zastaví
12. Rameno se rozjede opačným směrem
    pohyb ramene o definovanou vzdálenost…
13. Rameno se zastaví

Po dokončení této sekvence je tedy hřbet zalepen z jedné strany. Nyní musí obsluha desky otočit a spustit druhou část výrobní sekvence. Ta je delší než ta první, jelikož stroj nejprve musí ohnout a zalepit volné okraje popruhů. Následuje lepení druhé strany hřbetu téměř totožné s první stranou.

OPERATION-B

obsluha stiskne tlačítko START...

1. Zadní trn se vysune
2. Rameno se rozjede
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
3. Žehlička se spustí dolů
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
   "kraj popruhu je lisován a lepen na desky"
4. Rameno se zastaví
5. Žehlička se zdvihne nahoru
6. Zadní trn se zasune
7. Rameno se rozjede
   pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
8. Rameno se zastaví
9. Přední trn se vysune
10. Rameno se rozjede opačným směrem
    pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
11. Žehlička se spustí dolů
    pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
    "druhý kraj popruhu je lisován a lepen na desky"
12. Rameno se zastaví
13. Žehlička se zdvihne nahoru
14. Zadní trn se zasune
15. Rameno se rozjede
    pohyb ramene o definovanou vzdálenost...
16. Rameno se zastaví
17. Následuje sekvence shodná s OPERATION-A, pouze s rozdílnými vzdálenostmi pohybu

6.1 Software a řídící program

K tvorbě řídícího programu stroje pro zvolené PLC je firmou Siemens doporučeno použít software TIA portal (Totally Integrated Automation Portal) [19]. Jde o integrovaný software pro programování, konfiguraci, simulaci a správu automatizačních systémů, jako jsou PLC, HMI a další průmyslové komponenty, v jednom jediném prostředí.

Pokud jde o konvenční PLC, zpravidla se k jejich programování využívá jeden z těchto programovacích jazyků:

- **LAD (Ladder Diagram)** – grafický jazyk pro programování logiky ve formě schématu zapojení relé
- **STL (Structured Text)** – jednoduchý textový programovací jazyk podobný Pascalu
- **FBD (Function Block Diagram)** – grafický jazyk pro programování pomocí blokových schémat složených z funkčních bloků
- **IL (Instruction List)** – nízkoúrovňový textový jazyk podobný Assembleru
- **SFC (Sequential Function Chart)** – grafický jazyk ve formě "grafů" zejména pro programování sekvenčních procesů.

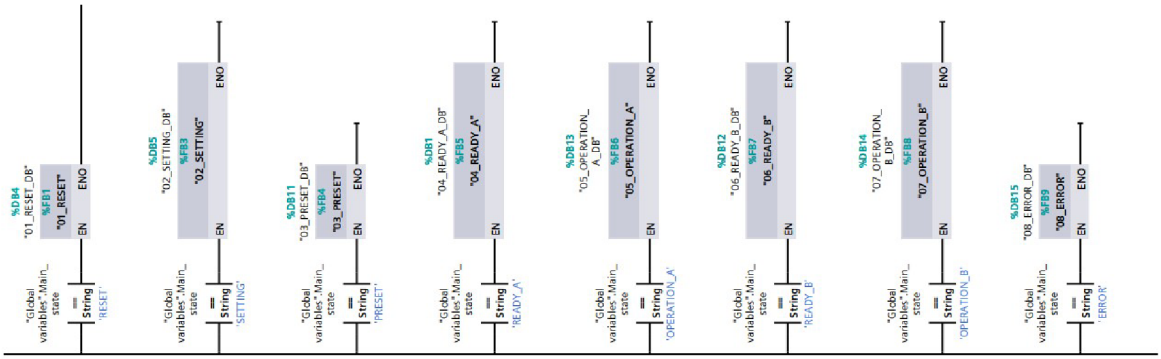
Námi vybrané PLC S7 1200, CPU 1212C ovšem podporuje pouze použití LAD, STL a FBD [20]. Bude třeba si tedy poradit s tímto výběrem, byť například SFC by byl na programování stavového automatu i sekvenční logiky mnohem vhodnější.

Dále se řídící program nejen kvůli lepší přehlednosti strukturuje do jednotlivých samostatných bloků. V TIA portalu existují čtyři základní typy bloků: OB, FB, FC, DB, přičemž každý má trochu odlišné vlastnosti:

- **FC (Function)** – podprogram bez paměti s různými vstupy a výstupy, který provede dané operace a vrací výsledek, ale neuchovává svůj stav mezi voláními
- **DB (Datové bloky)** – blok sloužící k uchovávání dat a proměnných, dělí se na globální a instanční (IDB)
- **FB (Function Block)** – v podstatě kombinace FC a DB, podprogram s vlastní instanční pamětí
- **OB (Organization Block)** – hlavní vstupní body programu, kde začíná provádění kódu a dalších programových bloků (například: hlavní cyklická smyčka programu, blok spuštěn při zapnutí PLC, blok spuštěn hardwarovým přerušením, časově řízené nebo spouštěné bloky,...)

6.1.1 Funkční bloky programu

V našem případě, kdy máme 8 stavů stroje, tedy můžeme pro přehlednost každému stavu vytvořit vlastní FB blok. Přepínání mezi stavy pak umístíme do nadřazeného FB (nebo OB) bloku, a přepínání mezi nimi můžeme v LAD realizovat například takto (obr. 25):



Obrázek 25: Realizace přepínání stavu stroje v LAD

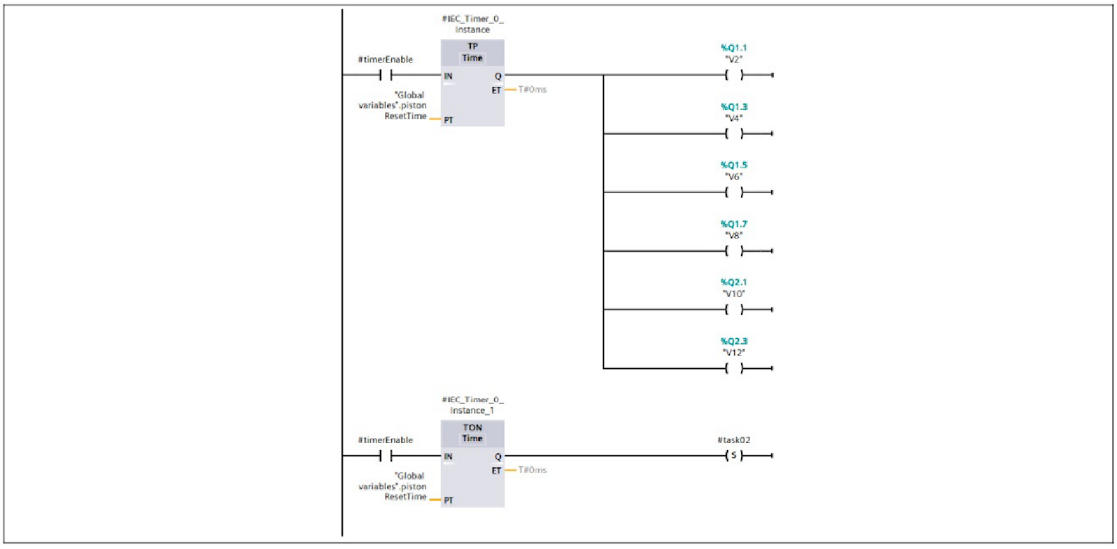
Při tvorbě řídící logiky v TIA portálu můžeme s výhodou použít i kombinaci LAD a SCL v jediném FB bloku. Na dalším obrázku je pro ukázku znázorněna realizace řídícího programu RESET stavu (obr. 26). V hlavičce (Network 1) nastavíme pomocí SCL potřebné parametry. “Network 2” spustí zpětný pohyb ramene, dokud nedojde k sepnutí koncového HOME čidla, poté se rameno zastaví. Uvnitř “Network 3” se na krátký okamžik provede sepnutí všech pneumatických ventilů, a tím se písty nastaví do výchozí polohy. Na konci bloku pouze zkontrolujeme, zda byly obě operace dokončeny a pokud ano, přepneme stroj na další stav (SETTING). Obdobným způsobem jsou vytvořeny všechny funkční bloky jednotlivých stavů.

Network 1: Nastavení parametrů

```
0001 "Global variables".motorVelocity := 150;
0002 "Global variables".pistonResetTime := T#2s;
```

Network 2: Zpětný posun ramene dokud nedorazí na HOME

Network 3: Nastavení pístů do výchozí polohy (chvilkové sepnutí všech ventilů)



Network 4: Opuštění stavu

```
0001 #timerEnable := TRUE;
0002
0003 IF #task01 AND #task02 THEN
0004     "Global variables".Main_state := 'SETTING';
0005     #timerEnable := FALSE;
0006     #task01 := FALSE;
0007     #task02 := FALSE;
0008 END_IF;
```

Obrázek 26: Ukázka programu uvnitř FB bloku “RESET” stavu

6.1.2 Technologické objekty

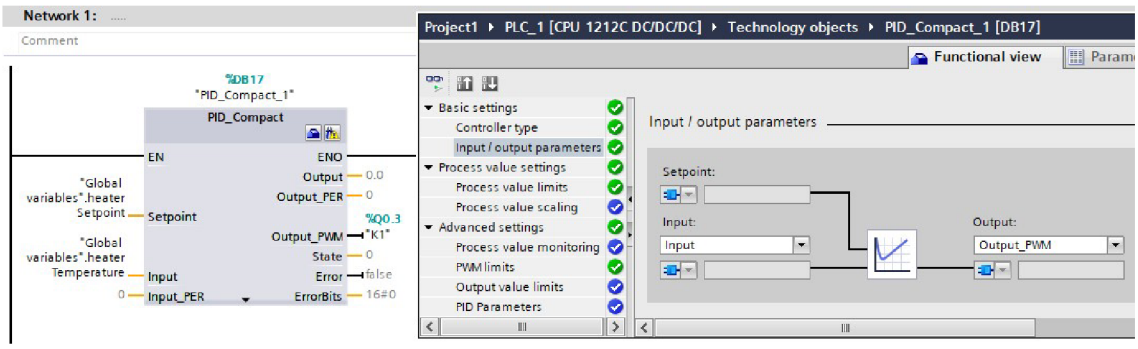
Mezi akčními členy stroje jsou některé, které by bylo jen velmi obtížné řídit pomocí základních logických funkcí. Konkrétně jde o krokový motor s ovladačem a topné těleso s SSR relé. K jejich řízení můžeme použít takzvané technologické objekty, což jsou předpřipravené struktury (programy), které umožňují jejich jednoduché parametrizování a ovládání.

K ovládání motoru existuje v TIA portalu knihovna Motion Control. Z této knihovny můžeme importovat potřebné FB funkce, konkrátně:

- **MC_Power** - aktivuje (zapne) pohon, umožní řízení motoru programem
- **MC_Reset** - resetuje chyby pohonu, aby bylo možné pokračovat v řízení
- **MC_MoveJog** - umožňuje manuální pohyb motoru definovaným směrem, dokud je příkaz aktivní
- **MC_MoveRelative** - provede relativní pohyb motoru o zadanou vzdálenost od aktuální pozice
- **MC_Halt** - zastaví pohyb motoru řízeným způsobem (ne okamžitě jako nouzový stop)

Pomocí těchto funkcí už můžeme relativně snadno řídit chování motoru odkudkoliv z programu. Ukázka zapojení těchto bloků v příloze (příloha 20).

Druhým technologickým objektem je PID regulátor. To je "výpočetní struktura" sloužící ke zpětnovazební regulaci. V našem případě je řízeno spínání topného tělesa pomocí SSR relé, a zpětnou vazbou je teplota naměřená odporovým čidlem Pt100 viz. kapitola 5.2 Senzory a čidla. Funkci i regulátor samotný je třeba nejprve nakonfigurovat. Je potřeba nastavit rozsah vstupních hodnot, typ výstupu (analog nebo digital, a jejich rozsah případně limity) (obr. 27), dále procesní limity, a hlavně hodnoty proporcionální (P), integrační (I), a derivační (D) složky regulátoru [20].



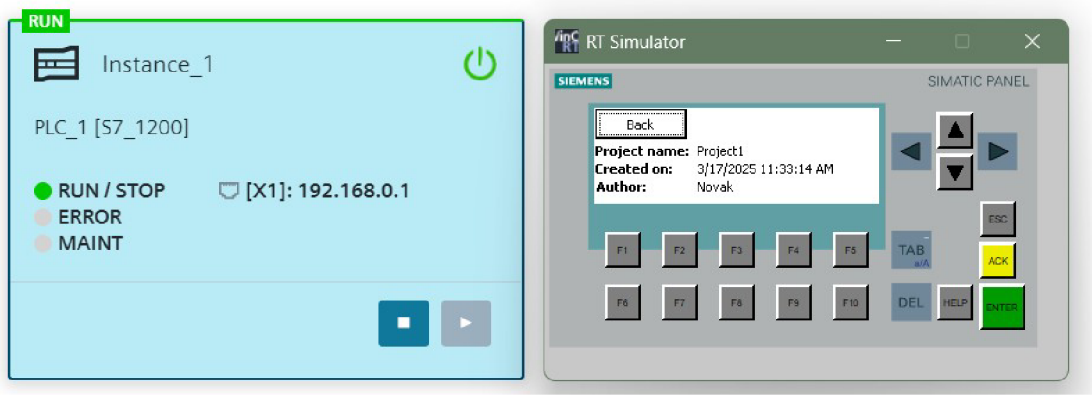
Obrázek 27: Nastavení PID regulátoru pro regulaci teploty žehličky

Všechny parametry můžeme nastavit, až na samotné PID složky. Jejich nastavení je totiž závislé na chování konkrétního systému, a bude je tedy třeba nutné doladit až na hotovém sestaveném stroji. Pro funkce jako PID regulátor je doporučeno vkládat je mimo hlavní program do vlastního OB bloku spuštěného cyklickým přerušením. To z toho důvodu, že uvnitř složitějšího programu by mohlo docházet ke zpožděním, a následnému

asynchronnímu spouštění PID bloku, což může mít za následek špatné a nestandardní chování regulace. V našem případě bude pravděpodobně stačit relativně nízká frekvence regulátoru, jelikož změna teploty bloku není příliš rychlý dynamický jev a výrobní technologie ani nevyžaduje vysokou přesnost regulace.

6.1.3 Simulace

Jelikož během tvorby programu ještě není k dispozici reálné PLC a HMI, je vhodné ke kontrole funkčnosti programu využít virtuální simulaci (obr. 28). K tomu v TIA portalu slouží podprogramy PLCSIM pro simulaci hardwaru PLC, a WinCC explorer pro simulaci HMI. Tímto způsobem je možné testovat komunikaci mezi moduly, simulovat reálné hardwarové vstupy do PLC ze sensorů stroje, i správné chování výstupů.



Obrázek 28: Virtuální simulace PLC a HMI

7 Bezpečnost

Už při návrhu stroje je důležité myslet na možná nebezpečí, která mohou v souvislosti s provozem strojního zařízení vzniknout, a co možná nejlépe jim zabránit. Při identifikaci potenciálních nebezpečí můžeme postupovat podle ČSN EN ISO 12100 [23], normy týkající se právě bezpečnosti strojních zařízení, obecných zásad jejich konstrukce, posuzování a snižování rizika.

Co se týče mechanické bezpečnosti, není stroj příliš nebezpečný. Zdvihy jednotlivých pístů jsou malé a rychlosti pohybů pístů i ramene relativně pomalé. Akční členy nemanipulují s břemeny a nehrozí tedy ani žádné riziko pádu. Jedinými místy, kde by teoreticky mohlo dojít k problému, je žehlička a aplikační hlava stroje. Žehlička má vysokou teplotu a hrozí tedy popálení. Také hlava i žehlička se pohybují nahoru a dolů, přičemž se přitlačují k podkladu pod nimi. Při neopatrnosti a nepozornosti by tedy teoreticky mohlo dojít k přiskřípnutí prstů obsluhy. Těmto drobným nebezpečím lze velmi snadno zabránit, pokud je obsluha alespoň trochu opatrná, ale přesto chceme-li jim zamezit úplně, bylo by vhodné přední část ramene stroje zcela zakrytovat a vybavit výstražnými samolepkami informujícími o možném nebezpečí.

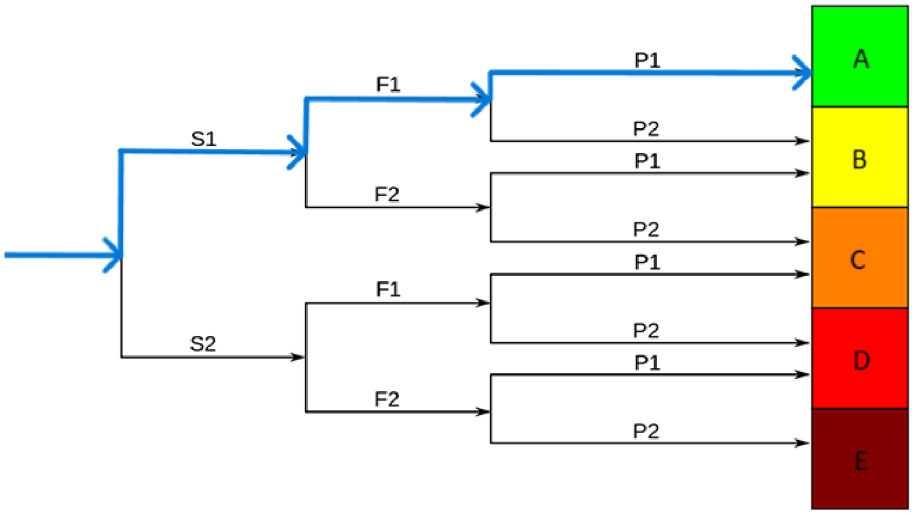
Další možné nebezpečí představuje elektrický proud na který je zařízení připojeno. Specifikaci požadavků a doporučeními ohledně elektrických a elektronických strojních zařízeních se věnuje například norma ČSN EN 60204-1 [24]. Základním prvkem ochrany je důsledné uzemnění všech elektrických členů, plechové skříně rozvaděče, i samotné hliníkové konstrukce stroje. Dalším stupněm ochrany je proudový jistič viz. kapitola 5 Elektrické zapojení, zajišťující ochranu proti zkratu nebo přepětí. Dále norma doporučuje jednotné barevné značení kabelů a vodičů: PE (zelenožlutý), N (světle modrý), L (černý/hnědý/šedý), -DC (tmavě modrý), +DC (červený). Rozvaděč a živé části obvodu by měly být nepřístupné, s výjimkou osob znalých nebo poučených. A v poslední řadě by měl být stroj opatřen tlačítkem nouzového zastavení, které v případě jakékoliv nebezpečné situace ihned odpojí přívod elektrické energie viz. kapitola 5 Elektrické zapojení.

V průmyslu také existují takzvaná bezpečnostní PLC. Ty jsou v podstatě identická jako běžná PLC, ale jsou robustnější, disponují přídavnými bezpečnostními prvky, a jsou certifikována na provádění kritických řídících operací. Jak ale již bylo řečeno, naše zařízení nemá žádné kriticky nebezpečné součásti. Vystačíme si tedy pouze s normálním PLC v kombinaci s nouzovým STOP tlačítkem.

Také normy doporučují vytvoření provozního manuálu a dokumentace k zařízení, včetně schémat elektrického zapojení, informacích o možných rizikách, jak jim předcházet, a informacích souvisejících s pravidelnou údržbou stroje. Tento manuál následně slouží k proškolení a informovanost obsluhy, a také pro údržbáře, případně pro někoho kdo by v budoucnu chtěl stroj nějakým způsobem modifikovat.

7.1 Analýza rizik

Po dokončení procesu návrhu byla ještě před začátkem stavby provedena analýza možných rizik podle normy ČSN EN ISO 13849-1 [1]. Výsledná vypočítaná hodnota SIL respektive PL byla stanovena na stupeň A (graf 3). Pokud by byl výsledný stupeň horší, muselo by se přistoupit k přidání dalších bezpečnostních prvků nebo systémů jako například: redundantní obvody klíčových prvků, světelné závory, bezpečnostní relé, zlepšit elektrickou a mechanickou odolnost pomocí kvalitnějších komponent. Nebo upravit řídící software, aby byl schopen lépe monitorovat a předcházet chybám. Jelikož ovšem stupeň PL vyšel na úroveň A, není třeba navrženou konstrukci a zapojení stroje nijak měnit. Je pouze důležité důsledně seznámit a zaškolit budoucí obsluhu tak, aby věděla o všech možných rizikách a dokázala jim svým chováním předcházet.



Graf 3: Určení stupně PL (S1-možnost lehkého zranění, S2-možnost těžkého zranění, F1-řídká až málo častá doba vystavení, F2-častá až nepřetržitá doba vystavení, P1-vyhnout se riziku je možné za specifických podmínek, P2-vyhnout se riziku je sotva možné

8 Závěr

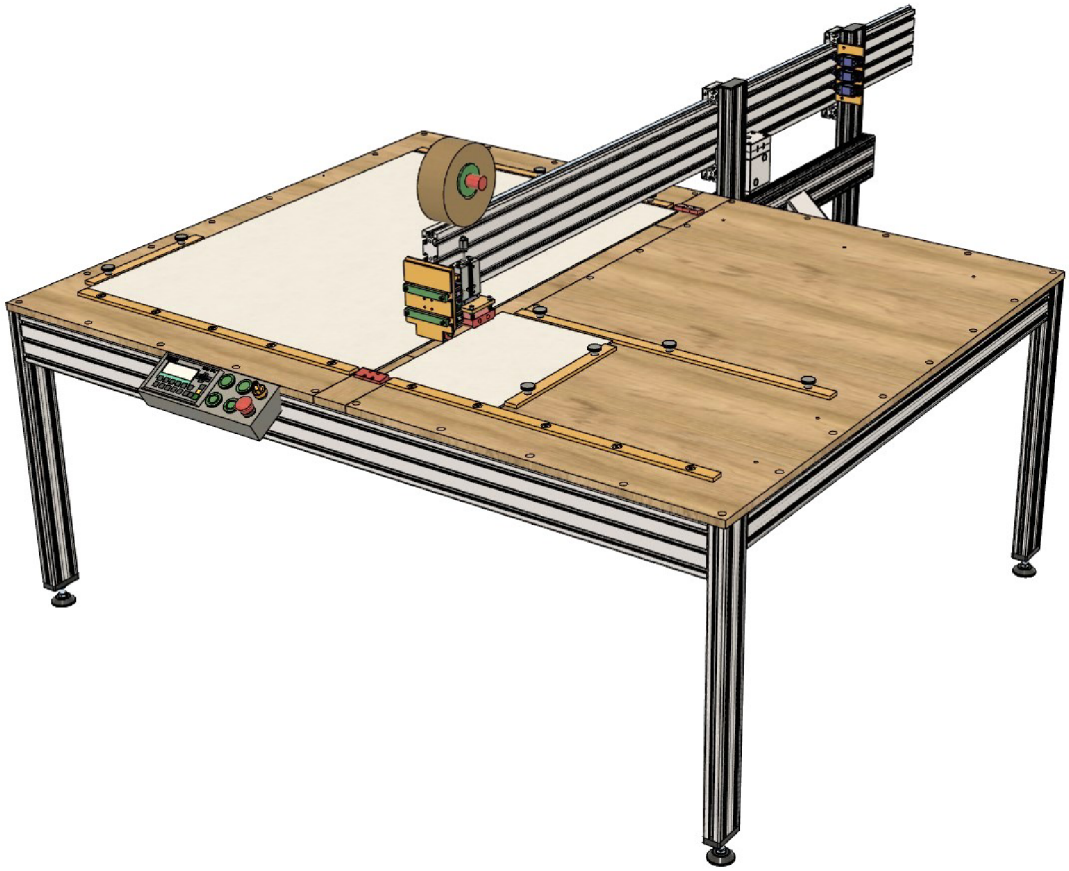
Cílem této práce bylo vymyslet způsob výroby desek na výkresy tak, aby výroba byla dostatečně rychlá a splňovala požadavky zadavatele. V první řadě bylo nutné si detailně rozebrat výrobek, definovat potřebné parametry, prostudovat současné způsoby výroby, výrobní technologie a jejich vlastnosti. Na základě těchto znalostí mohlo být vymyšleno několik odlišných přístupů výroby, používající různé principy a již existující zařízení. Po důsledném prozkoumání variant byla vybrána ta nejlepší, co se týče efektivity, složitosti a pořizovací ceny. Další a zároveň hlavní část této práce se potom věnovala klíčovému prvku výroby, poloautomatickému stroji na lepení hřbetů, což je nejzdlouhavější a nejnáročnější výrobní operace. Tento stroj bylo nutné vymyslet a navrhnout od úplného základu. Nejprve byl v sekci 3 Mechanická konstrukce představen navržený model stroje, jednotlivé konstrukční prvky, důvod pro jejich zvolení, pracovní stůl, výpočty a dimenzování akčních členů, a ukázka aplikační lepící hlavy a lisovací žehličky. Další kapitola se věnovala pneumatickému zapojení stroje. Poté bylo v kapitole 5 Elektrické zapojení ukázáno schéma silového obvodu, jednotlivé prvky elektrické ochrany, senzory, ovládací panel, tlačítka, a motor s ovladačem. Dále byla po hluboké úvaze vybrána vhodná řídící jednotka, která se stará o monitoring, ovládání a regulaci stroje a jeho prvků. Následně bylo třeba navrhnout řídící program pro PLC a HMI, a vytvořit ho. Poslední část práce se věnovala otázkám bezpečnosti navrženého zařízení a příslušnými normami.

8.1 Hotové zařízení

Na obrázku níže je ukázáno hotové navržené zařízení (obr. 29). Jeho rozměry jsou 350 x 190 x 130 cm, a hmotnost přibližně 130 kg (tabulka 6). Na přední části stroje je umístěn ovládací panel, v zadní části se nachází pojízdné rameno s motorem, a elektrický rozvaděč je upevněn na zadních hliníkových nohách stolu.

Tabulka 6: Základní parametry stroje

Napěťová soustava	1NPE 230V, 50Hz
Příkon	1,6 kW (max.)
Krytí	IP40 / IP20
Hmotnost	cca 130 kg
Rozměry rámu	350 x 190 x 130 cm
Další připojení	stlačený vzduch 6-10 bar
Řídící jednotka	Simatic S7-1200, CPU 1212C, DC/DC/DC
Řídící napětí	24V DC



Obrázek 29: Dokončený model stroje

8.1.1 Pokračování a realizace

Po dokončení návrhu je možné přejít k realizaci stroje. Vzhledem k tomu, že 3D CAD model, kusovníky, pneumatické schéma, elektrické schéma, i řídící program byly v rámci této práce vytvořeny, nestojí už nic v cestě a jednotlivé díly a komponenty se mohou v podstatě rovnou objednat od výrobců. Několik konstrukčních dílů bylo třeba vlastnoručně navrhnout a budou tedy muset být vyrobeny na míru podle hotových modelů. Jedná se zejména o díly z nerezového plechu, tudíž budou pravděpodobně vyříznuty na laseru a ohnuty do výsledného tvaru na ohýbačce plechů. Dále je nekolik dílů navrženo na zhotovení pomocí 3D tisku.

Po obstarání dílů, je třeba stroj sestavit, což by vzhledem k použití stavebnicového systému hliníkových profilů mělo být relativně jednoduše proveditelné. Poté přichází na řadu elektrické zapojení prvků a rozvaděče. Zde se jedná o práci s nízkým napětím a osoba provádějící tento úkon by tedy měla mít odpovídající elektrotechnické vzdělání.

Následně přichází na řadu seštelování koncových dorazů, připojení stlačeného vzduchu, a nastavení limitů ramene a pístů. Dále potom nahrání kodu programu do řídícího PLC a ovládacího HMI. A v poslední řadě testování, ladění škrtících ventilů pístů, a korekce časových konstant a proměnných programu.

Během procesu návrhu se objevovaly nápady na další budoucí modifikace nebo doplňky ke stroji. Jednou z nich by mohl být bezpečnostní kryt aplikační hlavy, jak už bylo představeno v kapitole 7 Bezpečnost.

Dalším nápadem na možný doplněk jsou přídavné stoly nebo držáky po obou stranách pracovního stolu, na které by se mohly odkládat připravené desky na výrobu a hotové výrobky.

Pak se také nabízí myšlenka na obstarání výrobního označení CE pro stroj [3], To znamená, že výrobek odpovídá evropským směrnicím a normám, a že ho lze volně prodávat v Evropském hospodářském prostoru. K tomu účelu by se muselo znovu důkladně prostudovat, že stroj splňuje stanovené normy. Musí se provést analýza a posouzení rizik viz. kapitola 7 Bezpečnost. Dále musí mít výrobek prohlášení o shodě, v případě rizikových zařízení musí být toto prohlášení vydané příslušným pověřeným orgánem. A poslední podmínkou je zpracování kompletní dokumentace stroje, obsahující schémata, bezpečnostní poučení, a také provozní manuál.

8.2 Zhodnocení práce

Přesto že je navržený stroj unikátní, jeho funkce velmi specifická, a pravděpodobně nebude jeho výroba replikována, může být tato práce nepochybně přínosem pro někoho, kdo by se v budoucnu zabýval navrhem podobného jednoúčelového zařízení. Jednotlivá konstrukční řešení, postupy, myšlenky a slepé uličky mohou být dobrou inspirace při návrhu.

Také celá tato práce může sloužit jako základ pro případné budoucí úpravy na stávajícím řešení nebo při tvorbě novější verze stroje.

Osobně pro mě tato práce znamenala značné rozšíření obzorů v dané problematice, zdokonalení se hned v několika návrhových programech a softwarech, hlubší porozumění prvkům, zařízením a komponentům, lepší orientaci v možnostech na trhu, a také cennou zkušenost při vedení projektu takového rozsahu od úplného začátku až téměř po realizaci.

Seznam literatury

1. ČSN EN ISO 13849-1 (833205) *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
2. ČSN EN IEC 62061 ED.2 (332208) *Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost řídících systémů souvisejících s bezpečností*, Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2022.
3. Označení CE. Your Europe. Online. 2023. Dostupné z: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_cs.htm. [cit. 2025-3-01]
4. AUTODESK INC. *FUSION software*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.autodesk.com/cz/products/fusion-360/overview. [cit. 2025-03-13].
5. Working in a Standing Position. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Online. 2022. Dostupné z: https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/standing/standing_basic.html. [cit. 2025-02-26].
6. FESTO S.R.O. *FESTO katalog produktů*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/. [cit. 2025-03-01].
7. KREJSA, Jiří, LAUSOVÁ, Dana a MICHALCOVÁ, Vlasta. *Pružnost a plasticita*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011.
8. ITEM INDUSTRIETECHNIK GMBH. *ITEM katalog produktů*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.item24.com/cs-cz. [cit. 2025-03-20].
9. MELICHAR, Miroslav. *Řešené příklady z elektrotechniky II*. Brno: Univerzita obrany, 2006. Dostupné z: https://user.unob.cz/biolek/vyukaVA/skripta/ZEVE/S3637II.pdf?utm_source=chatgpt.com [cit. 2025-03-08]
10. SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02902-6.
11. ANSYS INC. ANSYS *software*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.ansys.com/. [cit. 2025-03-08].
12. FESTO S.R.O. *FluidDraw P6 software*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.festo.com/de/de/app/fluiddraw-365.html. [cit. 2025-02-13].

13. HAJDUK, Mikuláš. *Základy pneumatických mechanizmov I*. Košice: Technická univerzita v Košicích, 2013. ISBN 978-80-553-1605-5.
14. BERKA, Štěpán. *Elektrotechnická schémata a zapojení v praxi*. Brno: Computer Press, 2015. ISBN 978-80-251-4598-2.
15. EPLAN SOFTWARE S.R.O. *EPLAN Electric P8 software*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.eplan.cz/reseni/eplan-electric-p8/. [cit. 2025-03-28].
16. HLATKÝ, Pavel. Snímače pro měření teplot. Online, Bakalářská práce, vedoucí Josef Štětina. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav, 2009. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/10960. [cit. 2025-03-24].
17. SIEMENS S.R.O. *SIEMENS katalog produktů*. Online. 2025. Dostupné z: https://sieportal.siemens.com/cs-cz/home. [cit. 2025-03-19].
18. VAIS, Václav. *Teoretická informatika 1. část: Konečné automaty a regulární jazyky*. Plzeň: KIV/ZČU, 2017.
19. SIEMENS S.R.O. *TIA Portal software*. Online. 2025. Dostupné z: https://www.siemens.com/cz/cs/products/automation/industry-software/automatizacni-software/tia-portal.html. [cit. 2025-03-25].
20. BALÁTĚ, Jaroslav. *Automatické řízení*. 2., přeprac. vyd. Praha: BEN, 2004. ISBN 978-80-7300-148-3.
21. SIMATIC S7-1200 Programmable controller - System Manual. Online. 2018. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/862/109759862/att_959559/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf. [cit. 2025-03-25].
22. SIMATIC HMI devices, Basic Panels - Operating Instructions. Online. 2012. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/678/31032678/att_25338/v1/hmi_basic_panels_operating_instructions_en-US_en-US.pdf. [cit. 2025-03-25].
23. ČSN EN ISO 12100 (833001) *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
24. ČSN EN 60204-1 ED.3 (332200) *Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Obecné požadavky*, Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
25. CL57T-V41 driver - datasheet. Online. 2025. Dostupné z: https://www.omc-stepperonline.com/index.php?route=product/product/get_file&file=3127/CL57T-V41%20Manual.pdf. [cit. 2025-03-25].

Seznam příloh

1. Konvenční stroj na výrobu lepených knižních a albumových desek
2. Průmyslová hlavice plošného nanášení tavného lepidla
3. Planetární převodovka MG23-G5-D8
4. Technický nákres a parametry motoru 23HS30-5004D-E1000
5. Topné těleso 220 V, 200 W
6. Schéma pneumatického zapojení stroje
7. Schéma zapojení v rozvaděči - 24 V
8. Zdroj napětí NDR-480-24
9. Uspořádání prvků v rozvaděči
10. Ovládací jednotka motoru CL57T-V41
11. Zapojení ovládací jednotky a motoru podle datasheetu
12. Koncový spínač ME-8122
13. Fotoelektrický senzor PM-R25
14. RTD převodník teploty MAX-AT-1U-PT
15. Řídící PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1212C
16. Zapojení pinů PLC z datasheetu
17. Rozšiřující modul PLC SM 1223
18. Zapojení pinů přídavného modulu z datasheetu
19. HMI panel SIMATIC KP 300 Basic
20. Funkce k programovému ovládání motoru

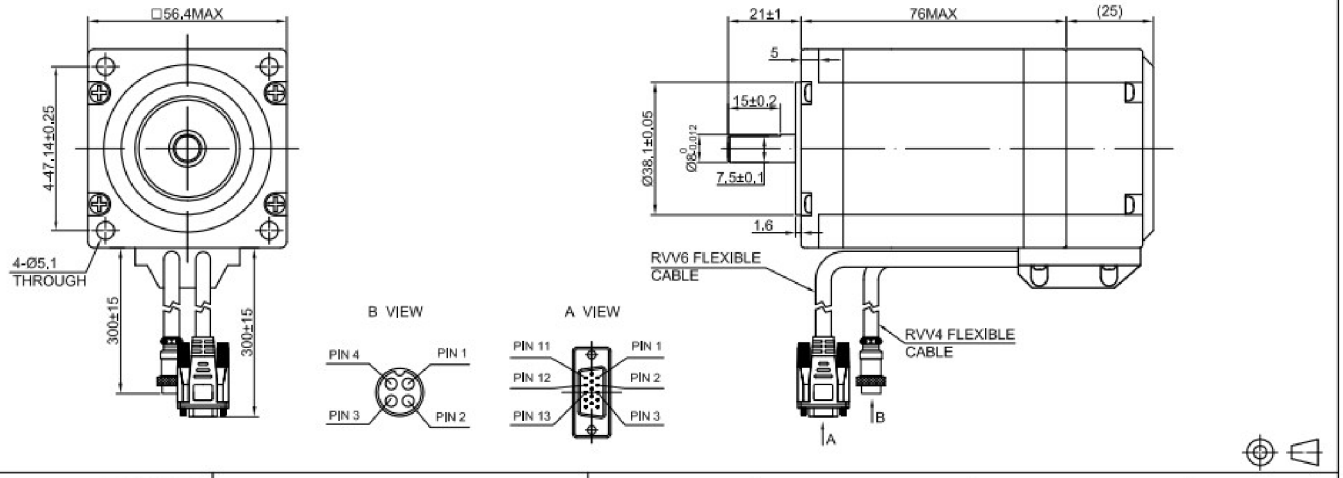
Přílohy

Příloha 1: Konvenční stroj na výrobu lepených knižních a albumových desek

Příloha 2: Průmyslová hlavice plošného nanášení tavného lepidla

Příloha 3: Planetární převodovka MG23-G5-D8

END COVER COLOR: BLACK



SPECIFICATION \ CONNECTION	BIPOLAR
NO. OF PHASE	2
AMPS/PHASE	5.00
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@20°C	0.42±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz	1.70±20%
HOLDING TORQUE(Nm)[lb-In]	2.00 [17.71]
STEP ANGLE(°)	1.8
STEP ACCURACY(NON-ACCUM)	±5.00%
WEIGHT(Kg)[lb]	—
TEMPERATURE RISE;MAX,80°C（MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED）	
OPERATION AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F]	
INSULATION RESISTANCE 100 Mohm（UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY）	
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]	
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN,(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)	

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —		A
2	A\ —		A\
3	B —		B
4	B\ —		B\

FULL STEP 2 PHASE-Ex. ,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A\	B\	CCW	CW
1	+	+	-	-	↓	↑
2	-	+	+	-		
3	-	-	+	+		
4	+	-	-	+		

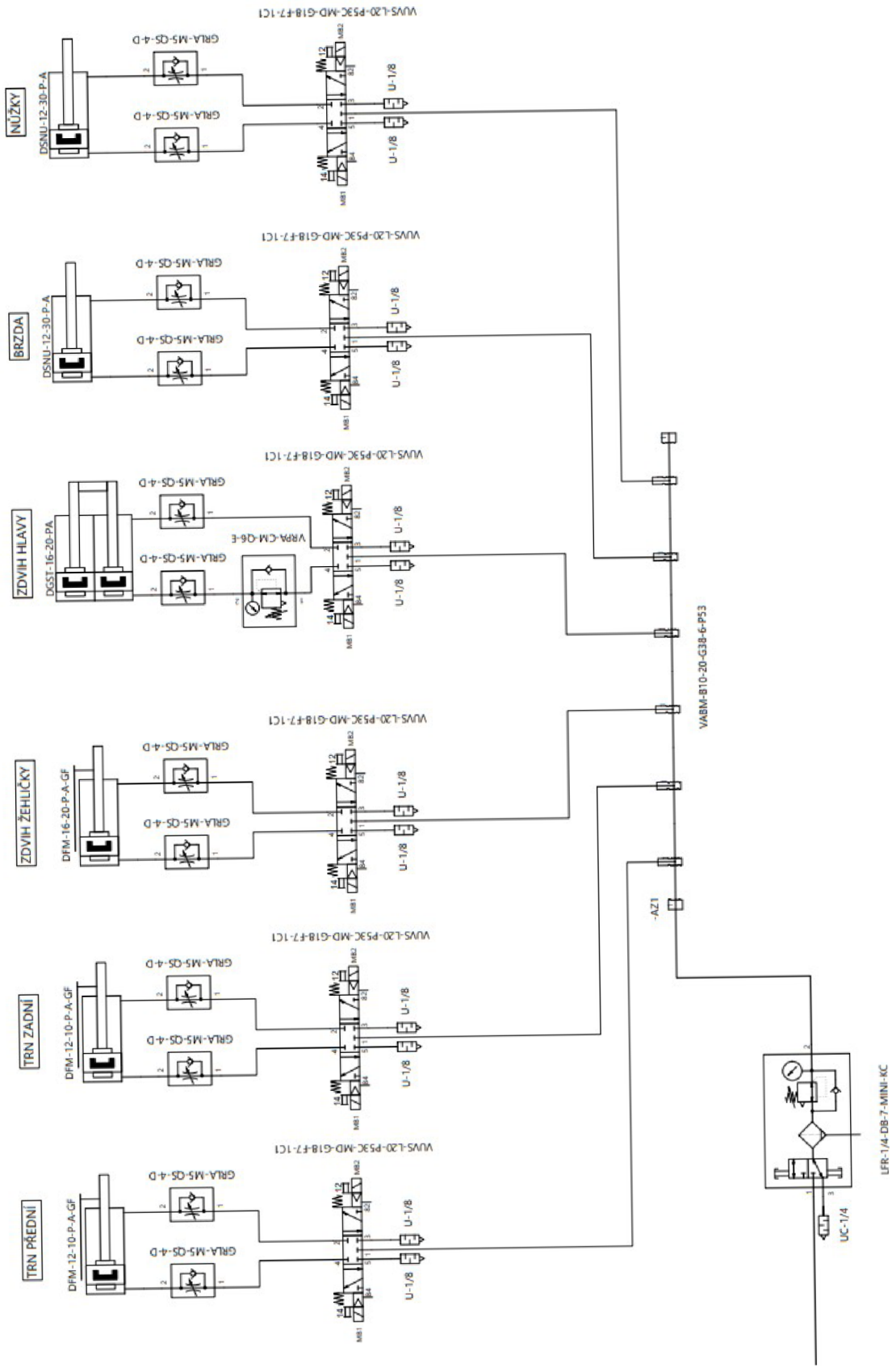
ENCODER RESOLUTION;1000PPR(4000CPR)

15-PIN DB MALE PLUG	1	2	3	11	12	13
DESCRIPTION	EA+	VCC	GND	EB+	EB-	EA-

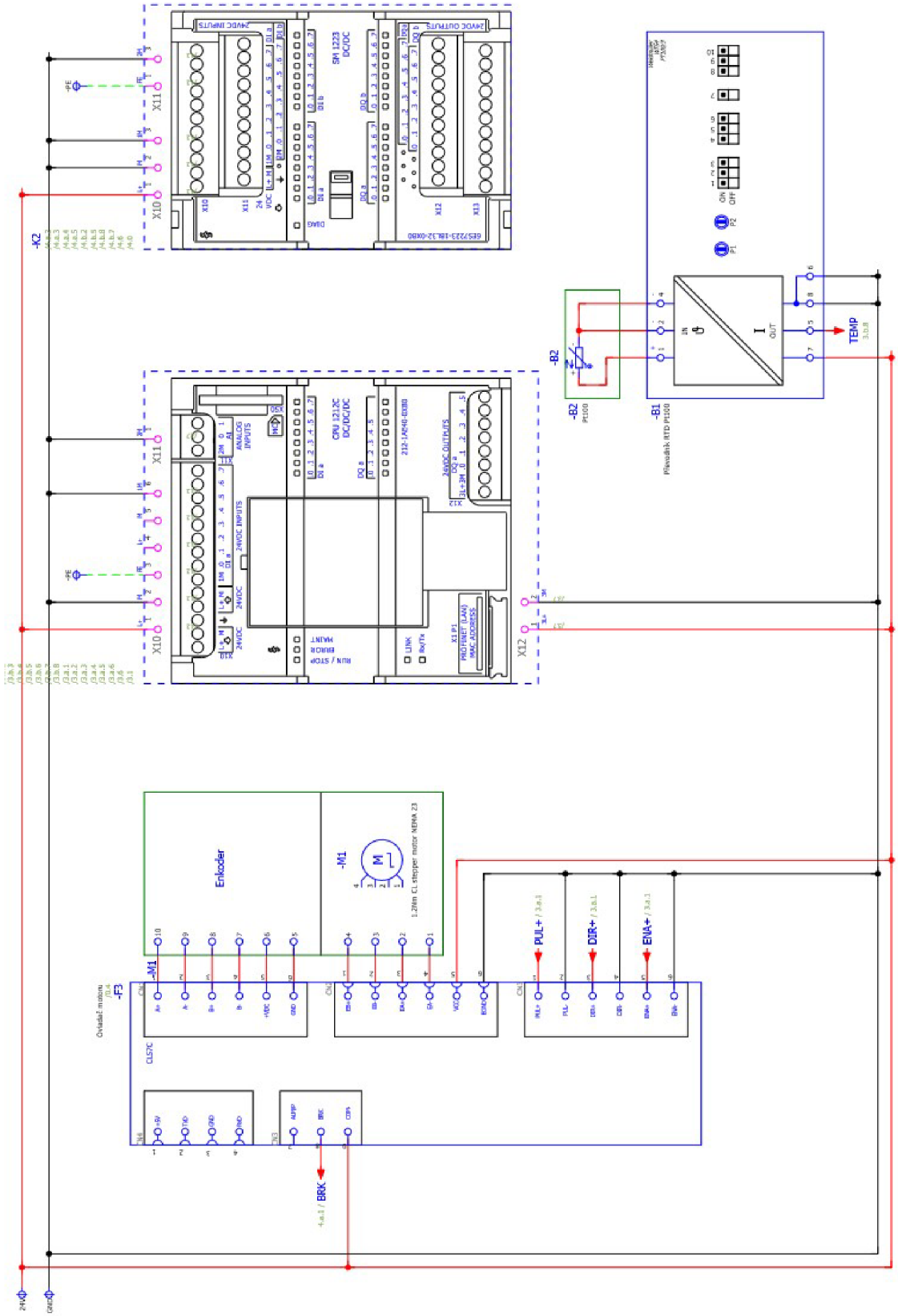
STEPPERONLINE®		APVD		10.16.2021	STEPPER MOTOR
		CHKD			
	1:1.5	DRN			23HS30-5004D-E1000
	SCALE	SIGNATURE		DATE	

Příloha 4: Technický nákres a parametry motoru 23HS30-5004D-E1000

Příloha 5: Topné těleso 220 V, 200 W

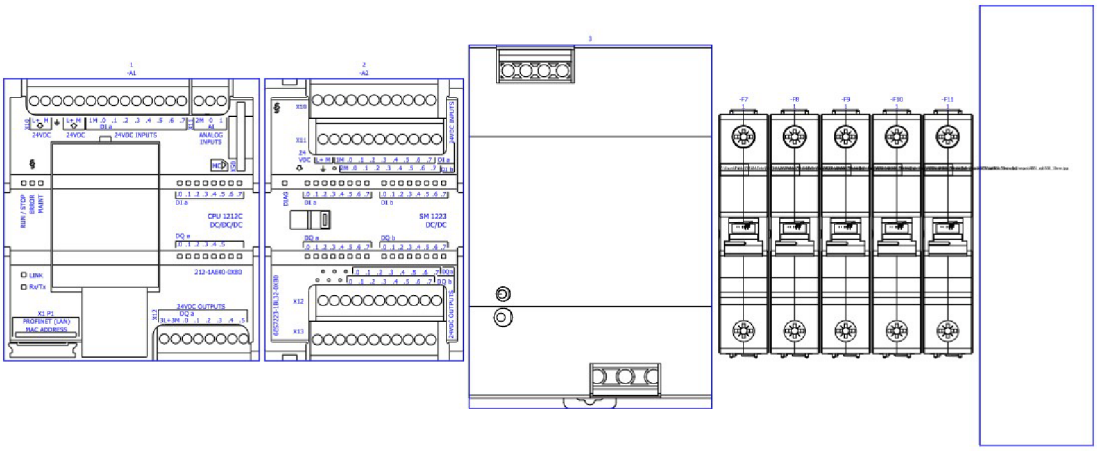


Příloha 6: Schéma pneumatického zapojení stroje

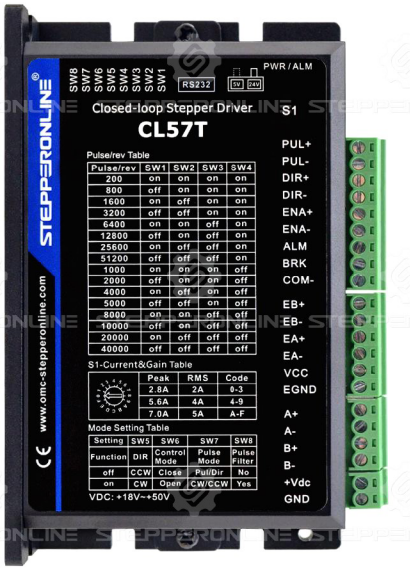


Příloha 7: Schéma zapojení v rozvaděči - 24 V

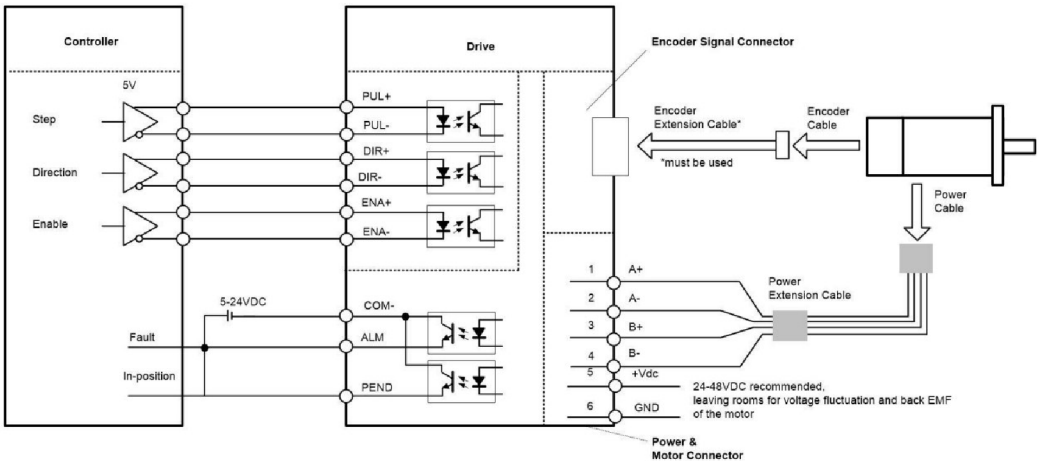
Příloha 8: Zdroj napětí NDR-480-24



Příloha 9: Uspořádání prvků v rozvaděči



Příloha 10: Ovládací jednotka motoru CL57T-V41



Příloha 11: Zapojení ovládací jednotky a motoru podle datasheetu

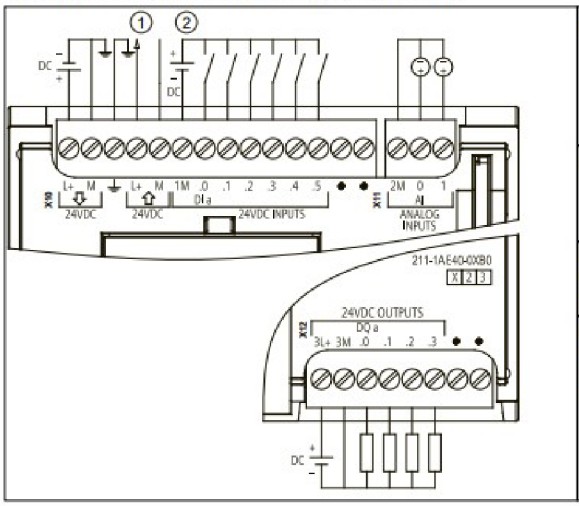
Příloha 12: Koncový spínač ME-8122

Příloha 13: Fotoelektrický senzor PM-R25

Příloha 14: RTD převodník teploty MAX-AT-1U-PT

Příloha 15: Řídící PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1212C

Table A-30 CPU 1211C DC/DC/DC (6ES7211-1AE40-0XB0)

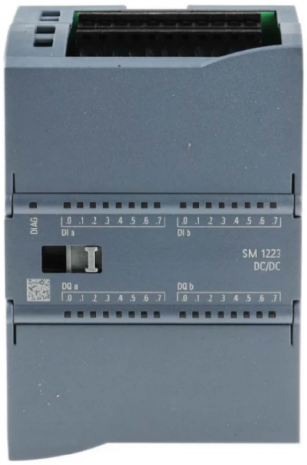


①	24 V DC Sensor Power Out For additional noise immunity, connect "M" to chassis ground even if not using sensor supply.
②	For sinking inputs, connect "-" to "M" (shown). For sourcing inputs, connect "+" to "M".
Note 1: X11 connectors must be gold. See Appendix C, Spare Parts for article number.	
Note 2: See Device Configuration (Page 121) for information about the Ethernet port of the CPU.	

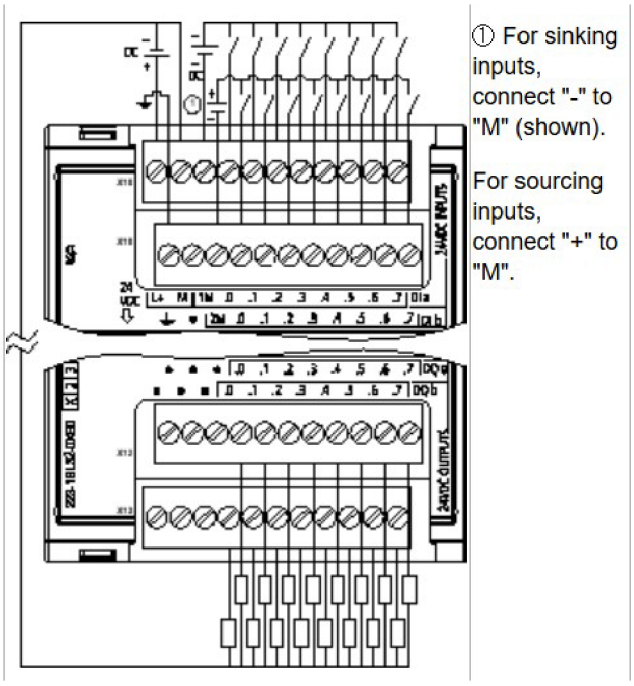
Table A-31 Connector pin locations for CPU 1211C DC/DC/DC (6ES7211-1AE40-0XB0)

Pin	X10	X11 (gold)	X12
1	L+ / 24 V DC	2 M	3L+
2	M / 24 V DC	AI 0	3M
3	Functional Earth	AI 1	DQ a.0
4	L+ / 24 V DC Sensor Out	--	DQ a.1
5	M / 24 V DC Sensor Out	--	DQ a.2
6	1M	--	DQ a.3
7	DI a.0	--	No connection
8	DI a.1	--	No connection
9	DI a.2	--	--
10	DI a.3	--	--
11	DI a.4	--	--
12	DI a.5	--	--
13	No connection	--	--
14	No connection	--	--

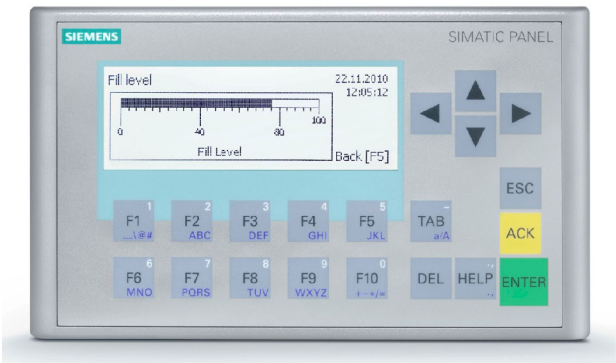
Příloha 16: Zapojení pinů PLC z datasheetu



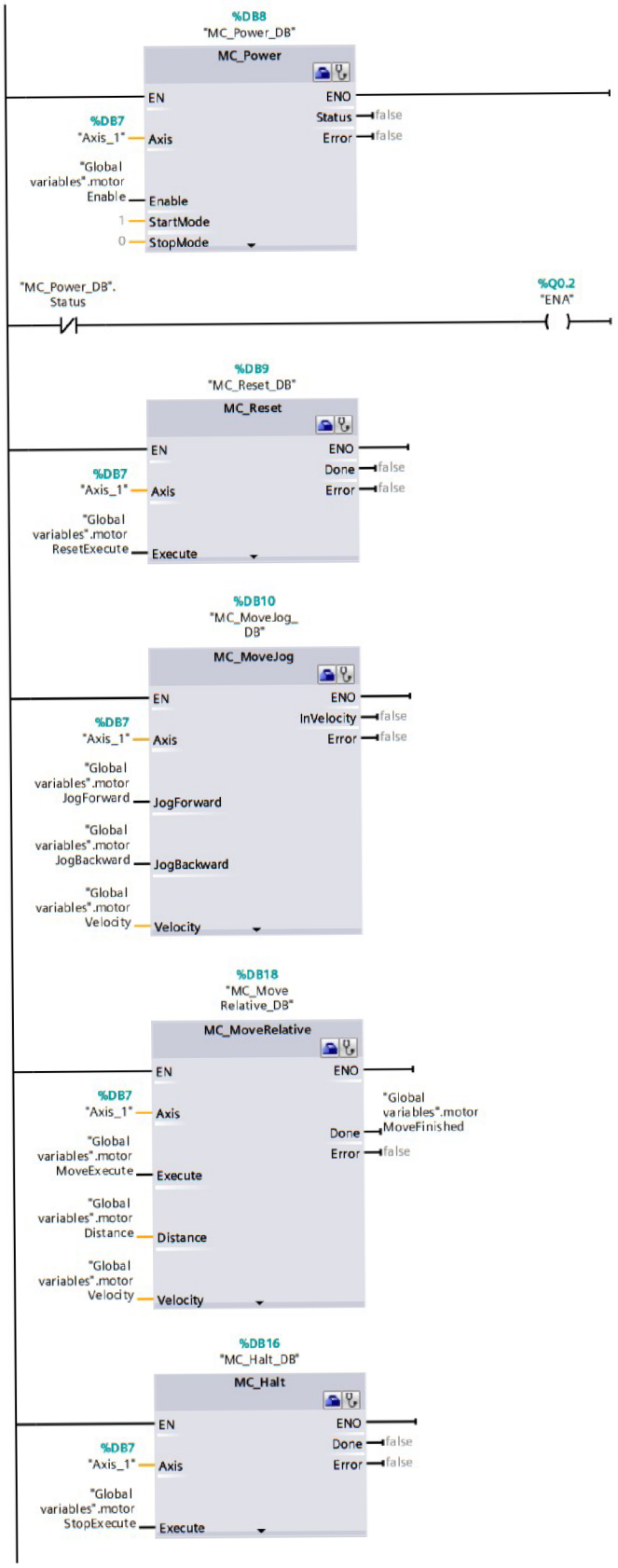
Příloha 17: Rozšiřující modul PLC SM 1223



Příloha 18: Zapojení pinů přídavného modulu z datasheetu



Příloha 19: HMI panel SIMATIC KP 300 Basic



Příloha 20: Funkce k programovému ovládání motoru