



Bakalářská práce

Upínací přípravek pro svařování plechů v automatizovaném provozu

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Autor práce:

Ondřej Wiener

Vedoucí práce:

Ing. Lukáš Hubka, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2022



Zadání bakalářské práce

Upínací přípravek pro svařování plechů v automatizovaném provozu

Jméno a příjmení:

Ondřej Wiener

Osobní číslo:

M20000139

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Zadávací katedra:

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte výkres svařence a vytvořte koncept jeho upínání.
2. Vytvořte 3D model přípravku pro upínání.
3. Vytipujte vhodné svařovací kleště a simulačně ověřte jejich dráhy a funkčnost.
4. Sestavte odpovídající výrobní dokumentaci (výkres sestavy, výkresy dílčích skupin, kusovníky).
5. Vytvořte pneumatický plán s popisem akčních členů a sekvenčním diagramem.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: Tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] KOVAŘÍK, Rudolf. Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-708-2697-5.
- [2] Kolektiv autorov: Zváracie metody a zariadenia. ZEROSS Ostrava, 2000.
- [3] Nástroje a přípravky pro obrábění. 2003. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [4] OKÁČ, Petr. Konstrukčně – výrobní řešení upínacího přípravku. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 59 s.

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Hubka, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2022
Předpokládaný termín odevzdání: 15. května 2023

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

Prohlášení

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

Jsem si vědom/a toho, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom/a povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitou 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 bakalářská 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/a následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. listopadu 2022

Ondřej Wiener

Upínací přípravek pro svařování plechů v automatizovaném provozu

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje vývoj geometrického upínacího přípravku určeného pro robotizované svařovací stanoviště s lidskou obsluhou ve firmě MPZ MB. Přípravek se skládá z rámu, pneumatických akčních členů, senzorů a distribučního modulu stlačeného vzduchu. Používán má být lidskou obsluhou a dvojicí svařovacích robotů KUKA. Sloužit má k navařování výztuh nárazníků pro nové těžší plug-in hybrid automobily, které se zákazník chystá uvést na trh. Práce se zabývá jeho návrhem, tvorbou 3D CAD dokumentace a pneumatického plánu, to vše v souladu s bezpečnostními, ergonomickými a výrobními normami ve firmě. Dále popisuje problematiku volby svařovací technologie a roli přípravku v kontextu stanoviště. Očekávaným výsledkem je prototyp připravený k testování.

Klíčová slova

CAD, CATIA, konstrukce, upínací přípravek, pneumatický plán, svařování, automotive

Clamping Tool for Metal Sheets Welding in Automated Operation

Abstract

This bachelors' thesis describes the development of a geometric clamping device for a robotized welding station on the grounds of MPZ MB. The device consists of its frame pneumatic actuators, sensors and a compressed air distribution module. It is designed for combined operation of a single person and two KUKA robotic arms for welding. The system is meant to be used for the welding of additional reinforcement plates onto bumpers for new and heavier PHIB versions of automobiles, which are scheduled to be added to the customer's fleet. The thesis focuses on its conception, the making of its 3D CAD documentation and pneumatic planning, all according to the safety, ergonomics and manufacturing regulations within the company. Furthermore, it describes the steps of choosing the right welding technology and the clamping devices' role within its station. The expected outcome is a reviewed prototype that is ready for testing.

Keywords

CAD, CATIA, engineering, clamping device, pneumatic schema, welding, automotive

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Lukáši Hubkovi, Ph.D. za poskytnuté rady a inspirativní podněty. Dále chci poděkovat svým konzultantům a kolektivu konstrukčního oddělení v MPZ MB s.r.o. za podporu a poskytnutí informací ohledně projektu.

Obsah

Úvod	10
1 Představení firmy	11
1.1 Softwarové prostředky	11
1.2 Technické zázemí	11
2 Návrh stanoviště	12
2.1 Popis výrobku a jeho účel	12
2.2 Zásady koncepce upínacích přípravků	13
2.3 Bezpečnostní a ergonomické normy	14
2.4 Hrubý koncept svařovacího stanoviště	16
2.5 Volba technologie svařování	18
2.5.1 Svařování plamenem	18
2.5.2 Bodové a švové svařování	18
2.5.3 Svařování elektrickým obloukem	19
2.5.4 Specializovaná technologie MIG	20
2.5.5 Svařovací studie technologie LSC	21
2.6 Návrh přípravku a pracovní postup	22
3 Konstrukční provedení přípravku	25
3.1 Kopírování geometrie, dorazy a opěrné plochy	25
3.2 Pneumatické upínky	27
3.3 Senzory přípravku	30
3.4 Ventilový terminál s terminálem CPX	33
3.5 Ochrana přípravku proti vyjiskřování	35
4 Dokumentace přípravku a stanoviště	38
4.1 Výkresová dokumentace	38
4.2 Layout stanoviště	39
4.3 Pneumatický plán	41
4.4 Diagram postupu práce přípravku	43
Závěr	45
Použitá literatura	46
Přílohy	48

Seznam obrázků

Obrázek 1: Simulační koncept přípravku s obsluhou.....	10
Obrázek 2: Výztuhy nárazníku.....	12
Obrázek 3: Hrubý koncept stanoviště	16
Obrázek 4: Ukázka ze svařovací studie.....	21
Obrázek 5: Původní schéma přípravku	22
Obrázek 6: Schéma přípravku po provedení změn	22
Obrázek 7: Obsluha ve fázi vkládání/vyjímání	23
Obrázek 8: Model nárazníku β s výztuhami.....	25
Obrázek 9: Hříbkový šroub	25
Obrázek 10: Přípravek v nárysu	26
Obrázek 11: Upínky v automatickém a manuálním režimu.....	27
Obrázek 12: Upínací nástroje	28
Obrázek 13: Dovolené hmotnosti upínacích nástrojů [18].....	29
Obrázek 14: Modul indukčního senzoru upínky s LED diodou [17].....	30
Obrázek 15: Indukční sensor polohy nárazníku	31
Obrázek 16: Optoelektronický snímač polohy výztuh	32
Obrázek 17: Ventilový terminál VTSA-F-FB s terminálem CPX [23]	33
Obrázek 18: Izolační vložka a pouzdro pro šroub.....	35
Obrázek 19: Izolační pouzdro pro hlavu šroubu DIN 912	36
Obrázek 20: Kostření pro uzemnění svarů	37
Obrázek 21: Příklad souřadnic u sestavy upínky a senzoru	38
Obrázek 22: Layout stanoviště	39
Obrázek 23: Pneumatický plán	41
Obrázek 24: Procesní diagram chodu stanoviště.....	44

Seznam zkratek

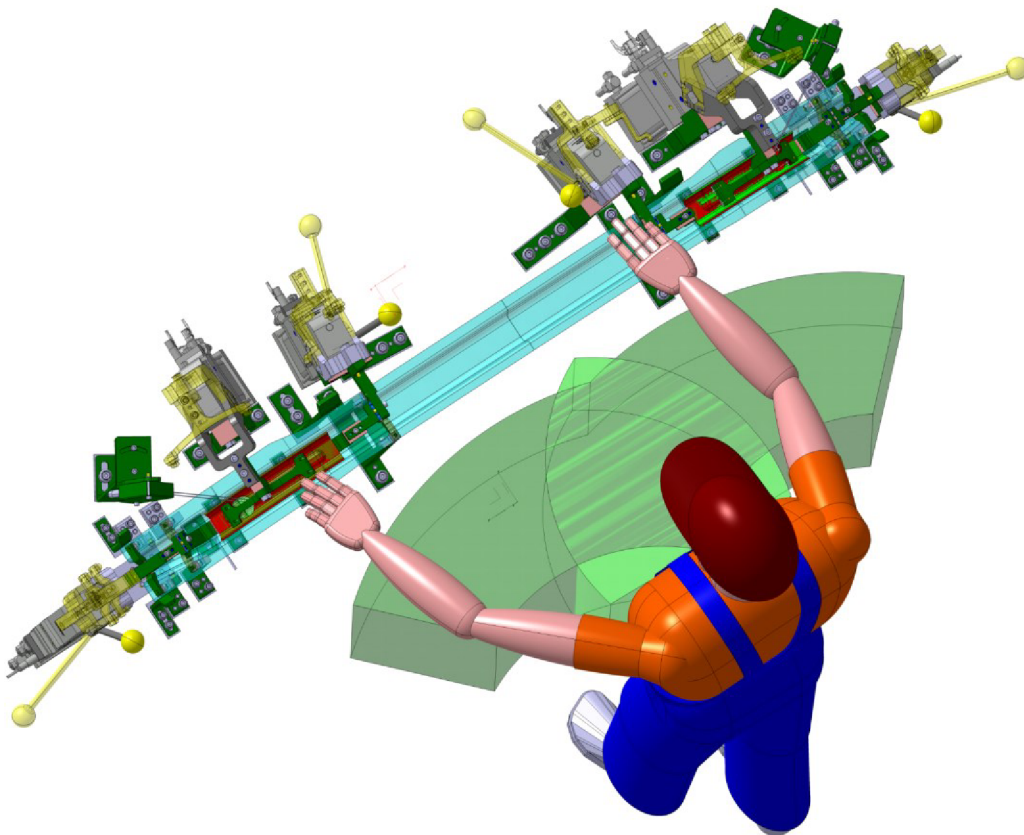
GEO	geometrický upínací přípravek s akčními členy
MPZ MB	zkrácený název firmy, ve které byla práce provedena
β	„beta“ – řecké písmeno označující typ upínaného nárazníku
PHEV	„Plug-in Hybrid Electric Vehicle“, tedy plug-in hybridní vozidla
HIP	„High Integrity Pressure (station)“ – stanice na čištění elektrod pomocí tlakové vody
MIG	„Metal Inert Gas“ – svařování tavnou elektrodou s inertním plynem
MAG	„Metal Active Gas“ – svařování tavnou elektrodou s aktivním plynem
TIG	„Tungsten Inert Gas“ – svařování netavnou wolframovou elektrodou s inertním plynem
TAG	„Tungsten Active Gas“ – svařování netavnou wolframovou elektrodou s aktivním plynem (méně časté)
CMT	„Cold Metal Transfer“ – nízkoteplotní variace MIG svařování
LSC	„Low Splatter Control“ – variace MIG svařování s regulací rozstříku plniva
MPA	„Mega Pascal“ – jednotka tlaku vyjadřující mechanické napětí
PLC	„Programable Logic Controller“ – diskrétní programovatelný automat ovládající chod přípravku a stanoviště
LED	„Light Emitting Diode“ – dioda produkující světlo jedné, nebo více barev

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou geometrického upínacího přípravku pro navaření rohových výztuh na inovovaný model nárazníku pro zákazníka ze sektoru automotive. Přípravek je součástí většího celku svařovacího stanoviště s lidskou obsluhou, které je u firmy MPZ MB s.r.o. poptáno jako „celek na klíč“, tedy kompletní řešení bez chybějících částí.

Geometrický upínací přípravek (GEO) je speciální typ přípravku opisující siluetu tvarově složitých součástí, jako jsou ohýbané plechy. Skládá se z ustavovacích bodů a ploch na rámu, upínek (zde pneumatických), ventilového terminálu a ochranných opatření souvisejících s použitou technologií svařování. Popsán je účel a charakter přípravku, stejně jako technologické, koncepční a ekonomické výzvy, které bylo při jeho návrhu nutné překonat. Očekávaným výsledkem je firemním normám odpovídající prototyp podložený 3D a výkresovou dokumentací, stejně jako pneumatickým plánem jeho automatického ovládání.

Práce se zabývá firemními standardy a normami, návrhem přípravku, konstrukčním provedením a dokumentací fungování konečného řešení. To včetně pneumatického plánu a sekvenčního diagramu pro provoz v rámci stanoviště. Obsah je členěn po vzoru procesní geneze – jednotlivé aspekty jsou proto popisovány tak, aby vynikly jejich vzájemné souvislosti, nikoliv na pevné časové ose.



Obrázek 1: Simulační koncept přípravku s obsluhou

1 Představení firmy

MPZ MB s.r.o. (montáž, projekce, zapracování) se nachází v obci Osek poblíž města Sobotka v Královéhradeckém kraji. Jedná se o firmu strojního zaměření specializovanou zejména na sektor automotive.

Firma byla založena roku 2013 a v současnosti zaměstnává přibližně 80 zaměstnanců. Koncem roku 2023 bude docházet ke značné expanzi jejích prostor. Zabývá se zpracováním a servisem strojů na lisování, robotickou manipulaci a svařování plechů. Dále nabízí obrábění na víceosých obráběcích centrech, tvorbu měřících programů a výrobu jednoúčelových strojů na klíč. Mezi nabízené služby patří vývoj, zakázková strojírenská výroba a automatizace tvořených celků. [1]

1.1 Softwarové prostředky

Z pohledu dostupných nástrojů pro návrh zařízení disponuje firma na odděleních konstrukce a simulace řadou specializovaných softwarů. Jedná se především o DS CATIA V5 (mechanická konstrukce), Siemens PROCESS SIMULATE (simulační verifikace pohybových úkonů na zařízení), Siemens PROCESS DESIGNER (plánování automatizace napříč linkami) a Autodesk AUTOCAD (2D výkresová dokumentace pro speciální účely).

V kontextu práce je využíván téměř exkluzivně software CATIA V5. Je ovšem na místě zmínit, že výrazná část zásahů do návrhu usměrňujících výsledků práce k zákaznickově spokojenosti vychází ze spolupráce s oddělením simulace (SIMULATE / DESIGNER).

1.2 Technické zázemí

Jak bylo zmíněno výše (1), firma se zabývá výrobou různých produktů, od zámečnických a lisovacích nástrojů na míru až po kompletní instalace linek a jednoúčelových strojů „na klíč“. Většina prostředků k realizaci těchto projektů je součástí vlastního vybavení podniku, část je zadávána externím dodavatelům. Níže je uveden stručný výčet z tohoto vycházejících technologických možností, které se nabízejí při tvorbě návrhu.

CNC tvářecí a ohraňovací stroje (Vartek, Uzma) – možnost využití tvářených a stříhaných plechů pro vedení založení / zakrytování

- **3 a 5tiosá CNC obráběcí centra** (MCV, CTS, FUT, Hermle) – možnost výroby dílců metodou třískového obrábění i v nadměrných rozměrech.
- **Elektroerozivní drátořezy a vrtačky** (Fanuc, SY) – možnost výroby polotovarů s 2D profilem v rozměrech až 600 × 800 × 300 mm.
- **Řezání vodním a plazmovým paprskem** (AWAC) – možnost výroby polotovarů s 2D profilem v hloubkách až 50 mm pro plazmu a 150 mm pro vodní paprsek.
- **3D tisk** (Prusa) – možnost tvorby 3D-tiskových prototypů standardních velikostí.

Od externích dodavatelů je možno získat zejména přesné mechanické dílce a softwarové zpracování náročnějších aspektů automatizace, např. úkonových křivek robotů.

2 Návrh stanoviště

2.1 Popis výrobku a jeho účel

GEO přípravek je zařízení opisující geometrický obrys tvarově složitých dílů. V kontextu sektoru automotive jsou těmito díly téměř výhradně lisované plechy před svařováním či automatizovanou kompletací. Přípravek, kterému se tato práce věnuje, má sloužit k upínání plechových nárazníků s potřebou vyztužení.

Předmětem firemního zadání je přední nárazník typu β (beta) určený pro dva nové modely vozidel typu PHEV (plug-in hybrid electric vehicle), která bude zákazník v příštích letech uvádět do výroby. Kvůli nárůstu hmotnosti těchto vozidel o více než 200 kg oproti jejich protějškům se spalovacím motorem prošel nárazník novou sérií crash-testů. Po shromáždění údajů zákazník došel k závěru, že stávající provedení v plechu o tloušťce 2,6 mm z oceli USIBOR 1500 není pro případ čelní srážky s překážkou dostatečné. Proto bylo přistoupeno k přidání dvou rohových výztuh (obrázek 2, značeno zeleně).



Obrázek 2: Výztuhy nárazníku

Na výztuhy i hlavní tělo nárazníku byla použita shodná ocel USIBOR 1500. Jedná se o vysokopevnostní, kolizím odolnou ocel vytvořenou speciálně pro nosné části karoserií v sektoru automotive. Ta odolává cyklickému namáhání i nadměrně silným nárazům a v případě překročení meze kluzu také zaručuje plynulé tvoření deformačních zón. Její materiálové vlastnosti jsou blíže popsány v sekci 2.5.

Po instalaci výztuh ($239 \times 108 \times 56$ mm, tloušťka taktéž 2,6 mm) bylo dosaženo požadované pevnosti konstrukce při nárůstu hmotnosti o 787 g. Celková hmotnost nárazníku s výztuhami tak činí 5,878 kg. Podrobnější informace o tvarových, hmotnostních a pevnostních vlastnostech nárazníku jsou předmětem firemního tajemství.

Technologie svařování či přesný postup tvorby svaru nebyly zákazníkem pevně definovány. Hlavním požadavkem je pouze vyhovění standardu pevnosti svařence, kterého zákazník dosáhl v laboratorních podmínkách.

2.2 Zásady koncepce upínacích přípravků

Tvorbu upínacích přípravků provází řada standardů konstrukčního zpracování. Ty lze shrnout do tří hlavních nárokových kategorií – technologičnosti, ustavitelnosti a hospodárnosti.

Technologičnost a ustavitelnost hodnotí to, jak jednotlivé aspekty přípravku přispívají ke spolehlivosti, rychlosti a jednoduchosti práce pro obsluhu. Vše zmíněné je navrhováno na míru použitých technologií a unikátních okolností práce každého stanoviště. Obráběný/svařovaný kus musí být jednoznačně ustaven – je třeba zajistit pevný a neměnný vztah obrysu obrobku/výrobku vůči průmětnám X, Y a Z. Stykové plochy přípravku s kusem by dále měly být co nejmenší (ideálně body) a pokud je to možné, má být zabráněno možnosti nesprávného vložení. Součásti přípravků, které jsou přímo v kontaktu s obrobky, a proto se opotřebovávají, musí být dostatečně přesné i po mnoha opakováních. Pokud přesáhnou svou životnost, musí je být možné snadno vyměnit bez ztráty opakovatelnosti a přesnosti upnutí. V případě robotizovaného svařovacího stanoviště střední nosnosti se opakovatelnost pohybuje v desetinách milimetrů, nároky na přípravek jsou shodné. Materiály a vybavení přípravku musí být zvoleny tak, aby předčasně neselhávaly, netrpěly teplotními deformacemi a podobně. Pokud se jedná o svařování odporové nebo elektrickým obloukem, musí být všechny oblasti svařování patřičně uzemněny, aby se předešlo vyjiskřování (3.5), přehřívání a dalším negativním vlivům. [2; 3; 4]

Hospodárnost je metrikou poměru mezi produktivitou a cenovou efektivitou přípravku/stanoviště. Ovlivňují ji náklady na materiál, nástroje, tepelné zpracování či povrchové úpravy potřebné k jejich výrobě. Mimo to zohledňuje i ceny použitých strojů, odběry energií, kapalin a plynů, či prostorovou náročnost. Naproti těmto kritériím se staví ušetřený čas za jednu sadu (včetně platových nákladů za odpracovaný čas obsluhy) a snížení dlouhodobých režijních, servisních či seřizovacích nákladů. Cílem je najít co nejoptimálnější bod rovnováhy mezi oběma zmíněnými přístupy. [2; 3; 4]

Při bližším pohledu na GEO svařovací přípravek jako na případ k posouzení se nabízejí konkrétnější zásady a osvědčené praktiky, které vycházejí jak z předchozích projektů MPZ MB, tak z osobních zkušeností v odborné praxi. Přípravek by měl být navržen modulárně, žádná z jeho součástí by tedy neměla být spojena s jinými kusy než těmi z její topologicky oddělené podsestavy. Hlavními důvody zde jsou snadná výměna poškozených podsestav a koncentrace ochrany proti vyjiskřování (3.5) pouze na stolové desce a k ní přímo upevněných kusech. Díly, které přicházejí do styku se svařencem, musí být nejen přesné a snadno vyměnitelné, ale i s proměnlivou výškou. Je nutné, aby obsluha měla možnost je v průběhu jejich postupného opotřebení polohovat blíže ke svařenci, aby dokonale přiléhaly (3.1). V MPZ MB tento problém řeší zejména stavitelné podložky pod šrouby v různých tloušťkách, které si firma vyrábí na míru konkrétnímu použití. Co největší množství kroků v pracovním cyklu stanoviště by měl ovládat PLC automat (2.6). Obsluze přísluší pouze nezbytné kroky (zde vkládání/vyjímání a vizuální kontrola chodu). Senzory, pomocí kterých PLC vyhodnocuje stav pracovního cyklu, by měly být bezkontaktní a dimenzované na podmínky při svařování elektrickým obloukem.

2.3 Bezpečnostní a ergonomické normy

Při tvorbě upínacího přípravku je nutné řídit se sadou pravidel a regulací, aby nedošlo k ohrožení obsluhy či kvality výsledného produktu. Hlavními zdroji obecných pravidel jsou sady harmonizovaných norem (ČSN norem převzatých z EN ISO) a nařízení společného rámce Evropské unie. Firma následuje pokyny odpovídající skupiny těchto norem a standardů ze sbírek o bezpečnosti pracovišť, jejich ergonomii a koncepci. Firma dodatečně plní i podmínky certifikace ČSN EN ISO 9001 (systémy managementu kvality) a ČSN EN ISO 14001 (Systémy environmentálního managementu).

Z hlediska bezpečnosti přípravek vytváří řadu potenciálních rizik, od kolizí s pohyblivými prvky po rizika očekávaného užití technologie svařování elektrickým obloukem. Podle normy EN ISO 12100 a harmonizovaných norem bezpečnosti práce je kladen důraz na bezpečnost obsluhy a samotného zařízení. Mezi nejdůležitější nároky patří prevence zasažení ramenem roboty či svářecím médiem, úrazu elektrickým proudem nebo úrazu akčními členy přípravku. Dalším více specifickým požadavkem na bezpečnost je opatření všech styčných ploch mezi výrobkem a rámem přípravku izolačními vložkami. Jde o prevenci vyjiskřování těchto ploch, jakožto vedlejšího účinku elektrického svařování. K zabezpečení těchto rizik slouží prvky jako zabránění vniku k nebezpečným částem, světelné závory, bezpečnostní tlačítka, či oplocení stanoviště. [5]

Ergonomie je podle Mezinárodní ergonomické asociace vědecká disciplína optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci polohy člověka a výkonnosti systému. [6; 7] Jedná se o vědní obor, který se zabývá integrací lidských pracovníků do prostředí moderních provozoven. Ergonomické normy a nařízení přesně definují standardy charakteru pracoviště, náplně fyzické práce a psychické a fyzické zátěže. Standardy jsou rozděleny do kategorií zaměstnanců určité fyzické zdatnosti, věku, pohlaví, či speciálních potřeb. To vše ve vazbě s okolním prostředím a technikou. Blízce souvisejícími pojmy jsou dále antropometrie a pohybová ekonomie. [8; 9]

Antropometrie je nauka o stanovení a aplikaci charakteristik člověka. Jedná se o vlastnosti rozměrové, fyzické, mentální, či smyslové (odolnost na hluk, bolest, či zápach). **Pohybová ekonomie** je obor zabývající se lidskou prací z hlediska optimalizace náročnosti, minimalizace fyzické a psychické zátěže a urychlení pracovních procesů. [6; 7]

Na základě standardů a nařízení z výše rozebíraných oborů je volen charakter a vybavení pracoviště. Jedním z nejdůležitějších údajů pro prvotní koncepci stanoviště (2.4) je nejvyšší možná hmotnost svařence. Tato hodnota rozhoduje o tom, zda připadá v úvahu ruční manipulace s výrobky. Normami stanovené hodnoty (limit při častém zvedání a přenášení) jsou následující:

- Maximální hmotnost 30 kg pro muže pod 50 let věku, 24 kg nad 50 let [9]
- Hmotnost 18 kg pro ženy pod 50 let věku, 14 kg nad 50 let [9]

Pokud tedy maximální hmotnost výrobku nepřesáhne 15 kg, je možné manipulaci provádět ručně. Možným rizikem je ale práce osob (hlavně žen) nad 50 let věku. Tato a jiné důležité informace jsou obsaženy v manuálu stanoviště, který je nezbytnou součástí každé dokončené zakázky.

Manuál stanoviště (jakožto normou daný zákonný prvek zakázky) se netýká pouze bezpečnostní stránky používání pracoviště. Věnuje obráběným/svařovaným součástem včetně dokumentace, použitým technologiím, zakázaným postupům, rizikům ublížení na zdraví, ochranným pomůckám a dalším klíčovými informacím. Osnova kompletního manuálu vypadá následovně:

1. Titulní strana
2. Obsah
3. Hlavní údaje o projektu
4. Potvrzení o přejímce
5. Prohlášení o shodě (potvrzení od všech zapojených firem včetně zákazníka)
6. Stav a vydání změn dokumentace
7. Layout (4.1)
8. Technické datové listy (datesheety)
9. Dokumentace elektroniky
10. Návod k obsluze
11. Bezpečnost
12. Osvědčení a pasporty
13. Školení
14. Údržba, opravy a mazání
15. Koncept výměny (postup při výměně opotřebovaných součástí)
16. Struktura PM (Plant Maintenance) modulu SAP (Systems, Applications and Products) (normy popisující ohledně rizik údržby, korekce, prevence poruch, reporting a další)
17. Náhradní díly
18. Návod subdodavatelů
19. Výrobní plány
20. Přehledy výkresů
21. Plány médií
22. Pneumatické plány
23. Výkresy a kusovníky
24. Celní doklady

2.4 Hrubý koncept svařovacího stanoviště

Návrh stanoviště závisel mimo výše zmíněných zásad koncepce přípravků (2.2) a bezpečnostních norem (2.3) i na hrubém konceptu rozložení a požadavcích na operační časy, které dodal zákazník (obrázek 3). Hrubé schéma stanoviště se skládá z karuselu (otočného stolu), tří upínacích přípravků a dvou robotických paží KUKA KR 16 R2010-2. Dále obsahuje rychloběžná rolovací vrata EFAFLEX (u vstupu), laserový skener přítomnosti SICK S30A-6011BA (vlevo za vraty), vodní čističky svařovacích elektrod (vedle obou robotických ramen) a dvojici robotické skříně a svařovacího agregátu (za oběma roboty). Celé stanoviště také musí být opatřeno zdmi bránícími vstupu při práci robotů a ochranou zraku obsluhy (v diagramu značeno šedou čarou). Mezi další nezbytné prvky, kterým nebyla přímo navržena pozice, patří zadní dveře pro pohotovostní/servisní přístup, rozvaděč, frekvenční měnič pro motor karuselu, HIP stanice pro filtraci vzduchu a vody a PC panel pro ovládání a procesní hlášení. Pozice níže vyobrazených součástí stanoviště nejsou konečné, vycházely pouze z předchozích plánů rozložení.

Nárazník 11A_807_109	
Vyráběno kusů za rok	230561
Hodinová sazba směny	8 h
Počet směn za den	3
Dnů v pracovním týdnu	5 d
Pracovních dnů v roce	240 d
Požadovaná produkce za den	961
Sad na směnu	321
Týdenní kapacita sad	4805
Takt zařízení	84,11 s
Využitelnost zařízení	85%
Tak se zahrnutou využitelností	71,5 s
Počet svařovacích bodů	4
Technologie svařování	MIG LSC
Délka svárů	500 mm
Počet stehů	2
Interval otočení stolu	9,00 s
Stehování robotem č. 1	6,00 s
Svařování robotem č. 1	33,25 s
Svařování robotem č. 2 (najednou s č. 1)	33,25 s
Blokace rizika kolize	0,00 s
Celkový čas na stanovišti	48,25 s
Časové naddimenzování pracoviště	48%
Počet GEO přípravků	3
Počet variant GEO přípravků	1

Obrázek 3: Hrubý koncept stanoviště

Doplňující vysvětlivky k obrázku 3:

- *Sad na směnu*: Sada označuje hotový svařenec jakožto výstup stanoviště. Jejich počet je kalkulován z počtu hodin ve třisměnném provozu, zaokrouhлено nahoru.
- *Týdenní kapacita sad*: Hodnota udává počet hotových výrobků za pětidenní pracovní týden při třisměnném provozu.
- *Takt zařízení*: Takt označuje maximální časový interval vyhrazený práci na jedné sadě vyčíslený v sekundách. Vypočítán je z poměru požadované denní produkce proti počtu hodin v pracovním dni.

- *Využitelnost zařízení:* Procento využitelnosti slouží ke snížení maximální hodnoty taktu tak, aby nehrozilo, že se výrobní časy nebezpečně nepřiblíží maximálním intervalům důsledkem náhlého přerušování výroby, případným chybám ze strany obsluhy a automatů a podobně.
- *Takt se zahrnutou využitelností:* Jedná se o nižší (více realistickou) hodnotu taktu po zahrnutí využitelnosti zařízení.
- *Počet svařovacích bodů:* Počet bodů nevyjadřuje jednotlivé kroky svařovacího agregátu, nýbrž počet oblastí, ve kterých je očekáváno vystavení jasu svařovacího oblouku kdykoliv v průběhu výrobního cyklu stanoviště.
- *Počet stehů:* Jedná se o počet souvislých křivek na jednoho robota. V případě nárazníku agregát obchází celý obvod každé z výztuh, tudíž jsou stehy jenom dva.
- *Interval otočení stolu:* Časový interval, za který se karusel za standardních podmínek otočí o 1/3.
- *Stehování robotem č. 1:* Jde o interval bodového svařování na prvním robotu zleva, které slouží k upevnění výztuh před souvislým navařením. Hodnota zahrnuje pouze jednu ze dvou výztuh.
- *Svařování robotem č. 1:* Celkový čas stehovací operace na prvním robotu. Čas je prodloužen tak, aby se přesně shodoval se svařováním na robotu druhém, jelikož až dokončení souvislého svařování umožňuje další otočení karuselu.
- *Svařování robotem č. 2:* Čas, za který je druhý robot schopen souvisle navařit obě výztuhy.
- *3 GEO přípravy, 1 varianta:* Tato informace obehnavuje čtenáře zadání tím, že všechny tři přípravy na karuselu mají mít přesně shodné rozměry a specifikace.

Nejvyšší hmotnost nárazníku činí 5,878 kg (zaokrouhleno na 9 kg), tj. po navaření obou výztuh a vyzdvihnutí svařence z přípravku. Firmou uznávané ergonomické normy (2.3) umísťují hmotnostní limit pro ruční manipulaci vestoje na 30 kg pro muže a 15 kg pro ženy. Vyhodnocením těchto a dalších kalkulací bylo dosaženo závěru, že obsluha smí s jednotlivými kusy manipulovat ručně. Tento přístup byl posléze odsouhlasen i zákazníkem.

Z hlediska bezpečnosti (2.3) je nutné kontrolovat, že obsluha před každým automatickým krokem opustila stanoviště. Toho je dosaženo jak bezpečnostním tlačítkem mimo prostor stanoviště (vedle PC panelu), tak uvnitř umístěným skenerem SICK S30A-6011BA, který snímá rovinu 10 cm nad zemí ve 190° výseči. Skener je umístěn přímo za rolovací vrata EFAFLEX.

Jak již bylo zmíněno, je nezbytně nutné, aby byla ze všech stran zajištěna ochrana zraku obsluhy. Toho bylo mimo dokonalé neprůsvitnosti rolovacích vrat dosaženo i zvolením speciálního polykarbonátu MAKROLON Welding Shield (červená 333) pro výplň jak perimetru pracovní oblasti, tak tří stěn mezi přípravky na karuselu. Tento materiál zajišťuje kvalitní ochranu zraku a při tom stále umožňuje vizuální kontrolu operací.

Nesprávné založení jakéhokoliv ze svařovacích kusů by mohlo vést k poškození přípravku nebo kontaktní špičky agregátu. Jako prevence takové události je nutné, aby byla zajištěna kontrola dovození všech pneumatických upínek a senzorické ověření správného umístění navařovaných výztuh (3.2, 3.3).

2.5 Volba technologie svařování

Technologie svařování musela být přizpůsobena konkrétním požadavkům ze strany zákazníka. Ty se mimo standardních kritérií bezpečnosti a ekonomičnosti soustředí zejména na kvalitu svaru (související s jeho pevností) a dopady na jeho okolí které je zákonitě vystaveno teplotním změnám. Přílišné zahřátí okolí svaru vede ke zkřehnutí vlivem karburace, oxidace a vypalování legur. Tyto reakce je potřeba co nejvíce omezit, jelikož nárazník je bezpečnostní součást.

USIBOR 1500 je nízkouhlíková, středně legovaná manganická ocel s ochrannou vrstvou slitiny zinku a železa určená pro pevnostní součásti karoserií v automobilovém průmyslu. Jejimi nejpůsobivějšími vlastnostmi jsou uváděné minimální pevnosti v tahu (>1400 MPa) a v kluzu (>1050 MPa), které jsou v porovnání se standardními konstrukčními ocelmi 11. třídy ČSN EN 10025 tři až čtyřnásobně vyšší. Díky těmto vlastnostem je možné použít plechy menší tloušťky (v případě výrobku 2,6 mm) a výrazně tak ušetřit na hmotnosti svařence. Díky speciálnímu postupu tepelného zpracování přímo při tváření plechů je struktura materiálu homogenní a zaručuje plynulé tvoření deformačních zón bez rizika zpětného pružení, které není u nárazníků bezpečné. [10]

Tato volba materiálu přináší zvláštní nároky zejména na vyhnutí se přílišnému prohřátí okolí svaru, zkřehnutí vlivem karburace (difuze uhlíku z okolní atmosféry do povrchu svaru), či vypalování důležitých legur (mangan, titan, křemík ad.) přílišným přehřátím. Na základě těchto a výše zmíněných kritérií proběhl výběr svařovací technologie vylučovací metodou. [11]

2.5.1 Svařování plamenem

Svařování plamenem využívá kontrolovaného spalování směsí hořlavých plynů (acetylen + kyslík, vodík + kyslík a další) k tvorbě plamene o teplotě jádra mezi 2500 °C a 3000 °C. Tímto plamenem dochází k zahřátí základního kovu a rozpouštění přídavného materiálu, který posléze vtéká do spár mezi svařovanými kusy. Tato technologie se vyznačuje velkým prohřátím okolí svaru značnou karburací jeho povrchu, což je pro účely přípravku nepřijatelné. Tato metoda proto nevyhovuje. [11]

2.5.2 Bodové a švové svařování

Obě následující kategorie patří do rodiny odporového svařování, kde vzniká velké množství tepla na předělu dvou součástí, mezi kterými prochází střídavý proud o řádově stovkách až tisících ampér (napětí v desítkách Voltů). Aby proud prošel skrz oba kusy mezi elektrodami, musí zde překonat jejich předěl, na kterém je výrazně vyšší odpor než ve zbytku materiálu. Při správné geometrii elektrod tak dochází k tomu, že materiál v místě zvýšeného odporu dosahuje teploty přibližně 2000 °C a taví se. Tato metoda tedy nepotřebuje žádný přídavný materiál. [11]

Bodové svařování původně vzniklo jako náhrada nýtování. Principiálně zde dochází k sevření obou plechů mezi dvěma elektrodami (často umístěných na svařovacích kleštích), načež je předěl mezi materiály roztaven. Následně dochází ke snížení proudu a stlačení obou kusů k sobě (v robotizaci kleštěmi). V případě automatického bodového svařování pak dochází ještě k vyžihání svaru stejným párem elektrod na nižším výkonu. Švové svařování je obdobou bodového,

místo svislých kuželových elektrod ale využívá elektrody kotoučové. Využívá se zejména ke svařování dlouhých úseků a švových trubek. [11]

U obou vybraných metod odporového svařování dochází k přílišnému přehřátí oblasti svaru a narušení kontaktních stěn obou plechů a hrozí, že výsledný svar nebude pevnostně vyhovovat zákaznickým požadavkům. Kleště na bodové svařování jsou navíc nadměrně drahým a příliš nepraktickým řešením pro tvarově složité díly. Švové svařování také nepřichází v úvahu z důvodu, že je vhodné jen pro rovné, či velice mírně zakřivené dráhy. [11]

2.5.3 Svařování elektrickým obloukem

Svařování elektrickým obloukem využívá ionizování atmosféry po dotyku a následném rychlém oddálení elektrody od povrchu základního materiálu. Vzniklý oblouk o teplotě kolem 5500 °C složí k zahřátí povrchu základního materiálu a rozpuštění materiálu přídavného. K dosažení tohoto procesu lze použít elektrody v ochranném obalu, nebo holé elektrody v ochranné atmosféře. [11; 12]

Svařování obalenou elektrodou využívá krátkých „tyček“ (elektrod) o délkách mezi 200 až 1000 mm v ochranném obalu. Ten obsahuje látky jako fluorit, vápenec, oxid křemičitý, či uhličitán vápenatý, které po roztavení tvoří na povrchu svaru neprodyšnou strusku, která brání negativním vlivům okolní atmosféry. Mimo to mohou obaly obsahovat i dodatečné legovací prvky (uhlík, mangan, křemík, chrom ad.), které difundují do horkého materiálu a částečně tak kompenzují ztráty legur. Hlavním problémem této metody je její nekompatibilita s kontinuálním procesem svařování z důvodu, že by automat musel vždy po krátkém úseku stávající elektrodu upustit a následně uchopit novou. Navíc by bylo nutné po dokončení procesu vzniklou strusku rozbít v celé délce svaru. Tato technologie proto nemá (až na silně atypické výjimky) v robotizaci výrobních procesů místo. [11; 12]

Svařování v ochranné atmosféře brání kontaktu reaktivních plynů (např. kyslíku či dusíku) s povrchem svaru pomocí jeho obklopení směsí plynů částečně, nebo kompletně nereaktivních. Dělí se podle dvou zásadních kritérií, tj. tavitelnost elektrody a typ ochranné atmosféry. Tavitelné (kovové) elektrody jsou označovány anglickým pojmem „metal“, netavné (wolframové) pojmem „tungsten“. U typu „metal“ je sama elektroda přídavným materiálem, u typu „tungsten“ musí být přídavný materiál dodán externě. Ochranné směsi plynů se dělí na kategorii „active“ (aktivní) a „inert“ (netečné). Aktivní plyny (argon, helium, krypton ad.) difundují do povrchu svaru a ovlivňují tak jeho výslednou pevnost, tuhost a pružnost. Naopak inertní (netečné) plyny (oxid uhličitý, oxid dusný, vodík) s materiálem nijak nereagují a při správných podmínkách tak nejlépe zachovávají jeho původní chemické složení. [11; 12]

Z kombinace možností výběru typu elektrod a druhu atmosféry se nabízí celkem čtyři technologické přístupy:

- MIG (Metal Inert Gas) – tavná elektroda v netečné atmosféře
- MAG (Metal Active Gas) – tavná elektroda v aktivní atmosféře
- TIG (Tungsten Inert Gas) – netavná wolframová elektroda v netečné atmosféře
- TAG (Tungsten Active Gas) – netavná wolframová elektroda v aktivní atmosféře

Ačkoliv existují automatizované aplikace metod TIG a TAG, pro provedení v robotizaci je podstatně jednodušší použití tavných elektrod, jelikož samy slouží jako přídavný materiál odvíjený

z cívky agregátu. Kategorie MIG/MAG byly zvoleny i proto, že v oblasti robotizace nabízejí nejrychlejší pracovní časy a u vybraných podkategorií i nejnižší prohřátí okolního materiálu, což jsou dva významné přínosy. Výběr mezi nimi ovlivnil zejména fakt, že hlavním zájmem výrobního procesu je co možná nejlépe zachovat materiálové vlastnosti materiálu USIBOR 1500 a tedy i jeho chemickou strukturu. Byla proto zvolena technologie MIG, u které nedochází k chemickým reakcím mezi svarem a ochranným plynem. [11]

2.5.4 Specializovaná technologie MIG

Ve věci volby specializované technologie MIG se nabízely dvě možnosti z nabídky Fronius Česká republika s.r.o., jmenovitě metody CMT a LSC. Obě metody pracují s výrazně menšími teplotami než standardní MIG svařování a jsou proto značně šetrnější k základnímu materiálu svařence.

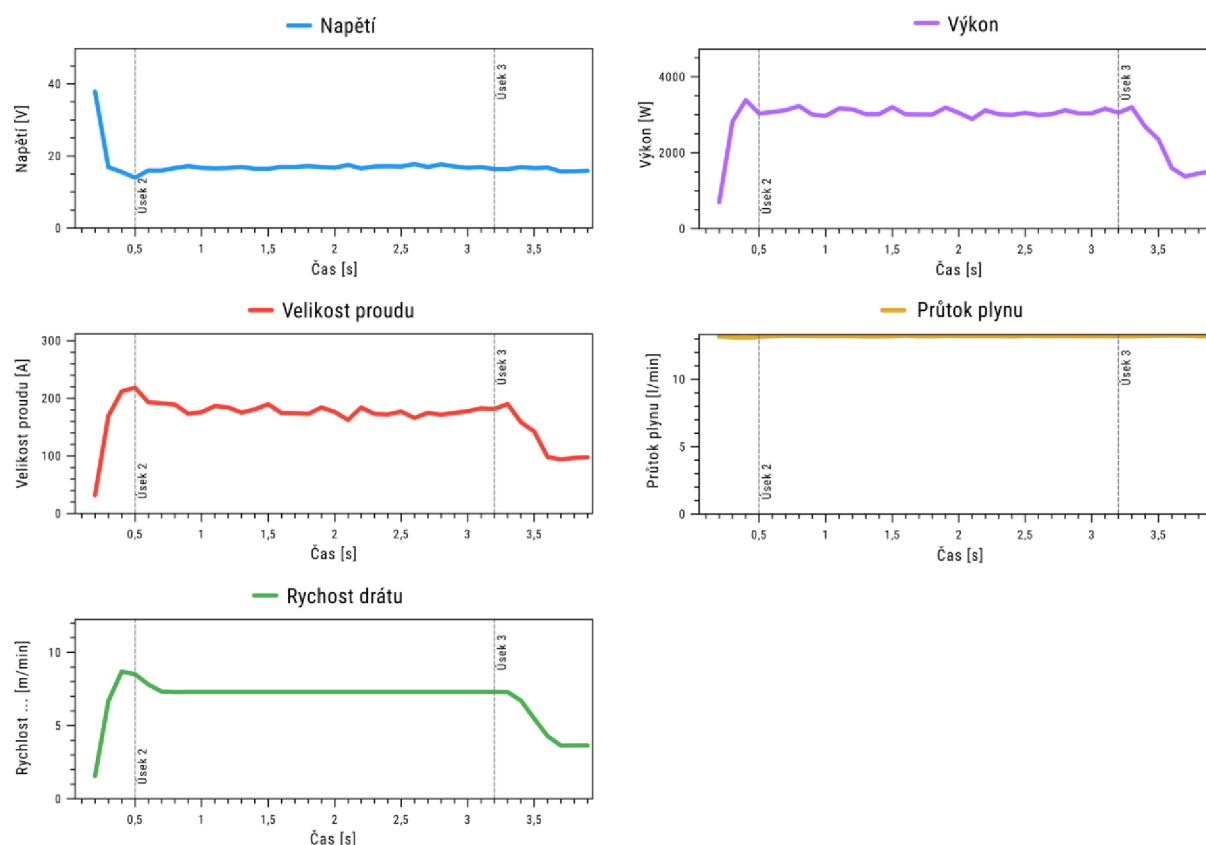
CMT (Cold Metal Transfer) je speciální bezrozstříková metoda MIG s velmi malým vnosem tepla do okolí svaru, kterého dosahuje periodickým oddalováním elektrody po vytvoření kapky roztaveného kovu. Nabízí dobrou svařitelnost i u standardně nesvařitelných materiálů různých složení (ocelí s hliníkem apod.) či u obtížně svařitelných materiálů, jako jsou některé variace USIBOR 1500. [13]

LSC (Low Splatter Control) je metoda MIG využívající modifikovaného krátkého oblouku s mimořádně vysokou stabilitou. Té se zde dosahuje regulovaným snižováním příchozího proudu při vzniku zkratů (spojení elektrody s povrchem svařence kapkou roztaveného kovu) bez dodatečného pohybu elektrody. Tento postup dosahuje vysoké kvality svarů s minimálním rozstříkem a nízkým prohřátím okolí svaru. Technologie je vhodná i pro těžce svařitelné materiály, jako jsou některé variace USIBOR 1500. [14]

Obě metody jsou si z hlediska vhodnosti využití blízké a osvědčily se v předchozích projektech MPZ MB. Po dalším zvážení byla pro vysokou stabilitu oblouku a vyšší kvalitu výsledných svarů zvolena technologie LSC, přesněji agregát TPS 400i LSC ADV pro využití v robotickém svařování.

2.5.5 Svařovací studie technologie LSC

Na základě zákaznických požadavků na pevnost svarů a zvoleného agregátu TPS 400i LSC ADV byla dodavatelem svařovací technologie – společností FRONIUS vytvořena studie svařovací operace. V ní se dodavatel zaručuje, že konkrétní technologie vyhoví vzniklým požadavkům a ukazuje postup, který zaručuje dosažení těchto kritérií. Ukázka grafů ze svařovací studie se nachází níže (obrázek 4).



Obrázek 4: Ukázka ze svařovací studie

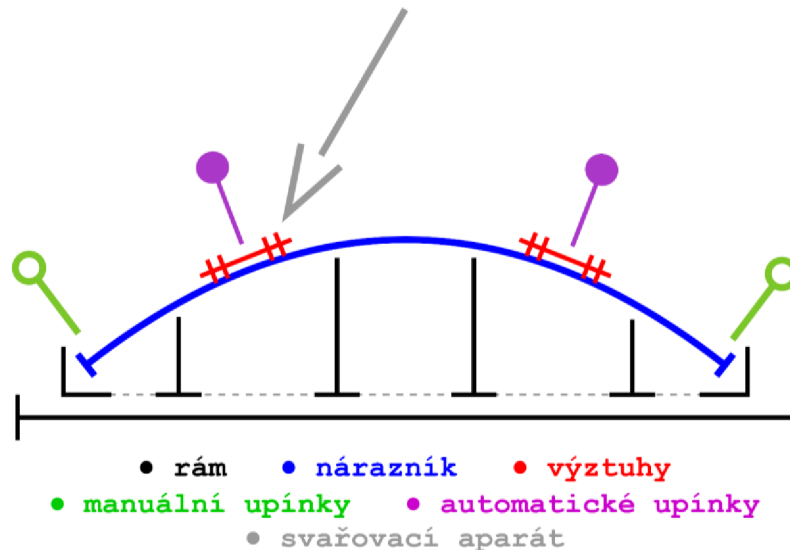
Z grafu lze vyčíst následující informace:

- Čas svařování na zkušebním vzorku: 4 s + chladnutí
- Pracovní elektrický výkon: ~ 3200 W (3400 W peak)
- Pracovní napětí: ~ 17.8 V (40 V peak)
- Pracovní proud: ~ 180 A (225 A peak)
- Průtok plynu (argon + 15-20 % oxid uhličitý): ~ 13 l/min
- Rychlost odvíjení drátu: ~ 8 m/min

Při dodržení výše vypsanych hodnot dosáhl agregát TPS 400i LSC ADV v laboratorním prostředí nejlepších výsledků, proto poslouží jako rámcové parametry při kalibraci po umístění do výroby.

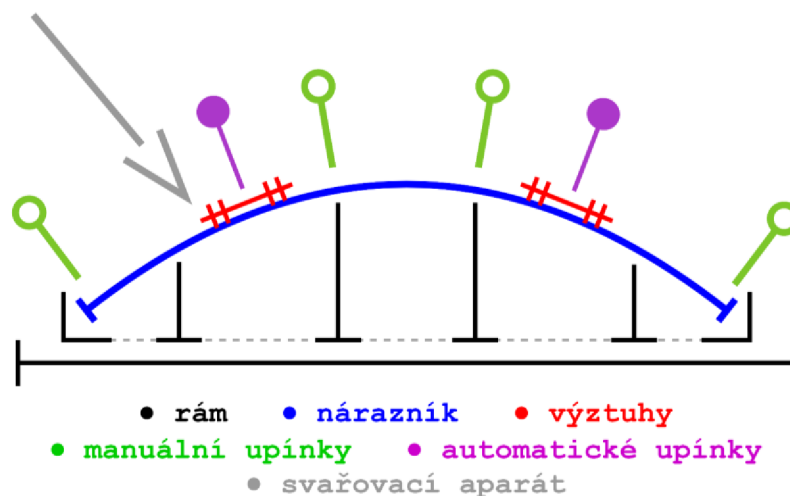
2.6 Návrh přípravku a pracovní postup

Původní návrh rámu přípravku se skládal ze stolu, čtveřice podpěr a dvou patních opěrných celků (obrázek 5, černá). Dále do sestavy spadaly montážní skupiny dvojice pneumatických upínek v manuálním režimu (zelená), a další dvojice v režimu automatickém (fialová). Podle původního návrhu (2.4) a charakteru zadání mají být na otočný stůl stanoviště umístěny přípravky celkem tři s tím, že obsluha bude mít přístup pouze k jednomu z nich a další dva budou obsluhovány robotickými rameny Kuka KR 16 R2010-2.



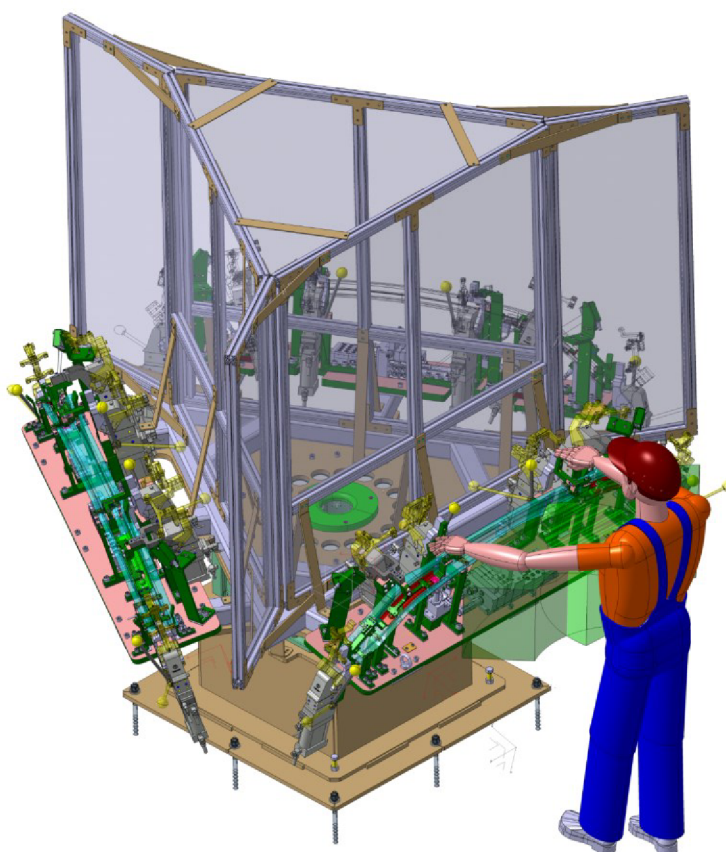
Obrázek 5: Původní schéma přípravku

Koncept přípravku byl následně revidován a konzultován jak s oddělením simulace a dodavatelem svařovací technologie, tak i na schůzích se samotným zákazníkem. Výsledkem těchto konzultací byl nový inovovaný návrh přípravku. Hlavním rozdílem mezi první a druhou iterací přípravku je přidání další dvojice manuálních upínek do oblasti středu přípravku, čímž bylo docíleno vyšší stability upnutí a výrazně lepší definice umístění plechových výztuh (obrázek 6).



Obrázek 6: Schéma přípravku po provedení změn

S kompletním zadáním (2.4), zvolenou technologií svařování (2.5) a odsouhlaseným konceptem GEO přípravku bylo možné vytvořit orientační pracovní postup. Ten se skládá ze tří částí, jmenovitě z fází vkládání/vyjímání (obrázek 7), stehování a souvislého svařování, kde první fáze probíhá s asistencí lidské obsluhy a další dvě jsou plně automatizovány. Všechny tři fáze probíhají zároveň, s výjimkou doby, kdy se v oblasti stanoviště pohybuje obsluha manipulující s nárazníkem a výztuhami. V tuto dobu je z hlediska bezpečnosti práce (2.3) nutné, aby celé zařízení stálo a nebylo pod proudem. Po dokončení všech tří fází se karusel, na nějž je trojice přípravků upevněna, otáčí vždy o třetinu otáčky po směru hodinových ručiček. Pro umožnění tohoto nekonečného pohybu jedním směrem byl zvolen speciální revolverový mechanismus, který při umístění do vřetene otočného stolu zabraňuje ukroucení kabeláže či hadiček se stlačeným vzduchem.



Obrázek 7: Obsluha ve fázi vkládání/vyjímání

Fáze vkládání/vyjímání:

Dochází k otevření automatických i manuálních upínek (obrázek 6). Obsluha je na displeji PC panelu informována, že může vstoupit do prostoru stanoviště. Pokud se v této fázi v přípravku už nachází hotový svařenec, obsluha jej vyjímá a odnáší k ostatním hotovým kusům. Následně přináší nový nárazník bez navařených výztuh, vkládá jej do přípravku a zavírá přes něj oba páry manuálních upínek. Po upevnění nárazníku přináší dvojici plechových výztuh a vkládá je do zón vymezených palci na upínacích nástrojích obou párů manuálních upínek. Dále opouští prostor stanoviště a na uživatelském panelu potvrzuje kontrolu správnosti upnutí všech tří svařovaných kusů. Tímto pokynem dochází k zavření dvojice mechanických upínek, dověření manuálních a kontrole správnosti jejich pozic v jednotkách desetin milimetru.

Fáze stehového svařování:

Po otočení o 1/3 otáčky vytváří první robotické rameno se svařovacím agregátem na upnutých kusech stehy, tedy krátké svarové úseky, které slouží k upevnění výztuh před dalším sváření. Stehy jsou vytvářeny po obvodu nastavené svařovací křivky v nepravidelných rozestupech tak, aby umožnily co možná nejlepší fixaci výztuh při co nejmenší spotřebě přidaného svařovacího materiálu. Po krátkém chladičném úseku dochází ke zdvihu prostředního páru automatických upínek (obrázek 6) a karusel se znovu otáčí.

Fáze souvislého svařování:

V pozici třetí třetiny otáčky stolu dochází k hlavnímu úkonu celého cyklu stanoviště. Druhé robotické rameno, vybavené stejným agregátem jako to první, tvoří souvislý svar v celé délce svařovacích křivek obou výztuh nárazníku. Provedení svaru jednou souvislou křivkou je zde možné díky zdviženým automatickým upínkám, které tak nepřekáží kontaktní špičce agregátu v cestě. Stejně jako operace druhé fáze i tato následně čeká na vychladnutí svarů a provedení postupu vkládání/vyjímání obsluhou, který je ze všech tří znatelně nejdelší.

Po dokončení celého cyklu se přípravek znovu vrací do výchozí pozice a všechny upínky jsou automaticky otevřeny. Zde je hotový svařenec vyjmut, uložen k hotovým kusům a postup začíná nanovo. V době, kdy je stanoviště aktivní, dochází k nepřetržité kontrole bezpečnostními prvky. V případě, že se člen obsluhy i přes potvrzení zvenčí stále nachází v pracovním prostoru, je takový vetřelec zaznamenán skenerem SICK S30A-6011BA a stanoviště jako celek se zastavuje, svařovací agregáty jsou vypnuty.

3 Konstrukční provedení přípravku

3.1 Kopírování geometrie, dorazy a opěrné plochy

Vlastní konstrukce navázala na hrubý koncept přípravku (2.6) a zvolenou technologii svařování (2.5). Dalším bodem postupu bylo v prostředí CATIA V5 okopírovat geometrii vlastního nárazníku typu β (2.1). Ten byl zaslán jako hotový model od zákazníka (obrázek 8).

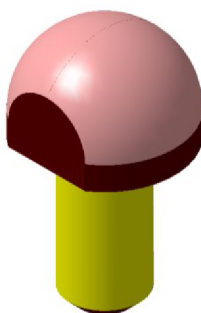


Obrázek 8: Model nárazníku β s výztuhami

Kopírování geometrie probíhalo následujícím způsobem:

Na modelu nárazníku umístěném do sestavy byla vytvořena skupina bodů s výhodně zvolenými půdorysovými souřadnicemi X a Z. Souřadnice Y ve svislém směru byly získány zavazbením vzniklých bodů na dotyk s povrchem spodní strany hlavního plechu nárazníku. Tyto body slouží jako definice ustavení z jeho spodní strany. Zmíněné body existují vždy odděleně od importovaného modelu nárazníku – ten je určen pouze ke čtení a nesmí na něj být vázány žádné vztahy uvnitř sestavy. Duplikováním nové skupiny bodů a jejich posunem vzhůru došlo k vytvoření definic pro upnutí shora. Délka tohoto posunu činila buď jednu nebo dvě tloušťky plechu (2,6 mm) podle toho, zda se na daných místech budou nacházet výztuhy. Kompletní set bodů byl vybaven osami udávající směr upnutí.

Po vytvoření výše zmíněné geometrie došlo k jejímu publikování (exportu-importu dat podle firemních topologických zásad) do příslušných podsestav projektu. V podstavě určené k centrování svařence byly na jejím základě definovány pozice hříbkových šroubů (obrázek 9). Hříbkové šrouby jako metoda upnutí čelí riziku vydržení materiálu při opakovaném používání zejména proto, že tlak upínek je na nich koncentrován do jednoho malého bodu. Tato jejich vlastnost nicméně silně uspokojuje zásady upnutí výrobků na co nejmenších plochách (2.2) a zákazník s touto formou ustavení má pozitivní zkušenost z minulých zakázek. Byly proto zvoleny jako adekvátní řešení a jejich nevyhnutelné odírání bylo vykompenzováno použitím sady stavitelných podložek různé tloušťky.

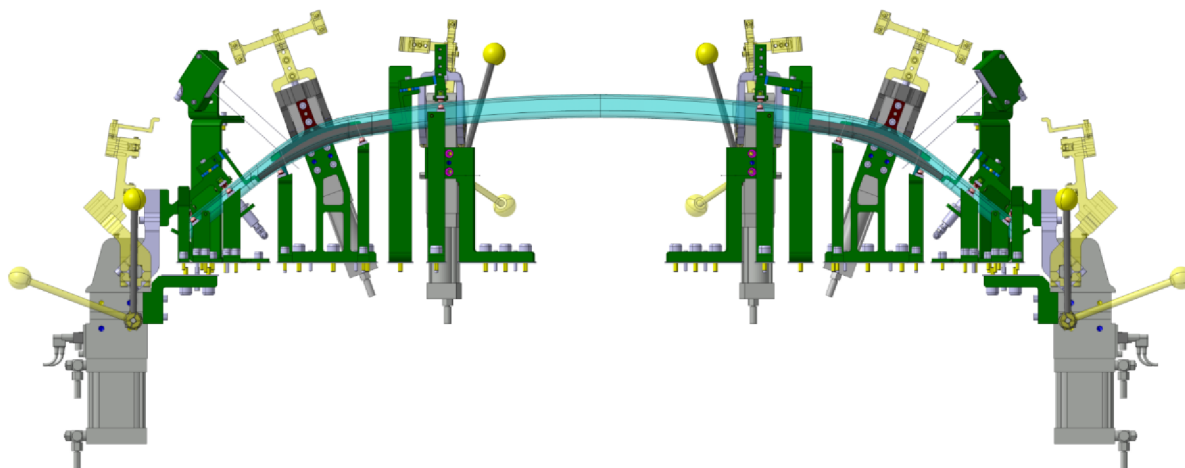


Obrázek 9: Hříbkový šroub

Z kombinace známých zásad koncepce přípravků (2.2) a zažitých firemních standardů vychází relativně jednoduchý princip, jakým lze navrhnout GEO přípravek:

- Pozice svařence musí být fixována proti translačnímu i rotačnímu pohybu ve všech osách (půdorys XZ, svislá osa Y – podle vnitřní normy). Toto platí jak pro nárazník, tak pro výztuhy po zavření automatických svorek (2.4).
- Díl nesmí být na místě držen jinak, než položením mezi definované opěrné body a přitlačení upínek.
- Kontaktní body kinematických dvojic upínek musí být z druhé strany vždy podepřeny stejným počtem opěrných bodů.
- Je nutné co nejlépe zabránit mechanické možnosti nesprávného vložení.
- Pro urychlení práce obsluhy jsou vítány redundantní prvky jako dorazy, proti kterým je možné vkládaný kus opřít a vždy se tak trefit na první pokus.
- Všechny dílčí podsestavy přípravku musí být montovány přímo do jeho desky stolu, to nejen pro usnadnění kompletace, ale zejména kvůli prevenci vyjiskřování (3.5).

Po několika iteracích bylo splnění těchto požadavků dosaženo pomocí celkem třinácti součástí rámu a tří párů speciálních upínacích nástrojů pro každou z dvojic upínek (obrázek 10, zeleně). S uvážením technického zázemí výrobní haly MPZ MB (1.2) byla jejich výroba uskutečněna technologiemi řezání vodním paprskem (přesné součásti s dosedacími plochami) a ohýbání válcovaných plechů (volněji umístěné dorazy u pat svařence a zadní dorazy). K výběru zmíněných metod došlo zejména kvůli jejich rychlosti a malé vytíženosti v době výroby přípravku. Ani jedna z nich nicméně neumožňuje tvoření hladkých dosedacích ploch a přesných děr. Ty byly vytvořeny dodatečně na pětiosém obráběcím centru (frézováním). Výše popsaná konfigurace dosahuje stavu, kdy není možné nárazník nebo výztuhy vložit nesprávně, aniž by to nebylo rozpoznáno senzory přípravku.

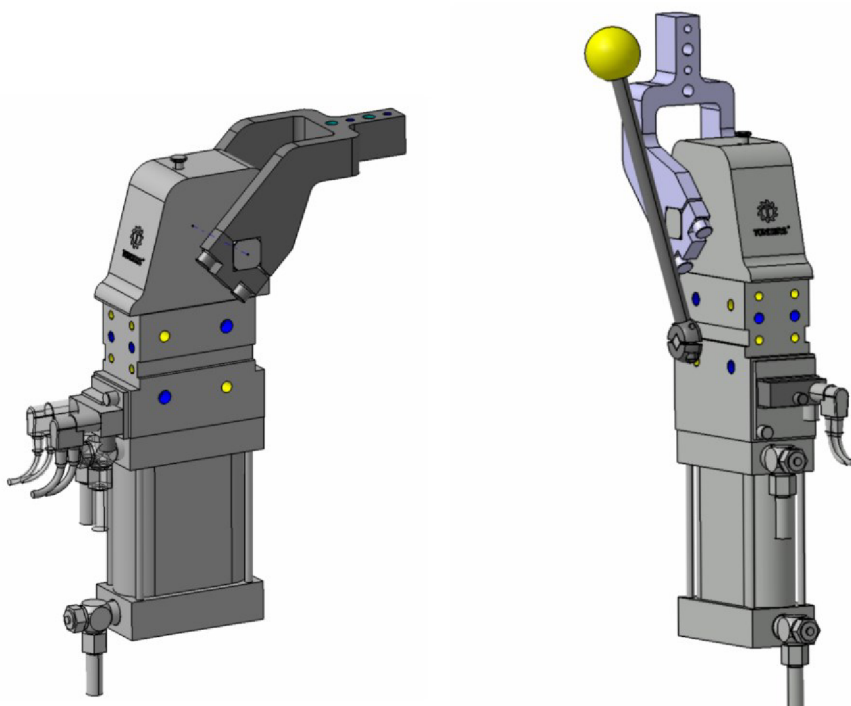


Obrázek 10: Přípravek v nárysu

3.2 Pneumatické upínky

Realizace odsouhlaseného konceptu přípravku vyžadovala celkem tři páry upínek pro zajištění kvalitního ustavení ve všech třech fázích pracovního postupu stanoviště (2.6). Z repertoáru již otestovaných způsobů upínání v MPZ MB se nabízela řada technologií, mezi kterými proběhl výběr vylučovací metodou. Magnetické grippery byly vyloučeny kvůli přichytávání magnetických částic z rozstříku a dalších vedlejších efektů svařování. Jednoučelové automatické grippery by byly příliš komplexní a proto drahé, naproti tomu ruční upínky (ač jednoduché) jsou příliš nespolehlivé. V úvahu přicházely akční členy hydraulické a na stlačený vzduch. Zvoleny byly pneumatické upínky VARIO V 63.1 BR3 od značky TÜNKERS (obrázek 11), a to hned z několika důvodů: Stlačený vzduch nabízí vítanou pružnost v případě kolizí, dále se s ním snadněji pracuje a jak sama technologie, tak její servis a potřebná distribuce zde vyjdou významně levněji než u hydrauliky. Tyto upínky také nabízejí více než dvakrát rychlejší pracovní cykly než jejich hydraulické ekvivalenty.

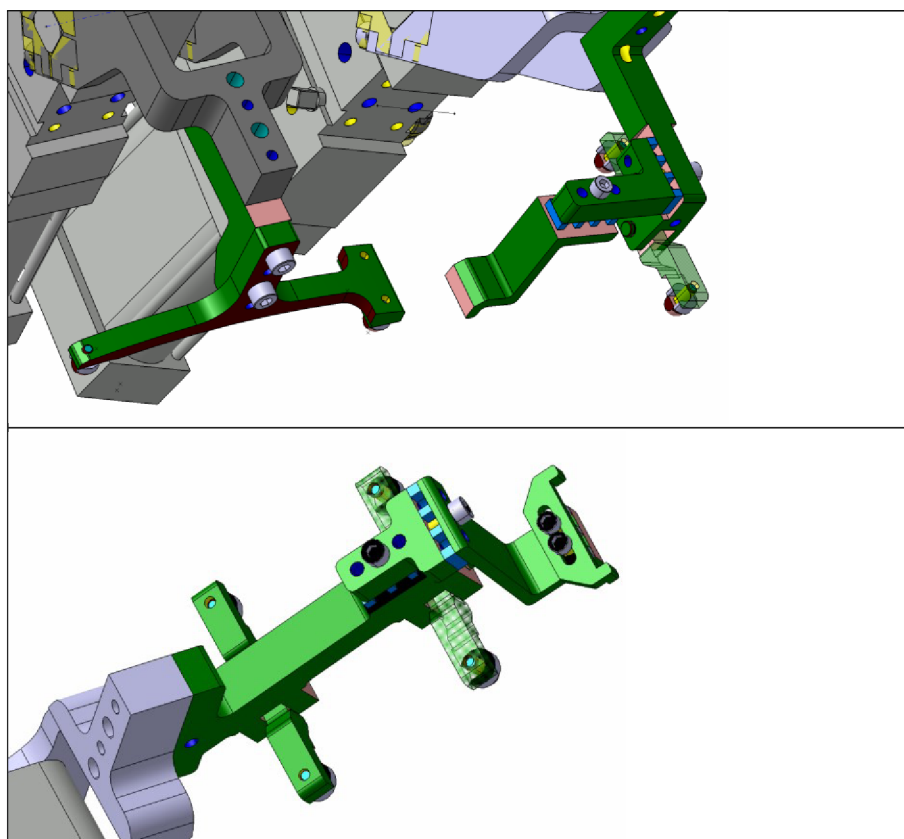
Upínky VARIO (velikost 63) jsou akční součásti vyrobené z hliníku s 63mm oválným válcem na stlačený vzduch a souvisle proměnlivým úhlem sevření 5° - 135° . Zásadním prvkem tohoto konstrukčního řešení jsou integrované indukční senzory (25 V, 32 mA) snímající vzdálenost od dorazové polohy plného zavření. Bez těchto senzorů by přípravek neplnil zákazníkům požadavek na co možná 100% eliminaci chybovosti vinou špatného založení navařovaných kusů. Další vítanou výhodou je možnost použití jak standardně v automatickém, tak i v manuálním režimu (ovládání pákou). Stačí pouze namontovat ruční ovládací prvek a na ventilovém terminálu, do kterého jsou upínky připojeny a použít ventil s průtočnými kanály místo standardních uzavřených (3.4). Díky této funkci je možné realizovat oba druhy upínek přípravku pomocí stejných součástí se shodnými parametry. [15; 16; 17]



Obrázek 11: Upínky v automatickém a manuálním režimu

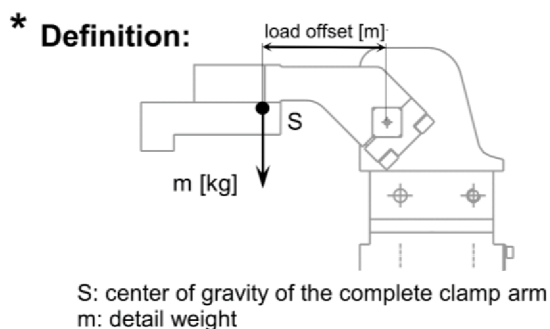
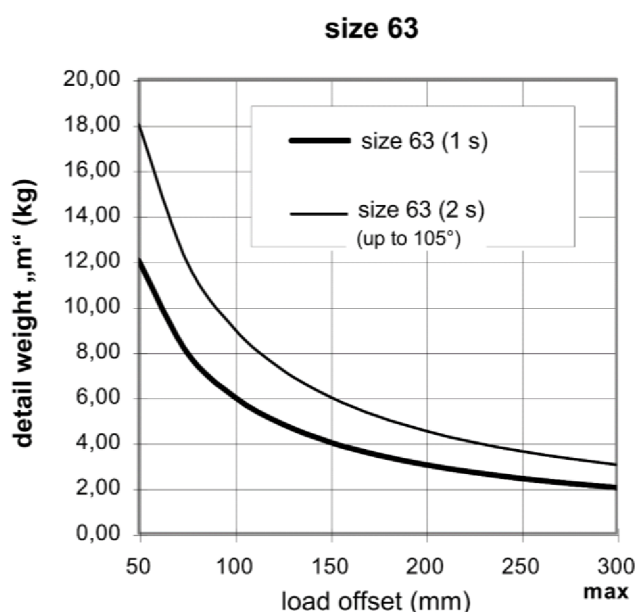
Hmotnost upínek velikosti 63 činí 4,8 kg na kus. Při pracovním tlaku 5 bar jsou schopny vyvinout jmenovitý upínací moment 380 Nm. Ve vzdálenosti 15 až 20 cm od kloubu upínky k těžišti upínacího nástroje mohou tedy vyvinout přítláčné síly mezi 1900 a 2600 N, rozložené mezi kontaktními body. Maximální moment, který je jedna upínka schopna v případě nehody zadržet, činí 1500 Nm. Minimální životnost zařízení je 3 miliony cyklů s garantovanou opakovatelností 0,2 mm po jednom milionu cyklů. Servisní kontroly musí proběhnout minimálně jednou za sto tisíc cyklů. [16; 17]

Každá ze symetrických dvojic pneumatických upínek je vybavena vlastním zrcadlově souměrným párem upínacích nástrojů. Ty slouží jako nosiče přítláčných hříbkových šroubů s kompenzací pro nedokonalé vložení svařovaných kusů a zároveň jako vymezovače pozic pro vložení navařovaných výztuh. Nástroje spodních manuálních upínek (obrázek 12, dole) využívají mechanismu vahadla (příčného nosníku otáčejícího se okolo kolíku) pro dosažení co možná nejvíce homogenních přítláčných sil na všech čtyřech hříbkových šroubech umístěných v okrajích vahadel. Vrchní manuální upínky (obrázek 12, vpravo nahoře) využívají stejného mechanismu jako ty spodní, nicméně se na nich nachází pouze jedno vahadlo se dvěma hříbkovými šrouby. Oba výše zmíněné páry jsou dále vybaveny přítláčnými palci z ohýbaného plechu. Ty se v zavřených polohách dotýkají hlavního plechu nárazníku a vytvářejí přesné vedení pro vložení výztuh. U nástrojů prostředních automatických upínek (obrázek 12, vlevo nahoře) byl zvolen přístup podstatně jednodušší. Rigidní trojice hříbkových šroubů zde slouží k silovému zatlačení výztuh do nárazníku v případě, že by byly vyrobeny s geometrickými nepřesnostmi (to lze u výrobků z ohýbaného plechu očekávat).



Obrázek 12: Upínací nástroje

Zásadním údajem, na který je při volbě upínek VARIO třeba brát ohled, je specifikace maximálních setrvačných hmot. Otevření a zavření (do pozice těsně nad dílem, kde dochází k dovření) mohou proběhnout v časovém úseku mezi jednou a dvěma sekundami. Pro obě krajní hodnoty je firmou TŮNKERS zdokumentováno měření maximálních hmotností aparátu (detail weight) s danou vzdáleností těžiště od kloubu upínky (load offset), které nezhoršují uváděnou opakovatelnost a životnost zařízení (obrázek 13). Otevření/zavření vykonané za jednu sekundu dovoluje pohyb v rámci 60°, ten dvousekundový umožňuje až 105°. V případě aplikace na upínacím přípravku je dvousekundový interval, nejen díky velkorysým rezervám v taktu stanoviště (2.4), více než dostatečný. Po uvážení skutečnosti, že těžiště největší kinematické dvojice mezi ramenem upínky a upínacím nástrojem je od kloubu vzdáleno 122 mm a celková hmotnost obou součástí je méně než 3 kg, byl návrh konstrukce všech upínacích nástrojů posouzen jako vyhovující. [18]



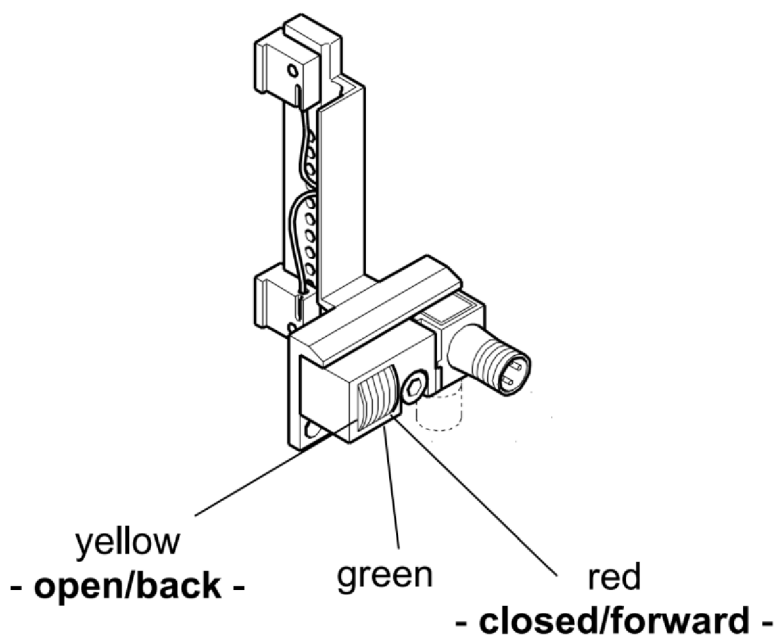
Size	Max. torque by weight	
	Cycle 1 sec.	Cycle 2 sec. (up to 105°)
40	2,2 Nm	3,3 Nm
50	4,5 Nm	6,7 Nm
63	6,0 Nm	9,0 Nm
80	8,0 Nm	11,2 Nm

Obrázek 13: Dovolené hmotnosti upínacích nástrojů [18]

3.3 Senzory přípravku

Jelikož je stanoviště z většiny automatizováno a obsluha asistuje pouze při vkládání a vyjímání součástí (2.4), je nutné ověřovat správnost ustavení svařovaných kusů. Lze tak předejít nechtěným kolizím s kontaktními špičkami agregátu a výrazně snížit zmetkovost. Ideálním intervalem pro toto měření je čas mezi dokončením první pracovní fáze (kdy jsou součásti budoucího svařence umísťovány do přípravku) a fáze druhé (2.6). Pro tento účel byly zvoleny celkem tři skupiny senzorů.

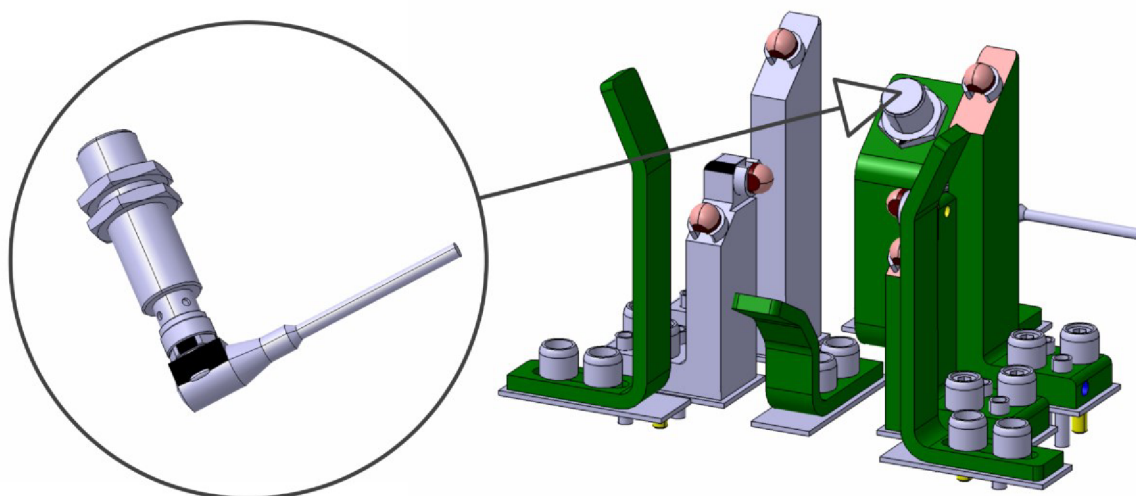
První z těchto skupin tvoří výše zmíněné kapacitní senzory umístěné v samotných upínkách (3.2). Výměnný modul těchto měřidel (obrázek 14) vysílá kontrolní signál do řídicího PLC a zároveň indikuje stav upínky / úspěšnost dovření pomocí barevné LED diody. Ta zaujímá celkem tři stavy po vzoru semaforu. Žlutá zde znamená dosažení otevřené pozice. Upínka by v tomto stavu měla být odpojena od tlakového vzduchu – v automatickém režimu zafixována a v manuálním uvolněna pro ovládání pákou v závěrném směru. Zelená barva indikuje připravenost senzoru k práci bez žádné doplňkové informace. V automatickém režimu ji lze vidět pouze při servisních cyklech, v manuálním značí přítomnost pracovního napětí v době, kdy upínka není plně otevřena či dovřena. Červená signalizuje zavírání a úplné dovření upínky (dává najevo, že obsluha s ní nemůže nijak pohnout). V případě, že senzor vyhodnotil nedokonalé dovření (mimo toleranci 0,5 mm), začíná červená dioda blikat. Po potvrzení pochybení na PC panelu se špatně dovřená upínka otevírá a obsluha má možnost výztuhu lépe umístit, případně vyměnit. [17]



Obrázek 14: Modul indukčního senzoru upínky s LED diodou [17]

Další dvojice senzorů má za úkol ověřovat, zda se v přípravku nachází hlavní plech nárazníku před tím, než dojde k zavření automatických upínek. Pro tento účel byly zvoleny snímače indukční, neboť se k indikaci polohy elektricky vodivých plechů velmi dobře hodí a jejich bezkontaktní mechanismus měření je v automatizovaném provozu výhodou. Jako konkrétní model byly vybrány třívodičové PNP (normally on) senzory BALUFF BES M18MI-PSC50A (24 V, 0~5 mA – obrázek 15). Ty jsou určeny speciálně do prostředí, kde probíhá svařování elektrickým obloukem. Jejich mosazná pouzdra s teflonovým povlakem odolávají přehřátí a brání vniknutí jak kapalin, tak rozstříkovaných kapek přídavného materiálu a dalších pevných částic. Přítomnost materiálu je navíc možné indikovat i v rušivém magnetickém poli (až 100 kA/m), které vzniká během svařování. Tato vlastnost sice nebude v pracovním cyklu přípravku přímo využita, z hlediska návrhu svařovacích stanovišť je ale zavedeným standardem. [19]

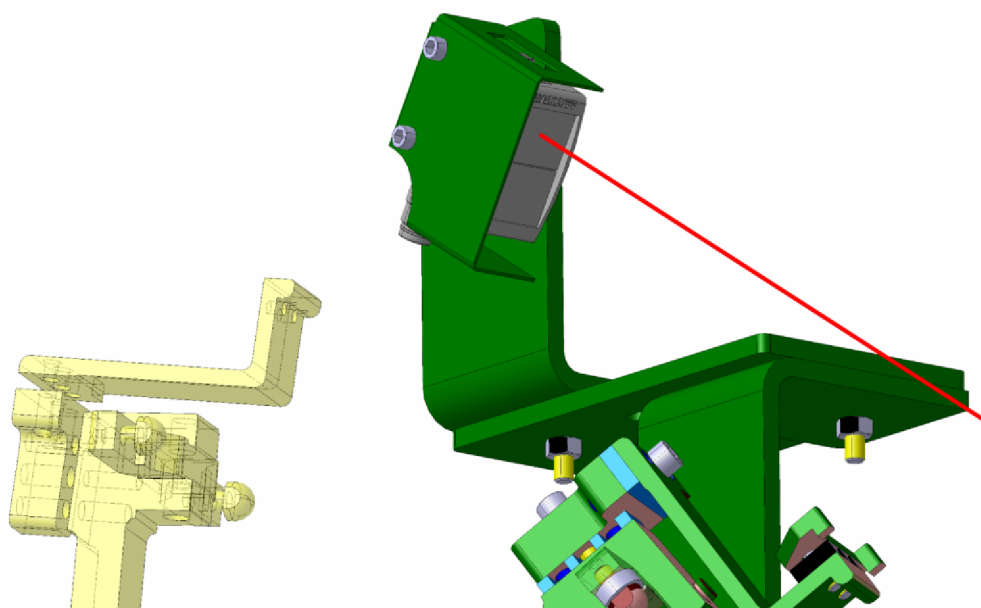
Snímače BES M18MI-PSC50A (obrázek 15) byly umístěny pod oblast patních dorazů (z ohýbaného plechu) na obou okrajích přípravku, tedy přiměřeně daleko od svařovacích oblastí. Za chodu stanoviště vysílají kladný (5 mA) signál až do doby, kdy je do vzdálenosti 5 mm a méně umístěna elektricky vodivá součást (plech nárazníku). Po dostatečném přiblížení přecházejí do nulového stavu (0 mA), čímž dávají najevo přítomnost dílu. PLC tento signál vyhodnocuje v okamžiku, kdy má dojít k zavření automatických upínek. Pokud v tuto dobu nárazník v přípravku není, dochází k otevření všech šesti upínek, zdvihnutí vrat stanoviště a upozornění obsluhy na PC panelu. [19]



Obrázek 15: Indukční sensor polohy nárazníku

Třetí a poslední skupina senzorů slouží k indikaci vložení výztuh nárazníku mezi palce manuálních upínek (2.4). V tomto případě nebylo možné využít standardně volené indukční či mechanické senzory – kvůli nutnosti umístění z vrchní strany svařence by překážely při vkládání plechů, zavírání upínek a kolidovaly by se svařovací křivkou. Tento problém by sice bylo možné vyřešit dalším párem slabších pneumatických upínek, takové řešení by ale bylo přehnaně komplikované a příliš drahé. Sensory pro tuto úlohu tedy musely být schopny snímat díly ze značné vzdálenosti. Po zvážení různých technologií byly zvoleny snímače optoelektronické, přesněji model BALUFF BOS 23K-PA-LH10-S4 (24 V, 100 mA, spínací frekvence 1000 Hz) na obrázku 16. Jedná se o triangulační snímače s pouzdem z polykarbonátu plexiskla PMMA a konstrukčního plastu ABS. Ty využívají 0.7 μ s impulzů červeného laserového světla, které vysílají ze spodní části předního optického hranolu a po odražení je znovu přijímají v části vrchní (obrázek 16, červeně). Z doby, za kterou impulz dorazí zpět do měřidla, je možné zjistit vzdálenost od senzoru po povrch každé z navařovaných výztuh. S přesností přibližně 1 mm (po kalibraci) jsou senzory schopny rozeznat, že se v přípravku nachází výztuha (tloušťka je více jak 4 mm), případně jestli snímáný prostor není prázdný. Pokud by tomu tak bylo, BOS 23K-PA-LH10-S4 by díky optickému potlačení pozadí nezaregistrovaly žádný zpětný odraz. Mimo vysílání signálů do PLC komunikují svůj stav i pomocí dvojice diod ve své vrchní části. První (zelená) slouží k indikaci pracovního proudu, druhá (žlutá) indikuje výstupní funkci měření a chybová hlášení. [20]

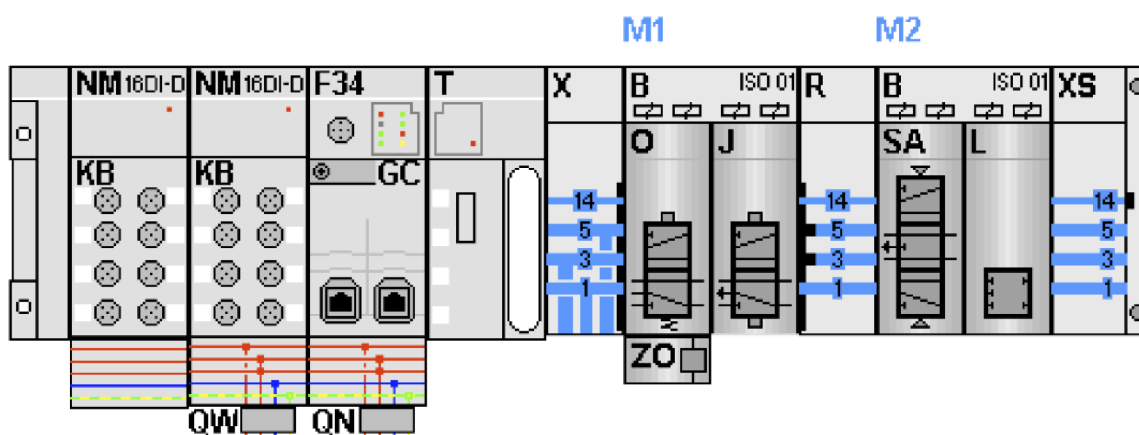
Hlavní nároky, kterými se optoelektronické snímače vyznačují, je kolmý úhel vůči měřené ploše z dostatečně odrazivého materiálu (zinkovaná ocel vyhovuje) a okolní osvětlení o síle méně než 5000 lux (stanoviště nesmí být u okna bez stínidel). Prostřední dvojice automatických upínek se v cyklu stanoviště (2.6) zavírá až poté, co optoelektronické snímače dosáhnou pozitivního výsledku. K tomuto měření dochází ještě před tím, než se zavřou rolovací vrata. Obsluhu v případě neúspěchu informuje PC panel, (částečně zakryté) diody na senzorech a případně i integrovaná zvuková siréna. Po opravě chyby pracovník opouští stanoviště, potvrzuje její vyřešení a stanoviště pokračuje v chodu. [20]



Obrázek 16: Optoelektronický snímač polohy výztuh

3.4 Ventilový terminál s terminálem CPX

Ventilové terminály slouží k rozvádění příslušných tlakových plynů či kapalin mezi akčními členy (jako jsou například pneumatické upínky) na pracovním stanovišti. Pro účely přípravku bylo zvoleno kombinované řešení skládající se z komponent VTSA-F-FB (0,9 až 10 bar) pro stlačený vzduch a CPX pro sběrniceovou komunikaci a připojení použitých snímačů (obrázek 17). Oba typy terminálů jsou plně modulární produkty společnosti FESTO, které je možné konfigurovat podle potřeb konkrétní aplikace. Díky škálovatelnému sběrniceovému systému AIDA Push-pull může být každá z komponent jednoduše uchycena na standardní DIN liště, přičemž jejich pořadí lze libovolně měnit (elektrická a pneumatická část musí ale zůstat oddělené). PLC má díky technologii VTSA-F-FB + CPX možnost ovládat akční členy a zároveň duplexně číst hodnoty z terminálu přes sběrnici PROFINET IO s konektory RJ45. [21; 22]



Obrázek 17: Ventilový terminál VTSA-F-FB s terminálem CPX [23]

Výše vyobrazený terminál byl navržen v konfigurátoru společnosti FESTO. To na míru nárokům celkem šesti upínek (2 automatických, 4 manuálních) a deseti senzorů (2 optoelektronických, 2 indukčních na rámu a 6 integrovaných v upínkách), které se na přípravku nachází (3.3). Jako konkrétní řešení pro elektronickou a pneumatickou část byly zvoleny modelové řady 51E CPX-M a 45P VTSA-F-FB (zrychlená verze normy VTSA se zvýšeným průtokem). Následuje hrubý popis účelu každého z vyobrazených segmentů. Ten odpovídá manuálu dodanému společně s příchozí objednávkou. [23]

Elektronická část (51E CPX):

- **NM:** I/O moduly 16místnými digitálními vstupy s možností diagnostiky signálu na úrovni jednotlivých kanálů.
- **KB:** Kryty I/O modulů s osmi MX M12 5-pin konektory – slouží ke komunikaci s výše zmíněnými senzory přípravku.
- **QW:** Řadová připojovací deska přivádějící 5kanálové napájení skrze konektor AIDA Push-pull.
- **F34:** Uzel sítě PROFINET IO, kovové provedení se servisním portem a LED indikací každého z připojených kanálů. Umožňuje duplexní Provider/customer komunikaci.
- **GC:** Modul umožňující připojení hned dvou konektorů RJ45.

- **QN:** Řadová připojovací deska s 5kanálovými konektory AIDA Push-pull a pokračujícím kabelem.
- **T:** Rozhraní pro ovládání ventilového terminálu VSTA-F-FB skrze terminál CPX (pouze ovládací signály pro elektropneumatické členy).

Pneumatická část (45P VTSA-F-FB):

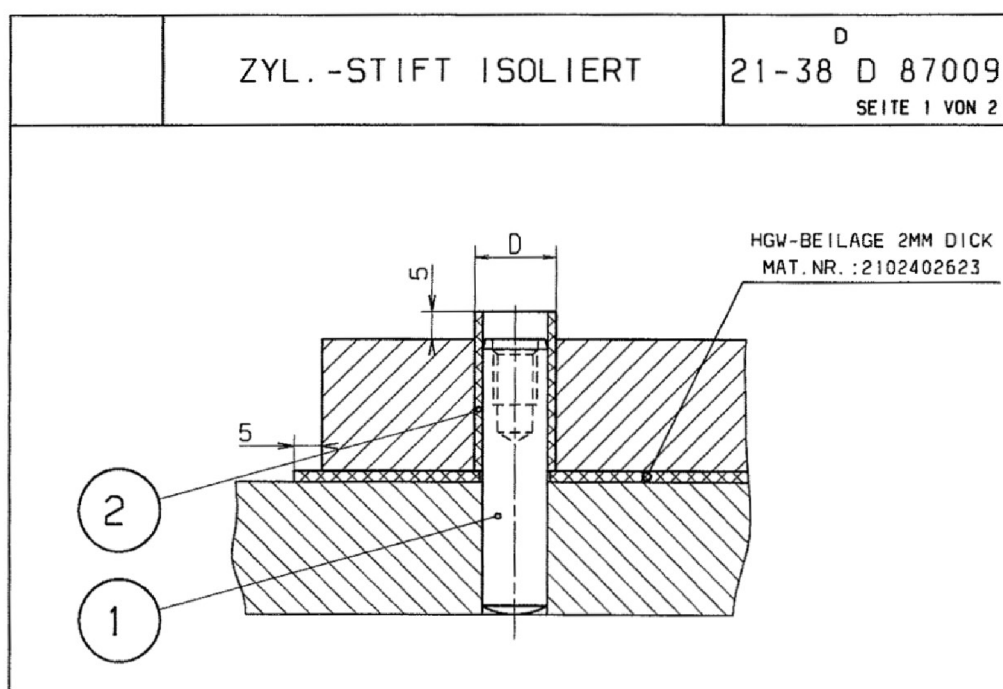
V pravé polovině obrázku 17 jsou mimo dalších pneumatických částí vyobrazeny tři koncové/propojovací desky (X, R a S). Jsou na nich vyznačeny celkem čtyři kanály, konkrétně 1, 3, 5 a 14. Pneumatický plán v sekci 4.3 obsahuje další tři, které výše nejsou vyobrazeny – 2, 4 a 12. Kanál 1 je zdrojem tlakového vzduchu. Jeho přívod je uskutečněn skrze levou napájecí desku X. Kanály 3 a 5 slouží jako tlumené výfuky, do kterých plyne vzduch pro odvětrání. Jejich protějšky jsou nezobrazené kanály 2 a 4, které vedou vždy do vstupních a z výstupních portů na pneumatických válcích upínek. Linka s číslem 14 označuje trasu pro slabší ovládací stlačený vzduch, který je odvětráván přímo po stranách ventilů. Port 12 není v případě přípravku nijak využit, ale obvykle slouží ke zpětnému přepínání polohy naproti kanálu 14. Použité ventily se mimo počtu portů a poloh (5/2, 5/3) liší monostabilní nebo bistabilní charakteristikou. Monostabilní jsou v klidovém stavu vždy navraceny do jedné stabilní polohy (například tlačnou pružinou), bistabilní mohou setrvat v jedné ze dvou. Všechny vyobrazené ventily jsou částečně nebo zcela ovládány elektropneumaticky. Jejich polohu tedy mění ovládací stlačený vzduch s výstupním kanálem 14, který je přiváděn po aktivaci solenoidu na menších integrovaných 3/2 ventilech (elektronických tlakových spínačích). Mimo to mají pomocné ruční ovládání tlačítka s aretací pro servisní úkony. [22; 23]

- **M1, M2:** Identifikátory velkých šroubení pneumatických celků, ke kterým jsou uchycovány ventily, napájecí kanály a podobně.
- **X:** Napájecí deska s přívodem tlakového vzduchu její vede do vstupního kanálu 1. Je vybavena tlumičem hluku pro odvětrávání z kanálů 3 a 5, kanál 14 je zde uzavřen.
- **B:** Propojovací bloky s řadovou připojovací deskou pro vždy dva ventily o šířce 26 mm se čtyřmi adresami (možnými polohami obou ventilů).
- **O:** Ventil 5/2 (pět portů, dvě polohy), monostabilní s elektropneumatickou aktivací a návratem do základní polohy pomocí tlačné pružiny.
- **ZO:** Mezideska pro spínání řídicího tlaku s vestavěným malým tlumičem hluku a propojením kanálu 14 do elektronického tlakového spínače.
- **J:** Bistabilní impulsní ventil 5/2 s elektropneumatickou aktivací v obou směrech.
- **R:** Oddělení kanálů 3 a 5 mezi šroubeními M1 a M2. Na M1 jsou tyto porty pod tlakem, u M2 slouží pouze jako výfuky.
- **SA:** Ventil 5/3 (tři polohy, dvě z nich stabilní), který je v prostřední poloze plně průchozí (umožňuje volné zavření mechanických upínek pomocí páky).
- **L:** Provedení pneumatického připojení pro napájecí desku XS. Prvky z desky XS jsou do tohoto členu přímo napojeny.
- **XS:** Pravá koncová deska se dvěma tlumiči hluku pro odvětrávání kanálů 3 a 5 (z pravé strany). Nabízí možnost dodatečného přepínání řídicího tlaku a sekundární přístup pro dodání tlakového vzduchu do kanálu 1. Kanál 14 je zde uzavřen.

Podrobnější popis vzájemného fungování pneumatických ventilů a použitých akčních členů se nachází v sekci se sekvenčním pneumatickým plánem (4.3).

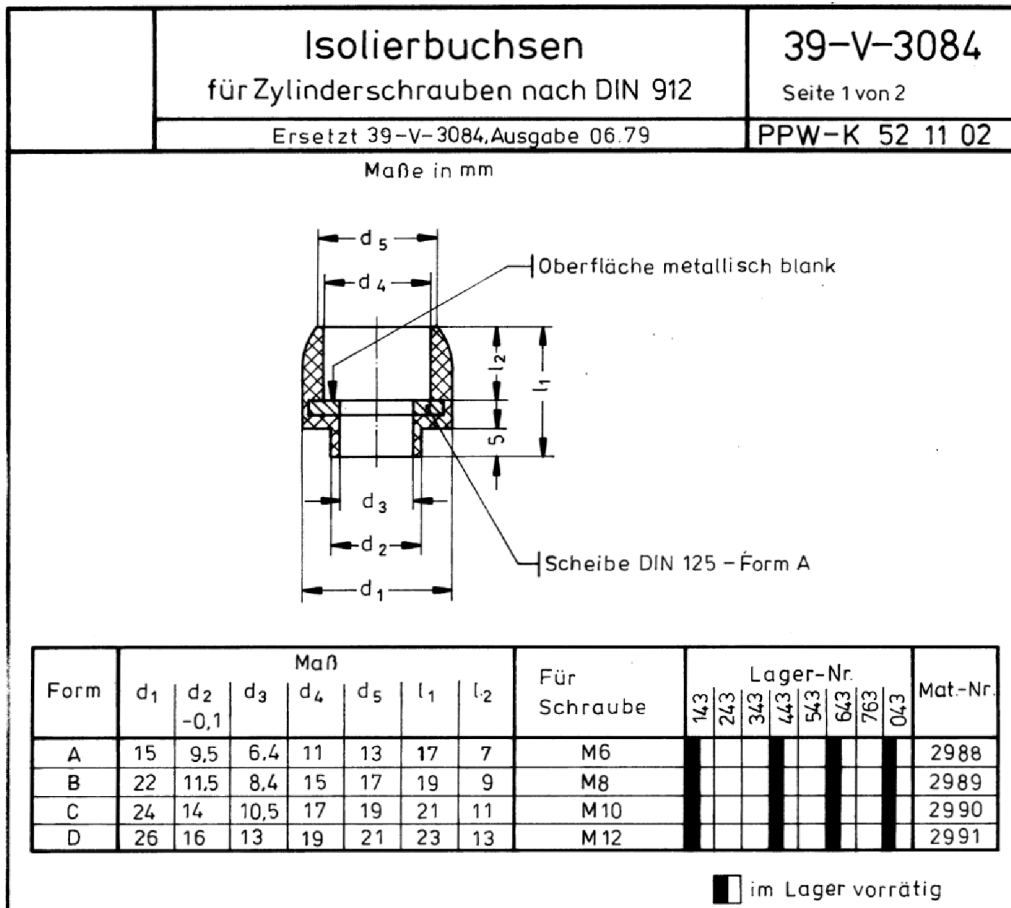
3.5 Ochrana přípravku proti vyjiskřování

Zásadním aspektem konstrukce přípravku bylo zajištění ochrany proti vyjiskřování v kritických oblastech materiálových spojů, jako jsou např. mezery mezi šrouby a dírami ve stole přípravku. Problém zde nastává v momentě, kdy probíhá svařování a vzniklé proudy neputují z nějakého důvodu určenou cestou (zemnicím kabelem) pryč od přípravku. V této situaci dochází nejen k potenciálnímu zvýšení nebezpečí pro obsluhu, ale hlavně ke vzniku rizika přeskočení elektrického oblouku ve výše zmíněných kritických oblastech. V případě tohoto defektu dochází na površích přípravku a spojovacího materiálu k vyjiskřování, tedy vypalování části materiálu podobně, jako je tomu u elektroerozivních obráběcích procesů. Při opakovaném výskytu může tento efekt způsobit nenávratné poškození částí přípravků. Na kontaktní plochy s rámem stano- viště a do upínacích děr stolu přípravku byla proto umístěna izolační pouzdra a děrové vložky z materiálu DOGLAS 180 G (obrázek 18).



Obrázek 18: Izolační vložka a pouzdro pro šroub

U předchozích projektů MPZ MB bylo zaznamenáno, že i přes zaizolování styčných ploch a děr pro šrouby může dojít k tomu, že elektrický oblouk přeskočí oklikou z vrchní strany materiálu na vrchní stranu hlavy šroubu. Jako prevence tohoto efektu byla přidána ještě dodatečná izolační pouzdra pro šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (DIN 912), taktéž z materiálu DOGLAS 180 G od společnosti DOCERAM GmbH. Přestože tato pouzdra nezakrývají (kvůli snazší montáži) hlavy šroubů z vrchu, ukázala se jako dostatečná prevence vyjiskřování a splňují tak firemní normy. [24]



Obrázek 19: Izolační pouzdro pro hlavu šroubu DIN 912

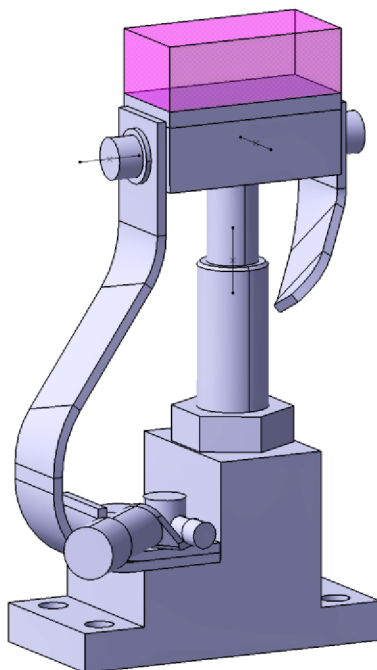
Izolační opatření na obrázcích 18 a 19 byla nainstalována v oblastech, kde je rám přípravku upevněn k otočnému stolu (2.6). Pro jednoduchost byly ke spojení použity pouze dva druhy šroubů DIN 912 – M8 a M12, které spadají do standardních velikostí interních norem 39-C-3084 (obrázek 19). [24]

Materiál DOGLAS 180 G je tlakově nepoddajný duroplast s garantovanou nosností 600 N / mm² při teplotě 20 °C. Plastickým deformacím odolává až do teploty 180 °C, což je v oblastech základny přípravku více než dostatečná hodnota, obzvláště v souvislosti se zvolenou nízkoteplotní technologií svařování (2.5). S ohledem na to, že přípravek nebude výrazně zatěžován ani mechanicky, ani teplotně, je očekávaná životnost izolačních součástí v nižších desítkách servisních cyklů. [24]

Dalším prvkem ochrany nejen před vyjiskřováním je dvojice zemních podpěr neboli kostření (obrázek 20) od externí společnosti EMHART TECHNOLOGIES. Ty jsou umístěna pod obě oblasti svařování (svařovací body – 2.4) a dále slouží i k prevenci přehřívání citlivých součástí vlivem vířivých proudů, lépe odvádí disipační teplo od svaru a působí jako bezpečnostní prvek. To pro případ, kdy by zaměstnanec provádějící servis stanoviště nedopatřením zavadil o stůl nebo jinou okrajovou část přípravku v době, kdy běží svařovací agregát. Konstrukce podpěr je relativně jednoduchá – perforovaný opěrný blok ve vrchní části je opatřen dvojicí pružných pásů z měděné tkaniny, které odvádí proud do podstavce zařízení. Ten je do stolu přípravku upnut bez jakékoliv izolace skrze cíleně masivní upínací blok.

Uvnitř pístu kostření se nachází tlačná pružina (s lineárním silovým průběhem), která dovoluje stlačení až o 24 mm při maximální síle 90 N. Rozsah jejího stlačení je na obrázku 20 vyznačen fialově. Dále opěrný blok ve vrchní části má možnost náklonu 10° na každou stranu podél osy vyobrazeného kolíku. Díky této skutečnosti je možno dosáhnout ideálního dosednutí k nárazníku i po jeho případném posunutí následkem dovření upínek.

Další dvojice byla umístěna do oblasti pod stolem přípravku u obou částí stanoviště se svařovacím robotem. Jsou upevněny ke svařeným podstavcům z konstrukční oceli, které jsou namontovány přímo do země. Díky nim je při konání obou svařovacích kroků vytvořen zemní kanál, který brání tomu, aby proudy tvořené svařovacím agregátem protékaly elektronickým ústrojím karuselu. Ten má na své konstrukci jemně skloněné náběžné hrany, přes které mohou kostření najet do určené (předepnuté) pozice vždy, když rotuje o třetinu otáčky.



Obrázek 20: Kostření pro uzemnění svarů

4 Dokumentace přípravku a stanoviště

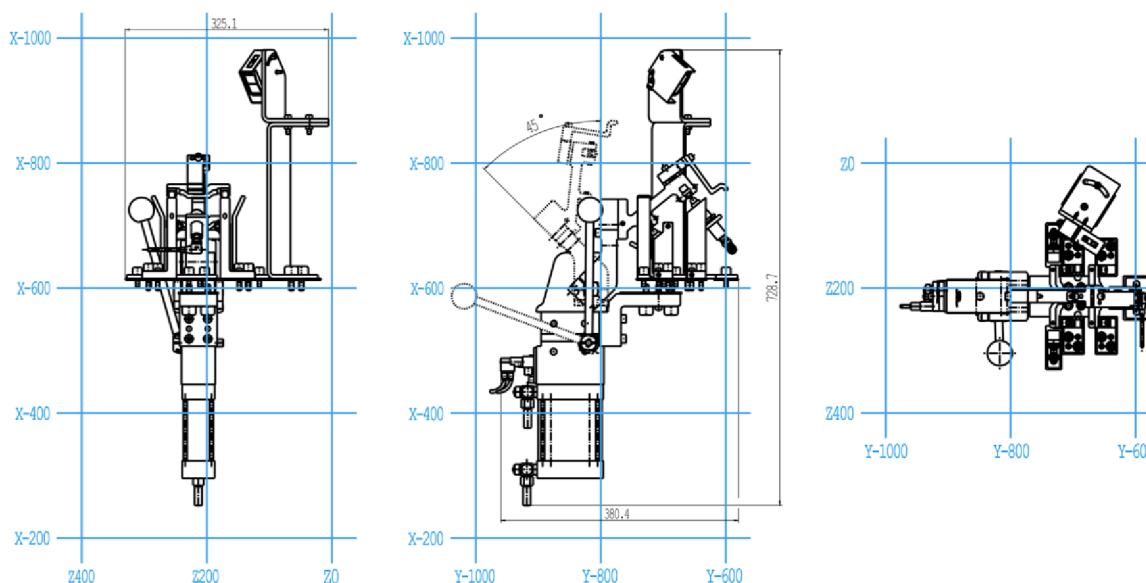
4.1 Výkresová dokumentace

Výkresová dokumentace konstrukčního provedení přípravku (3) pokrývá následující obsah:

- Kompletní sestavy přípravku a otočného stolu se třemi jeho instancemi
- Podsestavy dílčích částí přípravku seskupené podle blízké pozice, a tedy relevance při kompletaci (obrázek 21). Ty často obsahují menší podsestavy druhého a třetího řádu.
- Detailní výkresy součástí vyráběných pod střechou MPZ MB. Tyto díly jsou jak číslováním, tak samotným souborem, ve kterém jsou uloženy, spjaty s jejich příslušujícími sestavami.
- Layout stanoviště vytyčující pozice jednotlivých zařízení na stanovišti (4.2)
- Pneumatický plán s výkresem přípravku a hrubým postupem (4.3)
- Procesní diagram práce přípravku (4.4)

V přílohách, které jsou k práci dodány v elektronické podobě (formou mikro SD karty), se nachází ukázková dokumentace, ve které je každá z výše uvedených kategorií zastoupená alespoň jednou.

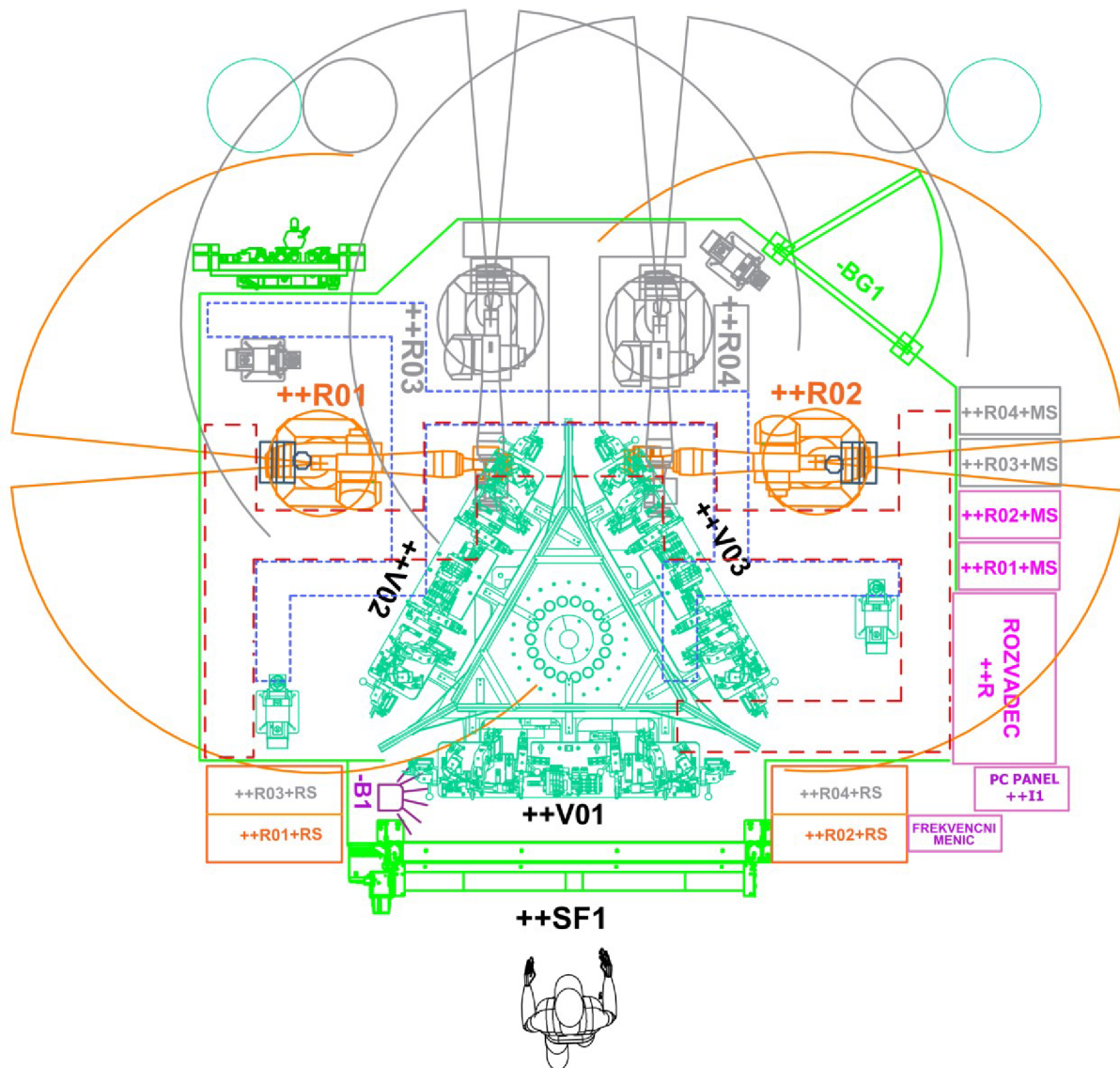
Na příkladu z přiložené dokumentace (obrázek 21) je možno vidět, že větší sestavy přípravku jsou umístěny do koordinačních mřížek proti průmětnám X, Y a Z. Není tomu tak náhodou – podle požadavků zákazníka (vycházejících z jeho interních norem) je nutné, aby byly všechny díly zavazbeny a následně zdokumentovány v závislosti na společný souřadný systém obou vozidel, pro které je určen nárazník typu β . Počátek těchto souřadnic se standardně u všech automobilek nachází ve středu přední nápravy. Všechny souřadnice jsou z tohoto místa určovány zejména proto, že většina vytvořených sestav slouží ke konečné kompletaci vozu včetně šasi, rámu, kabelových svazků a zbytku jeho vybavení. Na takto velkém projektu často pracují desítky firem a je proto nutné zmíněnou konvenci striktně dodržovat.



Obrázek 21: Příklad souřadnic u sestavy upinky a senzoru

4.2 Layout stanoviště

Layout neboli rozvržení (obrázek 22) je jednou ze zásadních součástí dokumentace v manuálu stanoviště (2.3), který je doručován zákazníkovi společně s hotovou zakázkou. Jedná se o půdorysný výkres, který vyobrazuje formou různě barevných vrstev všechna zařízení, bezpečnostní prvky či hadičky pro přívod stlačeného vzduchu. Ze schématu výše lze vyčíst finální pozice prvků, ze kterých mnohé byly již součástí hrubého konceptu stanoviště, ovšem bez přímo definovaného umístění (2.4).



Obrázek 22: Layout stanoviště

Tmavě zelený náčrt uprostřed stanoviště představuje otočný stůl s trojicí přípravků (++V01, 02 a 03). Dva menší stejnobarevné celky po levé a pravé straně jsou vodní čističky elektrod. Zvolená barva vrstvy zde ukazuje pozice, mezi kterými se pohybují robotické paže.

Dvojice oranžově vyobrazených robotů KUKA KR 16 R2010-2 (R01, 02) je barevně spárována s robotickými skříněmi po stranách vstupních vrat (R0x+RS). Mezikruží se středy v podstavách obou zařízení představují jejich maximální pracovní prostor.

Světle zelený perimetr zahrnuje několik aktivních i pasivních částí. Přimo ve vstupu se nacházejí rolovací vrata EFAFLEX, která neprůhledně zavírají pracovní prostor obsluhy pokaždé, když probíhá svařování. V levém horním rohu lze dále vidět stanici HIP, která slouží k filtraci médií potřebných pro provoz přípravků a čističek elektrod, tedy vody a tlakového vzduchu. V pravém horním rohu se pak nacházejí zadní vrata (-BG1), která slouží primárně k servisním účelům. Samotná zelená linie kolem pracovní části stanoviště představuje oplocení panely s výplní z materiálu MAKROLON Welding Shield (červená 333), který chrání zrak obsluhy při zachování možnosti vizuální kontroly vnitřku pracoviště (2.4). Desky ze stejného materiálu tvoří i trojúhelníkovou formaci mezi přípravky na karuselu.

Trojice růžových obdélníků v pravém dolním rohu nákresu představuje elektronická zařízení, ke kterým má přistupovat pouze servisní technik. Jedná se o dva svařovací agregáty FRONIUS TPS 400i LSC ADV (R0x+MS), které dodávají přídavný materiál z cívek do kontaktních špiček elektrod a o velký rozvaděč (R) pro celé stanoviště.

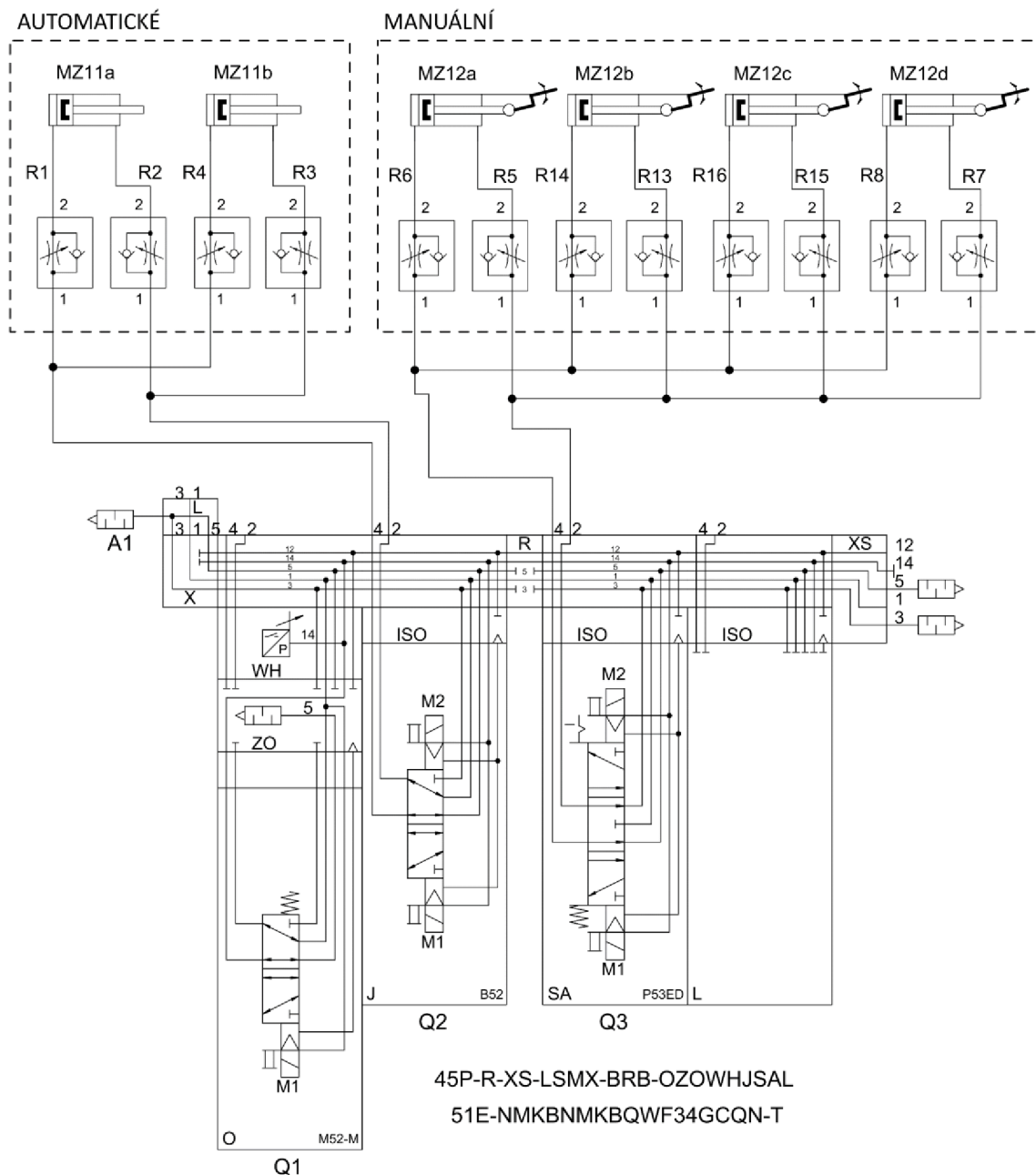
Dva fialové obdélníky, taktéž v pravém dolním rohu, znázorňují elektronická zařízení, se kterými má obsluha malou, nebo výraznější možnost manipulovat. Na PC panelu PLC (I1) je pracovník upozorňován na současný stav chodu zařízení, na chyby při upnutí nebo na povolení vstoupit do prostoru přípravku (vrata se otevírají). Vedle PLC je umístěn i frekvenční měnič sloužící k regulaci rychlosti otáčení karuselu. Pod značkou „-B1“ vlevo za vraty se nachází skener SICK S30A-6011BA, který sleduje rovinu v úrovni lýtek obsluhy pro případ, že by se nacházela v pracovním v době, kdy nemá.

Přerušované čáry na podlaze značí vytyčené kanály pro vedení elektrického proudu (červená) a tlakového vzduchu s vodou pro čištění elektrod (modrá).

Na obrázku si je možné povšimnout ještě dalších robotů, robotických skříní, agregátů či čistících stanic pro elektrody, všech v šedé barvě. Tato zařízení jsou předmětem návrhu rozšíření stanoviště, kde by pro urychlení práce každou ze dvou svařovacích operací v jednotlivých fázích pracovního postupu (2.6) vykonávala samostatná paže.

4.3 Pneumatický plán

Pneumatický plán je speciální typ výkresu, který schematicky vyznačuje akční členy a kontrolní jednotky poháněné stlačeným vzduchem. Pozornost je zde kladena na fungování a logické propojení všech součástí, nikoliv na jejich vzhled nebo specifitější technické vlastnosti. V případě přípravku výkres dokumentuje funkci ventilového terminálu VTSA-F-FB (3.4) a šesti připojených pneumatických upínek – dvou manuálních a čtyř automatických (3.2). Na obrázku 23 je možno vidět, že všechny upínky mají shodné dvojčinné válce s jednosměrnými škrťacími ventily pro regulované zpomalení chodu. Rozdílem u těch manuálních je pouze přítomnost elementu páky a přidaná obousměrně průchozí poloha ventilu SA, která dovoluje ovládání pákou (popsáno níže).



Obrázek 23: Pneumatický plán

Schéma ventilového terminálu VTSA-F-FB ve spodní části obrázku výše je převzato z konfigurační dokumentace od společnosti FESTO [23]. V pravém dolním rohu lze vidět objednací kódy, které definují tuto konkrétní sestavu. Jak je možno vidět, všechny tři ventily jsou ovládány elektropneumatikou a mají dále i možnost ovládní tlačítka pro servis a další mimořádné situace.

V levé části se nachází napájecí deska X, která slouží zejména k přívodu tlakového vzduchu do kanálu 1 a jako společný výfuk pro porty 3 a 5.

V sekci Q1 je umístěn dvupolohový (5/2) monostabilní ventil O s mezideskou ZO, který slouží ke spínání řídicího tlaku v kanálu 14. Tato část mimo jiné obsahuje i elektronický tlakový spínač WH (tlakem aktivovaný zdroj elektrického signálu). Jak již bylo zmíněno, všechny tři ventily jsou ovládány elektropneumatikou, potřebují tedy nejen jmenovitý ovládací tlak, ale i přichodí elektrický proud, který odemyká řídicímu vzduchu přístup do vždy jednoho z jejich válců. Tato metoda umožňuje na přepínání poloh použít velice nízké proudy (do 20 mA) a zbytečně tak nezvětšovat odběr elektřiny, jako při použití velkých solenoidů. Dále s tímto přístupem stačí pro ovládní pouze jeden kanál 14 a ne standardní dva (12 a 14). Spínač WH dodává do PLC kontrolní analogový signál jako upozornění na přítomnost tlaku na portu 14, který je ventilem O přiváděn pouze v případě potřeby a šetří tak spotřebovaný vzduch.

Sekce Q2 obsahuje dvupolohový (5/2) bistabilní ventil J s odvětráním řídicího kanálu 14 (stejně odvětrání se nachází i u členu SA). Ve vrchní (zavřené) poloze drží upínky v otevřeném stavu (dodává tlak do svého kanálu 2). V spodní (otevřeně) pozici silově upevňuje výztuhy nárazníku upínacími nástroji stlačeným vzduchem v kanálu 4.

Deska R zapříčiňuje již zmíněné oddělení kanálů 3 a 5 mezi levou a pravou částí terminálu. Oba kanály slouží na první i druhé straně jako výfuky odchozích větví z válců upínek (vždy do jedné podle zvoleného směru) skrz ventily J a SA. Při odvětrání obou ventilů do shodného kanálu by mohly vznikat statické tlaky a další problémy. Přerušení R proto dává každému vlastní odchozí soustavu s tlumičem hluku. Člen J nikdy nepoužívá kanály 3 a 5 naráz, stačí mu proto jeden společný tlumič po levém okraji uprostřed obrázku. SA má naopak kvůli své prostřední, obousměrně průchozí poloze oddělené výstupy pro kanály 3 i 5.

SA v sekci Q3 je bistabilní 5/3 ventil s aretací pro vrchní dvě polohy a tlačnou návratovou pružinou na třetí. V pružinou destabilizované poloze 1 vede tlakový vzduch kanálem 2, čímž zapříčiňuje otevření všech čtyř manuálních upínek. Po přerušení elektrického signálu do zámku pneumatického ovládní se ventil automaticky vrací do prostřední odvětrané polohy. V aretované prostřední poloze 2 je ventil plně průchozí – kanál 2 je odveden do portu 3, kanál 4 do portu 5. Obsluha v tomto stavu může upínkou volně pohybovat, kvůli škrtícím ventilům ale stejně musí vyvinout určitou sílu k pohnutí pákou. Díky tomuto odporu nemohou manuální upínky volně spadnout a v neaktivním stavu lépe drží zavřené. Při nastavení stabilní pozice 3 dochází k silovému dovření upínek skrze kanál 4.

Dále následuje pneumatické propojení L pro koncovou desku XS a samotná deska. Mimo toho, že se na členu XS nachází dvojice velkých tlumičů hluku, je zde možnost dalšího přívodu vzduchu do kanálu 1, či spínání řídicího tlaku.

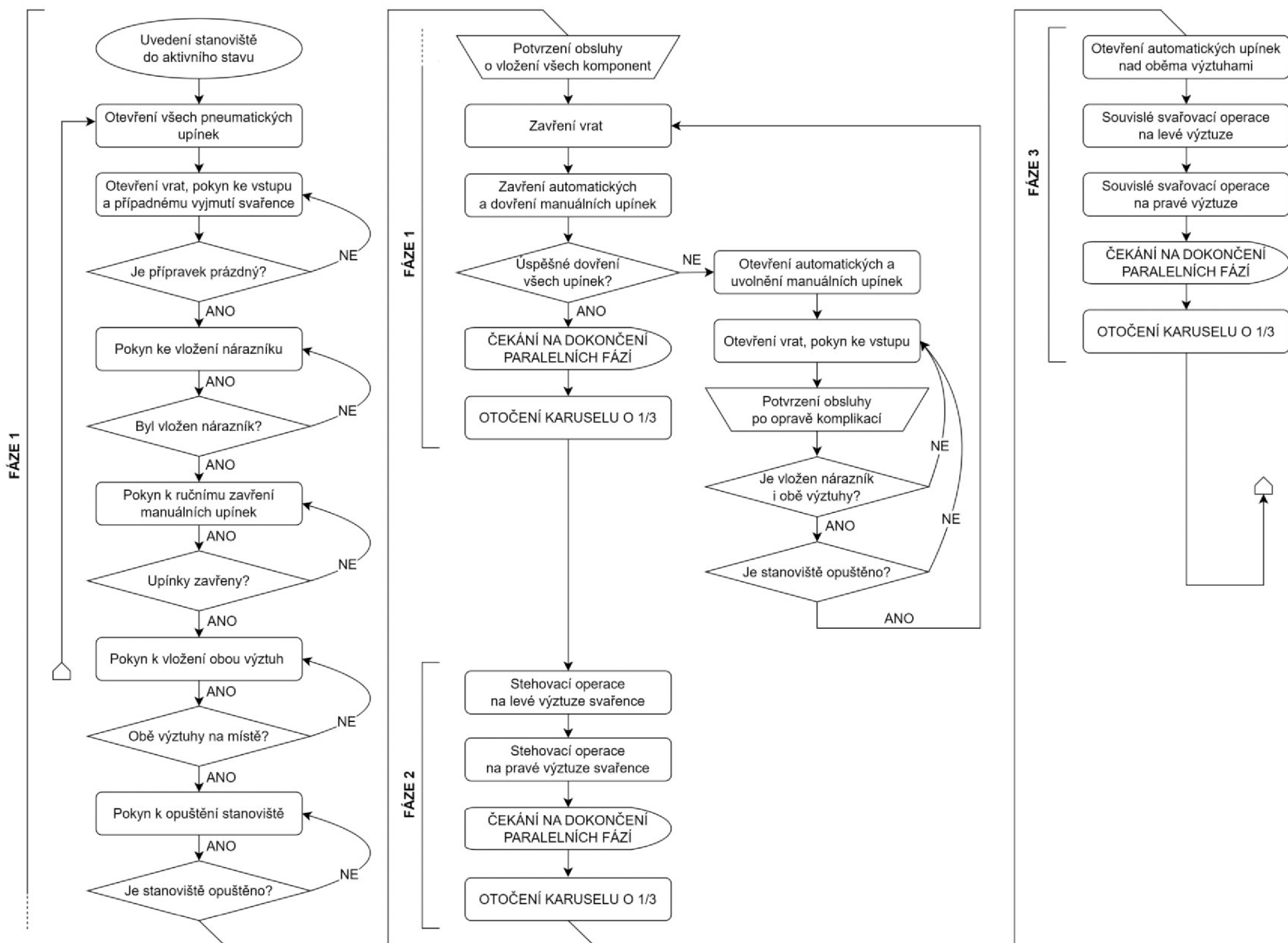
4.4 Diagram postupu práce přípravku

V příloženém výkresu pneumatického plánu (příloha C1) je umístěn následující stručný popis operací na přípravku, který odkazuje na označení jednotlivých senzorů a akčních členů (Spanner je německý název pro upínky):

- 1) Dělník založí hlavní díl
- 2) Snímače BT12/1, BT12/2 zaznamenají přítomnost dílu
- 3) Dělník zavře ruční upínky MZ12a, MZ12b, MZ12c, MZ12d
- 4) Dělník založí malý díl
- 5) Optické čidlo BT11/1, BT11/2 zaznamená přítomnost dílu
- 6) Spanner MZ11a, MZ11b se zavírá a upíná díl
- 7) Robot začíná svařovat
- 8) Spanner MZ12 i MZ11 se během svařování otevírají
- 9) Cyklus se opakuje

Cyklus pracovního postupu stanoviště je detailněji popsán v kapitole 2.6 a může být lépe rozebrán prostřednictvím diagramu na další stránce (obrázek 24). Kvůli vyšší složitosti operací zde byl místo standardního sekvenčního diagramu zvolen formát flowchart (procesní diagram). I tak musely být zejména fáze 2 a 3 zjednodušeny do své hlavní podstaty. Například kontroly pozice výztuh jsou optoelektronicky sledovány po každé operaci, aby bylo možné předejít kolizím kontaktních špiček svařovacího agregátu s výztuhami mimo jejich vytyčená umístění. Stejně tak kontroly dovržení upínek jsou prováděny před každou svařovací operací. Manuální operace obsluhy jsou vyznačeny pouze když je to nezbytně nutné – nejsou uváděny v případech, kdy jejich vykonání vychází z logiky procesu.

Obrázek 24: Procesní diagram chodu stanoviště



Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout prototyp upínacího přípravku pro automatizované svařovací stanoviště u zákazníka firmy MPZ MB. Ve zmíněném podniku byla vypracována celá praktická část projektu. S pomocí přípravku mělo být realizováno navařování výztuh na nárazníky typu β (beta) pro dvojici nových plug-in automobilů, které kvůli přechodu ze spalovací na bateriovou technologii ztěžkly o více jak 200 kg. Bylo tak nutné zvýšit nosnost těchto nárazníků kvůli splnění crash-testových norem. Zásadami pro vypracování bylo navržení funkční konstrukce ve 3D CAD, zvolení odpovídající technologie svařování, vytvoření 2D dokumentace celku i dílčích sestav stanoviště a zhotovit pneumatický plán pro akční členy přípravku s doplňujícím procesním diagramem. Vše muselo být realizováno v souladu s bezpečnostními a ergonomickými normami EU a vnitřními standardy MPZ MB.

Návrh topologie přípravku probíhal v několika opravných iteracích, kde každá z nich byla přednesena vedení a zákazníkovi k posouzení. I výsledný univerzálně přijatý návrh bylo nutné ještě několikrát pozměnit na míru zbytku řešení. Stanoviště bylo nakonec koncipováno jako model s jedním pracovníkem obsluhy, který je zodpovědný za vkládání a vyjímání svařovaných kusů. Zbytek práce měla provádět sada pneumatických akčních členů, bezpečnostních snímačů a celkem dva roboti. Jako svařovací technologie byla po delším posouzení zvolena metoda MIG LSC od společnosti FRONIUS, která je přímo kompatibilní se zvolenou dvojicí robotických paží KUKA. Po vyřešení všech těchto náležitostí bylo možné vytvořit plán práce stanoviště, který se odráží ve vzniklém procesním diagramu.

Dalším krokem bylo na vyhotovený koncept naroubovat skutečná zařízení, součásti a technologie. Jako akční členy byly zvoleny čistě pneumatické upínky od firmy TÜNKERS s integrovanými senzory dovření. Ty bylo možné realizovat jak plně automaticky, tak s možností ovládní pákou – záleželo pouze na odpovídajícím zapojení pneumatických ventilů. Právě korektní volba jednotlivých částí ventilového a elektronického terminálu v ekosystému společnosti FESTO se ukázala jako jedna z největších výzev projektu. Pro elektronické ovládní a sledování senzorů byly vybrány moduly CPX s 5-pin konektory a komunikací PROFINET IO. Jako pneumatické řešení vyšla nejlépe produktová řada VTSA-F-FB s elektropneumatickým přepínáním pozic ventilů. V neposlední řadě pak bylo nutné zařídit odpovídající uzemnění a prevenci vyjiskřování pomocí izolačních vložek a kostřících podpěr. Pro sledování stavu přípravku byly využity indukční a optoelektronické snímače BALUFF.

Na bázi všech výše zmíněných skutečností byla vytvořena výkresová dokumentace, layout (rozložení) stanoviště, pneumatický plán pro terminál VSTA-F-FB + CPX s pneumatickými upínkami a procesní diagram typu flowchart, který popisuje pracovní postup. V době odevzdání této práce byl přípravek se zbytkem stanoviště úspěšně vyroben a již několik měsíců je zapojen do výroby u zákazníka. Všechny body zadání tedy byly splněny, nicméně jako technologie svařování byla zvolena technologie MIG místo původně navrhovaného odporového svařování pomocí klešťových elektrod. Stejně tak byl pro popsání pracovního cyklu místo původně navrženého UML sekvenčního diagramu použit diagram procesní.

Použitá literatura

- [1] MPZ MB S.R.O. online. Osek 113, Sobotka: MPZ MB, 2017. Dostupné z: <https://www.mpzmb.cz/>. [cit. 2023-04-26].
- [2] KAPEK, Antonín; ZDAŘIL, Miroslav a KREJNÝ, Vladimír. *Konstrukce přípravků: Upínací součásti, ústrojí a základní universální přípravky*. Díl 1. 1. vyd. Řada strojírenské literatury. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955.
- [3] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [4] DUŠÁK, Karel. *Obráběcí přípravky*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-260-9.
- [5] TRNOBRANSKÝ, Jiří. *Bezpečnost při práci ve strojírenství: Příručka pro inspektory bezpečnosti práce*. 1. vyd. Knihnice ochrany a bezpečnosti práce. Praha: Pracovně-vydavatelstvo ROH, 1953.
- [6] FASSATI, Tomáš (ed.). *Česká Ergonomie 2015*. Praha: Česká ergonomická společnost, 2015. ISBN 978-80-87400-18-0. Dostupné také z: <https://www.ergonomicka.cz/app/uploads/sbornik-ces-2015.pdf>.
- [7] MAREK, Jakub a SKŘEHOT, Petr. *Základy aplikované ergonomie: Bezpečný podnik*. 1. vyd. Praha: VÚBP, 2009. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [8] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Vyd. 2. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03802-4.
- [9] ERBAN, Václav. *Fyziologie práce a ergonomie*. Vydání 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-767-5.
- [10] ARCELORMITTAL, S.A. online. In: ArcelorMittal Automotive. Dostupné z: https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/PHS/usibor_ductibor. [cit. 2023-12-16].
- [11] BENEŠ, Antonín. *Technologie svařování*. 1. vyd. Učební texty vysokých škol, B 611. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, 1954.
- [12] NĚMEC, Josef. *Svařování elektrickým obloukem*. 2. dopl. vyd. Kurs technických znalostí. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [13] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. online. In: Fronius. 1997. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/Fronius/cmt>. [cit. 2023-10-28].

- [14] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. online. In: Fronius. 1997. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/Fronius/lsc>. [cit. 2023-10-28].
- [15] STRAIT GMBH. online. In: TÜNKERS Maschinenbau GmbH. Dostupné z: https://www.tuenkers.com/d3/d3_product_detail.cfm?productid=p0013011. [cit. 2023-12-11].
- [16] STRAIT GMBH. online. In: STRAIT GMBH. *TÜNKERS Maschinenbau GmbH*. 2010. Dostupné z: https://www.tuenkers.com/publish/binarydata/Aktuelles/2010/November/clamp_frontal_operation_display/v_1_br2_t35.pdf. [cit. 2023-12-22].
- [17] STRAIT GMBH. online. In: STRAIT GMBH. *TÜNKERS Maschinenbau GmbH*. 2020. Dostupné z: <https://tuenkers.com.br/wp-content/uploads/2020/02/v-vu-1-br2-br3-z-bg-lw-09-10-2020.pdf>. [cit. 2023-12-22].
- [18] STRAIT GMBH. online. In: STRAIT GMBH. *TÜNKERS Maschinenbau GmbH*. 2017. Dostupné z: https://www.tuenkers.com/d3/d3_product_detail.cfm?productid=P0000023170. [cit. 2023-12-22].
- [19] BALLUFF CZ S.R.O. online. In: BALLUFF CZ S.R.O. *Baluff*. 2023. Dostupné z: <https://publications.balluff.com/pdfengine/pdf?type=pdb&id=278261&con=cs&ws=approval>. [cit. 2023-12-26].
- [20] BALLUFF CZ S.R.O. online. In: BALLUFF CZ S.R.O. *Baluff*. 2023. Dostupné z: <https://publications.balluff.com/pdfengine/pdf?type=pdb&id=214880&con=cs&ws=approval>. [cit. 2023-12-26].
- [21] FESTO AG & CO. KG. online. In: FESTO AG & CO. KG. *FESTO*. 2023. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/926/D15000100121926.PDF>. [cit. 2023-12-30].
- [22] FESTO AG & CO. KG. online. In: FESTO AG & CO. KG. *FESTO*. 2023. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/242/D15000100123242.PDF>. [cit. 2023-12-30].
- [23] FESTO AG & CO. KG. online. In: FESTO. 2023. Dostupné z: <https://www.festo.com/csid/08619109c5af44f8b6c9205c23b8d1c6>. [cit. 2024-01-04].
- [24] online. In: *MOESCHTER Group GmbH*. 2020. Dostupné z: https://www.moeschter-group.com/fileadmin/content/mediathek/broschueren-und-flyer/doceram/doceram_en/Neu/DC-Schweisstechnik-Katalog_2020_EN.pdf. [cit. 2024-01-06].

Přílohy

K práci jsou formou SD karty přiloženy následující příklady z dokumentace projektu:

A1 – Hlavní sestava

Výkres hlavní sestavy otočného stolu s trojicí upínacích přípravků.

A2 – Sestava upínek

Tato ukázková sestava obsahuje vrchní manuální a prostřední automatické upínky. Nechybí ani příslušná část rámu, upínací nástroje a kostření svařovací oblasti.

B1 – Layout stanoviště

Výkres rozložení stanoviště s rozdělením skupin jeho částí do barevných vrstev.

C1 – Pneumatický plán

Dokument obsahuje výkres přípravku zaměřený na použité senzory a akční členy. Na druhé straně následuje původní pneumatický plán.

D1 – Projektový diagram

Flowchart průběhu operací stanoviště s postupy zjednodušenými natolik, aby se vešel na jednu stranu A3.