

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Svařovací přípravek podélníku skladovací palety

(Zadání)

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v přiloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9.7.2018

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu panu doc. Ing. Vladimíru Andrlíkovi, CSc. a svému konzultantovi panu Ing. Radku Vaverkovi za odborné rady, připomínky a velmi vstřícné jednání v průběhu vytváření mé závěrečné práce. Také bych rád vyjádřil své díky pánům Ing. Karlu Kovandovi, Ph. D., IWE a Ing. Jiřímu Kuželkovi, Ph. D. za odborné rady. Dále chci poděkovat své rodině za umožnění absolvovat studium na vysoké škole a jejich všestrannou podporu v průběhu tohoto studia.

## **Anotace**

Autor:	Matěj Hoffmann
Název BP:	Svařovací přípravek podélníku skladovací palety
Rozsah práce:	63 str., 68 obr., 11 tab.
Akademický rok vyhotovení:	2017/2018
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultant:	Ing. Radek Vaverka
Zadavatel:	Inter Informatics, s.r.o.
Využití:	svařování podélníku skladovací palety, svařovací přípravek
Klíčová slova:	svařovací přípravek, upínací zařízení, dorazové prostředky, polohovadlo, konstrukce
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá konstrukcí svařovacího přípravku pro konkrétní zadaný díl, kterým je podélník skladovací palety.

## Annotation

Author:	Matěj Hoffmann
Title of bachelor dissertation:	Storage pallet: Welding fixture for the longitudinal element
Extent:	63 p., 68 fig., 11 tab.
Academic year:	2017/2018
University:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Radek Vaverka
Submitter of the Theme:	Inter Informatics, s.r.o.
Application:	welding of the longitudinal element of storage pallet, welding fixture
Key words:	welding fixture, clamping devices, stops, positioner, design
Annotation:	Bachelor's thesis deals with welding fixture for specific weldment, which is longitudinal element of storage pallet.

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>7</b>
<b>Přehled použitých veličin a jednotek</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Cíl práce</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Svařovací přípravky</b> .....	<b>13</b>
3.1. Dělení svařovacích přípravků.....	13
3.1.1. Jednouúčelové svařovací přípravky .....	13
3.1.2. Stavebnicové systémy svařovacích přípravků .....	14
3.2. Konstrukce svařovacích přípravků .....	15
<b>4. Upínací zařízení</b> .....	<b>16</b>
4.1. Upínky .....	16
4.2. Svařovací svěrky .....	16
4.3. Svařovací rychloupínky .....	17
4.4. Další upínací zařízení.....	19
<b>5. Dorazové prostředky</b> .....	<b>20</b>
<b>6. Způsoby polohování</b> .....	<b>21</b>
6.1. Otočné stoly.....	21
6.1.1. Otočné stoly s přímým pohonem.....	21
6.1.2. Otočné stoly s nepřímým pohonem.....	22
6.1.3. Otočné stoly s pevným počtem poloh .....	23
6.1.4. Otočné stoly programovatelné .....	23
6.2. Polohovadla.....	23
6.2.1. Kladková polohovadla .....	24
6.2.2. Stolová polohovadla .....	25
6.2.3. Čepová polohovadla.....	26
6.3. Dělení polohovadel podle počtu stanovišť .....	26
6.3.1. Polohovadla s jedním stanovištěm.....	26
6.3.2. Polohovadla s dvěma a více stanovišti .....	27
<b>7. Návrh svařovacího přípravku</b> .....	<b>28</b>
7.1. Zadaný svařenec .....	28
7.2. Možné varianty řešení .....	29
7.2.1. Varianta řešení „obdélníková“ .....	30
7.2.2. Varianta řešení „páteřová“ .....	31
7.2.3. Varianta řešení „kombinovaná“ .....	31
7.3. Výběr varianty .....	32
7.4. Návrh rámu vybrané varianty .....	33
7.4.1. První návrh rámu .....	33
7.4.2. Druhý návrh rámu.....	34
7.4.3. Třetí návrh rámu.....	34



7.4.4.	Čtvrtý návrh rámu .....	36
7.5.	Konstrukce vybrané varianty .....	37
7.5.1.	Upínací uzel pravé opěrné nohy .....	38
7.5.2.	Upínací uzel levé opěrné nohy .....	39
7.5.3.	Upínací uzel příčníků .....	40
7.5.4.	Upínací uzel rozpěry příček .....	40
7.6.	Výběr vhodného polohovadla .....	41
<b>8.</b>	<b>Výpočtová část .....</b>	<b>43</b>
8.1.	Analytický výpočet průhybu .....	43
8.1.1.	Kvadratické momenty průřezu .....	44
8.1.2.	Momentové rovnice oblastí .....	46
8.1.3.	Ohybový moment na konci nosníku .....	47
8.1.4.	Průhyb na konci nosníku .....	48
8.1.5.	Porovnání analytického a numerického výpočtu .....	49
8.2.	Výpočet kroutícího momentu .....	50
8.2.1.	Statický kroutící moment .....	50
8.2.2.	Rozběhový kroutící moment .....	50
<b>9.</b>	<b>Technologický postup .....</b>	<b>52</b>
9.1.	Postup zakládání, upínání a vyjímání svařence .....	52
9.2.	Postup svařování .....	53
9.2.1.	První svařovací poloha .....	53
9.2.2.	Druhá svařovací poloha .....	54
9.2.3.	Třetí svařovací poloha .....	54
9.2.4.	Čtvrtá svařovací poloha .....	55
9.2.5.	Pátá svařovací poloha .....	55
9.2.6.	Poloha výměny stanovišť .....	55
9.3.	Časová náročnost výroby .....	56
<b>10.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>58</b>
	<b>Seznamy .....</b>	<b>59</b>
	Seznam použité literatury .....	59
	Seznam obrázků .....	60
	Seznam tabulek .....	62
	Seznam příloh .....	63



## Přehled použitých veličin a jednotek

$A$	[mm]	délka upínacího prostoru polohovadla
$a$	[mm]	délka I oblasti náhradového nosníku
$B$	[mm]	celková zástavbová délka polohovadla
$b$	[mm]	délka II oblasti náhradového nosníku
$c$	[mm]	délka III oblasti náhradového nosníku
$D$	[mm]	kružnice určující manipulační prostor polohovadla
$d$	[mm]	délka IV oblasti náhradového nosníku
$E$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Youngův modul pružnosti v tahu
$e$	[mm]	délka V oblasti náhradového nosníku
$F_1$	[N]	první soustředěná tíha
$F_2$	[N]	druhá soustředěná tíha
$f$	[mm]	délka VI oblasti náhradového nosníku
$g$	[mm]	délka VII oblasti náhradového nosníku
$g_t$	[m/s <sup>2</sup> ]	tíhové zrychlení
$h$	[mm]	délka VIII oblasti náhradového nosníku
$I$	[kg.m <sup>2</sup> ]	moment setrvačnosti přípravku včetně založeného svařence
$i$	[mm]	délka IX oblasti náhradového nosníku
$I_{y1}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu I, VIII a IX oblasti vůči ose $y$
$I_{y2}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu II a VII oblasti vůči ose $y$
$I_{y3}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu III a VI oblasti vůči ose $y$
$I_{y4}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu IV a V oblasti vůči ose $y$
$I_{z1}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu I, VIII a IX oblasti vůči ose $z$
$I_{z2}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu II a VII oblasti vůči ose $z$
$I_{z3}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu III a VI oblasti vůči ose $z$
$I_{z4}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu IV a V oblasti vůči ose $z$
$M$	[N.mm]	ohybový moment na konci náhradového nosníku
$m$	[kg]	hmotnost přípravku včetně založeného svařence
$M_{kr}$	[N.m]	rozběhový krouticí moment
$M_{krD}$	[N.m]	dovolený rozběhový krouticí moment
$M_{ks}$	[N.m]	statický krouticí moment
$M_{ksD}$	[N.m]	dovolený statický krouticí moment
$M_o(x_i)$	[N.mm]	ohybový moment dané oblasti
$m_{om}(x_i)$	[1]	ohybový moment od jednotkového momentu v dané oblasti
$m_{os}(x_i)$	[1]	ohybový moment od jednotkové síly v dané oblasti
$M_{y,z}$	[N.mm]	ohybový moment na konci nosníku v daném směru
$q_1$	[N/mm]	spojité zatížení I oblasti náhradového nosníku
$q_2$	[N/mm]	spojité zatížení II oblasti náhradového nosníku
$q_3$	[N/mm]	spojité zatížení III oblasti náhradového nosníku



$q_4$	[N/mm]	spojité zatížení <i>IV</i> a <i>V</i> oblasti náhradového nosníku
$q_5$	[N/mm]	spojité zatížení <i>VI</i> oblasti náhradového nosníku
$q_6$	[N/mm]	spojité zatížení <i>VII</i> oblasti náhradového nosníku
$q_7$	[N/mm]	spojité zatížení <i>VIII</i> a <i>IX</i> oblasti náhradového nosníku
$r$	[mm]	největší rameno hmotného středu
$t$	[s]	čas zrychlení
$T_{celkem}$	[s]	Celkový čas výroby jednoho svařence
$t_d$	[s]	Čas zakládání dílců do přípravku
$t_o$	[s]	Čas odepnutí jedné upínky
$t_p$	[s]	Čas přesunu mezi jednotlivými svary
$t_{r1}$	[s]	Časová rezerva operace zakládání a vyjímání
$t_{r2}$	[s]	Časová rezerva operace svařování
$T_{svařování}$	[s]	Celkový čas operace svařování
$t_{s1mm}$	[s]	Čas svařování svaru o délce 1 mm
$t_u$	[s]	Čas upnutí jedné upínky
$t_{u10,12}$	[s]	Čas ustavení upínek 10 a 12
$t_v$	[s]	Čas výměny stanovišť
$t_{vs}$	[s]	Čas vyjmutí svařence
$t_{v10,12}$	[s]	Čas vyjmutí upínek 10 a 12
$T_{zak.a.vyj.}$	[s]	Celkový čas operace zakládání a vyjímání
$t_{45^\circ}$	[s]	Čas otočení polohovadla o 45°
$x_{num3}$	[mm]	průhyb ve směru osy $x$ třetí varianty rámu
$x_{num4}$	[mm]	průhyb ve směru osy $x$ čtvrté varianty rámu
$y_{analyt}$	[mm]	analyticky vypočtený průhyb ve směru osy $y$
$y_{num}$	[mm]	numericky zjištěný průhyb ve směru osy $y$
$y_{num1}$	[mm]	průhyb ve směru osy $y$ první varianty rámu
$y_{num2}$	[mm]	průhyb ve směru osy $y$ druhé varianty rámu
$y_{num3}$	[mm]	průhyb ve směru osy $y$ třetí varianty rámu
$y_{num4}$	[mm]	průhyb ve směru osy $y$ čtvrté varianty rámu
$z_{analyt}$	[mm]	analyticky vypočtený průhyb ve směru osy $z$
$z_{num}$	[mm]	numericky zjištěný průhyb ve směru osy $z$
$\varepsilon$	[rad/s <sup>2</sup> ]	úhlové zrychlení
$\varphi_{y,z}$	[1]	natočení na konci nosníku v daném směru
$\omega$	[rad/s]	úhlová rychlost

# 1. Úvod

V současnosti zaujímá svařování velmi významnou roli ve výrobních technologiích. Tato pozice byla výsledkem dlouholetého vývoje nejen svařování samotného, ale i dalších oborů. Hlavně automatizační a řídicí technika prošla velmi přínosným vývojem. V minulosti byly hlavními výrobními technologiemi obrábění a tváření, se svařováním nebylo tolik počítáno, neboť některé operace prováděné s jeho pomocí byly časově náročné a těžce automatizovatelné. Také lidská práce kvalifikovaného svářeče je velmi nákladná a v mnoha případech časově neefektivní. Navíc v automatizované výrobě je potřeba méně odborně vzdělaných lidí, kteří jsou obecně v technickém prostředí velmi poptávaní.

S příchodem automatizačních procesů a zařízení, jako jsou nejrůznější manipulátory a roboty, které byly doprovázeny i lepšími a přesnějšími řídicími systémy, začalo být svařování v některých případech velmi perspektivní alternativou k obrábění a tváření. Tento trend umožnil například vybudovat automatizované svařovací linky. Velmi často jsou k vidění linky začínající automatickým tvářením, pokračující automatickým svařováním, ať už tavným nebo tlakovým, a následující poloautomatickou montáží. Nejlepším příkladem takovýchto linek je pásová výroba osobních automobilů, kde se přidávají i automatizované operace povrchových úprav.

Všechn tento postup by ale nemohl dosáhnout svého maximálního potenciálu, pokud by nebyly k dispozici svařovací přípravky. Ty si kladou za cíl určit a dodržovat přesné rozměry svařenců, umožnit jejich polohování pomocí polohovacích zařízení a pokud je to možné, tak se snažit zaručit svaření všech svarů v rámci jednoho upnutí.

Celý tento proces, jehož součástí jsou právě i svařovací přípravky má v podstatě jen jediný význam. Tím je snaha co nejvíce snížit vedlejší časy ve výrobě, neboť neproduktivní čas znamená další finanční náklad na výrobek. A každý náklad se nutně musí projevit na konečné ceně. To může vést ke špatné konkurenceschopnosti, popřípadě nízkým ziskům a ukončení výroby. Proto je vyvinuta maximální snaha na snížení vedlejších časů nejenom u svařování, ale napříč všemi technologiemi.

## 2. Cíl práce

Tato závěrečná práce se zabývá konstrukcí svařovacího přípravku, který bude určen zadaným výkresem konkrétního svařence. Přípravek musí také splňovat i další požadavky než jen rozměrové parametry dané výkresem. Hlavními požadavky jsou nárok na polohování kolem horizontální osy a provedení všech svarů v rámci jednoho upnutí, tj. jedné operace.

V prvních částech práce bude probána rešerše dané problematiky. Rešerše má být nápomocná v konstrukci přípravku, má ukázat způsoby jak přípravek konstruovat, jaké jsou dostupné možnosti upínacích zařízení, dorazových prostředků a polohování přípravku.

Dále bude následovat vlastní řešení svařovacího přípravku. Bude obsahovat rozbor zadání a úvahy o zvolených postupech, možné varianty řešení, výběr optimální varianty, popis konstrukce rámu včetně numerické analýzy průhybu, popis jednotlivých upínacích uzlů a výběr nejvhodnějšího polohovacího zařízení.

Ve výpočtové části bude analyticky ověřen výsledek numerické průhybové analýzy z vlastního řešení a bude kontrolováno, zda zvolené polohovací zařízení je schopno se svařovacím přípravkem manipulovat.

V části technologického postupu bude nastíněn doporučený postup zakládání, svařování a vyjímání tak, aby byla práce s přípravkem optimální.

V závěru bude shrnut postup práce, bude vyhodnoceno dosažení uvedených cílů a okomentovány celkové výsledky této práce.

## 3. Svařovací přípravky

V dnešní době téměř neexistuje obor, ve kterém se nevyužívá svařování. Svařování dosáhlo velké přízně zvláště proto, že nabízí rychlý, kvalitní a hmotnost šetřící způsob výroby mnoha různých součástí. V posledních několika dekádách se rozmohlo a ovládlo mnoho odvětví hlavně díky pokroku ve svařovacích technologiích, jež umožnily svařovat lehké i těžké kovy, antikorozi a žáruvzdorné oceli a legované materiály. Dnes se již běžně svařují například mosty, jeřáby nebo vysokotlaké kotle, avšak v minulosti šlo o příklady zařízení, které byly velmi pracně nýtovány. I těžké odlitky velkých tvářecích a obráběcích strojů jsou již dávno nahrazovány právě svařovanými rámy, které mají v tomto případě i své nevýhody. Proto existují společnosti, zabývající se repasováním těchto strojů, jejichž odlévání v dnešní době není finančně rentabilní. [1]

Kromě již výše zmíněného by však tento rozvoj nenastal bez zařízení umožňujících dosahovat požadovaných přesností, schopných usnadnit práci svářeče a tím zkrátit vedlejší časy. Všemi těmito vlastnostmi zařízení, které se nazývají svařovací přípravky, nebo přípravky pro svařování, bylo možno zvýšit produktivitu a usnadnit tak zapojení svařování do automatizovaných provozů.

Svařovací přípravky dnes představují nezbytnou součást každého svařovacího pracoviště, slouží pro zakládání a upínání dílců svařence před jeho nastehováním a svařením. Přípravky jsou konstrukčně tvořeny třemi základními prvky, a to pracovními stoly, ustavovacími prvky a upínacími prvky. Konceptně se dělí na jednoúčelové nebo stavebnicové. Jako nosiče svařovacích přípravků jsou používány polohovadla a otočné stoly. [2]

Při jejich konstrukci se musí na rozdíl od přípravků vrtacích, frézovacích nebo ohýbacích počítat se skutečností, že jsou vystavovány teplu, je skrz ně veden svařovací proud, budou muset odolávat rozstříku svarového kovu a v některých případech bude požadováno jejich polohování a otáčení. [1]

Koncepce svařovacích přípravků musí vycházet z jednoduchých prvků a musí umožňovat jejich doplňování a přichycení upínacích zařízení pro upnutí jednotlivých dílců svařence. Důležitým kritériem přípravku je umožnění snadného přístupu svařovací hlavice k místu svaru. [2]

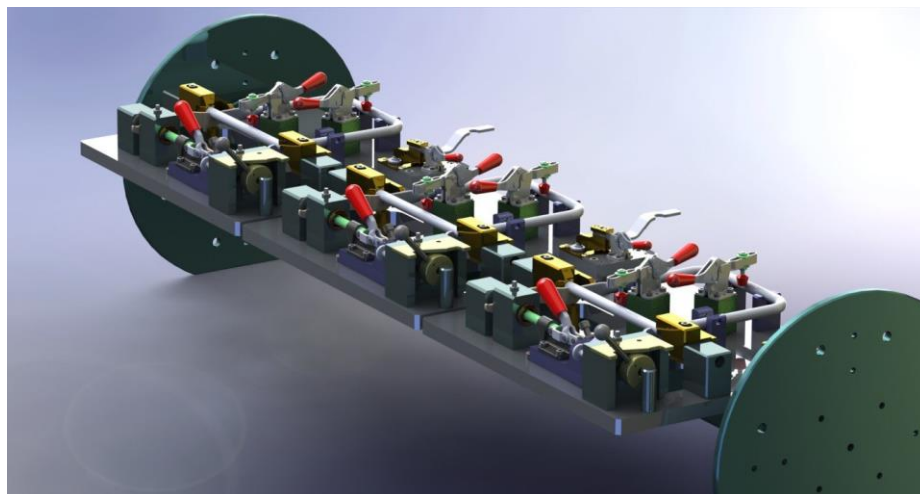
### 3.1. Dělení svařovacích přípravků

Svařovací přípravky se dělí zejména podle jejich využití v rámci výroby kusové, sériové a velkosériové.

#### 3.1.1. Jednoúčelové svařovací přípravky

Při automatickém a robotickém svařování slouží jednoúčelové svařovací přípravky (Obr. 3.1) pro přesné zakládání a upínání dílců svařence, stejně tak jako k jeho snadnému vyjmutí po svařování. Většinou jsou navrženy tak, aby splňovaly specifické podmínky jednoduché montáže určité sestavy a integrování do automatizovaného výrobního systému. To je důvodem jejich vyšší ceny a jejich určení do velkosériové výroby. [3]

Bývají umístovány do polohovadel, která umožňují svařování ve vhodných polohách.



Obr. 3.1 – Jednoúčelový svařovací přípravek [4]

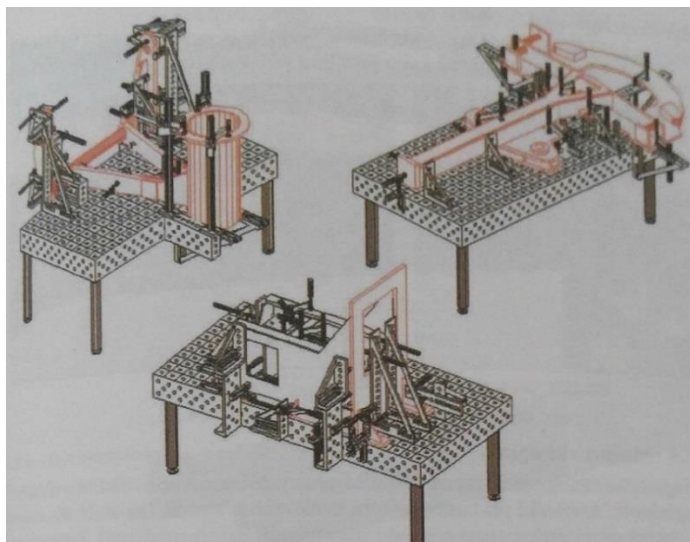
### 3.1.2. Stavebnicové systémy svařovacích přípravků

V dnešní době je kladen vyšší důraz na stavebnicové systémy svařovacích přípravků. Tyto systémy se využívají hlavně v kusové a malosériové výrobě, protože z hlediska dlouhodobého používání nepřinášejí tolik výhod, ale pro krátkodobé užití šetří pořizovací náklady oproti jednoúčelovým přípravkům.

Stavebnicové systémy umožňují zjednodušit průběh technické přípravy výroby. To v praxi znamená, že není třeba navrhovat, rozkreslovat a vyrábět přípravek. Nejsou tak vytvářeny velké nároky na konstrukční práce a výrobní kapacity. Hlavním kritériem použití stavebnicových systémů je znalost jejich možností a aplikování těchto poznatků již během konstrukce. [2]

Zkušební svářeči jsou díky nim schopni rychlejšího sestavení požadovaného přípravku než při použití konvenčních řešení.

Na Obr. 3.2 je několik sestavení stavebnicového svařovacího přípravku pro různé svařence.



Obr. 3.2 - Stavebnicové svařovací přípravky; svařence označeny červenou konturou [3]

Stavebnicové systémy v České republice vyrábí nebo distribuuje několik společností. JC-Metal nabízí svařovací stavebnice od německé společnosti Siegmund.

Další společností je například MAREK Industrial, která nabízí široký sortiment společnosti KIPP jako jsou upínací, dorazové a ovládací prvky.

### 3.2. Konstrukce svařovacích přípravků

Konstrukčních podmínek, které musí přípravek splňovat, je velké množství.

Jednou z těchto podmínek je funkční spolehlivost. Ta spočívá v eliminaci omylů při zakládání, jako je špatná orientace založeného dílu, založení dílu na nesprávné místo a podobně. Současně však musí být konstrukce co nejjednodušší a musí umožnit snadné vyjmutí hotového svařence.

Podmínka přesnosti a opakovatelnosti je založená na výrobních tolerancích svařence i jeho dílců, kdy jsou vyráběny s jistou dovolenou nepřesností. Přípravek musí s těmito nepřesnostmi pracovat tak, aby výsledná tolerance hotového svařence byla v tolerančním poli uvedeném ve výkresu svařence. [3]

Samozřejmostí je umožnit svařovací hlavě přístup k místu svaru. To je zejména důležitou podmínkou při svařování automatizovaném a robotickém, kdy je svařovací hlavice v porovnání se svařováním ručním prostorově rozměrnější.

Další podmínkou je nárok na vyšší tuhost svařovacího přípravku oproti svařenci. A to nejen proto, aby se přípravek výrazně nedeformoval pod tíhou založených dílců svařence, ale hlavně aby byl přípravek schopen zachytit deformační síly a pnutí vytvořené jako vedlejší produkt svařování. [3]

Ve velkosériové výrobě je také velmi důležitým faktorem rychlost upínání a vyjímání, to je především řešeno upínacími zařízeními a dorazovými prostředky.

Mezi další podmínky patří ochrana funkčních ploch od rozstříku svarového kovu, zajištění vedení zemního proudu, garance vodivosti, minimální životnost, nízké náklady na seřízení a servis, popřípadě speciální podmínky jako například zajištění ochrany svaru inertní atmosférou. [3]



## 4. Upínací zařízení

Upínací zařízení mohou nabývat mnoha koncepčních podob. Dříve se používalo šroubových upínek, které jsou univerzálními upínacími zařízeními, ale šroubování je zdoluhavé a pokud by mělo být vykonáváno strojně, pak velmi nákladné, nehledě na časté zanášení a znečištění činných částí šroubů rozstřikem kovu při svařování. [2]

Výrobci upínacích zařízení pro svařování jsou například společnosti JC-Metal, Siegmund, Kipp a Brauer.

### 4.1. Upínky

Upínky (Obr. 4.1) představují klasický upínací mechanismus, jenž je hojně využíván pro upínání obrobků do upínacích stolů nejrůznějších výrobních strojů.

Lze říci, že jsou vhodnou alternativou více sofistikovaných upínacích zařízení, a to v případě, že tyto nejsou k dispozici nebo se jedná o kusovou výrobu. Jejich použití není nejpraktičtější a rozhodně je nejnáročnější na obsluhu ze všech zde zmíněných možností upínání. Jejich upínací síla je vyvozena utáhnutím matice. Podmínkou pro jejich použití je možnost využití upínacího stolu, ale to obvykle v dílenském prostředí nepředstavuje problém.



Obr. 4.1 – Upínky [5]

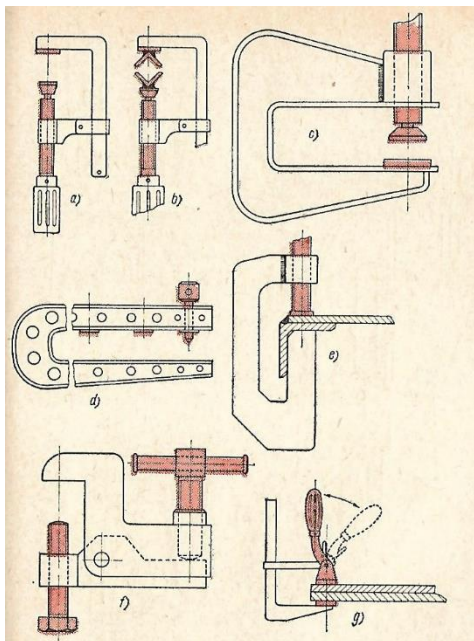
### 4.2. Svařovací svěrky

Svařovací svěrky jsou nejjednodušším svařovacím přípravkem a současně se v mnoha různých podobách používají jako upínací zařízení. Pro svářeče jsou nezbytným pomocníkem při kusové výrobě. Jejich použití se neomezuje jen na svařování, ale můžeme je znát i z truhlářských dílen nebo montážních hal. [1]

V současné době je svařovacích svěrek (Obr. 4.2) nejvíce používáno při kusové výrobě. Jsou ceněny za snadnou přestavitelnost, použitelnost a finanční nenáročnost oproti dalším zařízením, které budou zmíněny.

Svěrky lze použít i ve stavebnicových systémech, kde je jejich použití velmi snadné a rychlé (Obr. 4.3). Jsou výškově a úhlově přestavitelné.





Obr. 4.2 - Svařovací svěrky [1]



Obr. 4.3 - Svařovací svěrky do stavebnicového systému [6]

Svou konstrukcí mohou také sloužit nejen k upnutí, ale rovněž k polohování. Svařovací svěrka úhlová (Obr. 4.4) umožňuje svařovat například profilové rámy. Skládá se jak z upínacího mechanismu (klička na šroubu), tak i z dosedacích ploch.



Obr. 4.4 - Úhlová svěrka [3]

### 4.3. Svařovací rychloupínky

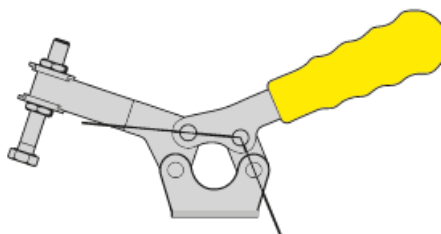
V dnešní době převažují tzv. rychloupínky, jejichž upínací síla je vyvozena kloubovým mechanismem s minimálními nároky na sílu pracovníka, nebo sílu elektrického, pneumatického či hydraulického systému. Hlavní výhodou těchto zařízení je jejich rychlost (ta se promítla i do jejich názvu), která však nijak neovlivňuje jejich přesnost a bezpečnost práce. Často jsou využívány i v jiných odvětvích než ve svařování, například v montáži. Kritériem použití druhu rychloupínek je jejich poloha vůči upínané součásti, na základě jejich polohy se tedy dá volit mezi upínkami vodorovnými, svislými, přímými a hákovými (všechny na Obr. 4.5). Dalším kritériem je

potřebná upínací síla, která určuje konkrétněji upínku na základě katalogových hodnot. V praxi se mohou vyskytovat i jiné než rychloupínací systémy, které mohou být konstruovány pro speciální použití například pro upnutí a polohování trubek. [2]



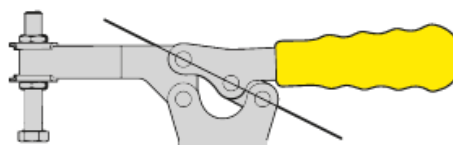
Obr. 4.5 - Rychloupínky (zleva: svislá, vodorovná, přímá a háková) [5]

Jak již bylo zmíněno, rychloupínky využívají kloubového mechanismu. V první fázi své funkce (Obr. 4.6) se upínka nachází v otevřené poloze, to je poloha, kdy nepůsobí upínací silou.



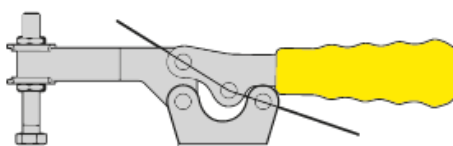
Obr. 4.6 - Upínka v otevřené poloze [7]

Následuje poloha v nulové poloze (Obr. 4.7), touto dobou je již vyvozena upínací síla, ale upínka není dostatečně ochráněna před otevřením.



Obr. 4.7 - Upínka v nulové poloze [7]

V poslední znázorněné poloze se kloubový mechanismus upínky dostává za nulovou polohu do tzv. mrtvého bodu (Obr. 4.8). V tomto okamžiku je kloubový mechanismus samosvorný a není již potřeba pro upínací sílu vyvozovat sílu ovládací. K otevření je potřeba relativně malá ovládací síla opačného směru než při upínání. [7]



Obr. 4.8 - Upínka v mrtvém bodě [7]

Speciálním případem jsou upínky ovládané pneumaticky (Obr. 4.9), tento pohon lze aplikovat na kteroukoli konstrukci upínky.



Obr. 4.9 - Rychloupínka ovládaná pneumaticky [8]

#### 4.4. Další upínací zařízení

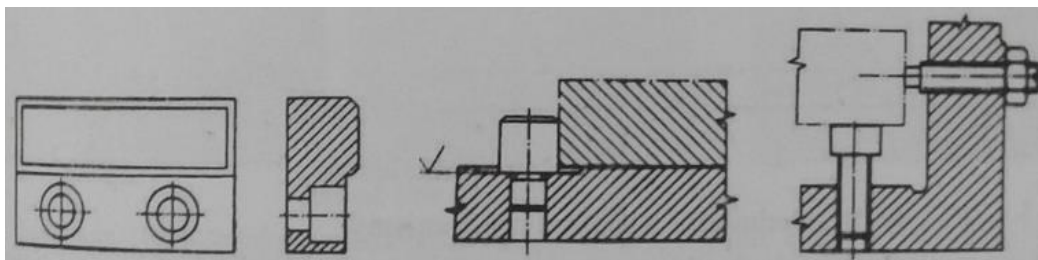
K upnutí ještě můžeme využít magnetických upínek. Jejich silnou stránkou je rychlost upnutí. Pokud je jejich upínací síla vysoká, musí být odepínatelné, popřípadě regulovatelné. [3]

Posledním způsobem upínání jsou excentrické (výstředníkové) mechanismy. Upnutí se docílí otočením páky kolem osy rotace, která má od osy rotačního prvku excentru předem navrženou odchylku. Tato odchylka se nazývá excentricita a je hojně využívána napříč mnoha obory.

## 5. Dorazové prostředky

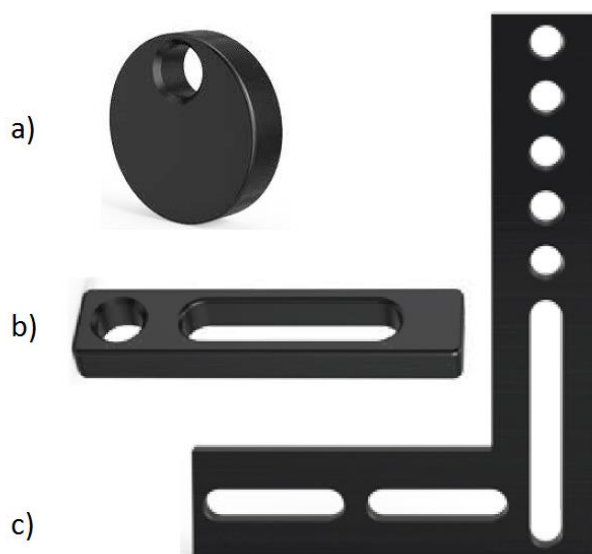
Dorazovými prostředky lze popsat mnoho různých prvků, obvykle se jedná o dosedací plochy. Ty jsou nejčastěji umístěny naproti upínacím zařízením. Tyto plochy mohou být i tvarované, aby dílec správně zapadl a bylo tak co nejvíce eliminováno jeho nesprávné uložení.

Dalšími dorazovými prvky (Obr. 5.1) mohou být zářky, čepové dorazy, nastavitelný šroubový doraz [3]



Obr. 5.1 - Zleva: Zarážka, Čepový doraz, Nastavitelný šroubový doraz [3]

V případě stavebnicových svařovacích systémů se můžeme setkat s jistou modulárností i v této oblasti. Nejčastěji se můžeme setkat s dorazy excentrickými (Obr. 5.2a), univerzálními (Obr. 5.2b) a úhelníky (Obr. 5.2c). Díky určení do stavebnicových systémů mají dlouhé drážky a někdy i více samostatných děr, aby jejich využitelnost v rámci systému byla co největší.



Obr. 5.2 - Dorazy stavebnicových systémů: a) Excentrický doraz, b) Univerzální doraz, c) Dorazový úhelník [6]

## 6. Způsoby polohování

Polohování lze provádět pomocí mnoha k tomu určených zařízení. V této části řešerše bude řešeno polohování pomocí otočných stůlů, které mohou sloužit i pro jiné aplikace, než je svařování a montáž. Dále budou řešeny polohovadla, která jsou primárně vyráběna právě za účelem polohování svařenců, popřípadě větších celků při montáži.

### 6.1. Otočné stoly

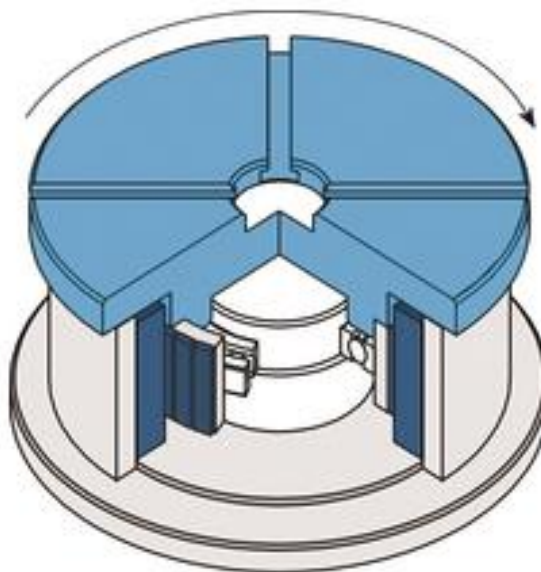
Otočné stoly se používají jako hlavní jednotky pro manipulaci a zakládání konstrukčních dílů, přípravků a obrobků. Jako mnohostranně využitelné stroje s přesným řízením jsou základem mnoha obráběcích strojů a je díky nim umožněno obrábění dílců z mnoha úhlů [9]. Využití nacházejí i v automatizovaných provozech, a to především ve výrobních a montážních halách. Lze je realizovat s pohonem přímým a nepřímým.

Přímý pohon znamená, že otočné stoly mají elektromotor přímo napojen na stůl, tedy bez převodového mechanismu. Nepřímý pohon používá k přenosu výkonu z elektromotoru na stůl převody ozubenými koly nebo vačkové mechanismy.

Další dělení je podle počtu poloh. Počet poloh závisí jak na konstrukčním, tak i řídicím prvku. Nabídku tvoří stoly s pevným počtem poloh, které jsou obvykle dané konstrukcí. Dále stoly plně programovatelné, které mohou teoreticky zaujmout jakoukoli polohu.

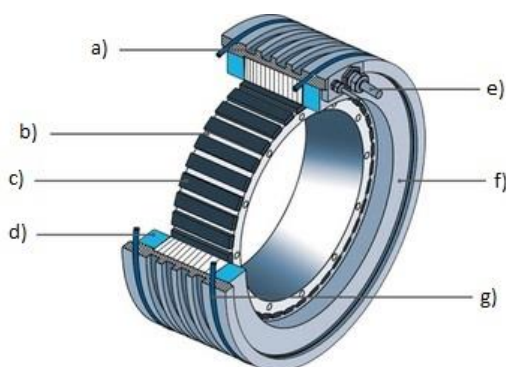
#### 6.1.1. Otočné stoly s přímým pohonem

Přímý pohon se realizuje například momentovými motory (Obr. 6.1). Ty představují speciální typ bezkartáčových synchronních motorů s permanentními magnety. Vzhledem ke způsobu spojení stolu a motoru, při kterém není použito převodového mechanismu, je tento pohon nazýván přímým. Na rozdíl od tradičních pohonů jsou momentové motory dimenzovány čistě jen podle zátěžného momentu. [10]



Obr. 6.1 - Otočný stůl s přímým pohonem [11]

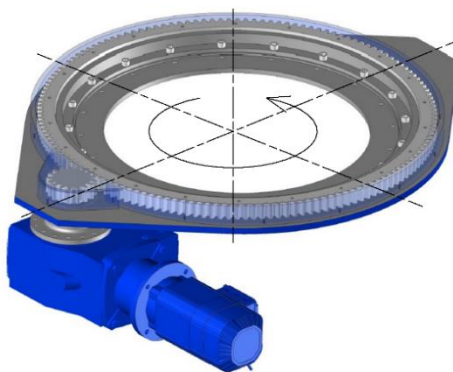
Schéma vnitřního uspořádání pohonu je na Obr. 6.2.



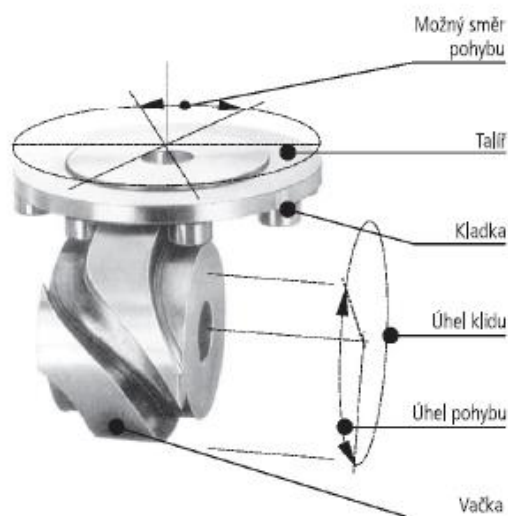
Obr. 6.2 - Schéma vnitřního uspořádání přímého pohonu; a) Chladicí oběh, b) Rotor, c) Permanentní magnety, d) Statorové vinutí, e) Vstup a výstup silových kabelů, f) Rám statoru, g) O-kroužky [10]

### 6.1.2. Otočné stoly s nepřímým pohonem

Jak již bylo zmíněno výše, otočnými stoly s nepřímým pohonem se označují otočné stoly, které mají mezi pohonem a stolem převodový mechanismus. Nejčastěji používanými převody jsou převody ozubenými koly (Obr. 6.3), nebo vačkovým mechanismem. (Obr. 6.4).



Obr. 6.3 - Převod čelním soukolím u otočného stolu [12]

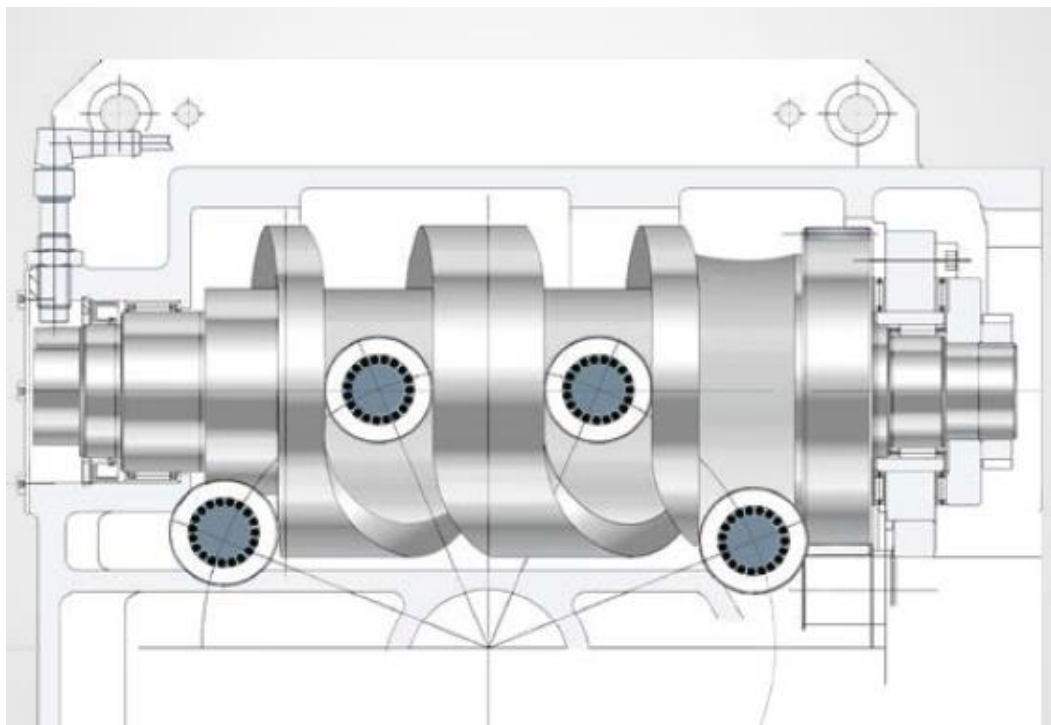


Obr. 6.4 - Převod vačkou s pevným počtem poloh včetně popisu [13]



### 6.1.3. Otočné stoly s pevným počtem poloh

Tyto stoly mají převodové ústrojí konstruováno tak, aby jejich možnosti polohování byly konečné. V rámci kontinuálního otáčení převodového mechanismu zaujímá stůl konkrétní polohy a přechody mezi těmito polohami jsou velmi rychlé. Konstrukce těchto mechanismů je na Obr. 6.4 a Obr. 6.5. [14]



Obr. 6.5 - Jedna z variant vačkového mechanismu otočného stolu s pevným počtem poloh [14]

Stoly s pevným počtem poloh jsou velmi spolehlivým a robustním typem otočných stolů.

### 6.1.4. Otočné stoly programovatelné

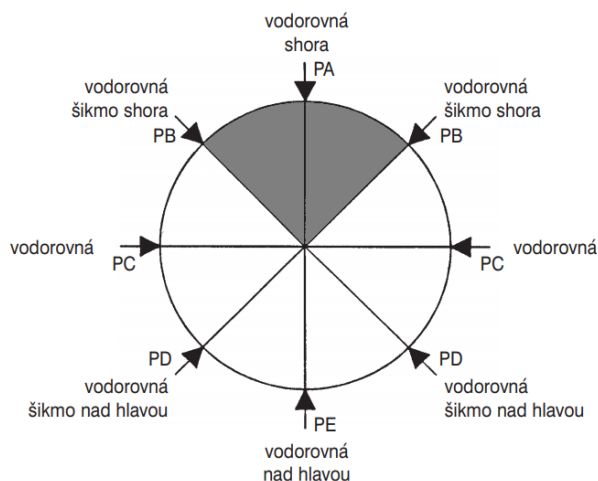
Existují aplikace využívající možnost zastavení otočného stolu v libovolné poloze. V případě vačkových mechanismů je konstrukce již přizpůsobena plynulému otáčení stolu při plynulém otáčení mechanismu. [13]

Používají se prakticky veškeré převodové mechanismy doplněné o řídicí prvky. Řídicím prvkem může být servopohon s frekvenčním měničem.

## 6.2. Polohovadla

Polohovadla umožňují nastavit svařovací přípravek, popřípadě svařenec do základní polohy pro svařování a další výrobní operace. Velmi často je jejich pohyb synchronizován s pohybem automatu nebo robotu. [3]

Základními polohami pro svařování, někdy jsou také nazývány vhodnými polohami, se myslí zpravidla polohy v úhlovém rozsahu 0 až 45 stupňů na každou stranu od svislého svařování. To jsou tedy polohy PA (vodorovná shora) a PB (vodorovná šikmo shora) (Obr. 6.6). V poloze PA se vytváří například tupé a koutové svary. V poloze PB koutové svary. [2]



Obr. 6.6 - Hlavní polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947; šedou barvou je vyznačena oblast PA až PB [15]

Na trhu existuje velké množství polohovadel. Lze je setřídít do několika základních typů, které se vyskytují v mnoha variantách a velikostech. Od malých stolových až po obrovské kladky, které manipulují mnohatunovými tlakovými nádobami. [3]

Konstrukce polohovadel je řešena nejčastěji pevným rámem, na kterém je umístěna pracovní část polohovadla. Ta se sestává z ovládaných rotačních polohovacích os, doplněných posuvovými mechanismy v mnoha vzájemných kombinacích. [2]

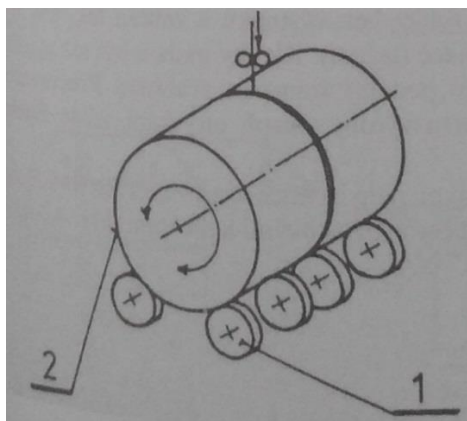
Rotační osy lze ovládat ručně nebo pohonem.

Základními typy jsou polohovadla kladková, čepová a stolová. [3]

### 6.2.1. Kladková polohovadla

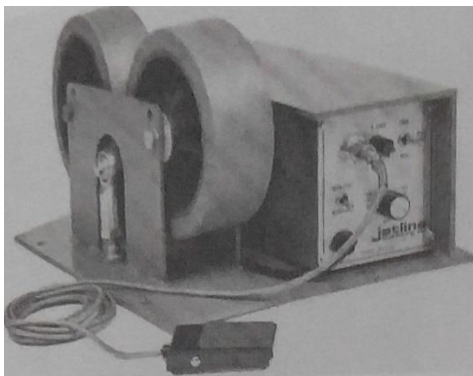
Skládají se minimálně ze dvou dvojic kladek, z nichž je jedna dvojice hnací a druhá je hnaná. Vyjímají se nízkou cenou i nízkými nároky na údržbu. Použití nacházejí při svařování rotačních dílů, které rotují kolem horizontální osy. [3]

Princip funkce polohovadla je na Obr. 6.7 a hnaná kladka na Obr. 6.8.



Obr. 6.7 - Princip funkce kladkového polohovadla; 1 - Kladky, 2 - Svařenec [3]

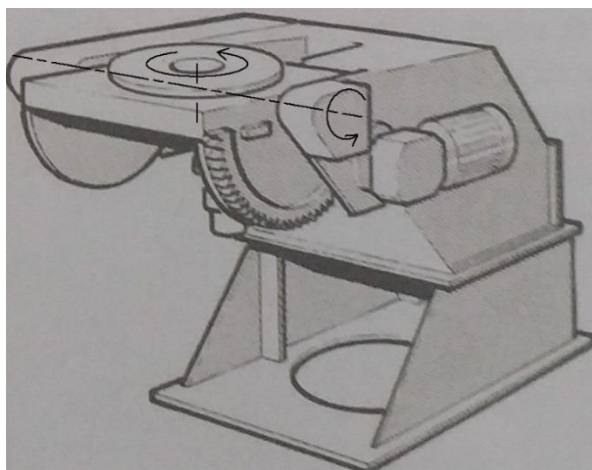




Obr. 6.8 - Hnaná dvojice kladek s ovládacím pedálem [3]

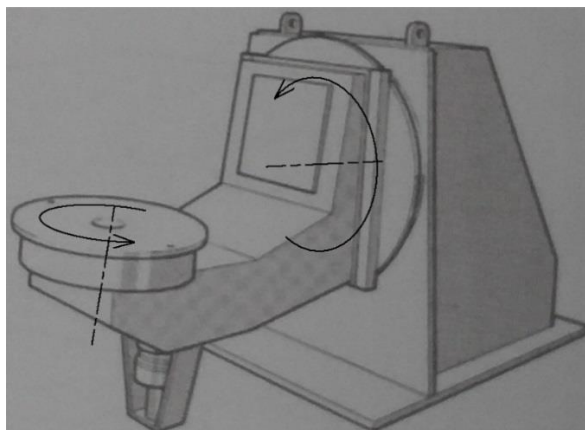
### 6.2.2. Stolová polohovadla

Též někdy sklopně otočná polohovadla (Obr. 6.9), mají dvě až tři ovládané osy. Jedná se o polohovadla univerzální. Je jich možno využít pro svařování manuální, automatické i robotické v základní poloze, jakož i pro další technologie jakými jsou řezání, broušení, čištění a montáž. [3]



Obr. 6.9 - Stolové polohovadlo [3]

Zvláštním druhem stolového polohovadla je polohovadlo kolébkové (Obr. 6.10), kde je otočný stůl upevněn na rameni, které je připojeno do polohovadla čepového. [3]

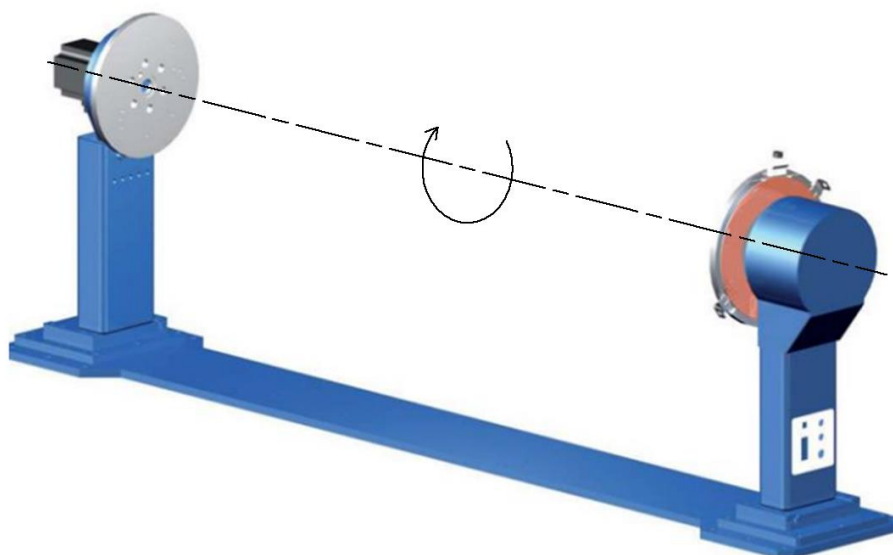


Obr. 6.10 - Kolébkové polohovadlo [3]

### 6.2.3. Čepová polohovadla

Stejně jako polohovadla kladková mají jednu ovládanou osu, přičemž lze ale svařovat i součásti nerotační. Principem fungování se velmi podobají soustruhům.

Čepová polohovadla (Obr. 6.11) mají proti kladkovým polohovadlům i další výhodu. Ta spočívá v jejich rotaci, jež není konstantní, dá se programovat, a právě proto do nich bývají často upínány jednoúčelové svařovací přípravky. [3]



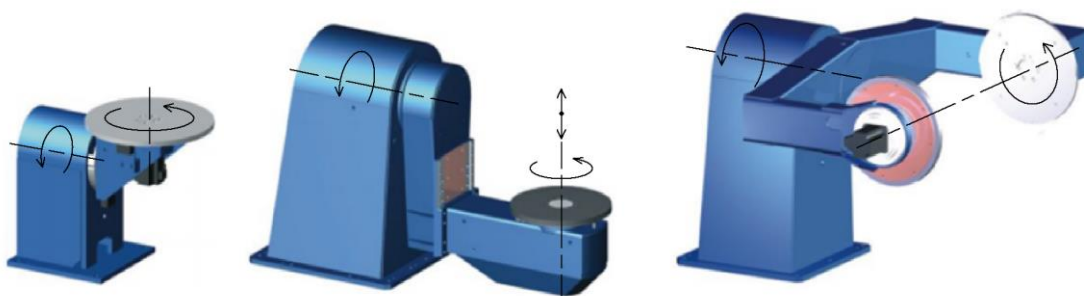
Obr. 6.11 - Čepové polohovadlo [16]

## 6.3. Dělení polohovadel podle počtu stanovišť

K počtu stanovišť se přihlíží zejména při přípravě výroby sériové, kdy je vyšší počet stanovišť jednou z možností vyšší produkce svařenců. Ve výrobě kusové není obvykle využití více jak jednoho stanoviště finančně výhodné.

### 6.3.1. Polohovadla s jedním stanovištěm

Jak již bylo řečeno, své využití nachází zejména při méně náročných požadavcích na produktivitu. Všechny základní typy lze realizovat jako polohovadla s jedním stanovištěm (Obr. 6.12).



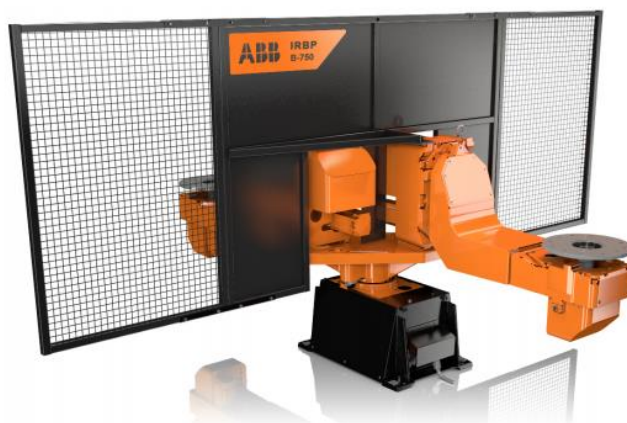
Obr. 6.12 - Polohovadla s jedním stanovištěm [16]

### 6.3.2. Polohovadla s dvěma a více stanovišti

Oproti polohovadlům s jedním stanovištěm jsou polohovadla s dvěma (Obr. 6.13 a 6.14) a více stanovišti produktivnější. Během svařování na jednom stanovišti, které například vykonává robot, lze na stanovišti druhém zakládat dílce do přípravku, popřípadě na třetím stanovišti může simultánně probíhat vyjímání hotového svařence z přípravku. Tato polohovadla jsou vhodná do sériové výroby.



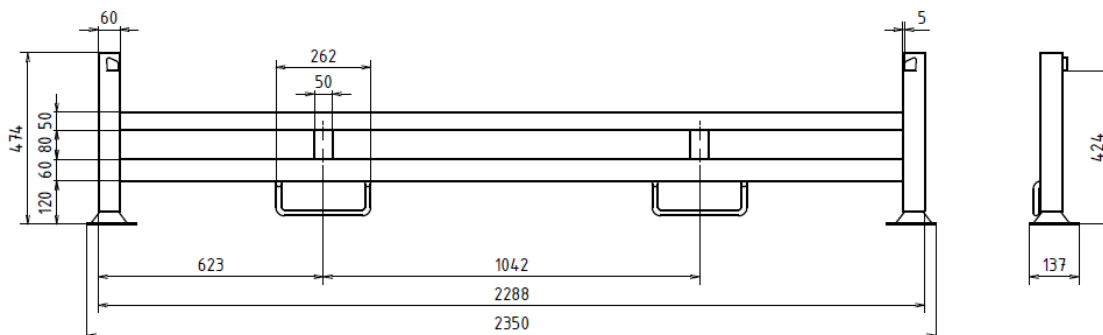
Obr. 6.13 - Čepové polohovadlo s bezpečnostní zástěnou a dvěma stanovišti [17]



Obr. 6.14 - Kolébkové polohovadlo s bezpečnostní zástěnou a dvěma stanovišti [17]

## 7. Návrh svařovacího přípravku

Tato část se zabývá vlastním návrhem svařovacího přípravku. Zadaný svařenec je podélník (Obr. 7.1), jedná se o část skladovací palety pro pneumatiky.



Obr. 7.1 - Svařenec podélníku

### 7.1. Zadaný svařenec

Příloha č.1 obsahuje výkres, který slouží jako část zadání pro tuto práci. V následující tabulce (Tabulka 7.1) jsou shrnuty materiály jednotlivých dílců. Tyto jsou uvedeny i v kusovníku na zadaném výkresu.

Název	Materiál podle EN ISO	Materiál podle ČSN
TR OBD 60x50x3 -2168	S235	11375
Ucho, tyč kruhová D16-455	S235JRG1	11373
Noha 83938	S235	11375
TR OBD 40x50x3 - 2168	S235	11375
TR OBD 50x40x3 - 80	S235	11375
Plech 15 – 39x33	S235	11375

Tabulka 7.1 – Materiály jednotlivých dílců svařence podélníku

Na výkrese zadaného svařence je také uvedena požadovaná rozměrová přesnost, která je ISO 2768 – mK. Stejně tak je specifikována jakost svarových spojů, a to konkrétně stupeň C podle EN ISO 5817. Dále je udána norma svařovaných konstrukcí EN ISO 13 920 AE. Poslední uvedenou normou je výrobová norma DIN 1090-2+A1.

Taktéž jsou ve výkresu uvedeny svary dvou ohýbaných tyčí, které nesou označení Ucho. Tyto svary jsou značeny jako montážní a předpokládá se, že se budou umísťovat podle rozchodu vidlic vysokozdvížného vozíku, popřípadě jiného manipulačního zařízení, které bude požadovat zákazník. To je důvod proč se tyto svary nebudou na přípravku realizovat. Budou provedeny na jiném stanovišti.

Kromě výkresu jsou zadány i některé nutné podmínky, které mají zaručit správnou funkčnost navrhovaného přípravku a jsou to konkrétně tyto:

- Svaření na jedno upnutí
- Polohovatelnost v horizontální ose (umožnění rotačního pohybu kolem horizontální osy)

Další podmínky se již váží k obecnému zajištění funkčnosti svařovacích přípravků a byly zmíněny i v rámci rešerše. Jsou to tyto:

- Eliminace omylu při zakládání
- Přesnost a opakovatelnost
- Přístup k místu svaru svařovacími pomůckami
- Dostatečná tuhost rámu přípravku
- Umožnění vedení zemního proudu

Poslední částí zadání je počet vyráběných kusů ročně, který činí 700 ks/rok.

## 7.2. Možné varianty řešení

Než bylo možné začít se samotným návrhem variant, musely být více specifikovány požadavky, které musí návrhy splnit.

Bylo nutné brát v potaz jak zadání výkresové, tak i zadání písemné. Výkresové zadání udává rozměrovou charakteristiku a technologické požadavky na svařovací přípravek. Tudiž specifikovalo rozmístění opěrných prvků, dosedacích ploch, upínacích zařízení a oblastí, kde bylo nutné dbát na dostatečný prostor pro svařovací pomůcky.

Písemné zadání udává charakteristiku funkční. Z písemného zadání je v podstatě zřejmé, že přípravek bude muset být umístěn v polohovadle, proto budou všechny varianty umožňovat umístění do polohovadla. A dále budou muset respektovat podmínku pro jedno upnutí na celý průběh svařování. Samozřejmostí je i splnění obecných podmínek pro svařovací přípravky.

Závěrečným krokem byl výběr způsobu svařování a to, zda bude svařování prováděno ručně nebo robotem. Počet vyráběných kusů ročně není natolik velký, aby toto rozhodnutí významně ovlivnil. Velký vliv na toto rozhodnutí však mají prostorové možnosti, které svařenec definuje svou konstrukcí. U robotizovaného svařování jsou svařovací pomůcky rozměrnější než u svařování ručního, navíc zkušený svářeč je i v prostorově méně přívětivých podmínkách schopen svary intuitivně napojovat. Proto byly vytypovány kritické oblasti (Obr. 7.2), aby se dalo správně zhodnotit, jak svařování provést.



Obr. 7.2 - Kritická místa; a) 1. kritické místo, b) 2. kritické místo

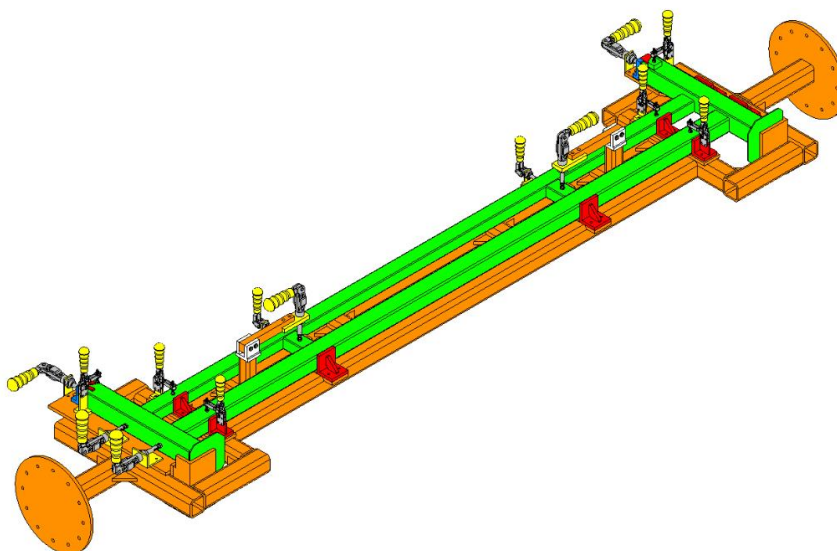
První kritické místo (Obr. 7.2a) by bylo možné vyřešit i svařováním robotickým, bohužel u druhého kritického místa (Obr. 7.2b) je toto řešení velmi komplikované. Pro správné zajištění umístění všech dílců by bylo nutné provést konstrukční změnu samotného svařence, což zadavatelem nebylo dovoleno. Zadavatel proto požadoval svařování ruční i z hlediska konečné ceny.

Teď již bylo možné přejít k samotným návrhům variant řešení. Vzhledem k faktu, že svařenec svou konstrukcí víceméně definuje rozmístění všech dorazových prvků, dosedacích ploch a upínacích zařízení, bylo u všech variant použito prvotních návrhů upínacích uzlů.

Hlavním rozdílem mezi variantami je konstrukce nosného rámu přípravku, který zajišťuje dostatečnou tuhost, přístup ke svarům a prostor pro přivaření dosedacích a konstrukčních ploch.

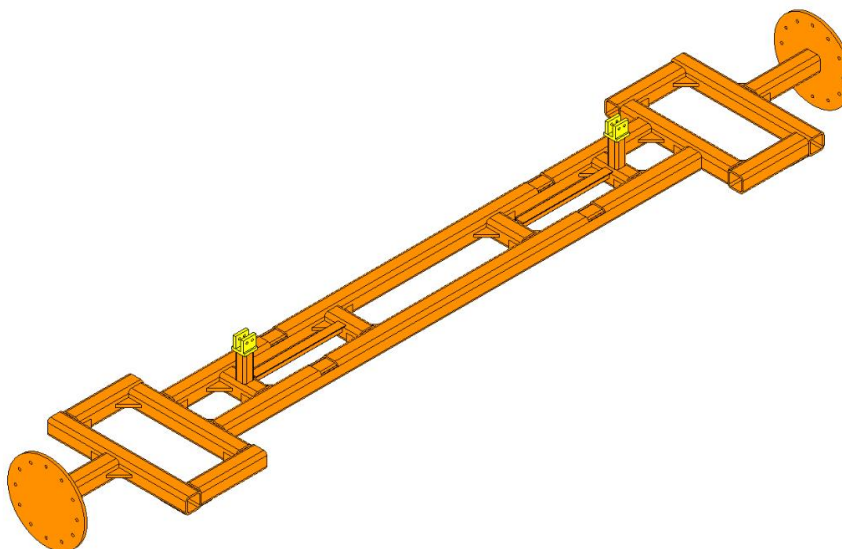
### 7.2.1. Varianta řešení „obdélníková“

Jak již bylo zmíněno, jsou zde použity dočasné (prvotní) návrhy upínacích uzlů, které budou komplexněji řešeny až po výběru nosného rámu. Na Obr. 7.3 je celý předběžný přípravek i se založeným svařencem.



Obr. 7.3 – „Obdélníková“ varianta řešení včetně založeného svařence

U této varianty bylo použito rámu, který využívá pravoúhlých spojení a opticky lze říci, že se skládá ze 3 hlavních obdélníkových prvků (Obr. 7.4).

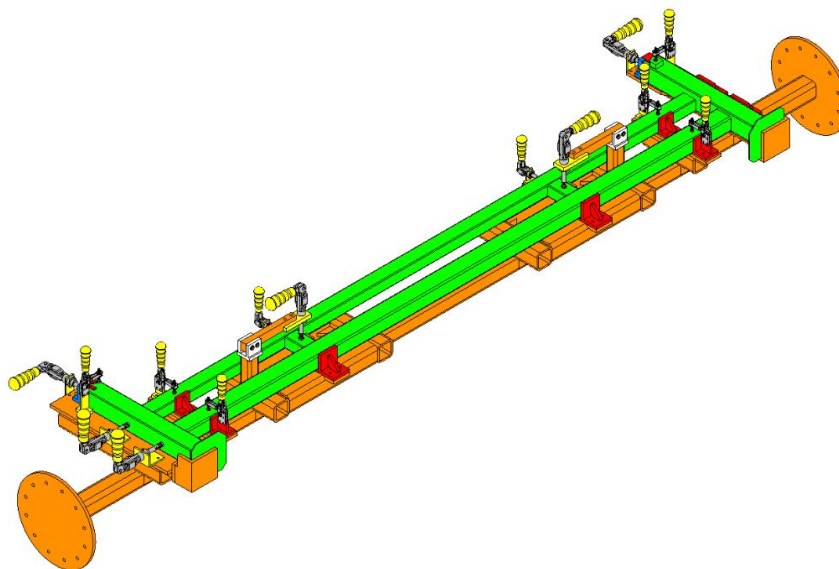


Obr. 7.4 - Rám „obdélníkové“ varianty řešení

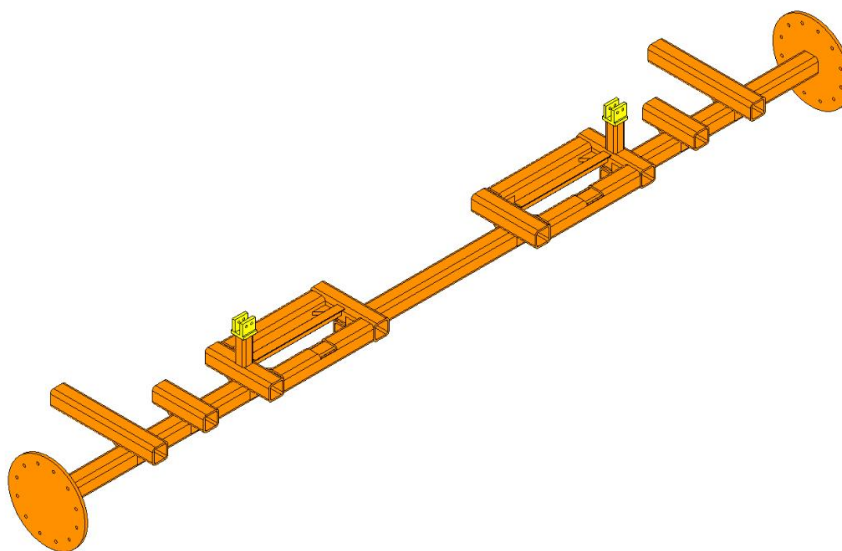


### 7.2.2. Varianta řešení „páteřová“

U druhé varianty (Obr. 7.5) bylo využito rámové uspořádání, které by se dalo popsat jako páteřové, kdy z jednoho (v tomto případě kvůli 2. kritickému místu 2x přerušeno) dominantního a průchozího prvku vyčnívají prvky, na které jsou umísťovány upínací uzly. Samotný rám je na Obr. 7.6.



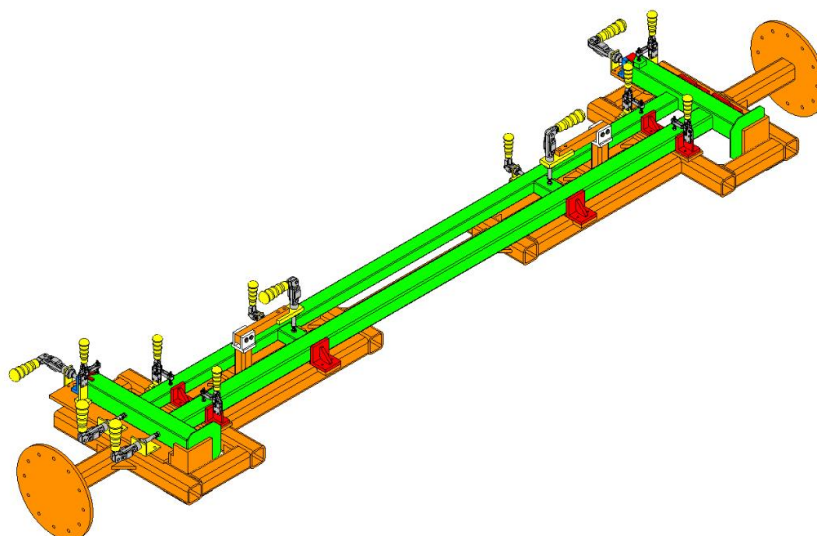
Obr. 7.5 – „Páteřová“ varianta řešení včetně založeného svařence



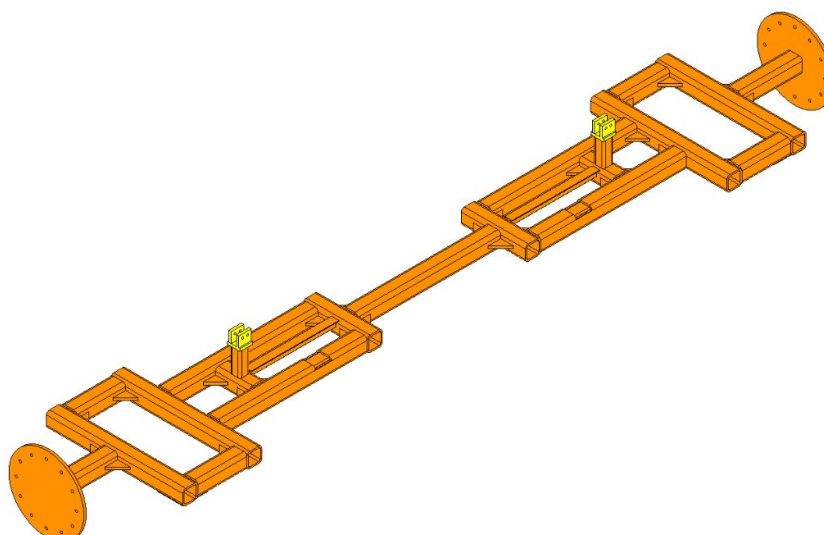
Obr. 7.6 - Rám „páteřové“ varianty řešení

### 7.2.3. Varianta řešení „kombinovaná“

Tento poslední návrh (Obr. 7.7) na řešení konstrukce nosného rámu je kombinací obou předchozích variant. Nejvíce se podobá variantě „obdélníkové“, ale ve středové části konstrukce je použit ten pomyslný průchozí prvek varianty „páteřové“. Samotný rám je na Obr. 7.8.



Obr. 7.7 – „Kombinovaná“ varianta řešení včetně založeného svařence



Obr. 7.8 - Rám „kombinované“ varianty řešení

### 7.3. Výběr varianty

Všechny varianty byly navrhovány tak, aby jejich funkčnost byla zaručena. Výběr varianty byl proto realizován na základě následujících parametrů. Ceny za použitý materiál, hmotnost konstrukce, tuhost konstrukce a náročnosti na výrobu.

Z hlediska ceny za materiál je varianta „páteřová“ nejméně výhodná, materiálu je zde použito nejvíce. Druhou nejméně výhodnou variantou je v tomto aspektu varianta „kombinovaná“. Při zvážení hmotnosti konstrukce je výsledek rozvahy totožný s rozvahou u ceny za materiál. Nejméně výhodná je tedy „páteřová“ varianta a na druhém místě je varianta „kombinovaná“. To je dáno s faktem, že cena materiálu roste s jeho objemem. Nejvyšší předpokládané tuhosti by měla dosahovat varianta „obdélníková“. Druhou nejvíce tuhou variantou je varianta „kombinovaná“. Nejméně náročnou na výrobu je jednoznačně varianta „kombinovaná“, naopak nejméně náročnou je „páteřová“ varianta.



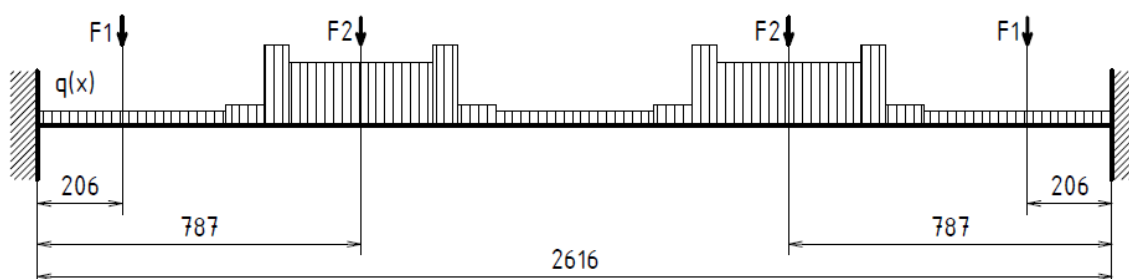
Na základě rozvahy o vhodnosti různých variant vzhledem k daným parametrům, bylo nakonec rozhodnuto o variantě, která bude dále řešena. Touto variantou je varianta „páteřová“, o které se předpokládá, že ze všech variant bude dosahovat nejlepších výsledků v parametrech ceny za materiál, hmotnosti konstrukce a náročnosti na výrobu.

## 7.4. Návrh rámu vybrané varianty

Nosný rám je nejdůležitější prvek pro zaručení tuhosti přípravku, a proto je řešen jako první. Jeho konstrukční uspořádání bylo určeno v závislosti na výsledku rozvahy o daných parametrech. Toto uspořádání musí být ověřeno na průhyb, který v tomto případě bude reprezentovat otázku dostatečné tuhosti. Pro analýzu průhybu byl využit program ABAQUS, který spadá do programů, používajících pro vyhodnocení metodu konečných prvků. Celková síla aplikovaná na rám činí 1437,2 N a odpovídá celkové hmotnosti přípravku včetně založeného svařence, která činí 146,5 kg.

Tíha byla distribuována vlastní hmotností rámových prvků a dvěma silami. Znázornění výpočtového modelu je na Obr. 7.9. Vlastní hmotnosti oblastí se mění s postupnou úpravou konstrukce, proto nejsou číselně specifikovány, jejich číselné vyjádření bude uvedeno při analytickém výpočtu konečné konstrukce v následující kapitole. Síly  $F_1$  a  $F_2$  lze číselně vyjádřit, protože jejich hodnota je známa. Síla  $F_1$  vyjadřuje soustředěnou tíhu upínacích uzlů nohy a příček, včetně tíhy od založených částí svařence, která činí 261 N a nachází se 206 mm od přírub. Síla  $F_2$  je potom vyjádřením tíhy upínacího uzlu rozpěry příček a založených částí svařence, její hodnota je 120,5 N a leží ve vzdálenosti 787 mm od přírub. Obě síly jsou uloženy zrcadlově podle osy symetrie.

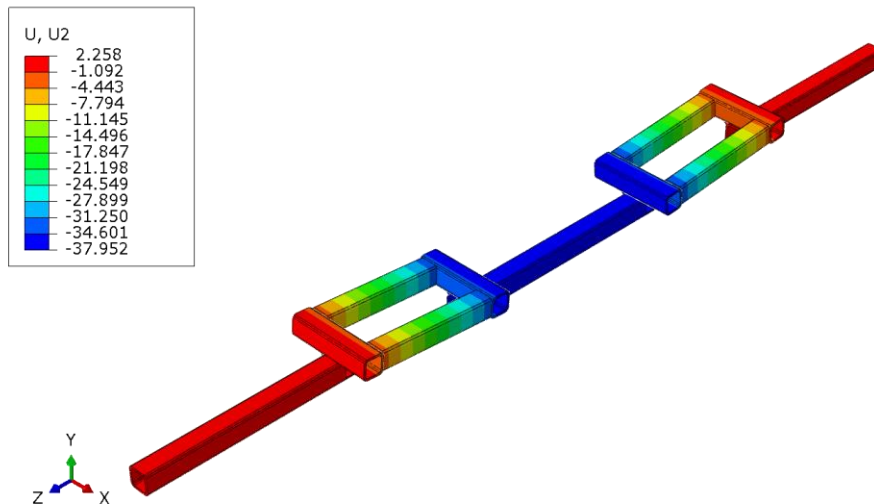
Ideálním cílem analýzy je průhyb maximálně 0,5 mm v obou uvažovaných směrech. Je předpokládána nutnost zasáhnout na základě analýzy do konstrukce nosného rámu. Nosný rám tedy projde postupně těmito zásahy a bude ověřován jeho průhyb. Konstrukční zásahy a analýza bude ukončena až po dosažení stanoveného cíle.



Obr. 7.9 - Schéma výpočtového modelu pro numerickou analýzu průběhu

### 7.4.1. První návrh rámu

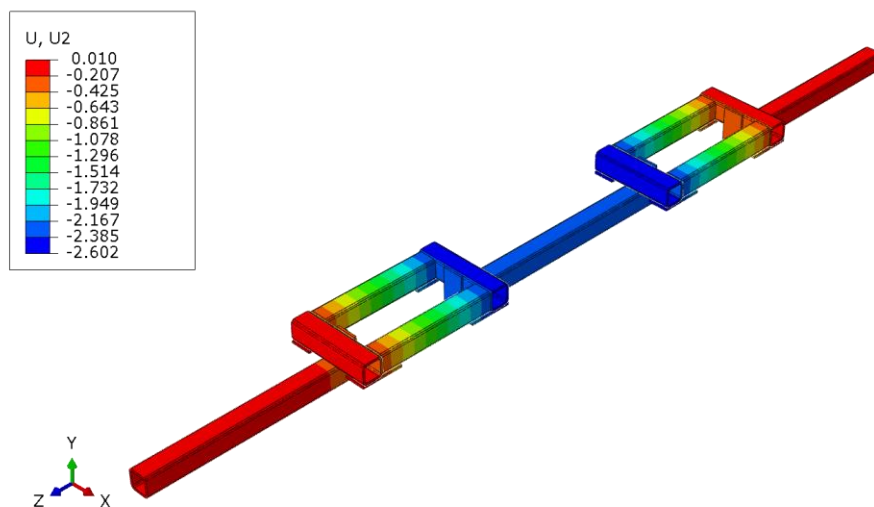
Prvním krokem byla analýza prvotního návrhu rámu ve stavu, v jakém byl při vstupu do porovnání variant. Po vyhodnocení průhybu ve směru osy  $y$  (Obr. 7.10) byl výsledek analýzy  $|y_{num1}| = 37,952 \text{ mm}$  velmi vysoký, proto musí následovat konstrukční zásahy.



Obr. 7.10 - První návrh rámu; průhyb ve směru osy  $y$  při plném zatížení; legenda v mm

### 7.4.2. Druhý návrh rámu

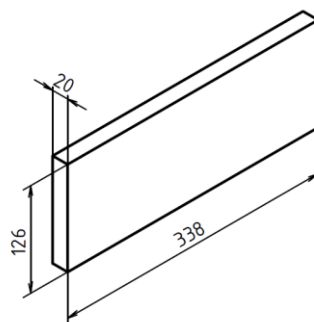
V tomto návrhu byla přehodnocena jednotlivá napojení svařovaných profilů rámu. Původní žebra byla odebrána a nahrazena deskami. To způsobilo zmenšení průhybu, který však stále dosahoval ve směru osy  $y$  příliš velkých hodnot, konkrétně  $|y_{num2}| = 2,602 \text{ mm}$  (Obr. 7.11). Hlavní změna průhybu, na obrázku jako rychlý sled změny barev, nastala v okolí 2. kritické oblasti.



Obr. 7.11 - Druhý návrh rámu; průhyb ve směru osy  $y$  při plném zatížení; legenda v mm

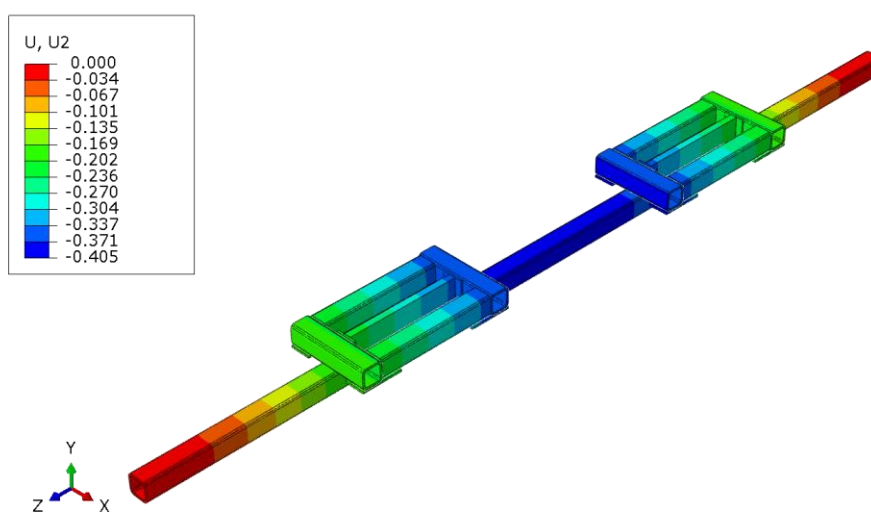
### 7.4.3. Třetí návrh rámu

Následoval tedy konstrukční zásah do oblastí, kde se 2. kritické místo nachází (Obr. 7.2b, kapitola 7.2). Pro zvýšení odolnosti proti ohybu byla aplikována myšlenka zvýšení kvadratického momentu příčného průřezu přidáním výztuhy (Obr. 7.12).



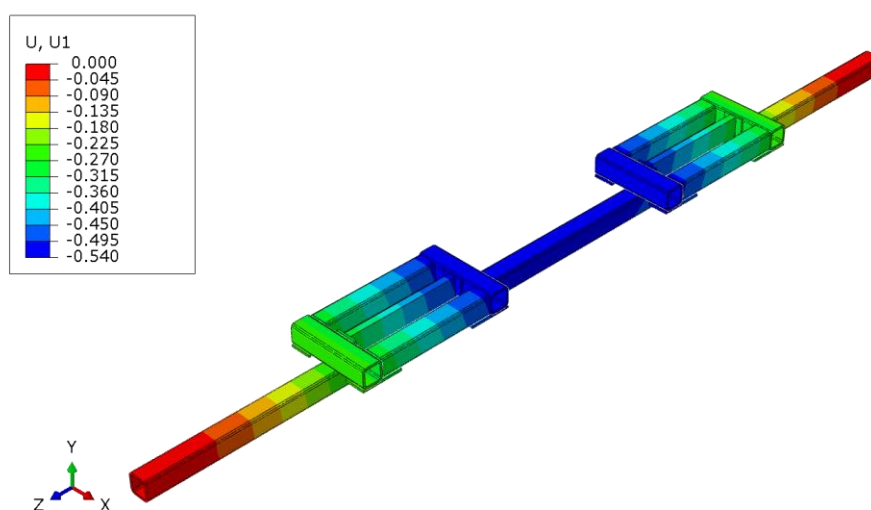
Obr. 7.12 - Výztuha přidaná ve třetím návrhu do prostoru 2. kritického místa

Tato výztuha zajistila, že průhyb ve směru osy  $y$  byl  $|y_{num3}| = 0,405 \text{ mm}$ . To je již hodnota, která je dostačující pro aplikaci ve svařovacím přípravku (Obr. 7.13).



Obr. 7.13 - Třetí návrh rámu; průhyb ve směru osy  $y$  při plném zatížení; legenda v mm

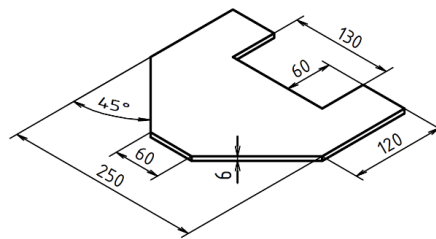
Následovala analýza ve směru osy  $x$  (Obr. 7.14). Zde se výsledná hodnota  $|x_{num3}| = 0,540 \text{ mm}$  začala ideálnímu požadavku blížit. Pro dosažení ideálních vlastností však musí následovat ještě jeden konstrukční zásah.



Obr. 7.14 - Třetí návrh rámu; průhyb ve směru osy  $x$  při plném zatížení; legenda v mm

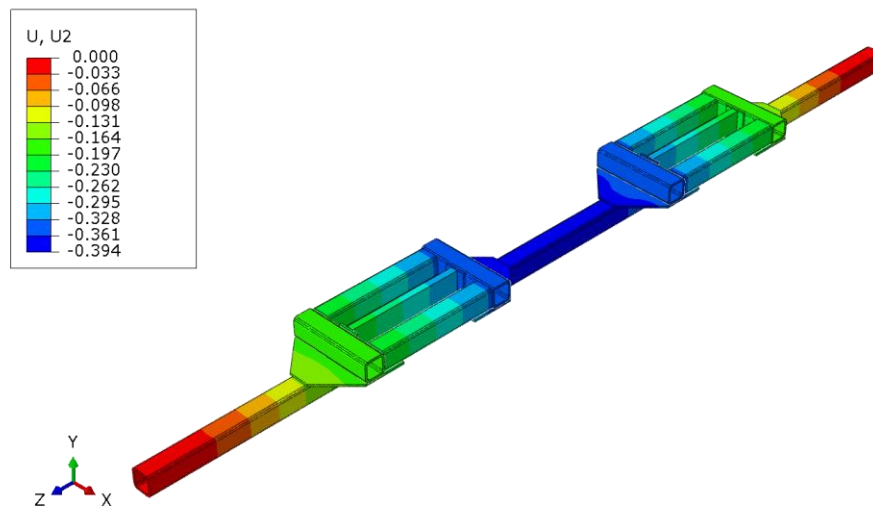
#### 7.4.4. Čtvrtý návrh rámu

Nakonec byla přidána deska (Obr. 7.15), která zajistí zmenšení průhybu ve směru osy  $x$ .



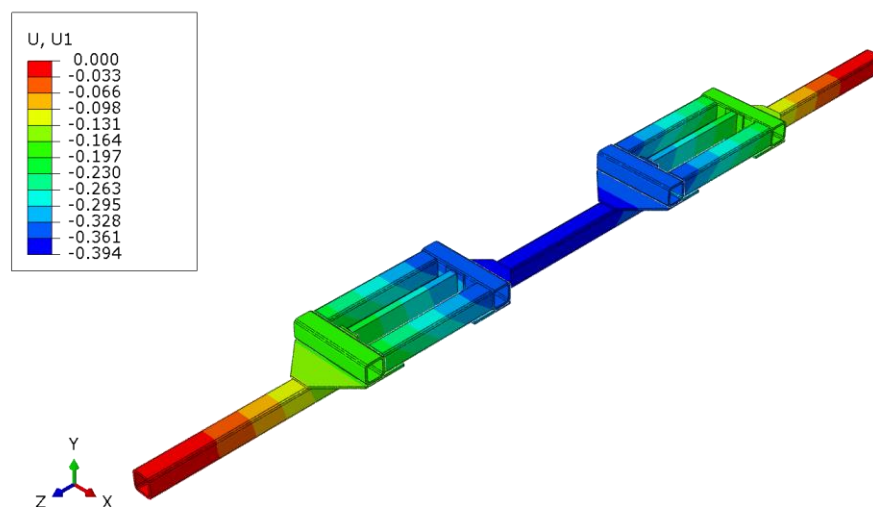
Obr. 7.15 - Deska přidaná ve čtvrtém návrhu rámu

Výsledek průhybu ve směru osy  $y$  (Obr. 7.16) je  $|y_{num4}| = 0,394 \text{ mm}$ , tato hodnota vyhovuje počátečním požadavkům.



Obr. 7.16 - Čtvrtý návrh rámu; průhyb ve směru osy  $y$  při plném zatížení; legenda v mm

Průhyb ve směru osy  $x$  (Obr. 7.17) se podle očekávání zmenšil, a to přibližně o 30 % oproti třetímu návrhu rámu na  $|x_{num4}| = 0,394 \text{ mm}$ .



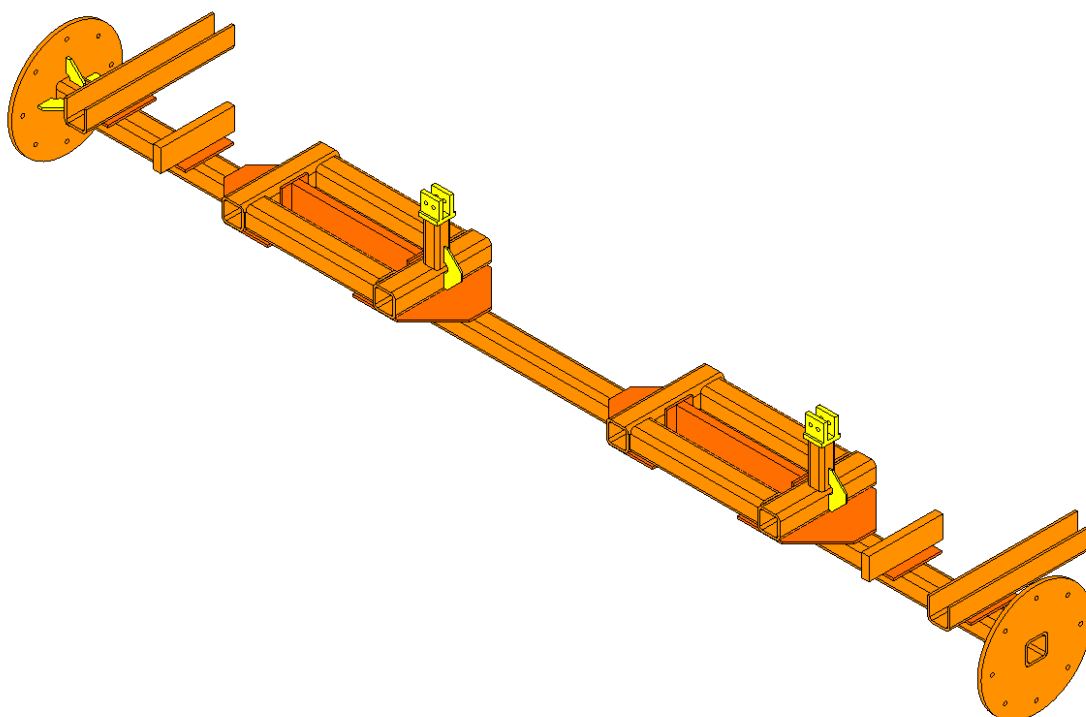
Obr. 7.17 - Čtvrtý návrh rámu; průhyb ve směru osy  $x$  při plném zatížení; legenda v mm

Poslední varianta rámu tedy odpovídá požadovaným vlastnostem, a proto je vhodná pro použití ve svařovacím přípravku.

Ještě je nutno podotknout, že výsledná tuhost celého přípravku bude kladně ovlivněna upnutými profily svařence. Tento vliv by bylo náročné ve výpočtech v prostředí programu ABAQUS aplikovat. Průhyby výsledné konstrukce sice počítají s hmotností svařence, ale neberou v potaz právě jím přidané kvadratické průřezové momenty

Tyto výsledné hodnoty z analýzy průhybu pomocí metody konečných prvků budou ve výpočtové části této práce analyticky podpořeny výpočtem za použití náhradního nosníku.

Podoba a výsledná konstrukce nosného rámu je na Obr. 7.18. Zde je již počítáno s připojením na polohovadlo, které bude přípravkem otáčet v horizontální ose.



Obr. 7.18 - Konstrukce nosného rámu

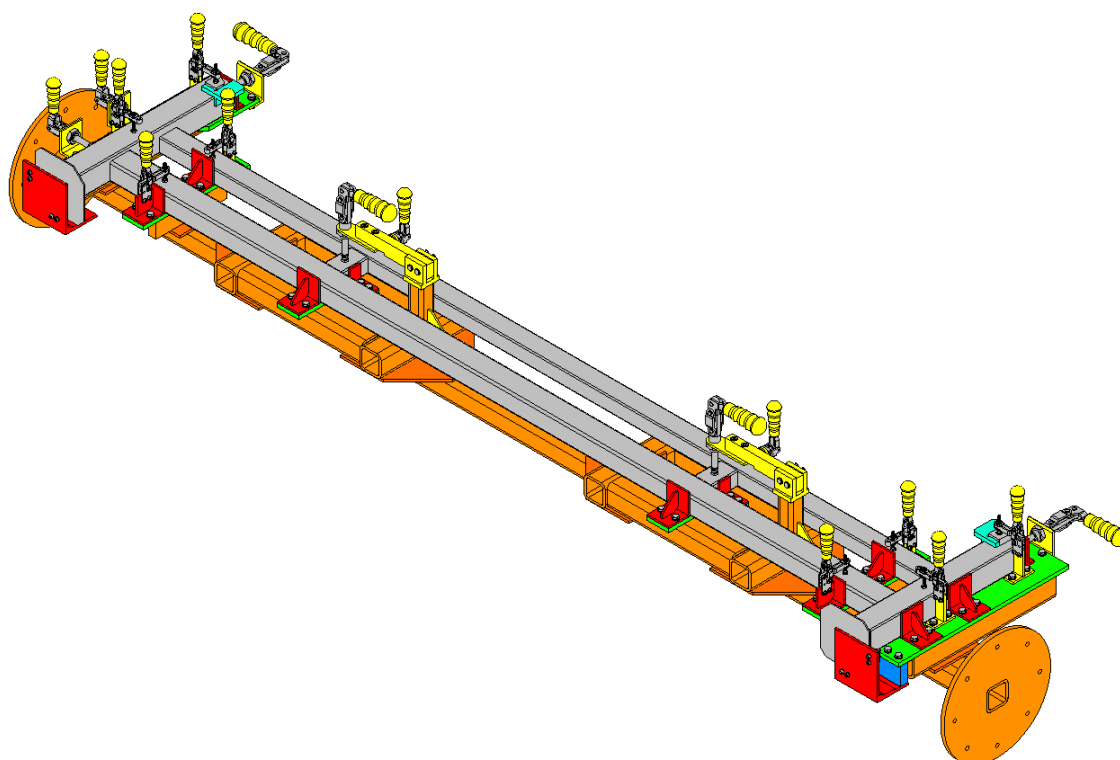
## 7.5. Konstrukce vybrané varianty

V následujících obrázcích je barevně označováno několik funkčních prvků. Přiřazení barev je uvedeno v tabulce 7.2.

Barva	Označené prvky
oranžová	Rám přípravku
zelená	Základní deska
žlutá	Madla upínek a upínací těla pro upínky
červená	Dorazy
tyrkysová	Příložky kamenů
šedá	Podélník (svařenec), šrouby, matice a mechanismy upínek

Tabulka 7.2 - Rozpis barevného označení

Celý přípravek (Obr. 7.19) se skládá z rámu a upínacích uzlů. Rám byl představen v přechodím postupu a upínací uzly budou popsány.



Obr. 7.19 - Svařovací přípravek

Všechny upínací uzly jsou konstruovány tak, aby byl dílec svařence zajištěn stálým kontaktem se třemi plochami (dvě plochy pevné, jedna pohyblivá – upínka), pokud je zajištěn i čtvrtou plochou, pak je tato plocha pohyblivá (upínka). Taktéž jsou svislé dorazové plochy orientovány tak, že je k nim plocha dílce dotlačena z levé strany, popřípadě shora. To zabraňuje případným obtížím při vyjímání svařence. Ten by se v případě nevhodného návrhu umístění a orientace upínacích a dorazových prvků mohl mezi těmito prvky vzpříčit. Toto vzpříčení by bylo následkem zkroucení svařence v důsledku velkého přísunu tepla, které při svařování vzniká.

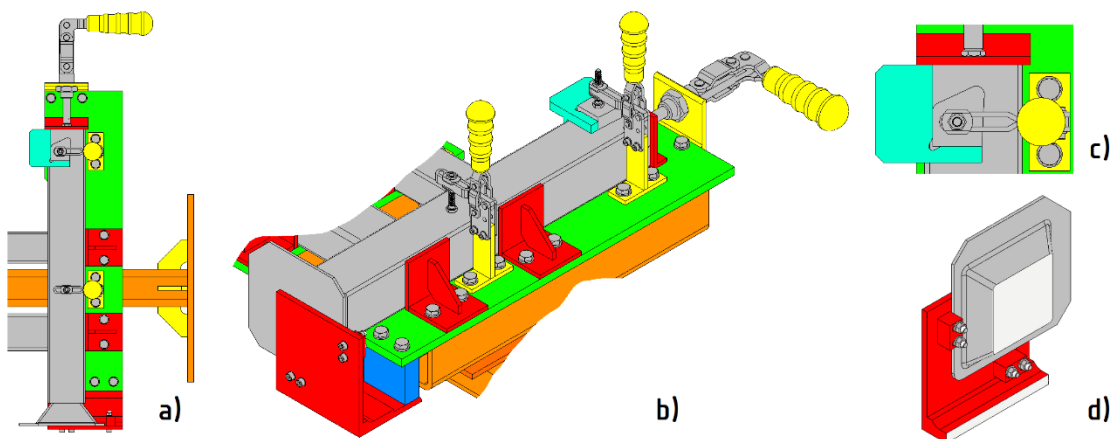
### 7.5.1. Upínací uzel pravé opěrné nohy

Daný upínací uzel (Obr. 7.20a,b) slouží pro upínání pravé nohy podélníku, jsou tomu přizpůsobeny i dorazové prvky. Dva dorazy jsou umístěny proti dlouhým profilům, které budou dále označovány jako příčnický. Doraz stojky nohy (Obr. 7.20d) je orientován proti upínce a obsahuje i vymešovaci kameny, které mají zabránit založení nohy ve špatné orientaci. Příložka (Obr 7.20c) slouží ke správnému umístění kamene a ten je následně upnut.

Všechny upínky jsou od výrobce JC-METAL s. r. o. a zde použité upínky jsou uvedeny v tabulce 7.3.

Označení upínky	Typ upínky	Upínací síla [N]	Počet kusů
365	Přímá	3300	1
220UR	Svislá	1000	2

Tabulka 7.3 - Upínky uzlu pravé nohy



Obr. 7.20 - Upínací uzel pravé opěrné nohy; a) Pohled shora, b) IZO-pohled, c) Detail příložky, d) Doraz stojky nohy

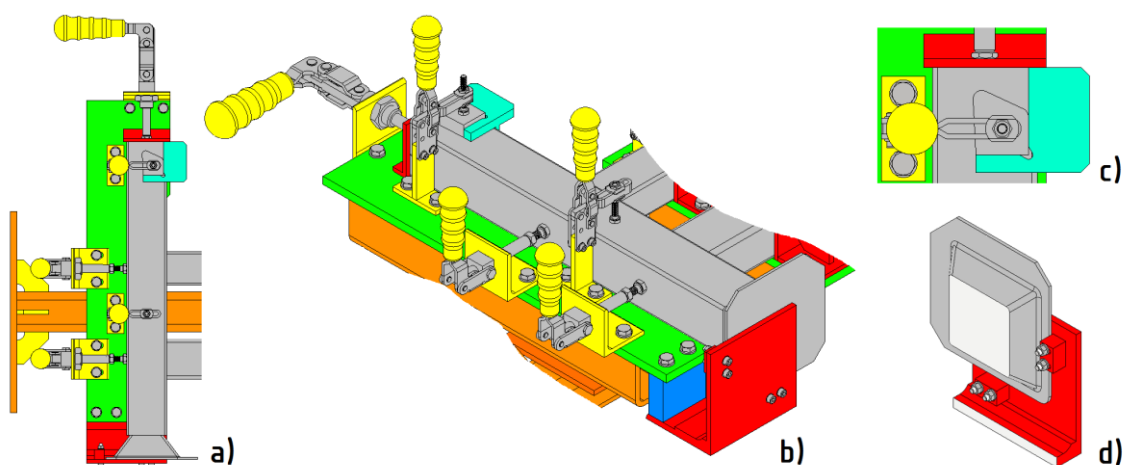
### 7.5.2. Upínací uzel levé opěrné nohy

Tento upínací uzel je na Obr. 7.21a,b. Příložka je na Obr. 7.21c a doraz stojky nohy je na Obr. 7.21d. Princip je stejný jako ten, který byl popsán v části věnované upínacímu uzlu pravé opěrné nohy. Jediný rozdíl tkví v tom, že v místech, ve kterých jsou u pravé opěrné nohy umístěny dorazy, jsou zde nahrazeny upínkami. Tyto vytváří upínací sílu proti protilehlým dorazům, nacházejícím se na pravé opěrné noze.

Všechny upínky jsou od výrobce JC-METAL s. r. o. a zde použité upínky jsou uvedeny v tabulce 7.4.

Označení upínky	Typ upínky	Upínací síla [N]	Počet kusů
365	Přímá	3300	1
220UR	Svislá	1000	2
350	Přímá	2500	2

Tabulka 7.4 - Upínky uzlu levé nohy



Obr. 7.21 - Upínací uzel pravé opěrné nohy; a) Pohled shora, b) IZO-pohled, c) Detail příložky, d) Doraz stojky nohy



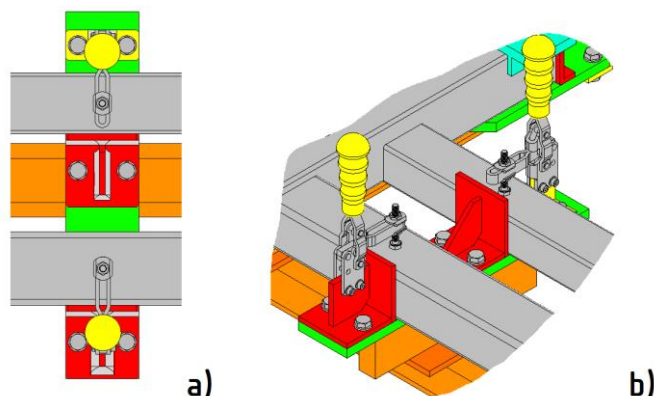
### 7.5.3. Upínací uzel příčníků

Zobrazení upínacího uzlu se nachází na Obr. 7.22a,b.

Všechny upínky jsou od výrobce JC-METAL s. r. o. a zde použité upínky jsou uvedeny v tabulce 7.5.

Označení upínky	Typ upínky	Upínací síla [N]	Počet kusů
220UR	Svislá	1000	2

Tabulka 7.5 - Upínky uzlu příček



Obr. 7.22 - Upínací uzel příček; a) Pohled shora, b) IZO-pohled

Upínací uzel slouží k přichycení příček v blízkosti jednoho místa svařování (Obr. 7.2a, kapitola 7.2). Tento upínací uzel se nachází v přípravku dvakrát, a to v okolí pravé i levé opěrné nohy svařence. Orientace svislých upínek proti sobě je zvolena kvůli vyjímání svařence. V případě orientace stejným směrem, by totiž pokaždé docházelo k blokování vyjímání svařence madlem jedné z upínek.

### 7.5.4. Upínací uzel rozpěry příček

V tomto upínacím uzlu (Obr. 7.23a,b,c) byl řešen problém s dostatečným prostorem v okolí svarů. Ten musí být zajištěn pro svařování, ale současně musí být rozpěra řádně upnuta.

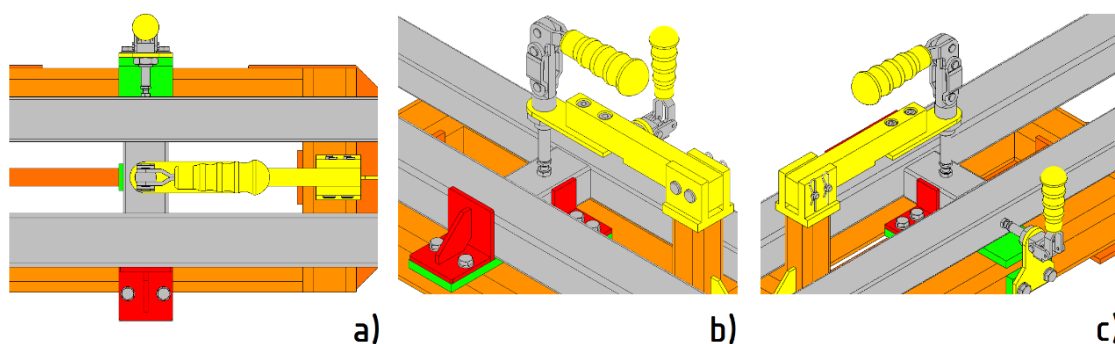
Všechny upínky jsou od výrobce JC-METAL s. r. o. a zde použité upínky jsou uvedeny v tabulce 7.6.

Označení upínky	Typ upínky	Upínací síla [N]	Počet kusů
365	Přímá	3300	1
340	Přímá	1000	1

Tabulka 7.6 - Upínky uzlu rozpěry příček

Výsledné řešení pracuje se dvěma přímými upínkami, kdy jedna je pevně spojená s rámem a druhá se nachází na rameni, které lze vyjmout. Rameno je do rámu založeno a zajištěno čepy a pružnými závlačkami pro snadnou demontáž. Upínací uzel se v přípravku vyskytuje dvakrát. Toto řešení umožňuje kotvící bod vrchní přímé upínky přemístit dále od místa svařování (Obr. 7.2b, kapitola 7.2), čímž se ušetří prostor v bezprostřední blízkosti. Demontáž je nutná pro vyjmutí svařence.



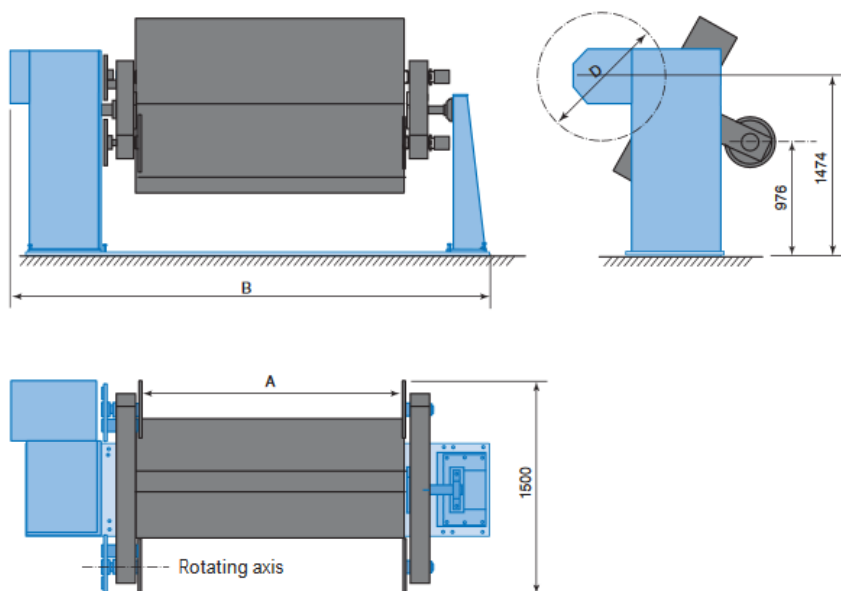


Obr. 7.23 - Upínací uzel rozpěry příček; a) Pohled shora, b) první IZO-pohled, c) Druhý IZO-pohled

## 7.6. Výběr vhodného polohovadla

Pro umožnění otáčení kolem horizontální osy bylo třeba vybrat vhodné polohovadlo. Volba nakonec padla na polohovadlo YASKAWA RM2-250 STN (Obr. 7.24).

Jedná se o horizontální polohovadlo se dvěma stanovišti. Řízené otáčení založeným přípravkem je však možné pouze na straně určené ke svařování, což je strana, u které se osa rotace nachází ve výšce 1474 mm. Proto je nutné po ukončení svařování otočit přípravkem do polohy, která bude po výměně stanovišť vhodná pro vyjmutí svařence a následné založení dílců. Polohovadlo se vyrábí ve více rozměrech, které nejsou na obrázku číselně vyjádřeny. Jejich hodnota pro zvolené polohovadlo je v tabulce 7.7.



Obr. 7.24 - Polohovadlo YASKAWA RM2-250 STN [18]

Rozměr	Hodnota [mm]
A	2636
B	4281
D	1170

Tabulka 7.7 - Rozměry polohovadla [18]

Parametry související s funkcí polohovadla jsou uvedeny v tabulce 7.8.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální zatížení jednoho stanoviště	250	kg
Čas výměny stanovišť	4	s
Dynamický krouticí moment	1197	Nm
Statický krouticí moment	957	Nm
Jmenovitá rychlost otáčení	16,8	ot/s

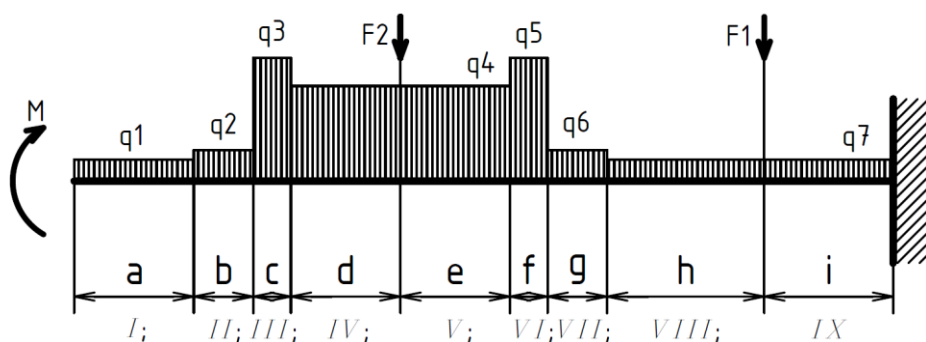
*Tabulka 7.8 - Funkční parametry polohovadla [18]*

## 8. Výpočtová část

V rámci této části práce budou provedeny kontrolní výpočty průhybu nosného rámu, které již byly zmiňovány v části věnované průhybové analýze pomocí MKP softwaru. Dále bude provedena kontrola kroutícího momentu motoru polohovadla, a to pro statickou i dynamickou zátěž.

### 8.1. Analytický výpočet průhybu

Pro analytický výpočet bylo užito náhradního nosníku (Obr. 8.1) se spojitým zatížením reprezentujícím vlastní tíhu rámu a silami představujícími soustředěnou tíhu od dalších prvků umístěných na nosném rámu. Konkrétně síla F1 vyjadřuje tíhu upínacích uzlů nohy, příček a založených částí svařence. Díla F2 pak vyjadřuje tíhu upínacího uzlu rozpěry příček a založené dílce svařence.



Obr. 8.1 - Schéma náhradového nosníku

V tabulce 8.1 jsou vypsány hodnoty jednotlivých známých parametrů náhradového nosníku:

Parametr	Hodnota [mm]	Parametr	Hodnota [N/mm]	Parametr	Hodnota [N]
a	191	q1	0,093	F1	261
b	95	q2	0,135	F2	120,5
c	60	q3	0,534		
d	175	q4	0,412		
e	175	q5	0,534		
f	60	q6	0,135		
g	95	q7	0,093		
h	251				
i	206				

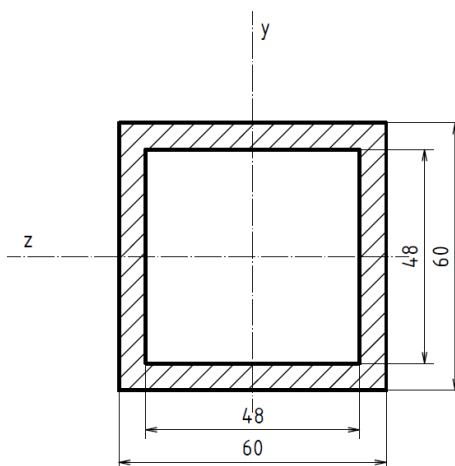
Tabulka 8.1 - Parametry náhradového nosníku

Pro zjednodušení výpočtu, jak už je z obrázku patrné, byla řešena jen polovina nosného rámu. Bylo předpokládáno vetknutí na obou stranách, aby bylo snazší určit maximální průhyb, který se v tomto případě nachází v ose symetrie.

Vzhledem ke složitosti rámu, který je rozdělen na 9 oblastí (na Obr. 8.1 značeny římskými číslicemi), muselo být v rámci náhradového nosníku zavedeno více průřezů.

### 8.1.1. Kvadratické momenty průřezu

V náhradovém nosníku se nachází celkem 4 různé průřezy. Nejdřív je nutné přiřadit tyto průřezy jednotlivým oblastem a poté spočítat jejich hodnotu kvadratického momentu průřezu pro osy  $y$  a  $z$ . První průřez (Obr. 8.2) se nachází v oblastech I, VIII a IX.

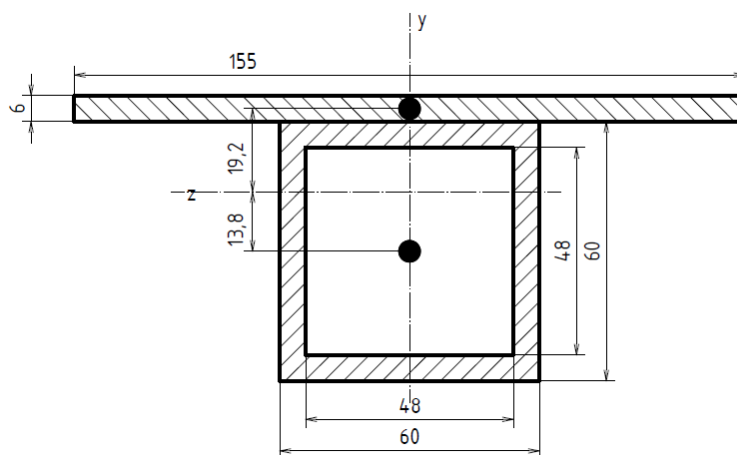


Obr. 8.2 - První průřez (oblasti I, VIII a IX)

$$I_{z1} = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) = 637\,632 \text{ mm}^4 \quad (8.1)$$

$$I_{y1} = I_{z1} = 637\,632 \text{ mm}^4 \quad (8.2)$$

Druhý průřez (Obr. 8.3) se nachází v oblastech II a VII.

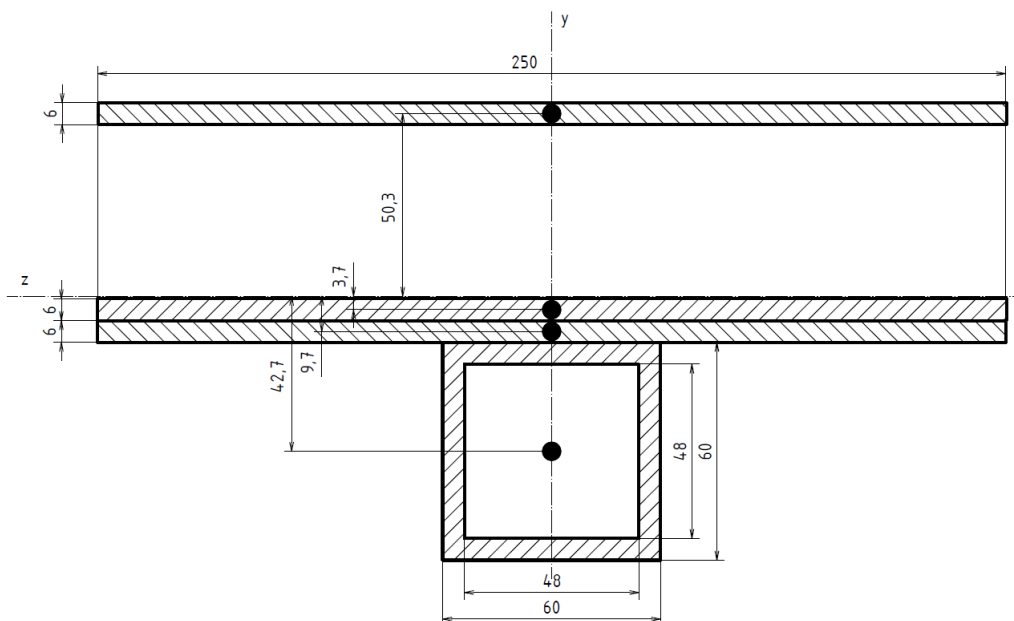


Obr. 8.3 - Druhý průřez (oblasti II a VII)

$$I_{z2} = \sum I_{0zi} + \sum A_i \cdot y_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 13,8^2 + \frac{1}{12} \cdot 155 \cdot 6^3 + 150 \cdot 6 \cdot 19,2^2 = 1\,230\,067 \text{ mm}^4 \quad (8.3)$$

$$I_{y2} = \sum I_{0yi} + \sum A_i \cdot z_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 155^3 = 2\,499\,570 \text{ mm}^4 \quad (8.4)$$

Třetí průřez (Obr. 8.4) se nachází v oblastech III a VI.

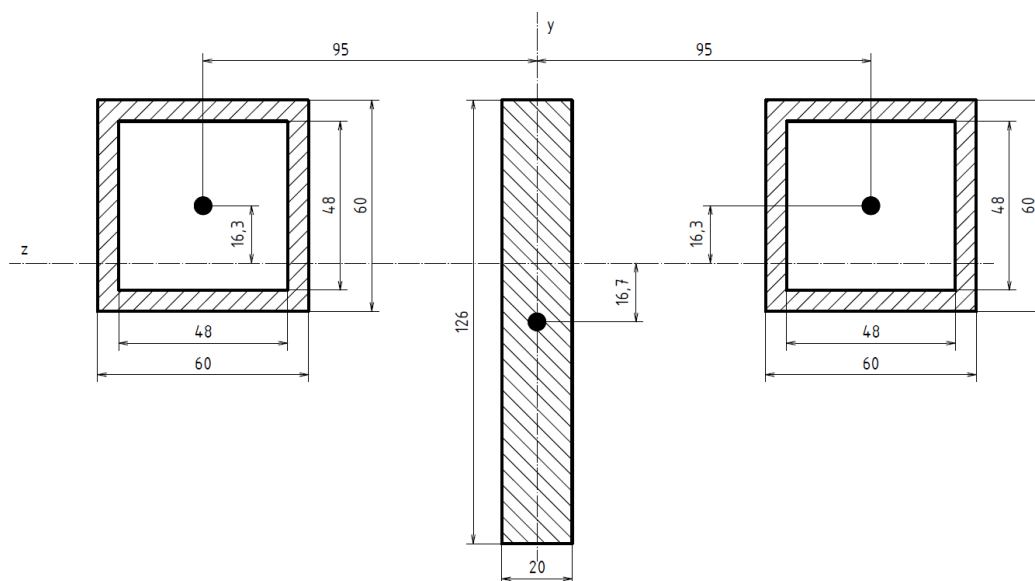


Obr. 8.4 - Třetí průřez (oblasti III a VI)

$$\begin{aligned}
 I_{z3} &= \sum I_{0zi} + \sum A_i \cdot y_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 42,7^2 \\
 &+ \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 6^3 + 250 \cdot 6 \cdot 9,7^2 + \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 6^3 + 250 \cdot 6 \cdot 3,7^2 \\
 &+ \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 6^3 + 250 \cdot 6 \cdot 50,3^2 = \mathbf{6\ 966\ 903\ mm^4}
 \end{aligned} \tag{8.5}$$

$$\begin{aligned}
 I_{y3} &= \sum I_{0yi} + \sum A_i \cdot z_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 250^3 \\
 &+ \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 250^3 + \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 250^3 = \mathbf{24\ 075\ 132\ mm^4}
 \end{aligned} \tag{8.6}$$

Čtvrtý průřez (Obr. 8.5) se nachází v oblastech IV a V.



Obr. 8.5 - Čtvrtý průřez (oblasti IV a V)

$$\begin{aligned}
 I_{z4} &= \sum I_{0zi} + \sum A_i \cdot y_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 16,3^2 \\
 &+ \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 16,3^2 + \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 126^3 \\
 &+ 126 \cdot 20 \cdot 16,7^2 = \mathbf{4\ 693\ 555\ mm^4}
 \end{aligned} \tag{8.7}$$

$$\begin{aligned}
 I_{y4} &= \sum I_{0yi} + \sum A_i \cdot z_i^2 = \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 95^2 \\
 &+ \frac{1}{12} \cdot (60^4 - 48^4) + (60^2 - 48^2) \cdot 95^2 + \frac{1}{12} \cdot 126 \cdot 20^3 \\
 &= \mathbf{24\ 752\ 064\ mm^4}
 \end{aligned} \tag{8.8}$$

### 8.1.2. Momentové rovnice oblastí

Každá oblast přispívá k ohybového momentu svým dílem. Momentové rovnice byly určeny metodou řezu, aplikovanou na Obr. 8.1 při postupu zleva doprava. Následují rovnice jednotlivých příspěvků a rozsah souřadnice  $x$ :

$$\begin{array}{l}
 I \\
 x_1 \in (0; a)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{M}_o(x_1) = M - q_1 \cdot \frac{x_1^2}{2} \tag{8.9}$$

$$\begin{array}{l}
 II \\
 x_2 \in (0; b)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{M}_o(x_2) = M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_2 + \frac{a}{2}\right) - q_2 \cdot \frac{x_2^2}{2} \tag{8.10}$$

$$\begin{array}{l}
 III \\
 x_3 \in (0; c)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{M}_o(x_3) = M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_3 + b + \frac{a}{2}\right) - q_2 \cdot b \cdot \left(x_3 + \frac{b}{2}\right) - q_3 \cdot \frac{x_3^2}{2} \tag{8.11}$$

$$\begin{array}{l}
 IV \\
 x_4 \in (0; d)
 \end{array}
 \quad
 \begin{aligned}
 \mathbf{M}_o(x_4) &= M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_4 + c + b + \frac{a}{2}\right) - q_2 \cdot b \cdot \left(x_4 + c + \frac{b}{2}\right) \\
 &- q_3 \cdot c \cdot \left(x_4 + \frac{c}{2}\right) - q_4 \cdot \frac{x_4^2}{2}
 \end{aligned} \tag{8.12}$$

$$\begin{array}{l}
 V \\
 x_5 \in (0; e)
 \end{array}
 \quad
 \begin{aligned}
 \mathbf{M}_o(x_5) &= M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_5 + d + c + b + \frac{a}{2}\right) \\
 &- q_2 \cdot b \cdot \left(x_5 + d + c + \frac{b}{2}\right) - q_3 \cdot c \cdot \left(x_5 + d + \frac{c}{2}\right) \\
 &- q_4 \cdot d \cdot \left(x_5 + \frac{d}{2}\right) - q_4 \cdot \frac{x_5^2}{2} - F_2 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{8.13}$$

$$\begin{array}{l}
 VI \\
 x_6 \in (0; f)
 \end{array}
 \quad
 \begin{aligned}
 \mathbf{M}_o(x_6) &= M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_6 + e + d + c + b + \frac{a}{2}\right) \\
 &- q_2 \cdot b \cdot \left(x_6 + e + d + c + \frac{b}{2}\right) - q_3 \cdot c \cdot \left(x_6 + e + d + \frac{c}{2}\right) \\
 &- q_4 \cdot (d + e) \cdot \left(x_6 + \frac{(d + e)}{2}\right) - q_5 \cdot \frac{x_6^2}{2} - F_2 \cdot (x_6 + e)
 \end{aligned} \tag{8.14}$$

$$\begin{array}{l}
 VII \\
 x_7 \in (0; g)
 \end{array}
 \quad
 \begin{aligned}
 \mathbf{M}_o(x_7) &= M - q_1 \cdot a \cdot \left(x_7 + f + e + d + c + b + \frac{a}{2}\right) \\
 &- q_2 \cdot b \cdot \left(x_7 + f + e + d + c + \frac{b}{2}\right) - q_3 \cdot c \cdot \left(x_7 + f + e + d + \frac{c}{2}\right) \\
 &- q_4 \cdot (d + e) \cdot \left(x_7 + f + \frac{(d + e)}{2}\right) - q_5 \cdot f \cdot \left(x_7 + \frac{f}{2}\right) - q_6 \cdot \frac{x_7^2}{2} \\
 &- F_2 \cdot (x_6 + f + e)
 \end{aligned} \tag{8.15}$$

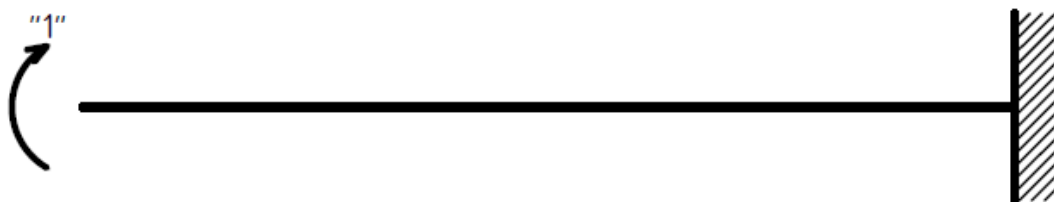
$$\begin{aligned}
 & \text{VIII} \\
 & x_8 \in (0; h) \\
 & M_o(x_8) = M - q_1 \cdot a \cdot \left( x_8 + g + f + e + d + c + b + \frac{a}{2} \right) \\
 & - q_2 \cdot b \cdot \left( x_8 + g + f + e + d + c + \frac{b}{2} \right) \\
 & - q_3 \cdot c \cdot \left( x_8 + g + f + e + d + \frac{c}{2} \right) \\
 & - q_4 \cdot (d + e) \cdot \left( x_8 + g + f + \frac{(d + e)}{2} \right) - q_5 \cdot f \cdot \left( x_8 + g + \frac{f}{2} \right) \\
 & - q_6 \cdot g \cdot \left( x_8 + \frac{g}{2} \right) - q_7 \cdot \frac{x_8^2}{2} - F_2 \cdot (x_6 + g + f + e)
 \end{aligned} \tag{8.16}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{IX} \\
 & x_9 \in (0; i) \\
 & M_o(x_9) = M - q_1 \cdot a \cdot \left( x_9 + h + g + f + e + d + c + b + \frac{a}{2} \right) \\
 & - q_2 \cdot b \cdot \left( x_9 + h + g + f + e + d + c + \frac{b}{2} \right) \\
 & - q_3 \cdot c \cdot \left( x_9 + h + g + f + e + d + \frac{c}{2} \right) \\
 & - q_4 \cdot (d + e) \cdot \left( x_9 + h + g + f + \frac{(d + e)}{2} \right) \\
 & - q_5 \cdot f \cdot \left( x_9 + h + g + \frac{f}{2} \right) - q_6 \cdot g \cdot \left( x_9 + h + \frac{g}{2} \right) \\
 & - q_7 \cdot h \cdot \left( x_9 + \frac{h}{2} \right) - q_7 \cdot \frac{x_9^2}{2} - F_2 \cdot (x_6 + h + g + f + e) - F_1 \cdot x_9
 \end{aligned} \tag{8.17}$$

### 8.1.3. Ohybový moment na konci nosníku

V Obr. 8.1 je vlevo zaveden neznámý ohybový moment  $M$ . Tento moment vyrovnává natočení nosníku do nulové hodnoty, což je způsobeno symetrií úlohy. Než je možné přistoupit k výpočtu průhybu, je třeba vypočítat právě tento moment.

Pro výpočet bude použit Mohrův integrál, pomocí zavedení jednotkového momentu (Obr. 8.6) a okrajové podmínky ( $\varphi_{y,z} = 0$ ) na konci nosníku. Uvažovaná hodnota Youngova modulu pružnosti pro ocel je  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ .



Obr. 8.6 - Zavedení jednotkového momentu na konci nosníku

Po celé délce je ohybový moment, který vytváří přidáný jednotkový moment, roven:

$$m_{om}(x_i) = 1 \tag{8.18}$$

Z toho vyplývá následující vztah pro výpočet momentu  $M$  při zatěžování ve směru osy  $y$ :

$$\begin{aligned}
 \varphi_y &= \frac{1}{E \cdot J_{z1}} \cdot \sum_{i=1,8,9} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z2}} \cdot \sum_{i=2,7} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z3}} \cdot \sum_{i=3,6} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z4}} \cdot \sum_{i=4,5} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} = 0
 \end{aligned} \tag{8.19}$$

Jedinou neznámou v celém vztahu je právě moment  $M$ , po vyjádření je jeho hodnota  $M_y = 148\,715,1 \text{ N} \cdot \text{mm}$ .

Vztah pro výpočet momentu při zatěžování ve směru  $z$  je následující:

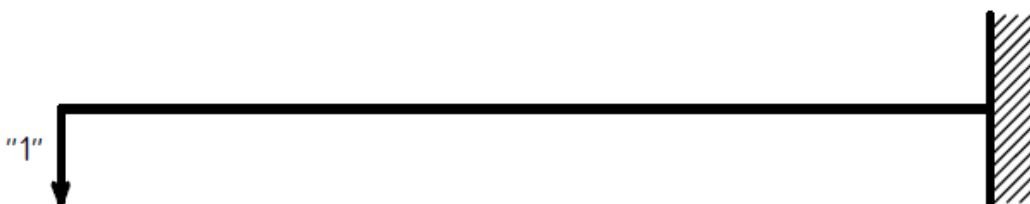
$$\begin{aligned}
 \varphi_z &= \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot \sum_{i=1,8,9} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y2}} \cdot \sum_{i=2,7} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y3}} \cdot \sum_{i=3,6} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y4}} \cdot \sum_{i=4,5} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{om}(x_i)] dx \right\} = 0
 \end{aligned} \tag{8.20}$$

A výsledný moment  $M$ , při zatěžování ve směru  $z$  je  $M_z = 168\,936,3 \text{ N} \cdot \text{mm}$ .

#### 8.1.4. Průhyb na konci nosníku

V předchozích částech byla stanovena metoda výpočtu, přičemž nyní jsou známy všechny hodnoty parametrů a momentové rovnice  $M_o(x_i)$  pro výpočet potřebné.

Lze tedy přistoupit k výpočtu obou průhybů. Aby mohlo být použito Mohrova integrálu, je třeba zavést do místa, kde nás průhyb zajímá, jednotkovou sílu (Obr. 8.7).



Obr. 8.7 - Zavedení jednotkové síly na konec nosníku

Nejdřív je třeba vyjádřit jednotkové momenty od jednotkové síly v jednotlivých oblastech:

$$\begin{array}{l}
 I \\
 x_1 \in (0; a)
 \end{array}
 \quad m_{os}(x_1) = -1 \cdot x_1 \tag{8.21}$$

$$\begin{array}{l}
 II \\
 x_2 \in (0; b)
 \end{array}
 \quad m_{os}(x_2) = -1 \cdot (x_2 + a) \tag{8.22}$$

$$\begin{array}{l}
 III \\
 x_3 \in (0; c)
 \end{array}
 \quad m_{os}(x_3) = -1 \cdot (x_3 + a + b) \tag{8.23}$$



$$\begin{array}{l}
 IV \\
 x_4 \in (0; d)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_4) = -1 \cdot (x_4 + a + b + c)
 \quad
 (8.24)$$

$$\begin{array}{l}
 V \\
 x_5 \in (0; e)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_5) = -1 \cdot (x_5 + a + b + c + d)
 \quad
 (8.25)$$

$$\begin{array}{l}
 VI \\
 x_6 \in (0; f)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_6) = -1 \cdot (x_6 + a + b + c + d + e)
 \quad
 (8.26)$$

$$\begin{array}{l}
 VII \\
 x_7 \in (0; g)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_7) = -1 \cdot (x_7 + a + b + c + d + e + f)
 \quad
 (8.27)$$

$$\begin{array}{l}
 VIII \\
 x_8 \in (0; h)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_8) = -1 \cdot (x_8 + a + b + c + d + e + f + g)
 \quad
 (8.28)$$

$$\begin{array}{l}
 IX \\
 x_9 \in (0; i)
 \end{array}
 \quad
 \mathbf{m}_{os}(x_9) = -1 \cdot (x_9 + a + b + c + d + e + f + g + h)
 \quad
 (8.29)$$

Tyto jednotkové momenty se budou dosazovat do následujících vztahů pro určení průhybu (8.30 a 8.31).

Vztah pro výpočet průhybu při zatěžování ve směru osy  $\underline{y}$  i s výsledkem,

$$\begin{aligned}
 \mathbf{y}_{analyt} &= \frac{1}{E \cdot J_{z1}} \cdot \sum_{i=1,8,9} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z2}} \cdot \sum_{i=2,7} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z3}} \cdot \sum_{i=3,6} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{z4}} \cdot \sum_{i=4,5} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} = \mathbf{0,309 \text{ mm}}
 \end{aligned}
 \quad (8.30)$$

kde za moment  $M$  v momentových rovnicích  $M_o(x_i)$  je dosazován moment  $M_y$ .

A vztah pro výpočet průhybu při zatěžování ve směru osy  $\underline{z}$  i s výsledkem,

$$\begin{aligned}
 \mathbf{z}_{analyt} &= \frac{1}{E \cdot J_{y1}} \cdot \sum_{i=1,8,9} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y2}} \cdot \sum_{i=2,7} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y3}} \cdot \sum_{i=3,6} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} \\
 &+ \frac{1}{E \cdot J_{y4}} \cdot \sum_{i=4,5} \left\{ \int_0^{x_{imax}} [M_o(x_i) \cdot m_{os}(x_i)] dx \right\} = \mathbf{0,257 \text{ mm}}
 \end{aligned}
 \quad (8.31)$$

kde za moment  $M$  v momentových rovnicích  $M_o(x_i)$  je dosazován moment  $M_z$ .

### 8.1.5. Porovnání analytického a numerického výpočtu

V části věnované numerické analýze rámu byly konečné hodnoty průhybové analýzy pro jednotlivé směry uvedeny na Obr. 7.15 a 7.16 (kapitola 7.4), a to největší absolutní hodnoty uvedené v legendě. Ve směru zatěžování v ose  $\underline{y}$ :  $\mathbf{y}_{num} = 0,394 \text{ mm}$  a ve směru osy  $\underline{z}$ :  $\mathbf{z}_{num} = 0,394 \text{ mm}$ .

Tyto hodnoty byly ověřeny předchozím analytickým výpočtem. Vzhledem k velkému zjednodušení analytického výpočtu bylo očekáváno, že hodnoty nebudou stejné. Výsledné hodnoty z analytického výpočtu tedy jsou ve směru zatěžování v ose  $y$ :  $y_{analyt} = 0,309 \text{ mm}$  a ve směru osy  $z$ :  $z_{analyt} = 0,257 \text{ mm}$ .

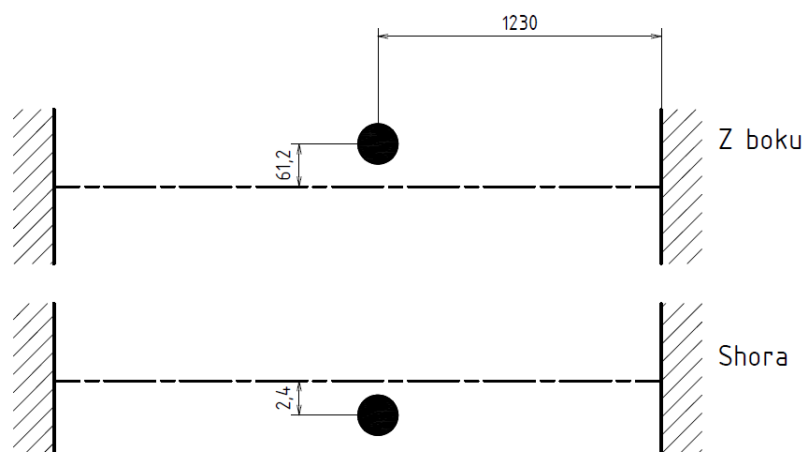
Analytický výpočet se velmi přiblížil tomu numerickému. Což potvrdilo, že průhyb dosahuje rozumných hodnot tak, aby byly výsledné svařence vyráběny v odpovídajících tolerancích.

## 8.2. Výpočet kroutícího momentu

Pro vybrané polohovadlo YASKAWA RM2-250 STN (Obr. 7.23, kapitola 7.6) je potřeba ověřit nárok přípravku se založeným svařencem na kroutící moment, který musí být pohonem polohovadla splněn.

### 8.2.1. Statický kroutící moment

Zjišťuje se pro nepohybující se přípravek, a to v okamžiku kdy je jeho těžiště (Obr. 8.8) na největším rameni od osy rotace, tak aby tíhová síla byl na toto rameno kolmá.



Obr. 8.8 - Střed těžiště přípravku včetně založeného svařence

Uvažované tíhové zrychlení je  $g_t = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Hmotnost přípravku včetně svařence je  $m = 146,5 \text{ kg}$ . Z Obr. 8.8 volíme takové rameno, na kterém gravitační tíha způsobí největší kroutící momentem. Zvolené rameno  $r = 61,2 \text{ mm} = 0,00612 \text{ m}$ . Výsledný vztah:

$$M_{ks} = G \cdot r = m \cdot g_t \cdot r = 146,5 \cdot 9,81 \cdot 0,00612 = \mathbf{8,8 \text{ N} \cdot \text{m}} \quad (8.32)$$

Tato hodnota je mnohonásobně menší než hodnota z katalogu výrobce, která činí  $M_{ksD} = 957 \text{ N} \cdot \text{m}$  (tabulka 7.10). Proto je pohon z tohoto hlediska vyhovující.

### 8.2.2. Rozběhový kroutící moment

V průběhu rozběhu na konstantní rychlost otáčení vzniká rozběhový moment, který je zpravidla vyšší než statický kroutící moment. Základní vztah pro výpočet,

$$M_{kr} = I \cdot \varepsilon \quad (8.33)$$

kde  $I$  je moment setrvačnosti a  $\varepsilon$  je úhlové zrychlení.

Moment setrvačnosti byl vzhledem ke složitosti konstrukce převzat z objemového modelu a numerického výpočtu programu Autodesk Inventor a dosahuje hodnoty  $I = 1,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  při rotaci kolem osy  $x$ . A úhlové zrychlení pro najetí na konstantní otáčení je myšlena  $\varepsilon = 17,6 \text{ rad/s}^2$ . Ta vychází z parametrů maximálního počtu otáček (tabulka 7.10)  $\omega = 16,7 \text{ ot/min} = 1,76 \text{ rad/s}$  a nároku dostat se na tyto otáčky za  $t = 0,1 \text{ s}$ . Potom tedy výpočet je:

$$M_{kr} = I \cdot \varepsilon = 1,8 \cdot 17,6 = 31,68 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (8.34)$$

Opět je tato hodnota několikanásobně menší v porovnání s hodnotou katalogovou, která činí  $M_{krD} = 1197 \text{ N} \cdot \text{m}$  (tabulka 7.10). Pohon i z tohoto hlediska vyhovuje.

## 9. Technologický postup

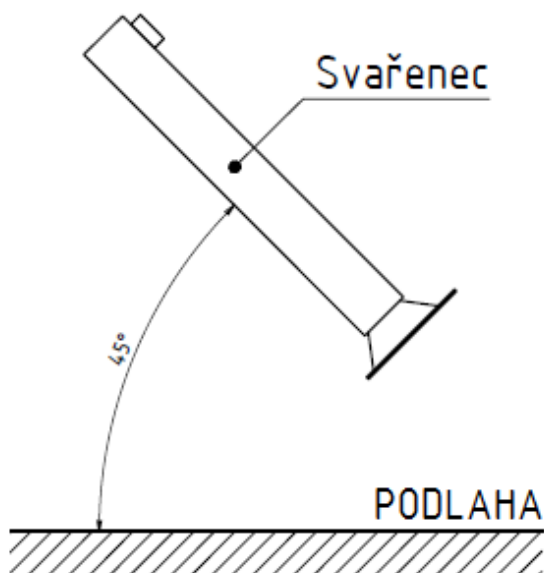
V poslední části bakalářské práce bude navržen doporučený postup, jak má obsluha s přípravkem zacházet. Správné zacházení s přípravkem zajistí, že vyjímání svařence budou dosahovat požadovaných parametrů.

Postup bude rozdělen na dvě části, což koresponduje s počtem stanovišť na polohovadle. Každý postup je předepsaný pro jedno pracoviště a jednoho člena obsluhy.

### 9.1. Postup zakládání, upínání a vyjímání svařence

První pracovní stanoviště polohovadla slouží pro zakládání, upínání dílců a po svařování, které probíhá na druhém stanovišti, i vyjímání hotového svařence.

Stanoviště nedisponuje pohonem, který by sloužil pro otáčení přípravku. Proto musí být všechny požadované úkony provedeny v jedné stabilní poloze přípravku (Obr. 9.1).



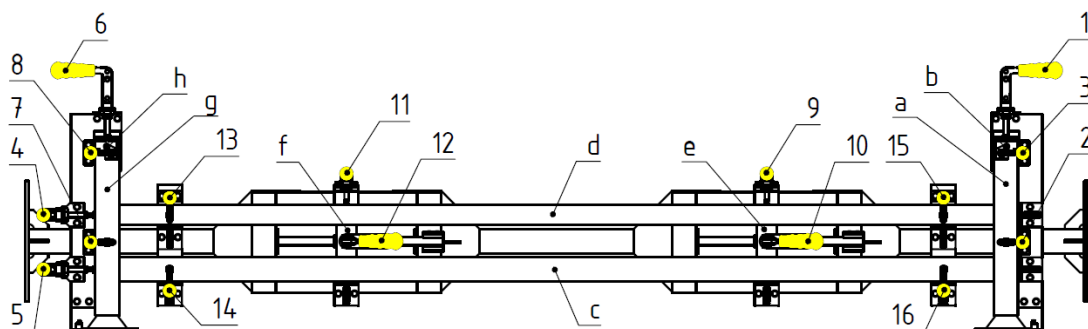
Obr. 9.1 - Poloha přípravku pro zakládání, upínání a vyjímání

Postup zakládání a upínání je v tabulce 9.1. Označení dílců a upínek je na Obr. 9.2.

Číslo operace	Operace	Dílec	Popis navazujících úkonů
1	Založit	a	Dotlačit dílec <u>a</u> na dorazy a upnout postupně upínky 1 a 2
2	Založit	b	Umístit pomocí příložky a upnout upínku 3
3	Založit	c	-
4	Založit	d	-
5	Založit	e	-
6	Založit	f	-
7	Založit	g	Upnout postupně upínky 4, 5, 6 a 7
8	Založit	h	Umístit pomocí příložky a upnout upínku 8
9	Dotlačit	e	Dotlačit na doraz a upnout postupně upínky 9 a 10
10	Dotlačit	f	Dotlačit na doraz a upnout postupně upínky 11 a 12
11	Upnout	-	Upnout postupně upínky 13, 14, 15 a 16

Tabulka 9.1 - Postup zakládání dílců a jejich upínání

Po ukončení svařování následuje přetočení stanovišť. Po tomto kroku je třeba odepnout všechny upínky, přičemž nezáleží na pořadí. Před začátkem vyjímání hotového svařence je ještě třeba odjistit a vytáhnout čepy držící upínky 10 a 12, které musíme vyjmout. Poté je již možné svařence vyjmout a odložit na paletu.

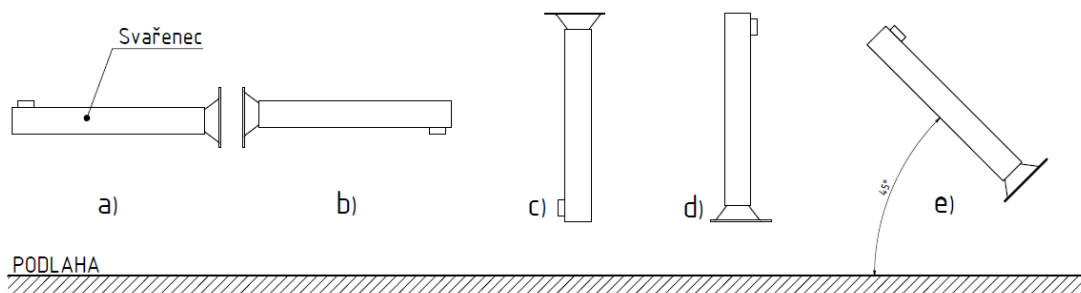


Obr. 9.2 - Označení dílců svařence (a až h) a upínek (1 až 16)

## 9.2. Postup svařování

Na druhém pracovním stanovišti polohovadla bude probíhat ruční svařování. Na celém svařenci se nachází převážně koutové svary a dále dva  $\frac{1}{2}V$  svary. Kvalifikovaná obsluha by měla být schopná nastavit parametry svařování.

Pro svařování samotné bude v následujících odstavcích shrnut doporučený postup. Svařování bude v základním postupu provedeno v 5 polohách (Obr. 9.3a,b,c,d,e).



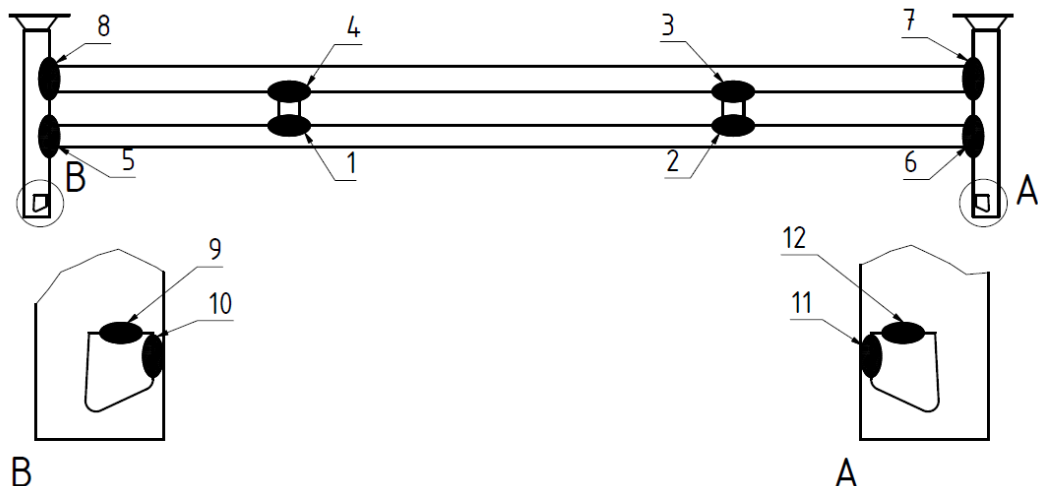
Obr. 9.3 - Doporučené polohy přípravku pro svařování; a) První poloha, b) Druhá poloha, c) Třetí poloha, d) Čtvrtá poloha, e) Pátá poloha

Záměrně je na všech obrázcích znázorněn jen svařence. Důvodem je nepřehlednost, která by vznikla při zahrnutí přípravku do zobrazení.

### 9.2.1. První svařovací poloha

Po přetočení stanovišť polohovadla je třeba, vzhledem k principu pohonu, otočit přípravek do první svařovací polohy (Obr. 9.4). V této i následujících polohách se svařují jen svary, ke kterým je přístup shora (Směry PA, PB podle ČSN EN ISO 6947).

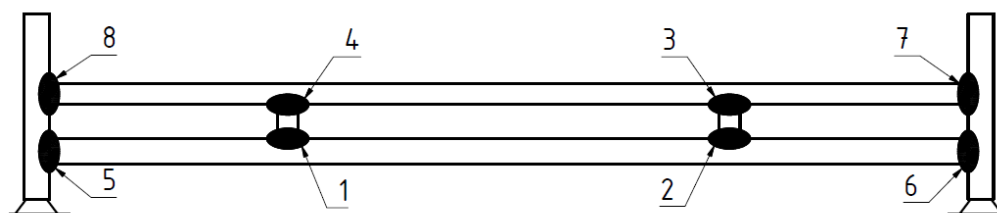
V této poloze budou provedeny svary podle obrázku, a to postupně od čísla 1 až do čísla 12. Uspořádání těchto svarů na obrázku opisuje pomyslnou spirálu, pomocí které je vyvinuta snaha o postupné odvádění tepla ze svařovacího procesu ve směru od středu ke krajním částem svařence. Myšlenka pohybu po spirále při přechodu od svaru ke svaru je založena na zkušenosti se svařováním obdobných konstrukcí.



Obr. 9.4 - První svařovací poloha (pohled shora)

### 9.2.2. Druhá svařovací poloha

Následuje přetočení přípravku do další polohy. Druhá poloha je na Obr. 9.5.

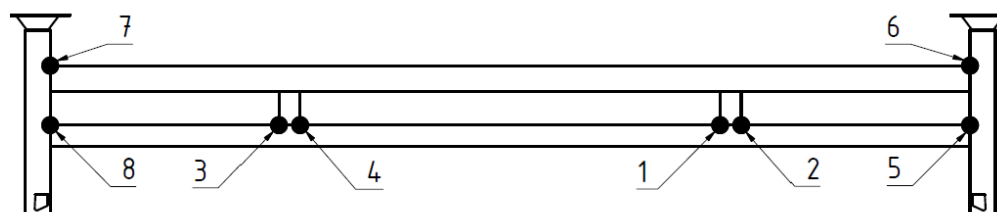


Obr. 9.5 - Druhá svařovací poloha (pohled shora)

Jako i v předcházející poloze, doporučené svařování probíhá postupně po (viz obrázek) očíslovaných svarech. Uspořádání opět znázorňuje pomyslnou spirálu ve snaze odvádět teplo ze středu směrem ven.

### 9.2.3. Třetí svařovací poloha

Další změna orientace přípravku umožní svařování dalších svarů. Třetí poloha je na Obr. 9.6.

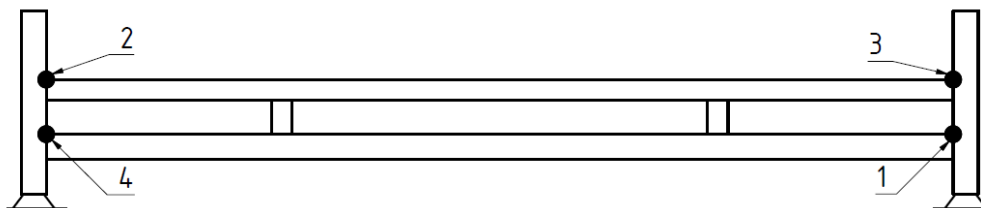


Obr. 9.6 - Třetí svařovací poloha (pohled zepředu)

Tentokrát je pro znázornění použit jiný pohled, takže zobrazené svary jsou orientovány směrem do hloubky obrázku. Postup je stejný jako v předchozích příkladech, svařování postupně dle očíslování svarů. Myšlenka odvedení tepla pomocí pomyslné spirály je opět aplikována.

### 9.2.4. Čtvrtá svařovací poloha

Čtvrtá změna orientace přípravku vůči podlaze. Čtvrtá poloha je na Obr. 9.7.

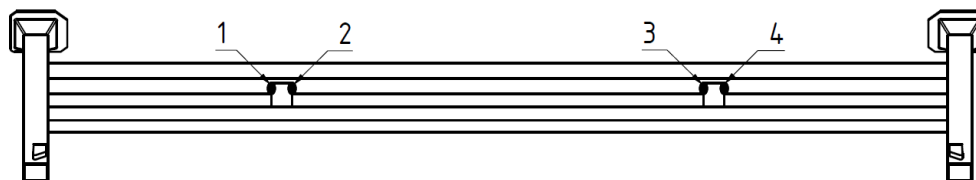


Obr. 9.7 - Čtvrtá svařovací poloha (pohled zepředu)

Postup svařování stejný jako v předchozích polohách. Tentokrát zvolen postup svařování křížem.

### 9.2.5. Pátá svařovací poloha

Poslední poloha pro svařování je poloha pátá na Obr. 9.8.

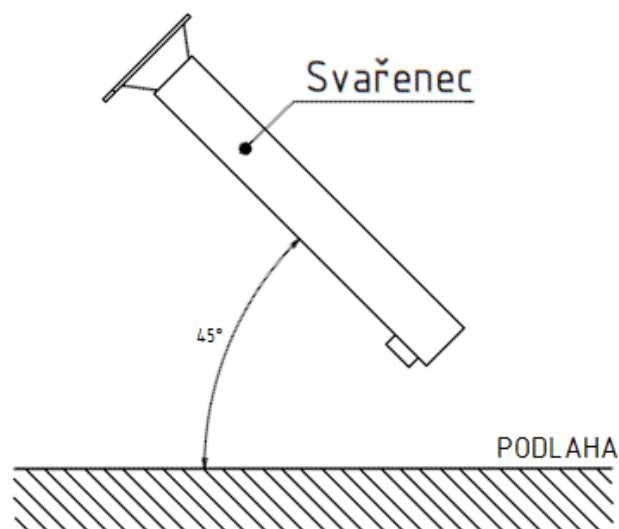


Obr. 9.8 - Pátá svařovací poloha (pohled shora)

Jediná poloha, ve které se nesvařuje v polohách vhodných pro svařování, což je dáno konstrukčními prvky snižujícími průhyby přípravku, které znemožňují přístup ke těmto svarům ve čtvrté svařovací poloze.

### 9.2.6. Poloha výměny stanovišť

Poloha, kterou je potřeba zaujmout před výměnou stanovišť, je na Obr. 9.9.



Obr. 9.9 - Poloha pro výměnu stanovišť

Konstrukční myšlenka pohonu polohování ve vybraném polohovadle je důvodem, proč musí být v postupu svařování zařazena poloha, která umožní operátorovi na druhé straně polohovadla zakládání a vyjímání svařence. Důvod je ten, že polohování je kvůli jednomotorovému řízení možné jen na stanovišti určeném pro svařování. Operátor na druhém stanovišti nemá možnost přípravkem otočit, nemohl by tak nejenom vyjmout hotový svařenec, ale ani založit dílce nového.

### 9.3. Časová náročnost výroby

Na konec této kapitoly by bylo vhodné uvést odhad doby výroby svařence na tomto přípravku. Bude řešena doba, která se bude uvažovat od začátku zakládání až po opětovné připravení přípravku na založení dalších dílců dalšího svařence. Tudiž zahrnuje zakládání, upínání, první výměnu stanovišť, celé svařování, druhou výměnu stanovišť, vyjmutí svařence a přípravu přípravku na další výrobní cyklus.

V tabulce 9.2 jsou vypsány uvažované časy, které jsou z části založeny na odhadu situace a z části dány různými známými faktory. Je nutno zdůraznit, že výsledný čas je jen odhad, který je závislý na lidském faktoru výroby.

Operace	Značení	Čas [s]	Popis
Zakládání dílců	$t_d$	20	Odhad; menší dílce mohou trvat kratší dobu
Upnutí upínky	$t_u$	3	Odhad
Výměna stanovišť	$t_v$	4	Dáno v tabulce 7.10
Otočení h. osy o 45°	$t_{45^\circ}$	0,5	Dáno tabulkou 7.10, zrychlení zanedbáno
Svařování 1 mm délky	$t_{s1mm}$	0,2	Údaje různých výrobců, brána nižší sazba
Přesun mezi svary	$t_p$	10	Odhad; některé přesuny méně náročné
Odepnutí upínky	$t_o$	3	Odhad
Vyjmutí upínek 10, 12	$t_{v10,12}$	15	Odhad; čas na jednu upínku
Vyjmutí svařence	$t_{vs}$	30	Odhad; vyšší hmotnost, použití jeřábu
Ustavení upínek 10, 12	$t_{u10,12}$	15	Odhad; čas na jednu upínku

Tabulka 9.2 - Časové odhady jednotlivých operací

Výpočet bude rozdělen na dobu zakládání s vyjímáním a dobu svařování. Do každé uvažované doby bude zavedena časová rezerva, která může kompenzovat nepředpokládané vlivy. Tyto vlivy mohou být například: nepřesnost polohování, pokud by bylo realizováno pedály a další.

Doba zakládání a vyjímání. Bude zde uvažována jedna výměna stanoviště, celkem 8 zakládaných dílců, upínání a odepínání 16 upínek. Vyjmutí a opětovné ustavení upínek 10 a 12 a vyjmutí svařence. Časová rezerva  $t_{r1} = 120$  s.

$$\begin{aligned}
 T_{zak.a.vyj.} &= 8 \cdot t_d + 16 \cdot (t_u + t_o) + 2 \cdot (t_{v10,12} + t_{u10,12}) + t_{vs} + \\
 t_v + t_{r1} &= 8 \cdot 20 + 16 \cdot (3 + 3) + 2 \cdot (15 + 15) + 30 + 4 + 120 \\
 &= 470 \text{ s} = \mathbf{7 \text{ minut } 50 \text{ sekund}}
 \end{aligned}
 \tag{9.1}$$

Doba svařování je dána celkem 6 změnami polohy, které jsou v součtu o 810°, neboli 18x45°. Přesuny k jednotlivým svarům proběhnou ve 36 případech, svařování bude probíhat v celkové délce 1618 mm a nakonec proběhne výměna stanovišť. Časová rezerva  $t_{r2} = 180$  s.



$$\begin{aligned} T_{\text{svařování}} &= 18 \cdot t_{45^\circ} + 36 \cdot t_p + 1618 \cdot t_{s1mm} + t_{r2} \\ &= 18 \cdot 0,5 + 36 \cdot 10 + 1618 \cdot 0,2 + 180 \\ &= 872,6 \text{ s} = \mathbf{14 \text{ minut } 32,6 \text{ sekund}} \end{aligned} \quad (9.2)$$

Obě operace (zakládání s vyjímáním a svařování) probíhají současně, ale jedna z operací musí čekat na dokončení operace trvající déle. V tomto případě svařování dosahuje téměř dvojnásobku doby zakládání s vyjímáním. Proto je konečná doba pro výrobu dána vztahem:

$$\begin{aligned} T_{\text{celkem}} &= 2 \cdot T_{\text{svařování}} = 2 \cdot 872,6 \\ &= 1745,2 \text{ s} = \mathbf{29 \text{ minut } 5,2 \text{ sekund}} \end{aligned} \quad (9.3)$$

Je nutno podotknout, že po každé výměně stanovišť vystupuje z přípravku jeden hotový svařenec. Tedy celková doba výroby jednoho svařence je rovna  $T_{\text{celkem}}$ , ale díky současné práci obou stanovišť je produkován nový kus za dobu rovnou  $T_{\text{svařování}}$ . Tím se velmi snižuje doba výroby a ukazuje se výhoda polohovadel s více stanovišti. Pokud by byla výroba prováděna na polohovadle s jedním stanovištěm, byl by čas, za který opustí polohovadlo nový kus, delší přesně o  $T_{\text{zak.a vyj.}}$ . To představuje 35 procent úspory času na produkci jednoho kusu. A navíc na stanovišti, starající se o zakládání dílců a vyjímání svařence, zbývá čas na správné uskladnění hotových svařenců a popřípadě i na výkrese předepsaného zabroušení svarů.

## 10. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout svařovací přípravek pro svařenec podélníku skladovací palety. Podélník byl zadán výkresem. Dále bylo požadováno konstrukční zajištění otáčení kolem horizontální osy a provedení všech svarů v rámci jednoho upnutí. Samozřejmě bylo požadováno, aby svařovací přípravek splňoval všechny obecné nároky kladené na tento typ zařízení. Počet vyráběných kusů byl specifikován na 700 ks/rok.

V první části práce byla řešena rešerše problematiky svařovacích přípravků. Nejdříve byly probrány základní konstrukce svařovacích přípravků, které jsou jednocelové a stavebnicové, a následně obecné základní požadavky na funkčnost jejich konstrukce. Dále byly popsány nejběžnější způsoby upínání hlavně z hlediska aktuální nabídky prodávaných dílů, neboť nebylo předpokládáno, že by pro daný typ svařence bylo nutné konstruovat vlastní upínací zařízení. Též byly probrány dorazové prostředky, kterých je možno využít pro správné určení rozměrů svařence. Nakonec byly, vzhledem k požadavku na polohování přípravku, zmíněny možnosti polohování. Nejdříve obecně pomocí otočných stolů a poté i na tuto problematiku více zaměřenými polohovadly, které se jako polohovací zařízení používají jak ve svařovacích, tak i v montážních disciplínách.

Následující kapitola obsahuje rozbor vlastního konstrukčního řešení, které je hlavním předmětem této práce. Nejdříve je řešena úvaha jakým způsobem bude probíhat svařování podélníku, tato otázka nebyla pro konstrukci samotnou zanedbatelná, neboť rozměrové rozdíly automatických a ručních svařovacích nástrojů jsou značné. Tato část pokračuje návrhem celkem tří možných variant, které již přihlíží ke zvolenému ručnímu svařování. Varianty se lišily výhradně v provedení rámu. Zvolená varianta byla následně rozpracována a její konstrukční uzly detailněji popsány. Za zmínku stojí i provedení numerické analýzy průhybu rámu pomocí výpočetního programu ABAQUS na zjednodušeném modelu rámu přípravku. Protože nebylo zadavatelem určeno konkrétní polohovací zařízení, následoval výběr vhodného zařízení tak, aby splňovalo podmínku horizontálního otáčení a rozměrově se co nejvíce blížilo navrhované délce a rozměrům přípravku.

Výpočtová část se mimo jiné zabývala průhybem rámu, konkrétně jeho analytickým výpočtem, a tím ověřila výsledky numerické analýzy provedené v rámci optimalizace konstrukce. Dalším řešeným parametrem bylo zatížení pohonného ústrojí polohovacího zařízení. Určen byl statický moment, který klade přípravek v klidových stavech. A i rozběhový moment, který je způsobován dynamickou změnou rychlosti otáčení, při rozjezdech polohovadla, kdy přípravek mění svou úhlovou orientaci vůči zemi. Všechny výsledné hodnoty byly v rámci dovolených mezí.

Poslední část této práce se zabývala vhodným a doporučeným používáním navrženého svařovacího přípravku. Obsahuje technologický postup zakládání a vyjímání dílců svařence, stejně tak jako uvedení přípravku do výchozího stavu pro možnost jeho opětovného použití. Je zde i nastíněn postup svařování, který je založen na zkušenostech v oboru svařování. Jedním z hlavních důvodů pro výrobu svařovacího přípravku je, krom usnadnění ustavování dílců pro dodržení rozměrů, i snížení vedlejších časů výroby. Proto je zde zmíněn i přibližný čas, za který lze svařenec v přípravku, upnutým do polohovacího zařízení, vyrobit.

# Seznamy

## Seznam použité literatury

- [1] VODĚRA, Jaroslav. Svařovací přípravky pro všeobecné strojírenství. První. Praha: SNTL, 1963.
- [2] BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-857-7172-1.
- [3] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT. 1. vydání. Česká Třebová: DOM-ZO 13, s.r.o., 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [4] Karsit Příbram [online]. b.r. [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <http://strojni-konstrukce.cz/unnamed/reference/karsit-pribram>
- [5] Kipp [online]. 2016 [cit. 2017-10-23]. Dostupné z: [www.kipp.cz/xs\\_db/DOKUMENT\\_DB/www/KIPP/BEDIENTEILE/Kataloge/Bedienteile\\_Katalog\\_2016/cz/KIPP\\_Bedienteile\\_2016\\_cz.pdf](http://www.kipp.cz/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP/BEDIENTEILE/Kataloge/Bedienteile_Katalog_2016/cz/KIPP_Bedienteile_2016_cz.pdf)
- [6] SIEGMUND [online]. 2014 [cit. 2017-10-23]. Dostupné z: [https://www.jcmetal.cz/Katalog\\_2014\\_CZ.pdf](https://www.jcmetal.cz/Katalog_2014_CZ.pdf)
- [7] Katalog upínací techniky [online]. 2017 [cit. 2017-10-23]. Dostupné z: [www.jcmetal.cz/download/jc-metal-ekatalog.pdf](http://www.jcmetal.cz/download/jc-metal-ekatalog.pdf)
- [8] BRAUER®: CLAMPING PRODUCTS [online]. b.r. [cit. 2017-10-23]. Dostupné z: [https://www.brauer.co.uk/files/downloads/24\\_clamps%20catalogue%20-%20english.pdf](https://www.brauer.co.uk/files/downloads/24_clamps%20catalogue%20-%20english.pdf)
- [9] DVOŘÁK, Luděk. Otočné stoly. MM Průmyslové spektrum. 2010, (4), 44. ISSN 1212-2572.
- [10] Princip přímého pohonu momentovým motorem [online]. b.r. [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: <http://www.etel.ch/cz/momentove-motory/princip/>
- [11] Výhoda přímého pohonu momentovým motorem [online]. b.r. [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: <http://www.etel.ch/cz/momentove-motory/primy-pohon/>
- [12] UZIMEX ... Stoly TXE, TXI - Jednoosé s otočným pohybem - Sopap [online]. b.r. [cit. 2017-10-29].
- [13] ENDLER, Patrik. Aplikace vačkových mechanismů. Technika a trh. 2009, 17(9), 116-117.
- [14] WEISS: Product Range [online]. 2017 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: [http://www.weiss-gmbh.de/Downloads.2288.0.html?&no\\_cache=1&L=1&tx\\_abdownloads\\_pi1%5Baction%5D=ge tviewcategory&tx\\_abdownloads\\_pi1%5Bcategory\\_uid%5D=183&tx\\_abdownloads\\_pi1%5Bcid %5D=20434&cHash=0948b3ad759adc60de0df774899f24c6](http://www.weiss-gmbh.de/Downloads.2288.0.html?&no_cache=1&L=1&tx_abdownloads_pi1%5Baction%5D=ge tviewcategory&tx_abdownloads_pi1%5Bcategory_uid%5D=183&tx_abdownloads_pi1%5Bcid %5D=20434&cHash=0948b3ad759adc60de0df774899f24c6)
- [15] ČSN EN ISO 6947. Svařování – Pracovní polohy – Definice úhlů sklonu a otočení. 2011.
- [16] HADYNA: Robotizace svařování kovů [online]. b.r. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: [file:///E:/STA%C5%BDEN%C3%89%20WEB/Robotizace\\_ARC.Welding\\_CZ.pdf](file:///E:/STA%C5%BDEN%C3%89%20WEB/Robotizace_ARC.Welding_CZ.pdf)
- [17] ABB Arc Welding Products: New Generation Positioners [online]. b.r. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A0670&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [18] RM2...STN: One axis positioner 2-station [online]. 2007 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: [http://www.motoman.cz/index.php?eID=tx\\_nawsecuredl&u=0&file=uploads/tx\\_catalogpositioner/RM2\\_\\_STN\\_\\_EN\\_01.pdf&t=1527782145&hash=caa9c7340511885506eeaacbf7720eaa7b79aeb](http://www.motoman.cz/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads/tx_catalogpositioner/RM2__STN__EN_01.pdf&t=1527782145&hash=caa9c7340511885506eeaacbf7720eaa7b79aeb)

## Seznam obrázků

Obr. 3.1 – Jednoučelový svařovací přípravek [4] .....	14
Obr. 3.2 - Stavebnicové svařovací přípravky; svařence označeny červenou konturou [3] .....	14
Obr. 4.1 – Upínky [5] .....	16
Obr. 4.2 - Svařovací svěrky [1] .....	17
Obr. 4.3 - Svařovací svěrky do stavebnicového systému [6] .....	17
Obr. 4.4 - Úhlová svěrka [3] .....	17
Obr. 4.5 - Rychloupínky (zleva: svislá, vodorovná, přímá a háková) [5] .....	18
Obr. 4.6 - Upínka v otevřené poloze [7] .....	18
Obr. 4.7 - Upínka v nulové poloze [7] .....	18
Obr. 4.8 - Upínka v mrtvém bodě [7] .....	18
Obr. 4.9 - Rychloupínka ovládaná pneumaticky [8] .....	19
Obr. 5.1 - Zleva: Zarážka, Čepový doraz, Nastavitelný šroubový doraz [3] .....	20
Obr. 5.2 - Dorazy stavebnicových systémů: a) Excentrický doraz, b) Univerzální doraz, c) Dorazový úhelník [6] .....	20
Obr. 6.1 - Otočný stůl s přímým pohonem [11] .....	21
Obr. 6.2 - Schéma vnitřního uspořádání přímého pohonu; a) Chladicí oběh, b) Rotor, c) Permanentní magnety, d) Statorové vinutí, e) Vstup a výstup silových kabelů, f) Rám statoru, g) O-kroužky [10] .....	22
Obr. 6.3 - Převod čelním soukolím u otočného stolu [12] .....	22
Obr. 6.4 - Převod vačkou s pevným počtem poloh včetně popisu [13] .....	22
Obr. 6.5 - Jedna z variant vačkového mechanismu otočného stolu s pevným počtem poloh [14] .....	23
Obr. 6.6 - Hlavní polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947; šedou barvou je vyznačena oblast PA až PB [15] .....	24
Obr. 6.7 - Princip funkce kladkového polohovadla; 1 - Kladky, 2 - Svařenec [3] .....	24
Obr. 6.8 - Hnaná dvojice kladek s ovládacím pedálem [3] .....	25
Obr. 6.9 - Stolové polohovadlo [3] .....	25
Obr. 6.10 - Kolébkové polohovadlo [3] .....	25
Obr. 6.11 - Čepové polohovadlo [16] .....	26
Obr. 6.12 - Polohovadla s jedním stanovištěm [16] .....	26
Obr. 6.13 - Čepové polohovadlo s bezpečnostní zástěnou a dvěma stanovišti [17] .....	27
Obr. 6.14 - Kolébkové polohovadlo s bezpečnostní zástěnou a dvěma stanovišti [17] .....	27
Obr. 7.1 - Svařenec podélníku .....	28
Obr. 7.2 - Kritická místa; a) 1. kritické místo, b) 2. kritické místo .....	29
Obr. 7.3 - První varianta řešení včetně založeného svařence .....	30
Obr. 7.4 - Rám první varianty řešení .....	30
Obr. 7.5 - Druhá varianta řešení včetně založeného svařence .....	31
Obr. 7.6 - Rám druhé varianty řešení .....	31
Obr. 7.7 - Třetí varianta řešení včetně založeného svařence .....	32
Obr. 7.8 - Rám třetí varianty řešení .....	32
Obr. 7.9 - Schéma výpočtového modelu pro numerickou analýzu průběhu .....	33
Obr. 7.10 - První návrh rámu; průhyb ve směru osy $y$ při plném zatížení; legenda v mm .....	34
Obr. 7.11 - Druhý návrh rámu; průhyb ve směru osy $y$ při plném zatížení; legenda v mm .....	34
Obr. 7.12 - Výztuha přidaná ve třetím návrhu do prostoru 2. kritického místa .....	35
Obr. 7.13 - Třetí návrh rámu; průhyb ve směru osy $y$ při plném zatížení; legenda v mm .....	35

Obr. 7.14 - Třetí návrh rámu; průhyb ve směru osy $x$ při plném zatížení; legenda v mm .....	35
Obr. 7.15 - Deska přidaná ve čtvrtém návrhu rámu.....	36
Obr. 7.16 - Čtvrtý návrh rámu; průhyb ve směru osy $y$ při plném zatížení; legenda v mm .....	36
Obr. 7.17 - Čtvrtý návrh rámu; průhyb ve směru osy $x$ při plném zatížení; legenda v mm .....	36
Obr. 7.18 - Konstrukce nosného rámu .....	37
Obr. 7.19 - Svařovací přípravek .....	38
Obr. 7.20 - Upínací uzel pravé opěrné nohy; a) Pohled shora, b) IZO-pohled, c) Detail příločky, d) Doraz stojky nohy .....	39
Obr. 7.21 - Upínací uzel pravé opěrné nohy; a) Pohled shora, b) IZO-pohled, c) Detail příločky, d) Doraz stojky nohy .....	39
Obr. 7.22 - Upínací uzel příček; a) Pohled shora, b) IZO-pohled .....	40
Obr. 7.23 - Upínací uzel rozpěry příček; a) Pohled shora, b) první IZO-pohled, c) Druhý IZO-pohled .....	41
Obr. 7.24 - Polohovadlo YASKAWA RM2-250 STN [18].....	41
Obr. 8.1 - Schéma náhradového nosníku.....	43
Obr. 8.2 - První průřez (oblasti I, VIII a IX) .....	44
Obr. 8.3 - Druhý průřez (oblasti II a VII) .....	44
Obr. 8.4 - Třetí průřez (oblasti III a VI).....	45
Obr. 8.5 - Čtvrtý průřez (oblasti IV a V) .....	45
Obr. 8.6 - Zavedení jednotkového momentu na konci nosníku .....	47
Obr. 8.7 - Zavedení jednotkové síly na konec nosníku.....	48
Obr. 8.8 - Střed těžiště přípravku včetně založeného svařence .....	50
Obr. 9.1 - Poloha přípravku pro zakládání, upínání a vyjímání .....	52
Obr. 9.2 - Označení dílců svařence (a až h) a upínek (1 až 16).....	53
Obr. 9.3 - Doporučené polohy přípravku pro svařování; a) První poloha, b) Druhá poloha, c) Třetí poloha, d) Čtvrtá poloha, e) Pátá poloha .....	53
Obr. 9.4 - První svařovací poloha (pohled shora).....	54
Obr. 9.5 - Druhá svařovací poloha (pohled shora) .....	54
Obr. 9.6 - Třetí svařovací poloha (pohled zepředu).....	54
Obr. 9.7 - Čtvrtá svařovací poloha (pohled zepředu).....	55
Obr. 9.8 - Pátá svařovací poloha (pohled shora).....	55
Obr. 9.9 - Poloha pro výměnu stanovišť.....	55

## Seznam tabulek

Tabulka 7.1 – Materiály jednotlivých dílců svařence podélníku .....	28
Tabulka 7.2 - Rozpis barevného označení .....	37
Tabulka 7.3 - Upínky uzlu pravé nohy .....	38
Tabulka 7.4 - Upínky uzlu levé nohy .....	39
Tabulka 7.5 - Upínky uzlu příček .....	40
Tabulka 7.6 - Upínky uzlu rozpěry příček .....	40
Tabulka 7.7 - Rozměry polohovadla [18] .....	41
Tabulka 7.8 - Funkční parametry polohovadla [18] .....	42
Tabulka 8.1 - Parametry náhradového nosníku .....	43
Tabulka 9.1 - Postup zakládání dílců a jejich upínání .....	52
Tabulka 9.2 - Časové odhady jednotlivých operací .....	56

## Seznam příloh

### Výkresová dokumentace

SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK	Sestava	BP-0230-000
SVAŘENEC NOSNÉHO RÁMU	Svařenec	BP-0230-100
VÝZTUHA	Svařenec	BP-0230-100.1
DORAZ 60x60	Svařenec	BP-0230-200
DORAZ 60x60 NA UPÍNKU	Svařenec	BP-0230-300
DORAZ 30x40	Svařenec	BP-0230-400
UPÍNACÍ TYČ	Svařenec	BP-0230-500
UPÍNACÍ TYČ KRÁTKÁ	Svařenec	BP-0230-600
NOSNÝ RÁM	Výrobní výkres	BP-0230-001
UPÍNACÍ L1	Výrobní výkres	BP-0230-002
UPÍNACÍ L2	Výrobní výkres	BP-0230-003
UPÍNACÍ PLECH 1	Výrobní výkres	BP-0230-004
UPÍNACÍ PLECH 2	Výrobní výkres	BP-0230-005
DORAZ LEVÉ NOHY	Výrobní výkres	BP-0230-006
DORAZ PRAVÉ NOHY	Výrobní výkres	BP-0230-007
KONZOLA	Výrobní výkres	BP-0230-008
VYMEZOVACÍ KÁMEN	Výrobní výkres	BP-0230-009
POSUVNÝ DORAZ NOHY	Výrobní výkres	BP-0230-010
PŘÍLOŽKA KAMENE PRAVÁ	Výrobní výkres	BP-0230-011
PŘÍLOŽKA KAMENE LEVÁ	Výrobní výkres	BP-0230-012
DISTANČNÍ KVÁDR	Výrobní výkres	BP-0230-013
UPÍNACÍ VIDLICE	Výrobní výkres	BP-0230-101
ŽEBRO T6	Výrobní výkres	BP-0230-102
ŽEBRO T4	Výrobní výkres	BP-0230-103
PŘÍRUBA	Výrobní výkres	BP-0230-104
SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK (list 1)	Kusovník	BP-0230-000-K
SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK (list 2)	Kusovník	BP-0230-000-K
SVAŘENEC NOSNÉHO RÁMU	Kusovník	BP-0230-100-K
VÝZTUHA	Kusovník	BP-0230-100.1-K
DORAZ 60x60	Kusovník	BP-0230-200-K
DORAZ 60x60 NA UPÍNKU	Kusovník	BP-0230-300-K
DORAZ 30x40	Kusovník	BP-0230-400-K
UPÍNACÍ TYČ	Kusovník	BP-0230-500-K
UPÍNACÍ TYČ KRÁTKÁ	Kusovník	BP-0230-600-K

### Elektronické přílohy (CD):

Textová část – BP-0230.pdf

Výkresová dokumentace (.pdf)

Model přípravku (3D) – BP-0230-000.stp