



**FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI**

Studijní program: Konstruování strojů a technických zařízení

Číslo studijního programu: N0715A270017

Studijní specializace: Konstruování výrobních strojů a zařízení

JEDNOÚČELOVÉ POLOHOVADLO PRO SVAŘOVÁNÍ OCELOVÝCH SVAŘENCŮ

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Kateřina Chlapcová

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

Plzeň 2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina CHLAPCOVÁ**
Osobní číslo: **S22N0044K**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**
Téma práce: **Jednouúčelové polohovadlo pro svařování ocelových svařenců**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je navrhnout jednouúčelové polohovadlo pro variabilní svařence boku. Polohovadlo musí zajistit upevnění svarku a být otočné ve dvou osách. Polohovadlo musí být vyrobitelné v režii zadavatele.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova práce:

1. Popis výchozí situace a řešení na dané téma.
2. Návrh variantních řešení a výběr optimálního.
3. Vypracování konstrukčního řešení včetně potřebných výpočtů.
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace.

Konzultant: Jiří Budka – Pekstra s.r.o.

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, Stanislav a KRÁTKÝ, Jaroslav. Příručka strojního inženýra: obecné strojní části. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3 Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Ing. Zdeněk Chval, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval/a samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v Seznamu použitých zdrojů, který je součástí této práce a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Plzni dne:

podpis autora

Poděkování

Tímto bych srdečně chtěla poděkovat mému vedoucímu práce doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D., za jeho vstřícný a laskavý přístup při tvorbě diplomové práce a pomoci při problémech. Poděkování také patří mému konzultantovi Jiřímu Budkovi z firmy PEKSTRA, který si na mě vždy našel čas a ochotně mi pomáhal při řešení návrhu konstrukce.

V neposlední řadě bych chtěla věnovat velké díky i mé rodině a nejbližším za jejich neustálou podporu během celého mého studia a psychickou podporu, která mě držela nad vodou i v těch nejtěžších chvílích.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh jednoúčelového polohovadla pro zlepšení procesu svařování daných svařenců. První část hodnotí původní pracovní stůl a navržené varianty řešení. Vybrané řešení polohovadla je zpracováno do koncepčního návrhu a jsou provedeny potřebné návrhové výpočty. Dle zjištěných a navržených strojních součástí je zpracován kompletní model polohovadla, který je následně podroben simulacím zatěžování v několika polohách. Tyto simulace jsou v poslední části vyhodnoceny a celá práce je doplněna výkresem celkové sestavy polohovadla s kusovníkem a výrobním výkresem svařence stolu.

Klíčová slova

mechanizace, polohovadlo, balkon, efektivita, polohy svařování, upínka, doraz, šneková převodovka, svařenec

Abstract

This thesis focuses on the design of a single-purpose positioner for improving the welding process of the given weldments. The first part evaluates the original workbench and proposed solutions. The selected positioner solution is processed into a conceptual design and the necessary design calculations are performed. According to the designed machine components, a complete model of the positioner is processed. It is then subjected to load simulations in several positions. These simulations are evaluated in the last part, and the entire work is completed by a drawing of the overall assembly of the positioner with a parts list and a production drawing of the welded table.

Key words

mechanization, positioner, balcony, efficiency, welding positions, clamp, stop, worm gear, weldment

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	16
2	Představení firmy.....	17
3	Mechanizace, automatizace a robotizace.....	18
3.1	Mechanizace ve svařování.....	18
3.2	Polohovadla.....	18
3.3	Upínací zařízení.....	23
3.3.1	Upínky.....	23
3.3.2	Svařovací svěrky.....	23
3.3.3	Svařovací rychloupínky.....	25
3.3.4	Magnetické upínky.....	26
3.3.5	Excentrické mechanismy.....	27
3.4	Dorazové systémy.....	27
4	Praktická část.....	29
4.1	Počáteční stav svařovacího pracoviště.....	29
4.2	Požadavky na polohovadlo.....	30
4.3	Varianty polohovadel.....	33
4.3.1	Varianta 1.....	33
4.3.2	Varianta 2.....	34
4.3.3	Varianta 3.....	35
4.3.4	Vyhodnocení návrhů.....	35
4.4	Návrhové výpočty.....	38
4.4.1	Návrh profilu nosníku v 1. poloze.....	38
4.4.2	Určení napětí v krutu obdélníkového profilu iterační metodou.....	39
4.4.3	Kontrola redukovaného napětí vodorovného nosníku v 1. poloze.....	43
4.4.4	Kontrola napětí vodorovného nosníku v 2. poloze.....	43
4.4.5	Návrh profilu boku nosného rámu.....	44
4.4.6	Návrh ložisek pro svislou osu.....	45
4.4.7	Návrh ložisek pro vodorovnou osu.....	47
4.4.8	Výpočet svaru čepu.....	50
4.4.9	Návrh šnekové převodovky.....	51

4.5	Model polohovadla	52
4.5.1	Model s umístěným svařencem boku	54
4.6	Model pro simulaci zatížení.....	56
4.7	Kontrola napěťových stavů při zatížení metodou MKP.....	61
4.7.1	Simulace napěťových stavů při pracovním zatížení.....	61
4.7.2	Simulace napětí při nahodilém zatížení	66
4.7.3	Shrnutí výsledků ze simulací	67
5	Závěr	68
	Reference.....	69
	Přílohy A.....	73

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ukázka balkónů firmy PEKSTRA, spol. s r.o. [34]	17
Obrázek 2 Polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947 [6]	19
Obrázek 3 Kladkové polohovadlo [8]	20
Obrázek 4 Kolébkové polohovadlo WL-500 firmy yaskawa [9]	20
Obrázek 5 Čepové polohovadlo WH-1000 firmy Yaskawa (jednostranné) [10]	21
Obrázek 6 Graf závislosti maximálního zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti od upínací příruby [10]	21
Obrázek 7 EVP 1500 firmy JC Metal [11]	21
Obrázek 8 MP 1500 firmy JC Metal [12]	22
Obrázek 9 JUCAT HUMMERI 800 firmy JUCAT [13].....	22
Obrázek 10 Upínky firmy Kipp [15]	23
Obrázek 11 Svěrky firmy Makita [16].....	24
Obrázek 12 Svařovací svěrky do stavebnicového systému firmy Siegmund [17]	24
Obrázek 13 Úhlová svěrka [18]	24
Obrázek 14 Úhlová svěrka [19]	25
Obrázek 15 Upínka v otevřené poloze firmy JC-Metal [22]	25
Obrázek 16 Upínka v nulové poloze firmy JC-Metal [22]	26
Obrázek 17 Upínka v poloze za mrtvým bodem firmy JC-Metal [22].....	26
Obrázek 18 Elektromagnetický upínací deska firmy Electrofine [24].....	26
Obrázek 19 Excentrické upínací systémy - vlevo páky, vpravo šrouby [25, 26]	27
Obrázek 20 Dorazy šroubové, kuželové, čepové [27, 28, 29]	27
Obrázek 21 Dorazy do stavebnicových systémů [30, 31, 32].....	28
Obrázek 22 Původní svařovací pracoviště.....	29
Obrázek 23 Svařovací stůl	30
Obrázek 24 Rozložený svařenec balkonu na dílčí části 1-Bok pravý se závěsným otvorem, 2-Bok levý se závěsným otvorem, 3-Podlaha balkonu, uzpůsobena pro hliníkovou podlahu, 4-Zábradlí balkonu, uzpůsobeno pro zasklení nebo osazení lakovaným plechem, 5-Madlo balkonu s vestavěným sušákem prádla)	31
Obrázek 25 Výkres boku balkonu firmy PEKSTRA	32
Obrázek 26 Varianta 1 (1-základní rám, 2-první otočná osa poháněná motorem, 3-vodorovný nosník stolu, 4-stůl pro uchycení polotovaru poháněný motorem)	33
Obrázek 27 Varianta 2 (1-vodorovná osa, 2-uložení vodorovné osy, 3-stůl, 4-uložení stolu)	34

Obrázek 28 Varianta 3 (1-rám, 2-vodorovná osa, 3-stůl)	35
Obrázek 29 Půdorysný pohled vybrané varianty	37
Obrázek 30 Schéma polohovadla se zatížením v 1. poloze	38
Obrázek 31 Zjednodušené zobrazení zatížení v 1. poloze.....	38
Obrázek 32 Průřez dutého obdélníkového profilu.....	40
Obrázek 33 Napětí v přímé části profilu	41
Obrázek 34 Schéma polohovadla se zatížením v 2. poloze	43
Obrázek 35 Zjednodušené zobrazení zatížení v 2. poloze.....	44
Obrázek 36 Zatížení a reakce rámu.....	44
Obrázek 37 Návrh uložení ložisek svislé osy	46
Obrázek 38 Skica svislé osy	47
Obrázek 39 Zvolené ložisko 30206 3DB	47
Obrázek 40 Uložení vodorovné osy do kluzných ložisek	48
Obrázek 41 Kluzné ložisko VK ložiska 3526 COB 01.F [36]	49
Obrázek 42 Svar čepu	50
Obrázek 43 Šneková převodovka CM090010U-28 [38]	51
Obrázek 44 Model polohovadla (1-rám 2-vodorovná osa 3-uložení vodorovné osy 4-pracovní stůl 5-šneková převodovka 6-nožní pedál)	52
Obrázek 45 Mechanismus zajišťující polohu pracovního stolu a uložení pracovního stolu, zajištěná poloha (7-zajišťující kolík, 8-puržina, 9-bovdenové pouzdro s lankem)	53
Obrázek 46 Mechanismus zajišťující polohu pracovního stolu a uložení pracovního stolu, odjištěná poloha (10-díra pro zajišťování stolu, 11-matice s podložkou pro zajištění stolu, 12-KM matice a MB podložka)	53
Obrázek 47 Polohovadlo se zajištěným svařencem (1-L dorazy, 2-upínky).....	54
Obrázek 48 Upínací příložky firmy KIPP	55
Obrázek 49 Uchycení profilu balkonu (1-profil balkonu, 2-upínka, 3-L doraz, 4-zajišťující kameny, 5-šrouby).....	55
Obrázek 50 Uchycení profilů balkonu (1-přítlačný doraz, 2-nosný profil, 3-profil pro uchycení výplně balkonu).....	56
Obrázek 51 Síťovaný model polohovadla.....	57
Obrázek 52 Spojení prvků přes Propojení 1D do těžiště břemene (nahore), detail spojení v místě kuželíkových ložisek (dole).....	58
Obrázek 53 Zátěžný stav – poloha vodorovná	59

Obrázek 54 Zátěžný stav - poloha 45° od svislice.....	60
Obrázek 55 Zátěžný stav - poloha svislice.....	61
Obrázek 56 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha vodorovná.....	62
Obrázek 57 Posunutí ve svislé ose při zatížení konstrukce, poloha vodorovná.....	63
Obrázek 58 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha 45° od svislice.....	63
Obrázek 59 Posunutí ve svislé ose při zatížení konstrukce, poloha 45° od svislice.....	64
Obrázek 60 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha svisle.....	65
Obrázek 61 Posunutí ve svislé ose při zatížení konstrukce, poloha svisle.....	65
Obrázek 62 Napětí v konstrukci při nahodilém zatížení 1 000 N, poloha 45° od svislice.....	66
Obrázek 63 Posunutí ve svislé ose při nahodilém zatížení 1 000 N, poloha 45° od svislice.....	67
Obrázek 64 Finální model polohovadla s uchyceným bokem balkonu.....	69

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výpis druhů poloh svařování [7]	19
Tabulka 2 Vyhodnocení navrhovatele variant, Kateřina Chlapcová	36
Tabulka 3 Vyhodnocení zástupe firmy PEKSTRA, Jiří Budka	36
Tabulka 4 Vyhodnocení vedoucího práce, doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph. D.	37
Tabulka 5 Zadané hodnoty pro návrh profilu.....	39
Tabulka 6 Zadané hodnoty pro zatížení krutem.....	40
Tabulka 7 Překročené napětí v krutu	42
Tabulka 8 Hodnota pro redukované napětí	43
Tabulka 9 Zadané hodnoty pro rám.....	45
Tabulka 10 Zadané hodnoty pro kuličková ložiska	46
Tabulka 11 Zadané hodnoty pro návrh čepu	48
Tabulka 12 Zadané hodnoty pro otláčení čepu.....	49
Tabulka 13 Zadané hodnoty pro výpočet smyku čepu.....	49
Tabulka 14 Zadané hodnoty pro výpočet svaru čepu	50
Tabulka 15 Hodnoty pro výpočet šnekové převodovky	51
Tabulka 16 Parametry zvolené převodovky [38].....	51

Přehled použitých zkratk a symbolů

KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
WAAM	Wire and Arc Additive Manufacture (Aditivní výroba drátem a obloukem)
MIG	Metal Inert Gas (poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu)
MAG	Metal Active Gas (poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu)
TIG	Tungsten Inert Gas (svařování elektrickým obloukem s netavicí elektrodou v inertním plynu)
PA	Svařovací poloha vodorovná shora
PB	Svařovací poloha vodorovná šikmo shora
σ_{oD}	Dovolené napětí v ohybu
l	Délka nosníku
F	Zatěžující síla
e	Excentricita zatěžující síly
M_o	Ohybový moment
W_o	Modul průřezu v ohybu
W_{os}	Modul průřezu v ohybu skutečné
G	Modul pružnosti ve smyku
v	zkрут
τ_s	Střední dovolené napětí ve smyku
A_s	Obsah plochy středního vlákna profilu
b	Šířka profilu
h	Výška profilu
t	Tloušťka profilu
r_1	Vnitřní zaoblení profilu
r_2	Vnější zaoblení profilu
M_{kDr1}	Zatěžující kroutící moment
M_k	Teoretický kroutící moment
ρ	Obvod středního vlákna
M_{kD}	Střední dovolený kroutící moment
τ_D	Dovolené napětí ve smyku

τ_1	Vnitřní napětí krutu
τ_2	Vnější napětí krutu
$\tau_{(r)}$	Napětí v rozích v krutu
C	Integrační konstanta
τ_{r1}	Napětí v krutu vnitřní
τ_{r2}	Napětí v krutu vnější
τ_{max}	Hypotéza τ_{max} pro houževnatý materiál
σ_{red}	Redukované napětí
M_F	Moment od zatěžující síly
F_a	Reakce v levé vazbě
F_b	Reakce v pravé vazbě
σ_o	Ohybové napětí
F_r	Poloviční zatěžující síla
a	Vzdálenost mezi podpěrami boku rámu
M_{or}	Ohybový moment od síly F_r
W_{or}	Modul průřezu v ohybu od síly F_r
W_{ors}	Modul průřezu v ohybu od síly F_r skutečné
L_{gl}	Geometrická vzdálenost ložisek
L_l	Vzdálenost působíště sil ložisek
$D_{\check{c}}$	Průměr čepu
$l_{\check{c}}$	Délka čepu
τ_{kD}	Dovolené napětí v krutu
τ_k	Napětí v krutu
W_k	Modul průřezu v krutu
W_{kz}	Zvolený modul průřezu v krutu
$D_{\check{c}z}$	Zvolený průměr čepu
$p_{D\check{c}}$	Dovolený tlak čepu
$p_{\check{c}}$	Tlak čepu
$S_{\check{c}}$	Plocha čepu
$\tau_{D\check{c}}$	Dovolené napětí ve smyku pro čep
$S_{\check{c}s}$	Plocha čepu skutečná

τ_{ξ}	Napětí ve smyku pro čep
a	Výška svaru
D_o	Průměr osazení čepu
D_{o2}	Vnější průměr svaru
W_{kr}	Modul průřezu svaru
r	Poloměr čepu
$M_{\check{c}t}$	Moment čepového tření
M_{ξ}	Celkový moment šnekové převodovky

1 Úvod a cíle práce

Trendem doby je zvyšování podílu automatizované a robotizované výroby. Přesto stále velká část výrobních podniků pracuje s nízkým stupněm automatizace, popřípadě mechanizace. To je často způsobeno nedostatkem finančních prostředků, malosériovou výrobou nebo nedostupností kvalifikovaných a schopných pracovníků, především seřizovačů, programátorů a technologů.

Malé firmy se v posledních letech snaží díky dotačním programům a veliké konkurenci svoji výrobu co nejvíce zefektivnit a zavést automatizovanou a robotizovanou výrobu. Tyto změny jsou však náročné časově i peněžně. Proto tyto podniky často využívají provizorní řešení, které je finančně dostupné. Tato řešení si firmy většinou dokážou navrhnout a zrealizovat sami pro svojí danou technologii. Příkladem toho může být jednoúčelové polohovadlo pro svařování ocelových boků balkonů, které bude v této práci řešeno.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a zkonstruovat jednoúčelové polohovadlo pro specifickou oblast svařenců. Tyto svařence tvoří ocelové boky závěsných balkonů z dutých obdélníkových a čtvercových profilů. Polohovadlo musí být jednoduché na ovládání, snadno vyrobitelné v zadavatelské firmě, spolehlivé, přemístitelné, stabilní a bezpečné.

Dílní kroky diplomové práce jsou:

- seznámení s původním způsobem svařování boků,
- koncepční návrh jednoúčelového polohovadla,
- vyhodnocení nejlepší varianty,
- prvotní návrh polohovadla s návrhovými výpočty,
- kontrolní výpočty a dokončení úplného modelu,
- virtuální testování MKP,
- zpracování výrobní dokumentace vybraných dílů a sestav.

2 Představení firmy

Cílem praktické části této diplomové práce bylo zefektivnit a usnadnit práci svářečům firmy PEKSTRA spol. s r.o. Firma se zabývá výrobou závěsných balkonů, samonosných lodžii a jejich příslušenství, jako jsou sušáky na prádlo, stříšky nebo zástěny, pro panelové a bytové domy. Firma působí již 30 let na českém, slovenském ale i evropském trhu. Jejich výroba se pohybuje kolem 1000 balkonů ročně. Mimo jejich hlavní výrobu také nabízejí výrobu ocelových schodišť, zábradlí a zakázkovou výrobu zámečnického charakteru. [33]

Uspadnění a zefektivnění práce svářečů se především má týkat manipulace s profily a následně z nich vytvořenými svařenci balkonových boků při jejich svařování. Boky balkonů se stejnými rozměry a stejným konstrukčním řešením tvoří malosériovou výrobu o velikosti průměrně 40 kusů.



Obrázek 1 Ukázka balkonů firmy PEKSTRA, spol. s r.o. [34]

3 Mechanizace, automatizace a robotizace

Mechanizace je způsob zjednodušení výroby, při němž stroje nahrazují lidskou, fyzicky namáhavou a monotónní práci. Umožňuje zvýšení produktivity jednotlivých výrobních procesů na hranici technologických možností. Výrazným a pokročilejším nástupcem mechanizace je automatizace. Automatizace znamená samočinné řízení a kontrolu určité části pracovního procesu, nebo celého pracovního procesu. Automatizovaná výroba se v dnešní době dokáže samočinně uzpůsobit změně vstupních podmínek v průběhu výroby. [1, 2]

Dalším důležitým pojmem v oblasti zefektivňování výroby je robotizace, kterou lze chápat jako využití robota nebo manipulátoru pro vykonávání technologické činnosti či manipulace, která probíhá dle předem sestaveného programu. Tato činnost robota nebo manipulátoru se opakuje v taktech. [1, 2]

3.1 Mechanizace ve svařování

Svařování, jakožto jedna ze základních výrobních technologií představuje celosvětově přibližně 8% celkové strojírenské výroby. V dnešní době se mezi svařování zahrnuje celá řada speciálních procesů, například svařování tenkých plechů, pozinkovaných plechů, přivařování svorníků, navařování (aditivní technologie - WAAM), laserové svařování a pájení. Velkým trendem je také kombinace aditivních a konvenčních technologií – hybridní technologie. [3]

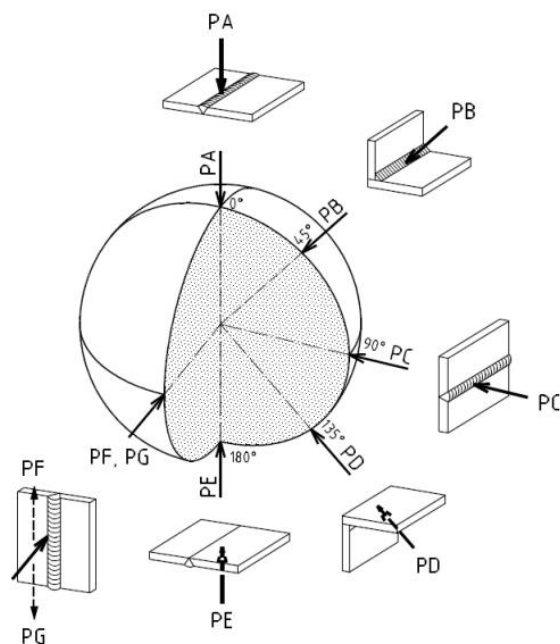
Tyto moderní a atraktivní technologie lze však nalézt pouze v pár procentech firem, které se zabývají svařováním. Většina výrobních firem disponuje standardní technologií MIG/MAG svařování, popřípadě MMA a TIG svařování. S postupným snižováním nákladů na robotizované pracoviště a rovněž snižujícím se počtem dostupných kvalitních svářečů se v posledních letech i malé firmy ubírají směrem robotizace, nebo alespoň mechanizace svých procesů a vynakládají na zefektivnění výroby stále větší náklady.

Za nejjednodušší mechanizaci procesu svařování lze považovat použití jednouúčelového polohovadla, které slouží pouze pro zajištění správné polohy svařence a nastavení různých poloh. Hlavní pracovní pohyb, tedy samotné svařování, musí v tomto případě stále obstarávat svářeč – člověk.

3.2 Polohovadla

Polohovadla jsou jednoduché manipulátory, které slouží k nastavení přesné polohy pro danou operaci. Jejich kinematika obsahuje většinou 2 navzájem kolmé rotační vazby – osy. Pokud je to možné, je pohyb polohovadel synchronizován s pohybem svařovacího robota. Tak lze docílit svařování v jedné ze základních poloh. [1, 4]

Základními polohami jsou označovány polohy 0 až 45 stupňů od svislého svařování, ve všech směrech. Mezi tyto se zahrnuje poloha PA (vodorovná shora) a PB (vodorovná šikmo shora), které jsou zobrazeny na schématu. Poloha PA je určena pro tupé a koutové svary. Poloha PB zase pro svary koutové. [1, 5]



Obrázek 2 Polohy svařování podle ČSN EN ISO 6947 [6]

Tabulka 1 Výpis druhů poloh svařování [7]

Pojmenování	Popis	Symbol
Poloha vodorovná shora	Vodorovný směr svařování, svislá osa svaru, krycí vrstva nahoře	PA
Poloha vodorovná šikmo shora	Vodorovný směr svařování, krycí vrstva směrem šikmo nahoru	PB
Poloha vodorovná	Vodorovný směr svařování, vodorovná osa svaru	PC
Poloha vodorovná šikmo nad hlavou	Vodorovný směr svařování nad hlavou, krycí vrstva směrem šikmo dolů	PD
Poloha vodorovná nad hlavou	Vodorovný směr svařování nad hlavou, krycí vrstva dole, svislá osa svaru	PE
Poloha svislá nahoru	Svislý směr svařování zdola nahoru	PF
Poloha svislá dolů	Svislý směr svařování shora dolů	PG
Svařování nahoru k vrcholu svaru	Směr svařování nahoru pod úhlem 45°	H-L045
Svařování od vrcholu svaru dolů	Směr svařování dolů pod úhlem 60°	J-L060

Svařence jsou vyráběny v široké škále tvarů, velikostí i hmotností. Každý svařenec je vhodné svařovat v jiné poloze a jinou technologií, proto existuje velké množství druhů polohovadel. Těmi základními jsou polohovadla kladková, stolová a čepová. [1, 5]

Kladková polohovadla slouží ke svařování rotačních součástí velkých rozměrů a hmotnosti, především trubek a přírub, ve větších sériích. Díky jednoduché a symetrické konstrukci se maximální zatížení těchto polohovadel může vyšplhat až na 20 tun. Skládají se nejméně ze dvou párů kladek. Minimálně jeden pár je vždy hnací. Ukázka kladkového polohovadla je zobrazena na Obrázek 3 Kladkové polohovadlo Obrázek 3. [5]



Obrázek 3 Kladkové polohovadlo [8]

Stolová polohovadla jsou využívána velmi často především kvůli jejich univerzálnosti. Mívají 2 nebo 3 rotační osy. Používají se pro svařování, automatizované i robotizované a samozřejmě i jiné technologie. Konstrukce neumožňuje takové zatížení jako u kladkových polohovadel. Unikátním typem těchto polohovadel je polohovadlo kolébkové, které je vyobrazeno na obrázku. Je tvořeno otočným stolem se svislou osou, který je pomocí ramena o daném poloměru připojen k masivní konstrukci s otočným čepem ve vodorovné ose. Jedná se tedy o kombinaci stolového a čepového polohovadla. [1, 5]

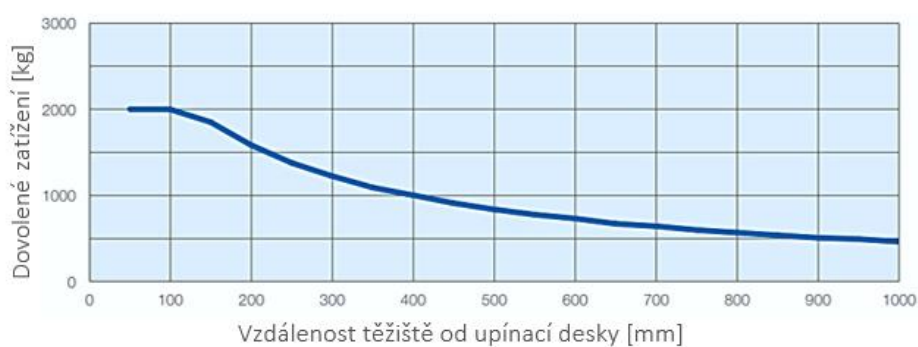


Obrázek 4 Kolébkové polohovadlo WL-500 firmy yaskawa [9]

Čepová polohovadla mají jednu rotační osu, zpravidla vodorovnou. Většinou je na jejich upínací přírubu uchycen svařovací stůl nebo jednoúčelový přípravek, ke kterému se svařenec uchytí pomocí upínek. Jednostranné čepové polohovadlo je vhodné pro svařence menších rozměrů a především hmotnosti. Pro těžší svařence o větších rozměrech (od 500 kg a 1 m) se používají polohovadla oboustranná, která jsou vybavena dvěma upínacími přírubami, mezi které se umísťuje svařovací stůl nebo přípravek. [1, 5]



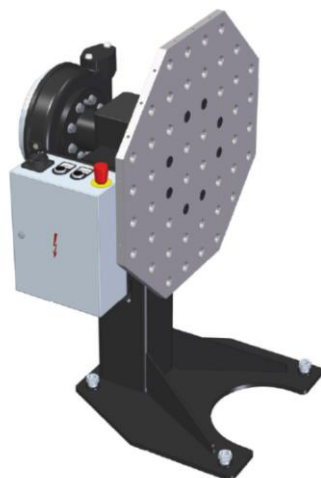
Obrázek 5 Čepové polohovadlo WH-1000 firmy Yaskawa (jednostranné) [10]



Obrázek 6 Graf závislosti maximálního zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti od upínací příruby [10]

Graf znázorňuje maximální závislost zatížení polohovadla WH-1000 na vzdálenosti působíště zatěžující síly od upínací příruby. Tato závislost lze považovat za charakteristiku polohovadla.

Dalším čepovým polohovadlem může být například EPV 1500 - jednostranné motorické polohovadlo s elektrickým pohonem a vertikální upínací deskou od firmy JC Metal. Rotační pohyb polohovadla je zajištěn elektromotorem, který přenáší kroutící moment přes samosvornou převodovku na ložiskovou otoč. [11]



Obrázek 7 EVP 1500 firmy JC Metal [11]

Stejná forma nabízí i dvoučepová polohovadla, kterými jsou MP 1500. Manuální polohovadlo s dvojicí stojanů proti sobě spojené upínací stavebnicovou platformou. Manuální ovládní pomocí ručního kola přenáší kroutící moment přes integrovanou samosvornou šnekovou převodovku na ložiskovou otočnou hřídel. [12]



Obrázek 8 MP 1500 firmy JC Metal [12]

V předchozích odstavcích byly ukázány druhy polohovadel využívaných ve výrobách. Jak to ale bývá, dnešní výroba produktů je často dost specifická a z toho důvodu je zapotřebí individuální přístup při její realizaci. Používají se k ní speciální techniky a nástroje. Takovým případem může být například i kombinované čepové polohovadlo se dvěma osami otáčení HUMMERI 8000 od firmy JUCAT. [13]



Obrázek 9 JUCAT HUMMERI 800 firmy JUCAT [13]

3.3 Upínací zařízení

Na dnešním trhu je nabízena celá řada upínacích mechanismů v různém provedení. Mezi prvními používanými upínacími zařízeními byly šroubovací upínky, které jsou univerzální a stále využívané. Ovšem při sériové výrobě je šroubování zdlouhavé, může být vykonávané i strojně, to ale s sebou obnáší vysoké náklady a pokud se bavíme o upínkách při svařování, tak i znečištění činných částí šroubů od rozstříku kovové lázně. [4]

Společností nabízející upínací techniku pro svařování je na trhu několik, mezi ty největší patří JC Metal, Kipp, Siegmund a Brauer.

3.3.1 Upínky

Všeobecně známým upínacím systémem jsou upínky, které se využívají pro upínání součástí všech druhů v řadě strojů.

Jejich využití se objevuje v případech, kde není vhodné aplikovat komplexnější upínací systémy. Tudiž v případě kusové výroby a výroby jednoduchých součástí. Samotné upínání součástí těmito upínkami je časově i fyzicky náročné. Síla sevření upínky je závislá na síle dotažení matice nebo šroubu. K použití upínek je zapotřebí využití upínacího stolu, to ale většinou nebývá problém. [14]



Obrázek 10 Upínky firmy Kipp [15]

3.3.2 Svařovací svěrky

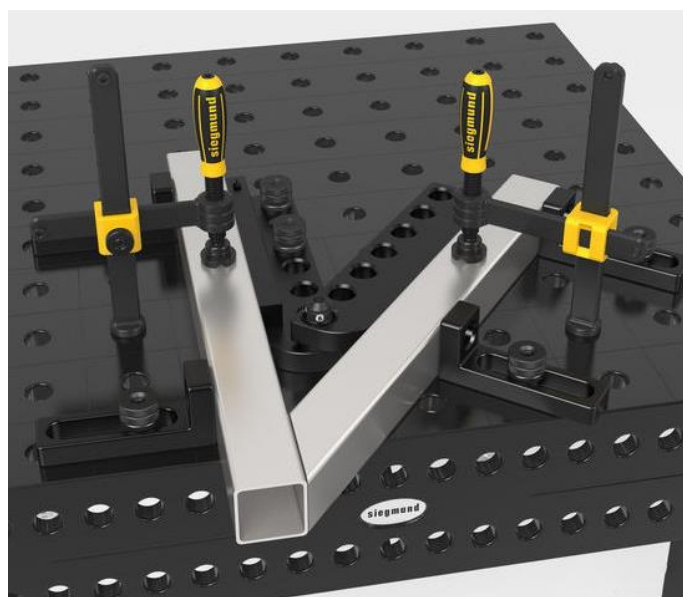
Svařovací svěrky jsou pro svařeče nezbytnou součástí při práci v kusové výrobě. Jsou nejjednodušším upínacím systémem a využívají se i mimo svařování v truhlářství nebo při montážích. [14]

Tyto svěrky jsou velmi cenově dostupné a pro kusovou výrobu snadná volba oproti jiným variantám upínání.



Obrázek 11 Svěrky firmy Makita [16]

Svěrky jsou koncipované i pro stavebnicové systémy, ve kterých je jejich použití velmi snadné a rychlé. Můžou se nastavit jak výškově, tak i úhlově. Úhlové svěrky svou konstrukcí slouží k upnutí součástí, například profilových ráámů, přičemž se svěrka skládá, jak z upínacího mechanismu a současně z tvarovaných dosedacích ploch. [17]



Obrázek 12 Svařovací svěrky do stavebnicového systému firmy Sigmund [17]



Obrázek 13 Úhlová svěrka [18]



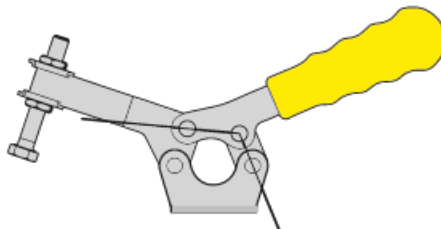
Obrázek 14 Úhlová svěrka [19]

3.3.3 Svařovací rychloupínky

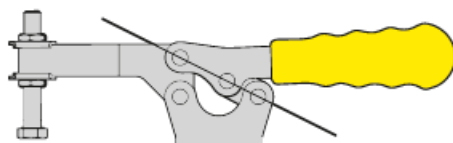
V dnešní době, kdy je zapotřebí vyrábět rychle se využívají přednostně rychloupínky. Díky nim se výroba zrychluje a zefektivňuje, a i přes to není ovlivněna přesnost a bezpečnost práce. Upínací síla vzniká za pomoci kloubového mechanismu s využitím minimální námahy pracovníka nebo v jiných provedení ovládané pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. [4, 14]

Díky jejich rychlému přeupnutí se využívají v řadě výrob. Proto je široká škála druhů rychloupínek pro různé použití na základě jejich polohy. Člení se do rychloupínek vodorovných, svislých, přímých nebo hákových. Dalším dělením při výběru rychloupínek je upínací síla. Pro speciální použití můžeme nalézt například i upínky pro polohování trubek. [14, 20]

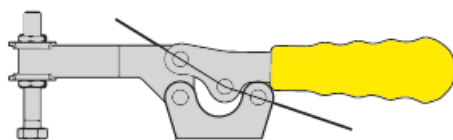
Rychloupínky využívají, jak již bylo zmíněno, kloubového mechanismu. Při upínání je upínka v otevřené poloze, Obrázek 15. V okamžiku upínání se upínka v jeden moment dostane do tzv. nulové polohy, kdy již nastává upínací síla, ale při poklesu ovládací síly se upínka opět otevře, Obrázek 16. Po překonání této polohy se upínka ocitá v poloze za mrtvým bodem, Obrázek 17. V této poloze je upínka samosvorná – materiál je pevně upnut a upínka zůstává zavřená i při poklesu ovládací síly. Pro rozevření upínky stačí menší síly v opačném směru sevření. [21]



Obrázek 15 Upínka v otevřené poloze firmy JC-Metal [22]



Obrázek 16 Upínka v nulové poloze firmy JC-Metal [22]

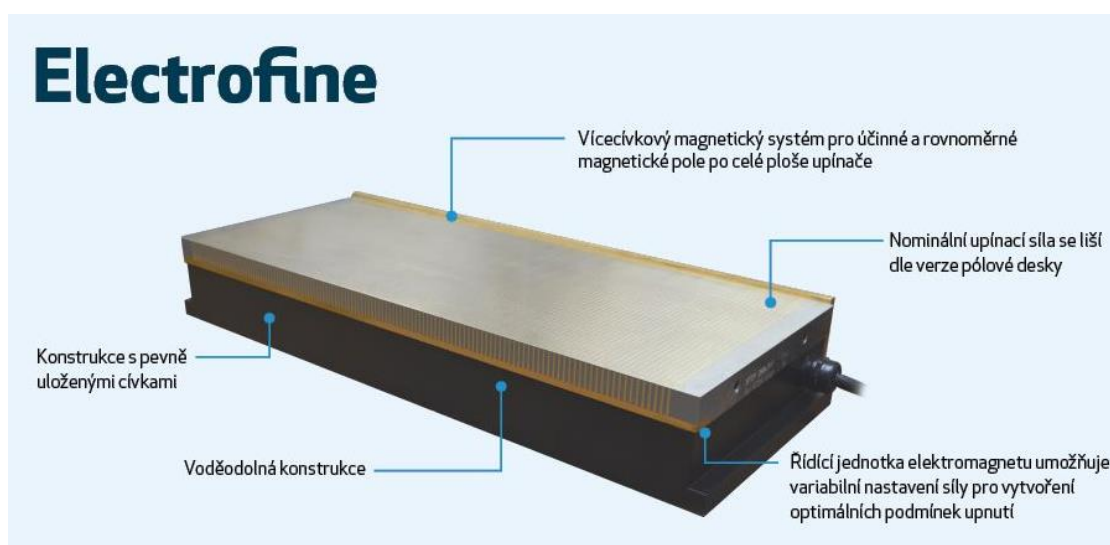


Obrázek 17 Upínka v poloze za mrtvým bodem firmy JC-Metal [22]

3.3.4 Magnetické upínky

Ve strojírenství se využívají i upínky, které využívají magnetické pole pro upínání feromagnetických materiálů. Výhodou magnetického upínače oproti mechanickým, hydraulickým nebo pneumatickým je jeho rychlé, jednoduché ovládání, které zvládne upnout až několik obrobků najednou. Jejich upínací síla je vysoká, musí být ale ovladatelná pro uvolnění, často bývají i regulovatelné.

Existují tři druhy magnetických upínek. Prvním je permanentní magnetický upínač, který obsahuje neodymové magnety. Druhým typem je elektromagnetický upínač. U nich vytvářejí elektromagnetické pole cívky napájené stejnosměrným proudem, které jsou elektromagnetem. Je závislý na vnějším zdroji energie. Třetím typem je elektropermanentní magnetický upínač. Je to kombinace obou výše zmíněných typů. Magnetický obvod tvoří permanentní magnety a soustava cívek, které spolu s řídicí elektronikou zajišťují ovládání. Elektrický proud se využívá pouze k zapnutí a vypnutí upínky. [23]



Obrázek 18 Elektromagnetický upínací deska firmy Electrofine [24]

3.3.5 Excentrické mechanismy

Dalším typem jsou jednoduché excentrické upínky. Jejich princip je založen na vyvození síly pomocí excentrického mechanismu. Konstrukčně se jedná o nejjednodušší upínací pomůcku. Upínky se používají především tam, kde není přístup nebo vhodné podmínky pro upínání z horní části. Excentrické upínky upínají materiál v jejich bocích. [25, 26]

Jsou v různých provedeních, mezi která patří excentrické šrouby, nebo excentrické páky.



Obrázek 19 Excentrické upínací systémy - vlevo páky, vpravo šrouby [25, 26]

3.4 Dorazové systémy

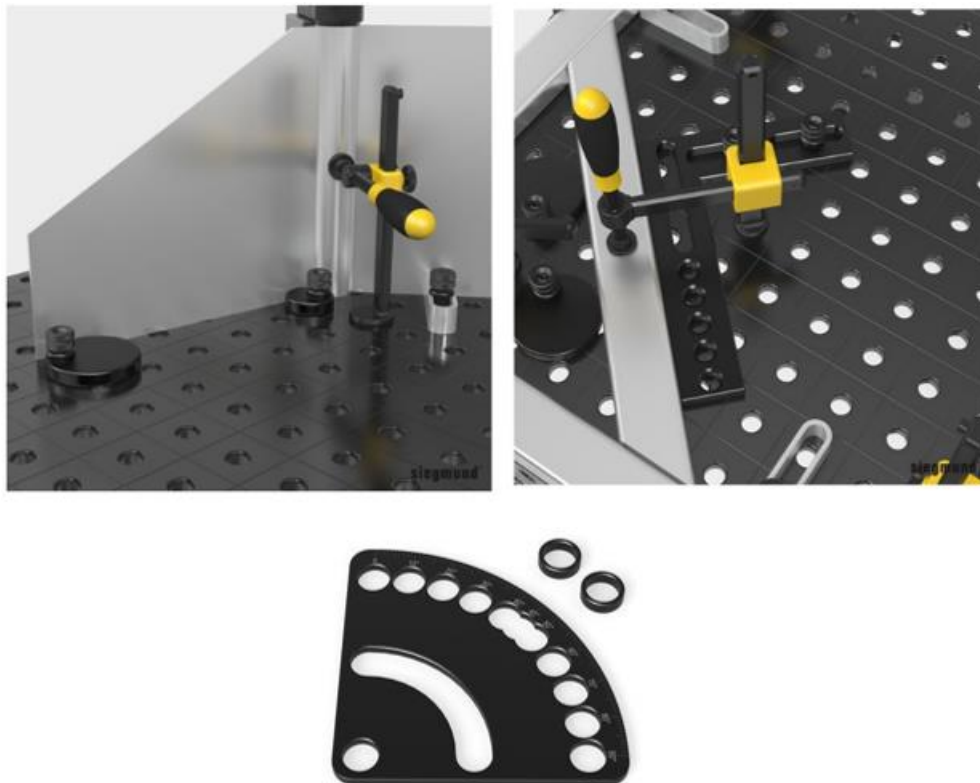
Pro zajištění správné polohy polotovaru před upnutím se využívají dorazové systémy, o které se polotovar opře a zajistí jeho nehybnou polohu. Díky tomu se při upínání polotovaru již nežádoucně nepohne. Dorazy jsou proto umístěny vždy proti upínacím systémům. Dosedací plochy mohou být i tvarované dle speciálních požadavků polotovaru.

Dorazy jsou v mnoha provedeních. Mohou být kovové nebo pryžové. Dorazovými prvky jsou zarážky, čepové dorazy, nastavitelné šroubované dorazy, kuželové dorazy nebo prisma.



Obrázek 20 Dorazy šroubové, kuželové, čepové [27, 28, 29]

Na trhu jsou k sehnání i modulární dorazy, které se používají ve stavebnicových systémech. Jsou variabilní a snadno přemístitelné. Proto mají také v sobě drážky nebo několik děr. Využívají se excentrické dorazy, úhlové nebo nejčastěji univerzální. [14, 30]



Obrázek 21 Dorazy do stavebnicových systémů [30, 31, 32]

4 Praktická část

4.1 Počáteční stav svařovacího pracoviště

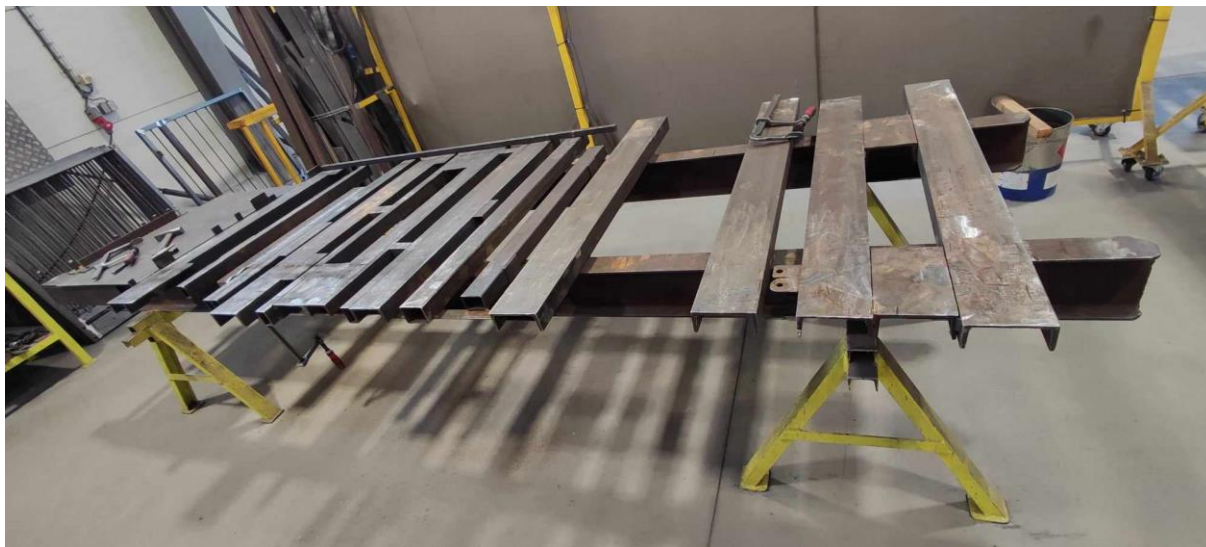
První část praktické části vyžaduje seznámení se s původním svařovacím pracovištěm ve firmě. Pracoviště je vybaveno svařovacím zdrojem s plynovou lahví, hadicemi a dalším potřebným příslušenstvím, pracovním stolem s ručním nářadím a měřidly, bezpečnostními pomůckami a ochrannou zástěnou a svařovacím stolem.

Svařovací stůl je na první pohled vyroben velmi neodborně a provizorně. Je tvořen pracovní plochou sestavenou z U profilů, která je přivařena na nosné I profily, a ty jsou podepřeny podpěrami ve tvaru A. Stůl je pro svařování boků balkonů příliš velký. Svářeč ho musí při práci několikrát celý obcházet, aby správně provedl všechny svary. Navíc tento stůl neumožňuje uchycení univerzálních upínek nebo dorazů. Dorazy jsou na tomto stole tvořeny přivařenými profily, které se při změně velikosti svařenců musí odstranit a přivařit nové. Bok balkonu se pro úplné svaření musí ručně otáčet pro svaření druhé strany.

Svařování na tomto stole je velmi namáhavé a neefektivní. Zakládání profilů je pomalé, při svařování musí svářeč vynaložit velké množství zbytečného ztrátového pohybu. V tomto případě je zavedení polohovacího zařízení do výroby velmi vhodné až potřebné.



Obrázek 22 Původní svařovací pracoviště



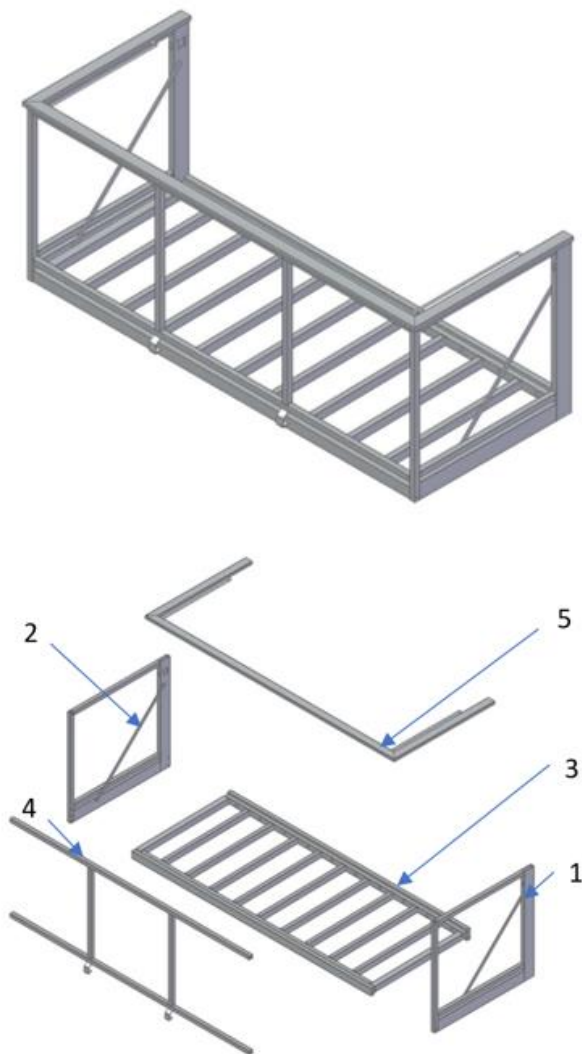
Obrázek 23 Svařovací stůl

4.2 Požadavky na polohovadlo

Pro usnadnění a zrychlení pracovního taktu ve firmě bylo zadavatelem zadán požadavek navrhnout svařovací polohovadlo pro svařiče, které umožní dělníkům rychlejší manipulaci s konstrukcemi. Podmínky a omezení pro návrh svařovacího polohovadla byla tato:

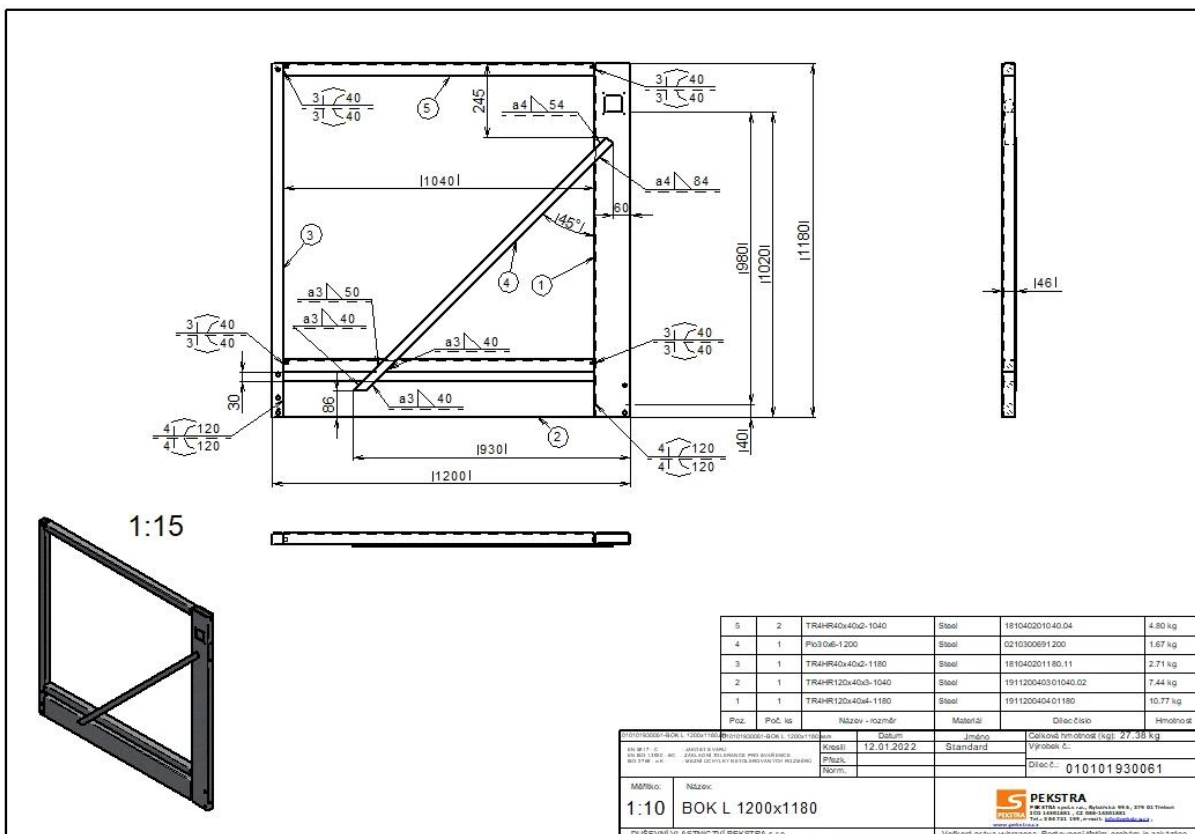
- polohování boků o rozměrech od 1000 x 1000 mm až do 1500 x 1250 mm,
- polohovadlo musí umožňovat svaření boků na všech místech v poloze PA, PB,
- polohovadlo musí být otočné ve dvou osách,
- musí být snadno ovladatelné a spolehlivé,
- zastavená plocha polohovadlem musí být max 2000 x 2000 mm,
- polohovadlo musí být vyrobitelné v dílnách zadavatele z dostupných materiálů a za použití dostupných strojů, nástrojů,
- polohovadlo musí být vybaveno upínacím systémem pro snadné uchycení a vyjmutí jednotlivých dílů.

Svařenec, který se bude na polohovadle svařovat je bok závěsného balkonu. Celý balkon se skládá ze dvou boků, podlahy, zábradlí a madla. Všechny tyto části sestav jsou vyrobené přesně dle výkresové dokumentace pomocí laseru nebo pásové automatické pily a stojanové vrtačky. Použité polotovary jsou zakoupené od dodavatele Ferona, a.s. Využitý polotovar je z profilů „jäckly“ tloušťky 2 až 4 mm, který je tažený za tepla z materiálu S235JRH (1.0039) dle EN 10219-1.



Obrázek 24 Rozložený svařenec balkonu na dílčí části

- 1-Bok pravý se závěsným otvorem,
- 2-Bok levý se závěsným otvorem,
- 3-Podlaha balkonu, uzpůsobena pro hliníkovou podlahu,
- 4-Zábradlí balkonu, uzpůsobeno pro zasklení nebo osazení lakovaným plechem,
- 5-Madlo balkonu s vestavěným sušákem prádla)



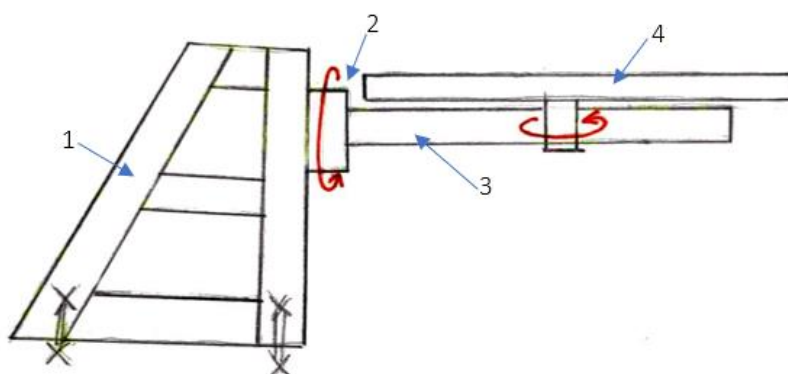
Obrázek 25 Výkres boku balkonu firmy PEKSTRA

Dostupný výkres svařence typického boku poskytuje veškeré potřebné informace, Obrázek 25. Hmotnost tohoto boku je 27 kilogramů, polotovary jsou obdélníkové, čtvercové profily a plochý profil z materiálu S235JR. Z výkresu jsou také zřejmé svary, která jsou především koutové a oblé. Bok je svařován z obou stran. Jediné táhlo z plochého profilu je přivařováno pouze z jedné strany.

4.3 Varianty polohovadel

4.3.1 Varianta 1

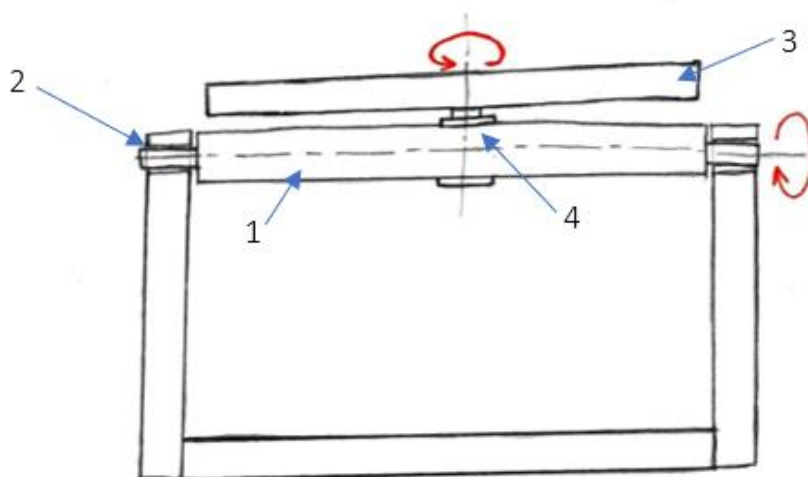
Prvním návrhem bylo stolové polohovadlo upravené přímo pro svařování zadaných svařenců – boků balkonů. Oproti klasickým stolovým polohovadlům nezahrnuje vodorovná otočná osa přesazení kvůli poloze těžiště. Na Obrázek 26 je nosník stolu (3) v ose otáčení a samotný stůl (4) má v základní poloze těžiště nad vodorovnou osou. Samotné polohování zajišťují 2 elektromotory vhodně umístěné pro řízení jednotlivých os, bez dodatečných převodů. Osy jsou tedy přímo řízeny elektricky. Tento fakt a také větší ohybové namáhání vodorovného nosníku značně komplikuje konstrukci a výrobu tohoto typu polohovadla. Nosník musí být dostatečně dimenzován, to samé platí pro ložiska a nosnou konstrukci (1) celého polohovadla, které navíc bude muset být ukotveno do podlahy pro dostatečnou stabilitu.



Obrázek 26 Varianta 1 (
1-základní rám,
2-první otočná osa poháněná motorem,
3-vodorovný nosník stolu,
4-stůl pro uchycení polotovaru poháněný motorem)

4.3.2 Varianta 2

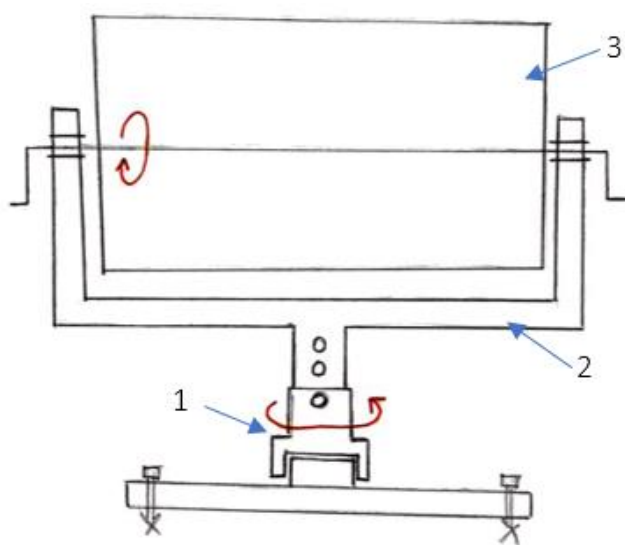
Druhá varianta představuje polohovadlo koncepčně sestavené ze dvou čepových polohovadel spojených vodorovným nosníkem. Na Obrázek 27 je vodorovný nosník (1) otočný kolem vodorovné osy a obsahuje domeček s ložisky (2) pro svislou osu. Otočnou svislou osu tvoří stůl (3), který je přes ložiskové uložení (4) spojen s vodorovným nosníkem. Pohon svislé osy je zamýšlen pouze ruční, se zajištěním pomocí kolíku. Vodorovná osa může být řízena také ručně pomocí páky nebo ovládacího kola, nebo může být zakomponována šneková převodovka, jako je tomu u vzorového polohovadla na Obrázku 7. Toto polohovadlo je konstrukčně i výrobně jednoduché. Není potřeba elektrických zařízení pro jeho ovládání, konstrukce je symetrická a tudíž méně namáhaná, dimenze nosníku a ložisek nemusí být tak markantní jako u varianty 1. Na druhou stranu je polohování u této varianty fyzicky náročnější a teoreticky méně přesné.



Obrázek 27 Varianta 2 (
1-vodorovná osa,
2-uložení vodorovné osy,
3-stůl,
4-uložení stolu)

4.3.3 Varianta 3

Varianta číslo 3 by se dala popsat jako obrácená varianta 2. Koncepce je velmi podobná, akorát jsou za sebou obráceně řazené osy. Na Obrázek 28 je první osa spjatá s nosnou konstrukcí – rámem je osa svislá (1), na kterou navazuje osa vodorovná (2) se svařovacím stolem (3). Stůl může být výškově nastavitelný. Konstrukčně je tato varianta jednoduchá. Kritickým místem může být pouze svislá osa, která je provedena kousek nad podlahou a navíc umožňuje výškové nastavení. Tyto faktory mohou zapříčinit malou stabilitu a tuhost polohovadla. Polohovadlo navíc bude muset být ukotveno do podlahy, nebo bude muset být nosná deska velmi masivní pro zabránění případného převrácení. Pohon obou os je ruční, pomocí ovládacího kola nebo páky, případně by šla zakomponovat šneková převodovka stejně jako u druhé varianty.



Obrázek 28 Varianta 3 (
1-rám,
2-vodorovná osa,
3-stůl)




4.3.4 Vyhodnocení návrhů

Pro rozhodnutí a vyhodnocení nejrelativnějšího návrhu polohovadla byla vytvořena rozhodovací tabulka s podstatnými kritérii, která se hodnotí. Vyhodnocení bylo realizováno od tří hodnotících.

Prvním hodnotícím byla navrhovatelka variant, které vyšla na základě subjektivního hodnocení, jako nejvhodnější varianta 2.

Tabulka 2 Vyhodnocení navrhovatele variant, Kateřina Chlapcová




Hodnocení variant 1 - 5 (nejlepší - nehorší)

Soubor kritérií	Kritérium	Váha kritéria	Varianta 1	Varianta 2	varianta 3
 Výroba polohovadla	Technologická náročnost	5	3	2	4
	Časová náročnost	3	5	1	3
	Materiálová náročnost	3	2	2	2
	Konstrukční náročnost	4	4	3	4
	Dostupnost součástí	4	2	2	3
	Náročnost montáže	3	3	4	2
 Provoz polohovadla	Dostupné svařovací polohy	4	2	2	2
	Náročnost polohování	5	3	1	5
	Zajišťování v poloze	4	2	2	4
	Způsob ukostření	3	2	2	3
 Rozměry a vlastnosti	Hmotnost polohovadla	2	5	2	4
	Rozměry stolu	3	3	3	4
	Vnější rozměry	2	1	3	2
	Přemístitelnost	4	5	2	2
	Bezpečnost při provozu	5	1	1	1
	Variabilnost	4	5	3	2
Celkový počet bodů			172	122	172

Druhým hodnotícím byl konzultant diplomové práce a zástupce firmy PEKSTRA Jiří Budka, který na základě jejich potřeb hodnotil varianty, s výsledkem nevhodnější varianty 2.

Tabulka 3 Vyhodnocení zástupe firmy PEKSTRA, Jiří Budka




Hodnocení variant 1 - 5 (nejlepší - nejhorší)

Soubor kritérií	Kritérium	Váha kritéria	Varianta 1	Varianta 2	varianta 3
 Výroba polohovadla	Technologická náročnost	5	5	3	4
	Časová náročnost	3	4	3	3
	Materiálová náročnost	3	3	2	2
	Konstrukční náročnost	4	4	2	3
	Dostupnost součástí	4	3	2	2
	Náročnost montáže	3	2	2	2
 Provoz polohovadla	Dostupné svařovací polohy	4	4	4	4
	Náročnost polohování	5	1	3	4
	Zajišťování v poloze	4	1	3	3
	Způsob ukostření	3	2	3	2
 Rozměry a vlastnosti	Hmotnost polohovadla	2	4	2	3
	Rozměry stolu	3	3	2	3
	Vnější rozměry	2	4	2	2
	Přemístitelnost	4	5	1	4
	Bezpečnost při provozu	5	1	2	2
	Variabilnost	4	4	2	2
Celkový počet bodů			177	140	168

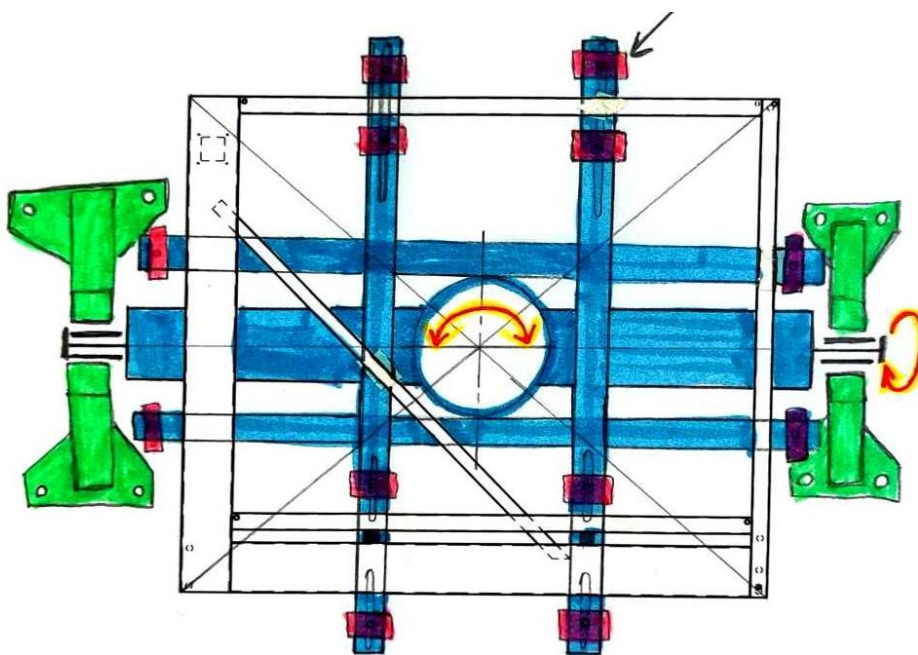
Třetím hodnotícím byl požádán vedoucí diplomové práce, doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph. D.

Tabulka 4 Vyhodnocení vedoucího práce, doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph. D.

Hodnocení variant 1 - 5 (nejlepší - nehorší)

Soubor kritérií	Kritérium	Váha kritéria	Varianta 1	Varianta 2	varianta 3
Výroba polohovadla 	Technologická náročnost	5	2	3	4
	Časová náročnost	3	2	4	3
	Materiálová náročnost	3	3	3	4
	Konstrukční náročnost	4	4	3	4
	Dostupnost součástí	4	3	3	3
	Náročnost montáže	3	3	4	4
Provoz polohovadla 	Dostupné svařovací polohy	4	2	3	4
	Náročnost polohování	5	3	3	4
	Zajišťování v poloze	4	3	3	3
	Způsob ukostření	3	4	3	3
Rozměry a vlastnosti 	Hmotnost polohovadla	2	4	3	4
	Rozměry stolu	3	3	3	3
	Vnější rozměry	2	5	4	3
	Přemístitelnost	4	5	3	4
	Bezpečnost při provozu	5	4	3	3
	Variabilitnost	4	3	4	4
Celkový počet bodů			188	186	208

Na základě výše provedeného hodnocení jednotlivých variant od jednotlivých zúčastněných vyšla jako nejrelativnější varianta 2. Tato varianta předčila ostatní v jednoduchosti konstrukce a vyrobiteľnosti.



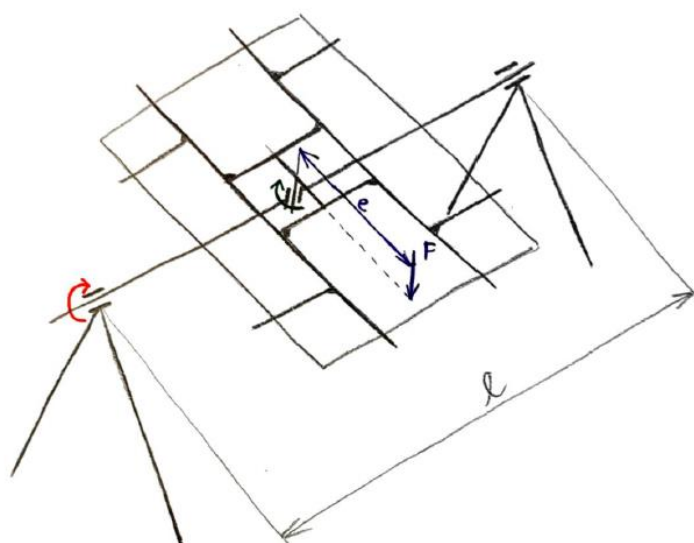
Obrázek 29 Půdorysný pohled vybrané varianty

4.4 Návrhové výpočty

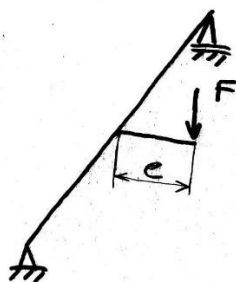
Pro zvolenou variantu číslo 2 je nyní zapotřebí provést návrhové a kontrolní výpočty jednotlivých prvků a kritických míst.

4.4.1 Návrh profilu nosníku v 1. poloze

Jako první část je dimenzována vodorovná osa, která je tvořena dutým obdélníkovým profilem s přivařenými čepy. Při navrhování je nutné počítat s excentrickým zatížením stolu, které se mění dle otáčení stolu. V této práci bude počítáno se 2 polohami. První poloha je zřejmá z Obrázek 30, přičemž excentricita zatížení vyvolává maximální kroutící moment na vodorovnou osu, Obrázek 31.



Obrázek 30 Schéma polohovadla se zatížením v 1. poloze



Obrázek 31 Zjednodušené zobrazení zatížení v 1. poloze

Tabulka 5 Zadané hodnoty pro návrh profilu

Dovolené napětí v ohybu	σ_{oD}	100	MPa
Délka nosníku	l	1 700	mm
Zatěžující síla	F	500	N
Excentricita <u>zatěž.</u> síly	e	700	mm

Návrh profilu se provádí na základě napětí v ohybu od zatěžující síly F .

$$M_o := \frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2} = (2.125 \cdot 10^5) \text{ N}\cdot\text{mm} \quad (1)$$

$$\sigma_o := \frac{M_o}{W_o} \quad (2)$$

$$W_o := \frac{M_o}{\sigma_{oD}} = (2.125 \cdot 10^3) \text{ mm}^3 \quad (3)$$

Na základě vypočítaného modulu průřezu v ohybu (3) je nejmenší možný dutý obdélníkový profil 40x30x2 mm s modulem průřezu v ohybu 2 340 mm³. Z konstrukčních důvodů a zajištění větší tuhosti polohovadla byl nakonec zvolen 120x60x3 mm s modulem průřezu v ohybu 21 470 mm³.

Kontrola skutečného napětí ve zvoleném profilu

Pro kontrolu se ověřuje reálné napětí na základě zvoleného profilu s modulem průřezu v ohybu a vypočítaném momentu ohybu.

$$\sigma_o := \frac{M_o}{W_{os}} \quad (4)$$

$$\sigma_o := \frac{M_o}{W_{os}} = 9.898 \text{ MPa} \quad (5)$$

Skutečné napětí ve zvoleném profilu je 9,898 MPa.

4.4.2 Určení napětí v krutu obdélníkového profilu iterační metodou

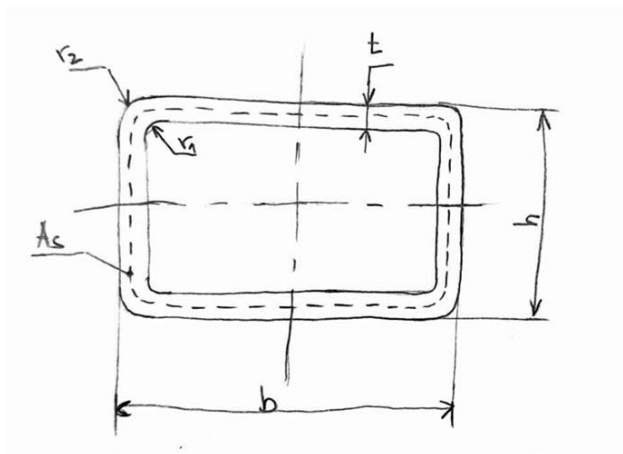
Dalším důležitým výpočtem při návrhu konstrukce je určení napětí v krutu. Jelikož se zde jedná o obdélníkový profil, tak exaktní výpočet krutu nekruhového profilu je velmi náročný a zdoluhavý. V technické praxi se používá výpočet pomocí Stokesovy rovnice (6), která je vhodná pro výpočet tenkých dutých uzavřených profilů. Tato metoda je však určena pro výpočet maximálního krouťícího momentu z dovoleného napětí. Pro využití v této práci bude metoda převrácena pomocí postupných iterací pro zjištění napětí při daném momentu. [35]

$$G_V = \frac{\oint \tau_s ds}{2 \cdot A_s} \quad (6)$$

Pro výpočet jsou potřebné hodnoty uvedené v Tabulka 6.

Tabulka 6 Zadané hodnoty pro zatížení krutem

Šířka profilu	b	120	mm
Výška profilu	h	60	mm
Tloušťka profilu	t	3	mm
Vnitřní zaoblení	r_1	3	mm
Vnější zaoblení	r_2	6	mm
Zatěžující kroučící moment	M_{kDr1}	350	Nm
Modul pružnosti ve smyku	G	$0,81 \cdot 10^5$	MPa
Zkrut ¹	v	-	Rad/m



Obrázek 32 Průřez dutého obdélníkového profilu

Teoretický dovolený kroučící moment průřezu:

$$M_k = \tau_s \cdot t \cdot \oint \rho ds \quad (7)$$

Kde platí:

$$\oint \rho ds = 2 \cdot A_s \quad (8)$$

¹ Zkrut je úhel zkroucení dělený délkou zkrouceného tělesa.

A_s je obsah plochy tvořen středním vláknem profilu a vypočítá se dle vzorce:

$$A_s := (b - t) \cdot (h - t) = (6.669 \cdot 10^3) \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Potom tedy výpočet středního dovoleného kroutícího momentu je:

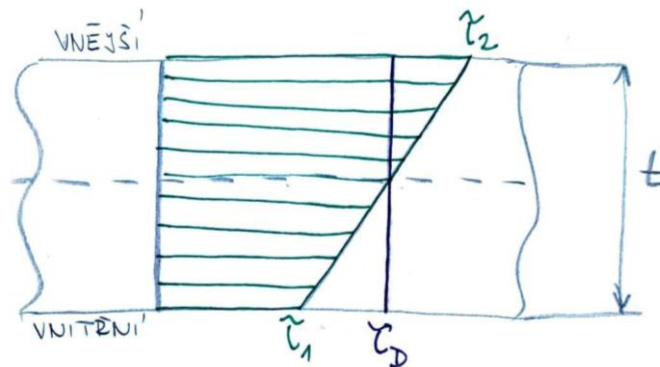
$$\tau_s := \tau_D \quad (10)$$

$$M_{kD} := 2 \cdot A_s \cdot t \cdot \tau_D = (4.802 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (11)$$

Kroutící moment M_{kD} je určen pomocí středního napětí $\tau_s = \tau_D$, bez ohledu na rozdělení napětí ve stěně profilu. Proto tato hodnota je předběžná a upřesněna bude až po kontrole napětí v přímé části a v rozích. [35]

Maximální napětí ve stěně

Výsledné napětí v průřezu profilu není konstantní. Mění se v průřezu od vnitřního k vnějšímu obrysu, jak je znázorněno na Obrázek 33. [35]



Obrázek 33 Napětí v přímé části profilu

Kontrola napětí na vnitřním a vnějším obryse se stanoví ze vztahů:

$$\tau_1 := \tau_D - t \cdot Gv \quad (12)$$

$$\tau_2 := \tau_D + t \cdot Gv \quad (13)$$

Pro určení součinu Gv se zintegruje Stokesova rovnice (6) s dosazenými okrajovými podmínkami pro vyjádření maximálního zatížení krutem: [35]

$$Gv := \frac{2 (\tau_D (b-t) + \tau_D \cdot (h-t))}{2 \cdot (b-t) (h-t)} = 0.313 \frac{N}{mm^3} \quad (14)$$

Po dosazení zpět do rovnic (12) a (13) se získá napětí na stěnách profilu:

$$\tau_1 := \tau_D - t \cdot Gv = 11.061 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$\tau_2 := \tau_D + t \cdot Gv = 12.939 \text{ MPa} \quad (16)$$

Maximální napětí v rohu

Napětí v krutu v rozích se stanovuje dle rovnice:

$$\tau_{(r)} := Gv \cdot r + \frac{C}{r} \quad (17)$$

Kde se integrační konstanta C stanoví z rovnice:

$$C := \frac{\tau_D \cdot t - \frac{Gv}{2} (r_2^2 - r_1^2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = 45.839 \text{ mm} \cdot \text{MPa} \quad (18)$$

Výsledek integrační konstanty se vloží do rovnice (17) a vyjádří se napětí v krutu na vnitřních a vnějších rozích:

$$\tau_{r1} := Gv \cdot r_1 + \frac{C}{r_1} = 16.219 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$\tau_{r2} := Gv \cdot r_2 + \frac{C}{r_2} = 9.518 \text{ MPa} \quad (20)$$

Maximální kroutící moment

Dovolené napětí v krutu τ_D bylo překročeno v přímé části na vnějším obrysu a na vnitřním rohu.

Tabulka 7 Překročené napětí v krutu

τ_2	12,939	MPa
τ_{r1}	16,219	MPa

Kroutící moment se redukuje podle největšího napětí, které se zjistilo při kontrole. Tím je v tomto případě napětí na vnitřním rohu τ_{r1} .

$$M_{kDr1} := M_{kD} \cdot \frac{\tau_D}{\tau_{r1}} = 355 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (21)$$

Postupnou iterací výše uvedených výpočtů bylo pro kroutící moment 355 Nm zjištěno napětí 16,2 MPa působící v rohu profilu.

4.4.3 Kontrola redukovaného napětí vodorovného nosníku v 1. poloze

Kombinované napětí ve vodorovném nosníku se vypočte pomocí redukovaného napětí podle hypotézy τ_{max} pro houževnaté materiály.

Tabulka 8 Hodnota pro redukované napětí

Koeficient hypotézy	α	2	-
---------------------	----------	---	---

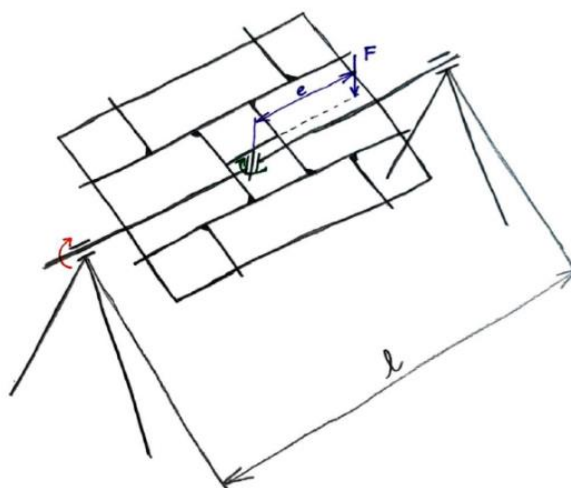
Ve výpočtu se počítá s ohybovým napětím nosníku a maximálním napětím v krutu nosníku.

$$\sigma_{red} := \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_{r1})^2} = 33.914 \text{ MPa} \quad (22)$$

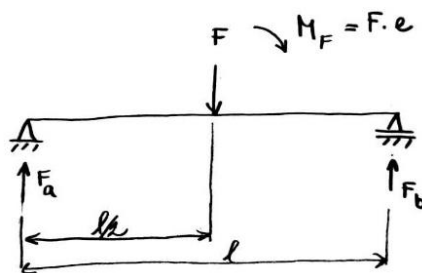
Z rovnice (22) vyšla velikost kombinovaného napětí na 33,9 MPa.

4.4.4 Kontrola napětí vodorovného nosníku v 2. poloze

V druhé části dimenzování je již kontrola navrženého profilu v 2. poloze, kde působí excentrické zatížení síly F, které vyvozuje přídatný ohybový moment na nosník, Obrázek 34.



Obrázek 34 Schéma polohovadla se zatížením v 2. poloze



Obrázek 35 Zjednodušené zobrazení zatížení v 2. poloze

$$\sigma_o := \frac{M_o + M_F}{W_{os}} \quad (23)$$

$$M_F := F \cdot e = (3.5 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (24)$$

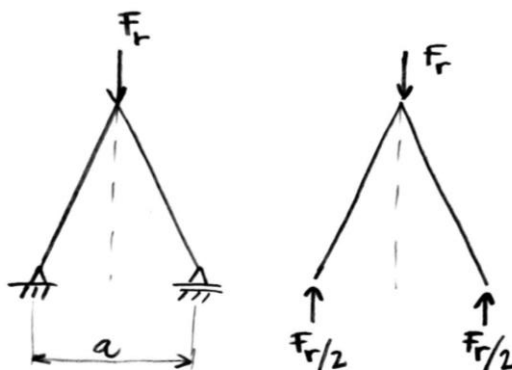
$$\sigma_o := \frac{M_o + M_F}{W_{os}} = 26.199 \text{ MPa} \quad (25)$$

Maximální ohybové napětí nosníku v 2. poloze je 26,2 MPa.

4.4.5 Návrh profilu boku nosného rámu

Součástí nosné konstrukce je taktéž bok, který bude tvořen čtvercovými profily namáhanými na ohyb.

Pro návrh se soustava uvolní a vypočítá potřebný modul průřezu v ohybu. Na stránkách firmy Feron se vybere profil splňující toto ztížení. Uvolnění konstrukce boku je vidět na Obrázek 36.



Obrázek 36 Zatížení a reakce rámu

Pro výpočet jsou zadané hodnoty uvedeny v Tabulka 9.

Tabulka 9 Zadané hodnoty pro rám

Dovolené napětí v ohybu	σ_{oD}	100	MPa
Vzdálenost mezi podpěrami boku	a	800	mm

Bok konstrukce je namáhán polovinou zatěžující síly F.

$$F_r := \frac{F}{2} \quad (26)$$

$$\sigma_o := \frac{M_{or}}{W_{or}} \leq \sigma_{oD} \quad (27)$$

$$M_{or} := \frac{F_r}{2} \cdot \frac{a}{2} = (5 \cdot 10^4) \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (28)$$

$$W_{or} := \frac{M_{or}}{\sigma_{oD}} = 500 \text{ mm}^3 \quad (29)$$

Z rovnice (29) se na stránkách Ferona vybral nejmenší možný dutý čtvercový profil podle modulu průřezu v ohybu, a tím je 20x20x1,5 mm s modulem průřezu v ohybu 580 mm³. Z konstrukčních důvodů a zajištění větší tuhosti polohovadla byl nakonec zvolen profil 50x50x3 mm s modulem průřezu v ohybu 790 mm³.

Kontrola skutečného napětí ve zvoleném profilu

Pro kontrolu se ověřuje reálné napětí na základě zvoleného profilu s modulem průřezu v ohybu a vypočítaném momentu ohybu.

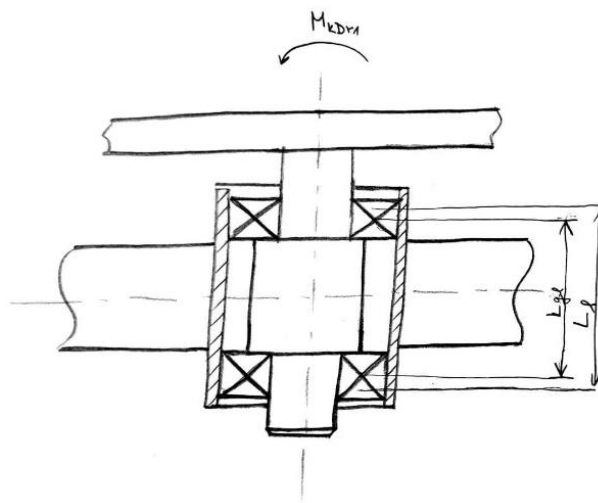
$$\sigma_o := \frac{M_{or}}{W_{ors}} \quad (30)$$

$$\sigma_o := \frac{M_{or}}{W_{ors}} = 6,418 \text{ MPa} \quad (31)$$

Skutečné napětí ve zvoleném profilu je 6,418 MPa.

4.4.6 Návrh ložisek pro svislou osu

Ložiska svislé osy budou zachycovat axiální zatěžující sílu 500 N a moment vyvozený touto silou v případě jejího vyosení mimo ložiska. Ložiska budou dimenzována na maximální moment M_{kDr1} , na který je dimenzován nosník vodorovné osy. Tento moment působí na jednotlivá ložiska silami dle výpočtu (32).



Obrázek 37 Návrh uložení ložisek svislé osy

Tabulka 10 Zadané hodnoty pro kuličková ložiska

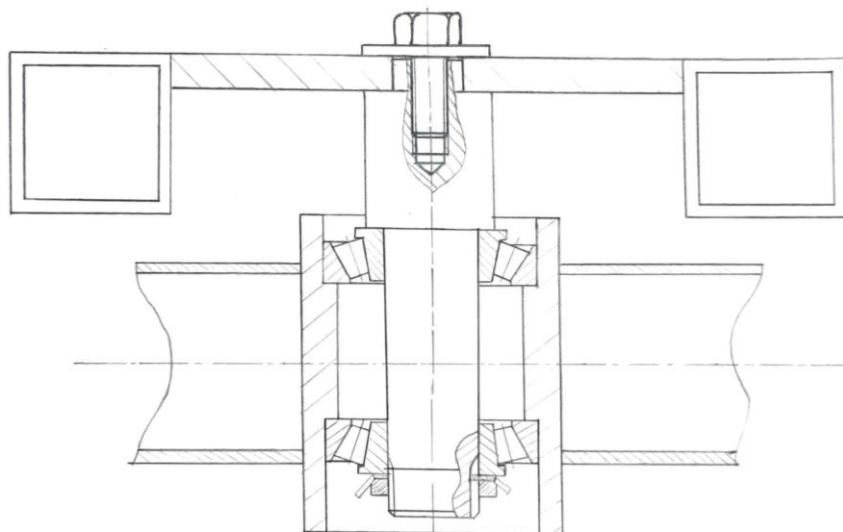
Geometrická vzdálenost ložisek	L_{gl}	57	mm
Vzdálenost působíště sil ložisek	L_l	52,6	mm

$$M_{kDr1} := F_j \cdot L_l \quad (32)$$

$$F_j := \frac{M_{kDr1}}{L_l} = 6.754 \text{ kN} \quad (33)$$

Z hlediska statické únosnosti ložiska je nejmenší možné ložisko SKF 30202 2CC se statickou únosností 14,6 kN, vnitřním průměrem 15 mm a vnějším průměrem 35 mm. Z konstrukčního hlediska pro zajištění navazujících rozměrů je zapotřebí zvolit ložisko SKF 30206 3DB se statickou únosností 44 kN, vnitřním průměrem 30 mm a vnějším průměrem 62 mm, viz Obrázek 39.

Uložení zvolených axiálních ložisek lze vidět na Obrázek 38.



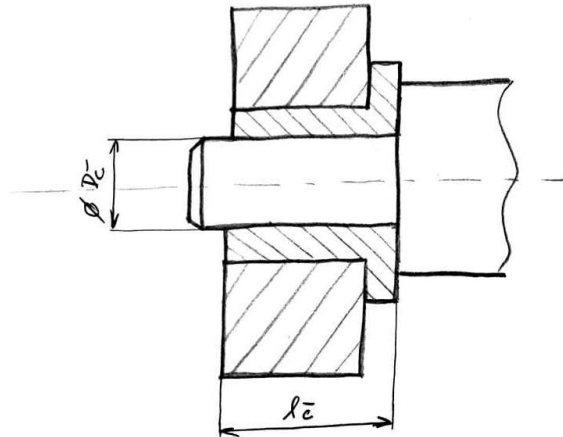
Obrázek 38 Skica vvislé osy



Obrázek 39 Zvolené ložisko 30206 3DB

4.4.7 Návrh ložisek pro vodorovnou osu

Vodorovná osa je zatížena radiální silou 500 N, která se dělí do 2 stran. Vzhledem k malému a statickému zatížení a velmi malé rychlosti otáčení bude uložení provedeno pomocí třecích ložisek v podobě čepů a bronzových pouzder.



Obrázek 40 Uložení vodorovné osy do kluzných ložisek

Výpočet průměru čepů

Průměr čepů je stanoven na základě dovoleného napětí v krutu čepu. Potřebné hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 11.

Tabulka 11 Zadané hodnoty pro návrh čepu

Dovolené napětí v krutu	τ_{kD}	50	MPa
-------------------------	-------------	----	-----

Z rovnice (34) pro dovolené napětí v krutu se vyjádří minimální dovolený průměr čepu z modulu průřezu v krutu.

$$\tau_k := \frac{M_{kDr1}}{W_k} \leq \tau_{kD} \quad (34)$$

$$W_k := \frac{M_{kDr1}}{\tau_{kD}} = (7.105 \cdot 10^3) \text{ mm}^3 \quad (35)$$

$$W_k := \frac{\pi \cdot D_{\zeta}^3}{16} \quad (36)$$

$$D_{\zeta} := \sqrt[3]{\frac{W_k \cdot 16}{\pi}} = 33.076 \text{ mm} \quad (37)$$

Z návrhu průměru čepu vyšel jako dostačující průměr 33,1 mm. Pro snadné konstruování byl zvolen průměr 35 mm.

Kontrola skutečného napětí pro zvolený průměr:

$$\tau_k := \frac{M_{kDr1}}{W_{kz}} = 42.2 \text{ MPa} \quad (38)$$

Dle výpočtů bylo vybráno kluzné ložisko od firmy VK ložiska 3526 COB 01.F.



Obrázek 41 Kluzné ložisko VK ložiska 3526 COB 01.F [36]

Kontrola čepu na otláčení

Čep je nutné také kontrolovat na otláčení v ploše, na základě zvoleného $D_{\check{c}z}$. Obvodová rychlost čepu nepřekročí 1 m/s, proto je zvolen dovolený tlak 3,6 MPa, dle výrobce Coroll. [37]

Tabulka 12 Zadané hodnoty pro otláčení čepu

Dovolený tlak čepu	$p_{D\check{c}}$	3,6	MPa
Zvolený průměr čepu	$D_{\check{c}z}$	35	mm

$$p_{\check{c}} := \frac{F_r}{S_{\check{c}}} \leq p_{D\check{c}} \quad (39)$$

Kde se vypočítá styková plocha čepu:

$$S_{\check{c}} := D_{\check{c}z} \cdot l_{\check{c}} \quad (40)$$

$$p_{\check{c}} := \frac{F_r}{D_{\check{c}z} \cdot l_{\check{c}}} = 0.313 \text{ MPa} \quad (41)$$

Vypočítaný průměr čepu splňuje podmínku otláčení, kdy $p_{\check{c}}$ nepřekročí $p_{D\check{c}}$.

Kontrola čepu na smyk

Při zatížení je čep pro vodorovnou osu zatěžován i na smyk, proto je zapotřebí toto zatížení kontrolovat.

Tabulka 13 Zadané hodnoty pro výpočet smyku čepu

Dovolené napětí na smyk	$\tau_{D\check{c}}$	50	MPa
-------------------------	---------------------	----	-----

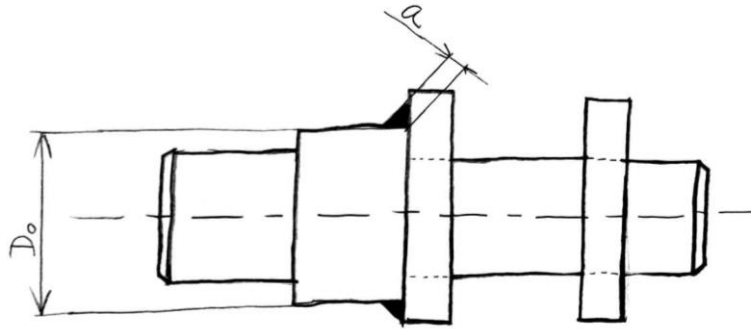
$$\tau_{\check{c}} := \frac{F_r}{S_{\check{c}s}} \leq \tau_{D\check{c}} \quad (42)$$

$$\tau_{\check{c}} := \frac{F_r}{\frac{\pi \cdot D_{\check{c}z}^2}{4}} = 0.199 \text{ MPa} \quad (43)$$

Z rovnice (43) je smykové zatížení velmi malé vůči dovolenému napětí.

4.4.8 Výpočet svaru čepu

Svary jsou obecně považované za kritická místa konstrukcí, a proto je potřeba kontrolovat jejich únosnost. Jakožto nejvíce namáhaný svar se jeví koutový svar (Obrázek 42) mezi čepem a unášecí deskou vodorovného nosníku. Tento svar je namáhán především krutícím momentem M_{kDr1} .



Obrázek 42 Svar čepu

Tabulka 14 Zadané hodnoty pro výpočet svaru čepu

Výška svaru	a	8	mm
Průměr osazení čepu	D_o	50	mm

Vnější průměr svaru:

$$D_{o2} := D_o + 2 \cdot a = 66 \text{ mm} \quad (44)$$

$$\tau_k := \frac{M_{kDr1}}{W_k} \quad (45)$$

$$W_{kr} := \frac{\pi \cdot D_{o2}^3}{16} \cdot \left(1 - \left(\frac{D_o}{D_{o2}} \right)^4 \right) = (3.786 \cdot 10^4) \text{ mm}^3 \quad (46)$$

$$\tau_k := \frac{M_{kDr1}}{W_{kr}} = 9.385 \text{ MPa} \quad (47)$$

Maximální napětí ve varu je 9,4 MPa.

4.4.9 Návrh šnekové převodovky

Použitá šneková převodovka slouží pro ulehčení ručního pohonu vodorovné osy polohovadla. Převodovka bude zatížena pouze kroutícím momentem od čepového tření a od excentrického zatížení na stole vyvozující moment. Zároveň převodovka zastává úlohu brzdy důsledkem své samosvornosti. Převodový poměr pro navrhovanou převodovku je zvolen 10. Z čehož vyplývá, že pro jedno otočení stolu kolem vodorovné osy musí obsluha 10x otočit ovládacím kolem.

Výstupní moment převodovky musí překonat maximální kroutící moment na stole a moment od čepového tření.

Tabulka 15 Hodnoty pro výpočet šnekové převodovky

Poloměr čepu	r	20	mm
Součinitel čepového tření ocel/bronz	η	0,15	-

Moment čepového tření:

$$M_{ct} := r \cdot F_r \cdot \eta = 0.75 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (48)$$

Celkový moment šnekové převodovky:

$$M_s := M_{ct} + M_{kDr1} = 356.014 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (49)$$

Na základě výsledku z rovnice (49) se zvolila šneková převodovka od výrobce RAVEO CM090010U-28. Parametry převodovky jsou uvedeny v Tabulka 16.



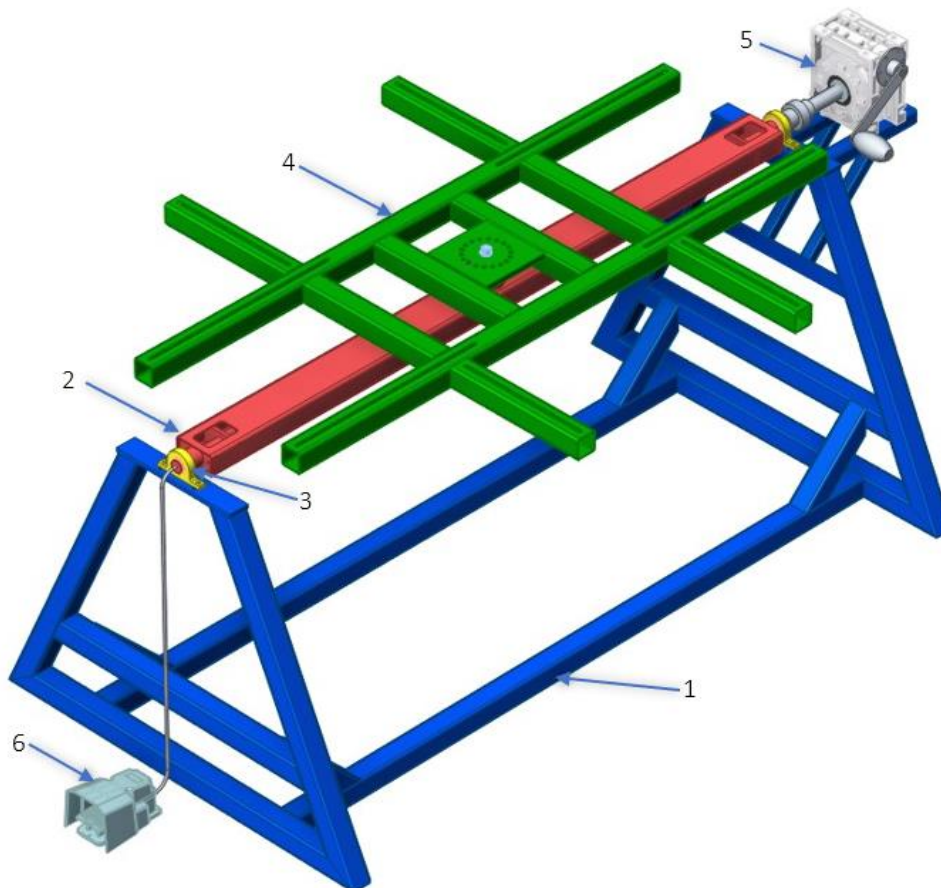
Obrázek 43 Šneková převodovka CM090010U-28 [38]

Tabulka 16 Parametry zvolené převodovky [38]

Název	Převodový poměr	Výstupní otáčky	Nominální výstupní kroutící moment	Průměr vstupní duté hřídele	Průměr výstupní hřídele
CM090010U-28	10	140 min ⁻¹	380 Nm	28	35 mm

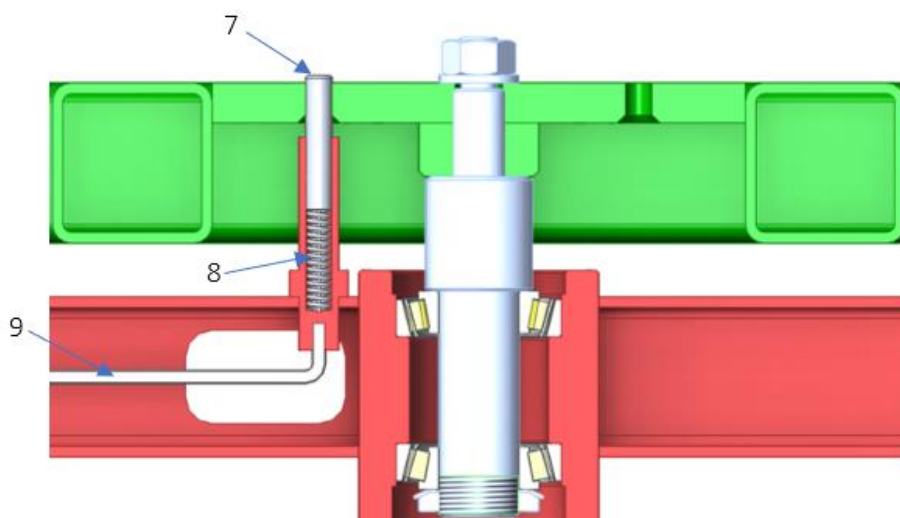
4.5 Model polohovadla

Na základě návrhových výpočtů, které byly uvedeny v předchozích kapitolách byl vymodelován model polohovadla pro svařování ocelových svařenců. Na Obrázek 44 lze vidět konečnou verzi polohovadla. Polohovadlo se skládá z nosného rámu (1), vodorovné osy (2), která se otáčí kolem své osy a je uložena v kluzných ložiscích (3) připevněných k rámu. Uprostřed vodorovné osy je pomocí páru kuželíkových ložisek vetknut pracovní stůl (4), který je pracovní plochou pro umístění a uchycení svařenců.



Obrázek 44 Model polohovadla (
1-rám
2-vodorovná osa
3-uložení vodorovné osy
4-pracovní stůl
5-šneková převodovka
6-nožní pedál)

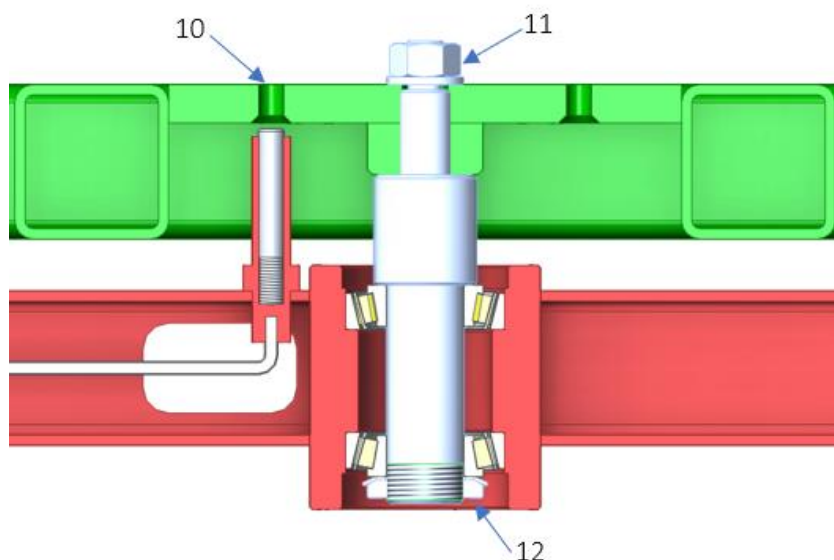
Vodorovná osa se ovládá pomocí samosvorné šnekové převodovky (5) umístěné z boční strany nosného rámu. Poloha pracovního stolu je zajištěna pomocí zajišťovacího kolíku s pružinou, který je ovládán nožním pedálem (6). Ten ovládá lanko, které prochází bovdenovým vláknem středem uložení vodorovné osy až k uložení pracovního stolu, kde zasouvá kolík zajišťující polohu. Detail zajišťujícího mechanismu je vidět v levé části Obrázek 45.



Obrázek 45 Mechanismus zajišťující polohu pracovního stolu a uložení pracovního stolu, zajištěná poloha (7-zajišťující kolík, 8-pružina, 9-bovdenové pouzdro s lankem)

Přes dutý kolík (7) a pružinu (8) je provlíknuto lanko dále pokračující bovdenovým pouzrem (9) až k pedálu, kdy při sešlápnutí se pomocí lanka stlačí pružina a dutý kolík se zasune pod pracovní stůl, Obrázek 46. Následně je umožněno pootočit se stolem do potřebné polohy a při uvolnění pedálu se díky tlačné pružině dutý kolík vrátí do zajišťující díry (10).

Na obrázku lze také vidět samotné uložení pracovního stolu, které je provedeno pomocí dvou proti sobě ležících kuželíkových ložisek (11). V horní části hřídele je uložen pracovní stůl a zajištěn podložkou a maticí (12). v dolní části je hřídel zajištěna KM maticí a MB podložkou (13).

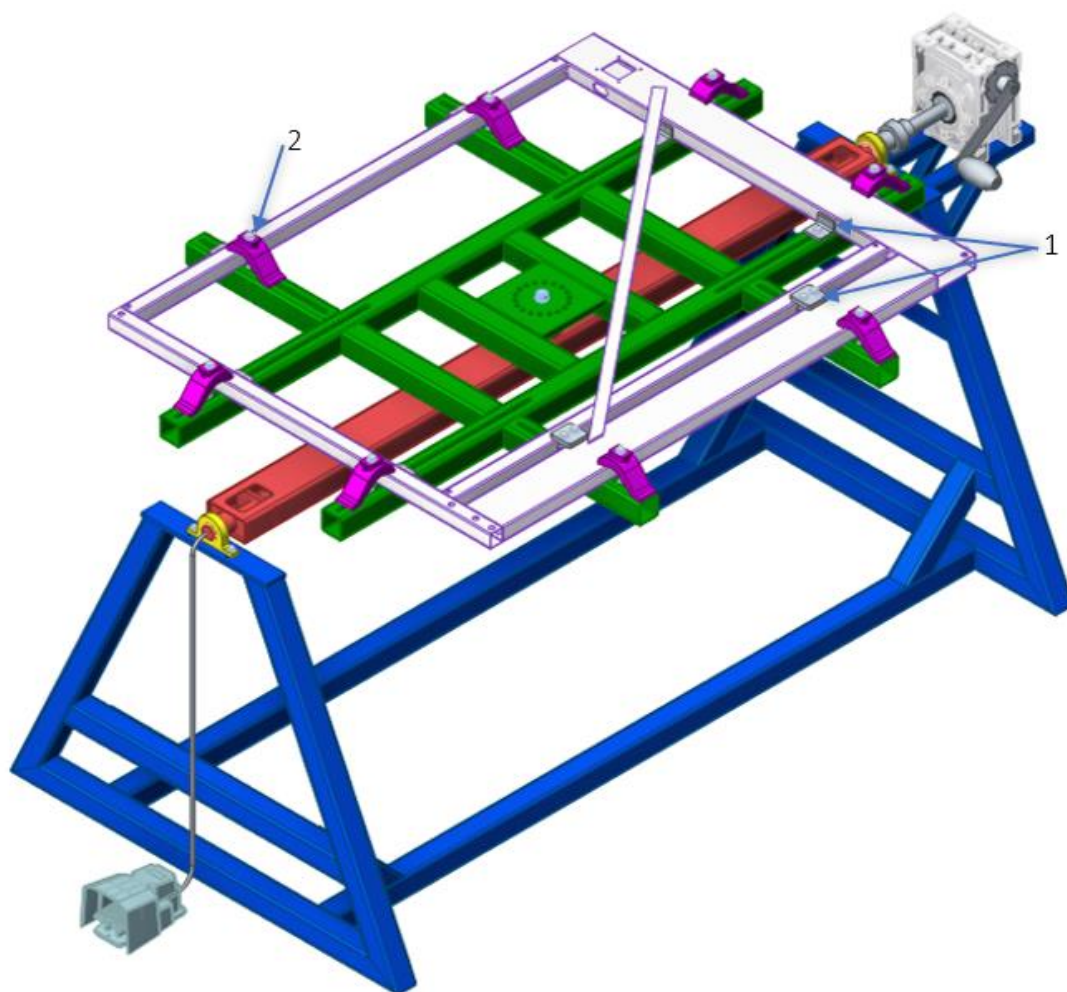


Obrázek 46 Mechanismus zajišťující polohu pracovního stolu a uložení pracovního stolu, odjištěná poloha (10-díra pro zajišťování stolu, 11-matice s podložkou pro zajištění stolu, 12-KM matice a MB podložka)

Obrázek 46 zobrazuje stůl v odjištěné poloze. Pedál je sešlápnutý, pružina stlačená a kolík nezasahuje do otvoru v pracovním stole.

4.5.1 Model s umístěným svařencem boku

Důležitým aspektem polohovadel při svařování je bezpečné, tuhé, rychlé a jednoduché upínání svařence. Důležitost těchto vlastností je od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Pro upínání boku balkonu byly zvoleny jednoduché dorazy tvořené L profily s dírou pro šroub (1), které si firma může vyrobit sama. Samotné přitáhnutí ke stolu pak zajišťují upínací příložky plynule přestavitelné od firmy Kipp (2), viz Obrázek 48. Tyto upínky jsou svojí konstrukcí a použitím velmi jednoduché a spolehlivé. Zároveň mají velký rozsah upínaného rozměru. Propojení se stolem je pomocí kamenů se závitem.

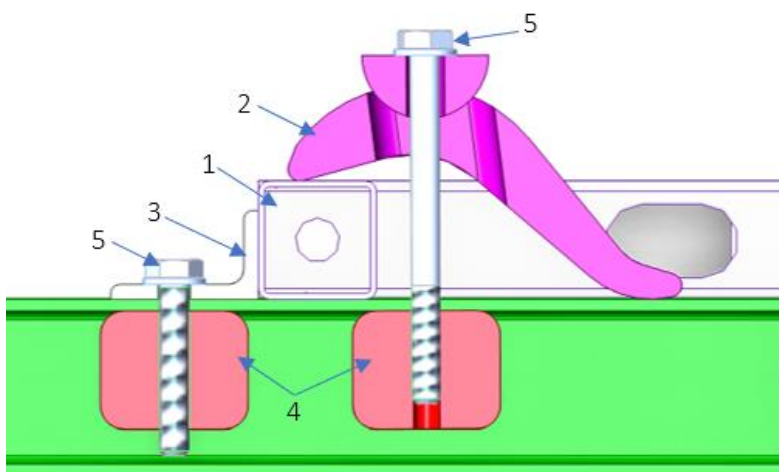


Obrázek 47 Polohovadlo se zajištěným svařencem (
1-L dorazy,
2-upínky)



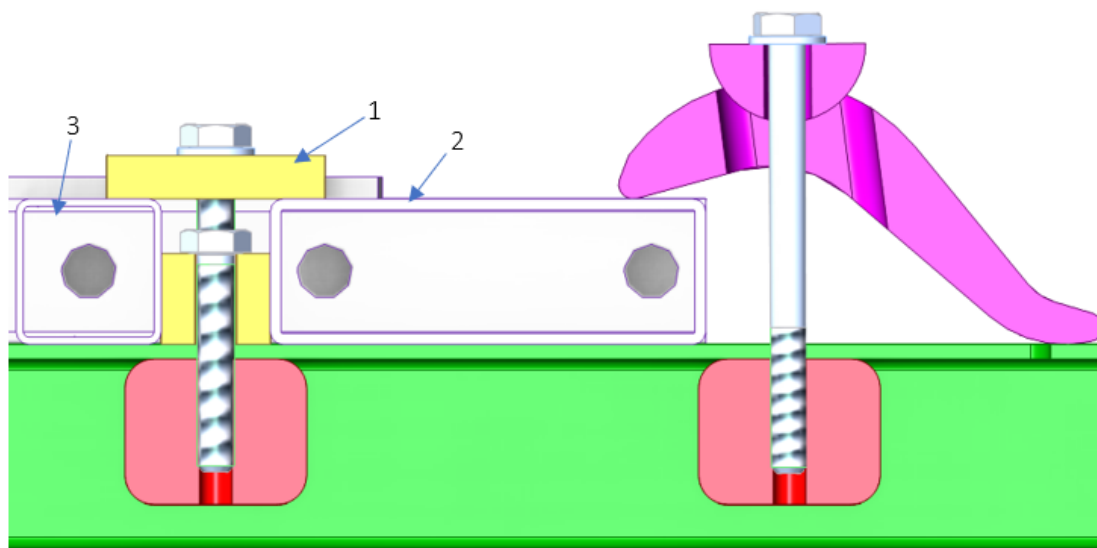
Obrázek 48 Upínací příložky firmy KIPP

Na Obrázek 49 lze vidět uchycení profilu balkonu (1) pomocí upínek (2) a zajištění polohy přes zmiňovaný L profil (3), které jsou zajištěny kameny (4) a šrouby (5).



Obrázek 49 Uchycení profilu balkonu (
1-profil balkonu,
2-upínka,
3-L doraz,
4-zajišťující kameny,
5-šrouby)

Na Obrázek 50 je stejné uchycení jako u předchozího obrázku pouze s tím rozdílem, že zde je potřeba uchytit jak nosný profil (2), tak profil pro uchycení výplně balkonů (3). To je za pomoci přitlačného dorazu (1), který ve spodní části plní funkci dorazu a v horní části přichycuje oba profily.

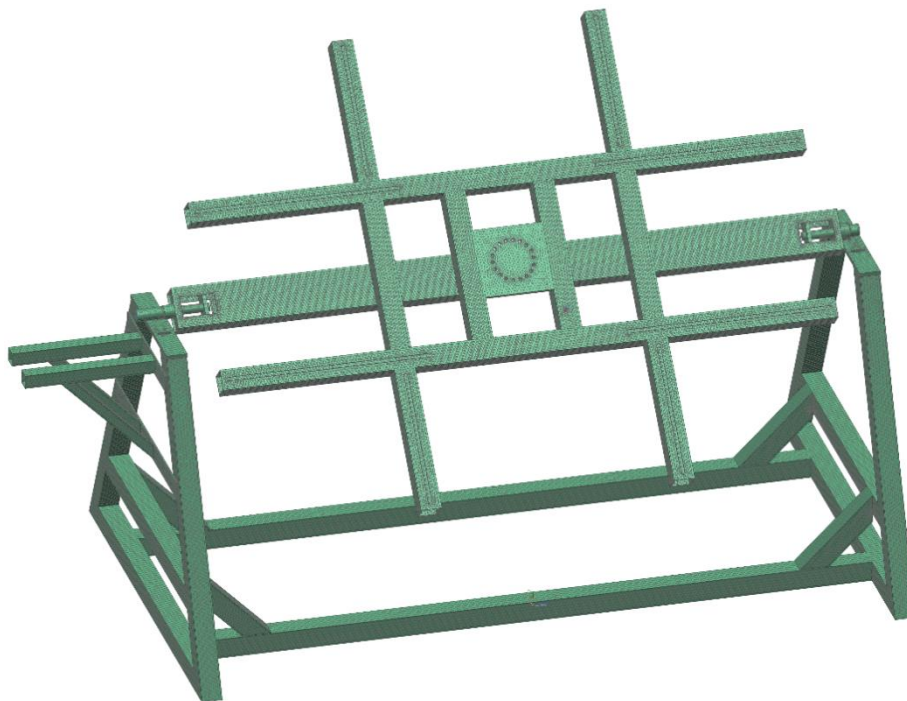


Obrázek 50 Uchycení profilů balkonu (
1-přítlačný doraz,
2-nosný profil,
3-profil pro uchycení výplně balkonu)

4.6 Model pro simulaci zatížení

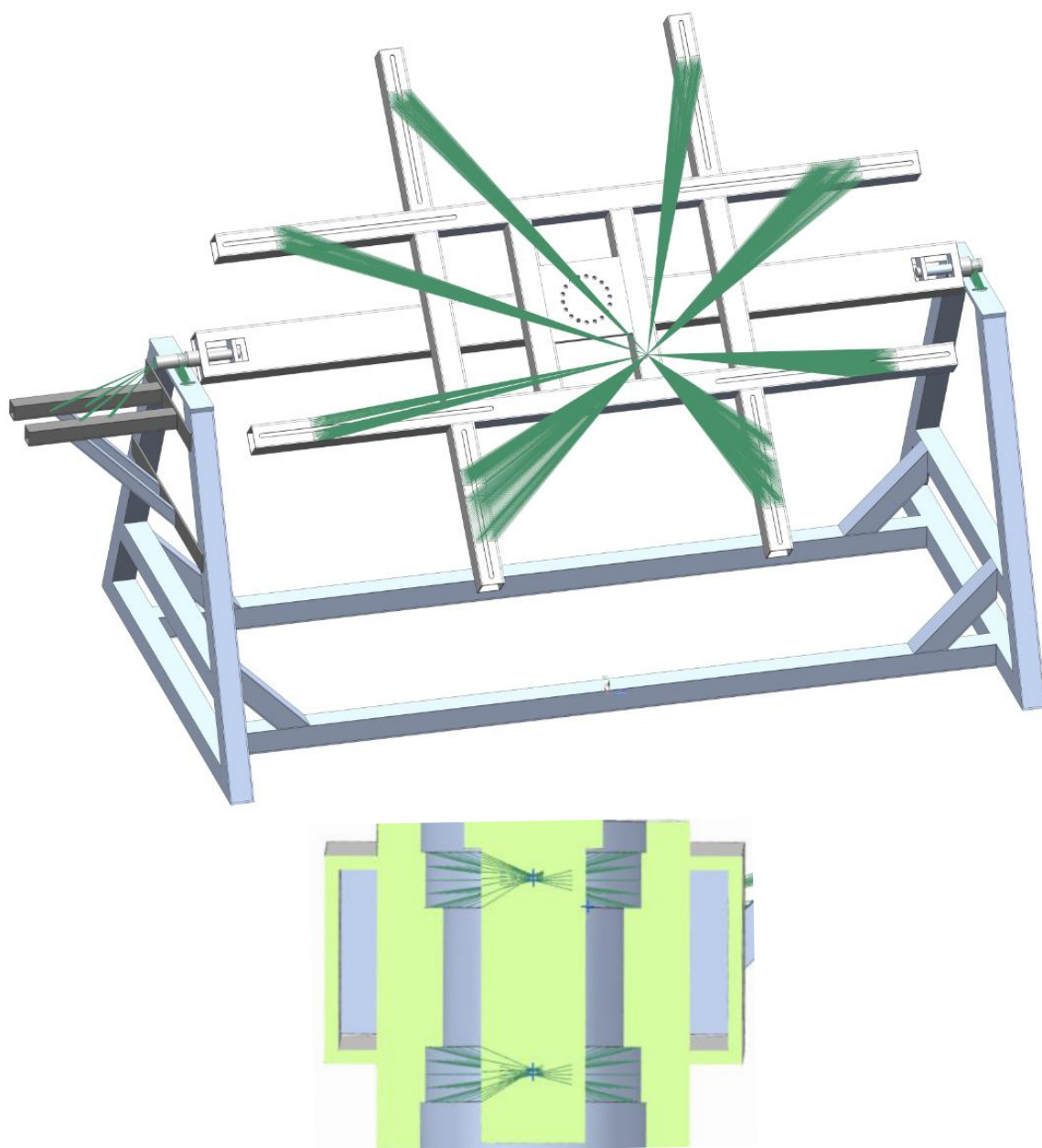
Vypočítaný a zkonstruovaný model je nutné zkontrolovat simulací reálného zatížení. Toto zatížení může být rozděleno na zatížení od vlastní hmotnosti, pracovní zatížení a nahodilé zatížení. Všechny tyto varianty byly ověřeny v programu NX.

Nejprve byl model zjednodušen z důvodu náročného síťování konstrukce a byly odstraněny spojovací prvky, čímž jsou ložiska a jejich domečky, šneková převodovka, matice a podložky. Dalším zjednodušením bylo zbavení zaoblení profilů a hranatých otvorů konstrukce. Následně byl model sjednocen pouze do 3 segmentů, a to na rám, vodorovnou osu a pracovní stůl. Samotné síťování modelu lze vidět na Obrázek 51.



Obrázek 51 Síťovaný model polohovadla

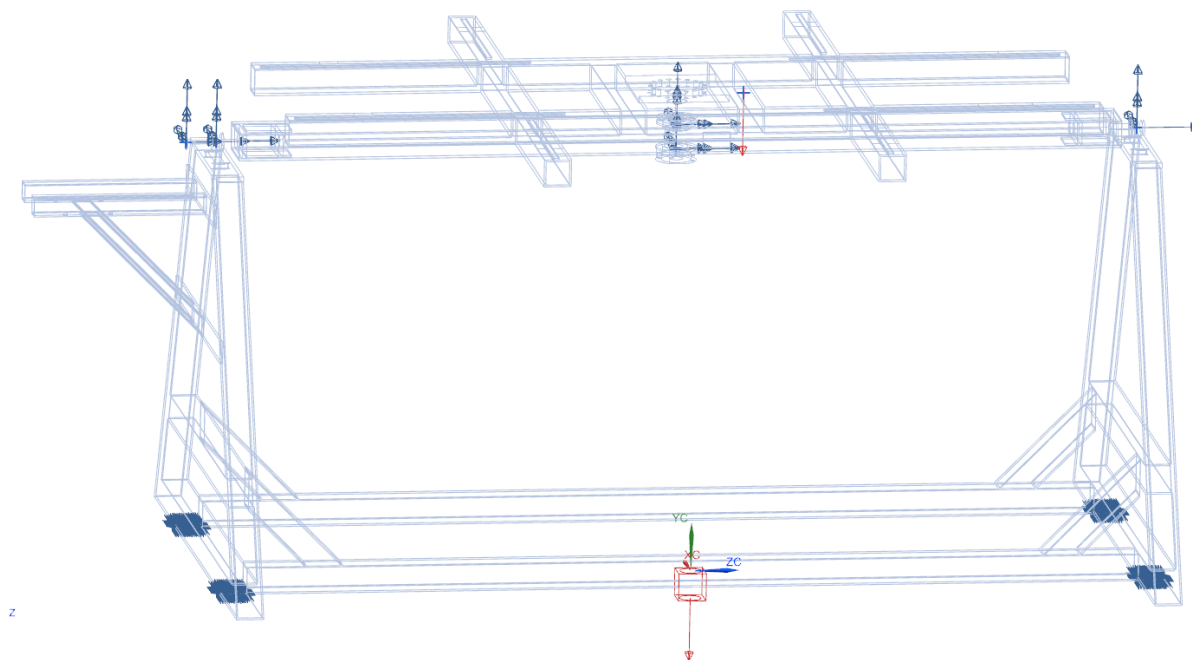
Po zasíťování modelu bylo potřeba doplnit spojující prvky vazbami. Ty byly vytvořeny pomocí funkce Connection recipe 1D, což lze vidět na Obrázek 52 zobrazené zelenou barvou.



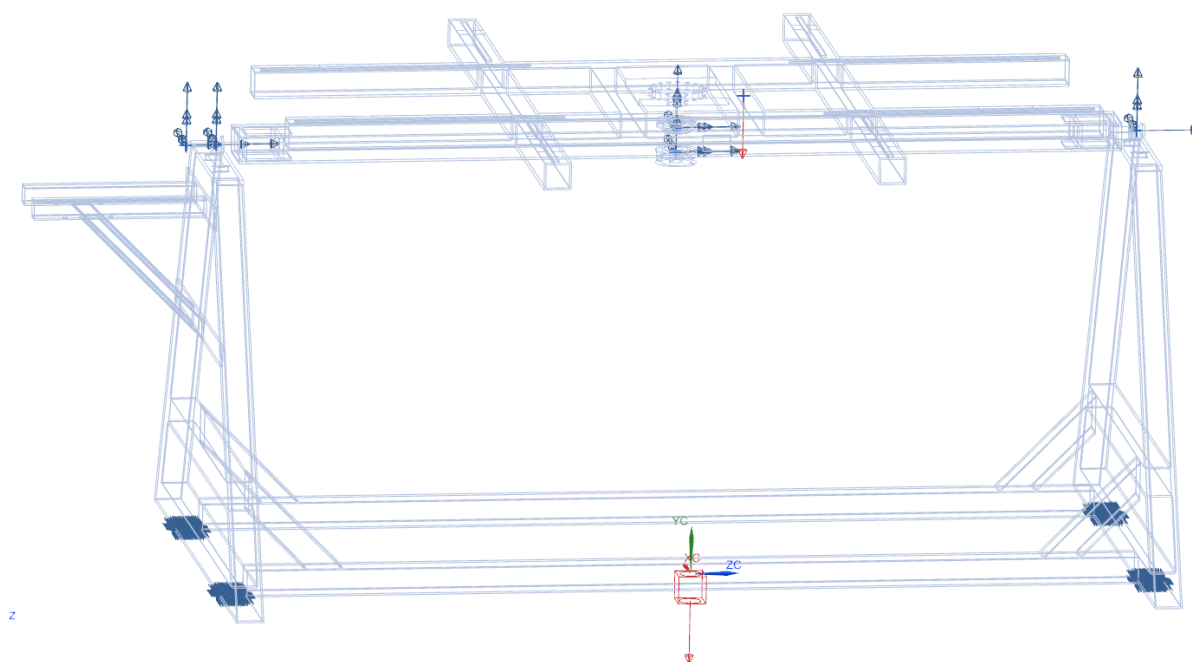
Obrázek 52 Spojení prvků přes Propojení 1D do těžiště břemene (nahore), detail spojení v místě kuželíkových ložisek (dole)

V dalším kroku byly nadefinovány vazební podmínky, kde se pomocí funkce Manual Coupling zadefinovali stupně volnosti. Pro uložení vodorovné osy v místě kluzných ložisek je dovoleno pouze otáčení ve vodorovné ose. V místě uložení pracovního stolu pomocí šikmých kuželíkových ložisek jsou zablokovány všechny stupně volnosti s úvahou, že stůl bude zafixován v určité poloze zajišťujícím kolíkem. V místě spojení šnekové převodovky s vodorovnou osou jsou taktéž zablokovány všechny stupně volnosti.

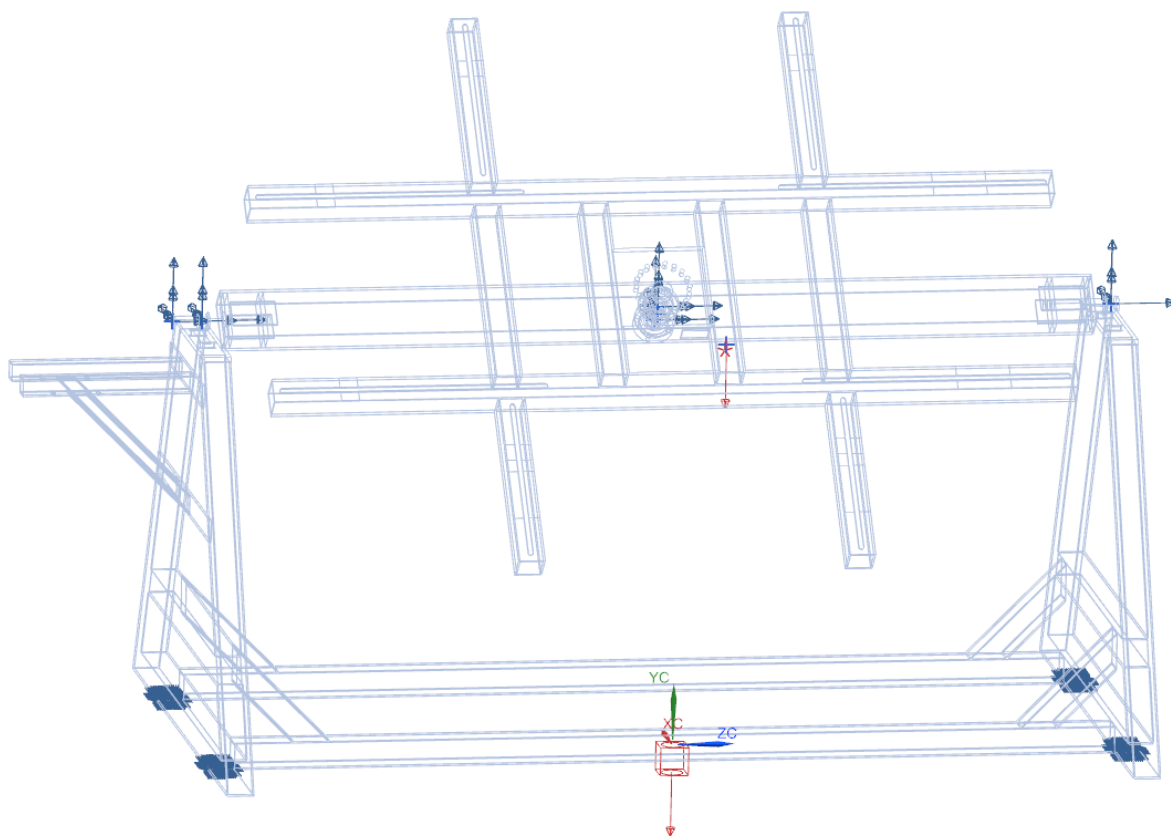
Další vazbou bylo ukotvení rámu k pomyslné podlaze přes User Defined ve všech směrech upevněný. Také byla definována gravitační síla celého polohovadla a zatěžující síla 300N od pracovního zatížení v místě těžiště boku balkonu. Zatížení na stůl bylo rozloženo dle dosedacích ploch svařence boku balkonu. Toto zatížení se následně simulovalo ve 3 polohách. Ve vodorovné poloze, v poloze 45° od svislice a ve svislé poloze, což lze vidět na následujících obrázcích - Obrázek 53, Obrázek 54, Obrázek 55.



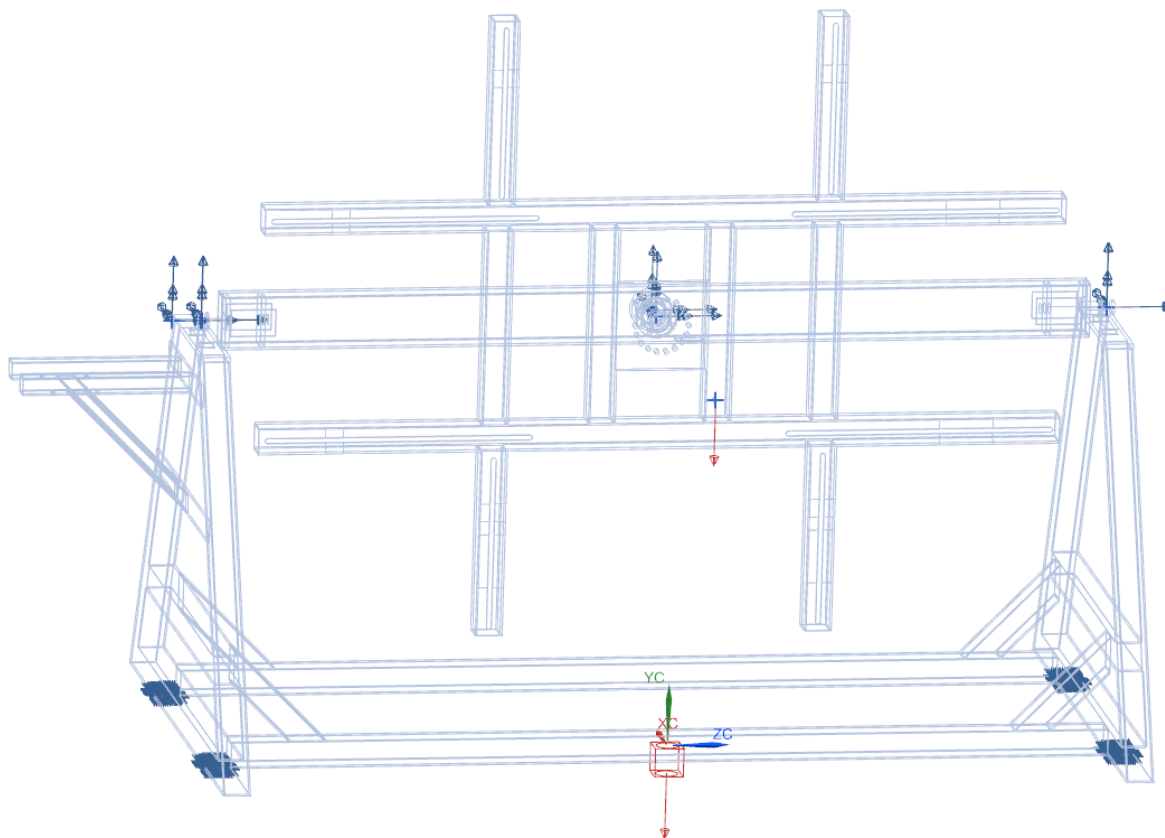
Obrázek 53



Obrázek 53 Zátěžný stav – poloha vodorovná



Obrázek 54 Zátěžný stav - poloha 45° od svislice



Obrázek 55 Zátěžný stav - poloha svislice

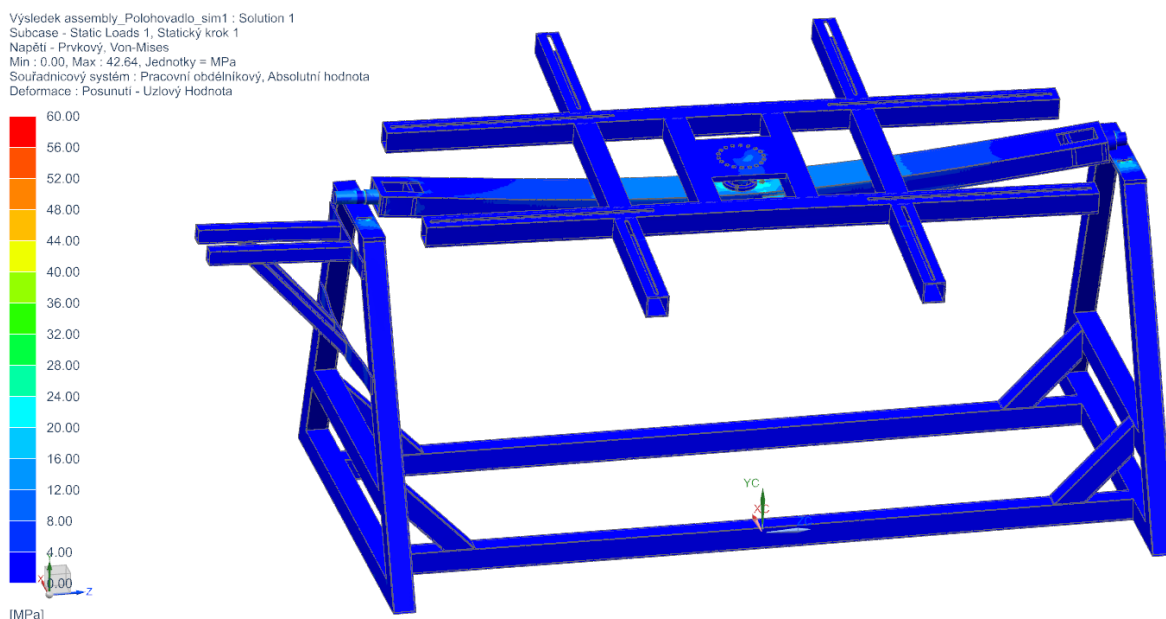
4.7 Kontrola napěťových stavů při zatížení metodou MKP

Pro kontrolu skutečného napětí v konstrukci při pracovním zatížení a zatížení od vlastní hmotnosti byla provedena simulace v rozhraní programu NX.

4.7.1 Simulace napěťových stavů při pracovním zatížení

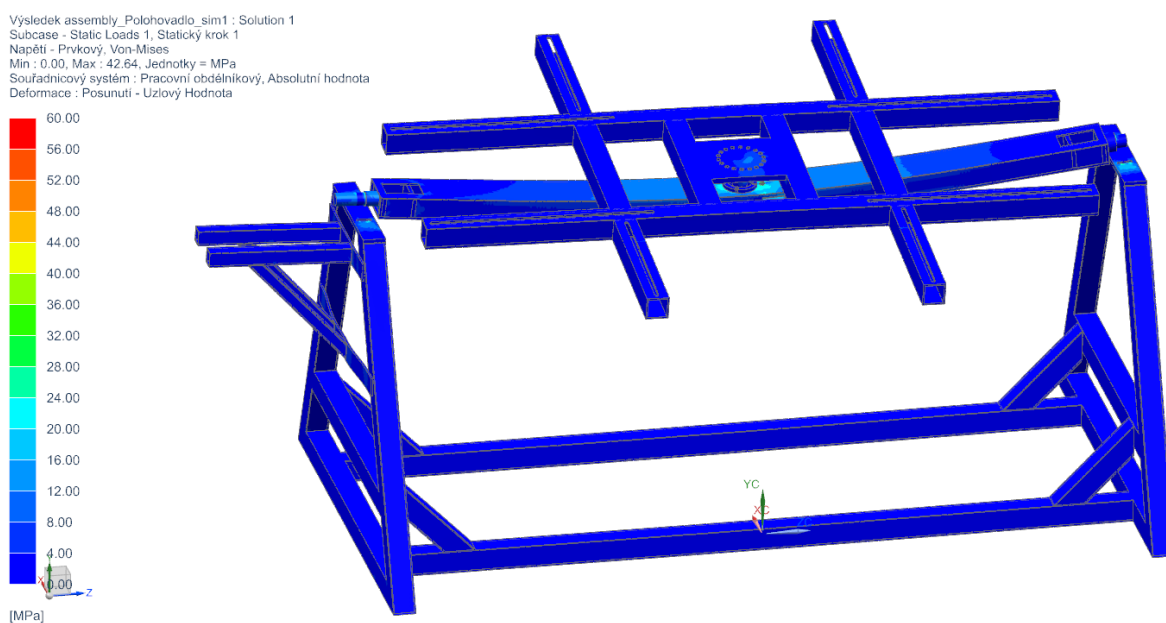
Výsledky simulace, zachycující napětí a posunutí, jsou znázorněné na následujících obrázcích.

V důsledku zjednodušení modelu to způsobuje, že vzniklé ostré rohy (vruby) způsobují koncentraci napětí. V těchto místech jsou výsledky zkrácené a v simulaci způsobují maximální hodnoty.

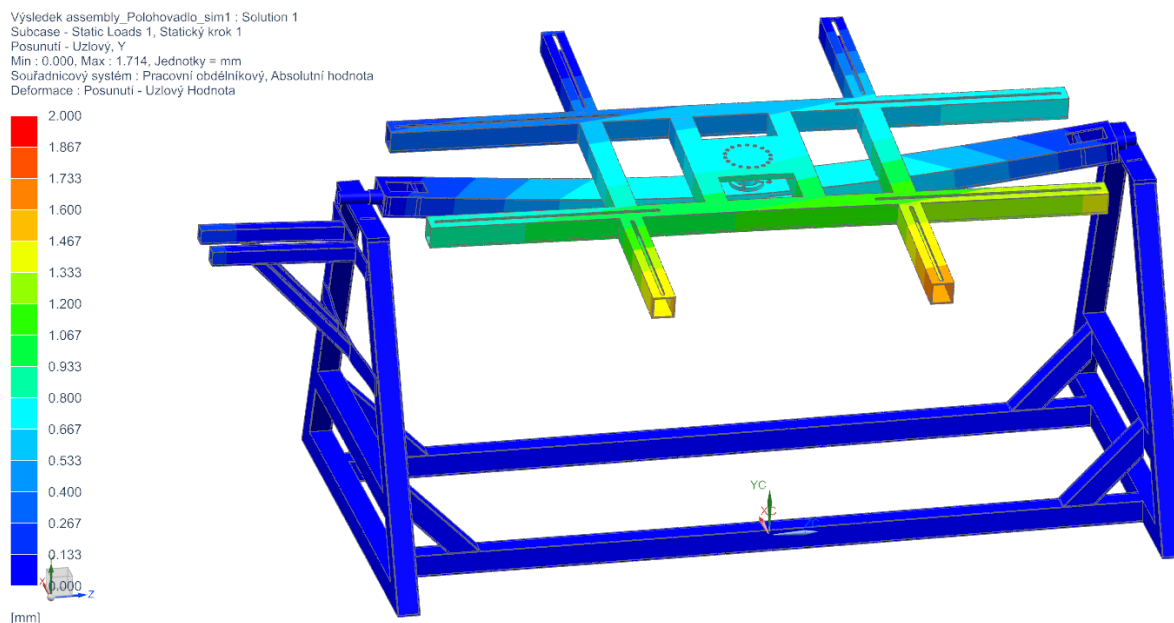


Obrázek 56 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha vodorovná

První byla zkoumána vodorovná poloha. Dle výsledků simulace (

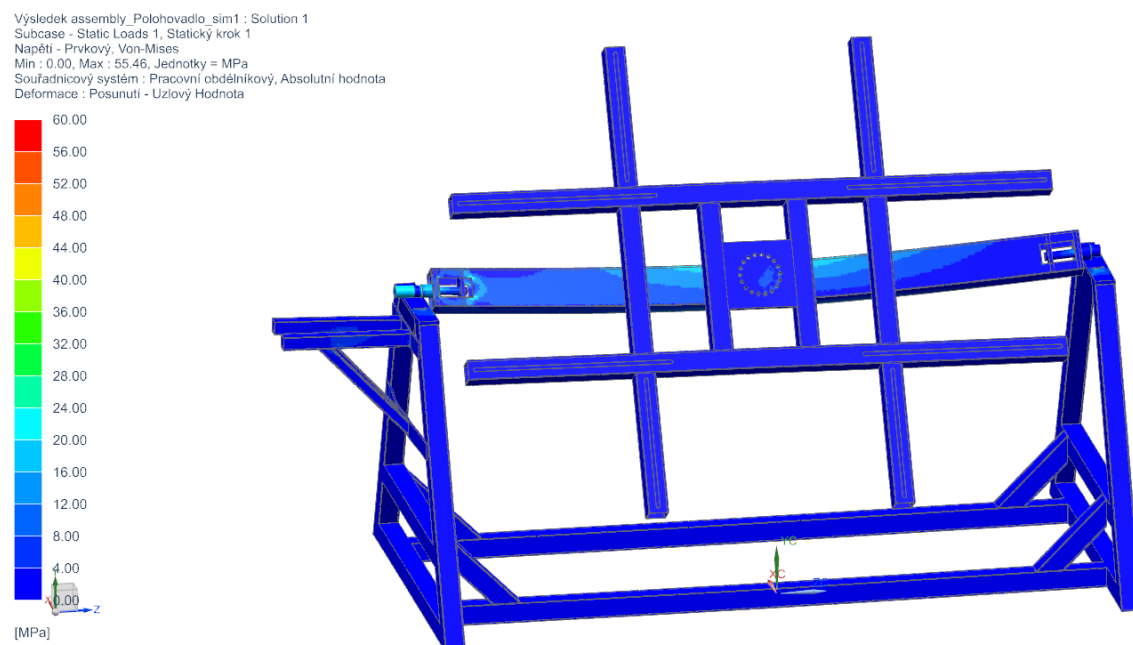


Obrázek 56) vzniká největší napětí uprostřed vodorovného nosníku, který je namáhán na ohyb a krut. Zde se napětí pohybuje v rozmezí 20 až 30 MPa. Napětí je také zřejmé v čepch, nepřesahuje ale hodnotu 30 MPa. Teoreticky největší napětí je 42.6 MPa, které působí v místě zeslabení s ostrým rohem (vrubem). Toto napětí není směrodatné, jelikož ve skutečnosti bude vrub odstraněn zaoblením a nebude tak působit jako koncentrátor napětí.



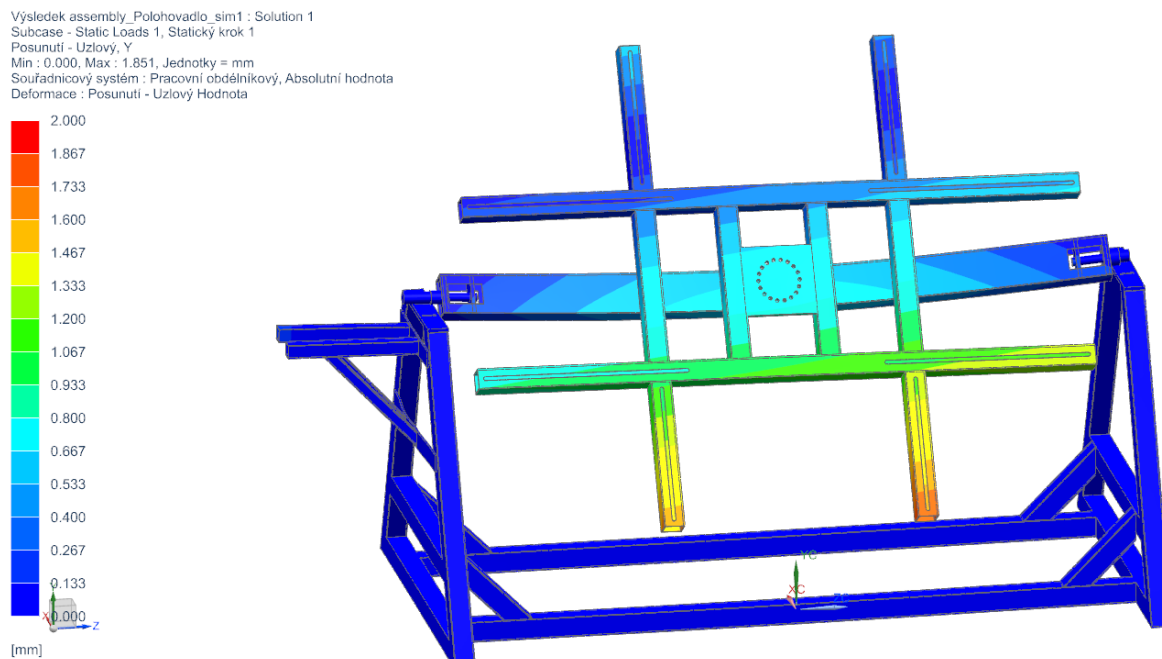
Obrázek 57 Posunutí ve svislé ose při zatížení konstrukce, poloha vodorovná

Simulace zobrazuje (Obrázek 57), že největší posunutí (deformace) ve svislém směru vzniká na části stolu, na které je uchycen největší a nejtěžší profil boku. Zde dosahuje posunutí hodnoty 1,714 mm. Toto posunutí je součet deformace vodorovného nosníku a stolu. Vzhledem k rozměrům stolu a poměrně nízkým nárokům je deformace zanedbatelná.



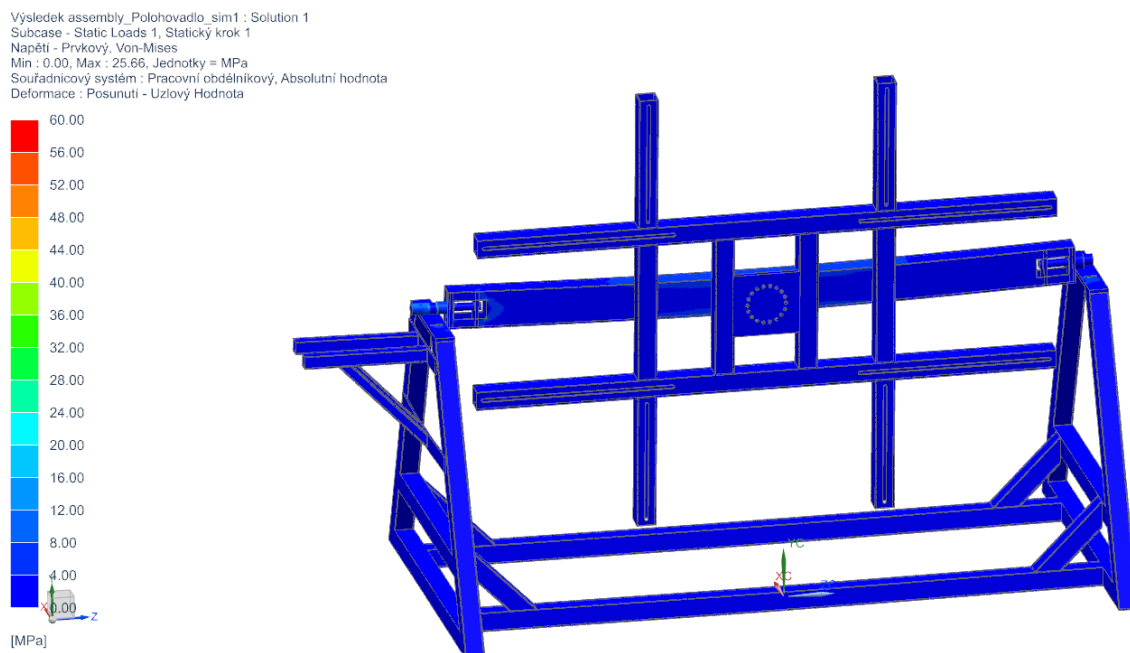
Obrázek 58 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha 45° od svislice

Druhá řešená poloha je 45° od vvislice (Obrázek 58). V tomto případě je napětí na vodorovném nosníku podobné jako u předchozího případu. Z obrázku je zřejmé i napětí v čepch, které se pohybuje kolem 25 MPa. Konstrukce vyvozené napětí bezpečně přenese. Teoreticky je maximální napětí v konstrukci 55,46 MPa, pravděpodobně v místě ostrého vrubu. Toto napětí není směrodatné.



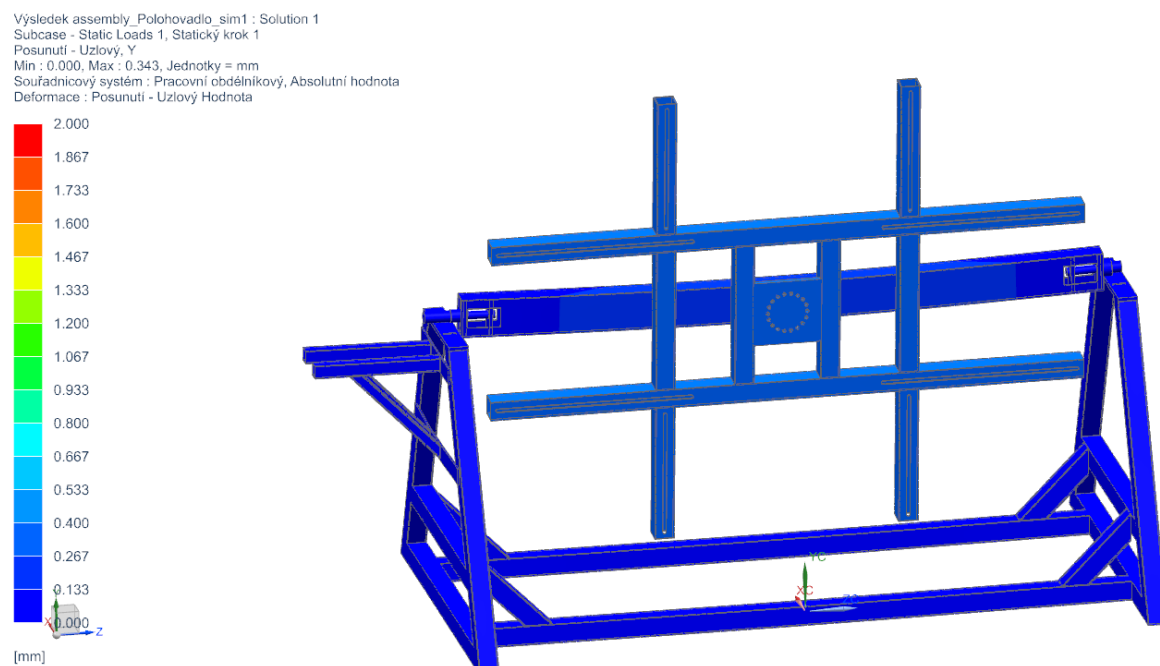
Obrázek 59 Posunutí ve vvislé ose při zatížení konstrukce, poloha 45° od vvislice

Deformace při natočení 45° (Obrázek 59) je nepatrně větší než při simulování vodorovného stolu. To může být způsobeno rozdílným modulem průřezu v ohybu vodorovného nosníku a také tahovou složkou síly, která působí na prodloužený profil stolu. Největší deformace 1,851 mm je opět v tomto případě zanedbatelná.



Obrázek 60 Napětí v konstrukci při pracovním zatížení, poloha svisle

Při simulaci ve svislé poloze stolu bylo zjištěno nejmenší napětí ze všech řešených situací (Obrázek 60). To je způsobeno mnohem větším ohybovým modulem v ohybu vodorovného nosníku, jelikož je orientován „na výšku“. Navíc má zatěžující tíhová síla svařence mnohem menší rameno pro vyvození krouticího momentu, napětí v krutu je v tomto případě minimální. Maximální zjištěné napětí 25,66 MPa, které je pravděpodobně zjištěno v místě ostrého vrubu, je pro konstrukci zanedbatelné.

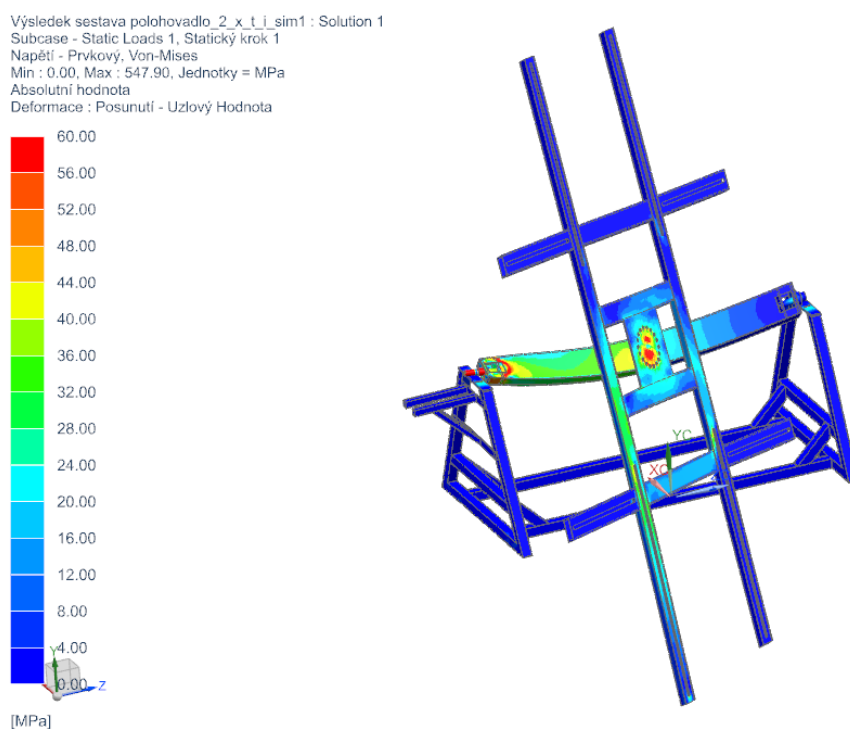


Obrázek 61 Posunutí ve svislé ose při zatížení konstrukce, poloha svisle

Deformace je stejně jako napětí ve svislé poloze stolu minimální, Obrázek 61. Maximální posunutí je 0,343 mm. V této poloze má stůl i vodorovná osa větší tuhost a nevzniká téměř žádný kroutící moment.

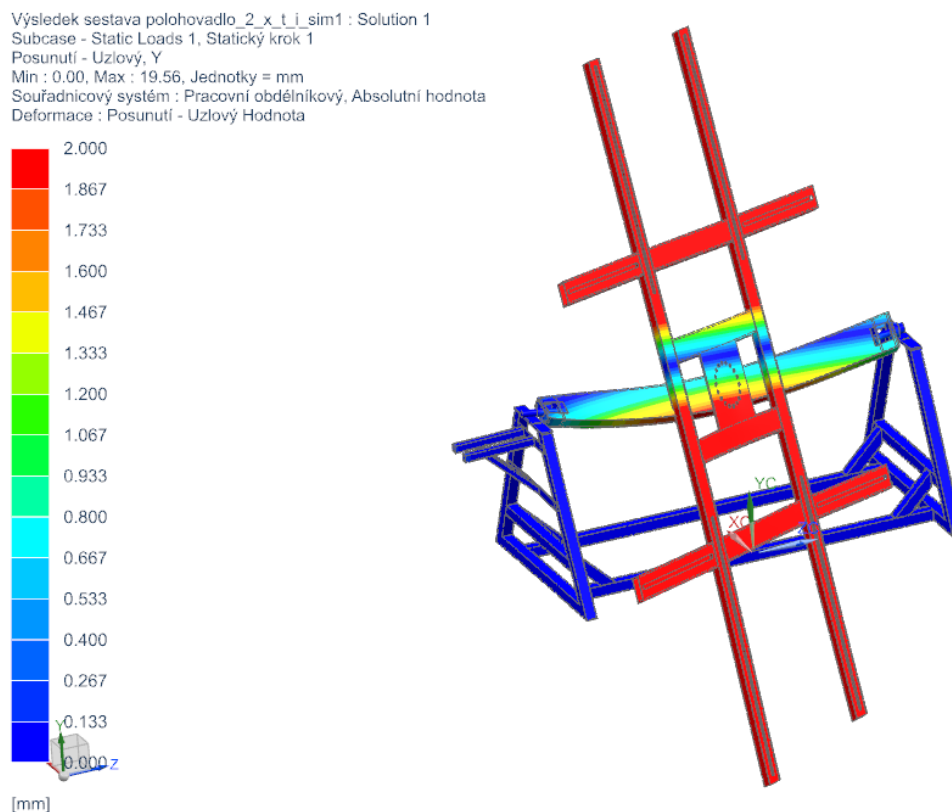
4.7.2 Simulace napětí při nahodilém zatížení

V praxi může nastat situace, kdy je stůl zatížen nahodilou silou. Ta může být mnohem větší než pracovní zatížení. Jedná se například o položení náradí na stůl, položení cizího materiálu nebo v nejhorších případech opření pracovníka nebo dokonce posazení pracovníka na stůl polohovacího. Proto je simulace rozšířena o zatížení silou 1 000 N na konci stolu, která představuje právě nejhorší případ, kdy by si pracovník na tento stůl sednul celou svojí vahou. Jelikož největší napětí a deformace byly zjištěny při poloze stolu 45° od svislice, je simulace nahodilého zatížení provedena rovněž v této poloze, Obrázek 62.



Obrázek 62 Napětí v konstrukci při nahodilém zatížení 1 000 N, poloha 45° od svislice

Z obrázku je zřejmé, že v tomto případě je napětí markantně větší než pouze při pracovním zatížení. Nejvíce se projevuje ve středu stolu, kde je stůl uchycen k hřídeli a na čepu u převodovky a ve spoji mezi čepem a vodorovným nosníkem. Napětí se v těchto místech pohybuje kolem 60 MPa. Teoreticky je největší napětí 547,9 MPa. To je ale způsobeno vruby s ostrými hranami, které vzhledem k náročnosti síťování museli být zbaveny zaoblení. Toto maximální zjištěné napětí tedy nelze brát jako směrodatné. Konstrukce by i toto zatížení nahodilou silou 1 000 N na konci stolu měla bezpečně přenést bez porušení nebo trvalé deformace.



Obrázek 63 Posunutí ve vodorovné ose při náhodilém zatížení 1 000 N, poloha 45° od vodorovnice

Deformace je v tomto případě také mnohem větší než při pouze pracovním zatížení (Obrázek 63). Největší deformace je na konci stolu, kde je působiště náhodilé síly. Zde je programem vypočítaná deformace 19,56 mm.

4.7.3 Shrnutí výsledků ze simulací

V první části simulace, kdy bylo polohovadlo zatíženo pouze pracovní silou 300 N, bylo zjištěno největší redukované napětí a deformace při naklopení stolu pod úhlem 45°. V této poloze bylo teoreticky největší napětí 55 MPa, které je ale způsobeno zjednodušením modelu v rozích. Reálné maximální napětí se pohybuje kolem 25 MPa. Největší deformace na konci stolu je 1,85 mm, což je vzhledem k rozměrům a účelu polohovadla zanedbatelné. V ostatních polohách vyšli napětí a deformace ještě menší, taktéž zanedbatelné.

V druhé části bylo testováno náhodilé zatížení 1000 N, které simuluje například opření svářeče o konec stolu. Simulace proběhla v poloze 45°. I při tomto zatížení je maximální redukované napětí přibližně 60 MPa. Největší deformace na konci stolu je 19,5 mm. Tyto hodnoty jsou bezpečné a nehrozí trvalá deformace stolu, ani jiné poškození částí polohovadla. Simulace potvrdili správnost výpočtů a vhodnost zvolených profilů a konstrukčního řešení.

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout, staticky ověřit a zkonstruovat jednoúčelové polohovadlo pro svařování zadaných svařenců. Svařované sestavy jsou boky ocelových závěsných balkonů rozměru 1 000 x 1 000 mm až 1 500 x 1 250 mm. Hmotnost nejtěžšího boku je 30 kg. Polohovadlo muselo být koncepčně jednoduché, snadno ovladatelné a vyrobitelné v dílně zadavatelské firmy.

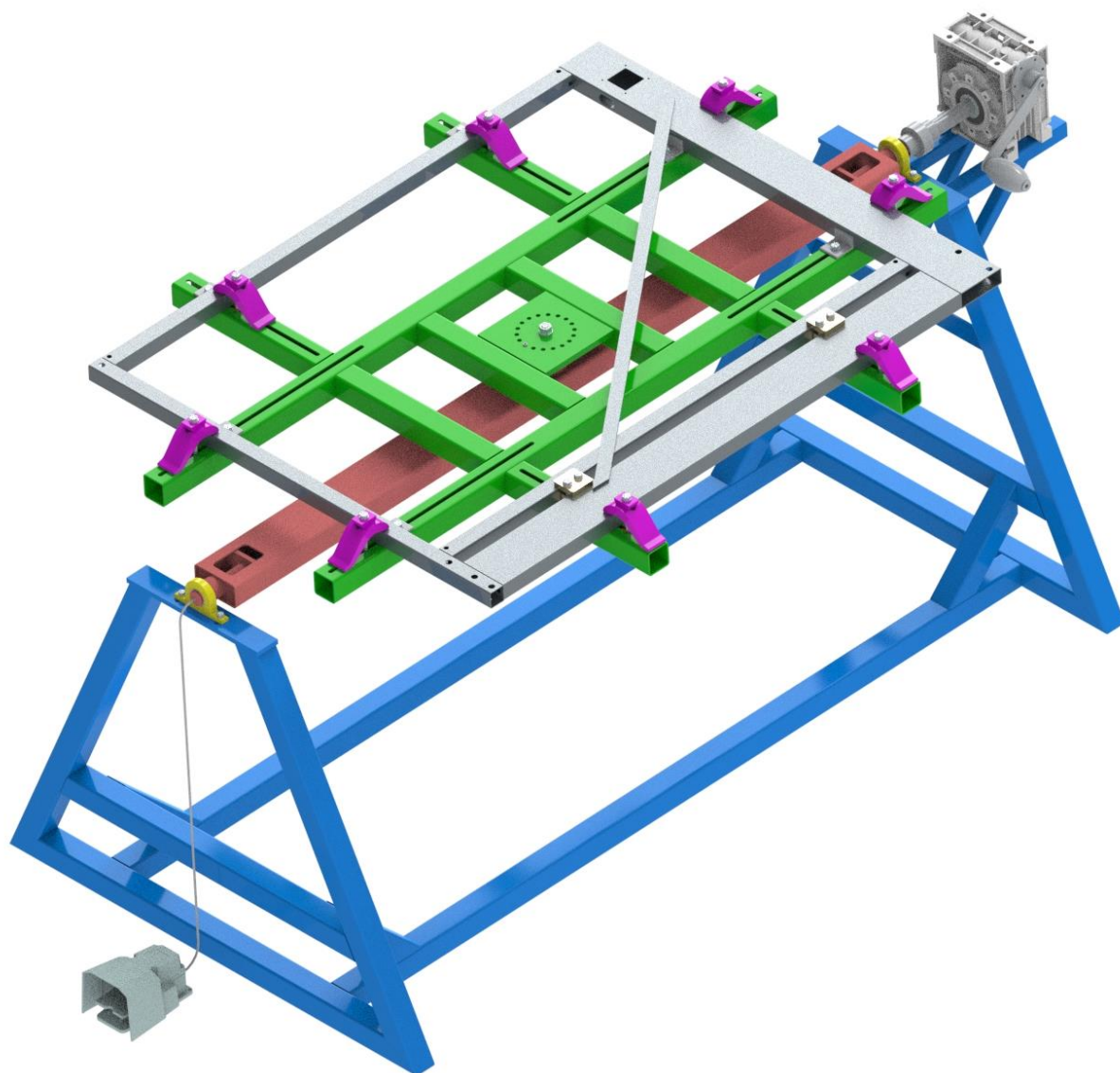
Rešeršní část práce zkoumala podstatu automatizace a mechanizace, druhy polohovadel a upínacích systémů.

Úvod praktické části se soustředí na popsání původního stavu svařovacího pracoviště a svařovacího stolu, následně na vypracování 3 variant polohovadla pro zefektivnění práce a výběr jedné nejlepší varianty.

Vybraná varianta byla dále rozpracována do koncepčního modelu a zároveň byly provedeny návrhové a kontrolní výpočty, které se soustředily na dimenzování jednotlivých profilů, ložisek a čepů. Následovalo zvolení pohonů jednotlivých os a systém zajištění v poloze. Pro vodorovnou osu byla zvolena samosvorná šneková převodovka s ručním pohonem a svislá osa je otočná ručně a zajištění obstarává kolík s tlačnou pružinou, který je přes lanko ovládán nožním pedálem. Dle vypočítaných a zvolených dimenzí byl dokončen úplný model polohovadla.

Tento úplný model byl dále testován v prostředí programu NX na pracovní a nahodilé zatížení v různých polohách. Nejprve bylo zjišťováno, při jakém úhlu natočení pracovního stolu vzniká v konstrukci největší napětí při pracovním zatížení. V této poloze bylo následně přidáno zatížení nahodilé, které simulovalo například opření svářeče o stůl, odložení nářadí nebo materiálu. Kvůli náročnosti síťování tenkostěnných profilů se zaoblením musel být model zjednodušen, tzn. byla odstraněna všechna zaoblení. Zjištěné výsledky ověřily, že konstrukce polohovadla snadno přenesení pracovní i nahodilé zatížení a jeho pružná deformace je v těchto případech minimální.

Cíle diplomové práce byly splněny v plném rozsahu. Během jejího dokončování zároveň započala výroba polohovadla, které bude v dohledné době zprovozněno a využíváno.



Obrázek 64 Finální model polohovadla s uchyceným bokem balkonu

Reference

- [1] *Základní pojmy z automatizace: 32 termínů, které musíte znát*. Online. FACTORY AUTOMATION. 2014. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>. [cit. 2024-05-16].
- [2] *Analýza robotizace výroby svařovaných konstrukcí metodou MAG*. Online, Diplomová práce. Praha: ČVUT Praha, 2022. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103826/F2-DP-2022-Kroupa-Jan-ZAVERECNA-PRACE-Kroupa-final.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [cit. 2024-05-17].
- [3] *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty. Brno: Česká svářečská společnost ANB, VUT v Brně, FSI, 2016.
- [4] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-857-7172-1.
- [5] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. 1. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [6] *Positions Welding 1625570671*. Online. In: Scribd. 2024. Dostupné z: https://www.scribd.com/document/713273206/Positions-Welding-1625570671?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR3tiX3IkEW2Y3DWSaW6vO7ZL3whGCzBAQjDco2HfVXH08PKGggAhn-vNtk_aem_AWpFs-nqX8DFIjDSjSn1ra1uKYeibAi1boealkJYhUfGo2DNLgUYPitvp-MuX7omgOgDB7yyd1hWefb4J3bxAacqO. [cit. 2024-05-04].
- [7] *TECHNOLOGIE*. Online, Učební materiál. Lipová – lázně: ODBORNÉ UČILIŠTĚ A PRAKTICKÁ ŠKOLA, 2007. Dostupné z: <https://oulipova.cz/storage/user-70/module-349/technologie-svarovani-2roc-15851559370phpwfpzpd.pdf>. [cit. 2024-05-04].
- [8] *Svařovací rotační stůl pro trubky*. Online. In: Libí elektro. 2024. Dostupné z: https://libielek-tro.cz/obchod/svarovaci-rotacni-stul-pro-trubky/?wmc-currency=CZK&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw3NyxBhBmEiwAyof-DYY0Fi5zLmMYy1G2_i6mI3BH2X6uRH4tAF13fwtBZmWfKX8Yk1GrqFhoCZvMQAvD_BwE. [cit. 2024-05-16].
- [9] *YASKAWA: WL-500 1-station positioner with two axes*. Online. In: YASKAWA. 2017. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/WL/Flyer_Positioner_WL-500_E_01.2017.pdf. [cit. 2024-05-17].
- [10] *YASKAWA: WH-1000 1-station positioner with horizontal rotation axis*. Online. In: YASKAWA. 2017. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/WH/Flyer_Positioner_WH-1000_E_01.2017.pdf. [cit. 2024-05-17].
- [11] *EPV 1500 - motorické polohovadlo*. Online. In: JC METAL. 2024. Dostupné z: https://eshop.jcmetal.cz/cs/motoricka-polohovadla/2280651624-ep-500-motoricke-polohovadlo.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgeeqBhBAEiwAoDDhn8IIdeEosFcqUAmPBuFbW99mqJ4GabveNvoy0ItHyr9LKsxdhLvgKBoCFrIQAvD_BwE. [cit. 2024-05-17].

- [12] *MP 1500 - manuální polohovadlo*. Online. In: JC METAL. 20000. Dostupné z: <https://eshop.jcmetal.cz/cs/manualni-polohovadla/828-mp-1500-manualni-polohovadlo.html>. [cit. 2024-05-17].
- [13] *JUCAT HUMMERI 8000*. Online. In: JUCAT. Dostupné z: <https://jucat.fi/workpiece-positioners/>. [cit. 2024-05-17].
- [14] *Svařovací přípravek podélníku skladovací palety*. Online, Bakalářská práce. Praha: ČVUT Praha, 2018. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/79538/F2-BP-2018-Hoffmann-Matej-BP-0230.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [cit. 2024-05-17].
- [15] *KIPP_Bedienteile_2016*. Online. In: KIPP. 2016. Dostupné z: https://www.kipp.cz/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP/BEDIENTEILE/Kataloge/Bedienteile_Katalog_2016/cz/KIPP_Bedienteile_2016_cz.pdf. [cit. 2024-05-17].
- [16] *MAKITA 199826-6 svěrky rychloupínací do vodičích lišt*. Online. In: HORNIG nářadí. 2024. Dostupné z: https://www.naradihornig.cz/makita-199826-6-sverky-rychloupinaci-do-vodicich-list-2ks_z45868/. [cit. 2024-05-17].
- [17] *Šroubová svěrka Professional - nitridovaný*. Online. In: JC METAL. 2000. Dostupné z: https://eshop.jcmetal.cz/cs/sverky/299--2-280610n-sroubova-sverka-professional-nitridovany.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgeeqB-hBAEiwAoDDhn6qNvLVkQ1xLTpf_XHWn5_IYQtU-gOMT13U0wycndUZusB5hbSiyeBoCQRAQAvD_BwE. [cit. 2024-05-17].
- [18] *Svěrka úhlová svářečská AXIS 2-osá WAC35D*. Online. In: ART WELD. Dostupné z: <https://www.esvarovani.cz/sverka-uhlova-svarecska-axis-2-osa-wac35d/>. [cit. 2024-05-17].
- [19] *UDL365 - úhlová upínací svěrka s rozsahem 76mm a kapacitou 50mm*. Online. In: Pro sváření.cz. Dostupné z: <https://prosvareni.cz/udl365-uhlova-upinaci-sverka-s-rozsahem-76mm-a-kapacitou-50mm/>. [cit. 2024-05-17].
- [20] *MANUÁLNÍ RYCHLOUPÍNAČE*. Online. MAREK Industrial a.s. 2017. Dostupné z: <https://www.marek.eu/upinaci-technika/rychloupinace/manualni-rychloupinace/>. [cit. 2024-05-17].
- [21] *Katalog*. Online. In: JC METAL. 2023. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/ke-stazeni>. [cit. 2024-05-17].
- [22] *Rychloupínky RY-UP*. Online. In: JC METAL. 2000. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/produkty/rychloupinky-ry-up>. [cit. 2024-05-17].
- [23] *Magnetické upínače ve strojírenství – které typy existují?* Online. UNIMAGNET. 20218. Dostupné z: <https://www.unimagnet.cz/clanek/245/magneticke-upinace-ve-strojirenstvi-ktere-typy-existuji/>. [cit. 2024-05-17].
- [24] *ELEKTROMAGNETICKÝ UPÍNAČ PRO PŘESNÉ POVRCHOVÉ BROUŠENÍ NA PLOCHO ELECTROFINE*. Online. In: WALMAG. 2019. Dostupné z: <https://eshop.walmag.cz/Manufacturer/cs-CZ/18/elektromagneticky-upinac-electrofine>. [cit. 2024-05-17].

- [25] *Excentrické upínací šrouby se svěracím prvkem a dorazem*. Online. In: KIPP. 2024. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Up%C3%ADnac%C3%AD-n%C3%A1C5%99ad%C3%AD/Up%C3%ADnac%C3%AD-excentry-excentrick%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De/Excentrick%C3%A9-up%C3%ADnac%C3%AD-%C5%A1rouby-se-sv%C4%9Brac%C3%ADm-prvkem-a-dorazem.html>. [cit. 2024-05-17].
- [26] *Excentrické upínače pro excentrické upínací moduly*. Online. In: KIPP. 2024. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Up%C3%ADnac%C3%AD-n%C3%A1C5%99ad%C3%AD/Up%C3%ADnac%C3%AD-excentry-excentrick%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De/Excentrick%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De-pro-excentrick%C3%A9-up%C3%ADnac%C3%AD-moduly.html>. [cit. 2024-05-17].
- [27] *Rychloupínací čep bez drážky pro upnutí 2 dílů*. Online. In: JC METAL. 2024. Dostupné z: https://eshop.jcmetal.cz/cs/cepy/160511--2-160511-rychloupinaci-cep-bez-drazky-pro-upnuti-2-dilu-cerneni.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA67CrBhC1ARIsACKAa8Scclkb6qKFJue2hXE2hPszl8tjfc6UD5kAhQYutdBDXC5mPF334aAj7eEALw_wcB. [cit. 2024-05-17].
- [28] *DORAZ KUŽELOVÝ KP PRŮMĚR 40X60MM M8X20*. Online. In: FRAM. 2020. Dostupné z: https://www.rubber.cz/doraz-kuzelovy-kp4060?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA67CrBhC1ARIsACKAa8TrMtQ9qzGx_6npli_e5ddwJrXs1xluhPuHmSFL1Z9irmflAxDc89caAnxqEALw_wcB. [cit. 2024-05-17].
- [29] *Šroubové dorazy stavitelné*. Online. In: NORELEM. 2024. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/P%C5%99ehled-v%C3%BDrobk%C5%AF/Pru%C5%BEn%C3%BD-syst%C3%A9m-normalizovan%C3%BDch-d%C3%ADl%C5%AF/03000-Pru%C5%BEn%C3%A9-tla%C4%8Dn%C3%A9-prvky-Areta%C4%8Dn%C3%AD-%C4%8Depy-Dorazov%C3%A9-prvky-St%C5%99edic%C3%AD-a-polohovac%C3%AD-prvky-Fixa%C4%8Dn%C3%AD-prvky-Vo-dic%C3%AD-vlo%C5%BEky-do-dr%C3%A1C5%BEek/Dorazy/03085-%C5%A0roubov%C3%A9-do-razy-staviteln%C3%A9.html>. [cit. 2024-05-17].
- [30] *Excentrický doraz Ø 75 se závitem M10*. Online. In: JC METAL. 2024. Dostupné z: <https://eshop.jcmetal.cz/cs/dorazy/231--2-160402n-eccentric-stop-o-75-with-m10-thread-nit-rided.html>. [cit. 2024-05-17].
- [31] *Plochý úhelník 250 - povrchová úprava*. Online. In: JC METAL. 2024. Dostupné z: <https://eshop.jcmetal.cz/cs/dorazy/385--2-160444-flat-angle-250-surface-treatment-blackening.html>. [cit. 2024-05-17].
- [32] *Montážní šablona*. Online. In: JC METAL. 2024. Dostupné z: <https://eshop.jcmetal.cz/cs/dorazy/2160455--2-160455n-montazni-sablona-nitridovany.html>. [cit. 2024-05-17].
- [33] *O nás*. Online. PEKSTRA. 2023. Dostupné z: <https://pekstra.cz/o-nas/>. [cit. 2024-05-17].
- [34] *Balkony Pekstra*. Online. In: PEKSTRA. 2023. Dostupné z: <https://pekstra.cz/ocelove-balkony/>. [cit. 2024-05-17].
- [35] *Pružnost a pevnost II*. Online. 2. ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02375-3. Dostupné z: <https://www.stroj-jar.com/viewtopic.php?t=3083&sid=89a849deab8864d5939cd011d1a1b51e>. [cit. 2024-05-17].

- [36] 3526. Online. In: VK ložiska. Dostupné z: https://www.vkloziska.cz/3526f-ku-010#zalozka=detail_parametry. [cit. 2024-05-17].
- [37] *KLUZNÁ LOŽISKA*. Online. In: COROLL. Dostupné z: <https://www.coroll.cz/download-326-084-kluzna-pouzdra-axialni-podlozky-a-pasky-pdf.html>. [cit. 2024-05-17].
- [38] *ŠNEKOVÉ PŘEVODOVKY – ŘADA CM*. Online. In: RAVEO. 2010. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/snekove-prevodovky-cm/>. [cit. 2024-05-17].

Příloha A

Kusovník sestavy

Výkres sestavy jednoúčelového polohovadla

Výkres stolu polohovadla 1800x1400