

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017
Konstruování strojů a technických zařízení
Studijní specializace: Konstruování výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh automatizovaného svařovacího pracoviště

Autor: **Bc. Jaroslav VÁŇA**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav VÁŇA**
Osobní číslo: **S20N0066P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**
Téma práce: **Návrh automatizovaného svařovacího pracoviště**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Provedte rešerši stavu v oblasti automatizovaných svařovacích pracovišť s ohledem na zadanou svařovanou komponentu. Provedte koncepční návrh svařovacího pracoviště. Dále provedte konstrukční návrh vybraného uzlu včetně nezbytných technických výpočtů. Celá konstrukce musí splňovat platné bezpečnostní předpisy.

Osnova práce:

1. Rešerše současného stavu
2. Specifikace požadavků
3. Návrh konstrukčního řešení
4. Zhodnocení práce, závěr

Konzultant: Ing. Martin Beber, KKS ZČU

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

Seznam doporučené literatury:

Doporučená literatura:

[1] HOSNEDL, S. KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer Press, 1999

[2] HOSNEDL, S. KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 2*. Praha: Computer Press, 2000
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

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

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 30. listopadu 2022

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Prohlašuji, že neocitované obrázky, tabulky, schémata a texty vychází z mých vlastních znalostí, případně zkušeností a věcných připomínek pánů Ing. Votápka Ph.D. a Ing. Bebera.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D za vedení práce. Dále rovněž děkuji Ing. Petru Votápkovi, Ph.D a Ing. Martinu Beberovi za cenné rady a připomínky vedoucí k vypracování této práce.

V Plzni dne 25. května 2023

Bc. Jaroslav Váňa

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Váňa	Jméno Jaroslav		
STUDIJNÍ OBOR	N0715A270017 - Konstruování strojů a technických zařízení			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		
NÁZEV PRÁCE	Návrh automatizovaného svařovacího pracoviště			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	120	TEXTOVÁ ČÁST	73	GRAFICKÁ ČÁST	47
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá konstrukčním návrhem automatizovaného svařovacího pracoviště určeného pro typizovanou sadu výrobků (plechových svařenců). Návrh obsahuje koncepční řešení celkového uspořádání pracoviště, konkrétně úvahu nad vhodným tokem materiálu a možnostmi zakládání polotovarů. Řeší ergonomii a celkovou efektivitou pracoviště. Dále práce zahrnuje detailní konstrukční návrh specifických funkčních uzlů, např. přípravky pro robotické zakládání polotovarů, pneumatické upínací přípravky pro svařování nebo mechanismy pro interní manipulaci s díly.
KLÍČOVÁ SLOVA	Automatizace, robotizace, svařování, MKP, MIG, optimalizace

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Váňa	Name Jaroslav
FIELD OF STUDY	N0715A270017 - Design engineering of machines and technical devices	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D..	Name Josef
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Design engineering of automated welding workstation	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2023
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	-------------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	120	TEXT PART	73	GRAPHICAL PART	47
----------------	-----	------------------	----	---------------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis deals with the design of an automated welding workplace for a standardized set of products (sheet metal weldments). The design includes a conceptual solution of the overall layout of the workplace, in particular a consideration of the appropriate material flow and the possibilities of inserting stock. It addresses ergonomics and overall workstation efficiency. Furthermore, the thesis includes a detailed design of specific functional nodes, e.g. a jig for robotic workpiece loading, pneumatic clamping fixtures for welding or mechanisms for internal part handling.
KEY WORDS	Automation, robotics, welding, FEM, MIG, optimization

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretické poznatky k problematice	2
2.1	Průmyslová automatizace	2
2.2	Robotické svařování.....	2
2.2.1	Metoda MIG/MAG.....	3
2.2.2	Svařování metodou WIG (TIG).....	6
2.2.3	Svařování laserem.....	7
2.2.4	Svařování svazkem elektronů.....	8
2.3	Ergonomie a bezpečnost práce.....	10
2.4	Předběžné zhodnocení a volba technologie	10
3	Specifikace zadání.....	12
3.1	Popis svařovaných součástí.....	13
3.1.1	Aktuální stav a konstrukční řešení svarů	13
3.1.2	Výchozí stav polotovaru a tolerance	14
3.2	Prostorová a logisticko-dispoziční omezení	14
4	Návrh struktury pracoviště	16
4.1	Metodika konstrukčního návrhu	16
4.2	Tvorba možných variant	17
4.3	Popis variant pracoviště	17
4.3.1	Varianta s otočným stolem	17
4.3.2	Varianta s lineárním pohybem.....	18
4.4	Zhodnocení variant pracoviště	19
4.5	Zvolené řešení konceptu pracoviště	21
5	Konstrukční návrh dílčích uzlů pracoviště.....	23
5.1	Návrh a volba systému zakládání polotovarů na vstupu.....	23
5.1.1	Vertikální orientace polotovarů	23
5.1.2	Horizontální orientace polotovarů	24
5.1.3	Zvolené řešení.....	24
5.2	Volba manipulačního robota a uchopovacího přípravku	25
5.2.1	Návrh přípravku.....	25
5.2.2	Volba robota	27
5.3	Volba svařovacího robota a MIG hořáku.....	28
5.4	Návrh upínacího mechanismu.....	28
5.4.1	Popis iteračních variant upínacího mechanismu	29
5.4.2	Zhodnocení variant upínacího mechanismu	31
5.4.3	Zvolené řešení upínacího mechanismu.....	31

5.5	Volba otočného indexovacího stolu	33
5.6	Návrh koncepce zásobníku pro kolíky	35
5.7	Návrh mechanismu pro manipulaci a ustavení kolíku při svařování	36
5.7.1	Popis zvažovaných variant	36
5.7.2	Zhodnocení variant	39
5.7.3	Zvolené řešení	40
5.8	Návrh a volba mechanismu pro odjímání, přesun a kontrolu svařenců	42
5.8.1	Funkční popis, shození	43
5.8.2	Dopravník a skluzu do gitterboxů	43
5.8.3	Kontrola svarů	44
5.9	Konstrukční návrh nosného rámu a krytování	44
5.9.1	Segmenty rámu	44
5.9.2	Krytování a přístupové koridory	45
5.10	Volba přidružených systémů, PLC a senzoriky	46
6	Výpočetní část a detailování	48
6.1	Návrh a optimalizace koncového chapadla pro kolík	48
6.1.1	Postup konstrukčního návrhu	48
6.1.2	Topologická optimalizace a kontrolní MKP výpočet chapadel	49
6.2	Návrh a optimalizace nosného rámu	53
6.2.1	Definice gOpt úlohy	53
6.2.2	Modální analýza	55
7	Popis a zhodnocení navrženého pracoviště	56
7.1	Funkční popis produkčního cyklu	56
7.2	Odhad časů výrobního cyklu	58
7.2.1	Varianta s kolíkem	59
7.2.2	Varianta bez kolíku	60
7.3	Obslužnost a ergonomicko-bezpečnostní zhodnocení	61
7.3.1	Bezpečnost a ergonomie pracoviště	61
7.3.2	Obslužnost a zasazení pracoviště v hale	62
7.4	Ekonomické zhodnocení	63
7.4.1	Vstupní náklady	63
7.4.2	Provozní náklady	64
7.4.3	Návratnost	65
8	Závěr	67
	Reference	69
	Seznam obrázků	71
	Seznam tabulek	73

Seznam použitého software

- MS Word
- MS Excel
- MS Powerpoint
- Siemens NX
- PTC Mathcad

Seznam zkratk

- TS – technický systém
- DP – diplomová práce
- TrfP – transformační proces
- MKP/FEM – metoda konečných prvků (finite element method)
- PLC – programmable logic controller
- gOpt – geometrická optimalizace
- tOpt – topologická optimalizace
- BEP – bod zvratu (break even point)

Seznam fyzikálních veličin

- F [N] – síla
- t [s] – čas
- M_k [N.m] – kroutící moment
- P [W] – výkon
- I [kg.m²] – moment setrvačnosti
- σ [Pa] – napětí v tahu
- μ [-] – součinitel tření

Seznam technických výrazů

- Gripper – pneumatické/elektrické chapadlo
- Efektor – koncové aktivní zařízení na robotu (většinou gripper) s palci
- Drive – pohonná jednotka motoru
- Aktuátor – akční člen

Seznam příloh

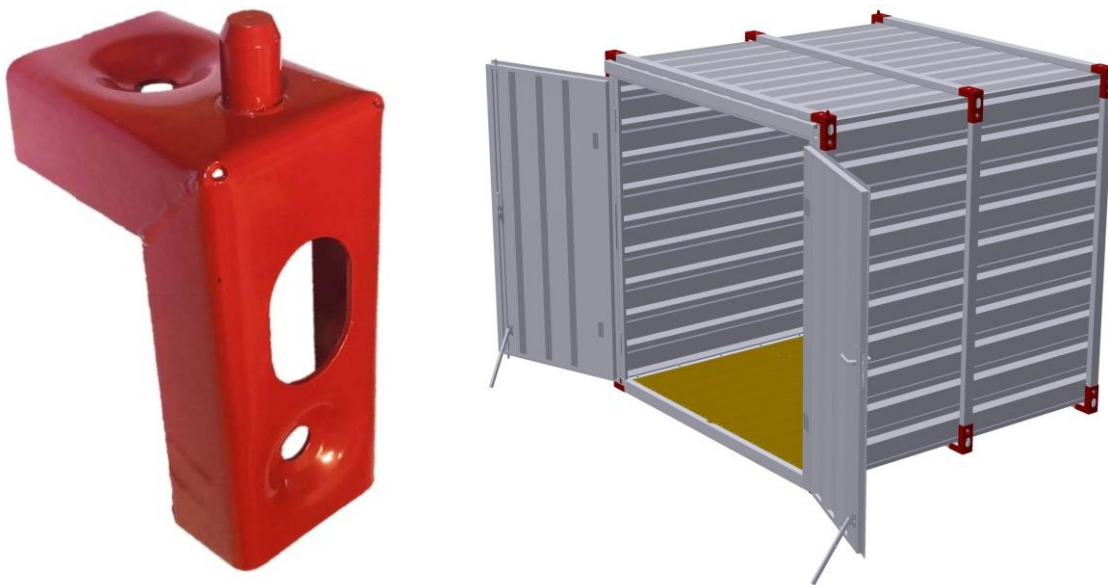
- A – Upřesňující analytické výpočty
- B – Upřesňující MKP výpočty
- C – Tabulky a schémata v MS Excel
- D – Výkresová dokumentace

1 Úvod

Motivací pro vznik zadání této DP je snaha zadavatele, kterým je domažlické výrobní družstvo Kovobel, o zefektivnění procesu výroby svařovaného plechového dílu. Především jde o snížení celkových nákladů, nahrazení nutnosti manuálního svařování při jeho produkci a tím i odstranění negativních vlivů a rizik spojených s lidským faktorem při repetitivní činnosti ve výrobě.

Prvním zadaným cílem DP je zhotovení koncepčního návrhu nového automatizovaného svařovacího pracoviště pro výrobu určené součásti s ohledem na efektivitu, jakost, ergonomii a bezpečnost výroby. Konkrétně jde o zhotovení návrhu uspořádání a sledu dílčích stanovišť pro jednotlivé operace.

Druhým cílem je detailní konstrukční návrh orgánové struktury definovaných funkčních uzlů na daném pracovišti. Především mechanismu pro zakládání a upnutí polotovaru, dále posuvového mechanismu a zařízení pro vyjmutí svařence. Obrázek 1-1 zobrazuje fotografii výsledného produktu, jímž je strukturní rohový element plechového kontejneru. Detailní popis daného dílu je součástí kapitoly 3.1.



Obrázek 1-1 Rohový úhelník – foto a plechový kontejner

Červený rohový element plní dvě základní funkce, první je zajištění tvaru a tuhosti kontejneru, druhou je umožnění bezpečné stohovatelnosti (skládání) více kontejnerů na sebe. Pro tuto funkci disponuje každý kontejner na střeše dvěma rohovými elementy ve variantě se středícím kolíkem/čepem, na který může dosedat protikus podlahového elementu horního kontejneru pro zajištění vzájemné polohy a zabránění sesunutí. Zbývající elementy jsou vyráběny ve variantě bez čepu, pouze s dírou v horní ploše a jsou tak výrobně jednodušší.

2 Teoretické poznatky k problematice

Tato kapitola se věnuje rešerši současného stavu na poli automatizovaného svařování a uvedení základních teoretických poznatků k dané problematice.

2.1 Průmyslová automatizace

Automatizace a robotizace výroby používá různé technické prostředky, které mají za úkol pracovat samočinně na dílčích nebo celých pracovních procesech podle předem stanoveného programu. Ve svařování musíme automatizaci chápat komplexně a je možné ji řešit jednoúčelovými nebo univerzálními zařízeními, případně jejich vzájemnou kombinací. Využití automatizace a robotizace je běžné především ve velkosériové výrobě, ale v posledních letech častěji i v kusové a malosériové výrobě. Díky využití těchto technologií je při práci redukován lidský faktor, čímž je zvyšována spolehlivost a výkonnost. [1]

Jedním z klíčových přínosů průmyslové automatizace je zvýšení efektivity, automatizované procesy mohou provádět úkony rychleji a důsledněji oproti manuálním procesům, což snižuje prostoje a zlepšuje celkovou produktivitu. Automatizace dále skýtá možnosti významné redukce nákladů, automatizované systémy mohou například pomoci snížit výdaje na pracovní sílu, kromě toho mohou pomoci snížit zmetkovitost, jsou zpravidla přesnější a konzistentnější než manuální procesy, což vede k menšímu počtu vad a lepší kvalitě výrobků. [2]

Automatizace zároveň umožňuje zvýšit bezpečnost provozu tím, že redukuje potřebu manuální práce v nebezpečném prostředí. Automatizované systémy mohou provádět úkony riskantní pro lidské pracovníky, dále dovolují snáze monitorovat prostředí z hlediska potenciálních rizik (kolize, únik látek apod.), čímž pomáhají předcházet nehodám. Kromě toho lze automatizovat repetitivní úlohy, snižovat únavu lidské obsluhy a uvolnit ji tak pro komplexnější úkoly s vyšší přidanou hodnotou. Kromě výše zmíněných benefitů nevyžadují automatické procesy přestávky nebo volno, což v dlouhodobém horizontu přináší významné úspory. [3]

2.2 Robotické svařování

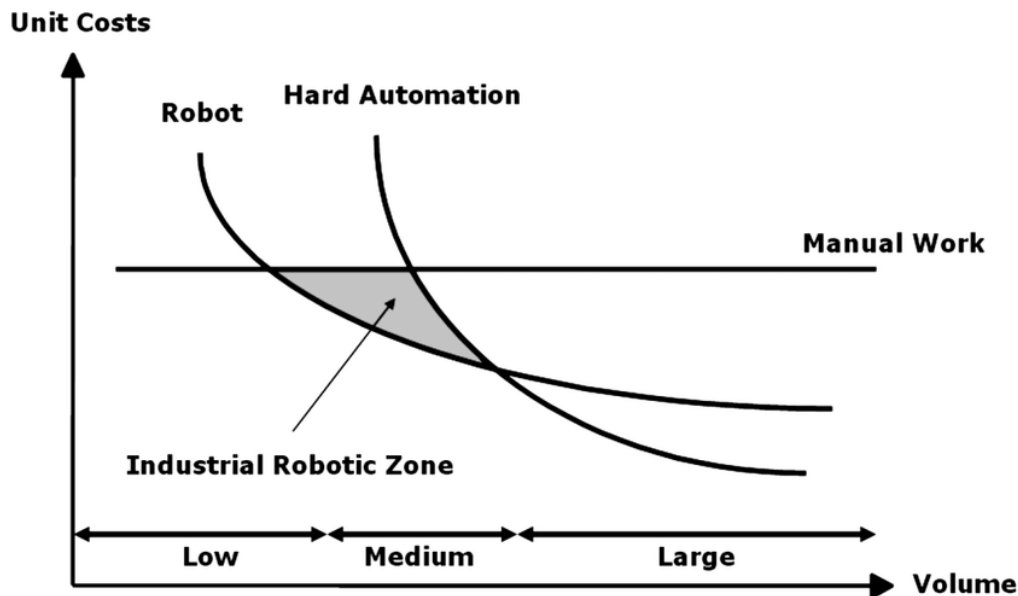
Automatizované svařovací systémy mohou razantně zvýšit rychlost a přesnost svařovacího procesu. Použitím robotů k provádění svařování se výrazně snižuje pravděpodobnost lidské chyby, což vede ke konzistentnějšímu a kvalitnějšímu zhotovenému výrobku. Kromě toho mohou automatizované svařovací systémy pracovat mnohem rychleji než lidská obsluha, což vede ke zvýšení produktivity výroby a zkrácení doby výrobních cyklů. [4]

Z hlediska bezpečnosti může automatizace hrát významnou roli při snižování rizik spojených se svařováním. Svařování je proces, který může pracovníky vystavit řadě zdravotních a bezpečnostních rizik, včetně nebezpečí popálenin, vdechování výparů a vystavení UV záření. Automatizované svařovací systémy jsou zpravidla vybaveny bezpečnostními prvky jako jsou kryty a odsávací systémy, které účinně pomáhají tato rizika minimalizovat a chránit pracovníky. [5]

Mezi základní mezinárodní zkratky pro označování svařovacích operací patří tyto:

- **WIG** (Wolfram Inert Gas) - svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu, metoda se též označuje zkratkou **TIG** – Tungsten IG
- **MIG** (Metal Inert Gas) - svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu
- **MAG** (Metal Activ Gas) - svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu

Průmyslové robotické svařování je celosvětově zdaleka nejpoblárnější aplikací robotiky. [1] Ve skutečnosti existuje obrovské množství produktů, které ve svých montážních procesech vyžadují svařovací operace. Pravděpodobně nejvýznamnějším příkladem je automobilový průmysl, kde se v dílnách s karoseriemi na montážních linkách provádějí operace bodového svařování a svařování metodou MIG/MAG. Nicméně, roste počet menších podniků, které se orientují na zákazníka a vyrábějí menší série nebo specifické výrobky. Tito uživatelé vyžadují kvalitní a vysoce automatizovaný svařovací proces, aby mohli včas a kvalitně reagovat na potřeby klientů. Právě pro tyto podniky nejvíce uplatňují koncepty agilní výroby s využitím robotického svařování podpořené flexibilním nastavením výroby. [6]



Obrázek 2-1 Vhodné podmínky nasazení robotického svařování ve výrobě, převzato z [7]

Následující podkapitoly popisují výběr čtyř technologií svařování, které jsou potenciálně vhodné pro aplikaci při řešení určeného konstrukčního zadání. Byli zvoleni dva zástupci „standartních“ v průmyslu běžně užívaných technologií, konkrétně MIG a TIG. Dále pak dva zástupci „inovativních“ svařovacích technologií, které především díky značné energetické účinnosti i vysoké kvalitě svarů získávají stále větší podíl v průmyslové výrobě, jde o svařování laserem a elektronovým paprskem.

2.2.1 Metoda MIG/MAG

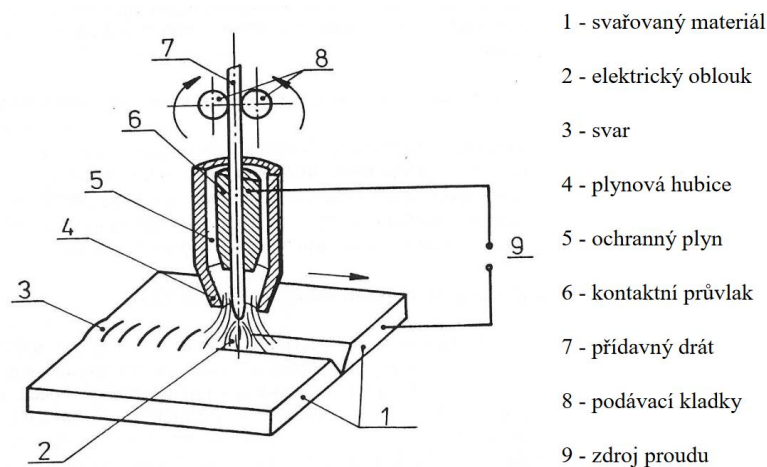
Svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí pomocí ochranné atmosféry aktivního plynu MAG je jednou z nejrozšířenějších metod svařování na celém světě. Svařování hliníkových slitin metodou MIG v inertním plynu získává stále větší důležitost díky rostoucímu počtu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyrobených z těchto slitin. Metoda MIG/MAG se rozšiřuje především díky následujícím faktorům: široká škála dostupných přídatných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost automatizace a robotizace, široká nabídka svařovacích zařízení a zejména významné výhody spojené s touto metodou svařování. [5] [6]

Princip svařování metodou MIG/MAG

Princip MIG/MAG svařování spočívá v hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem nebo svarovou lázní. Svařovací drát slouží jako třetí kontakt v kontaktní špičce svařovacího hořáku. Elektrický proud z plochého statického

svařovacího zdroje napájí svařovací drát. Ochranný plyn chrání svarovou lázeň a stabilizuje oblouk. Při dlouhodobém svařování s vyššími parametry je nutné chladit svařovací hořák cirkulací vody přes multifunkční kabel. Hlavní výhodou MIG/MAG svařování je možnost poloautomatického podávání přídatného materiálu, což umožňuje svářeči snadněji formovat svar a kontrolovat lázeň. Tím se snižuje četnost technologických přestávek při výměně elektrod oproti ručnímu svařování. Tyto faktory přispívají k vyšší efektivitě svařování, zejména při použití větších průměrů elektrod a vyšších proudů. [6]

MIG/MAG svařování je vhodné pro svařování ve všech polohách a dosahuje srovnatelné kvality svaru. Existuje široká škála dostupných ochranných plynů a přídatných materiálů. Svařování je snadno automatizovatelné a robotizovatelné, což z něj činí jednu z nejčastěji používaných metod. [6]

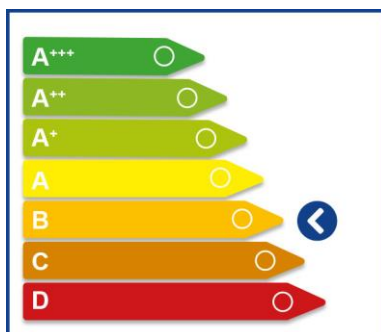


Obrázek 2-2 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG, převzato z [8]

Výhody svařování MIG/MAG [6]

- svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm
- vysoká efektivita
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu
- stabilní plynová ochrana v různých variantách umožňující diferencované typy přenosu kovu v oblouku a ovlivnění mechanických vlastností svarů
- nízká pórovitost
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování

Pokud jde o náklady, cena robotického svařovacího systému MIG se značně liší v závislosti na konkrétním systému a jeho schopnostech. Základní systémy obvykle stojí kolem 50 000 USD, zatímco pokročilejší systémy mohou stát až 200 000 USD. Ve srovnání s ručními svařovacími technikami může být počáteční investice do robotického svařovacího systému MIG značná, ale výhody v podobě vyšší efektivity, produktivity a celkové kvality svařování mohou počáteční investici rychle vyvážit. [1]



Obrázek 2-3 Energetická náročnost metody MIG/MAG v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)

Při výběru robotického svařovacího systému MIG je důležité zvážit faktory, jako je velikost svařovaných dílů, složitost svařovacího úkolu a požadovaná úroveň přesnosti. Díky vysoké přesnosti a opakovatelnosti, rychlým a efektivním svařovacím schopnostem a všestrannosti je ideálním řešením pro širokou škálu svařovacích úloh. Je však důležité zvážit náklady na systém a ujistit se, že se jedná o vhodnou volbu pro konkrétní svařovací úkon.

Ochranné plyny pro MIG/MAG

Ochranné plyny pro MIG/MAG svařování slouží k zabránění přístupu vzduchu do svařovacího prostoru a chrání různé části svaru. Výběr ochranných plynů závisí na různých faktorech, jako je materiál, požadované vlastnosti svaru, tloušťka materiálu, typ svaru, rychlost postupu a poloha svařování. Nejčastěji se používá argon a helium, případně jejich směsi. Použití inertních plynů je nezbytné pro čisté formy hliníku, hořčíku, niklu, mědi, titanu a dalších materiálů. [6]

CO₂ se používá buď samostatně nebo ve směsích s inertními plyny nebo O₂. Při svařování ocelí se obvykle používají směsi Ar + CO₂. Obsah CO₂ v plynu při svařování korozivzdorných ocelí by neměl překročit 4 %. Samotné CO₂ se využívá zřídka kvůli rozstříku svarového kovu a zvýšeným nákladům na upravení svařence. Ochranné plyny se čerpají z centrálních rozvodů nebo tlakových lahví. [6]

Spotřeba ochranných plynů závisí na svařovacím proudu, materiálu a velikosti svaru. Spotřeba plynu CO₂ je vyšší než u směsí plynů. Doporučený průtok svařovacího plynu se pohybuje mezi 8 a 25 litry za minutu. Při svařování hliníku s 100% He může spotřeba dosáhnout až 40 l/min. Používají se jednosložkové nebo vícesložkové plyny s ohledem na technické a ekonomické faktory. [6]

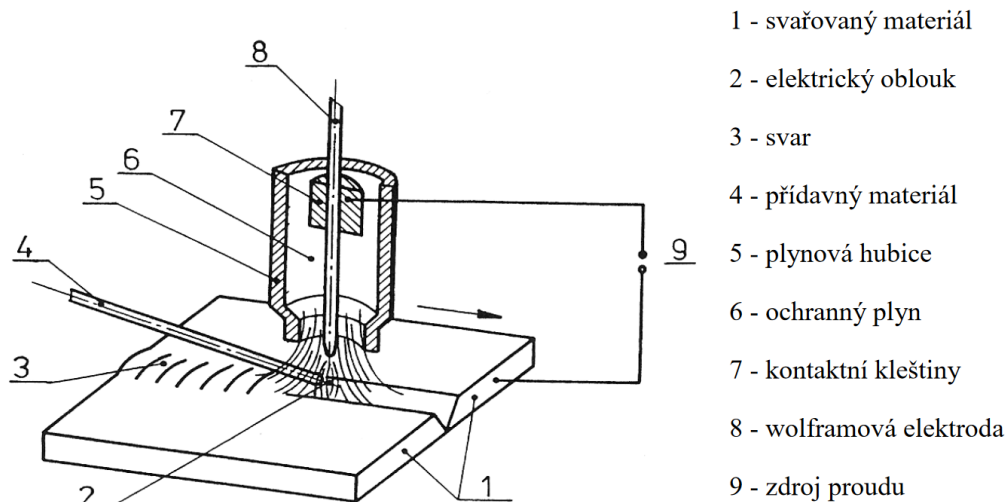
Přídavné materiály pro MIG/MAG

Při MIG/MAG svařování se používá nepřetržitě podávaný drát jako přídavný materiál. Podavač drátu zajišťuje rovnoměrné a bezdeformované podávání drátu bez poškození jeho povrchu. Přídavné materiály obsahují legury a dezoxidační přísady pro rafinaci a dezoxidaci svarového kovu a přidávají potřebné prvky. Přídavný materiál pro svařování ocelí obsahuje mnoho prvků, včetně železa, uhlíku, manganu, křemíku, fosforu, titanu, zirkonia, hliníku, niklu, molybdenu, chromu a vanadu, které přispívají k požadovaným vlastnostem svaru. Metoda MIG/MAG svařování se používá pro spojování různých materiálů a renovace. Přídavné materiály jsou k dispozici ve formě plného drátu nebo plněného drátu (trubičkové dráty) a jsou dodávány v různých rozměrech a hmotnostech, včetně cívek o hmotnosti 15 kg a svitků o hmotnosti až 250 kg pro robotická pracoviště umožňující nepřetržitě svařování. [6]

[3]

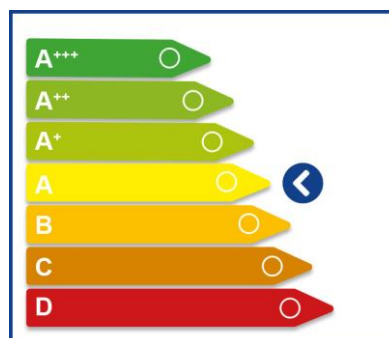
2.2.2 Svařování metodou WIG (TIG)

Svařování metodou WIG (TIG) je tavná metoda svařování elektrickým obloukem, která se často používá při spojování hliníku, hořčíku, korozivzdorných ocelí, niklu, mědi, bronzů, titanu, zirkonu a dalších kovů. Jedna z charakteristik této metody je použití neodtavujících wolframových elektrod vyrobených z čistého wolframu nebo s legurou wolframu. Druhou důležitou vlastností je použití inertních plynů (např. argon, hélium) pro ochranu svarové lázně a elektrod. Plyny musí být čisté, aby se minimalizovalo opotřebení elektrod a zabránilo se vzniku vad ve svarech. [6]



Obrázek 2-4 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu – TIG, převzato z [8]

Při svařování metoda TIG hoří elektrický oblouk mezi wolframovou elektrodou a materiálem nebo svarovou lázní. Tento proces generuje teplo, které taví hrany svarového materiálu a případně přídavný materiál. Použití inertní atmosféry (helium, argon nebo jejich směsi) je nezbytné pro ochranu svářených spojů a omezení přístupu kyslíku, zejména při svařování hliníku, hořčíku, titanu, zirkonu, niklu, mědi a molybdenu. Závisle na materiálu se používá střídavý nebo stejnosměrný proud, případně i pulsní proud. Metoda WIG je vhodná pro spojování těžko svařitelných materiálů, jako je titan a zirkon, ale méně se používá pro svařování uhlíkové oceli kvůli možnosti vzniku vad a z hlediska ekonomické efektivity. [3] [6]



Obrázek 2-5 Energetická náročnost metody TIG v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)

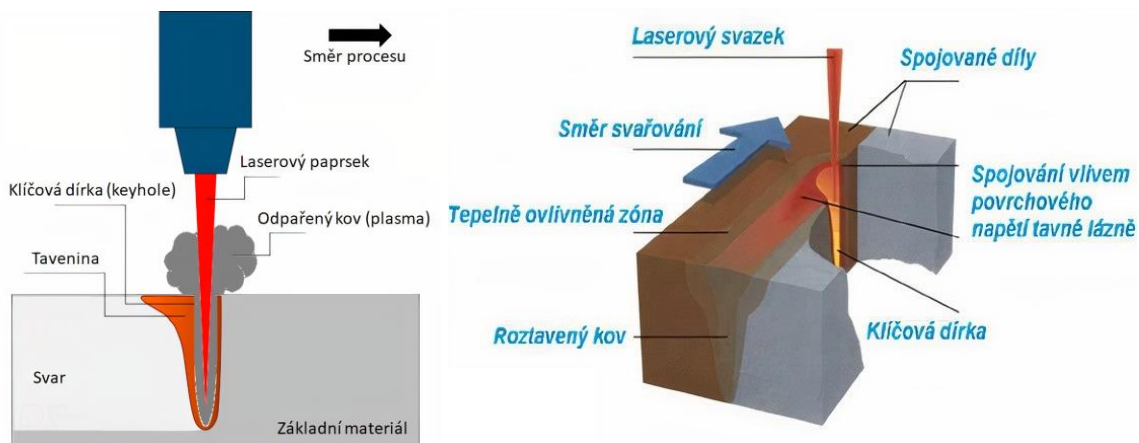
Výhody svařování metodou TIG [6]

- svařování různých materiálů navzájem, např. uhlíkové a korozivzdorné oceli, měď, mosaz apod.
- možnost svařování široké škály materiálů
- čistý povrch svaru
- dobrý vzhled svaru na straně povrchu i kořenové části
- elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů
- vysoká operativnost při svařování v polohách
- jednoduchá obsluha a přesná regulace parametrů svařování
- svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace
- možnost velmi přesného dávkování množství tepla vneseného do svaru

2.2.3 Svařování laserem

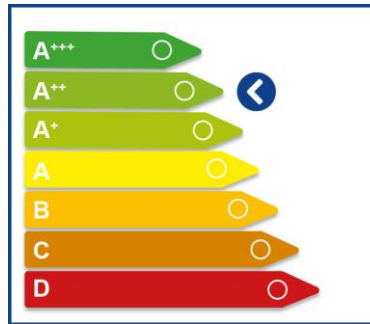
Svařování laserem zažilo významný technologický pokrok na přelomu tisíciletí. Důvodem je jak vývoj nových a výkonnějších laserů, tak rostoucí potřeba svařování moderních obtížně zpracovatelných materiálů. Laserové svařování má několik výhod oproti tradičním metodám, jako je vysoká kvalita svaru, větší hloubka průvaru, menší tepelně ovlivněná zóna, vysoká produktivita, automatizace a estetický vzhled svaru. Kromě kovů se laserové svařování čím dál častěji používá také pro svařování plastů a speciálních materiálů. [6]

Existují dva hlavní způsoby laserového svařování. První způsob je pulzní svařování s nízkou frekvencí, které vytváří spoj z mnoha překrývajících se bodů. Tato metoda je vhodná pro tenké materiály, malosériovou výrobu, spojování obtížně svařitelných materiálů a při spojování dílů s konstrukčními omezeními. Druhý způsob využívá klíčovou díрку, která vytváří kapiláru naplněnou ionizovanými výpary kovu. Tato metoda umožňuje svařování bez úpravy svarových ploch, bez použití přídavného materiálu a s možností svařování v jednom průchodu.[6]



Obrázek 2-6 Princip laserového svařování, převzato z [9]

Laserové svařování nabízí nejen ekonomické, ale i kvalitativní výhody, jako je vysoká kvalita svaru, snadná kontrola průvaru, malé deformace dílů a úzká tepelně ovlivněná oblast. Oba způsoby svařování laserem využívají ochrannou atmosféru a umožňují automatizaci svařovacích operací. Jedinou nevýhodou je vysoká počáteční investice do laserového systému, což omezuje použití této technologie na sériovou výrobu. [1] [6]



Obrázek 2-7 Energetická náročnost laserového svařování v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)

Výhody svařování laserem: [6]

- adaptabilita s rychlou změnou technologie
- čistý provoz bez potřeby přídavných materiálů a odpadů
- provoz laseru je tichý, hluboko pod hranicí hluku konvenčních technologií
- laserový svazek lze dělit na různá pracovní místa soustavou zrcadel a hranolů
- snadná automatizace procesu
- možnost svařovat tloušťky od několika mikrometrů do 15 mm
- svařování tenkých plechů v automobilovém průmyslu bez ochranné atmosféry
- úzký a hluboký svar
- malé deformace, malé zbytkové vnitřní pnutí vzniklé svařováním a malé tepelně ovlivněné pásmo

2.2.4 Svařování svazkem elektronů

Při svařování elektronovým svazkem se elektrony uvolňují a urychlují nebo soustředí na malý bod (průměr 0,1 mm) povrchu svařovaného obrobku tepelnou emisí ve vysokém stupni vakua ($< 10^{-4}$ mbar) v systému triody, který se skládá z katody, řídicí elektrody a anody. Elektrony jsou urychlovány na obrobek rychlostí přibližně 2/3 rychlosti světla a dochází k tepelné přeměně, která způsobí roztavení materiálu. Elektronový paprsek má mnohem vyšší hustotu energie než laserový paprsek a je také tenčí.

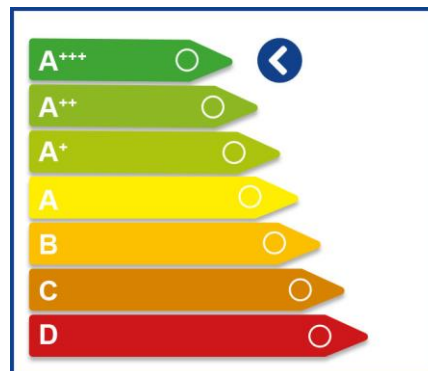
Proces svařování obvykle probíhá ve vakuu, protože elektronový paprsek je pohlcován vzduchem. To značně brzdí výrobní proces při výměně obrobků. Vakuum je však pro proces svařování nejvhodnější, protože v něm nedochází k reakcím mezi taveninou obrobku a vzduchem. Reaktivní materiály lze ve vakuu svařovat bez rizika oxidace mnohem vyšší rychlostí než například při obloukovém svařování. Při posuzování celkové produktivity je třeba vzít v úvahu čas potřebný k odčerpání vzduchu z vakuové komory. [1]



Obrázek 2-8 Schéma svařování elektronovým paprskem, převzato z [10]

Při vysoké rychlosti svařování (až 120 mm/s) lze realizovat úzké a tenké spojovací svary s velmi malou tepelnou deformací. Výsledkem je extrémně nízké smrštění a deformace ve srovnání s obloukovým svařováním a svařováním laserovým paprskem. Svařování elektronovým paprskem se obvykle provádí bez přídavného materiálu a lze jej velmi snadno provádět pomocí technologie vícepaprskové lázně (multi-beam bath).

Vysoká flexibilita tohoto procesu umožňuje svařovat tenké fólie o tloušťce 0,1 mm až po velmi silné materiály, jako je ocel s hloubkou svařování 100 mm, v jednom pracovním kroku. Umožňuje svařovat obtížně svařitelné materiály, kombinace materiálů s vysokou teplotou tavení nebo materiály citlivé na přítomnost plynů. Magnetické materiály musí být před svařováním demagnetizovány, jinak by magnetické pole mohlo vychýlit elektronový paprsek.



Obrázek 2-9 Energetická náročnost svařování elektronovým paprskem v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)

Celková účinnost procesu přeměny energie ze vstupního proudu na výstupní výkon paprsku je výrazně vyšší a efektivnější než u laserového svařování. Účinnost využívání zdrojů a udržitelnost jsou ukazateli, které nyní reguluje směrnice EU o ekodesignu (2009/125/ES). Posouzení životního cyklu je metoda odhadu dopadu výrobku nebo procesu na životní prostředí. Tyto zákonné požadavky jsou v procesu svařování elektronovým svazkem splněny s vynikajícími výsledky. Svařování elektronovým svazkem se vyznačuje mimořádně vysokou a reprodukovatelnou kvalitou. [1]

2.3 Ergonomie a bezpečnost práce

Při vývoji a provozu automatických průmyslových svařovacích pracovišť je klíčové klást důraz na optimální ergonomii a vysokou úroveň bezpečnosti, aby se minimalizovalo riziko pracovních úrazů a zlepšilo pracovní prostředí pro operátory. Při navrhování těchto pracovišť je nezbytné dodržovat příslušné normy a směrnice, které se věnují ergonomickým aspektům a ochraně pracovníků. [11]

Jednou z klíčových norem je ČSN EN ISO 6385, která poskytuje směrnice pro ergonomický návrh pracovišť. Tato norma zdůrazňuje důležitost správného umístění ovládacích prvků a pracovních nástrojů, aby se minimalizovala fyzická zátěž a nevýhodné pracovní polohy. Například umístění ovladačů a dalších zařízení by mělo být takové, aby jejich používání nevyžadovalo přílišnou námahu nebo nepřírozené pohyby. Kromě toho by mělo být zajištěno dostatečné osvětlení pracovního prostoru a možnost individuálního nastavení interakčních prvků pro přizpůsobení různým potřebám operátorů. [12]

Bezpečnost práce na robotizovaných svařovacích pracovištích je řešena normou ČSN EN ISO 10218, která stanovuje požadavky na bezpečnost robotických systémů. K zajištění bezpečnosti je nezbytné implementovat opatření, jako jsou bezpečnostní bariéry, které oddělují pracovní oblasti robotů od ostatních prostorů, a používat bezpečnostní senzory, které detekují přítomnost osob v blízkosti robotů a zajišťují rychlé zastavení činnosti při nebezpečí. Důležitým prvkem je také poskytování odpovídajícího školení zaměřeného na bezpečné zacházení s roboty, prevenci kolizí a správné postupy v případě havárií nebo mimořádných událostí. [13]

Kromě obecných norem je v případě svařovacích pracovišť důležité dodržovat normu ČSN EN ISO 15011 pro bezpečnost svařovacích robotických systémů. Tato norma klade důraz na instalaci a údržbu odpovídajících ventlačních systémů, které zajišťují efektivní odvod svařovacích emisí. Je nezbytné používat svařovací přepážky nebo kabiny, které oddělují svařovací operace od ostatních pracovních prostorů. Důležitá je také správná manipulace se svařovacími elektrodami a zařízeními, aby se minimalizovalo riziko požárů a zranění. [14]

Řádné dodržování těchto norem a směrnic je klíčové pro minimalizaci rizika pracovních úrazů, zlepšení ergonomie pracovního prostředí a celkové zvýšení bezpečnosti na robotizovaných svařovacích pracovištích.

2.4 Předběžné zhodnocení a volba technologie

Na základě aspektů a vlastností výše zmiňovaných svařovacích technologií byla sestavena kritéria pro jejich porovnání a určení nejvhodnější technologie pro určené zadání. Jako hodnotící kritéria byla zvolena následující: jednoduchost implementace, provozní spolehlivost, nutné výrobní tolerance polotovaru/pozicování dílů při svařování, zástavbový prostor, rychlost svařování. Z hlediska nákladů byla rozhodujícím parametrem energetická náročnost dané technologie a její pořizovací náklady.

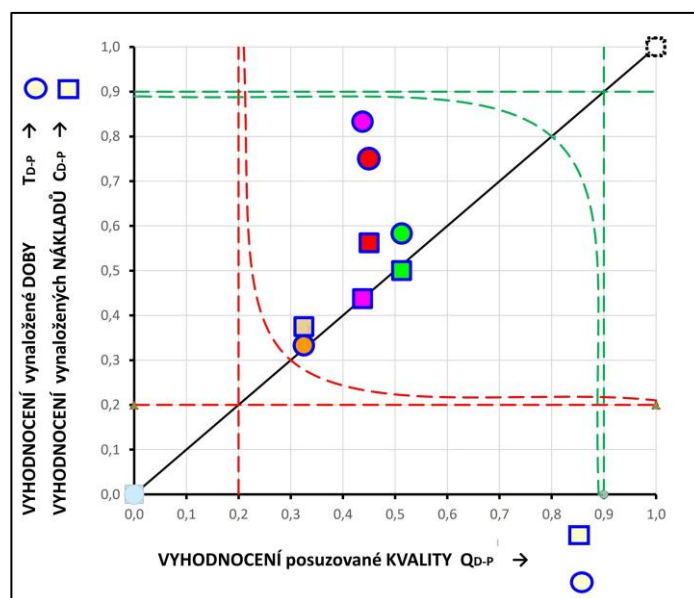
Na základě průzkumu trhu a vytipování dostupných systémů byly jednotlivé technologie ohodnoceny dle míry vhodnosti pro potřebnou aplikaci a vzájemně porovnány. Obrázek 2-10 znázorňuje specifikaci kritérií s jejich relativní váhou a kvantitativní hodnocení daných technologií. Pozice v hodnotící tabulce jsou následující:

- A (zelená) – MIG
- B (oranžová) – TIG
- C (fialová) – Laser
- D (červená) – Elektronový paprsek

Obrázek 2-11 vizuálně znázorňuje výsledky srovnání vybraných technologií ve formě grafu. Pro vyhodnocení je zásadním ukazatelem vždy poloha čtvercového indikátoru na horizontální ose. (poloze více vpravo indikuje lepší dosažené skóre) Tento indikátor vykazuje srovnání celkové posuzované užité kvality a navázaných nákladů pro danou technologii. Kruhový indikátor zase znázorňuje posouzení kvality a časového hlediska (rychlost svařování).

DIAGR. Q* ^T *C ▶▶	Kritérium / požadavek - porovnatelná konkurenční vlastnost	Váha <0 ÷ 4>	Hodnocení vhodnosti <0 ÷ 4> alternativ TS					
			TS0*	a	b	c	d	TSi
Posuzovaná KVALITA Q	Jednoduchost implementace	2		3	2	2	1	4
	Provozní spolehlivost	3		3	2	2	3	4
	Nutné tolerance / pozicování	3		3	2	1	1	4
	Zástavbový prostor	3		3	2	2	2	4
	Rychlost svařování	4		2	1	4	4	4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti Q <0 ÷ 1>		0,00	0,51	0,33	0,44	0,45	0,75
Vynaložená DOBA T	Rychlost svařování	4		2	1	4	4	8
	Rychlost implementace	2		3	2	2	1	8
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti T <0 ÷ 1>		0,00	0,58	0,33	0,83	0,75	1,50
Vynaložené NÁKLADY C	Pořizovací náklady	2		2	2	1	1	4
	Provozní náklady	4		3	2	3	4	4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti C <0 ÷ 1>		0,00	0,50	0,38	0,44	0,56	0,75

Obrázek 2-10 Specifikace kritérií a hodnocení svařovací technologie



Obrázek 2-11 Graf porovnání svařovací technologie

Pohledem na výsledný graf je patrné, že po komplexním zhodnocení vychází jako nejvhodnější z vybraných technologií právě MIG. Přestože svařování laserem i elektronovým paprskem vykazují značně lepší výsledky z hlediska rychlosti svařování, byla v tomto případě rozhodující především příznivější kombinace ostatních dílčích hledisek, která v součtu vycházejí lépe pro zavedenou technologii MIG. Tato technologie byla preferována rovněž zadavatelem.

3 Specifikace zadání

Požadavek zadavatele (výrobní družstvo Kovobel) zahrnuje konstrukční návrh zcela nového automatizovaného svařovacího pracoviště v nedávno vybudované části závodu. Je kladen důraz na minimální potřebu lidské obsluhy, tu musí zastávat maximálně jeden operátor a v ideálním případě by měla být jeho přítomnost nutná pouze v omezených časových intervalech.

Jedná se o rámcově velmi otevřené a volné zadání, jelikož omezující podmínky nejsou nikterak pevně svázány s již existujícím stavem. V současnosti je totiž výroba těchto svařenců outsourcována do dceřiného závodu zadávající společnosti, která v rámci budování nových výrobních kapacit plánuje postavit toto pracoviště v hlavním výrobním závodě. Konkrétní omezující podmínky jsou tak vyvozeny především z obecných požadavků na tento projekt, jež musí nové pracoviště splňovat:

- zvýšení efektivity výroby
- minimalizace časového vytížení pracovníků
- zajištění kvality výroby
- náklady přiměřené přidané hodnotě
- minimální zástavbový prostor

Samozřejmostí jsou požadavky plynoucí z legislativy, konkrétně dodržení podmínek bezpečnosti práce, hygieny, ergonomie atd.

V rámci celkového návrhu pracoviště je očekávána koncepční úroveň detailu vypracování. To znamená: volba vhodné varianty uspořádání pracoviště beroucí v potaz zmíněné podmínky, volba vhodné technologie svařování a princip zajištění kontroly kvality. Dále je nutné vytvořit detailní konstrukční návrh vybraných funkčních celků daného pracoviště. Konkrétně jde o mechanismus založení a upnutí polotovaru a mechanismus pozicování mezi dílčími operacemi.

Toto vypracování musí zahrnovat:

- finální orgánovou strukturu
- výrobní dokumentaci vybraných částí
- kompletní výpočty a posouzení zatěžovacích stavů v mechanismech

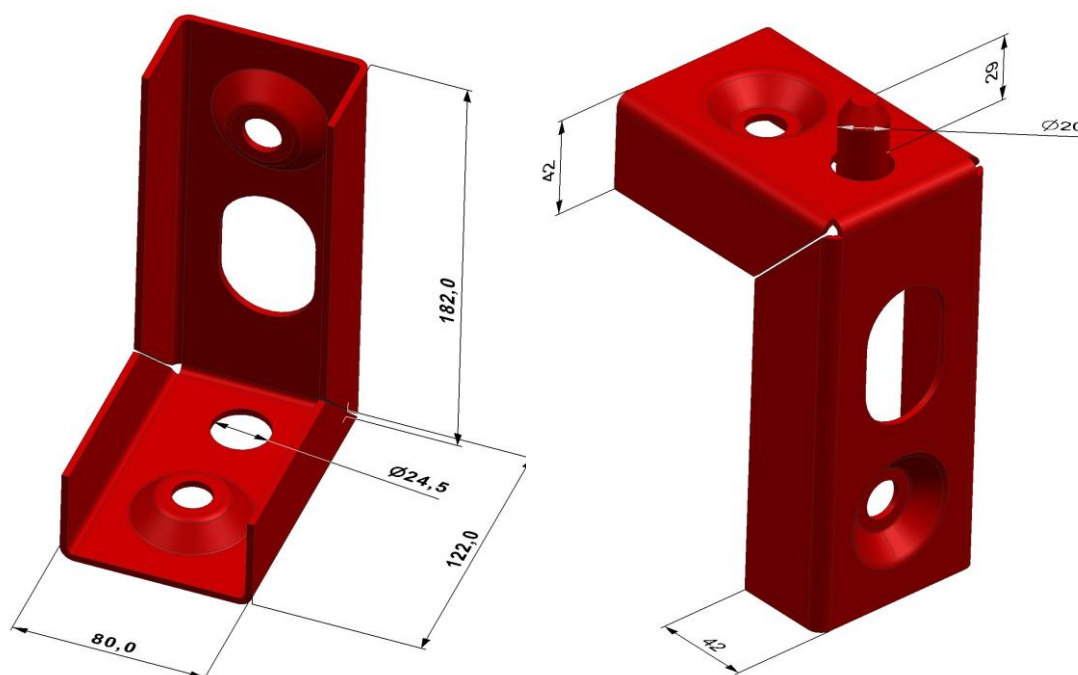
Součástí zadání je také úvaha nad logistikou polotovarů a finálních svařenců v rámci výrobního řetězce tak, aby byla přizpůsobena autonomnímu chodu pracoviště. Především bude nutné stanovit efektivní způsob materiálového toku, konkrétně uspořádání přepravních jednotek od dodavatele a předcházejících výrobních pracovišť. Vše s ohledem na minimální časové vytížení obsluhy. Zadavatel počítá s možností případných drobných konstrukčních úprav polotovarů pro lepší přizpůsobení automatizované výrobě.

Práce nezahrnuje řešení problematiky samotných svarů na součástech z hlediska technologického, avšak musí brát v potaz atributy, které přímo souvisejí s možnostmi konstrukce daného pracoviště, například: aplikovatelnost zvolené technologie, možné svařovací polohy, možnosti automatického posouzení kvality svaru apod.

3.1 Popis svařovaných součástí

Operandem navrhovaného pracoviště je ocelový svařenec z ohýbaného plechu o tloušťce 3 mm. Tento díl slouží jako spojovací rohový prvek strukturálních elementů plechového kontejneru, interní název je Rohový úhelník. Výrobní množství je stanoveno na 250 000 kusů za rok. Rozměry dílu činí 182x122x80 mm a hmotnost téměř přesně 1 kg. Materiálem je válcovaná uhlíková ocel.

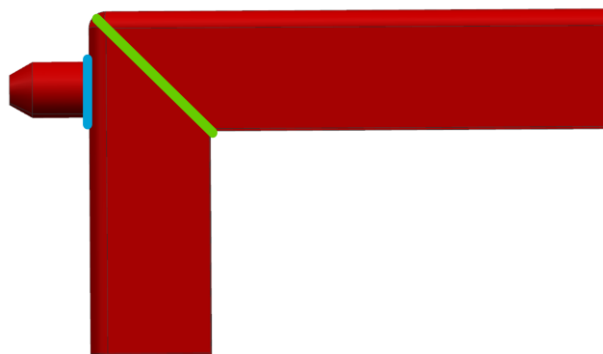
Svařenec se vyrábí ve dvou modifikacích, první je typ bez kolíku, kdy je vyroben pouze z lisovaného a ohýbaného plechového polotovaru. Druhá modifikace zahrnuje ocelový středící kolík přivařený do otvoru na kratší opěrné ploše plechového polotovaru – viz. Obrázek 3-1. Poměr vyráběného množství těchto dvou typů je 1/8, kde dominantní je základní varianta bez čepu. Rozměry kolíku jsou délka $l=32\text{ mm}$ a průměr $d=20\text{ mm}$.



Obrázek 3-1: Varianty svařence (vlevo bez čepu, vpravo s čepem)

3.1.1 Aktuální stav a konstrukční řešení svarů

V současné době je výroba úhelníků řešena manuálním svařováním pomocí technologie MIG. V závislosti na variantě svařence se jedná typově o dva různé svary. První varianta zahrnuje pouze dva přímé tupé svary, které spojují boční lem v rozích na obou stranách dílu. Druhá varianta kromě nich vyžaduje svar obvodový koutový (případně obvodový tupý), jež spojuje plechové tělo polotovaru a vsazený kolík – viz. Obrázek 3-2.



Obrázek 3-2: Oblasti svaru - zeleně přímý tupý (na obou stranách), modře obvodový koutový

3.1.2 Výchozí stav polotovaru a tolerance

Polotovar je zhotoven ohýbáním prostříhaného plechu tloušťky 3 mm na ohraňovacím lisu a vytvořením kuželových výdutí kolem krajních děr pomocí lisovacího nástroje. Konstrukční návrh po vyjasnění zadání s výrobcem předpokládá, že kolmost ohybů a tím pádem vzájemná pozice bočních stran, které se svařují, bude v potřebné toleranci zaručena již u vstupního polotovaru a na navrhovaném pracovišti tak nebude nutné korigovat ohyby pro zajištění svařitelnosti.

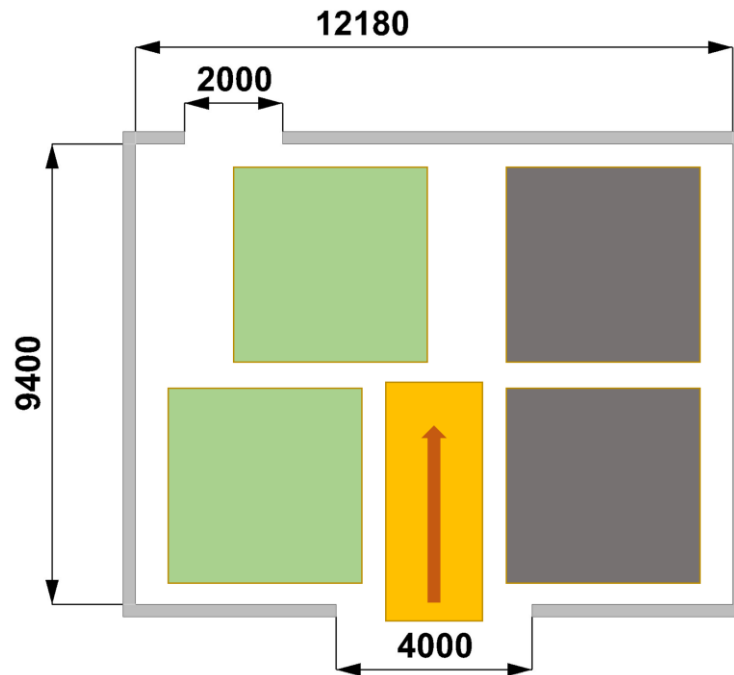
Z hlediska manipulace a zakládání polotovaru do přípravku i zajištění jakosti svařování bylo nutné zjistit reálně dosahované výrobní přesnosti jednotlivých geometrických prvků. Při empirickém zkoumání bylo zjištěno, že nejpřesnější pozici vůči zbytku L-geometrie má oválná díra v zadní nejdelší stěně úhelníku. U kuželových výdutí byly pozorovány odchylky polohy i celkové hloubky.

Polotovar usazovacího kolíku má průměr 20 mm a celkovou délku 32 mm. Na špičce kolíku je zkosení pod úhlem 60° a hloubkou 8 mm od čela, hloubka však může v závislosti na dodávce variovat o ± 1 mm. Přesnost výrobních rozměrů (průměr, délka, přímost) se bere jako zaručená dodavatelem a nebyla vyhodnocována. Usazovací díra pro kolík v těle polotovaru má průměr 24,5 mm. Na základě vyjasnění zadání od zadavatele bylo určeno maximální toleranční pole odchylky soustřednosti, respektive polohy osy kolíku vůči středu díry na $\pm 0,5$ mm. Toleranční pole odchylky kolmosti osy čepu v celé jeho délce a horní plochy polotovaru je rovněž $\pm 0,5$ mm.

V případě kolíku je umožněno pro potřeby automatizace výroby upravit částečně jeho rozměry, především celkovou délku, případně velikost zkosení. Není však z ekonomického hlediska možné přidávat nové geometrické elementy (díra, drážka, lem atp.)

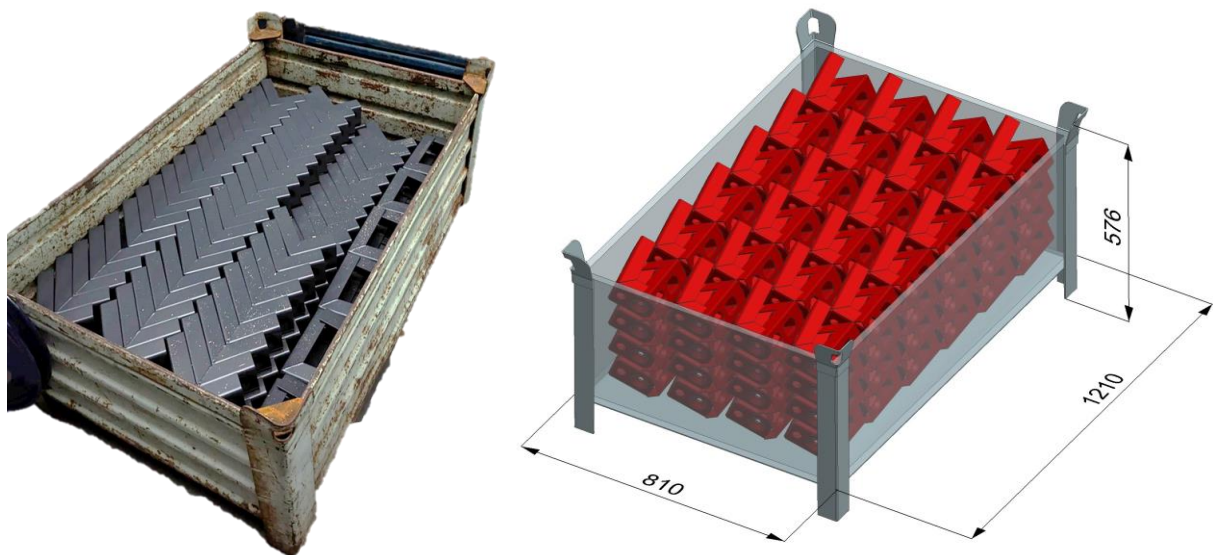
3.2 Prostorová a logisticko-dispoziční omezení

Pracoviště má vzniknout v nově vybudované svařovně nacházející se v areálu výrobního závodu. Svařovna bude obsahovat několik samostatných pracovišť, přičemž se do budoucna počítá s kombinací pracovišť pro manuální svařování v jedné části a automatizovaných ve druhé části haly. Podlahová plocha má rozměry 12,2 x 9,4 m, primárním vstupním koridorem jsou vrata šířky 4 m z přední strany a poté dveře šířky 2 m na protější straně vedoucí do přilehlé výrobní haly. Hrubé rozdělení zón pro manuální a automatizované svařování včetně vyznačeného koridoru pro manipulaci s materiálem značí Obrázek 3-3. Šedé čtverce označují zóny pro manuální svařovací pracoviště (2 až 4), zelené čtverce vymezují oblasti pro dvě plánovaná automatizovaná pracoviště.



Obrázek 3-3 Prostorové uspořádání svařovny

Podmínkou pro přepravu materiálu je umožnit přístup pomocí vysokozdvizného vozíku, kdy předpokládanou logistickou jednotkou pro přísun a odvoz materiálu je ocelová transportní bedna tzv. gitterbox o rozměrech 1200x800x600 mm, které jsou nyní v podniku využívány viz. Obrázek 3-4. Těmto požadavkům musí být přizpůsobena orientace pracoviště, především jeho přístupové vektory. Z hlediska dalších prostorových návazností je třeba brát v úvahu i plánované přidružené svařovací pracoviště tak, aby některé automatizační prvky mohli být v případě potřeby využitelné i na sousedním pracovišti.



Obrázek 3-4 Gitterbox s polotovary, vlevo foto, vpravo CAD model s rozměry

4 Návrh struktury pracoviště

Konstrukční návrh je vypracován v souladu s metodikou EDSN. Následující kapitola popisuje řešený technický systém z hlediska transformačního procesu (rozšířená varianta přístupu BLACK-BOX). Je uvažováno nad výsledným řešením ve dvou úrovních hierarchie, prvním TS je pracoviště jako celek, včetně vztahu k obsluze, toku materiálu a dalšími okrajovým podmínkám vázaným na chod podniku. Druhým TS je konkrétní funkční skupina pracoviště zajišťující přesnou (vzájemnou) polohu těla svařovaného polotovaru, čepu a svařovacího nástroje. Tento konstrukční uzel byl vyhodnocen jako nejvíce zásadní pro celkové interní uspořádání pracoviště. [15]

4.1 Metodika konstrukčního návrhu

Návrh pracoviště předpokládá možnost zajištění následujících okrajových, vstupních a výstupních podmínek:

- Výměna materiálu směrem na i z pracoviště je zajištěna v manipulačních jednotkách („bednách“) a je řešena lidskou obsluhou.
- Operandy (tělo polotovaru + čep) jsou na vstupu umístěny v předem definovaném prostoru (zásobníku) se zajištěnou orientací, polohou a v definovaném počtu.
- Na výstupu je požadováno umístění hotových svařenců do manipulační jednotky, avšak bez nutnosti specifické orientace a pozice v ní.
- Proces musí být autonomní od okamžiku založení manipulační jednotky s operandy na definovanou pozici, až do okamžiku vyložení celé výrobní dávky hotových svařenců na výstupní jednotku.

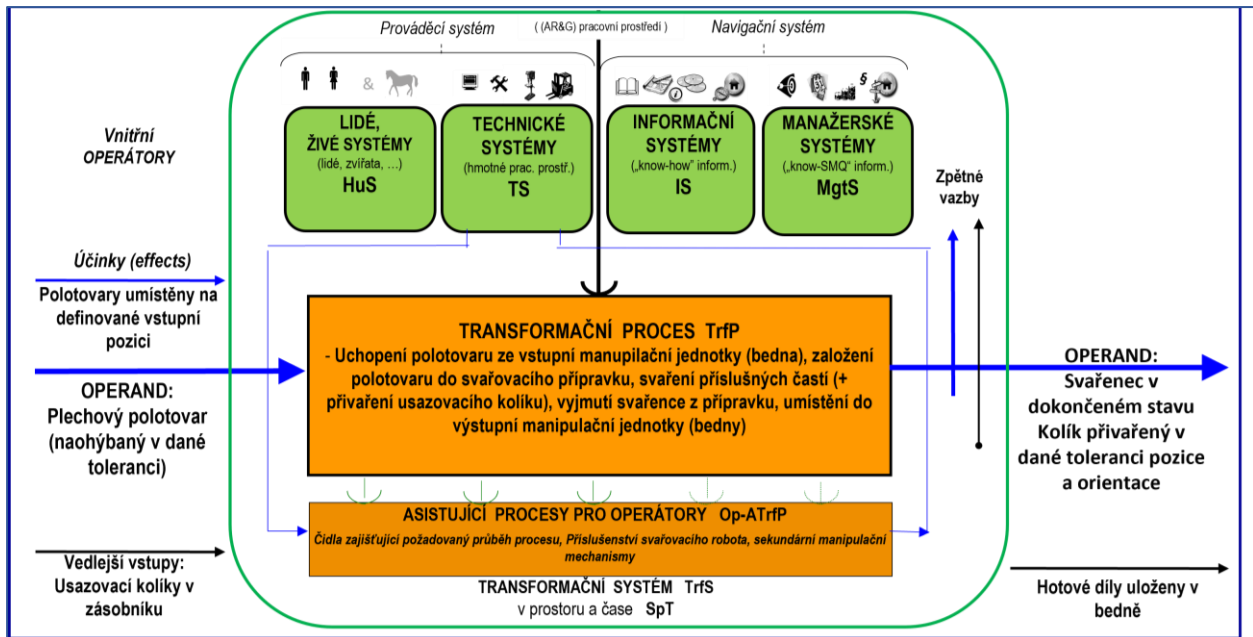
Kroky automatického transformačního procesu (TrfP) uvnitř pracoviště jsou popsány v diagramu na Obrázek 4-1. Jednotlivé kroky hlavního TrfP jsou:

- uchopení polotovaru ze vstupní manipulační jednotky (bedna)
- založení polotovaru do svařovacího přípravku
- svaření příslušných částí (+ přivaření usazovacího kolíku)
- vyjmutí svařence z přípravku
- umístění do výstupní manipulační jednotky (bedny)

Mezi asistující procesy patří:

- čidla zajišťující požadovaný průběh procesu
- příslušenství svařovacího robota
- sekundární manipulační mechanismy

Výchozí a finální stavy operátorů i operandů jsou rovněž vyznačeny v diagramu. (Obrázek 4-1)



Obrázek 4-1 Transformační proces, kompletní pracoviště

4.2 Tvorba možných variant

Při tvorbě variant se v tomto případě vychází ze standartních schémat rozvržení elementů pro obdobná automatizovaná pracoviště. Přáním zadavatele byla také úvaha nad možnostmi případné modifikace celého pracoviště pro svařování obdobně velkých součástí, tedy jistá míra univerzality, pokud by to výrobní kapacity vyžadovaly. Především je nutné rozhodnout o principu provedení a zajištění funkčnosti následujících atributů:

- míra zapojení lidské obsluhy:
 - manuální zakládání X automatický zásobník a podavač
- princip aut. svařování:
 - průmyslový 6-osý robot X svařovací hlava na lineárním vedení
- mechanismus pozicování:
 - otočný stůl (typ revolver) X lineární posuv (typ linka)
- princip a rozsah kontroly:
 - optický X mechanický

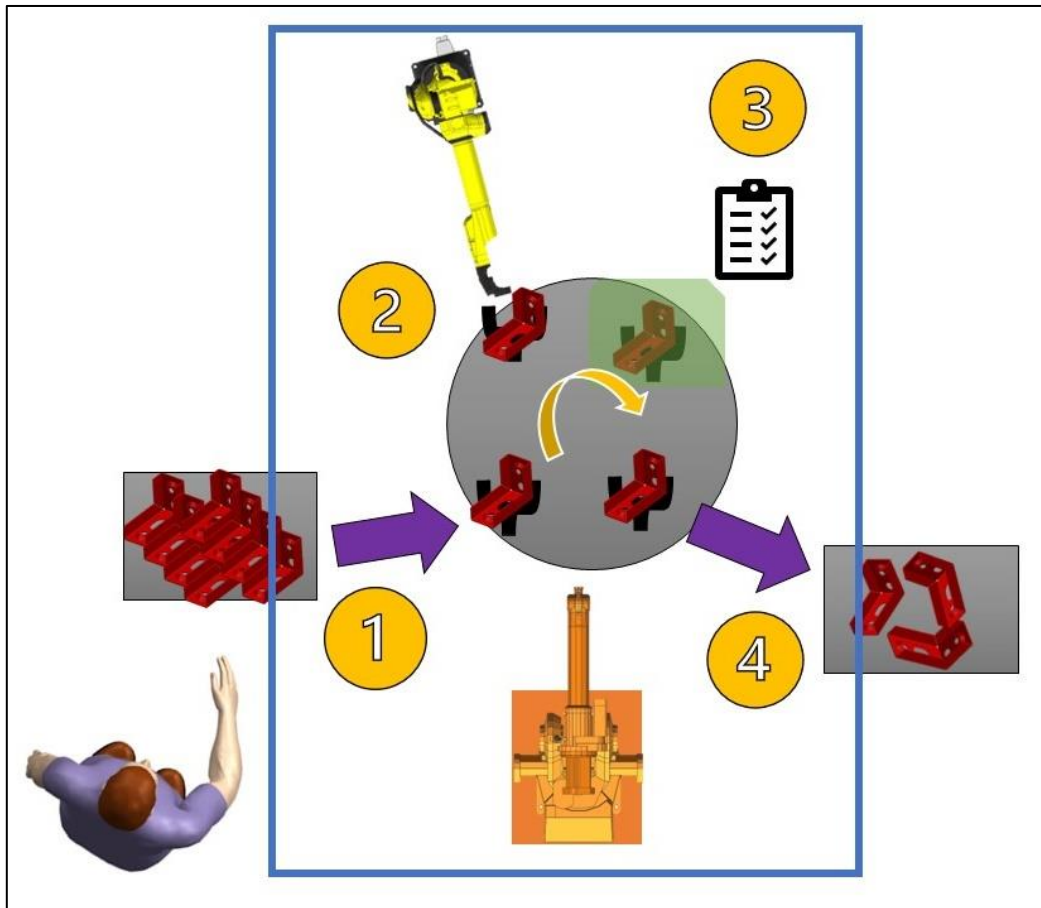
4.3 Popis variant pracoviště

Z vhodné kombinace uvedených možných přístupů jsou zvoleny přípustné varianty konceptu struktury pracoviště. Popis těchto alternativ včetně nastínění výhod i případných limitací je uveden v následujících podkapitolách

4.3.1 Varianta s otočným stolem

První varianta, kterou znázorňuje Obrázek 4-2, využívá k přesunu polotovaru mezi jednotlivými operacemi indexovací rotační stůl, který zároveň determinuje celkové uspořádání pracoviště. Na vstupu se počítá s manuálním přistavením zásobníku/bedny s polotovary, stejně tak na výstupu budou naplněné bedny manuálně odváženy a měněny za prázdné. Pro samotné zakládání polotovaru i odebírání svařence z karuselu je využit průmyslový robot s manipulačním efektozem na konci ramene. (Pozice 1 a 4)

Díl je na karuselu zajištěn ve svařovacím přípravku, který zajistí požadovanou polohu i orientaci při svařování. Samotné svařování je provedeno rovněž průmyslovým robotem s MIG svařovacím hořákem. (Pozice 2) Kontrola jakosti svaru je zde schematicky znázorněna na pozici 3, tato varianta počítá s optickou kontrolou a vyhodnocením kvality svaru. Modrý obdélník znázorňuje mechanickou bariéru/stěnu, která z bezpečnostních důvodů omezuje přístup obsluhy do míst aktivního pohybu průmyslových robotů.



Obrázek 4-2 Varianta pracoviště s otočným stolem

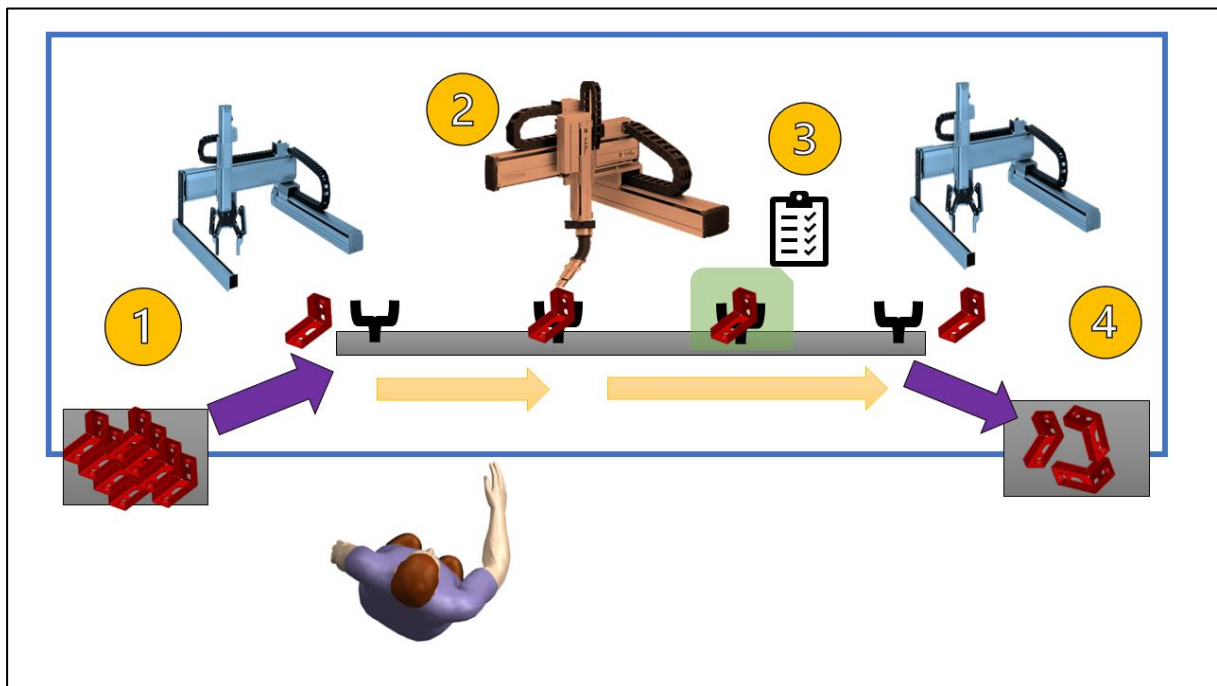
Výhodou této varianty je značná flexibilita v případném pozdějším detailním uspořádání jednotlivých dílčích částí pracoviště. Díky možnostem relativně snadného přeprogramování drah pohybu průmyslového robota je zároveň umožněna modifikace i pro jiný typ vyráběného dílu, případně pouze pro změnu v prostorovém uspořádání a orientaci dílů na vstupu/výstupu, pokud by se z provozních důvodů takové změny ukázaly jako vhodné.

Nevýhodou této koncepce jsou vyšší náklady spojené s pořízením dvou průmyslových robotů a k nim nezbytného příslušenství. Druhou nevýhodou je pravděpodobná nižší prostorová kompaktnost celého pracoviště.

4.3.2 Varianta s lineárním pohybem

Druhá varianta (Obrázek 4-3) se od předcházející liší převážně tím, že mezioperační pohyb polotovaru je uskutečněn po lineární dráze, přípravek je ukotven na saních v lineárním vedení a poháněn řemenem. Další odlišností je absence průmyslových robotů v tomto konceptu. Vzhledem k tomu, že bude vyráběn pouze jeden typizovaný díl ve dvou předem definovaných modifikacích s nízkou tvarovou náročností svarů, je možné svařování uskutečnit pouze

pomocí svařovacího hořáku umístěného na tříosém kartézském manipulačním systému. Obdobně je v této variantě řešeno i automatické zakládání polotovaru z beden do svařovacího přípravku.



Obrázek 4-3 Varianta pracoviště s lineárním pohybem

Tento koncept umožňuje díky absenci průmyslových robotů redukovat zástavbový prostor oproti první variantě. Rovněž pořizovací cena bude nižší. Nevýhodou je jednoznačně potenciální úzké hrdlo v podobě lineárního pohybu svařovacího přípravku, kdy v základní variantě tohoto konceptu by nový polotovar mohl být založen až poté, co by byl odebrán hotový svařenec. Úprava pro možnost použití více přípravků a paralelní souběh operací (typ linka), například umístěním na pásový dopravník by značně zkomplikoval konstrukční řešení s negativním dopadem na zástavbové rozměry a nejspíše i provozní spolehlivost.

4.4 Zhodnocení variant pracoviště

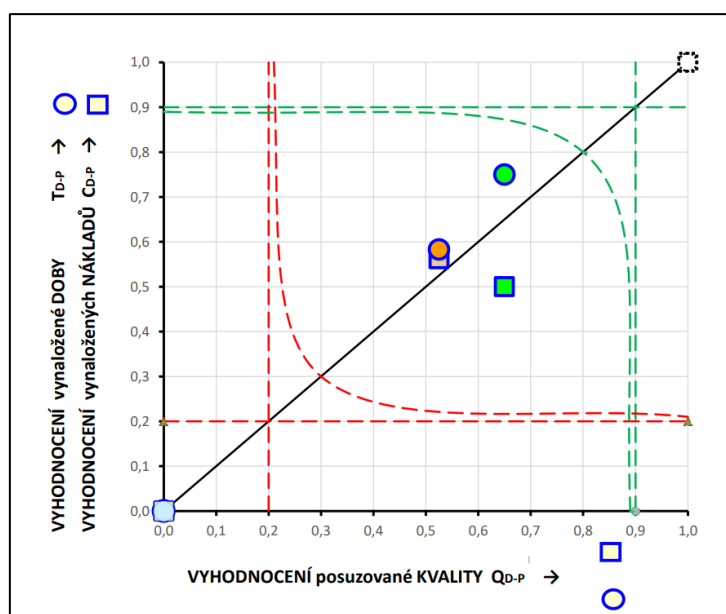
Byla stanovena posuzovací kritéria a na základě analýzy předpokládaných vlastností uvedených alternativ došlo k jejich porovnání. Mezi hlavní posuzovací kritéria z hlediska požadované kvality patří zástavbový prostor, provozní spolehlivost, univerzálnost, bezpečnost a ergonomie, servisovatelnost. Z hlediska časového byly jako určující parametry stanoveny předpokládané výrobní intervaly (rychlost výroby) a předpokládaná doba implementace. Posouzeny byly rovněž odhadnuté pořizovací a provozní náklady.

Jednotlivé váhy zmíněných kritérií i dosažené hodnoty jsou znázorněny v diagramu (Obrázek 4-4). První varianta (A) je znázorněna zeleně, druhá varianta (B) oranžově.

DIAGR. Q ^A T ^A C ▶▶	Kritérium / požadavek	Váha <0 ÷ 4>	Hodnocení vhodnosti <0 ÷ 4> alternativ TS					
			TS0*	a	b	c	d	TSi
◀◀ Komentář	- porovnatelná konkurenční vlastnost							
Posuzovaná KVALITA Q	Zástavbový prostor	2		2	3			4
	Provozní spolehlivost	4		3	3			4
	Univerzálnost	3		4	2			4
	Bezpečnost a ergonomie	4		3	3			4
	Servisovatelnost	3		4	2			4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti Q <0 ÷ 1>			0,00	0,65	0,53	0,00	0,00
Vynaložená DOBA T	Rychlost výroby	4		3	2			8
	Rychlost implementace	2		3	3			8
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti T <0 ÷ 1>			0,00	0,75	0,58	0,00	0,00
Vynaložené NÁKLADY C	Pořizovací náklady	2		2	3			4
	Provozní náklady	4		3	3			4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti C <0 ÷ 1>			0,00	0,50	0,56	0,00	0,00

Obrázek 4-4 Tabulka porovnání konceptů pracoviště

Následující Obrázek 4-5 znázorňuje výsledky srovnání obou koncepcí pracoviště. Osa X odpovídá celkovému skóre kvality (více vpravo znamená lepší výsledek). Osa Y udává dosažený výsledek časového hlediska (doby) respektive vynaložených nákladů. Čtvercový indikátor vyznačuje skóre se započtením nákladů, kruhový indikátor značí skóre se započtením hlediska času (v tomto případě dominantně rychlostí produkce).

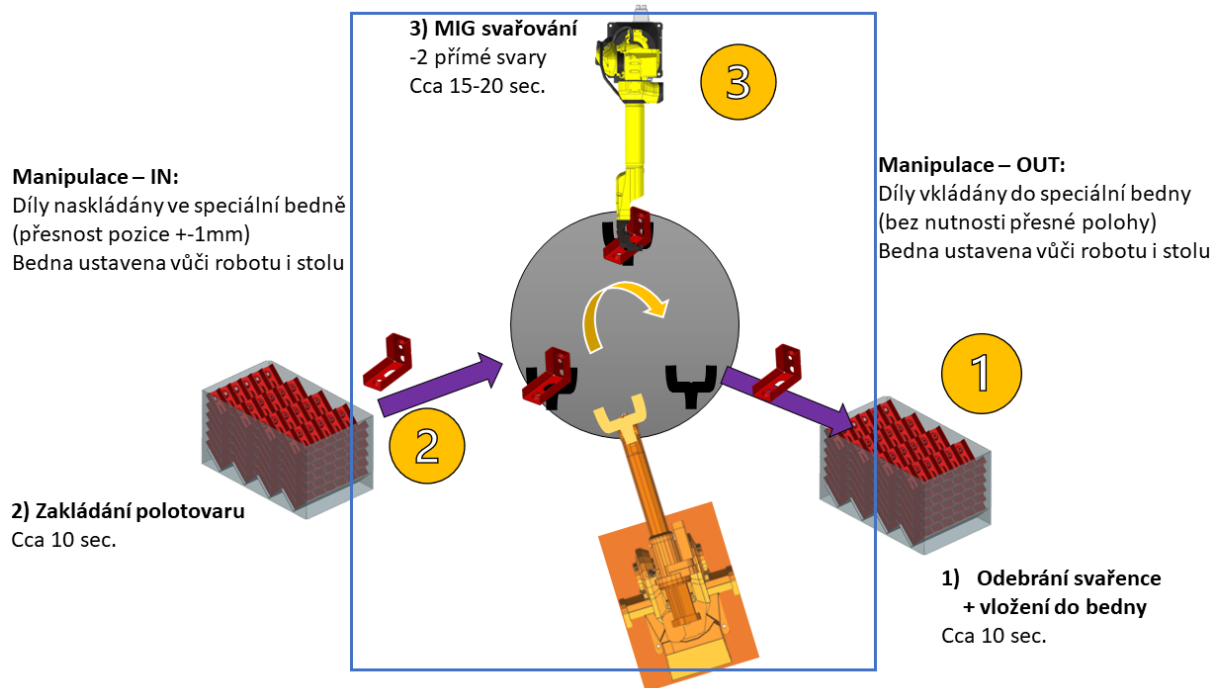


Obrázek 4-5 Diagram výsledků porovnání konceptů pracoviště

Z výsledku srovnání vyplývá, že vhodnější alternativou je koncept s rotačním indexovacím stolem (varianta A). Přestože varianta lineární (B) dosáhla lepšího skóre z hlediska předpokládaných pořizovacích nákladů, hledisko časové (rychlost výroby) i kombinované kvalitativní hledisko vyšlo lépe pro první variantu. Pro následné detailní rozpracování byla tedy zvolena varianta s karuselem a průmyslovými roboty.

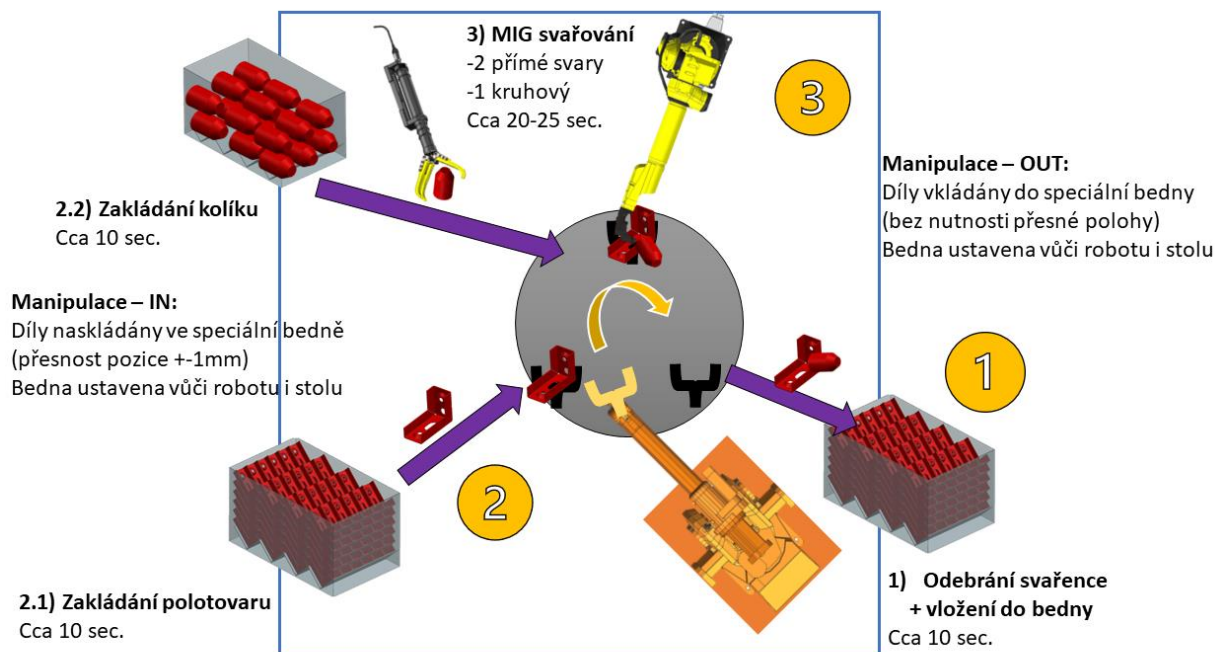
4.5 Zvolené řešení konceptu pracoviště

Zvolená varianta s rotačním indexovacím stolem a dvěma průmyslovými roboty je znázorněna na Obrázek 4-6 včetně předpokládaných časových intervalů pro jednotlivé dílčí operace. Indexovací stůl bude mít **3 pozice** – zakládání, svařování a odebrání. Odhad časů byl stanoven na základě empirického pozorování obdobných manipulačních operací různých pracovišť a z přípustných hodnot svařovacích rychlostí technologie MIG. Toto schéma znázorňuje pouze automatizovanou část pracoviště, již nezahrnuje element lidské obsluhy, detailní výpočet výrobních intervalů včetně časů zahrnujících lidský faktor je uveden v samostatné kapitole č. 7.2.



Obrázek 4-6 Schéma pracoviště, odhad výrobních časů, varianta bez kolíku

Výše uvedené schéma zobrazuje pouze uspořádání pracoviště produkující modifikaci svařence bez středícího kolíku. V případě modifikace s kolíkem viz. Obrázek 4-7 je nutné do pracoviště přidat zásobník a manipulační mechanismus pro zajištění pozice kolíku při svařování. Při detailním rozboru možností zajištění přesné pozice mezi plechovým polotovarem a kolíkem bylo zvoleno řešení, kdy kolík je umístěn k polotovaru až na pozici svařování (pozice 3). Tento přístup nevyžaduje speciální úpravu svařovacího přípravku umístěného ve třech pozicích na karusel a snižuje tak materiální i finanční náročnost pracoviště.



Obrázek 4-7 Schéma pracoviště, odhad výrobních časů, varianta s kolíkem

Jak je ze schématu patrné, modifikace s kolíkem zvyšuje komplexnost pracoviště přidáním zásobníku i asistujícího mechanismu. Z toho důvodu byl postup detailování jednotlivých dílčích operací a jim náležícím mechanismům přizpůsoben primárně této modifikaci s předpokladem, že během produkce dílu bez kolíku bude pouze tato část pracoviště neaktivní.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1, pracoviště se skládá ze soustavy paralelních, ale i sériově závislých dílčích úkonů a operací jejichž sled, a především zajištění vzájemné proveditelnosti je nutné z hlediska konstrukčního návrhu vnímat komplexně. Aby bylo zamezeno stavu, kdy jedna konstrukční podskupina nebo proces znemožní funkčnost jiných částí, bylo nutné přistoupit k procesu detailování pracoviště a návazných prvků ve dvou základních osách. První z nich je konstrukční hierarchie samotného pracoviště, ale především jeho zasazení v rámci výrobního závodu a materiálového toku. Druhou osou jsou omezení a faktory plynoucí z použité zvolené svařovací technologie, které mohou mít výrazný efekt vzhledem k proveditelnosti operací i uspořádání pracoviště.

5 Konstrukční návrh dílčích uzlů pracoviště

Z výše uvedených důvodů bylo přistupováno k iterativnímu cyklu návrhu detailů pracoviště v následujícím pořadí:

- logistika materiálu (uspořádání a velikost manipulačních jednotek, orientace polotovarů)
- manipulace s polotovarem na vstupu (možnosti uchopení koncovým efektořem robota)
- omezení a podmínky plynoucí z použití technologie MIG (velikost MIG hořáku, svařovací pozice, prostorové omezení)
- orientace a vzájemná poloha dílů při svařování (možnosti pozicování, zajištění polohy)
- prostorová náročnost asistujících mechanismů (manipulátor kolíku a zásobník)
- zajištění změny pozice (indexovací stůl)
- pomocné manipulační mechanismy (odebírání svařenců)
- ochranné prvky
- příslušenství pro chod pracoviště

Následující kapitoly jsou věnovány postupu konstrukčního návrhu dílčích skupin dle uvedeného pořadí. Každá podkapitola popisuje stručně iterační vývoj dané funkční jednotky a dále pak finální zvolené řešení. U většiny funkčních skupin je míra finalizace dovedena na úroveň středních detailů, kdy je již potvrzena obecná funkčnost dané skupiny, avšak neřeší finální úvahu nad efektivitou výroby a montáže konstruovaných dílů. U vybraných skupin je míra finalizace dovedena na úroveň tvorby podkladů k výrobní dokumentaci, včetně detailních výpočtů MKP a uzpůsobení dílů k výrobě a montáži. Do této skupiny patří upínací přípravek rotačního stolu, nosná část rámu a mechanismus pro manipulaci s kolíkem.

Požadavkem zadavatele je maximální využití nakupovaných tržně dostupných komponentů, minimalizace nutnosti výroby nestandardizovaných součástí a v takovém případě snaha o návrh těchto komponent tak, aby bylo možné je vyrobit s kapacitami dostupnými v jeho závodech. Obecně jsou to ohýbané plechové díly/svařence nebo díly s geometrií vhodnou pro tříosé obrábění.

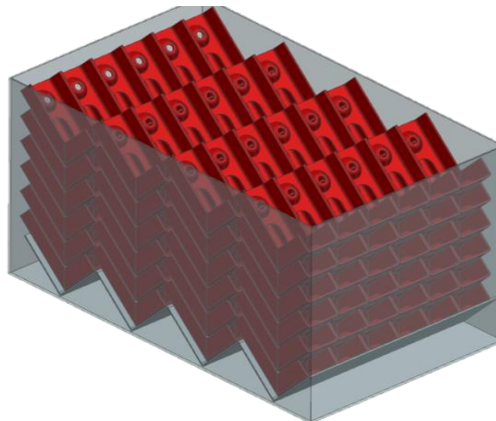
5.1 Návrh a volba systému zakládání polotovarů na vstupu

Prvním důležitým uzlem je způsob dopravování polotovarů na pracoviště a jejich uspořádání uvnitř přepravní jednotky. Polotovary jsou vyráběny na ohraňovacím lisu v sousední budově, kde jsou skládány do beden a následně přepravovány. Systém ukládání by měl zaručit optimální využití objemu bedny a zároveň zajistit, aby orientace a poloha dílů byla po dovození na pracoviště vždy neměnná. Zároveň je nutné zajistit možnost úchopu dílu manipulačním robotem. Bylo vytvořeno několik variant možného uspořádání polotovarů, vybrané jsou popsány a zhodnoceny níže.

5.1.1 Vertikální orientace polotovarů

Obrázek 5-1 znázorňuje vertikální uspořádání, kdy jsou jednotlivé polotovary naskládány na sebe do bedny s tvarově vypodloženým dnem, díly jsou orientovány ve směru písmene „V“, tedy rohem dolů. Toto uspořádání nejlépe využívá dostupný prostor, avšak není ideální z hlediska zaručení pozice a orientace dílů. Například během přepravy by mohlo vlivem vibrací dojít k sesuvu jednotlivých vrstev, kdy hrozí značná změna pozice i orientace dílů,

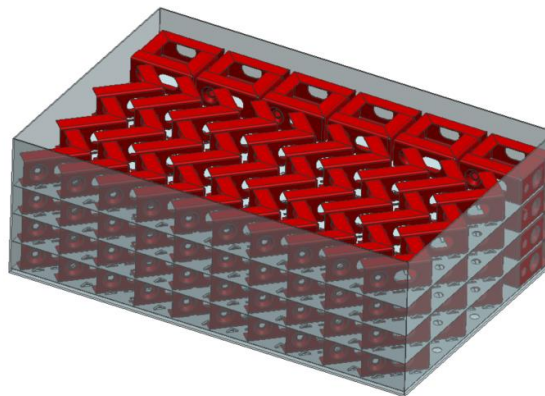
nebo případně vzájemné zaklínění polotovarů do sebe, což je pro automatizovanou manipulaci nepřijatelný stav.



Obrázek 5-1 Vertikální ukládání polotovarů

5.1.2 Horizontální orientace polotovarů

Druhé řešení využívá jako manipulační jednotku standardní gitterbox o vnitřních rozměrech 1160x760x400 mm, který se v podniku již běžně používá. Polotovary jsou zde uloženy vertikálně na boční stranu s definovanými rozestupy pro možnost následné manipulace. Přesnou polohu a orientaci zajišťují proložky mezi každou vrstvou polotovarů. Díly jsou zde uloženy ve dvou různých orientacích tak, aby byl co nejvíce využit prostor gitterboxu. Tři řady po deseti kusech a jedna řada po dvanácti, viz Obrázek 5-2.



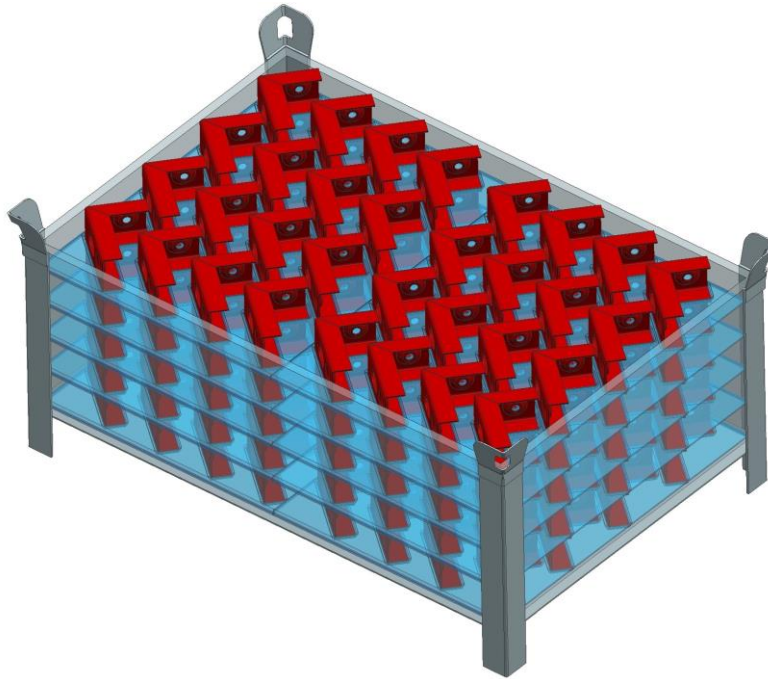
Obrázek 5-2 Horizontální ukládání polotovarů

Tato varianta již bude schopna zajistit neměnnou orientaci dílů i během přepravy na pracoviště díky stabilnější poloze a proložkám. Efektivita využití prostoru je však nižší, přesto celkový počet polotovarů je dostatečný pro potřeby efektivní automatizace.

5.1.3 Zvolené řešení

Vzhledem k přímé návaznosti tohoto konstrukčního uzlu na uzel manipulačního robota a přípravku bylo nutné modifikovat variantu horizontální polohy přidáním větších rozestupů mezi polotovary. Toto vedlo ke snížení počtu kusů v jednom patře mezi proložkami, avšak přidáním páté vrstvy byl celkový počet polotovarů v bedně vykompenzován. Finální množství na manipulační jednotku činí 160 ks.

Byl také optimalizován tvar proložek, především kvůli snížení prostorové náročnosti operací spojených s odejímáním prázdných proložek z bedny po odebrání každé vrstvy polotovarů. Jsou nyní skládány v počtu dvě na patro, z toho důvodu byly opatřeny okrajovým lemem pro zamezení nechtěného překryvu sousedících proložek a také pro zajištění stabilního usazení v gitterboxu. Koncept počítá s nutností vložení tenkých vyrovnávacích plechů ke stěnám gitterboxu pro zajištění rovny opěrné plochy pro lemy na proložkách. Prostorové uspořádání viz. Obrázek 5-3.



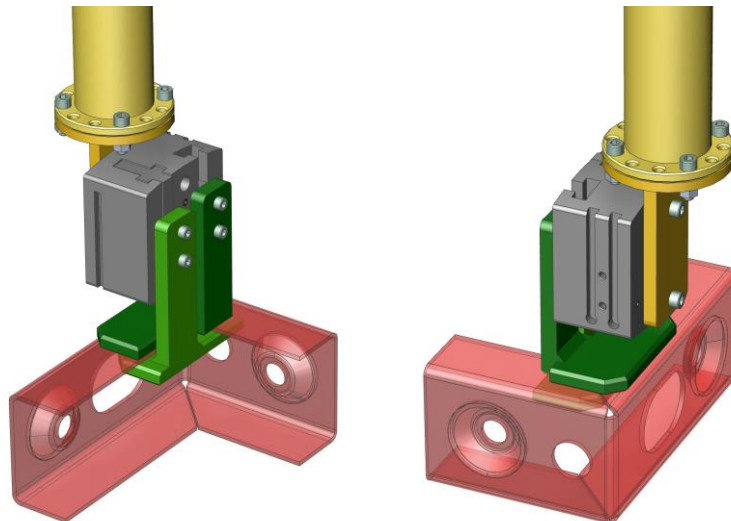
Obrázek 5-3 Uspořádání polotovarů s proložkami v gitterboxu na vstupu (částečně zprůhledněno)

5.2 Volba manipulačního robota a uchopovacího přípravku

Při známe poloze a orientaci polotovarů bylo možné vytvořit návrh přípravku pro jejich uchopení v gitterboxu a založení do svařovacího přípravku. Následně byl vybrán průmyslový robot s vyhovujícími parametry pro danou aplikaci.

5.2.1 Návrh přípravku

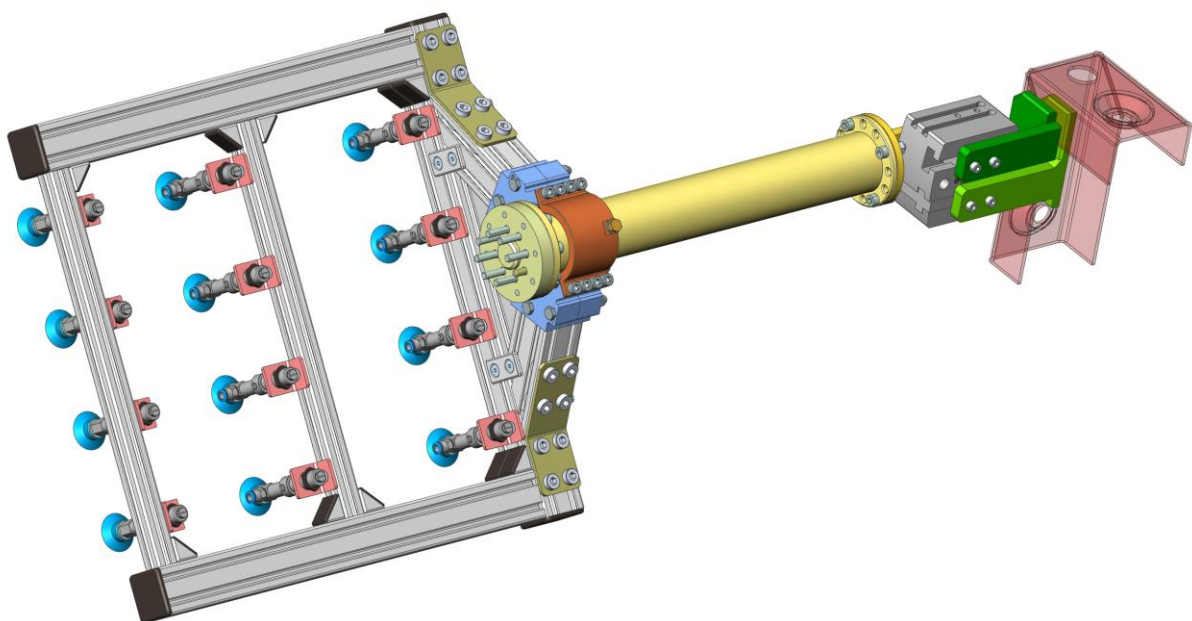
Jako nejvhodnější se ukázal přístup uchopení polotovaru v místě boční stěny mezi dvě rovnoběžné plochy chapadel ve tvaru písmene **L** umístěných na pneumatickém gripperu výrobce Festo. Konkrétní označení je HGPL-25-20-B a svými parametry [16] je vhodný pro dané použití. Polotovar je sevřen v oblasti, kudy prochází těžnice kolmá a styčnou plochu pro minimalizaci potřebné upínací síly i přenášených klopných momentů. Ověření přípustného zatížení chapadel a výpočet potřebné svěrné síly viz. Příloha č. 1-A. Tento koncový efektor je možné připevnit pomocí přípravku na průmyslového robota.



Obrázek 5-4 Uchopovací přípravek - efektor polotovarů (částečně zprůhledněno)

Kvůli hloubce gitterboxu a možnostem kinematiky robotu bylo nutné koncový gripper umístit na prodlužovací přípravek šesté osy, který prodlouží koncový dosah o 380 mm. Ten zároveň slouží jako místo uchycení rámu s vakuovými přísavkami, jenž umožňují přemístění proložek z bedny na odkládací místo. Hlavní tělo přípravku je tvořeno svařencem trubky o vnějším průměru 50 mm a koncových přírubových elementů umožňující montáž gripperu a koncové osy robotu pomocí předepnutých šroubů. Pro připojení k robotu byl využit mezikus přírubového typu usnadňující montáž.

Část s vakuovými přísavkami FESTO ESG-30-SU-HDL-QS je umístěna na obdélníkovém rámu o rozměrech 450x410 mm tvořeném převážně z lehkých hliníkových profilů šířky 20 a 40 mm. Spojení obou skupin je realizováno svěrným elementem s pojišťovacím šroubem. Generátor vakua FESTO OVEL je umístěn mimo samotný přípravek. Vakuum i tlakový vzduch je veden standartními hadicemi. Systém ukotvení přísavek umožňuje modulární uspořádání během montáže pro zajištění dostatečné kontaktní plochy. Model viz. Obrázek 5-5.

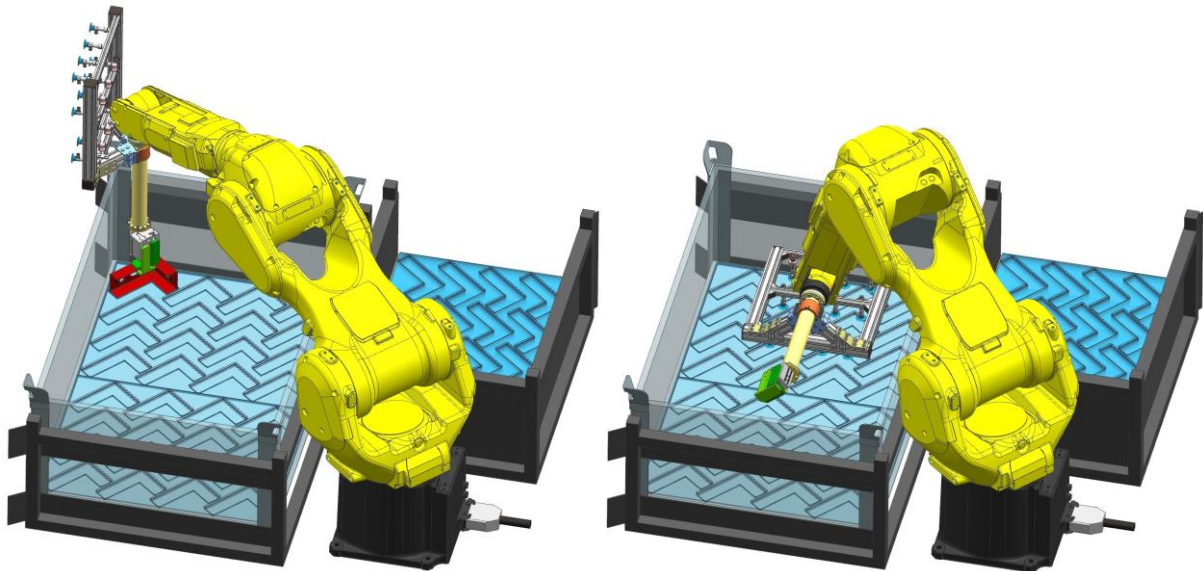


Obrázek 5-5 Manipulační přípravek polotovarů a vakuový přípravek

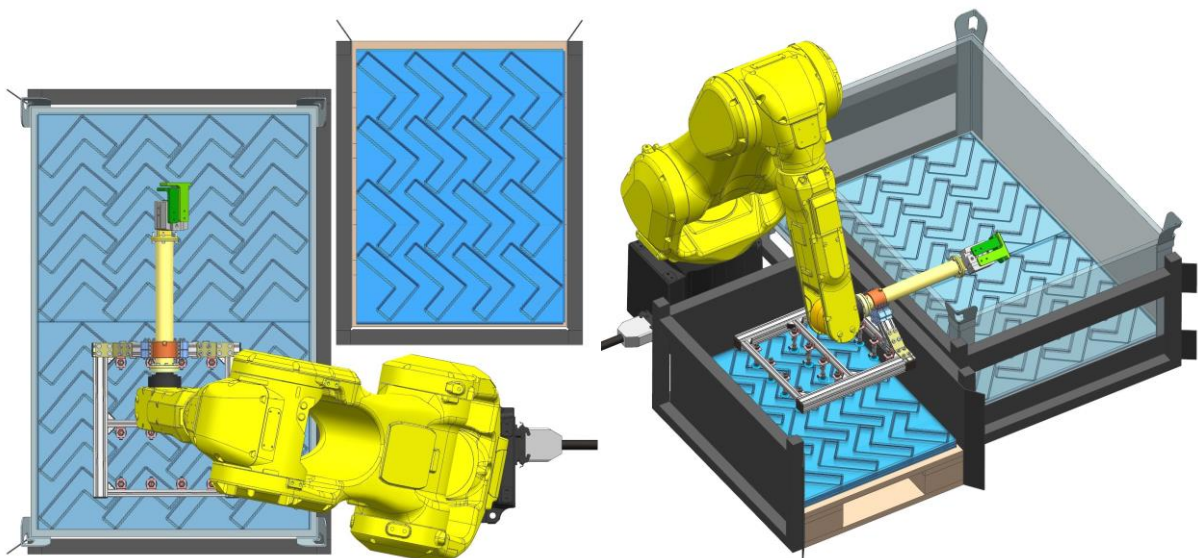
5.2.2 Volba robota

Vzhledem k rozměrům gitterboxu bylo nutné zvolit průmyslového robota s dostatečným dosahem, aby bylo možné polotovary odebrat z každé pozice. Vybrán byl robot výrobce FANUC s označením M-20iB/35S. Jedná se o variantu se zvýšeným maximálním kroutivým momentem v koncových dvou osách (tzv. zápěstí), aby byla zaručena potřebná dynamika manipulace navzdory zvýšenému momentu setrvačnosti od prodlužovacího přípravku. Maximální nosnost 35 kg je bezpečně dostačující, jelikož součet hmotností polotovaru a přípravku nepřesáhne 15 kg. Maximální dosah bez přípravku činí 1435 mm. [17]

Kinematické uspořádání robota při manipulačních operacích znázorňuje Obrázek 5-6. Zajištění přesné pozice mezi polotovarů a robotem je umožněno pomocí vodicích zářezek, do kterých je na vstupu vsunut gitterbox, čímž dojde k vymezení polohy. Návrh nevyužívá z cenových důvodů možnosti strojového vidění, tudíž je počítáno s pevně naprogramovaným pohybem odebírání polotovarů. Proložky jsou odkládány na speciální paletu vedle gitterboxu. Sled těchto úkonů znázorňuje Obrázek 5-7.



Obrázek 5-6 Průmyslový manipulační robot s efektořem odebírající polotovar (vlevo) a proložku (vpravo)



Obrázek 5-7 Kinematika manipulace s proložkami

5.3 Volba svařovacího robota a MIG hořáku

Pro zajištění svařovacích operací byl zvolen robot výrobce Fanuc s označením ARC Mate 100iD, který je přizpůsobený pro aplikace technologie MIG. Jedná se o robota s dutým koncovým ramenem pro snazší vedení přídavného materiálu (drátu). Tato varianta zároveň umožňuje nekonečné otáčení MIG hořáku kolem šesté osy a je tak vhodný pro vytvoření obvodového svaru kolíku. [18]

MIG hubice byla zvolena od výrobce Lincoln Electric, konkrétní model s označením K-3593. Tento typ je specificky určen pro roboty s průchozím ramenem a je kompatibilní se zvoleným robotem, zároveň umožňuje použití užší svařovací koncovky pro dostatečné přiblížení k místu svaru kolíku i v případě jeho přidržování manipulačním zařízením. Od stejného výrobce je rovněž použit integrovaný podavač drátu řady Autodrive, který je možné umístit a integrovat přímo ke 3. ose robotu, [19] jak je znázorněno na Obrázek 5-8.



Obrázek 5-8 Svařovací robot Fanuc ARCMate100iD s MIG hořákem a podavačem drátu

5.4 Návrh upínacího mechanismu

Pro volbu vhodného typu upínacího mechanismu je nejprve nutné zvolit optimální polohu pro svařování, dále určit vhodná místa dílu pro upnutí a v závislosti na míře automatizace a typu základacího a upínacího procesu určit konkrétní provedení mechanismu.

Z vlastností zvolené svařovací technologie MIG vyplývají jen minimální omezení vzhledem k možným svařovacím polohám. Je možné na fixně usazeném díle zhotovit svary v rovinách vertikálních i horizontálních. Není tedy nutné polohu polotovaru v průběhu transformačního procesu měnit a varianty přípravku tedy počítají s fixní koncepcí, bez možnosti změny orientace. Jednotlivé varianty přípravků využívají různé tvarové prvky na polotovaru jako prostředek k zajištění polohy. Konkrétně byly k tomuto účelu zvažovány kuželové výdutě, boční i středové plochy a oválná díra v zadní stěně.

Klíčovým atributem pro uspořádání orgánové struktury přípravku je volba, zda svary provádět z vnější nebo vnitřní strany polotovaru. Na základě prostorové a kolizní analýzy zvoleného MIG zařízení a polotovaru se jako teoreticky proveditelné ukázaly obě možnosti, a to pro boční svary i pro svar spojující kolík a tělo dílu. Jednotlivé koncepty proto berou

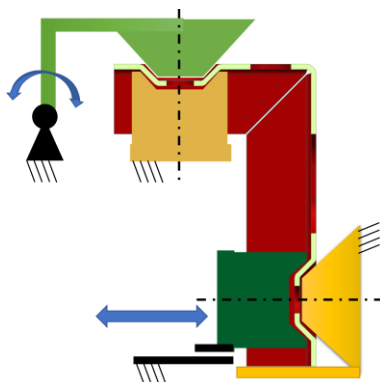
v potaz i vhodnost umožnění přístupu MIG hořáku k místu svaru zvnějšku i zevnitř. V neposlední řadě je nutné zvolit celkovou orientaci dílu v přípravku, zda bude plocha s vystupujícím čepem orientována směrem nahoru či dolů.

5.4.1 Popis iteračních variant upínacího mechanismu

Následující podkapitoly popisují jednotlivé vybrané koncepční varianty upínacího přípravku pro svařování a nastiňují jejich případné výhody a nevýhody. Při tvorbě variant upínacího mechanismu bylo testováno, zda daný design umožňuje spolehlivý přístup MIG hořáku k místům svaru.

Upnutí za kuželové plochy kolem děr

První varianta využívá k zajištění polohy kuželové výdutě u krajních děr. Polotovar by byl založen konkávní stranou výdutí na pevnou část přípravku a sevřen pomocí rotační upínky v horní části a posuvné upínky ve spodní části. Tato varianta by umožňovala pouze přístup z vnějších stran polotovaru a čep by musel být přivařován v poloze směřující nahoru. Schematicky naznačeno viz Obrázek 5-9

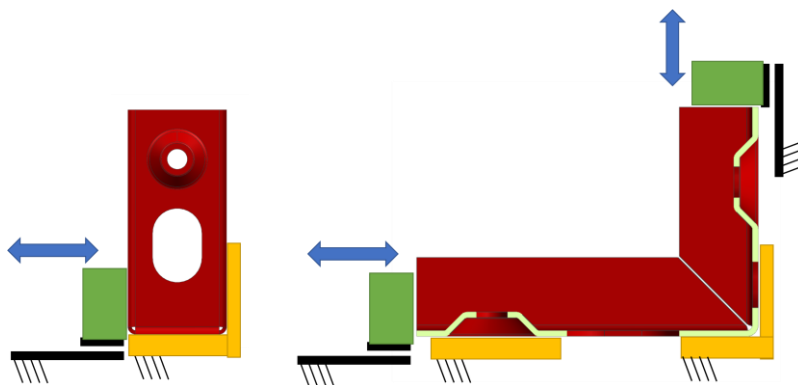


Obrázek 5-9 Schéma varianty upínání za kuželové plochy

Vzhledem k nižší přesnosti polohy i tvaru kuželových výdutí při výrobě není tato varianta ideální pro přesné opakované zajištění polohy polotovaru při svařování.

Upnutí za vnější plochy

Druhá varianta využívá k zajištění polohy zadní a boční plochy polotovaru. Ten je nejprve položen na pevnou část přípravku a zajištěn pomocí při posuvných upínek. Tato varianta umožňuje svařování přímých svarů v rohové části jak zevnitř, tak zvenku, avšak čep by musel být přivařen pouze zevnitř. Schematicky naznačeno viz. Obrázek 5-10.

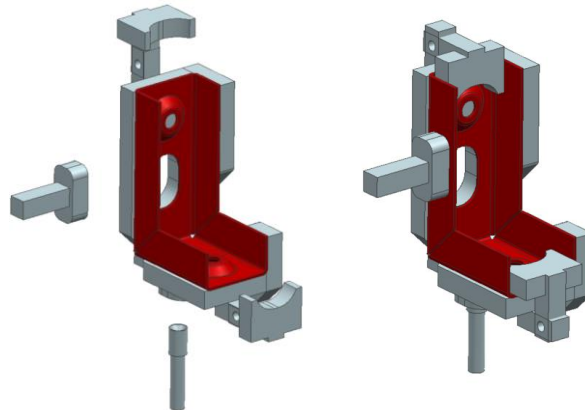


Obrázek 5-10 Upnutí polotovaru za vnější plochy

Při analýze dostupnosti svařovacích poloh byla tato varianta vyhodnocena jako nevhodná pro modifikaci s kolíkem, jelikož není z prostorových důvodů zaručena potřebná poloha a úhel osy MIG hořáku v místě svaru.

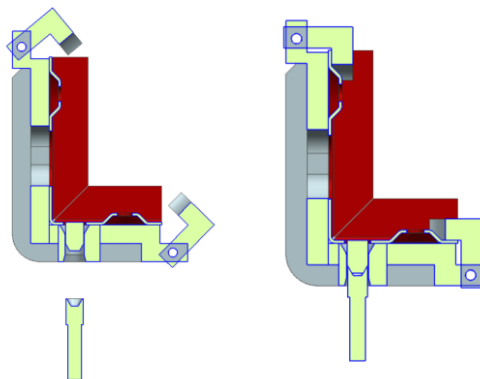
Orientace kolíku směr dolů

Třetí varianta je modifikací předchozího designu tak, aby umožnila přístup MIG hořáku k místu svaru pro kolík. I v této alternativě by kolík byl svařován z vnitřní strany polotovaru. Způsob upnutí i polohu schematicky znázorňuje Obrázek 5-11.



Obrázek 5-11 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem dolů

Kolík je v tomto případě dopraven ze zásobníku na finální pozici zespodu pomocí lineárního pohybu pístu skrz kalibrovanou díru tvarem připomínající dýzu. Ta by zaručila přesnou pozici vůči středu díry v polotovaru, jak schematicky znázorňuje Obrázek 5-12 s pohledem v řezu. Totožný mechanismus zároveň drží kolík v horizontálním směru během svařování.

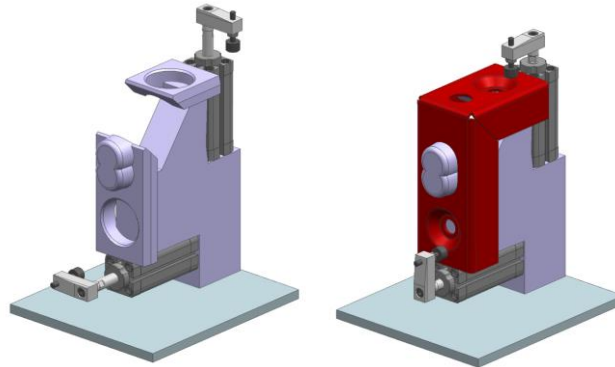


Obrázek 5-12 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem dolů, řez

Tato varianta skýtá riziko v podobě nucené svařovací polohy zevnitř, kdy nelze zcela zaručit technologickou proveditelnost. Zároveň je uvedená poloha polotovaru méně vhodná pro samotnou manipulaci, zejména pro odebrání svařence z přípravku. Dále je zde vysoké riziko nadměrného zahřívání oblasti v okolí svarů a přenosu tepla do pneumatických prvků mechanismu s omezenými možnostmi chlazení.

Orientace čepu směr nahoru

Poslední varianta využívá k zajištění pozice polotovaru na fixní části přípravku kombinaci oválné díry na zadní stěně spolu s okraji středových ploch. Pozice vůči oválné díře je zajištěna kuželovým trnem, na který je díl vsazen. Následně jsou středové plochy upnuty pomocí upínek. Funkční princip schematicky zachycuje Obrázek 5-13.



Obrázek 5-13 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem nahoru, izometrický pohled

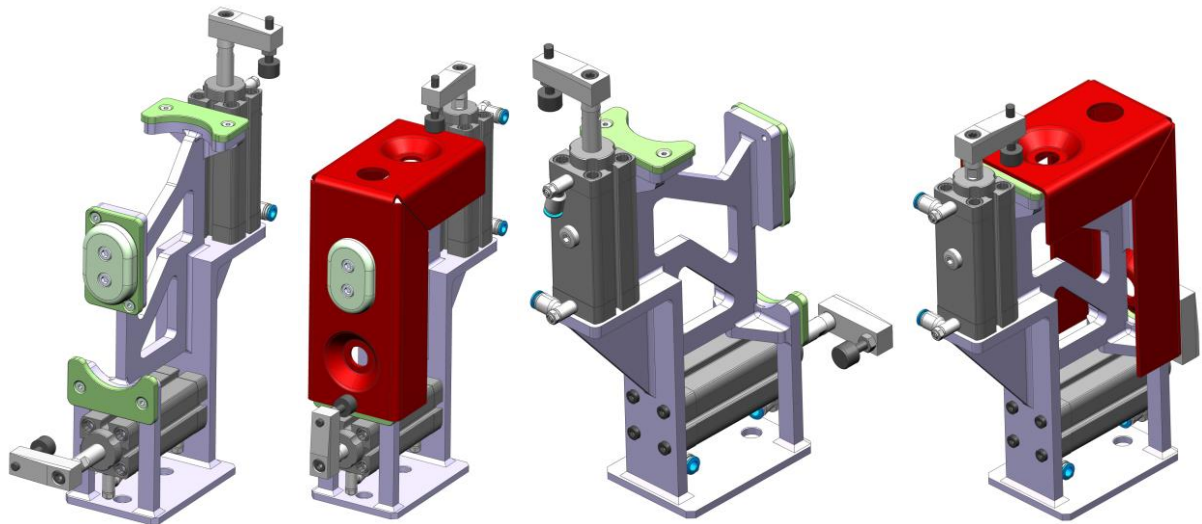
Tato varianta umožňuje přístup k místům svaru pouze z vnější části a kolík je přivařován v poloze směrem vzhůru. Jak je naznačeno předběžným tvarem fialové fixní části přípravku, takováto geometrie minimalizuje přenos tepla z oblastí svaru.

5.4.2 Zhodnocení variant upínacího mechanismu

Jednotlivé alternativy nebyly formálně kvalitativně hodnoceny tabulkou a SWOT analýzou, z nastíněných vlastností však vyplývá jednoznačně jako nejvhodnější poslední varianta s upnutím za oválnou díru a středové plochy. V dalším návrhu proto bude rozpracována tato varianta a dílčí mechanismy pracoviště budou přizpůsobeny na orientaci kolíku směrem vzhůru a svařování z vnější strany.

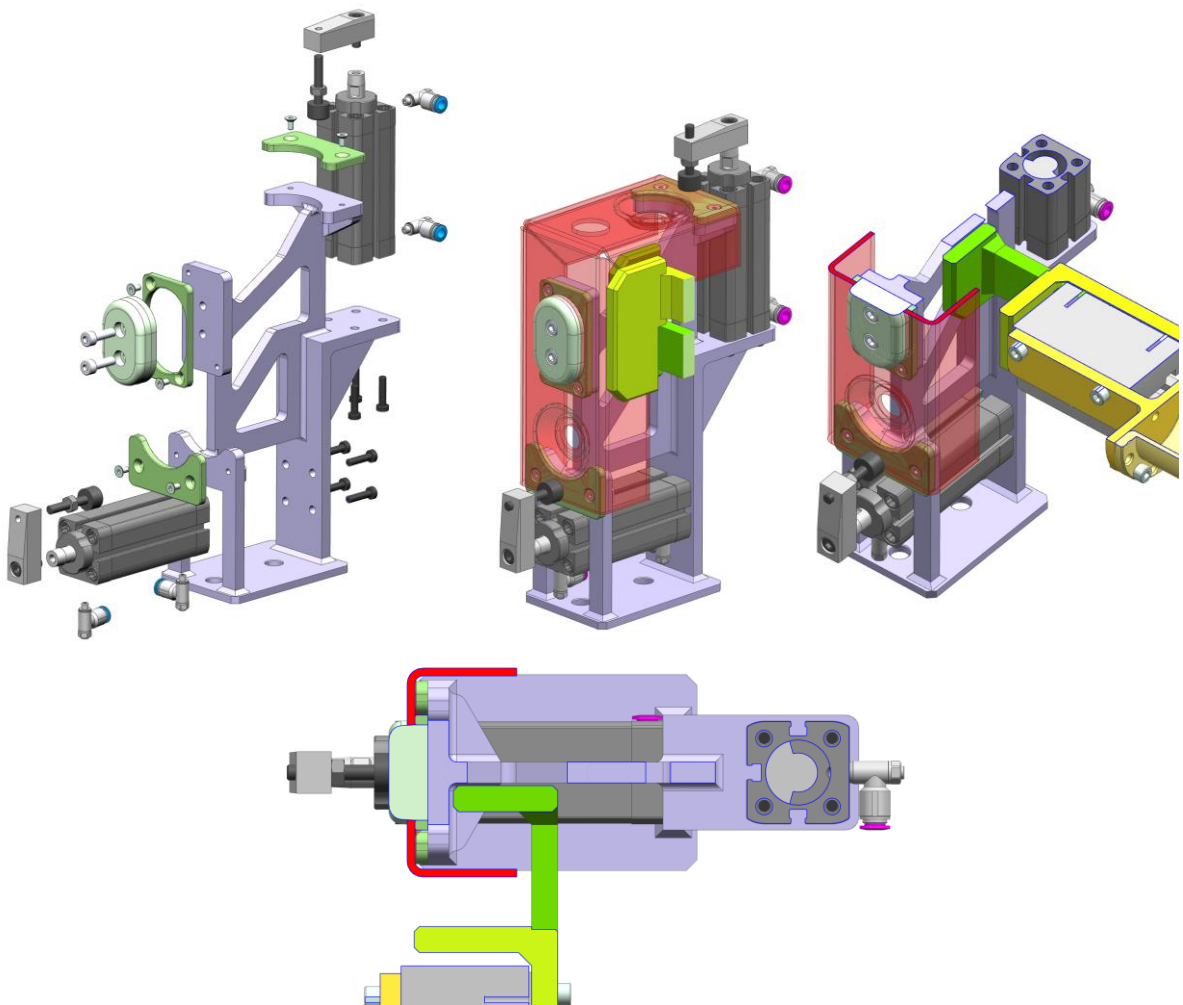
5.4.3 Zvolené řešení upínacího mechanismu

Výsledné konstrukční řešení upínacího přípravku je tvořeno ve středové části ocelovým svařencem, jež zajišťuje funkci nosné kostry. Na její kolmé nosné plochy jsou přišroubovány kontaktní destičky z nitridované oceli, které umožní opření vnitřních stěn polotovaru. Přesnost pozice zajišťuje oválný kuželový středící element, na který je polotovar vsunut. Nitrídace je zvolena z důvodu zvýšení oteruvzdornosti a tedy vyšší životnosti destiček a středícího kuželu. Geometrická přesnost jejich pozic (rovnoběžnost/kolmost) je zajištěna při montáži pomocí vymezovacích destiček. Uchycení polotovaru na přípravku je realizováno za kraje vrchní a zadní stěny pomocí kyvně-přímocharých upínek výrobce Festo s označením CLR-25-10-L-P-A-K11-R8. Funkční princip znázorňuje Obrázek 5-14. Tento typ upínek je speciálně určen pro provoz v prostředí svařování a dle výrobce [20] odolává zvýšeným teplotám okolí i případnému rozstříku materiálu. Upínací válce jsou k nosné části přišroubovány za spodní/zadní montážní plochu dle doporučení výrobce.



Obrázek 5-14 Upínací přípravek, pohledy zepředu a zezadu

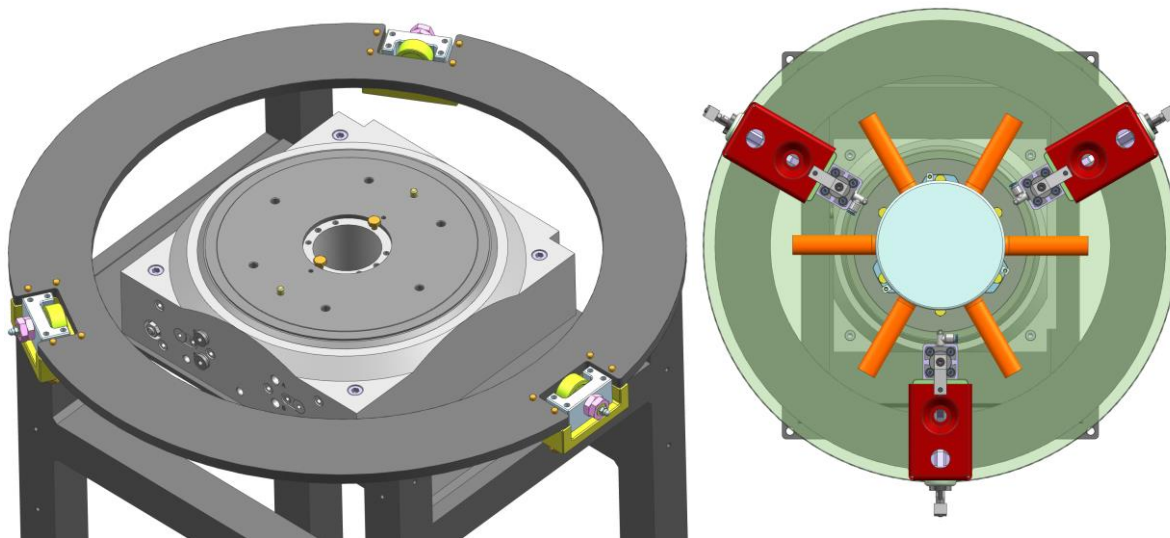
Ověření upínací síly je v příloze č. 1-A, avšak nepůsobí zde žádné vnější síly, pouze radiální síla vzniklá dostředivým zrychlením při rotaci. Dále bylo ověřeno, že nedochází ke kolizi těla upínacího přípravku a manipulačního přípravku na robotu v momentě usazování polotvaru, viz. Obrázek 5-15.



Obrázek 5-15 Upínací přípravek, rozstřel sestavy a ověření kolizi

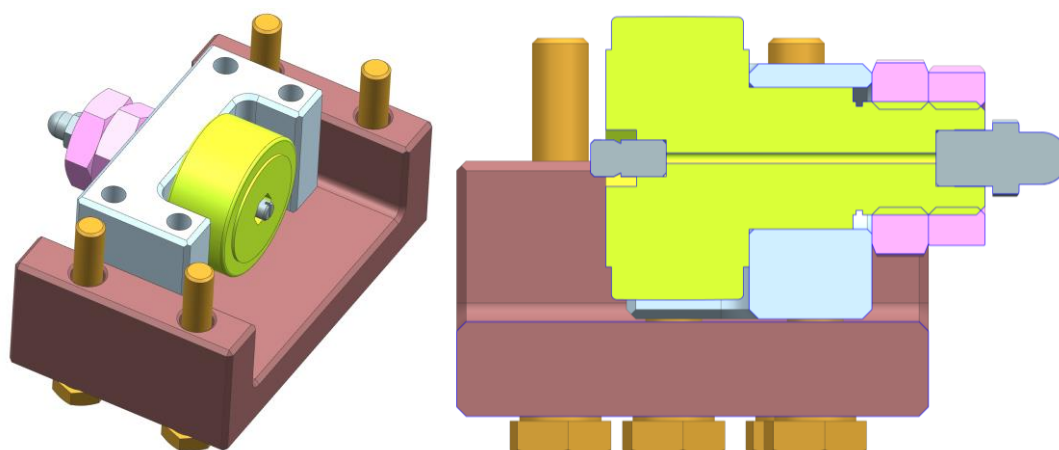
5.5 Volba otočného indexovacího stolu

Díky celkově relativně nízké hmotnosti upínacího přípravku není nutná vysoká únosnost indexovacího karuselu. Z toho důvodu byl zvolen „krokový“ rotační stůl na pneumatickém principu (hřeben, pastorek) od výrobce Festo, konkrétně model DHTG-2020-3. Ten je přichycen uvnitř svařeného kruhového stolu, který zajišťuje potřebnou výšku pro svařovací operace. Jedná se o variantu se třemi indexovacími pozicemi, má aretační čepový mechanismus, který zabezpečí přesnost polohy v potřebné toleranci (opakovaná přesnost udávaná výrobcem činí $< 0,03^\circ$). [21] Na otočnou část stolu je přišroubována ocelová deska tloušťky 6 mm, ta nese 3 upínací přípravky, jež jsou v ní zajištěny pomocí šroubů.



Obrázek 5-16 Indexovací stůl

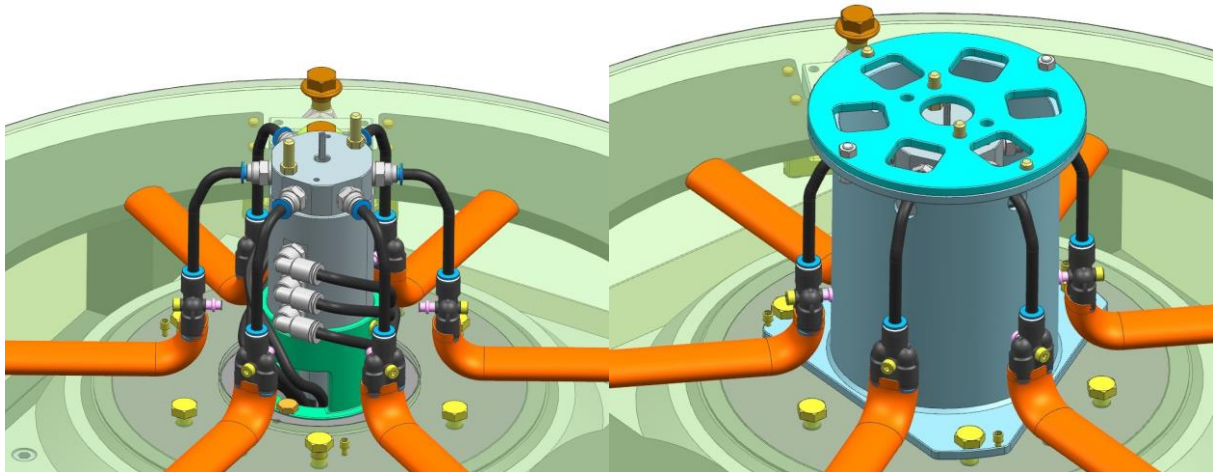
Tuhost a přesnost polohy v ose Z v místech aretace polohy je zajištěna pomocí vyrovnávacích snímacích kladek SKF KRE 30 PP umožňujících výškovou nastavitelnost díky excentrickému členu o hodnotu $+0,5$ mm. Subsestava opěrné kladky i s domkem je přišroubována ke kruhové části stolu.



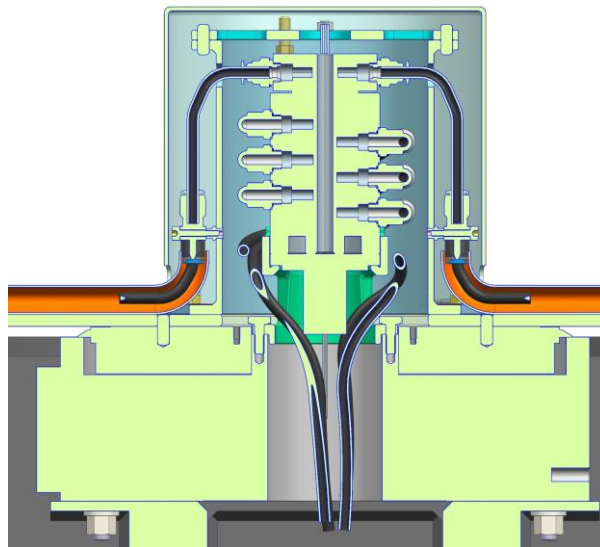
Obrázek 5-17 Vyrovnávací kladka

V rotační ose je umístěn Rotační středový konektor (Slip-Ring) pro vedení stlačeného vzduchu a signálních vodičů mezi fixní a rotující částí sestavy. Výrobce stolu dodává řešení pouze se čtyřmi nezávisle vedenými cestami pro vzduch, avšak z důvodu, že upínací válce

jsou v odolném provedení k dostání pouze ve variantě dvojčinné, je nutné přivést 6 nezávislých vzduchových přívodů. Byl zvolen produkt čínského výrobce Senring MK-3006006-24S, umožňující vést 6 pneumatických cest a 24 elektrických nízkonapěťových signálních vodičů. [22] Pro upevnění Rotačního konektoru k sestavě stolu a jeho zakrytování bylo nutné navrhnout specifické spojovací díly. Sestava je patrná z přílohy č. 4-D, výrobní výkres DP2023-JV-S02 a Obrázek 5-18. Rozměry i tolerance vychází z produktových listů spojovaných součástí (vnější válcová plocha konektoru a středová díra v rotačním stole).



Obrázek 5-18 Osový rotační konektor (Slip-Ring), 3D pohled



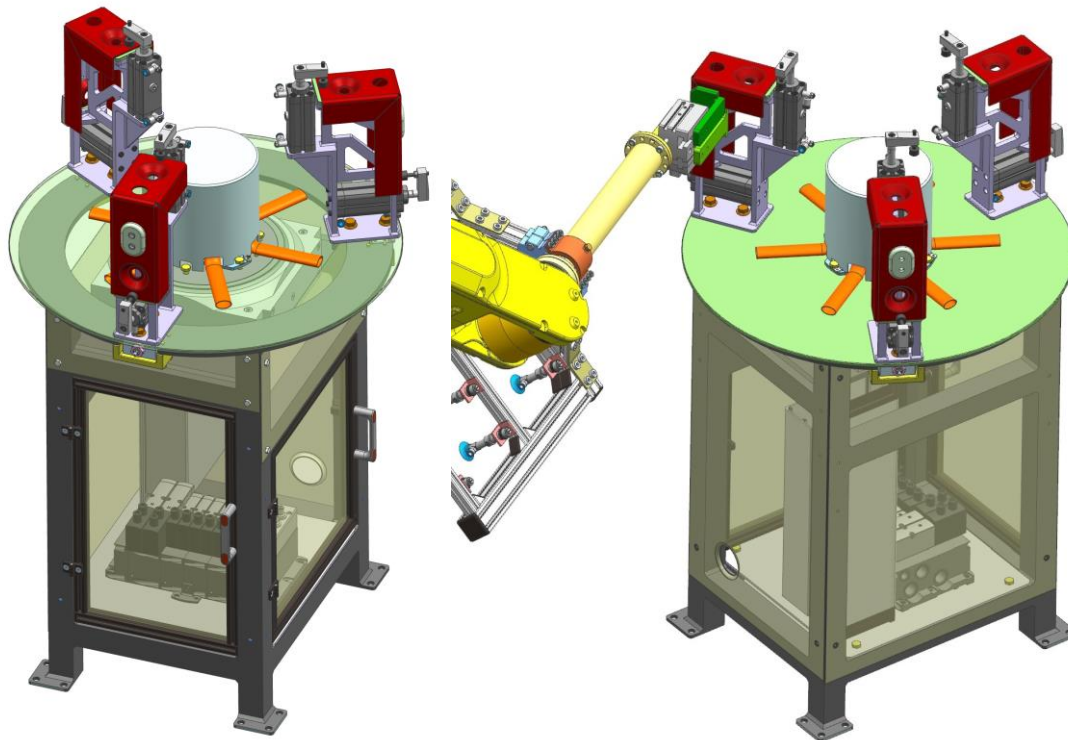
Obrázek 5-19 Sestava Slip-Ring konektoru, řez

Tělo statické části je vsazeno do spojovacího dílu, který umožňuje prostup hadic zespolu stolu do bočních šroubení. Tento statický spojovací díl má relativně složitou geometrii a jako jeden z mála jej bude nutné vyrobít metodami víceosého obrábění. Horní rotační část je s deskou spojena dvojicí šroubovaných dílů. V prvním případě se jedná o svařenec trubkovitého tvaru s přírubovými částmi, jež vespod dosedá a je přišroubována k desce stolu a nahore je pomocí kolíků a šroubů ustaven vůči druhému dílu. Ten je koncipován jako výpalek z plechu tloušťky 6mm s otvory pro montáž a odlehčení. Vrchní díl přenáší točivý moment na

rotující část konektoru dvěma závitovými čepy dle specifikace výrobce. Pro zajištění ochrany plastových hadic a šroubení je návrh umístěn ještě tenkostěnný plechový kryt.

Hadice jsou po výstupu zdvojeny pomocí rozdělovače Festo, jež je pevně přichycen ke stěně rotujícího spojovacího dílu pomocí šroubu v nýťovací závitové matici. Toto řešení zajišťuje minimalizaci mechanického namáhání hadic vlivem dostředivého zrychlení. Úseky hadic vedoucí po desce stolu jsou chráněny ohnivzdorným návlekmem ze skelných vláken výrobce Parker, typ FS-F.

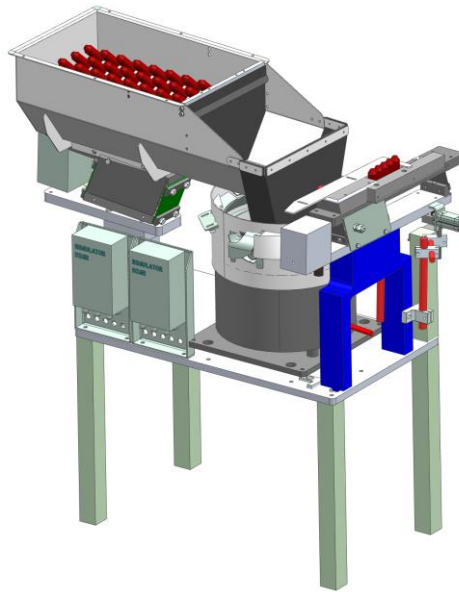
Řízení toku stlačeného vzduchu je realizováno pomocí pneumatického terminálu Festo Motion Terminal, jež je umístěn v dolní části stolu. Celý stůl je zakrytován a jsou v něm instalována dvojice servisní dvířka.



Obrázek 5-20 Indexovací stůl, vpravo v součinnosti se základacím robotem

5.6 Návrh koncepce zásobníku pro kolíky

Detailní návrh zásobníku kolíků je již mimo rozsah zadání práce. Jako výchozí stav se bere možnost napozicovat kolíky ve specifické orientaci a poloze vůči ostatním mechanismům, které s nimi budou následně manipulovat. Obrázek 5-21 znázorňuje pouze schematicky přípustný koncept vibračního zásobníku, ze kterého by jednotlivé kusy byly odebírány ve vertikální poloze a přivedeny na potřebné místo.



Obrázek 5-21 Koncept zásobníku kolíků

Koncept vychází z existující varianty vibračního zásobníku, který operuje se součástími rámcově obdobné velikosti i hmotnosti, jako má středící kolík. Z tohoto důvodu byl vybrán jakožto model zástavbového prostoru kvůli možnosti realistického rozmístění ostatních funkčních celků na pracovišti.

5.7 Návrh mechanismu pro manipulaci a ustavení kolíku při svařování

Spolehlivé zajištění pozice kolíku vůči díře polotovaru je klíčovou podmínkou pro finální výrobní přesnost svařence. Tato funkce musí být vykonána specifickým pomocným mechanismem, který zároveň zajistí odebrání kolíků ze zásobníku. Největším úskalím pro daný systém je velmi malá dostupná kontaktní plocha mezi kolíkem a koncovým efektořem (chapadlem) mechanismu vzhledem k nutnosti zachování potřebného prostoru pro svařovací MIG koncovku po jeho obvodu. Dalším problémem je vystavení koncového efektořu podmínkám při svařování (teplota, rozstřík materiálu,..).

Na základě posouzení nutného potřebného prostoru pro standardní MIG koncovky bylo po dohodě se zadavatelem navrženo prodloužení kolíku o 13 mm na celkovou délku 46 mm. Tato změna rozměrů nemá vliv na celkovou funkčnost dílu, ani zásadně neovlivní jeho cenu. Technologie svařování v místě kolíku bude muset být pravděpodobně přizpůsobena tak, aby minimalizovala tepelné namáhání efektořu. Jedním z možných přístupů je použití bodových krátkých svarů na vybraných místech po obvodu kolíku, namísto kontinuálního obvodového svaru.

5.7.1 Popis zvažovaných variant

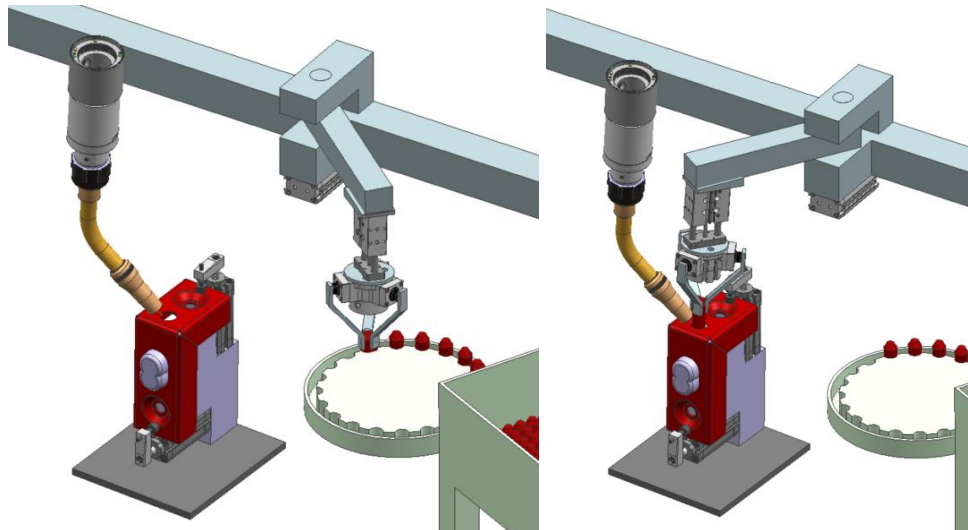
Následující podkapitoly popisují jednotlivé varianty včetně uvedení výhod a nevýhod každého designu.

Kyvný horizontální mechanismus

První varianta se skládá z kombinace kyvného pohybu v horizontální rovině a lineárního pohybu v ose z. Viz Obrázek 5-22 Mechanismus se skládá z nosného ramene, který je čepem kyvně připojen k rámu, v ose čepu je umístěn kyvný pneumatický aktuátor výrobce Festo s označením DRRD-16, umožňující maximální rozsah pohybu 180°. Kyvný pohyb zajišťuje změnu pozice mezi dírou polotovaru a zásobníkem. Na konci ramene je umístěn lineární

pneumatický aktuátor s vlastním vedením umožňující pohyb kolíku v ose Z. Konkrétně se jedná o model DFM-B, výrobce Festo.

Na konci lineárního pohonu je připevněn paralelní gripper se třemi chapadly od výrobce SMC. Konkrétně jde o model MHS3-32D-X6708, tento gripper je určen do náročných provozních podmínek a odolává zvýšeným teplotám, prachu i kapalinám. Je tedy vhodným pro použití v blízkosti svařovacího MIG hořáku. Kolík je uchycen seshora pomocí trojice chapadel po vnějším obvodu.

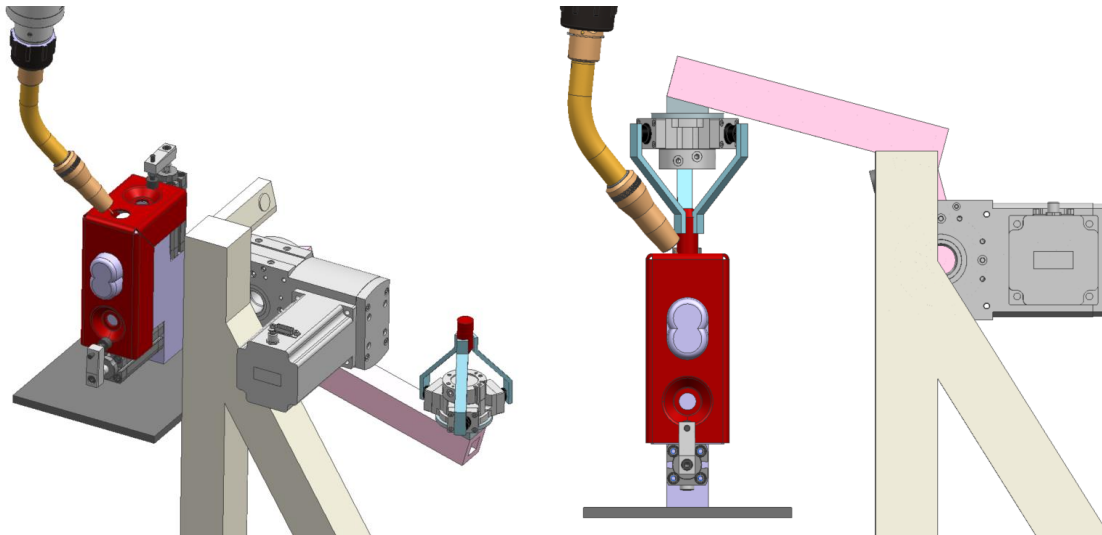


Obrázek 5-22 Kyvný horizontální podavač kolíků

Výhodou tohoto mechanismu jsou relativně malé zástavbové rozměry a dobrá kompatibilita prostorového uspořádání se svařovacím robotem. Nevýhodou je potenciálně nižší přesnost polohování a riziko rychlého opotřebení v důsledku zatěžujících dynamických sil.

Rotační vertikální mechanismus

Druhá varianta využívá pro přesun a pozicování kolíku pouze rotační/kyvný pohyb ve vertikální rovině. Tato koncepce umožňuje odstranit lineární akční člen a zvýšit tak celkovou tuhost i předpokládanou životnost mechanismu oproti první variantě. Jak znázorňuje Obrázek 5-23, mechanismus se skládá z otočného lomeného ramene (kvůli zamezení kolize s přípravkem), které je zakončeno totožným gripprem, jako první varianta. Rotační pohyb je zajištěn modulem ERMB-32 (řemenová převodovka) výrobce Festo a servomotorem. Hlavní charakteristikou tohoto mechanismu je nutnost převrácené výchozí polohy kolíku v zásobníku.

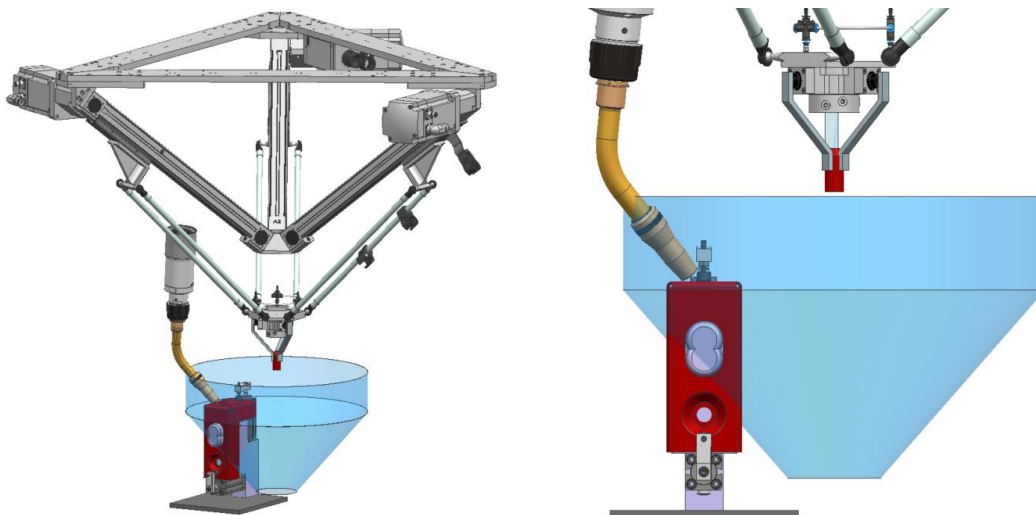


Obrázek 5-23 Rotační vertikální podavač kolíků, izometrický pohled

Výhodou této varianty je zvýšená přesnost (díky nastavitelnému koncovému dorazu), nižší riziko opotřebení oproti první variantě a také nižší zástavbový prostor v těsné blízkosti oblasti svařování. Nevýhodou je nutnost zásadně vyšší komplexnosti zásobníku pro kolíky.

Tripod/delta manipulátor

Třetí zvažovanou variantou je použití paralelní kinematiky ve formě manipulátoru typu tripod/delta. Zvažovány byly modely výrobců Festo, ABB a Fanuc, konkrétně EXPT, Tripod, IRB 360 FlexPicker® a M-2iA. Všechny zmiňované modely svými parametry únosnosti i potřebné dynamiky spolehlivě dostačují pro danou aplikaci. [23] [24] Jako zástupce vyznačuje Obrázek 5-24 model od výrobce Festo, modrá zóna značí kinematický rozsah.



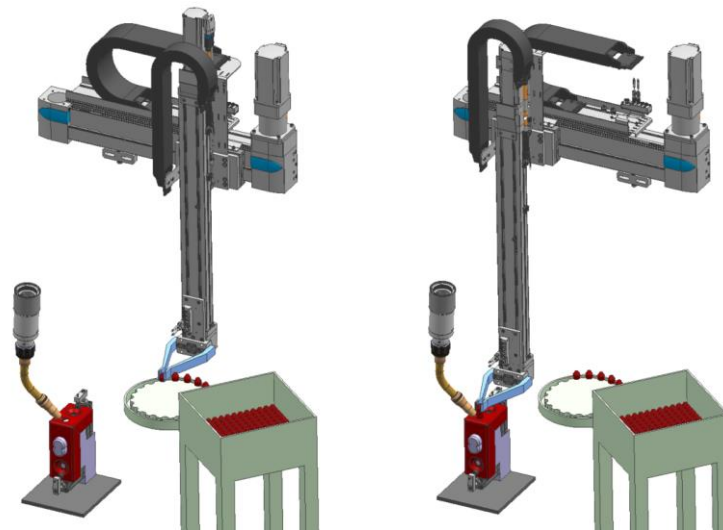
Obrázek 5-24 Tripod podavač kolíků, výrobce Festo

Zásadním problémem pro použití paralelní kinematiky je obtížná prostorová kompatibilita se svařovacím robotem. Dráhy robota by musely být značně složitější, aby nedošlo ke kolizi s manipulačním mechanismem. Dalším negativem je značná hmotnost takových systémů, rozmezí 120-160 kg v závislosti na výrobci. Zároveň jsou tyto systémy neúměrně nákladné vzhledem ke konkrétní potřebné aplikaci.

Kartézský dvouosý manipulátor

Čtvrtou alternativou je využití kartézského dvouosého manipulačního systému. Kombinace dvou pohyblivých os umožňuje zajištění přesné polohy kolíku, vhodné dynamiky i úpravu trajektorie manipulátoru adekvátně pozicím ostatních mechanismů, zejména vůči svařovacímu robotu. Konkrétní model nese označení XYCL, z hlediska zatížení je daný systém s rezervou vyhovující.

Koncovým efektem je paralelní gripper společnosti Festo a dvě chapadla, která chytají kolík v horní části válcové plochy ze stran. Model gripperu má speciální robustní provedení a svými parametry umožňuje použití v dané aplikaci.



Obrázek 5-25 Kartézský dvouosý podavač kolíků, výrobce Festo, izometrický pohled

Nevýhodou tohoto řešení je mírně vyšší hmotnost (50kg) i vyšší předpokládaná cena oproti dvěma prvním variantám.

5.7.2 Zhodnocení variant

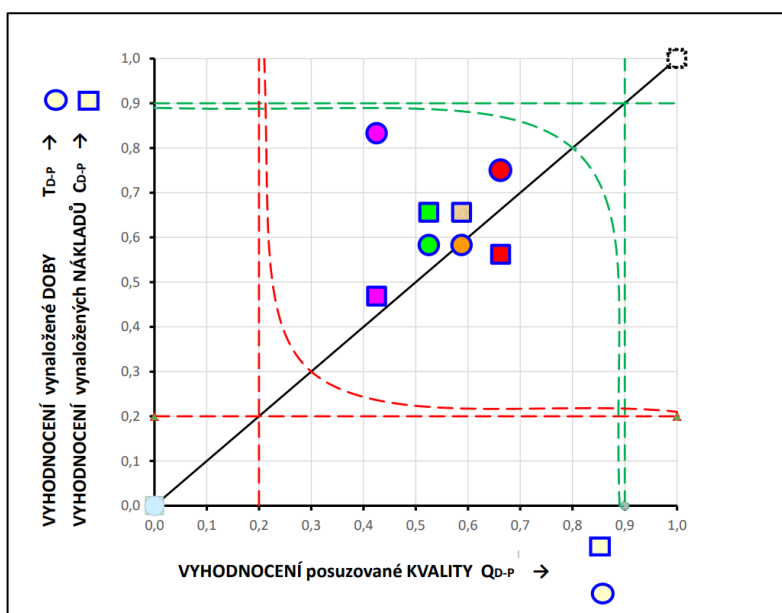
Na základě posouzení požadovaných vlastností řešeného mechanismu byla sestavena kritéria splnění podmínek předpokládané kvality a jednotlivé varianty byly vůči sobě porovnány komplexní SWOT analýzou. Obrázek 5-26 zobrazuje porovnávací tabulku, jednotlivé varianty jsou řazeny následovně:

- Zelená (A) – horizontální kyvný mechanismus
- Oranžová (B) – vertikální rotační mechanismus
- Fialová (C) – paralelní kinematika, tripod/delata
- Červená (D) – kartézský dvouosý manipulátor

DIAGR. Q*T*C ▶▶	Kritérium / požadavek - porovnatelná konkurenční vlastnost	Váha <0 ÷ 4>	Hodnocení vhodnosti <0 ÷ 4> alternativ TS					
			TS0*	a	b	c	d	TSi
Posuzovaná KVALITA Q	Zástavbový prostor	3		4	4	1	3	4
	Přesnost pozicování	4		2	2	4	3	4
	Hmotnost	2		4	3	1	2	4
	Odolnost vůči prostředí svařování (teplota,...)	3		2	3	3	4	4
	Jednoduchost integrace s dalšími mechanismy	4		2	3	1	4	4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti Q <0 ÷ 1>			0,00	0,53	0,59	0,43	0,66
Vynaložená DOBA T	Rychlost a dynamika pozicování	4		2	2	4	3	8
	Rychlost implementace	2		3	3	2	3	8
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti T <0 ÷ 1>			0,00	0,58	0,58	0,83	0,75
Vynaložené NÁKLADY C	Pořizovací náklady	3		3	3	1	2	4
	Provozní náklady	4		3	3	3	3	4
	Σ Norm. váž. vyhodnocení vhodnosti C <0 ÷ 1>			0,00	0,66	0,66	0,47	0,56

Obrázek 5-26 Hodnoty porovnání mechanismu

Výsledky srovnání znázorňuje Obrázek 5-27. Osa X odpovídá celkovému skóre kvality (více vpravo znamená lepší výsledek). Osa Y udává dosažený výsledek časového hlediska (doby) respektive vynaložených nákladů. Čtvercový indikátor vyznačuje skóre se započtením nákladů, kruhový indikátor značí skóre se započtením hlediska času (v tomto případě dominantně rychlost polohování).



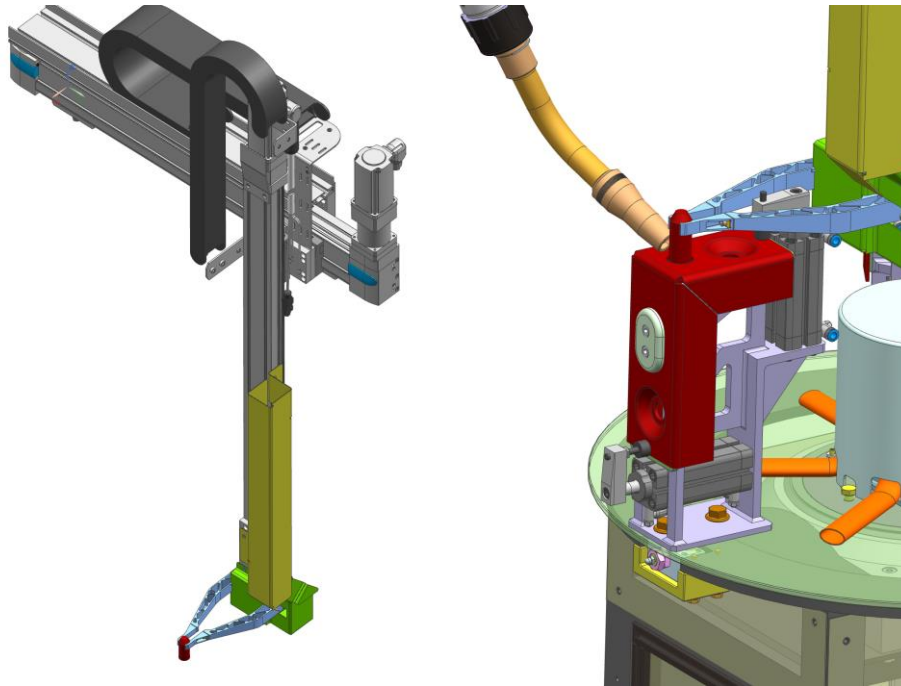
Obrázek 5-27 Graf výsledku porovnání mechanismů

Výsledky srovnání potvrzují neadekvátnost případného použití paralelní kinematiky pro tento účel. Vzájemná komparace kyvných mechanismů ukazuje velmi srovnatelné výsledky, ale ve prospěch vertikálního provedení. Z grafu je patrné, že nejlepší celkové skóre získala čtvrtá alternativa, konkrétně dvouosý kartézský manipulátor s dvou chapadlovým koncovým efektořem.

5.7.3 Zvolené řešení

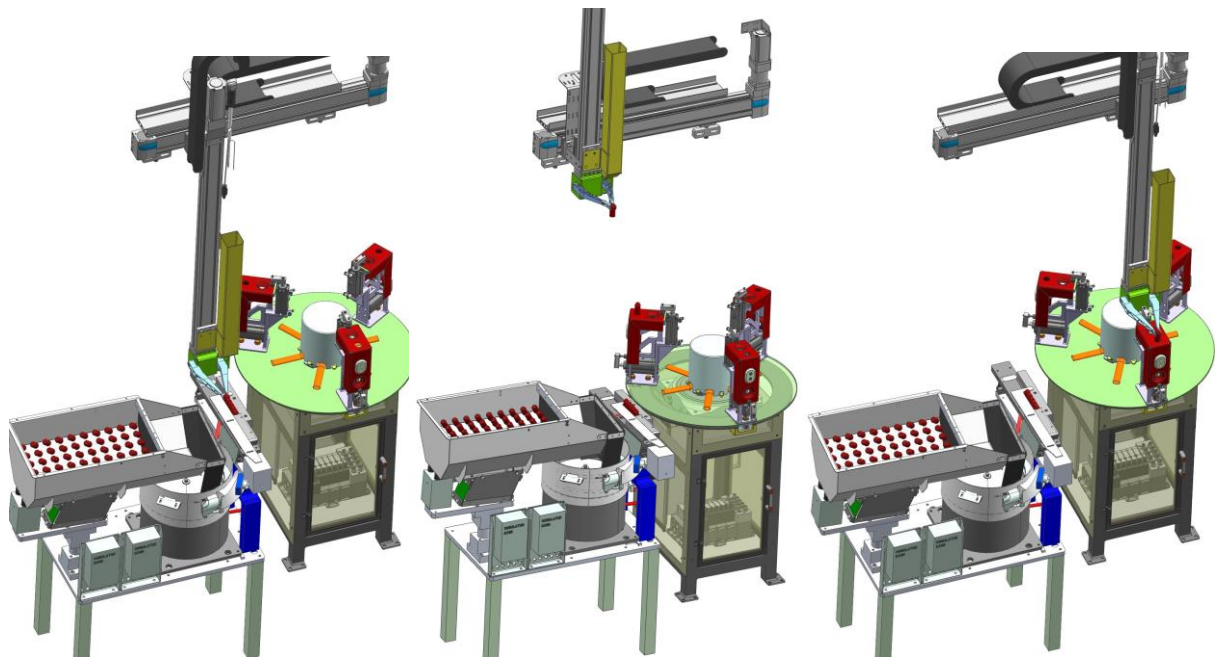
Pro realizaci manipulačních operací kolíku je finálně použit dvouosý kartézský systém Festo řady XYCL-2. Jedná se o lehkou variantu určenou pro manipulaci s tělesy o nízké hmotnosti. Výrobce tento systém nabízí v konfigurovatelném provedení, kdy zákazník pouze

definuje požadované provozní parametry (hmotnost přenášených dílů, rozsah pohybu, dynamika) a konfigurátor vygeneruje vhodné kombinace pohonů a vodicích elementů. Konkrétně byl zvolen typ s ozubeným řemenem v ose X a vřetenem v ose Z. Maximální rozsah pohybu činí 700mm v ose X a 800 mm v ose Z. Definiční kód specifické varianty je C2658325. Obrázek 5-28 zobrazuje zvolený manipulační mechanismus v součinnosti se svařovacím robotem. Systém je nutné pevně ustavit na nosný rám, jehož návrh popisuje kapitola 5.9. Výrobce garantuje opakovanou přesnost pozicování $< 0,1$ mm, detailní parametry zvoleného systému a ověřovací výpočty jsou obsaženy v příloze č. 1-A. Prostorovou konfiguraci mechanismu, zásobníku a stolu zachycuje Obrázek 5-29.



Obrázek 5-28 Festo XYCL-2 v součinnosti se svařovacím robotem

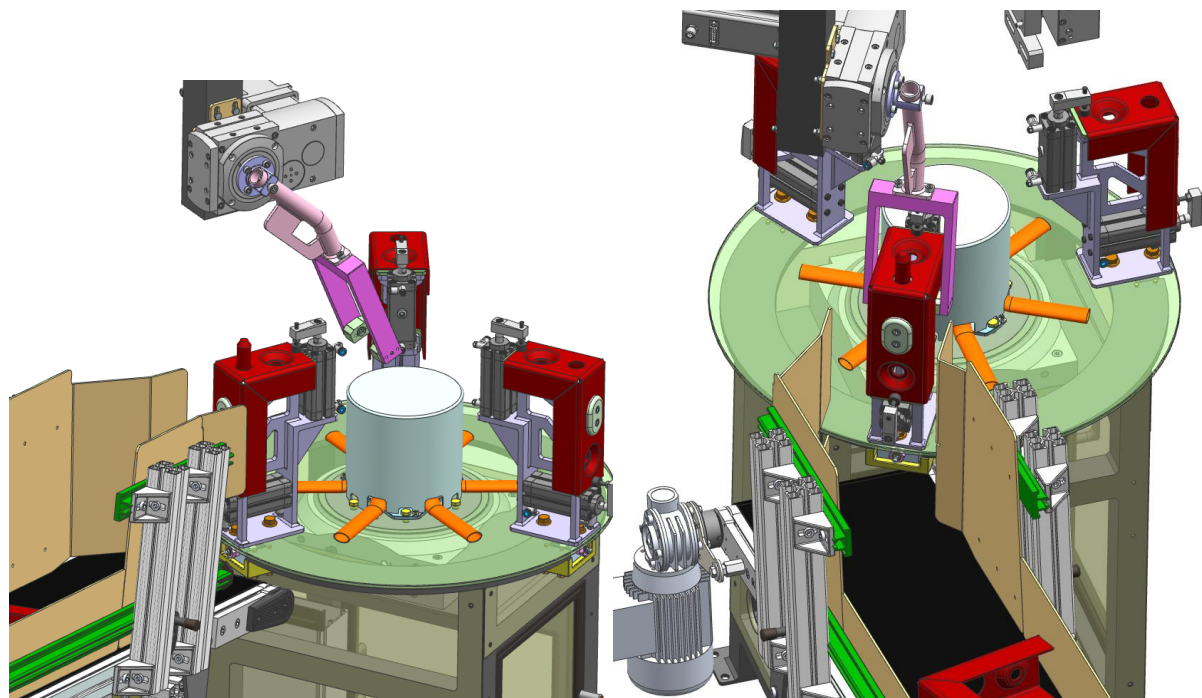
Koncovým efektozem byl zvolen pneumatický paralelní gripper Festo HGPT-25-A-B. Pro uchopení a přenesení kolíku je využito dlouhých dělených ocelových chapadel pro minimalizaci přenosu tepla z místa svaru do tělesa gripperu, který je navíc chráněn plechovým krytváním před rozstříkem materiálu. Krytování je rovněž umístěno k vodicím drahám kabeláže. Vzhledem k neobvyklé délce i omezenému úchopovému prostoru bylo nutné chapadla značně hmotnostně i tvarově optimalizovat. [25] Postup návrhu i detailní popis výpočtu je uveden v kapitole 6.1. Ověřovací analytické výpočty včetně detailní specifikace výrobku jsou obsaženy v příloze č. 1-A.



Obrázek 5-29 Pozice manipulačního systému kolíku (úchop, přesun/distanc, svařování)

5.8 Návrh a volba mechanismu pro odjímání, přesun a kontrolu svařenců

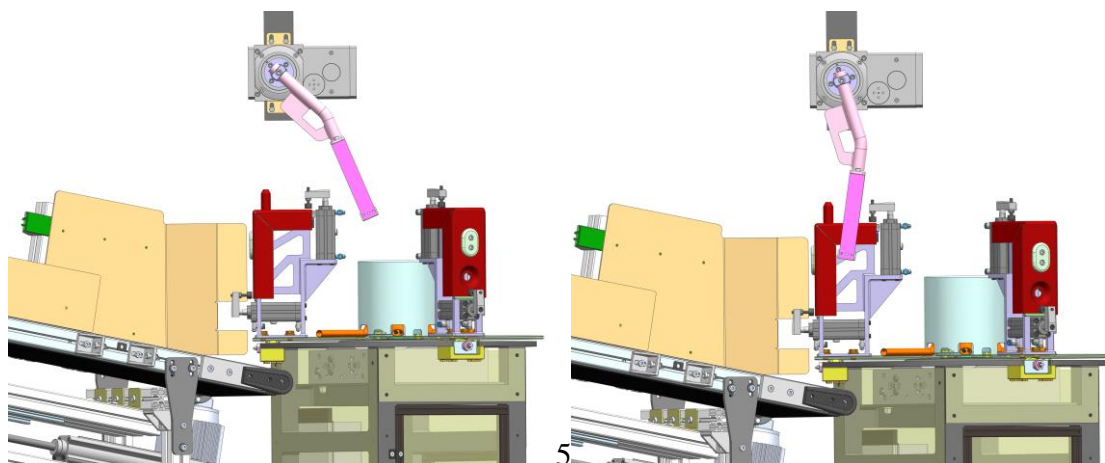
Prvotní varianty návrhu počítaly s využitím zakládacího manipulačního robota současně jako prostředek k odebrání hotových svařenců a ukládání do bedny. Na základě předběžných kinematicko-časových analýz bylo vyhodnoceno, že přemísťování hotových svařenců robotem by neúměrně prodlužovalo délku výrobního cyklu. Obzvláště v případě, kdy na výstupu nemusejí být díly srovnány v gitterboxu. Bylo zvoleno časově úspornější řešení, kdy hotové svařence jsou shazovány na pásový dopravník kyvným mechanismem a následně skluzem svedeny do výstupných beden.



Obrázek 5-30 Shazovací mechanismus svařence

5.8.1 Funkční popis, shození

Mechanismus je tvořen kyvnou ohnutou tyčí s koncovým nástavcem ve tvaru podkovy/ obráceného písmene U. Na spodní části nástavce jsou z obou vnitřních stran přišroubovány shazovací kameny, které podeberou tělo svařence v rohu pod bočními svary a následným vykmitnutím jej shodí na pásový dopravník. Tomuto předchází nejprve uvolnění upínacích válců. Je zde výhodně využito přirozené tendence překlápění svařence na čelní (nejdelší) plochu, jelikož těžiště se nachází až v oblasti bočního lemu a při podepření v rohu nehrozí tím pádem uvíznutí dílu na mechanismu.



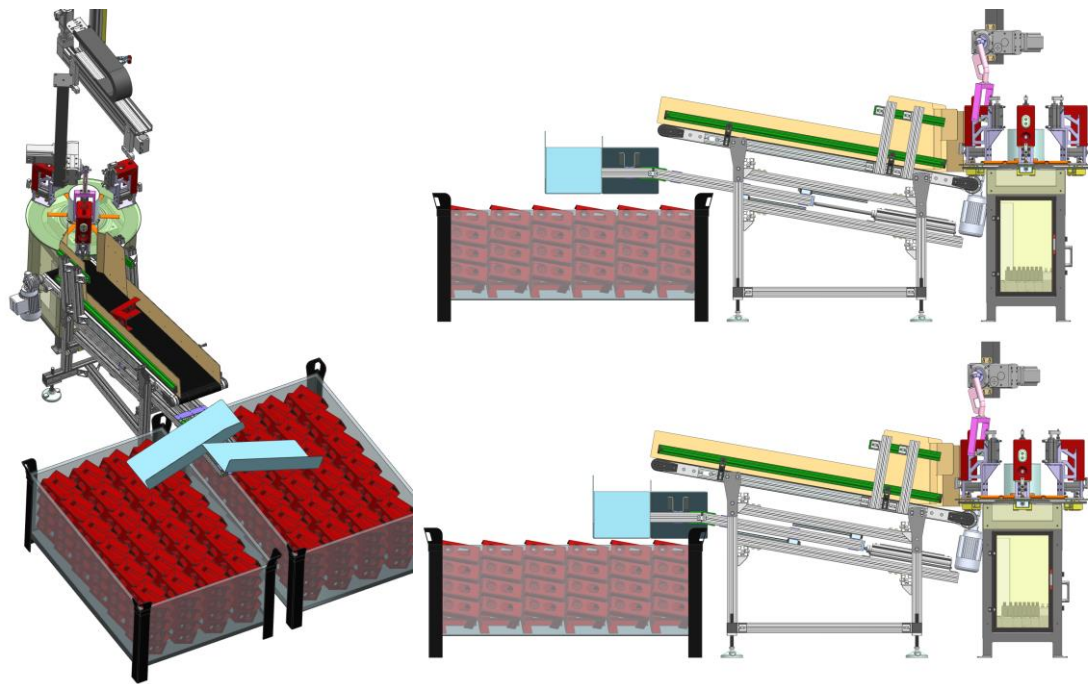
Obrázek 5-31 Kyvný shazovací mechanismus

Pohonným ústrojím je kombinace servopohonu a řemenové převodové jednotky. Motor je typového označení Festo EMMT-AS-80, převodová jednotka Festo ERMB-32. Tato kombinace umožňuje jemné nastavení dynamiky kyvného pohybu pro zaručení spolehlivosti shazovací operace. [26] Celá sestava je zavěšena k horní nosné části rámu ocelovým tenkostěnným profilem 60x60 mm.

5.8.2 Dopravník a skluzy do gitterboxů

Po shození je svařenec transportován pásovým dopravníkem do místa skluzu ke gitterboxu vně pracoviště. Boční hrazení dopravníku je vyztuženo v místě dopadu, jelikož pravděpodobně bude svařenec z části vrhán na stěnu hrazení. Konkrétní konstrukční řešení dopravníku není již součástí zadání DP, bude pravděpodobně využita modifikace robustních trusových dopravníků přímo ze sortimentu zadávající společnosti Kovobel, a to v provedení se zesíleným materiálem pásu pro jeho dostatečnou životnost i v případě dopadů kovových svařenců. Na konci dopravníku jsou umístěny posuvné plechové skluzy, které nasměrují svařence do dvou přilehlých gitterboxů.

Je pravděpodobné, že vlivem nerovnoměrného rozmístění budou na jeden vstupní gitterbox připadat dva zaplněné gitterboxy na výstupu. viz Obrázek 5-32 Z toho důvodu jsou skluzy umístěny na posuvném vedení a pomocí pneumatického válce Festo DSBF-C-50-250 mohou být střídány dvě pozice pro změnu spadové strany.



Obrázek 5-32 Pásový dopravník se skluzu

5.8.3 Kontrola svarů

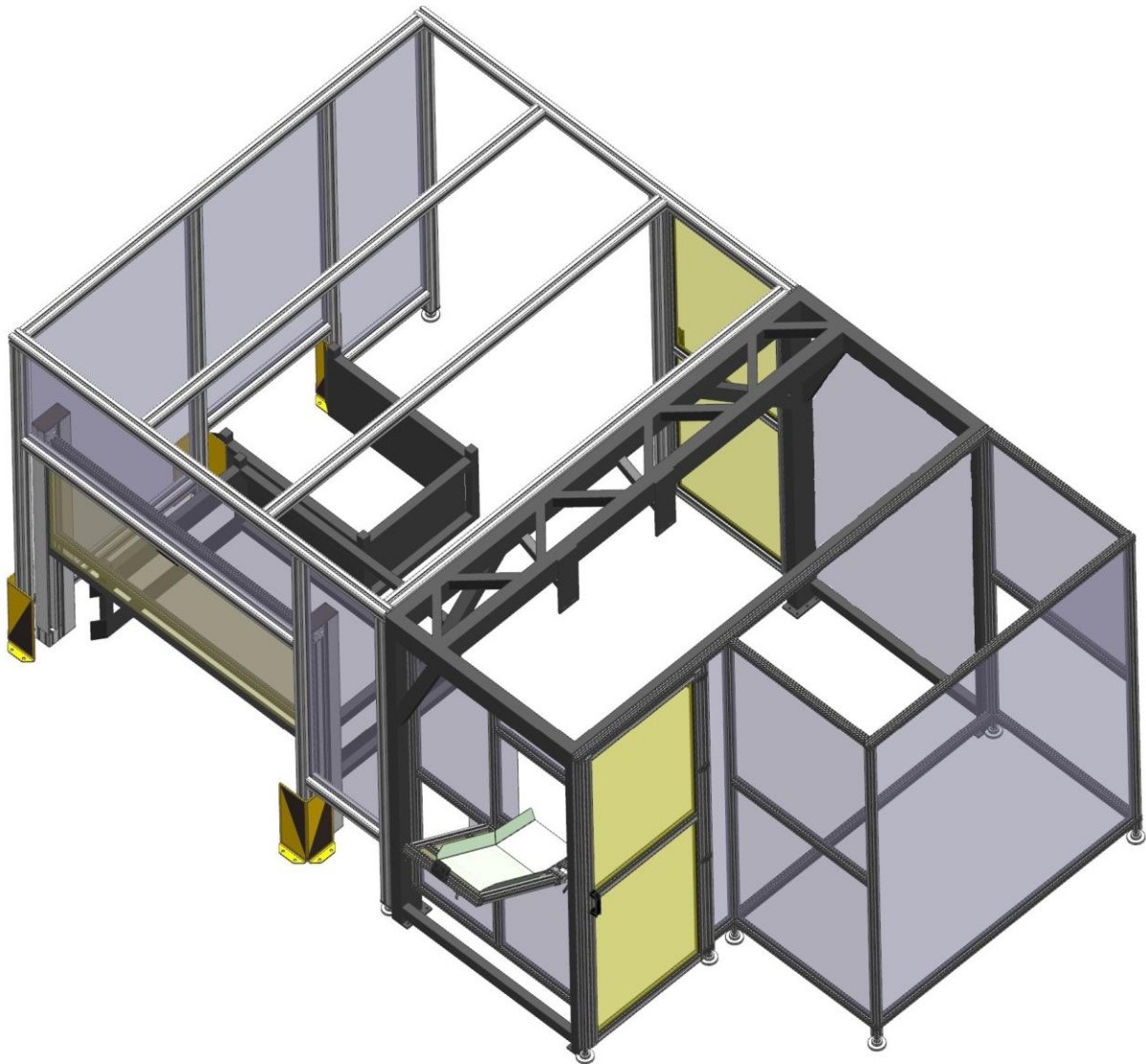
Princip a rozsah provedení kontroly kvality je opět nad rámec zadání práce. Konceptně je však tento úkon vhodné zařadit před operaci shoení svařence na dopravník. Zástavbové rozměry pracoviště i časová rezerva pro tyto operace dovolují například umístění inspekčního kamerového/optického systému nad 3. indexovací pozici, případně instalaci asistenčních mechanismů pro kontrolu svaru na ultrazvukovém principu.

5.9 Konstrukční návrh nosného rámu a krytování

Návrh pracoviště obsahuje zařízení, která musí být pevně zavěšena nad středovou částí a jejichž přesnost polohy se přímo propisuje do výrobní přesnosti a spolehlivosti celého pracoviště. Těmito jsou kartézský manipulátor a shazovací mechanismus. Ostatní elementy pracoviště jsou zpravidla v kontaktu s podlahou a není pro ně nutné pevné ukotvení k rámu. Z toho důvodu je rám pracoviště rozdělen na tři samostatné celky. Primární je nosná část rámu nad rotačním stolem nesoucí manipulační a shazovací mechanismus. Druhou částí je ochranná klec v oblasti kolem zakládacího robotu. Třetí částí je rovněž ochranná klec umístěná kolem svařovacího robotu.

5.9.1 Segmenty rámu

Nosný středový segment je koncipován jako svařenec z ocelových obdélníkových profilů různých průřezů zajišťujících potřebnou tuhost při zachování nízké hmotnosti. Přesný postup návrhu je uveden v kapitole 6.2, včetně výpočtů vyhodnocení potřebné tuhosti a optimalizace hmotnosti pomocí MKP. Ochranné části jsou z důvodu snazší montáže a nižší hmotnosti sestaveny z hliníkových extrudovaných profilů 60x60 mm a 40x40mm výrobce Bosch/ITEM, jednotlivé prvky jsou spojeny standardizovanými montážními elementy daných výrobců. Tyto části jsou opatřeny přístupovými otvory pro tok materiálu dovnitř i vně pracoviště a pro servis jednotlivých částí.



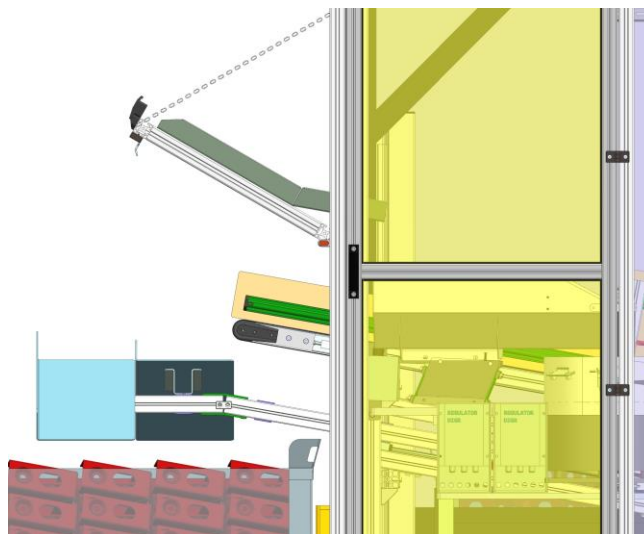
Obrázek 5-33 Rám pracoviště (pro přehlednost jsou panely zprůhledněné, nebo skryté)

5.9.2 Krytování a přístupové koridory

Z bezpečnostních důvodů je nutné celé pracoviště zakrytovat kvůli zamezení vstupu osob do prostoru pracoviště, ale i kvůli úniku UV záření vzniklého při svařování do prostoru haly. Celá vnější obálka rámu je zakrytována neprůhlednými panely, konkrétně z válcovaného plechu tloušťky 0,5 mm. Výjimku tvoří stěny, do kterých budou vsazeny skříně řídicího systému, elektroinstalace a ovládací moduly robotů, jež svými zástavbovými rozměry tvoří přirozenou přístupovou bariéru, nebo zóna kontinuálního přísunu svařovacího materiálu. Případné mezery budou zakryty tvarově upravenými panely, aby bylo zabráněno riziku poškození zraku obsluhy pohledem do místa svaru. Pro umožnění vizuální kontroly procesu uvnitř pracoviště budou vybrané panely opatřeny průhledným segmentem s UV filtrem.

Jak zobrazuje Obrázek 5-33, pracoviště je opatřeno celkem čtyřmi uzavíratelnými přístupovými body, dva jsou určeny pro tok materiálu a dva pro servisní obsluhu. V obrázku jsou vyznačeny žlutou barvou. Z první kategorie jsou to zaprvé vertikálně posuvné dveře a okno plnicího žlabu. Dveře umožní vsunutí gitterboxu s polotvary k základacímu robotu, jedná se o modulární systém výrobce ITEM s protizávažím. Výklopné okno obsahuje plnicí žlab a je umístěno nad prostor nádoby vibračního zásobníku, jak znázorňuje Obrázek 5-34.

Doplňování kolíků je možné jejich jednoduchým nasypáním z krabice na plnicí žlab. Tyto přístupy budou využívány pravidelně za standartního chodu pracoviště.



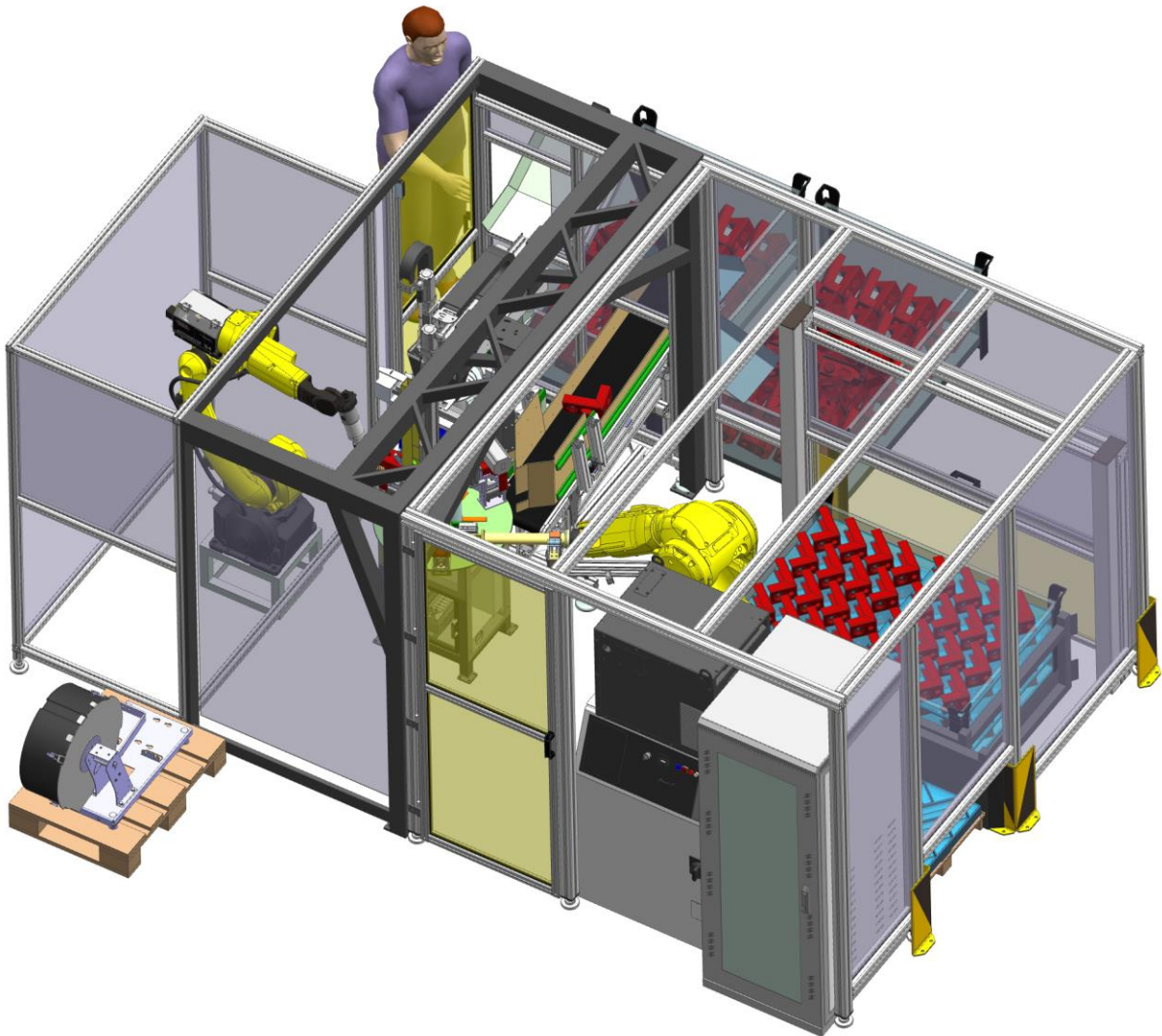
Obrázek 5-34 Plnicí žlab pro kolíky

Pracoviště dále obsahuje dva servisní přístupové body, které mohou být použity pouze během odstávky a údržby. První dveře jsou umístěny do zadní stěny a umožní přístup k základacímu robotu, indexovacímu stolu a dopravníku. Druhé dveře jsou umístěny na straně sousedící s vedlejším pracovištěm a jsou určeny především k servisování vibračního zásobníku a manipulačního podavače. Sloupy v exponovaných místech jsou opatřeny proti nárazu od vysokozdvizného či paletového vozíku kotvenými rohovými chrániči.

5.10 Volba přidružených systémů, PLC a senzoriky

Umožnění automatizovaného chodu pracoviště je podmíněno vhodnou volbou řídicí elektroniky a senzoriky. Pro řízení robotů je využit modul Fanuc R30iB PLUS, který umožňuje paralelní řízení dvou průmyslových robotů zároveň. Parametry svařovacího procesu jsou řízeny modulem Power Wave R450 výrobce LINCOLN. Jednotlivé motory asistenčních manipulačních mechanismů mají dedikované frekvenční měniče ekvivalentní modelu Festo CMMT-ST-xxx. Pneumatické a vakuové elementy jsou řízeny pomocí modulů Festo Motion terminal. Vzhledem k několika odlišným dodavatelům řídicích subsystémů je nutné chod celého pracoviště zastřešit jednotným PLC systémem. Konkrétní typ nebyl přesně stanoven, ale vzhledem k využití dodavatele Fanuc se nabízí využití jeho modulárních PLC jednotek řady POWER Motion i-A, případně 32-iB PLUS, nebo ekvivalentu jiného dodavatele (SINUMERIK společnosti Siemens).

Pro zajišťování zpětné vazby řídicímu systému je nutné specifické body osadit čidly pro sledování stavu provozních parametrů, jako je správná pozice polotovaru, teplota, kontrola uzavření přístupových cest atd. K tomuto účelu budou využity senzory výrobce Festo, v největším zastoupení se jedná o přibližovací senzor řady SME, ale i jiné typy. Detailní rozvržení pozic snímacích senzorů je již nad rámec zadání DP a počítá se s nutností experimentálního ověření spolehlivosti aktivace senzoru u konkrétních uzlů a následná případná změna jejich umístění. Schéma pracoviště dále počítá s místem pro skříň řídicí elektroniky



Obrázek 5-35 Pracoviště, pohled na řídicí a přidružené prvky

Prostorový návrh pracoviště zahrnuje místo pro svařovací materiál. Jedná se o výměnnou cívku plnicího drátu položenou na europaletě poblíž svařovacího robotu. Odsávání zplodin je zajišťováno centrálním ventilačním systémem v hale, koncept však umožňuje osazení nosné části rámu samostatným odsávacím zařízením v případě potřeby.

6 Výpočetní část a detailování

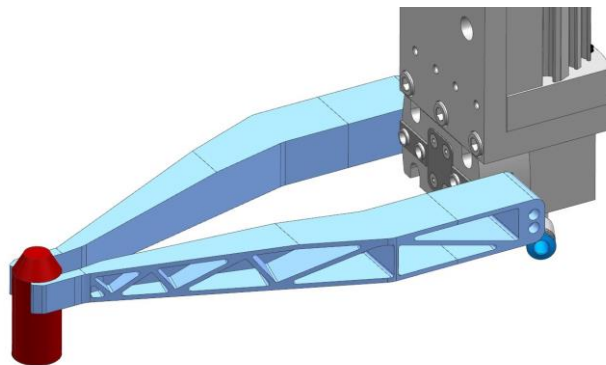
Tato kapitola detailně popisuje postup konstrukčního návrhu a kontrolních výpočtu vybraných uzlů. Analytické kontrolní výpočty nakupovaných prvků, zejména indexovacího stolu, gripperů a pohonů jsou součástí přílohy č. 1-A. Bylo rovněž provedeno vyhodnocení základního přípravku pomocí metody MKP, viz. Příloha č. 2-B.

6.1 Návrh a optimalizace koncového chapadla pro kolík

Jeden z nejvíce mechanicky i tepelně namáhaných dílů v celém pracovišti jsou koncová chapadla manipulačního zařízení kolíku. Základními omezeními definující finální konstrukční řešení je malý maximální zástavbový rozměr konců chapadla, které jsou v kontaktu s kolíkem kvůli nutnosti umožnit dostatečné přiblížení svařovací MIG koncovky k místu svaru a dále pak celková maximální hmotnost chapadla daná produktovým listem použitého gripperu, která činí 200g. Další podmínkou je zvýšená délka chapadla oproti standartně používaným pro zamezení přenosu tepla do těla gripperu. Hodnota požadované vzdálenosti místa svaru od bodu ukotvení chapadla byla empiricky stanovena minimálně na 180 mm.

6.1.1 Postup konstrukčního návrhu

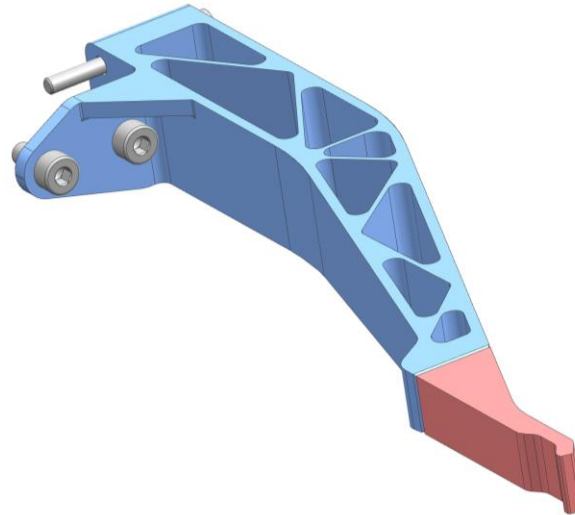
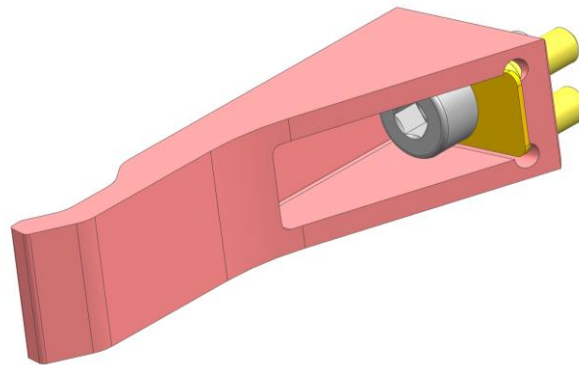
Nejprve byl vytvořen předběžný konstrukční návrh splňující podmínku zástavbového rozměru a potřebné délky, který však nevyhovoval podmínce hmotnosti a nebyl uzpůsoben na jednoduchou výrobu a montáž. Tento díl zachycuje Obrázek 6-1. Díl je koncipován jako žebrovaný ocelový obrobek z jednoho kusu a je ke gripperu přichycen pouze bočními montážními dírami pro šroub. V tomto provedení má hmotnost 288 gramů.



Obrázek 6-1 Předběžný návrh chapadla

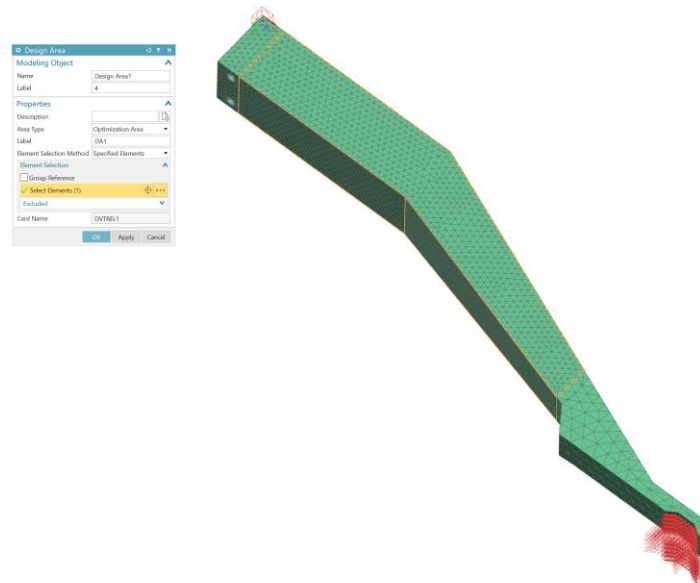
Pohledem na díl bylo vytipováno vysoké riziko opotřebení nebo zlomení špičky chapadla při provozu pracoviště. Bylo rozhodnuto o nutnosti rozdělení chapadla na dvě smontovatelná tělesa, kdy se do budoucna počítá s nutností častější výměny špičky, případě úprav její kontaktní geometrie. Komponenta byla konstrukčně upravena rozdělením na koncovou špičku délky cca 50 mm a nosné tělo vzájemně spojené dvěma čepy a jedním předepnutým šroubem. Dále byl upraven způsob ukotvení těla ke gripperu, který nyní využívá boční i čelní montážní díry k upevnění chapadla.

Pro úpravu tvaru žebrování těla chapadla bylo využito přístupu topologické optimalizace, jíž popisuje kapitola 6.1.2. Tímto postupem bylo docíleno vyšší tuhosti i nižší potřebné hmotnosti celé sestavy. Detaily řešení i analytický kontrolní výpočet předepnutého šroubu je součástí přílohy č. 1-A.

*Obrázek 6-2 Finální návrh chapaďla**Obrázek 6-3 Detail uchopovací špičky chapaďla*

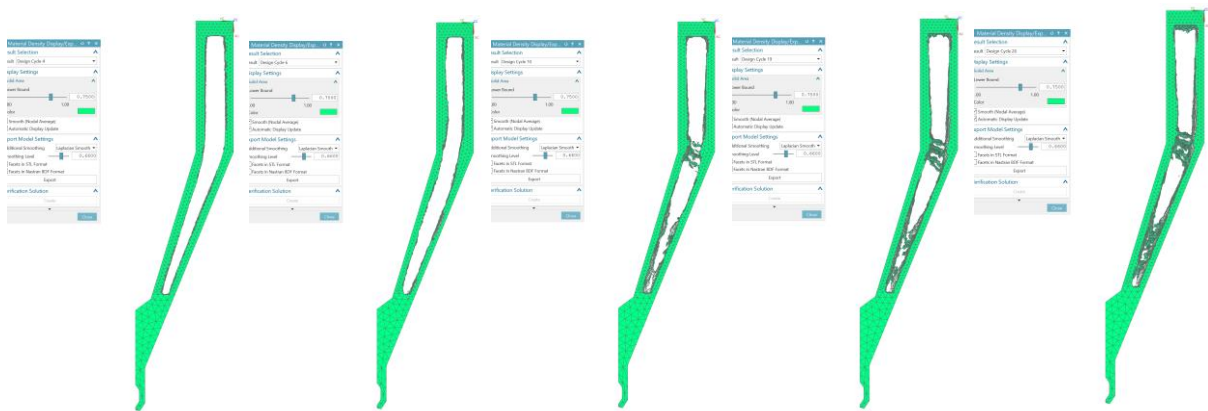
6.1.2 Topologická optimalizace a kontrolní MKP výpočet chapaďel

Výpočet byl definován v řešiči Nastran101 jako specifický SUB-CASE. Pro získání dat topologické optimalizace byl nejprve vytvořen model maximálních vnějších rozměrů těla chapaďla, následně k němu bylo přidáno těleso špičky a byla mezi nimi stanovena vazba Mesh-mating. Tělesa byla následně zasítována prvky CTETRA10 s přiděleným materiálem typu ocel. Průměrná velikost elementu špičky je 3mm, v případě těla je velikost snížena na 1 mm a zakázána proměnná velikost elementů směrem dovnitř materiálu, aby bylo dosaženo rovnoměrně velkých elementů v celém objemu tělesa. Na úrovni simulace bylo definováno zatížení v kontaktních plochách s kolíkem odpovídající maximální teoretické reakční síle od svěrné síly v horizontálním směru dle tabulky produktového listu gripperu na 220N, dále tíhová síla 1N odpovídající tíze kolíku a gravitační zrychlení. Zatížení od akceleraace (osy X a Z) nebylo vneseno, jelikož je počítáno s ustáleným statickým stavem. Okrajové podmínky pevného ukotvení (FIX) byly definovány v montážních dírách pro šroub. Oblast pro samotnou topologickou optimalizaci těla (Design area) byla definována mezi kontaktním místem těla a špičky na jedné straně a vzdáleností 2 mm od okrajů montážních děr na protější straně viz. Obrázek 6-4. Optimalizačním kritériem byla minimalizace hmotnosti a definující podmínkou byla maximální přípustná hodnota posunutí stanovená na 1 mm. Výpočetní limit byl stanoven na 30 iterací.



Obrázek 6-4 Definice optimalizační úlohy chapadla

Výstupem této simulace byly hodnoty relativního využití materiálu pomocí fiktivních složek napětí, tzv. kvazi-hustota. Data posloužila jako inspirace pro úpravu směru a velikosti žebrování. Obrázek 6-5 zobrazuje výsledky optimalizace, jedná se o iterační vývoj hodnot (po šesti iteracích) virtuální hustoty materiálu při zapnutém Smooth (nodal average) zjemnění sítě a s nastavenou hodnotou na 0,75, která dává graficky nejvíce relevantní výstup.

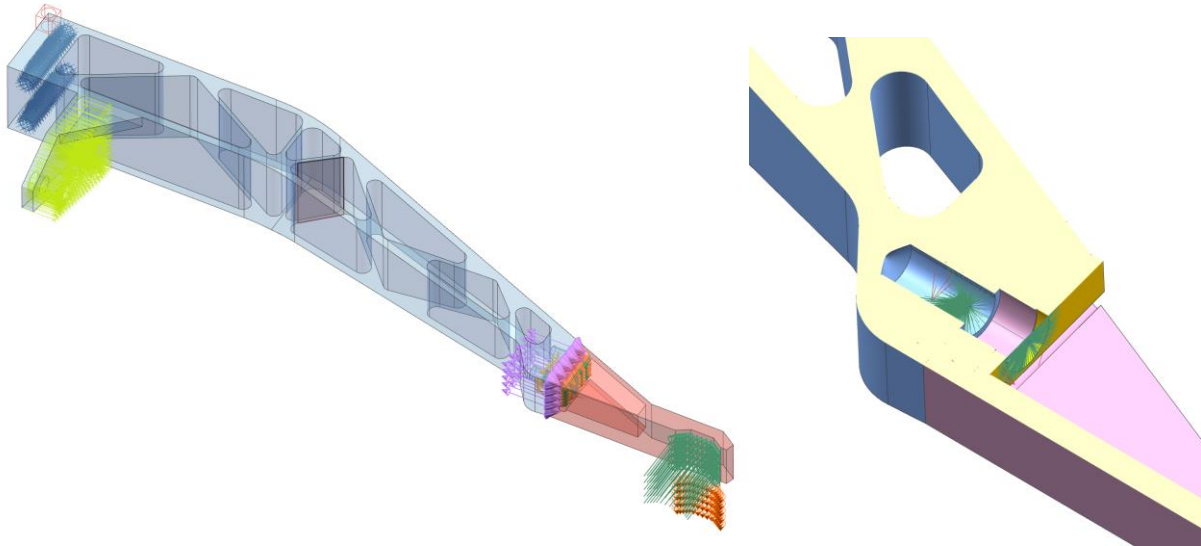


Obrázek 6-5 Výsledky topologické optimalizace, průměrované hodnoty virtuální hustoty materiálu

Vyhodnocením simulace je zřejmé, že největší podíl ohybového zatížení nepřekvapivě nesou krajní vlákna. Materiál v ploše předchozího „dna“ nese minimum zatížení. Kritickým místem pro vyztužení je dle výsledků ohybový rádius v místě začátku zužování těla směrem ke špičce a zóna poblíž kontaktní plochy, kde je materiálu nejméně. Byla proto zvětšena tloušťka krajních stěn, odstraněno dno a žebrování koncentrováno v kritických zónách, v místě ohybu pak respektuje paprskovité uspořádání ve směru normály rádiusu. Výsledný upravený design umožnil dosažení celkové hmotnosti těla chapadla 180 g. Nový design byl dále ověřen dalším MKP výpočtem.

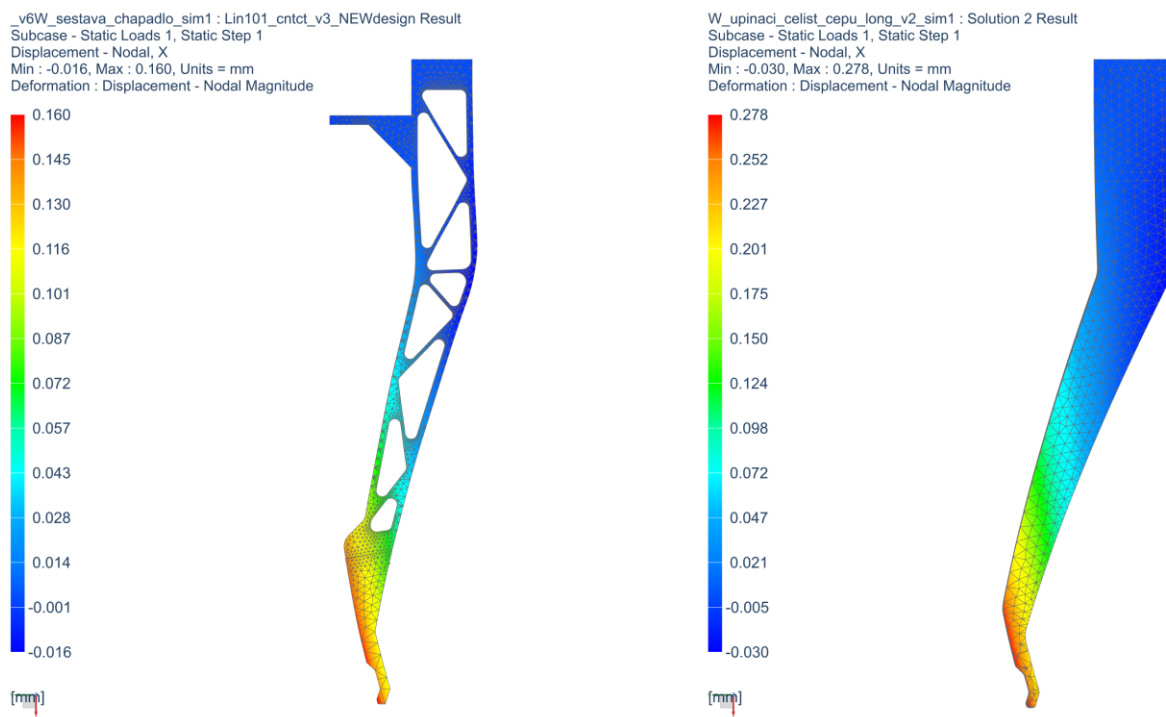
Ověřovací výpočet byl definován v řešiči Nastran101 jako kontaktní úloha s předepnutým šroubovým 1D spojem. Tělesa byla nejprve „očistěna“ od technologických rádiusů a zkosení, které nemají vliv na výsledek výpočtu. Následně byla jemně nasít'ována. Byly definovány

kontakty mezi tělem chapadla, špičkou a podložkou pro šroub a samotný předepnutý spoj odpovídající šroubu M4 a předepínací silou 1300 N. Bylo definováno zatížení od kolíku totožně se vstupními hodnotami do topologické optimalizace. Ekvivalentním způsobem byla definována úloha zatížení předběžného designu pro možnost porovnání.

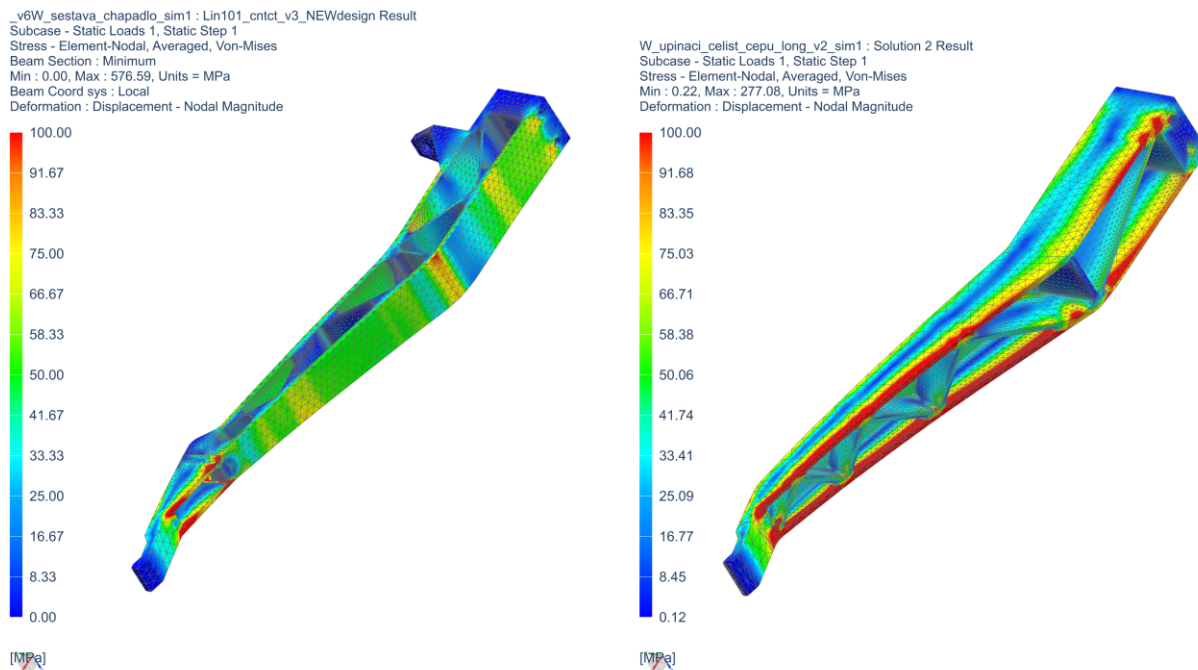


Obrázek 6-6 Definice kontrolního MKP výpočtu chapadla

Kompletní výsledky simulace (napětí, kontakt, atd.) jsou součástí přílohy č. 2-B. Následující obrázky porovnávají výsledky simulace prvotního a optimalizovaného designu chapadla. Došlo ke zvýšení tuhosti a příznivějšímu rozložení napětí i při snížené celkové hmotnosti dílu.

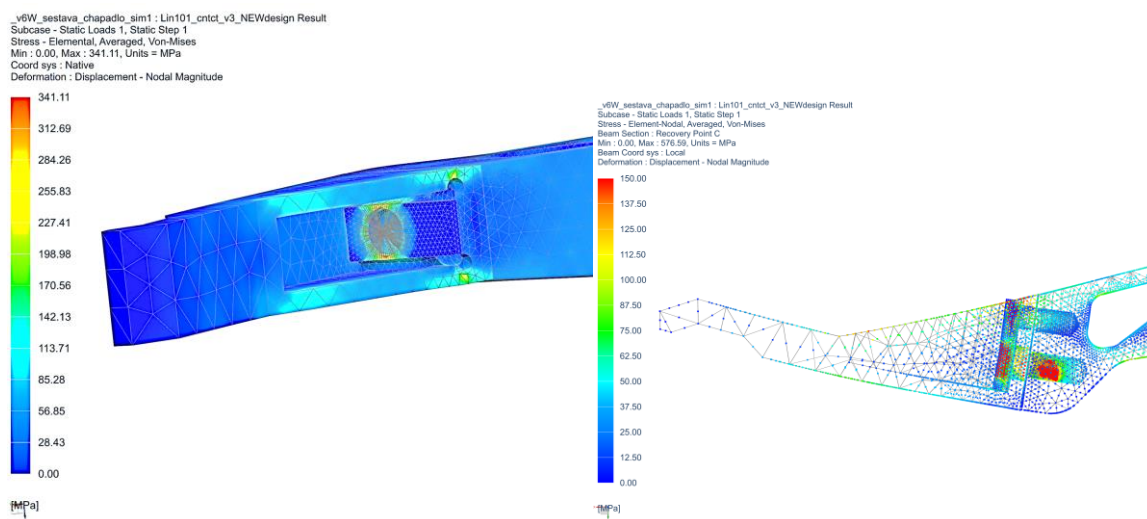


Obrázek 6-7 Porovnání deformace prvotního (vpravo) a optimalizovaného (vlevo) designu chapadel



Obrázek 6-8 Porovnání průběhu napětí mezi původním (vpravo) a optimalizovaným (vlevo) designem

Reálné maximální hodnoty redukovaného napětí dosahují velikosti kolem 220MPa a jsou koncentrovány v místě kontaktních ploch mezi oběma částmi chapadla. Napětí v jádru předepnutého šroubu dosahuje hodnoty 204 MPa a většina napěťových špiček je indukována tímto předepnutým spojem. Hodnoty převyšující 220 MPa lze považovat za výpočetní singularity nebo se jedná o oblasti, kde může nastat lokální plastická mikro-deformace, jelikož jde o kontaktní plochy mezi díly. Výsledné namáhání bude ve skutečnosti ještě redukováno přítomností čepů, které byly ze simulace vyřazeny z důvodu vnášení extrémních lokálních výpočetových singularit a nepřinášely reálné výsledky.



Obrázek 6-9 Zhodnocení výsledků redukovaného napětí na chapadle

Z výsledků MKP výpočtu je patrné, že díl je nutné vyrobit z vysokopevnostní oceli pro zajištění dostatečné životnosti kvůli cyklické povaze zatěžování. Dále je nutné jej povrchově upravit nitridací pro zvýšení tvrdosti a ořezuvzdornosti. Kritickým místem je krček na špičce chapadla.

6.2 Návrh a optimalizace nosného rámu

Další optimalizační úloha byla provedena v případě nosné středové části rámu, jež drží kartézský manipulátor i shazovací mechanismus. V tomto případě se jedná o geometrickou optimalizaci s cílem minimalizace hmotnosti. Nejprve byl vytvořen parametrický model rámu s prvky příhradové konstrukce. Hlavní rozměry jako délka, šířka a výška jsou neměnné, neboť jsou definovány přilehlými částmi pracoviště. Parametry řídí průřez profilů a pozice vyztužovacích žebel. Model obsahuje celkem 10 nezávislých parametrů. Výchozí tvar a geometrie rámu byly definovány empiricky na základě kvalifikovaného odhadu. Model rámu byl poté zjednodušen a maximální část 3D těles byla pro potřeby simulace nahrazena 1D beamem totožných rozměrů řízených parametricky. Kvůli stabilitě modelu byly ponechány ve 3D struktuře ty části, které jsou nejvíce ovlivněny numerickou změnou parametrů.



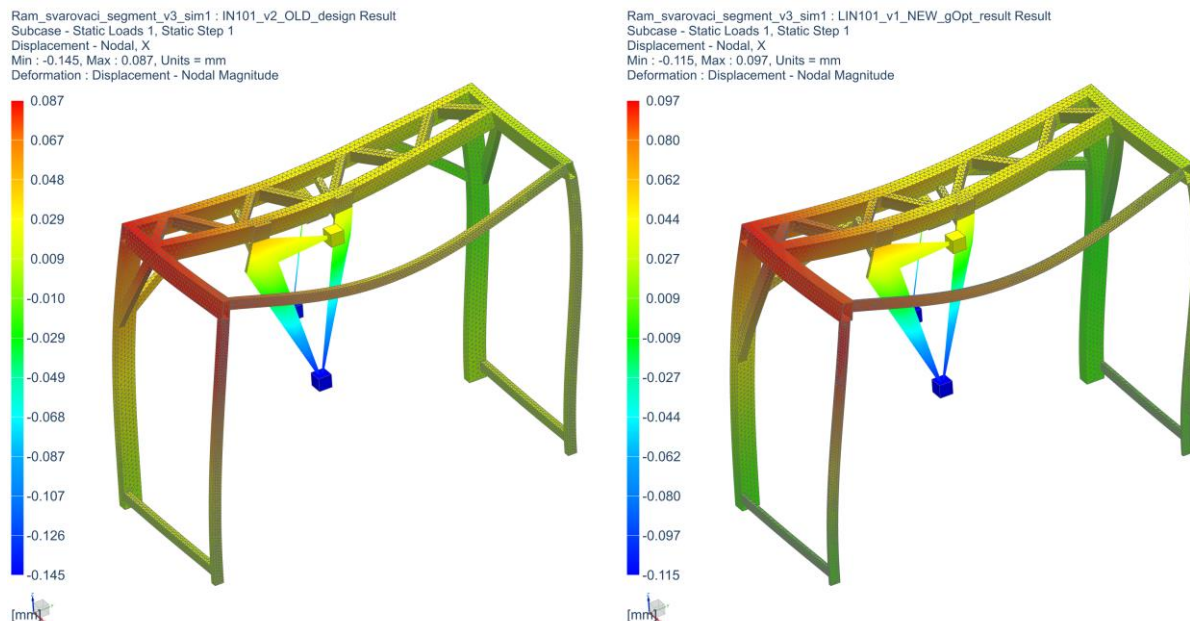
Obrázek 6-10 Definice výpočetního modelu rámu, pohled spodní zezadu a horní zřepředu

6.2.1 Definice gOpt úlohy

Na modelu byly definovány dva samostatné body. Prvním byla poloha těžiště kartézského manipulátoru, druhým pozice kolíku při svařování. V bodě těžiště byl definován 0D element s hmotností 45 kg odpovídající hmotnosti celého mechanismu. Model byl nasítován s využitím příslušných funkcí a elementů na spojení 1D a 3D sítě. Pro připojení těžiště manipulátoru i pracovního bodu bylo využito spojovacích elementů RBE3 navázaných na montážní plochu daného zařízení. Bylo definováno gravitační zatížení. Vliv dynamických sil je vnesen osamocenou silou působící v místě těžiště, hodnota síly byla vypočtena z maximálního přípustného zrychlení/zpomalení manipulačního systému definovaného v produktovém listu a hmotnosti pohybující se hmoty v ose X. Výsledná hodnota byla vynásobena bezpečnostní konstantou $s=2$ a zaokrouhlena na finálních 250 N. Druhá působící síla je definována do montážní plochy pro shazovací mechanismus a má hodnotu 120 N, což odpovídá součtu váhy těchto komponent. Okrajové podmínky uložení byly definovány jako FIX v místech šroubového ukotvení do podlahy.

Objektivní funkcí bylo inkrementální targetování finální hmotnosti svařence v několika iteracích. Tento přístup dával lepší konvergenci k výsledkům, než obecná minimalizace hmotnosti. Omezujícími podmínkami byl maximální posuv kontrolního bodu „kolíku“ v ose X (horizontálním) na 0,1 mm, jelikož tu jedinou není možné korigovat elektronickým řízením manipulátoru. Dále pak celkové kombinované posunutí kontrolního bodu na 0,25

mm. Dalšími omezeními bylo maximální dovolené celkové posunutí rámu ve směru X na 0,15mm a celkové kombinované na 0,45mm. Výchozí hodnota hmotnosti byla 327kg. Výsledkem simulace jsou tabulky hodnot parametrů (celkem 10 nezávislých proměnných) v porovnání se splněním objektivní funkce a měřenými hodnotami posunutí. Celkové výsledky jsou součástí přílohy č. 2-B.



Obrázek 6-11 Porovnání tuhosti prvotního (vlevo) a optimalizovaného (vpravo) designu rámu, posunutí v X

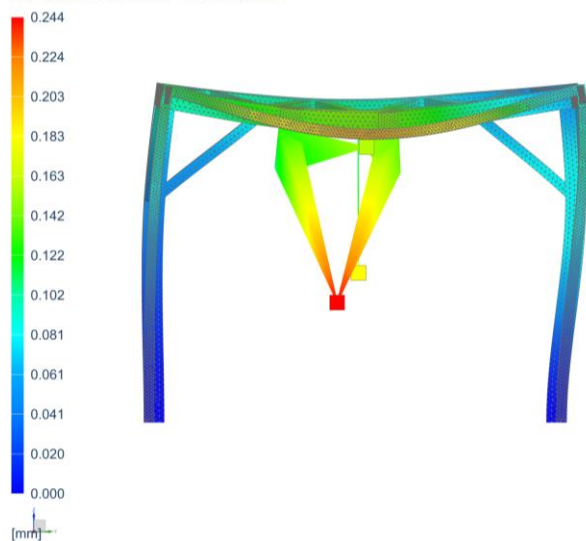
Výsledky dokonvergovaly k řešení o celkové hmotnosti 250 kg, což znamená úsporu materiálu 31% při zachování totožné nebo vyšší tuhosti. Kompletní výsledky jsou obsaženy v příloze č. 2-B. Vyhodnocení napětí postrádá smysl, avšak kontrolní výpočet ukázal špičky redukovaného napětí v místech svarů až 5 MPa, což je bezpečně malá hodnota.

Výsledná deformace této úlohy je však jen dílčím přírůstkem případné celkové odchylky polohy kolíku. V sérii jsou dále sčítány nepřesnosti kinematiky manipulačního zařízení a přesnost gripperu. V obou případech výrobce garantuje přesnost <0,1 mm. Výsledná maximální teoretická odchylka polohy kolíku x_{dC} je dána součtem:

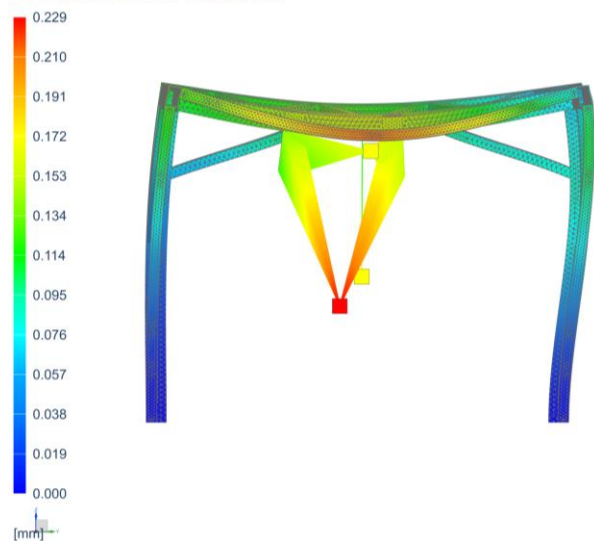
$$x_{dC} = 0,115 + 2 \cdot 0,1 = 0,315 \text{ mm}$$

Vzhledem k tolerančnímu poli o velikosti 0,5 mm se jedná o přijatelnou hodnotu a toto řešení splňuje zadání.

Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.244, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



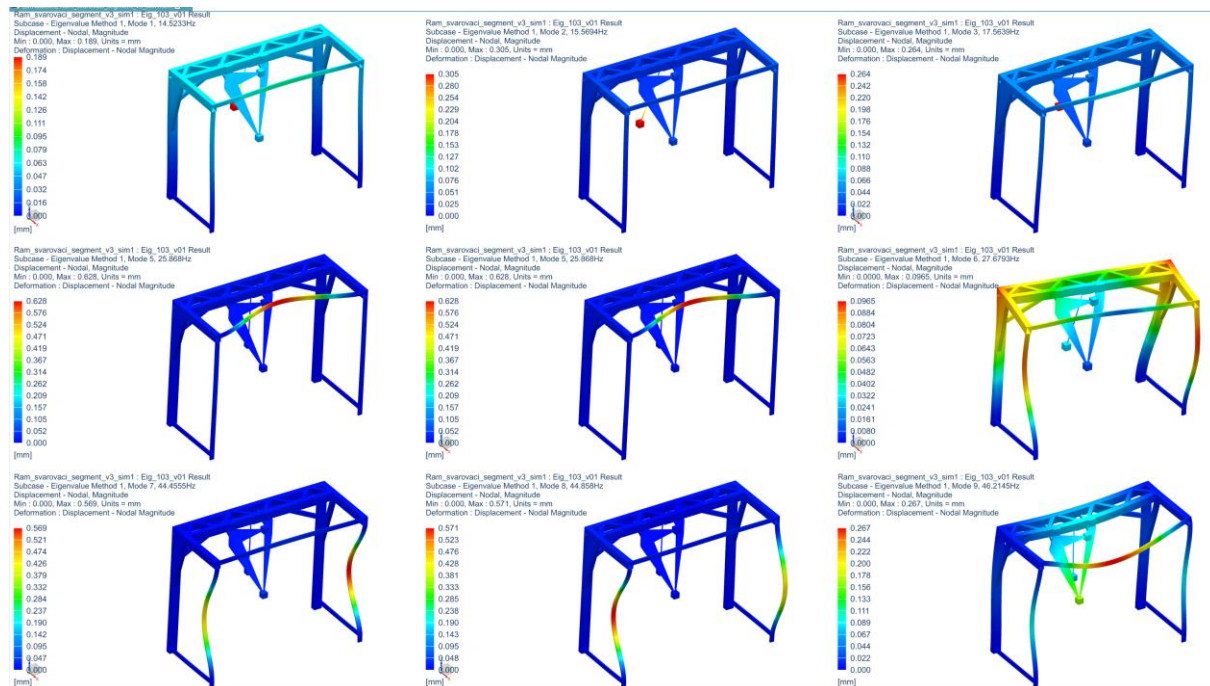
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.229, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 6-12 Porovnání tuhosti prvotního (vlevo) a optimalizovaného (vpravo) designu rámu, celková deformace

6.2.2 Modální analýza

Pro ověření dynamické stability byl proveden výpočet modální analýzy v řešiči Nastran103, aby byly vyloučeny vlastní frekvence blízké možným budícím frekvencím mechanismů připevněných k rámu. Obrázek 6-13 zobrazuje výsledky prvních devíti módů vlastních frekvencí. Kompletní výsledky jsou součástí přílohy č. 2-B. Nejnižší frekvence má hodnotu 14,5 Hz a je řádově vyšší než potencionální budící (operační) frekvence pracovních mechanismů. Z hlediska statického i dynamického zatížení je tedy optimalizovaný design rámu vyhodnocen jako vyhovující.



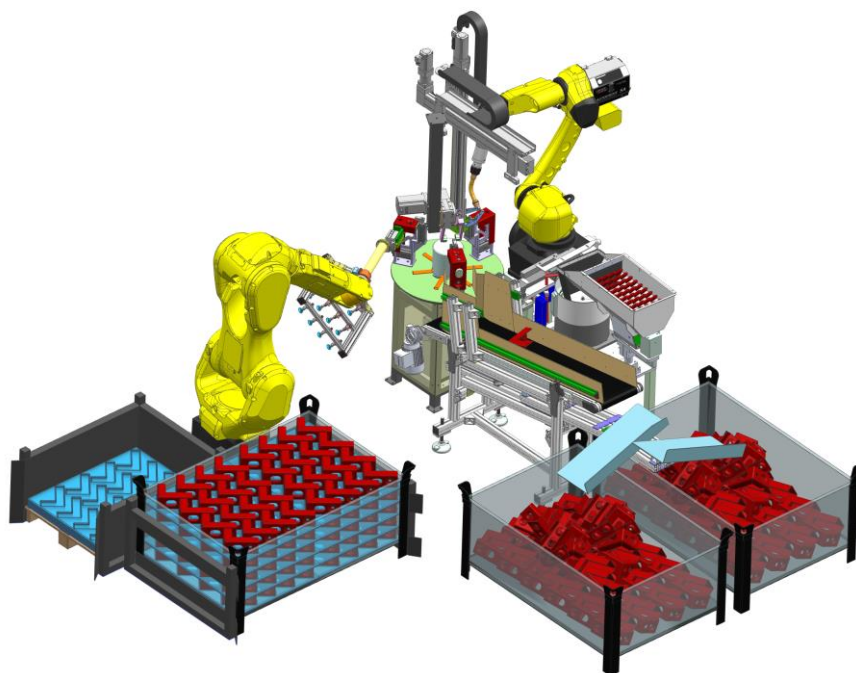
Obrázek 6-13 Modální analýza optimalizovaného rámu

7 Popis a zhodnocení navrženého pracoviště

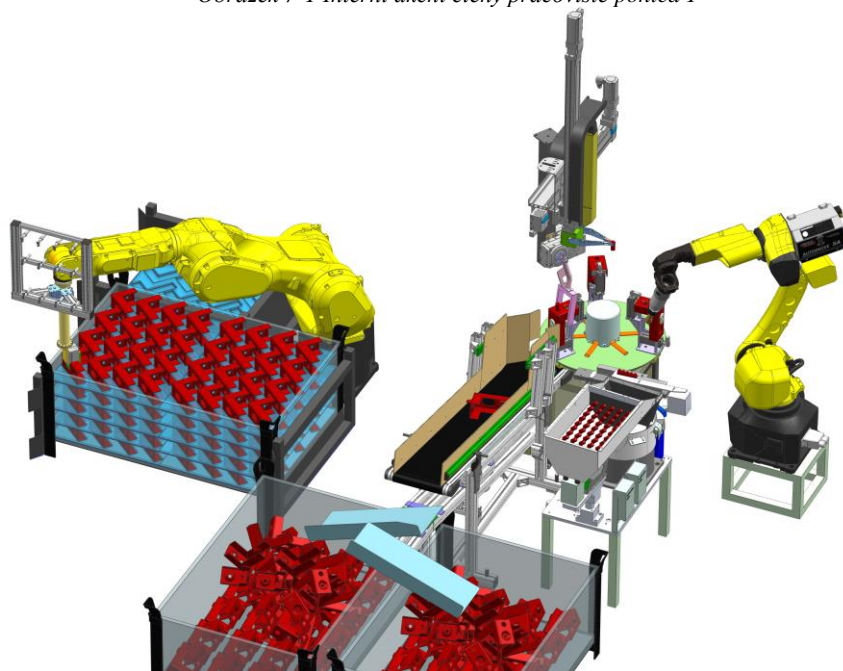
Tato kapitola shrnuje celkové fungování navrženého konceptu svařovacího pracoviště, popisuje jednotlivé dílčí operace v kontextu jejich vzájemných návazností a hodnotí celkové zasazení a vhodnost pracoviště v rámci výrobní haly a podniku. Část je věnována detailnímu výpočtu operačních časů a s tím spojené efektivity výroby. Rovněž je návrh hodnocen z ekonomického hlediska a předpokládané doby návratnosti investice.

7.1 Funkční popis produkčního cyklu

Obrázek 7-1 a Obrázek 7-2 zobrazují vnitřní akční členy pracoviště za provozu ze dvou směrů pohledu a v různých operačních polohách.



Obrázek 7-1 Interní akční členy pracoviště pohled 1

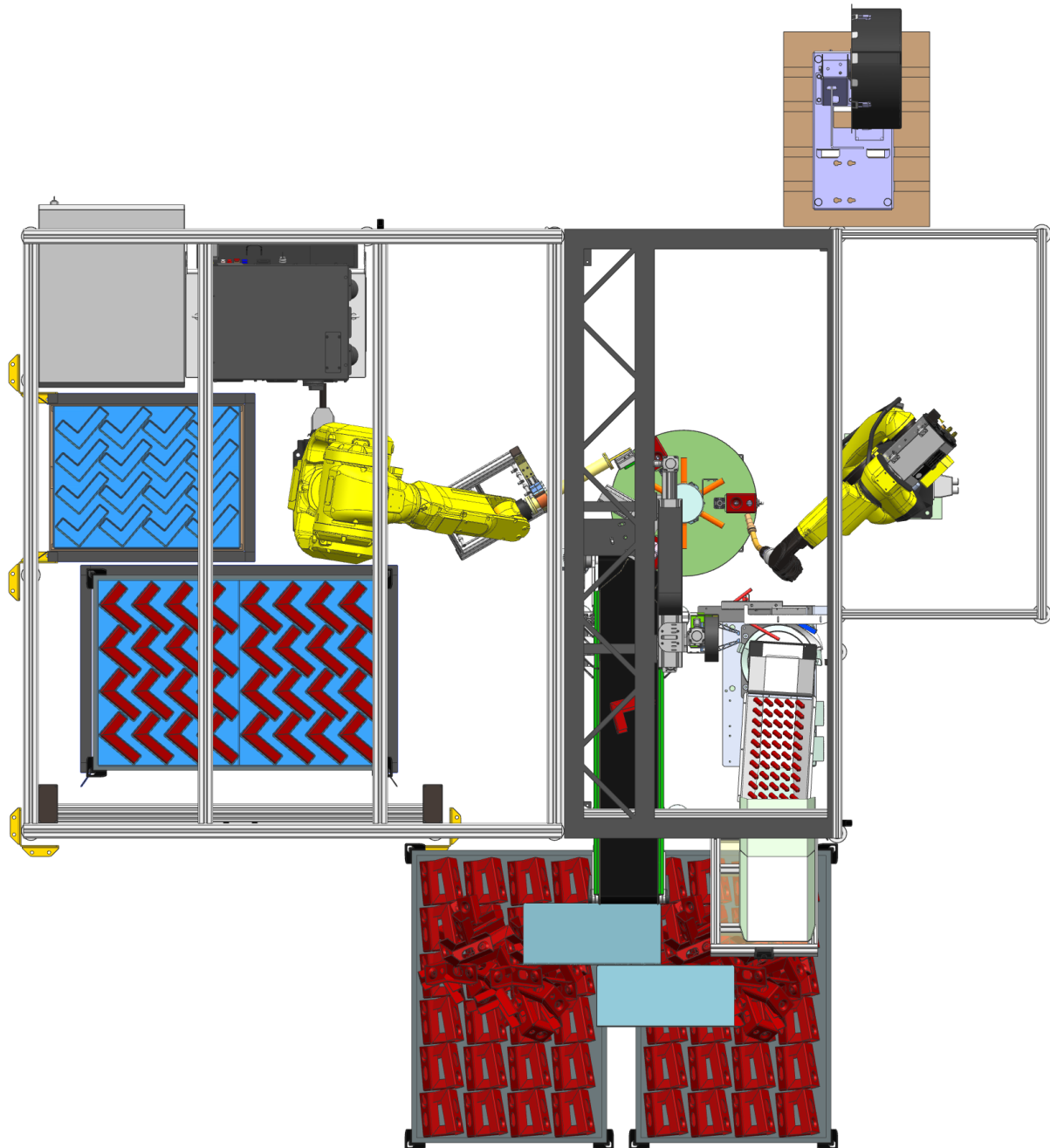


Obrázek 7-2 Interní akční členy pracoviště pohled 2

Provoz celého pracoviště probíhá v následujícím operačním sledu:

1. Produkční cyklus pracoviště začíná výměnou prázdného vstupního gitterboxu za nový přivezený z vedlejší haly s naskládanými polotovary v proložkách. V případě potřeby jsou odvezeny naplněné výstupní bedny a umístěny prázdné, je vyměněna naplněná odkládací paleta s proložkami za prázdnou a jsou dosypány kolíky do zásobníku. Po zavření posuvných dveří obsluha potvrdí start produkčního cyklu na panelu ovládacího modulu.
2. Zakládací robot najede nad první pozici vrchní vrstvy polotovarů a pneumatických gripperem uchopí první kus. Přesune jej na upínací přípravek indexovacího karuselu v první pozici, kde je polotovar upnut pomocí pneumatických válců.
3. Indexovací stůl vykoná rotaci o 120° a přesune polotovar na druhou pozici před svařovacího robota.
4. Svařovací robot nejprve zahájí svařování levého bočního svaru (směr k přední části pracoviště), po jeho dokončení vykoná přesun k pozici pravého bočního svaru a zahájí svařování. Po dokončení obou bočních svarů se rameno přesune na vyčkávací pozici, aby umožnilo přisunutí kolíku.
5. V mezičase svařování je kolík odebrán z vibračního zásobníku a po uvolnění trajektorie je přesunut na svařovací pozici.
6. Robot vykoná přiblížení k místu koutového svaru a v definovaných místech provede bodové svařování, aby kolík držel pozici bez asistence manipulačního mechanismu, který následně provede odsun do horní vyčkávací pozice. Po uvolnění trajektorie je dokončen kruhový svar na kolíku a robot se přemístí do antikolizní pozice.
7. Indexovací stůl vykoná rotaci o 120° a přesune svařenec na třetí pozici pod shazovací mechanismus.
8. Zde případně dojde k úkonům kontroly jakosti svarů, jsou uvolněny upínky a díl je shozen na pásový dopravník, odkud je skluzem přesunut do výstupní bedny vně pracoviště. V případě zjištění vady by kus nebyl shozen na dopravník, ale v další pozici by došlo k jeho sundání zakládacím robotem a přesunutí na odkládací paletu s proložkami.
9. Indexovací stůl vykoná rotaci o 120° a přesune prázdný upínací přípravek na výchozí první pozici. Celý cyklus se opakuje souběžně na všech třech karuselových pozicích.
10. Po odebrání všech polotovarů ze vstupního gitterboxu dojde opět k výměně materiálu a proces se opakuje

Výčet operací popisuje proces výroby varianty Rohového úhelníku s kolíkem. V případě jednodušší varianty je toto definováno obsluhou při aktivaci zařízení, poté jsou pouze vynechány kroky 5) a 6) - celé pracoviště pak pracuje v rychlejším taktu.



Obrázek 7-3 Půdorys pracoviště

7.2 Odhad časů výrobního cyklu

Dle výše popsaného sledu operací byl vytvořen ganttův diagram produkčního cyklu viz. Obrázek 7-4, aby bylo možné odhadnout výrobní časy a kvantifikovat efektivitu pracoviště. Diagram obsahuje v levé části tabulku dílčích spojených úkonů každého akčního členu a v pravé části grafické znázornění jejich časové náročnosti a chronologickou návaznost závislých kroků. Každý řádek označuje jiný spojený úkon, směr časové osy je zleva doprava a je diskretizována po konstantních úsecích jedné sekundy. Úkony každého akčního členu jsou označeny totožnou barvou, ve většině případů jsou na sebe chronologicky navázány a tvoří ucelený sled. V některých případech však reálná kinematika v prostoru a návaznost úkonů vytvoří v diagramu přerušené oblasti, návaznost a dependence jednotlivých úkonů je v takových případech znázorněna plnou šipkou v diagramu. Šipky s přerušovanou čarou značí

vrstvě polotovarů. Dále je nutné započítat odhadované časy pro výměnu samotných gitterboxů na vstupu i výstupu.

V jedné vrstvě gitterboxu se nachází 32 polotovarů a dvě proložky, vrstev je v boxu 5. Při uvažovaném čase 25 sec na přesun proložky vychází celkový čas pro jednu manipulační jednotku následovně:

- Interval pro jedno parto v gitterboxu - t_p
- Celkový čas na manipulační jednotku (gitterbox) – t_{mj}

$$t_p = 32 \cdot 42 + 2 \cdot 25 = 1394 \text{ s}$$

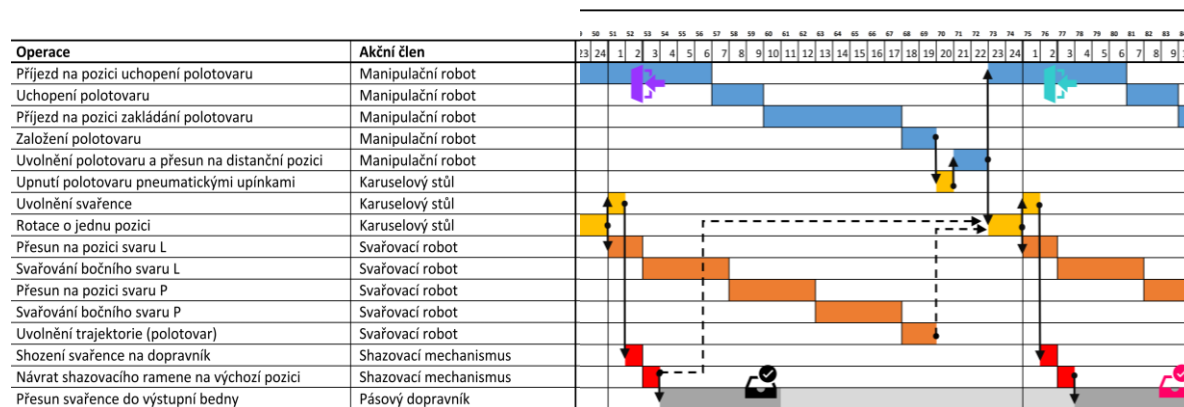
$$t_{mj} = 5 \cdot t_p = 5 \cdot 1394 = 6970 \text{ s} \cong 116,2 \text{ min}$$

Výsledný čas je 6970 s, tedy 116,2 minut. Čas na odvezení a doplnění materiálu se odhaduje obtížně, v zásadě se jedná o 6 dílčích úkonů a při uvažování jejich vhodné koordinace se započtením časové rezervy je možné jej určit na 3,5 minuty. Celkový interval na jednu manipulační jednotku lze po zaokrouhlení odhadnout na 120 minut při celkovém počtu 160 vyrobených kusů. Celkový průměrný výrobní interval pro jeden díl je pak v tomto případě 45 s.

Při dvousměnném provozu je pak odhadovaný počet vyrobených kusů stanoven na **1280** denně. Při definované roční produkci varianty s kolíkem na 31 250 kusů je tato výrobní frekvence s rezervou dostačující a splňuje zadání.

7.2.2 Varianta bez kolíku

Obdobným způsobem byl vyhodnocen výrobní interval modifikace bez středícího kolíku, sled operací i časový diagram znázorňuje Obrázek 7-5.



Obrázek 7-5 Časový diagram výrobního cyklu, varianta bez kolíku

V tomto případě největší podíl závislých časů připadá na manipulační operace zakládacího robotu. Ten určuje výsledný čas interního cyklu na 24sec.

Vyhodnocením diagramu stejným postupem a při stejných odhadech vedlejších časů, jako u předešlé modifikace, vychází interval dokončení jednoho gitterboxu na 4090 s, tedy 68,2 minuty. Při započtení manipulačních časů obsluhy vychází celkový výrobní interval pro manipulační jednotku 72 minut a průměr na jeden díl činí 27 sec. Při dvousměnném provozu je pak odhadovaný počet vyrobených kusů stanoven na **2080** denně. Pro výrobní množství této modifikace 218 750 kusů za rok je tato frekvence dostačující a splňuje zadání.

Při uvažování nepřetržitého chodu pracovitě v daném taktu a při uvažovaném dvousměnném provozu bude požadovaných 250 000 svařenců zhotovených za 130

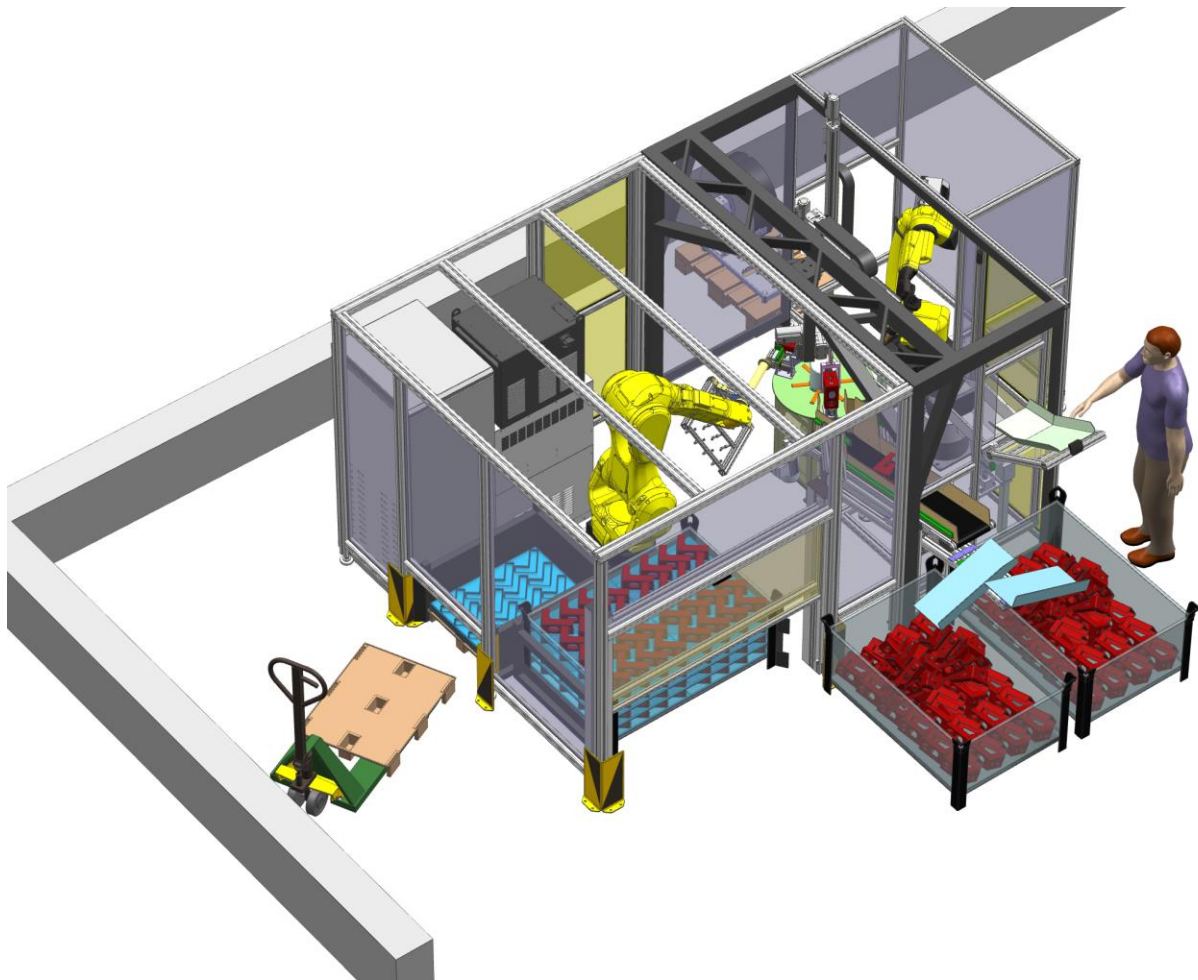
pracovních dní. I při započtení neproduktivních časů daných údržbou nebo případnými poruchami je zadání splněno.

7.3 Obslužnost a ergonomicko-bezpečnostní zhodnocení

Návrh respektuje bezpečnostní kritéria a ergonomická doporučení vyplývající z příslušných norem.

7.3.1 Bezpečnost a ergonomie pracoviště

Celé pracoviště je koncipováno jako uzavřená samočinná buňka, která vyžaduje pravidelné zapojení obsluhy pouze při doplňování a výměně materiálu. Krytování zajišťuje ochranu proti primárním rizikům, jako je kolize obsluhy s aktivními elementy pracoviště a poškození zraku UV zářením. Riziko, které nemohlo být zcela odstraněno souvisí s možností zranění při manipulaci s materiálem. V případě primární manipulační jednotky (gitterbox) je počítáno s využitím asistenční techniky jako je vysokozdvizný vozík, případně paletový vozík. Hmotnost těchto jednotek je při zaplnění zhruba 220 kg a jiné řešení nežli mechanickou asistencí manipulace neumožňuje. Zde je však riziko zranění srovnatelné s rizikem při manipulaci s obdobně rozměrnými a hmotnými objekty a při dodržování základních bezpečnostních principů je minimální. Totéž platí pro případ doplnění svařovacího přídavného materiálu.



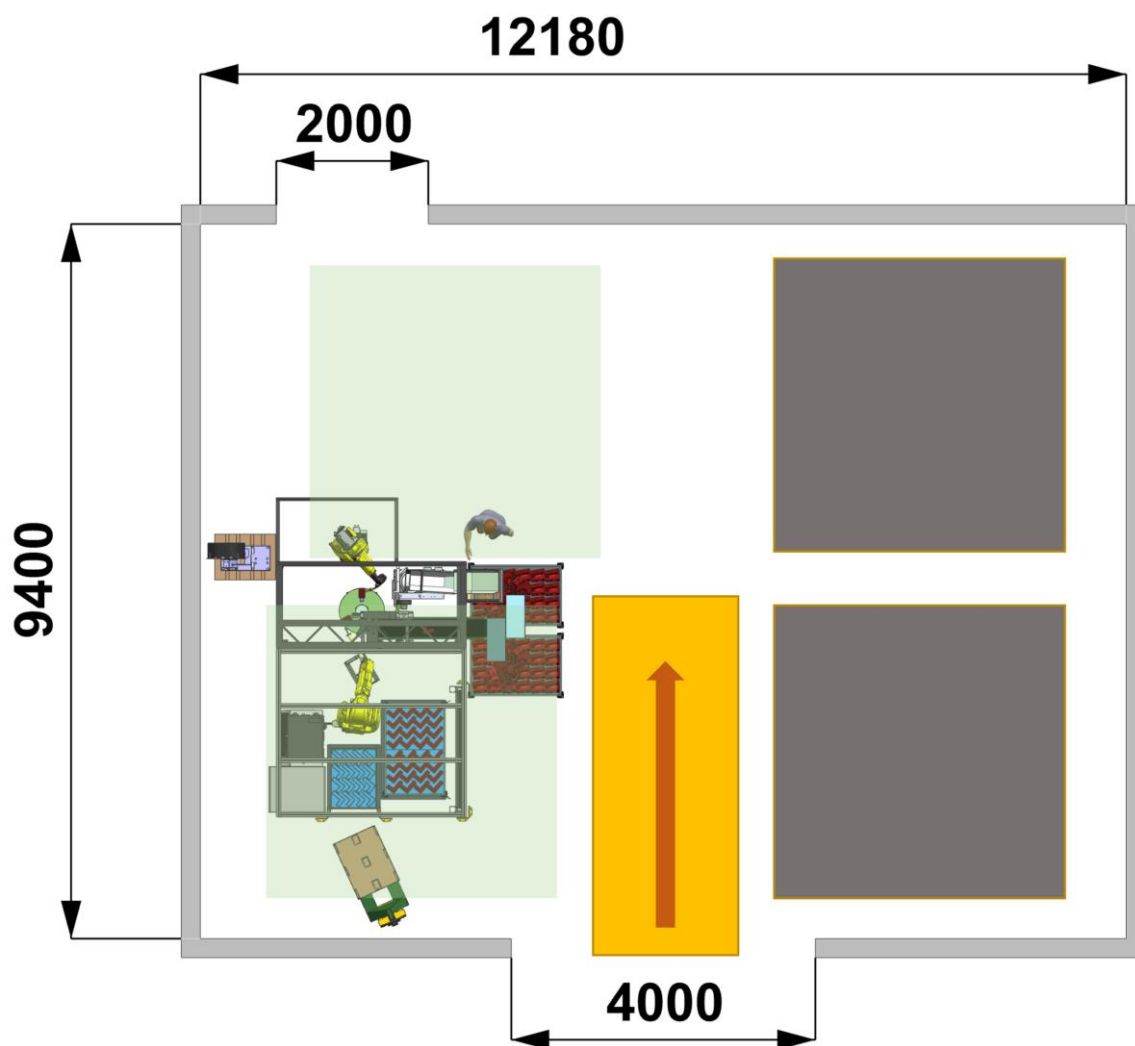
Obrázek 7-6 Pracoviště v hale s obsluhou

Při odvozu palety s proložkami je rovněž počítáno s využitím paletového vozíku avšak pouze z důvodu rozměrů, které nejsou vhodné pro manuální manipulaci. Hmotnost je v tomto případě pouze několik jednotek kilogramů a největším rizikem je možné skřípnutí/zranění prstů ruky při zasouvání palety na místo. Při dodržování standartních postupů je toto riziko však opět zcela minimální.

Z hlediska ergonomie je zásadní výška plnicího žlabu pro kolíky a maximální hmotnost plnicí várky. Návrh počítá s tím, že krabice/vědro s kolíky bude položeno do žlabu a s celým oknem naklopeno do zásobníku. Výška horního okraje žlabu je 1204 mm (viz. Příloha č. 4-D, výkres DP2023-JV-S01), hmotnost plnicí dávky je z důvodu předpokládané kapacity zásobníku omezena na 15 kg. Při intenzitě plnění maximálně jednou za 2 hodiny je dle normy (Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.) tento úkon vhodný i pro ženy.

7.3.2 Obslužnost a zasazení pracoviště v hale

Návrh je pracoviště má vnější rozměry 2500 x 4200 (respektive 3350) mm a splňuje přání zadavatele ohledně prostorové náročnosti a integraci mezi již existující pracoviště v hale. Jak znázorňuje Obrázek 7-7, svařovací robot je připraven k tomu, aby byl v budoucnu sdílen se sousedním automatickým pracovištěm a prostorově tedy zasahuje mimo původně vyznačenou zónu. Přístupové koridory pro výměnu či doplnění materiálu a pro údržbu jsou v okolí stěn přizpůsobeny pro paletové vozíky, směrem ke vstupním vratům je počítáno s využitím vysokozdvizného vozíku.



Obrázek 7-7 Schéma zasazení pracoviště do haly a návaznost na okolí

7.4 Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola popisuje ekonomický aspekt návrhu pracoviště a kvantifikuje finanční přínosy daného řešení pro zadavatele.

7.4.1 Vstupní náklady

Vstupní náklady jsou definovány z dominantní části pořizovacími náklady jednotlivých prvků a montážních elementů pracoviště, ať už se jedná o materiál, kupovaná mechanická zařízení, elektroniku nebo řídicí software pro provoz. Druhou významnou skupinou vstupních nákladů jsou výdaje v předprodukční fázi spojené s vývojem pracoviště, montážními pracemi a tzv. commissioningem neboli záběhem, testováním a ověřením spolehlivosti pracoviště.

Pro vyčíslení vstupních nákladů byla vytvořena tabulka nakupovaných či vyráběných položek a potřebným množstvím rozříděných dle funkční skupiny. Na základě průzkumu trhu byl pro každou položku stanoven spodní a horní odhad ceny. Celá tabulka je součástí přílohy č. 3-C, Obrázek 7-8 ukazuje horní část tabulky seřazené sestupně dle horního cenového odhadu každé z položek. Z tabulky je patrné, že dominantní část nákladů je dána zhruba patnácti nejnákladnějšími položkami, jejichž cena se pohybuje v řádech statisíců Kč. Zbytek takto seřazené tabulky jsou položky v řádech jednotek tisíc až desetitisíců a v součtu netvoří ani čtvrtinu pořizovacích nákladů. Odhad celkových pořizovacích nákladů nakupovaných položek se pohybuje v rozmezí **3,6 až 5,7 miliónů Kč**.

Materiálové náklady												
Číslo položky	Popis položky	Funkční skupina	Komponenta- prvky	Název/výrobce typ výrobku	Materiál	Výrobce	Poměr	Přesná KS/množství	Podíl ceny na lož. společně	Odhad ceny na lož. společně	Mezivrácet, spodní	Mezivrácet, horní
1	manipulace, polotovary	robot, manipulační	N	M-20B/35S	Fanuc			1	430 000 Kč	750 000 Kč	430 000 Kč	750 000 Kč
21	svarování	robot svařovací	N	ARC Mate 100ID	Fanuc			1	390 000 Kč	600 000 Kč	390 000 Kč	600 000 Kč
69	manipulace, kolik	vibrační zásobník/podavač	V	Specifické				1	350 000 Kč	550 000 Kč	350 000 Kč	550 000 Kč
26	svarování	zdroj, MIG	N	Power Wave R450	LINCOLN			1	390 000 Kč	480 000 Kč	390 000 Kč	480 000 Kč
61	manipulace, kolik	kartézský manipulátor	N		Festo			1	250 000 Kč	400 000 Kč	250 000 Kč	400 000 Kč
83	řízení	řídicí systém, roboty	N	R30IB Plus	Fanuc			1	180 000 Kč	310 000 Kč	180 000 Kč	310 000 Kč
27	indexace	karusel, pneumatický	N	DHTG-220-3-A	Festo			1	170 000 Kč	250 000 Kč	170 000 Kč	250 000 Kč
24	svarování	manipulační přísůšenství pro drát	N		LINCOLN			1	100 000 Kč	200 000 Kč	100 000 Kč	200 000 Kč
23	svarování	podavač drátu	N		LINCOLN			1	100 000 Kč	150 000 Kč	100 000 Kč	150 000 Kč
52	výhazování svařence	pásový dopravník	N		Alusic			1	100 000 Kč	150 000 Kč	100 000 Kč	150 000 Kč
85	řízení	PLC centrální řízení	N		Fanuc			1	50 000 Kč	150 000 Kč	50 000 Kč	150 000 Kč
86	řízení	elektroinstalace	N		Specifické			1	50 000 Kč	100 000 Kč	50 000 Kč	100 000 Kč
19	manipulace, polotovary	průložky	V	lis				20	2 000 Kč	5 000 Kč	40 000 Kč	100 000 Kč
75	rám, krytování	Ochranný rám, ALU profily	N		ITEM	60x60 a 40x40		50 m	1 500 Kč	2 000 Kč	75 000 Kč	100 000 Kč
74	rám, krytování	Nosný rám, manipulátor + shazovač	V	svařenec				1	50 000 Kč	80 000 Kč	50 000 Kč	80 000 Kč
30	indexace	indexační přípravek (tělo)	V	svařenec, CNC				3	15 000 Kč	25 000 Kč	45 000 Kč	75 000 Kč
84	řízení	řízení, motory, manipulátor	N	CMMT_ST_xxx	Festo			3	18 000 Kč	25 000 Kč	54 000 Kč	75 000 Kč
46	výhazování svařence	převodová jednotka	N	ERMB-32	Festo			1	60 000 Kč	70 000 Kč	60 000 Kč	70 000 Kč

Obrázek 7-8 Pořizovací materiálové náklady

Předprodukční pořizovací náklady tvoří dohromady necelých 700 000 Kč, v součtu s náklady z předešlé tabulky jsou finální pořizovací náklady stanoveny na hodnotu 6,4 mil Kč. Tato částka bude použita pro výpočet finanční návratnosti.

Předprodukční náklady			
Činnost	Sazba [/hod]	Doba [h]	Náklady
Konstrukční příprava	500 Kč	700	350 000 Kč
Montážní práce	300 Kč	320	96 000 Kč
Programování PLC	500 Kč	300	150 000 Kč
Commissioning	500 Kč	160	80 000 Kč
Součet			676 000 Kč

Obrázek 7-9 Pořizovací předprodukční náklady

7.4.2 Provozní náklady

Tabulka provozních nákladů zahrnuje všechny dominantní průběžné vstupy a kvantifikuje jednotlivé přírůstky k finálnímu provoznímu nákladu na jeden vyrobený kus. Provozní náklad je dán množstvím hodinové produkce a cenou za jednotlivé vstupní položky. Tabulka dále definuje tzv. faktor časového využití, jelikož ne všechny části pracoviště jsou aktivní v průběhu celého výrobního cyklu. U většiny položek byla hodnota vyčíslena na základě spotřeby dané komodity (typicky elektřiny nebo materiálu).

Komplexní bylo vyčíslení nákladů na amortizaci komponent pracoviště (reálné, nikoli účetní). Výpočet souhrnné částky byl rozdělen na amortizaci robotů a amortizaci zbývajících akčních členů. V případě obou robotů byl využit postup cash-flow tabulky při uvažované životnosti alespoň 10 let dle postupu v literatuře. [27] Nutno podotknout, že empirické hodnoty údržby jsou v cenách z roku 2015, aby odpovídaly současným cenám byly povýšeny o kumulativní inflaci 30%. Zjednodušeně lze říci, že tyto náklady činí po deseti letech provozu zhruba 70% z pořizovací ceny, jejich nákladový inkrement činí v tomto případě 0,68 Kč/kus. Amortizace a cena údržby zbývajících částí pracoviště byla kalkulována na základě životnosti komponent (v průměru 1 milion cyklů – vyrobených kusů), která v zadaném výrobním množství činí 4 roky při standardním chodu pracoviště. Hodnota zbývajících částí činí po zaokrouhlení nahoru cca 5 mil Kč, tedy přispívají k nákladům v souhrnném množství 5 Kč/kus.

Hodinové výrobní množství:		123 ks/hod						
Komponenta	Typ spotřeby	Typizované množství	Spotřební jednotka	Nákladová jednotka	Standardní cena za nákladovou jednotku	Faktor časového využití	Cenový podíl na 1 ks	
Svařovací zdroj	elektřina	3500	VA	kWh	6,00 Kč	90%	0,154 Kč	
Manipulační robot	elektřina	1000	W	kWh	6,00 Kč	100%	0,049 Kč	
Svařovací robot	elektřina	1000	W	kWh	6,00 Kč	90%	0,044 Kč	
Kompresor	elektřina	1500	VA	kWh	6,00 Kč	100%	0,073 Kč	
Motor dopravníku	elektřina	1000	VA	kWh	6,00 Kč	20%	0,010 Kč	
Motor manipulátoru	elektřina	780	VA	kWh	6,00 Kč	40%	0,015 Kč	
Motor shazovací jednotky	elektřina	730	VA	kWh	6,00 Kč	10%	0,004 Kč	
Svářecí materiál, MIG drát	materiál	360	mm/kus	km	750,00 Kč	100%	0,050 Kč	
Obsluha	mzda	1	hod	Kč/hod	190,00 Kč	100%	1,545 Kč	
Ventilace	elektřina	1800	W	kWh	6,00 Kč	100%	0,088 Kč	
Údržba, materiál, amortizace	komponenty	0,001	ks/cyklus	ks	5 680,00 Kč	100%	5,680 Kč	
Řídicí elektronika	elektřina	900	W	kWh	6,00 Kč	100%	0,044 Kč	
Celkové náklady na 1 ks:		7,754 Kč						

Obrázek 7-10 Provozní náklady

Pohledem na datové pruhy u jednotlivých nákladových přírůstků je patrné, že největší podíl připadá na amortizaci a údržbu, poté na lidskou obsluhu. Bylo započítáno, jakoby pracoviště vyžadovalo neustálou přítomnost jednoho nízkokvalifikovaného operátora, což ale v realitě nebude nutné, avšak byl zvolen tento nejnepříznivější limitní stav.

Celkové provozní náklady na 1 ks jsou sečteny na **7,75 Kč** při roční produkci 250 000 kusů a průměrné hodinové produkci 123 ks.

7.4.3 Návratnost

Kalkulace předpokládané návratnosti byla realizována na základě odhadu vstupních a provozních nákladů. Tabulka 1 obsahuje vstupní hodnoty výpočtu, Tabulka 2 zobrazuje výsledné hodnoty kalkulace bodu zvratu (BEP), jež zobrazuje také Obrázek 7-11. V současné době je díl nakupován od subdodavatele za fixní cenu, (66,50,- resp. 76,80,- dle modifikace) která ale zahrnuje již náklady na materiál, ohýbání, svařování i povrchovou úpravu. Bylo proto nejprve nutné zjistit podíl na samotné svařovací operace z nákupní ceny jednoho kusu. Ty jsou klíčovou vstupní hodnotou pro výpočet a byly dodavatelem vyčísleny na 16,75 Kč. Tato hodnota definuje směrnici grafu nákladů nákupních. Graf výrobních nákladů je součtem fixních (konstanta) a provozních (přímka). V místě, kde se grafy protnou, dojde k vyrovnání nákladů a je označeno jako bod zvratu. Vyrobené množství definuje dobu návratnosti dané investice. Detailní hodnoty a výpočet jsou součástí přílohy č. 3-C.

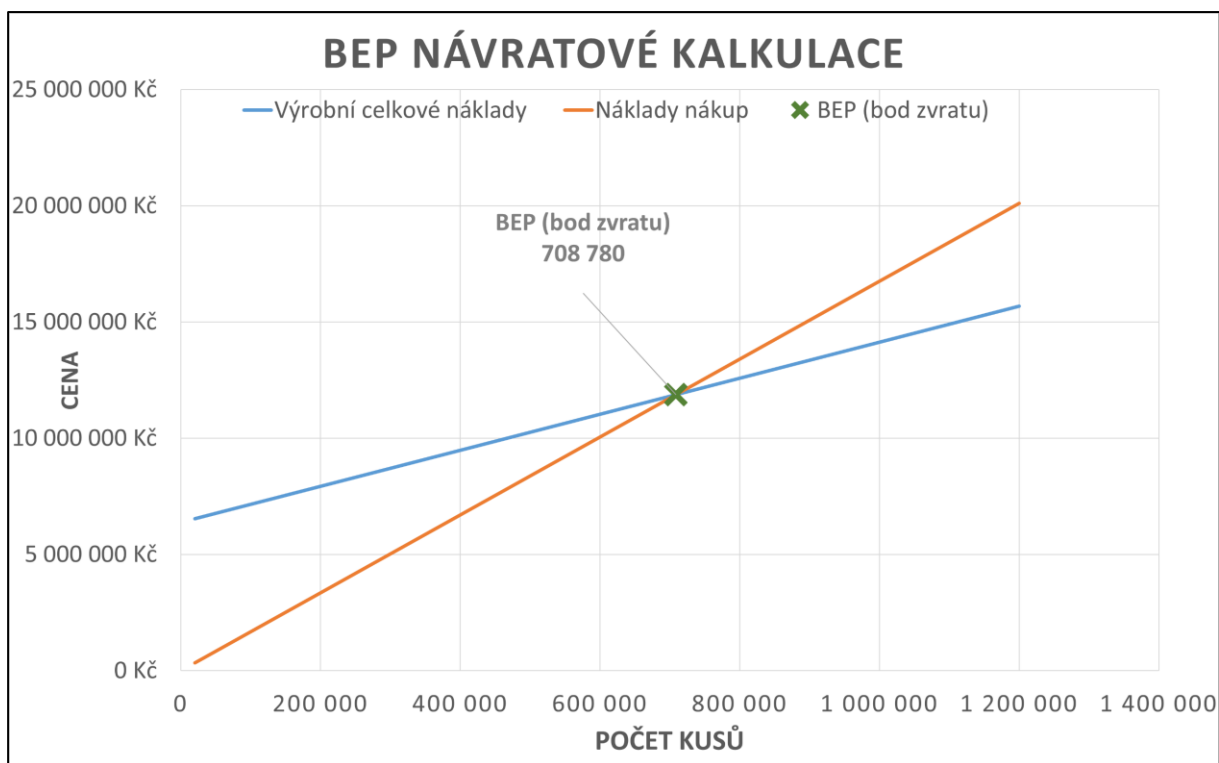
Tabulka 1 Celkové náklady:

Položka	Hodnota	Jednotka
Fixní pořizovací náklady	6 376 150,00 Kč	pořizovací
Výrobní náklady	7,75 Kč	za kus
Nákupní současná cena	16,75 Kč	za kus
Roční produkce	250 000	kusů

Tabulka 2 Výpočet hodnoty Bodu zvratu:

BEP (bod zvratu)	Počet kusů	Náklady	Měsíc návratnosti
Nastane při:	708 780	11 872 060 Kč	34

Při uvedených vstupních nákladech vychází doba návratnosti pracoviště za **34** měsíců od zahájení automatizované produkce. Mezní doba návratnosti byla zadavatelem stanovena na 5 let a návrh tedy splňuje zadání i s rezervou pro případné budoucí zvýšení cen energií nebo pořizovacích nákladů na komponenty.



Obrázek 7-11 Graf bodu zvratu

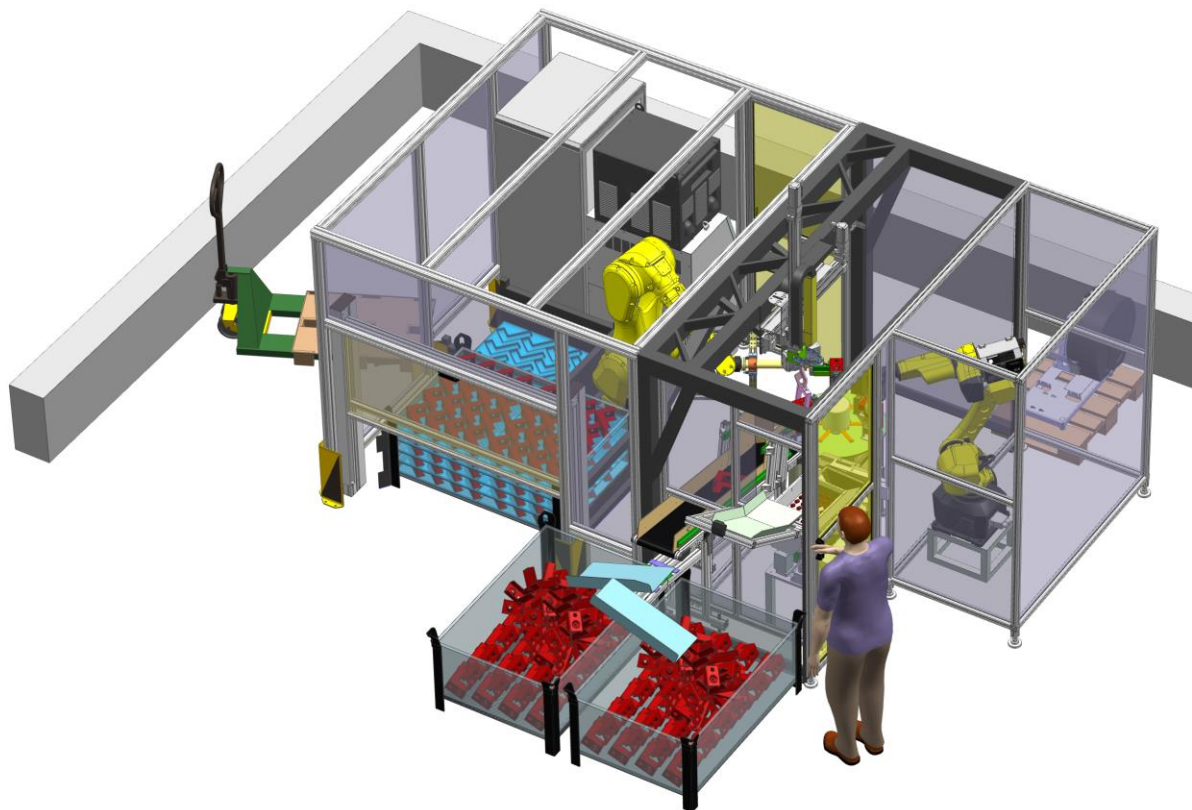
Pohledem na graf je patrné, jak značný je rozdíl nákladů mezi manuálním a automatizovaným svařováním pro daný díl v definované roční produkci. Ačkoli se může vlivem upřesnění pořizovacích nákladů dílčích komponent pracoviště poloha BEP mírně změnit, je zřejmé, že v dlouhodobém pohledu je automatizace procesu z ekonomického hlediska vysoce výhodná, jelikož redukuje náklady o více, než 50%.

8 Závěr

Diplomová práce splnila stanovené zadání na realizaci návrhu automatizovaného svařovacího pracoviště pro svařování ohýbaného plechového dílu ve dvou výrobních variantách. Požadavkem bylo provedení koncepčního návrhu celého pracoviště a konstrukčních návrhů zvolených funkčních skupin s cílem snížení nákladů na produkci rohového úhelníku při respektování platných norem a bezpečnostních předpisů.

Byla provedena rešerše v oblasti automatizace a svařování, následně zvolena vhodná technologie na základě SWOT analýzy. Vyhodnocením kapacitních výrobních požadavků a prostorových a logistických omezení byly vytvořeny návrhy struktury pracoviště a následně ohodnoceny dle zvolených kritérií a vzájemně porovnány. Na základě výsledků srovnání byl zvolen vhodný koncept pracoviště - s karuselovým indexačním stolem a dvěma průmyslovými roboty.

Analýzou geometrie, rozměrů, množství a dalších aspektů svařence byly určeny optimální logistické, manipulační, základací a technologické polohy i pozice. Na základě nich byly postupně v iteračních cyklech navrhovány jednotlivé skupiny pracoviště pro zajištění všech nezbytných funkcí. Posouzením potřebných parametrů byly vybrány dva šestiosé roboty. Při konstrukčním návrhu bylo v maximální míře využito kombinace nakupovaných komponent, typicky pneumatických a elektrických aktuátorů, vhodných pro užití v automatizaci a robotizaci. Vybrané skupiny byly detailovány a optimalizovány s využitím MKP výpočtů. Celé pracoviště bylo uzpůsobeno pro minimalizaci nutnosti zapojení obsluhy a zjednodušení logistiky.



Obrázek 8-1 Finální návrh pracoviště

Pro posouzení efektivity produkce byla vytvořena kinematická simulace výrobního procesu a sestaven ganttův diagram jednotlivých operací, jenž umožnil výpočet intervalů výrobního cyklu a stanovit předpokládanou reálnou výrobní kapacitu, která činí 1280, resp. 2080 kusů denně. V neposlední řadě byly posouzeny ekonomické aspekty celého pracoviště, jako jsou pořizovací náklady, provozní náklady a vypočtena doba návratnosti. Fixní náklady jsou odhadnuty na 6,4 mil Kč a provozní náklad na výrobu jednoho kusu vychází na 7,8 Kč, což je násobně menší částka oproti současnému stavu při manuálním svařování. Předpokládaná doba návratnosti investice je 34 měsíců.

Výsledné parametry pracoviště odpovídají požadavkům zadavatele ve všech klíčových aspektech a lze říci, že diplomová práce splnila vytyčené cíle v plném rozsahu. Návrh lze v současném stavu považovat za vhodný výchozí bod pro budoucí detailování v případě rozhodnutí o reálném uvedení do provozu.

Reference

- [1] *Schweisstechnik/Soudure: Energy efficiency in welding technology* [online]. Basel: Cross Office GmbH, 2020, [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: https://www.sst-ebeam.com/images/eb-technik/energieeffizienz/svs_zeitschrift_01-20_S_34-37_EN.pdf
- [2] CHATGPT, V3. *Průmyslová automatizace: Obecné shrnutí* [online]. In: . [cit. 2023-01-22]. [Odpověď na zadaný prompt]. Dostupné z: <https://chat.openai.com/>
- [3] DOLEŽEL, JAKUB. *ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ RÁMU BRUSKY*. BRNO, 2012. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. JAROSLAV KUBÍČEK.
- [4] TEM INDUSTRIETECHNIK GMBH. *Bezpečná realizace robotických aplikací* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://cz.item24.com/cs/svet-produktu/roboticke-aplikace/>
- [5] GHOBAKHLOO, Morteza a Weria KHAKSAR. *Robotic Welding Technology* [online]. Putrajaya, Malaysia, 2014, [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/285951267_Robotic_Welding_Technology
- [6] PETLACH, TOMÁŠ. *SOUČASNÉ MOŽNOSTI A TRENDY PRO SVAŘOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY*. Brno, 2011. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce ING. TOMÁŠ KUBELA.
- [7] PIRES, J., Altino LOUREIRO a Gunnar BÖLMSJO. *Welding Robots: Technology, System Issues and Applications*. 1. London: Springer-Verlag London Limited, 2006. ISBN 978-1-85233-953-1.
- [8] KRAKOVSKÝ, Andrej. *Analýza způsobů modelování procesu svařování metodu konečných prvků*. Brno, 2019. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Petr Vosynek.
- [9] *Hluboké svařování laserem* [online]. In: . [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.lasertherm.cz/hluboke-svarovani-laserem_awm_min.jpg?data=cMnKs0/tya1v7IXonrmV8ea96olvcj1cXOUyhXSFlwdhycJryO3RvV9owGwYwMjAYMBcqXBn
- [10] MMSPEKTRUM. *Svařování elektronovým paprskem* [online]. In: . [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://mmspektrum.s3.amazonaws.com/mmspektrum/production/files/2021/03/04/09/19/04/69b8fbf5-a7c2-4fc2-8b01-014a98b329cc/cvut_kolarik_obr_02_small.jpg, <https://docplayer.cz/docs-images/113/207695828/images/20-0.jpg>
- [11] CHATGPT, V4. *Ergonomie a bezpečnost práce: Normy vázané na automatizované svařovací pracoviště* [online]. In: . [cit. 2023-05-22]. [Odpověď na zadaný prompt]. Dostupné z: <https://chat.openai.com/>
- [12] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). *ČSN EN ISO 6385: Ergonomické zásady navrhování pracovních systémů*. První. Praha, 2004.

- [13] ČSN EN ISO 10218-2: *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace*. Praha, 2011.
- [14] ČSN EN ISO 15011-1: *Ochrana zdraví a bezpečnost při svařování a příbuzných procesech*. Praha, 2003.
- [15] EDER, W a Stanislav HOSNEDL. *Design Engineering: A Manual for Enhanced Creativity*. 1. Florida, USA: CRC Press, 2019. ISBN 978-0367388874.
- [16] FESTO. *Parallel gripper HGPL-B: heavy-duty with long stroke* [online]. 2022. Datasheet. Dostupné také z: <http://www.festo.com/catalogue/>
- [17] FANUC EUROPE CORPORATION. *M-20 iB/35S*. 2019, 2 s. Datasheet.
- [18] FANUC EUROPE CORPORATION. *ARC Mate 100iD*. 2019. Datasheet.
- [19] THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. *AutoDrive® S: SERVO DRIVEN WIRE FEEDER FOR ROBOTIC WELDING* [online]. Cleveland, 2019, 12 s. Datasheet - Manual. Dostupné také z: www.lincolnelectric.com
- [20] FESTO. *Kyvně přímočaré upínky CLR*. 2017. Datasheet.
- [21] FESTO. *Rotary indexing tables DHTG*. 2022. Datasheet.
- [22] SENRING ELECTRONICS. *30 Series Rotary Union/Rotary Joint* [online]. 2022, 54 s. Datasheet - Manual. Dostupné také z: <https://www.senring.com/>
- [23] FANUC EUROPE CORPORATION. *M-2iA/3A*. 2019. Datasheet.
- [24] ABB. *IRB 360 FlexPicker: Greater flexibility in a compact footprint*. Datasheet.
- [25] FESTO. *Paralelní chapadla HGPT-B, robustní* [online]. 2017. Datasheet. Dostupné také z: <http://www.festo.com/catalogue/>
- [26] FESTO. *Rotary modules ERMB*. 2022. Datasheet. Dostupné také z: <http://www.festo.com/catalogue/>
- [27] ANANDAN, Tanya M. Calculating Your ROI for Robotic Automation: Cost vs. Cash Flow. In: *Www.automate.org* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.automate.org/industry-insights/calculating-your-roi-for-robotic-automation-cost-vs-cash-flow>

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Rohový úhelník – foto a plechový kontejner.....	1
Obrázek 2-1 Vhodné podmínky nasazení robotického svařování ve výrobě, převzato z [7]	3
Obrázek 2-2 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG, převzato z [8]	4
Obrázek 2-3 Energetická náročnost metody MIG/MAG v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)	5
Obrázek 2-4 Princip svařování netavící se elektrodou v inertním plynu – TIG, převzato z [8]	6
Obrázek 2-5 Energetická náročnost metody TIG v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)	6
Obrázek 2-6 Princip laserového svařování, převzato z [9].....	7
Obrázek 2-7 Energetická náročnost laserového svařování v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)	8
Obrázek 2-8 Schéma svařování elektronovým paprskem, převzato z [10]	9
Obrázek 2-9 Energetická náročnost svařování elektronovým paprskem v souladu se směrnicí EU o ekodesignu (2009/125/ES)	9
Obrázek 2-10 Specifikace kritérií a hodnocení svařovací technologie	11
Obrázek 2-11 Graf porovnání svařovací technologie.....	11
Obrázek 3-1: Varianty svařence (vlevo bez čepu, vpravo s čepem)	13
Obrázek 3-2: Oblasti svaru - zeleně přímý tupý (na obou stranách), modře obvodový koutový.....	14
Obrázek 3-3 Prostorové uspořádání svařovny	15
Obrázek 3-4 Gitterbox s polotovary, vlevo foto, vpravo CAD model s rozměry	15
Obrázek 4-1 Transformační proces, kompletní pracoviště.....	17
Obrázek 4-2 Varianta pracoviště s otočným stolem.....	18
Obrázek 4-3 Varianta pracoviště s lineárním pohybem	19
Obrázek 4-4 Tabulka porovnání konceptů pracoviště.....	20
Obrázek 4-5 Diagram výsledků porovnání konceptů pracoviště.....	20
Obrázek 4-6 Schéma pracoviště, odhad výrobních časů, varianta bez kolíku	21
Obrázek 4-7 Schéma pracoviště, odhad výrobních časů, varianta s kolíkem.....	22
Obrázek 5-1 Vertikální ukládání polotvarů	24
Obrázek 5-2 Horizontální ukládání polotovarů	24
Obrázek 5-3 Uspořádání polotovarů s proložkami v gitterboxu na vstupu (částečně zprůhledněno).....	25
Obrázek 5-4 Uchopovací přípravek - efektor polotovarů (částečně zprůhledněno).....	26
Obrázek 5-5 Manipulační přípravek polotovaru a vakuový přípravek	26
Obrázek 5-6 Průmyslový manipulační robot s efektořem odebírající polotovar (vlevo) a proložku (vpravo).....	27
Obrázek 5-7 Kinematika manipulace s proložkami	27
Obrázek 5-8 Svařovací robot Fanuc ARC Mate 100iD s MIG hořákem a podavačem drátu.....	28
Obrázek 5-9 Schéma varianty upínání za kuželové plochy.....	29
Obrázek 5-10 Upnutí polotovaru za vnější plochy.....	29
Obrázek 5-11 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem dolů	30
Obrázek 5-12 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem dolů, řez	30
Obrázek 5-13 Koncept svařovacího přípravku s orientací kolíku směrem nahoru, izometrický pohled.....	31
Obrázek 5-14 Upínací přípravek, pohledy zepředu a zezadu.....	32
Obrázek 5-15 Upínací přípravek, rozstřel sestavy a ověření kolizí.....	32
Obrázek 5-16 Indexovací stůl.....	33

Obrázek 5-17 Vyrovnávací kladka	33
Obrázek 5-18 Osový rotační konektor (Slip-Ring), 3D pohled.....	34
Obrázek 5-19 Sestava Slip-Ring konektoru, řez	34
Obrázek 5-20 Indexovací stůl, vpravo v součinnosti se zakládacím robotem.....	35
Obrázek 5-21 Koncept zásobníku kolíků	36
Obrázek 5-22 Kyvný horizontální podavač kolíků	37
Obrázek 5-23 Rotační vertikální podavač kolíků, izometrický pohled	38
Obrázek 5-24 Tripod podavač kolíků, výrobce Festo	38
Obrázek 5-25 Kartézský dvouosý podavač kolíků, výrobce Festo, izometrický pohled	39
Obrázek 5-26 Hodnoty porovnání mechanismu	40
Obrázek 5-27 Graf výsledku porovnání mechanismů	40
Obrázek 5-28 Festo XYCL-2 v součinnosti se svařovacím robotem	41
Obrázek 5-29 Pozice manipulačního systému kolíku (úchop, přesun/distanc, svařování) .	42
Obrázek 5-30 Shazovací mechanismus svařence	42
Obrázek 5-31 Kyvný shazovací mechanismus	43
Obrázek 5-32 Pásový dopravník se skluzu	44
Obrázek 5-33 Rám pracoviště (pro přehlednost jsou panely zprůhledněné, nebo skryté) ..	45
Obrázek 5-34 Plnicí žlab pro kolíky	46
Obrázek 5-35 Pracoviště, pohled na řídicí a přidružené prvky	47
Obrázek 6-1 Předběžný návrh chapadla	48
Obrázek 6-2 Finální návrh chapadla.....	49
Obrázek 6-3 Detail uchopovací špičky chapadla	49
Obrázek 6-4 Definice optimalizační úlohy chapadla	50
Obrázek 6-5 Výsledky topologické optimalizace, průměrované hodnoty virtuální hustoty materiálu.....	50
Obrázek 6-6 Definice kontrolního MKP výpočtu chapadla	51
Obrázek 6-7 Porovnání deformace prvotního (vpravo) a optimalizovaného (vlevo) designu chapadel.....	51
Obrázek 6-8 Porovnání průběhu napětí mezi původním (vpravo) a optimalizovaným (vlevo) designem	52
Obrázek 6-9 Zhodnocení výsledků redukováného napětí na chapadle	52
Obrázek 6-10 Definice výpočetního modelu rámu, pohled spodní zezadu a horní zředu. 53	
Obrázek 6-11 Porovnání tuhosti prvotního (vlevo) a optimalizovaného (vpravo) designu rámu, posunutí v X.....	54
Obrázek 6-12 Porovnání tuhosti prvotního (vlevo) a optimalizovaného (vpravo) designu rámu, celková deformace	55
Obrázek 6-13 Modální analýza optimalizovaného rámu.....	55
Obrázek 7-1 Interní akční členy pracoviště pohled 1	56
Obrázek 7-2 Interní akční členy pracoviště pohled 2	56
Obrázek 7-3 Půdorys pracoviště.....	58
Obrázek 7-4 Časový diagram výrobního cyklu, varianta s kolíkem	59
Obrázek 7-5 Časový diagram výrobního cyklu, varianta bez kolíku	60
Obrázek 7-6 Pracoviště v hale s obsluhou.....	61
Obrázek 7-7 Schéma zasazení pracoviště do haly a návaznost na okolí	62
Obrázek 7-8 Pořizovací materiálové náklady.....	63
Obrázek 7-9 Pořizovací předprodukční náklady	63
Obrázek 7-10 Provozní náklady	64
Obrázek 7-11 Graf bodu zvratu	66
Obrázek 8-1 Finální návrh pracoviště	67

Seznam tabulek

Tabulka 1 Celkové náklady:.....	65
Tabulka 2 Výpočet hodnoty Bodu zvratu:.....	65

PŘÍLOHY

Obsah příloh

1	A - UPŘESŇUJÍCÍ ANALYTICKÉ VÝPOČTY.....	1
1.1	ZAKLÁDACÍ PŘÍPRAVEK – ANALYTICKÉ VÝPOČTY	1
1.2	UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK – ANALYTICKÉ VÝPOČTY	2
1.3	INDEXOVACÍ STŮL – ANALYTICKÉ VÝPOČTY	3
1.4	MANIPULAČNÍ MECHANISMUS KOLÍKU - VÝPOČTY	4
2	B – UPŘESŇUJÍCÍ MKP VÝPOČTY	6
2.1	MKP ANALÝZA CHAPADLA.....	6
2.2	MKP ANALÝZA RÁMU	8
2.3	MKP VÝPOČET ZAKLÁDACÍHO PŘÍPRAVKU	17
3	C – TABULKY A SCHÉMATA V MS EXCEL	20
3.1	ODHAD ČASŮ VÝROBNÍHO CYKLU	20
3.2	NÁKLADOVÉ TABULKY.....	22
4	D – VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	3

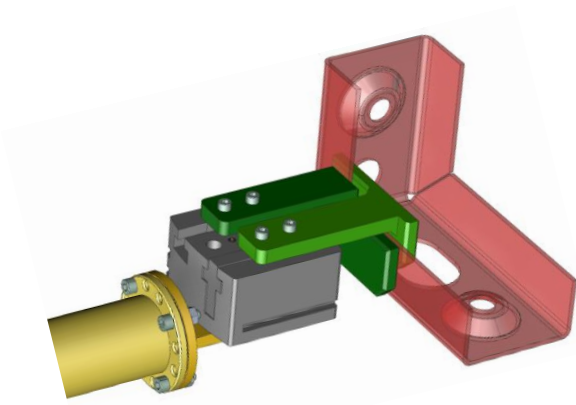
1 A - Upřesňující analytické výpočty

1.1 Zakládací přípravek – analytické výpočty

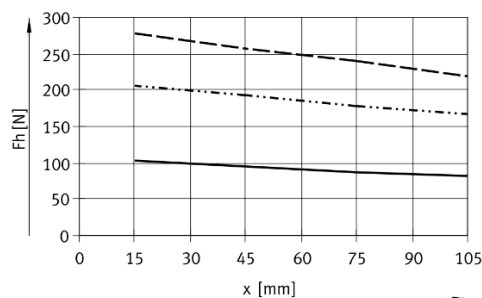
1.1.1 Výpočet potřebné uchopovací síly

Kritická je pozice v orientaci viz spodní obrázek a se současnou akcelerací v ose Z.

Upínací síla brána z produktového listu



HGPL-25



Ověření úchopové síly polotovaru gripperem

$m_{po} := 1 \text{ kg}$... hmotnost polotovaru

$a_{zr} := 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$... maximální (teoretické) zrychlení robotu v

$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$... gravitační zrychlení

$\mu_t := 0.15$... koeficient klidového tření (ocel-ocel)

$S_L := 1$... koeficient bezpečnosti pro typ L chapadla

$F_{gr_r} := 230 \text{ N}$... vyvozená síla gripperu (při 8 barech)

požadovaná síla úchopu:

$$F_{grr_min} := m_{po} \cdot \frac{(a_{zr} + g)}{\mu_t} \cdot S = 197.422 \text{ N}$$

Ověření reakcí od klopného momentu

$l_t := 40 \text{ mm}$... vzdálenost těžiště polotovaru od stěny úchopu (rameno)

$h_k := 25 \text{ mm}$... minimální šířka chapadel držící reakce od klopení

$$F_{RM} := m_{po} \cdot (g + a_z) \cdot \frac{l_t}{h_k} = 21.611 \text{ N} \quad \text{VYHOVUJE}$$

1.2 Upínací přípravek – analytické výpočty

Polotovar je držen ve dvou kolmých směrech, výpočet ověřuje bezpečnost upnutí horní dosedací plochy proti možnému odlehnutí vlivem rotace (je uvažováno, jakoby spodní upínka nebyla aktivní, tzn v praxi nikdy nenastane takto nepříznivý stav).

Upínací síla brána z produktového listu upínacího válce, doba rotace prána z produktového listu rotačního stolu

Ověření upínací síly polotovaru na přípravku

$r_{tp} := 270 \text{ mm}$... vzdálenost těžiště svařence od osy rotace

$m_s := 1.08 \text{ kg}$... hmotnost svařence

$\theta := 120 \text{ deg}$... úhel rotace

$t := 1.5 \text{ sec}$... doba rotace (maximální)

úhlová rychlost:

$$\omega := \frac{\theta}{t} = 1.396 \frac{1}{s}$$

dostředivé zrychlení:

$$a_d := r_{tp} \cdot \omega^2 = 0.526 \frac{m}{s^2}$$

dostředivá síla:

$$F_d := m_s \cdot r_{tp} \cdot \omega^2 = 0.568 \text{ N}$$

$F_u := 127 \text{ N}$...efektivní upínací síla při 4 barech

$\mu_p := 0.15$...koeficient klidového tření (ocel-ocel)

maximální třecí síla vyvozená upínkou:

$$F_{T_{max}} := F_u \cdot \mu_p = 19.05 \text{ N}$$

koeficient bezpečnosti upnutí:

$$s_u := \frac{F_{T_{max}}}{F_d} = 33.51$$

VYHOVUJE

1.3 Indexovací stůl – analytické výpočty

Rotační stůl FESTO

Ověření maximálního přípustného momentu setrvačnosti

 $I_{max} := 2.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$... maximální přípustný moment setrvačnosti $m_p := 4.7 \text{ kg}$... hmotnost jednoho upínacího přípravku $m_d := 12.85 \text{ kg}$... hmotnost otočné desky stolu $r_p := 205 \text{ mm}$... vzdálenost těžiště přípravku od osy otáčení stolu $r_d := 300 \text{ mm}$... vnější poloměr desky $r_{d_v} := 52 \text{ mm}$... vnitřní poloměr desky (středové díry)

moment setrvačnosti přípravků na stole:

$$I_p := 3 \cdot m_p \cdot r_p^2 = 0.593 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

moment setrvačnosti desky

$$I_{dk} := \frac{1}{2} \cdot m_d \cdot (r_d^2 + r_{d_v}^2) = 0.596 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

moment setrvačnosti spojovacích elementů rotačního konektoru
(měřeno v CAD systému):

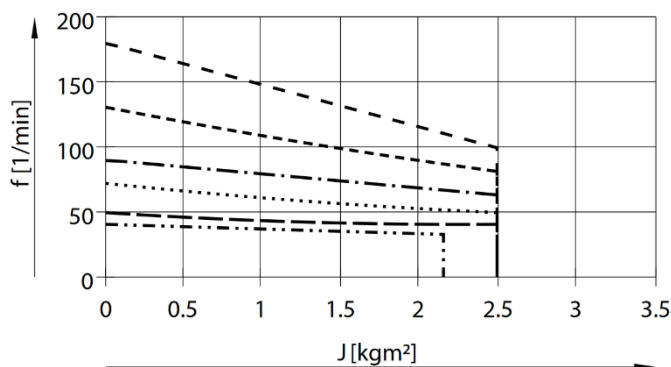
$$I_{rot} := 14865 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 = 0.015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

celkový moment setrvačnosti rotujících částí k ose stolu:

$$I_c := I_p + I_{dk} + I_{rot} = 1.203 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

VYHOVUJE

Size 220



1.4 Manipulační mechanismus kolíku - výpočty

Na základě produktového listu byla určena vyvozená síla na chapadle.

1.4.1 Ověření úchopové síly kolíku gripperem

$$m_k := 0.106 \text{ kg}$$

... hmotnost kolíku

$$a_z := 3.7 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

... maximální zrychlení mechanismu v ose Z

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

... gravitační zrychlení

$$\mu_t := 0.15$$

... koeficient klidového tření (ocel-ocel)

$$S := 2$$

... koeficient bezpečnosti pro typ třecího chapadla

$$F_{gr} := 38 \text{ N}$$

... vyvozená síla gripperu (při 6 barech)

požadovaná síla úchopu:

$$F_{gr_min} := m_k \cdot \frac{(a_z + g)}{\mu_t} \cdot S = 19.089 \text{ N}$$

VYHOVUJE

1.4.2 Výpočet napětí ve šroubu chapadla

Byl proveden ověřovací výpočet maximálního zatížení předepnutého šroubu viz schema a napětí ve šroubu.

$F := 220 \text{ N}$... maximální teoretická síla gripperu (rekční úchopová síla od kolíku)

$x := 40 \text{ mm}$... vzdálenost pusobiště síly od kontaktní plochy

$y := 8.65 \text{ mm}$... vzdálenost osy šroubu od místa teoretického otáčení (krajní hrana)

$F_p := 1300 \text{ N}$... předepínací síla ve šroubu

$d_j := 3 \text{ mm}$... malý průměr závitu

$\psi := 0.55$... součinitel proti odlehnutí (iterativně, aby odpovídal výsledku)

$\frac{k_2}{k_1 + k_2} = 0.72$... tuhostní poměr

$$\sum M_A = 0$$

$$-F \cdot x + R \cdot y = 0$$

reakční síla ve šroubu:

$$R := F \cdot \frac{x}{y} = 1017.34 \text{ N}$$

$$\Delta F_2 := R \cdot 0.72 = 732.486 \text{ N}$$

$$F_2 := \psi \cdot R = 559.538 \text{ N}$$

kontrolní předepínací síla (pro iterativní nalezení adekvátního ψ):

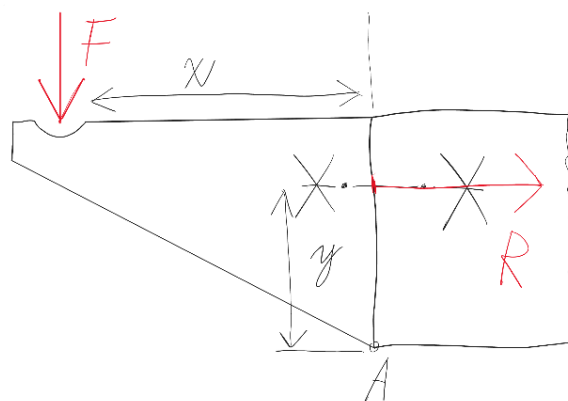
$$F_{pk} := F_2 + \Delta F_2 = (1.292 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Provozní zatížení šroubu:

$$F_1 := (1 + \psi) \cdot R = 1576.879 \text{ N}$$

$$\sigma := \frac{F_1}{\pi \cdot \frac{d_j^2}{4}} = 223.083 \text{ MPa}$$

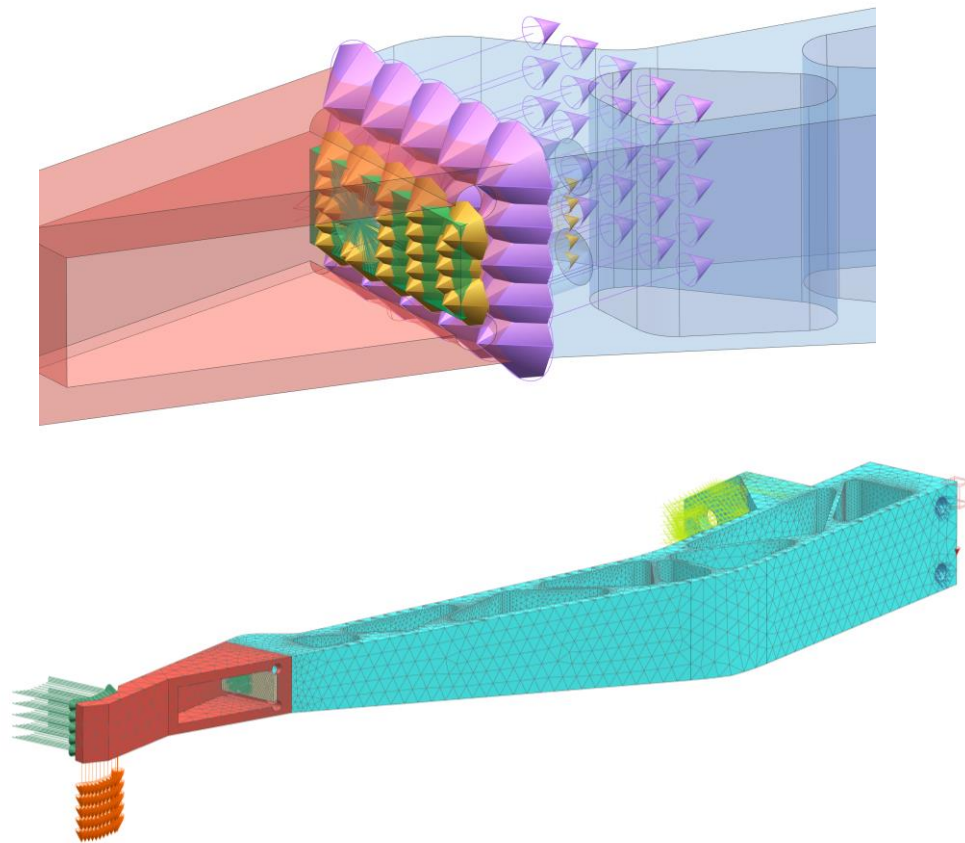
MKP udává hodnotu 204 MPa. Zde se jedná pouze o zjednodušený výpočet, výsledek je shodný v toleranci 10%.



2 B – Upřesňující MKP výpočty

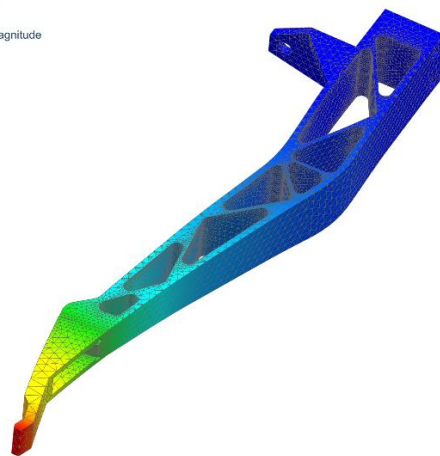
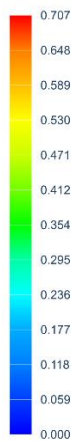
2.1 MKP analýza chapadla

2.1.1 Definice výpočtu



2.1.2 Výsledky

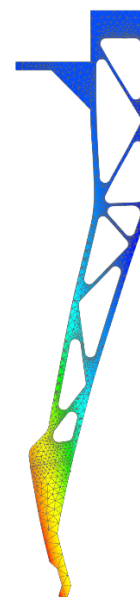
_v6W_sestava_chapadlo_sim1 : Lin101_cntct_v3_NEWdesign Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.707, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

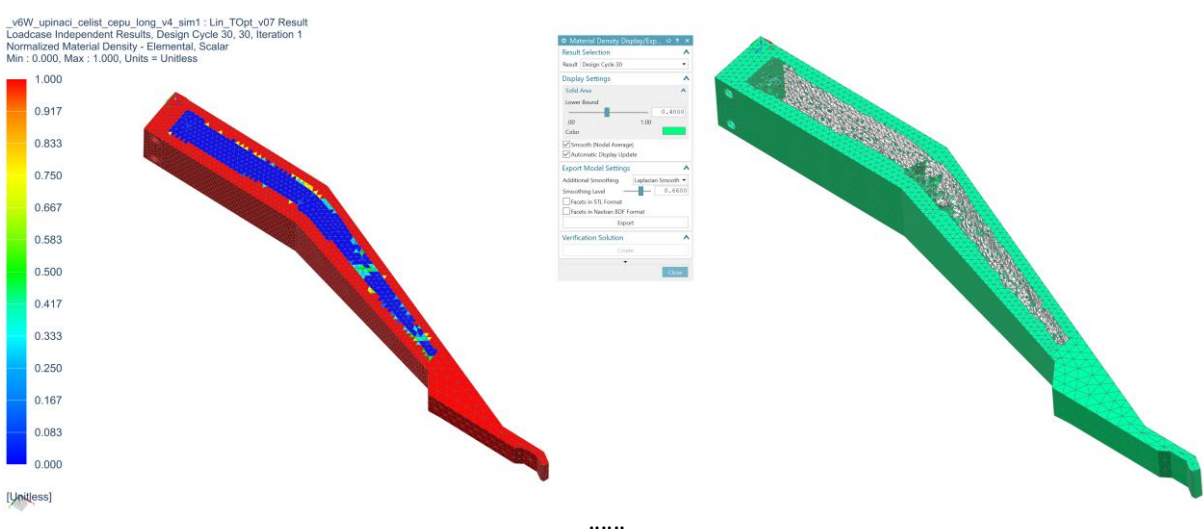
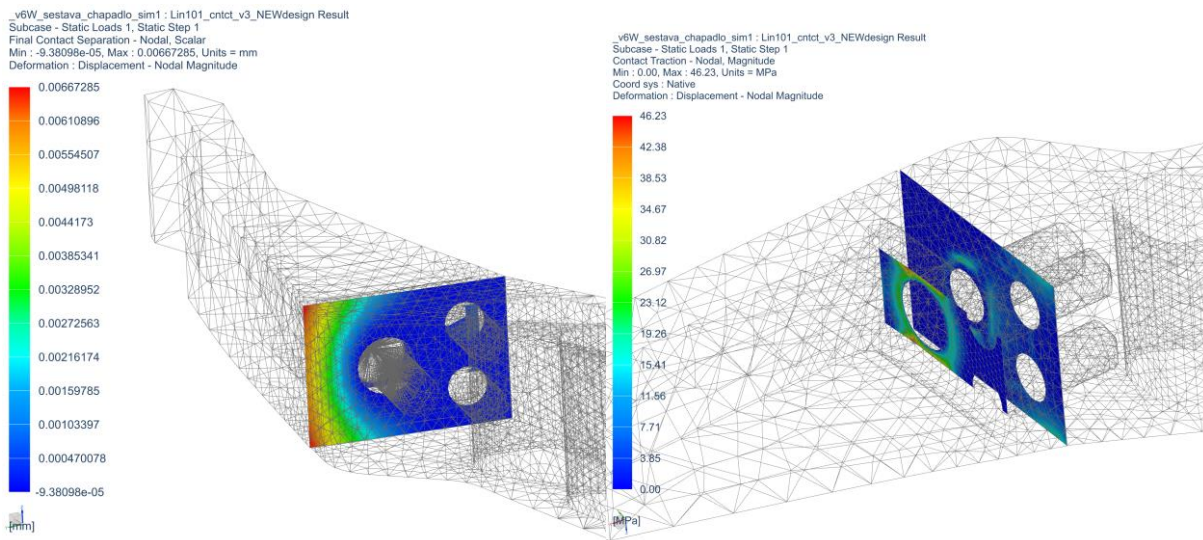
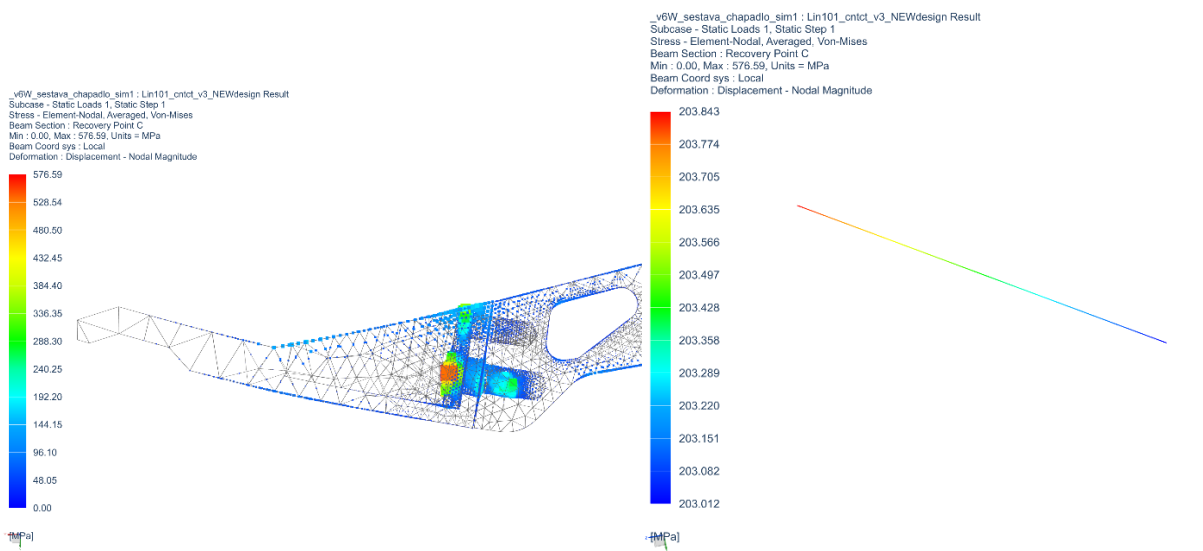


_v6W_sestava_chapadlo_sim1 : Lin101_cntct_v3_NEWdesign Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, X
Min : -0.016, Max : 0.160, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



[mm]





2.2 MKP analýza rámu

2.2.1 Výsledky geometrické optimalizace

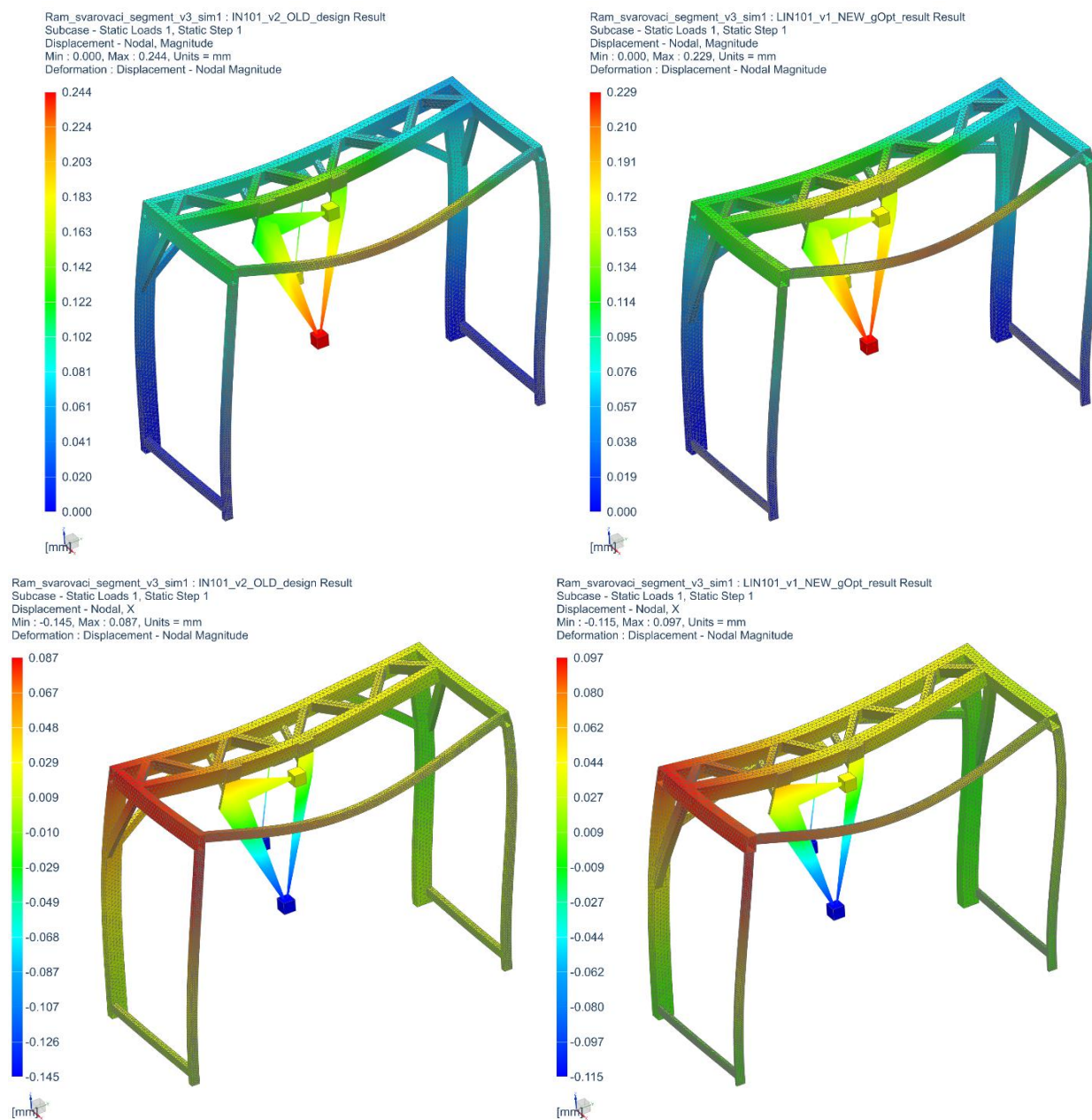
Design Objective Function Results											
Target Weight (2800.000000) [N]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3085,637	2953,367	3326,616	3130,31	3165,856	2734,555	2993,589	3096,859	3096,155	3110,105	3053,87
Design Variable Results											
Name	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_sirka=60	78,81058	70,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058	78,81058
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_vyska=120	85,51838	85,51838	101,5184	85,51838	85,51838	85,51838	85,51838	85,51838	85,51838	85,51838	85,51838
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_sirka=40	20,00003	20,00003	20,00003	28,00003	20,00003	20,00003	20,00003	20,00003	20,00003	20,00003	20,00003
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_vyska=60	60,0002	60,0002	60,0002	60,0002	68,0002	60,0002	60,0002	60,0002	60,0002	60,0002	60,0002
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_tloustka_steny=8	8,641958	8,641958	8,641958	8,641958	8,641958	7,041958	8,641958	8,641958	8,641958	8,641958	8,641958
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_tloustka_steny=2	4,399244	4,399244	4,399244	4,399244	4,399244	4,399244	3,599244	4,399244	4,399244	4,399244	4,399244
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_bocni=300	250,0002	250,0002	250,0002	250,0002	250,0002	250,0002	250,0002	360,0002	250,0002	250,0002	250,0002
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_horni=300	200,007	200,007	200,007	200,007	200,007	200,007	200,007	200,007	200,007	320,007	200,007
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_tloustka_steny=4	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	3,000001	4,000001	3,000001
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_2_odsazeni_osa_bocni=250.717695	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	599,996	519,996
Design Constraint Results											
Result Measure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Upper Limit = 0.100000 [mm]	0,096772	0,11247	0,088762	0,098752	0,096125	0,10542	0,099756	0,10237	0,097343	0,096693	0,10058
Result Measure											
Upper Limit = 0.045000 [mm]	0,047319	0,053309	0,032206	0,045535	0,044012	0,05743	0,04895	0,045832	0,042773	0,046722	0,047882
Result Measure											
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,12661	0,13485	0,093053	0,12005	0,12399	0,13552	0,12763	0,12594	0,1276	0,12724	0,12304
Result Measure											
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,12881	0,13887	0,094207	0,12771	0,12545	0,14085	0,12867	0,12406	0,12837	0,12682	0,1305

Design Objective Function Results													
Target Weight (2500.000000) [N]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2502,127	2456,606	2314,842	2542,733	2542,026	3011,754	2599,429	2522,846	2521,563	2479,669	2445,728	2429,108	2421,324
Design Variable Results													
Name	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_sirka=60	79,99992	71,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99992	79,99863
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_vyska=120	128,1455	128,1455	112,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	128,1455	121,1957
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_sirka=40	20,00124	20,00124	20,00124	28,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00124	20,00687
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_vyska=60	60,00106	60,00106	60,00106	60,00106	68,00106	60,00106	60,00106	60,00106	60,00106	60,00106	60,00106	60,00106	65,53265
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_tloustka_steny=8	4,000012	4,000012	4,000012	4,000012	4,000012	5,600012	4,000012	4,000012	4,000012	4,000012	4,000012	4,000012	4,885178
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_tloustka_steny=2	3,911928	3,911928	3,911928	3,911928	3,911928	3,911928	4,711928	3,911928	3,911928	3,911928	3,911928	3,911928	2,000416
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_bocni=300	250,0109	250,0109	250,0109	250,0109	250,0109	250,0109	250,0109	360,0109	250,0109	250,0109	250,0109	250,0109	250,1323
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_horni=300	200,1547	200,1547	200,1547	200,1547	200,1547	200,1547	200,1547	320,1547	200,1547	200,1547	200,1547	200,1547	799,9421
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_tloustka_steny=4	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	7,787464	3,002006
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_2_odsazeni_osa_bocni=250.717695	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	699,946	599,946	699,946	699,3186
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_vyska=70.090170	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	55,07047	45,07047	58,09132
Design Constraint Results													
Result Measure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Upper Limit = 0.100000 [mm]	0,11247	0,11748	0,1219	0,11409	0,11288	0,09591	0,10808	0,11754	0,11365	0,11261	0,11712	0,11494	0,11601
Result Measure													
Upper Limit = 0.250000 [mm]	0,23213	0,24261	0,28329	0,2316	0,23018	0,19503	0,22846	0,23125	0,23155	0,23265	0,2362	0,23551	0,23528
Result Measure													
Upper Limit = 0.045000 [mm]	0,086619	0,092524	0,11715	0,084957	0,084017	0,064506	0,084885	0,083532	0,080898	0,087108	0,088379	0,088639	0,065568
Result Measure													
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,11247	0,11748	0,12193	0,11409	0,11288	0,09591	0,10808	0,11754	0,11365	0,11261	0,11712	0,11494	0,11601
Result Measure													
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,12737	0,13506	0,16471	0,1244	0,12147	0,10282	0,12658	0,12227	0,1235	0,12813	0,13101	0,13086	0,11799

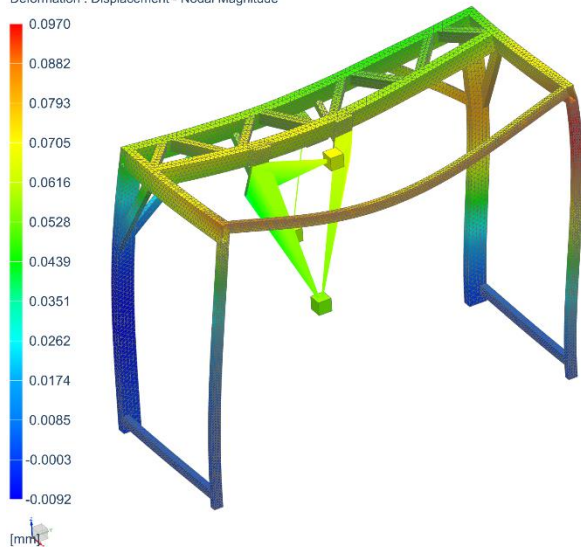
Design Objective Function Results															
Target Weight (2500.000000) [N]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	2244,08	2193,334	2425,604	2305,559	2305,422	2623,701	2157,769	2233,092	2232,845	2271,461	2209,86	2197,372	2473,832	2499,301	2502,127
Design Variable Results															
Name	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_sirka=60	70,14618	62,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	79,99798	79,99966	79,99992
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_vyska=120	91,1142	91,1142	107,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	118,8551	125,5441	128,1455
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_sirka=40	20	20	20	28	20	20	20	20	20	20	20	20	20,00066	20,00072	20,00124
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_vyska=60	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	68,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00054	60,00106
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_tloustka_steny=8	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	5,721006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,000087	4,00009	4,000012
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_tloustka_steny=2	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	4,864865	4,283421	3,911928
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_bocni=300	555	555	555	555	555	555	555	445	555	555	555	555	250,0495	250,0015	250,0109
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_horni=300	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	408,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	242,3718	200,0908	200,1547
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_tloustka_steny=4	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	7,522977	7,729704	7,787464
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_2_odsazeni_osa_bocni=250.717695	544	544	544	544	544	544	544	544	544	444	544	544	699,9247	699,946	699,946
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_vyska=70.090170	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	50,05422	52,6569	55,07047
Design Constraint Results															
Result Measure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Upper Limit = 0.100000 [mm]	0,20064	0,2245	0,16325	0,20648	0,20101	0,17021	0,20278	0,19203	0,1986	0,1998	0,20577	0,20422	0,11646	0,11168	0,11445
Upper Limit = 0.250000 [mm]	0,39245	0,42619	0,30057	0,39223	0,38916	0,33382	0,39323	0,39835	0,38908	0,39139	0,39626	0,39716	0,2406	0,22195	0,21952
Upper Limit = 0.045000 [mm]	0,052729	0,057893	0,038076	0,049133	0,048013	0,039284	0,054455	0,055109	0,062116	0,052203	0,05353	0,053713	0,043995	0,040763	0,039287
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,20064	0,2245	0,16325	0,20648	0,20101	0,17021	0,20278	0,19203	0,1986	0,1998	0,20577	0,20422	0,11646	0,11168	0,11445
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,1593	0,16977	0,11112	0,15775	0,15565	0,13253	0,15856	0,16756	0,15823	0,15904	0,1625	0,16128	0,1022	0,092807	0,089333

Design Objective Function Results											
Target Weight (2500.000000) [N]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2371,749	2326,683	2560,3	2434,53	2434,345	2752,717	2286,693	2384,235	2351,692	2405,733	2321,363
Design Variable Results											
Name	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_sirka=60	70,14618	62,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618	70,14618
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_vyska=120	91,1142	91,1142	107,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142	91,1142
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_sirka=40	20	20	20	28	20	20	20	20	20	20	20
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_vyska=60	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	68,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002	60,00002
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_1_tloustka_steny=8	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	5,721006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006	4,121006
"Ram_svarovaci_segment_v2":jekl_2_tloustka_steny=2	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086	5,992086
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_bocni=300	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027	256,027
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_odsazeni_osa_horni=300	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578	528,4578
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_tloustka_steny=4	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517	5,218517
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_2_odsazeni_osa_bocni=250.717695	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122	544,5122
"Ram_svarovaci_segment_v2":zebro_1_vyska=70.090170	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765	66,56765
Design Constraint Results											
Result Measure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Upper Limit = 0.100000 [mm]	0,13873	0,15247	0,11413	0,14474	0,13966	0,11589	0,14073	0,14967	0,14101	0,13753	0,14343
Upper Limit = 0.250000 [mm]	0,36603	0,3907	0,27617	0,36431	0,36249	0,3118	0,36602	0,36387	0,36614	0,36424	0,37297
Upper Limit = 0.045000 [mm]	0,055417	0,06048	0,039846	0,051727	0,050143	0,041774	0,057674	0,05207	0,064283	0,054456	0,056722
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,16796	0,17857	0,12858	0,15308	0,16209	0,14297	0,16854	0,16792	0,16659	0,16884	0,16019
Upper Limit = 0.150000 [mm]	0,16598	0,17679	0,1155	0,16424	0,1619	0,13892	0,16557	0,16372	0,16746	0,16527	0,17525

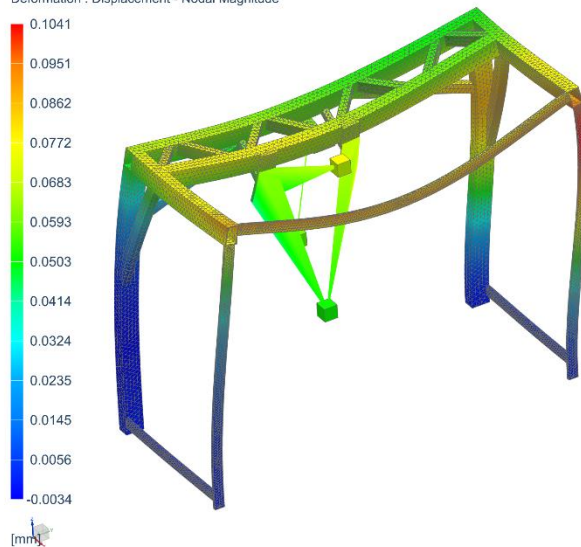
2.2.2 Výsledky porovnávacího výpočtu



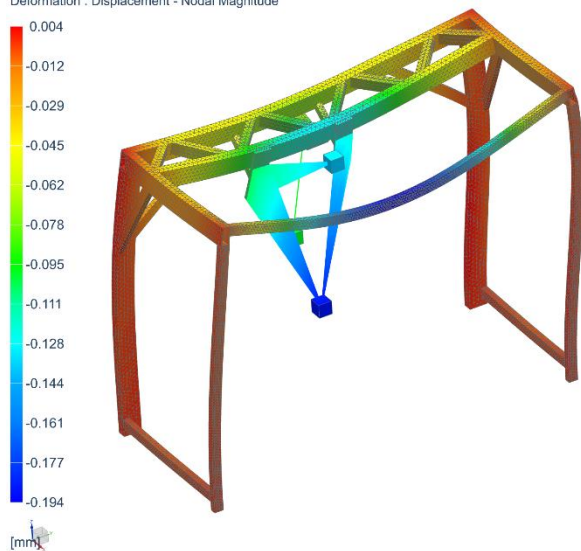
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Y
 Min : -0.0092, Max : 0.0970, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



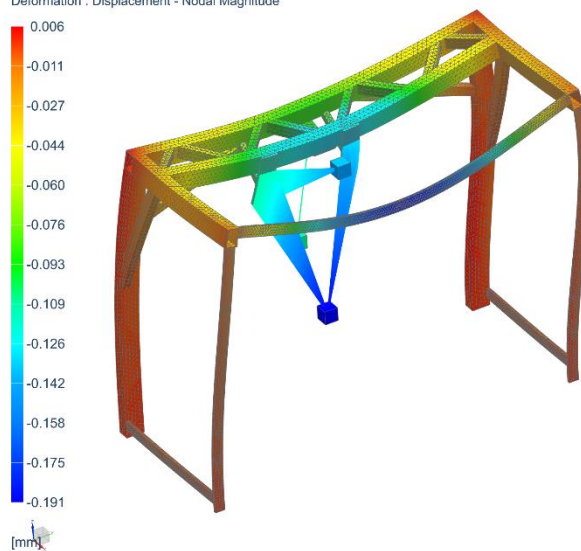
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Y
 Min : -0.0034, Max : 0.1041, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



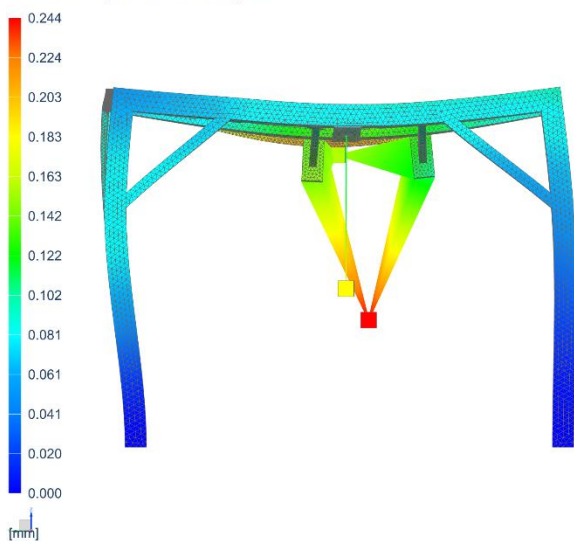
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Z
 Min : -0.194, Max : 0.004, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



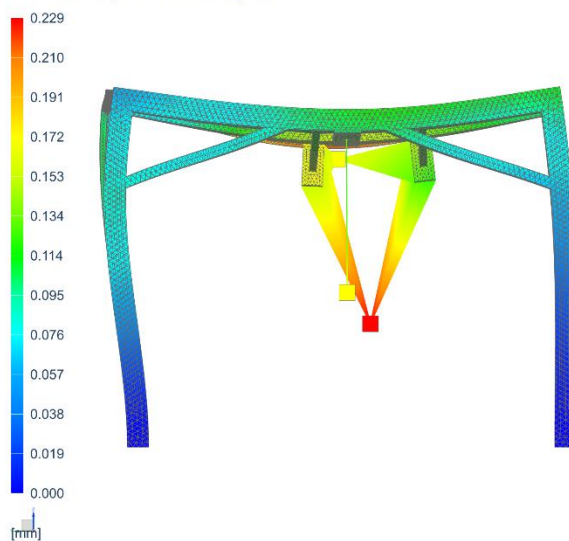
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Z
 Min : -0.191, Max : 0.006, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



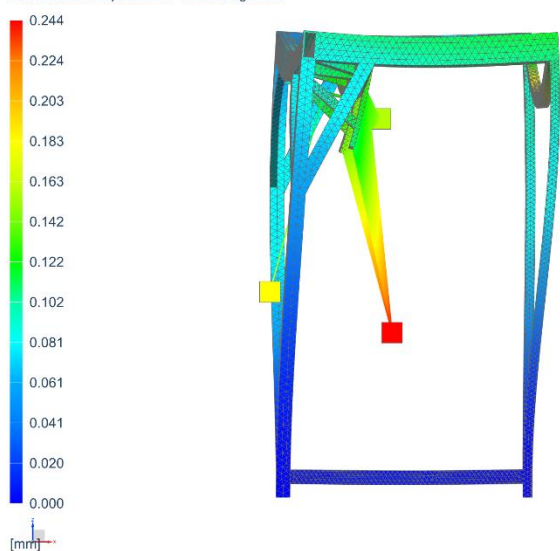
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.244, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



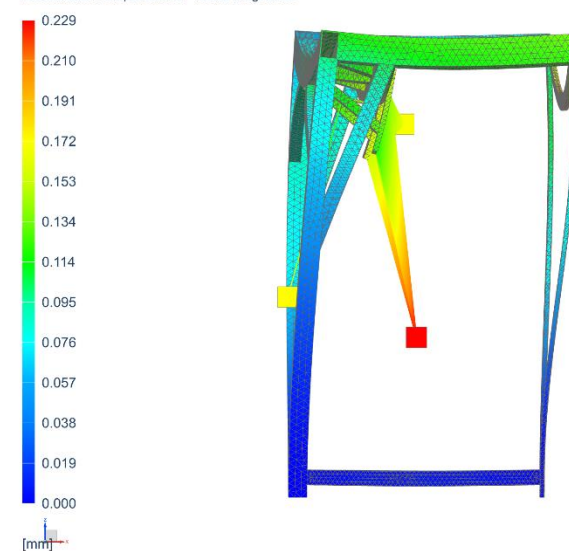
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.229, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



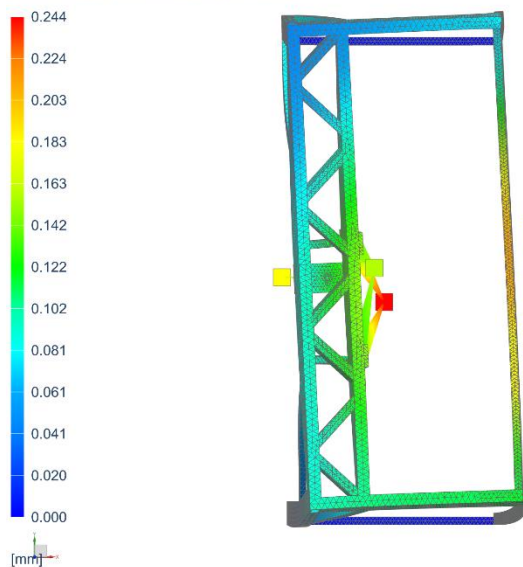
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.244, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



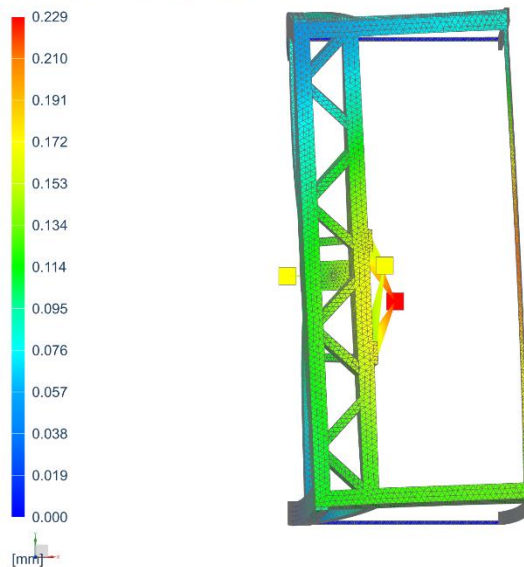
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.229, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



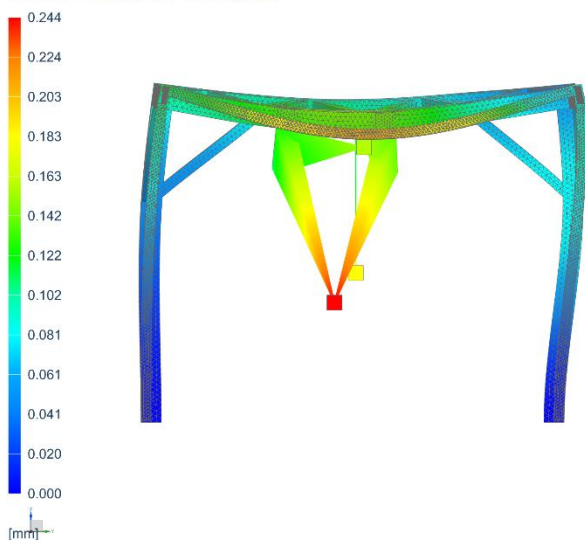
Ram_svarovaci_segmen_t_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.244, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



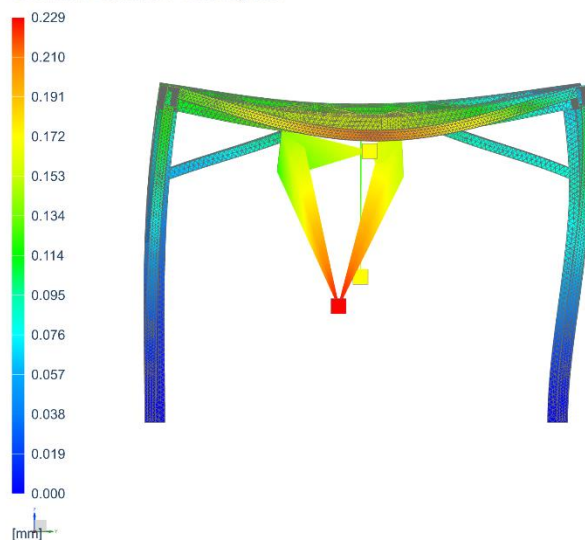
Ram_svarovaci_segmen_t_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.229, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Ram_svarovaci_segmen_t_v3_sim1 : IN101_v2_OLD_design Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.244, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Ram_svarovaci_segmen_t_v3_sim1 : LIN101_v1_NEW_gOpt_result Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.229, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

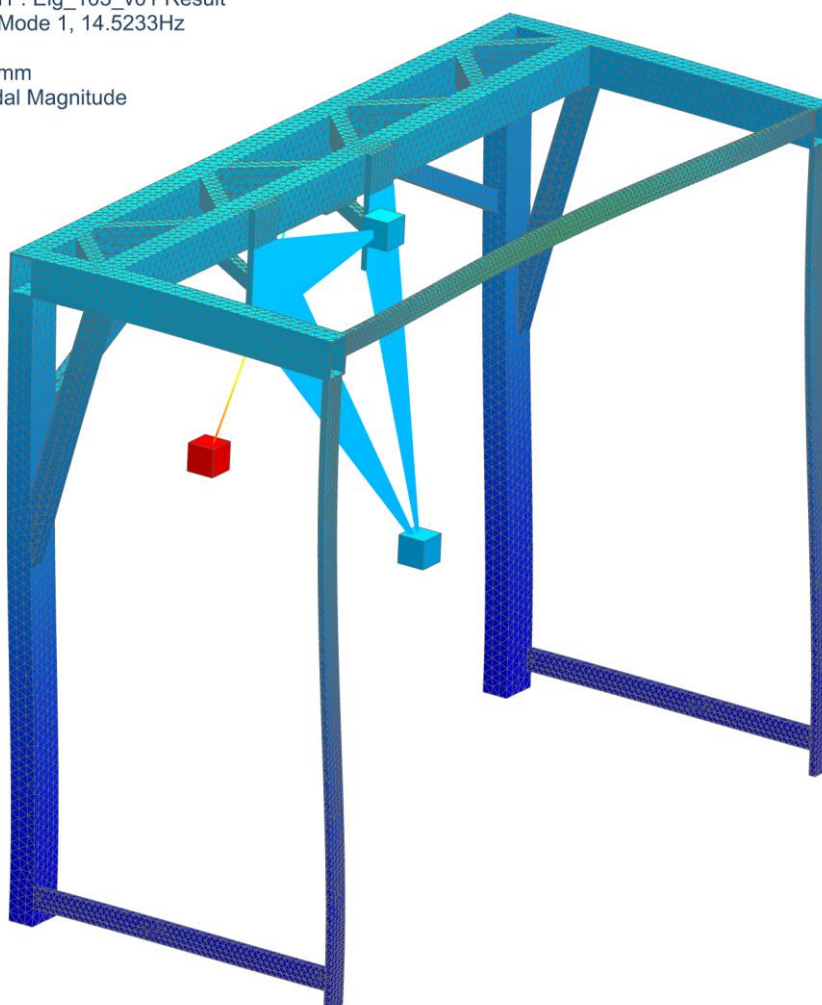


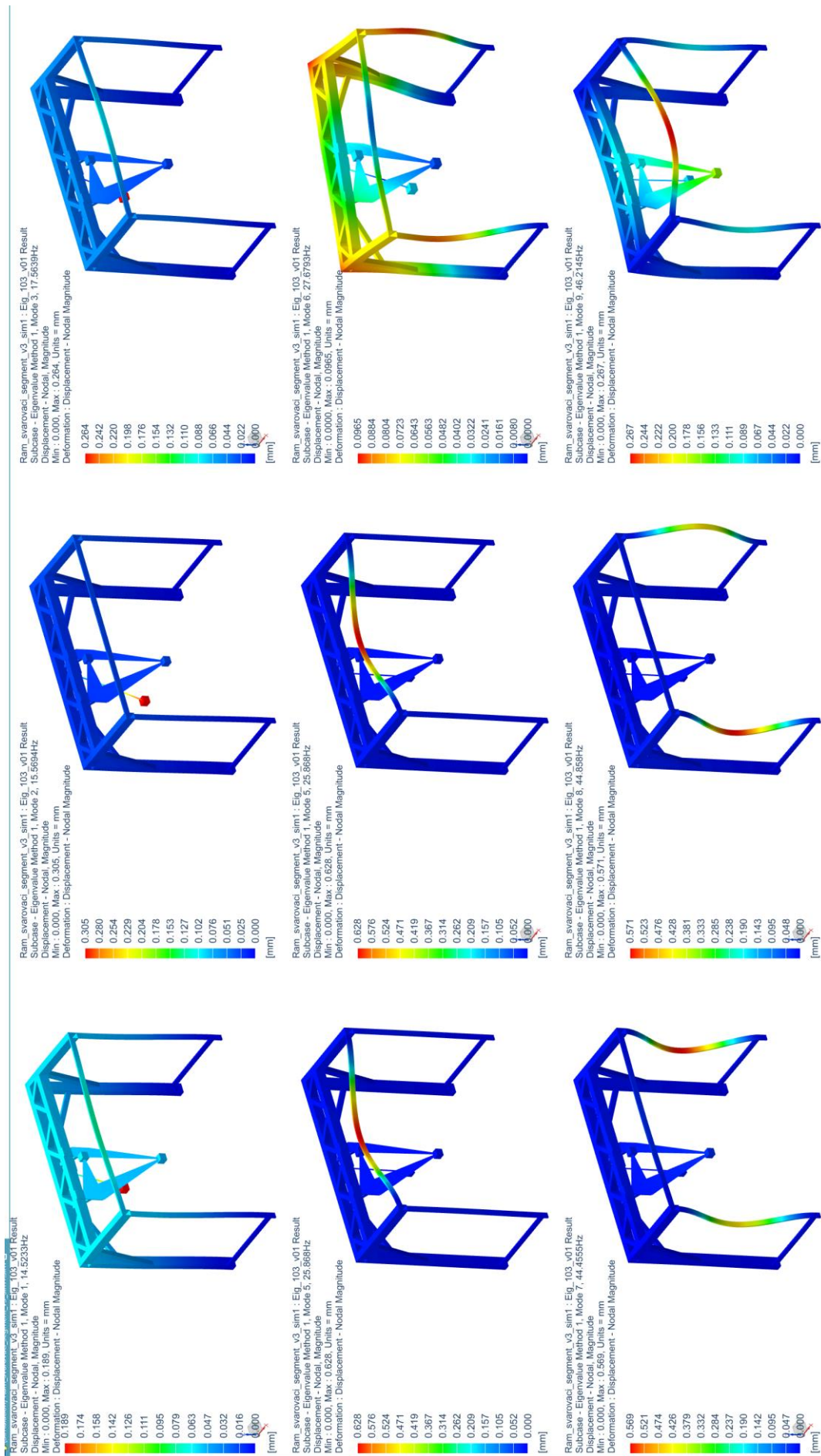
2.2.3 Výsledky modální analýzy

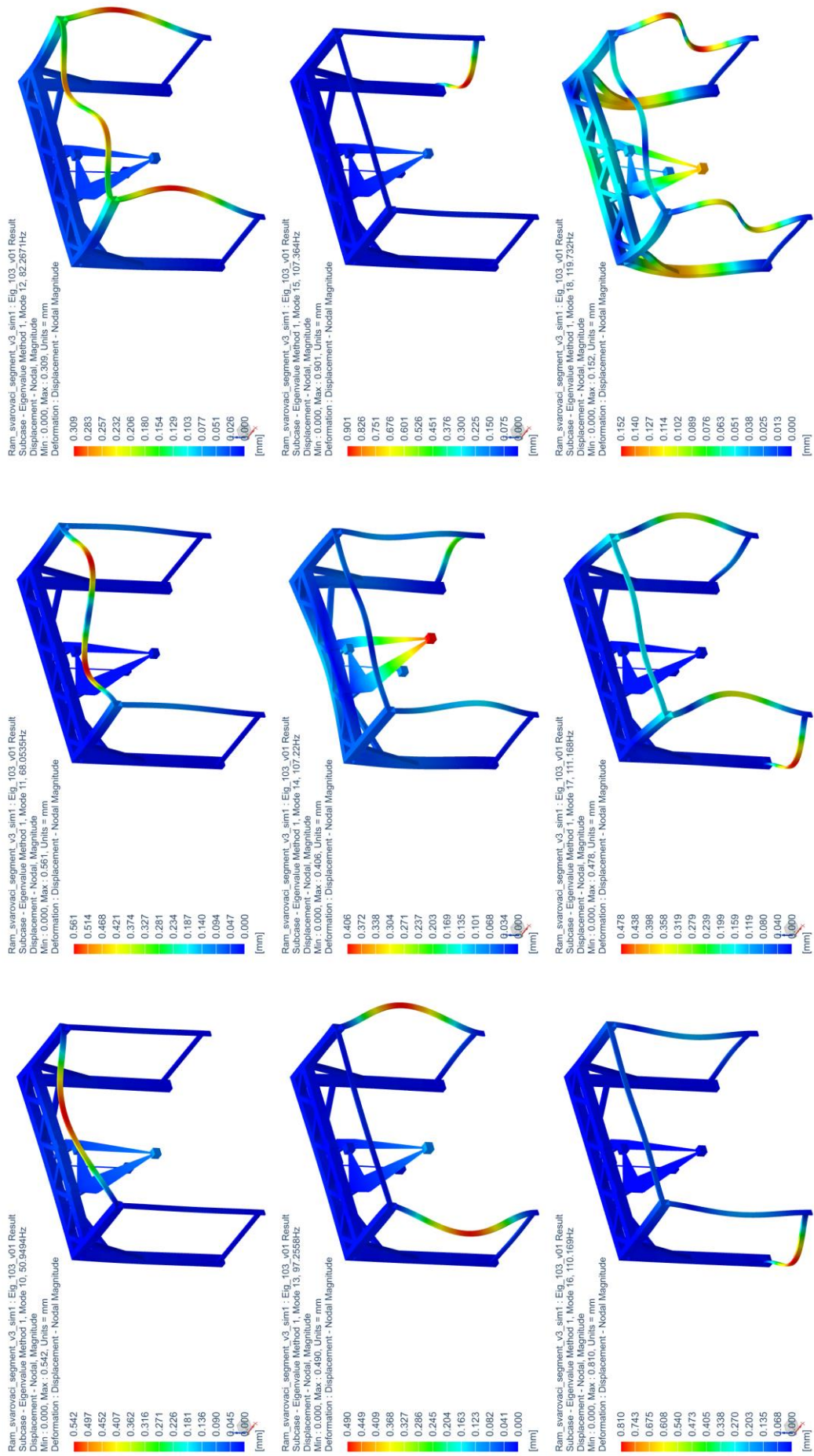
Ram_svarovaci_segment_v3_sim1 : Eig_103_v01 Result
Subcase - Eigenvalue Method 1, Mode 1, 14.5233Hz
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.189, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



[mm]

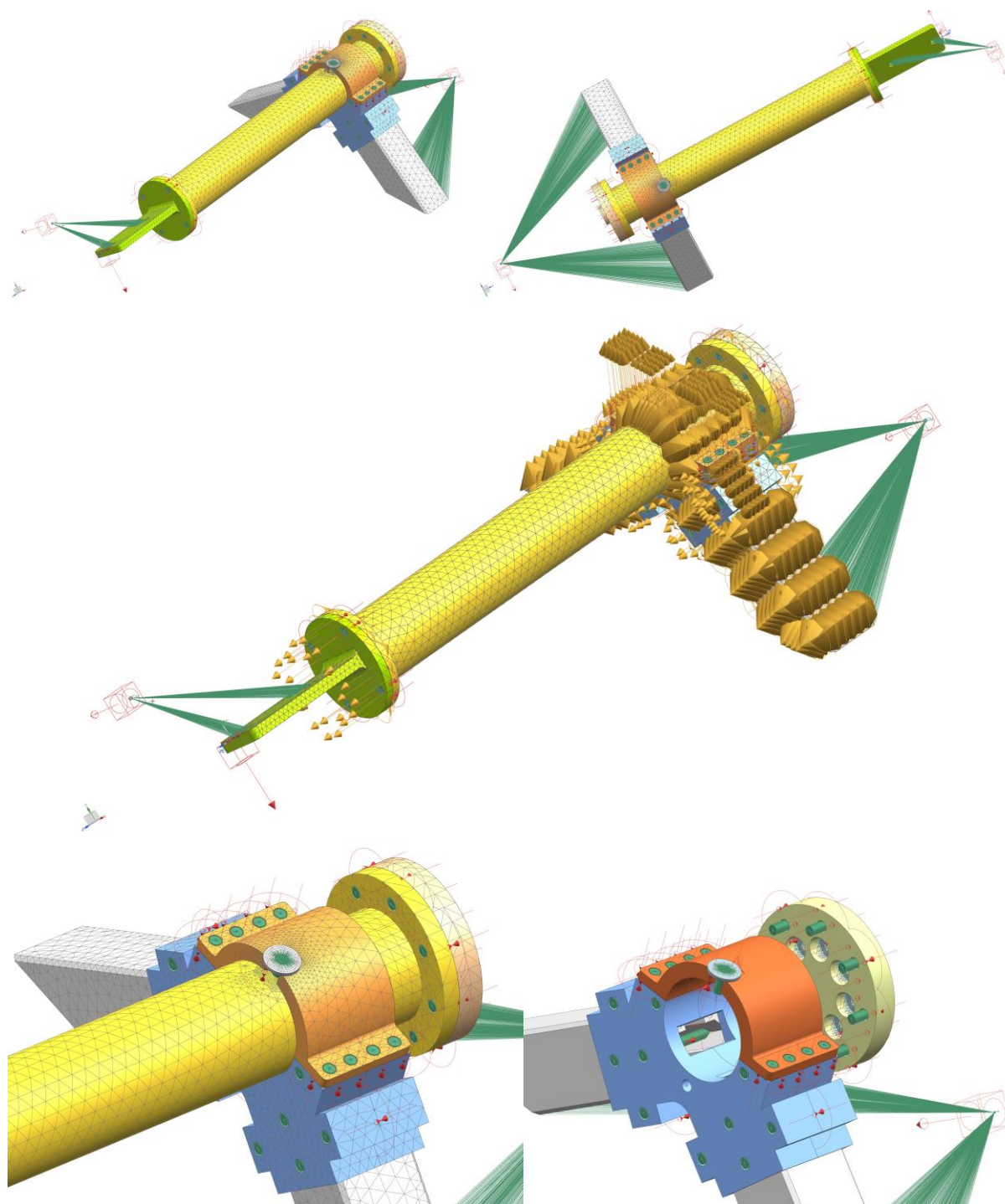






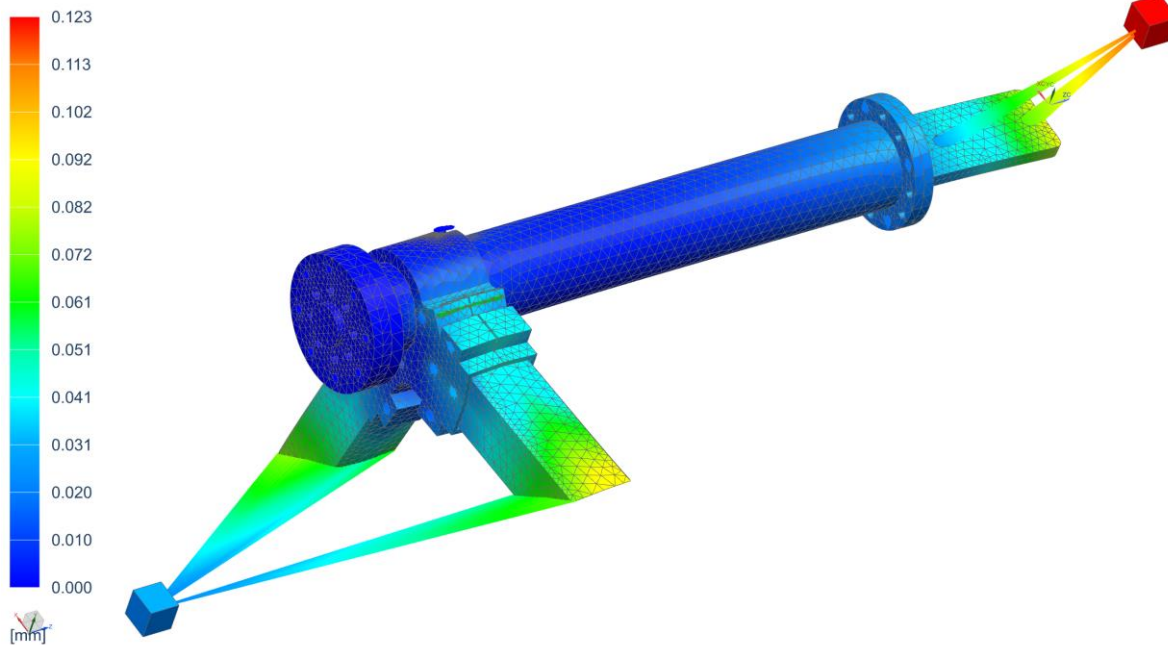
2.3 MKP výpočet zakládacího přípravku

2.3.1 Definice výpočtu

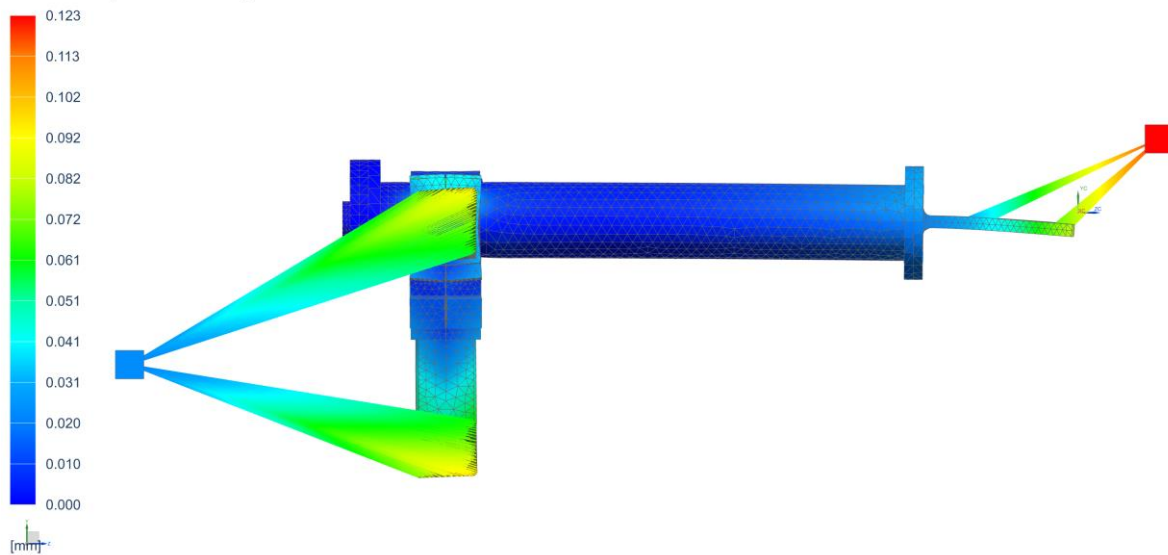


2.3.2 Výsledky simulace

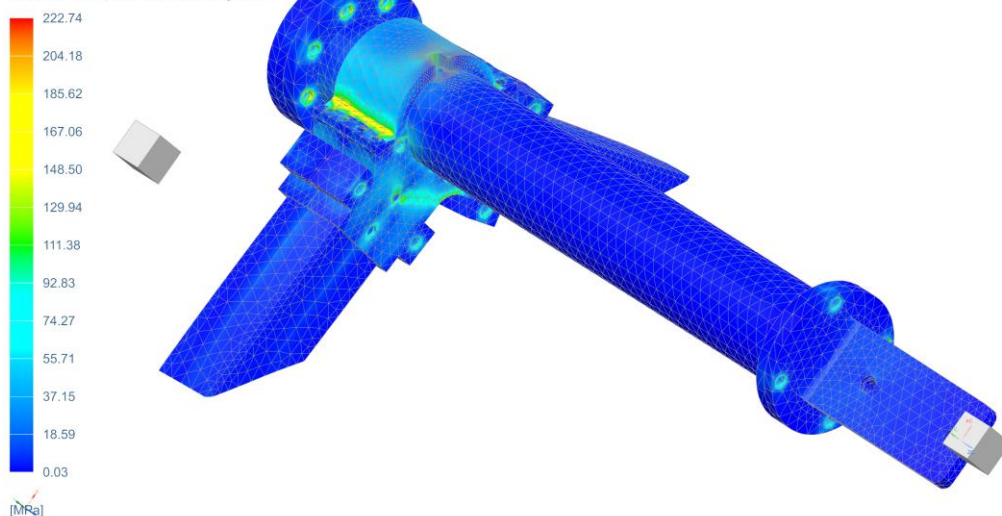
_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v03 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.123, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



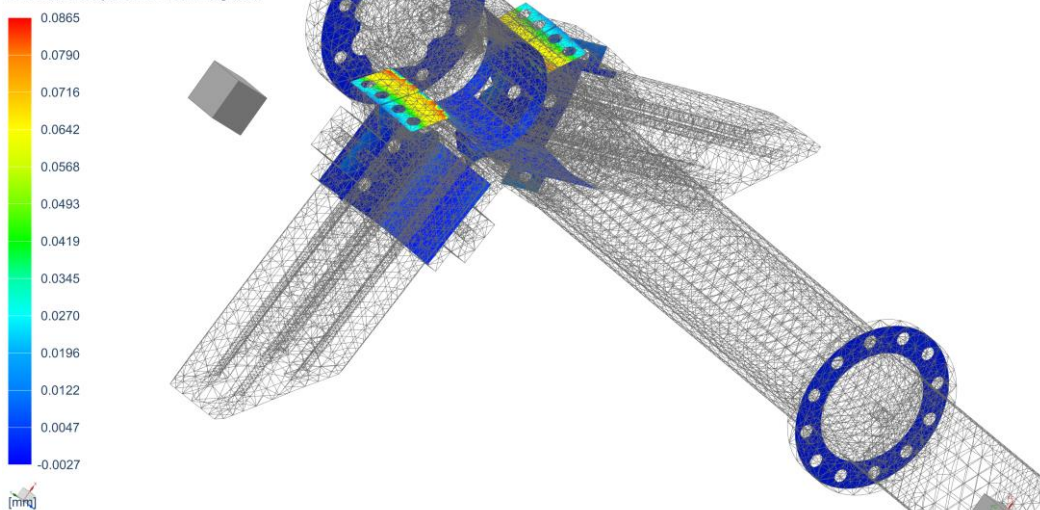
_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v03 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.123, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



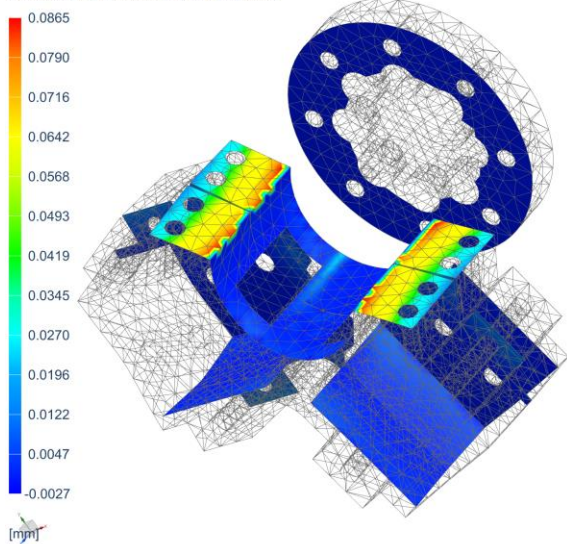
_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v03 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
 Beam Section : Recovery Point C
 Min : 0.03, Max : 415.85, Units = MPa
 Beam Coord sys : Local
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



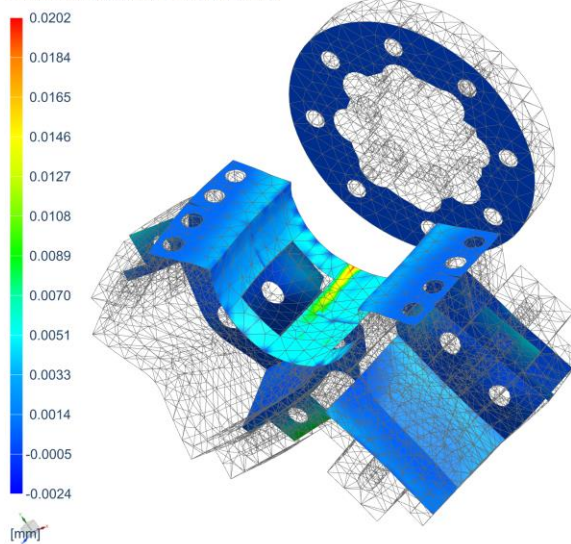
_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v03 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Final Contact Separation - Nodal, Scalar
 Min : -0.003, Max : 0.497, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v03 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Final Contact Separation - Nodal, Scalar
 Min : -0.003, Max : 0.497, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



_gripp_jig_v1_MKP_sim1 : Lin101_cntct_v02 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Final Contact Separation - Nodal, Scalar
 Min : -0.002, Max : 0.496, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



3 C – Tabulky a schémata v MS Excel

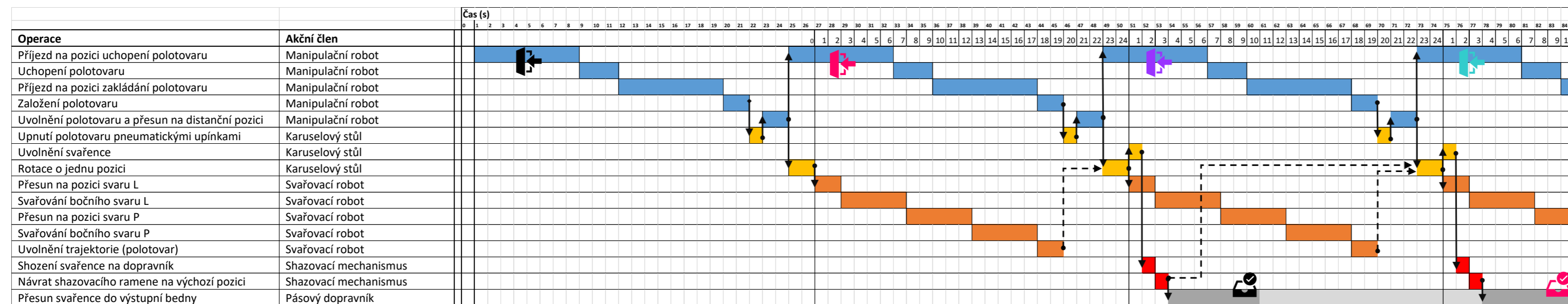
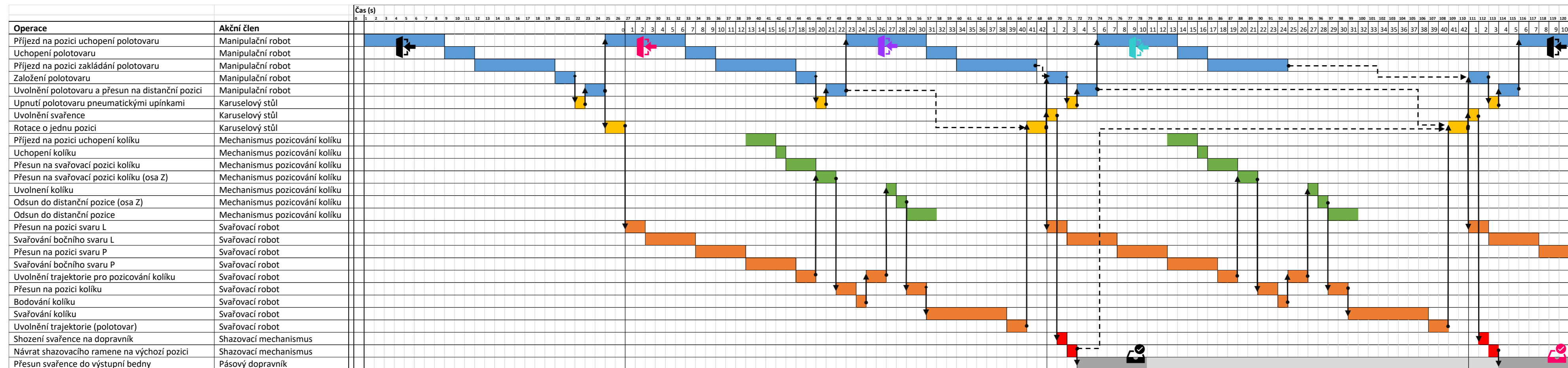
3.1 Odhad časů výrobního cyklu

3.1.1 Varianta s kolíkem

-Horní graf

3.1.2 Varianta bez kolíku

-Spodní graf



3.2 Nákladové tabulky

3.2.1 Fixní náklady

Cena, součet, spodní odhad:	Cen, součet, horní odhad:
3 554 100 Kč	5 700 150 Kč

Materiálové náklady

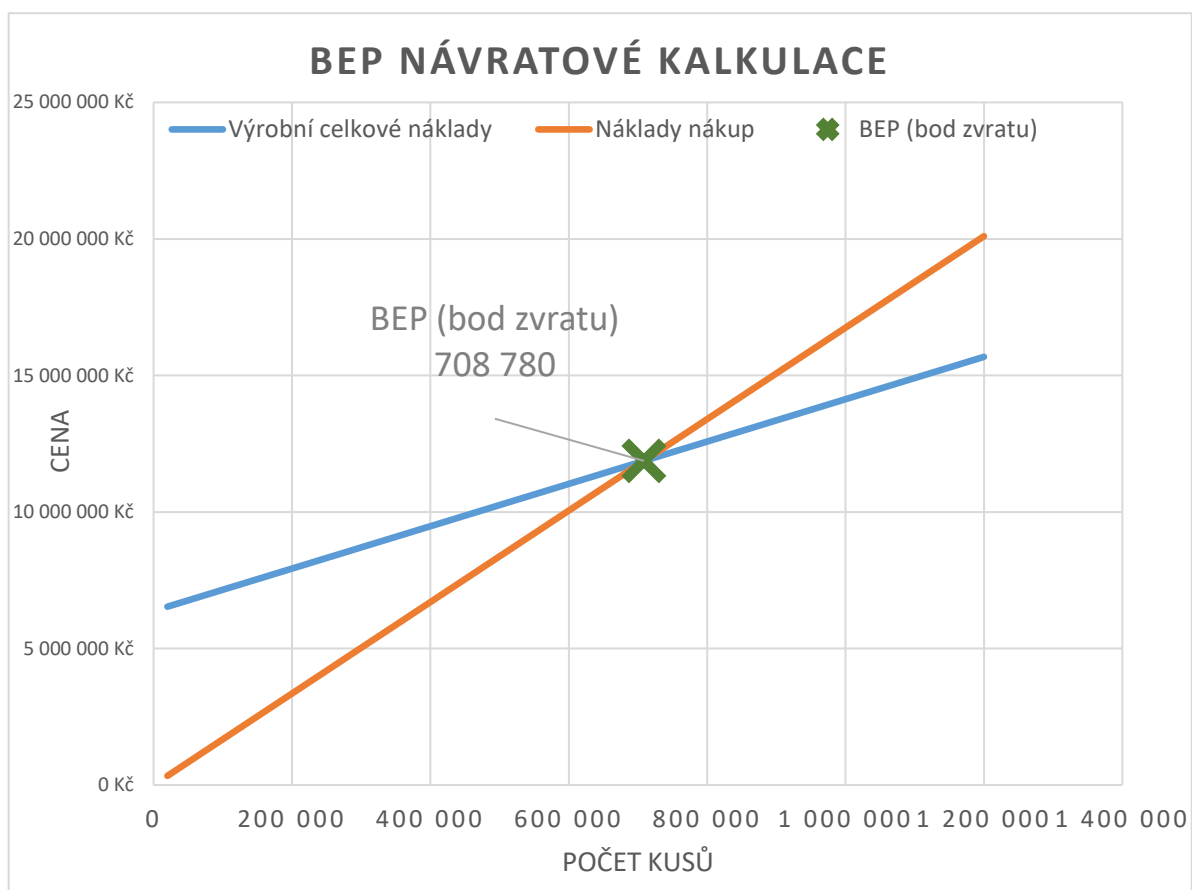
Číslo položky	Funkční skupina	Komponenta - označení	Skup / výroba	Typ výroby	Model	Výrobce	Poznámka	Počet kus / množství	Lehotka	Odhad ceny za kus, spodní	Odhad ceny za kus, horní	Mezisoučet, spodní	Mezisoučet, horní
27	indexace	karusel, pneumatický	N		DHTG-220-3-A	Festo		1		170 000 Kč	250 000 Kč	170 000 Kč	250 000 Kč
30	indexace	indexační přípravek (tělo)	V	svařenec, CNC				3		15 000 Kč	25 000 Kč	45 000 Kč	75 000 Kč
40	indexace	prozvaděč, pneu. (terminál)	N			Festo		1		30 000 Kč	60 000 Kč	30 000 Kč	60 000 Kč
32	indexace	pneumatické upínky	N		CLR-16-xxx-K11-R8	Festo	pro prostředí svařování	6		3 000 Kč	8 000 Kč	18 000 Kč	48 000 Kč
31	indexace	dosedací elementy	V	CNC				12		2 000 Kč	3 000 Kč	24 000 Kč	36 000 Kč
28	indexace	základna karuselu (stůl)	V	svařenec				1		20 000 Kč	25 000 Kč	20 000 Kč	25 000 Kč
44	indexace	čidla	N		SME-xxx	Festo		12		900 Kč	1 500 Kč	10 800 Kč	18 000 Kč
29	indexace	deska	V	plech				1		5 000 Kč	15 000 Kč	5 000 Kč	15 000 Kč
34	indexace	uchycení konektoru	V	CNC				1		7 000 Kč	12 000 Kč	7 000 Kč	12 000 Kč
37	indexace	šroubení	N			Festo		30		250 Kč	350 Kč	7 500 Kč	10 500 Kč
33	indexace	rotační konektor (slip ring)	N			Čína		1		5 000 Kč	8 000 Kč	5 000 Kč	8 000 Kč
35	indexace	krytování konektoru	V	plech, svařenec				1		3 000 Kč	8 000 Kč	3 000 Kč	8 000 Kč
43	indexace	dvířka, příslušenství	N			ITEM		15		100 Kč	250 Kč	1 500 Kč	3 750 Kč
38	indexace	fitinky	N			Festo		10		150 Kč	250 Kč	1 500 Kč	2 500 Kč
39	indexace	oplety	N			Parker		5 m		300 Kč	500 Kč	1 500 Kč	2 500 Kč
41	indexace	dvířka stolu, plech	V	plech				2		500 Kč	1 000 Kč	1 000 Kč	2 000 Kč
42	indexace	dvířka, alu profily	N			ITEM	20x20	5 m		200 Kč	250 Kč	1 000 Kč	1 250 Kč
36	indexace	hadice	N			Festo		5 m		40 Kč	60 Kč	200 Kč	300 Kč
69	manipulace, kolík	vibrační zásobník/podavač	V	Specifické		Specifické		1		350 000 Kč	550 000 Kč	350 000 Kč	550 000 Kč
61	manipulace, kolík	kartézský manipulátor	N			Festo		1		250 000 Kč	400 000 Kč	250 000 Kč	400 000 Kč
63	manipulace, kolík	chlapadla	V	CNC				2		15 000 Kč	25 000 Kč	30 000 Kč	50 000 Kč
73	manipulace, kolík	Rozvaděč, pneu (Terminál)	N			Festo		1		30 000 Kč	50 000 Kč	30 000 Kč	50 000 Kč
62	manipulace, kolík	gripper	N		HGPT-B-35-A-B	Festo		1		25 000 Kč	30 000 Kč	25 000 Kč	30 000 Kč
68	manipulace, kolík	čidla	N		SME-xx	Festo		10		900 Kč	1 500 Kč	9 000 Kč	15 000 Kč
72	manipulace, kolík	plnění kolíků, vyztužení	N			ITEM	příslušenství, montáž	10		150 Kč	300 Kč	1 500 Kč	3 000 Kč
64	manipulace, kolík	kryt, gripper	V	plech, ohyb				1		1 000 Kč	1 500 Kč	1 000 Kč	1 500 Kč
65	manipulace, kolík	kryt, kabeláž	V	plech, ohyb				1		1 000 Kč	1 500 Kč	1 000 Kč	1 500 Kč
67	manipulace, kolík	šroubení	N			Festo		5		250 Kč	300 Kč	1 250 Kč	1 500 Kč
70	manipulace, kolík	plnění kolíků, rám	N			ITEM	40x40	2 m		500 Kč	550 Kč	1 000 Kč	1 100 Kč
71	manipulace, kolík	plnění kolíků, skluz	V	plech, ohyb				1		500 Kč	700 Kč	500 Kč	700 Kč
66	manipulace, kolík	hadice	N			Festo		10 m		40 Kč	50 Kč	400 Kč	500 Kč
1	manipulace, polotovar	robot, manipulační	N		M-20iB/35S	Fanuc		1		430 000 Kč	750 000 Kč	430 000 Kč	750 000 Kč
19	manipulace, polotovar	proložky	V	lis				20		2 000 Kč	5 000 Kč	40 000 Kč	100 000 Kč
20	manipulace, polotovar	prozvaděč, pneu. (terminál)	N			Festo	Motion terminal	1		30 000 Kč	55 000 Kč	30 000 Kč	55 000 Kč
5	manipulace, polotovar	gripper	N		HGPL-25-20-A-B	Festo		1		35 000 Kč	45 000 Kč	35 000 Kč	45 000 Kč
8	manipulace, polotovar	rám vakua, ukotvení, konzola	V	CNC				2		10 000 Kč	20 000 Kč	20 000 Kč	40 000 Kč
12	manipulace, polotovar	generator vakua	N			Festo		1		25 000 Kč	40 000 Kč	25 000 Kč	40 000 Kč
18	manipulace, polotovar	Gitterbox	N					3		4 000 Kč	8 000 Kč	12 000 Kč	24 000 Kč
6	manipulace, polotovar	chlapadla (lopatky)	V	CNC				2		5 000 Kč	10 000 Kč	10 000 Kč	20 000 Kč
3	manipulace, polotovar	telo přípravku, rameno	V	svařenec				1		5 000 Kč	10 000 Kč	5 000 Kč	10 000 Kč
15	manipulace, polotovar	šroubení	N			Festo		25		250 Kč	350 Kč	6 250 Kč	8 750 Kč
14	manipulace, polotovar	čidla	N		SME-xxx	Festo		5		900 Kč	1 500 Kč	4 500 Kč	7 500 Kč
11	manipulace, polotovar	přísavky	N		ESG	Festo		12		300 Kč	500 Kč	3 600 Kč	6 000 Kč
2	manipulace, polotovar	držák přípravku, rameno	V	soustruh, vrtání				1		2 000 Kč	5 000 Kč	2 000 Kč	5 000 Kč
7	manipulace, polotovar	rám vakua, ukotvení, svorka	V	CNC				1		3 000 Kč	5 000 Kč	3 000 Kč	5 000 Kč
16	manipulace, polotovar	zarážka, gitterbox	V	svařenec				1		3 000 Kč	5 000 Kč	3 000 Kč	5 000 Kč
4	manipulace, polotovar	koncovka přípravku, rameno	V	svařenec				1		1 000 Kč	4 000 Kč	1 000 Kč	4 000 Kč
17	manipulace, polotovar	zarážka, paleta, proložky	V	svařenec				1		2 000 Kč	4 000 Kč	2 000 Kč	4 000 Kč
10	manipulace, polotovar	rám vakua, vyztužení	V	plech				10		100 Kč	200 Kč	1 000 Kč	2 000 Kč
9	manipulace, polotovar	rám vakua, ALU profily	N			ITEM	40x40	2 m		500 Kč	550 Kč	1 000 Kč	1 100 Kč
13	manipulace, polotovar	hadice	N			Festo		5 m		40 Kč	60 Kč	200 Kč	300 Kč
89	montážní příslušenství	šrouby	N			Specifické		500		50 Kč	70 Kč	25 000 Kč	35 000 Kč
91	montážní příslušenství	rohové spojovače	N			ITEM		200		50 Kč	80 Kč	10 000 Kč	16 000 Kč
90	montážní příslušenství	matice	N			Specifické		500		10 Kč	20 Kč	5 000 Kč	10 000 Kč
75	rám, krytování	Ochranný rám, ALU profily	N			ITEM	60x60 a 40x40	50 m		1 500 Kč	2 000 Kč	75 000 Kč	100 000 Kč
74	rám, krytování	Nosný rám, manipulátor + shazova	V	svařenec				1		50 000 Kč	80 000 Kč	50 000 Kč	80 000 Kč
76	rám, krytování	Ochranný rám, krytování	V	plechy				30 m^2		500 Kč	700 Kč	15 000 Kč	21 000 Kč
78	rám, krytování	Dveře, posuvné, přidavné prvky	N			Haberkorn		10		1 500 Kč	2 000 Kč	15 000 Kč	20 000 Kč
79	rám, krytování	Dveře, servisní	N			Haberkorn		2		5 000 Kč	7 000 Kč	10 000 Kč	14 000 Kč
82	rám, krytování	čidla	N		SME-xx	Festo		6		900 Kč	1 500 Kč	5 400 Kč	9 000 Kč
81	rám, krytování	ostatní příslušenství	N			ITEM		20		150 Kč	300 Kč	3 000 Kč	6 000 Kč
80	rám, krytování	spojovací prvky	N			ITEM		20		200 Kč	250 Kč	4 000 Kč	5 000 Kč
77	rám, krytování	Dveře, posuvné, ALU profily	N			ITEM	30x30	5 m		400 Kč	500 Kč	2 000 Kč	2 500 Kč
83	řízení	řídící systém, roboty	N		R30iB Plus	Fanuc		1		180 000 Kč	310 000 Kč	180 000 Kč	310 000 Kč
85	řízení	PLC centrální řízení	N			Fanuc		1		50 000 Kč	150 000 Kč	50 000 Kč	150 000 Kč
86	řízení	elektroinstalace	N			Specifické		1		50 000 Kč	100 000 Kč	50 000 Kč	100 000 Kč
84	řízení	řízení, motory, manipulátor	N		CMMT-ST-xxx	Festo		3		18 000 Kč	25 000 Kč	54 000 Kč	75 000 Kč
88	řízení	Pneu, centrální terminál	N			Festo		1		30 000 Kč	50 000 Kč	30 000 Kč	50 000 Kč
87	řízení	kabeláž	N			Specifické		1		20 000 Kč	30 000 Kč	20 000 Kč	30 000 Kč
21	svařování	robot svařovací	N		ARC Mate 100iD	Fanuc		1		390 000 Kč	600 000 Kč	390 000 Kč	600 000 Kč
24	svařování	manipulační příslušenství pro drát	N			LINCOLN		1		100 000 Kč	200 000 Kč	100 000 Kč	200 000 Kč
23	svařování	podavač drátu	N			LINCOLN		1		100 000 Kč	150 000 Kč	100 000 Kč	150 000 Kč
26	svařování	zdroj, MIG	N		Power Wave R450	LINCOLN		1		390 000 Kč	480 000 Kč	390 000 Kč	480 000 Kč
22	svařování	MIG hořák	N			LINCOLN		1		30 000 Kč	60 000 Kč	30 000 Kč	60 000 Kč
25	svařování	stožan, robot	V	svařenec				1		5 000 Kč	10 000 Kč	5 000 Kč	10 000 Kč
52	vyhazování svařence	pásový dopravník	N			Alusic		1		100 000 Kč	150 000 Kč	100 000 Kč	150 000 Kč
46	vyhazování svařence	převodová jednotka	N		ERMB-32	Festo		1		60 000 Kč	70 000 Kč	60 000 Kč	70 000 Kč
45	vyhazování svařence	krokový motor	N		EMMT-AS-80	Festo		1		30 000 Kč	40 000 Kč	30 000 Kč	40 000 Kč
54	vyhazování svařence	lideární vedení	N			Haberkorn	Do ALU profilů	4		4 000 Kč	6 000 Kč	16 000 Kč	24 000 Kč
56	vyhazování svařence	ALU profily	N			ITEM	45x45 (60x60)	20 m		450 Kč	700 Kč	9 000 Kč	14 000 Kč
51	vyhazování svařence	uchycení k rámu (jekl)	V	svařenec				1		5 000 Kč	10 000 Kč	5 000 Kč	10 000 Kč
53	vyhazování svařence	pneumatický válec	N		DSBF-C-50-250-xx	Festo		1		6 000 Kč	8 000 Kč	6 000 Kč	8 000 Kč
57	vyhazování svařence	spojovací materiál	N			ITEM		50		100 Kč	150 Kč	5 000 Kč	7 500 Kč
60	vyhazování svařence	čidla	N		SME-xx	Festo		5		900 Kč	1 500 Kč	4 500 Kč	7 500 Kč
58	vyhazování svařence	boční krytování dopravníku	V	plech				6 m^2		500 Kč	700 Kč	3 000 Kč	4 200 Kč
59	vyhazování svařence	vyztužení (ALU)	N			ITEM		20		150 Kč	200 Kč	3 000 Kč	4 000 Kč
47	vyhazování svařence	shazovací vidlice	V	svařenec, ohyb				1		2 000 Kč	3 000 Kč	2 000 Kč	3 000 Kč
48	vyhazování svařence	ukotvení motoru	N			Festo		1		2 000 Kč	3 000 Kč	2 000 Kč	3 000 Kč
55	vyhazování svařence	plechové skluzy	V	plech				2		500 Kč	1 500 Kč	1 000 Kč	3 000 Kč
49	vyhazování svařence	příruba vidlice	V	CNC				1		1 500 Kč	2 500 Kč	1 500 Kč	2 500 Kč
50	vyhazování svařence	kotevní deska	V	plech				1		500 Kč	700 Kč	500 Kč	700 Kč

3.2.2 Výpočet návratnosti – bod zvratu

Položka	Hodnota	Jednotka	
Fixní pořizovací náklady	6 376 150,00 Kč	pořizovací	
Výrobní náklady	7,75 Kč	za kus	
Nákupní současná cena	16,75 Kč	za kus	
Roční produkce	250 000	kusů	

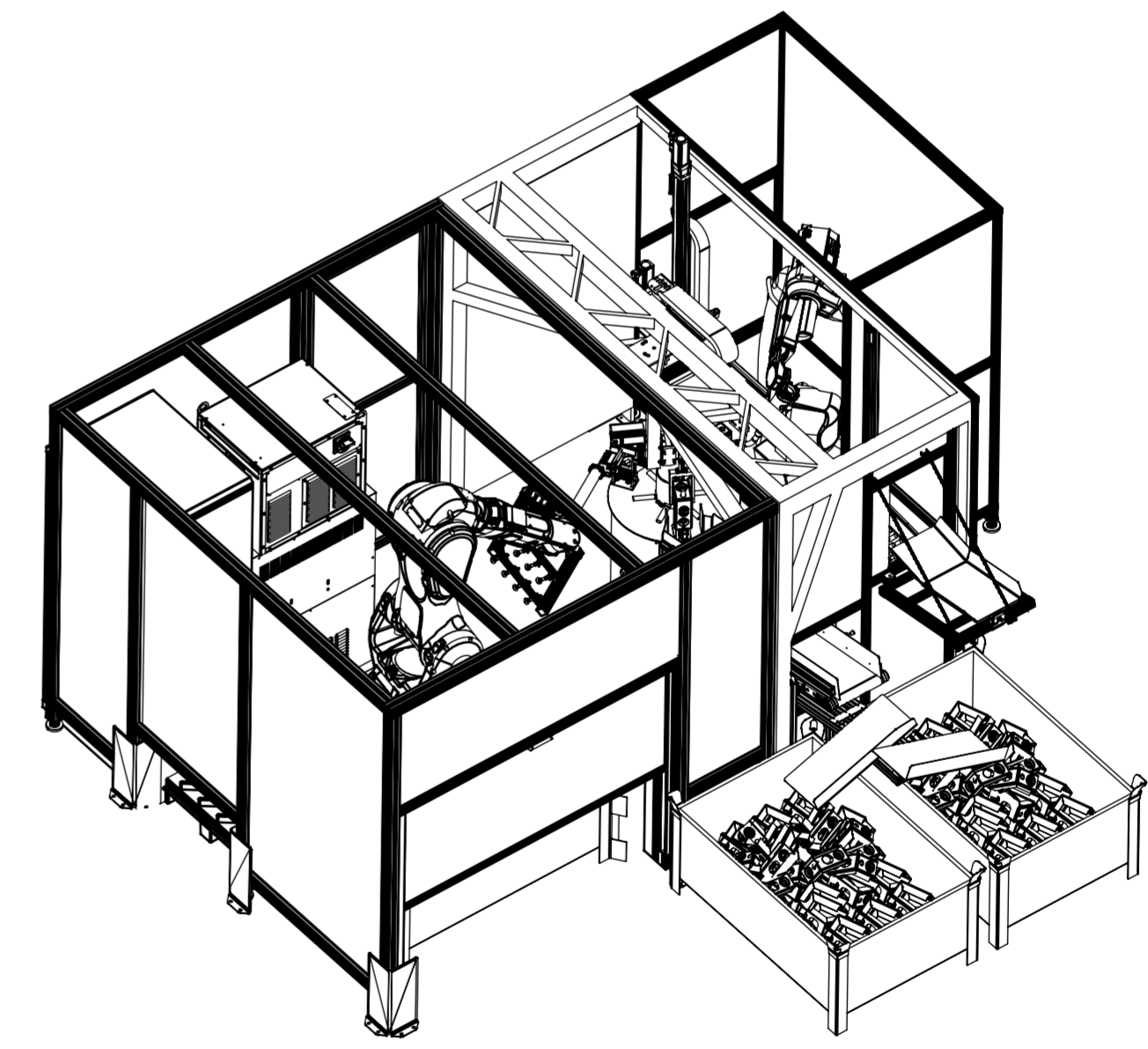
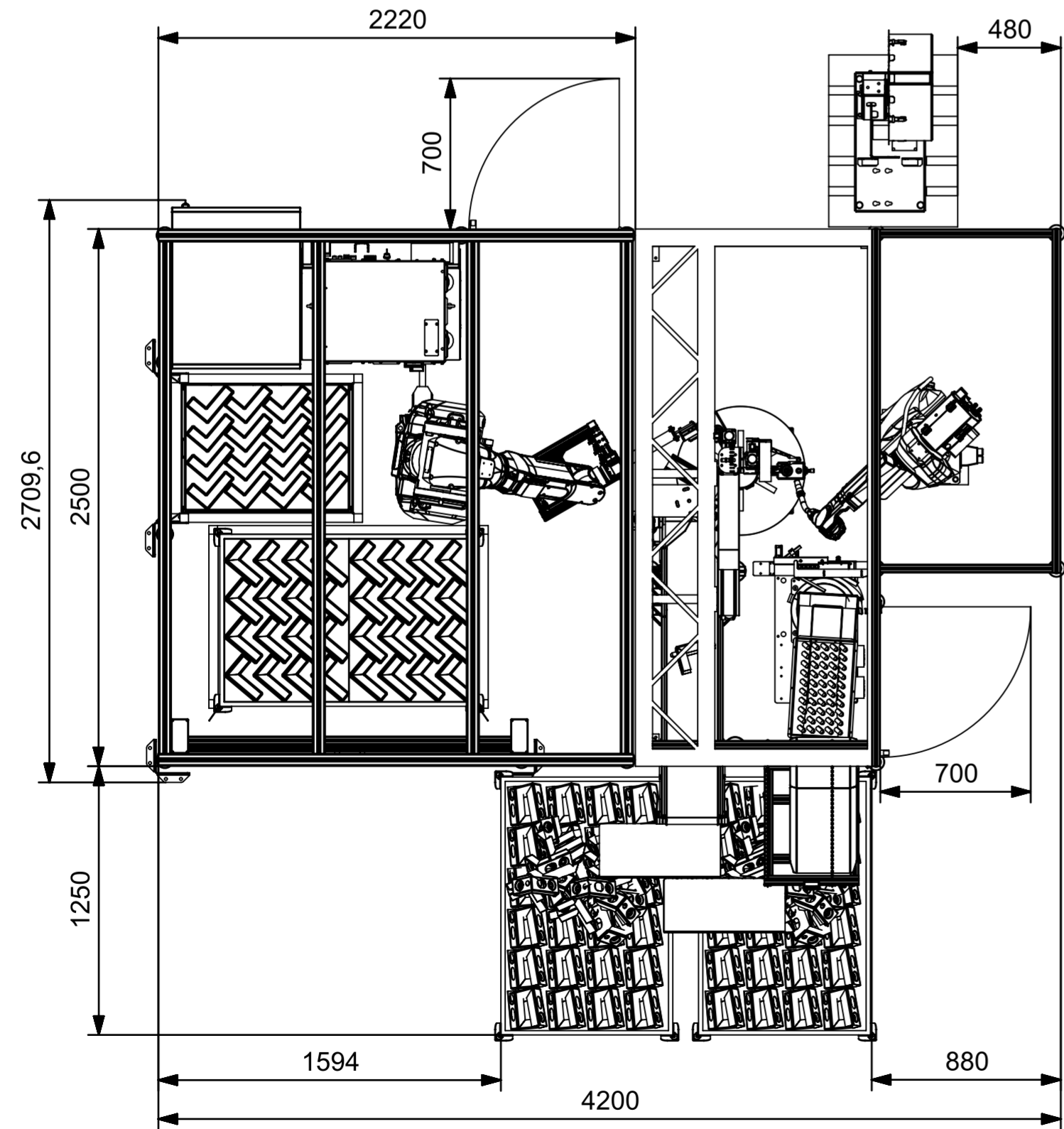
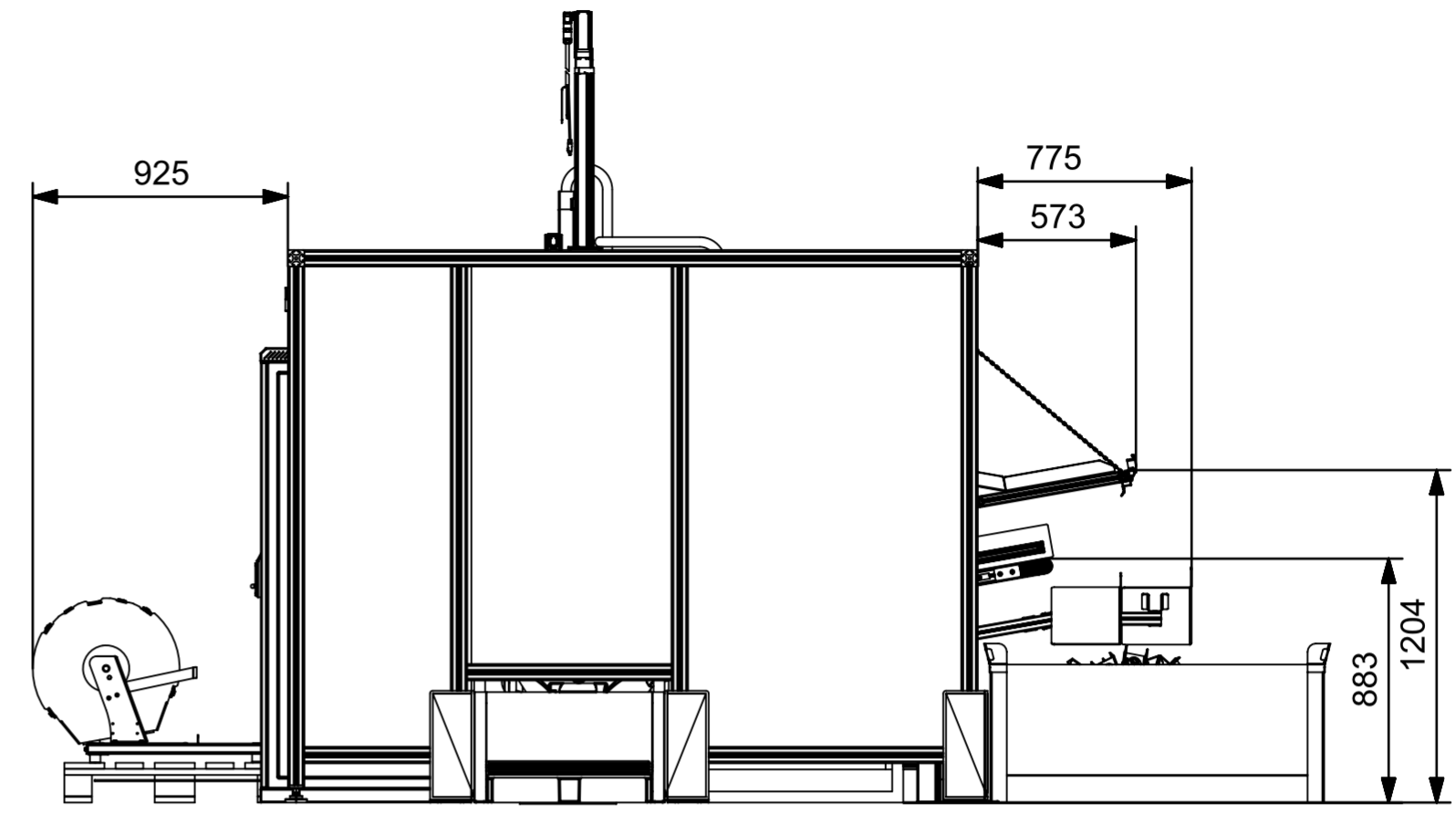
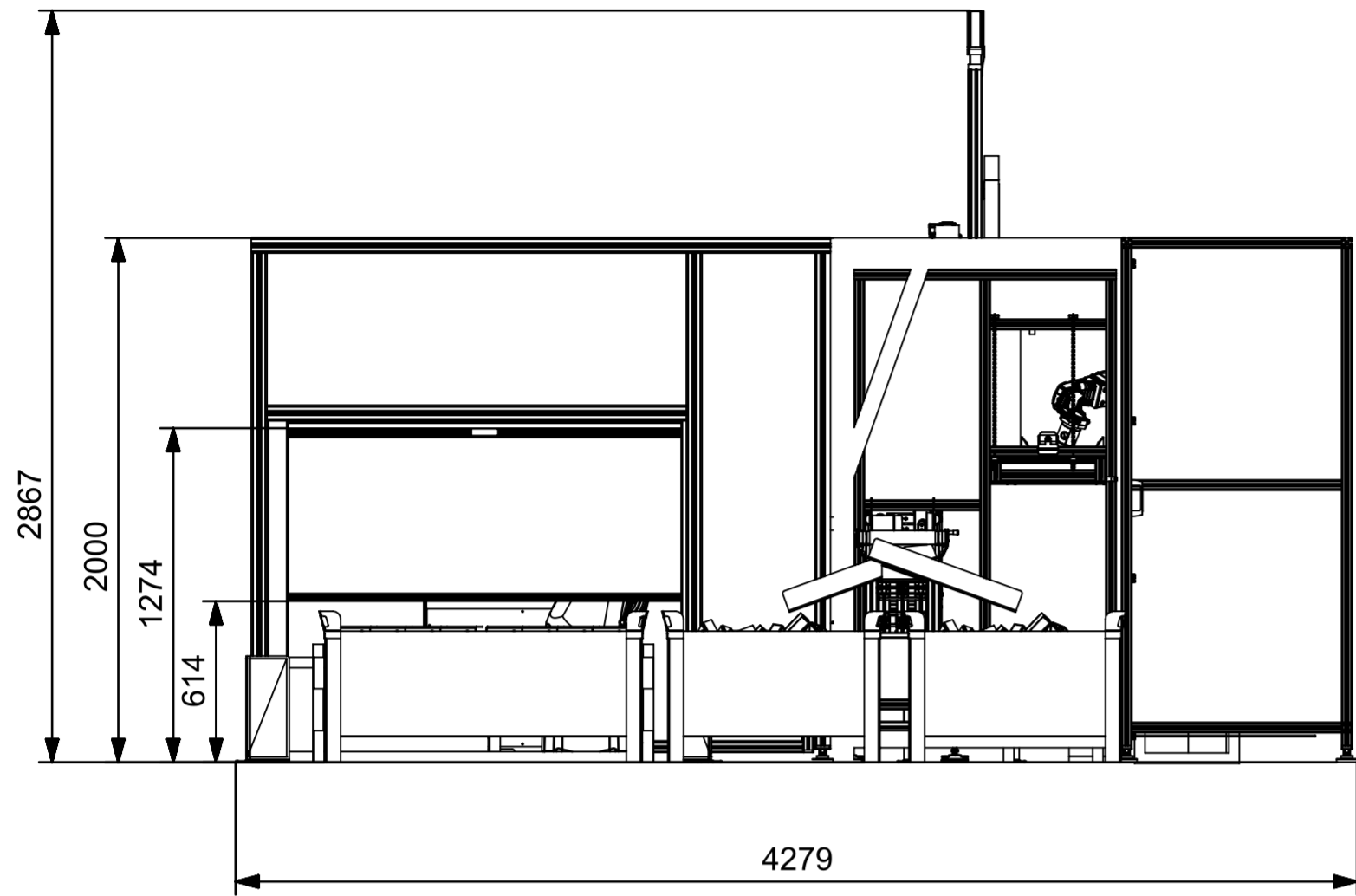
Počet kusů	Výrobní celkové náklady	Náklady nákup	Výrobní náklady na 1 ks
20 000	6 531 231 Kč	335 000 Kč	326,56 Kč
40 000	6 686 312 Kč	670 000 Kč	167,16 Kč
60 000	6 841 393 Kč	1 005 000 Kč	114,02 Kč
80 000	6 996 474 Kč	1 340 000 Kč	87,46 Kč
100 000	7 151 555 Kč	1 675 000 Kč	71,52 Kč
120 000	7 306 635 Kč	2 010 000 Kč	60,89 Kč
140 000	7 461 716 Kč	2 345 000 Kč	53,30 Kč
160 000	7 616 797 Kč	2 680 000 Kč	47,60 Kč
180 000	7 771 878 Kč	3 015 000 Kč	43,18 Kč
200 000	7 926 959 Kč	3 350 000 Kč	39,63 Kč
220 000	8 082 040 Kč	3 685 000 Kč	36,74 Kč
240 000	8 237 121 Kč	4 020 000 Kč	34,32 Kč
260 000	8 392 202 Kč	4 355 000 Kč	32,28 Kč
280 000	8 547 283 Kč	4 690 000 Kč	30,53 Kč
300 000	8 702 364 Kč	5 025 000 Kč	29,01 Kč
320 000	8 857 444 Kč	5 360 000 Kč	27,68 Kč
340 000	9 012 525 Kč	5 695 000 Kč	26,51 Kč
360 000	9 167 606 Kč	6 030 000 Kč	25,47 Kč
380 000	9 322 687 Kč	6 365 000 Kč	24,53 Kč
400 000	9 477 768 Kč	6 700 000 Kč	23,69 Kč
420 000	9 632 849 Kč	7 035 000 Kč	22,94 Kč
440 000	9 787 930 Kč	7 370 000 Kč	22,25 Kč
460 000	9 943 011 Kč	7 705 000 Kč	21,62 Kč
480 000	10 098 092 Kč	8 040 000 Kč	21,04 Kč
500 000	10 253 173 Kč	8 375 000 Kč	20,51 Kč
520 000	10 408 254 Kč	8 710 000 Kč	20,02 Kč
540 000	10 563 334 Kč	9 045 000 Kč	19,56 Kč
560 000	10 718 415 Kč	9 380 000 Kč	19,14 Kč
580 000	10 873 496 Kč	9 715 000 Kč	18,75 Kč
600 000	11 028 577 Kč	10 050 000 Kč	18,38 Kč
620 000	11 183 658 Kč	10 385 000 Kč	18,04 Kč
640 000	11 338 739 Kč	10 720 000 Kč	17,72 Kč
660 000	11 493 820 Kč	11 055 000 Kč	17,41 Kč
680 000	11 648 901 Kč	11 390 000 Kč	17,13 Kč
700 000	11 803 982 Kč	11 725 000 Kč	16,86 Kč
720 000	11 959 063 Kč	12 060 000 Kč	16,61 Kč
740 000	12 114 143 Kč	12 395 000 Kč	16,37 Kč
760 000	12 269 224 Kč	12 730 000 Kč	16,14 Kč
780 000	12 424 305 Kč	13 065 000 Kč	15,93 Kč
800 000	12 579 386 Kč	13 400 000 Kč	15,72 Kč
820 000	12 734 467 Kč	13 735 000 Kč	15,53 Kč
840 000	12 889 548 Kč	14 070 000 Kč	15,34 Kč
860 000	13 044 629 Kč	14 405 000 Kč	15,17 Kč
880 000	13 199 710 Kč	14 740 000 Kč	15,00 Kč
900 000	13 354 791 Kč	15 075 000 Kč	14,84 Kč
920 000	13 509 872 Kč	15 410 000 Kč	14,68 Kč
940 000	13 664 952 Kč	15 745 000 Kč	14,54 Kč
960 000	13 820 033 Kč	16 080 000 Kč	14,40 Kč
980 000	13 975 114 Kč	16 415 000 Kč	14,26 Kč
1 000 000	14 130 195 Kč	16 750 000 Kč	14,13 Kč
1 020 000	14 285 276 Kč	17 085 000 Kč	14,01 Kč
1 040 000	14 440 357 Kč	17 420 000 Kč	13,88 Kč
1 060 000	14 595 438 Kč	17 755 000 Kč	13,77 Kč
1 080 000	14 750 519 Kč	18 090 000 Kč	13,66 Kč
1 100 000	14 905 600 Kč	18 425 000 Kč	13,55 Kč
1 120 000	15 060 681 Kč	18 760 000 Kč	13,45 Kč
1 140 000	15 215 762 Kč	19 095 000 Kč	13,35 Kč
1 160 000	15 370 842 Kč	19 430 000 Kč	13,25 Kč
1 180 000	15 525 923 Kč	19 765 000 Kč	13,16 Kč
1 200 000	15 681 004 Kč	20 100 000 Kč	13,07 Kč

BEP (bod zvratu)	Počet kusů	Náklady	Měsíc návratnosti
Nastane při:	708 780	11 872 060 Kč	34

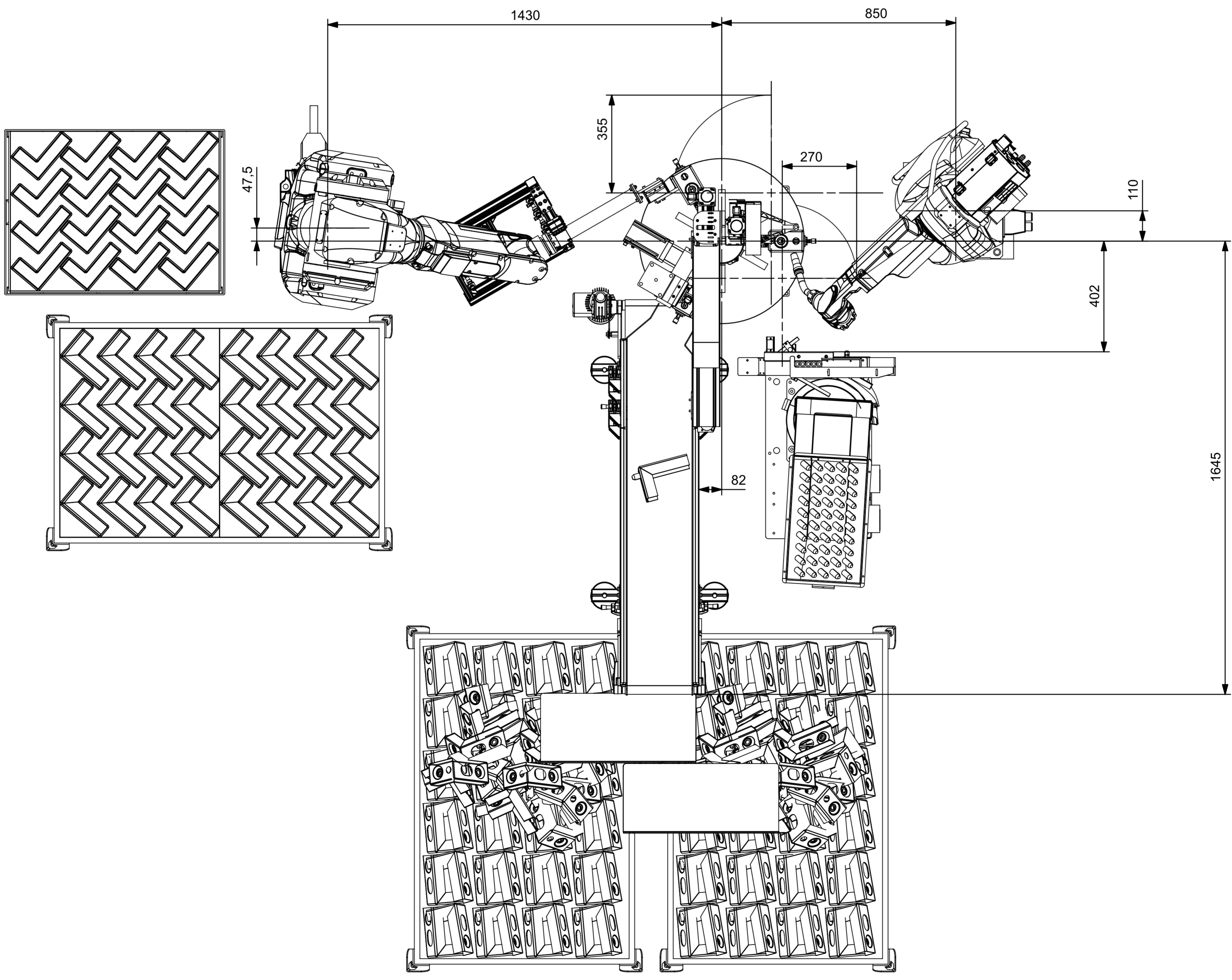
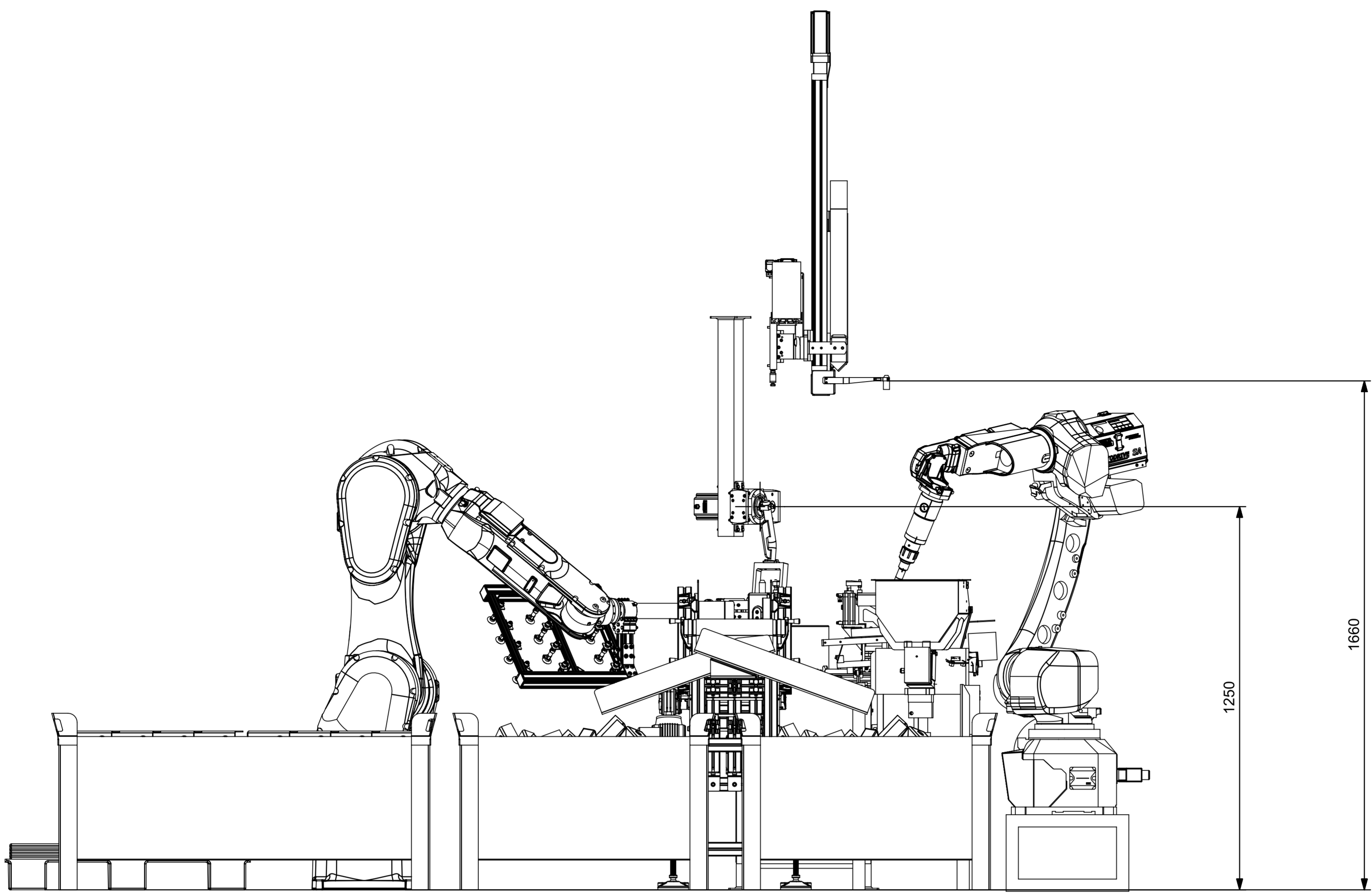



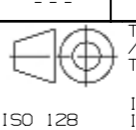
4 D – Výkresová dokumentace

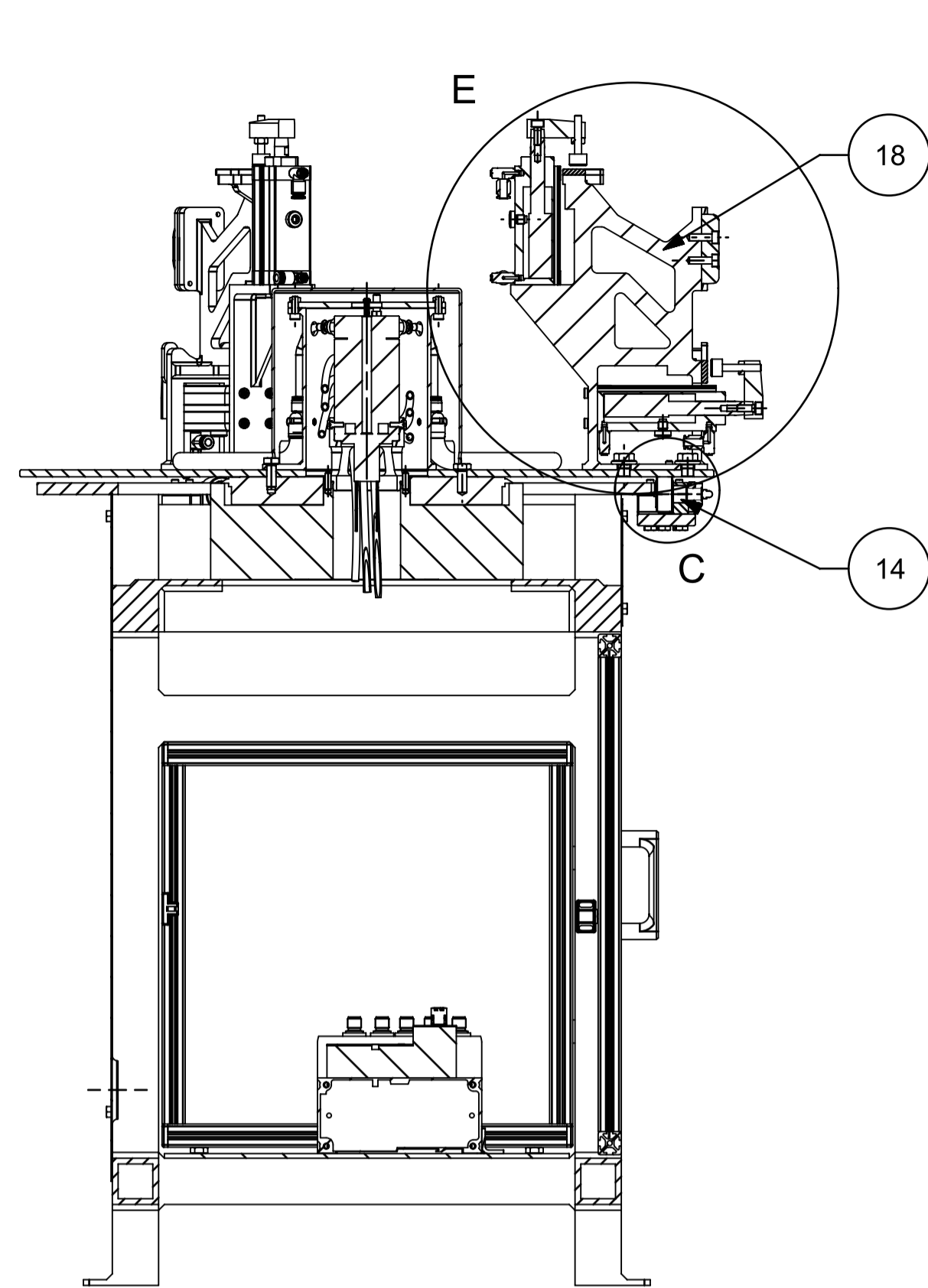
Číslo výkresu	Typ	Název	Počet listů
DP2023-JV-S01	Sestava	Kompletní svařovací pracoviště	2
DP2023-JV-S02	Sestava	Indexovací karuselový stůl	1
DP2023-JV-03	Výrobní výkres	Pouzdro rotační jednotky	1
DP2023-JV-04	Výrobní výkres	Držák vakuového rámu	1



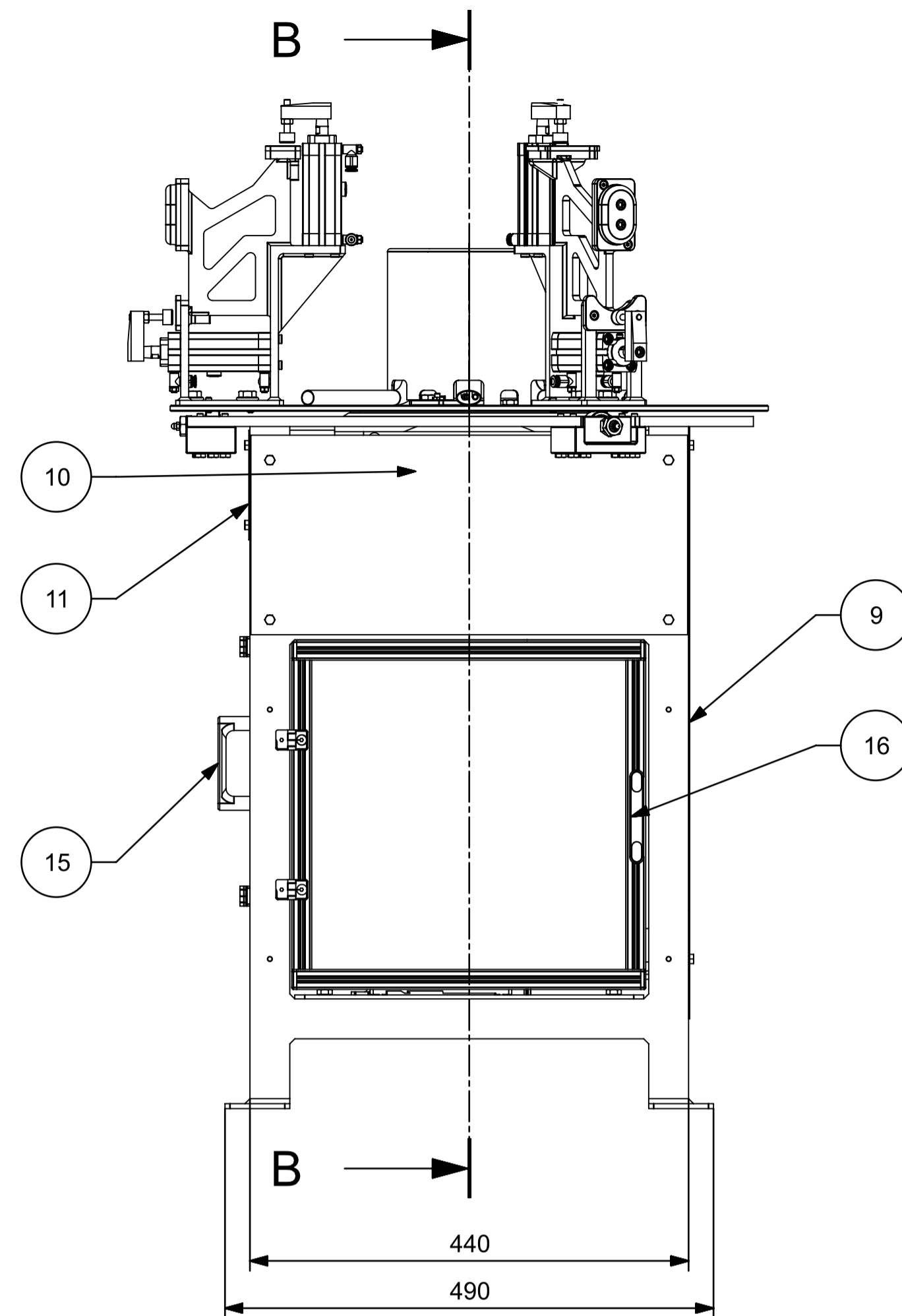
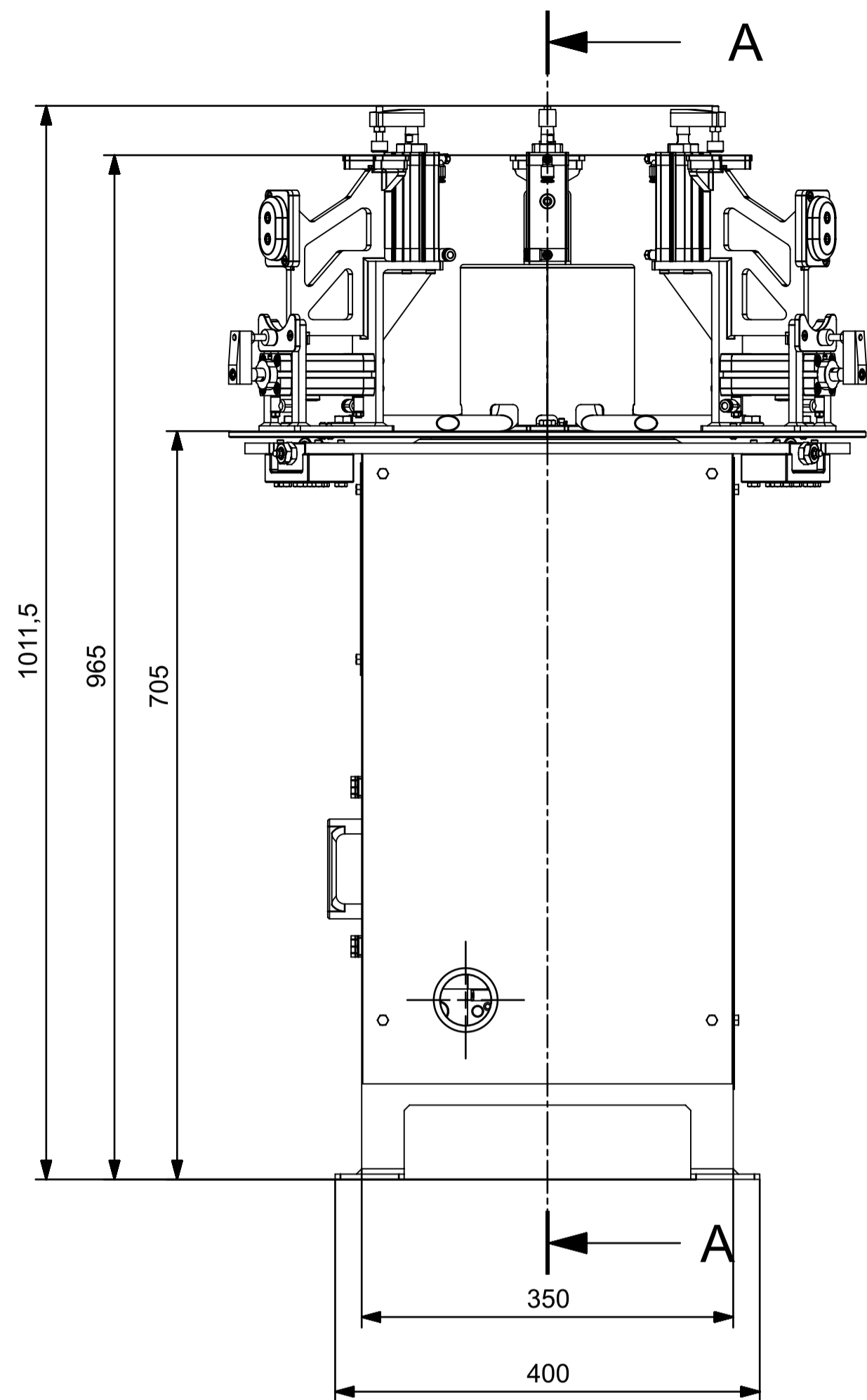
ISO 1	Datum / Date	Jmeno / Name	FAKULTA STROJNÍ ZAPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>		
Kreslil / Drawn by	16.5.2023	Janoslav Vana			
Projekoval / Checked by	---	---			
Šedlil / Approved by	---	---			
Index změny	Popis změny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note
---	---	---	---	---	---
Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mk	Soubor-model / ASM-File _pracoviste_full_var10_		Projekt / Project	DP - pracoviste	Měřítko / Scale 1:25
	Soubor-vykres / DRW-File _pracoviste_full_var10_		Číslo sestavy / Assembly No.	01	
Nazev / Title Sestava svarovaciho pracoviste Cela sestava			Číslo výkresu / Drawing No.	DP2023-JV-S01	Formát A2
			Rev. / List / sheet no.	1	Počet listů / sheets 2



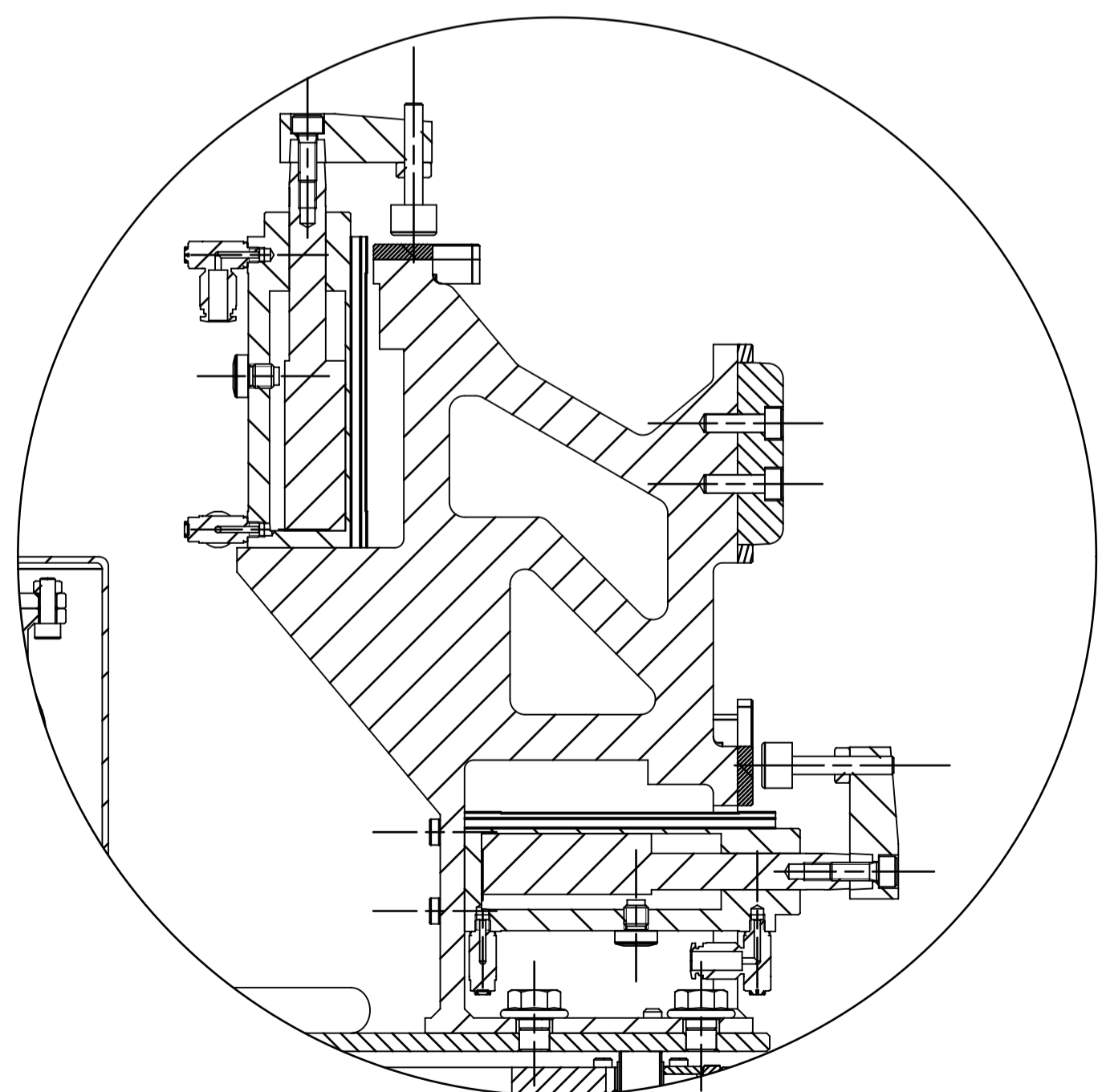
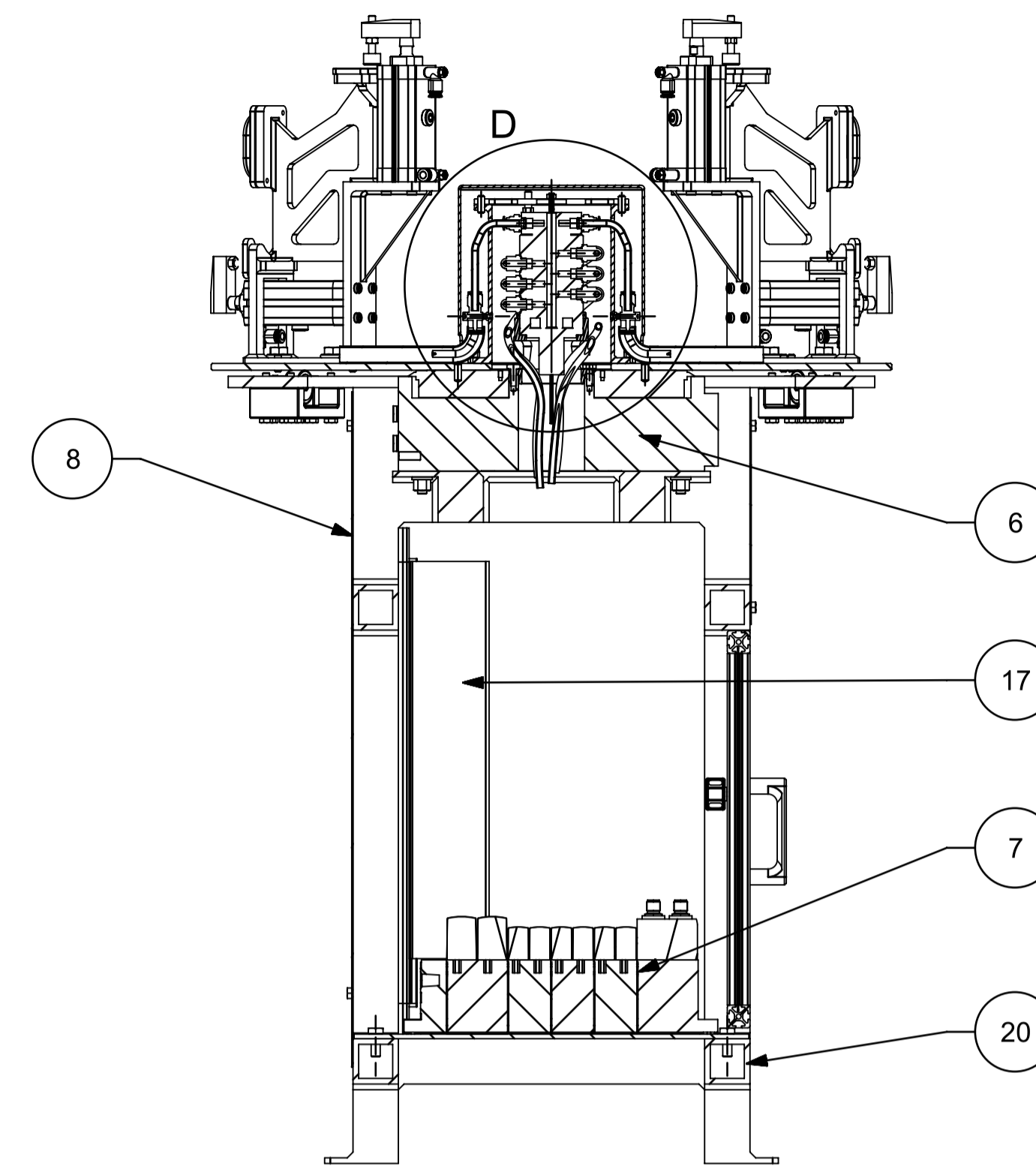
ISO 1	Datum / Date	Jmeno / Name	 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI
Wahl / Selected	16.5.2023	Jaroslav Vana	
Průběh / Path	---	---	
Podíl / Share	---	---	
Index zmeny / Index of change	---	---	Wztažná práva vyhrazena / All rights reserved
Popis zmeny / Description of change	Schvál. / Approved	Datum / Date	Poznámka / Note
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
 Tolerance ISO 8015 ISO 2768mk	Subor-název / ASM-File _pracoviste_rv11_var10_	Projekt / Project DP - pracoviste	Měřítko / Scale 1:25
ISO 128	Subor-vykres / DWG-File _pracoviste_rv11_var10_	Číslo sestavy / Drawing No. 3621,40	Formát A4 (210 x 297,0)
Název / Title Sestava svarovacího pracoviště Číslo sestavy / Drawing No. DP2023-JV-S01 List / sheet no. 2	Rev. 0	Počet listů / sheets 2	



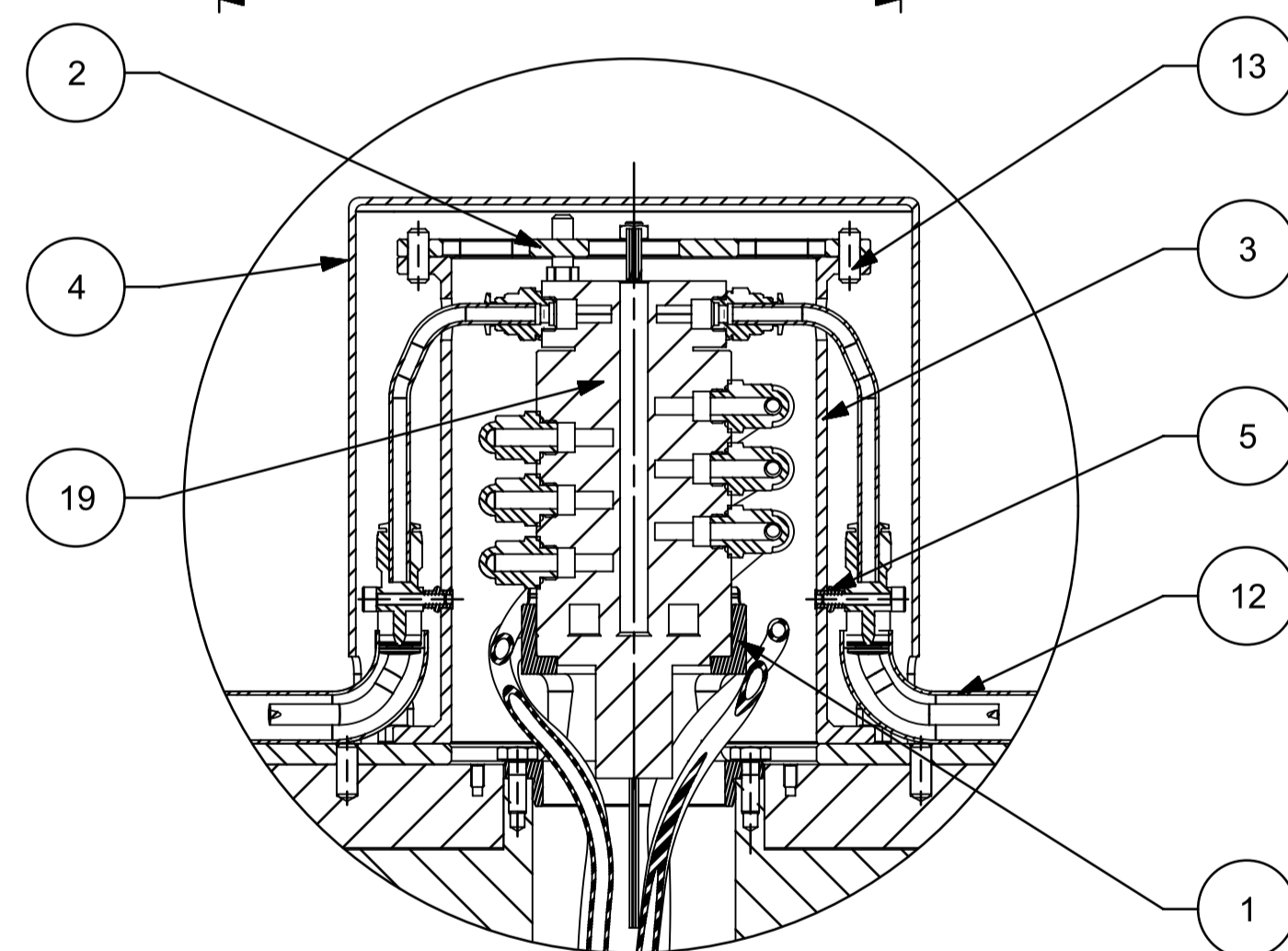
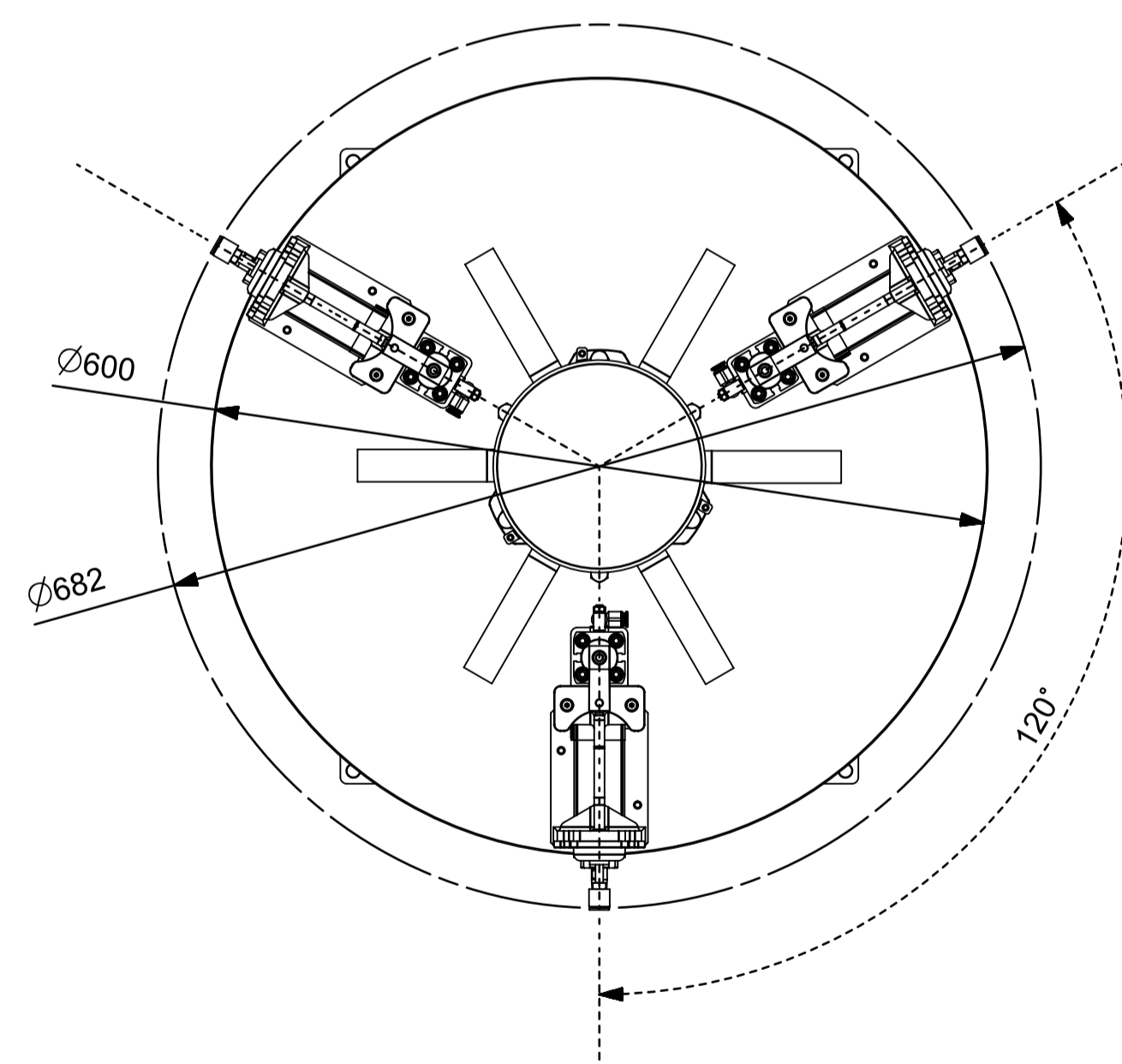
SECTION A-A



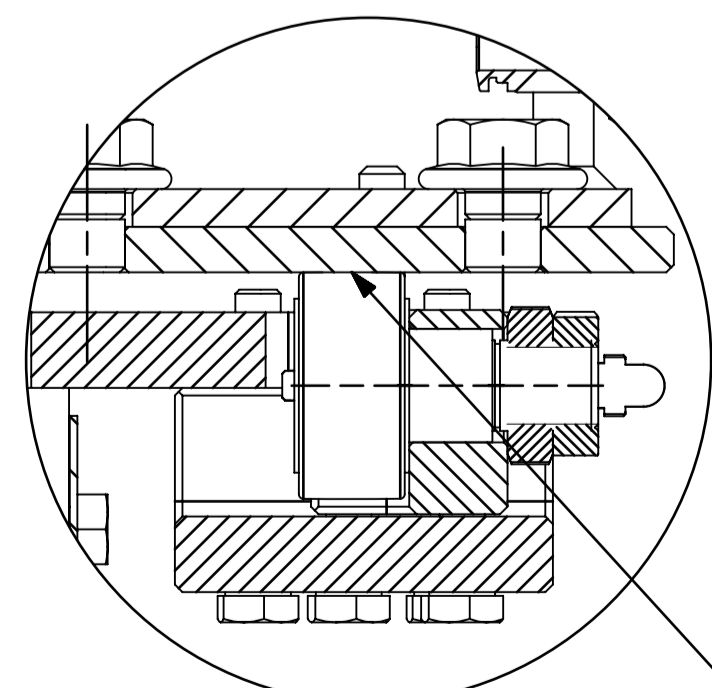
SECTION B-B



DETAIL E
SCALE 1:2



DETAIL D
SCALE 1:2



DETAIL C
SCALE 1:1

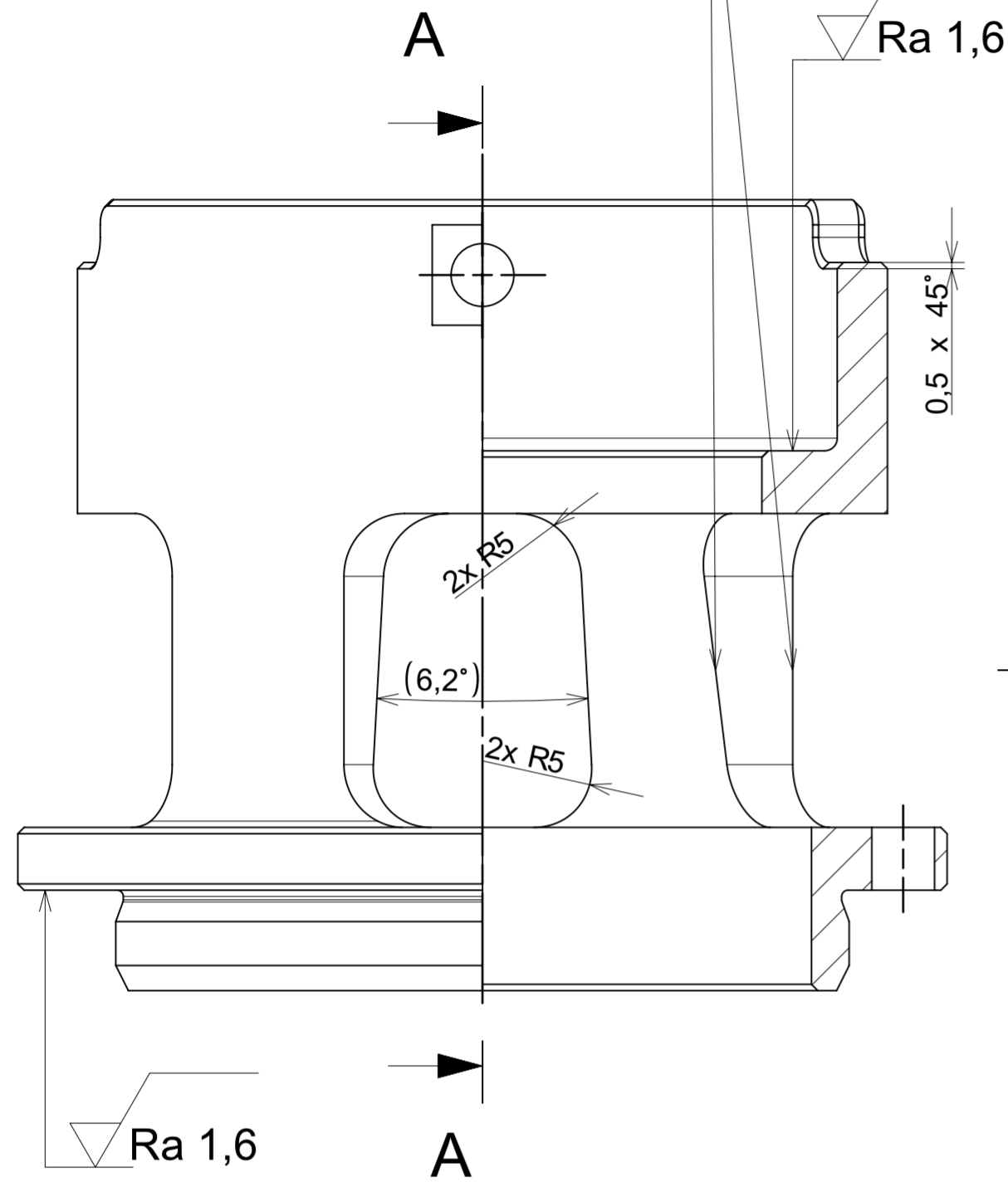
PŘI MONTÁŽI USTAVIT EXCENTRICKÝ ČLEN
VŮČI DESCE STOLU NA NULOVOU VŮLI
ROTAČNÍ IMBUSOVÝM KLÍČEM

UPÍNAČÍ PŘÍPRAVKY KOLÍKOVAT PO USTAVENÍ K DESCE STOLU

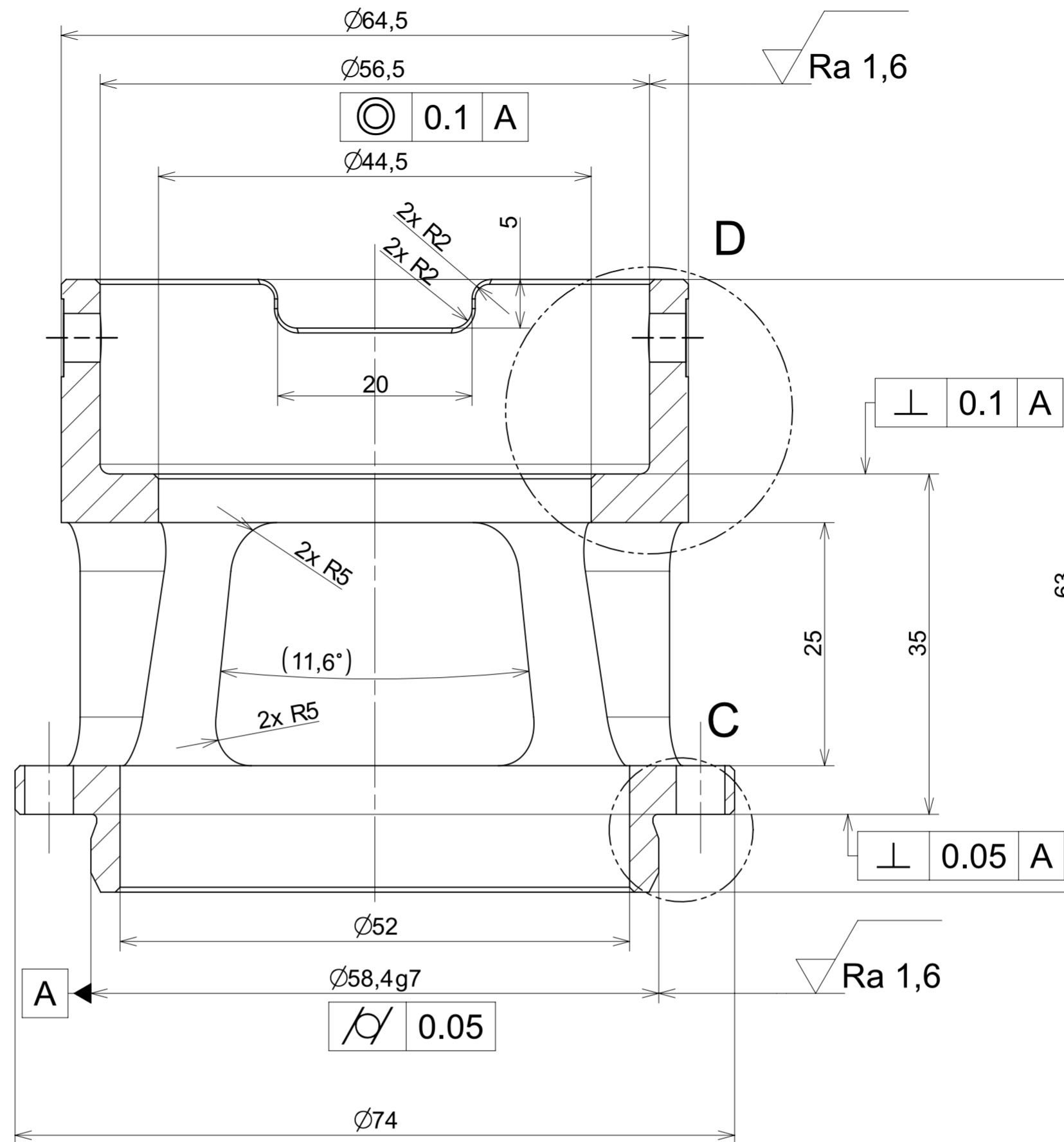
PC NO	Material	Mass	COMPONENT NAME	QTY
20	Steel	56.612	RÁM INDEXOVACÍHO STOLU	1
19	-	3.674	ROTAČNÍ SLIP-RING SPOJOVACÍ JEDNOTKA	1
18	-	3.718	UPÍNAČÍ PŘÍPRAVEK PNEUMATICKÝ	3
17	PVC	0.388	KABELOVÝ ŽLAB ITEM 0063717	1
16	-	3.536	DVEŘE SERVISNÍ BOČNÍ -2	1
15	-	2.341	DVEŘE SERVISNÍ BOČNÍ -1	1
14	-	1.026	VYROVNÁVACÍ EXCENTRICKÁ KLADKA	3
13	Steel	0.007	ČEP D6X15,5	2
12	GFRPP	0.048	OPLET HADICE PARKER FS-F	6
11	Steel	0.299	BOČNÍ KRYTOVACÍ PLECH - 3	1
10	Steel	2.039	BOČNÍ KRYTOVACÍ PLECH - 1	1
9	Steel	1.609	BOČNÍ KRYTOVACÍ PLECH - 2	1
8	Steel	0.685	BOČNÍ KRYTOVACÍ PLECH - 4	1
7	-	32.866	PNEUMATICKÝ TERMINÁL 44E-MP3-P 44PN-A-V-3AB-6MNN-U	1
6	-	26.647	ROTAČNÍ PNEUMATICKÝ STŮL FESTO	1
5	Steel	0.003	ZÁVITOVÁ MATICE NÝTOVACÍ M3	6
4	Steel	1.122	HORNÍ KRYTOVACÍ ELEMENT	1
3	Steel	1.862	PLÁŠŤ ROTAČNÍ JEDNOTKY	1
2	Steel	0.671	PŘÍRUBA PLÁŠTĚ ROTAČNÍ JEDNOTKY	1
1	Steel	0.397	POUZDRO ROTAČNÍ JEDNOTKY	1

Proj. / Design	Datum / Date	Jmeno / Name	FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOSLOVSKÉ UNIVERZITY V PLZNI
Proj. / Design	16.5.2023	Jaroslav Vana	
Proj. / Design	---	---	Všechna práva vyhrazena / All rights reserved
Proj. / Design	---	---	
Index zmeny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature
---	---	---	---
---	---	---	---
Tolerance / Tolerování 150 128 150 B015 150 Z768K	Subst.-model / ASM-File	Subst.-výkres / DWG-File	Projekt / Project DP- Pracoviste Datum / Date 14.5.30
150 128 150 B015 150 Z768K Subst.-výkres / DWG-File stul_...verov...	Subst.-model / ASM-File	Subst.-výkres / DWG-File	Projekt / Project DP- Pracoviste Datum / Date 14.5.30
Nazev / Title INDEXOVACÍ ROTACNÍ STUL	Rev. / Rev.	Číslo výkresu / Drawing No.	DP2023-JV-S02 List / sheet no. 1 Počet listů / sheets 1

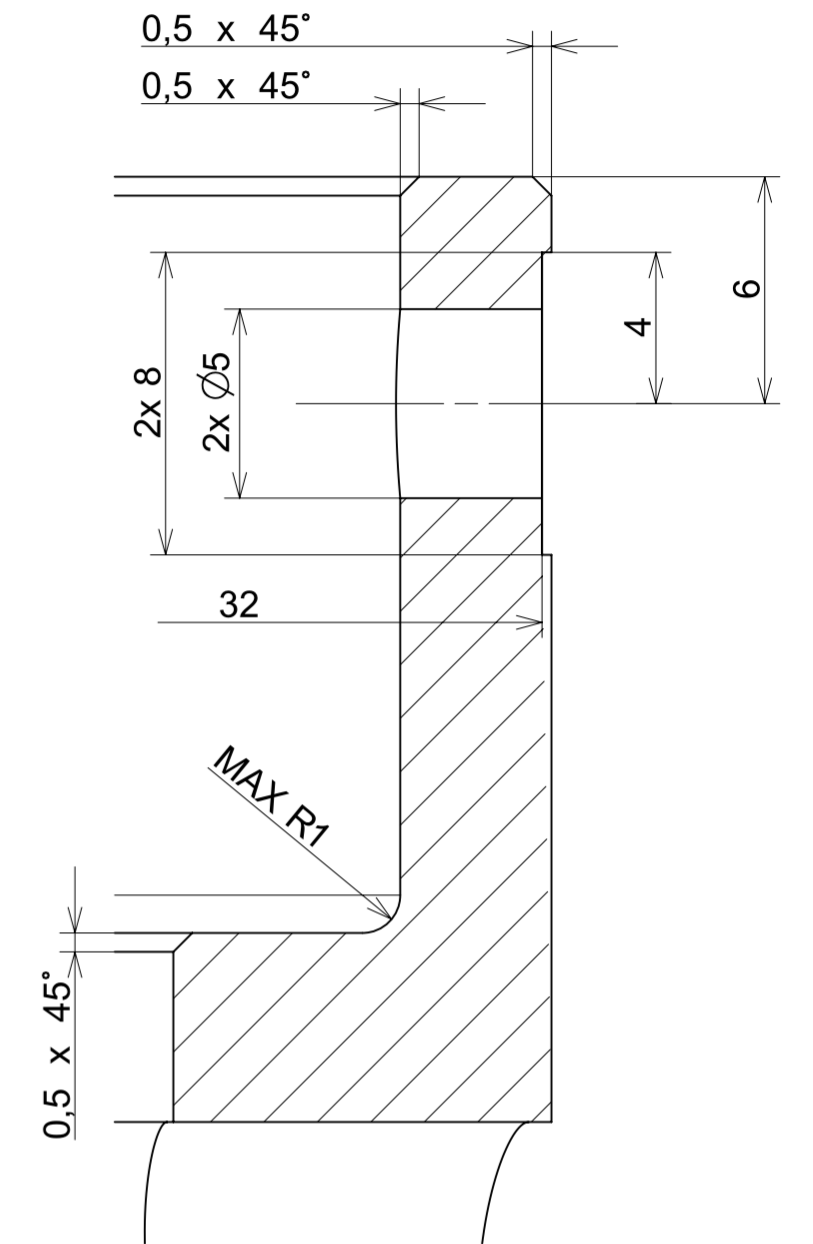
HRANY VÝŘEZU ZÁMEČNICKY
MANUÁLNĚ SRAZIT A OTUPIT
NA OBOU STRANÁCH



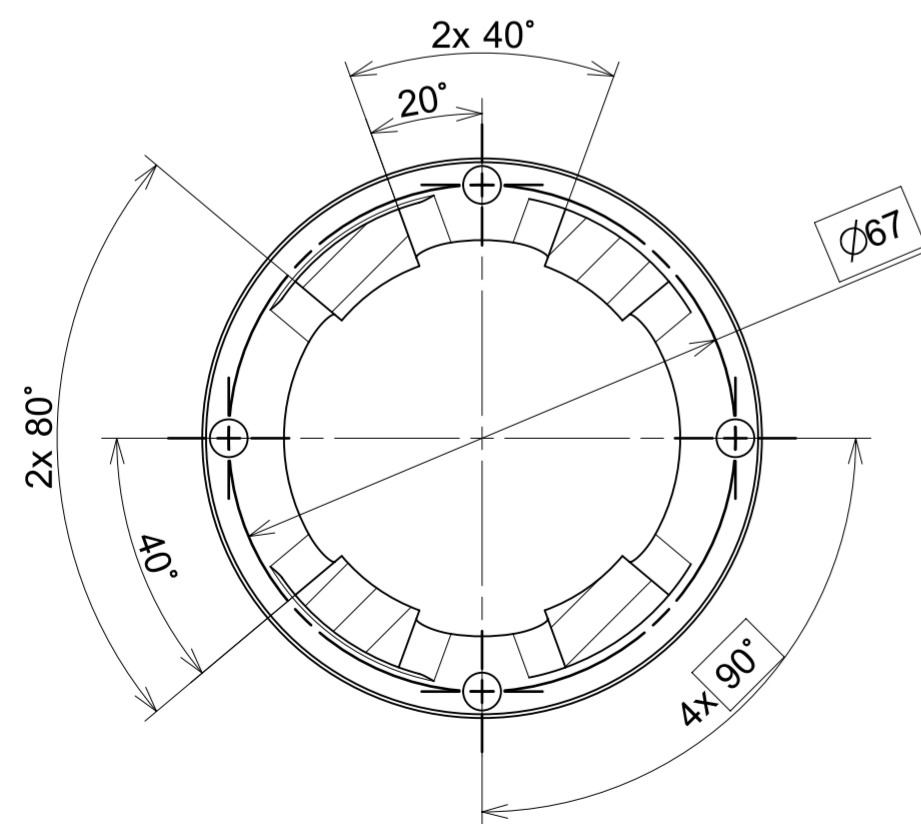
SECTION A-A



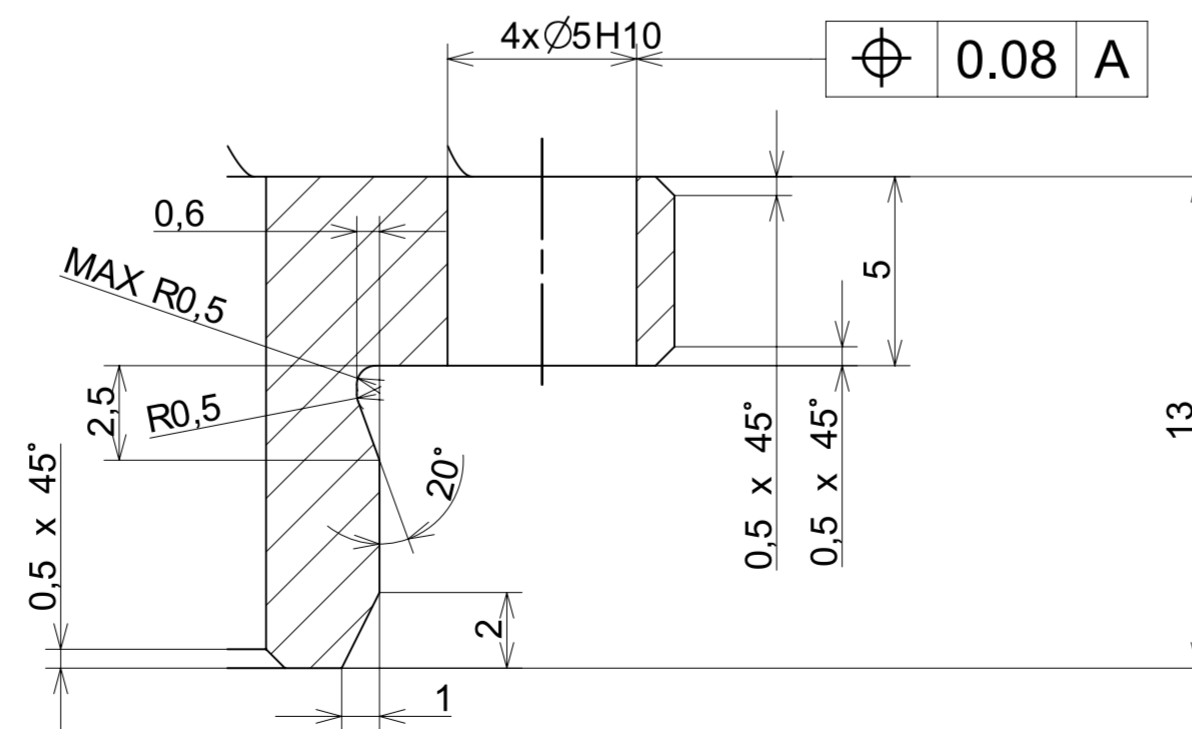
DETAIL D
SCALE 5:1



Ra 6,3 (✓)



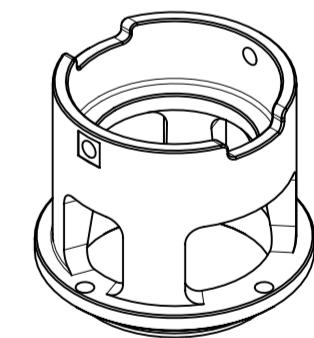
SECTION B-B



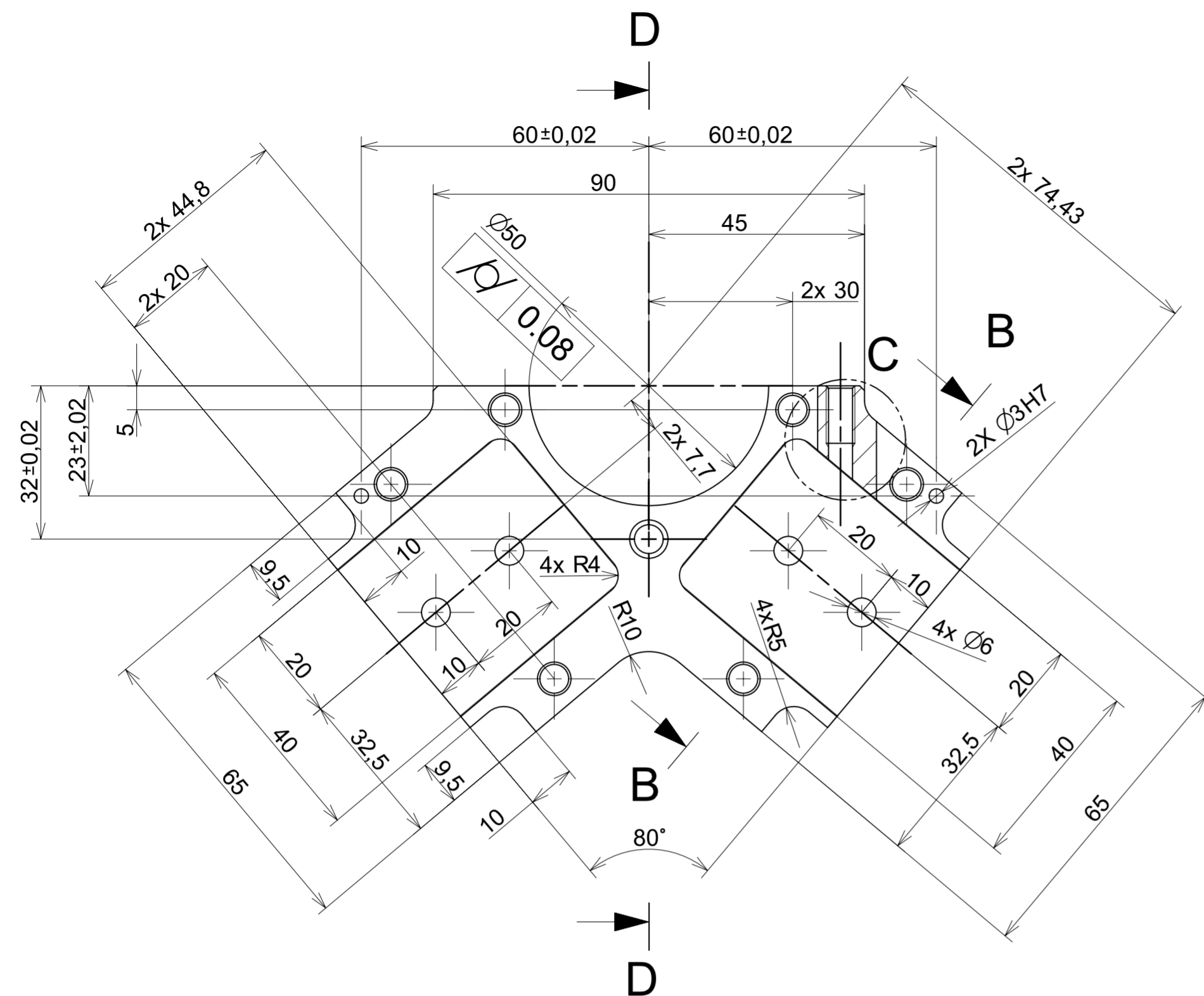
DETAIL C
SCALE 5:1

ČERNĚNO
VŠECHNY HRANY ODHJEHLIT

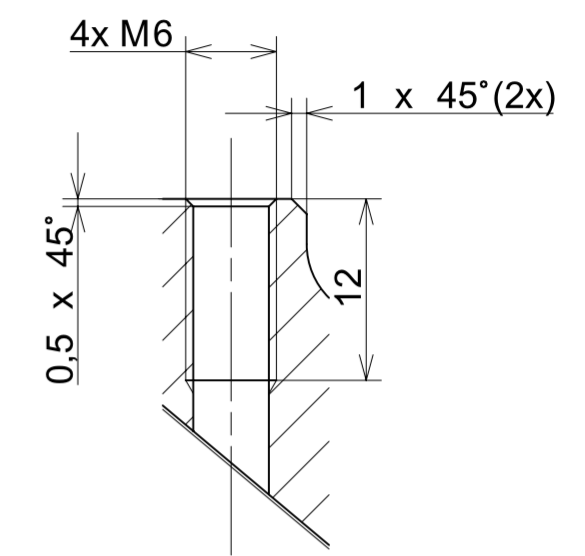
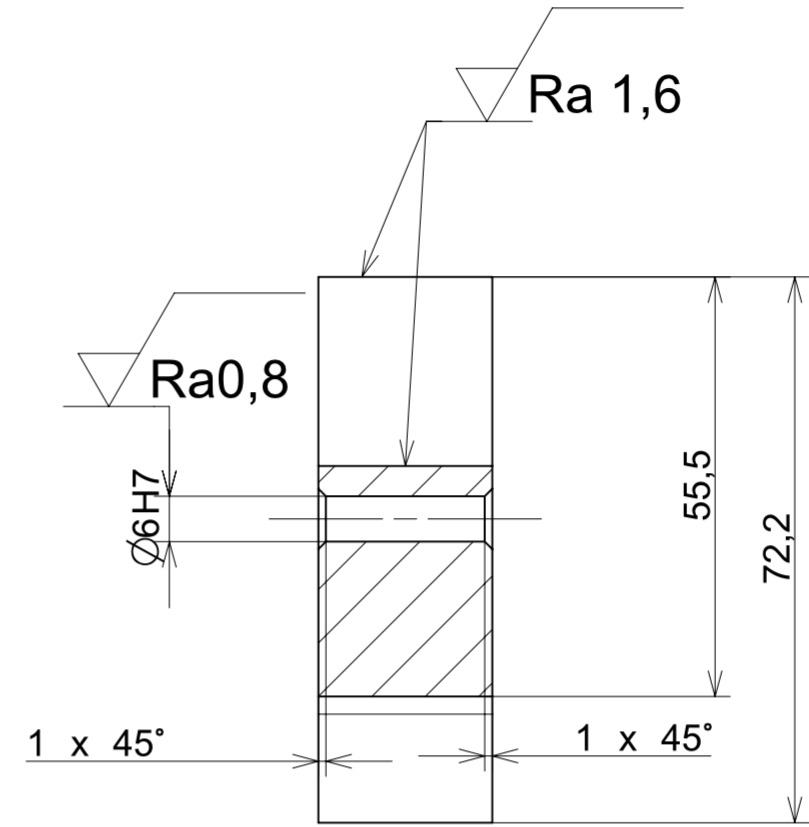
---	Ø74 -63	Ø80-70	EN /S235J0	---	0,397	kg	DP2023-JV-S02	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
cad 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kreslil / Drawn by	18.5.2023	Jaroslav Vaňa						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:		Meritko / Scale			
ISO 8015	ISO 2768mK	Pouzdro_rotacni_jednotky_dwg	DP -Pracoviste		2:1			
		Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		02			
		Pouzdro_rotacni_jednotky_dwg	Cislo vykresu / Drawing No.		DP2023-JV-03			
NAZEV / Title			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format	
POUZDRO ROTAČNÍ JEDNOTKY			0	DP2023-JV-03			A2	
			List / sheet no.	1		Pocet listu / sheets		1



11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

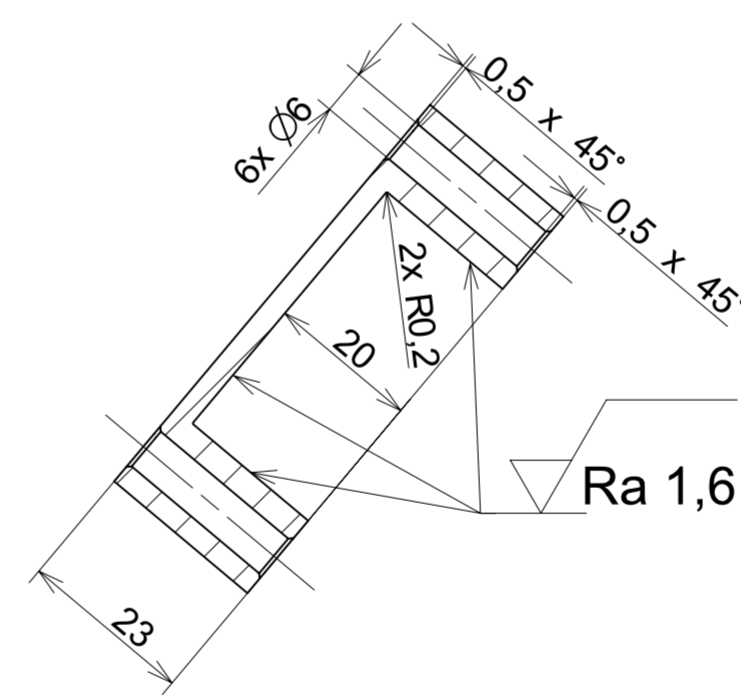


✓ Ra 6,3 (✓)

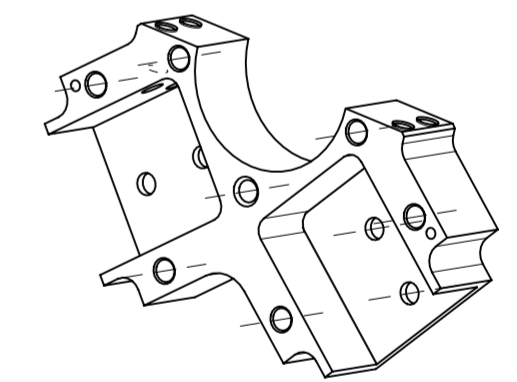
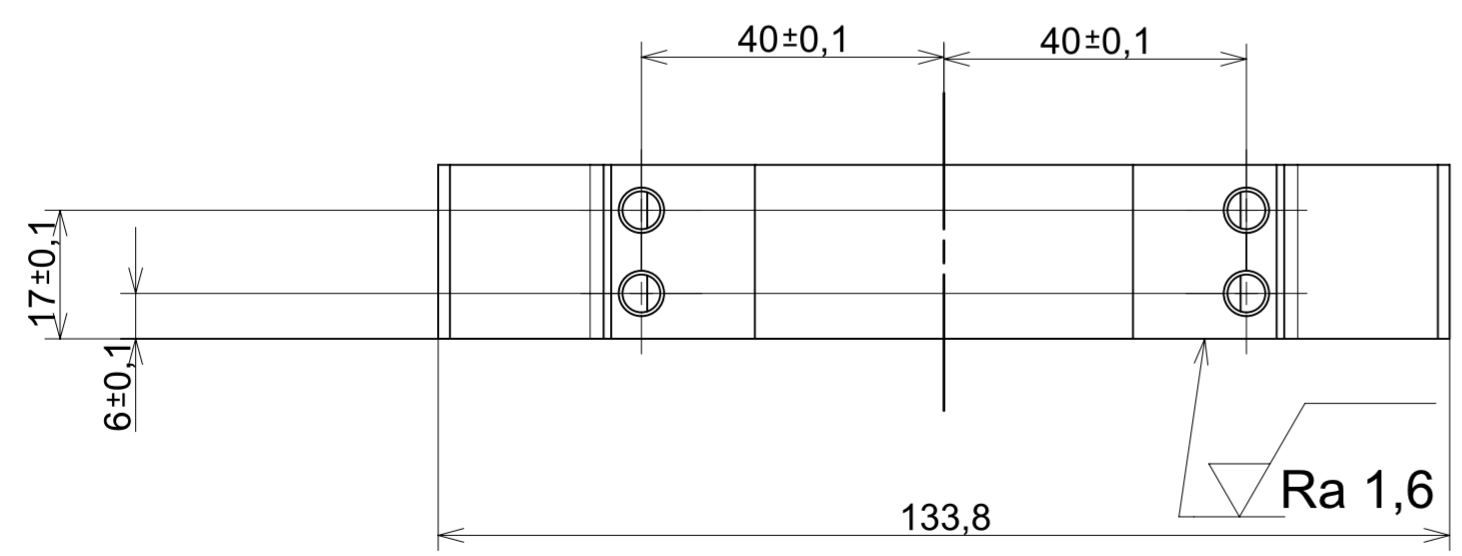


DETAIL C
SCALE 2:1

SECTION D-D



SECTION B-B



ČERNĚNO
HRANY ODJEHLIT

-	133x73x23	HR 80X40-140	EN/S235J0	---	0,520	0,52	DP2023-JV-S05	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychazi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
cad 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kreslil / Drawn by	25.05.2023	jarosavi Vaňa						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale			
	drzak_vakuoveho_ramu		DP- Pracovište		1:1			
ISO 128	Soubor-vykres / DRW-file		C.sestavy / Assembly No.					
	drzak_vakuoveho_ramu		DP2023-JV-S05					
Nazev / Title			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format	
DRŽÁK VAKUOVÉHO PŘÍPRAVKU			0	DP2023-JV-04			A2	
List / sheet no.			Pocet listu / sheets					
1			1					

11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1