

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kompletační stroj pro AirCleaner Scania

Autor: **Bc. Libor LEŠEK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor LEŠEK**
Osobní číslo: **S16N0012P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Kompletační stroj pro AirCleaner Scania**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Analýza technologického procesu montáže komponent AirCleaner dle podkladů zadavatele.
Provedení rešerše zařízení tohoto typu. Provedení konstrukčního návrhu dotyčného zařízení.
Ověření konstrukce na prototypu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Rešerše, specifikace požadavků
3. Konstrukční návrh předepsaného zařízení
4. Ověření navržené konstrukce na vyrobeném prototypu
5. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1, Obecné strojní části.
Praha: Computer Press, 1999

STAČEKOVÁ, D., MIČIETOVÁ, A. Jednoúčelové stroje a výrobné linky. Žilina:
EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity, 2001

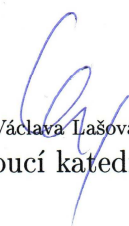
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Pavel Kouba**
AUTOMA CZ, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2017

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, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Doc. Ing. Ladislavovi Němcovi, CSc a dále panu Ing. Pavlovi Koubovi za cenné rady a konzultace při vytváření této práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Lešek	Jméno Libor	
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Kompletační stroj pro AirCleaner Scania		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	68	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce pojednává o konstrukčním návrhu kompletačního stroje pro AirCleaner Scania. Práce je zaměřena na návrh několika konstrukčních variant, jejich zhodnocení, vybrání nejvhodnější varianty a samotnou konstrukci stroje s podklady pro jeho výrobu.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	kompletační stroj, AirCleaner, jednoúčelový stroj, konstrukce, modelování, pevnostní analýza

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Lešek	Name Libor	
FIELD OF STUDY	2301T001 "Transport and handling machinery"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Assembling machine for the AirCleaner Scania		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	68	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Thesis discusses the structural design of the picking machines for the AirCleaner Scania. The work is focused on the design of several design options, their evaluation, selecting the most suitable options and the actual construction of machines with materials for its production.
KEY WORDS	Assembling machine, AirCleaner, single-purpose machine, design, modeling, strength analysis

Obsah

1. Úvod.....	15
1.1. Zpřesnění a doplnění zadání	15
1.2. Představení zadávající organizace	15
1.3. Uvedení do řešené problematiky	16
2. Vyjasnění a rozpracování požadavků na navrhovaný technický produkt.....	16
2.1. Vyjasnění zadání.....	16
2.1.1. Hlavní pracoviště.....	16
2.1.2. Boční pracoviště 1	17
2.1.3. Boční pracoviště 2	17
2.2. Stav techniky	17
2.3. Analýza problému.....	17
2.4. Analýza realizovatelnosti	18
2.5. Specifikace požadavků	18
2.6. Časový plán řešení.....	18
3. Návrh provozního transformačního procesu TS	19
3.1. Výchozí rozhodnutí	19
3.1.1. Pracoviště 1	19
3.1.2. Pracoviště 2	19
3.1.3. Hlavní pracoviště.....	19
3.2. Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu.....	20
3.2.1. Pracoviště 1	20
3.2.2. Pracoviště 2	20
3.2.3. Hlavní pracoviště.....	21
3.3. Návrh technologie provozního transformačního procesu.....	21
3.3.1. Pracoviště 1	21
3.3.2. Pracoviště 2	21
3.3.3. Hlavní pracoviště.....	22
3.4. Navržení koncepčních variant hlavního pracoviště.....	22
3.4.1. Varianta A	22
3.4.2. Varianta B	23
3.4.3. Varianta C	24
3.5. Navržení koncepčních variant pracoviště 1	24

3.5.1.	Varianta A	24
3.5.2.	Varianta B	25
3.5.3.	Varianta C	25
3.6.	Navržení koncepčních variant pracoviště 2.....	26
3.6.1.	Varianta A	26
3.6.2.	Varianta B	27
3.6.3.	Varianta C	27
3.7.	Zhodnocení variant hlavního pracoviště.....	28
3.7.1.	Výchozí rozhodnutí pro hlavní pracoviště	28
3.7.2.	Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro hlavní pracoviště.....	28
3.8.	Zhodnocení variant pracoviště 1.....	29
3.8.1.	Výchozí rozhodnutí pro pracoviště 1	29
3.8.2.	Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro pracoviště 1.....	29
3.9.	Zhodnocení variant pracoviště 2.....	30
3.9.1.	Výchozí rozhodnutí pro pracoviště 2	30
3.9.2.	Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro pracoviště 2.....	30
4.	Návrh konstrukčního řešení úplné TS.....	31
4.1.	Celková sestava	31
4.2.	Sestava základního rámu	31
4.3.	Sestava hlavního pracoviště.....	32
4.4.	Sestava rámu hlavního pracoviště	33
4.4.1.	Kontrolní výpočet rámu	34
4.5.	Sestava tavení	36
4.5.1.	Kontrola pneumatického válce zajišťujícího přísun k dílu	38
4.5.2.	Návrh průměru nosných prutů tavicího nástroje	39
4.5.3.	Kontrola tavicího nástroje v programu Siemens NX 10	40
4.6.	Sestava pracoviště 1.....	42
4.7.	Sestava pracoviště 2.....	43
4.8.	Sestava otočného rámu hlavního pracoviště.....	44
4.8.1.	Kontrola ložisek	45
4.8.2.	Kontrola odpruženého čepu pro aretaci	46
4.8.3.	Kontrola otočného rámu v programu Siemens NX 10.....	47
4.9.	Sestava podpěry	49

4.9.1. Návrh pneumatického válce podpěry	50
4.10. Sestava lisování.....	51
4.10.1. Návrh lisovacích válců	52
4.10.2. Kontrola navrženého rámu v programu Autodesk Inventor 2018.....	53
4.11. Ukázky dokumentace navrženého TS.....	56
4.11.1. Výkres sestavy lisování.....	56
4.11.2. Výrobní výkres bočnice dorazu.....	56
4.11.3. Výrobní výkres ložiskového domku	56
4.11.4. Výrobní výkres patky lisování	56
5. Zhotovení stroje	56
6. Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti navrženého TS	56
7. Závěr	56
Seznam použité literatury	58
Seznam příloh.....	60

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Letecký pohled na sídlo zadávající organizace [4]	15
Obrázek 2 - CNC obráběcí centrum HURCO [5]	17
Obrázek 3 – Návrh černé skříňky pro pracoviště 1	20
Obrázek 4 – Návrh černé skříňky pro pracoviště 2	20
Obrázek 5 – Návrh černé skříňky pro hlavní pracoviště	21
Obrázek 6 – Návrh technologie provozního transformačního procesu pro pracoviště 1	21
Obrázek 7 - Návrh technologie provozního transformačního procesu pro pracoviště 2	21
Obrázek 8 - Návrh technologie provozního transformačního procesu pro hlavní pracoviště ..	22
Obrázek 9 – Návrh koncepční varianty A pro hlavní pracoviště	23
Obrázek 10 - Návrh koncepční varianty B pro hlavní pracoviště	23
Obrázek 11 Návrh koncepční varianty C pro hlavní pracoviště	24
Obrázek 12 - Návrh koncepční varianty A pro pracoviště 1	25
Obrázek 13 Návrh koncepční varianty B pro pracoviště 1	25
Obrázek 14 - Návrh koncepční varianty C pro pracoviště 1	26
Obrázek 15 - Návrh koncepční varianty A pro pracoviště 2	26
Obrázek 16 - Návrh koncepční varianty B pro pracoviště 2	27
Obrázek 17 - Návrh koncepční varianty C pro pracoviště 2	27
Obrázek 18 - Graf hodnocení variant hlavního pracoviště	28
Obrázek 19 - Graf hodnocení variant pracoviště 1	29
Obrázek 20 - Graf hodnocení variant pro pracoviště 2	30
Obrázek 21 – Konstrukční řešení pracoviště	31
Obrázek 22 – Konstrukční řešení základního rámu	32
Obrázek 23 – Konstrukční řešení hlavního pracoviště	33
Obrázek 24 – Konstrukční řešení rámu hlavního pracoviště	34
Obrázek 25 – Rám s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu	35
Obrázek 26 – Výsledek analýzy napětí	36
Obrázek 27 – Výsledek analýzy posunutí	36
Obrázek 28 – Konstrukční řešení tavení	37
Obrázek 29 – Schéma sestavy tavení	38
Obrázek 30 – Schéma prutu tavení	39
Obrázek 31 – Tavicí nástroj s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu ..	40
Obrázek 32 – Výsledek analýzy napětí	41
Obrázek 33 – Výsledek analýzy posunutí	42
Obrázek 34 – Konstrukční řešení pracoviště 1	43
Obrázek 35 – Konstrukční řešení pracoviště 2	44
Obrázek 36 – Konstrukční řešení otočného rámu hlavního pracoviště	45
Obrázek 37 – Schéma odpruženého čepu [6]	47
Obrázek 38 – Otočný rám hlavního pracoviště s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu	48
Obrázek 39 – Výsledek analýzy napětí	49
Obrázek 40 – Výsledek analýzy posunutí	49
Obrázek 41 – Konstrukční řešení podpěry lisování	50

Obrázek 42 – Tabulka sil pro válec CP96 z katalogu výrobce [10].....	51
Obrázek 43 – Konstrukční řešení sestavy lisování.....	52
Obrázek 44 - Tabulka sil pro válec MGPM z katalogu výrobce [11]	53
Obrázek 45 – Sestava lisování s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu	54
Obrázek 46 – Výsledek analýzy napětí	55
Obrázek 47 – Výsledek analýzy posunutí	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka požadavků na konstrukci	18
Tabulka 2 – Tabulka výchozího rozhodnutí pro hlavní pracoviště	28
Tabulka 3 - Tabulka výchozího rozhodnutí pro pracoviště 1.....	29
Tabulka 4 - Tabulka výchozího rozhodnutí pro pracoviště 2.....	30

Přehled použitých zkratk a symbolů

POPIS

OZNAČENÍ

JEDNOTKY

Normálové napětí	σ	Pa
Dovolená hodnota pro normálové napětí	σ_D	Pa
Mez kluzu v tahu	Re	Pa
Bezpečnost	k	1
Délka	l	m
Celsiova teplota	t	°C
Hmotnost	m	kg
Dynamický součinitel tření	f	1
Gravitační zrychlení	g	m/s ²
Síla	F, F _R , F _V , F _V , F _A	N
Tlak	p	Pa
Průměr	d, D	m
Modul pružnosti v tahu	E	Pa
Mez úměrnosti pro normálová napětí	σ_u	Pa
Kvadratický moment průřezu	J _{min}	m ⁴
Štíhlostní poměr	λ	1
Základní statická únosnost	C ₀	N
Základní dynamická únosnost	C	N
Otáčky za min	n	s ⁻¹
Základní trvanlivost	L _h	h
Tečné napětí	τ_S	Pa
Dovolená hodnota pro tečné napětí	$\tau_{S\text{DOV}}$	Pa

1. Úvod

Úkolem této diplomové práce byl návrh kompletačního stroje pro AirCleaner Scania. AirCleaner se skládal ze soustavy filtrů čistících proudící vzduch v sání motoru a z vnějšího obalu z polymeru sloužícímu k ukotvení jednotlivých filtrů a následnému ukotvení na rám. Kompletační stroj měl sloužit k zefektivnění budoucí montáže tím, že měl usnadňovat náročnou manipulaci značně objemného produktu a automaticky zajišťovat správnou polohu pro následnou montáž. Tento jednoúčelový stroj měl obsluhovat jeden zaměstnanec a veškeré potřebné nástroje pro montáž měly být přítomné na navrženém stroji. Diplomová práce byla zaměřena jak na samotnou konstrukci jednoúčelového stroje v programu Autodesk Inventor 2018, tak na zhodnocení nejvhodnějších variant a návrh, případně kontrolu, nejvíce namáhaných součástí stroje.

1.1. Zpřesnění a doplnění zadání

Zadání diplomové práce bylo srozumitelné a v klíčových bodech velmi přesně specifikované od zadávající organizace. Naproti tomu mnoho, z konstrukčního hlediska, důležitých bodů, nedůležitých pro zadávající organizaci, nebylo specifikováno a bylo nutné je navrhnout a následně je nechat schválit zadávající organizací.

1.2. Představení zadávající organizace

Společnost AUTOMA CZ byla založena 6. září 1995 ve Strakonících. Firma se zabývá průmyslovou automatizací v oborech měřicí a kontrolní stroje, montážní jednoúčelové stroje, jednoúčelové obráběcí stroje, řízení strojů a technologických procesů a dodávka rozvaděčů pro jednoúčelové stroje. Firma provádí zákaznické služby jako zpracování technického řešení problémů s konzultací se zákazníkem dle požadavků jednotlivých firem, specifikaci použitých komponent mechanických i elektrických částí jednoúčelových strojů, předložení návrhů ve formě technické, termínové a cenové nabídky a zpracování technické dokumentace mechaniky, návrhu řídicího systému a ovládání zařízení.



Obrázek 1 - Letecký pohled na sídlo zadávající organizace [4]

Firma provádí samotnou výrobu zařízení, zprovoznění softwarového vybavení řídicích systémů, zkoušky funkčnosti jednoúčelových strojů a jejich instalaci u zákazníka. V rámci předání stroje firma dodává návod k obsluze a údržbě. Na stroje je poskytnut záruční a pozáruční servis. Krom výroby zařízení se firma zabývá výrobou součástek na míru zákazníka.

Firma je vlastníkem haly určené pro montáž strojů a zařízení a haly s dvěma 3-osími frézky, skladem materiálu a zařízeními zajišťující plynulost výroby. Jsou vlastníkem certifikátu ISO 9001:2008.

1.3. Uvedení do řešené problematiky

Podnětem k řešení problému je zefektivnění, zrychlení a usnadnění výroby AirCleaneru. Plně sestavený AirCleaner s hmotností okolo dvaceti kilogramů a maximálními rozměry 1500 mm délky, 380 mm šířky a 500 mm výšky představuje značnou komplikaci při ruční manipulaci a montáži jednotlivých komponent dohromady. Vzhledem k ergonomii je manipulace s výrobkem problematická, jelikož hmotnostní limity pro častou a pravidelnou manipulaci nepovolují manipulaci s dvaceti kilogramovým břemenem.

Pomocí jednoúčelového stroje lze dosáhnout snížení manipulace s těžkým břemenem na pouhé odebrání ze stroje a odložení na stojan připravený pro tento účel. Celkové rozměry vzhledem k montáži z několika stran taktéž nejsou z hlediska ergonomie příliš vhodné a pomocí stroje lze navrhnout mechanismus, který tento hendikep značně eliminuje.

Stroj bude umístěn v montážní hale, kde nehrozí poškození leptavými ani jinak degradujícími látkami. Je zde zaručeno sucho, čisto a konstantní teplota. V hale je možnost připojení elektrického proudu, stlačeného vzduchu, odsávacího zařízení a odpadního potrubí.

2. Vyjasnění a rozpracování požadavků na navrhovaný technický produkt

2.1. Vyjasnění zadání

Vzhledem k tomu, že bylo po stroji požadováno umožnit několik montážních mezikroků, bylo nutno k hlavnímu stroji přiřadit dva přidružené stroje pro přípravu potřebných komponent. Hlavní pracoviště sloužilo k montáži komponent do jednoho celku AirCleaneru. První přidružené pracoviště sloužilo k montáži šroubů do víka. Druhé přidružené boční pracoviště sloužilo k ruční montáži hlavy na body a předmontáž body. Vzhledem k nutnosti splnění ergonomických požadavků muselo hlavní pracoviště obsahovat zářivku, která musela být pro ideální rozptýlení světla umístěna 1000 mm nad osou zakládání. Boční přídatná pracoviště měla zajištěna externí osvětlení, protože rámy obou bočních pracovišť byly otevřené a zářivky nemohly být umístěny přímo na rámy strojů. Dalším požadavkem hlavního pracoviště bylo maximální snížení výšky zakládací pozice, aby se minimalizovala vzdálenost manipulace s AirCleanerem. Pro vyrovnání nerovností musela všechna pracoviště obsahovat stavitelné nohy s kolečky, které požadované vyrovnání umožnily, přičemž musela být umožněna snadná manipulace se strojem.

2.1.1. Hlavní pracoviště

Maximální rozměry hlavního pracoviště musely být vzhledem k vyhrazeným prostorám společnosti maximálně 2000x1000x900 mm. Hlavní pracoviště muselo obsahovat mechanickou aretaci pro propojení do základní části u zadavatele. Dalšími požadavky na hlavní pracoviště byly elektrorozvaděč s propojovacími konektory Harting a lineární stativ s posuvem 2000 mm.

Mechanické pohyblivé části pracoviště musely obsahovat bezpečnostní prvky, které zabránily obsluze upravovat, manipulovat či jakkoliv zasahovat do chodu stroje a tím změnit parametry montáže, případně se zranit. Tyto bezpečnostní prvky musely umožňovat servisní zásahy, případně úpravy parametrů od kompetentních osob. Veškerá připojení (elektrická, pneumatická,...) musela být realizována ze zadní nebo svrchní části stroje. Muselo se předcházet vlivu obsluhy na proces, jako např. krytem zabráňujícím manipulaci s redukčními ventily, optickými a indukčními snímači a scannery. Hlavní pracoviště mělo být osazeno šroubovákem Desoutter doplněným o detekci odebrání výměnného nástroje

s úpravou pro rychlovýměnu nástrojů. Dále měl být stroj osazen ručním elektrickým šroubovákem DOGA s rozsahem 4 až 9,8 Nm a otáčkami 150 až 550 rpm.

2.1.2. Boční pracoviště 1

Toto pracoviště sloužilo pro předmontáž šroubů do víka. Pracoviště 1 mělo obsahovat možnost připojení k rámu základní části pomocí rychloupínek od firmy Destaco. Dále muselo být osazeno ručním hřebenovým lisem od firmy Schmidt o zdvihu 100 mm s kontrolou polohy dolisování s odblokováním a s lisovacím nástrojem upnutým přes magnet.

2.1.3. Boční pracoviště 2

Toto pracoviště sloužilo pro ruční montáž hlavy na body a jeho předmontáž. Pracoviště 2 mělo obsahovat možnost připojení k rámu základní části pomocí rychloupínek od firmy Destaco. Pracoviště mělo umožnit jednoduché navedení hlavy na základní pozici s následným navedením body do správné vzájemné lisovací pozice.

2.2. Stav techniky

Pro zefektivnění konstrukce stroje byla provedena rešerše strojů s podobným principem fungování. Vzhledem k tomu, že se zadavatel výrobou jednoručových strojů pro automatizaci zabývá téměř 23 let, bylo možné se inspirovat z letitých zkušeností a mnoha návrhů předešlých strojů. Rám většiny strojů byl z hliníkových profilů značky Alutec K&K, Item nebo Bosch. Pneumatické pohony a rozvody byly od firem SMC či Festo. Nejčastěji používané osvětlení bylo od firmy Bosch a různorodé nakupované strojní součásti byly od firem MISUMI, Eles+Ganter, KIPP, Hiwin a dalších.

Dle zvyklostí a požadavků zadavatele měl být stroj osazen osvětlením od firmy Bosch a šroubovákem od firmy Desoutter či Doga. Ostatní nakupované komponenty byly ponechány na konstruktérovi jednoručového stroje.

2.3. Analýza problému

Stroj měl být využíván minimálně po dobu pěti let při dvousměnném provozu. Detailní určení počtu vyrobených kusů pro přesné definování cyklů nebylo možné z důvodu malé automatizace. Přesný počet vyrobených kusů závisí na zručnosti obsluhy stroje a na její schopnosti rychle splnit požadované manuální úkony pro kompletování jednotlivých dílů AirCleaneru dohromady. Dle předpokladu by měla obsluha s připravenými jednotlivými komponentami u stroje zkompletovat jeden AirCleaner, včetně jeho odebrání a připravení na další zpracování, za 120 sekund. Dle tohoto předpokladu bylo nutné dimenzovat jednotlivé vyráběné komponenty stroje jak vhodností tvaru, tak správnou volbou materiálu. Dále musely být vhodně voleny normalizované součásti a veškeré nakupované komponenty jako například pneumatické válce. Na stroji měli pracovat dělníci s žádnou, či minimální kvalifikací, takže složitost ovládání stroje musela být minimální, přičemž musela být zajištěna maximální bezpečnost proti poranění, či jinému



Obrázek 2 - CNC obráběcí centrum HURCO [5]

neopatrnému zacházení. Stroj měl být umístěn v kryté hale, kde nehrozily srážky, povětrnostní vlivy a prostředí bylo relativně čisté bez používání chemikálií, či jiných látek, které by mohly poškodit konstrukci stroje nebo jeho funkční části.

2.4. Analýza realizovatelnosti

Zadávací firma vlastní kryté prostory pro montáž s potřebnými elektrickými rozvody a rozvody stlačeného vzduchu. Dále vlastní dvě tříosé CNC frézky značky HURCO, na kterých probíhá výroba většiny součástí, a konvenční soustruh pro drobné úpravy. Zadávatelská firma je na trhu již více než 22 let a z tohoto důvodu má již plně vybavenou halu potřebným nářadím pro montáž i vyvinutý systém nákupu potřebných komponent. Náročnější rotační součásti s přesnějšími tolerancemi a povrchové úpravy zadává firma externím dodavatelům. Vzhledem k tomu, že na návrh konstrukce stroje, výrobu, montáž i odzkoušení funkčnosti byl dán časový limit přibližně dva měsíce, byl kladen vyšší nárok na rychlost konstrukce, aby byl stroj hotov do termínu dodání. Vzhledem k meznímu termínu a časové náročnosti výroby rotačních součástí, bylo vhodné se externí výrobě těchto součástí vyvarovat a preferovat výrobu na vlastních tříosých CNC frézkách, jejichž hodinová sazba, ve které byl zahrnut plat obsluhy, údržba, opotřebení nástrojů a provozní kapaliny, byla navíc ohodnocena nižší částkou, než za kterou by se součásti vyráběly externě. Většina používaných materiálů na konstrukci stroje je běžně dostupná. Jedná se o slitinu hliníku EN AW 6060, TECAFORM AH (Acetal Copolymer) a oceli třídy 11-17 a 19. Vzhledem ke krátké době dodání bylo potřeba, již po hrubém návrhu konstrukce, objednat potřebné nakupované komponenty, aby byly dodány včas a nebylo nutno improvizovat.

2.5. Specifikace požadavků

Tabulka 1 - Tabulka požadavků na konstrukci

Požadavkový list	
Požadovaná vlastnost	Důležitost
Jednoduchost	Vhodná
Účelnost	Požadovaná
Spolehlivost	Požadovaná
Bezpečnost	Požadovaná
Bezporuchovost	Požadovaná
Vyrobitelnost	Požadovaná
Běžnost materiálů	Požadovaná
Snadný servis	Vhodná
Snadná údržba	Vhodná
Stabilita	Požadovaná
Snadná likvidace	Vhodná
Recyklovatelnost	Vhodná

2.6. Časový plán řešení

Z hlediska studijního a zkušebního řádu pro vypracování diplomové práce byl stanoven tento harmonogram.

5.10. - 15.10. - Proniknutí do problematiky zadané zakázky

16.10. - 5.11. - Zpracování zadání, vyhledání vhodné literatury

6.11. - 20.12. - Vytvoření konstrukčního návrhu pro předpřejímku u zadavatele

21.12. - 10.2. - Úpravy konstrukce vyplývající z předpřejímky, dohled na montáž

- 10.2. - 9.4. - Psaní samotného textu diplomové práce
- 10.4. - 25.4. - Formální úprava diplomové práce
- 26.4. - 20.5. - Dokončení a tisk diplomové práce

3. Návrh provozního transformačního procesu TS

3.1. Výchozí rozhodnutí

3.1.1. Pracoviště 1

Vstupním materiálem pro pracoviště 1 bylo víko od AirCleaneru a čtyři šrouby. Pracoviště muselo být koncipováno co nejjednodušeji, vzhledem k ekonomické stránce věci, s minimalizováním rizika špatného založení, či špatné montáže. Pracoviště bylo osazeno čtyřmi indukčními snímači od firmy Sick pro kontrolu správného zalisování šroubů. Vzhledem k požadavku zadavatele na co nejnižší možnou cenu bylo pracoviště koncipováno jako manuální s posuvným vřetenovým lisem na vedení od firmy Hiwin. Rozdílná poloha šroubů v ose kolmé na vřetenový lis byla vyřešena posuvným pracovním stolem se zakládáním dílu na vedení Hiwin. Pomocí tohoto řešení šlo polohu vřetenového lisu manuálně upravovat jak v ose x, tak v ose y. Zakládání bylo zvoleno vzhledem k nízké kvalifikaci pracovníků maximálně jednoduše, aby nemohlo dojít ke špatnému založení a tím špatnému nalisování šroubů. Vzhledem k relativně pravidelnému tvaru bylo založení koncipováno jako Poka-Yoke, aby nemohlo dojít k obrácení dílu při založení a tím vyhodnocení dílu indukčními snímači jako NOK.

3.1.2. Pracoviště 2

Vstupním materiálem pro pracoviště 2 byla část AirCleaneru body a část AirCleaneru hlava. U pracoviště 2, tak jako u pracoviště 1, byl kladen velký důraz na minimalizaci ceny. Z tohoto důvodu bylo pracoviště koncipováno jako manuální, bez kontroly správnosti založení a spojení body s hlavou. Absence snímačů kontrolujících správnost založení a kontrolující správnost spojení body s hlavou pomohla snížit již tak nízkou cenu manuálního pracoviště. Za kontrolu správnosti montáže byla odpovědná obsluha pracoviště. Obsluha musela klást na kontrolu značný důraz, kvůli možnosti následné chybné montáže na hlavním pracovišti. Na hlavním pracovišti byly již přítomné prvky pro automatizaci, protože by případné špatné spojení body s hlavou mohlo mít fatální následky jak na samotný kus, tak na mechaniku hlavního pracoviště.

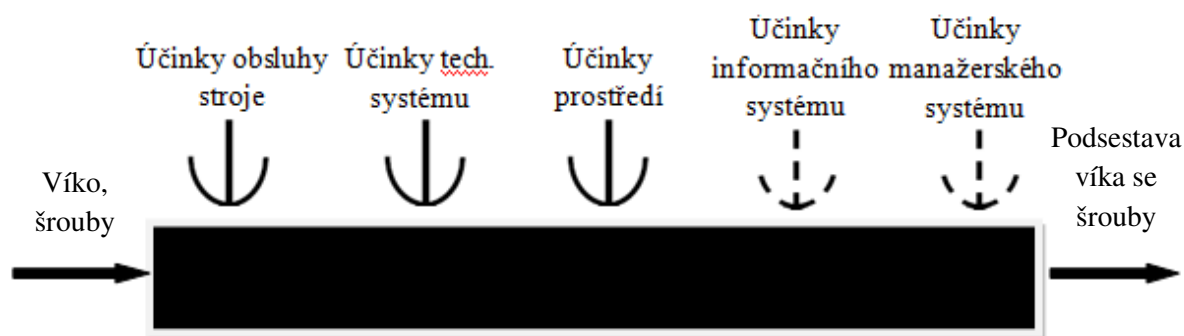
3.1.3. Hlavní pracoviště

Vstupním materiálem pro hlavní pracoviště bylo víko s nalisovanými šrouby z pracoviště 1, sestava body-hlava z pracoviště 2, samořezné vložky, matice a stahovací ocelové pásky. Z důvodu, že byl výrobek značně rozměrný, s hmotností 20 kg, bylo pro ulehčení práce a manipulace s výrobkem při montáži potřebných dílů ze tří stran nutno díl uložit do otočného rámu, který zabránil, z ergonomického hlediska, nevhodné pravidelné manipulaci s břemenem přesahující 15 kg. Pomocí otočného řešení bylo možno manipulaci s břemenem klasifikovat jako občasnou a tím došlo k splnění hygienického limitu pro občasnou manipulaci žen odpovídající 20 kg. Vzhledem ke snížení nákladu na stroj byl maximálně možný počet operací zvolen jako manuální. V případě nevhodného, či špatného založení musel stroj zabránit automatickým operacím, které by mohly poškodit výrobek nebo samotnou mechaniku kompletačního stroje. Dalším úkolem, krom ulehčení a zrychlení práce, bylo lisování horního víka AirCleaneru na body. Tento požadavek nemohl být řešen manuálně z důvodu relativně velké lisovací síly 2000 N a byl proveden pomocí automatizovaného

systému. Vzhledem k velké lisovací síle musel být výrobek podepřen, aby nedošlo k jeho poškození, či poškození otočného zakládání dílu. Podepření nemohlo být zvoleno jako fixní, protože by znemožňovalo otáčení založeného dílu. Z tohoto důvodu byla podpěrná mechanika volena jako pohyblivá, přičemž pro urychlení a synchronizaci s pracovním taktem lisování byla zvolena taktéž automatizovaná. Předposlední operací bylo odtavování zákaznickým čísel, podle kterých se definuje, o jaký typ výrobku se jedná. Odtavování čísel probíhalo při teplotě 300 °C, takže muselo být opatřeno ochranným krytem, který by zabránil zranění obsluhy. Z hlediska bezpečnosti muselo být tavení koncipováno jako automatizované, protože manuální ovládání obsluhou by značně zkomplikovalo konstrukci mechaniky. Veškeré materiály kontaktních dílů s tavicí jednotkou musely být tomuto účelu přizpůsobeny a muselo být zamezeno přenosu tepla k válcům zprostředkujícím pohyb tavicího nástroje na požadovanou polohu vzhledem k výrobku. Posledním úkolem hlavního pracoviště bylo šroubování samořezných vložek, matic, šroubů a stahovacích ocelových pásků. Šroubování šroubů a matic kolmých na podlahu bylo provedeno pomocí šroubováku od firmy Desoutter. Šroubování ocelových vložek bylo provedeno pomocí šroubováku od firmy DOGA.

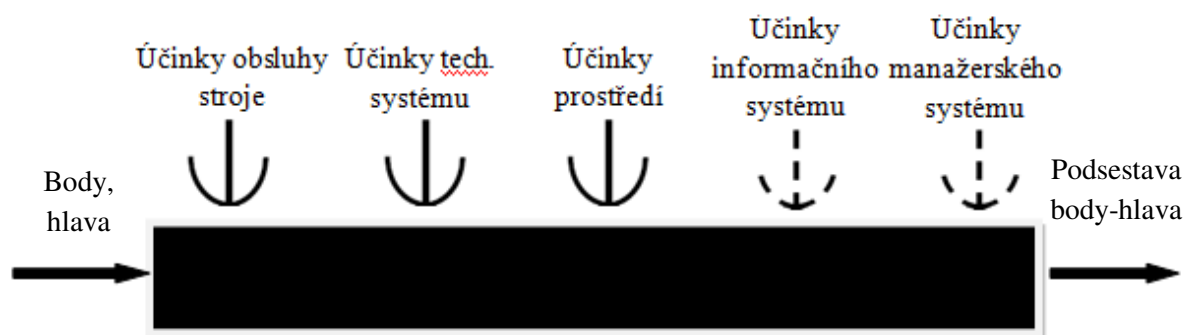
3.2. Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu

3.2.1. Pracoviště 1



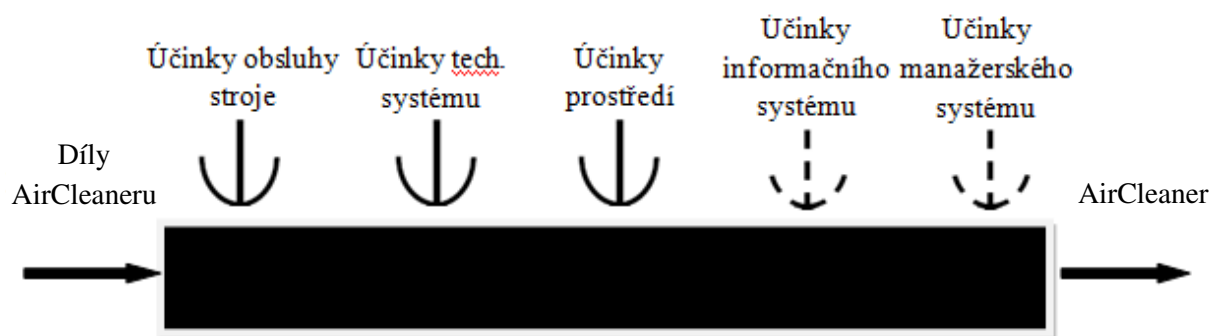
Obrázek 3 – Návrh černé skříňky pro pracoviště 1

3.2.2. Pracoviště 2



Obrázek 4 – Návrh černé skříňky pro pracoviště 2

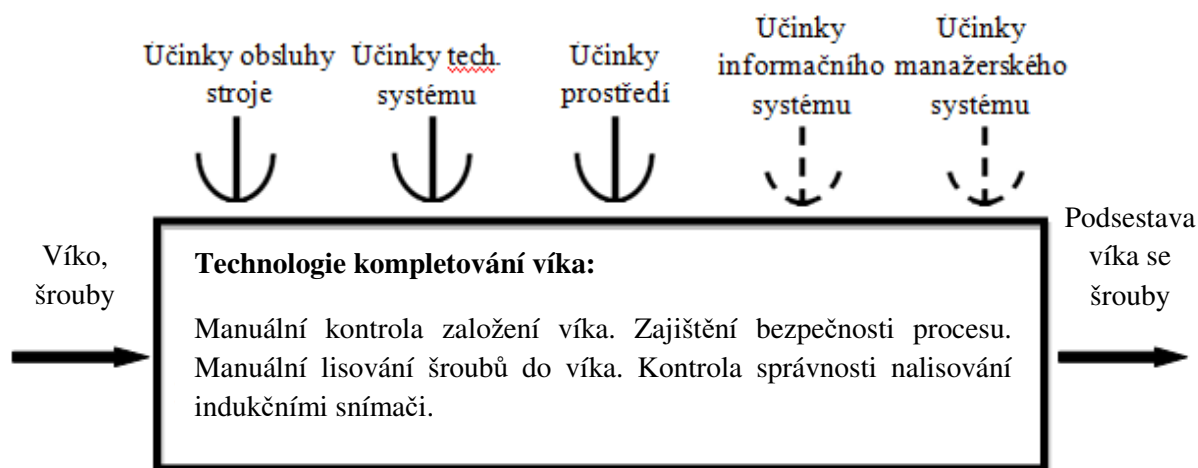
3.2.3. Hlavní pracoviště



Obrázek 5 – Návrh černé skříňky pro hlavní pracoviště

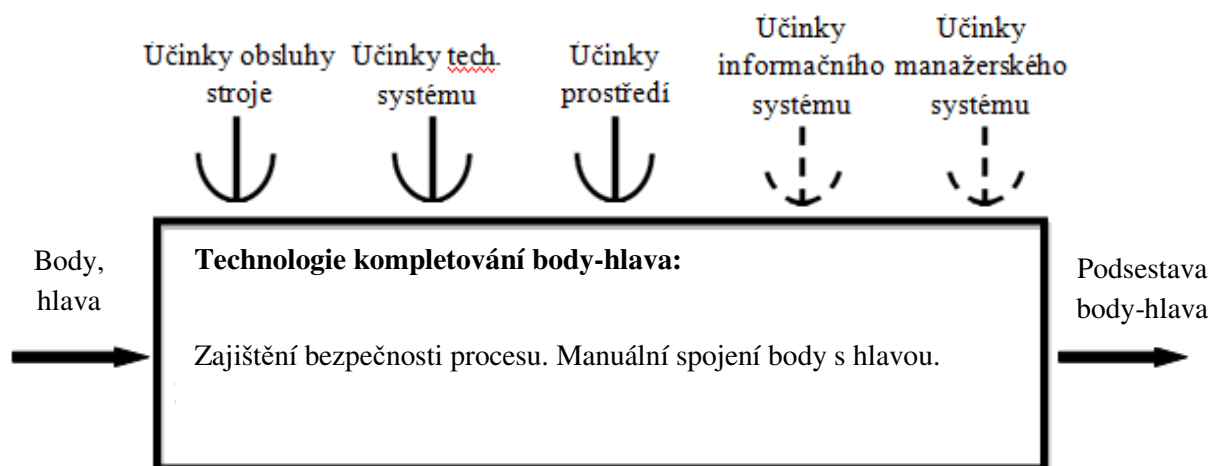
3.3. Návrh technologie provozního transformačního procesu

3.3.1. Pracoviště 1



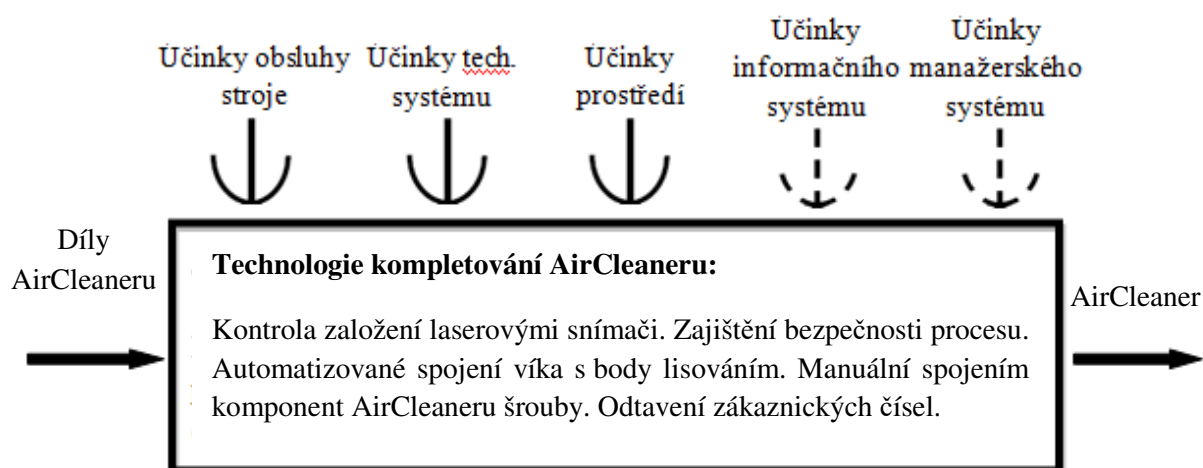
Obrázek 6 – Návrh technologie provozního transformačního procesu pro pracoviště 1

3.3.2. Pracoviště 2



Obrázek 7 - Návrh technologie provozního transformačního procesu pro pracoviště 2

3.3.3. Hlavní pracoviště

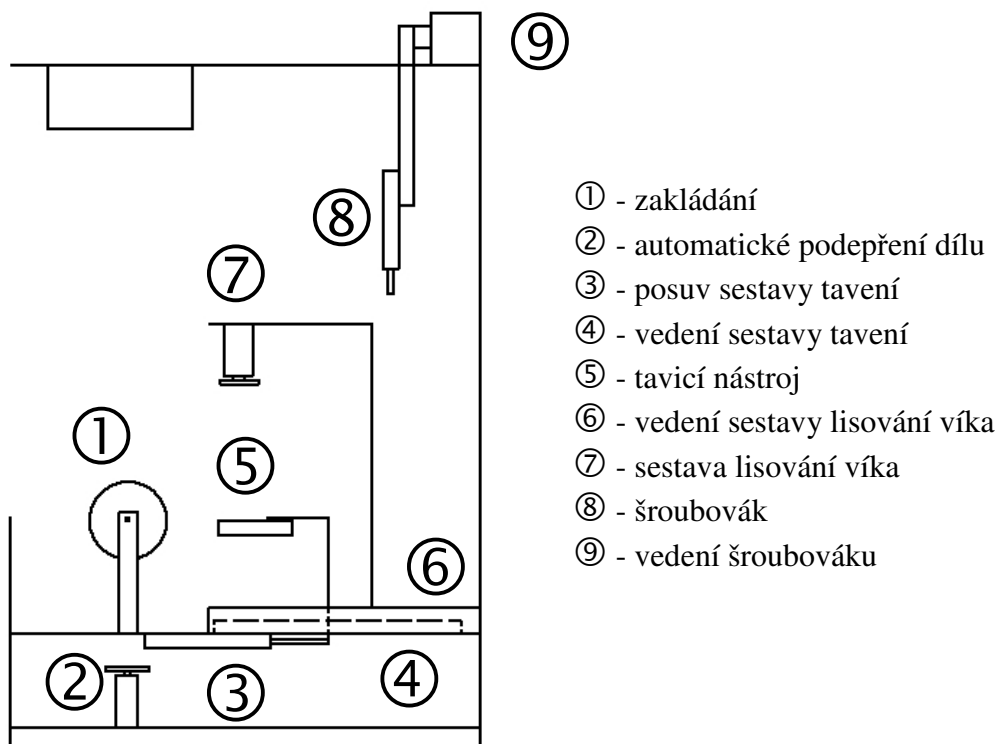


Obrázek 8 - Návrh technologie provozního transformačního procesu pro hlavní pracoviště

3.4. Navržení konstrukčních variant hlavního pracoviště

3.4.1. Varianta A

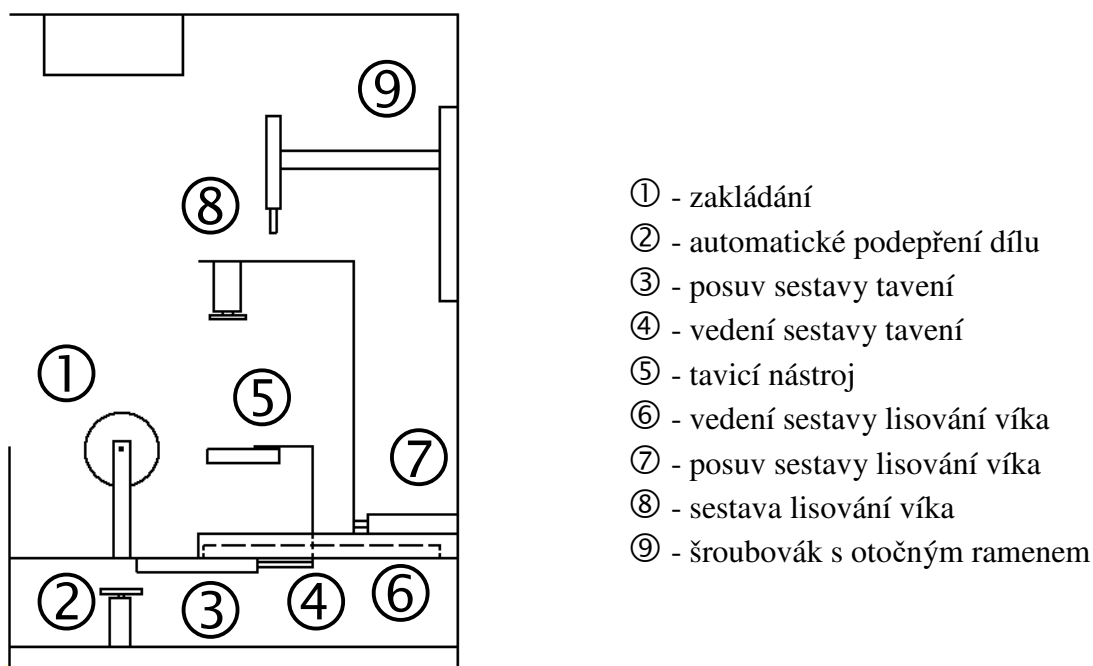
Rám stroje byl koncipován dle zvyklostí zadavatele. Půdorys stroje byl koncipován jako obdélníkový. Bokorys stroje byl koncipován taktéž jako obdélník s částečně otevřenou přední částí pro možnost přístupu k dalším prvkům stroje, jako bylo zakládání a mechaniky. Při návrhu varianty A byl kladen důraz na minimalizování automatizace a tím snížení nákladů na pořízení a provoz stroje. Drobná míra automatizace se i přes to musela na stroji vyskytovat. Vytvořit bez automatizace lisovací sílu 2000 N, se zadavatelem schválenou odchylkou pro lisování víka AirCleaneru, by nebylo možné. Lisovací mechanika byla umístěna do zadní části rámu, kde nevznikala kolize při zakládání dílu a šroubování vertikálně uloženého šroubováku. Posuv sestavy lisování již byl ale řešen v duchu minimalizace automatizovaných součástí. Posuv do pracovní a parkovací polohy byl proveden pomocí ruční manipulace s automatickou aretací polohy. Správná poloha byla určena snímači a aretace provedena pomocí aretačních prvků. Přesnost polohy lisování byla zajištěna pomocí přesného vedení. Další činnost, u které bylo přistoupeno na automatizaci, bylo podepření AirCleaneru při lisování. Vzhledem k ochraně stroje se nedalo plně spoléhat na manuální mechanismus, kde by mohla chyba operátora znamenat nenávratné poškození zakládání a tím odstavení výroby dílů. Pomocí automatizace jak lisování, tak mechaniky podepírající díl, byla zajištěna synchronizace obou operací a z toho plynoucí ochrana zakládání. Zakládání bylo navrženo jako otočný rám, který zajistil pohodlnou změnu polohy bez nutnosti zdvihání břemene. Po správném založení dílu, které bylo detekováno snímači, provedl stroj aretování polohy dílu v rámu pomocí automatizovaných prvků. Zajištění polohy dílu, při několika polohách nutných pro možný přístup k šroubovaným částem, bylo provedeno pomocí ruční aretace. Poslední činností, kde bylo přistoupeno k automatizaci, byla sestava tavení. Vzhledem k relativně vysoké teplotě tavení okolo 300 °C nebylo možné, vzhledem k ochraně obsluhy, připustit ruční manipulaci. Složitý mechanismus, který by zajistil ochranu obsluhy a zároveň dodržel přítlak nástroje během tavení, by vyžadoval nákladné řešení, které by neodstranilo relativně drahou automatizaci. Šroubovák byl umístěn vertikálně na pracovním rameni a lineárním vedení, které zajistilo potřebný rozsah pohybu a dostatečnou tuhost nástroje pro požadované šroubování.



Obrázek 9 – Návrh koncepční varianty A pro hlavní pracoviště

3.4.2. Varianta B

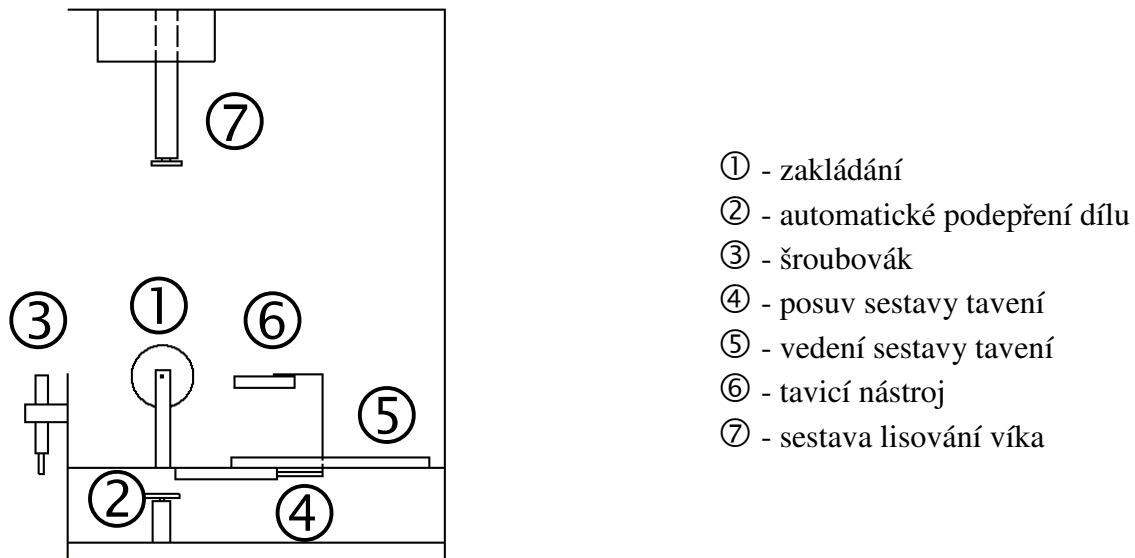
Varianta B byla inspirována variantou A, přičemž byl doplněn automatický posuv sestavy lisování do lisovací i parkovací polohy. Na obsluhu stroje byl, díky tomuto prvku, kladen menší požadavek na fyzickou sílu. Šroubovák byl umístěn na fixní otočné rameno s požadovaným rozsahem pohybu. Díky tomuto prvku byly sníženy pořizovací náklady za dlouhé lineární vedení z varianty A, čímž bylo částečně vykompenzováno zvýšení nákladů přidáním masivního posuvného prvku.



Obrázek 10 - Návrh koncepční varianty B pro hlavní pracoviště

3.4.3. Varianta C

Varianta C taktéž vycházela z varianty A. V tomto případě byla sestava lisování přesunuta do horní části rámu přímo nad výrobek. Šroubovák byl zvolen bez vedení, kdy potřebnou polohu zajistila obsluha stroje. Výhoda této varianty byla nejnižší pořizovací cena. Nevýhodou byl požadavek na zručnost obsluhy vzhledem k ruční manipulaci se šroubovákem.

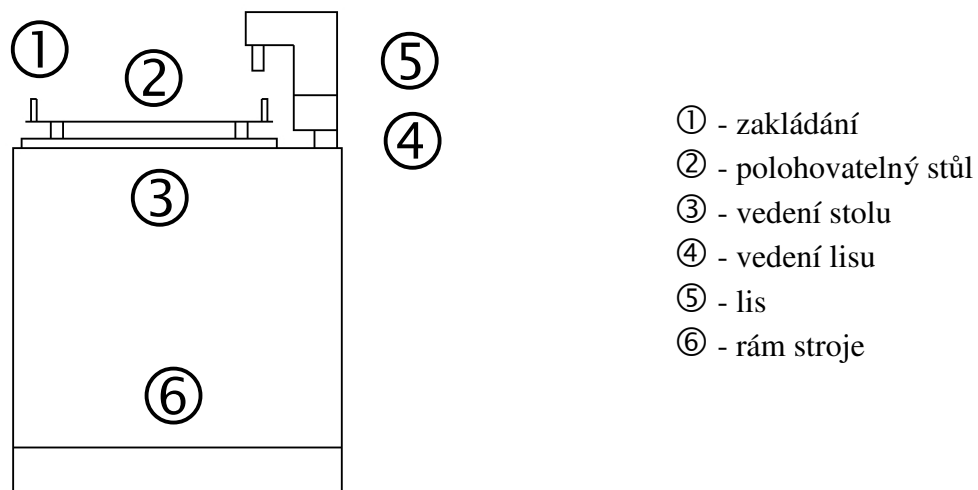


Obrázek 11 Návrh koncepční varianty C pro hlavní pracoviště

3.5. Navržení koncepčních variant pracoviště 1

3.5.1. Varianta A

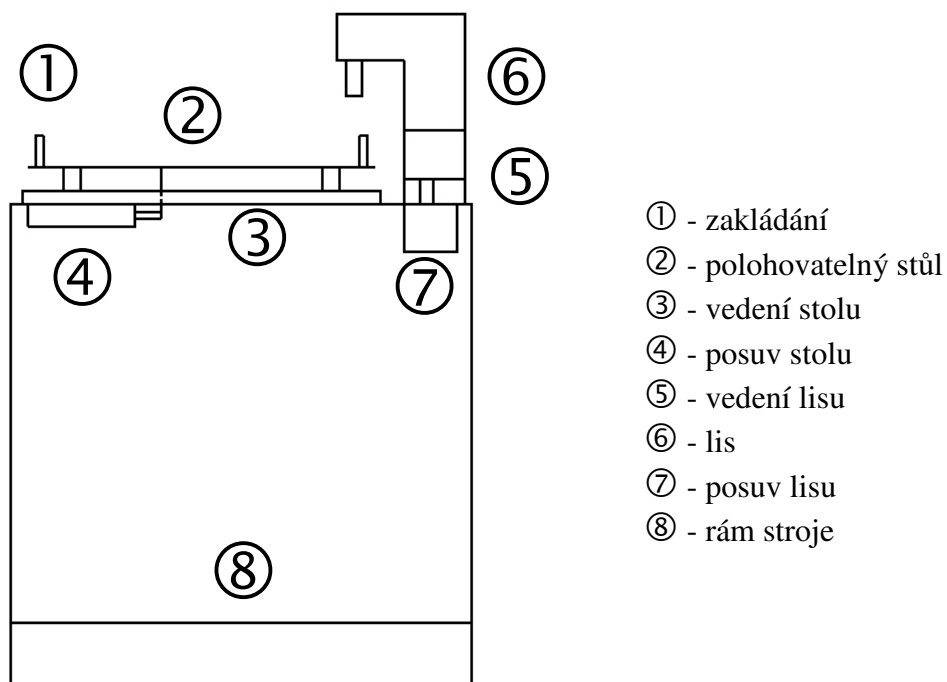
U varianty A nebyla využita automatizace. Sestava byla navržena pouze jako mechanická. Sestava se skládala ze zakládání, které muselo zabezpečit správné založení dílu, přičemž muselo umožnit založení o 180°, protože lisování vložek bylo prováděno ve všech čtyřech rozích dílu. Zakládání bylo umístěno na posuvném stole, který umožnil nastavit správnou polohu lisovaného místa. Posuv byl zprostředkován pomocí lineárního vedení. Lisování bylo provedeno pomocí ručního lisu, jehož poloha byla možná měnit taktéž pomocí lineárního vedení.



Obrázek 12 - Návrh koncepční varianty A pro pracoviště 1

3.5.2. Varianta B

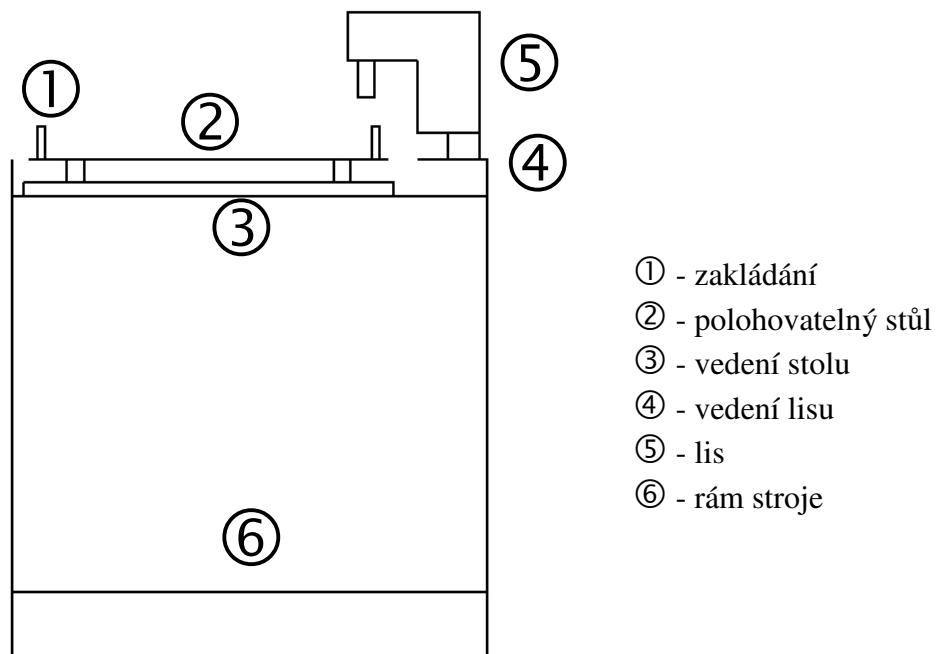
Varianta B vycházela z varianty A, přičemž byla doplněna o automatizované prvky, které zajistily automatický posuv posuvného stolu i lisu na požadovanou pozici.



Obrázek 13 Návrh koncepční varianty B pro pracoviště 1

3.5.3. Varianta C

Varianta C byla obměnou varianty A, kde byl převzat stejný systém s rozdílem, že byl posuvný stůl zakomponován do úrovně stolu, čímž bylo docíleno lepšího vizuálního vzhledu.

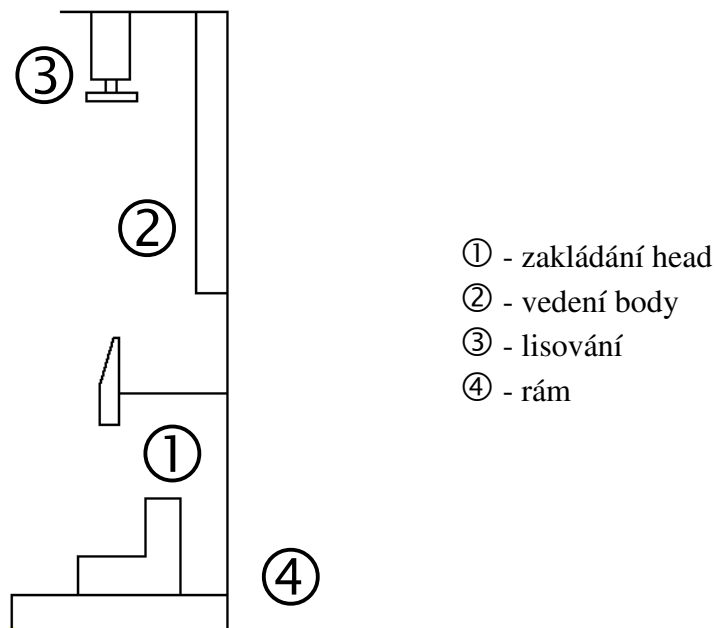


Obrázek 14 - Návrh koncepční varianty C pro pracoviště 1

3.6. Navržení koncepčních variant pracoviště 2

3.6.1. Varianta A

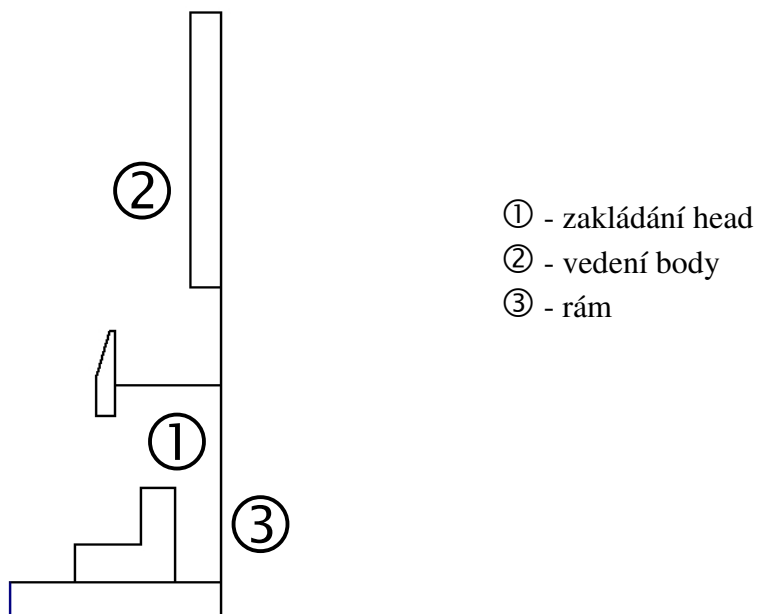
U koncepční varianty A byl kladen důraz na jednoduchost. Skládal se z rámu, který byl inspirován standardy zadávající organizace. Sestava se skládala z jednoduchého zakládání s podpěrou hlavy na čtyřech bodech. V horní části rámu se vyskytovalo vedení pro navedení body na hlavu. Lisování sestavy hlava-body probíhalo pomocí automatizovaného prvku.



Obrázek 15 - Návrh koncepční varianty A pro pracoviště 2

3.6.2. Varianta B

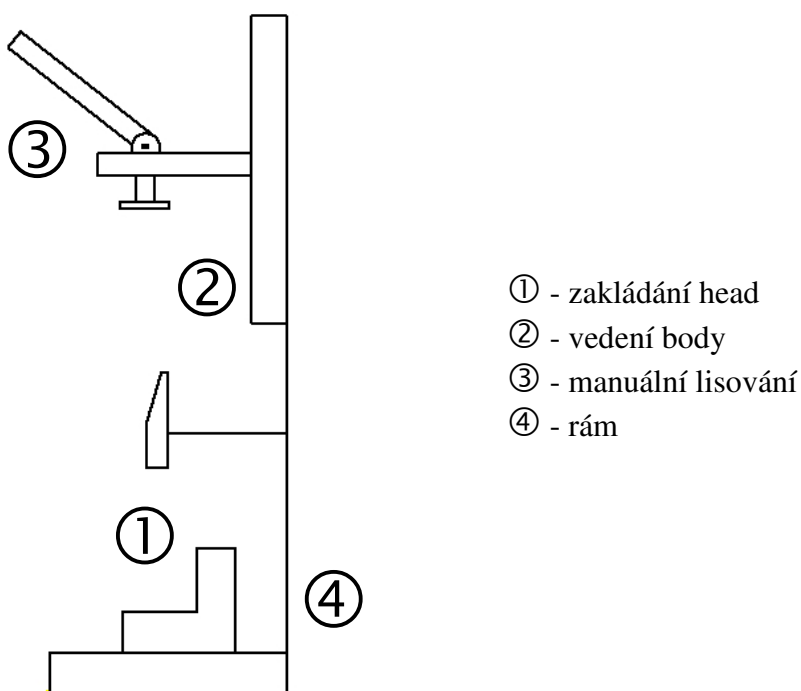
Varianta B konstrukčně vycházela z varianty A, pouze nebyla využita automatizace. Sestava byla navržena pouze jako mechanická, čímž se značně zvýšila bezúdržbovost, jednoduchost a snížily se náklady na stroj.



Obrázek 16 - Návrh koncepční varianty B pro pracoviště 2

3.6.3. Varianta C

Varianta C byla obdobná jako varianta A. Změnou v této variantě byla výměna automatizovaného lisovacího prvku za manuální lisovací prvek. Tato změna snížila náklady oproti variantě A, ale přitom došlo k zachování mechanismu pro lisování, čímž došlo k usnadnění fyzické práce pro obsluhu stroje.



Obrázek 17 - Návrh koncepční varianty C pro pracoviště 2

3.7. Zhodnocení variant hlavního pracoviště

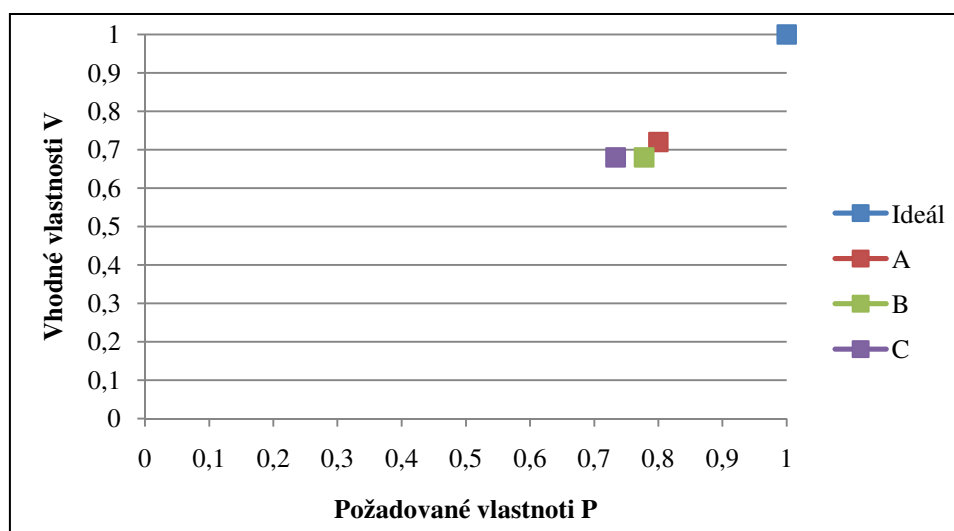
3.7.1. Výchozí rozhodnutí pro hlavní pracoviště

Tabulka 2 – Tabulka výchozího rozhodnutí pro hlavní pracoviště

Alternativa		A	B	C	Ideál
Symbol	Kritéria hodnocení	Hodnocení vhodnosti			
P	Požadované vlastnosti	5	5	3	5
	Účelnost	4	3	3	5
	Spolehlivost	3	2	3	5
	Bezpečnost	5	5	5	5
	Ovlivnitelnost procesu	4	4	2	5
	Poruchovost	3	4	5	5
	Vyrobitelnost	4	4	4	5
	Běžnost materiálů	3	3	3	5
	Stabilita	5	5	5	5
	Součet hodnocení	36	35	33	45
	Normované hodnocení	0,8	0,77778	0,73333	1
V	Jednoduchost	4	4	5	5
	Snadný servis	4	4	3	5
	Snadná údržba	3	2	2	5
	Snadná likvidace	4	4	4	5
	Recyklovatelnost	3	3	3	5
	Součet hodnocení	18	17	17	25
	Normované hodnocení	0,72	0,68	0,68	1

3.7.2. Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro hlavní pracoviště

Dle výsledku výchozího rozhodnutí byla jako optimální varianta zvolena varianta A.



Obrázek 18 - Graf hodnocení variant hlavního pracoviště

3.8. Zhodnocení variant pracoviště 1

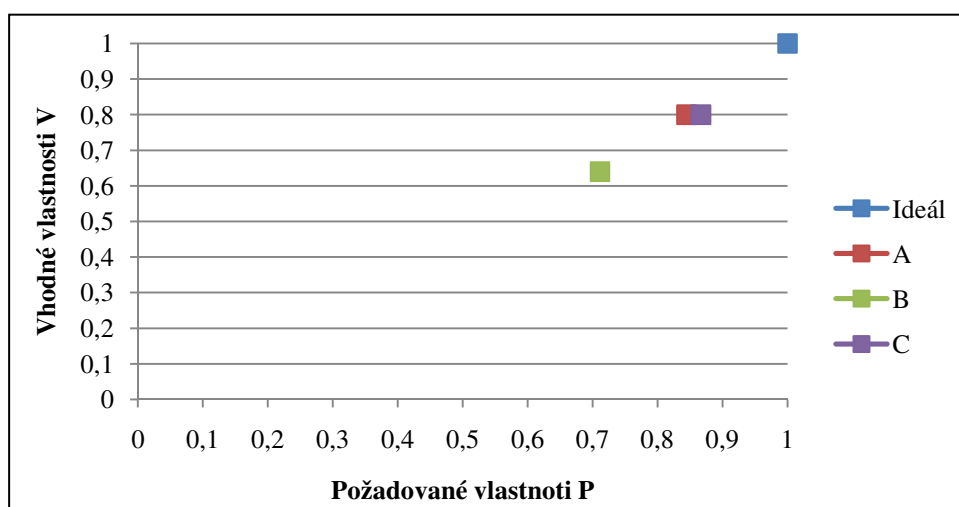
3.8.1. Výchozí rozhodnutí pro pracoviště 1

Tabulka 3 - Tabulka výchozího rozhodnutí pro pracoviště 1

Alternativa		A	B	C	Ideál
Symbol	Kritéria hodnocení	Hodnocení vhodnosti			
P	Požadované vlastnosti	5	5	5	5
	Účelnost	4	3	4	5
	Spolehlivost	4	3	4	5
	Bezpečnost	3	2	4	5
	Ovlivnitelnost procesu	5	3	5	5
	Poruchovost	5	4	5	5
	Vyrobitelnost	4	4	4	5
	Běžnost materiálů	3	3	3	5
	Stabilita	5	5	5	5
	Součet hodnocení	38	32	39	45
	Normované hodnocení	0,844444	0,711111	0,866667	1
V	Jednoduchost	4	3	4	5
	Snadný servis	5	3	5	5
	Snadná údržba	4	3	4	5
	Snadná likvidace	4	4	4	5
	Recyklovatelnost	3	3	3	5
	Součet hodnocení	20	16	20	25
	Normované hodnocení	0,8	0,64	0,8	1

3.8.2. Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro pracoviště 1

Dle výsledku výchozího rozhodnutí byla jako optimální varianta zvolena varianta C.



Obrázek 19 - Graf hodnocení variant pracoviště 1

3.9. Zhodnocení variant pracoviště 2

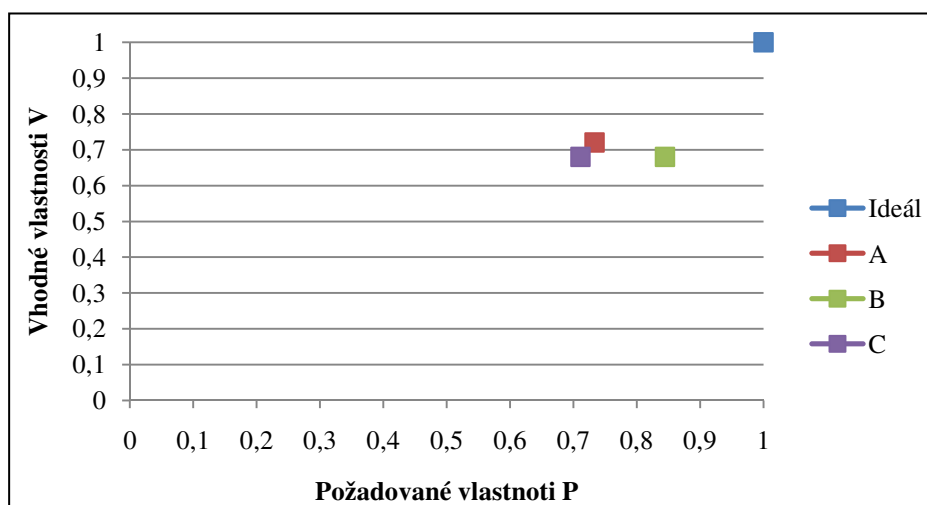
3.9.1. Výchozí rozhodnutí pro pracoviště 2

Tabulka 4 - Tabulka výchozího rozhodnutí pro pracoviště 2

Alternativa		A	B	C	Ideál
Symbol	Kritéria hodnocení	Hodnocení vhodnosti			
P	Požadované vlastnosti	5	5	3	5
	Účelnost	3	4	3	5
	Spolehlivost	2	3	3	5
	Bezpečnost	4	5	5	5
	Ovlivnitelnost procesu	4	4	2	5
	Poruchovost	3	5	4	5
	Vyrobitelnost	4	4	4	5
	Běžnost materiálů	3	3	3	5
	Stabilita	5	5	5	5
	Součet hodnocení	33	38	32	45
	Normované hodnocení	0,73333	0,84444	0,71111	1
V	Jednoduchost	4	4	5	5
	Snadný servis	4	4	3	5
	Snadná údržba	3	2	2	5
	Snadná likvidace	4	4	4	5
	Recyklovatelnost	3	3	3	5
	Součet hodnocení	18	17	17	25
	Normované hodnocení	0,72	0,68	0,68	1

3.9.2. Hodnocení a výběr optimální varianty konstrukce pro pracoviště 2

Dle výsledku výchozího rozhodnutí a vzhledem k vyšší váze požadovaných vlastností nad vhodnými, byla jako optimální varianta zvolena varianta B.



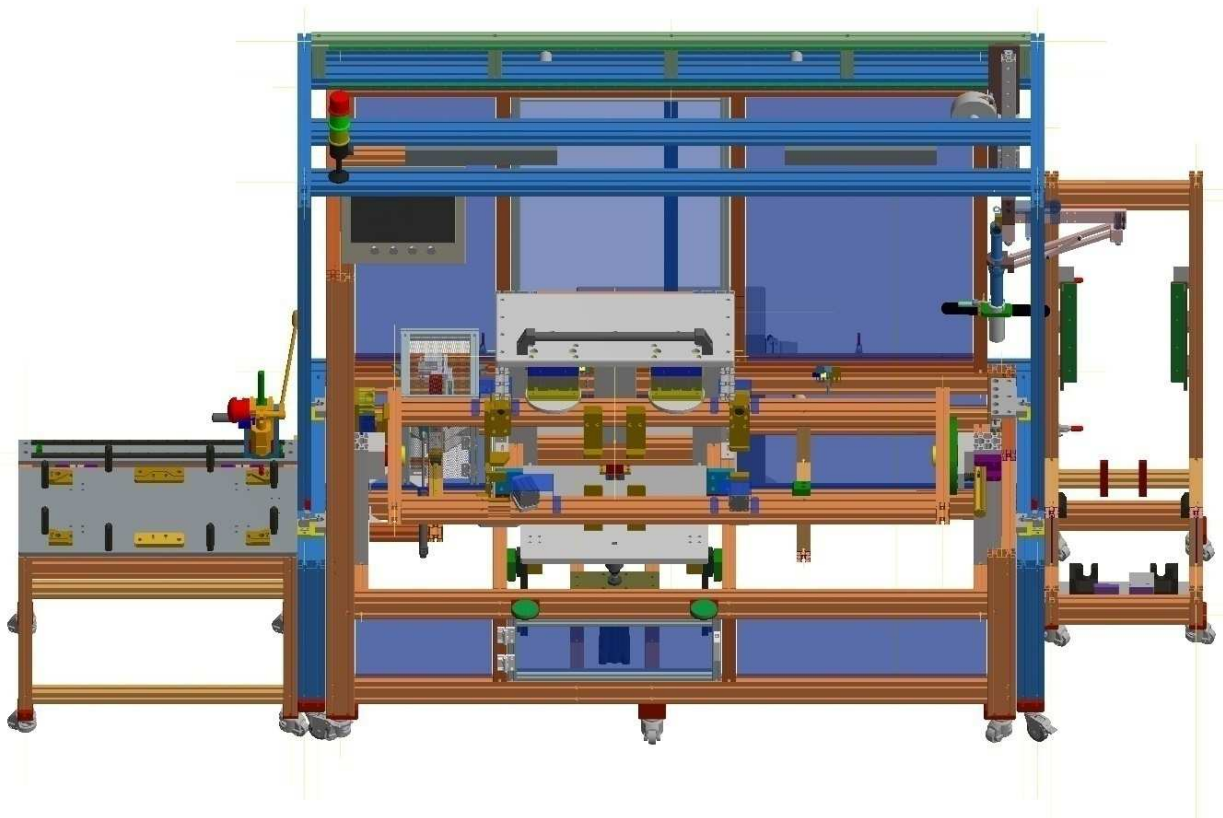
Obrázek 20 - Graf hodnocení variant pro pracoviště 2

4. Návrh konstrukčního řešení úplné TS

Celková sestava byla kvůli své rozsáhlosti rozčleněna na devět podsestav. Toto rozdělení zvýšilo přehlednost jak pro samotnou konstrukci, tak i pro následnou montáž. Úplná stavební struktura byla oproti hrubému konstrukčnímu návrhu doplněna o veškeré potřebné komponenty, které zajistily požadované funkce kompletačního stroje a jeho celkovou funkci.

4.1. Celková sestava

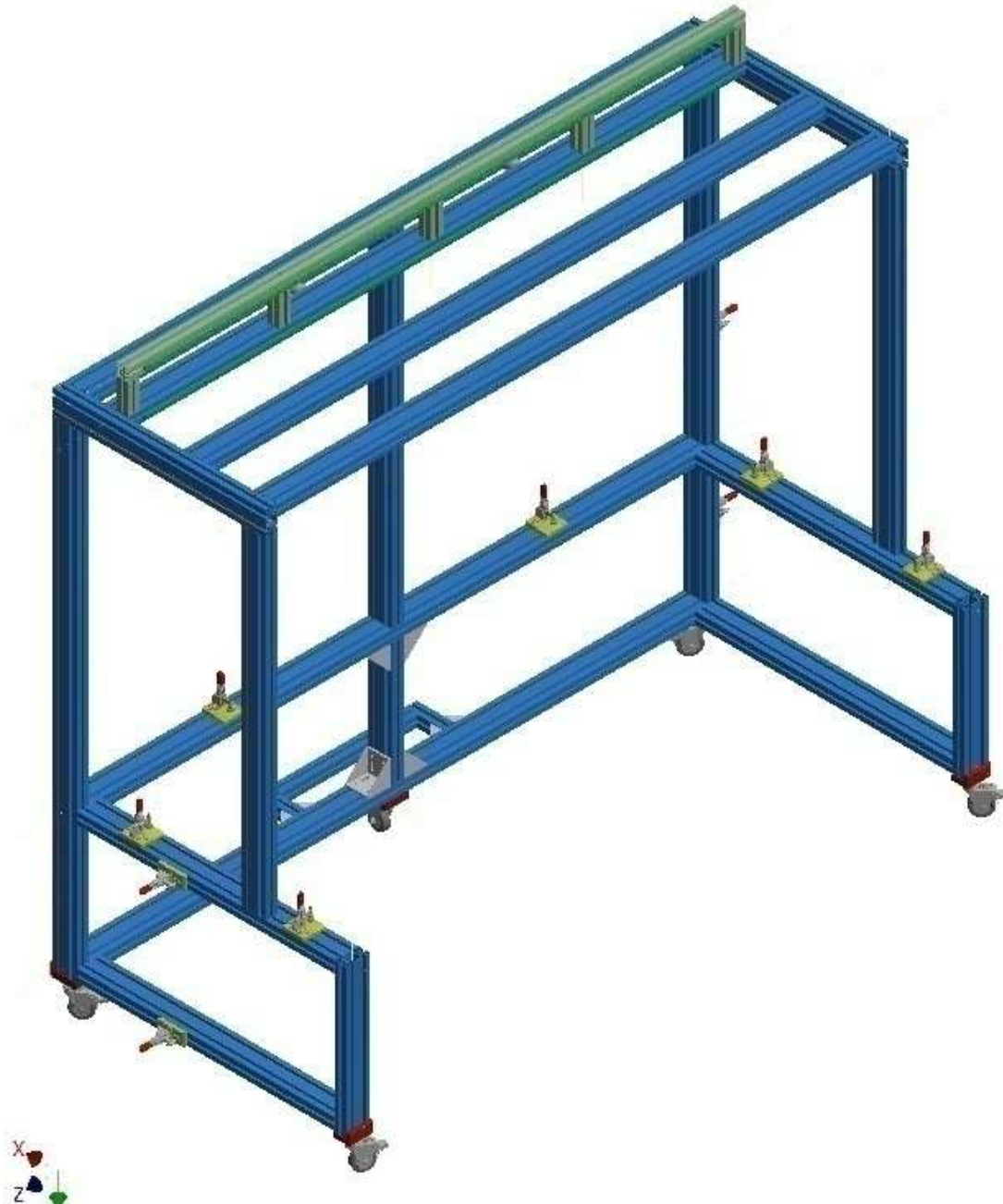
Celková sestava byla označena interním označením 000. Tato sestava sloužila pro zatížení zakázky podle interních pravidel zadávající organizace. Sestava obsahovala veškeré podsestavy patřící k projektu.



Obrázek 21 – Konstrukční řešení pracoviště

4.2. Sestava základního rámu

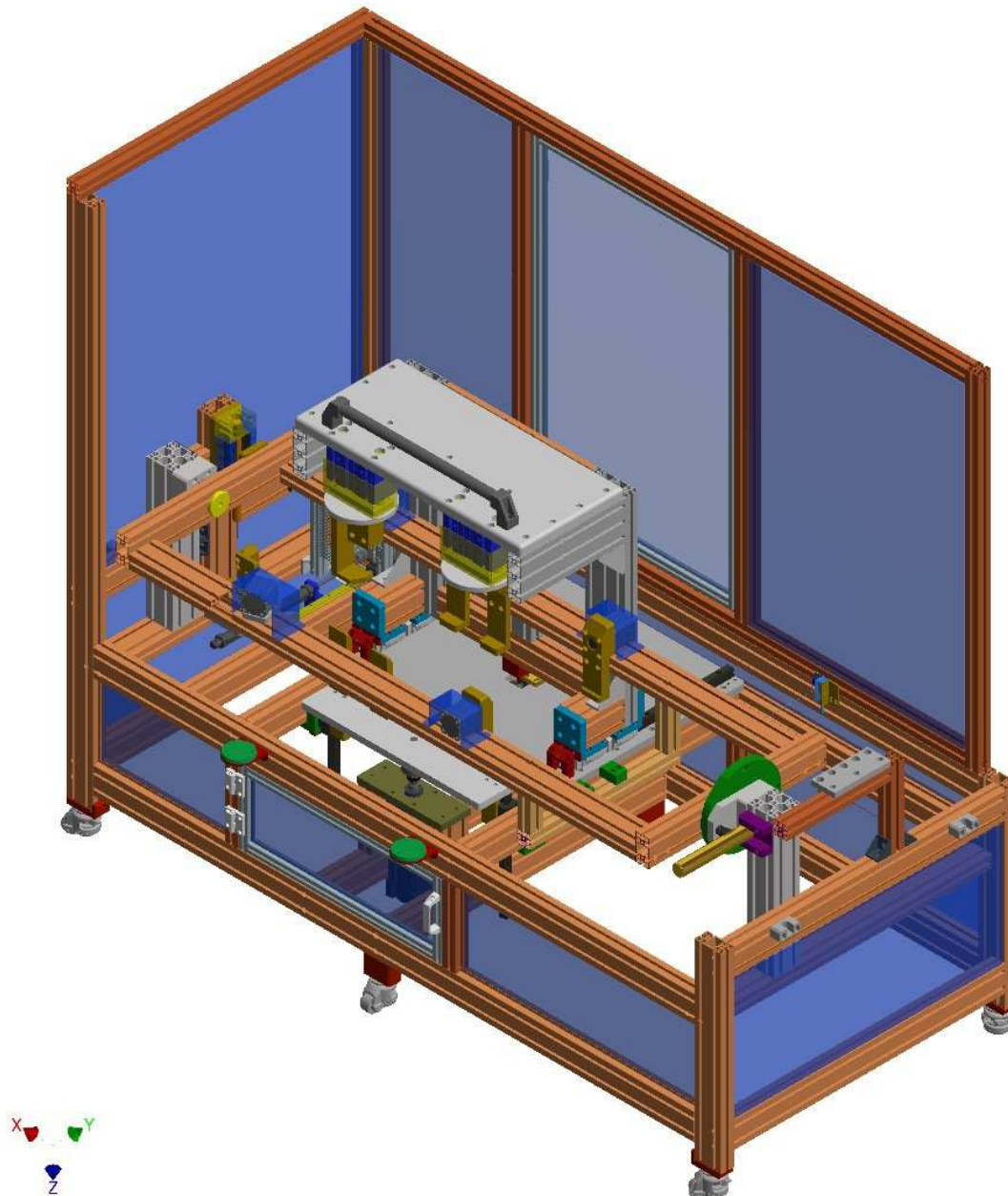
Základní rám s interním označením 100 byl převzat od zadávající organizace. Tento rám se již používal na starším projektu a nově navržený stroj měl sloužit jako náhrada za již končící výrobu jiné komponenty. Rám sloužil k definování maximálního možného rozměru hlavního pracoviště.



Obrázek 22 – Konstrukční řešení základního rámu

4.3. Sestava hlavního pracoviště

Sestava hlavního pracoviště s interním označením 200 obsahovala podsestavu rámu hlavního pracoviště, sestavu tavení, sestavu otočného rámu hlavního pracoviště, sestavu podpěry, sestavu lisování a komponenty zajišťující oddělení pracovního prostoru od vnějšího okolí. Oddělovací komponenty byly voleny dle standardů zadávající organizace. Byly použity hliníkové profily od firmy Alutec K&K s modulem 45 o průřezu 45x45 mm. Jako výplň byly použity tabule z plexiskla. Plexisklo zajistilo oproti sklu výrazně nižší hmotnost a vzhledem k třítivosti skla zajistilo i požadovanou bezpečnost. Za sestavou lisování byly umístěny dvířka pro údržbu a případné seřizování mechanik. Komponenty byly rozebíratelně spojeny s rámem pomocí šroubů M8 s hlavou s vnitřním šestihranem.



Obrázek 23 – Konstrukční řešení hlavního pracoviště

4.4. Sestava rámu hlavního pracoviště

Rám hlavního pracoviště s interním označením 300 byl navržen rozměrově podle základního rámu. Maximální rozměry rámu se musely podřídit podmínce zasunutí rámu hlavního pracoviště do základního rámu, který byl pevně daný a nedal se upravovat. Na rám stroje byly použity profily od firmy Alutec K&K dle zvyklostí zadávající organizace s modulem 45. Pro méně namáhané části rámu byly zvoleny profily o průřezu 45x45 mm. Pro namáhané části, převážně v nepřímém styku se zakládaným dílem, byl použit profil s průřezem 90x45 mm, který poskytl potřebnou vyšší tuhost a pevnost. Rám byl členitostí přizpůsoben vykonávané činnosti na pracovišti s důrazem na maximální snížení hmotnosti. Jednotlivé profily byly vzájemně rozebíratelně spojeny pomocí šroubů M8 s hlavou s vnitřním šestihranem. Vzhledem k vysoké hmotnosti veškerých komponent umístěných na rámu byly zvoleny vysoce nosná kolečka od firmy G-DOK s brzdou, která by v případě potřeby zajistila rám na požadovaném místě.



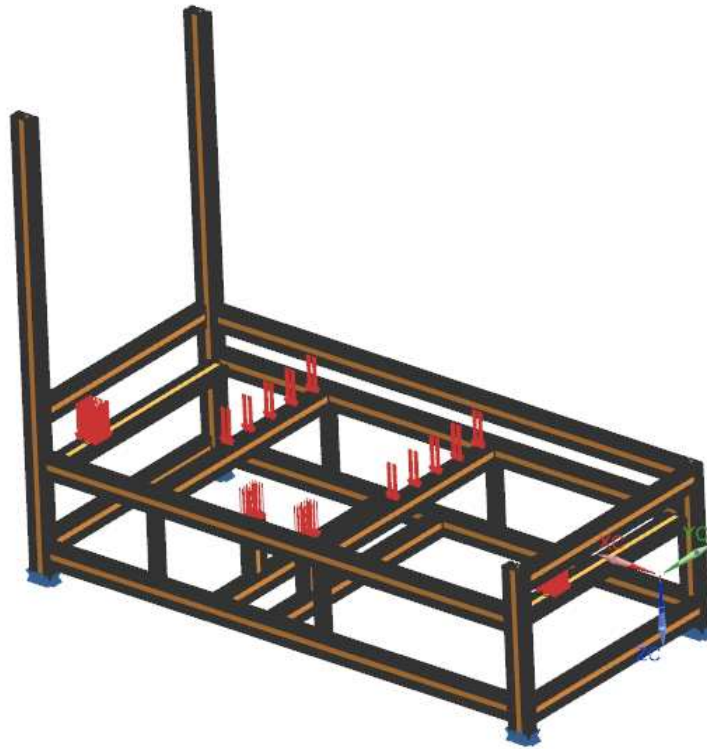
Obrázek 24 – Konstrukční řešení rámu hlavního pracoviště

4.4.1. Kontrolní výpočet rámu

Pro pevnostní kontrolu hlavního rámu, u kterého by bylo provedení ručního výpočtu obtížné vzhledem ke členitému průřezu nosných profilů, byla použita pevnostní analýza pomocí programu Siemens NX 10.

Prvním krokem bylo vytvoření sítě potřebné pro následnou simulaci. Veškeré vyráběné díly a nakupované komponenty, které nebyly nosnou konstrukcí rámu, bylo možno zanedbat. K zanedbání došlo i v případě kol, které sice byly součástí nosné konstrukce rámu, ale nebylo je nutné kontrolovat vzhledem k uvedení nosnosti v katalogovém listu výrobce. Vzhledem k složité vnitřní stavbě profilů byla zvolena pro síťování 3D-Tetrahedral síť. Tato síť s dostatečnou jemností zajistila bezchybné vytvoření jednotlivých elementů. Materiál profilů EN-AW 6060 byl dán nabídkou firmy Alutec K&K. Vyráběné díly byly taktéž zvoleny z materiálu EN-AW 6060 z důvodu upřednostnění materiálu zadavatelem.

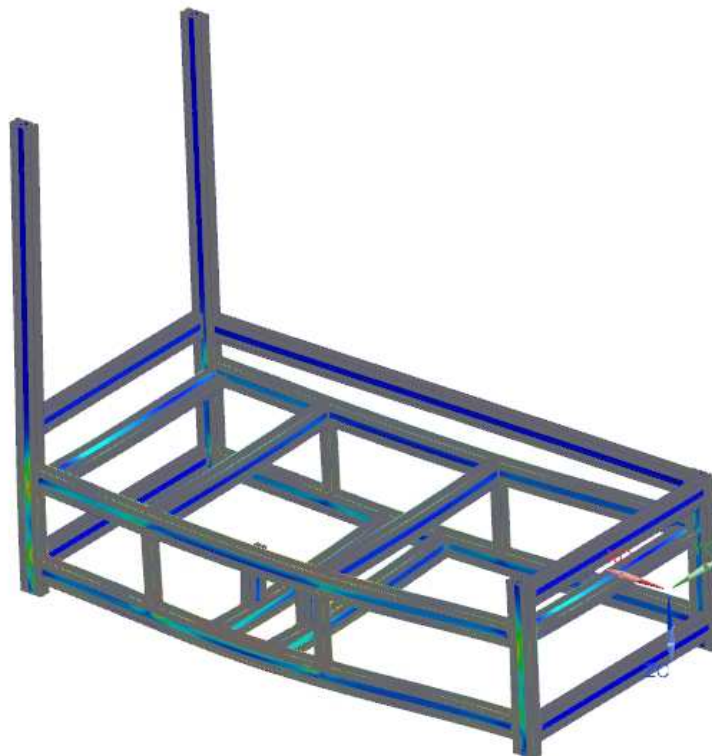
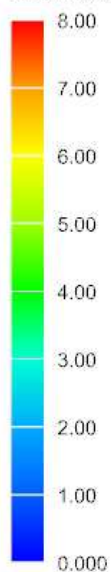
Následným krokem bylo vytvoření simulace. Pro řešení byl zvolen řešič NX NASTRAN. Napětí bylo uvažováno za platnosti Hookova zákona a z tohoto důvodu byl zvolen typ řešení SOL101. Okrajové podmínky byly umístěny na uložení kol, která zprostředkovala přenos zatížení z rámu na podlahu.



Obrázek 25 – Rám s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu

Maximální napětí vyšlo 56,77 MPa, které vyhovuje maximálnímu dovolenému napětí, které bylo dle vzorce $\sigma_D \geq \frac{Re}{k}$ pro bezpečnost 2 rovno 120 MPa. Legenda výsledků v simulaci byla omezena na 8 MPa z důvodu zpřehlednění výsledků. Maximální napětí bylo dosaženo pouze v malých lokálních místech s největším zatížením a při použití celého rozsahu napětí nevykazoval výsledek simulace z pohledu na celou sestavu rozdílné barevné spektrum. Tento výsledek značil předimenzování rozměrů, přičemž ale po konzultaci se zadavatelem byla, i přes tento fakt, stávající konstrukce ponechána pro případné použití i pro výrobky následující v novějších modelech kamionů. Maximální posunutí bylo vypočítáno na 0,808 mm, což bylo vzhledem k použití rámu vyhovující.

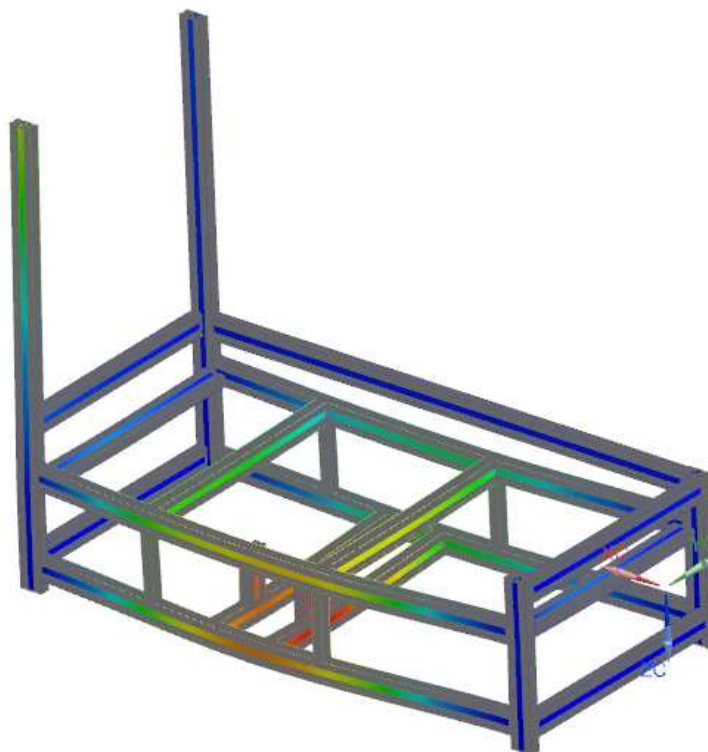
Vlozeny ram_stp_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 56.77, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = N/mm²(MPa)

Obrázek 26 – Výsledek analýzy napětí

Vlozeny ram_stp_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.808, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



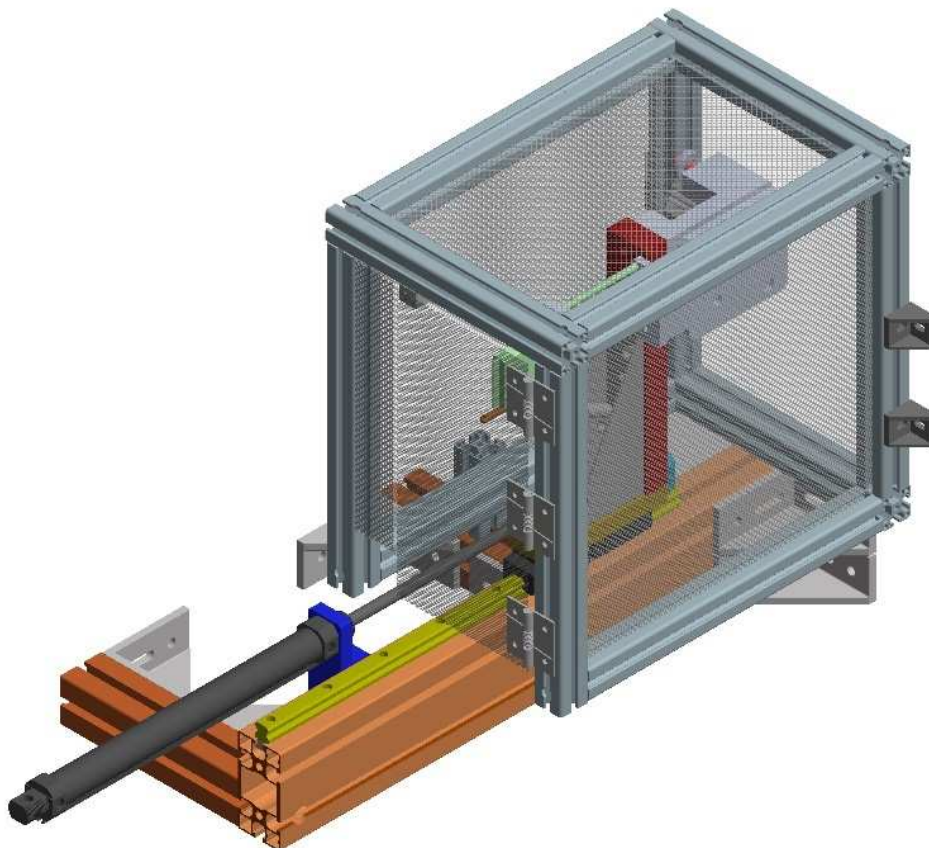
Units = mm

Obrázek 27 – Výsledek analýzy posunutí

4.5. Sestava tavení

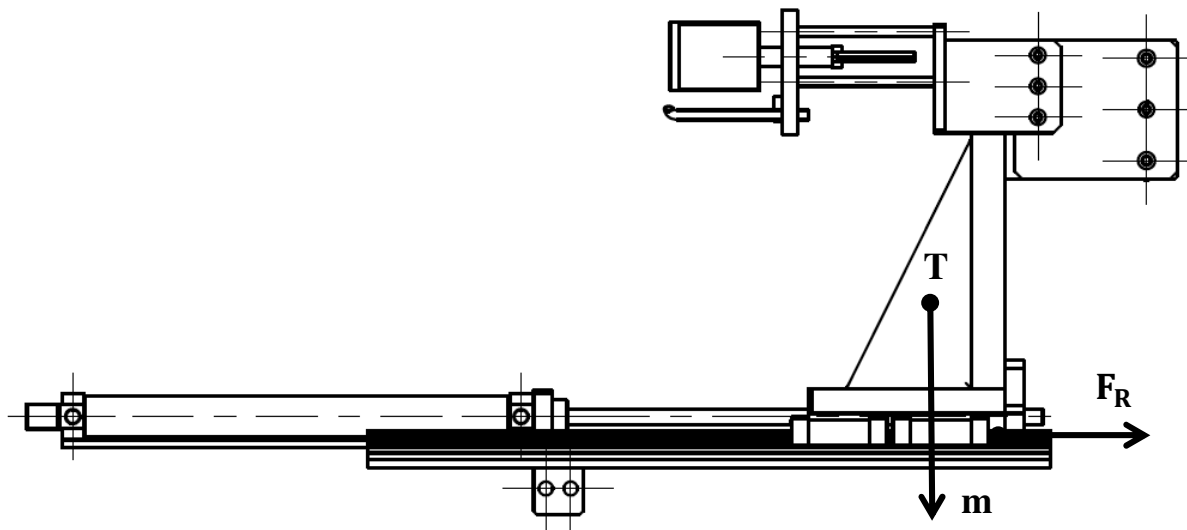
Sestava tavení s interním označením 360 byla rozměrově navržena dle možností pracoviště. Vzhledem k malému prostoru pro sestavu byl kladen důraz na minimalizování rozměrů. Součásti tavení musely, i přes snahu o minimalizaci, splňovat pevnostní podmínky, protože

nástroj prováděl tavení s působením síly a tím pádem nesmělo docházet k jeho deformaci. Posuv nástroje do tavicí pozice a přítlak na požadované tavicí místo byl zprostředkován pomocí pneumatického válce od firmy SMC. Posuv tavicího nástroje mezi dvěma odtavovanými místy byl zprostředkován taktéž pomocí pneumatického válce SMC. Přesnost tavení v požadovaném místě byla zajištěna přesným lineárním vedením od firmy Hiwin. Teplotu tavicího nástroje zajišťovalo topné těleso, které udržovalo konstantní teplotu tavicího nástroje 300 °C. Veškeré komponenty, které byly ovlivněny vysokou teplotou nástroje, byly konstruovány z oceli 1.4404. Materiál by šlo zvolit vhodnější, ale zadavatel trval na použití tohoto materiálu. Pro zamezení přenosu tepla k pneumatickému válci, zajišťujícímu změnu taveného místa, který by vysoká teplota poškodila, sloužily čtyři nosníky kruhového průřezu. Vzhledem k relativně malému průřezu a velkému volnému prostoru, kudy mohl proudit čerstvý vzduch, došlo k redukci přenosu tepla od nástroje a tím k ochraně pneumatických komponent tavicí sestavy. Zbytek komponent, které nebyly ovlivněny teplem nástroje, byl konstruován z materiálu EN-AW 5058. Díky použití tohoto materiálu došlo k redukci hmotnosti a k znatelnému zrychlení výroby komponent, čímž došlo ke snížení výrobních nákladů zadavatele. Celá sestava byla umístěna na hliníkové profily od firmy Alutec K&K, díky čemuž po montáži na hlavní rám došlo k vizuálnímu sladění. Vzhledem k vysoké teplotě tavicího nástroje musely být zajištěny bezpečnostní podmínky, které by zabránily střetu obsluhy a nástroje a tím vzniku zranění. Ochrana proti popálení byla zajištěna nástavbou z hliníkových profilů, kde jako výplň byla zvolena ocelová mříž, která nebránila průchodu vzduchu a tím nezhoršovala chlazení komponent.



Obrázek 28 – Konstrukční řešení tavení

4.5.1. Kontrola pneumatického válce zajišťujícího přísun k dílu



Obrázek 29 – Schéma sestavy tavení

Výpočet třecího odporu

Dáno:

$$m = 3,25 \text{ kg}$$

$$f = 0,002-0,004 \text{ [8]}$$

$$F_R = ? \text{ N}$$

$$F = m \cdot g$$

$$F = 3,25 \cdot 9,81$$

$$F = 31,88 \text{ N}$$

$$F_R = F \cdot f$$

$$F_R = 31,88 \cdot 0,003$$

$$F_R = 0,10 \text{ N}$$

Dle výsledného třecího odporu bylo zřejmé, že rozhodující pro kontrolu válce byla minimální přítláčná síla zadaná zadavatelem pro odtavení zákaznických čísel.

Výpočet potřebné síly válce

Dáno:

$$p = 0,8 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = 350 \text{ N}$$

Voleno:

Pneumatický válec SMC CD85N25-240 [9]

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$F_V = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} p > F_R + F_T$$

$$\pi \frac{25^2 - 10^2}{4} \cdot 0,8 > 0,10 + 150$$

$$412,33 \text{ N} > 350,1 \text{ N}$$

Válec vyhovuje

4.5.2. Návrh průměru nosných prutů tavicího nástroje

Vzhledem k maximalizování kontaktních ploch s čerstvým vzduchem, pro snížení prostupu tepla, bylo nutné vhodně navrhnout velikost průřezu. Geometrický tvar byl zvolen jako kruh, vzhledem k nízké pořizovací ceně a nízké ceně opracování. Bezpečnost pro výpočet byla zvolena dvojnásobná z důvodu teploty okolo 300 °C a rázům vzniklých při opření tavicího nástroje o výrobek.

Dáno:

$$F_V = 412,33 \text{ N}$$

$$n = 4$$

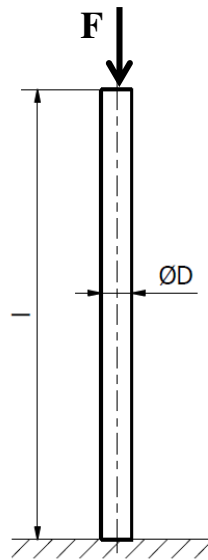
$$F = \frac{F_V}{n} = \frac{412,33}{4} = 103,08 \text{ N}$$

$$l = 88 \text{ mm}$$

$$k = 6$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_u = 150 \text{ MPa}$$



Obrázek 30 – Schéma prutu tavení

$$\lambda \geq \lambda_{mez}$$

$$F_{kr} \geq kF$$

$$F_{kr} = n \frac{\pi^2 EJ_{min}}{l^2}$$

$$J_{min} = \frac{\pi D^4}{64}$$

Jednalo se o vzpěr typu I, proto platí $n = 1/4$.

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E \frac{\pi D^4}{64}}{4l^2} = \frac{\pi^3 E D^4}{256l^2}$$

$$kF = \frac{\pi^3 E D^4}{256l^2} \Rightarrow D = \sqrt[4]{\frac{256 F k l^2}{\pi^3 E}} = \sqrt[4]{\frac{256 \cdot 103,08 \cdot 6 \cdot 0,088^2}{2 \cdot 10^{11} \pi^3}} = 0,004 \text{ m} = 4 \text{ mm}$$

Kontrola podmínky λ

$$\lambda_{mez} = \pi \sqrt{\frac{nE}{\sigma_u}} = \pi \sqrt{\frac{1 \cdot 2 \cdot 10^5}{4 \cdot 150}} = 57,4$$

$$\lambda = \frac{l}{i_{min}} = \frac{l}{\sqrt{\frac{J_{min}}{A}}} = l \sqrt{\frac{A}{J_{min}}} = l \sqrt{\frac{\frac{\pi D^4}{4}}{\frac{\pi D^4}{64}}} = \frac{4l}{D} = \frac{4 \cdot 0,088}{0,004} = 88$$

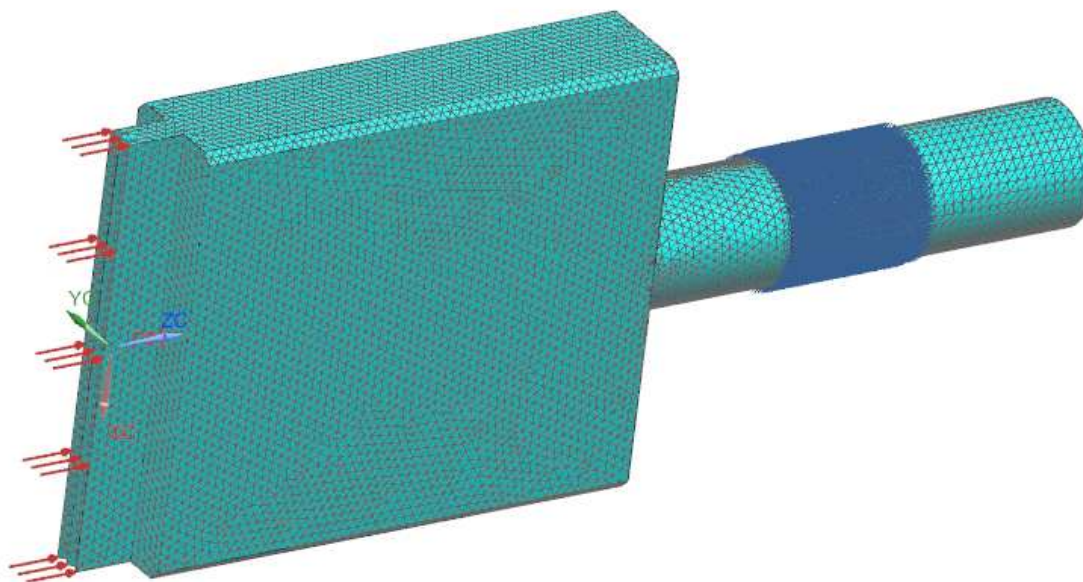
Podmínka λ byla splněna.
[14]

4.5.3. Kontrola tavicího nástroje v programu Siemens NX 10

Tavicí nástroj patřil mezi nadměrně zatěžované součásti a z tohoto důvodu bylo zkonstruovaný nástroj nutno podrobit analýze v programu Siemens NX 10. Rozměry nástroje byly dány velikostí odtavovaných čísel a v případě nesplnění pevnostní podmínky by musel být se zadavatelem konzultován alternativní tavicí postup. Nejvíce namáhanou částí nástroje byly tavicí hroty, na které byl kladen největší důraz během simulace.

Prvním krokem bylo vytvoření sítě potřebné pro následnou simulaci. Vzhledem k členitému tvaru nástroje a relativně malé velikosti byla zvolena síť 3D-Tetrahedral. Jako materiál nástroje byla zvolena nerezová ocel 1.4404. Vzhledem k tomu, že byl nástroj provozován za zvýšené teploty 300 °C, byly materiálové konstanty adekvátně sníženy pro danou teplotu dle materiálového listu.

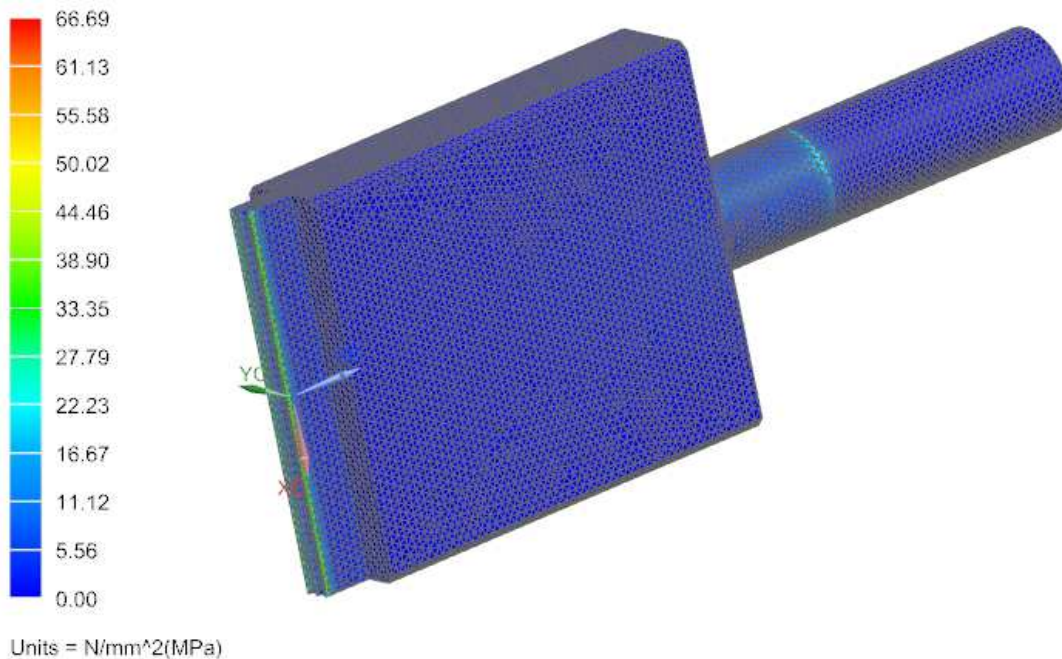
Následným krokem bylo vytvoření simulace. Pro řešení byl zvolen řešič NX NASTRAN a byl zvolen typ SOL106. SOL106 byl zvolen po zohlednění pracovního zatížení, které bylo nárazové, takže by řešení pomocí SOL101, které počítá s platností Hookova zákona, nemuselo poskytnout relevantní výsledky. Okrajové podmínky byly umístěny na koncový válec sloužící k ukotvení nástroje do konstrukce tavicí sestavy. Zatěžující síla byla umístěna na hroty nástroje.



Obrázek 31 – Tavicí nástroj s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu

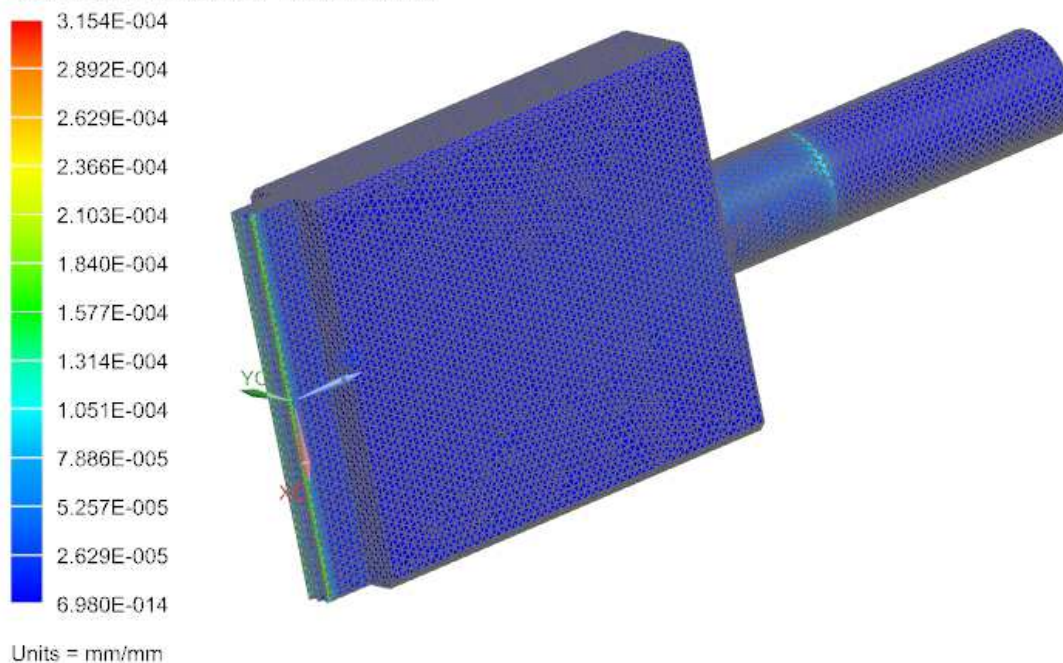
Maximální napětí vyšlo 66,69 MPa, které vyhovovalo maximálnímu dovolenému napětí, které bylo dle vzorce $\sigma_D \geq \frac{Re}{k}$ pro bezpečnost 2 rovno 72,5MPa. Konstrukce nástroje umožňovala i případné drobné zvýšení teploty nebo zvýšení působící síly, aniž by došlo k poškození nástroje, při tolerování snížené bezpečnosti. Maximální posunutí bylo vypočítáno na 0,0003154 mm, což bylo vzhledem k použití nástroje plně vyhovující.

Nástroj tavení_stp_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - NL Static Loads 1, Static Step 1
Nonlinear Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 66.69, Units = N/mm^2(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 32 – Výsledek analýzy napětí

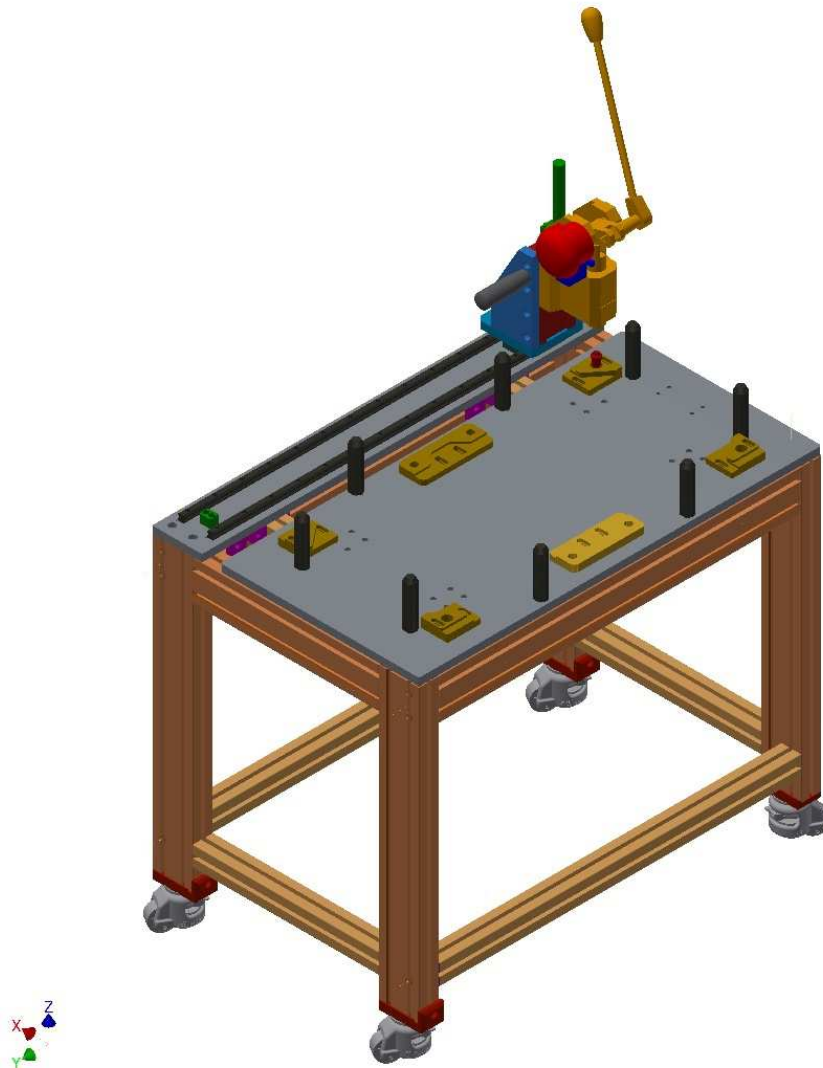
Nastroj taveni_stp_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - NL Static Loads 1, Static Step 1
Nonlinear Strain - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 6.980E-014, Max : 3.154E-004, Units = mm/mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 33 – Výsledek analýzy posunutí

4.6. Sestava pracoviště 1

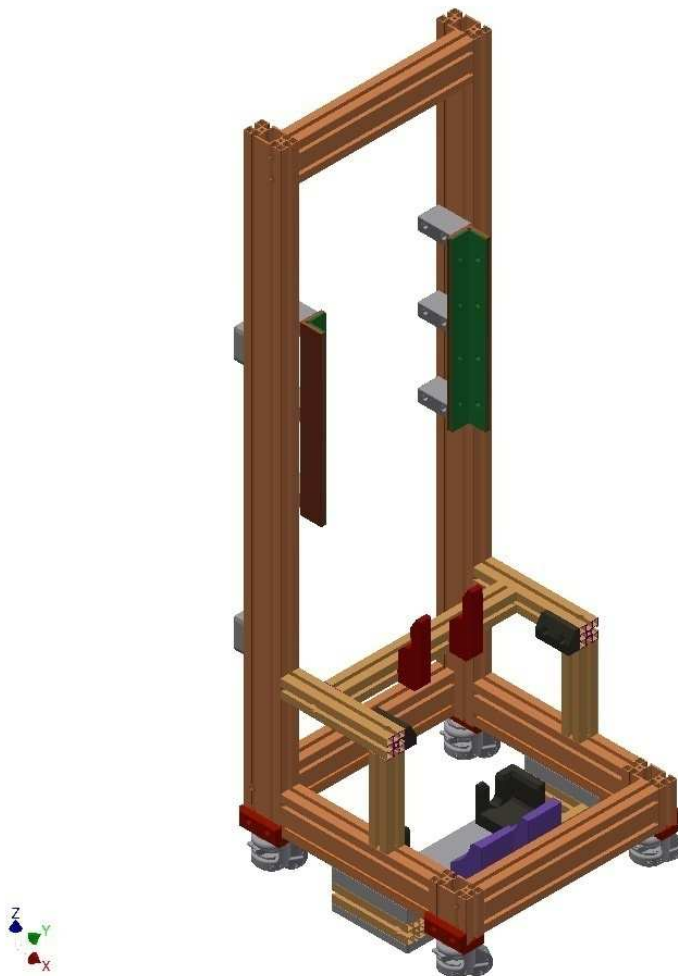
Sestava pracoviště 1 s interním označením 400 byla navržena jako boční přípojné pracoviště, které sloužilo k předmontáži víka, které bylo následně využito na hlavním pracovišti. Víko bylo zakládáno do zakládacích trnů z materiálu Tecaform AH (Acetal Copolymer), který byl zvolen, aby nedocházelo ke vzniku škrábanců na polymerovém těle víka. Zakládací lůžka byla navržena z materiálu EN-AW 5083, protože by při hrubém zacházení a zakládání víka docházelo k nadměrnému opotřebení lůžek z Tecaformu. Zakládací trny a lůžka byly umístěny tak, aby šlo víko založit oboustranně, protože lisování probíhalo na obou stranách víka. Zakládací trny byly uloženy na základové desce z materiálu EN-AW 5083. Zakládací deska byla uložena na dvojici lineárních vedení, která umožňovala posuv od obsluhy a tím navedení víka na potřebnou polohu pro lisování. Lisování bylo zprostředkováno pomocí ručního vřetenového lisu, který byl pro možnost nastavení potřebné polohy pro lisování posazen na lineární vedení od firmy Hiwin umožňující posuv podélně s obsluhou. Vedení bylo osazeno dvojicí dorazů, které zabraňovaly nechtěnému vysunutí lisu mimo kolejnici a tím k vysypání kuliček z vozíků. Komponenty byly umístěny na rámu z profilů Alutec K&K s modulem 45. Pro možnost pohybu byl rám opatřen koly od firmy G-DOK. Připojení na hlavní rám bylo provedeno pomocí rychloupínek od firmy Destaco.



Obrázek 34 – Konstrukční řešení pracoviště 1

4.7. Sestava pracoviště 2

Sestava pracoviště 2 s interním označením 500 byla navržena jako boční přípojný pracoviště, které sloužilo k předmontáži sestavy head-body, která byla následně využita na hlavním pracovišti. Head bylo založeno na zakládacích trny z materiálu EN-AW 5083, které musely vydržet zatížení během spojování head-body a musely mít stálý tvar, aby nedocházelo k ohybu a tím k nedokonalému navedení body na head. Případné poškrábání ze styku polymerního těla Head s trny bylo možné zanedbat, protože docházelo ke styku v nepohledové vnitřní straně. Head následně dosedl na lůžka z materiálu Tecaform AH (Acetal Copolymer), aby nedošlo k poškrábání vnějších ploch. Navedení Body na Head bylo provedeno pomocí profilů tvaru L z materiálu EN-AW 6060. Aby nedocházelo k poškození vnějších ploch, byly na kontaktní plochy přidány ploché kluzné pásky z materiálu MURTFELD, které zajistily požadovanou ochranu dílu. Komponenty byly umístěny na rámu z profilů Alutec K&K s modulem 45. Pro možnost pohybu byl rám opatřen vysoce nosnými koly od firmy G-DOK. Připojení na hlavní rám bylo provedeno pomocí rychloupínek od firmy Destaco.

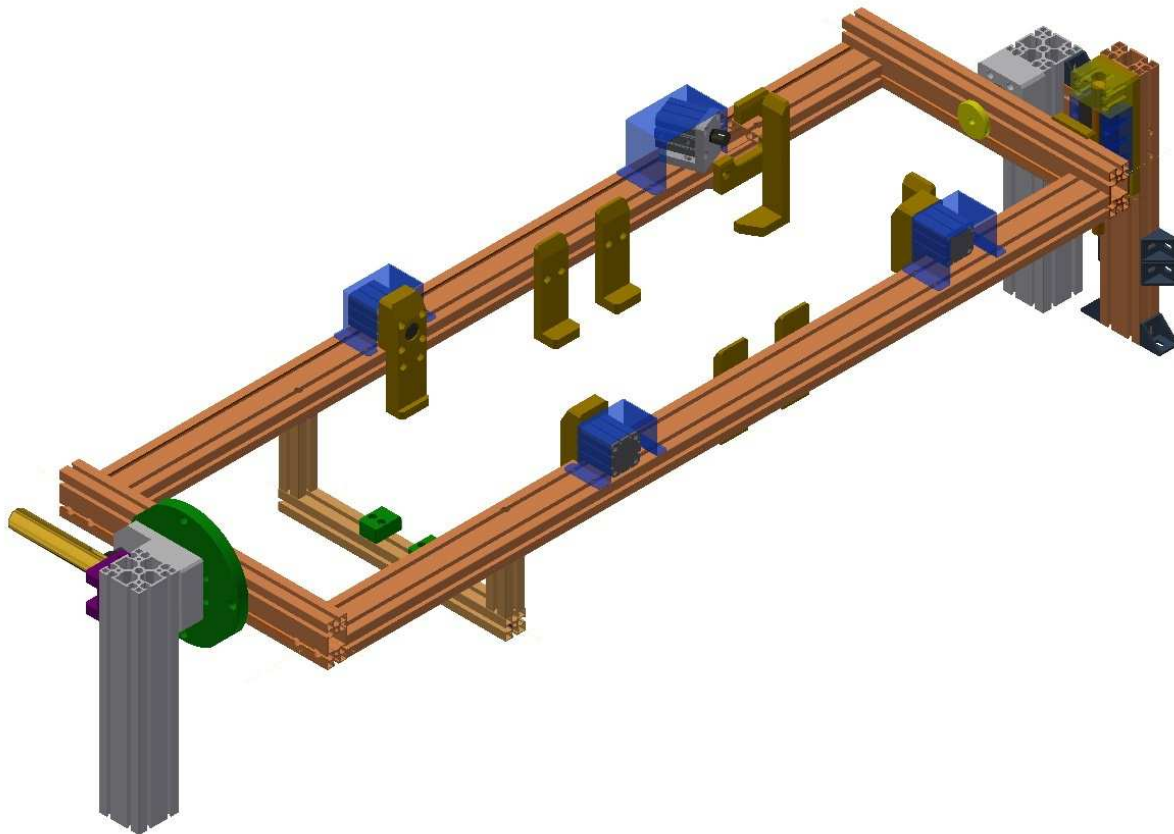


Obrázek 35 – Konstrukční řešení pracoviště 2

4.8. Sestava otočného rámu hlavního pracoviště

Otočný rám pro hlavní pracoviště byl interně označen číslem 700. Hlavní částí rámu byly profily od firmy Alutec K&K s modulem 45 a s průřezem 90x45 mm. K většímu průřezu profilů oproti zbytku sestav bylo přistoupeno vzhledem k velkému zatížení, které bylo vyvoláno AirCleanerem o hmotnost 20 kilogramů. Na příčnicích rámu byly umístěny pneumatické válce, které sloužily k aretaci založeného dílu. Na AirCleaneru byla prováděna montáž ze tří stran a pokud by nedocházelo k aretaci, díl by vypadl. Od ruční aretace bylo ustoupeno, protože vzhledem k značné hmotnosti zakládáného dílu, se nedalo spoléhat na ruční aretaci, kde by při nezaaretování dílu mohlo dojít k jeho vypadnutí a následnému poškození mechanik stroje. Pro ochranu válců před nárazy zakládáného dílu sloužily plechové lakované výpalky. Držák válce byl navržen z materiálu EN-AW 5083 s drážkami pro seřizování pneumatického válce v ose kolmé na podlahu a díky spojení s profily přes jejich drážky i v ose rovnoběžně s podlahou, podélně s obsluhou. Zachycení zakládáného dílu, v ose kolmé na podlahu, bylo provedeno pomocí komponent ve tvaru L z hliníkové slitiny EN-AW 6060. Otočný rám byl umístěn na masivních profilech s modulem 45 a průřezem 90x90 mm. Tyto profily byly následně spojeny s hlavním rámem pomocí osmi šroubů M8. Pro zajištění otáčení byl otočný rám usazen na obou stranách rámu v ložiskách SKF 6207 DIN 625, která byla pevně spojena s nosnými kotvícími profily. Aretace správné polohy pro

montáž byla zajištěna odpruženým čepem GN 817-16-20-CK od firmy Eles+Ganter. Tento čep vzhledem ke své velikosti již kladl při odjištění značný odpor. Aby nebyla přetěžována obsluha stroje a byly zajištěny pro obsluhu vhodné podmínky, byla k odpruženému čepu připojena páka, která snížila potřebnou sílu 3,5 krát. Aby nedošlo k přetočení rámu o 180 a více stupňů a tím k poškození pneumatických válců aretace, byl k rámu přiřazen doraz. Doraz zabránil, aby došlo, vlivem obsluhy, k utržení vzduchových hadiček, které zajišťovali ovládání válců. Doraz byl umístěn rovnoběžně s osou otáčení rámu a jeho spojení s hlavním rámem zajišťoval profil s modulem 45 a průřezem 90x45. Pro zvýšení styčné plochy byl osazen dvěma úhelníky, které rozšířily možnost upevnění ze dvou šroubů M8 na čtyři.



Obrázek 36 – Konstrukční řešení otočného rámu hlavního pracoviště

4.8.1. Kontrola ložisek

Ložiska byla zvolena s označením 6207 DIN 625 od firmy SKF.

Dáno:

$$C = 19\,600 \text{ N}$$

$$C_0 = 13\,700 \text{ N}$$

$$X = 1$$

$$X_0 = 1$$

$$Y = 0$$

$$Y_0 = 0$$

$$V = 1,2$$

$$n = 0,1 \text{ ot/s}$$

Ekvivalentní statické zatížení

$$F_{e_0} = X_0 F_r + Y_0 F_a < C_0$$

$$F_{e_0} = 1 \cdot 621,75 < C_0$$

$$F_{e_0} = 621,75 < 13\,700 \text{ N}$$

Podmínka byla splněna

Ekvivalentní dynamické zatížení

$$F_e = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a < C$$

$$F_e = 1,2 \cdot 1 \cdot 621,75 < C$$

$$F_e = 746,1 < 19\,600 \text{ N}$$

Podmínka byla splněna

Výpočet trvanlivosti

$$L_H = \frac{10^6}{3600 \cdot n} \left(\frac{C}{F_e} \right)^3$$

$$L_H = \frac{10^6}{3600 \cdot 0,1} \left(\frac{19\,600}{746,1} \right)^3$$

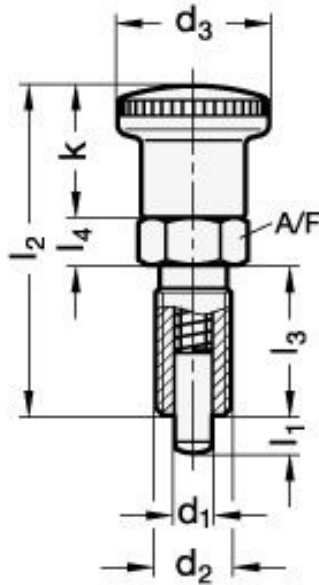
$$L_H = 50,3 \cdot 10^6 \text{ h}$$

[1, 13]

Ložisko bylo vzhledem k použití silně předdimenzováno. Po uvážení použití a rozdílů cen použitého ložiska a náhradního adekvátně dimenzovaného ložiska, bylo rozhodnuto o jeho zanechání. Předdimenzované ložisko by šlo, v případě změny výrobku za těžší, nadále použít a nemuselo by dojít k náročné demontáži a výměně za jiné. Dalším kladem naddimenzovaného ložiska byla lepší odolnost proti náhodnému zatížení od sestavy lisování, či sestavy podpěry lisování.

4.8.2. Kontrola odpruženého čepu pro aretaci

Dodavatelem odpruženého čepu byla zvolena firma ELESA+GANter CZ s.r.o. Přistoupeno bylo k této společnosti vzhledem k dlouholetým dobrým zkušenostem ze strany zadavatele. Vzhledem k velikosti odpruženého čepu muselo být přistoupeno k vytvoření mechanismu páky pro snazší ovládání aretačního čepu, protože síla pružiny vracející čep do vysunuté polohy vytvářela příliš velkou sílu pro pohodlné ruční zasouvání čepu. Z tohoto důvodu nebylo možné odpružený čep dimenzovat podle zatížení, ale jeho minimální rozměry musely být podřízeny páce a okolním dílům. Z tohoto důvodu bylo následně přistoupeno pouze ke kontrole, zda ideální rozměry pro zástavbu vyhovují zatížení.



Dáno:

$$d_1 = 16 \text{ mm}$$

$$d_2 = \text{M24x2}$$

$$d_3 = 33 \text{ mm}$$

$$k = 28,5 \text{ mm}$$

$$l_1 = 20 \text{ mm}$$

$$\tau_{S \text{ DOV}} = 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Odhadovaná maximální síla } F = 2000 \text{ N}$$

Obrázek 37 – Schéma odpruženého čepu[6]

Kontrola čepu na stříh [12]

$$\tau_S = \frac{F}{S} \leq \tau_{S \text{ DOV}}$$

$$\tau_S = \frac{4F}{\pi d_1^2} \leq \tau_{S \text{ DOV}}$$

$$\tau_S = \frac{4 \cdot 2000}{\pi \cdot 16^2} \leq \tau_{S \text{ DOV}}$$

$$9,95 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa}$$

Podmínka byla splněna se znatelnou rezervou, která se případně bude moci využít při změně typu výrobku.

Kontrola čepu na otláčení [12]

$$p_1 = \frac{F}{l_1 d_1} \leq p_{\text{DOV}}$$

$$p_1 = \frac{2000}{20 \cdot 16} \leq p_{\text{DOV}}$$

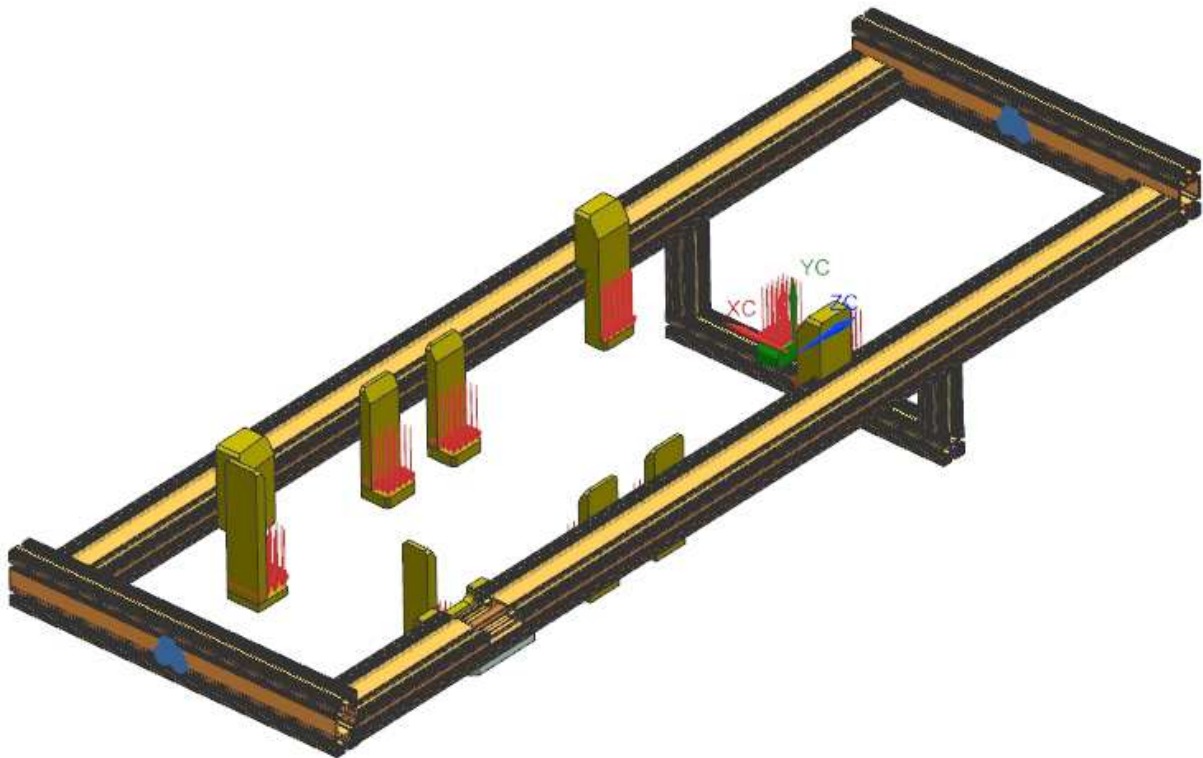
$$6,25 \text{ MPa} \leq 90 \text{ MPa}$$

Podmínka byla splněna opět se znatelnou rezervou. Z kontrolního výpočtu plyne, že byl čep značně předdimenzován, ale vzhledem k charakteru použití nebylo možno zvolit menší rozměry odpruženého čepu.

4.8.3. Kontrola otočného rámu v programu Siemens NX 10

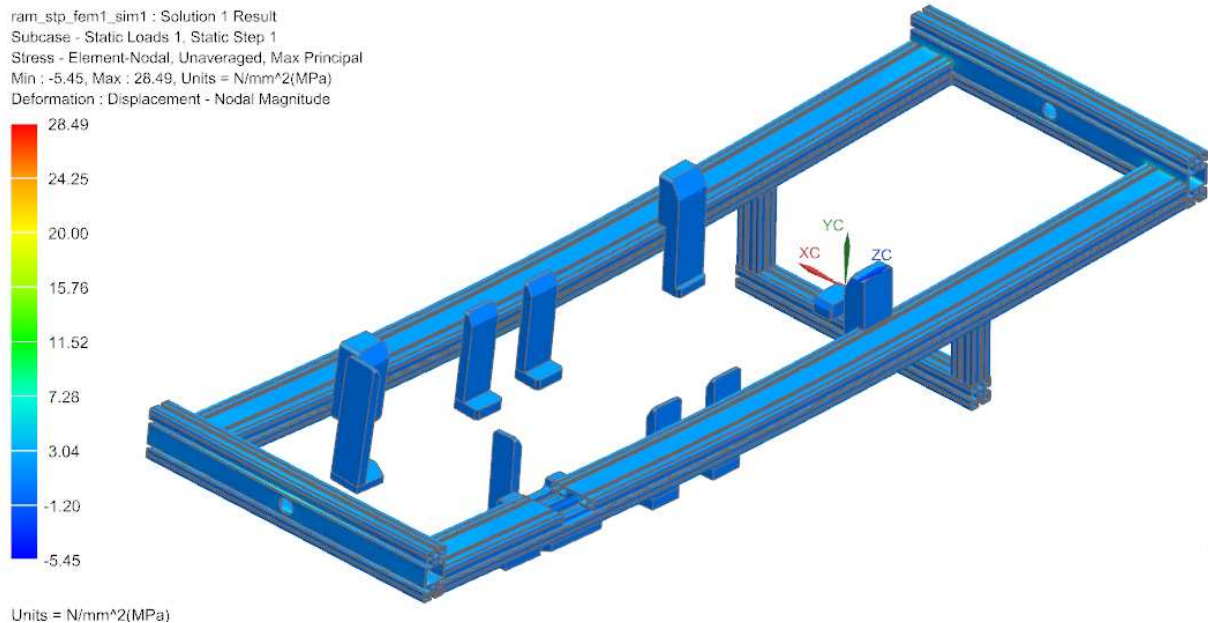
Pro pevnostní kontrolu otočného rámu, u kterého by bylo provedení ručního výpočtu obtížné, vzhledem ke členitému průřezu nosných profilů, byla použita pevnostní analýza pomocí programu Siemens NX 10.

Prvním krokem bylo zjednodušení sestavy pro potřeby simulace. Veškeré vyráběné díly a nakupované komponenty krom profilů otočné části a dílů, které byly v kontaktu se základním dílem, bylo možno pro vytvoření simulace zanedbat. Následným krokem bylo vytvoření sítě potřebné pro simulaci. Vzhledem k složité vnitřní stavbě profilů byla zvolena pro síťování 3D-Tetrahedral síť. Tato síť s dostatečnou jemností zajistila bezchybné vytvoření jednotlivých elementů. Materiál profilů EN-AW 6060 byl dán nabídkou firmy Alutec K&K. Vyráběné díly pro ukotvení kol v profilech byly zvoleny z totožného materiálu jako profily. Následným krokem bylo vytvoření simulace. Pro řešení byl zvolen řešič NX NASTRAN. Napětí bylo uvažováno za platnosti Hookova zákona a z tohoto důvodu byl zvolen typ řešení SOL101. Okrajové podmínky byly zvoleny na nosných plochách středových otočných čepů.

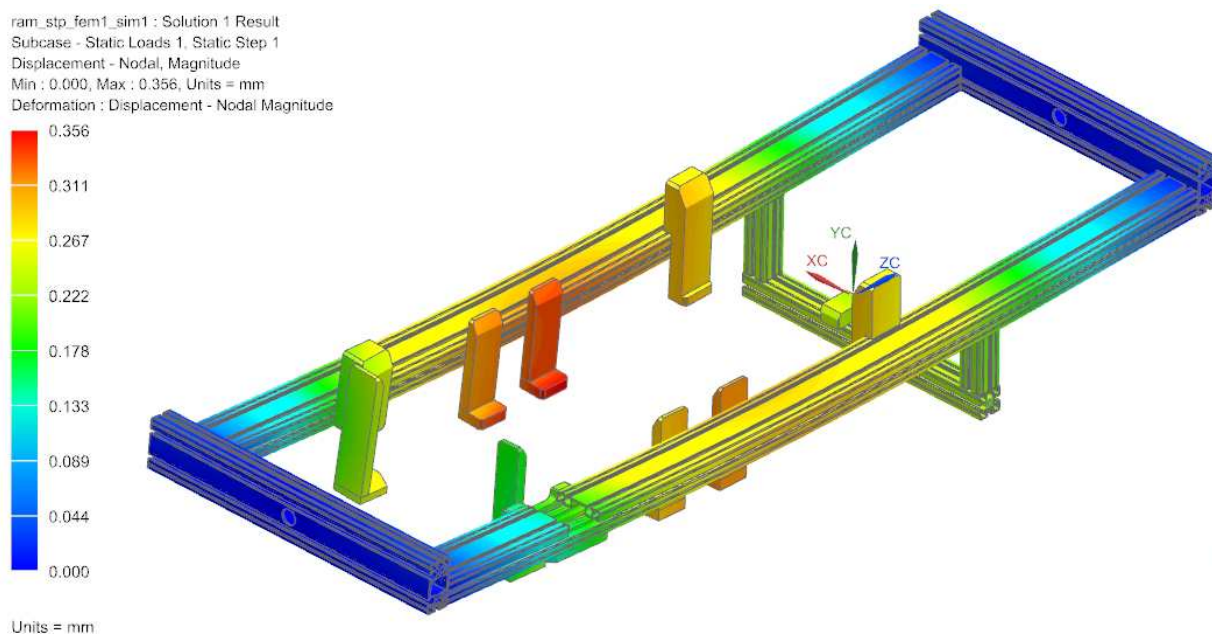


Obrázek 38 – Otočný rám hlavního pracoviště s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu

Maximální napětí vyšlo 28,49MPa, které vyhovovalo maximálnímu dovolenému napětí, které bylo dle vzorce $\sigma_D \geq \frac{Re}{k}$ pro bezpečnost 2 rovno 120 MPa. Tento výsledek značil značné předimenzování rozměrů. Po konzultaci se zadavatelem byla, i přes tento fakt, ponechána stávající konstrukce. Maximální posunutí bylo vypočítáno na 0,0003154 mm, což bylo vzhledem k použití vyhovující.



Obrázek 39 – Výsledek analýzy napětí

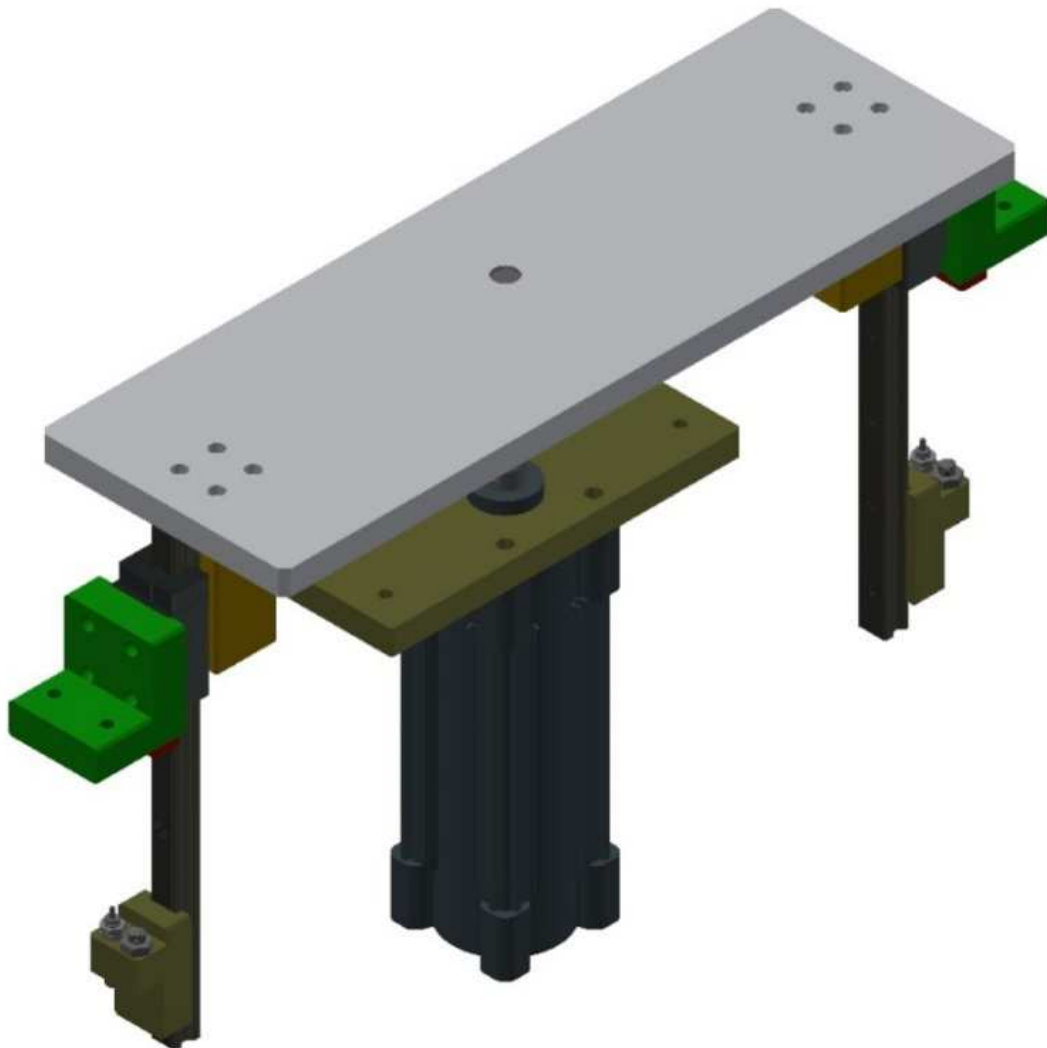


Obrázek 40 – Výsledek analýzy posunutí

4.9. Sestava podpěry

Hlavním úkolem sestavy podpěry s interním označením 800 bylo zachytávat sílu od lisování víka na tělo AirCleaneru. Opěrnou plochou byla navržena deska tloušťky 20 mm z materiálu EN-AW 6060. Deska musela vykonávat přísuv k AirCleaneru, protože ve fixní podpěrné poloze by došlo ke kolizi s otáčejícím se dílem. Posuv byl zprostředkován pomocí pneumatického válce od firmy SMC o průměru 80 mm. Takto masivní válec zajistil dostatečnou sílu při zachytávání sil od lisování. Vzhledem k tomu, že by nemuselo docházet k souměrnému rozproštění tlaku od lisování, byla deska osazena dvojicí lineárních vedení od firmy Hiwin, které sloužily k zachytávání bočních sil. Pneumatické válce nejsou vhodné pro zachytávání bočních sil a mohlo by tak dojít k poškození válce. Díky přítomnosti lineárních vedení bylo snadné umístit dorazy. Tyto dorazy umožnily přesné nastavení polohy,

kde měla deska zastavit. Pokud by nebyla spolehlivě nastavena poloha podpěry, mohlo by dojít vlivem působení jak lisovacích sil, tak síly od podpěry, k deformaci založeného dílu.



Obrázek 41 – Konstrukční řešení podpěry lisování

4.9.1. Návrh pneumatického válce podpěry

Minimální potřebná síla pneumatického válce byla dána požadovanou lisovací silou 2000 N. Aby nedošlo k přetlačení válce podpěry od lisování, musel tento válec umožňovat vyvinout minimálně tuto sílu, ideálně s určitou rezervou.

Vzhledem k relativně velké potřebné síle válce byl zvolen válec SMC s označením CP96, který svojí konstrukcí umožňuje velké průměry válců a z toho plynoucí velké síly. Dále byl volen kvůli nízké pořizovací ceně, kterou by speciální pneumatické válce s vedením znatelně přesáhly. Zdvih byl podle rozměrů okolní konstrukce stanoven na 150 mm. Jako další potřebný zvolný parametr byla přítomnost vestavěného magnetu, který umožnil umístění snímačů pro snímání poloh válce.

Dle tabulky od výrobce pro válec CP96 byl zvolen válec CP96SDB80-150 o průměru válce 80 mm. Tento válec při tlaku 0,5 MPa vyvinul teoretickou sílu 2514 N, která s dostatečnou rezervou zajistila podepření založeného dílu.

Theoretical Output



(N)

Bore size (mm)	Rod diameter (mm)	Operating direction	Piston area (mm ²)	Operating pressure (MPa)								
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
32	12	OUT	804	161	241	322	402	482	563	643	724	804
		IN	691	138	207	276	346	415	484	553	622	691
40	16	OUT	1257	251	377	503	629	754	880	1006	1131	1257
		IN	1056	211	317	422	528	634	739	845	950	1056
50	20	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1570	1767	1963
		IN	1649	330	495	660	825	989	1154	1319	1484	1649
63	20	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2805	3117
		IN	2803	561	841	1121	1402	1682	1962	2242	2523	2803
80	25	OUT	5027	1005	1508	2011	2514	3016	3519	4022	4524	5027
		IN	4536	907	1361	1814	2268	2722	3175	3629	4082	4536
100	25	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7068	7854
		IN	7363	1473	2209	2945	3682	4418	5154	5890	6627	7363
125	32	OUT	12272	2454	3682	4909	6136	7363	8590	9817	11045	12272
		IN	11468	2294	3440	4587	5734	6881	8027	9174	10321	11468

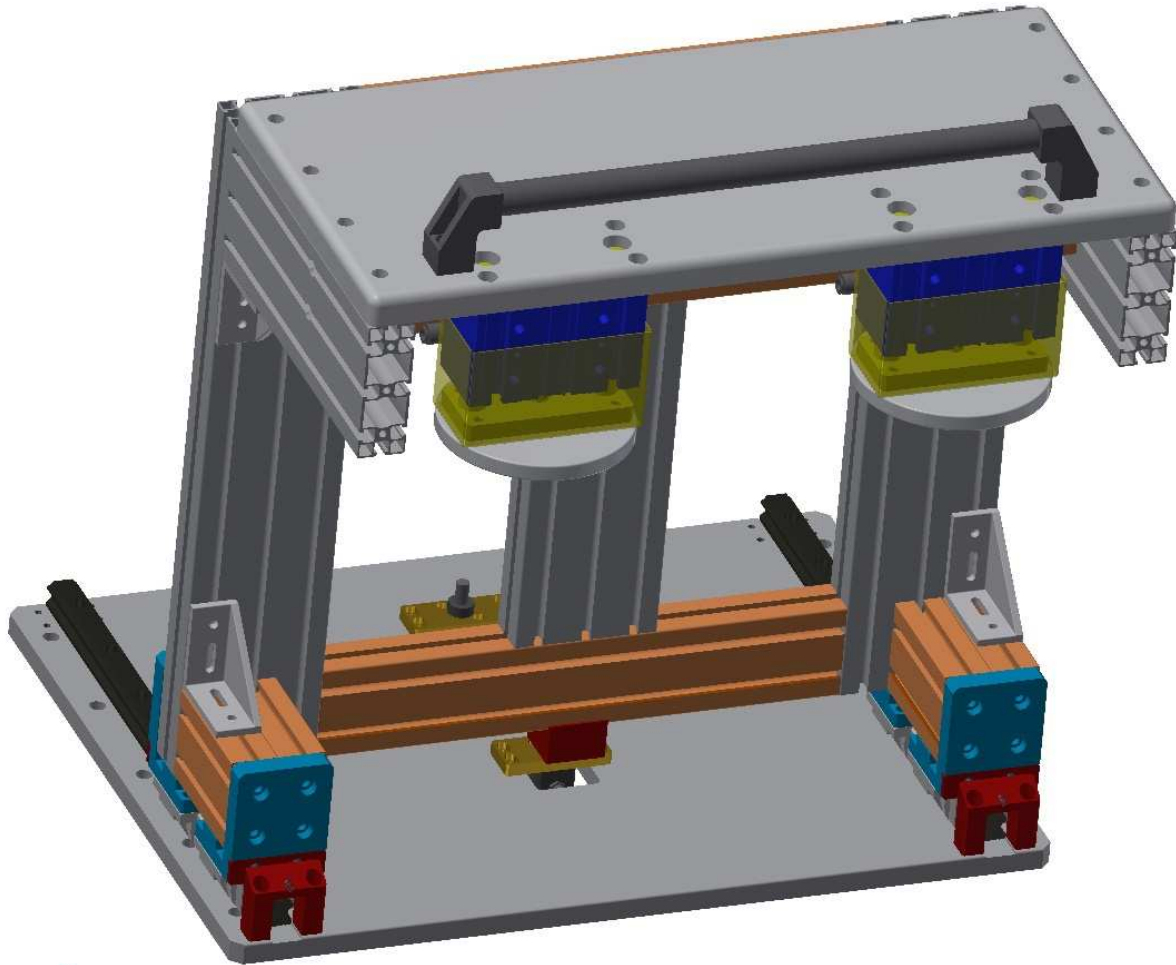
Note) Theoretical out put (N) = Pressure (MPa) x Piston area (mm²)

Obrázek 42 – Tabulka sil pro válec CP96 z katalogu výrobce [10]

4.10. Sestava lisování

Na konstrukci sestavy lisování s interním označením 900 byly kladeny značné požadavky. Přítomnost velké lisovací síly a relativně dlouhé vzdálenosti od samotné základny sestavy způsobovala značný ohybový moment. Masivnost konstrukce potřebná pro potřebnou tuhost byla značně omezená, protože rám stroje neumožňoval velký zástavbový prostor. Potřebnou lisovací sílu 2000 N zajišťovala dvojice pneumatických válců s vedením o průměru válce 63 mm. Válce s vedením byly zvoleny s ohledem na možný vznik šikmých sil od jednotlivých lisovaných komponent, které by mohly poškodit válec. Pro splnění bezpečnostních požadavků byly na čela válců přidány krycí plechy, které znemožnily přístup obsluhy ke střížným místům na válcích. Lisovací válce byly uloženy na rámu z masivních profilů s modulem 45 o průřezu 135x45 mm. Velký průřez zajistil dostatečnou tuhost pro operaci lisování. Příčky zvyšující tuhost tohoto rámu byly navrženy z profilů s modelem 45 o průřezu 90x45 mm. Rám byl uložen na lineární vedení, které umožňovalo posuv sestavy z parkovací polohy do pracovní. Rám musel být posuvný, protože by v pracovní poloze bránil založení dílu. Posuv prováděla obsluha, protože byl od zadavatele požadavek na nízké pořizovací náklady stroje. K tomuto účelu bylo na horní desku umístěno široké madlo. Aby nemohlo dojít k vysunutí rámu mimo kolejnice lineárního vedení, byly k oběma polohám umístěny dorazy s hydraulickými tlumiči, které ochránily konstrukci rámu před deformacemi od hrubé manipulace s rámem od obsluhy. Pro zajištění stálosti polohy během lisování a pro krajní polohu byly v sestavě umístěny čtyři narážkové válce RDSQA20-20D od firmy SMC. Tyto válce sloužily k aretaci a byly určeny pro zachytávání bočních sil. Aretace byla zvolena automatická, protože by při případném pochybení obsluhy a nezaaretování polohy mohlo dojít k poškození kompletačního stroje, poškození AirCleaneru nebo k poranění obsluhy. Detekce krajní polohy, při které došlo k automatické aretaci rámu, byla provedena pomocí optických

snímačů WL100L od firmy Sick. S těmito snímači měl zadavatel dlouholeté zkušenosti jak z hlediska spolehlivosti, tak přesnosti. Vzhledem k tomu, že bylo s rámem pohybováno manuálně, byl kladen velký důraz na minimalizování hmotnosti.



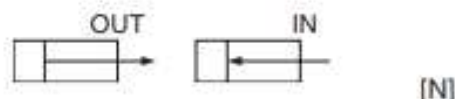
Obrázek 43 – Konstrukční řešení sestavy lisování

4.10.1. Návrh lisovacích válců

Síla pneumatických válců byla přesně definována od zadavatele. Na každý z válců byl kladen požadavek lisovací síly 1000 N. Vzhledem k relativně malému prostoru pro lisovací válec, který znemožnil umístění lineárního vedení pro zamezení vzniku šikmých sil, muselo být přistoupeno k použití nákladnějších pneumatických válců s vedením. Dle zkušeností zadavatele byl zvolen válec SMC s označením MGPM. Zdvih byl podle rozměrů okolní konstrukce stanoven na 50 mm. Jako další potřebný zvolený parametr byla přítomnost snímačů pro určení poloh válce.

Dle tabulky byla při tlaku 0,4 MPa nejbližší vyšší hodnota síly u válce o průměru 63 mm. Zvolen byl válec s označením MGPM63-50-M9B-XC92.

Theoretical Output



Bore size [mm]	Rod size [mm]	Operating direction	Piston area [mm ²]	Operating pressure [MPa]								
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
12	6	OUT	113	23	34	45	57	68	79	90	102	113
		IN	85	17	25	34	42	51	59	68	76	85
16	8	OUT	201	40	60	80	101	121	141	161	181	201
		IN	151	30	45	60	75	90	106	121	136	151
20	10	OUT	314	63	94	126	157	188	220	251	283	314
		IN	236	47	71	94	118	141	165	188	212	236
25	10	OUT	491	98	147	196	245	295	344	393	442	491
		IN	412	82	124	165	206	247	289	330	371	412
32	14	OUT	804	161	241	322	402	483	563	643	724	804
		IN	650	130	195	260	325	390	455	520	585	650
40	14	OUT	1257	251	377	503	628	754	880	1005	1131	1257
		IN	1103	221	331	441	551	662	772	882	992	1103
50	18	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1571	1767	1963
		IN	1709	342	513	684	855	1025	1196	1367	1538	1709
63	18	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2806	3117
		IN	2863	573	859	1145	1431	1718	2004	2290	2576	2863
80	22	OUT	5027	1005	1508	2011	2513	3016	3519	4021	4524	5027
		IN	4646	929	1394	1859	2323	2788	3252	3717	4182	4646
100	26	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7069	7854
		IN	7323	1465	2197	2929	3662	4394	5126	5858	6591	7323

+: Theoretical output [N] = Pressure [MPa] x Piston area [mm²]

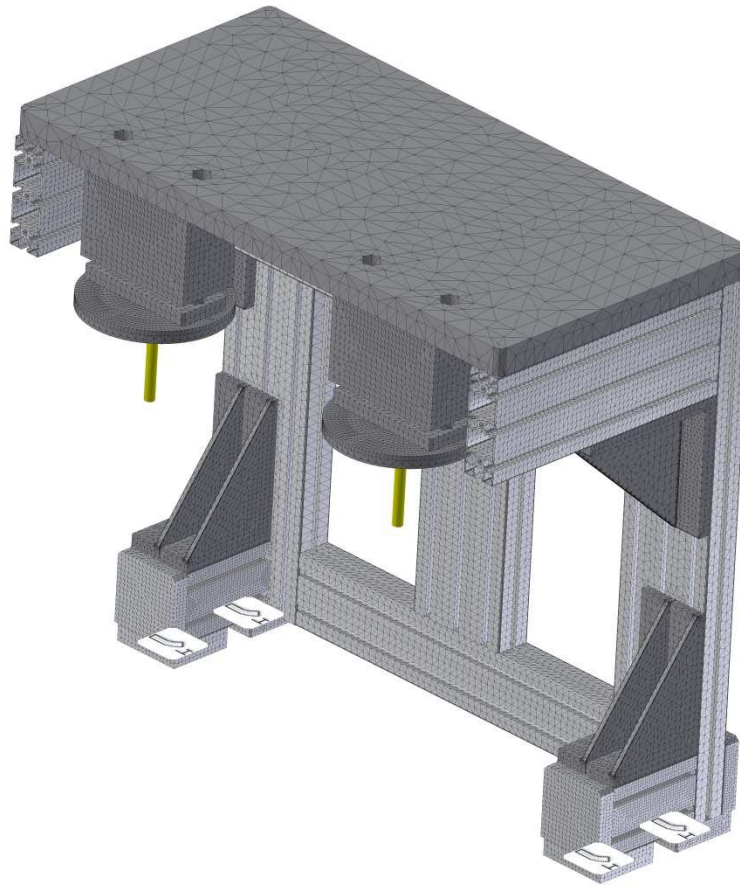
Obrázek 44 - Tabulka sil pro válec MGPM z katalogu výrobce[11]

4.10.2. Kontrola navrženého rámu v programu Autodesk Inventor 2018

Pro pevnostní kontrolu lisování, u kterého by bylo provedení ručního výpočtu obtížné vzhledem ke členitému průřezu nosných profilů, byla použita pevnostní analýza pomocí programu Autodesk Inventor 2018. Pro pevnostní analýzu byl zvolen odlišný program, od předchozích případů, vzhledem k značné složitosti modelu. Pro provedení pevnostní simulace v programu Siemens NX nebylo k dispozici dostatečně výkonné výpočetní zařízení, které by zadanou úlohu zvládlo s dostatečnou přesností v akceptovatelné době.

Prvním krokem bylo zjednodušení sestavy pro potřeby simulace. Veškeré vyráběné díly a nakupované komponenty, které nebyly nosnou konstrukcí rámu, bylo možno zanedbat. Vzhledem k menším možnostem simulace v programu Autodesk Inventor, oproti programu Siemens NX, byla pro síťování použita jediná 3D síť, kterou program umožňuje. Tato síť s dostatečnou jemností zajistila bezchybné vytvoření jednotlivých elementů. Materiál profilů EN-AW 6060 byl dán nabídkou firmy Alutec K&K. Vyráběné díly byly taktéž zvoleny z materiálu EN-AW 6060 z důvodu upřednostnění materiálu zadavatelem.

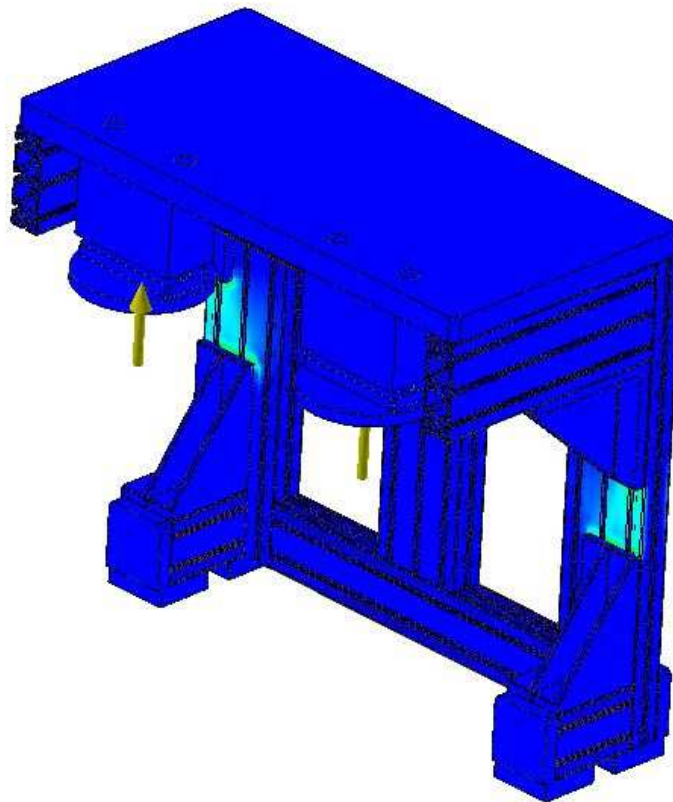
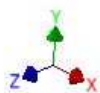
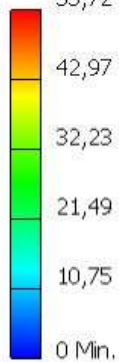
Následným krokem bylo vytvoření simulace. Okrajové podmínky byly zvoleny na kontaktních plochách s vozíky lineárního vedení.



Obrázek 45 – Sestava lisování s okrajovými podmínkami a zatížením pro pevnostní analýzu

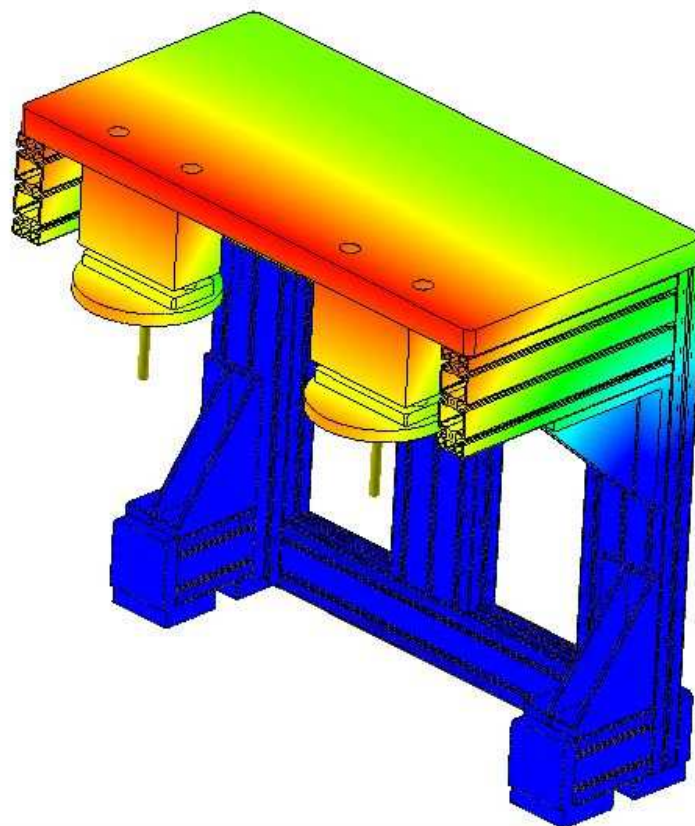
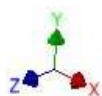
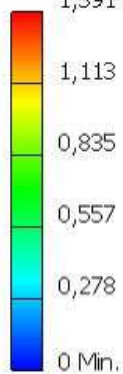
Maximální napětí vyšlo 53,72 MPa, které vyhovovalo maximálnímu dovolenému napětí, které bylo dle vzorce $\sigma_D \geq \frac{R_e}{k}$ pro bezpečnost 2 rovno 120 MPa. Maximální posunutí bylo vypočítáno na 1,391 mm. Velikost posunutí byla vyhodnocena jako dostatečná. Z hlediska velikosti napětí bylo možné snížit masivnost konstrukce lisování, ale z hlediska posunutí nešlo toto snížení připustit, protože aktuální posunutí se již pohybovalo v krajně přípustných hodnotách.

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
26.04.2018, 10:50:18
53,72 Max.



Obrázek 46 – Výsledek analýzy napětí

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
26.04.2018, 10:53:13
1,391 Max.



Obrázek 47 – Výsledek analýzy posunutí

4.11. Ukázky dokumentace navrženého TS

4.11.1. Výkres sestavy lisování

Viz příloha 1

4.11.2. Výrobní výkres bočnice dorazu

Viz příloha 2

4.11.3. Výrobní výkres ložiskového domku

Viz příloha 3

4.11.4. Výrobní výkres patky lisování

Viz příloha 4

5. Zhotovení stroje

Po zhotovení konstrukční dokumentace byly vyrobeny jednotlivé součásti, objednány nakupované komponenty od jednotlivých výrobců a následně došlo k montáži stroje v dílně zadavatele. Následujícím krokem bylo vytvoření ovládacího softwaru stroje a vyzkoušení všech jeho funkcí na prototypu AirCleaneru. Po optimalizování funkcí stroje došlo k expedici stroje zákazníkovi.

6. Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti navrženého TS

Stroj byl navržen účelně, dle standardů zadávající firmy a při výrobě bylo dodrženo technologických postupů pro zajištění kvality materiálů a přesností rozměrů. Dále stroj bez výhrad splňoval požadované parametry od zadavatele a vzhledem k analýze nejvhodnější varianty splňoval i praktičnost.

Konstrukce stroje byla inspirována konkurenčními stroji a stroji pocházejícími od samotného zadavatele. Tato inspirace byla přizpůsobena zadaným parametrům, čímž byla zachována konkurenceschopnost a v určitých aspektech i zvýšena.

7. Závěr

Předmětem diplomové práce bylo navržení kompletačního stroje pro AirCleaner Scania. Po zvážení prostoru pro umístění stroje bylo přistoupeno k rozdělení kompletačního stroje na hlavní a dvě přidružená pracoviště, na kterých byla prováděna předmontáž klíčových komponent pro následnou montáž na hlavním pracovišti. Prvním krokem při návrhu kompletačního stroje bylo zhotovení konstrukčních variant, které byly optimalizovány podle funkčnosti, složitosti, ceny a kombinace všech těchto stěžejních bodů.

Z těchto variant byla následně vybrána pro zadavatele nejvhodnější varianta konstrukce, která nejlépe odpovídala jeho požadavkům a představám. Po konzultaci a schválení vybraných koncepčních variant zadavatelem byl navržen samotný konstrukční návrh v programu Autodesk Inventor 2018.

Následným krokem byla pevnostní kontrola vybraných zatěžovaných komponent a pevnostní analýza pomocí speciálního softwaru zatěžovaných sestav a stěžejních komponent. Po vytvoření výrobní dokumentace a vyrobení jednotlivých dílů bylo dohlédnuto na montáž jednoúčelového stroje a na kontrolu jeho funkčnosti na prototypu poskytnutém pro tyto účely zadavatelem práce.

Při tvorbě konstrukčního návrhu došlo k mnoha komplikacím, které byly z většiny způsobeny relativně malým zástavbovým prostorem a značnou velikostí kompletovaného dílu. Výsledkem těchto problémů bylo navržení sestavy lisování, která nebyla nejlépe řešena z hlediska ergonomie a přívětivosti k obsluze. Ruční přisouvání relativně těžké konstrukce by bylo vhodnější volit automatizované pomocí pneumatického válce, který ale nebylo možné do sestavy umístit z důvodu jeho velkých rozměrů a malého prostoru pro jeho umístění do rámu. Následným problémem návrhu konstrukce lisování bylo navržení dostatečně tuhé konstrukce, která by dokázala přenést lisovací sílu 2000 N, aniž by došlo k jejímu nadměrnému ohýbání a zkrácení životnosti vlivem příliš vysokého napětí.

Dalším problémem bylo navržení zakládání, které by umožňovalo montáž v několika vzájemně kolmých rovinách, protože rozměry kompletačního stroje neumožňovaly kombinaci několika pracovišť pro založení z několika stran. Tento problém byl vyřešen pomocí otočného zakládání, u kterého ale přírodní hadice od pneumatických válců pro zamykání založeného dílu představovaly možné komplikace z důvodu jejich přetržení, či jiného poškození, pohybem zakládání.

Posledním hlavním problémem bylo navržení tavení tak, aby neohrožovalo obsluhu, tepelně neovlivňovalo okolní komponenty a zajištění relativně malých rozměrů nástroje při zachování jeho tuhosti a pevnosti při zvýšené teplotě materiálu. Tento problém byl nakonec vyřešen bez použití speciálních komponent a materiálů a konstrukce bez větších problémů splnila požadované parametry.

Při samotné montáži stroje, vzhledem k robustnosti stroje a dílu, nastalo několik problémů daných především nepřesností modelu, kde drobné odchylky na dílu o velkých rozměrech způsobily znatelné problémy při zakládání. Tyto problémy byly vyřešeny drobnými úpravami, které nijak neovlivnily pevnost jednotlivých komponent, ani jejich funkčnost.

Posledním krokem při návrhu kompletačního stroje bylo jeho finální schválení zákazníkem u zadavatele a jeho následná expedice do výrobní haly zákazníka, kde došlo k finální kontrole komponent a funkce. Po ověření funkčnosti a potenciálních poškození při převozu byl stroj nasazen do reálného provozu.

Seznam použité literatury

Knižní publikace

- [1] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojírenské tabulky*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2005. 908 s. ISBN 80-7361-011-6
- [2] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1, Obecné strojní části*. Praha: ComputerPress, 1999. 356 s. ISBN 80-7226-055-3
- [3] STAČEKOVÁ, D., MIČIETOVÁ, A. *Jednoúčelové stroje a výrobné linky*. Žilina: EDIS-vydavatelství, 2001. 143 s. ISBN 80-7100-810-9

Obrázky

- [4] AUTOMA CZ s.r.o. [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z:
<http://www.automacz.cz/sites/all/themes/danland/images/slideshows/img3.jpg>
- [5] Production, machines [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z:
http://www.porfem.hu/images/gepek/hurco_vmx50.jpg

Platnost všech odkazů ke dni 14.5.2018

Publikace na internetu

- [6] ELESA+GANTER. *GN817*[online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.elesaganter.cz/vyrobky/zajistovaci-prvky/skupina/gn-817>
- [7] E-konstruktor. *Hodnoty mezi pevnosti, kluzu únavy a dovolených napětí pro ocel*[online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezipevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [8] HIWIN S.R.O. *LINEÁRNÍ VEDENÍ*[online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z:
<http://www.hiwin.cz/download/63da5d73377157091e1ce89a6118b3b7>
- [9] SMC. *ISO Cylinder Series C85*[online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z:
https://content2.smccetech.com/pdf/VDMA-C85_EU.pdf
- [10] SMC. *ISO15552 Cylinders*[online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z:
https://content2.smccetech.com/pdf/CP96-C96-B_EU.pdf
- [11] SMC. *Compact Guide Cylinder*[online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z:
https://content2.smccetech.com/pdf/MGP-Z-D_EU.pdf

[12] Střední škola průmyslová a umělecká, Opava. *Dovolené napětí, bezpečnost*[online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablon/MEC_I/VY_32_INOVACE_G-19-20.pdf

[13] Střední škola průmyslová a umělecká, Opava. *Výpočet ložisek*[online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/~dolezi/SPS/2_rocnik/SPS_Vypocet_lozisek.pdf

[14] ZAJÍČEK, M., ADÁMEK, V. *VZPĚR PŘÍMÝCH PRUTŮ*[online]. [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/resene_prikklady.pdf

Seznam příloh

1. Výkres sestavy lisování
2. Výrobní výkres bočnice dorazu
3. Výrobní výkres ložiskového domku
4. Výrobní výkres patky lisování