

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh kontrolního přípravku pro měření dílů do leteckých motorů na 3D
měřícím stroji

Autor: **Bc. Pavel RAJAL**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan HLAVÁČ, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel RAJAL**

Osobní číslo: **S17N0042P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh kontrolního přípravku pro měření dílu do leteckých motorů na 3D měřícím stroji**

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:

V úvodu práce bude provedena rešerše na upínací přípravky. V práci budou vypracovány varianty konstrukčních řešení přípravku. Pro vybranou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Provedení rešerše na téma upínací přípravky.
2. Návrh konstrukčních variant.
3. Konstrukční návrh zvoleného řešení.
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace.

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

HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra.* Brno: Computer Press, 1999

ELIÁŠOVÁ, M., SOKOL, Z. *Ocelové konstrukce: příklady.* Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008.

ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: *Strojnické tabulky.* Scientia, Praha, 2004

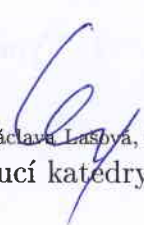
SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí.* VUT v Brně, Brno, 2010

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Dipl. Ing. Andre Mayr**
Aerotech Czech s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václav Lašový, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2018

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

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování této práce.

Zároveň bych chtěl poděkovat firmě Aerotech Czech s. r. o., která mi umožnila a zprostředkovala příležitost psát diplomovou práci pro naši mateřskou společnost Aerotech Peißenberg GmbH & Co. KG. Dále bych chtěl poděkovat naší mateřské společnosti, u které jsem měl možnost diplomovou práci vypracovat, zejména pak panu Mayrovi za jeho cenné rady a připomínky.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi umožnila studovat na vysoké škole a byla mi po celou dobu studia oporou.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Rajal	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh kontrolního přípravku pro měření dílů do leteckých motorů na 3D měřícím stroji		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	108	TEXTOVÁ ČÁST	72	GRAFICKÁ ČÁST	36
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na konstrukci pneumatického upínacího přípravku pro měření komponenty na 3D měřícím stroji. Práce obsahuje rešerši na téma přípravky, popis materiálu Rene 65, ze kterého je měřená komponenta vyrobena. Dále se v práci nachází stručný popis výroby měřené komponenty, do jakých motorů se používá a jak tyto motory fungují. Další kapitolou je popis stávajícího řešení. V hlavní části práce je řešena samotná konstrukce přípravku a simulace zatížení. Model i simulace zatížení jsou vytvořeny v softwaru Siemens NX. V závěru práce jsou shrnuty náklady zvoleného řešení a vypočítána ekonomická návratnost.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Přípravek, konstrukce, návrh, komponenta, pneumatika, upínání, Rene 65, 3D měření, sw NX</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Rajal	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of the inspection fixture for measuring of parts to aircraft engines on a 3D measuring machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 a eg. A4)

TOTALLY	108	TEXT PART	72	GRAPHICAL PART	36
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Diploma thesis is focused on the construction of the fixture for measuring part on the 3D measuring machine. The thesis includes a search on the topic of fixtures, description of the material Rene 65, from which the measured part is produced. Further chapter contains briefly description of production of measured part, to which engines is used and how these engines work. In further chapter is description of the current state. The construction of the fixture and the simulation of load is solved in the rest of the thesis. Model and FEA were made in software Siemens NX. In the end of the work the costs are summarized and the payback period is calculated.
KEY WORDS	Fixture, construction, design, component, pneumatic, clamping, Rene 65, 3D measuring, sw NX

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Zadavatel – Aerotech Peißenberg GmbH & Co. KG.....	4
3	Přípravky.....	5
3.1	Rozdělení přípravků	5
3.1.1	Podle použitelnosti	5
3.1.2	Podle operačního určení	9
3.1.3	Podle zdrojů upínací síly	10
3.2	Zásady konstrukce přípravků.....	10
4	Materiál komponenty určené pro letecký průmysl	12
4.1	Rene 65	12
4.1.1	Složení slitiny Rene 65.....	13
4.1.2	Mechanické vlastnosti	14
4.1.3	Srovnání s ocelí	16
5	Komponenta obráběná společností Aerotech Peißenberg.....	17
5.1	Motor Leap X	17
5.2	Technologický postup výroby komponenty	19
5.3	Manipulace s komponentou.....	21
6	Stávající přípravek	22
6.1	Simulace zatížení.....	25
7	Konstrukce přípravku.....	28
7.1	Kritéria návrhu.....	28
7.2	Základní informace pro návrh přípravku.....	29
7.3	Jednotlivé varianty.....	29
7.3.1	Varianta A	29
7.3.2	Varianta B	29
7.3.3	Varianta C	30
7.4	Výběr varianty	32
7.5	Upnutí přípravku.....	34
7.6	Jednotlivé díly přípravku	35
7.6.1	Základ přípravku	35

7.6.2	Polohování upínacích válců	38
7.6.3	Polohování válců pohybující se segmentem	41
7.6.4	Zvedání komponenty	44
7.7	Rozstřel konstrukčního řešení a celkový pohled	45
7.8	Přípravek na měření síly	47
7.9	Zhodnocení splnění požadavků	48
7.10	Pneumatické prvky	49
7.10.1	Úprava stlačeného vzduchu a zajištění dostatečného tlaku.....	49
7.10.2	Pneumatické prvky zajišťující řízení.....	51
7.10.3	Pneumatické prvky pro rozvod stlačeného vzduchu a regulaci rychlosti	52
7.10.4	Pneumatické prvky vykonávající požadované pohyby (pohony)	53
7.10.5	Prvky pro získávání informací o poloze válců a zajišťující komunikaci	55
8	Simulace zatížení	56
8.1	Síťový model	56
8.2	Okrajové podmínky	58
8.3	Výsledky simulace.....	60
9	Výrobní náklady a ekonomická návratnost.....	63
9.1	Výrobní náklady	63
9.2	Ekonomická návratnost	65
10	Závěr.....	67
11	Citovaná literatura	68
12	Seznam obrázků	70
13	Seznam tabulek	72
14	Přílohy	73
	Příloha č. 1: CAD model přípravku na měření síly a tuhostní výpočet.....	73
	Příloha č. 2: Schéma zapojení pneumatických prvků.....	73
	Příloha č. 3: PLC – popis a program	73
	Příloha č. 4: Výkresová dokumentace přípravku	73

1 Úvod

Neustálý rozvoj strojírenství a techniky a narůstající tlak mezi jednotlivými společnostmi na trhu klade zvětšené požadavky na rychlost a přesnost výrobního procesu. Zrychlením a zpřesněním výrobního procesu, zdokonalením výrobních metod, obráběcích strojů a nástrojů a ostatních výrobních prostředků lze zvětšit produktivitu práce, čímž se zvyšuje pravděpodobnost přežití společnosti v dnešním konkurenčním světě. Technický pokrok závisí také na snížení či dokonce eliminování časových ztrát při jednotlivých úkonech. Z toho vyplývá, že pro zvýšení produktivity práce je důležitá snaha zkrátit hlavní a vedlejší časy. To je jeden z hlavních důvodů, proč se ve strojírenské výrobě snažíme dosáhnout co největší mechanizace všech pracovních činností. Jedním z prostředků, které umožňují plnit pracovní činnosti efektivněji a z hlediska času daleko rychleji, jsou vhodné přípravky. [1]

Cílem diplomové práce je zkonstruovat přípravek pro měření komponenty z materiálu Rene 65 na 3D měřícím stroji. Důvodem konstrukce nového přípravku je, že stávající nevyhovuje s ohledem na časovou náročnost upínání komponenty. V rámci konstrukce přípravku jsou navrženy čtyři varianty na upnutí komponenty. Všechny varianty jsou založeny na mechanickém anebo pneumatickém systému upínání. Po dokončení návrhu je provedeno zhodnocení jednotlivých variant a výběr nejvhodnější varianty s ohledem na funkčnost přípravku. Mezi hodnocená kritéria je zařazena rychlost upnutí komponenty, rychlost přenastavení přípravku pro změření druhé strany komponenty, složitost konstrukce (náročnost na výrobu a montáž) a náročnost pro obsluhu a náklady z ekonomického hlediska. Nejvhodnější varianta je aplikována při konstrukci přípravku.

V úvodu diplomové práce je provedena rešerše na téma přípravky a zásady při jejich konstrukci. Dále je popsán materiál Rene 65, ze kterého je komponenta vyrobena a porovnány mechanické vlastnosti zmíněného materiálu jednak se dvěma dalšími superslitinami jako je Inconel 718 a Waspaloy, které jsou také slitiny na bázi niklu, a pak s jedním z nejběžnějších materiálů ve strojírenství, kterým je ocel.

V druhé části je stručně popsána výroba komponent a jejich manipulace ve společnosti Aerotech Peißenberg GmbH & Co. KG. Také je zde věnována pozornost, do jakých motorů se tato komponenta používá a jejich stručný popis. Další velmi důležitou kapitolou je popsání současného stavu.

V poslední a hlavní části diplomové práce jsou nadefinovány požadavky pro návrh přípravku, dále jsou popsány jednotlivé varianty a výběr nejvhodnější varianty. Následně je popsána konstrukce přípravku a provedení simulace zatížení přípravku. Nakonec jsou vyhodnoceny výrobní náklady a je spočítána ekonomická návratnost.

2 Zadavatel – Aerotech Peißenberg GmbH & Co. KG

Společnost Aerotech Peißenberg byla založena v roce 1970, jak už název napovídá ve městě Peißenberg, společností MTU Aero Engines jako závod, kde se vyráběly komponenty pro lodní dieselové motory a později i vojenské a civilní součásti motorů. V roce 1996 vznikla z tohoto závodu společnost Aerotech Peissenberg GmbH. Společnost má 470 zaměstnanců. Má pobočku v ČR v Klatovech a nová se Staví v Mexiku. Zabývá se obráběním součástí do leteckých motorů. Jedná se zejména o rotující disky a kroužky (kompresorové disky, turbínové disky a kužele), tak i složité díly skříně. Komponenty jsou vyráběné ze speciálních superslitin na bázi niklu (např. Inconel 718, Waspaloy, Rene 65) a titanových slitin. Zákazníci jsou světoznámé společnosti, jako jsou například Royce Rolls, MT Aerospace, CFM International (spojuje dvě firmy dohromady GE Aviation a Snecma). Aerotech Peißenberg se podílí na mnoha projektech výroby leteckých motorů, mezi které patří například Trent 500, Trent 700, Trent 800, Trent 900, Trent 1000, Trent XWB, Trent 7000, BR 700, PW 2000 a V 2500.

V roce 2006 následovala výstavba české pobočky Aerotech Czech v Klatovech, která je dnes nedílnou součástí výrobního procesu mnoha komponent. Jedná se zejména o rotující a satorové části motorů ze speciálních slitin pro letecké motory na bázi niklu a titanových slitin. Má 140 zaměstnanců a neustále se rozvíjí.



Obrázek 1: Logo společnosti Aerotech Peißenberg [2]



Obrázek 2: Logo společnosti Aerotech Czech [3]

3 Přípravky

Ve strojírenství je použití přípravků zcela běžné a zároveň nezbytné, ať už se jedná o výrobu kusovou, sériovou nebo hromadnou. Základní definice přípravků může být formulována jako pomůcky, které urychlují, usnadňují a umožňují výrobu.

Mezi základní funkce přípravků patří jednoznačné ustavení a pevné uchycení součásti jak při obrábění, tak i jiných činnostech, jako jsou například montáž a kontrola. Nejjednodušší upínací pomůcky jsou ruční a strojní svěráky, které patří mezi nejstarší přípravky. Dále zajišťují vzájemnou polohu a přidržení součástí při montáži. Přípravky se také používají při kontrole správnosti rozměrů nebo geometrických tvarů součástí. [4]

3.1 Rozdělení přípravků

Rozdělení přípravků se může posuzovat z několika hledisek.

3.1.1 Podle použitelnosti

- a) **Univerzální přípravky** – jsou určeny k upínání tvarově a technologicky podobných součástí různých tvarů. Používají se při kusové, nebo malosériové výrobě, mají daný tvar a jsou normalizované. Jejich použití není vázáno na konkrétní obrobek, obráběcí stroj nebo pracoviště. Převážně se vyrábějí ve větším počtu kusů, z toho důvodu je jejich cena nižší než u speciálních přípravků podobného druhu. [4]
- 1) **Strojní svěráky** – Strojní svěráky patří k nejrozšířenějším upínacím zařízením. Slouží k upínání součástí jednoduchých geometrických tvarů a menších rozměrů na frézkách, vrtačkách, hoblovkách, obrážečkách a jiných strojích. K upínání dochází sevřením čelistí svěráku za pomoci šroubu s ruční klikou, výstředníkem a pákou, nebo tlakovým vzduchem. Velikost svěráku je dána šířkou a výškou čelistí a jejich rozevřením, které ještě zaručuje bezpečné a pevné upnutí. Máme několik typů strojních svěráků: [5]

Šroubový strojní svěrák – Je nejběžnější strojní svěrák. Tělo svěráku má jednu pevnou čelist a vedení pro posuvnou čelist. Posuvná čelist má v sobě matici pro šroub, který je otočně uložen a osově uchycen v tělese svěráku. Čelisti mají vyměnitelné kalené vložky. [5]

Otočný svěrák – Jeho uspořádání je podobné jako u šroubového svěráku. Deska, kterou se svěrák připevňuje ke stolu nebo upínací desce stroje, je otočná a na ní jsou uloženy saně s čelistmi. Svěrák se otáčí kolem svislé osy o požadovaný úhel podle stupnice na obvodu otočné desky, jeho poloha se zajišťuje dvěma šrouby. Osa upínacího šroubu leží přímo proti činné ploše pohyblivé čelisti, takže tato čelist není ve vedení vyvrácena, neboť činná část čelisti se stýká s upnutým předmětem v plné ploše. [5]



Obrázek 3: Šroubový strojní svěrák [6]



Obrázek 4: Otočný strojní svěrák [7]

Samostředící svěráky – Jsou vhodné pro upínání válcových předmětů, pokud mají upínací čelisti prismatické. Obě čelisti jsou u svěráku posuvné, z toho vyplývá, že osa upnutého předmětu je vždy ve stejné poloze bez ohledu na průměr. Čelisti jsou kalené a po obou stranách mají zářezy různých velikostí, takže je lze podle průměru obrobku obracet. [5]



Obrázek 5: Samostředící strojní svěrák [8]

Výstředníkové svěráky – U těchto svěráků se místo upínacího šroubu používá výstředník. Posuvná čelist se hrubě přestavuje pomocí šroubu v zářezích svěráku a upnutí se dosáhne výstředníkem. Používají se k upínání malých předmětů pravidelného tvaru. [5]



Obrázek 6: Výstředníkový strojní svěrák [9]

Vzduchové (pneumatické) svěráky – Pomocí tlaku vzduchu, který působí na jednu čelist svěráku, dochází k upínání. Hlavními výhodami oproti ručním jsou krátké upínací časy, odstranění tělesné námahy a možnost dosáhnout značné upínací síly. [5]



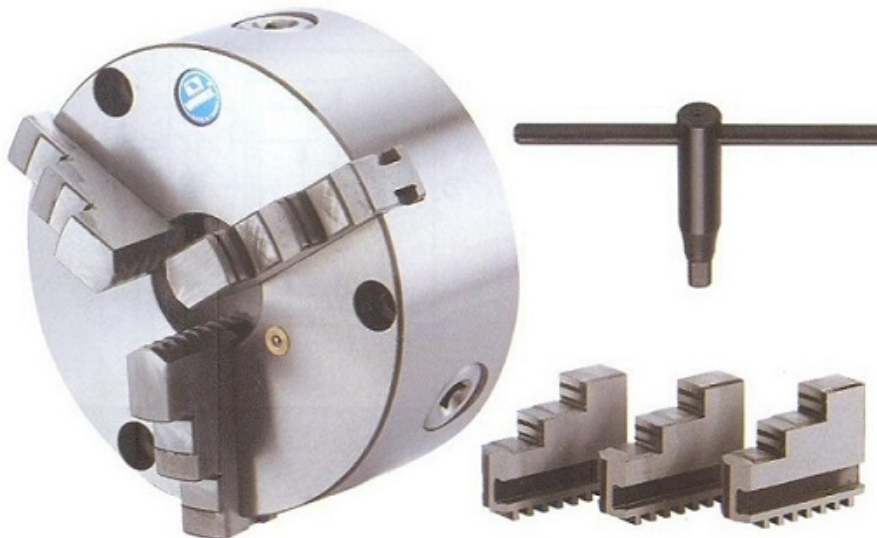
Obrázek 7: Pneumatický strojní svěrák [10]

- 2) **Lící deska** – Používají se k upínání obrobků na soustruzích. Obrobek je upnut čelistmi (zpravidla čtyřmi), z nichž každá se pohybuje samostatně, takže lze upínat obrobky nepravidelných tvarů. Aby se zvětšil rozsah upínaných předmětů, jsou čelisti stupňovité. V desce jsou ještě mimo to výřezy pro šroub s hlavou, aby bylo možné upnout obrobek také upínkami. Vystředění obrobku je zdlouhavé a vyžaduje jisté zručnosti. Dosažitelná upínací síla je velmi značná. [5]



Obrázek 8: Lící deska [11]

- 3) **Skličidla** – Používají se zejména k upínání obrobku na soustruhu, bruskách, při upínání v dělicích přístrojích a v dalších strojích, kde hlavní pohyb je rotační. Podle počtu upínaných čelistí se dělí na dvoučelist'ová, tříčelist'ová (nejčastější) a čtyřčelist'ová. Při upínání se všechny čelisti univerzálního sklíčidla pohybují vždy současně, což zajistí, že obrobek je vždy správně vystředěn a zároveň upnut. [4]



Obrázek 9: Univerzální sklíčidlo [12]

- b) **Skupinové přípravky** – skupinový přípravek je celý přípravek nebo jeho část společná pro celou skupinu obrobků. Přípravky se skládají ze stálých (těleso přípravku, upínací mechanismus a jeho silová jednotka apod.) a vyměnitelných nebo seřiditelných částí (ustavovací a vodící elementy, někdy i upínací elementy přípravku). Vyměnitelné součásti nebo jejich skupiny se vyměňují při přechodu z obrábění součástí jednoho druhu na obrábění součástí jiného druhu. [5]

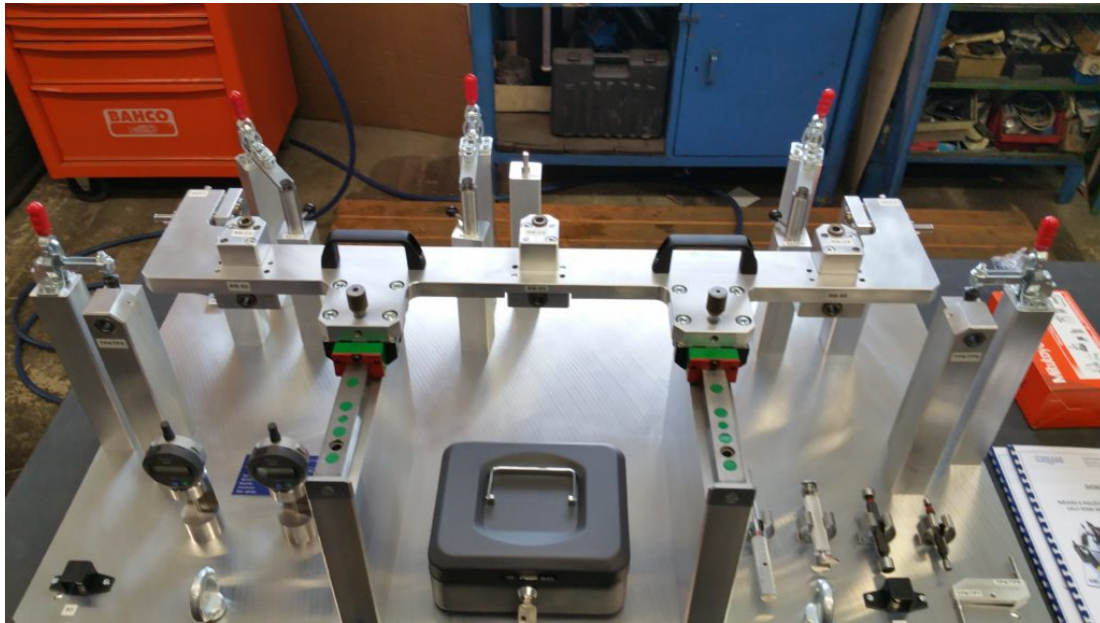
- c) **Stavebnicové přípravky** – jsou sestaveny z typizovaných dílů v požadovaný přípravek. Jednotlivé součásti celé soupravy je možné rozdělit do skupin podle hlavního účelu jejich použití. 1 - součásti základové (základové desky a úhelníky), 2 - součásti opěrné (podložky, opěrky, prizmata, lišty), 3 - součásti ustavovací (ustavovací čepy, kolíky, středící pouzdra), 4 - součásti vodící (vodící pouzdra, ramena vrtacích pouzder a vřeten), 5 - součásti upínací (upínky, výstředníky, upínací hroty, rukojeti), 6 - součásti spojovací (šrouby, matice a podložky různých druhů). [4]



Obrázek 10: Stavebnicový přípravek – upínací [13]

3.1.2 Podle operačního určení

- a) **Obráběcí přípravky** – se používají k upnutí obrobku v určité poloze vzhledem k nástroji. Pokud je nutno nástroj zároveň vést, bývá vedení nástroje součástí přípravku. [5]
- b) **Montážní přípravky** – slouží k přidržení součástí v předepsané poloze při jejich vzájemném rozebíratelném i nerozebíratelném spojování. Jejich použitím se výrazně snižuje podíl lidské práce při konkrétních úkolech. Mezi montážní přípravky lze zařadit i svařovací přípravky. [4]
- c) **Kontrolní přípravky** – se používají ke kontrole správnosti rozměrů, popřípadě geometrických tvarů.
- d) **Rýsovací přípravky** – slouží k rýsování součástí před obráběním.
- e) **Ostatní dílenská a pomocná zařízení** – jsou pomůcky zvyšující pracovní možnosti stroje (např. mnohovřetenové vrtací hlavy) a pomůcky určené k obrábění ploch speciálních tvarů, které lze obrábět na normálních obráběcích strojích pouze s přídatným zařízením (např. řezání závitů s proměnným stoupáním). Do této skupiny se mohou zařadit i pomocná nakládací zařízení, která umožňují vkládání a vyjímání těžkých součástí do stroje. [5]



Obrázek 11: Kontrolní přípravek [14]

3.1.3 Podle zdrojů upínací síly

- a) Přípravky s ručním upínáním
- b) Přípravky s mechanickým upínáním – mezi tyto přípravky se řadí pneumatické, hydraulické, magnetické, elektromechanické, elektromagnetické, případně jejich kombinace.

3.2 Zásady konstrukce přípravků

Úkolem přípravku je, aby splnil účel, to znamená, umožnil, a i usnadnil výrobu daných dílů, a byl hospodárný, to znamená, že náklady na výrobu přípravku musí být nižší než úspory získané použitím přípravku, který snižuje časovou náročnost na výrobu jedné komponenty.

Větších úspor lze dosáhnout porovnáním obrobků na jednom obráběcím stroji za určité časové období, většinou se ukáže, že je lze roztrždit na skupiny, ve kterých si jsou jednotlivé obrobky podobné, a tudíž lze pro ně použít jeden společný přípravek. Jelikož nejsou obrobky úplně stejné, tak v přípravku některé součásti jsou nastavitelné nebo vyměnitelné, ale větší část přípravku je společná pro celou skupinu obrobků, což má za následek mnohem větší počet obráběných součástí v jednom přípravku a daleko větší úspory tím dosažené. To dovoluje řešit účinněji, to je složitější i dražší přípravek. [4]

Mezi konstrukční zásady upínacích přípravků patří:

- 1) Před návrhem přípravku se musí přesně ujasnit pracovní postup vyráběné součásti. Zvláště důležité je, aby se při prvním obrábění vytvořila plocha, která bude jednoznačně určovat přesnou pozici obrobku pro další operace.
- 2) Pro menší série je vhodné uspořádat operace tak, aby se dal jeden upínací přípravek použít i pro více operací.
- 3) Obráběná plocha by měla ležet, pokud to umožňuje tvar obrobku, co nejbližší upínací ploše obráběcího stroje, čímž se zaručí stabilita upínacího přípravku.

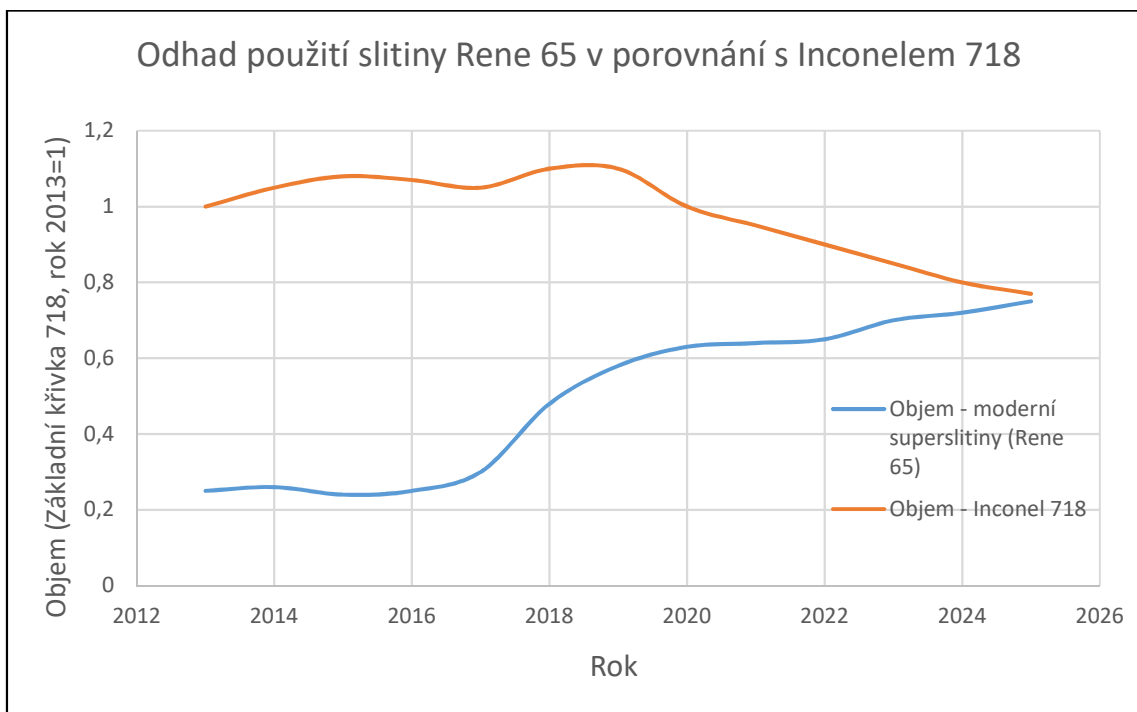
- 4) Přípravek musí být tuhý, aby se působením řezných a upínacích sil nedeformoval.
- 5) Poloha dílů v přípravku musí být zajištěna pevnými dorazy.
- 6) Obsluha má být jednoduchá a pohodlná. Ovládací prvky (páky, rukojeti apod.) musí být dobře přístupné a jejich počet, pokud možno co nejmenší. Při upínání a uvolňování se nesmí používat kladiva z důvodu možného poškození přípravku. Smysl pohybu příslušných upínacích prvků musí být jednotný. Poloha obsluhovacích prvků nesmí překážet při práci nástroji nebo odcházejícím třískám. Upínání a uvolňování musí být provedeno ve velmi krátkém čase.
- 7) Přípravky, které mají větší hmotnost, se pro snazší přemísťování opatřují rukojetmi, uchy, oky apod.
- 8) Všechny ostré hrany na přípravku, které mohou přijít do styku s lidskou rukou, musí být zaobleny či zkoseny z důvodu bezpečnosti dělníka.
- 9) Při konstrukci přípravků je vhodné používat co nejvíce normalizovaných součástí a mít seznam dosud vyrobených upínacích pomůcek, aby se pro daný případ mohlo využít již hotového, případně upraveného přípravku.
- 10) Je vhodné řešit přípravky stavebnicově.
- 11) Konstrukční řešení přípravku je provedeno tak, aby nebylo možné obrácené vložení součástí. [4]
- 12) Přípravek má zajistit snadné, bezpečné a jednoduché vkládání a vyjímání obrobků.
- 13) Používat měřidla jen s požadovanou přesností, ne zbytečně lepší.
- 14) Připevňovat měřidla do poloh, ve kterých bude vidět kolmo na stupnici, aby nemohlo dojít ke zkreslení naměřené hodnoty špatným odečtením či dobře vidět na display měřidla.
- 15) Mezi časté materiály pro měřicí přípravky patří hliníkové slitiny a součástí z plastu (například PA6, POM atd).

4 Materiál komponenty určené pro letecký průmysl

4.1 Rene 65

Materiál Rene 65 je slitina založená na niklu, který je zastoupen kolem 55 % v této slitině viz níže Tabulka 1 a byla vyvinuta pro letecké turbínové disky. Tato slitina je precipitačně vytvrzena gama fází, což má za následek zvýšení schopnosti zachovat si vysokou pevnost i při vysokých teplotách v porovnání se slitinou Inconelem 718. Také překlenula cenový a výkonnostní rozdíl mezi tradičními slitinami na odlitky a výkovky a práškovými slitinami. Optimalizace procesu tepelného zpracování vyústila ve zvýšení teplotní schopnosti zachovat si vysokou pevnost i při vysokých teplotách přibližně o 90 °C, než má Inconel 718, s vynikající únavovou odolností a odolností proti poškození. [15]

V průběhu let, odlité a kované materiály, jako je slitina Inconel 718, našly široké použití na rotační komponenty pro plynové turbíny. Bohužel, teplotní limit těchto slitin je přibližně 649 °C. Přestože používání slitiny Inconel 718 v těchto aplikacích firmou GE (General Electric) zůstává velké, potřeba moderních superslitin na disky pro nové platformy motorů rapidně rostou. Graf na obrázku (Obrázek 12) ilustruje odhadované změny v použití slitiny Inconelu 718 a moderních superslitin (např. Rene 65) pro motory firmy GE v příštích desítkách let. V roce 2024 použití moderních superslitin v obou formách jak odlitků a výkovků tak i práškových slitin pro kritické rotační komponenty plynových turbín je předpovídáno, že bude srovnatelné se slitinou Inconelem 718. [15]



Obrázek 12: Predikce použití slitiny Inconel 718 a moderních superslitin [15]

Potřebné vyšší provozní teploty pro zvýšení výkonu motoru s plynovou turbínou vedly k zvýšenému použití slitin z prášku, jako jsou Rene 88DT (R88DT) a Rene 104 (R104), pro výrobu kritických rotačních komponent do leteckých motorů. Tyto materiály jsou obzvláště účinné při aplikaci ve vysokotlakých turbínách, ale také byly využity v pozdějších stupních vybraných kompresorů. Přestože poskytují požadovanou pevnost, creep a únavu při zvýšených teplotách, jejich aplikace není ekonomická kvůli drahému zpracování prášku. Z toho důvodu byla vynalezena litá a tvářená slitina Rene 65, která je v současné době používána ve výrobě napříč mnoha linek firmy GE na letecké motory. Rene 65 byl vyvinut pro použití primárně v turbínové části motorů. [15]

Co se týče obrobitelnosti této slitiny, mohou být použity konvenční obráběcí techniky používané pro slitiny na bázi železa. Tato slitina se během obrábění zpevňuje a má vyšší pevnost a soudržnost, které nejsou typické pro ocel. Mělo by být použito vybavení a nástroje pro těžko obrobitelné slitiny, aby se minimalizovaly vibrace nebo zpevňování slitiny v průběhu obrábění. Může být použita většina komerčních chladicích prostředků při obráběcích operacích. Chladicí kapaliny na bázi vody jsou výhodné pro vysokorychlostní operace, jako je soustružení, broušení nebo frézování. Vysoce výkonná maziva jsou nejlepší pro vrtání, řezání závitů, protahování nebo vyvrtávání. Pro soustružení s nepřerušovaným řezem se doporučují nástroje ze slinutého karbidu, které se zároveň využívají pro hladké dokončování tak, aby byly splněny přísné tolerance. Nástroje by měly mít kladný úhel čela. U frézování je důležité mít tuhý stroj a přípravky a ostré rezné nástroje, aby byla získána dobrá přesnost a hladký povrch. [16]

Slitina Rene 65 má dobrou tažnost a může být snadno tvářena všemi konvenčními metodami. V rozmezí kovacích teplot 1038 až 1079 °C je slitina velmi dobře tvářitelná. Vzhledem k tomu, že slitina je pevnější než běžné oceli, vyžaduje výkonnější zařízení, aby mohla být tvářena. Při tvářeni za studena je třeba používat vysoce výkonná maziva. Je nutné důkladně očistit všechny zbylé stopy oleje po tvářeni na díle, neboť se může objevit křehnutí slitiny při vysokých teplotách, pokud by zůstalo mazivo na díle. [16]

Tato slitina jde dobře svařovat běžně používanými metodami svařování. Měly by být používány jen kovové elektrody. Všechny svarové housenky by měly být mírně konvexní. Není nezbytné použít přehřátí svařovaných částí. Povrch, který má být svařen, musí být očištěn a odmaštěn. Tuto slitinu lze například svařovat: svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu, ruční obloukové svařování, svařování pod tavidlem a svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. [16]

4.1.1 Složení slitiny Rene 65

Rene 65 je derivát kovové práškové slitiny R88DT s chemickými modifikacemi, aby umožnila zpracování na odlitky a výkovky. V tabulce (Tabulka 1) je složení slitiny Rene 65 a zároveň jsou v této tabulce další superslitiny na bázi niklu, které jsou použitelné na disky do vysokých teplot jako například Waspaloy, Slitina 718, ATI 718 Plus a Slitina 720. [15]

Tabulka 1: Chemické složení superslitin [15]

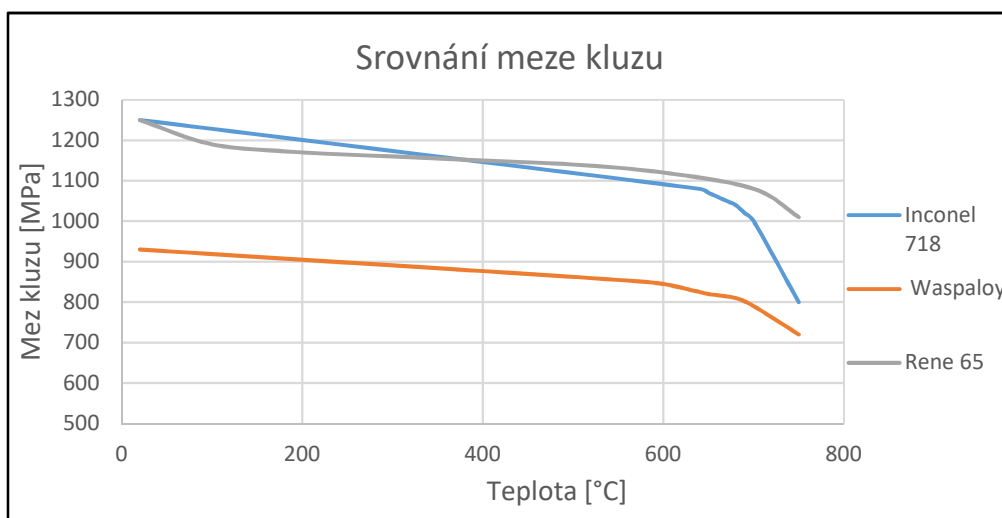
	Ni	Cr	Mo	W	Co	Fe	Nb	Ti	Al	Zr	B
Alloy 718	Zbytek	18,1	2,9	-	-	18	5,4	1	0,45	-	-
ATI 718 Plus	Zbytek	18	2,8	1	9	10	5,4	0,7	1,45	-	0,06
Alloy 720	Zbytek	16	3	1,25	15	-	-	5	2,5	0,03	0,015
Waspaloy	Zbytek	19,4	4,25	-	13,25	-	-	3	1,3	0,05	0,006
Rene 65	Zbytek	16	4	4	13	1	0,7	3,7	2,1	0,05	0,016

4.1.2 Mechanické vlastnosti

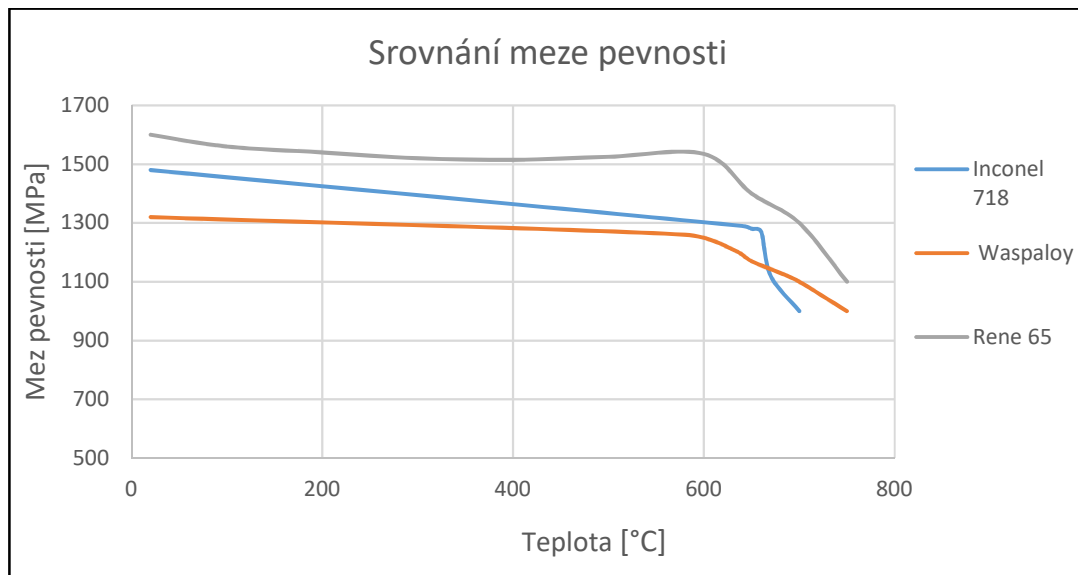
Mechanické vlastnosti slitiny Rene 65 jsou optimalizovány pomocí použití tepelného zpracování, aby se určila požadovaná cesta ochlazení, a tím se zajistila požadovaná rovnováha mezi pevností, tečením a cyklickou životností. V grafu na obrázku (Obrázek 13) je porovnání smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$ a v grafu na obrázku (Obrázek 14) meze pevnosti slitiny Rene 65 s ostatními slitinami, které jsou odolné vysokým teplotám a jsou použitelné na odlitky a výkovky. Tabulka 2 ukazuje vybrané mechanické vlastnosti slitiny Rene 65. [15]

Tabulka 2: Vybrané mechanické vlastnosti slitiny Rene 65 [16]

Měrná hmotnost [g. cm ⁻³]	Teplota tavení [°C]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Specifické teplo [kJ/kg. K]
8,221	1343	208,9	1250	1600	0,461



Obrázek 13: Srovnání meze kluzu superslitin v závislosti na teplotě [15]



Obrázek 14: Srovnání meze pevnosti superslitin v závislosti na teplotě [15]

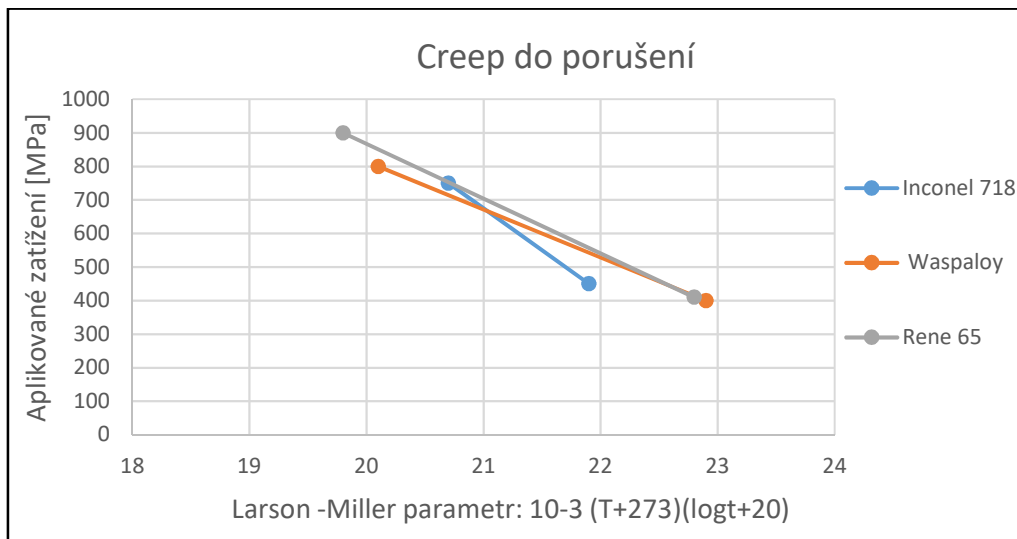
Creep

Mezi nejdůležitější vlastnost superslitin používaných při vysokých teplotách patří creep (tečení), což je jev, kdy se materiál pomalu trvale deformuje vlivem dlouhodobého působení za zvýšené teploty a konstantního napětí. Creep se obecně zvyšuje, čím více se teplota blíží jejich bodu tání. Míra deformace je funkce vlastností materiálu, doby expozice, velikostí teploty a použitého konstrukčního zatížení.

Vyšší schopnost creepu je jedno z klíčových kritérií při návrhu moderních diskových komponent do plynových turbín, protože vyšší provozní teploty umožňují vyšší výkon. V grafu na obrázku (Obrázek 15) je zmíněn Larson-Millerův parametr, s kterým souvisí, že creepové zkoušky probíhají dlouhou dobu (obvykle jde o tisíce hodin – měsíce). V praxi však mnoho součástí musí fungovat roky, což je přibližně 100 000 hodin (zhruba 11 let). Z tohoto důvodu se zkoušky extrapolují na větší časové intervaly. Jeden z často používaných způsobů řešení využívá právě tohoto tzv. Larson-Millerův parametr, který má tvar:

$$P_{LM} = T(\log(t_r) + C),$$

kde C je materiálový parametr, P_{LM} je Larson – Millerův parametr, T je teplota [K] a t_r je čas [h] do lomu. [15]; [17]



Obrázek 15: Porovnání creepu do porušení slitiny Rene 65 s ostatními superslitinami [15]

4.1.3 Srovnání s ocelí

Ocel je nejpoužívanější a nejběžnější materiál, který se ve strojírenství používá. Z tohoto důvodu je zajímavé porovnání oceli se superslitinami zmíněnými výše. Pro srovnání vezmeme ocel třídy 11. Oceli třídy 11 jsou uhlíkové (nelegované) konstrukční oceli se zaručenou čistotou, zaručeným obsahem fosforu a síry, zaručenou minimální pevností v tahu, mezí kluzu a tažností. Jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku. Používají se ve stavu normalizačně žíhaném. Konkrétně porovnáme superlitiny s ocelí 11 600. Má obsah C > 0,4 % a používá se pro náročnější strojní součásti vystavené většímu opotřebení a větším tlakům, např. vodicí hřídele, vřetena lisů, klíny apod. [1]

Tabulka 3: Srovnání vybraných mechanických vlastností oceli 11 600 se superslitinami [16]; [18]; [19]

	Mez kluzu ($R_{e0,2}$) [MPa]	Mez pevnosti (R_m) [MPa]	Měrná hmotnost [$g \cdot cm^{-3}$]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Teplota tavení [°C]
Inconel 718	1250	1495	8,19	204,9	1336
Rene 65	1250	1600	8,22	208,4	1343
Ocel 11 600	661(≥)	993(≥)	7,85	210	1539

Z mechanických vlastností oceli vidíme, že i při vysokých teplotách má Inconel vyšší mez kluzu než ocel za normálních podmínek. Proto by se ocel v žádném případě nemohla použít do aplikací za vysokých teplot, kde by se mez kluzu i mez pevnosti výrazně snížily a materiál by nepřenese zatížení. Je to způsobené tím, že u ocelí se začne výrazně projevovat creep při teplotách vyšších jak 0,3 - 0,5 homologické teploty. Zatímco u superslitin nastává creep až kolem 0,7 homologické teploty. Homologická teplota je poměr teploty provozní [K] a teploty tavení [K]. [1]

5 Komponenta obráběná společností Aerotech Peißenberg

Přípravek je konstruován pro určitý typ komponenty, která je ve společnosti značena "362-039-510-0F7". Tato komponenta se podle zákazníka, kterým je společnost CFM International, což je společnost, jejíž jedna půlka patří společnosti General Electric (GE) a druhá půlka patří Safran Aircraft Engines (dříve známa jako Snecma), nazývá disk. Komponenta je vyráběna do motorů Leap X. Komponenta je vyrobená z materiálu Rene 65 a díky výše zmíněným mechanickým vlastnostem, zejména creepovým, se díl nebude v leteckém motoru nacházet v přední části, kde dochází k nasávání vzduchu a nejsou zde vysoké teploty, ale nachází se v nízkotlaké části turbínové části motoru, kde se teploty pohybují nad 600 °C, a je ve čtvrtém stupni této části. [20]



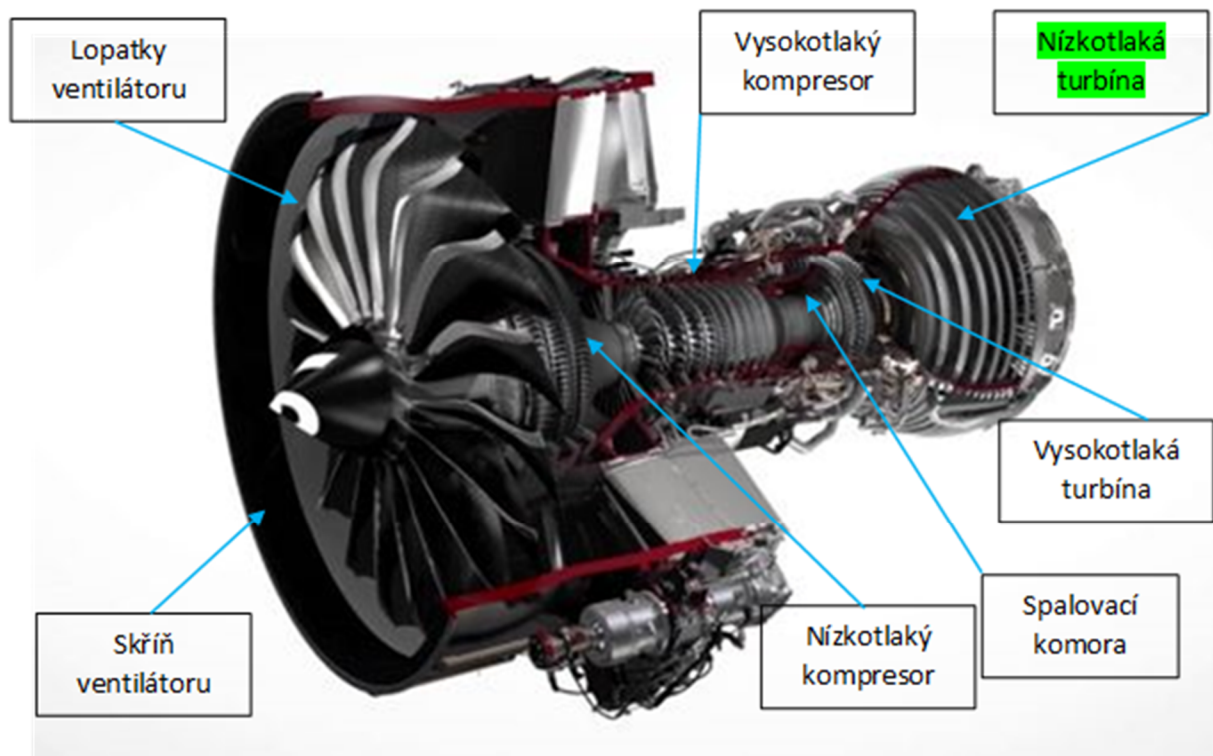
Obrázek 16: Boeing 737 MAX [21]

5.1 Motor Leap X

Motor Leap X má tři varianty, mezi které patří Leap – 1A, který se používá pro letadla typu Airbus A320neo family, Leap – 1B, který se používá pro letadla typu Boeing 737 MAX a Leap – 1C, který se používá pro letadla typu Comac C919. Tento motor Leap X je modernizovaný úspěšný typ motoru CFM56 a má konkurovat motoru Pratt & Whitney PW1000G, který je vyráběn společností Pratt & Whitney. Výše zmíněné varianty motoru Leap X se liší základními parametry, kterými jsou tahová síla motoru, obtokovým poměrem, průměrem dmyhadla (ventilátoru), délkou, šířkou, výškou, hmotností a maximálními otáčky v jednotlivých částech motoru. [20]

Jedná se o typ dvouproudového motoru, který pracuje na podobném principu jako proudový, tedy na principu zákona akce a reakce. Oproti proudovému motoru obsahuje navíc dmyhadlo (ventilátor) a nízkotlaký kompresor, poháněný další turbínou. Skládá se

ze vstupního ústrojí, kde vstupuje vzduch do motoru, který je zde stlačen dmychadlem. Část stlačeného vzduchu, která je daná obtokovým poměrem, což je poměr mezi průtokem vzduchu vnějším (kolem jádra) a vnitřním proudem (jádrum), proudí do vysokotlaké části motoru, zbytek ji však obtéká tzv. obtokovým kanálem. Tah motoru je vyvolán účinkem obou proudů plynů. Na vstupu vysokotlaké části motoru se nachází nízkotlaký a vysokotlaký kompresor, který vzduch stlačí a zvýší tím jeho teplotu. Vzduch má vhodnou teplotu a tlak, ale příliš rychle se pohybuje na to, aby mohl být zažehnutý, a proto směřuje do tzv. difuzoru, který ho zpomalí, ale zachová jeho teplotu. Dále následují spalovací komory, v nichž dojde k přidání paliva a následnému zažehnutí, což způsobí obrovský nárůst objemu plynů. Spaliny procházejí přes vysokotlakou a nízkotlakou turbínu, kterým předají větší část své energie. Poté opouštějí vysokotlakou část motoru a smísí se s obtokovým vzduchem. Smísení výstupních proudů způsobí nižší teplotu výstupních plynů, což má za následek, že dvouproudové motory jsou méně hlučné a mají nižší spotřebu (při nižší rychlosti lze totiž dosáhnout na výstupu lepšího poměru hybnost/energie, na němž záleží spotřeba energie na vyvolání jednotkového tahu). Obrázek 17 ukazuje motor Leap X a jeho popis. [22]



Obrázek 17: Popis leteckého motoru Leap X [23]

5.2 Technologický postup výroby komponenty

Technologický postup je vždy pro každou komponentu originální a záleží na každém kroku v tomto postupu, zvláště pokud se jedná o díly do leteckých motorů, kde sebemenší geometrická odchylka nebo skryté vady by mohly způsobit fatální následky (ztráty na lidských životech). Z tohoto důvodu je nutno dbát technologického procesu, který je v první řadě schválen zákazníkem a následně je patřičně hlídán. Někdy je dokonce zmražen. To znamená, že nejsou dovoleny žádné ani sebemenší změny bez povolení zákazníka.

Polotovary pro výrobu těchto komponent jsou válcové výkovky, tvaru disku. Řadou po sobě následujících operací se postupně obrobí polotovary na finální výrobek. Průměr finálního tvaru komponenty je 782 mm, jeho výška je 66 mm a má hmotnost 12,4 kg. Na obrázku (Obrázek 18) jsou vyznačeny základní rozměry komponenty. Jednotlivé operace probíhají na různých pracovištích s rozdílnými technologiemi a rozdílnou náročností požadavků na obsluhu. Na výrobu této komponenty je využito mnoho technologií, mezi které patří: soustružení, lapování, frézování, vrtání, protahování, vyvažování, vizuální kontrola, značení, odjehlování a 3D měření.

Prvními operacemi jsou soustružnické hrubovací operace, po kterých následuje ultrazvuková zkouška sloužící ke zjištění, zda daný polotovar neobsahuje žádné vnitřní vady. Dále v technologickém postupu je použito lapování, které se používá pro lapování dosedací plochy. Tato operace slouží k vytvoření potřebné rovinnosti plochy, která slouží jako dosedací plocha při následující operaci a zajistí stabilní upnutí a odstraní pružné deformace vzniklé upínáním komponenty se špatnou jakostí dosedací plochy. Předepsaná rovinnost dané plochy je 0,02 mm. Nedodržení požadované rovinnosti by také způsobilo větší čelní házení dílu, než by bylo přípustné. To by mohlo mít za následek nedodržení některých rozměrů v mezích tolerance.

Složitější kontury (tvary) nebo kontury (tvary), které nelze provést soustružením nebo by to bylo časově náročné, se provedou frézováním. Na komponentě se nachází mnoho děr po obvodu dílu, které se budou vrtat.

Dále se provádí technologická operace protahování, což je třísková technologie na výrobu nekruhových otvorů, například vnitřní ozubení, tvarové drážky, které mohou mít velmi složitý tvar. V rámci této operace dojde k vytvoření drážek po obvodu dílu. Do těchto drážek pak přijdou nasadit lopatky, ale samotná montáž se provádí mimo firmu.

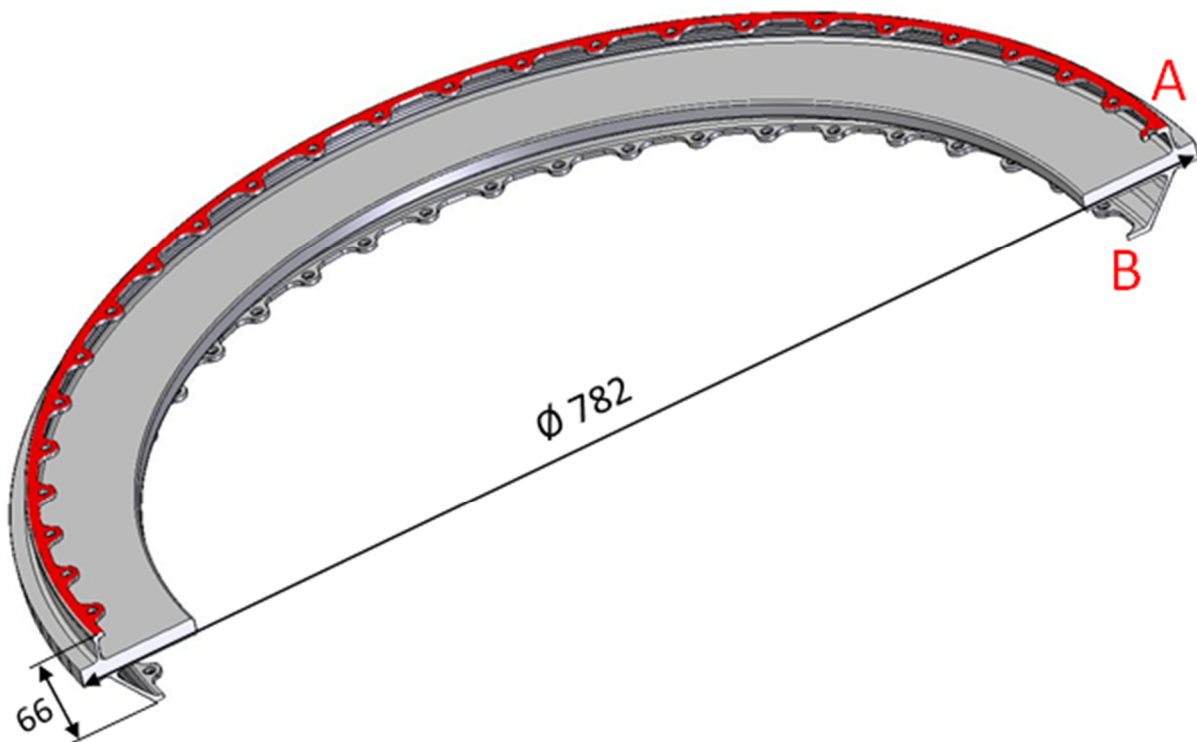
Dále je nutné po některých obráběcích operacích odstranit otřepy nebo nějaké ostré hrany, vzniklé během těchto operací, což je provedeno ručním odjehlováním. Provádí se na zámečnickém pracovišti pomocí malých ručních pneumatických brusek.

Dále je nutné provést vyvažování komponenty, protože se jedná o součást rotující vysokými otáčkami, tak je nutné, aby házení komponenty bylo v dovolených mezích. Na komponentě je určeno místo s materiálem navíc právě pro tento účel vyvažování, takže když by byla potřeba, je možno tento materiál odebrat.

K jednoznačnému identifikování komponenty se používá značení. Označení součásti se provádí mechanicky na speciálním mikroúderovém značícím stroji. Značení slouží pro jednoznačnou identifikaci jednotlivých komponent při pozdější manipulaci s nimi.

Obsahuje sériové číslo, které v sobě nese veškeré informace o dílu. Komponenta ve skutečnosti nese sériové číslo již od polotovaru, kde je označována pomocí visaček. Nutnost přenést označení komponenty od polotovaru až k finálnímu výrobku je typické pro letecký průmysl. Při ztrátě identifikace komponenty ve výrobě dochází k jejímu vyřazení.

V technologickém postupu je samozřejmě nutná celá řada různých kontrol. První je vizuální kontrola a kontrola na 3D souřadnicovém měřicím stroji. Vizuální kontrola je velmi důležitou operací, při které se kontroluje, zda komponenty nejsou mechanicky poškozeny a neobsahují povrchové a jiné vady, jako například škrábance, vrypy, přechody způsobené špatnou korekcí nástrojů při obrábění atd. Tyto vady jsou nežádoucí a zhoršovaly by mechanické vlastnosti, neboť způsobují koncentraci napětí, která vede při provozu k tvorbě a šíření trhlin. Vizuální kontrola se provádí na pracovišti, které je součástí oddělení kontroly, kde se mimo jiné komponenty měří na 3D souřadnicovém měřicím stroji. Vizuální kontrola je prováděna pracovníky pomocí světelných lup, což jsou pomůcky, které zvětšují a osvětlují obrobek povrch komponent, a dále pomocí kapilární zkoušky, která spočívá v identifikaci povrchových vad pomocí tzv. kapilárního jevu, jehož princip spočívá ve vzlínavosti a smáčivosti vhodných kapalin (penetrantů) a jejich barevnosti nebo fluorescenci. Jak již bylo zmíněno, komponenta se dále přeměřuje na 3D souřadnicových měřicích strojích, které kontrolují, zda součást splňuje všechny rozměrové a geometrické tolerance předepsané v technické dokumentaci. Může se provádět i v průběhu technologického postupu jako mezioperační kontrola, záleží podle složitosti dílu. Tato operace je pro nás stěžejní, protože je cílem pro ni navrhnout přípravek, do kterého se má upínat měřená komponenta, která je na obrázku (Obrázek 18).

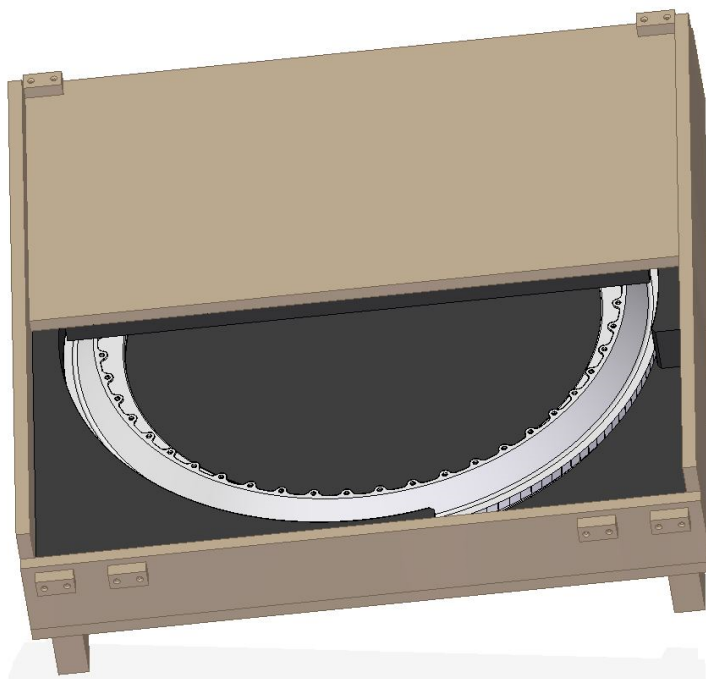


Obrázek 18: Osový řez komponenty s rozměry a vyznačenými a označenými plochami, na kterých se měří rovinnost

5.3 Manipulace s komponentou

Manipulace s komponenty je nedílnou součástí při jakékoli výrobě. U některých není jednoduchá a vyžaduje speciální manipulační přípravky a zařízení. Jedná se zejména o díly s větší hmotností, které jsou umístovány nebo upínány do těžko přístupných pozic nebo pozic, do kterých by to dělník bez použití pomocných zdvihacích zařízení nezvládl. S tímto dále velice souvisí správná manipulace s komponentami, která je velmi důležitá z několika hledisek. Jedno z hledisek je bezpečné zajištění materiálového toku komponent. Pro tuto operaci se používají různé druhy beden, které se samozřejmě liší rozměry a vnitřní výplní, která závisí na materiálu komponenty a její odolnosti nebo možnosti poškození povrchu. Další hledisko je zajištění bezpečné a zároveň přesné manipulace v rámci jednoho pracoviště. Pro tyto operace jsou používány různá zdvihací zařízení.

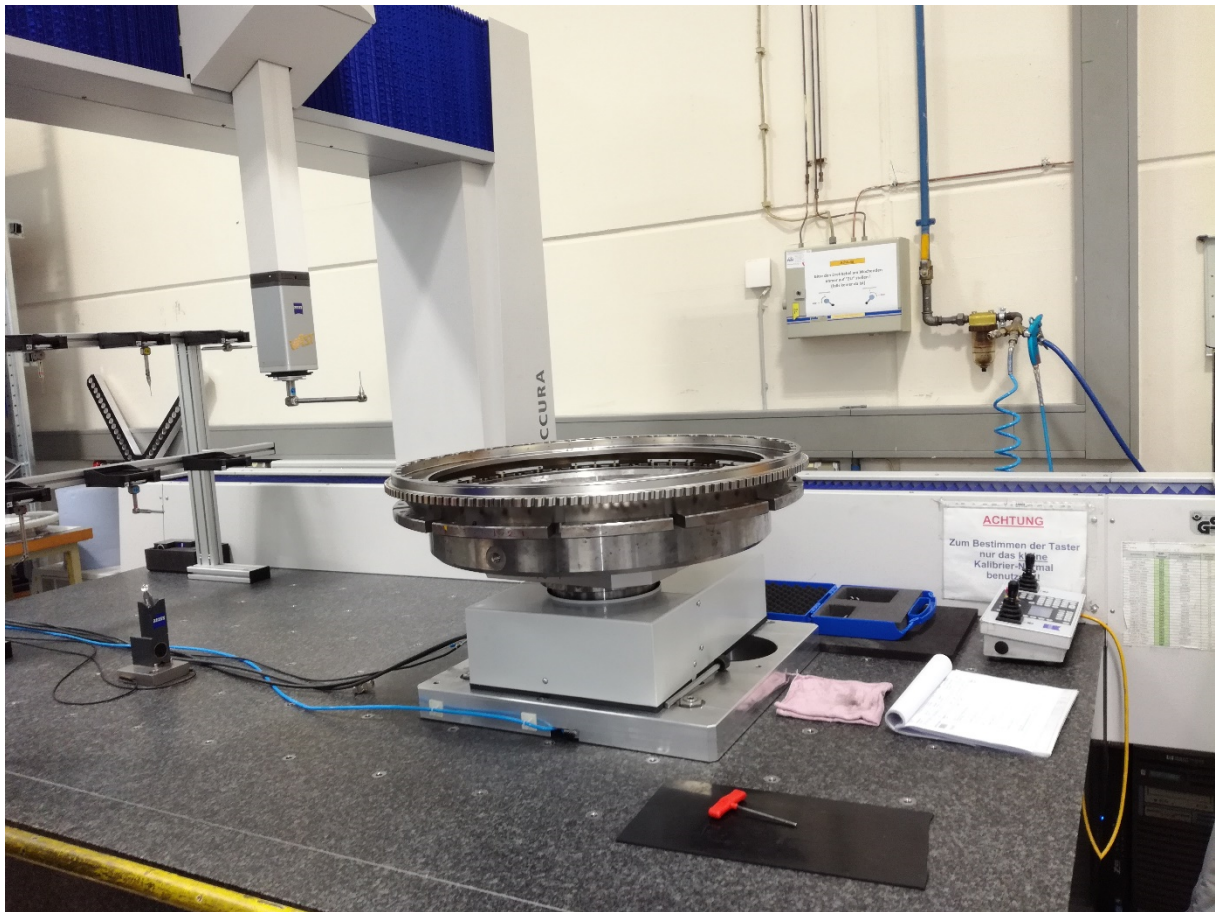
V mém případě se jedná o operaci měření na 3D měřícím stroji. V rámci této operace dochází k manipulaci již finálně obrobené komponenty operátorem z transportní bedny na přípravek, kde dojde k jeho upnutí. Po změření dílu opět následuje jeho uvolnění a operátor komponentu vloží zpět do transportní bedny. Bedna je dřevěná o rozměrech 890x890x165mm. Je vyplněna speciální výplň, která má uprostřed díru o průměru dílu, tak aby byl díl stabilně uložen a nedocházelo k pohybu komponenty během přepravy. Materiál této výplně je PE (polyethylenová) pěna, což je pěna s velmi jemnými póry a má téměř sametový povrch. Materiál PE je použit zejména z důvodu, že nehrozí v žádném případě poškození komponenty, která je velmi náchylná na mechanické poškození, což je zásadní požadavek na transportní bednu. Tato transportní bedna nebo několik beden, které je možno přepravovat na sobě, je pak přepravována pomocí vysokozdvížného vozíku nebo pomocí paletizačního vozíku na vizuální kontrolu, kde je provedena finální kontrola. Z pracoviště kontroly je bedna s komponentou převezena na místo expedice, odkud je pak dopravována celá zakázka těchto dílů k zákazníkovi.



Obrázek 19: Transportní bedna na komponentu

6 Stávající přípravek

Měření komponenty probíhá na pracovišti kontroly, kde pracovníci mají za úkol změřit rovinnost komponenty, která nesmí přesáhnout toleranci 0,02mm. Toto měření probíhá na 3D měřícím stroji typu Zeiss 3D-CMM Accura, na kterém může být měřen maximální obrobek o rozměrech 1800x1200x1000 mm. Rovinnost je měřena na dvanácti místech komponenty a je měřena na stykové ploše komponenty s přípravkem. Jedná se o dvě plochy, které jsou vyznačeny červeně na obrázku (Obrázek 18). Přípravek umožňuje upnutí a následné měření komponenty z obou stran.



Obrázek 20: Pohled na měření komponenty na stávajícím přípravku na 3D měřícím stroji

Komponenta je na přípravku upínána pomocí šroubů o velikosti M5x30 a speciálních pouzder se závitem po celém obvodu dílu, kde jich je 34. Tato speciální pouzdra jsou spojena buď po dvou, v místech středících čepů, nebo jinak po třech speciálním plastovým segmentem, ve kterém jsou tato pouzdra zafixována stavěcím šroubem. Detail tohoto principu upnutí je popsán na obrázku (Obrázek 22). Speciální pouzdra jsou vyrobená z materiálu mosazi. Je to z důvodu, že zákazník má specifikace pro použití materiálů, které mohou přijít do styku s komponentou. Například slitina Al a řada dalších nesmí přijít do kontaktu s komponentou, ale mosaz ze zkušeností je velmi dobrý materiál pro tyto účely. Hlavním důvodem, proč má být komponenta upínána je, že zákazník požaduje provést měření v upnutém stavu. Komponenta je upínána jen za oblast mezikruží v okolí děr. Tímto je simulován budoucí stav upnutí komponenty v motoru, kde bude spolu s další komponentou za tyto oblasti sešroubována

dohromady. Jednotlivé šrouby jsou utahovány momentovým klíčem s utahovacím momentem 1 Nm. Z této hodnoty utahovacího momentu si lze vypočíst sílu, která působí v ose šroubu. Utahovací moment se skládá ze dvou složek:

- Moment od tření v závitu:

$$M_z = 0,5 \cdot d_2 \cdot F_t = 0,5 \cdot F_p \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_z)$$

$$f = \operatorname{tg}(\varphi_z) \rightarrow \varphi_z = 7,97^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_h}{\pi \cdot d_2} \rightarrow \alpha = 3,34^\circ$$

- Moment od tření v dosedací ploše matice:

$$M_h = 0,5 \cdot d_s \cdot F_p \cdot f_h$$

$$d_s = \frac{d + s}{2} = \frac{5,5 + 8}{2} = 6,75 \text{ mm}$$

- Utahovací moment:

$$M_u = 0,5 \cdot F_p \cdot [d_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_z) + d_s \cdot f_h] \rightarrow F_p = \frac{2 \cdot M_u}{[d_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_z) + d_s \cdot f_h]}$$

$$F_p = 1\,061 \text{ N}$$

f_h = 0,14 ... tření v dosedací ploše matice

f = 0,15 ... tření v závitu

φ_z ... třecí úhel

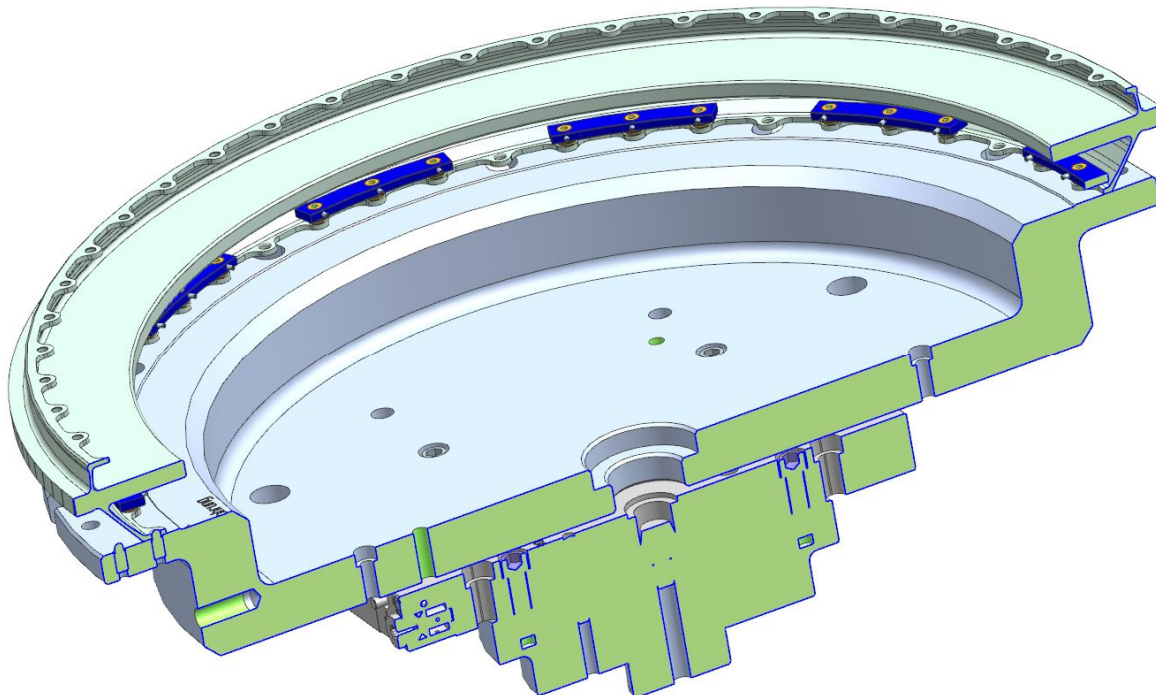
α ... úhel stoupání šroubovice

s ... velikost klíče pro šroub M5

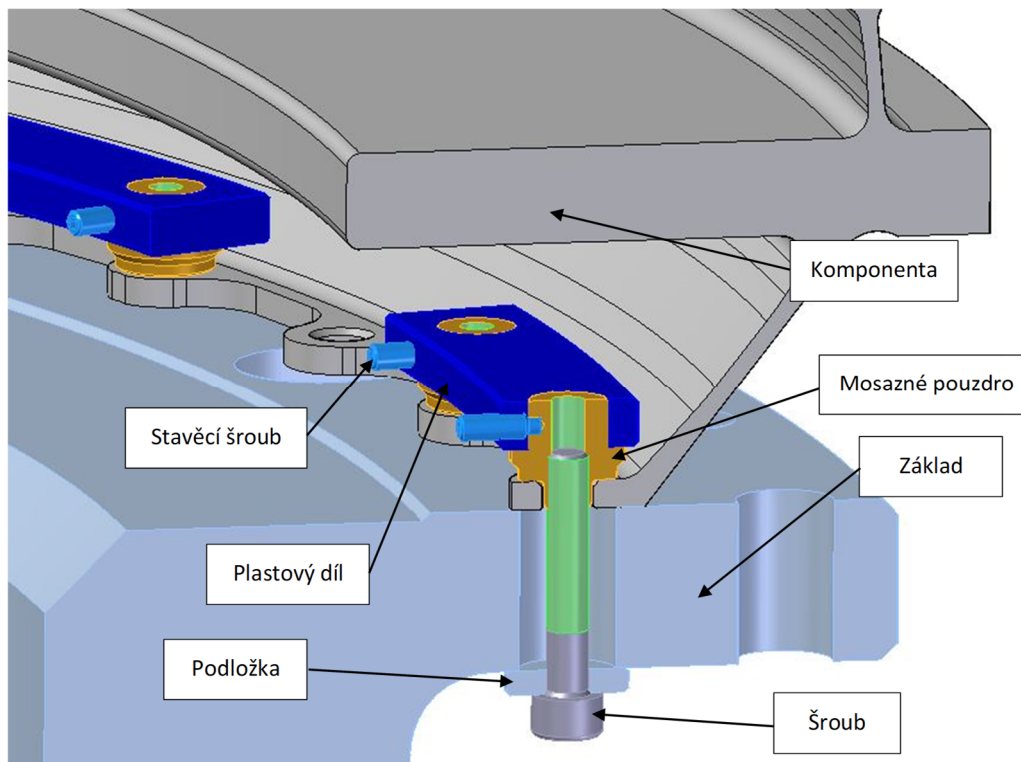
d ... díra pro šroub M5

Přípravek je na stůl 3D měřicího stroje upnut pomocí upínacího systému s nulovým bodem. Tento systém je použit z důvodu, že je potřeba co nejrychleji a nejsnadněji upínat různé druhy přípravků, což tento systém splňuje. Upínací systém s nulovým bodem je pak upnut do otočného stolu, který umožňuje otáčení přípravku a následné urychlení a usnadnění měření. Dále je třeba středění komponenty na přípravku, které je provedeno pomocí třech středících kolíků, které jsou po obvodu dílu po 120°. Transport přípravku na stůl měřicího stolu a zpět do bedny, kde je uložen v době, kdy není používán, je zajištěn pomocí třech transportních šroubů s okem. Manipulace s dílem, to znamená jeho nasazení do přípravku a poté jeho sundání, je prováděno operátory, kteří obsluhují 3D měřicí stroj.

Hlavní nevýhoda a důvod, proč má být stávající přípravek optimalizován, spočívá ve velmi vysoké časové náročnosti pro upnutí komponenty na přípravek, neboť komponenta je upínána pomocí 34 šroubů, které jsou po obvodu dílu. Čas pro výměnu komponenty, tedy přípravný čas a neproduktivní čas, se pohybuje v průměru kolem 15 minut pro upnutí a 10 minut pro uvolnění komponenty, což je celkem 25 minut.



Obrázek 21: Současný přípravek – řez



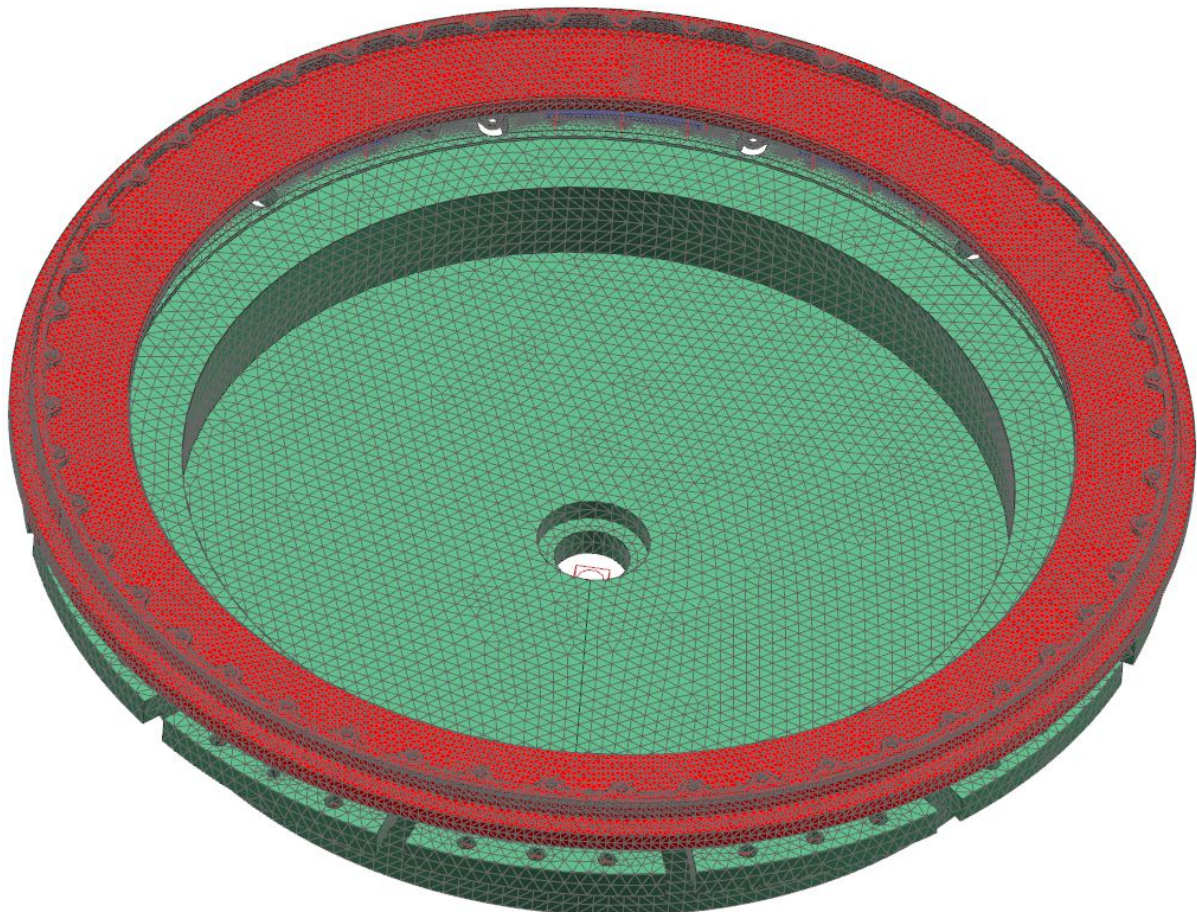
Obrázek 22: Současný stav - detail upínání komponenty

6.1 Simulace zatížení

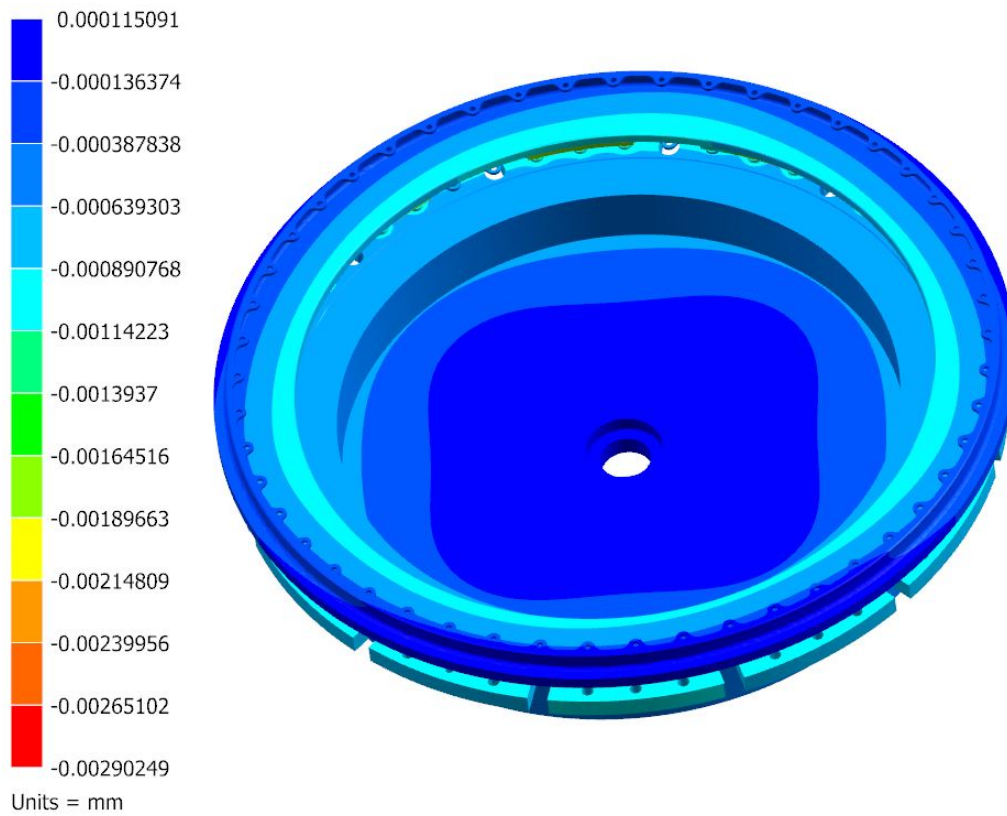
V rámci analýzy současného stavu byla provedena simulace zatížení metodou konečných prvků, která bude dále využita pro srovnání s novým návrhem přípravku. Výpočet byl realizován v softwaru Siemens NX.

Nejprve byla zjednodušena geometrie v idealizovaném partu z důvodu snazšího výpočtu. Na zasítování jednotlivých prvků byla využita tetraedrová síť, která byla nadefinována pomocí funkce 3D Tetrahedral. Pro pevné spojení některých součástí dohromady byl využit Mash mating a u součástí, které se mohou vzájemně posouvat, a bylo třeba zjistit měrné tlaky na jednotlivých plochách, byla využita funkce Surface-to-Surface Contact. Šrouby byly nahrazeny funkcí Bolt connection, která nahrazuje šroubové spoje. Ty byly předepnuty pomocí funkce Bolt Pre-Load předepínací silou $F_p = 1\,061\text{ N}$, viz výše.

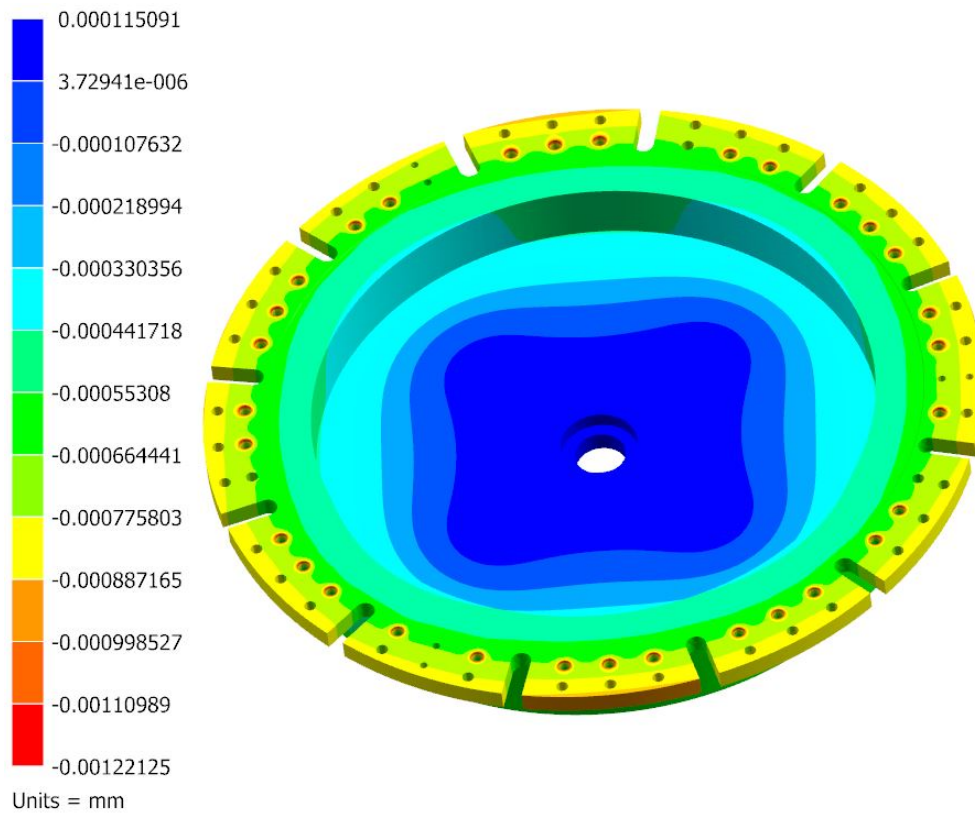
Okrajové podmínky byly zafixování upínacího systému s nulovým bodem funkcí Fixed constraint, protože tento systém je integrován do stolu 3D měřicího stroje. Dále byly nadefinovány silové účinky. Zde se jedná pouze o gravitaci a předepnutí šroubů.



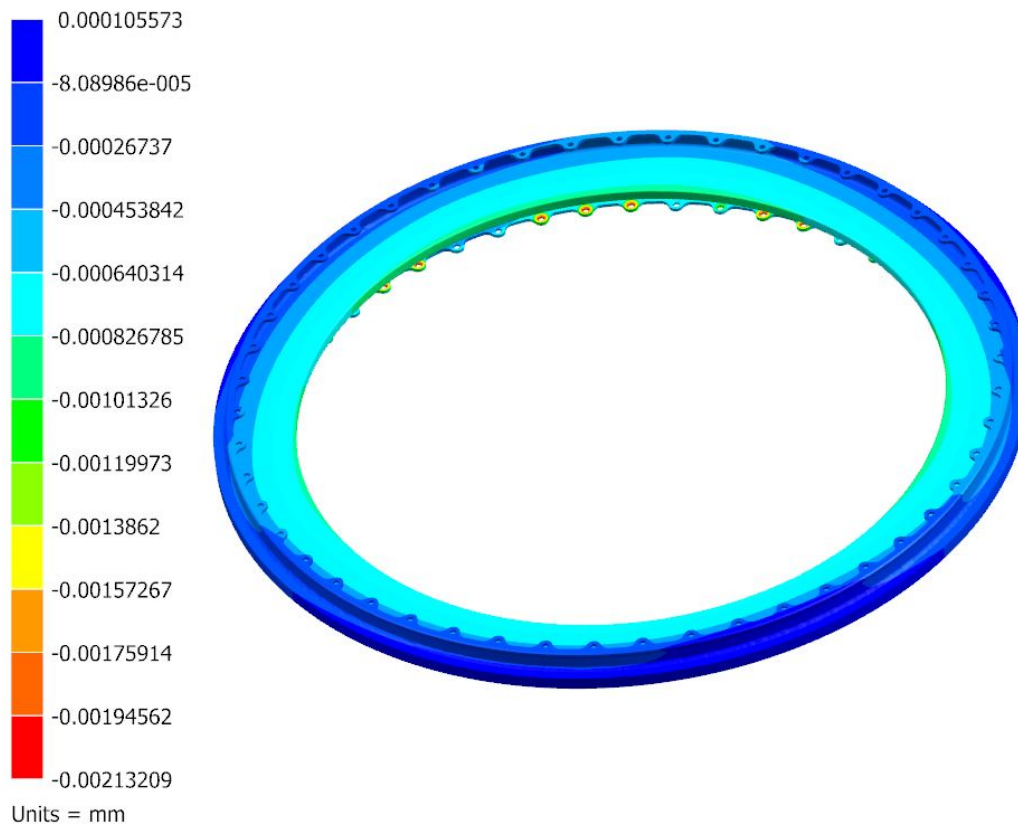
Obrázek 23: FEM – síť (modrá barva – POM, oranžová barva – mosaz (skrytá pod komponentou), zelená barva – ocel ČSN 11 523, červená – Rene 65)



Obrázek 24: Velikost posunutí - sestava



Obrázek 25: Velikost posunutí – základ přípravku



Obrázek 26: Velikost posunutí – komponenta

Po provedení všech předchozích kroků byl proveden výpočet. Jeho poslední fází bylo zhodnocení výsledků. Výpočet byl zejména hodnocen jako tuhostní úloha, pro kterou jsou nejdůležitější deformace. To zejména z důvodu, že je požadována co nejmenší deformace límce základu přípravku (dosedací plochy), protože se zde upíná komponenta, na které je pak měřena rovinnost. S deformací základu přípravku úzce souvisí to, jak se zdeformuje komponenta, protože je na něj upínána, čímž ho kopíruje.

Z výsledků je vidět, že deformace dosedací plochy a tím i plochy na komponentě, kde je měřena rovinnost, se pohybuje max. do 0,0007 mm. Tato deformace je způsobena gravitací, protože je to jediný silový účinek.

7 Konstrukce přípravku

Přípravek, který se upíná na stůl 3D měřicího stroje, má sloužit k upnutí popsané komponenty z obou stran a má umožnit změření rovinnosti komponenty. Na přípravek je kladeno několik požadavků, které jsou vypsány v podkapitole níže, která se jmenuje kritéria návrhu.

7.1 Kritéria návrhu

1. Z hlediska technických požadavků:

- Umožnit upnout komponentu z obou stran (A i B), z důvodu měření rovinnosti na obou stranách dílu.
- Minimální výška přípravku mezi plochou, kam dosedá díl, a stolem 3D měřicího stroje je 95 mm, což je z důvodu pohybu sondy při samotném měření a z tohoto důvodu je nutno zachovat prostor i z vnější strany přípravku.
- Zachovat počet míst na přípravku pro měření rovinnosti sondou. Tento počet je ve 12 oblastech.
- Použití pneumatických zařízení, z důvodu, že na pracovišti jsou pneumatické přípojky.
- Nadzvednutí komponenty cca o 10 mm po jejím změření, což je z důvodu snazšího odejmutí komponenty operátorem a prevence proti jejímu poškození.
- Změřit upínací sílu, která je použita na upnutí komponenty. Toto provést pouze na začátku při prvním měření, aby byla známa přesná síla působící na komponentu.
- Umožnit transport přípravku z bedny, kde je uložen, na stůl 3D měřicího stroje a zpět.
- Zkrátit čas výměny dílu z původních 25 minut na co nejmenší hodnotu.
- Požadovaná upínací síla na oblast mezikruží kolem děr dílu musí být v rozmezí 8,5 - 1 kN.
- Upnutí komponent jen za oblast mezikruží kolem děr, což je požadavek z důvodu budoucí montáže dílu v motoru, kde bude sešroubována s jinou pouze za oblasti kolem děr.
- Maximální automatizace přípravku a tím co nejmenší zásah obsluhy.
- Při upínání komponenty do přípravku nesmí vzniknout riziko poškození funkční plochy ani hrany jednotlivých komponent.

2. Z hlediska nákladů:

- Náklady na přípravek by neměly být výrazně vysoké, aby ekonomická návratnost proběhla v co nejkratší době.

7.2 Základní informace pro návrh přípravku

V této kapitole jsou sepsány důležité informace pro návrh přípravku. Jedná se o popis procesu měření komponenty, kolik kusů komponent je měřeno a za jaký čas. Tyto informace jsou pak dále užitečné při výběru jedné ze čtyř variant z důvodu jasného výběru jedné z nich.

Je měřeno 15 komponent týdně, to je šedesát komponent měsíčně, což není malé číslo, a při značném zkrácení vedlejších časů, může dojít k velmi rychlé ekonomické návratnosti a následně pak i k úspoře jak finančních prostředků, tak i zvýšení kapacity 3D měřících strojů. 3D měřící stroje jsou velmi vytížené, protože jsou v nepřetržitém provozu, takže jediná možnost zvyšování kapacity (změření více kusů dílů) je snižováním vedlejších časů.

Rovinnost se měří z obou stran komponenty ve dvanácti místech v upnutém stavu. Nejdříve jsou všechny komponenty změřeny z jedné strany A a pak z druhé strany B. Před zahájením vlastního měření je nutno si zjistit rovinnost referenční roviny, což je provedeno tak, že si ji sonda ve třech místech dotkne, a tím se stanoví referenční rovina, což je rovina, vůči které se tyto body porovnávají. Je to plocha na přípravku, na kterou je komponenta upínána. Pak je nutno si nadefinovat souřadný systém komponenty. To je provedeno pomocí tří referencí na komponentě. Pak dojde k naměření bodů, které by měly ideálně ležet v jedné rovině, ale ve skutečnosti se nachází v toleranci dvou rovin vzdálených od sebe o 0,02 mm. Délka samotného měřícího programu je pro obě strany komponenty 210 minut, což nezahrnuje jen měření rovinnosti, ale je to komplexní měření. Je například měřena tolerance tvaru, pozice otvorů, rovnoběžnost a další. Při upnutí první strany komponenty je snaha změřit co nejvíce geometrických tolerancí, a proto trvá toto měření 165 minut. Měření při upnutí druhé strany komponenty trvá pak jen 45 minut.

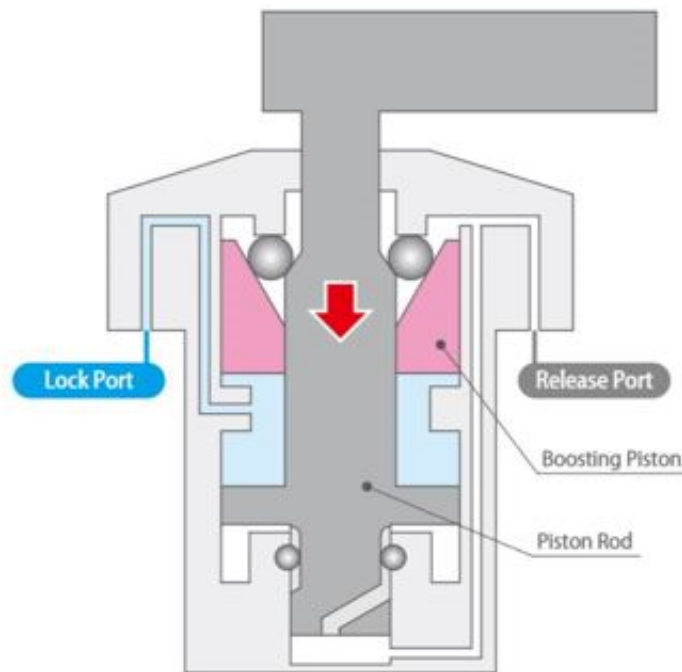
7.3 Jednotlivé varianty

7.3.1 Varianta A

Jako první varianta byl použit současný stav, který již byl popsán v kapitole výše. Dále bude použit pro výběr varianty na základě několika kritérií.

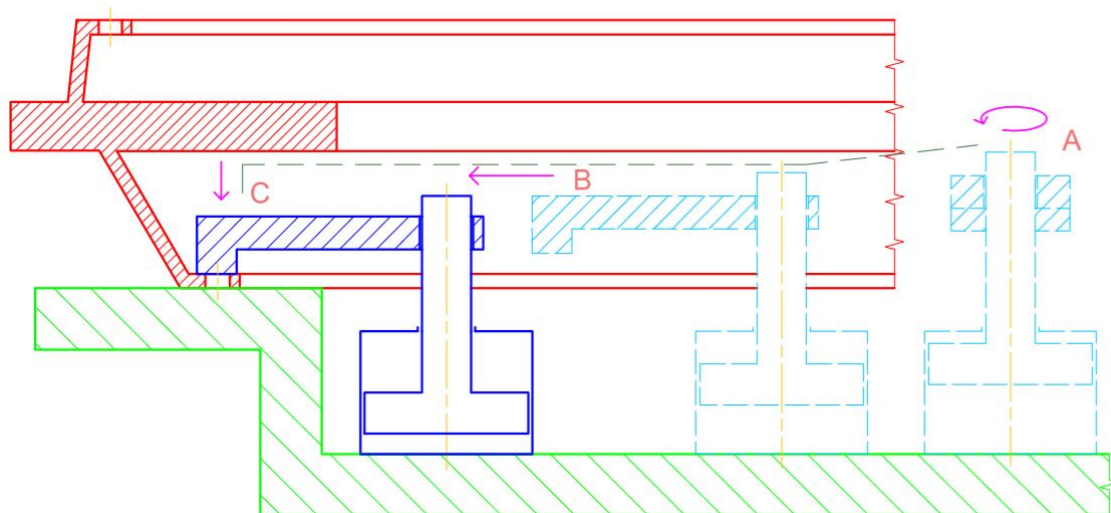
7.3.2 Varianta B

Pro tuto variantu se mají využít pneumatické otočné upínky, jejichž princip je znázorněn na obrázku (Obrázek 27), dále koncový upínací segment a vedení. Upnutí dílu by proběhlo následujícím způsobem. Nejdříve by došlo k otočení upínky o 90°, pak by následoval posuv upínky nad komponentu, a nakonec by došlo k upnutí komponenty pohybem ve svislém směru. Princip je ukázán na obrázku (Obrázek 28). Výhodou této varianty je, že k upnutí by došlo jen pomocí jednoho typu pneumatických upínek. Tato varianta má však řadu nevýhod. První nevýhodou je, že pro vyvození potřebné síly jsou pneumatické upínky rozměrné, z čehož plyne problém s jejich pohybem, z důvodu omezeného prostoru uvnitř přípravku. Druhou nevýhodou je omezený prostor pro upínání, a i když je koncový segment navržen na maximální dovolené rozměry, přesto je jeho tuhost nedostatečná. Další nevýhodou je, že komponenta je měřena na obou stranách, kde díry leží na rozdílných průměrech a tím i jiných roztečích, což by znamenalo, že by se musely koncové upínací segmenty měnit.



Obrázek 27: Princip pneumatické otočné upínky

A	Otočení upínky o 90°
B	Posun upínky ve směru ke komponentě
C	Posuv upínky ve vertikálním směru (upnutí komponenty)



Obrázek 28: Varianta B (Vysvětlivky ke skice: zelená barva – základní díl; červená barva – komponenta; modrá barva – pneumatická otočná upínka)

7.3.3 Varianta C

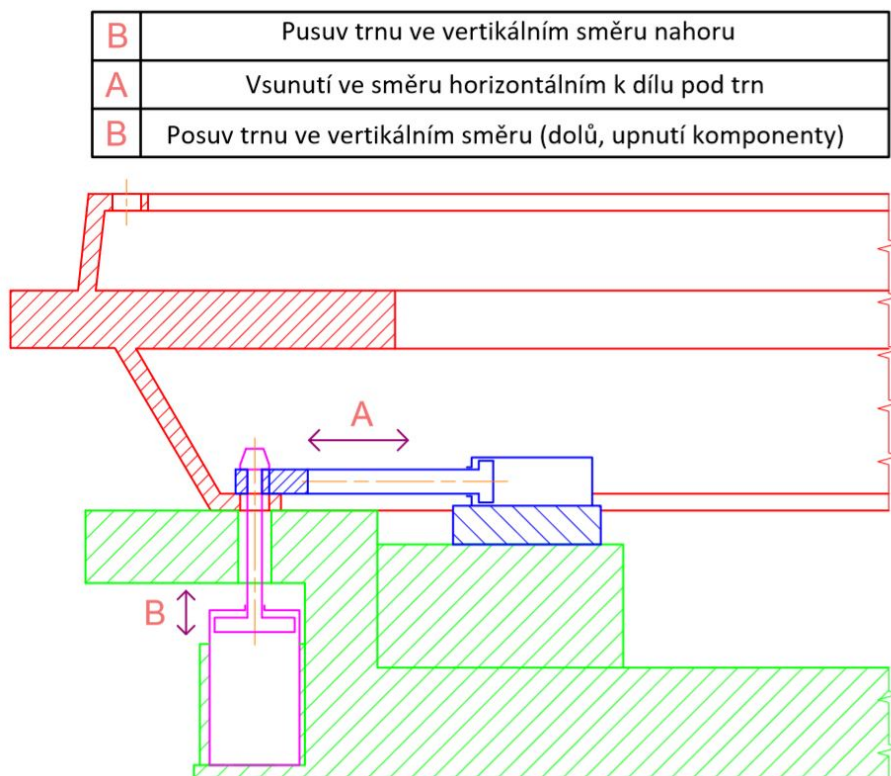
Pro třetí variantu mají být použity pneumatické válce, které konají pohyb ve vertikálním a v horizontálním směru, dále trny (táhla), které se pohybují ve vertikálním směru a segment, který se pohybuje v horizontálním směru. Třetí varianta má dvě podvarianty, které se liší v tom, jak je pohybováno se segmentem, ale jinak je hlavní princip zachován.

Upnutí komponenty by probíhalo následovně. Nejprve je proveden posuv trnů ve vertikálním směru nahoru skrz otvory v přípravku a v komponentě pomocí pneumatického válce s vedením, pak následuje vsunutí segmentu v horizontálním směru ke komponentě pod trny. Nakonec dojde k upnutí komponenty pohybem trnů ve vertikálním směru dolů a přitlačení segmentu na komponentu.

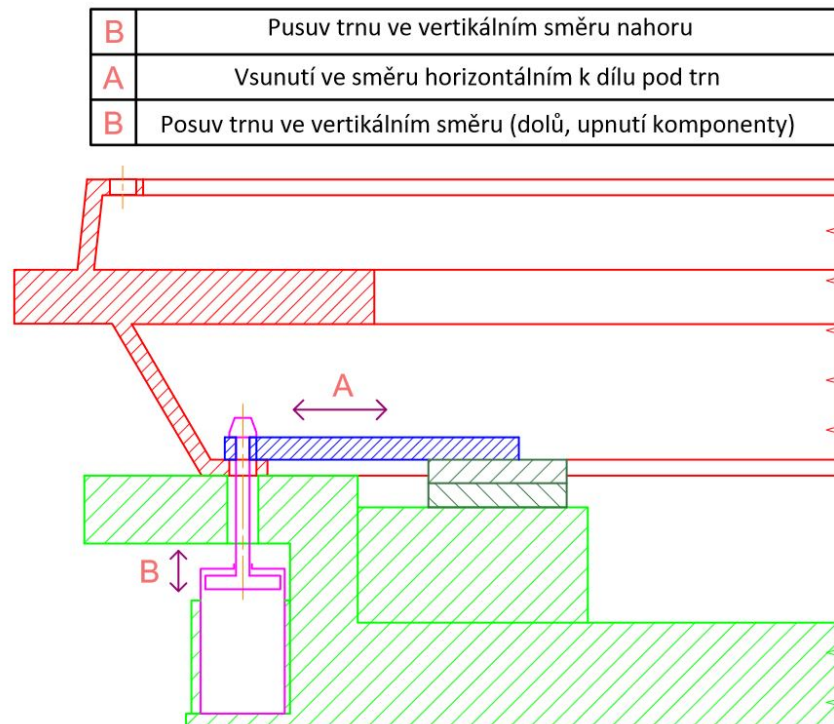
Jsou tedy dvě podvarianty, jak bylo zmíněno výše. První C1 představuje, že pohyb segmentu v horizontálním směru je realizován pomocí pneumatického válce s vedením, což je znázorněno na obrázku (Obrázek 29).

Druhá podvarianta C2 spočívá v ručním posouvání segmentu v horizontálním směru po vedení. To by bylo realizováno pomocí páky, která by byla připevněna na vedení. Tento způsob je znázorněn na obrázku (Obrázek 30).

Tyto dvě varianty mají řadu výhod. První je, že válce, které provádí upnutí, jsou z vnějšku přípravku, kde je více místa než uvnitř. Dále je tento válec přenastavitelný po rybinovém vedení pro měření obou stran komponenty. To platí i pro segment, který je přenastavitelný po rotačním rybinovém vedení, a navíc jeho pohyb v horizontálním směru (ke komponentě pod táhla) je realizován pneumatickým válcem, jak bylo popsáno výše, čímž je umožněno upnutí komponenty z obou stran. Mezi nevýhody patří vyšší náklady na realizaci a větší složitost konstrukce, složitější a náročnější výroba a pak i následná montáž.



Obrázek 29: Varianta druhá – první podvarianta C1 (Vysvětlivky ke skice: zelená barva – základní díl; fialová barva – pneumatický upínací válec s táhly; červená barva – komponenta; modrá barva – pneumatická válec s vedením pohybující se segmentem)



Obrázek 30: Varianta druhá – druhá podvarianta C2 (Vysvětlivky ke skice: světle zelená barva – základní díl; fialová barva – pneumatický upínací válec s táhly; červená barva – komponenta; modrá barva – segment; tmavě zelená barva – vedení)

7.4 Výběr varianty

Rozhodnutí o výsledném řešení je provedeno s analyzováním všech aspektů a parametrů jednotlivých řešení. Hodnocení je subjektivní a je ovlivněno posouzením konstruktéra a jeho znalostí problematiky. Vycházím ze dvou hlavních kritérií, která požadujeme na upnutí. Jsou to hodnocení dodané kvality Q a hodnocení vynaložených nákladů C. Do hodnocení dodané kvality Q patří rychlost upnutí komponenty, rychlost přenastavení pro změření druhé strany komponenty, složitost konstrukce a náročnost pro obsluhu. Do hodnocení vynaložených nákladů C patří náklady na výrobu a náklady na nákup. Tato kritéria jsou vynesena do tabulky spolu s jednotlivými variantami, kde pak následuje jejich ohodnocení pro jednotlivé varianty body od 0 do 4, kdy 0 bodů značí, že varianta vůbec nevyhovuje a 4 body, pokud vyhovuje velmi dobře. Tato metodika hodnotí dvě oblasti vlastností konstrukčních variant, které je pak mezi sebou možno porovnat. Závislost výhodnosti variant na jednotlivých kritériích vyneseme do grafu podle tabulky (Tabulka 4).

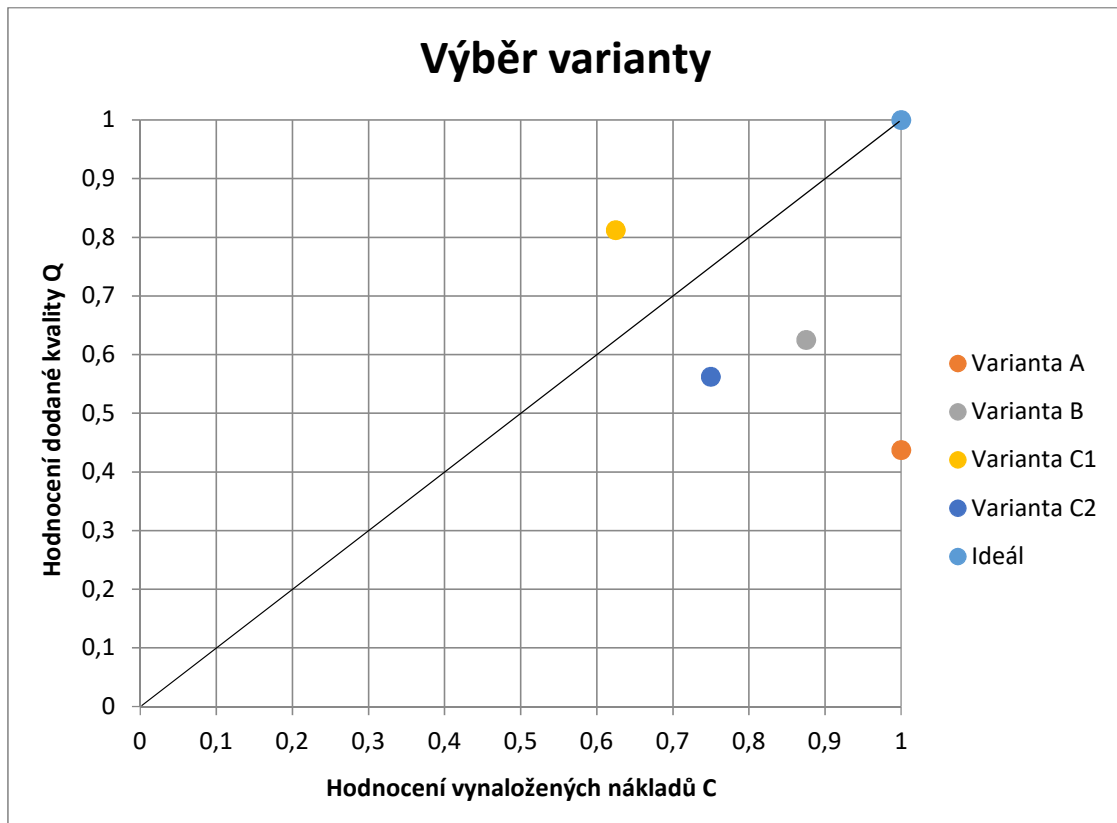
Tabulka 4: Tabulka výhodnosti jednotlivých variant

	Hodnotící parametry	Varianta A	Varianta B	Varianta C1	Varianta C2	Ideální hodnota
Q	Rychlost upnutí komponenty	1	3	4	3	4
	Rychlost přenastavení pro změření druhé strany komponenty	1	1	3	2	4
	Složitost konstrukce	4	4	2	2	4
	Náročnost pro obsluhu	1	3	4	2	4
	Celkový součet	7	10	13	9	16
	Normované hodnocení	0,4375	0,625	0,8125	0,5625	1
C	Náklady na výrobu	4	4	3	3	4
	Náklady na nákup	4	3	2	3	4
	Celkový součet	8	6	5	6	8
	Normované hodnocení	1	0,75	0,625	0,75	1

Graf zobrazuje poměr vhodnosti varianty k nákladům na její realizaci. Teoreticky optimální řešení leží v pravém horním rohu grafu a jeho poměr je 1/1. Do grafu je na osu x vyneseno hodnocení vynaložených nákladů C, u kterých uvažujeme, že 8 bodů je maximum a v normovaném hodnocení to odpovídá 1. Na osu y vynášíme hodnocení dodané kvality Q. Za maximum považujeme 16 bodů, které odpovídá normovanému hodnocení 1.

Z tabulky výhodnosti jednotlivých variant a grafu výběru varianty je vidět, že podle stanovených kritérií nevyšla žádná varianta jako jednoznačně nejlepší. Jako suboptimální se jeví varianta C1. Při pohledu na požadavky, náročnost pro obsluhu, kritérium rychlost upnutí komponenty a rychlosti přenastavení pro změření druhé strany komponenty jasně vyhrála

varianta C1, protože při přibližné rovnosti více variant je rozhodující dodaná kvalita, kterou má tato varianta nejlepší, což je dáno tím, že se jedná o kontrolní přípravek. Zároveň má varianta C1 ve srovnání s ostatními variantami největší náklady jak na výrobu, tak i na nákup potřebných komponent pro zhotovení přípravku. Ale jak už bylo zmíněno výše, jedná se o kontrolní přípravek, pro který je rozhodující dodaná kvalita než samotná cena. Z tohoto důvodu varianta B ani varianta C2 nebyly vybrány jako nejlepší varianta, přestože na jejich výrobu jsou třeba menší náklady.



Obrázek 31: Graf výběru varianty

7.5 Upnutí přípravku

Tento proces je velmi důležitý a jsou na něj kladeny vysoké požadavky. Je to provedeno pomocí upínacího systému s nulovým bodem.

Tento systém není součástí návrhu přípravku, ale je nedílnou součástí pro jeho upnutí. Tento systém zaručuje rychlé, přesné upnutí a rovněž referencování přípravků a obrobků. Stacionární upínací systém je použitelný nejen na všech obráběcích strojích, obráběcích centrech, ale i na měřicích strojích, což je můj případ. Upíná palety, upínací věže a upínací stanice prostřednictvím upínacích čepů. Díky velmi přesnému středění pomocí krátkých kuželů lze dosahovat velmi vysokých reprodukčních přesností. Je to moderní alternativa ke konvenčnímu stolu s T-drážkami. Velmi snižuje čas přípravy a zvyšuje kapacitu stroje. [24]

Tento upínací systém s nulovým bodem je pak dále upínán na otočný stůl, který je instalován na upínací plochu 3D měřicího stroje. Je to z důvodu, že je měřena rovinnost

na komponentě ve dvanácti místech po jejím celém obvodu. Tento externí otočný stůl usnadňuje samotné měření tím, že 3D měřicí stroj bude najíždět dvanáctkrát do stejné pozice.



Obrázek 32: Upínací systém s nulovým bodem [25]

7.6 Jednotlivé díly přípravku

Nyní budou popsány jednotlivé části měřicího přípravku. Je rozdělen do čtyř hlavních částí, mezi které patří základ přípravku, polohování upínacích válců, polohování válců pohybující se segmentem a zvedání komponenty. Jako první je popsán základ přípravku, který tvoří základní nosnou konstrukci přípravku, a všechny ostatní díly jsou k němu připevněny. Tyto díly jsou v kapitole základ přípravku zmíněné ve vztahu k jedné ze dvou částí základu přípravku podle, ke které jsou připevněny. Samotné detailnější popsání jednotlivých součástí je provedeno v následujících kapitolách. Na konci kapitoly základ přípravku je Obrázek 35 s detailem upnutí komponenty.

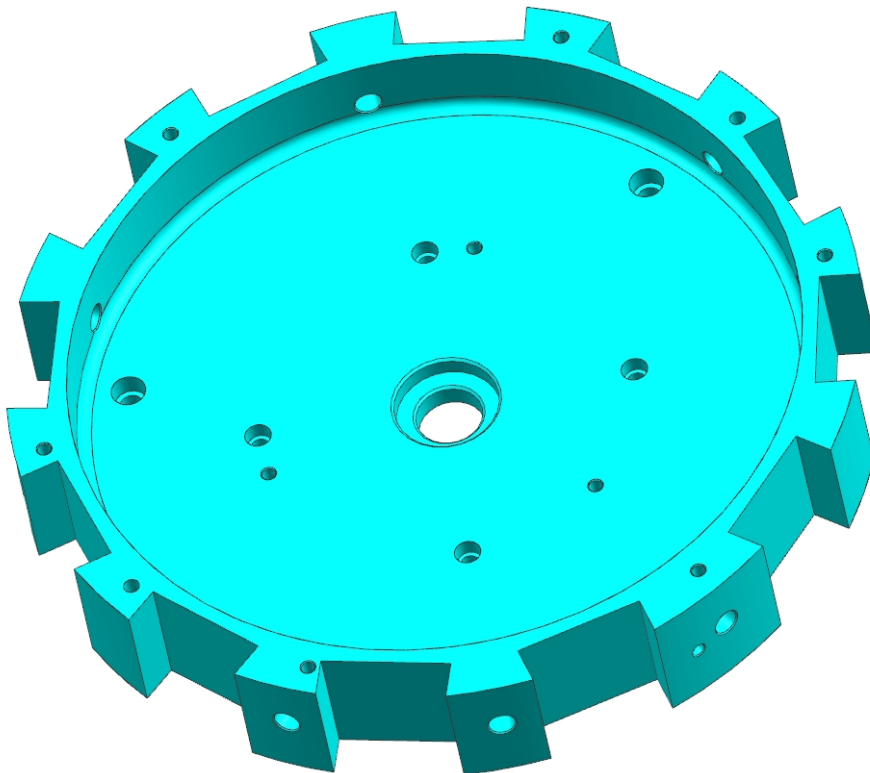
7.6.1 Základ přípravku

Základ přípravku tvoří dva díly. Je to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je snazší manipulace s nimi, protože budou vyráběné z oceli S355J0 (ČSN 11 523) a jejich průměr se pohybuje kolem 640 mm a 750 mm, což znamená, že budou mít velkou hmotnost. Druhým důvodem je snazší a rychlejší výroba.

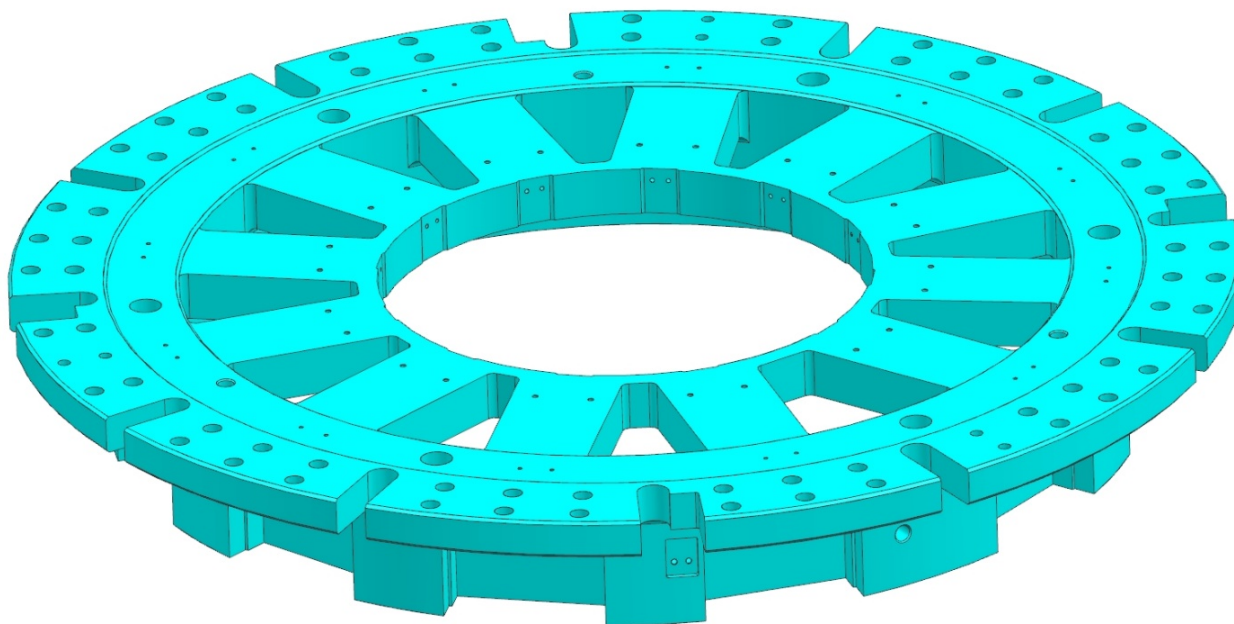
Spodní díl základu přípravku je na obrázku (Obrázek 33). Ke spodnímu dílu jsou přišroubované čepy pro připevnění na upínací systém s nulovým bodem. Tyto čepy jsou vidět na obrázku (Obrázek 32) Dále na dno spodního dílu, do jeho středu, jsou připevněny pneumatické součásti sloužící pro ovládání pneumatických válců. Jejich podrobnější popis je níže v kapitole Pneumatické prvky. Přes základní desky, které jsou upevněny na spodní stranu spodního dílu, jsou připevněny upínací pneumatické válce sloužící pro samotné upínání komponenty. Spojení základních desek je ukázáno na obrázku (Obrázek 36). Upínací válce se přenastavují a z toho důvodu jsou po obvodu spodního dílu vyfrézované kapsy. Dále jsou

po obvodu otvory, které slouží pro přívod hadiček se stlačeným vzduchem k pneumatickým válcům od pneumatických součástí (tj. rozdělovací bloky a elektromagnetické ventily) zevnitř spodního dílu. Ve středu spodního dílu jsou pak technologické otvory, které budou sloužit pro samotnou výrobu. Horní a spodní díl základu přípravku jsou spojeny pomocí dvou kolíků z důvodu ustanovení přesné polohy vůči sobě navzájem a šesti šroubů M12x90, které zaručují pevné spojení těchto dvou částí.

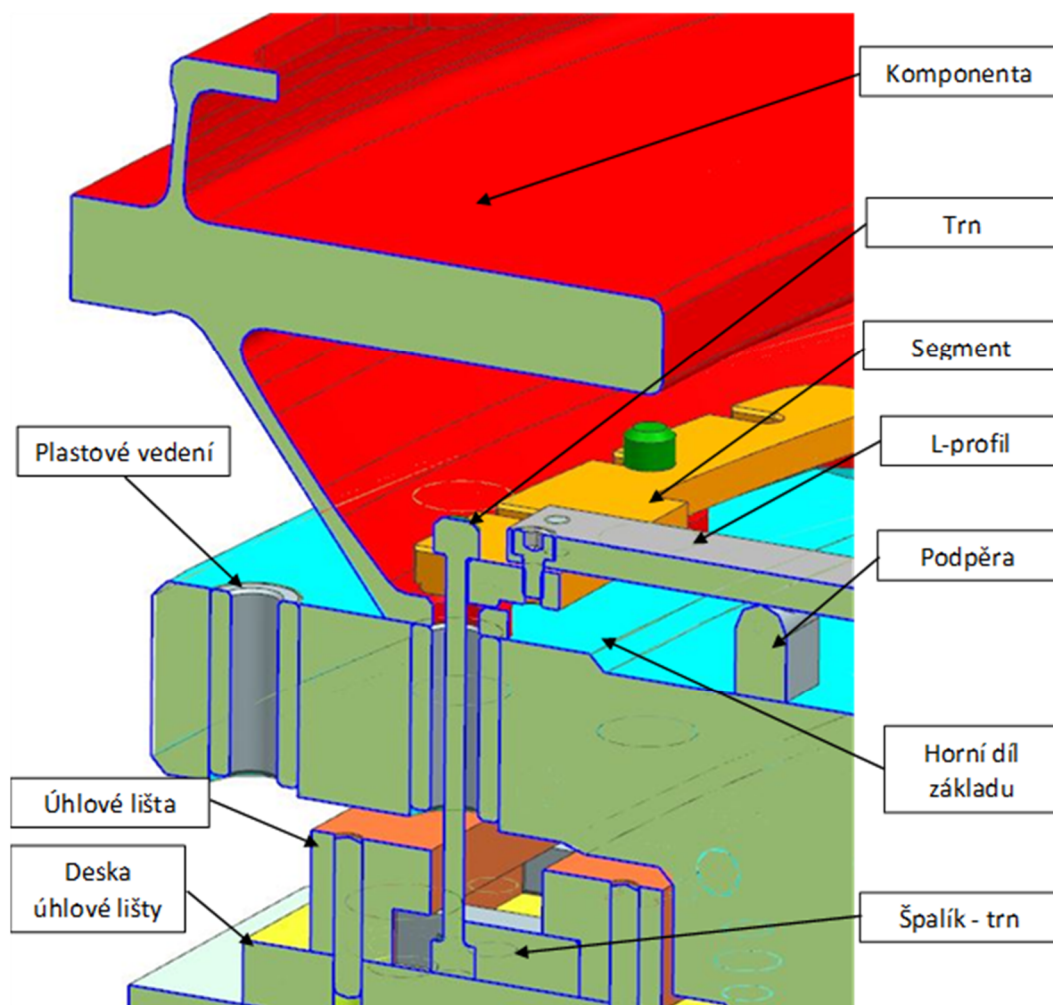
Horní díl základu je na obrázku (Obrázek 34). Na horní díl je upínána komponenta. Dále pak jsou na horní díl upínány tři druhy pneumatických válců. Jedny slouží pro zvedání komponenty po jejím změření, druhá sada válců slouží pro posuv segmentu pod trny a třetí sada válců slouží jako dorazy. Tyto tři sady válců ukazuje Obrázek 41, Obrázek 42 a Obrázek 43. Po obvodu horního dílu jsou kapsy z důvodu přenastavování upínacích pneumatických válců a součástí, se kterými tyto válce pohybují. Dále jsou po obvodu na horní ploše dva typy otvorů. Jedny slouží pro středící čepy, které centrují komponentu do přesné polohy. Druhé slouží jako průchozí otvory pro trny. Do těchto otvorů pak přijdou plastová vedení pro trny, která jsou z materiálu POM, a v případě špatného nastavení trnů (na opačnou stranu komponenty) narazí do těchto plastových vedení a zabrání poškození komponenty. Tato plastová vedení jsou vidět na obrázku (Obrázek 35). Dále jsou zde závitové díry pro šrouby s okem, které slouží pro transport přípravku. Na horní díl je také přišroubována podpěra, která slouží zároveň jako vedení pro L-profil nesoucí segment. Podpěra s L-profilem je vidět na obrázku (Obrázek 35). L-profil je přišroubován k pneumatickému válci, který je horizontálně upevněn. Tato podpěra je z plastu POM. Poslední součásti, které jsou připevněny na horní díl, jsou rotační rybinová vedení pro pneumatické válce, které vsouvají segment pod táhla. Rybinová vedení jsou upevněna šrouby a přesná poloha je zajištěna pomocí dvou kolíků.



Obrázek 33: Základ přípravku - spodní díl



Obrázek 34: Základ přípravku – vrchní díl

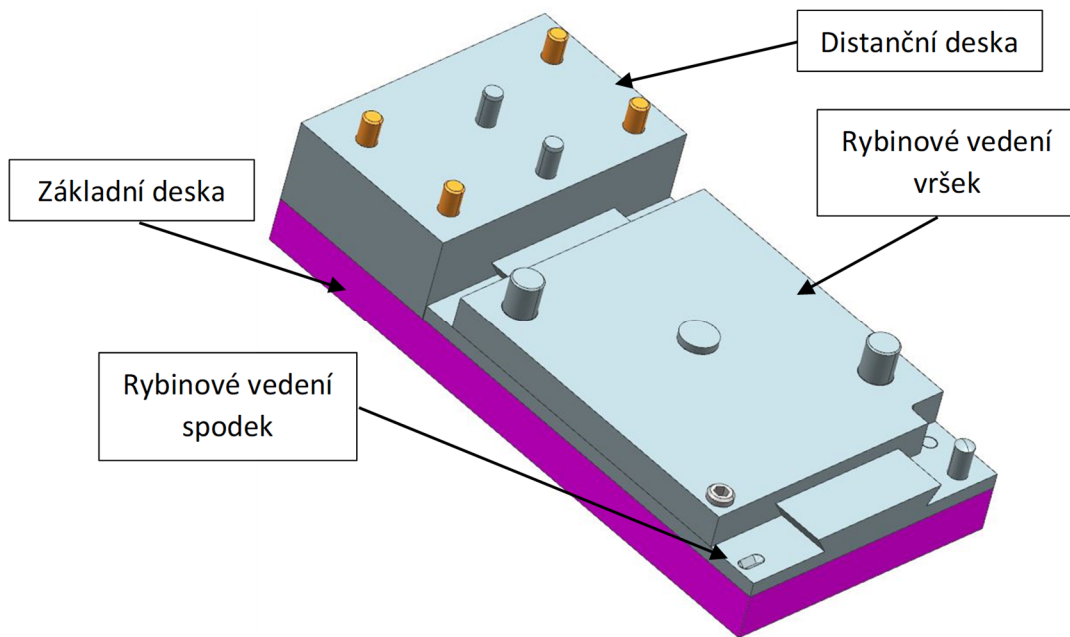


Obrázek 35: Detail upnutí komponenty

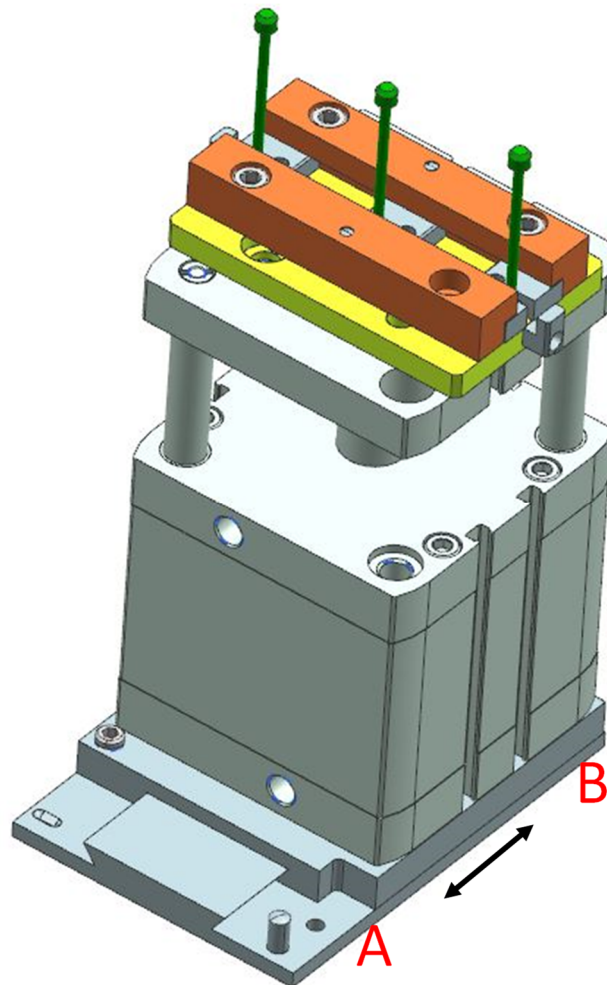
7.6.2 Polohování upínacích válců

Jedná se o pneumatické válce s vedením, které jsou umístěny z vnější strany přípravku, a pomocí nich dochází k upnutí komponenty. Celkem jich je kolem přípravku 12. Z toho dva jsou průměru 63 mm, protože tahají jen dva trny z důvodu, že v těchto místech jsou navíc středící čepy a zbytek válců je průměru 80 mm. Jejich detailnější popis bude v kapitole níže Pneumatické prvky. Všechny součásti týkající se polohování upínacích válců budou vyrobené z oceli S355J0 (ČSN 11 523). Polohování upínacích válců je pouze v horizontálním směru pomocí rybinového vedení a je to z důvodu, aby komponenta mohla být upínána a tím i měřena z obou stran. Na obrázku (Obrázek 37) jsou popsány polohy upínacího válce písmeny A a B podle toho, která strana komponenty je měřena. Poloha B upínacího válce, ve které je na obrázku (Obrázek 37), slouží pro měření strany B. V této poloze je upínací válec blíže přípravku, protože je měřena strana komponenty, kde jsou otvory na menším průměru. Pro měření strany A je upínací válec v poloze A, dále od přípravku. Pneumatický válec je připevněn k rybinovému vedení pomocí dvou šroubů a přesná poloha je zajištěna kruhovým odsazením uprostřed rybinového vedení. Zajištění polohy rybinového vedení s pneumatickým válcem je pomocí stavěcího šroubu, který má v sobě zabudovanou pružinu s kuličkou, která je vtlačována do drážky na protikusu rybinového vedení. Působí zde síly pouze v ose válce, takže toto zajištění pozice je dostatečné. Tyto drážky a kruhový výstupek pro zajištění pozice válce je vidět na obrázku (Obrázek 36). Při přesouvání pneumatických válců z důvodu měření komponenty na větším průměru je zde navíc na kraji spodního dílu rybinového vedení kolík, který brání, aby nedošlo k úplnému vysunutí válce z vedení obsluhou. To je rovněž vidět na obrázku (Obrázek 36).

Spodní díl rybinového vedení je připevněn pomocí dvou šroubů k základní desce, která je pak čtyřmi šrouby přišroubována k distanční desce. Stejně tak je i distanční deska čtyřmi šrouby připevněna k základu přípravku. U všech třech dílů byla potřeba zajistit přesnou polohu, což bylo vždy provedeno pomocí dvou kolíků. Distanční desky byly vloženy mezi desku a základ přípravku s ohledem na nižší celkovou výšku přípravku. Toto spojení je vidět na obrázku (Obrázek 36).

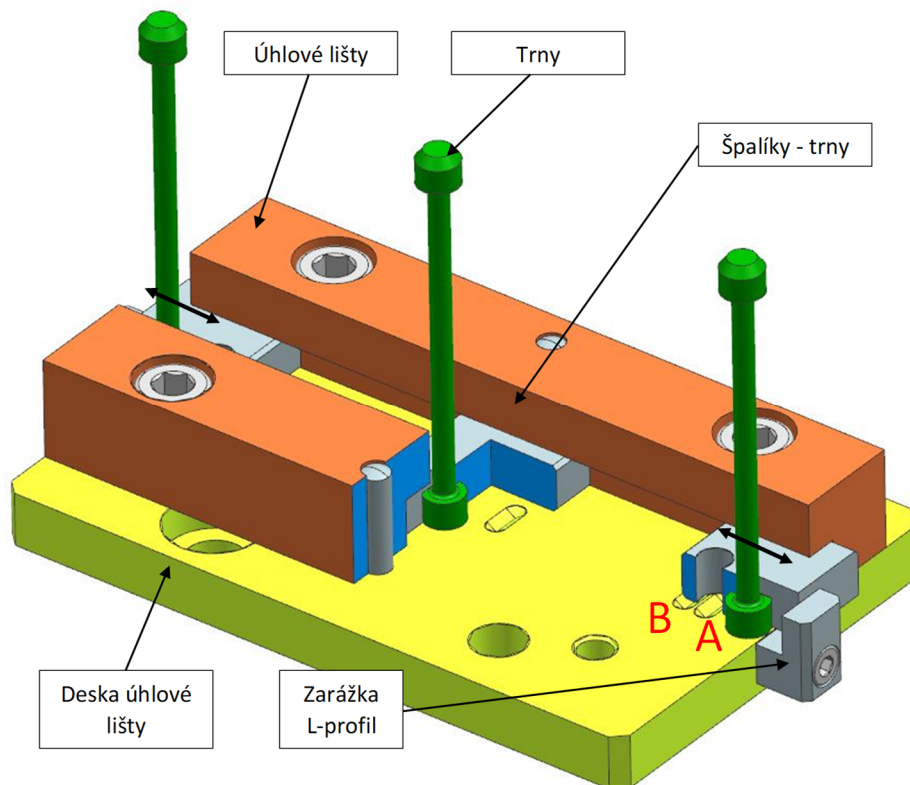


Obrázek 36: Polohování upínacích válců

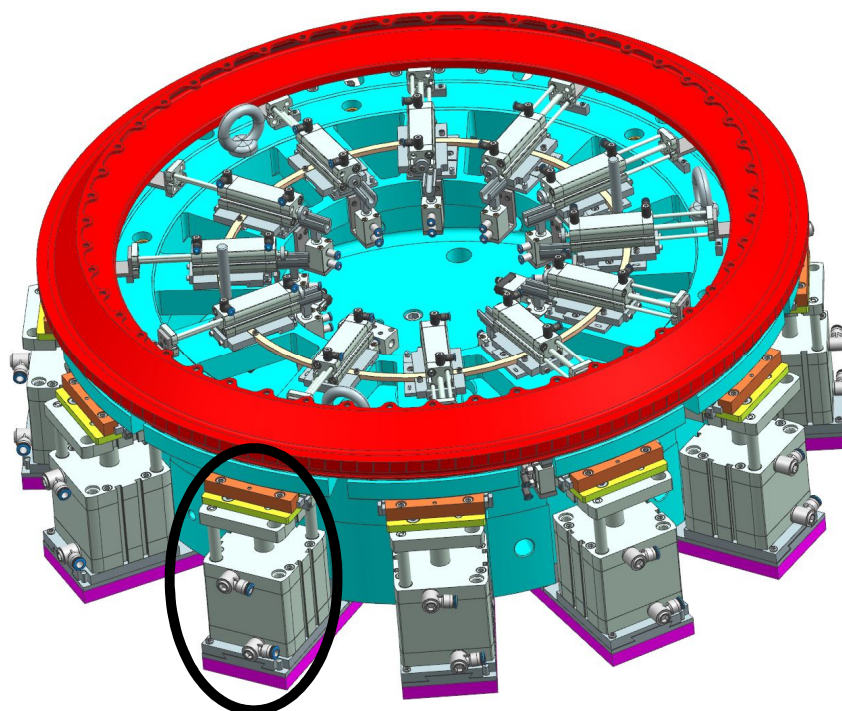


Obrázek 37: Upínací válec s úhlovými lištami, jejich vedením špalíků s trny, naznačení pohybu upínacího válce a označení polohy válce písmeny A a B, podle které strana komponenty je upínána

Dále v rámci této kapitoly bude popsáno, s čím upínací válce pohybují a čím je zajištěno upnutí komponenty. Na pohybující se část pneumatického válce je připevněna deska úhlové lišty pomocí dvou šroubů a její přesná pozice je zajištěna dvěma kolíky. K této desce jsou přišroubovány dvě úhlové lišty. Jejich pozice je zajištěna jedním kolíkem. Tyto dvě lišty tvoří vedení, ve kterém je možno přesouvat špalíky podle toho, jaká strana komponenty je měřena. Pro měření strany A jsou to vnější drážky a pro stranu B jsou to drážky blíže ke střednímu trnu. Pohyby trnů a označení drážek, kam je vlačována kulička, je popsáno na obrázku (Obrázek 38). Do těchto špalíků jsou upevněny trny, které pak slouží k samotnému upnutí komponenty. Trny se špalíky se musí smontovat před vložením do vedení vytvořené úhlovými lištami. Smontování trnů se špalíky je provedeno následovně. Ve špalíku je od jeho kraje vytvořena drážka zhruba do půlky špalíku a na ní navazuje neprůchozí otvor. Nejprve se protáhne drážkou tělo trnu až k tomuto otvoru a pak následuje zasunutí spodní části trnu, kde je osazení, do tohoto neprůchozího otvoru. Princip je jasně vidět na obrázku (Obrázek 38). Toto spojení je velmi výhodné, protože zajišťuje, že trny budou stejně dlouhé, čímž je zajištěno, že i síla bude rovnoměrně rozdělena mezi trny. Dále je zapotřebí zajistit špalíky při nastavení jejich polohy. To je zajištěno stejně jako u polohování upínacích válců pomocí stavěcích šroubů, uvnitř kterých je kulička na pružině. Kulička je vlačována do drážek, které jsou v desce, která je připevněna na pohyblivou část válce. Přenastavují se pouze krajní špalíky s trny, prostřední není potřeba, protože jeho poloha je stejná pro měření obou stran komponenty. Tyto drážky jsou vidět na obrázku (Obrázek 38). Zde jsou také vidět malé L-profil, které jsou přišroubované z boku desky. Slouží proti vytažení špalíků s trny při přenastavování jejich polohy operátorem.



Obrázek 38: Detail na spojení trnů se špalíky, drážky pro přenastavování trnů, kam je vlačována kulička a jsou označeny písmeny A a B, podle jaká strana komponenty je upnuta; plochy řezu jsou vyznačeny modře

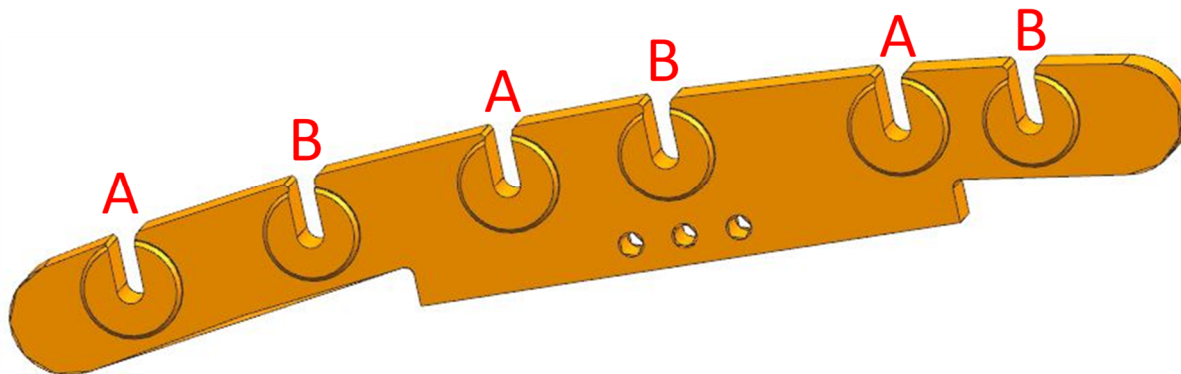


Obrázek 39: Kde se nachází konstrukční celek upínacího válce v celkové sestavě

7.6.3 Polohování válců pohybující se segmentem

Jedná se o pneumatické válce s vedením a průchozí pístnici, které jsou umístěny uvnitř přípravku a pohybují se segmentem, který je vsouván pod trny. Celkem jich je dvanáct. Jejich detailnější popis je v kapitole níže Pneumatické prvky. Tyto válce mají průchozí pístnici, aby mohl být použit mechanický doraz. Všechny součásti, u kterých nebude napsán jiný materiál, jsou vyráběny z oceli S355J0 (ČSN 11 523).

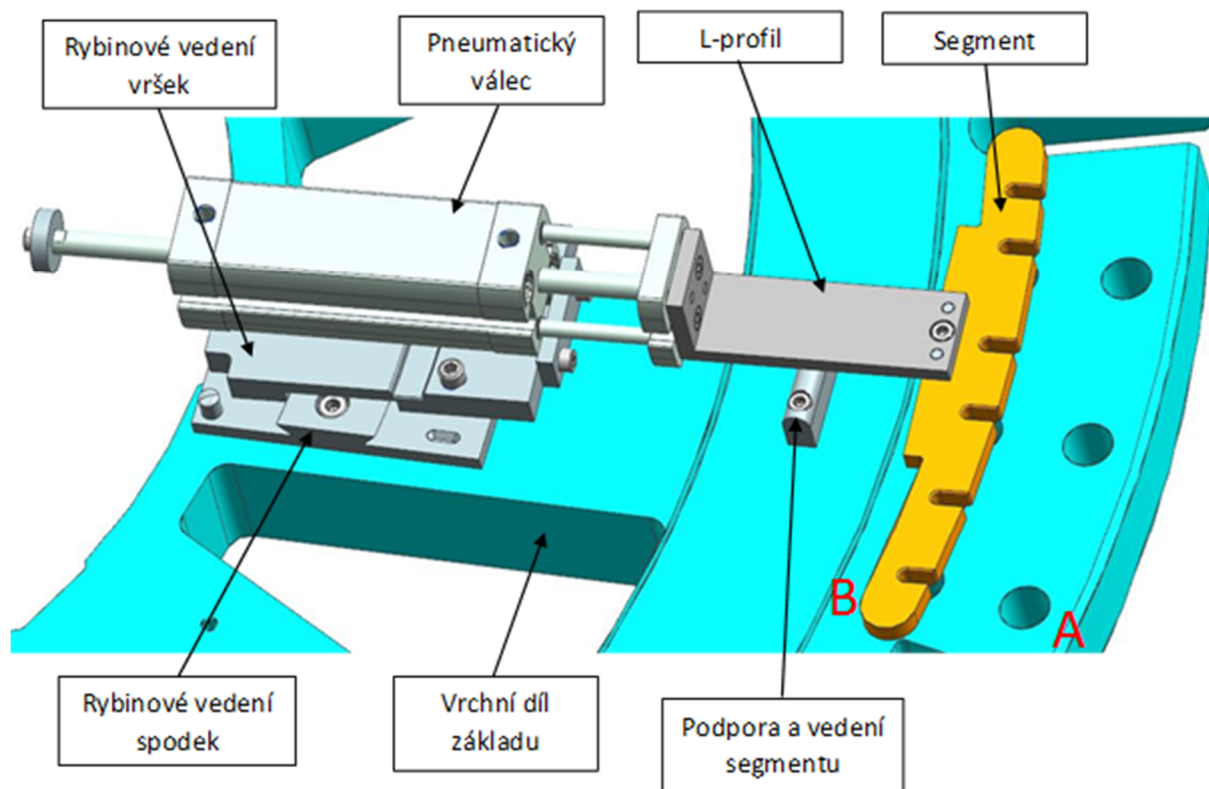
Segment obsahuje drážky pro trny pro měření komponenty z obou stran. Jsou dvě skupiny drážek po třech. Sada A slouží pro upnutí strany A a sada drážek s označením B slouží pro upínání strany B. Toto označení ukazuje Obrázek 40. Jedná se o šest drážek. Dále segment obsahuje šest výstupků ze spodní strany, protože komponenta má být upínána jen za oblast kolem děr, které leží na rozdílných průměrech, a tím i mají rozdílné rozteče, což představuje, jak bude komponenta montována do motoru. Segment je vidět na obrázku (Obrázek 40). Segment je z mosazné slitiny (Cu63Zn37).



Obrázek 40: Segment s označenými drážkami písmeny A a B podle toho, jaká strana komponenty se s nimi upíná

Segment je připevněn k pneumatickému válci pomocí L-profilu, kdy spojení mezi segmentem a L-profilem je pomocí dvou šroubů a jednoho kolíku zajišťující pozici. L-profil je připevněn dvěma šrouby k válci a pozice je zajištěna pomocí dvou kolíků. L-profil bude nakupovaná součást a je vyroben z Al slitiny EN AW 2017 (ČSN 42 4201). S L-profilem pohybuje válec a je veden a zároveň podepírán podpěrou z plastu POM. Je to možno vidět na obrázku (Obrázek 41). Podpěra slouží k přesnému nastavení výšky segmentu nad komponentou. V případě potřeby lze tuto výšku při montáži donastavit vložením pásky ze spárové měřky (špion plechu) pod tuto součást.

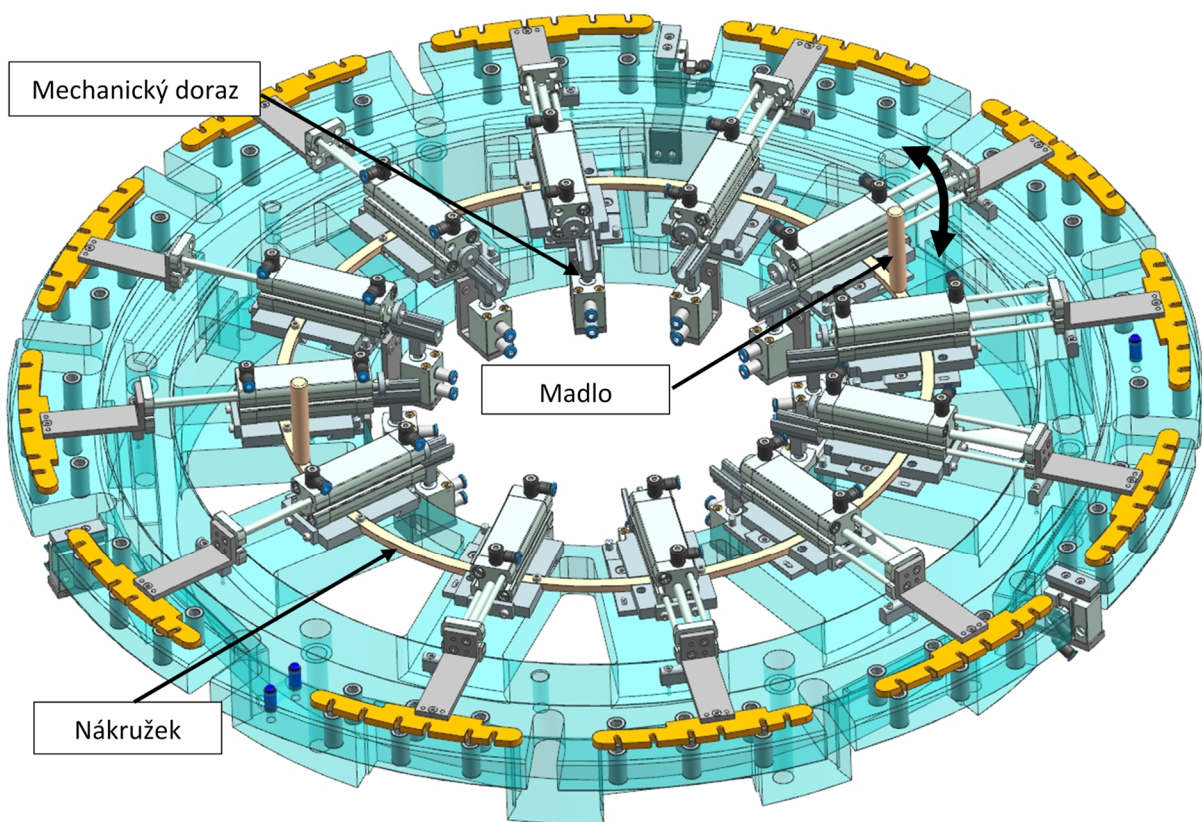
Pneumatický válec je připevněn k rotačnímu rybinovému vedení pomocí dvou šroubů a dvou T-matic a přesná pozice je zajištěna pomocí dvou kolíků. Rybinové vedení je rotační z důvodu potřeby natočit segment pro měření komponenty z druhé strany (strana A). Natočení je o tři stupně. Zajištění pozice při natáčení je stejné jako při polohování upínacího válce. Ve spodní části rybinového vedení jsou dvě drážky, do kterých je vtačována kulička, která je na pružině uvnitř stavěcího šroubu. To je možno vidět na obrázku (Obrázek 41). Dále na tomto obrázku je vidět, že ve spodní části rybinového vedení v jeho rozích jsou dva kolíky, které slouží proti vysunutí jedné části vedení z druhé. Rybinové vedení bude vyráběné z Al slitiny EN AW 2017 (ČSN 42 4201).



Obrázek 41: Polohování válce pohybujícím se segmentem a jeho vedení

Pro centrální natočení všech pneumatických válců bude vyroben nákrůžek, do kterého budou vyfrézované drážky. Ty budou zároveň vyfrézované i do vrchního dílu vedení. Nákrůžek je nasazen do těchto drážek, čímž budou přenášeny síly a připevněn jedním šroubem. Na nákrůžek budou našroubována dvě madla, pomocí kterých obsluha natočí všech dvanáct válců najednou, viz Obrázek 42.

U těchto válců jsou vyžadovány tři polohy. První poloha, která je zároveň výchozí polohou a válce se při výměně komponenty budou do této polohy vždy vracet, je válec se zdvihem 0 mm. Druhá poloha je pro měření druhé strany komponenty, která má označení B. Při měření této strany leží otvory komponenty, za které je komponenta upínána, na menším průměru roztečné kružnice. Je vyžadován výsuv válce pohybujícího se segmentem o hodnotu 23,1 mm a natočení není požadováno. V této poloze je segment na obrázku (Obrázek 41). Tento zdvih je zajištěn mechanickým dorazem, což je spolehlivé řešení. Mohlo být použito proporcionální řízení, ale to není spolehlivé a nedosahuje takové přesnosti. Mechanický doraz je realizován pomocí dvojčinného pneumatického válce s kruhovou pístnicí, kdy tento válec vsouvá součást mezi spodek válce a kruhovou podložku, která je přišroubována na konec průchozí pístnice. Mechanický doraz s pneumatickým válcem je vidět na obrázku (Obrázek 42).

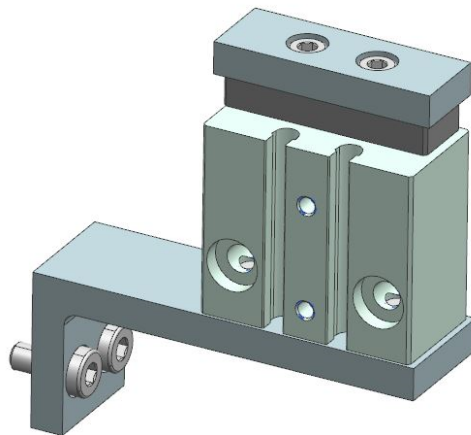


Obrázek 42: Nákrůzek - natočení všech válců najednou, připevnění pneumatického válce s drazem

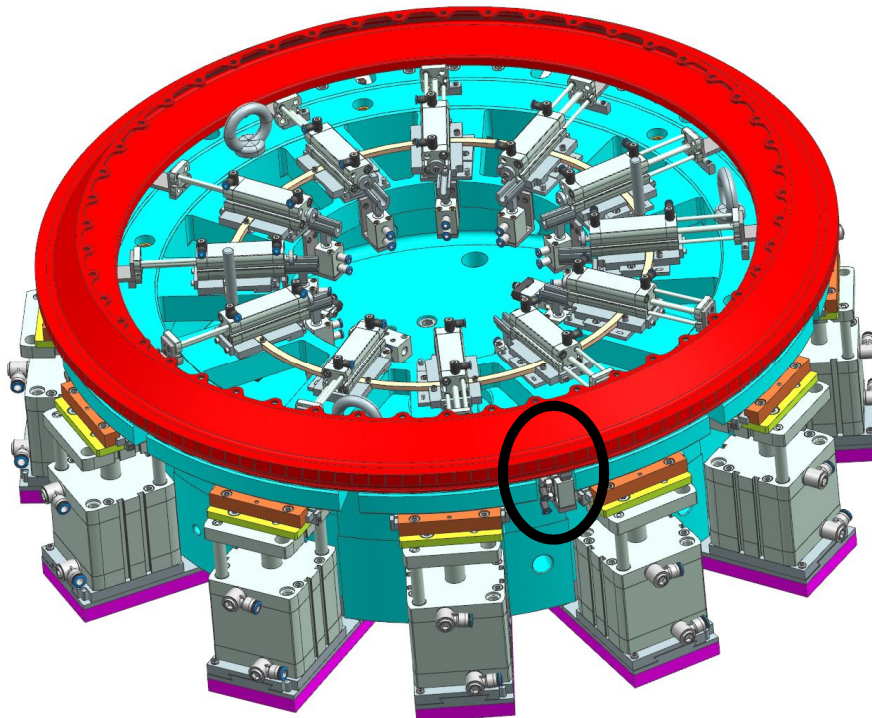
Zároveň je na tomto obrázku vidět připevnění pneumatického válce pohybujícího s mechanickým dorazem. Je to realizováno pomocí L-profilu, který je připevněn dvěma šrouby k základu přípravku a na L-profil je dále připevněn válec dvěma šrouby. L-profil bude nakupovaná součást vyrobená z Al slitiny EN AW 2017 (ČSN 42 4201). Třetí poloha je koncová poloha válce pohybující se segmentem, to znamená výsuv o 50 mm. K tomu dochází při měření první strany komponenty označené písmenem A, je upínána za otvory, které se nachází na větším průměru roztečné kružnice. Zároveň bude potřeba natočení válce a tím i segmentu o úhel tři stupně. Tuto polohu segmentu ukazuje Obrázek 42.

7.6.4 Zvedání komponenty

Jedná se o pneumatické válce s vedením, které jsou umístěny z vnější strany přípravku a pomocí nich dochází k nadzvednutí komponenty. Celkem bude potřeba tří válců pro zmíněnou činnost. Jejich detailnější popis bude v kapitole níže Pneumatické prvky. Toto nadzvednutí komponenty je v rozsahu 10 mm, a to z důvodu snazšího a bezpečnějšího sundávání komponenty, protože bude vysunuta mimo středící čepy. Pneumatické válce jsou přišroubovány pomocí dvou šroubů na L-profil, který je připevněn dvěma šrouby k základu přípravku. L-profil bude nakupovaná součást a je vyroben z Al slitiny EN AW 2017 (ČSN 42 4201). Na pohyblivou část pneumatického válce je přišroubována destička z materiálu POM, aby při sundávání nedošlo k poškrábání nebo jinému mechanickému poškození komponenty. Jeden z válců na zvedání komponenty je vidět na obrázku (Obrázek 43).

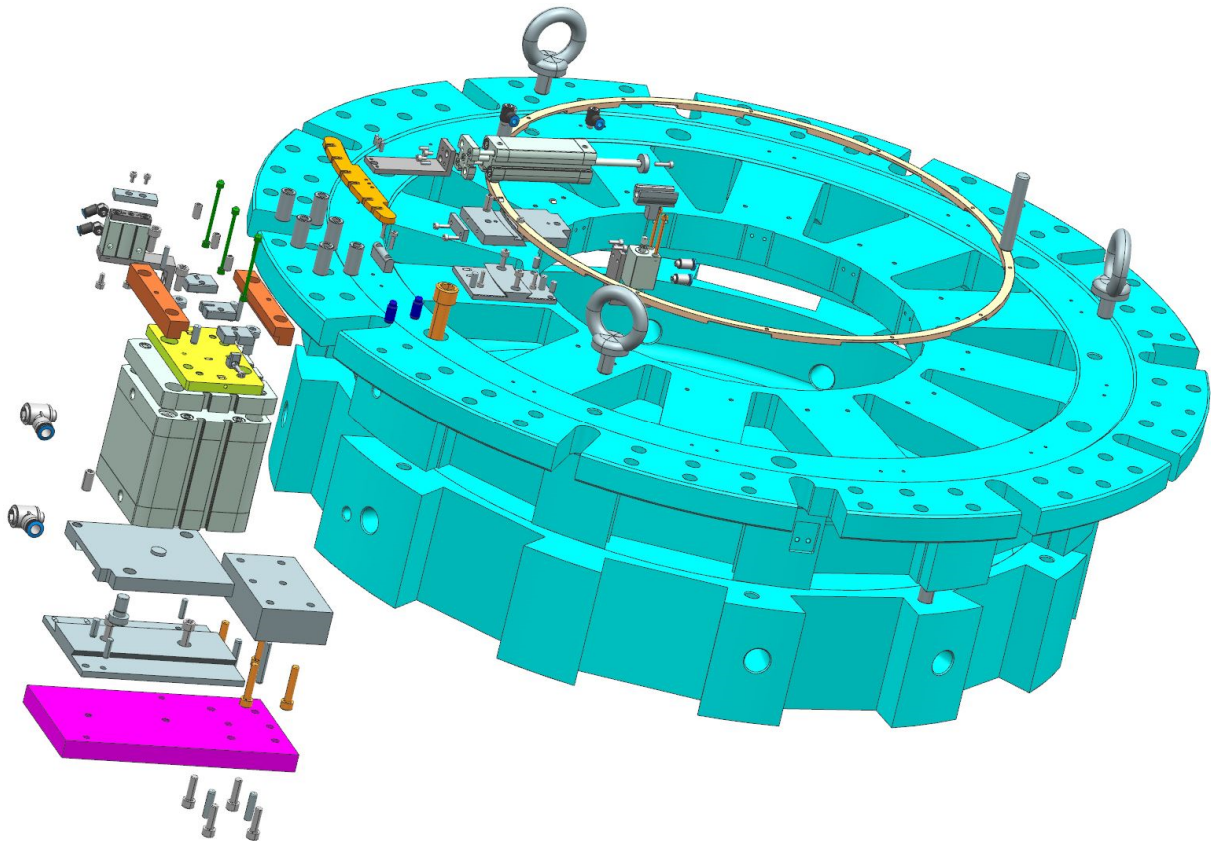


Obrázek 43: Válec pro zvedání komponenty

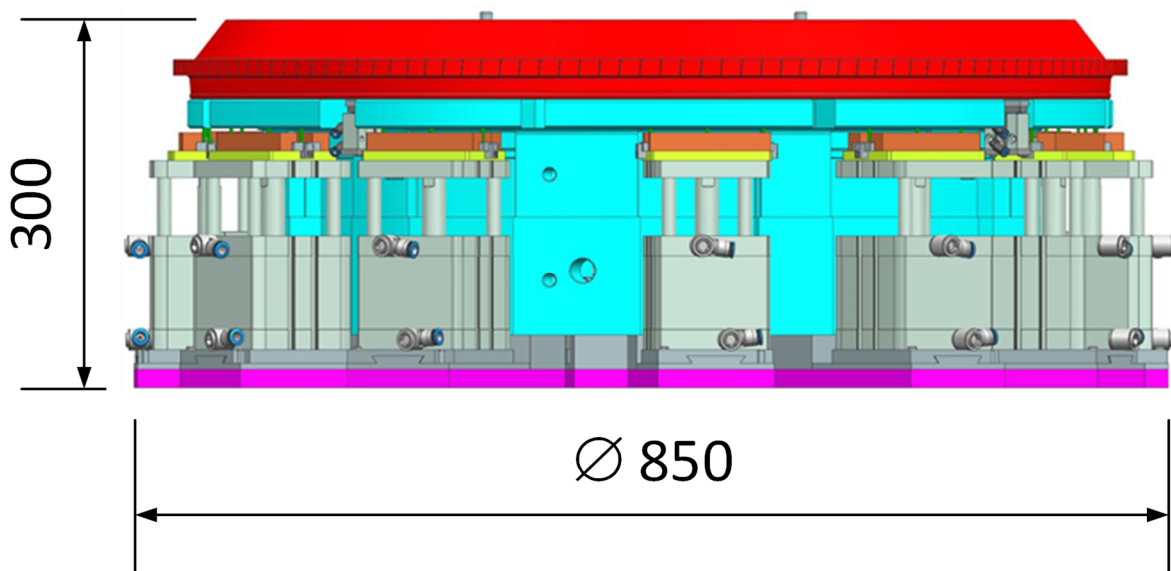


Obrázek 44: Kde se nachází konstrukční celek válec pro zvedání komponenty v celkové sestavě

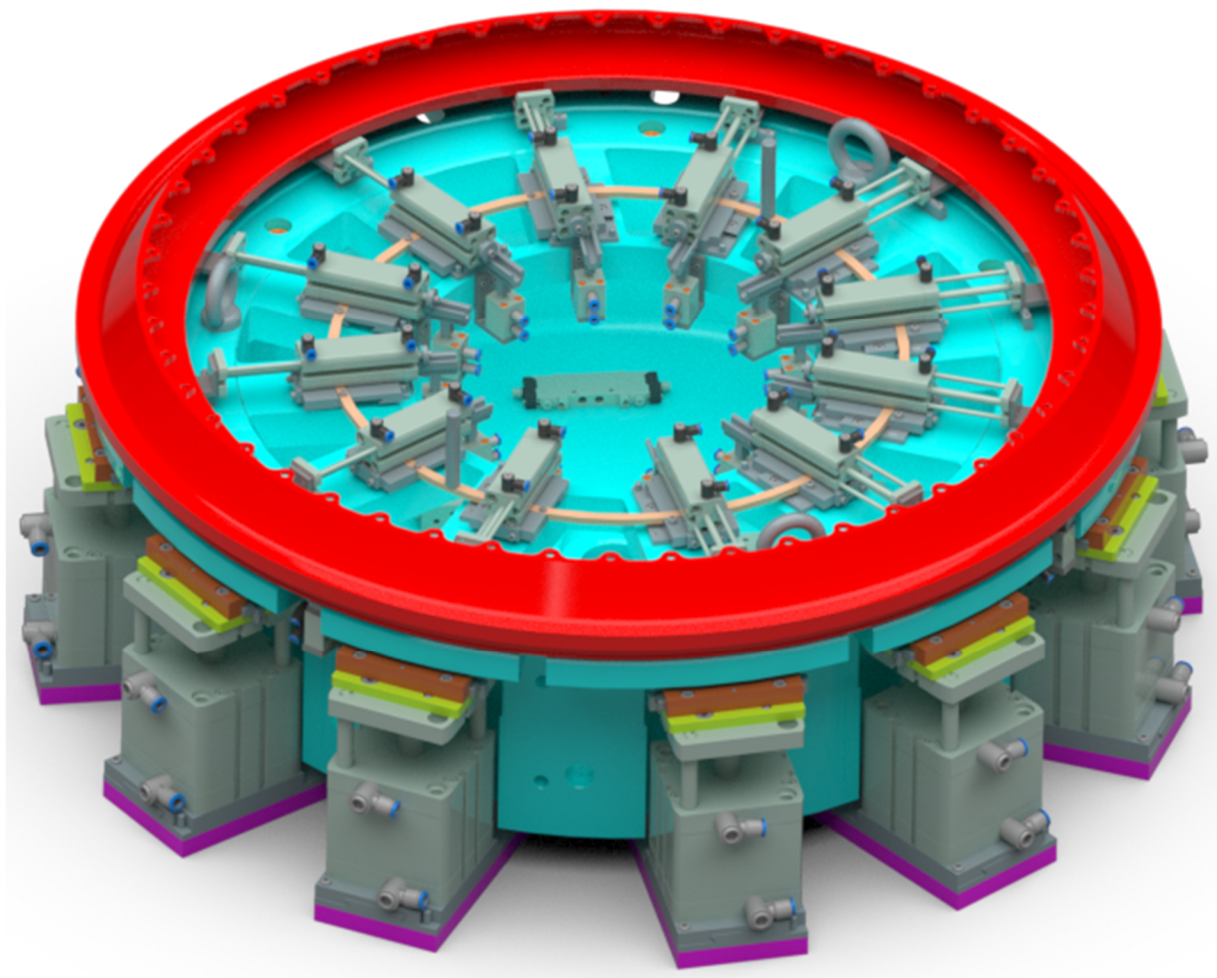
7.7 Rozstřel konstrukčního řešení a celkový pohled



Obrázek 45: Přípravek – rozstřel



Obrázek 46: Přípravek - orientační rozměry

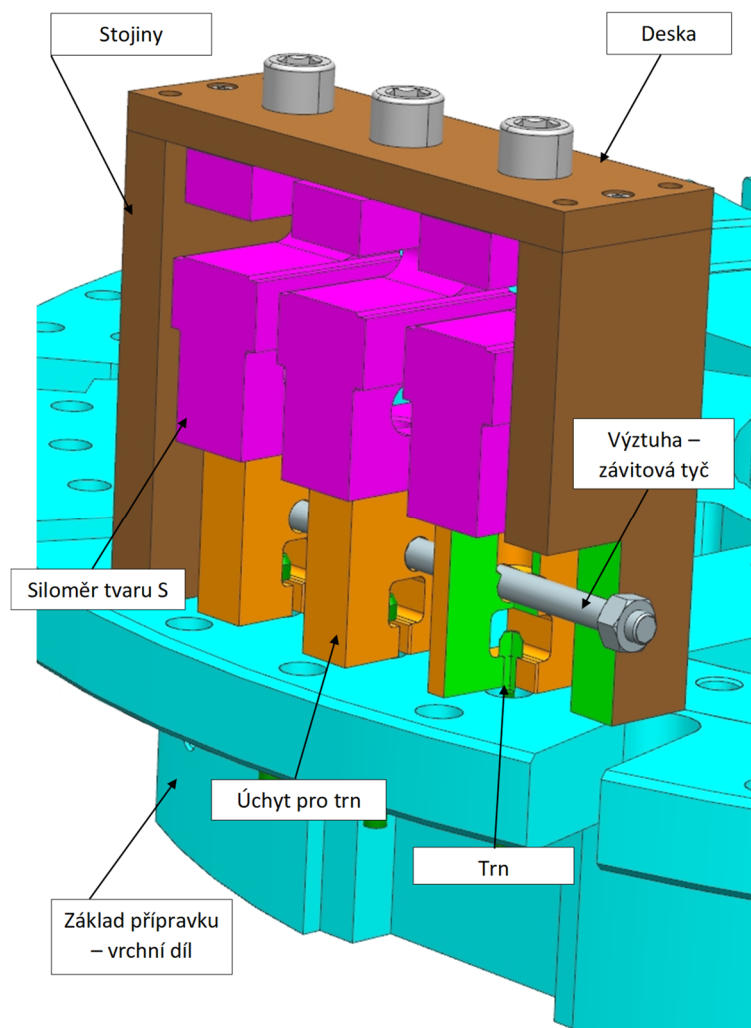


Obrázek 47: Pohled na hotový přípravek

7.8 Přípravek na měření síly

V rámci zadání konstrukce přípravku byl také požadavek na změření skutečné síly, kterou vyvodí trny na segment a tím i upínací sílu na komponentu. Teoretickou sílu lze spočítat díky známému tlaku, který jde do pneumatického válce, ale skutečná síla může být odlišná. Skutečná síla se bude lišit i mezi jednotlivými trny. Na prostředním trnu by měla být o trochu vyšší hodnota než na krajních, protože u krajních trnů se bude projevovat mírný ohyb desky a úhlových lišt.

Pro měření síly budou využita celokovová vážní čidla (siloměry) typu S s požadovaným rozsahem, který je minimálně 3 000 N. Tyto siloměry po připojení na displej, zobrazují přímo hodnotu, protože jsou již zkalibrovány. Pro můj případ budou využity tři kusy. Je navržen jednoduchý přípravek ve formě dvou stojin a jedné desky, na kterou jsou tyto siloměry upevněny pomocí šroubů. Na siloměry jsou pomocí šroubů upevněny úchyty pro trny, do kterých se se trny pouze nasunou, přípravek se postaví na dosedací plochu přípravku a může být změřena síla. Obrázek 48 ukazuje přípravek pro měření síly. Byl proveden i tuhostní výpočet, který je uveden v příloze k ověření vlastností.



Obrázek 48: Popis přípravku pro měření síly s vyznačeným částečným řezem (označen zelenou barvou)

7.9 Zhodnocení splnění požadavků

V následující tabulce (Tabulka 5) je uvedeno zhodnocení splnění požadavků. Tyto požadavky byly nadefinovány na začátku kapitoly konstrukce. Z tabulky (Tabulka 5) je vidět, že byly splněny všechny požadavky.

Tabulka 5: Zhodnocení splnění požadavků

Požadavky	
Umožnit upnout komponentu z obou stran pro měření	ANO
Minimální výška přípravku mezi plochou, kam dosedá díl, a stolem 3D měřicího stroje je 95 mm	ANO
Zachovat počet 12 míst na přípravku pro měření rovinnosti	ANO
Použití pneumatických zařízení	ANO
Nadzvednutí komponenty cca o 10 mm po jejím změření	ANO
Umožnit změření upínací síly, která je použita na upnutí komponenty	ANO
Umožnit transport přípravku	ANO
Zkrátit čas výměny komponenty z původních 25 minut na co nejmenší hodnotu	ANO
Požadovaná upínací síla na oblast mezikruží kolem otvorů dílu je max 1 kN (rozsah 900-1000 N)	ANO
Upnutí komponent jen za oblast mezikruží kolem otvorů	ANO
Při upínání komponenty do přípravku nesmí vzniknout riziko poškození funkční plochy ani hran jednotlivých komponent	ANO
Maximální automatizace přípravku	ANO

7.10 Pneumatické prvky

Pneumatické prvky jsou velmi využívané a s rostoucí snahou o automatizování procesů, dále roste jejich využití. Mezi výhody patří: možnost rozvodu na delší vzdálenosti, možnost rychlých pohybů a snadná regulace. Mezi nevýhody je možné zařadit: omezená síla (daná tlakem a plochou pístu), problematické dosažení pomalých plynulých pohybů a přesného zastavování v mezipolohách. To je i případ mého konstrukčního řešení, kdy je z důvodu automatizace procesu, upínání komponenty do přípravku, využita řada pneumatických prvků. Tyto pneumatické prvky pro správnou funkci a dlouhou životnost vyžadují upravený stlačený vzduch, který se dopravuje vedením a lze ho uchovávat v zásobnících. Pro použití pneumatických válců je potřeba dalšího pneumatického příslušenství.

Přípravek bude používán v hale, kde jsou již instalovány odbočky přípojky z hlavního vedení již s vyrobeným a upraveným stlačeným vzduchem, který je vyráběn kompresorem mimo halu a následně je pak po celé hale rozváděn. Tlak v rozvodech je 0,76 MPa (7,6 bar). Tyto odbočky jsou napojeny na hlavní větev dílenského rozvodu stlačeného vzduchu tak, aby do nich nemohl stékat kondenzát z hlavní větve rozvodu.

Pro moji aplikaci budou třeba pneumatické prvky pro úpravu stlačeného vzduchu a zajištění dostatečného tlaku (jednotka pro úpravu vzduchu, vzdušník, ventil s pomalým náběhem tlaku, zpětný ventil), dále pak pneumatické prvky, které zajišťují řízení (elektromagnetický ventil, jednosměrné škrťací ventily), potom prvky pro rozvod stlačeného vzduchu (rozdělovací bloky, různé typy šroubení a spojky, hadičky). Následují prvky zajišťující převod energie stlačeného vzduchu na mechanickou energii (pneumatické válce) a poslední prvky slouží pro získávání informací o poloze pístů uvnitř válců (o jejich zdvihu) a komunikaci mezi ventily a zařízením (př. PLC), které posílají impulsy pro provedení daných pohybů (snímače, spojovací kabely).

7.10.1 Úprava stlačeného vzduchu a zajištění dostatečného tlaku

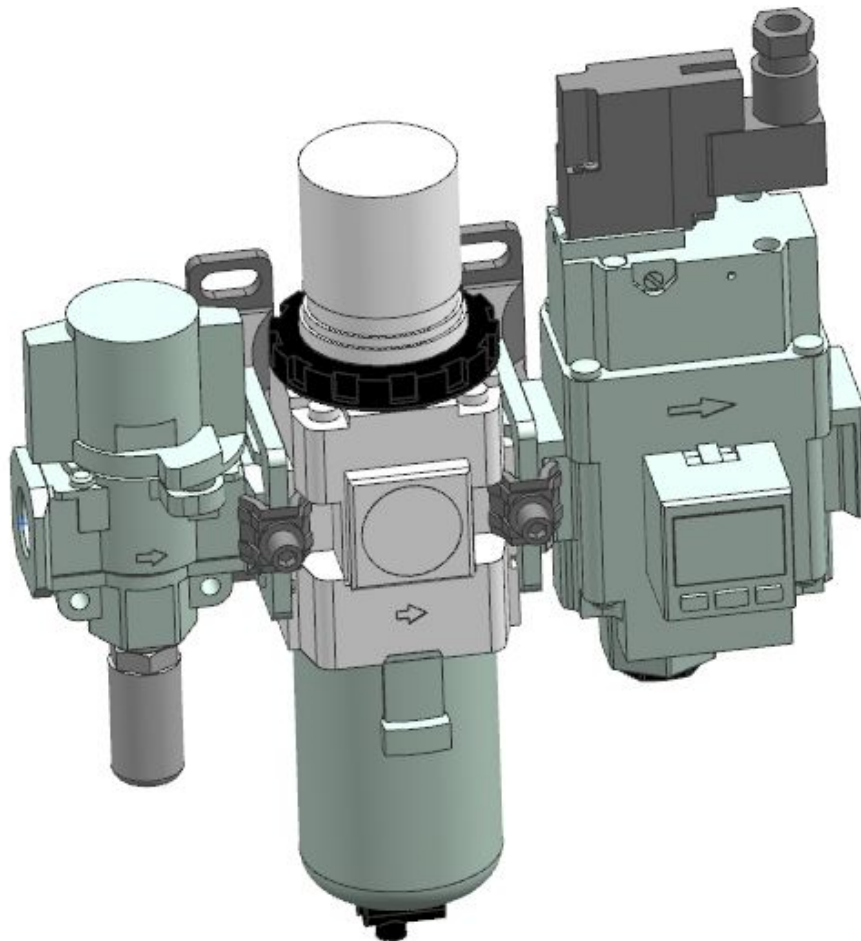
Přívod tlaku je zajištěn připojením odbočky z větve dílenského rozvodu stlačeného vzduchu. V dílenském rozvodu však může docházet k výkyvům tlaku a z tohoto důvodu se dává před jednotku úpravy vzduchu vzdušník, který tyto výkyvy pokrývá. Výkyvy tlaku jsou způsobené intervaly v provozu kompresoru, který do rozvodu dodává stlačený vzduch. Čím větší jsou intervaly mezi provozem kompresoru, tím je jeho obsah větší, a dále se pak dimenzuje podle výkonu kompresoru. V mém případě je použit vzdušník o objemu 10 litrů, což je odvozeno od velikosti válců a tlaku, při kterém pracují.

Úprava stlačeného vzduchu je nezbytná, aby mohl být atmosférický vzduch použit pro zařízení průmyslové pneumatiky, protože atmosférický vzduch obsahuje mechanické nečistoty a vlhkost ve formě vodní páry, která ve vzdušníku a potrubí zkondenzuje. Tyto dva vlivy snižují životnost pneumatických prvků. Pro úpravu se používá jednotka úpravy vzduchu, která se skládá z filtru, který zachytává nečistoty. Dále pak z odlučovače, který zachytává kondenzát v potrubí a regulátoru tlaku, který udržuje stálou hodnotu tlaku v pracovním okruhu a popřípadě ještě maznice, ale to u moderních prvků není potřeba, protože jsou opatřeny trvalou náplní maziva, která vystačí pro provoz po celou dobu jejich životnosti. U regulátoru tlaku je ještě manometr, který měří tlak vzduchu a přímo ho ukazuje, takže lze v pneumatickém okruhu

jednoduše nastavit přesnou hodnotu tlaku. Pro přípravek bude vybrána jednotka úpravy vzduchu pro maximální tlak 8,5 baru.

Dále bude použit ventil s pomalým náběhem tlaku v úpravě vzduchu, který slouží k plynulému natlakování systému vzduchem a tím i k plynulému rozjezdu všech pohonů v případě odzdušnění stroje. Součástí je digitální tlakový snímač, který slouží k ověření tlaku vzduchu v systému a dává signál řídicímu PLC informaci o stavu tlaku vzduchu, pokud je tlak nízký, pak nahlásí chybu.

Tato kapitola sdružuje pneumatické prvky, které jsou na začátku pneumatického schématu. Za těmito prvky následuje rozvětvení obvodů do větví podle druhů válců a jejich funkce. Na začátku každého obvodu je ventil, který vždy řídí jednu skupinu válců. Celkem jsou čtyři skupiny válců, které se v rámci skupiny pohybují spolu najednou.



Obrázek 49: FRL jednotka – skládá se z ručního spínače, filtru, regulátoru tlaku a ventilu s pomalým náběhem tlaku

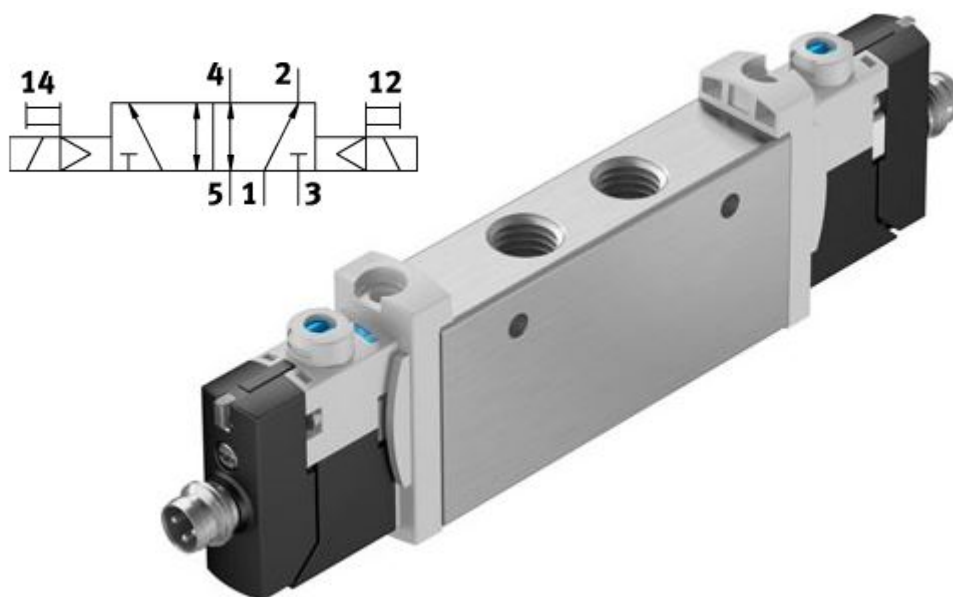
7.10.2 Pneumatické prvky zajišťující řízení

Mezi tyto prvky patří ventily. Ty tvoří srdce všech pneumatických obvodů. Umožňují ovládat a řídit pneumatické pohony, směr proudění stlačeného vzduchu či být součástí logických řídicích obvodů. Jsou tři hlavní kritéria při výběru ventilu, kterými jsou funkce ventilu, způsob ovládnání ventilu a průtok vzduchu.

V mém případě bude použit elektromagnetický 5/2 nepřímo řízený ventil bistabilní. Nepřímo řízený znamená, že k přestavení funkčního prvku sedlového ventilu nebo šoupátka slouží malý 3/2 ventil, který po přestavení vzduchem přestaví funkční prvek sedlového ventilu nebo šoupátka. Toto je výhodné, vzhledem k tomu, že potřebné síly k přenastavení ovládacího ventilu 3/2 jsou velmi malé ve srovnání se silami potřebnými k přestavení přímo ovládaných ventilů. Dále je bistabilní, což znamená, že nemá žádnou definovanou výchozí polohu. Pro jeho ovládnání jsou třeba dva na sobě nezávislé impulsy. Po přenastavení zůstane v poloze, která odpovídá poslednímu impulsu pro jeho přestavení. [26]

Pro moji aplikaci bude celkem potřeba čtyř bistabilních 5/2 nepřímo řízených ventilů. Pro jejich snazší montáž a úsporu přívodních hadiček se stlačeným vzduchem bude použita hliníková deska, na kterou budou tři ze čtyř ventilů přišroubovány. Do této desky bude pouze jeden přívod stlačeného vzduchu a dále na této desce budou jeden nebo dva kanály pro odvodu ventilů upevněných na desce. Ventil pro upínací válce se z důvodu rozměrů na společnou desku upínat nebude.

Dále budou na ventil pro upínací válce přišroubovány tlumiče hluku se škrťícími ventily a na zbylé ventily škrťící ventily se zpětným ventilem. Oboje má stejnou funkci, je to tak udělané pouze z důvodu montážních. Funkcí škrťících ventilů je možnost nastavit rychlost válců snížením nebo zvýšením průtoku stlačeného vzduchu. Zpětný ventil dovoluje průtok vzduchu ventilem pouze v jednom směru. V opačném směru je sedlo ventilu uzavřeno prvkem, který může mít tvar kuličky, kotouče, kužele nebo membrány, a jsou většinou přitlačovány do sedla šroubovou pružinou.



Obrázek 50: Bistabilní elektromagnetický ventil 5/2 se schématem ventilu [27]

7.10.3 Pneumatické prvky pro rozvod stlačeného vzduchu a regulaci rychlosti

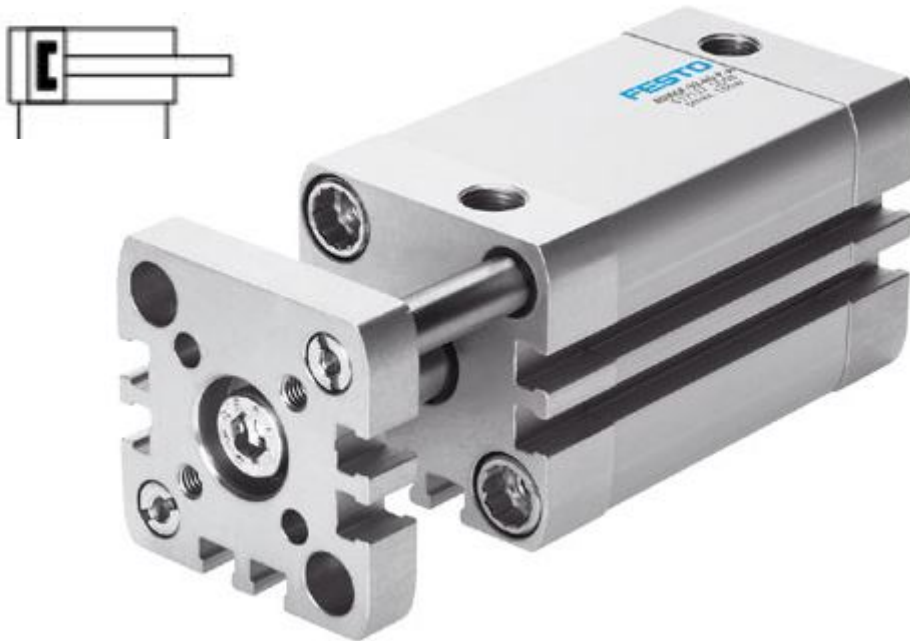
Tyto prvky jsou nezbytné pro rozvod stlačeného vzduchu mezi jednotlivými pneumatickými prvky a pro přesné nastavení rychlosti pneumatických válců tak, aby se všechny pohybovaly stejně rychle.

Mezi prvky sloužící pro rozvod stlačeného vzduchu patří trubky, které se používají pro dlouhé přímé úseky hlavních rozvodů stlačeného vzduchu s velkým průměrem potrubí. Trubky mohou být bezešvé z klasické oceli, z korozivzdorné oceli nebo měděné. Dále sem patří hadice z plastů, které budou vhodně použity v navrhovaném přípravku, protože se obvykle používají pro vzájemné propojování pneumatických prvků a jejich následné připojení k přívodu stlačeného vzduchu. Využití těchto hadic je velmi výhodné při montáži, protože se snadno upraví na požadovanou délku a rychle se nasadí na šroubení nebo se zasunou do nástrčných spojek. Další výhodou těchto hadic je jejich velká poddajnost a malé poloměry oblouků hadic, čehož bude využito i u mojí aplikace, kde uvnitř přípravku bude muset dojít k propojení jednotlivých pneumatických prvků. Při spojování pneumatických válců a ventilů, musí být délka hadiček k jednotlivým válcům stejně dlouhá, aby se pohybovaly všechny stejně rychle a zároveň by délka hadic mezi ventilem a pohonem měla být co nejkratší, aby se zbytečně nezvyšovala spotřeba stlačeného vzduchu a aby nedocházelo ke zpoždění při rozběhu válce. Budou použity hadičky průměru 12 mm, 8 mm a 4 mm. Hadičky průměru 12 mm budou hned na vstupu a budou propojovat vzdušník s jednotkou úpravy vzduchu a pak povedou ke čtyřem ventilům. Z výstupů ventilu, který bude řídit válce s průměrem pístu 80 mm, povedou hadičky o průměru 8 mm. Pro zbytek válců, které mají průměr pístu 10 a 12 mm, povedou z výstupu ventilů hadičky o průměru 4 mm. [26]

Pro připojení hadiček k jednotlivým pneumatickým prvkům slouží spojovací prvky – šroubení. Jsou tři základní typy. Šroubení s těsnícím prstencem a převlečenou maticí, nástrčné spojky a nástrčné spojky se zpětným ventilem. Pro přípravek budou použity nástrčné spojky díky velmi jednoduchému zapojování hadiček. Tento typ šroubení upíná hadičku poměrně

velkou silou a průchozí kanál spojky má shodný průměr s vnitřním průměrem použité hadičky, proto mají tyto spojky poměrně malý odpor při průtoku stlačeného vzduchu. [26]

Pro regulaci rychlosti pneumatických válců slouží škrťací ventily, které mají v sobě obsažený také zpětný ventil. Škrťací ventil reguluje průtok média pouze v jednom směru. Zpětný ventil je uzavřen a proud vzduchu musí procházet sedlem ventilu, jehož průřez je více či méně omezen kuželem vřetene škrťacího ventilu.



Obrázek 51: Dvojitý pneumatický válec s vedením a jeho schématická značka [28]

7.10.4 Pneumatické prvky vykonávající požadované pohyby (pohony)

Jsou to nezbytné prvky, pro vykonávání požadovaných pohybů. Práci pneumatických pohonů lze realizovat buď jako lineární pohyb vratný, jako rotační pohyb vratný – kyvný nebo jako rotační pohyb. Lineární pohyb realizujeme pneumatickými válci. Ty se dělí na pístnicové a bezpístnicové. Dále se pak dělí na jednočinné a dvojitý. Jednočinné válce mají přívod stlačeného vzduchu pouze na jedné straně válce, tudíž síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu působí pouze v jednom směru. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu do válce je pístnice vrácena do výchozí polohy silou pružiny. Dvojitý válce mají přívod stlačeného vzduchu na obou stranách válce, tudíž síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu působí podle přívodu vzduchu střídavě v obou směrech pohybu pístu. Používají se tam, kde má mechanismus vykonávat práci i při zpětném pohybu. Při zasouvání pístnice vyvinou dvojitý pneumatické válce menší sílu než při vysouvání, protože účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice. [26]

Pro přípravku budou použity jen pneumatické válce lineární s pístnicí. Tyto válce budou dvojitý. Budou vybrány tři druhy pneumatických válců. Pneumatické válce s vedením, pneumatické válce s kruhovou pístnicí a pneumatické válce s průchozí pístnicí. Typy jednotlivých válců, jejich použití v přípravku a jejich rozměry uvádí Tabulka 6.

Tabulka 6: Pneumatické válce použité pro přípravku

Typ válce	Průměr pístu [mm]	Počet [ks]	Zdvih [mm]	Účín [-]	Tlak [MPa]	Teoretická síla [N]	Skutečná síla [N]	Síla na trn [N]	Použití v přípravku
Dvojitý s vedením	10	3	10	0,8	0,76	59	47	-	Zvednutí dílu
Dvojitý s vedením a průchozí pístnicí	12	12	50	0,8	0,76	85	68	-	Posuv se segmentem
Dvojitý s vedením	63	2	40	0,8	0,76	2337	1869	874	Upínací válec (posuv s trny)
Dvojitý s vedením	80	10	40	0,8	0,76	3768	3014	942	Upínací válec (posuv s trny)
Dvojitý s kruhovou pístnicí	12	12	10	0,8	0,76	85	68	-	Doraz pro válec pohybující se segmentem

Z důvodu použití středících čepů pro jednoznačnou pozici komponenty v přípravku, je ve dvou místech nutno zvolit menší válce s průměrem pístu 63 mm, protože tyto válce budou tahat jen dva trny. Třetí trn zde není možný, protože jsou zde středící čepy. Upínací válce konají upínací pohyb při zpětném pohybu pístu, z čehož plyne, že je nutno uvažovat průměr pístnice při výpočtu síly, kterou jsou válce schopné vyvodit. Výpočet síly je proveden následujícím způsobem:

$$F = S_p \cdot p = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot p [N]$$

F...síla vyvozená válcem při zpětném pohybu

S_p ...plocha pístu

p ...tlak

D ...průměr pístu

d ...průměr pístnice

Jako válce upínací byla zvolena varianta s vedením z důvodu zabránění pootočení pístnice a potřeby vedení. U válců pohybující se segmentem byly vybrány s vedením, aby nemohlo dojít k pootočení pístnice a přeneslo to vznikající klopný moment, který vzniká při vysunutí pístnice. Dále tyto válce mají průchozí pístnici s ohledem potřeby tří pozic pístu. Dvě pozice jsou koncové polohy a třetí pozice je zajištěna díky průchozí pístnici pomocí mechanického dorazu, který je vysouván pomocí dalšího pneumatického válce. Ze stejného důvodu, kterým je vzniklý klopný moment, byl vybrán válec s vedením pro zvedání komponenty. Pro doraz byl použit obyčejný válec s kruhovou pístnicí. Zde nebylo potřeba volit válec s vedením nebo jiný typ s přídatnou funkcí.

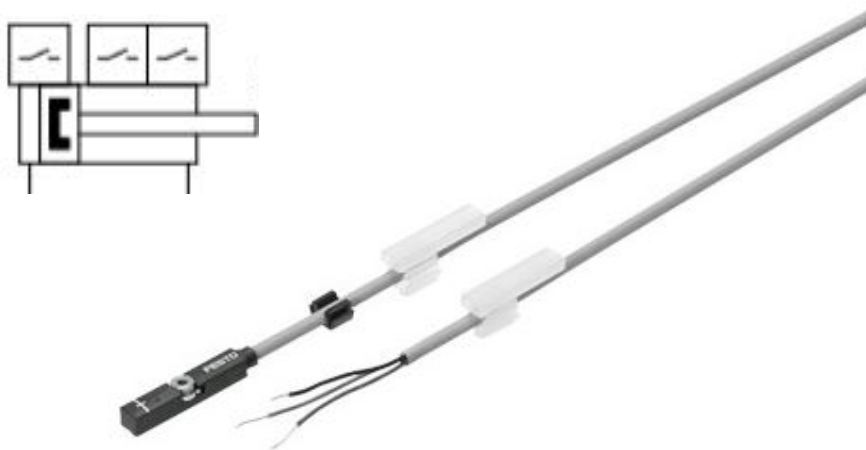
U upínacích válců a válců pohybujících se segmentem je nutné aplikovat snímače pro snímání polohy. U každého druhu je nutno použít tři čidla nebo dvě čidla, kde jedno snímá dvě polohy, na jeden válec, protože snímáme pozici v koncových polohách a pak jednu polohu v průběhu zdvihu.

7.10.5 Prvky pro získávání informací o poloze válců a zajišťující komunikaci

Tyto prvky jsou nedílnou součástí pneumatického okruhu. Slouží k získávání a posílání informací o poloze pístu pneumatického válce řídicí jednotce a pak dále slouží ke komunikaci mezi řídicí jednotkou a ventily. Patří sem snímače a spojovací vedení.

Snímače obecně jsou zařízení, která slouží k měření fyzikálních či technických veličin. Tyto veličiny následně převádějí na vhodný typ signálu, který posílají do řídicího systému, který na tyto podněty reaguje nastaveným zásahem. Snímače se v automatizaci používají nejčastěji k detekci přítomnosti materiálu nebo polohy akčních členů procesu, což bude potřeba u konstruovaného přípravku, nebo k měření fyzikálních veličin jako je teplota, tlak, hmotnost, průtok atd. Každý snímač má řadu důležitých parametrů, které mají zásadní vliv na kvalitu informace, kterou předávají řídicímu systému. Mezi tyto parametry patří měřicí rozsah, rozlišení, citlivost, opakovatelnost, přesnost, typ výstupního signálu a doba odezvy. [26]

Je celá řada druhů snímačů. S ohledem na navržený přípravek byly zvoleny magnetické snímače polohy. Snímají polohu pístu ve válci a dávají informaci řídicímu systému, který v našem případě bude PLC. Magnetické snímače polohy se využívají pro detekci magnetického pole permanentního magnetu nebo elektromagnetu. Nejpoužívanějším typem jsou jazýčkové. Když se snímač dostane do magnetického pole, jsou jazýčky magnetickou silou přitaženy k sobě, čímž se uzavře elektrický obvod a PLC dostane informaci o dosažení polohy. Montáž snímačů je velmi jednoduchá. Pouze se nasunou do T-drážky na pneumatickém válci a pozice se zajistí pomocí stavěcího šroubu.



Obrázek 52: Snímač polohy s volnými konci a jeho schématická značka s dvojčinným pneumatickým válcem [29]

8 Simulace zatížení

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící například k simulaci průběhu napětí, deformací a dalších veličin na vytvořeném modelu. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. Metoda konečných prvků je užívána především pro stanovení kritického (nejnamáhanějšího) místa konstrukce, pro kontrolu již navržených zařízení nebo pro optimalizaci jak napětí, tak i množství materiálu. Výpočet byl proveden v softwaru Siemens NX v řešiči NASTRAN. Výpočet spadá do oblasti lineární statiky. To bylo provedeno i v případě přípravku. [31]

8.1 Síťový model

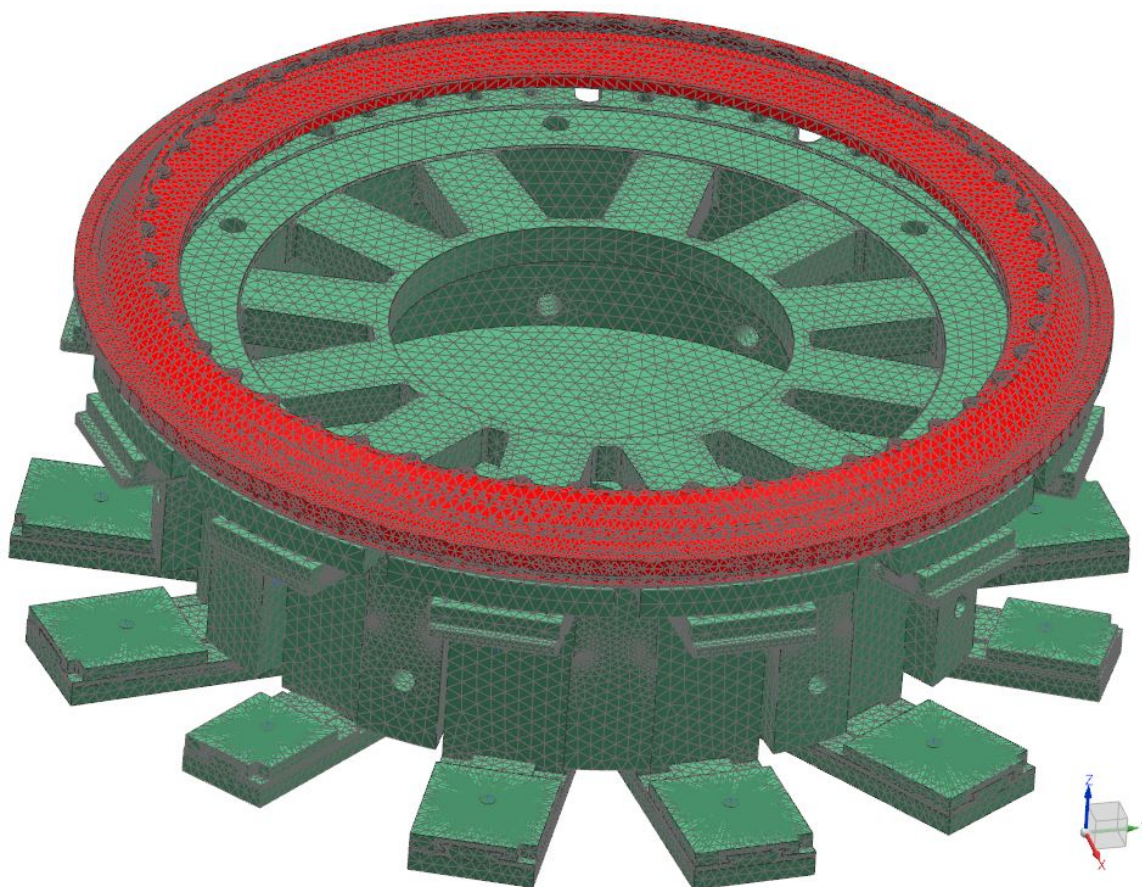
Nejprve bylo provedeno zjednodušení modelu v idealizovaném partu. To zahrnovalo odstranění nepotřebných prvků ze sestavy a dále pak zbytečných prvků pro výpočet, které by zhoršovaly zasítování jednotlivých součástí a tím ztěžovaly výpočet. Jedná se například o různá sražení, rádiusy, díry a další. Bylo to provedeno pomocí příkazu Delete face. Tato změna 3D modelu se nepromítá do původní sestavy, ale je to jen pro potřeby výpočtu.

Po zjednodušení modelu v idealizovaném partu bylo provedeno zasítování jednotlivých dílů, ze kterých je přípravek složen. Zasítování proběhlo ve FEM partu. Na zasítování jednotlivých dílů byla použita 3D Tetrahedral síť s meziuzly pro díly, kde bylo nutné dosáhnout přesné hodnoty napětí a deformací a bez meziuzlů u dílů, kde nebylo potřeba znát přesné hodnoty. Síť byla v místech, kde byla použita metoda Surface-to-Surface Contact pro spojení dvou dílů nebo v místech, kde bylo nutné dosáhnout hodně přesných výsledků, zjemněna. Tím se dosáhlo kvalitnějších a přesnějších výsledků. Dále byla použita funkce Manual coupling, která se nastavuje v SIM partu, ale ve FEM partu byly pro něj připraveny dva uzly. Manual coupling zajišťuje spojení dvou uzlů nad sebou a jejich společný pohyb. Je to náhrada za pneumatické válce. Ty dva uzly byly vytvořeny pomocí funkce 1D connection. Jeden uzel na vrchní ploše rybinového vedení, ke které byl přichycen rigidovou růžicí. Stejně jsem to provedl i u druhého uzlu, kdy jsem ho přichytil k desce, se kterou pneumatický válec pohybuje. Dále ve FEM partu došlo také ke spojení některých dílů pomocí funkce Mash mating, konkrétně

Glue-coincident. Jednou z nejdůležitějších věcí, která musela být provedena ve FEM partu, bylo nadefinování materiálu jednotlivým sítím a tím i přiřazeno jednotlivým dílům. Všechny použité materiály a jejich mechanické vlastnosti jsou vypsány v tabulce (Tabulka 7). Kompletně zasítovaný model přípravku je zobrazen na obrázku (Obrázek 53).

Tabulka 7: Mechanické vlastnosti použitých materiálů [30]

	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Poissonovo číslo [-]	Měrná hmotnost [g. cm ⁻³]	Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]
Ocel S355J0 (ČSN 11 523)	210*10 ³	0,3	7,85	510-680
Rene 65	204,9*10 ³	0,284	8,19	1240
Mosazná slitina (Cu63Zn37)	99*10 ³	0,36	8,45	330-500



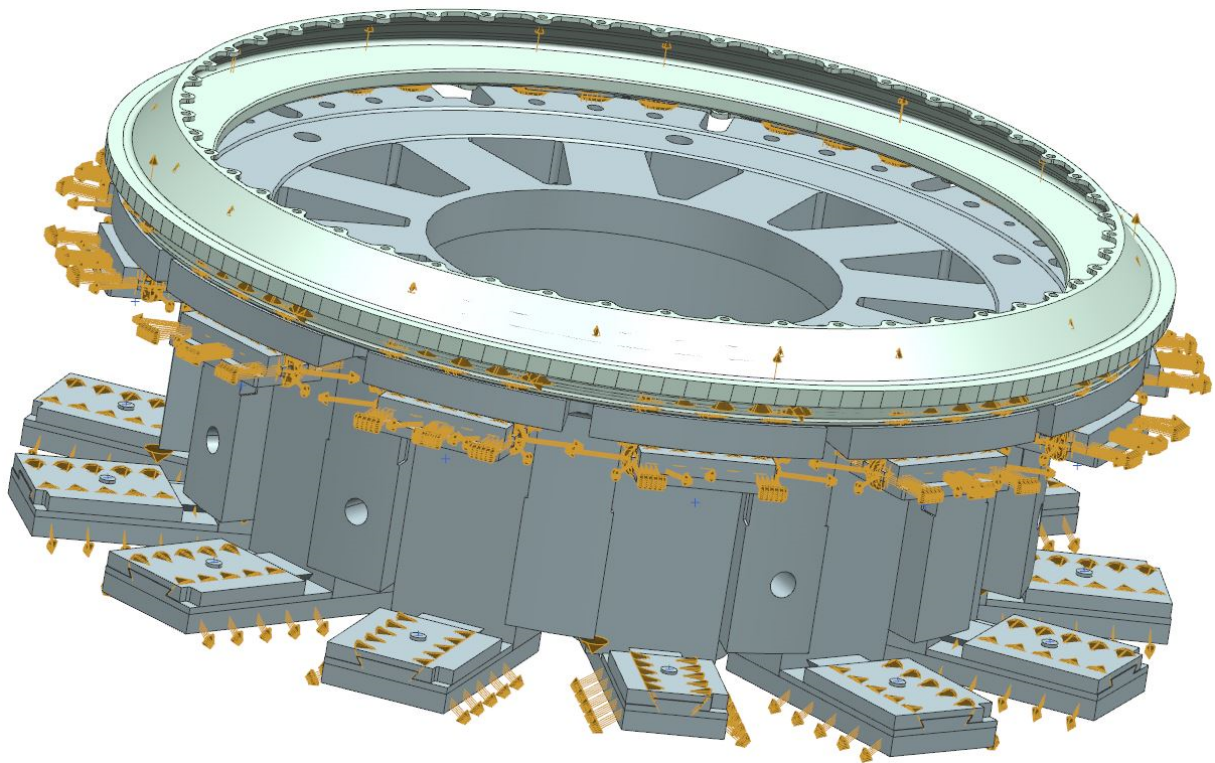
Obrázek 53: Fem – zasítování jednotlivých dílů (oranžová barva – mosaz (schováno pod červenou sítí), zelená barva – ocel, červená barva – Rene 65), zároveň je zde znázorněn souřadný systém, který platí pro všechny ostatní obrázky

8.2 Okrajové podmínky

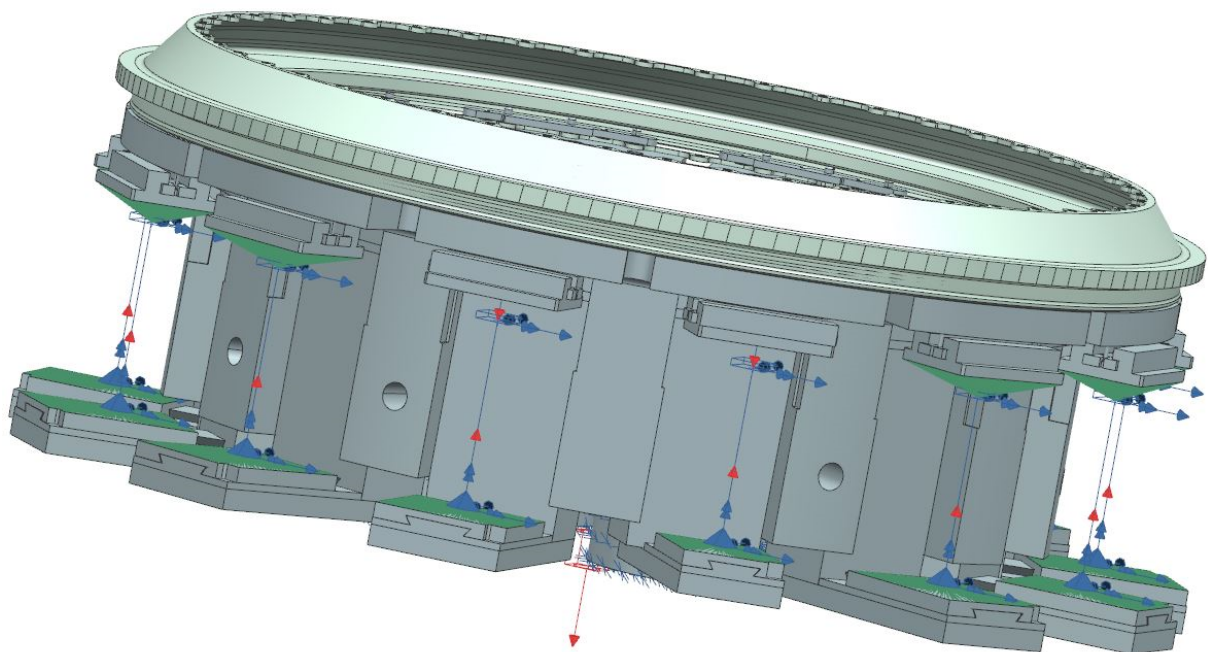
V SIM partu pak došlo k nadefinování okrajových podmínek a k nadefinování kontaktů. Definování kontaktu bylo provedeno pomocí funkce Surface-to-Surface Contact. Tato funkce byla použita u spojení dvou dílů, které se mohou po sobě pohybovat. Pro snazší definování kontaktu a pro jeho lepší případnou editaci byla aplikována funkce Region, kde došlo k nadefinování ploch, které se mají účastnit kontaktu. U kontaktu mezi plochami bylo uvažované tření. To bylo uvažované všude stejné a jeho hodnota byla 0,1. K definování kontaktu došlo mezi spodkem a vrškem rybinového vedení, dále pak mezi trnem a segmentem, mezi segmentem a komponentou, mezi komponentou a základem přípravku (referenční plochou), mezi špalíky držící trny a úhlovými lištami a mezi objímkami upínacího systému s nulovým bodem a základem přípravku. Definování těchto kontaktů je vidět na obrázku (Obrázek 54).

Definování okrajových podmínek spočívá v nadefinování vnějších silových účinků a odebrání všech stupňů volnosti, aby byl přípravek staticky určitý. Byly použity jen dva druhy vnějších silových účinků, mezi které patří síla a gravitace. Síla byla nadefinována pomocí funkce Load a byla umístěna do uzlů vytvořených ve FEM partu. Tyto silové účinky nahrazují upínací pneumatické válce. Jedny působí v kladném směru osy Z a druhé v záporném směru osy Z. Velikost silového účinku v každém uzlu, který nahrazuje válcem pohybující se třemi trny, je 3000 N a u válců pohybující pouze se dvěma trny je 1850 N. Tyto válce jsou však jen ve dvou místech po obvodu, a to z důvodu, že jsou zde středící kolíky. Druhý silový účinek je gravitace, která byla definována funkcí Gravity. Tato funkce zohledňuje tíhy jednotlivých dílů přípravku. Všechny silové účinky jsou vidět na obrázku (Obrázek 55).

Odebrání všech stupňů volnosti bylo provedeno pomocí funkce User defined constraint. Tato funkce byla aplikována na objímky, kterým byly odebrány všechny stupně volnosti, čímž došlo k jejich zafixování, protože tyto objímky jsou součástí upínacího systému s nulovým bodem, který je pevně upnut na stole 3D měřicího stroje. Je to vidět na obrázku (Obrázek 55).



Obrázek 54: Sim – spojení dílů pomocí Surface-to-Surface Contact

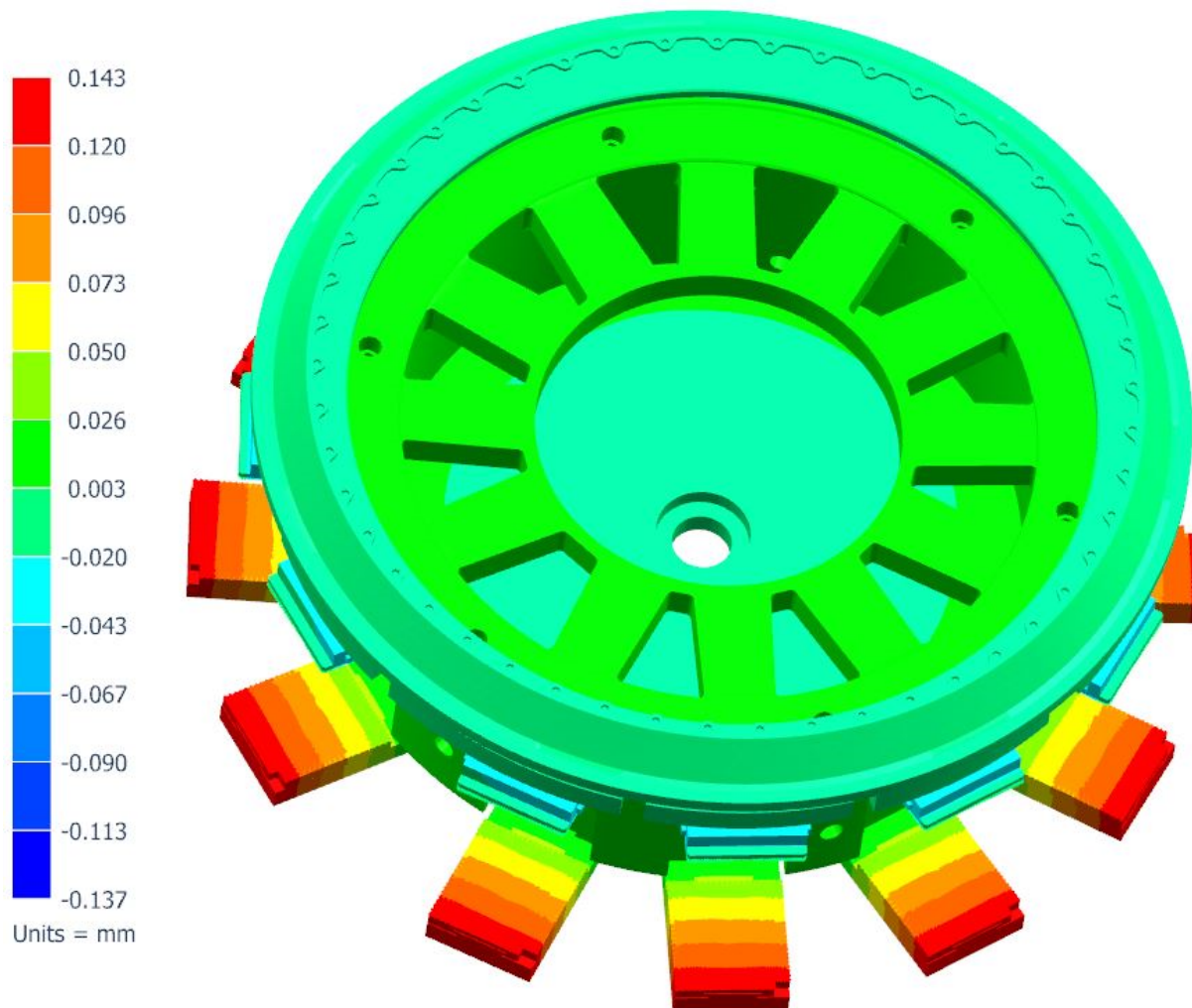


Obrázek 55: Sim – definování všech vnějších zatížení a odebrání všech stupňů volnosti

8.3 Výsledky simulace

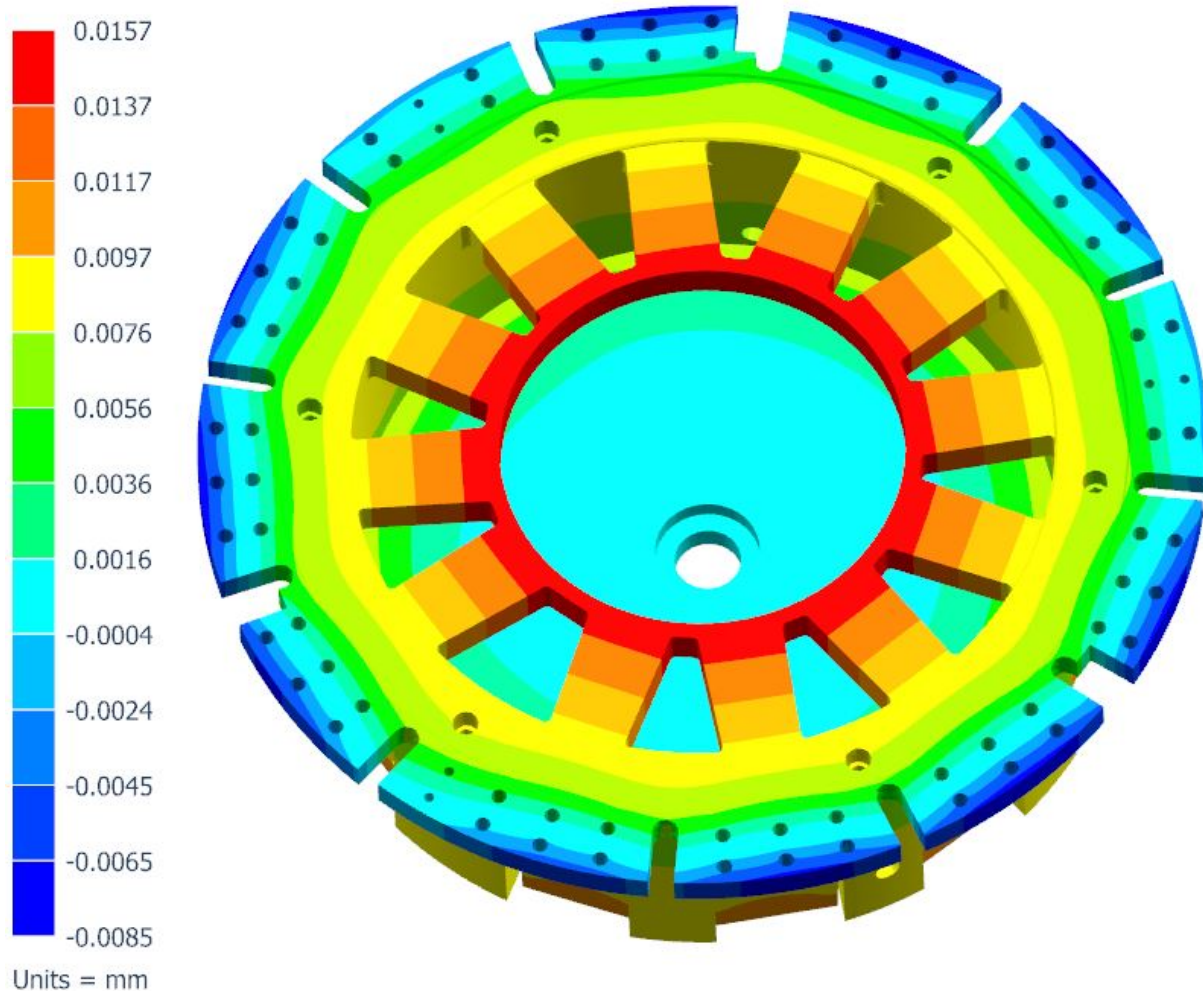
Po provedení všech předchozích kroků se spustí výpočet. Výpočet byl zejména hodnocen jako tuhostní úloha, pro kterou jsou nejdůležitější deformace. To zejména z důvodu, že byla požadována, co nejmenší deformace límce základu přípravku, protože se zde upíná komponenta, na které je pak měřena rovinnost. S deformací úzce souvisí to, jak se zdeformuje komponenta, protože je upínána na základ, čímž ho kopíruje. Druhým cílem pak byl pevnostní výpočet a následná kontrola některých součástí z hlediska napětí. Jednalo se zejména o trny, kterými se upíná komponenta.

Na obrázku (Obrázek 56) je pohled na deformaci celého přípravku. Maximální deformace vyšla 0,14 mm u desek z vnějšku přípravku, na které je upevněno rybinové vedení pro upínací váleček.

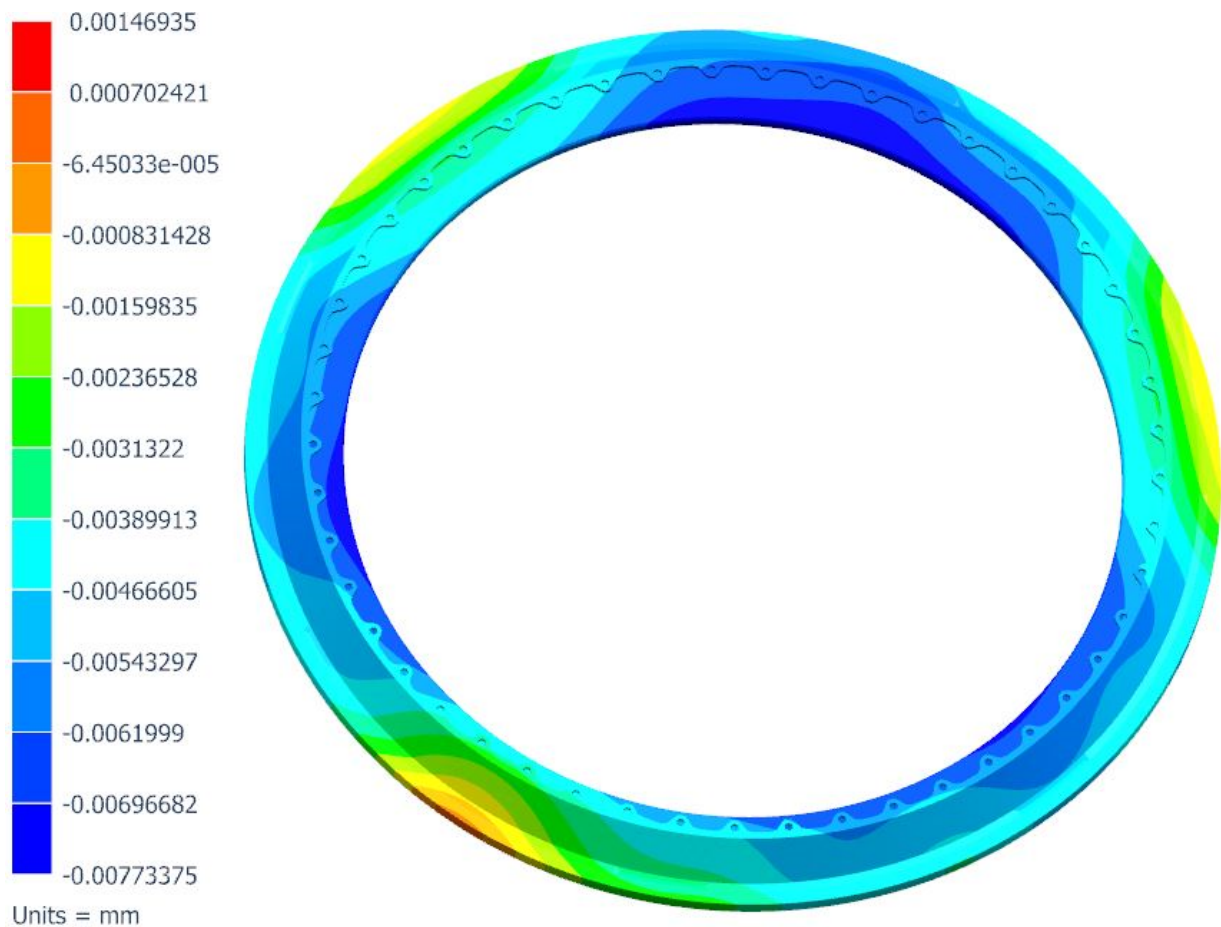


Obrázek 56: Přípravek– deformace ve směru osy Z

Nejkritičtějšími součástmi z hlediska tuhosti jsou základ a komponenta. Deformace límce základu se pohybovala max. do 0,0085 mm. Tato hodnota je v přijatelných mezích a ukazuje to Obrázek 57. Deformace u plochy komponenty, která je upínaná na základ a je na ní měřena rovinnost komponenty, je také max. do 0,0085 mm, čímž se potvrdila domněnka, že základ kopíruje, protože je přitlačována silou k základu. Popsanou deformaci zobrazuje výsledek na obrázku (Obrázek 58). Na límci základu i na komponentě, kde je deformace znatelnější, byly zpozorovány tři oblasti, ve kterých je deformace menší než v ostatních místech. To lze vysvětlit tím, že v těchto místech jsou menší síly, což je způsobené tím, že v těchto místech se nacházejí středící čepy, takže zde tahají jen dva trny. I u ostatních dílů přípravku byla taktéž vyhodnocena deformace, ale výsledek nebyl v souvislosti s hlavním výpočtem tak významný. Tyto hodnoty jsou vidět na obrázku (Obrázek 56) a jsou také v přijatelných mezích.



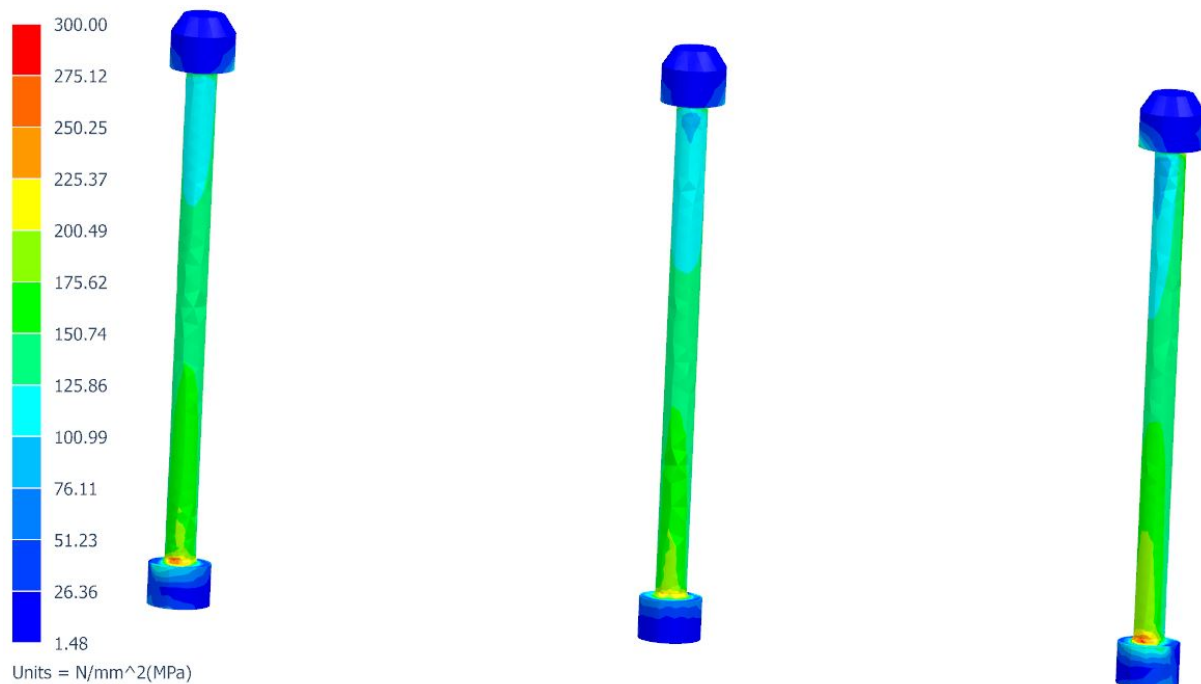
Obrázek 57: Velikost deformace základu přípravku ve směru osy Z



Obrázek 58: Velikost deformace komponenty ve směru osy Z

Největší napětí vyšlo podle očekávání u trnů v oblastech rádiusů. Toto napětí se pohybuje max. do 280 MPa. To je při použití oceli S355J0 (ČSN 11 523) v pořádku, protože ocel má minimální hodnotu meze kluzu 355 MPa. Bezpečnost vůči mezi kluzu je 1,3. Obrázek 59 zobrazuje detail na jeden trn, kde je možno vidět rozložení napětí v trnu. Při relativně vysoké hodnotě napětí u trnů bylo překontrolováno, zda by nemohla mít vliv také únava, protože se jedná o cyklické zatěžování. Jednotlivé cykly však neprobíhají rychle za sebou. Pro změření jedné komponenty jsou vykonané dva cykly upnutí, které jsou provedeny v časovém horizontu zhruba čtyř hodin. Dále hodnota napětí se pohybuje hlouběji pod mezi kluzu, takže nedochází k trvalým plastickým deformacím. Z toho bylo usouzeno, že únavu nemusíme brát v úvahu.

Z výsledků je patrné, že konstrukce přípravku je dobře navržena, jak z hlediska tuhostního, tak i pevnostního.



Obrázek 59: Trny - Napětí Von-Mises

9 Výrobní náklady a ekonomická návratnost

9.1 Výrobní náklady

Výrobní náklady přípravku jsou jedním z rozhodujících faktorů, zda přípravek bude vůbec vyroben a nezůstane jen v předvýrobní fázi. Na přípravek budou použity spojovací prvky, jako jsou šrouby, matice, podložky a kolíky a prvky pro transport, mezi které patří šroub s okem. Jejich pořizovací náklady byly stanoveny na 2 500 Kč. Dále na konstrukci přípravku použijeme řadu pneumatických prvků, které slouží k automatizaci procesu a spolu s náklady na obrábění tvoří největší podíl na celkových nákladech. Seznam jednotlivých prvků je v tabulce (Tabulka 8). Souhrnná cena za pneumatické prvky byla určena z cenové nabídky od poptávané firmy na 150 000 Kč. Další náklady jsou za zařízení sloužící k řízení pneumatických válců a jeho příslušenství. Sem patří PLC a spojovací kabely, jejichž celková cena se pohybuje kolem 10 000 Kč. Dalšími náklady jsou materiál (polotovary) pro výrobu jednotlivých dílů, které budou vyráběny obráběním. Cena za polotovary je celkem 55 000 Kč. Největší náklady budou na obrobení jednotlivých dílů, které se budou obrábět na soustruhu, frézce, brusce a stojanové vrtačce. Tyto náklady se pohybují kolem 270 000 Kč. Posledními náklady jsou náklady na montáž. Ta bude probíhat ve firmě a odhadované náklady na montáž jsou zhruba 15 000 Kč. Celkové výrobní náklady jsou součtem všech dílčích, a činí 510 000 Kč.

Tabulka 8: Celkové náklady

Jednotlivé oblasti nákladů:	Název:	Náklady [Kč]
Spojovací prvky	Šrouby, kolíky, stavěcí šrouby s kuličkou	2 000
Prvky pro transport	Šrouby s okem	360
Pneumatika	Pneumatické válce	97 280
	Nástrčná šroubení a spojky	5 796
	Škrtící a zpětné ventily, tlumiče hluku	3 720
	Rozdělovací bloky	3 600
	Elektromagnetické ventily	7 250
	Jednotka na úpravu vzduchu, vzdušník	8 335
	Snímače	18 000
	Hadičky	3 594
Řízení pneumatických válců	PLC	8 000
	Připojovací kabely	1 200
Materiály (polotovary)	Ocel ČSN 11 523	55 000
	Hliník ČSN 42 4201	
	Polyoxymethylén (POM) dle ČSN	
	Mosaz ČSN 42 3213	
Nakupované	Hliníkové L-profily, úhlové lišty	5 000
Obrábění	Soustruh, frézka, bruska, stojanová vrtačka	270 000
Montáž	Montáž provedou dělníci	15 000
Celkem [Kč]:		510 000

9.2 Ekonomická návratnost

Patří mezi důležité faktory a říká, za jak dlouho se vrátí náklady vynaložené na výrobu nového přípravku úsporami, které byly vytvořené optimalizací konstrukce a tím zkrácení časů potřebných na upnutí komponenty. Tabulka 9 ukazuje čas měřicího programu a úsporu času v minutách i hodinách za měsíc, kde je vidět, že celková úspora za měsíc je 1492 minut, to je zhruba 25 hodin, což není zanedbatelný čas. Tato úspora vychází z úspory na jedné komponentě, která je vyjádřena v tabulce (Tabulka 10).

Tabulka 9: Čas programu a úspora času za měsíc

Počet komponent [ks/týden]	Čas měřicího programu – první strana [min]	Čas měřicího programu – druhá strana [min]	Celkový čas měřicího programu [min]	Celkový čas – měřicí program+ upnutí [min]	Úspora minut měsíčně [min/hod]	Změřené komponenty navíc díky úspoře času [ks]
15	165	45	210	235	1492/25	6,4

Tabulka 10 porovnává časy pro upnutí a odepnutí komponenty stávajícího přípravku a nově navrženého a z toho je vyjádřena úspora v minutách na jednu komponentu. Dále v této tabulce je hodinová sazba operátora a 3D měřicího stroje a z toho pak vyjádřené náklady v Kč na upnutí jedné komponenty pro oba přípravky.

Tabulka 10: Srovnání vedlejších časů a nákladů při upínání

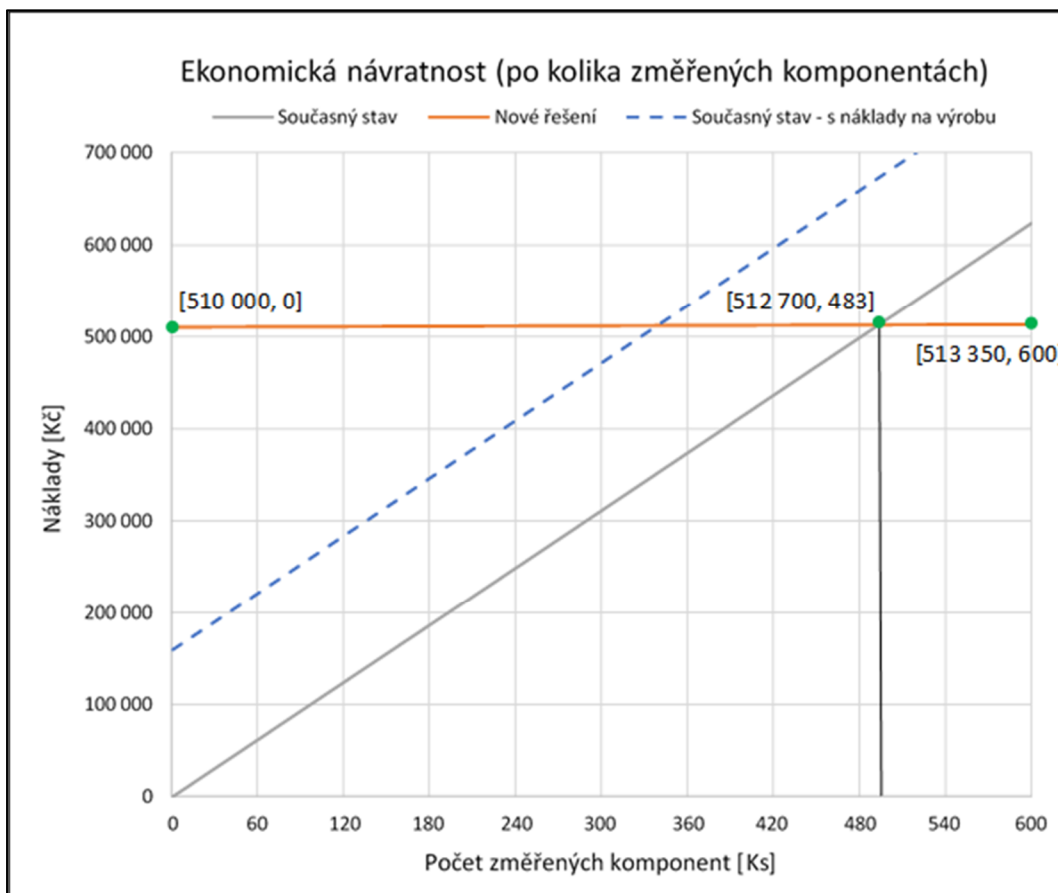
	Počet komponent [ks/týden]	Čas upnutí [min]	Čas odepnutí [min]	Celkový čas [min]	Hodinová sazba operátora + stroje [Kč]	Náklady na upnutí a odepnutí jedné komponenty [Kč]
Současný stav:	15	15	10	25	2 500	1 042
Nový přípravek:	15	0,067	0,067	0,134	2 500	6
Úspora času/korun	-	14,933	9,933	24,866	-	1 036

V tabulce (Tabulka 11) je vyjádřena ekonomická návratnost, pro kterou vycházíme z úspory na jedné komponentě nebo z úspory za měsíc způsobenou návrhem nového přípravku. Po vydělení celkových nákladů úsporou na jednu komponentu dostaneme počet komponent, který musí být změřen, aby došlo k navrácení celkových nákladů vynaložených na přípravek, a vydělením celkových nákladů měsíční úsporou dostaneme ekonomickou návratnost v měsících.

Tabulka 11: Ekonomická návratnost a jednotlivé úspory

Ekonomická návratnost						
Celkové náklady na přípravek [Kč]	Úspora na jedné komponentě v [min]	Úspora na jedné komponentě v [Kč]	Počet komponent [ks/měsíc]	Úspora za měsíc v [Kč]	Počet změřených komponent pro návrat nákladů na nový přípravek [ks]	Návratnost nákladů za přípravek v měsících
510 000	24,866	1 036	60	62 165	492	8,2

Na obrázku (Obrázek 60) je graf ekonomické návratnosti, na kterém jsou znázorněny náklady na nový přípravek (oranžová křivka) a pak se k této hodnotě přičítají náklady na upnutí komponenty. Druhá křivka (šedivá) je uvažována od nuly a jsou zde přičítány náklady na upnutí komponenty na stávajícím přípravku. Poslední křivka (čárkovaná modrá) je stejná, jako šedivá, akorát jsou na začátku uvažovány náklady, které byly vynaloženy na výrobu stávajícího přípravku. Průsečík oranžové křivky s křivkou šedivou nám dává počet komponent, které musí být změřeny, aby se nám vrátily náklady na výrobu nového přípravku.



Obrázek 60: Graf ekonomické návratnosti - při kolika změřených komponentách dojde k navrácení nákladů vynaložených na výrobu nového přípravku

10 Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh měřicího přípravku, který je používán na 3D měřicím stroji a má sloužit k měření rovinnosti na výše popsané komponentě.

V úvodní části je provedena stručná rešerše na téma přípravky. Dále je popsán materiál, ze kterého je komponenta vyrobena. Jednak jeho vlastnosti obecně, ale i chemické složení a mechanické vlastnosti. Dále také bylo zajímavé porovnat jeho vlastnosti s nejběžnějším strojírenským materiálem, kterým je ocel a s podobným materiálem na bázi niklu jako je Inconelem 718. Z toho je zřejmé, že i při vysokých teplotách má Rene 65 vyšší mez kluzu a mez pevnosti než ocel za normálních podmínek.

V další části práce je popsána výroba komponenty a popsán způsob, jak je s ní manipulováno. V této části je také popsáno, pro jaké motory se používá, v jaké části motoru se nachází, stručný popis principu daného typu motoru a stručný popis technologie výroby komponenty.

Následuje popis stávajícího přípravku. Jak je prováděno upínání komponenty do současného přípravku. Dále byl proveden MKP výpočet současného stavu, který sloužil jako výchozí stav při návrhu nového. Snaha je nahradit současný přípravek z důvodu vysokých vedlejších časů, tj. vysoká časová náročnost na upnutí a uvolnění komponenty. V úvodu konstrukce přípravku byly nadefinovány požadavky, které měly být zohledněny při návrhu nové konstrukce přípravku. Všechny požadavky byly splněny. Návrhem nového přípravku došlo k požadovanému zkrácení upínání a uvolňování komponenty z původních 25 minut na 10 sekund, což bylo dosaženo díky použitím pneumatických prvků a tím vysoké automatizace.

Poslední část se týká samotné konstrukce přípravku, popisu použitých pneumatických prvků a simulace zatížení přípravku, zejména zda vyhovuje z tuhostního hlediska, ale některé části i z pevnostního hlediska. Porovnáním výsledků, které byly získány metodou konečných prvků, stávajícího a nového přípravku bylo zjištěno, že u nového přípravku dochází k větší deformaci dosedací plochy o 0,008 mm než u stávajícího. To je však s ohledem na požadovanou toleranci rovinnosti 0,02 mm v pořádku. Výsledkem simulace zatížení je, že konstrukce po tuhostní i pevnostní stránce vyhovuje. Dále jsou popsány výrobní náklady, které se pohybují kolem 510 000 Kč a z toho pak vyjádřená ekonomická návratnost. Při úspoře 1 036 Kč na jedno upnutí a uvolnění komponenty a změření 60 kusů za měsíc vyšla ekonomická návratnost za 8,2 měsíce a nutnost změření 483 komponent.

11 Citovaná literatura

- [1] RAJAL, Pavel. *Konstrukce přípravku na díly pro letecký průmysl*. Plzeň, 2017, Bakalářská práce.
- [2] Amfin. *Abbey Metal Finishing Company* [online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.amfin.co.uk/joint-venture>.
- [3] Aerotech Czech [online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.aerotech-czech.cz/domu.html>.
- [4] B. Chvála a J. Votava. *Přípravky. 1. vyd.* Praha : STNL, 1988.
- [5] J. Chladil. *Přípravky a nástroje: Část obrábění. 3. vyd.* Brno : VUT, 1992.
- [6] Uni-max. *Strojní svěrák* [online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/strojni-sverak-102/d/>.
- [7] PROFESIONAL. *Strojní svěrák FMS 200* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.naradiprofesional.cz/strojni-sverak-fms-200>.
- [8] nástrojenaradi.cz. *Čelistový samostředící strojní svěrák 125mm* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.nastrojenaradi.cz/prizmaticky-sverak-s-125>.
- [9] yNÁŘADÍ. *Svěrák rychloupínací s pevnou čelistí* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.ynaradi.cz/sverak-rychloupinaci-s-pevnou-celisti-80-x-80-mm-indexa>.
- [10] KOVONÁSTROJE. *NC Pneumatický stojní svěrák* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Upinaci-nastroje/Sveraky/Strojni-sveraky/Pneumaticke-sveraky/NC-pneumaticky-strojni-sverak-150mm-rozevreni-160mm-VMC-6P.html>.
- [11] ZJP. *Licní deska* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.zjp.cz/licni-deska-4315/p1111>.
- [12] EVROPSKÁ DATABANKA. *Skličidla hydraulická* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://nabidky.edb.cz/Nabidka-61395-sklicidla-hydraulicka-soustruznicka-pro-frezovani-prodej-eshop>.
- [13] Flow Tech. *Mechanické upínače* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.flowtech.cz/vyrobniprogram/upinaci-pripravky/test/>.
- [14] LENAM. *Měřicí, zkušební a kontrolní přípravky* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.lenam.cz/konstrukce-cad/merici-zkusebni-a-kontrolni-pripravky/>.
- [15] Heaney, Joseph A., a další. DEVELOPMENT OF A NEW CAST AND WROUGHT ALLOY (RENE 65) FOR HIGH TEMPERATUR DISK APPLICATIONS [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: https://www.tms.org/Superalloys/10.7449/2014/Superalloys_2014_67_77.pdf
- [16] Metal SUPPLIERS ONLINE. *Super Alloy Rene 95* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.suppliersonline.com/propertypages/rene95.asp>.
- [17] Wikipedia. *Larson–Miller parameter* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Larson%E2%80%93Miller_parameter.
- [18] Kocián, Petr. *Obrábění materiálu typu Inconel 718*. Plzeň, 2012.

- [19] STEEL GRADES. *11600* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <http://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Structure-Steel/11600.html>.
- [20] Wikipedia. *CFM International LEAP* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CFM_International_LEAP.
- [21] MRO-Network.com. *Boeing Defends 737 MAX* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.mro-network.com/manufacturing-distribution/boeing-defends-737-max-information-handling>.
- [22] Wikipedia. *Dvouproudový motor* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudový_motor.
- [23] CFM International. *THE LEAP ENGINE* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/>.
- [24] Kipp. *Upínací systém nulového bodu UNI lock* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Klasik/Up%C3%ADnac%C3%AD-syst%C3%A9m-nulov%C3%A9ho-bodu.html>.
- [25] iDNES.cz. *Upínací systém nulového bodu VERO-S je spolehlivý a bezúdržbový* [Online]. [cit. 2019-02-3]. Dostupné z: https://sdeleni.idnes.cz/zpravy/upinaci-system-nuloveho-bodu-vero-s-je-spolehlivy-a-bezudrzbovy.A160930_121035_zpr_sdeleni_ahr.
- [26] SMC Industrial Automation. *Základy průmyslové automatizace*. Brno, 2019.
- [27] Festo. *Ventily VUVG* [Online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_VUVG?CurrentPartNo=574230.
- [28] Festo. *Kompaktní válec ADNGF, metrický* [Online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_ADNGF_1?CurrentPartNo=537123.
- [29] Festo. *Připojovací kabel NEBU* [Online] [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products__13137?CurrentPartNo=541333.
- [30] E-konstruktor. *Mechanické vlastnosti pevných látek* [Online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/mechanicke-vlastnosti-pevných-latek>.
- [31] Wikipedia. *Metoda konečných prvků* [Online] [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF.

12 Seznam obrázků

Obrázek 1: Logo společnosti Aerotech Peißenberg [2]	4
Obrázek 2: Logo společnosti Aerotech Czech [3].....	4
Obrázek 3: Šroubový strojný svěrák [6]	6
Obrázek 4: Otočný strojný svěrák [7]	6
Obrázek 5: Samostředící strojný svěrák [8]	6
Obrázek 6: Výstředníkový strojný svěrák [9]	7
Obrázek 7: Pneumatický strojný svěrák [10]	7
Obrázek 8: Lícni deska [11]	8
Obrázek 9: Univerzální sklíčidlo [12]	8
Obrázek 10: Stavebnicový přípravek – upínací [13].....	9
Obrázek 11: Kontrolní přípravek [14].....	10
Obrázek 12: Predikce použití slitiny Inconel 718 a moderních superslitin [15].....	12
Obrázek 13: Srovnání meze kluzu superslitin v závislosti na teplotě [15]	14
Obrázek 14: Srovnání meze pevnosti superslitin v závislosti na teplotě [15].....	15
Obrázek 15: Porovnání creepu do porušení slitiny Rene 65 s ostatními superslitinami [15] ..	16
Obrázek 16: Boeing 737 MAX [21].....	17
Obrázek 17: Popis leteckého motoru Leap X [23].....	18
Obrázek 18: Osový řez komponenty s rozměry a vyznačenými a označenými plochami, na kterých se měří rovinnost	20
Obrázek 19: Transportní bedna na komponentu	21
Obrázek 20: Pohled na měření komponenty na stávajícím přípravku na 3D měřícím stroji ...	22
Obrázek 21: Současný přípravek – řez.....	24
Obrázek 22: Současný stav - detail upínání komponenty	24
Obrázek 23: FEM – síť (modrá barva – POM, oranžová barva – mosaz (skrytá pod komponentou), zelená barva – ocel ČSN 11 523, červená – Rene 65)	25
Obrázek 24: Velikost posunutí - sestava	26
Obrázek 25: Velikost posunutí – základ přípravku	26
Obrázek 26: Velikost posunutí – komponenta	27
Obrázek 27: Princip pneumatické otočné upínky	30
Obrázek 28: Varianta B (Vysvětlivky ke skice: zelená barva – základní díl; červená barva – komponenta; modrá barva – pneumatická otočná upínka).....	30

Obrázek 29: Varianta druhá – první podvarianta C1 (Vysvětlivky ke skice: zelená barva – základní díl; fialová barva – pneumatický upínací válec s táhly; červená barva – komponenta; modrá barva – pneumatická válec s vedením pohybující se segmentem).....	31
Obrázek 30: Varianta druhá – druhá podvarianta C2 (Vysvětlivky ke skice: světle zelená barva – základní díl; fialová barva – pneumatický upínací válec s táhly; červená barva – komponenta; modrá barva – segment; tmavě zelená barva – vedení).....	32
Obrázek 31: Graf výběru varianty.....	34
Obrázek 32: Upínací systém s nulovým bodem [25]	35
Obrázek 33: Základ přípravku - spodní díl	36
Obrázek 34: Základ přípravku – vrchní díl	37
Obrázek 35: Detail upnutí komponenty	37
Obrázek 36: Polohování upínacích válců.....	39
Obrázek 37: Upínací válec s úhlovými lištami, jejich vedením špalíků s trny, naznačení pohybu upínacího válce a označení polohy válce písmeny A a B, podle která strana komponenty je upínána	39
Obrázek 38: Detail na spojení trnů se špalíky, drážky pro přenastavování trnů, kam je vtačována kulička a jsou označeny písmeny A a B, podle jaká strana komponenty je upnuta; plochy řezu jsou vyznačeny modře	40
Obrázek 39: Kde se nachází konstrukční celek upínacího válce v celkové sestavě.....	41
Obrázek 40: Segment s označenými drážkami písmeny A a B podle toho, jaká strana komponenty se s nimi upíná.....	41
Obrázek 41: Polohování válce pohybujícím se segmentem a jeho vedení.....	42
Obrázek 42: Nákrůžek - natočení všech válců najednou, připevnění pneumatického válce s drazem	43
Obrázek 43: Válec pro zvedání komponenty	44
Obrázek 44: Kde se nachází konstrukční celek válec pro zvedání komponenty v celkové sestavě	44
Obrázek 45: Přípravek – rozstřel.....	45
Obrázek 46: Přípravek - orientační rozměry	45
Obrázek 47: Pohled na hotový přípravek	46
Obrázek 48: Popis přípravku pro měření síly s vyznačeným částečným řezem (označen zelenou barvou)	47
Obrázek 49: FRL jednotka – skládá se z ručního spínače, filtru, regulátoru tlaku a ventilu s pomalým náběhem tlaku.....	50
Obrázek 50: Bistabilní elektromagnetický ventil 5/2 se schématem ventilu [27].....	52

Obrázek 51: Dvojčinný pneumatický válec s vedením a jeho schématická značka [28].....	53
Obrázek 52: Snímač polohy s volnými konci a jeho schématická značka s dvojčinným pneumatickým válcem [29].....	56
Obrázek 53: Fem – zasítování jednotlivých dílů (oranžová barva – mosaz (schováno pod červenou sítí), zelená barva – ocel, červená barva – Rene 65), zároveň je zde znázorněn souřadný systém, který platí pro všechny ostatní obrázky	57
Obrázek 54: Sim – spojení dílů pomocí Surface-to-Surface Contact	59
Obrázek 55: Sim – definování všech vnějších zatížení a odebrání všech stupňů volnosti	59
Obrázek 56: Přípravek– deformace ve směru osy Z	60
Obrázek 57: Velikost deformace základu přípravku ve směru osy Z	61
Obrázek 58: Velikost deformace komponenty ve směru osy Z	62
Obrázek 59: Trny - Napětí Von-Mises.....	63
Obrázek 60: Graf ekonomické návratnosti - při kolika změřených komponentách dojde k navrácení nákladů vynaložených na výrobu nového přípravku	66
Obrázek 61: Přípravek na měření síly – orientační rozměry.....	75
Obrázek 62: Celkový pohled na přípravek na měření síly	75
Obrázek 63: FEM - síť (zelená barva ocel S355J0 (ČSN 11 523)), Souřadný systém je shodný pro všechny ostatní obrázky	77
Obrázek 64: SIM - nastavení kontaktů.....	77
Obrázek 65: SIM - definování sil a okrajových podmínek	78
Obrázek 66: Přípravek – defomace v ose Z	79
Obrázek 67: Mitsubishi AL2-14MR-D alpha	83
Obrázek 68: Program pro upnutí druhé strany (B) komponenty.....	84
Obrázek 69: Program pro upnutí první strany (A) komponenty	84

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemické složení superslitin [15].....	14
Tabulka 2: Vybrané mechanické vlastnosti slitiny Rene 65 [16].....	14
Tabulka 3: Srovnání vybraných mechanických vlastností oceli 11 600 se superslitinami [16]; [18]; [19]	16
Tabulka 4: Tabulka výhodnosti jednotlivých variant.....	33
Tabulka 5: Zhodnocení splnění požadavků.....	48
Tabulka 6: Pneumatické válce použité pro přípravek	54
Tabulka 7: Mechanické vlastnosti použitých materiálů [30]	57

Tabulka 8: Celkové náklady	64
Tabulka 9: Čas programu a úspora času za měsíc	65
Tabulka 10: Srovnání vedlejších časů a nákladů při upínání	65
Tabulka 11: Ekonomická návratnost a jednotlivé úspory	66

14 Přílohy

Příloha č. 1: CAD model přípravku na měření síly a tuhostní výpočet

Příloha č. 2: Schéma zapojení pneumatických prvků

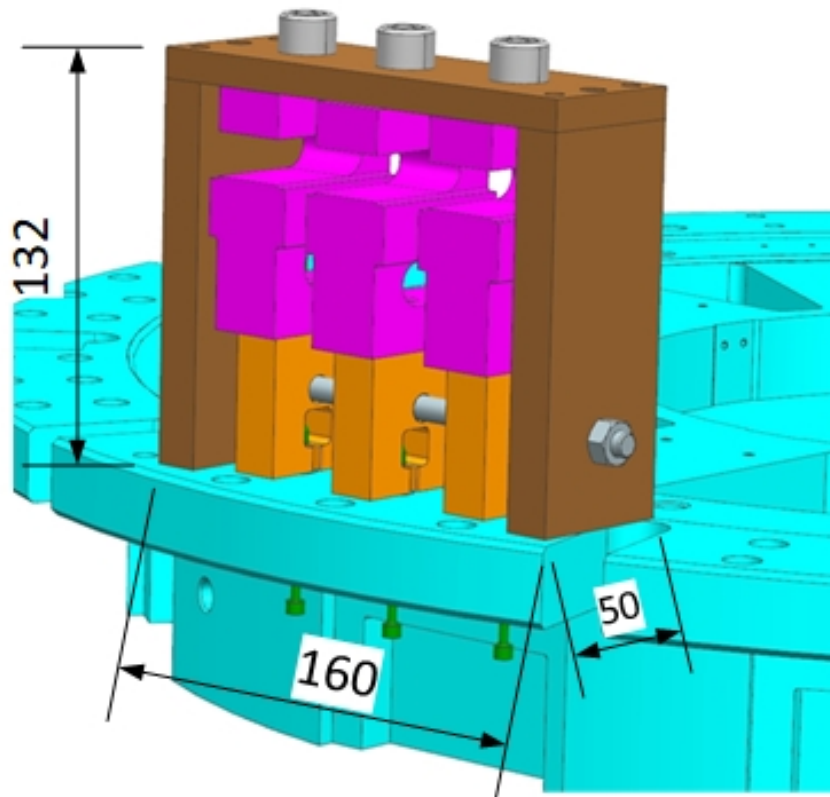
Příloha č. 3: PLC – popis a program

Příloha č. 4: Výkresová dokumentace přípravku

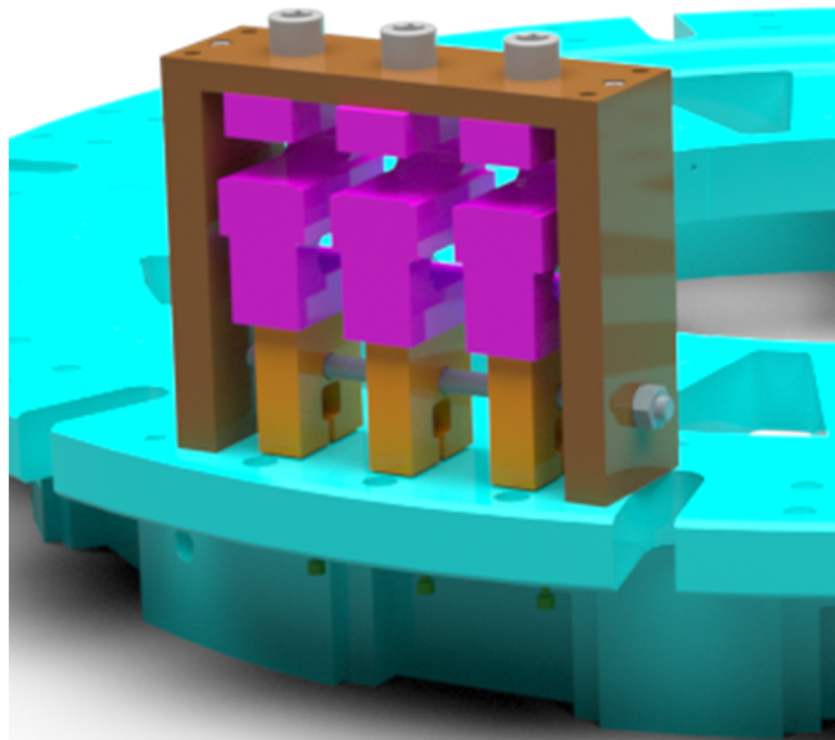
Příloha č. 1

CAD model přípravku na měření síly a tuhostní výpočet

7.8 Přípravek na měření síly – celkový pohled



Obrázek 61: Přípravek na měření síly – orientační rozměry



Obrázek 62: Celkový pohled na přípravek na měření síly

7.8 Přípravek na měření síly – simulace zatížení

7.8.1 Síťový model

Nejprve bylo provedeno zjednodušení modelu v idealizovaném partu. To zahrnovalo odstranění nepotřebných prvků ze sestavy a dále pak zbytečných prvků pro výpočet, které by zhoršovaly zasítování jednotlivých součástí a tím ztěžovaly výpočet.

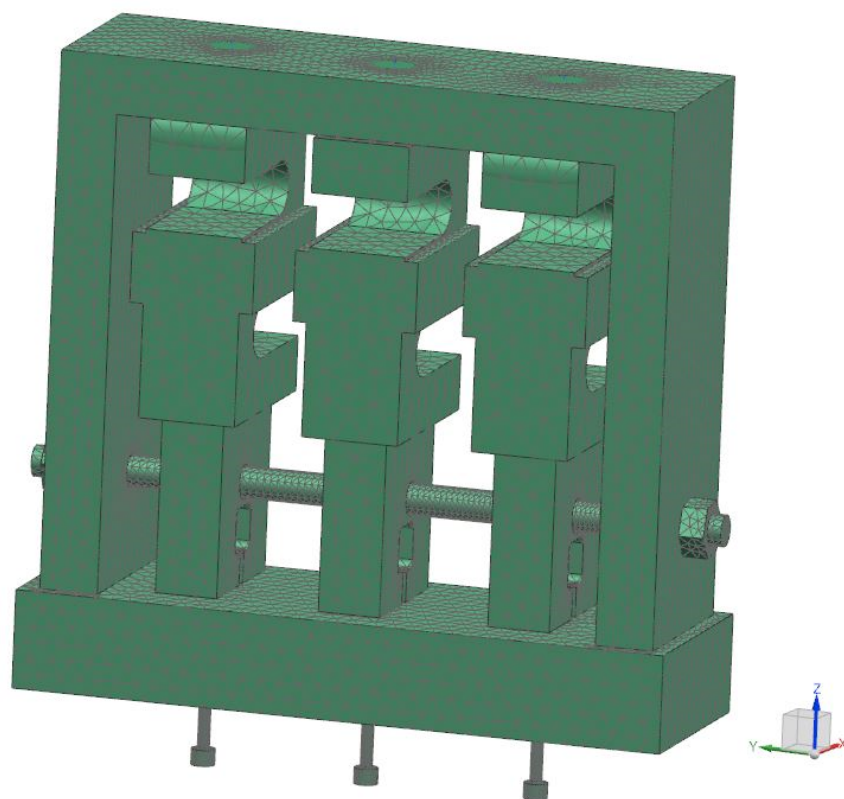
Po zjednodušení modelu v idealizovaném partu bylo provedeno zasítování jednotlivých dílů, ze kterých je přípravek složen. Zasítování proběhlo ve FEM partu. Na zasítování jednotlivých dílů byla použita 3D Tetrahedral síť s meziuzly pro díly, kde jsem chtěl přesné hodnoty napětí a deformací a bez meziuzlů u dílů, kde jsem nepotřeboval znát přesné hodnoty. Síť byla v místech, kde byla použita metoda Surface-to-Surface Contact pro spojení dvou dílů nebo v místech, kde jsme potřebovali dosáhnout hodně přesných výsledků, zjemněna. Tím se dosáhlo kvalitnějších a přesnějších výsledků. Dále ve FEM partu došlo také ke spojení některých dílů pomocí funkce Mash mating, konkrétně Glue-coincident. Jednou z nejdůležitějších věcí, která byla provedena ve FEM partu, bylo nadefinování materiálu pro jednotlivé síťe a tím jednotlivým dílům. Byl použit jediný materiál, kterým je Ocel S355J0 (ČSN 11 523). Kompletně zasítovaný model přípravku je vidět na obrázku (Obrázek 63).

V SIM partu pak došlo k nadefinování okrajových podmínek, které budou popsány v další kapitole a k nadefinování kontaktů. Definování kontaktu bylo provedeno pomocí funkce Surface-to-Surface Contact. Tato funkce byla použita u spojení dvou dílů, které se mohou po sobě pohybovat. Pro snazší definování kontaktu a pro jeho lepší případnou editaci byla použita funkce Region, kde došlo k nadefinování ploch, které se mají účastnit kontaktu. U kontaktu mezi plochami bylo uvažované tření. To bylo uvažované všude stejné a jeho hodnota byla 0,1. K definování kontaktu došlo mezi deskou a stojinami, mezi trny a úchyty a poslední kontakt byl mezi deskou spojující stojiny a siloměry. Definování těchto kontaktů je vidět na obrázku (Obrázek 64).

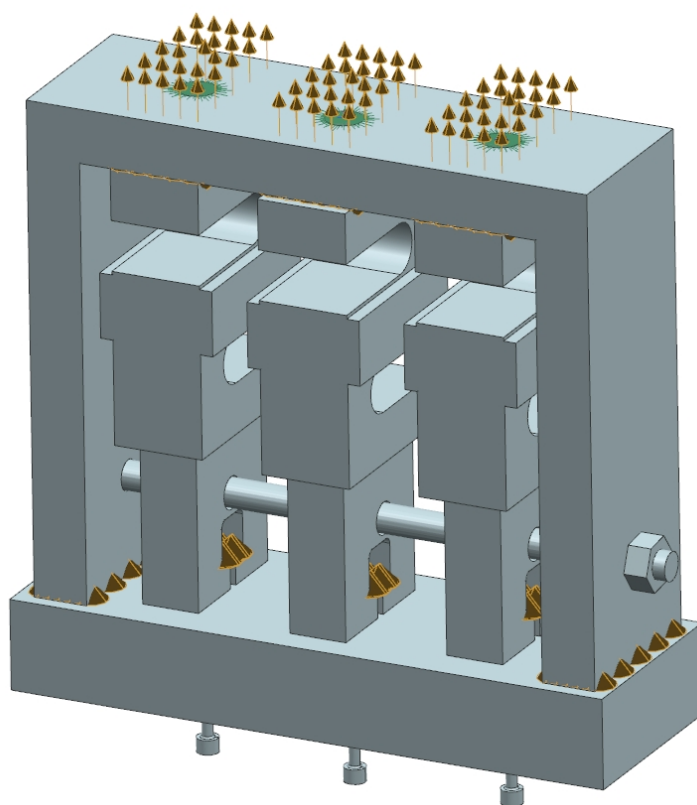
7.8.2 Okrajové podmínky

Definování okrajových podmínek spočívá v nadefinování vnějších silových účinků a odebrání všech stupňů volnosti, aby byl přípravek staticky určitý. Byly použity jen dva druhy vnějších silových účinků, mezi které patří síla a gravitace. Síla byla nadefinována pomocí funkce Load a byla umístěna na plochy trnů. Tento silový účinek nahrazuje pneumatický válec a na každý trn působí 1 kN. Druhý silový účinek je gravitace, která byla definována funkcí Gravity. Tato funkce zohledňuje tíhy jednotlivých dílů přípravku. Všechny silové účinky jsou vidět na obrázku (Obrázek 65).

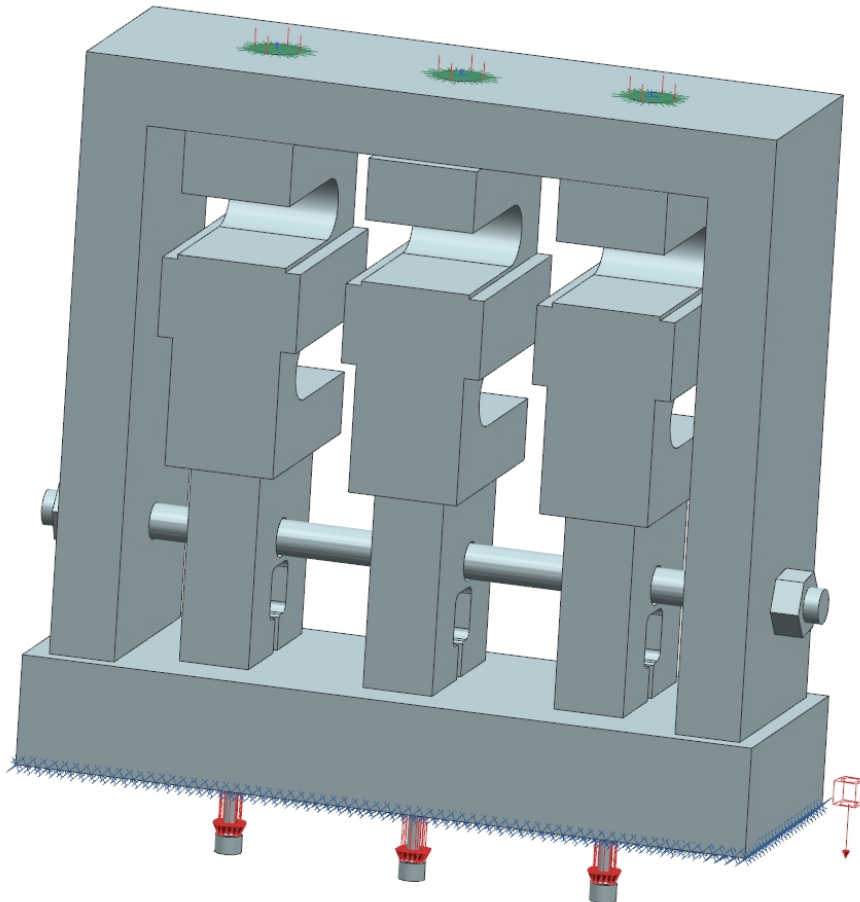
Odebrání všech stupňů volnosti bylo provedeno pomocí funkce Fixed constraint. Tato funkce byla aplikována na desku nahrazující vrchní díl základu přípravku, kterým byly odebrány všechny stupně volnosti. Je to vidět na obrázku (Obrázek 65).



Obrázek 63: FEM - síť (zelená barva ocel S355J0 (ČSN 11 523)), Souřadný systém je shodný pro všechny ostatní obrázky



Obrázek 64: SIM - nastavení kontaktů

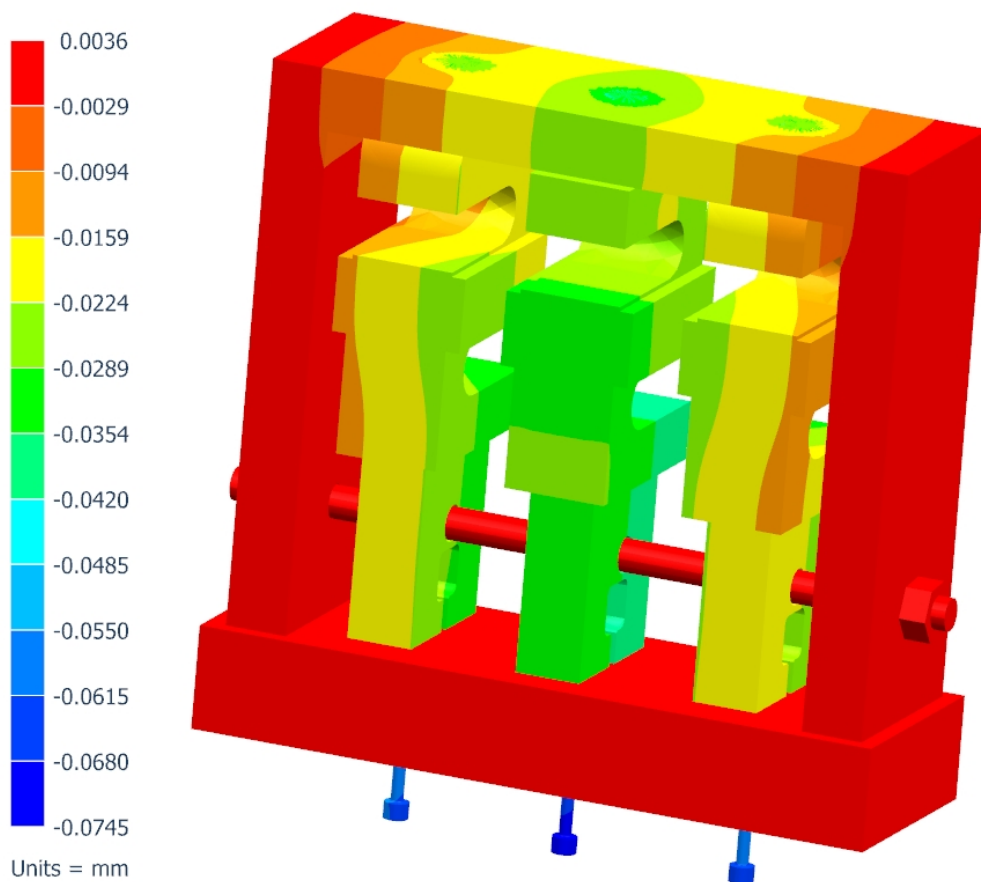


Obrázek 65: SIM - definování sil a okrajových podmínek

7.8.2 Výsledky simulace

Výpočet byl zejména hodnocen jako tuhostní úloha, pro kterou jsou nejdůležitější deformace. To zejména z důvodu, že při měření síly siloměry potřebujeme, aby konstrukce nesoucí siloměry byla co nejtužší a deformovaly se, pokud možno, jen siloměry. Druhým cílem pak byl pevnostní výpočet, kde největší napětí vyšlo u trnů, což se dalo předpokládat a ostatní součásti nemá cenu řešit z důvodu malých napětí. Trny však už byly kontrolovány při výpočtu kontrolního přípravku, takže v rámci tohoto výpočtu už to není třeba.

Na obrázku (Obrázek 66) je pohled na deformaci celého přípravku. Maximální deformace vyšla 0,08 mm u trnů. Tato deformace je způsobená silou v ose Z a dochází k prodloužení trnů. Deformace desky, její prohnutí, spojovací stojiny je kolem 0,02 mm, což je přijatelná hodnota.



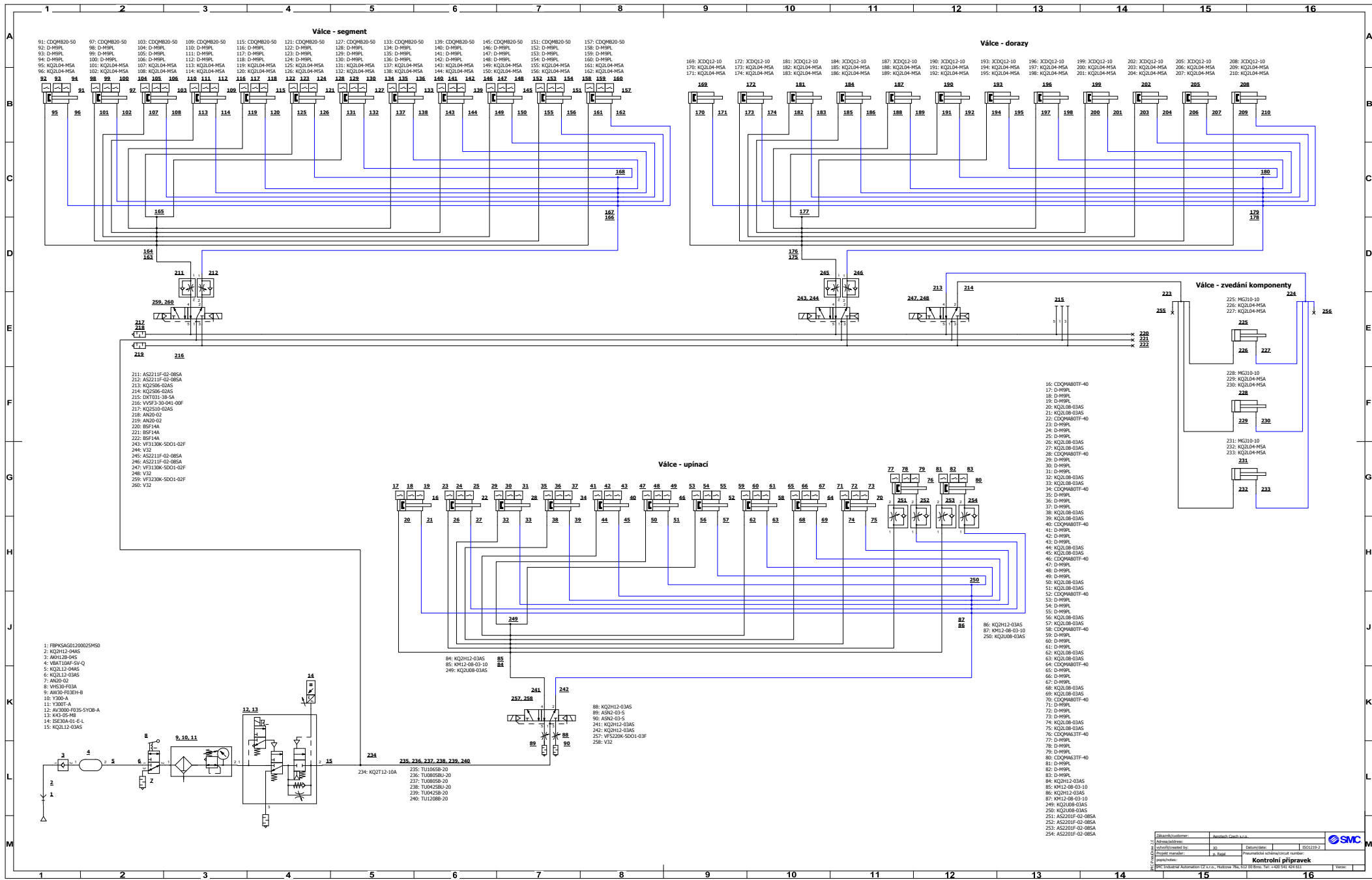
Obrázek 66: Přípravek – defomace v ose Z

Příloha č. 2

Schéma zapojení pneumatických prvků

Samostatně vložený výkresový list:

- Schéma zapojení – název: Kontrolní přípravek



- 1: FBPKSAG0120005450
- 2: KQ2H12-03AS
- 3: AN12B-03AS
- 4: VBAT10AF-2V-Q
- 5: KQ2L12-03AS
- 6: KQ2L12-03AS
- 7: AN20-02
- 8: VWS20-F03A
- 9: AV330-F03EH-B
- 10: Y300-A
- 11: Y3001-A
- 12: AV330-F03S-FY0B-A
- 13: K43-05-M8
- 14: KS2M401-E-L
- 15: KQ2L12-03AS

- 211: AS2211F-02-0BSA
- 212: AS2211F-02-0BSA
- 213: KQ2506-02AS
- 214: KQ2506-02AS
- 215: DT1031-3B-SA
- 216: VWSF3-30-041-00F
- 217: KQ2510-02AS
- 218: AN20-02
- 219: AN20-02
- 220: BSF14A
- 221: BSF14A
- 222: BSF14A
- 243: VF3130K-SD01-02F
- 244: V2
- 245: AS2211F-02-0BSA
- 246: AS2211F-02-0BSA
- 247: VF3130K-SD01-02F
- 248: V32
- 259: VF3230K-SD01-02F
- 260: V32

- 84: KQ2H12-03AS
- 85: KM12-08-03-10
- 249: KQ2U08-03AS
- 86: KQ2H12-03AS
- 87: KM12-08-03-10
- 250: KQ2U08-03AS
- 88: KQ2H12-03AS
- 89: ASN2-03-S
- 241: KQ2H12-03AS
- 242: KQ2H12-03AS
- 257: VWS20K-SD01-03F
- 258: V32

- 234: KQ2T12-10A
- 235: TU10058-20
- 236: TU10058U-20
- 237: TU10068-20
- 238: TU10258U-20
- 239: TU10258-20
- 240: TU12088-20

Objekt/území:	Asimtech, Česká z.s. a.
Objekt/území číslo:	JK
Objekt/území datum:	02/2019 2
Projekt/území:	As. Řepná
Projekt/území číslo:	
Projekt/území datum:	
Kontrolní přípravek	
<small>SMC Industrial Automation Co., Ltd., Nakagawa-ku, 612-8588, Osaka, JAPAN. Tel: +81 545 524 611</small>	

Příloha č. 3

PLC – popis a program

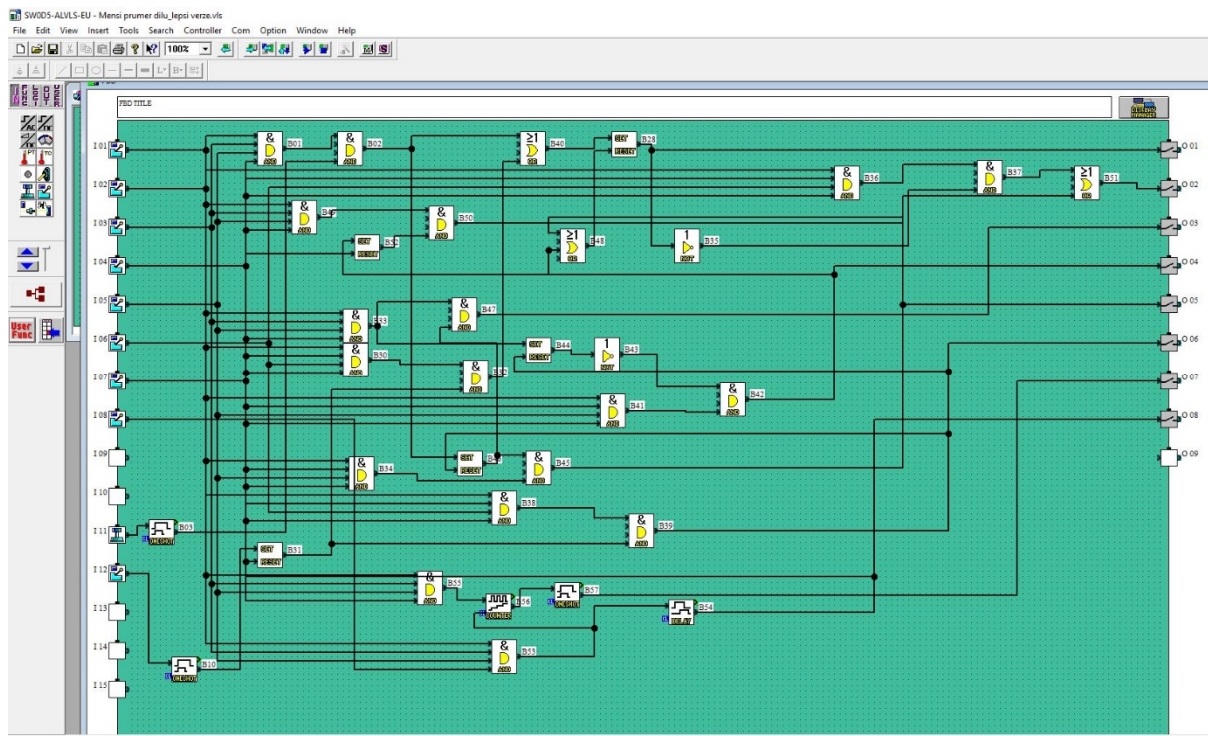
PLC – popis a program

PLC slouží pro řízení pneumatických válců tím, že ovládá pneumatické ventily, které pak do příslušných pneumatických válců pouští vzduch a tím realizují jejich pohyb. Na přípravku se nachází čtyři skupiny pneumatických válců, které budou osazeny snímači polohy, aby PLC dostávalo informace, že daný válec je v požadované poloze a může vyslat signál pro pohyb dalších válců. U některých válců nebudou potřeba snímače. V tomto případě se nadefinuje PLC zařízení, že má určitý čas počkat a pak dát impuls pro vysunutí dalších válců. Celkem bude třeba 8 digitálních vstupů a 4 výstupy. Pro tyto účely byl vybrán typ PLC od Mitsubishi: Mitsubishi AL2-14MR-D alpha. Tento typ je na obrázku (Obrázek 67).

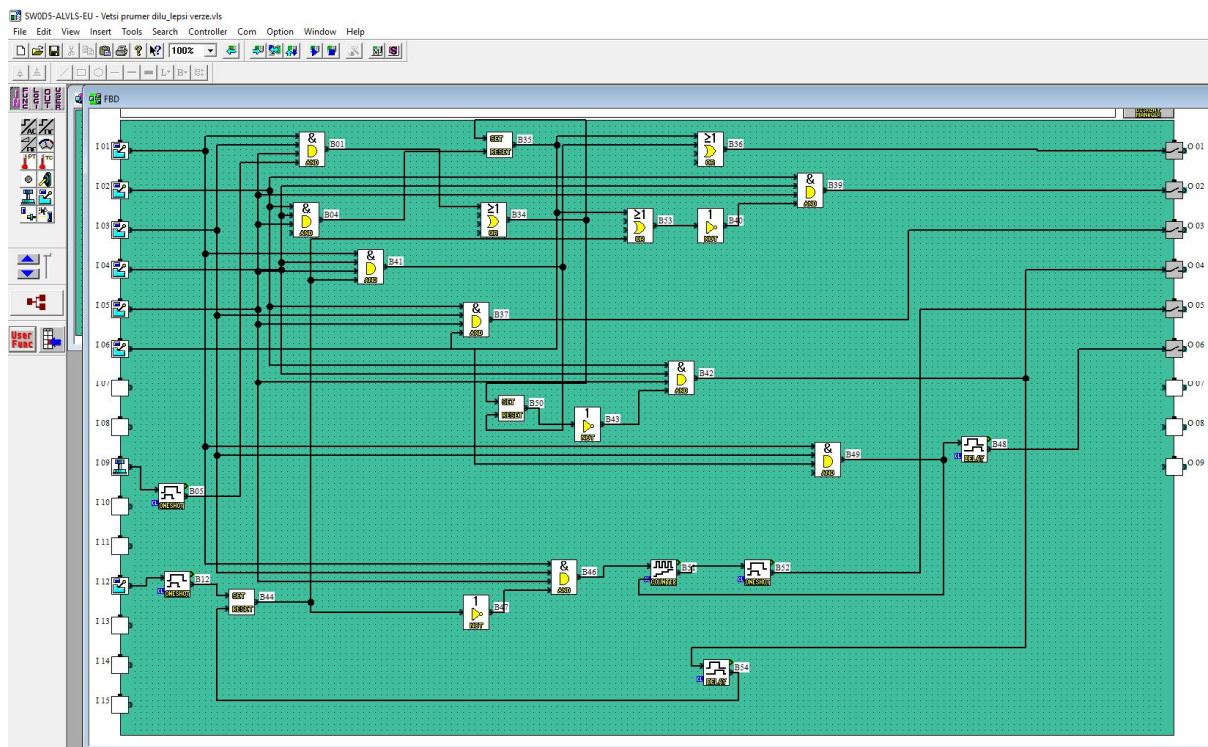


Obrázek 67: Mitsubishi AL2-14MR-D alpha

Byly vytvořeny dva programy, jeden pro upnutí komponenty strany A a druhý z druhé strany B. Byl k tomu využit program Alpha programming. Na tvorbu programu byly využity snímače jako vstupy, spínače jako výstupy, které spínaly ventily při splnění určité podmínky. Dále pak byly použity logické funkce jako AND, OR nebo NOT a pak byly využity různé funkce jako například Delay, kdy PLC posílá další impuls až po určitém nastaveném čase, Counter, Oneshot a další. Při splnění dané kombinace vstupů dojde k sepnutí požadovaného výstupu a tím vykonání určitého pohybu pneumatických válců. Na následujících dvou obrázcích jsou znázorněny programy. Na obrázku (Obrázek 68) je program pro upnutí komponenty z druhé strany (B) a na obrázku (Obrázek 69) je program pro upnutí první strany (A) komponenty.



Obrázek 68: Program pro upnutí druhé strany (B) komponenty



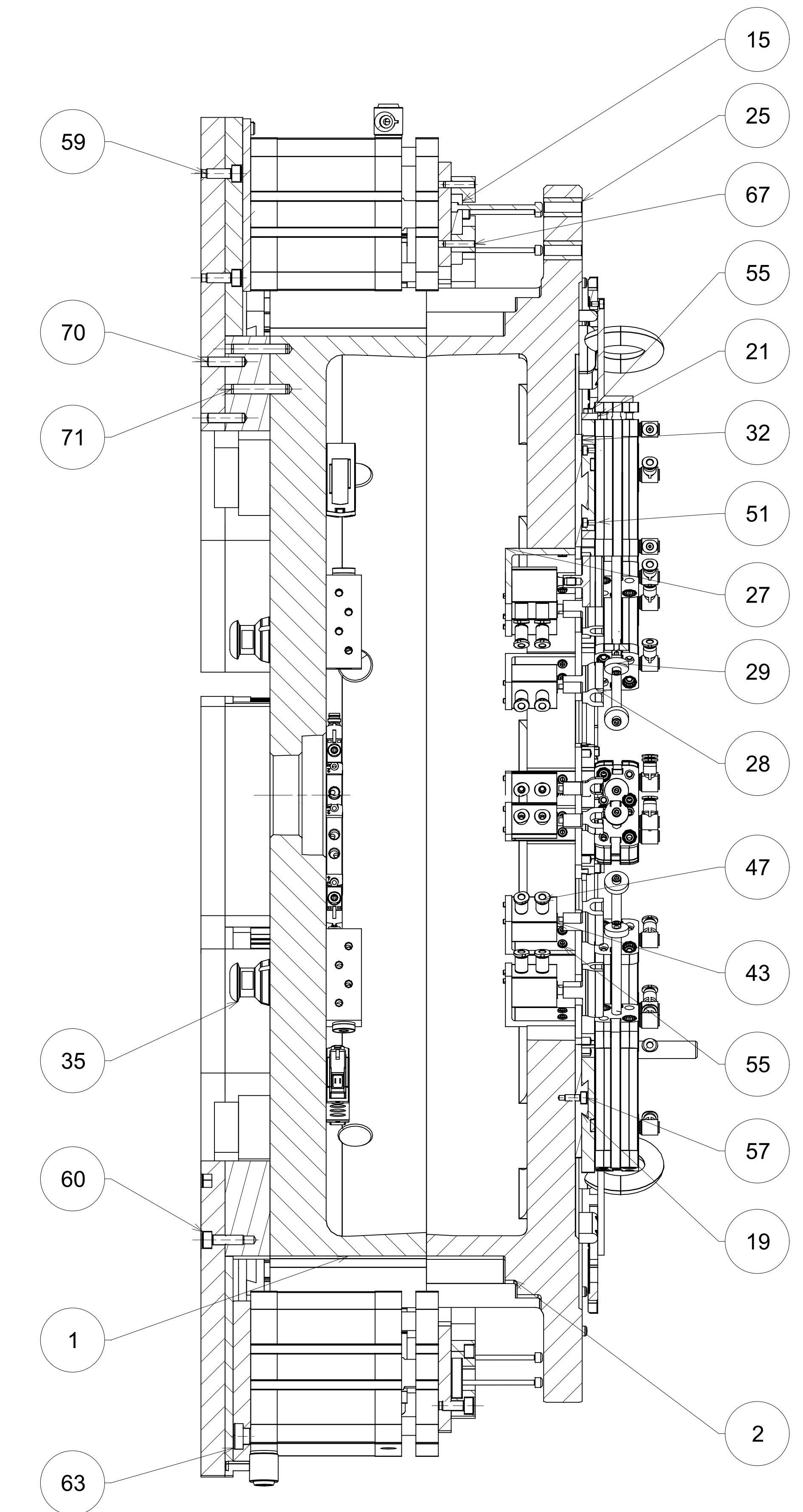
Obrázek 69: Program pro upnutí první strany (A) komponenty

Příloha č. 4

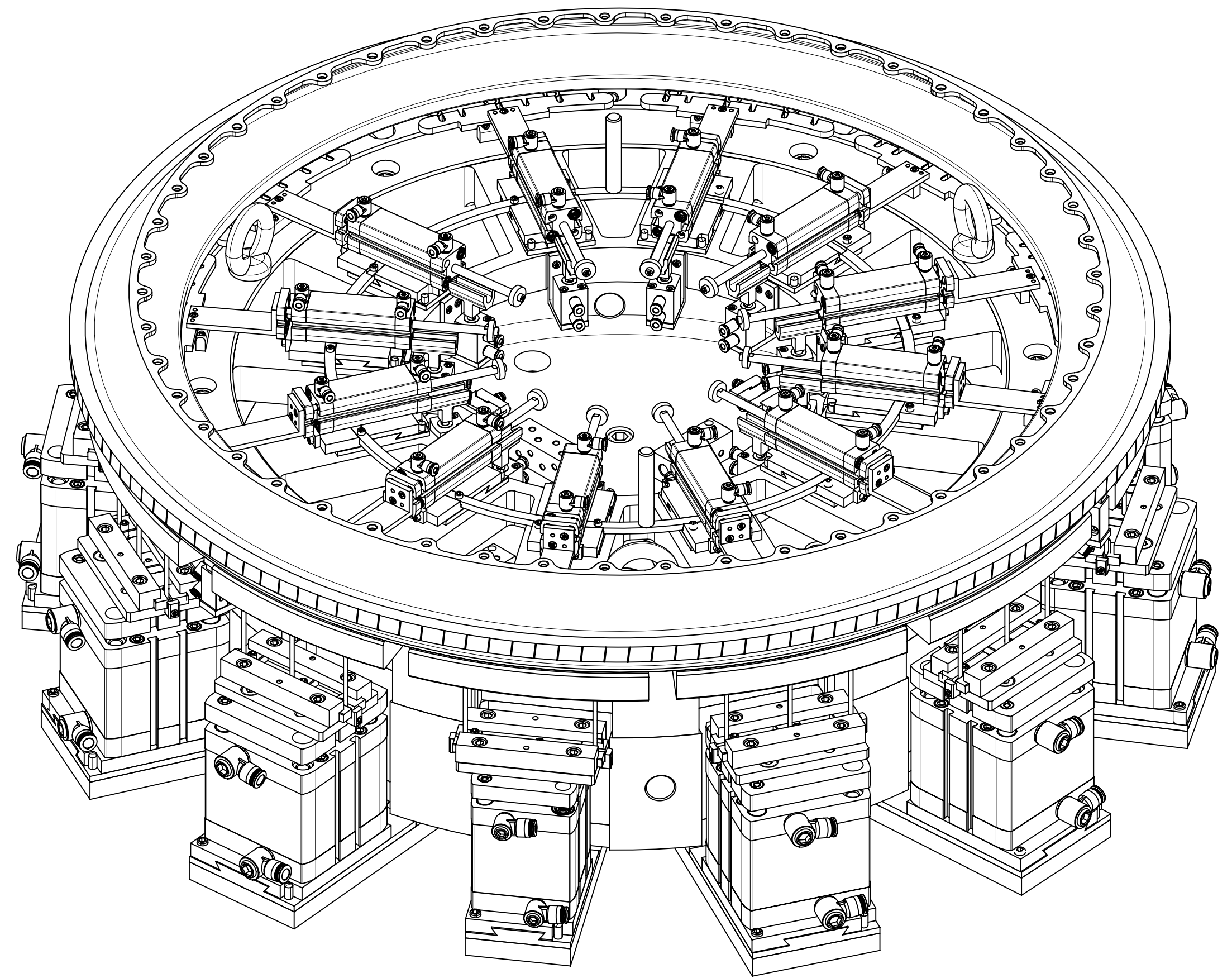
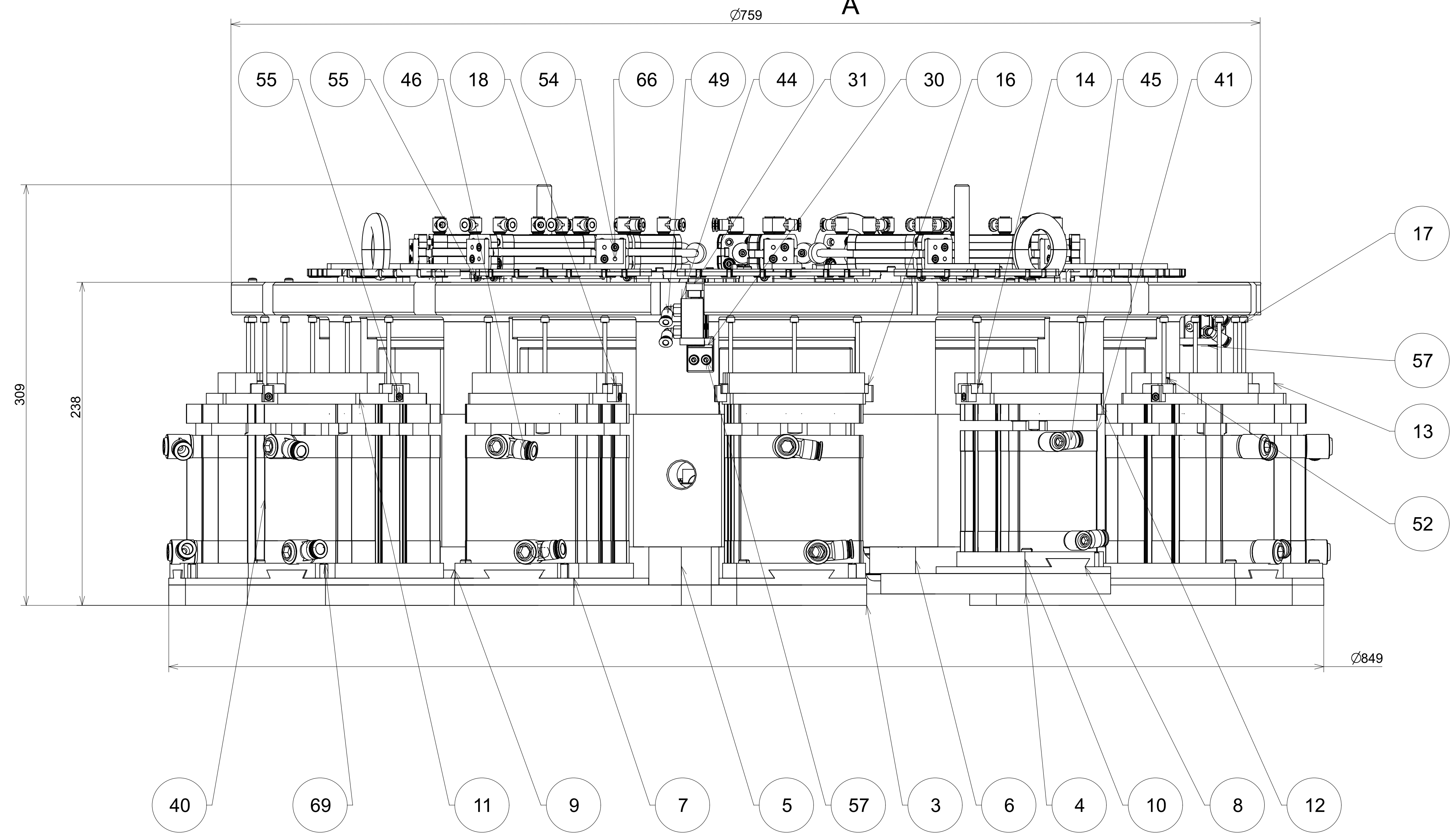
Výkresová dokumentace přípravku

Samostatně vložené výkresové listy:

- Výrobní výkres – č. v.: DP KKS 19-01
- Sestava kontrolního přípravku – č. v.: DP KKS 19-00
- Kusovník – č. v.: DP KKS 19-00-K-1; DP KKS 19-00-K-2; DP KKS 19-00-K-3



A-A
(1:2)



(1:3)

Montáž provést dle návody
Tlak pro pneumatické válce je 0,75 MPa

Datum / Date: 17.4.2019		Jméno / Name: Pavel Řepal		Projekt / Project: FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PILENĚ	
Provedení / Execution: 01_P001_Přuvorrichtung_dwg_zou_r22fko		Číslo / No: 300.00		Měřítko / Scale: 1:2	
Stav / Status: 01_P001_Přuvorrichtung_dwg_zou_r22fko		Cena / Price: 300.00		Formát: A0	
Název / Title: Kontrolní přípravek		0 DP KKS 19-00		1	

4

3

2

1

KUSOVNÍK

POZ.	NÁZEV	VÝKRES/NORMA	KS	HMOT
1	Základ - spodek	DP KKS 19-01	1	97,5
2	Základ - vršek	DP KKS 19-02	1	87,5
3	Základ - deska 80	DP KKS 19-03	10	2,2
4	Základ - deska 63	DP KKS 19-04	2	1,6
5	Distanční deska 80	DP KKS 19-05	10	1,2
6	Distanční deska 63	DP KKS 19-06	2	0,8
7	Rybinové vedení - spodek 80	DP KKS 19-07	10	0,8
8	Rybinové vedení - spodek 63	DP KKS 19-08	2	0,5
9	Rybinové vedení - vršek 80	DP KKS 19-09	10	0,6
10	Rybinové vedení - vršek 63	DP KKS 19-10	2	0,4
11	Deska válec 80	DP KKS 19-11	10	0,4
12	Deska válec 63	DP KKS 19-12	2	0,3
13	Uhloválišta	DP KKS 19-13	24	0,15
14	Blok levý - trn	DP KKS 19-14	12	0,02
15	Blok střed - trn	DP KKS 19-15	12	0,02
16	Blok pravý - trn	DP KKS 19-16	12	0,02
17	Trn	DP KKS 19-17	34	0,005
18	L-zarážka - trn	DP KKS 19-18	24	0,002
19	Rot. rybinové vedení - spodek	DP KKS 19-19	12	0,05
20	Rot. rybinové vedení - vršek	DP KKS 19-20	12	0,07
21	Deska - pozice válec segment	DP KKS 19-21	12	0,004
22	L-profil segment	DP KKS 19-22	12	0,02
23	Segment	DP KKS 19-23	12	0,1
24	Podpora - vedení segment	DP KKS 19-24	12	0,003
25	Plisatové vedení	DP KKS 19-25	68	0,003
26	Poziční kolík	DP KKS 19-26	6	0,002
27	L-profil válec doraz	DP KKS 19-27	12	0,019

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	22.4.2019	Pavel Rajal		
Prezkoušel / Checked by				
Schválil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature



FAKULTA STROJNI
ZAPADOČESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved

Poznamka / Note:

 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file 01_Stuckliste	Projekt / Project: C.sestavy / Assembly No. C.hmot.sestavy	DP KKS 19-00 300,00	Meritko / Scale A4
	Soubor-vykres / DRW-file 01_Stuckliste	Rev. 0	Cislo vykresu / Drawing No. DP KKS 19-00-K	
Nazev / Title Kusovník		List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 3	

4

3

2

1

4



3

2

1

KUSOVNÍK

POZ.	NÁZEV	VÝKRES/NORMA	KS	HMOT
28	Doraz	DP KKS 19-28	12	0,01
29	Podložka - pístnice	DP KKS 19-29	12	0,005
30	L-profil zvedací válec	DP KKS 19-30	3	0,02
31	Deska - zvedací válec	DP KKS 19-31	3	0,003
32	Kolík - válec segment	DP KKS 19-32	24	0,002
33	Nákržek	DP KKS 19-33	1	0,3
34	Rukojeť	DP KKS 19-34	2	0,02
35	Čepy - upínací systém	Nakupované	4	0,1
36	Magnetický ventil - L10	Nakupované	1	0,05
37	Magnetický ventil - L14	Nakupované	1	0,08
38	Magnetický ventil - L18	Nakupované	2	0,16
39	Rozdělovací blok	Nakupované	6	0,2
40	Kompaktní válec 80-40	Nakupované	10	1,7
41	Kompaktní válec 63-40	Nakupované	2	0,9
42	Kompaktní válec 12-50	Nakupované	12	0,15
43	Kompaktní válec 12-10	Nakupované	12	0,09
44	Kompaktní válec 10-10	Nakupované	3	0,07
45	Nástrčná šroubení G1/8 - 6	Nakupované	4	0,006
46	Nástrčná šroubení G1/8 - 8	Nakupované	20	0,01
47	Nástrčná šroubení M5 - přímé	Nakupované	24	0,4
48	Nástrčná šroubení M5 - kolmé	Nakupované	24	0,4
49	Nástrčná šroubení M3	Nakupované	6	0,2
50	Šroub s okem M12	DIN 580	3	0,1
51	T-matice M3	Nakupované	24	0,005
52	Šroub s pružinou a kuličkou M6x12	Nakupované	48	0,009

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved</small></p>	
Kreslil / Drawn by	22.4.2019		Pavel Rajal			
Prezkoušel / Checked by						
Schválil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:	
 <p>Tolerance / Tolerovani</p> <p>ISO 128</p> <p>ISO 8015 ISO 2768mK</p>	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale	
	01_Stuckliste		C.sestavy / Assembly No.			
	Soubor-vykres / DRW-file		DP KKS 19-00			
01_Stuckliste		C.hmot.sestavy		300,00		
Nazev / Title			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.		Format
Kusovník			0	DP KKS 19-00-K		A4
			List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets	3

4

3

2

1

4



3

2

1

KUSOVNÍK

POZ.	NÁZEV	VÝKRES/NORMA	KS	HMOT
53	Šroub s pružinou a kuličkou M8x16	Nakupované	12	0,012
54	Šroub s válcovou hlavou M3x5	DIN912	54	0,001
55	Šroub s válcovou hlavou M3x10	DIN912	132	0,002
56	Šroub s válcovou hlavou M3x30	DIN912	24	0,004
57	Šroub s válcovou hlavou M4x10	DIN912	36	0,004
58	Šroub s válcovou hlavou M5x12	DIN912	4	0,006
59	Šroub s válcovou hlavou M6x14	DIN912	64	0,007
60	Šroub s válcovou hlavou M6x20	DIN912	48	0,008
61	Šroub s válcovou hlavou M6x30	DIN912	30	0,01
62	Šroub s válcovou hlavou M8x16	DIN7984	24	0,017
63	Šroub s válcovou hlavou M10x16	DIN7984	20	0,02
64	Šroub s válcovou hlavou M12x30	DIN912	4	0,024
65	Šroub s válcovou hlavou M12x90	DIN912	6	0,085
65	Válcový kolík 3x8	ISO2338	48	0,001
66	Válcový kolík 4x20	DIN6325	24	0,003
67	Válcový kolík 5x10	DIN6325	48	0,003
69	Válcový kolík 6x16	DIN6325	36	0,005
70	Válcový kolík 6x24	DIN6325	24	0,006
71	Válcový kolík 6x35	ISO2338	24	0,007
72	Válcový kolík 12x50	ISO2338	2	0,034

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved</small></p>		
Kreslil / Drawn by	22.4.2019		Pavel Rajal				
Prezkoušel / Checked by							
Schválil / Approved by							
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:		
 <p>ISO 128</p>	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project: C.sestavy / Assembly No. C.hmot.sestavy	Meritko / Scale	
	ISO 8015	01_Stuckliste					DP KKS 19-00
	ISO 2768mK	Soubor-vykres / DRW-file					300,00
Název / Title				Rev.	Císlo vykresu / Drawing No.	Format	
Kusovník				0	DP KKS 19-00-K	A4	
				List / sheet no.	3	Pocet listu / sheets	3

4

3

2

1