

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukce přípravku na díly pro letecký průmysl

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

Akademický rok 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel RAJAL**

Osobní číslo: **S14B0224P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

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

Název tématu: **Konstrukce přípravku na díly pro letecký průmysl**

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: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

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

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

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2016

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské 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., u které jsem měl možnost svou bakalářskou práci vypracovat.

Pavel Rajal

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Autor</b>	<b>Příjmení</b> Rajal	<b>Jméno</b> Pavel		
<b>Studijní obor</b>	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
<b>Vedoucí práce</b>	<b>Příjmení</b> Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	<b>Jméno</b> Jan		
<b>Pracoviště</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>Druh práce</b>	<del>DIPLOMOVÁ</del>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>Název práce</b>	Konstrukce přípravku na díly pro letecký průmysl			

<b>Fakulta</b>	strojní		<b>Katedra</b>	KKS		<b>ROK ODEVZD.</b>	2017
----------------	---------	--	----------------	-----	--	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>Celkem</b>	68		<b>Textová část</b>	58		<b>Grafická část</b>	10
---------------	----	--	---------------------	----	--	----------------------	----

<p><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce je zaměřena na konstrukci přípravku pro ruční odjehlování dílů. Práce obsahuje stručný popis materiálu Inconel 718, ze kterého jsou odjehlované díly vyrobeny. Dále se v práci nachází stručný popis výroby odjehlovaných dílů. Další kapitolou je ergonomický pohled na zámečnické pracoviště, kde dochází k odjehlování komponent. V hlavní části práce je řešena samotná konstrukce přípravku a simulace zatížení. Model i simulace zatížení je provedeno pomocí softwaru Siemens NX.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Přípravek, konstrukce, odjehlovaná komponenta, upínání, Inconel 718, odjehlování, sw NX a Inventor</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Rajal	<b>Name</b> Pavel	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname</b> Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	<b>Name</b> Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Construction of the jig for the aerospace industry parts		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 a eg. A4)

<b>TOTALLY</b>	68	<b>TEXT PART</b>	58	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Bachelor thesis is focused on the construction of the preparation for deburring part. The thesis contains a brief introduction about the material Inconel 718, which is material for production of deburring part. Further chapter is ergonomic view on workplace. The construction of the preparation and the simulation of load is solved in the rest of the thesis. Model and the simulation of load were made in software Siemens NX and Inventor.
<b>KEY WORDS</b>	Preparation, construction, deburring part, design, clamping, Inconel 718, deburring, sw NX and Inventor

## **Obsah**

1	Úvod .....	7
2	Materiál komponenty určené pro letecký průmysl .....	8
2.1	Inconel .....	8
2.1.1	Druhy Inconelů .....	8
2.1.2	Inconel 718 .....	9
2.1.2.1	Typické mechanické vlastnosti.....	10
2.1.3	Srovnání s ocelí.....	12
3	Komponenty obráběné společností Aerotech Czech s. r. o. ....	14
3.1	Motor Pratt & Whitney PW1000G .....	14
3.2	Technologický postup výroby komponent .....	15
3.3	Manipulace s komponenty .....	21
4	Stávající způsob odjehlování komponent .....	23
5	Ergonomický pohled na zámečnické pracoviště .....	24
5.1.1	Stávající způsob .....	25
5.1.2	Přípravek.....	25
6	Konstrukce přípravku .....	26
6.1	Kritéria návrhu .....	26
6.2	Jednotlivé díly přípravku.....	27
6.2.1	Nosný díl.....	27
6.2.2	Upnutí komponenty .....	28
6.2.3	Možnosti upnutí komponent .....	29
6.2.4	Výběr varianty .....	33
6.2.5	Otočný čep.....	35
6.2.6	Polohování komponenty .....	36
6.2.6.1	Princip upínací jednotky a její upevnění .....	37
6.2.6.2	Pevná ložisková jednotka .....	39
6.3	Upnutí přípravku.....	42
7	Simulace zatížení.....	43
7.1	Síťový model .....	43



7.2	Okrajové podmínky.....	44
7.3	Výsledky simulace.....	46
8	Výrobní náklady .....	50
9	Závěr.....	52
10	Citovaná literatura.....	53
11	Seznam obrázků .....	54
12	Seznam tabulek .....	55

## **1 Úvod**

Neustálý rozvoj strojírenství a techniky 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. 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 při 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.

Cílem bakalářské práce je zkonstruovat přípravek pro ruční odjehlování komponent z materiálu Inconelu 718. V rámci konstrukce přípravku jsou navrženy čtyři varianty na upnutí komponent. Všechny varianty jsou založeny na mechanickém 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, upínací síla mechanismu, složitost konstrukce, náročnost pro obsluhu a náklady z ekonomického hlediska. Nejvhodnější varianta je aplikována při konstrukci přípravku.

V úvodu bakalářské práce je popsán materiál Inconel 718, ze kterého jsou komponenty vyrobeny. Dále jsou porovnány mechanické vlastnosti zmíněného materiálu s jedním z nejběžnějších materiálů ve strojírenství, kterým je konstrukční ocel ČSN 11 600.

V druhé části je popsána výroba komponent a jejich manipulace ve společnosti Aerotech Czech s. r. o. Také je zde věnována pozornost ergonomickému uspořádání zámečnického pracoviště tak, aby zkonstruovaný přípravek byl vhodně začleněn na zmíněné pracoviště.

V poslední a hlavní části bakalářské práce je popsána konstrukce přípravku, výběr nejvhodnější varianty upnutí komponenty, simulace zatížení přípravku a jeho výrobní náklady.

## 2 Materiál komponenty určené pro letecký průmysl

### 2.1 Inconel

Název INCONEL pochází z anglického „Inco“, který je vlastně registrovanou ochrannou známkou americké společnosti Special Metals Corporation. Jedná se o značku speciálních sdružených (Corporation) kovů používaných v aplikacích s vysokou teplotou prostředí. Tyto materiály mají vysokou odolnost proti korozi v kyselých a velmi agresivních prostředích obsahujících například mořskou vodu či sirovodík. Inconel je precipitačně vytvrditelná superslitina na bázi Ni-Cr obsahující množství železa v rozmezí 3-15 %, niobu 0-6 % a molybdenu 0-10 %. Zmíněné vlastnosti samozřejmě souvisí s chemickým složením a technologií výroby Inconelu. Pevnost inconelu při vysokých teplotách je vyvolána precipitačním zpevněním. Při precipitačním vytvrzování malé množství niobu v kombinaci s niklem vytváří intermetalickou sloučeninu  $Ni_3Nb$  nebo gama fázi, která tvoří matici superslitin zakládající se na niklu. Gama fáze utváří malé krychlové krystaly, které účinně potlačují skluz a tečení při zvýšené teplotě tzv. creep. O creepu bude pojednáno, viz odstavec Srovnání s ocelí. [1], [2]

#### 2.1.1 Druhy Inconelů

Druhy slitin Inconelu:

- „Inconel 600: Slitina typu Ni-Cr-Fe s dobrou pevností při vysokých teplotách a odolností vůči oxidaci, odolností vůči trhlinkám pod napětím a odolností vůči alkalické korozi. Použití v chemickém a petrochemickém průmyslu, zařízení pro tepelná zpracování, jaderný a automobilový průmysl.
- Inconel 625: Slitina typu Ni-Cr-Mo s korozní odolností vůči agresivním korozním prostředím, zvláště vůči pittingu, štěrbínové korozi a vysokoteplotní oxidaci, s vysokou pevností od kryogenních teplot až do 815 °C. Použití v leteckém průmyslu, spalovací turbíny, v chemickém průmyslu, jaderný a lodní průmysl, průmysl ochrany životního prostředí, těžba ropy a zemního plynu.
- Inconel 686: Niklová slitina s optimální odolností vůči místní korozi v prostředí s chloridy a kyselinami a s vynikající odolností vůči oxidačním, redukčním kyselinám a jejich směsí. Použití v chemickém průmyslu (zařízení odolným vůči koroznímu prostředí), průmysl ochrany životního prostředí, spalovny.
- Inconel 690: Slitina s vynikající odolností vůči vysokoteplotní korozi. Použití v generátorech parní turbíny v jaderném průmyslu, zplyňování uhlí a při výrobě kyseliny sírové, dusičné a fluorovodíkové.
- Inconel 718: Viz článek Inconel 718.
- Inconel 725: Korozně odolná slitina srovnatelná se slitinou INCONEL 625, vyšší pevnosti se dosahuje vytvrzením.“ [3]

Tabulka 1: Chemické složení INCONELů [4]

Inconel	Prvky [% hmotnostní]					
	Ni	Cr	Fe	Mo	Nb	Co
600	72,0	14,0-17,0	6,0-10,0	-	-	-
625	56,0	20,0-23,0	5,0	8,0-10,0	3,15-4,15	1,0
686	58,0	20,5	1,0	16,3	-	-
690	59,5	30,0	9,2	-	-	-
718	50,0-55,0	17,0-21,0	Zbytek	2,8-3,3	4,75-5,5	1,0
725	57,0	21,0	7,5	8,0	3,5	-

### 2.1.2 Inconel 718

Superslitina INCONEL 718 je všestrannou austenitickou slitinou s vynikající pevností a tvárností při vysokých teplotách (v rozmezí teplot -253 až 760 °C). Pokrývá se tenkou, stabilní vrstvou oxidů, která chrání povrch před další oxidací. Používá se v aplikacích s vysokou teplotou, neboť tento materiál má vysokou mez pevnosti při tečení do 700 °C, vysokou odolnost proti korozi v kyselých a velmi agresivních prostředích obsahujících například mořskou vodu či plyn, jakým je sirovodík. Z tohoto důvodu se uplatňuje v plynových turbínách, jako těsnění spalovací komory, při konstrukci turbodmychadla, ponorného čerpadla, výfukových systémů, tlakových nádob, parních generátorů jaderných tlakovodních reaktorů, nádrží raket na tuhá paliva, apod. Stále více se Inconel 718 využívá také v kotlích spaloven odpadu nebo pro komponenty pro kapalné palivo raket, prstény či pouzdra. [4]

Svařování je u materiálu Inconel 718 nejproblémovější operací, proto o ní bude dále pojednáno. Rovněž technologie svařování je využita na výrobu polotovaru komponent, na které je práce zaměřena. Svařování některých inconelových slitin může být obzvláště složité z důvodu tvoření trhlin, které je způsobeno velkým množstvím Ti a Al a mikrostrukturální segregací legujících prvků v tepelně ovlivněné zóně. Nicméně několik slitin, jako jsou inconel 625 a 718, bylo navrženo tak, aby překonaly tyto problémy. Inconel 718 může být svařován buď v žíhaném stavu nebo ve stavu po stárnutí (precipitačně vytvrzen). Svařování materiálu ve stavu po stárnutí způsobuje vznik zjemněné struktury v tepelně ovlivněné zóně. Nejběžnější svařovací metody jsou svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařování elektronovým paprskem. [4]

Běžnými konvenčními metodami je Inconel 718 těžko obrobitelný, a to díky svým mechanickým a fyzikálním vlastnostem. Při kontaktu břitů nástroje a obrobku okamžitě dochází k vytvoření článekovitých třísek a ke zpevnění obrobenej plochy plastickou deformací. To také přispívá ke vzniku vysokých dynamických řezných sil. Z tohoto důvodu se využívá

nástroj z tvrdého materiálu za pomoci metody pomalého a silového řezu. Nástroj musí být zároveň vhodně upnutý, protože i toto přispívá ke zlepšení obrobitelnosti. Dalším vlivem zhoršujícím obrobitelnost materiálu je tažnost, která se zvyšuje se stoupající teplotou a zhoršuje obrobitelnost, neboť má za následek zatížení břitu nástroje. [4]

### 2.1.2.1 Typické mechanické vlastnosti

Jak už bylo zmíněno, Inconel 718 patří k nejlepším materiálům do extrémních podmínek, jako je například vysoká teplota, při které si dokáže zachovat dobré mechanické vlastnosti. Teplota tání materiálu se pohybuje v rozmezí teplot 1321 až 1393 °C (2410 až 2540 °F). Teplotní stabilita je velmi důležitým faktorem materiálů použitých například v plynových turbínách nebo leteckých motorech. Takový materiál musí mít dobré vlastnosti ve smyslu teplotní stability mikrostruktury. Jeho maximální potenciál v turbíně je využit při střední teplotě, ovšem fázová transformace a růst kinetiky jsou při této teplotě pomalé.

U slitiny typu Inconel 718 je velmi obtížné přesně předpovědět tepelnou stabilitu precipitátů  $\gamma'/\gamma'$  v tomto vícesložkovém systému. Slitina Inconel 718 je odolná především díky srážení sekundárních fází, např. základní gama ( $\gamma$ ) a dvojitá základní gama ( $\gamma'/\gamma'$ ) do kovové matrice. Srážení těchto fází je vyvoláno tepelným zpracováním v rozmezí teplot 593 až 816 °C. Pro tento typ slitiny se obvykle používají dva způsoby tepelného zpracování, z nichž jedním je žíhání při teplotě 1700 až 1850 °C. [2]

Tabulka 2: Závislost napětí na teplotě [5]

Teplota [°C]	Mez kluzu ( $R_{e0,2}$ ) [MPa]	Mez pevnosti ( $R_m$ ) [MPa]	Prodloužení [%]	Tvrdość dle Rockwella [HRC]
33	1172	1407	21	42 - 44
204	1124	1365	20	-
427	1076	1317	19	-
538	1069	1276	18	40 - 41
649	1027	1158	19	40 - 41
760	758	758	27	33 - 34

Tabulka 3: Závislost napětí do prasknutí na teplotě a době trvání [5]

Teplota [°C]	Napětí do prasknutí	
	100 hodin	1000 hodin
	Hladký povrch	Hladký povrch
593	1172	896
649	758	586
704	517	379
760	303	172

Tabulka 4: Vybrané vlastnosti slitiny INCONELu 718 [2]

Měrná hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]	Teplota tavení [°C]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Modul pružnosti ve smyku [GPa]	Tvrdost [HRC]	Mez pevnosti v tahu [MPa]
8,19	1336	204,9	77,2	36	1240

Tabulka 5: Koeficient teplotní roztažnosti [6]

Teplotní rozsah		10 <sup>(-6)</sup> /°F	10 <sup>(-6)</sup> /°C
77 °F do	77 °C do		
200	93	7.1	12.8
400	204	7.5	13.5
600	316	7.7	13.9
800	427	7.9	14.2
1000	538	8.0	14.4
1200	649	8.4	15.1
1400	760	8.9	16.0

Tabulka 6: Chemické složení [6]

Prvky	Min [%]	Max [%]
Uhlík	-	0,08
Mangan	-	0,35
Křemík	-	0,35
Fosfor	-	0,015
Síra	-	0,015
Nikl	50	55
Chrom	17	21,0
Kobalt	-	1
Železo	Zbytek	
Hliník	0,35	0,80
Molybden	2,8	3,30
Titan	0,65	1,15
Bor	0,001	0,006
Měď	-	0,15
Tantal+Niob	4,75	5,50

### 2.1.3 Srovnání s ocelí

Ocel je nejpoužívanější a nejběžnější materiál, který se ve strojírenství používá. Z tohoto důvodu je zajímavé porovnání oceli s Inconelem 718. 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 popíši ocel 11 600. Má obsah C > 0,4 % a používá se pro náročnější strojní součásti vystavené většímu opotřebení a větším tlakům, např. vodící hřídele, vřetena lisů, klíny, apod. Do průměru 40 až 60 mm se dají zušlechťovat.

Tabulka 7: Mechanické vlastnosti oceli 11 600 [7]

Mez kluzu ( $R_{e0,2}$ ) [MPa]	Mez pevnosti ( $R_m$ ) [MPa]	Prodloužení A [%]	Rázová síla Kv [J]	Tvrdost dle Brinella [HBW]
661( $\geq$ )	993( $\geq$ )	24	23	434

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 Inconelu nastává creep až kolem 0,7 homologické teploty. Creep je pomalá plastická deformace materiálu vyvolaná dlouhodobým působením teploty a napětí. Homologická teplota je poměr teploty provozní [K] a teploty tavení [K].



### 3 Komponenty obráběné společnostmi Aerotech Czech s. r. o.

Přípravek je konstruován pro určité typy komponent, které jsou ve společnosti značeny "32A4161, 32A4171, 32A4162, 32A4172, 32A4163, 32A4173". Tyto komponenty se podle zákazníka, kterým je MTU Aero Engines AG, nazývají fixační kroužky. Komponenty jsou vyráběny do motorů Pratt & Whitney PW1000G pro letadla Airbus A320neo. Zásadní parametr, ve kterém se komponenty liší a měl by být zahrnut v konstrukci přípravku, je jejich průměr. Dále se liší počtem otvorů po obvodu a ve tvaru sražení na vnitřní straně komponenty. Přípravek je proto navržen tak, aby z konstrukčního hlediska bylo možné upnout všechny typy komponent. Komponenty jsou vyrobené z inconelu 718. Jak bylo zmíněno výše, Inconel se používá za extrémních podmínek, při kterých má výborné mechanické vlastnosti, a proto se díly nebudou v leteckém motoru nacházet v přední části, kde dochází k nasávání vzduchu a nejsou zde vysoké teploty, ale někde v zadní části, kde dochází ke spalování a odvodu výfukových plynů. V těchto částech motoru se dosahuje vysokých teplot, takže jsou zde součásti značně namáhané a je třeba, aby mechanické vlastnosti materiálu byly konstantní i za vysokých teplot a materiál nepodléhal creepu.

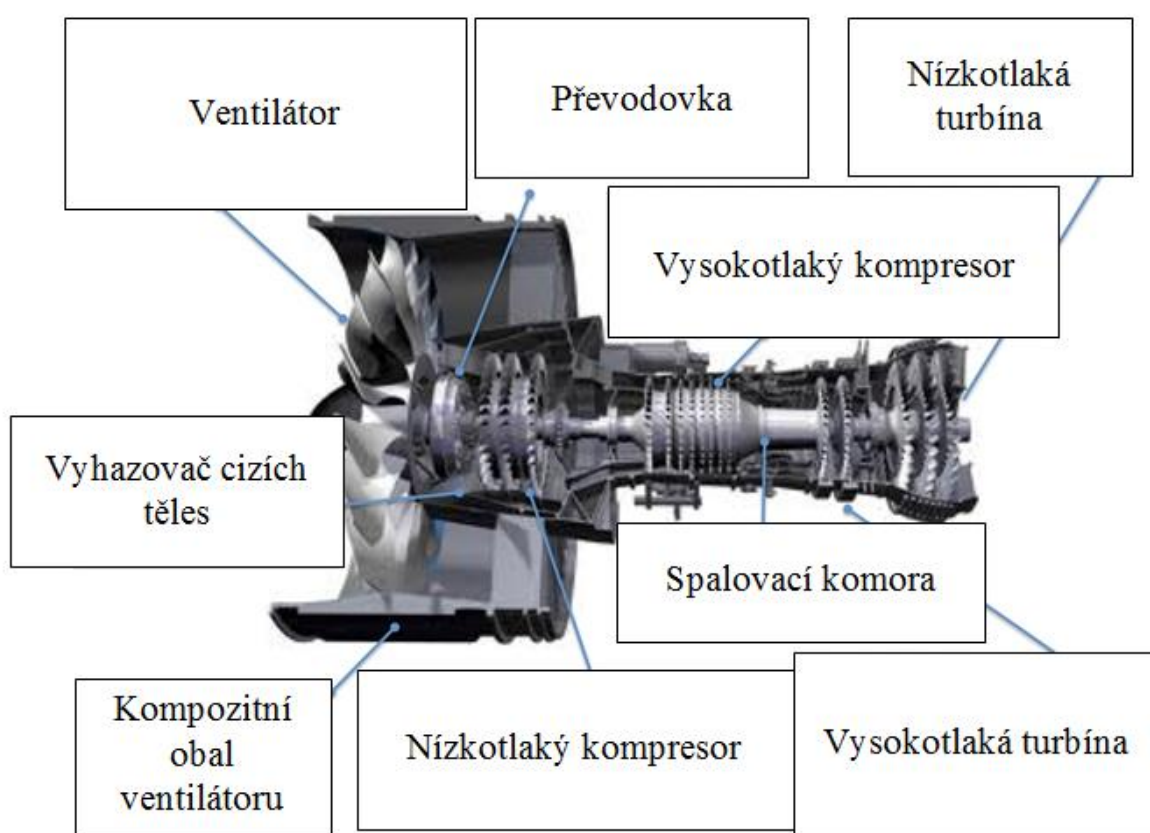


Obrázek 1: Airbus A320neo [8]

#### 3.1 Motor Pratt & Whitney PW1000G

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 dmychadlo (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. difúzoru, 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. [9]



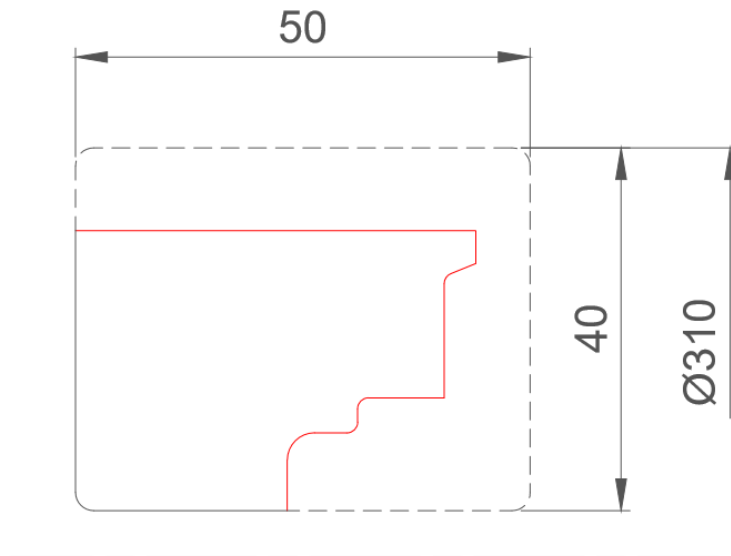
Obrázek 2: Letecký motor, ve kterém se nachází popisované komponenty [10]

### 3.2 Technologický postup výroby komponent

Komponenty byly dříve vyráběné z polotovaru, kterým byl výkovek. Tento postup výroby polotovaru byl velmi nákladný a byla tedy snaha přejít na jiný způsob výroby polotovarů. Podmínkou při změně polotovaru, která musela být dodržena, bylo zachování stejných mechanických vlastností vyrobené komponenty. Polotovary jsou nyní vyráběné svařováním. Mají kruhový tvar obdélníkového průřezu. Technologický postup výroby jednotlivých typů komponent je obdobný. Řadou po sobě následujících operací se postupně

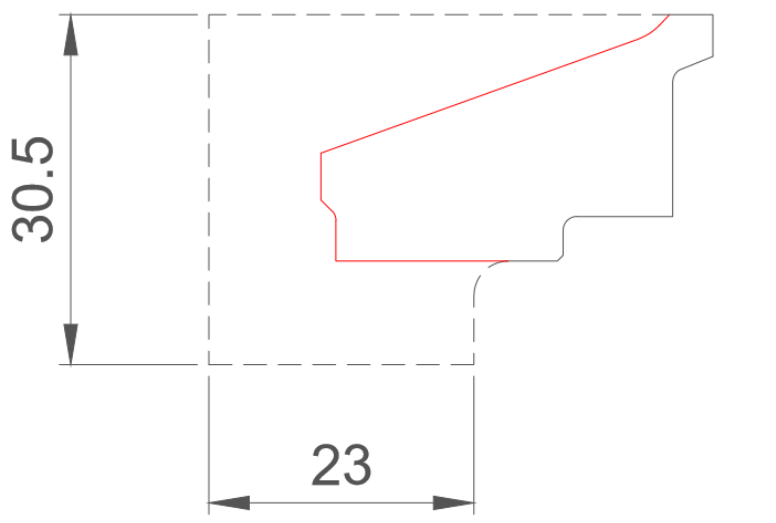
obrobí polotovary na finální výrobek. Jednotlivé operace probíhají na různých pracovištích s rozdílnými technologiemi.

První operací je soustružení. Jedná se o hrubovací operaci, kdy z původního tvaru, který je vyznačen na Obrázek 3 čárkovaně, se obrábí tvar obrobku, který je červeně zvýrazněný. Osa rotace a její orientační poloha je při této operaci vyznačena čerchovanou čarou.



Obrázek 3: První operace – soustružení (čárkovaná šedivá – výchozí tvar; plná červená – obráběný tvar)

Druhou hrubovací operací je soustružení z druhé strany. Hrubuje se tvar součásti po předchozí operaci, kde polotovary je označen na Obrázek 4 čárkovanou čarou. Obrobený a tedy finální tvar pro danou operaci je vyznačen červenou barvou. Osa rotace a její orientační poloha při této operaci je opět vyznačena čerchovanou čarou.

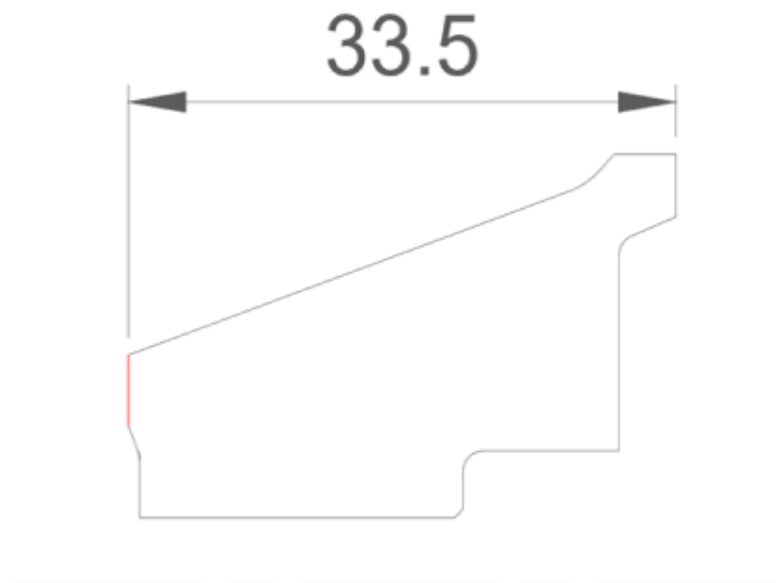


Obrázek 4: Druhá operace – soustružení (čárkovaná šedivá – výchozí tvar; plná červená – obráběný tvar)

Po vyhrubování polotovaru je zařazeno v technologickém postupu mezioperační žíhání, jehož cílem je odstranění zbytkového napětí, které vzniklo při obrábění. Polotovar v této fázi obsahuje přibližně 2 mm technologický přídavek na plochu od finálního tvaru komponenty. Tepelné zpracování je provedeno kooperační společností.

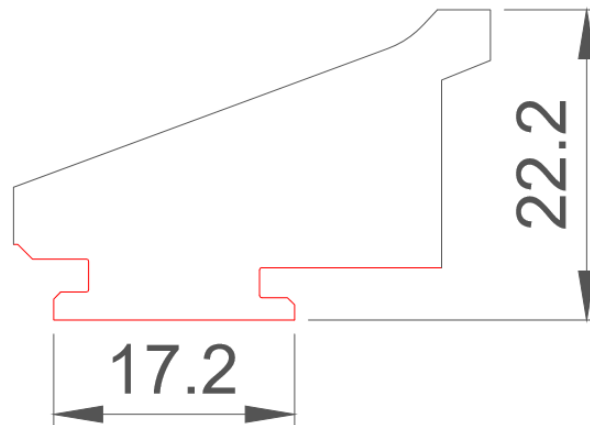
Další technologickou operací, v pořadí již třetí, je zkouška ultrazvukem, která je řazena do nedestruktivní defektoskopie. Cílem této zkoušky je prověření stavu materiálu a včasné odhalení jeho materiálových vad.

Čtvrtou operací prováděnou ve společnosti je lapování dosedací plochy pro následnou dokončovací operaci. Osa rotace a její orientační poloha při této operaci je obdobně vyznačena, viz Obrázek 5. Tato operace slouží k vytvoření rovinné plochy po předchozích operacích, která zajistí stabilní upnutí pro následující operaci a odstraní pružné deformace vzniklé upínáním komponenty se špatnou jakostí dosedací plochy. Lapovaná plocha je vyznačena červeně, viz Obrázek 5. Předepsaná rovinnost dané plochy je 0,02mm. 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.



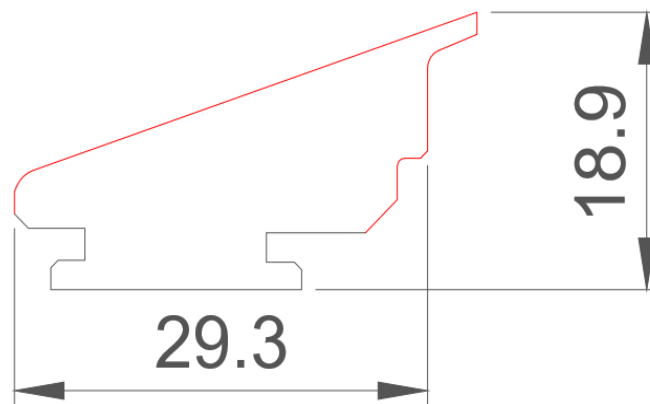
Obrázek 5: Čtvrtá operace – lapování (plná červená – obráběný tvar)

V pořadí pátou operací je soustružení na čisto, tedy dokončování jedné strany komponenty. Touto operací je obrobena tvar z předchozí operace na tvar vyznačený, viz Obrázek 6. Plocha označena červeně je obrobena na čisto při této operaci. V rámci této operace jsou vytvořeny dva čelní zápichy. Osa rotace a její orientační poloha je vyznačena čerchovanou čarou.



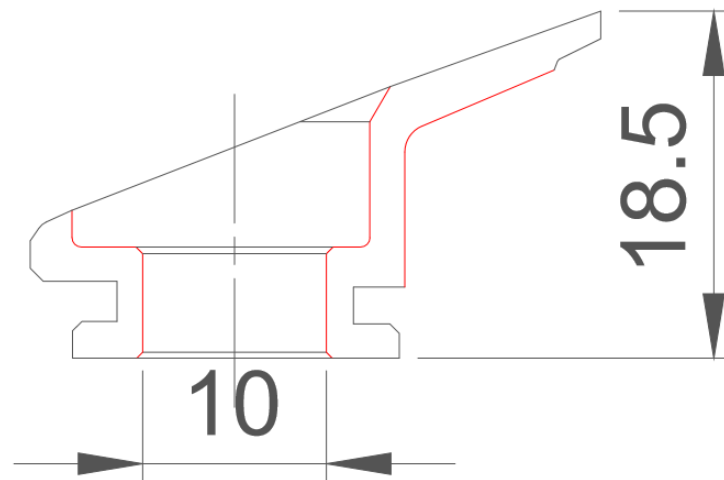
Obrázek 6: Pátá operace – soustružení na čisto (plná červená – obráběný tvar)

Šestou a poslední soustružnickou operací je obrobení tvarové plochy po obvodu komponenty. Při této operaci je vytvořen výsledný rotační tvar součásti. Obráběné plochy jsou na Obrázek 7 vyznačeny opět červenou barvou. Osa rotace a její orientační poloha je shodná jako u čtvrté operace.



Obrázek 7: Šestá operace – soustružení na čisto (plná červená – obráběný tvar)

Sedmou operací je frézování. Při této operaci jsou zhotoveny po celém obvodu součásti přesné otvory se zahloubeními, do kterých se později upevní lopatky. Dále se při této operaci obrobí dvě tvarové kapsy na vnitřní straně obrobku a v těchto kapsách čtyři malé otvory, které později zajišťují polohu součásti v sestavě. Frézované plochy, vrtané a následně vyhrubované a vystružované otvory jsou vyznačeny červeně, viz Obrázek 8. Součástí této operace je také strojní sražení hran. Jedná se především o hrany, které souvisí s přesnými vystruženými otvory, ty je možné efektivně strojně odjehlit se současným zajištěním jakosti sražené hrany.



Obrázek 8: Sedmá operace – frézování (plná červená – obráběný tvar)

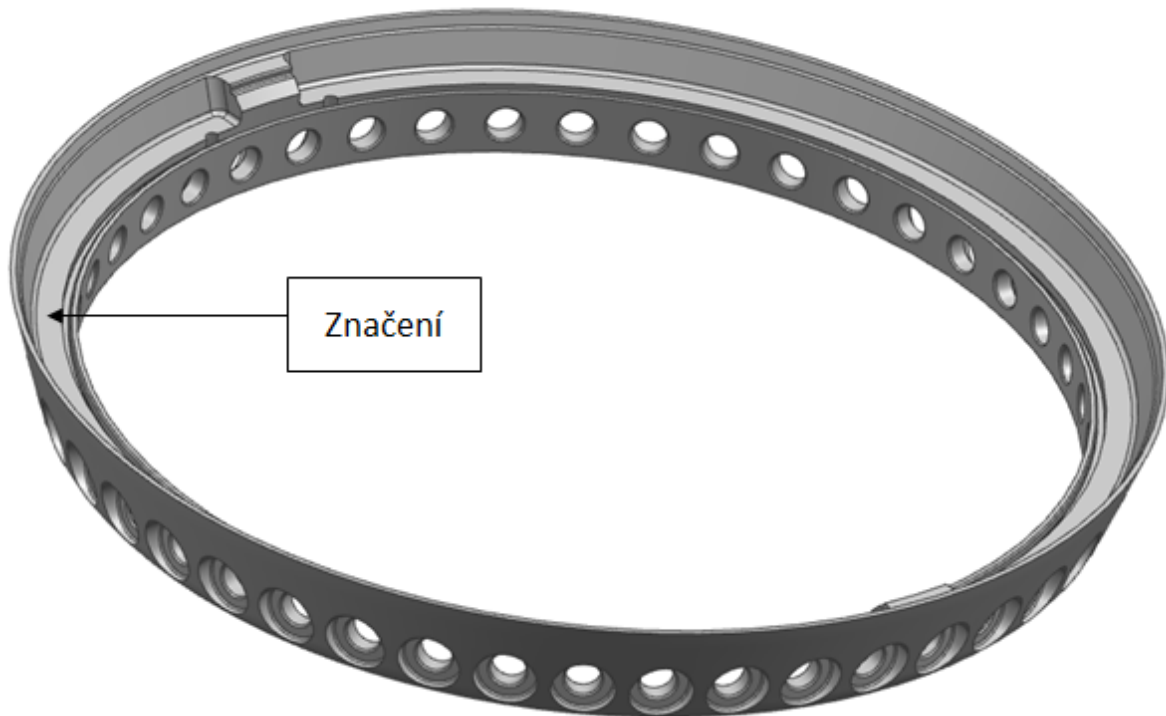
Osmá a v rámci této práce nejdůležitější operací je odjehlování zbylých ostrých hran na zámečnickém pracovišti. Tato operace je pro nás stěžejní, protože je u ní požadavek na zkonstruování přípravku. Ostré hrany, které jsou manuálně sráženy, jsou označeny oranžovou barvou na jedné polovině součásti, viz Obrázek 9. Obdobně to platí i pro druhou půlku součásti. Velikost sražení hrany je dle technické dokumentace 0,2 mm s tolerancí  $\pm 0,1$  mm. Při uvážení velikosti tolerance je zřejmé, že zaměstnanci pracující na odjehlení součásti musí nejprve projít školením, při kterém získají a dostatečně si osvojí dovednost danou toleranci dodržet.



Obrázek 9: Osmá operace – ostré hrany určené k odjehlení (souměrně platí pro druhou půlku)

Další operací následující po odjehlení součásti je označení komponenty. Označení součásti se provádí mechanicky na speciálních mikroúderovém značícím stroji. Značení slouží pro jednoznačnou identifikaci jednotlivých komponent při pozdější manipulaci s nimi. Obsahuje označení komponenty, sériové číslo a datum. Komponenta ve skutečnosti nese sériové číslo již od polotovaru, kde je označována pomocí visáčků. Nutnost přenést označení součásti od polotovaru až k finálnímu výrobku je typické pro letecký průmysl. Při ztrátě identifikace komponenty ve výrobě dochází k jejímu vyřazení. Na Obrázek 10 je vyznačené místo, které je vhodné pro identifikační kód a neovlivní mechanické vlastnosti součásti.

Poslední operací prováděnou společností Aerotech Czech s. r. o. je vizuální kontrola a kontrola na souřadnicovém měřícím 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 trhliny. Vizuální kontrola se provádí na pracovišti, které je součástí oddělení kontroly, kde se mimo jiné komponenty měří na souřadnicovém měřícím stroji. Vizuální kontrola je prováděna pracovníky pomocí světelných lup. Jedná se o pomůcky, které zvětšují a osvětlují obrobený povrch komponent. V případě, že vady jsou malé, konkrétněji hloubka vad je do určité hodnoty a plocha, která vadu obsahuje, nemá vysoké kvalitativní požadavky, odstranění vady provede přímo pracovník vizuální kontroly. V ostatních případech je vada posouzena pracovníkem technologie a je navržen konkrétní postup odstranění vady. Jak již bylo zmíněno, komponenty se dále přeměřují na 3D souřadnicových měřících strojích, které kontrolují, zda součást splňuje všechny rozměrové a tvarové tolerance předepsané v technické dokumentaci.



Obrázek 10: Pohled na hotovou komponentu

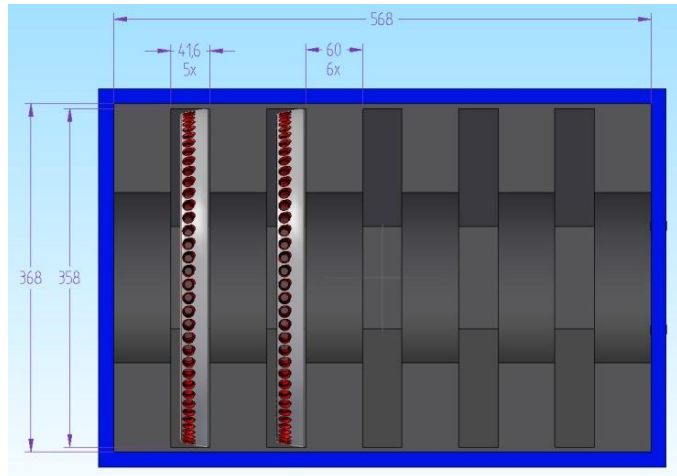
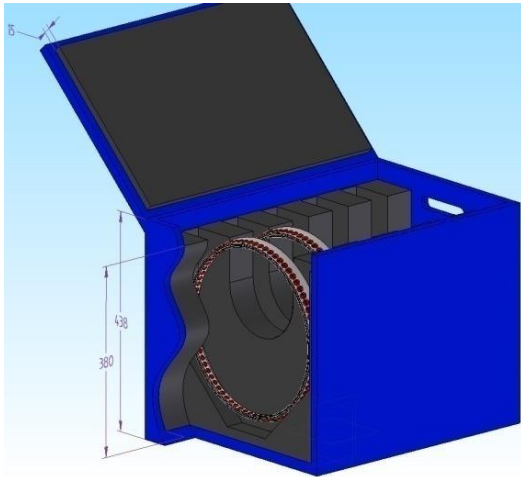
### 3.3 Manipulace s komponenty

Správná manipulace s komponenty je velmi důležitá pro zajištění bezpečné dopravy komponent z jednoho pracoviště na druhé. Manipulace s díly je celkem jednoduchá, protože komponenty jsou velmi dobře uchopitelné a lehké (cca 1,2 kg). Komponenty se přepravují ve speciálních bednách, které jsou vypořádované měkkým materiálem a obsahují výřezy o velikosti komponenty, takže díl je dobře zafixován a nehrozí žádné nebezpečí poškození komponent při přepravě. Vypořádovaná přepravka je navržena tak, aby při vyjímání a vkládání součásti nedošlo k poškození komponenty. Přesto je nutné dodržet při manipulaci s jednotlivými komponenty na pracovištích určité bezpečnostní zásady, neboť už při neopatrném pohybu a drobném doteku s jiným předmětem dochází často k poškození komponenty. Z tohoto důvodu manipulace s obrobky musí být velmi obezřetná. V každé přepravce je možné skladovat či přenášet pět součástí. Přepravku je možné rovněž umístit na transportní podstavec s kolečky tak, aby transport komponent mezi pracovišti po celé výrobní hale byl rychlý a z pohledu zaměstnance ergonomický. Při upínání součásti do stroje není potřeba využívat jeřáb nebo jiné pomocné zařízení na manipulaci s obrobky, protože komponenty jsou lehké.

Naše stěžejní pracoviště, tj. zámečnické pracoviště, se nachází v nejdlehlší části firmy proto, aby bylo odděleno od výrobní haly, kde je prostředí vzhledem k velkému počtu obráběcích strojů znečištěno škodlivinami z výparů z řezných kapalin. Pracovníci zde mají za úkol na všech dílech odstranit otěpy a srazit ostré hrany na požadované sražení



po předchozích obráběcích operacích. Je to velmi zodpovědná práce a pracovníci musejí být velmi obezřetní. Pracovník si přiveze přepravku s komponenty k pracovnímu stolu a dále na nich provádí požadované operace. Manipulace na samotném pracovišti je pouze vyjmutí součásti z přepravky na pracovní stůl a opětovné vložení součásti do přepravky po ukončení operace. Samotná operace odjehlení je složena z několika částí, kdy si pracovník komponentu různě natáčí a naklápí dle potřeby a provádí postupné ruční odjehlení.



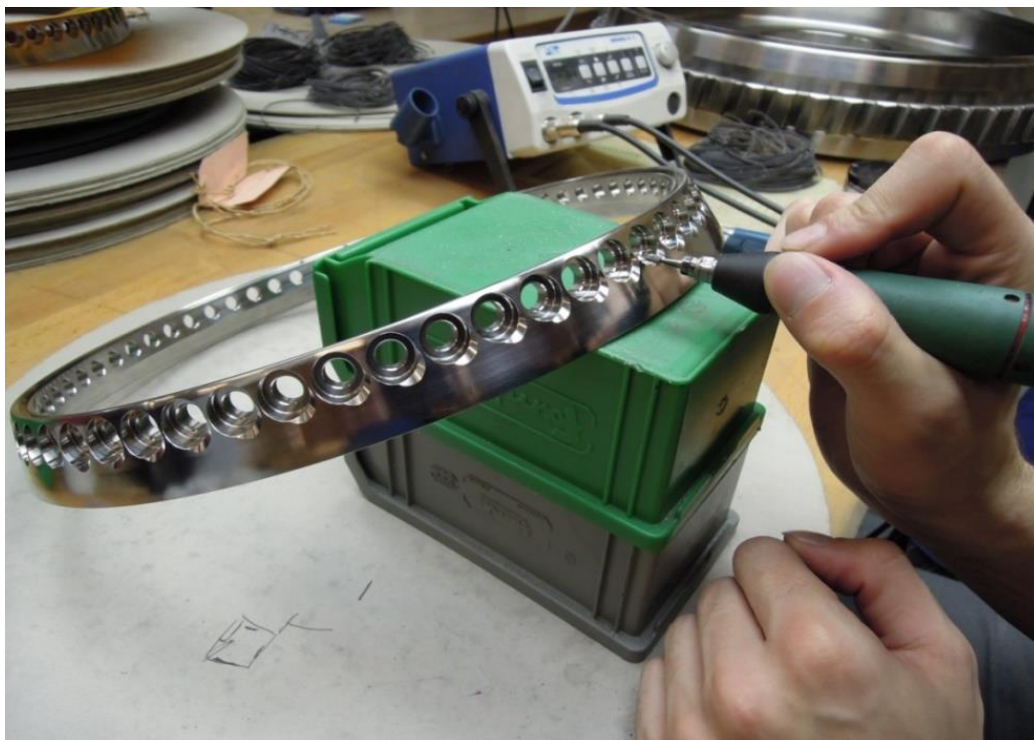
Obrázek 11, Obrázek 12: Přepravka na manipulaci s komponenty

## **4 Stávající způsob odjehlování komponent**

Odjehlení komponent probíhá na zámečnickém pracovišti, kde pracovníci mají za úkol ručně srazit ostré hrany a odstranit otřepy po předchozích operacích, například po frézování. Odjehlení se provádí pomocí ručních pneumatických brusek, do kterých je upnut nástroj na odjehlení, tzv. technická fréza. Tvar a velikost technických fréz se liší podle dané operace, na kterou je použita. Odjehlování se provádí podle výkresové dokumentace.

V současnosti zámečnické pracoviště nedisponuje žádným přípravkem, do kterého lze upnout požadované komponenty a který by pracovníkům zjednodušil provedení jednotlivých operací. Pracovníci provádí odjehlení tak, že si komponentu volně pokládají na stůl a dle potřeby si ji různě podkládají a vyrovnávají, aby pro danou operaci měla součást vůči nástroji co nejlepší pozici.

Tento způsob je hodnocen jako nevhodný jak z ergonomického hlediska pro pracovníka, tak i z hlediska kvalitativního. Je zde také poměrně velké riziko poškození součásti, neboť komponenta není pevně upnuta a hrozí její vychýlení z původní polohy. To může vést k poškození povrchu součásti, které v některých případech lze opravit, v ostatních může dojít k rozsáhlému poškození a ke vzniku takzvaného zmetku.



Obrázek 13: Původní způsob odjehlování komponent

## **5 Ergonomický pohled na zámečnické pracoviště**

Jedním z důležitých hledisek při konstrukci přípravku na pracovišti, kde pracují pracovníci manuálně, je ergonomie, která ovlivňuje nejenom výkonnost pracovníka, ale má vliv i na jeho zdraví. Do jisté míry je to prevence před zdravotními problémy.

Hlavní ergonomická kritéria, která mají vliv na výkonnost a i na zdraví pracovníka jsou:

- pracovní pohyby
- pracovní poloha
- technika prostředí
- organizace práce
- bezpečnost práce

Cílem techniky prostředí je vytvořit takové prostředí, které člověku umožní pracovat v pracovní pohodě, která má pozitivní vliv na jeho výkonnost. V rámci techniky prostředí se hodnotí například osvětlení, hluk nebo vibrace.

Velmi důležité je osvětlení na pracovišti. Má vliv především na zrakovou pohodu člověka, která je ovlivňována intenzitou, směrem a barvou světla. Pro lidské oko je nejvhodnější přirozené denní světlo, které si bohužel nelze nastavit dle potřeby a mnohdy je nedostačující. Proto je nutné mít na pracovišti umělé osvětlení, aby měl pracovník součást ideálně osvětlenou.

Přípravek by měl být umístěn ve správné výšce pracovní roviny. Tím se rozumí rovina, kde dochází k nejvíce pracovním pohybům a která je odlišná podle vykonávané práce. Kromě správné pracovní výšky se volí také další funkčně významné rozměry pracovního prostoru. Funkčně významné prostory se přizpůsobují tak, aby v pohybovém prostoru pracovníka nedocházelo k omezování žádných částí těla.

Hlavní činnost na pracovišti, kde je plánována instalace přípravku, je práce s malými pneumatickými bruskami a manipulace s komponentou. Tato činnost se neřadí mezi fyzicky náročné práce, ale vyžaduje neustálou pozornost a dobrý cit v ruce, zároveň je nutné dodržovat bezpečnostní předpisy při používání těchto brusek. Při větší nepozornosti může nejenom dojít k poškození součásti, ale také ke zranění dělníka. Nesmí být rovněž opomenuta manipulace s komponentou. Hygienický limit pro hmotnost ručně manipulovaného břemene ženou při práci vsedě jsou 3 kg a u muže je to 5 kg. Pro náš případ je vše v pořádku, neboť maximální hmotnost součásti je 1,5 kg a četnost manipulace s komponentou v intervalu 40 minut, což je časová norma na odjehlení jedné součásti, je nanejvýše pětkrát. V časové normě je zahrnuto vyndání součásti z přepravky a jeho improvizované upnutí, dále jeho postupné otáčení na podstavcích a nakonec umístění součásti zpět do přepravky. Všechny tyto operace a i samotné odjehlování dělník provádí vsedě.

### **5.1.1 Stávající způsob**

Stávající způsob je hodnocen jako nevhodný z ergonomického hlediska a to z následujících důvodů. Komponenta se nachází v nižší rovině, než je optimální výška pracovní roviny. To má za následek, že pracovník se musí k práci ohýbat a různě natáčet tak, aby se k součásti dostal s nástrojem, jak potřebuje. Přesto, že se pracovník snaží umístit komponentu do správné pracovní roviny jejím podkládáním, viz Obrázek 13, je toto řešení nedostačující. Dalším důvodem je, že součást není nijak pevně upnuta a pracovník si součást musí sám přidržovat.

### **5.1.2 Přípravek**

Navržený přípravek značně zlepšuje ergonomické podmínky. Optimalizuje a zvyšuje optimální výšku pracovní roviny díky externímu polohovatelnému stojanu, na který se bude přípravek upínat. To má za následek, že pracovník se nemusí k odjehlování ohýbat a různě se natáčet, ale může pomocí přípravku součást ustavit do ideální polohy. Další výhodou přípravku je, že komponenta je pevně upnuta, takže pracovník ji nemusí přidržovat rukou a může se plně soustředit na její odjehlování. Je tedy předpoklad, že implementací přípravku se zvýší produktivita pracovníka.

## **6 Konstrukce přípravku**

Přípravek má sloužit k upnutí popsaných komponent tak, aby při samotné operaci nedošlo k jejich uvolnění a následnému poškození. Současně pracovník musí mít možnost si díl natočit tak, jak potřebuje. To znamená, že musí být umožněno otáčení kolem vertikální i horizontální osy. Musí být stabilní a relativně lehký, aby mohl být snadno přemístitelný z jednoho místa na druhé. Stabilitu zajistíme správným upevněním na stole nebo upnutím přípravku na externí polohovatelný stojan.

### **6.1 Kritéria návrhu**

#### **1. Z hlediska tvaru komponent**

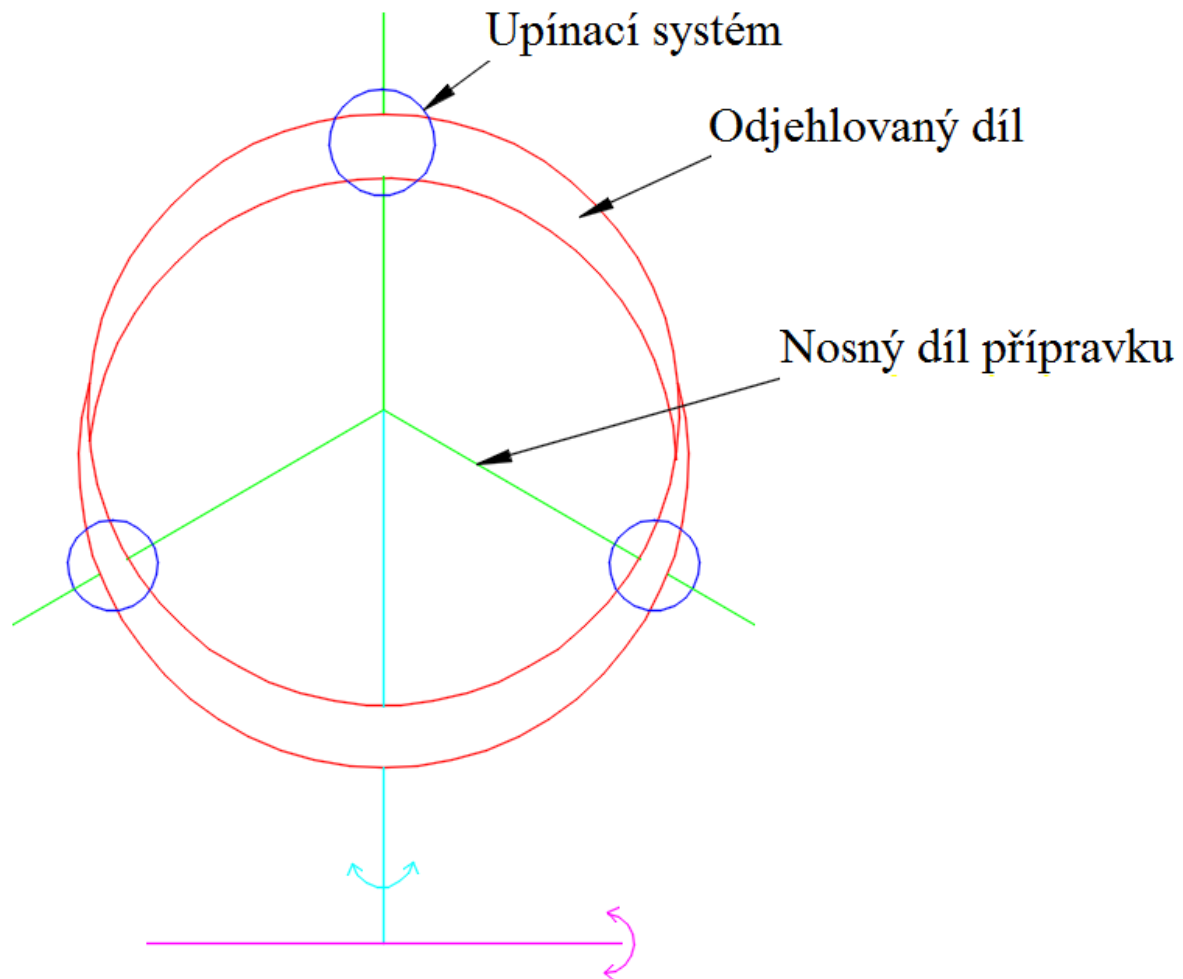
- Na přípravek musí být možno upnout všechny druhy komponent, pro které je konstruován. Je tedy nutné sestavit univerzální přípravek. Zásadním parametrem je průměr, ve kterém se jednotlivé komponenty liší. Průměry komponent jsou vyráběny v rozsahu od 310 mm do 360 mm. Přednastavení zkonstruovaného přípravku na požadovaný průměr by mělo být jednoduché a velmi rychlé z důvodu úspory času.
- Při upínání 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.

#### **3. Z hlediska ergonomie**

- Je požadováno, aby upnutí komponent bylo pro pracovníky časově nenáročné a funkčnost upnutí byla vysoká.
- Dále je požadováno, aby si pracovníci mohli komponenty libovolně natočit a ustavit do polohy, při které se jim daná operace bude nejlépe provádět a nebude ohroženo jejich zdraví.



Obrázek 14: Výchozí skica přípravku

## 6.2 Jednotlivé díly přípravku

### 6.2.1 Nosný díl

Jeden z hlavních dílů přípravku, na který se budou upínat dané komponenty, musí splňovat dvě hlavní podmínky. První podmínkou je, že na něj lze upnout díly lišící se průměrem, což je zajištěno třemi drážkami, ve kterých se budou pohybovat speciální přenastavovací upínací šrouby. Tyto části budou velmi lehce přenastavitelné, takže výměna rozdílných komponent zabere jen minimum času.

Druhá podmínka je kladena na materiál, ze kterého bude nosný díl vyroben, protože komponenty jsou náchylné na mechanické poškození. Nosný díl bude vyroben z materiálu polyoxymethylénu (POM) dle ČSN. Tento materiál má výborné mechanické vlastnosti, jako jsou výborná obrobitelnost, dobré kluzné a otěrové vlastnosti, vysoká pevnost a tuhost a dobrá houževnatost. Takže nedojde k poškození komponenty při kontaktu s nosným dílem. [11]

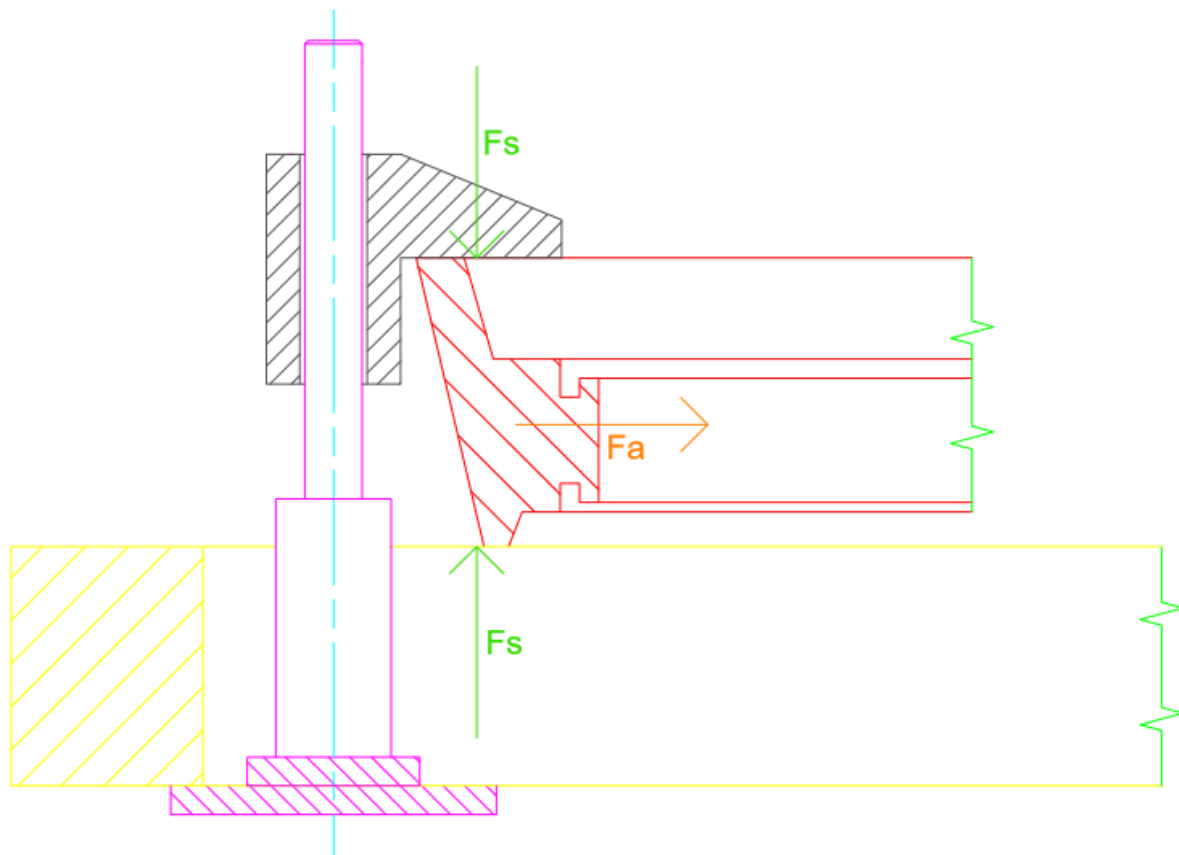


Obrázek 15: Nosný díl

### 6.2.2 Upnutí komponenty

Uvažuji pouze o mechanickém vyvození upínací (uzavírací) síly. Žádné pneumatické, elektrické nebo hydraulické vyvození upínací síly neuvažujeme, protože není potřeba vyvozovat velké síly. Dalším důvodem je, že četnost přeupínání komponent není vysoká. Potřebný čas na dohotovení jedné komponenty závisí na jejím druhu a je předepsaný firemní normou. V průměru se pohybuje okolo čtyřiceti minut. Upínací síla vzhledem k hmotnosti komponenty, která je 1,2 kilogramu, nebude zvláště velká. Při uvažování varianty, že bude váha celé komponenty nesena pouze dvěma upínacími prvky a za působení vodorovného přetížení 5G, což je uvažování nárazu pracovníka do přípravku při manipulaci, vyšla akcelerační síla:  $F_a = \frac{1}{2} * m * 5g = \frac{1}{2} * 1,2 * 5 * 10 = 30N$ .

Budeme uvažovat třecí síly mezi upínacím prvkem a komponentou a mezi komponentou a nosným dílem přípravku. Koeficient tření mezi plastem a kovem je  $f=0,4$ . Síla sevření potom vychází:  $F_S = \frac{F_A}{2*f} = \frac{30}{2*0,4} = 37,5N$ . Síly jsou naznačeny na Obrázek 16.



Obrázek 16: Silové působení při upínání komponenty

### 6.2.3 Možnosti upnutí komponent

Upnutí odjehlované komponenty je zásadní operace při konstrukci přípravku. Hlavní parametry této operace jsou rychlost upnutí komponenty, složitost konstrukce, upínací síla mechanismu, náročnost pro obsluhu a ekonomická výhodnost. Jednoduchost upnutí má velký vliv na úsporu času, což zvyšuje množství odjehlených komponent a ovlivňuje i pozitivně ekonomickou stránku.

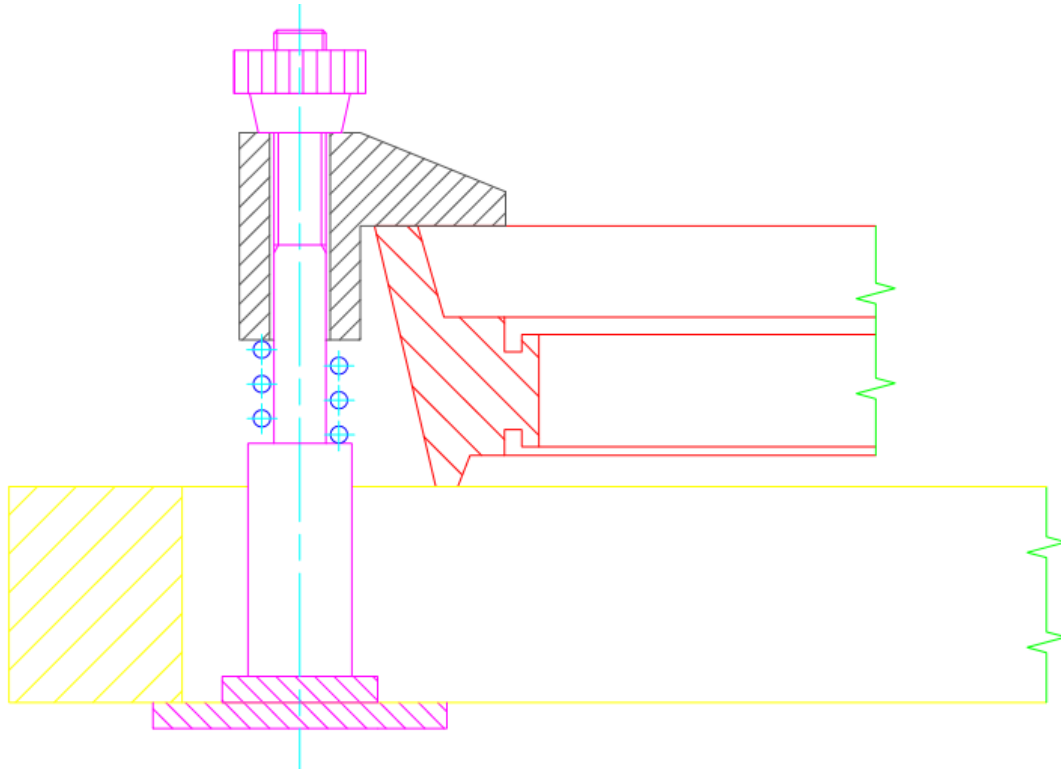
#### Varianty:

##### a) Varianta A - Matice

Při této variantě byly použity speciální šrouby s upínacími prvky, které se posouvají ve vyfrézované drážce. Pro lepší manipulaci při upínání dílu, je důležité, aby upínací prvek byl neustále přitlačován k matici a nepadal dolů, což je zajištěno vložení pružiny pod upínací prvek. Tyto šrouby jsou snadno přenastavitelné. Komponentu lze upnout, když budou upínací šrouby z vnější tak i vnitřní strany komponenty. Toto upnutí záleží podle toho, které hrany budou odjehlovány a z jaké strany to bude výhodnější. Pro lepší manipulaci se šrouby je ze spodní strany nosného dílu přišroubovaná lišta, ve které se šrouby pohybují a zabraňuje propadnutí šroubu drážkou nosného dílu. Upínací prvek musí být z ochranného (nekovového) materiálu, aby při upnutí nedošlo k poškození komponenty. Opět připadá



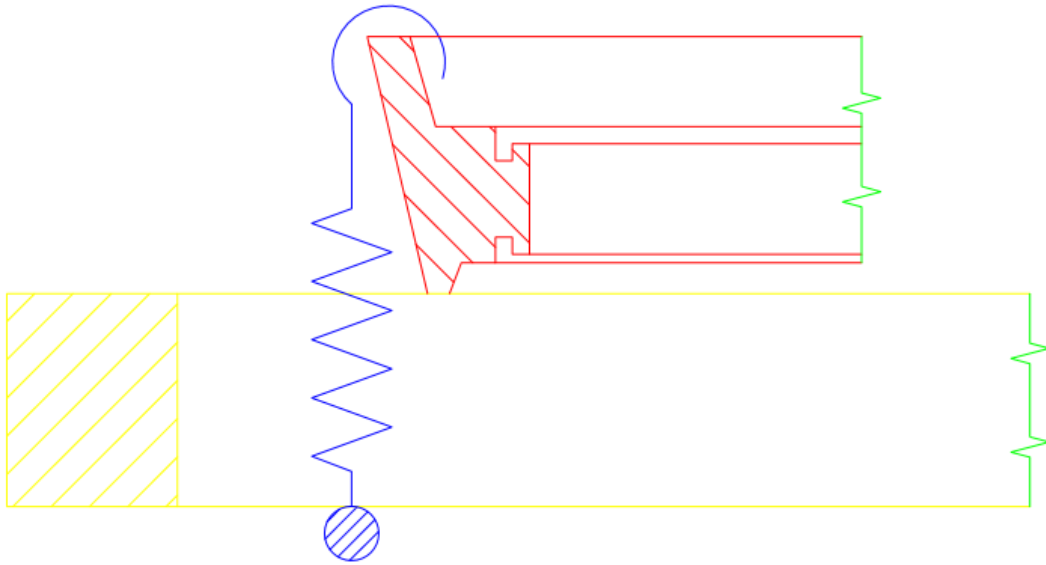
v úvahu materiál polyoxymethylénu (POM) dle ČSN, který byl použit na nosný díl a má požadované vlastnosti.



Obrázek 17: Varianta A (Vysvětlivky ke skice (platí i pro následující obrázky): žlutá barva – nosný díl; fialová barva – šroub s maticí; černá barva – upínací prvek; modrá barva – pružina; červená barva – komponenta; oranžová barva – rychloupínka)

### b) Varianta B – Tažná pružina

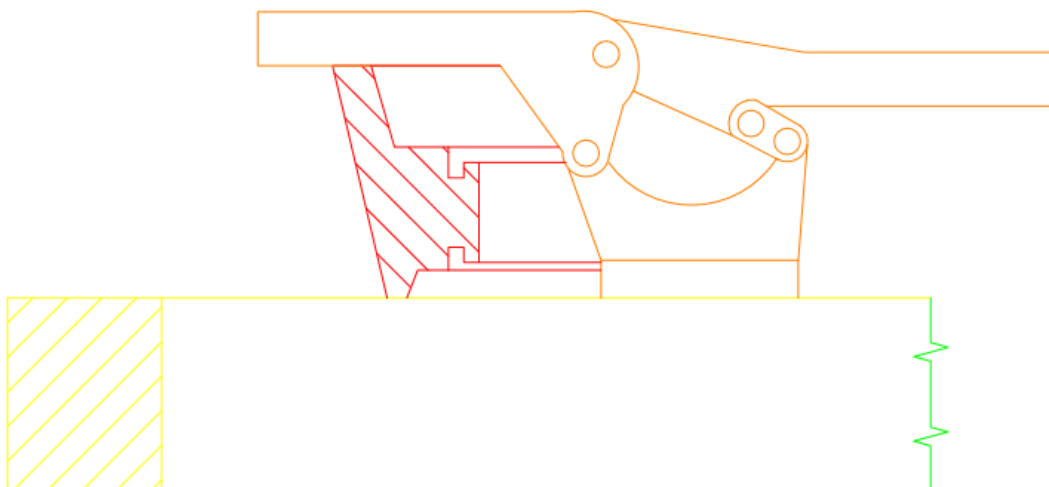
Druhou variantou by bylo upnutí dílu pomocí tří pružin. Pružiny by měly na jednom konci klasický háček a na druhém tyčku o délce stejné jako šířka jedné části nosného dílu. Tato tyčka by se provlíkla drážkou nosného dílu a zapřela o jeho spodní část. Háček, druhý konec pružiny, by se zahákl o komponentu a tím by došlo k jejímu upnutí. Konec pružiny, který bude zaháknut za komponentu, bude muset být opatřen ochranným materiálem, aby nedošlo při upnutí k jeho poškození.



Obrázek 18: Varianta B

### c) Varianta C - Rychloupínka

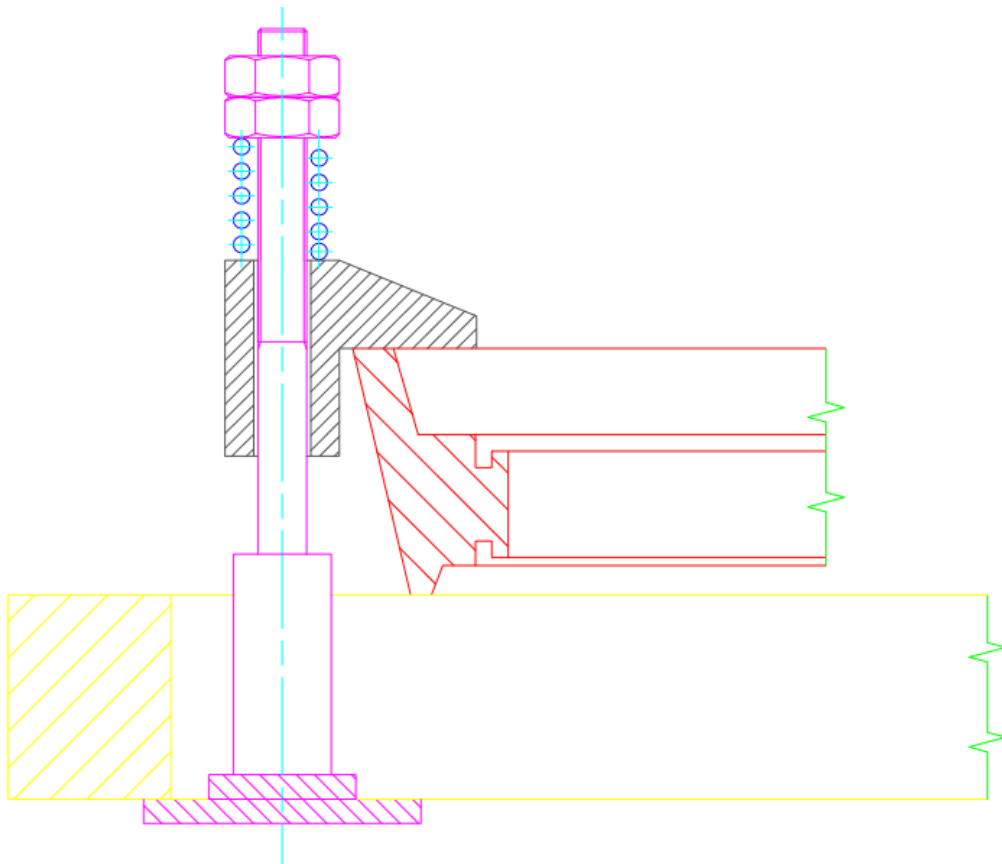
Třetí variantou je použití rychloupínek. Při jejich použití by se musely vyfrézovat místo jedné drážky uprostřed nosného dílu dvě drážky při krajích, ve kterých by se pohybovaly šrouby. Ty by sloužily pro upevnění rychloupínky. Drážky pro rychloupínky by byly užší než v případě použití upínacích šroubů. Tyto upínky by byly přenastavitelné. Přenastavení bude časově náročnější než u šroubů ve variantě A, ale samotné upnutí je rychlejší než upnutí pomocí speciálních šroubů ve variantě A. Maximální upínací síla, kterou jsou upínky schopné vyvodit, je dostačující pro spolehlivé upnutí komponenty. Konec a části rychloupínky, které mohou přijít do styku s komponentou, musejí být potaženy ochranným materiálem, aby nedošlo při upnutí k jeho poškození. To může být provedeno stejně jako ve variantě B.



Obrázek 19: Varianta C

#### d) Varianta D – Tlačná pružina

Tato varianta je dost podobná variantě A. Opět máme speciální šrouby s upínacími prvky, které se posouvají ve vyfrézované drážce. Šrouby jsou velice snadno přenastavitelné. Upínací síla je zde vyvozována pomocí tlačné pružiny, která je vložena mezi upínací prvek a matici. To je rozdíl oproti variantě A, kde upínací síla není vyvozována pomocí pružiny, ale pomocí závitu šroubu a matice. Upínací prvek musí být z nějakého ochranného (nekovového) materiálu, aby nedošlo při upnutí komponenty k jejímu poškození. Zvolil by se stejný materiál jako ve variantě A.



Obrázek 20: Varianta D

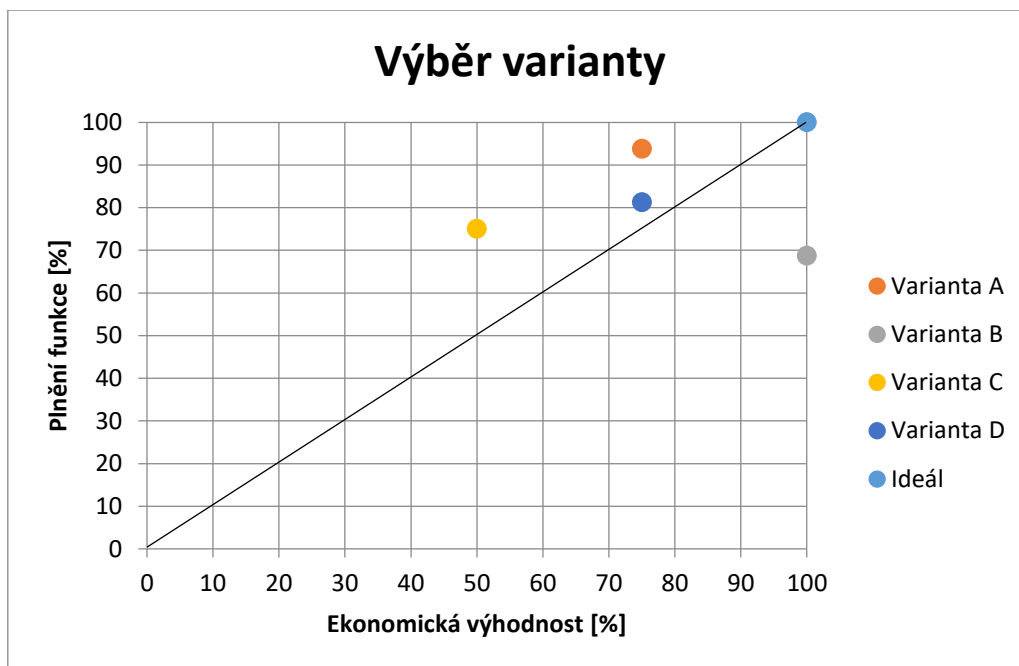
#### 6.2.4 Výběr varianty

Vycházím ze dvou hlavních kritérií, která požadujeme na upnutí. Jsou to plnění funkce a náklady z ekonomického hlediska. Do plnění funkce patří rychlost upnutí komponenty, upínací síla mechanismu, složitost konstrukce a náročnost pro obsluhu. Varianta s nejlepším hodnocením je hodnocena čtyřmi body a nejméně vhodná varianta pouze bodem jedním. Závislost výhodnosti variant na jednotlivých kritériích vyneseme do grafu podle Tabulka 8.

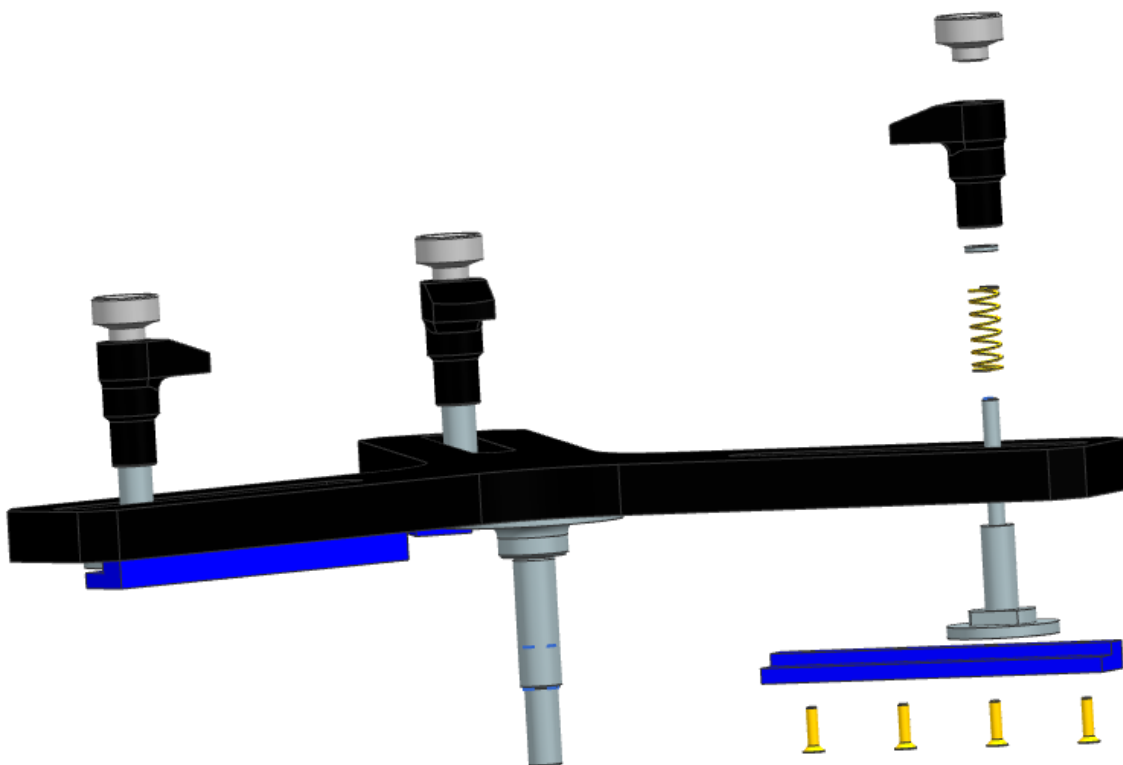
Tabulka 8: Tabulka výhodnosti jednotlivých variant

	Varianta A - Matice	Varianta B - Tažná Pružina	Varianta C - Rychloupínka	Varianta D - Tlačná pružina	Ideál
Rychlost upnutí komponenty	3	3	2	4	4
Upínací síla mechanismu	4	2	4	3	4
Složitost konstrukce	4	4	3	4	4
Náročnost pro obsahu	4	2	3	2	4
Plnění funkce	15	11	12	13	16
	94 %	69 %	75 %	81 %	100 %
Náklady z ekonomického hlediska	3	4	2	3	4
	75 %	100 %	50 %	75 %	100 %
Celkem (průměr)	84,5 %	84,5 %	62,5 %	78 %	100 %

Do grafu vyneseme na osu x náklady z ekonomického hlediska, u kterých uvažujeme, že 4 body je 100 %. Na osu y vynášíme plnění funkce, do níž zahrnujeme kritéria rychlost upnutí komponenty, upínací sílu mechanismu, náročnost pro obsluhu a složitost konstrukce. Za 100 % považujeme 16 bodů. Po vynesení hodnot do grafu, nám jako nejvýhodnější vyšla Varianta A. Variantě A konkuruje Varianta B. Pro jednoznačné určení porovnáme mezi Variantou A a B jedno z hlavních kritérií, kterým je technická stránka přípravku, zejména pak náročnost pro obsluhu. Toto kritérium má lepší Varianta A, tudíž potvrzujeme nejvýhodnější Variantu A. Bude uvažována při další konstrukci.



Obrázek 21: Graf výhodnosti jednotlivých variant



Obrázek 22: Rozstřel varianty A

### 6.2.5 Otočný čep

Otočný čep je součást přípravku, která nese celou hmotnost prvků přípravku, které rotují kolem vertikální osy. Čep umožňuje otáčení nosného dílu kolem vertikální osy. Je uložen v pevné ložiskové jednotce, která umožňuje otáčení čepu a zachycuje axiální a radiální síly. Spodní část je uložena v upínací jednotce, která umožňuje otočný čep ustavit v libovolné poloze a setrvat v ní libovolně dlouho dobu podle potřeby dělníka. V otočném čepu se nachází čtyři otvory. Tyto otvory slouží pro šrouby, kterými se přichytí nosný díl k otočnému čepu.

Pro otočný čep vybereme materiál neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé jakosti (ČSN 11 373). Tato ocel je používána pro méně namáhané strojní součásti a je vhodná pro svařování. Bude využita pro většinu prvků přípravku.



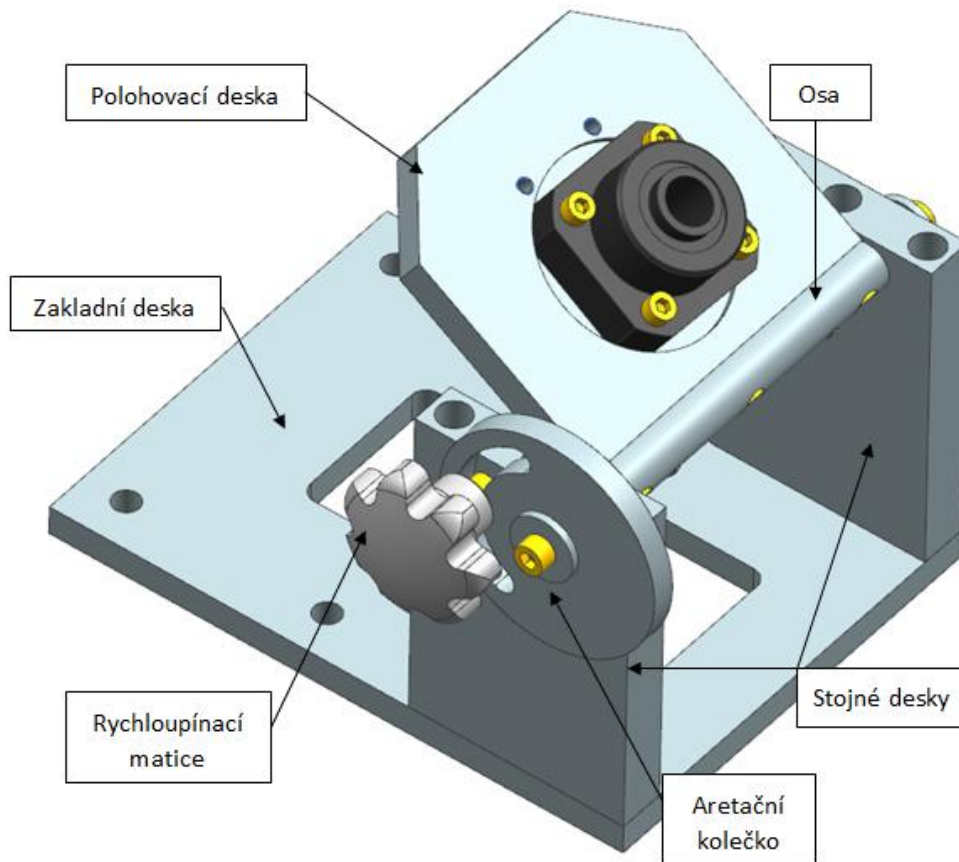
Obrázek 23: Otočný čep spojený s nosným dílem

## 6.2.6 Polohování komponenty

Možnost natáčení komponenty při samotné operaci odjehlování je velmi podstatné. Hlavně z pohledu pracovníka, který musí mít možnost si komponentu nastavit tak, aby měl dobrý přístup a mohl bez nějakých problémů odjehlit požadované hrany a odstranit otřepy. Zároveň však při samotné operaci odjehlování musí být zamezeno otáčení nosného dílu s komponentou, aby dělník mohl v klidu odjehlovat a nemusel si komponentu sám přidržovat. Musí být umožněny dva způsoby natáčení dílu.

První je kolem vertikální osy, což je zajištěno otočným čepem a pevnou ložiskovou jednotkou, ve které otočný čep rotuje. Pevná ložisková jednotka slouží k jednoduchému a hospodárnému uložení. Může vyrovnávat středně velké počáteční nesouososti, ale neumožňují axiální posunutí. Také musí být zajištěno, aby při samotném procesu odjehlování nedocházelo k samovolnému otáčení odjehlované komponenty, což je pro pracovníka velmi důležité při použití pneumatických brusek. To je zajištěno pneumatickou upínací jednotkou. Ta používá sílu pružiny k zafixování otočného čepu v jakékoli poloze. Umožňuje držet otočný čep dlouhou dobu v jedné pozici. Uvolnění upínací jednotky otočného čepu je provedeno tlakovým vzduchem. Po vypnutí tlaku vzduchu se stává čep opět zablokovaným. Tento způsob upínání je velmi vhodný, protože po obvodu dílu je mnoho otvorů, které mají být odjehleny. Takže varianta, že by musela být komponenta uvolněna při každém pootáčení a pak znovu zafixována, by bylo časově náročné. Druhým důvodem je, že se na pracovišti používají pneumatické ruční brusky, a proto je zde řada vzduchových ventilů pro připojení upínací jednotky. Ta bude připojená pomocí hadičky k pedálu, který je připojen ke vzduchovému ventilu. Sešlápnutím pedálu dojde k otevření ventilu a ke vstupu vzduchu, který uvolní upínací destičky v upínací jednotce. To umožní volné otáčení otočného čepu, a tím i komponenty na přípravku. Po uvolnění pedálu dojde k zavření vzduchového ventilu a tím zablokování otočného čepu, takže i nosného dílu s komponentou.

Druhá možnost natáčení je kolem horizontální osy. Není nutné, aby bylo umožněné otáčení o 360 stupňů. Při otáčení kolem vertikální osy o 360 stupňů stačí, aby horizontální natáčení bylo pouze o 125 stupňů. To je umožněno díky ose, která je uchycena ve dvou kruhových otvorech dvou stojných desek, ve kterých se může otáčet. Stojné desky jsou přišroubovány k základní desce. K ose je připevněna polohovací deska pomocí tří šroubů a dvou čepů, na kterou je přišroubována pevná ložisková jednotka. V té je otočně uložen čep s nosným dílem. Na jedné straně osy je vyfrézovaná ploška, jejímž úkolem je umožnit natáčení polohovací desky. Na stranu osy, kde je vyfrézovaná ploška, se nasadí aretační kolečko. To má při obvodu vyfrézovanou drážku v rozsahu natáčení 125 stupňů. Do této drážky je vsunut šroub, který upevňuje rychloupínací matici. Tato matice umožňuje polohování a zafixování nosného dílu s komponentou v jakékoli pozici, díky vyvození třecích sil. To je vidět na Obrázek 24, kde je princip natáčení kolem horizontální osy zřejmý.



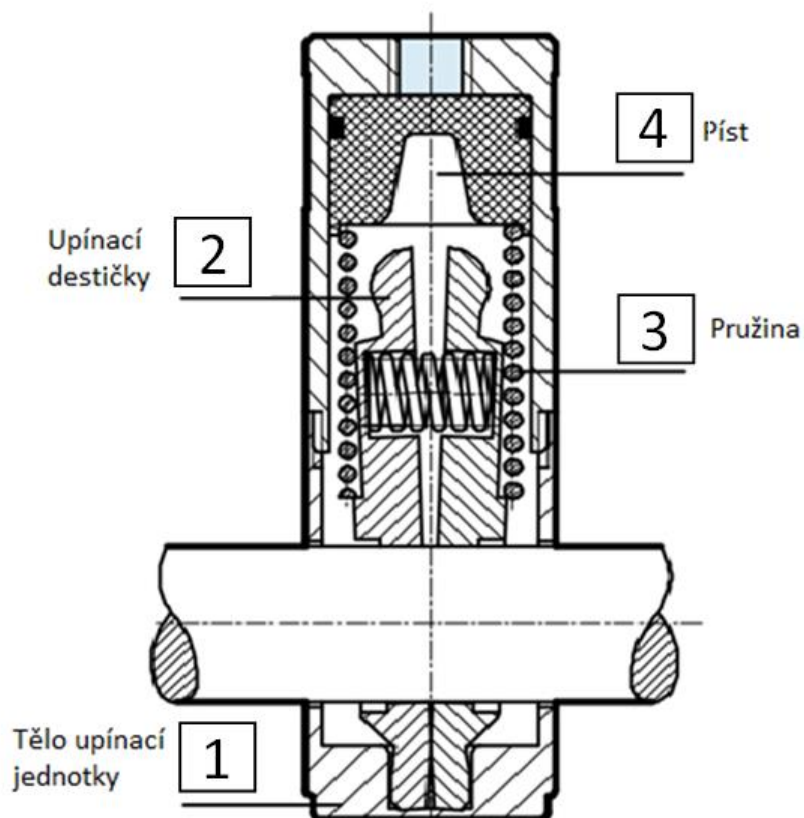
Obrázek 24: Princip horizontálního natáčení

### 6.2.6.1 Princip upínací jednotky a její upevnění

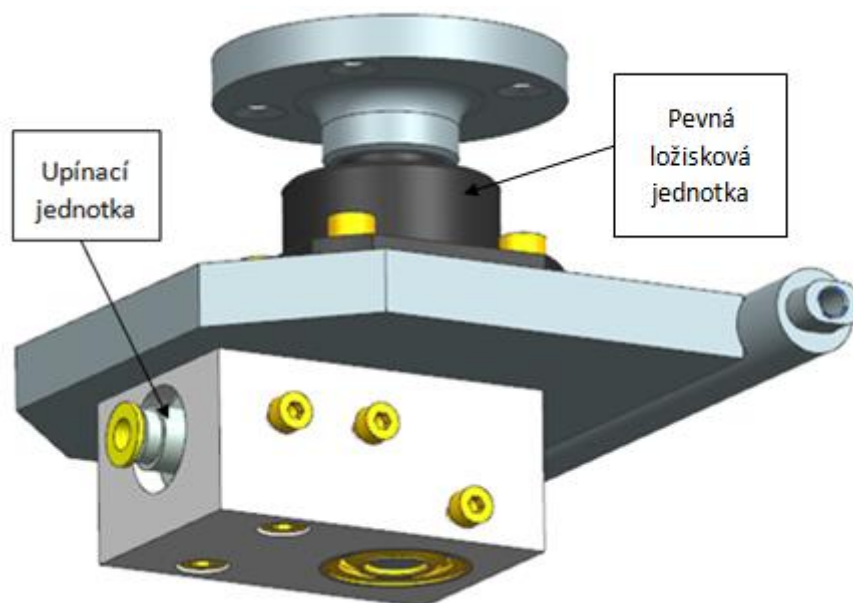
Upínací jednotka je připojena hadičkou na vzduchový ventil. Při uzavřeném ventilu, žádný vzduch nepůsobí tlakem na píst. Poloha otočného čepu je vymezena a upínací destičky (č. 2) neumožňují otáčení čepu. Po otevření ventilu, vzduch začne působit tlakem na píst (č. 4), který je z materiálu polyoxomethylenu. Píst stlačuje pružinu (č. 3), která je vyrobena z pružinové oceli. Zároveň se nasouvá a stlačuje k sobě upínací destičky. Ty jsou v základním stavu neustále napínány pružinou, čímž je vyvozena síla, která brání otáčení čepu. Po nasunutí pístu na upínací destičky, dojde k jejich sevření a k uvolnění otočného čepu, který se tak může volně otáčet. Po uzavření vzduchového ventilu dojde opět k zamezení otáčení čepu. Tento mechanismus je uvnitř těla upínací jednotky (č. 1). Princip fungování upínací jednotky je vidět na Obrázek 25. [12]

Samotná upínací jednotka je uložena ve speciálním pouzdru a je zajištěna pomocí dvou šroubů, viz Obrázek 26. Toto pouzdro je přišroubováno ze spodu polohovací desky pomocí dvou šroubů. Toto upnutí musí být přesné, aby otočný čep přesně procházel otvorem upínací jednotky a mohlo tak docházet ke správnému fungování.





Obrázek 25: Princip upínací jednotky [12]



Obrázek 26: Upnutí upínací jednotky

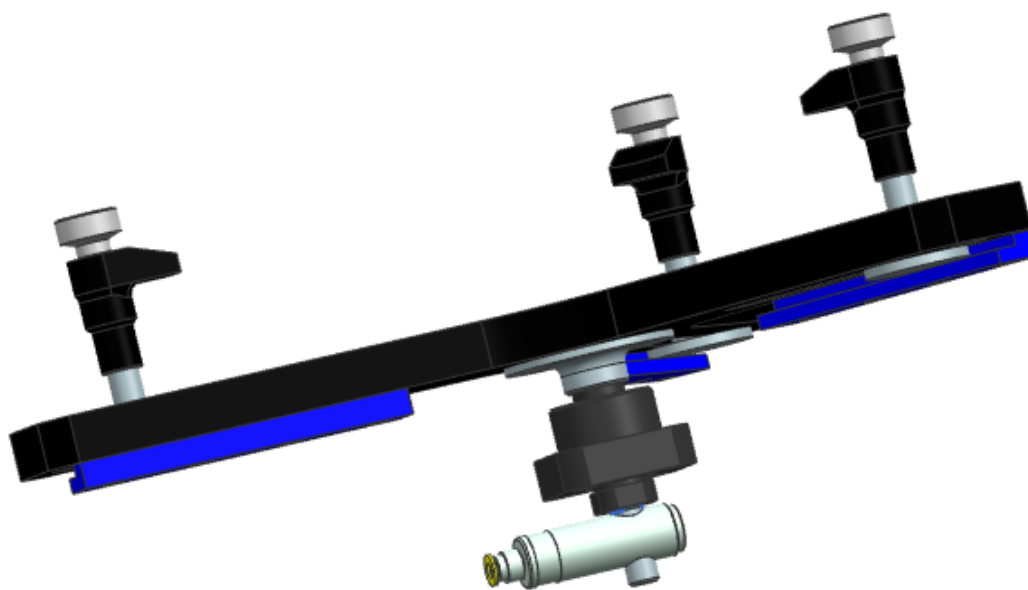
### **6.2.6.2 Pevná ložisková jednotka**

Slouží k uchycení otočného čepu a umožňuje jeho otáčení kolem vertikální osy. Jsou použita jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, která jsou schopná přenášet současně radiální i axiální síly. Ložiska jsou dvě vedle sebe, aby byl umožněn přenos axiální síly v obou směrech. Axiální únosnost kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem vzrůstá s rostoucím úhlem styku. Pro náš případ nebude potřeba nějakých speciálních ložisek s velkým úhlem styku, protože komponenty a i nosný díl jsou dost lehké. Počet otáček nosného dílu s komponentou je zanedbatelný. Vlastně ani k samotnému otáčení nedochází, protože dělník odjehlovává jednotlivé hrany postupně. To znamená, že si komponentu natočí tak, aby dané hrany mohl dobře odjehlít. Při samotné operaci komponenta zůstává v klidu. K natáčení dochází pouze, když požadovaná hrana je hotová nebo, když natočení už není vyhovující a je třeba komponentu nastavit do lepší polohy. Z tohoto vidíme, že nemusíme ověřovat výpočtem, zda ložiska vydrží požadovaný počet otáček. Je zřejmé, že ano.

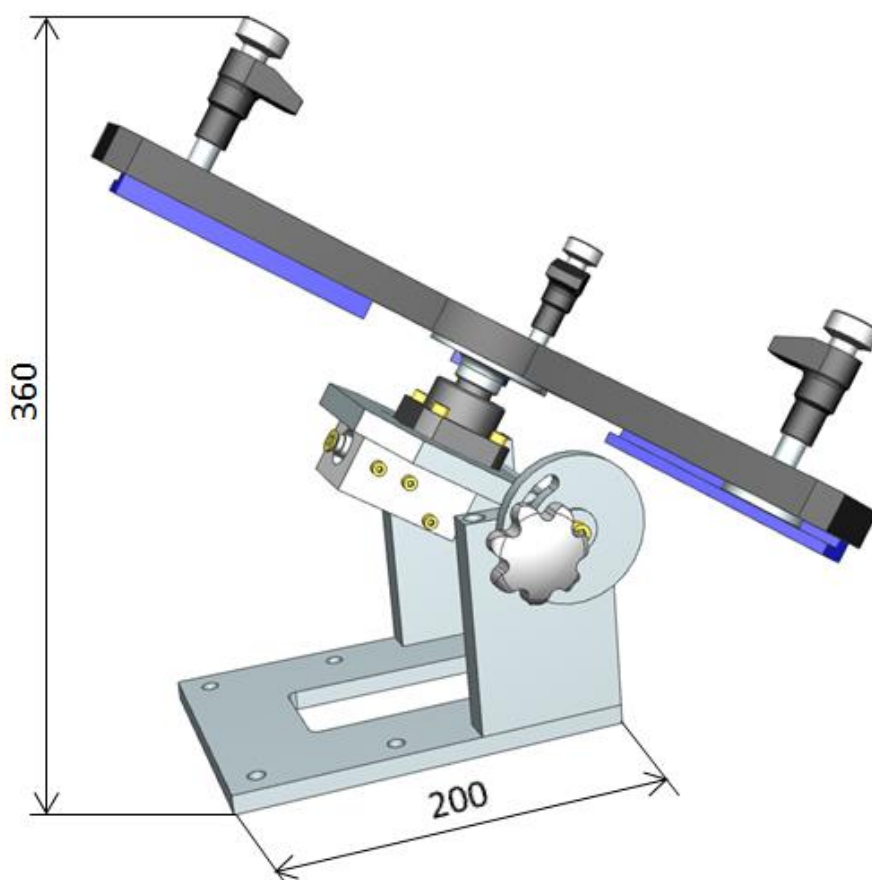
Pevná ložisková jednotka je přišroubována k polohovací desce, umožňující natáčení kolem horizontální osy, pomocí čtyř šroubů. Upevnění pevné ložiskové jednotky můžeme vidět na Obrázek 24.



Obrázek 27: Pevná ložisková jednotka [13]



Obrázek 28: Pohled na otočný čep s pevnou ložiskovou jednotkou a upínací jednotkou



Obrázek 29: Přípravek – pohled z boku



Obrázek 30: Přípravek – pohled zepředu



Obrázek 31: Přípravek – pohled zezadu

### **6.3 Upnutí přípravku**

Tato operace, která se koná před započítáním odjehlování komponent, je velmi důležitá. Požadavek na přípravek je, aby byl přemístitelný. Upnutí se provádí pomocí čtyř šroubů. Vždy se upne základní deska přípravku. Jsou dvě možnosti upnutí přípravku. První je upnutí na externí pojízdný stojan. Ten si pracovník může postavit kamkoli, aby měl přípravek dobře osvětlený. Zároveň je stojan výškově polohovatelný, aby si dělník mohl libovolně nastavit výšku tak, jak potřebuje.

Druhou možností je upnutí přípravku na desku z oceli o rozměrech 400 x 400 mm. Upnutí je opět provedeno pomocí čtyř šroubů. Deska s přípravkem je volně položena na stůl, kde si dělník popřípadě ještě může přípravek volně natáčet. Deska je dostatečně široká i dlouhá, takže přípravek je stabilní. Při tomto upnutí je problém, že přípravek není výškově polohovatelný, a proto musí pracovník, pokud mu daná výška přípravku nevyhovuje, použít výškově polohovatelnou židli, aby byl v požadované výšce.

## 7 Simulace zatížení

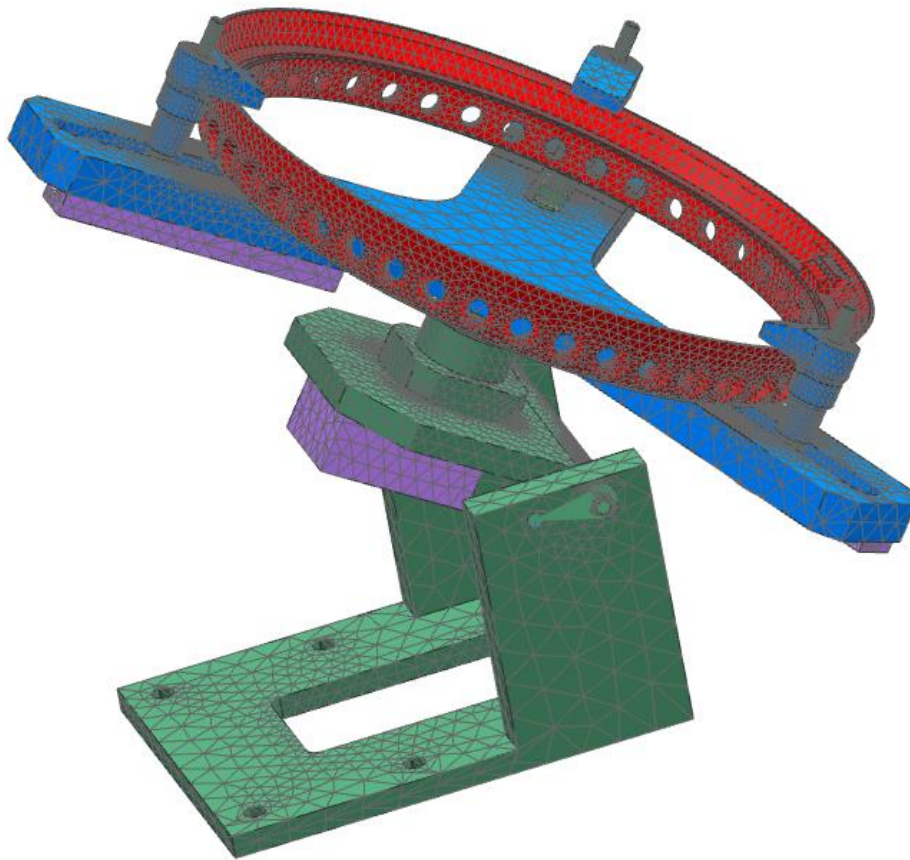
Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhu napětí, deformací a dalších veličin (činností) na vytvořeném modelu. Metoda konečných prvků je užívána především pro stanovení kritického (nejnamáhanějšího) místa konstrukce, pro kontrolu již navržených zařízení nebo pro optimalizaci jak napětí, tak i množství materiálu. To bylo provedeno i v případě přípravku. Nejprve bylo provedeno zjednodušení modelu v idealizovaném partu. To zahrnovalo odstranění zbytečných prvků pro výpočet, například rádiusů, sražení a dalších.

### 7.1 Síťový model

Po zjednodušení modelu v idealizovaném partu bylo provedeno zasiťování jednotlivých dílů, ze kterých je přípravek složen. Zasiťování proběhlo ve fem partu. Na zasiťování jednotlivých dílů byla použita 3D tetrahedral síť. Ta 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. Ve fem partu byl dále použit coupling. Ten slouží k zafixování otáčení osy. Ve fem partu došlo také ke spojení některých dílů. K tomu byl použit Mesh Mating.

Tabulka 9: Mechanické vlastnosti použitých materiálů

	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Poissonovo číslo	Měrná hmotnost [g. cm <sup>-3</sup> ]	Mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]
Ocel (ČSN 11 373)	$210 \cdot 10^3$	0,3	7,85	360-510
Hliník (ČSN 42 4201)	$70 \cdot 10^3$	0,33	2,7	360
POM (Polyoxymethylén dle ČSN)	$3,1 \cdot 10^3$	0,4	1,41	68
Inconel 718	$204,9 \cdot 10^3$	0,284	8,19	1240

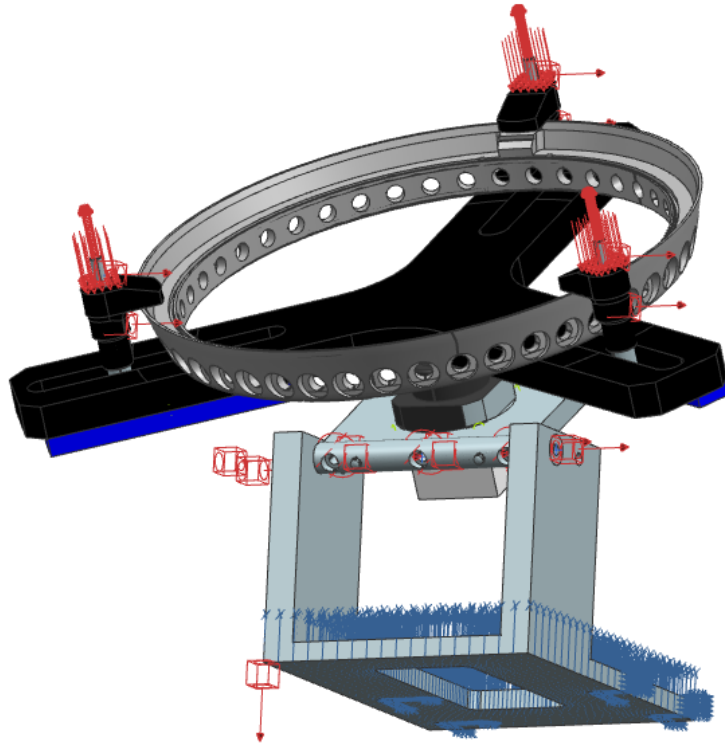


Obrázek 32: Fem – zesíťování jednotlivých dílů (modrá barva – POM materiál, fialová barva – hliník, zelená barva – ocel, červená barva – inconel 718)

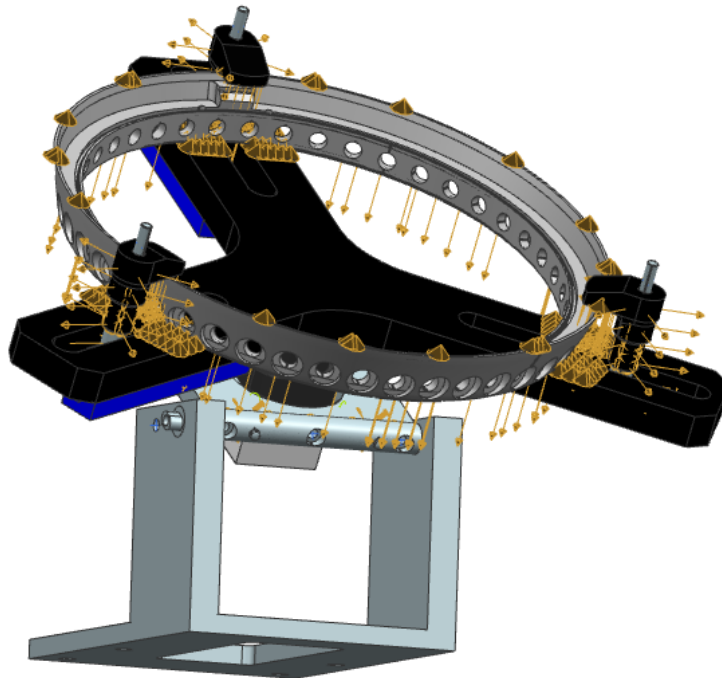
## 7.2 Okrajové podmínky

Zbylé díly, které se po sobě mohly pohybovat, jsou spojeny pomocí metody Surface-to-Surface Contact a u spojení upínacích prvků a komponenty byl použit Surface-to-Surface Gluing, viz Obrázek 34. To se provede v sim partu. Dále se v sim partu provede odebrání všech stupňů volnosti, aby přípravek byl staticky určitý, a přidají se všechna vnější zatížení působící na přípravek, což je vidět na Obrázek 33. Odebrání stupňů volnosti se provede pomocí příkazu User defined constraint. Tímto příkazem jsme zafixovali základní desku. Vnější zatížení je pak vlastní tíha jednotlivých dílů, ze kterých je přípravek složen, a komponenty, tedy působení gravitačního zrychlení. Další působící vnější zatížení je uvažováno přetížením 5G. V tom je zahrnut náraz pracovníka do přípravku při jeho manipulaci. To se provede přidáním Acceleration (5G) ve směru osy x.

Na Obrázek 35 je vidět detail spojení polohovací desky a osy. Spojení je provedeno pomocí dvou čepů a tří šroubů. Použitím funkce Surface-to-Surface Contact je spojena polohovací deska s osou. Na spojení šrouby je použita funkce Bolt Connection. Šroubový spoj je předeptnut pomocí funkce Bolt Pre-Load. Čepy jsou s osou spojeny pomocí Mesh Matingu. S polohovací deskou jsou čepy spojeny pomocí Surface-to-Surface Contact. V tomto spojení očekáváme nejvyšší napětí, především v oblasti aretačního kolečka.

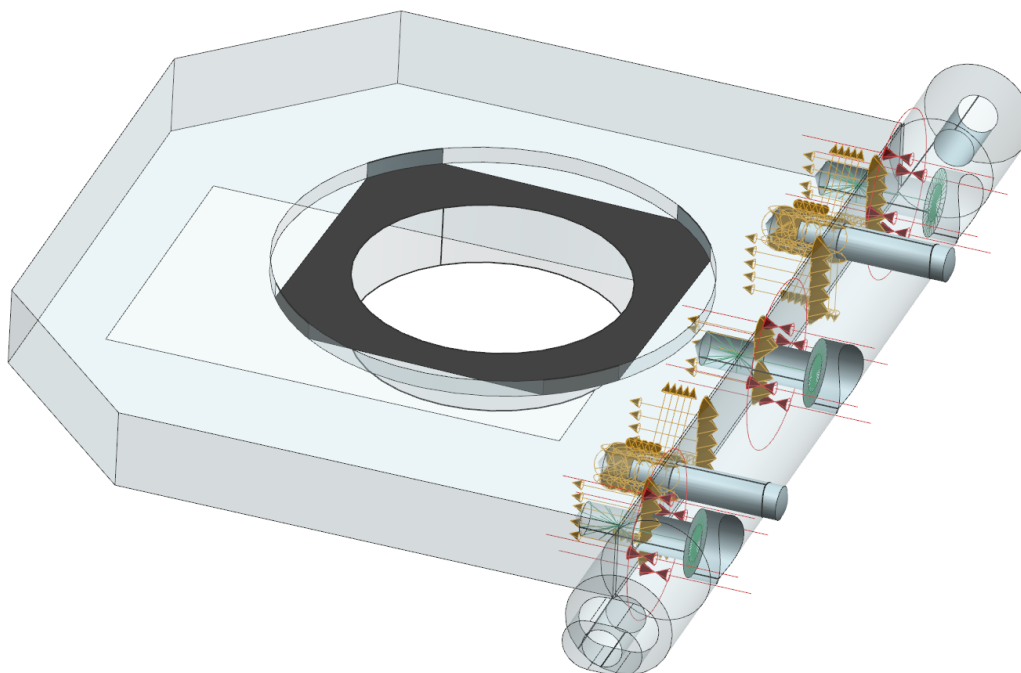


Obrázek 33: Sim – definování všech vnějších zatížení a odebrání všech stupňů volnosti



Obrázek 34: Sim – spojení dílů pomocí Surface-to-Surface Contact a Surface-to-Surface Gluing





Obrázek 35: Detail spojení Osy a Polohovací desky

### 7.3 Výsledky simulace

Po provedení všech předchozích kroků se provede výpočet. Výpočtem bylo ověřeno, že konstrukce je navržena dobře a vydrží dané zatížení. Na Obrázek 36 je vidět maximální velikost posunutí. To vyšlo největší na upínacích prvcích a jeho hodnota dosáhla 0,136 mm, což je zanedbatelné.

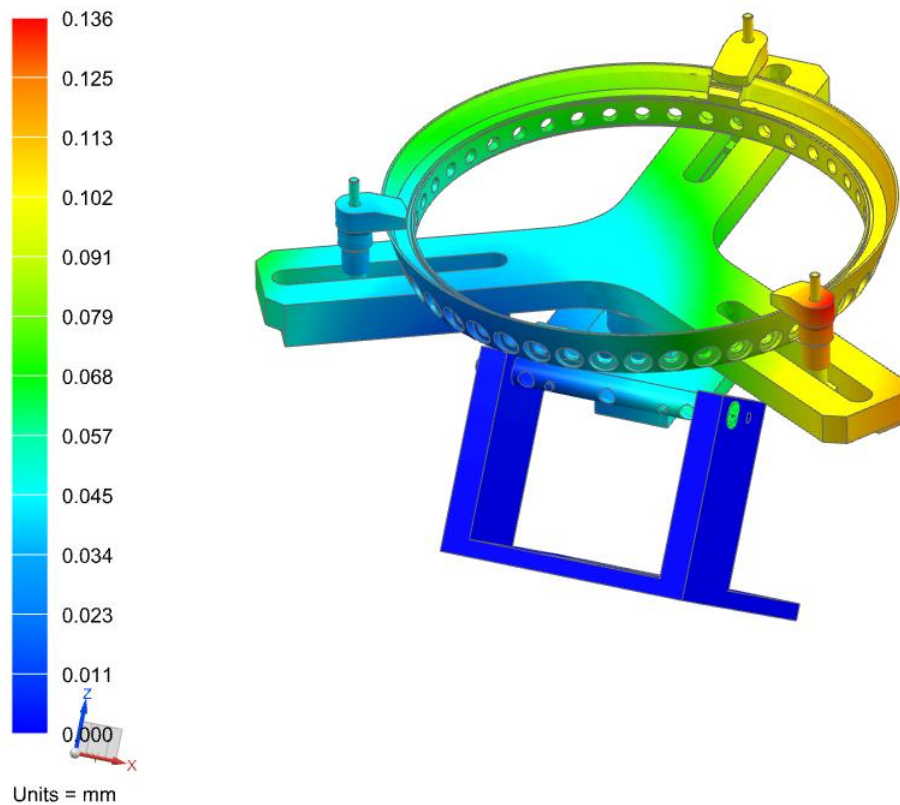
Největší napětí vyšlo podle očekávání ve spojení mezi osou a polohovací deskou, především v oblasti vyfrézované plošky pod aretačním kolečkem a u nejbližšího šroubu k aretačnímu kolečku spojujícího osu a polohovací desku. To je způsobené tím, že pomocí aretačního kolečka dochází k zafixování nosného dílu s komponentou v určité poloze. To můžeme vidět na Obrázek 37. Toto napětí má hodnotu 269 MPa a nachází se v otvorech pro čepy na polohovací desce. Osa a polohovací deska jsou z oceli ČSN 11 373, která má mez kluzu kolem 350 MPa a mez pevnosti kolem 500 MPa. Spojovací členy mají tyto hodnoty ještě větší, takže tento spoj z pevnostního hlediska vyhovuje. Na Obrázek 38, Obrázek 39 a Obrázek 40 je znázorněno napětí skupiny dílů, které mají stejný materiál.

Na Obrázek 38 jsou jednotlivé díly přípravku, mezi ně patří nosný díl a upínací prvky, které jsou z materiálu polyoxymethylénu (POM) dle ČSN. Je zde znázorněné napětí Von-Mises a maximální hodnota napětí je 2,5 MPa. Mez pevnosti materiálu polyoxymethylénu (POM) dle ČSN je 65 MPa, takže toto napětí je nevýznamné.

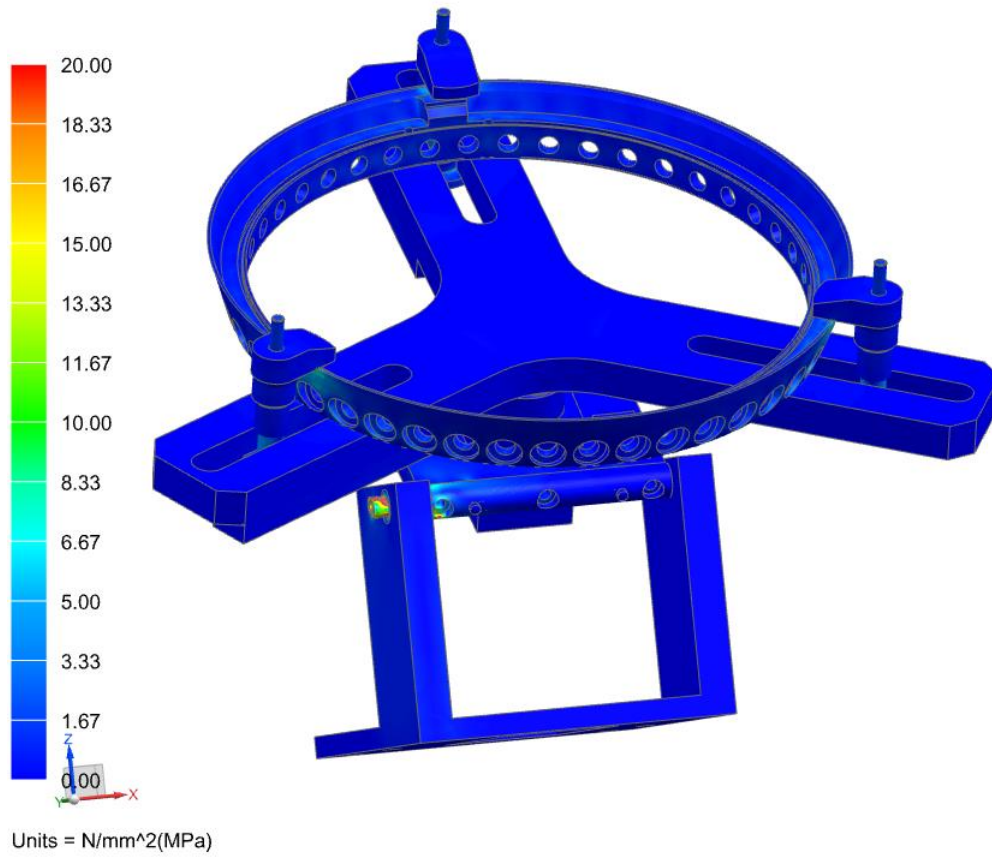
Na Obrázek 39 jsou díly přípravku z oceli. Na upínacích šroubech je maximální napětí 6 MPa. Největší napětí je ve spojení mezi osou a polohovací deskou, jak už bylo zmíněno, výše.

Na Obrázek 40 je znázorněno rozložení napětí na komponentě. Z tohoto obrázku je vidět, že největší napětí je v místech, kde je komponenta upnuta upínacími prvky k nosnému dílu. Maximální hodnota napětí je do 10 MPa, což je vzhledem k mezi pevnosti Inconelu, která je 1240 MPa, zanedbatelné. Díky nízké hodnotě napětí nedojde k plastické deformaci (zkroucení, ohnutí) komponenty.

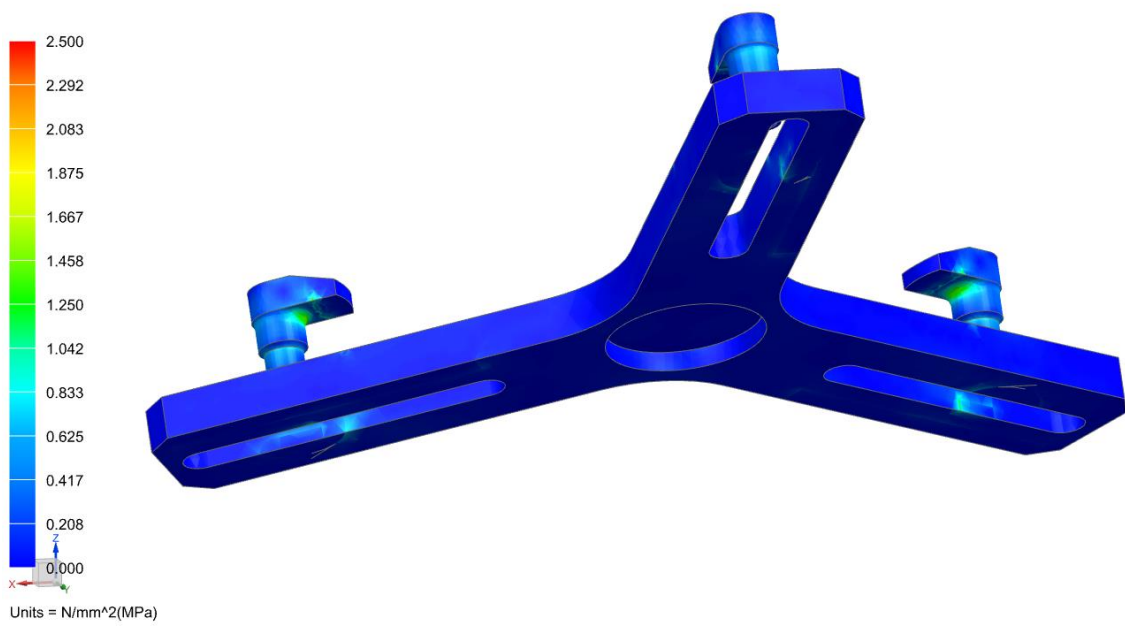
Z výsledků je vidět, že konstrukce přípravku je po pevnostní stránce předimenzovaná, což je z důvodu požadované vysoké tuhosti.



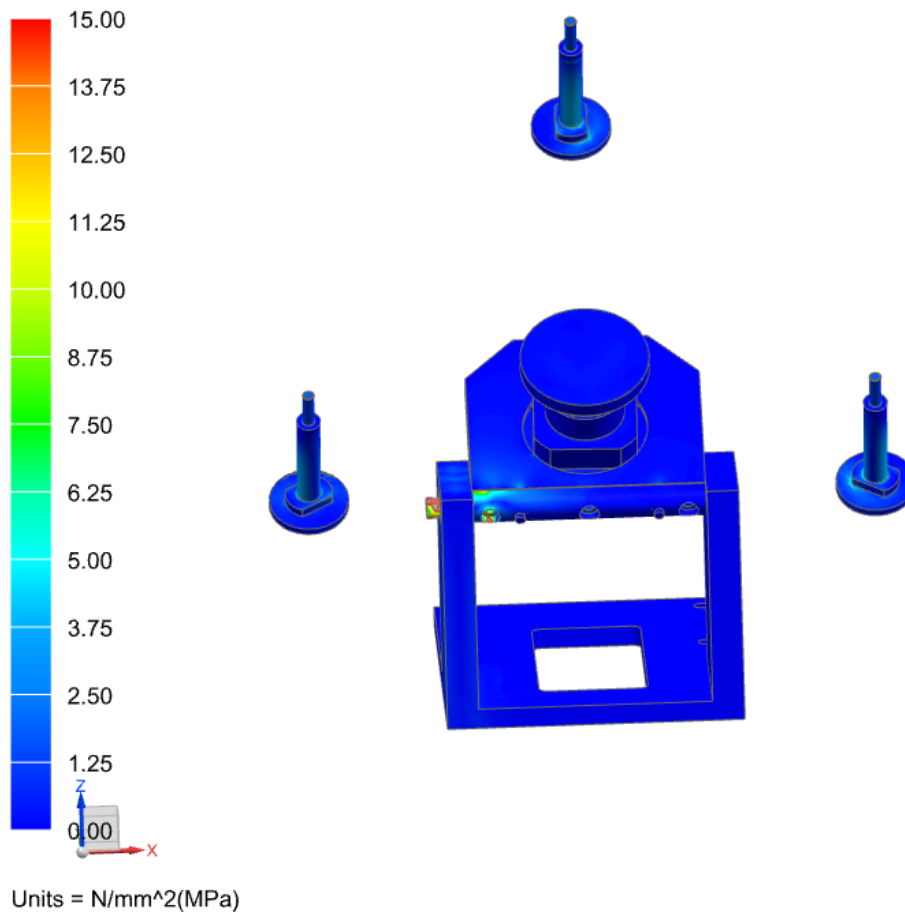
Obrázek 36: Velikost posunutí



Obrázek 37: Napětí Von-Mises



Obrázek 38: Napětí Von-Mises – materiál POM



Obrázek 39: Napětí Von-Mises – materiál Ocel



Obrázek 40: Napětí Von-Mises – materiál Inconel 718

## **8 Výrobní náklady**

Výrobní náklady přípravku jsou jedním z rozhodujících faktorů, zda přípravek bude vůbec zkonstruován a nezůstane jen v předvýrobní fázi. Na přípravek budou použity spojovací prvky jako jsou šrouby, matice a podložky. Jejich pořizovací náklady jsou je přibližně 230 Kč. Dále na konstrukci přípravku použijeme upínací jednotku a pevnou ložiskovou jednotku, které slouží k otáčení komponent. Prvky pro polohování přípravku patří mezi nejdražší položky. Cena pevné ložiskové jednotky je 1 170 Kč, upínací jednotky je 2 100 Kč a pneumatického pedálu je 1 350 Kč. Poslední nezbytnou částí výrobních nákladů jsou materiály, ze kterých budou vyrobeny jednotlivé součásti přípravku. Budou použity tyto materiály: polyoxymethylénu (POM) dle ČSN, hliník ČSN 424201 a neušlechtilá konstrukční ocel ČSN 11 373. Pořizovací náklady veškerého materiálu se pohybuje kolem 1 600 Kč. Do výrobních nákladů musíme také připočítat částku za obrobení dílů na strojích. Na obrobení použijeme soustruh a frézku. Hodinová sazba klasického soustruhu je 600 Kč a frézky je 800 Kč. Náklady na obrobení se pohybují okolo 3 000 Kč. Poslední položkou je montáž přípravku. Ta bude probíhat ve firmě a bude trvat kolem tří hodin. Náklady na montáž budou kolem 1 200 Kč. Celkové výrobní náklady přípravku dostaneme sečtením jednotlivých položek. Ty se pohybují kolem 11 000 Kč.

Tabulka 10: Výrobní náklady

	Název	Norma/Obchodní značení	Jednotková cena [Kč/ks]	Kusů	Náklady [Kč]
Spojovací prvky:	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M4 x 12	0,41	1x	0,41
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M4 x 16	0,59	2x	1,18
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M5 x 16	0,68	3x	2,04
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M5 x 20	0,49	4x	1,96
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M5 x 30	1	2x	2
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M6 x 16	0,65	2x	1,3
	Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 4762 - M6 x 100	6,13	6x	36,78
	Šroub se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 10642 - M4 x 16	0,41	12x	4,92
	Šroub se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem	ISO 10642 - M5 x 16	0,5	4x	2
	Kolík válcový kalený	ISO 8734 - Ø5 x 20	2,50	2x	5
	Stavěcí šrouby s vnitřním šestihranem	ISO 4029 - M8 x 35	3	1x	3
	Plochá podložka	ISO 7089 - Ø6,4 x 1,6	1	3x	3
	Plochá podložka	DIN 7349 - Ø6,4 x 3	1	2x	3
Ostatní prvky:	Rýhovaná matice	K0138	27	3x	81
	Rychloupínací ovládací matice	K0156	47	1x	47
	Jednořadá kuličková ložisko 6001	ČSN 02 4630	12	1x	12
	Pružina 1,25 x 9,25 - 30	ČSN 02 6030	16,5	3x	49,5
Na polohování přípravku:	Pevná ložisková jednotka	FK15 C7	1170	1x	1170
	Upínací jednotka	KP - 12600	2100	1x	2100
	Pneumatický pedál	F-3-1/4-B G1/4	1350	1x	1350
Materiál	Název		Jednotková cena [Kč/kg]	Kg	Náklady [Kč]
	Hliník ČSN 424201		140	0,54	80
	Polyoxymethylénu (POM) dle ČSN		200	5,6	1120
	Konstrukční ocel ČSN 11 373		21,66	19,5	425
Náklady na obrobení jednotlivých dílů	Díly se budou obrábět na soustruhu a frézce				3000
Náklady na montáž přípravku	Přípravek se bude montovat 3 hodinu				1200
				<b>Celkem[Kč]:</b>	<b>10 700</b>

## **9 Závěr**

Má bakalářská práce se zabývá konstrukcí přípravku na odjehlování komponent pro zámečnické pracoviště, kde se provádí srážení hran a odstraňování otřepů na komponentech po předchozích operacích. Přípravek usnadňuje a urychluje práci s komponentami.

V úvodní části je popsán materiál, ze kterého jsou komponenty vyrobeny. Jednak jeho vlastnosti obecně, ale i chemické složení, mechanické vlastnosti a jeho druhy. Dále také bylo zajímavé porovnat jeho vlastnosti s nejběžnějším strojírenským materiálem, kterým je ocel. Došel jsem k závěru, že i při vysokých teplotách má inconel vyšší mez kluzu a mez pevnosti než ocel za normálních podmínek.

V další části práce je popsána výroba komponenty od polotovaru až k její konečné fázi. V této části je také představena operace odjehlování, pro kterou má být přípravek zkonstruovaný. Dále je zde obrázek komponenty s vyznačenými hranami, které mají být odjehleny.

Následuje popis manipulace s díly, ergonomického pohledu na pracoviště a stávajícího způsobu odjehlování komponent. Ten je z ergonomického pohledu nevyhovující, a proto byl navržen přípravek, který zlepšuje ergonomii pracoviště.

Poslední část se týká samotné konstrukce přípravku, jeho výrobních nákladů, které se pohybují kolem 11 000 Kč a simulace zatížení přípravku, zda vyhovuje z pevnostního hlediska. Výsledkem simulace zatížení je, že je konstrukce po pevnostní stránce předimenzovaná, což je ale důsledkem požadované vysoké tuhosti.

## 10 Citovaná literatura

- [1.] **Upmet.** Nickel Alloy 718. *United Performance Metals*. [Online] 2. Listopad 2016. [http://www.upmet.com/sites/default/files/datasheets/Nickel%20Alloy\\_718\\_data\\_sheet\\_Sept\\_2016.pdf](http://www.upmet.com/sites/default/files/datasheets/Nickel%20Alloy_718_data_sheet_Sept_2016.pdf).
- [2.] **Kocián, Petr.** *Obrábění materiálu typu Inconel 718*. Plzeň : autor neznámý, 2012.
- [3.] **Bibus.** Niklové slitiny. *Bibus*. [Online] 24. Listopad 2016. [http://new.bibus.cz/pdf/Special\\_Metals/Nikl/Niklove\\_slitiny.pdf](http://new.bibus.cz/pdf/Special_Metals/Nikl/Niklove_slitiny.pdf).
- [4.] **Wikipedia.** Inconel. *Wikipedia*. [Online] 4. Listopad 2016. <https://en.wikipedia.org/wiki/Inconel>.
- [5.] **NeoNickel.** Alloy 718. *NeoNickel*. [Online] 25. Listopad 2016. <http://www.neonickel.com/alloys/nickel-alloys/alloy-718/>.
- [6.] **Metals, High Temp.** Inconel 718 technical data. *High Temp metals*. [Online] 2. Listopad 2016. <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempInconel718data.php>.
- [7.] **Grade, Steel.** 11600. *Web Steel GRADES*. [Online] 2. Listopad 2016. <http://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Structure-Steel/11600.html>.
- [8.] **Pratt & Whitney Gains Joint Airbus A320neo Certification.** *MRO-Network*. [Online] 21. Únor 2017. <http://www.mro-network.com/engines-engine-systems/pratt-whitney-gains-joint-airbus-a320neo-certification>.
- [9.] **Wikipedia.** Dvouproudový motor. *Wikipedia*. [Online] 10. Leden 2017. [https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudový\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudový_motor).
- [10.] **AirInsight.** AirInsight Technical Analysis. *AirInsight*. [Online] 21. Únor 2017. <https://airinsight.com/2012/10/02/airinsight-technical-analysis-the-core-of-the-pw1000g-geared-turbo-fan/>.
- [11.] **Tenart.** Polyacetal POM. *Tenart*. [Online] 24. Leden 2017. <http://tenart.cz/technicke-plasty/produkty/polyacetal-pom/>.
- [12.] **Festo.** Clamping cartridges/units. *Festo*. [Online] 24. Leden 2017. [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ENGB/PDF/EN/KP-KPE-KEC\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/KP-KPE-KEC_EN.PDF).
- [13.] **CNCshop.** FK ložisková jednotka. *CNCshop*. [Online] 21. Únor 2017. <http://www.cncshop.cz/wbk-loziskova-jednotka-pevne-uchyceni>.
- [14.] **Metals, Special.** Inconel 718. *SPECIAL METALS*. [Online] 2. Listopad 2016. <http://www.specialmetals.com/assets/documents/alloys/inconel/inconel-alloy-718.pdf>.
- [15.] **mmspektrum.** Obrábění těžkoobrobitelných materiálů. *mmspektrum*. [Online] 25. Listopad 2016. <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-tezkoobrobitelnych-materialu.html>.



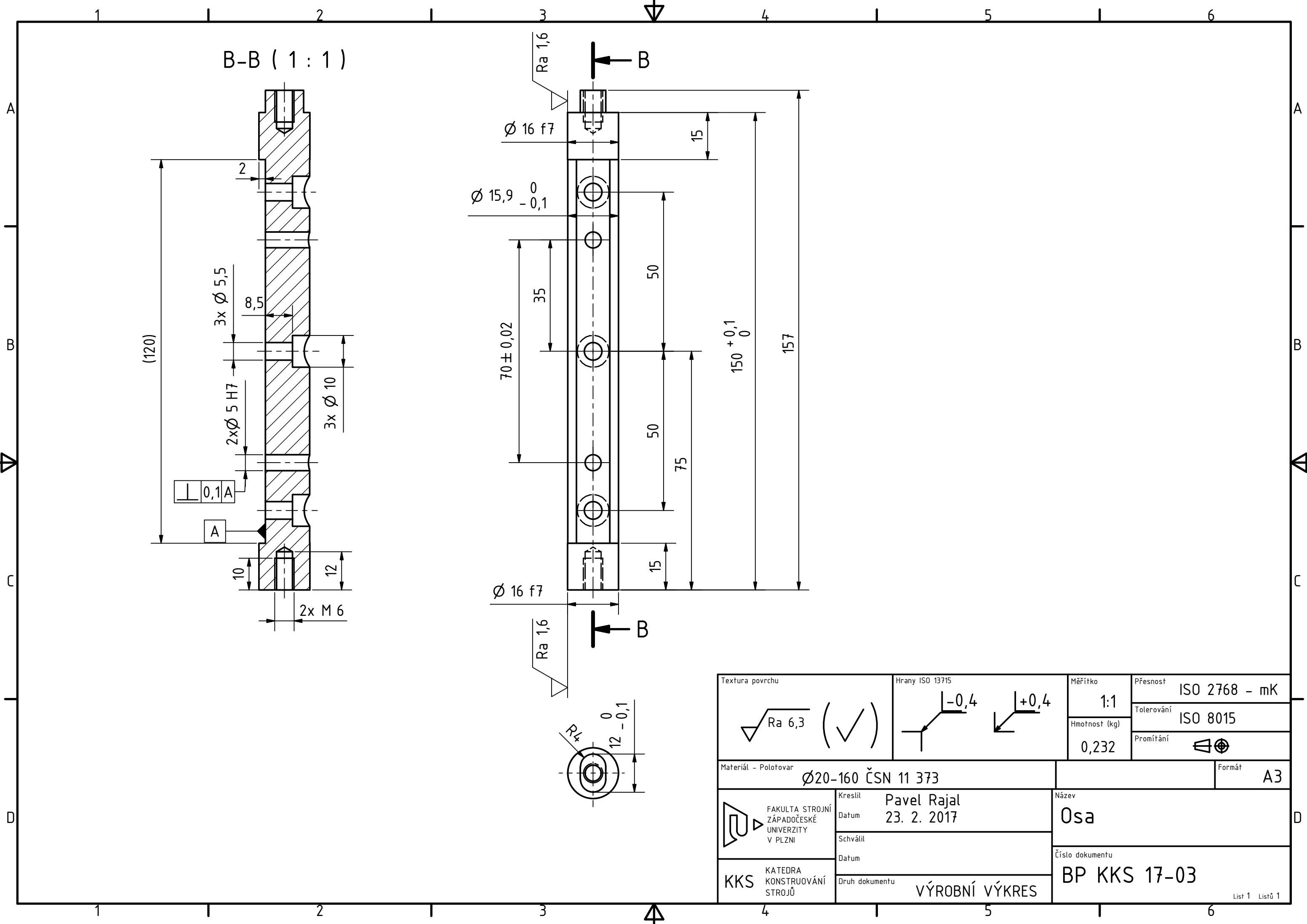
## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Airbus A320neo [8] .....	14
Obrázek 2: Letecký motor, ve kterém se nachází popisované komponenty [10].....	15
Obrázek 3: První operace – soustružení (čárkovaná šedivá – výchozí tvar; plná červená – obráběný tvar).....	16
Obrázek 4: Druhá operace – soustružení (čárkovaná šedivá – výchozí tvar; plná červená – obráběný tvar).....	16
Obrázek 5: Čtvrtá operace – lapování (plná červená – obráběný tvar) .....	17
Obrázek 6: Pátá operace – soustružení na čisto (plná červená – obráběný tvar) .....	18
Obrázek 7: Šestá operace – soustružení na čisto (plná červená – obráběný tvar).....	18
Obrázek 8: Sedmá operace – frézování (plná červená – obráběný tvar).....	19
Obrázek 9: Osmá operace – ostré hrany určené k odjehlení (souměrně platí pro druhou půlku).....	19
Obrázek 10: Pohled na hotovou komponentu .....	21
Obrázek 11, Obrázek 12: Přepravka na manipulaci s komponenty .....	22
Obrázek 13: Původní způsob odjehlování komponent .....	23
Obrázek 14: Výchozí skica přípravku .....	27
Obrázek 15: Nosný díl.....	28
Obrázek 16: Silové působení při upínání komponenty .....	29
Obrázek 17: Varianta A (Vysvětlivky ke skice (platí i pro následující obrázky): žlutá barva – nosný díl; fialová barva – šroub s maticí; černá barva – upínací prvek; modrá barva – pružina; červená barva – komponenta; oranžová barva – rychloupínka) .....	30
Obrázek 18: Varianta B.....	31
Obrázek 19: Varianta C.....	31
Obrázek 20: Varianta D .....	32
Obrázek 21: Graf výhodnosti jednotlivých variant.....	34
Obrázek 22: Rozstřel varianty A .....	34
Obrázek 23: Otočný čep spojený s nosným dílem .....	35
Obrázek 24: Princip horizontálního natáčení.....	37
Obrázek 25: Princip upínací jednotky [12] .....	38
Obrázek 26: Upnutí upínací jednotky.....	38

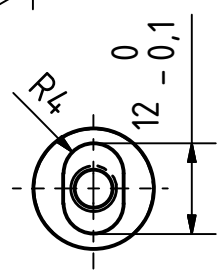
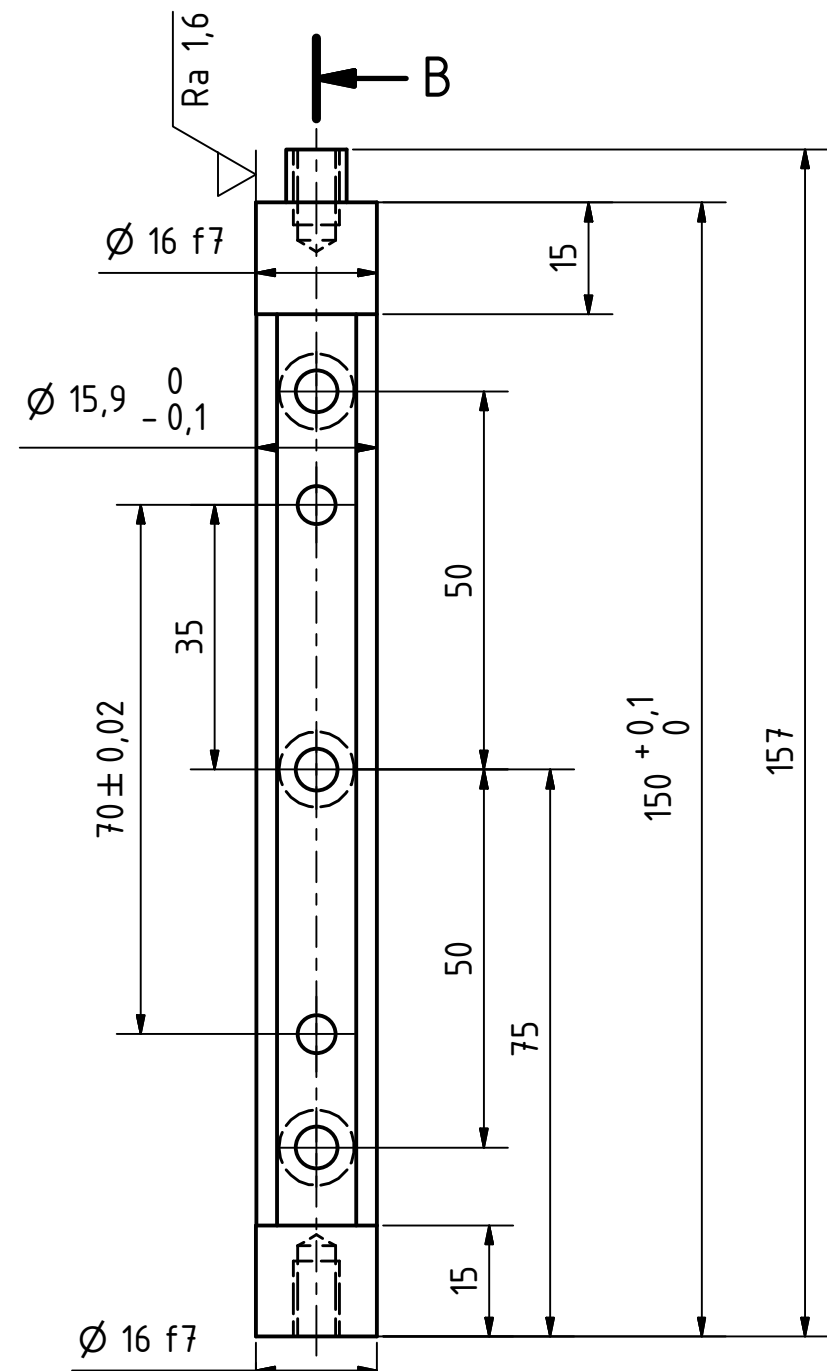
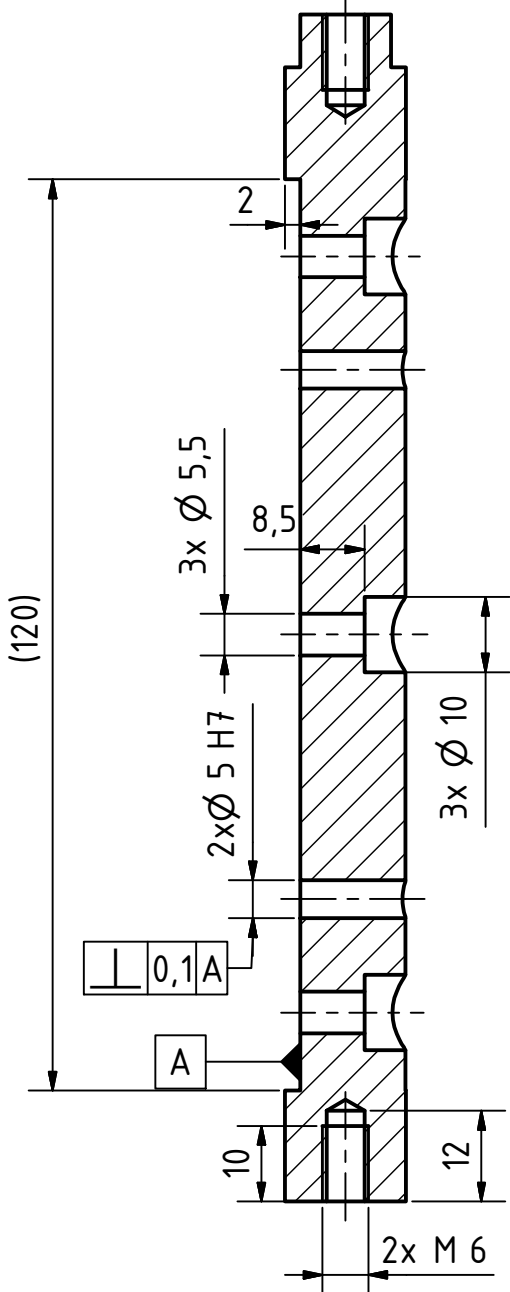
Obrázek 27: Pevná ložisková jednotka [13] .....	39
Obrázek 28: Pohled na otočný čep s pevnou ložiskovou jednotkou a upínací jednotkou .....	40
Obrázek 29: Přípravek – pohled z boku .....	40
Obrázek 30: Přípravek – pohled zepředu .....	41
Obrázek 31: Přípravek – pohled zezadu .....	41
Obrázek 32: Fem – zesíťování jednotlivých dílů (modrá barva – POM materiál, fialová barva – hliník, zelená barva – ocel, červená barva – inconel 718).....	44
Obrázek 33: Sim – definování všech vnějších zatížení a odebrání všech stupňů volnosti .....	45
Obrázek 34: Sim – spojení dílů pomocí Surface-to-Surface Contact a Surface-to-Surface Gluing .....	45
Obrázek 35: Detail spojení Osy a Polohovací desky .....	46
Obrázek 36: Velikost posunutí .....	47
Obrázek 37: Napětí Von-Mises.....	48
Obrázek 38: Napětí Von-Mises – materiál POM .....	48
Obrázek 39: Napětí Von-Mises – materiál Ocel .....	49
Obrázek 40: Napětí Von-Mises – materiál Inconel 718 .....	49

## **12 Seznam tabulek**

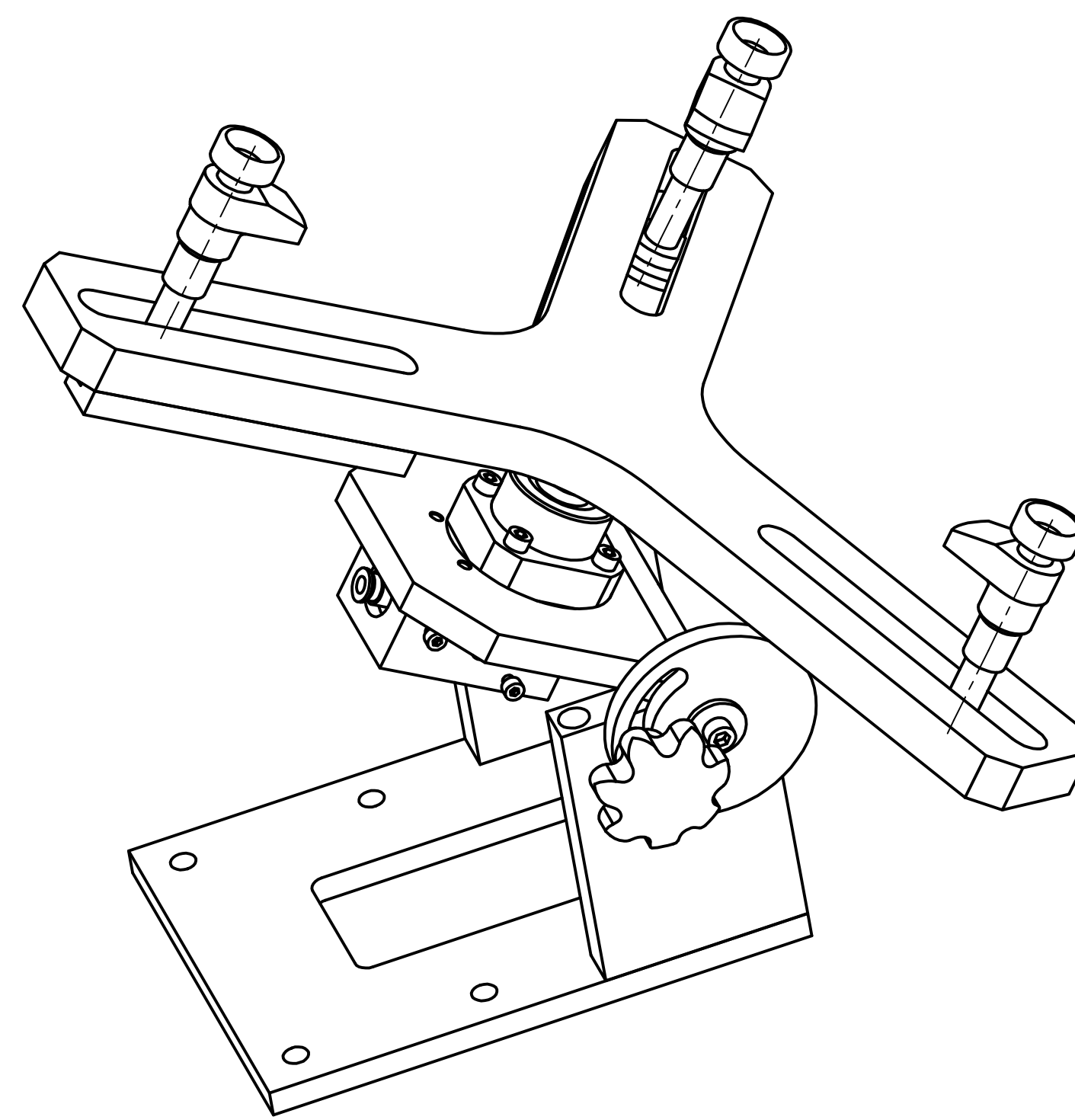
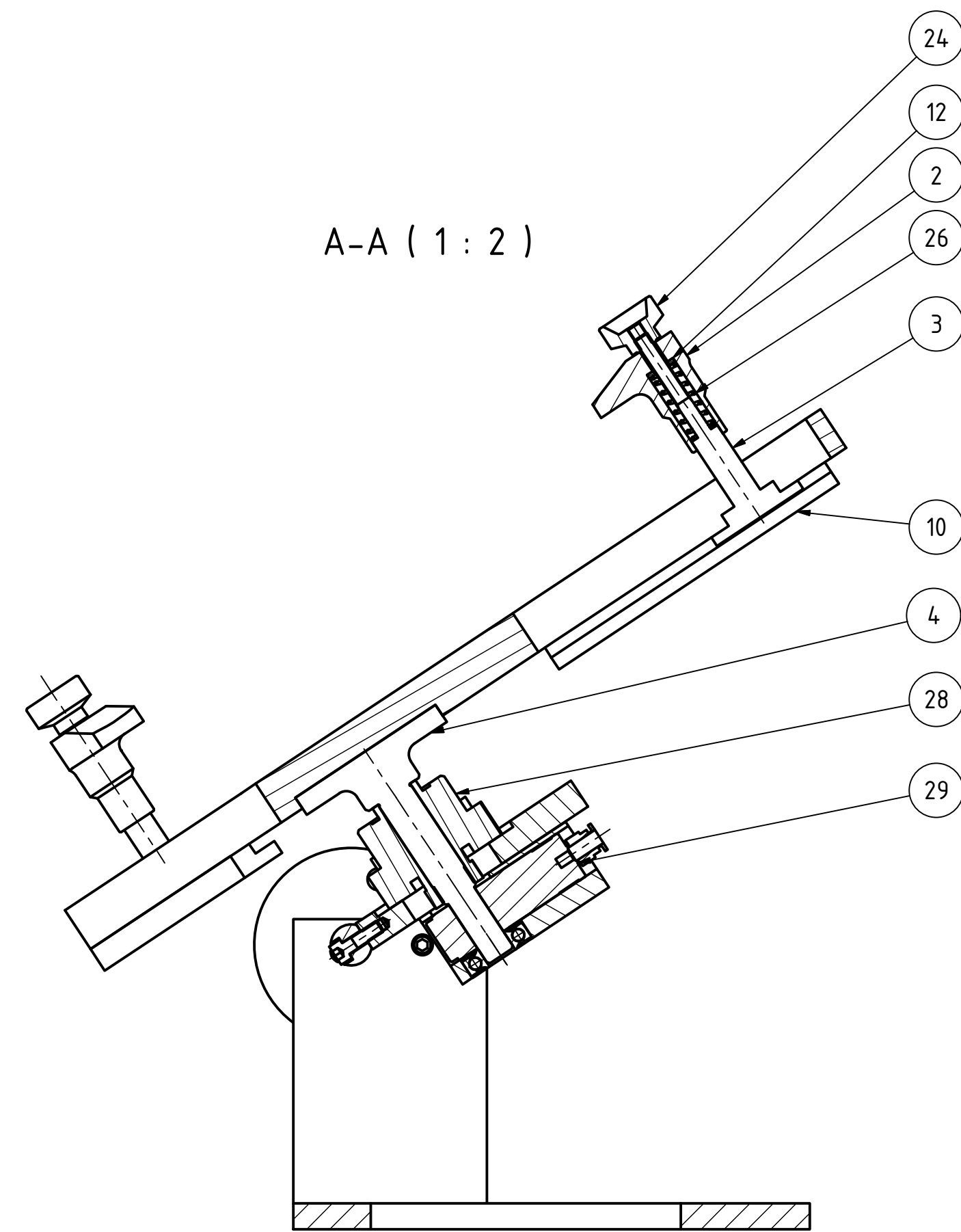
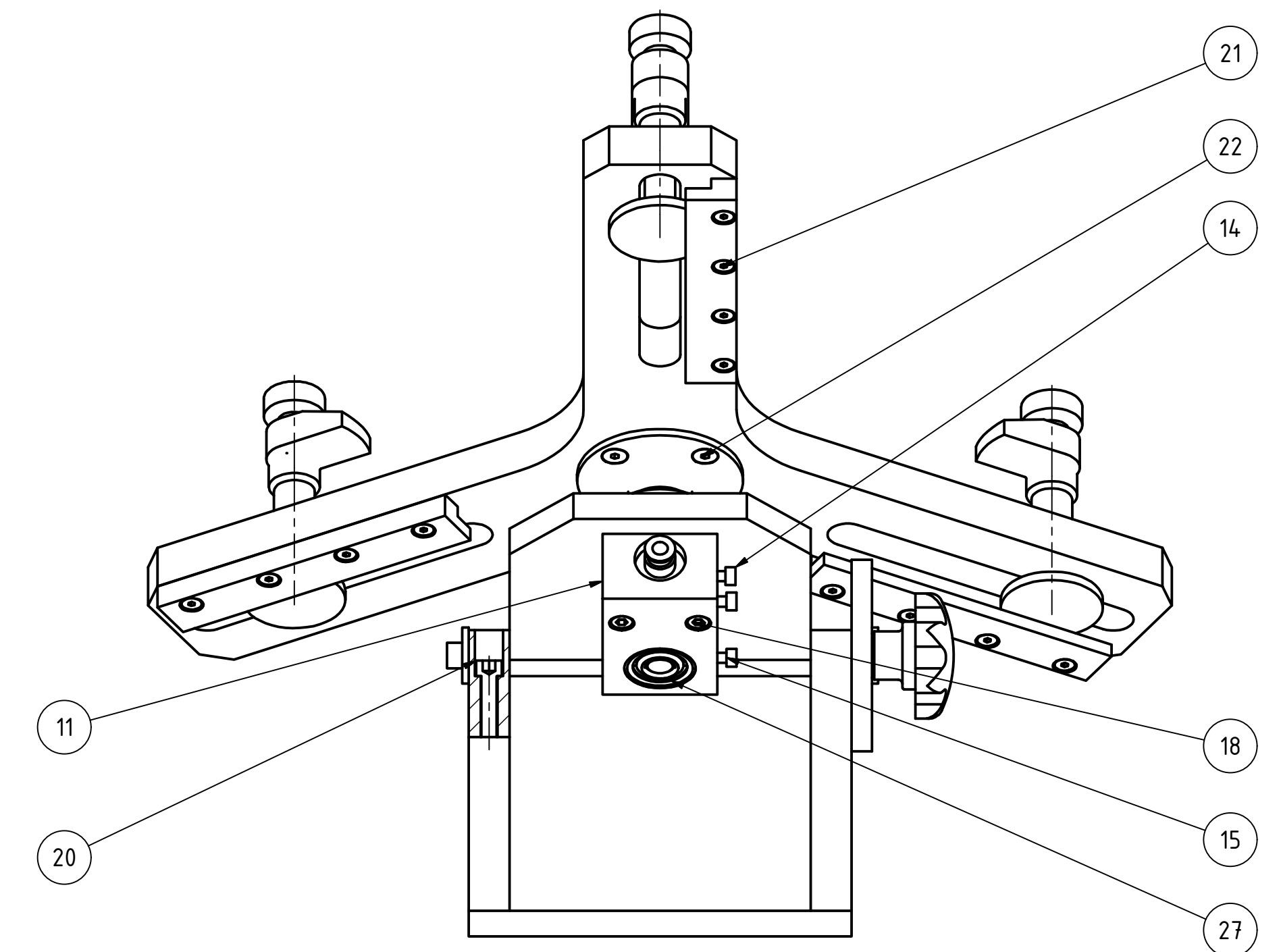
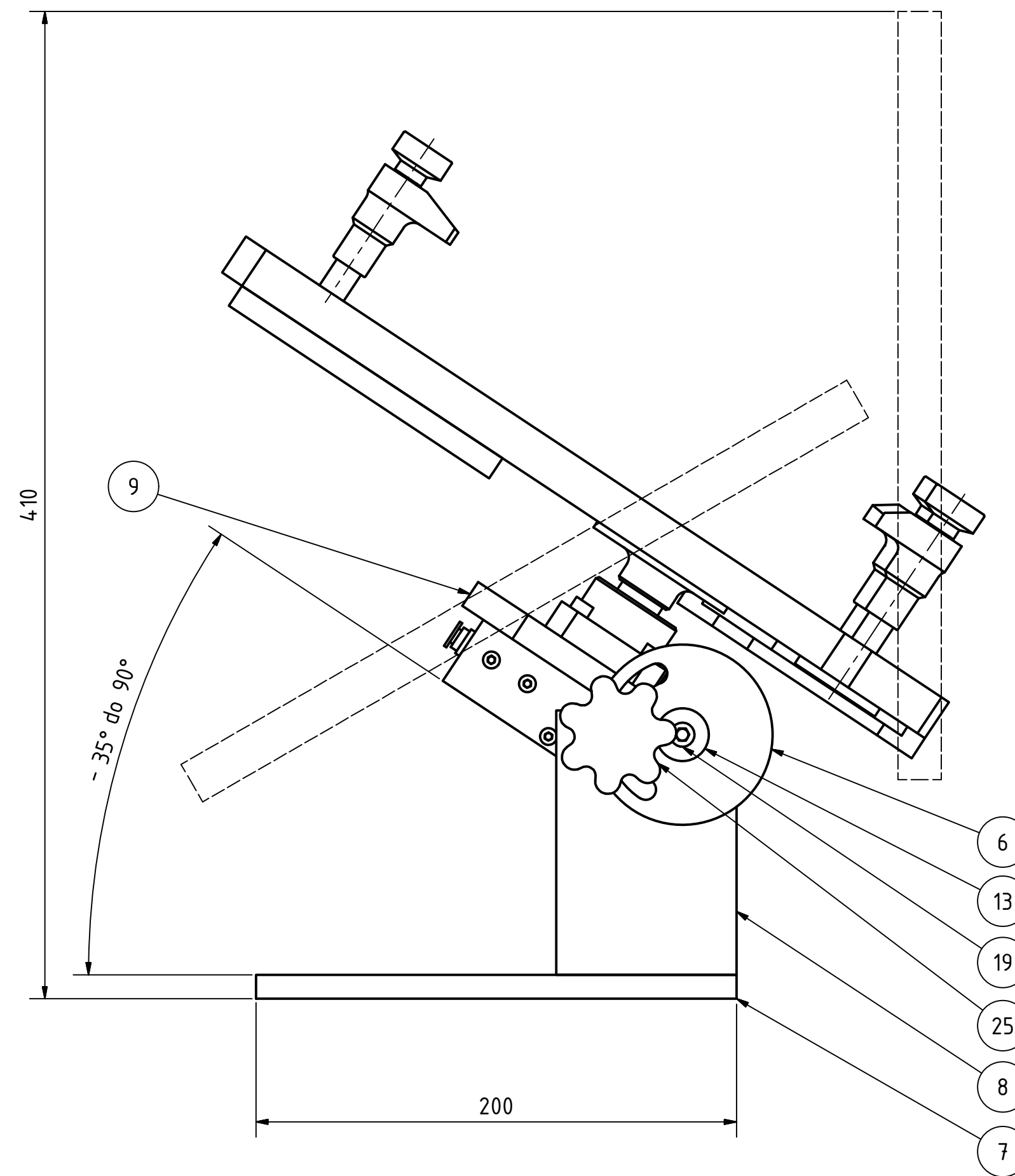
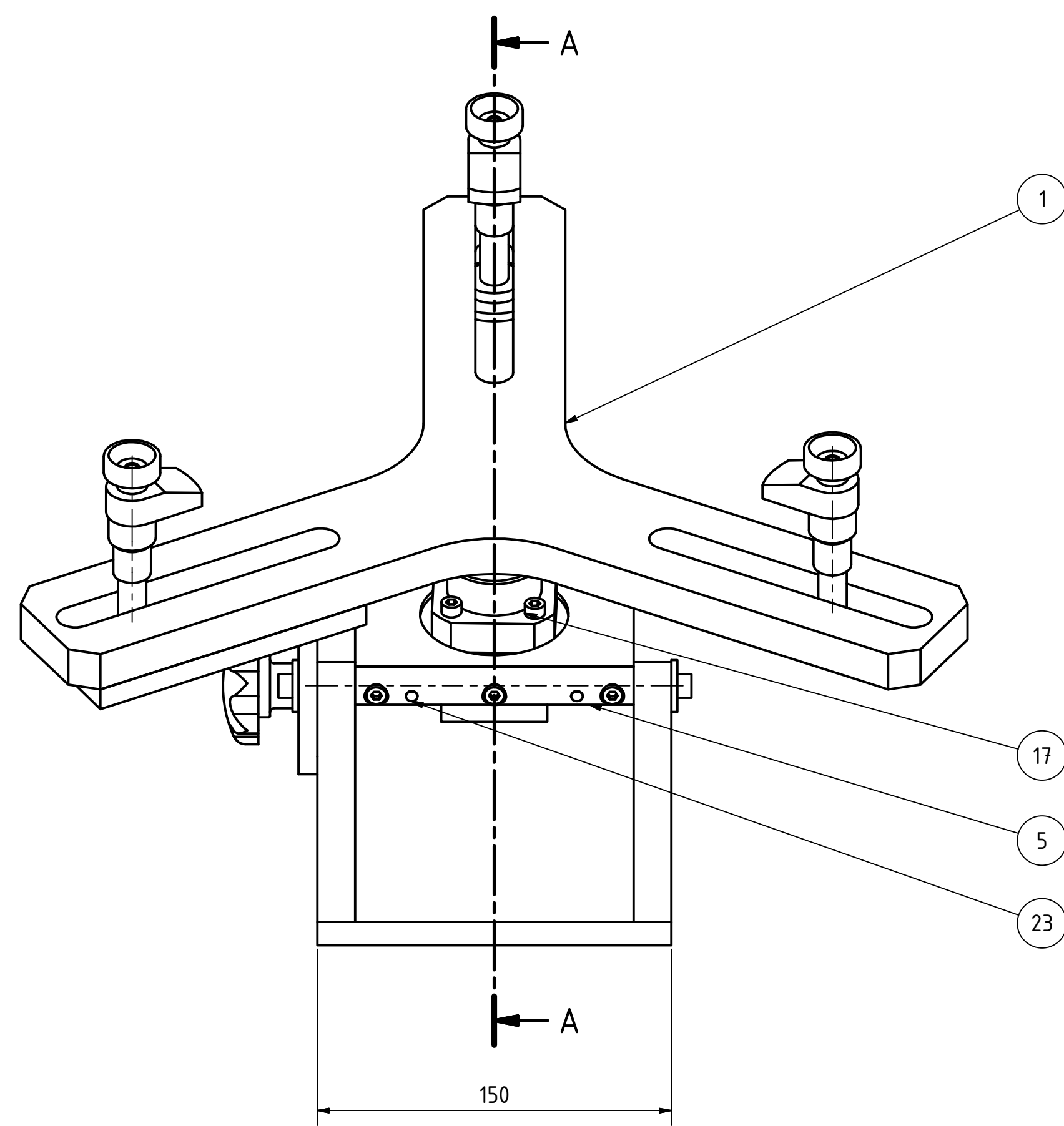
Tabulka 1: Chemické složení INCONELů [4] .....	9
Tabulka 2: Závislost napětí na teplotě [5] .....	10
Tabulka 3: Závislost napětí do prasknutí na teplotě a době trvání [5] .....	11
Tabulka 4: Vybrané vlastnosti slitiny INCONELu 718 [2] .....	11
Tabulka 5: Koeficient teplotní roztažnosti [6] .....	11
Tabulka 6: Chemické složení [6] .....	12
Tabulka 7: Mechanické vlastnosti oceli 11 600 [7] .....	13
Tabulka 8: Tabulka výhodnosti jednotlivých variant.....	33
Tabulka 9: Mechanické vlastnosti použitých materiálů .....	43
Tabulka 10: Výrobní náklady .....	51



B-B ( 1 : 1 )



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,232	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár Ø20-160 ČSN 11 373		Promítání 	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Pavel Rajal	Název Osa	
	Datum 23. 2. 2017	Číslo dokumentu BP KKS 17-03	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Formát A3	
	Datum	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	



30	Pneumatický pedál	F-3-1/4-B G1/4		1	0,950 Kg
29	Upínací jednotka	KP - 12 - 600		1	0,050 Kg
28	Pevná ložisková jednotka	Nlm 24080 - 015		1	0,360 Kg
27	Ložisko 6001	ČSN 02 4630		1	0,022 Kg
26	Pružina 1,25 x 9,25 - 30	ČSN 02 6030		3	0,003 Kg
25	Rychloupínací matice Ø50 - M8	Nlm 06210 - 2081		1	0,020 Kg
24	Matice M6	Nlm 06013 - 06		3	0,007 Kg
23	Čep - Ø5 x 20	ISO 8734		2	0,007 Kg
22	Šroub - M5 x 16	ISO 10642		4	0,006 Kg
21	Šroub - M4 x 16	ISO 10642		12	0,005 Kg
20	Šroub - M6 x 100	ISO 4762		6	0,030 Kg
19	Šroub - M6 x 16	ISO 4762		2	0,007 Kg
18	Šroub - M5 x 30	ISO 4762		2	0,012 Kg
17	Šroub - M5 x 20	ISO 4762		4	0,007 Kg
16	Šroub - M5 x 16	ISO 4762		3	0,006 Kg
15	Šroub - M4 x 12	ISO 4762		1	0,004 Kg
14	Šroub - M4 x 16	ISO 4762		2	0,005 Kg
13	Podložka - Ø6,4 x 3	DIN 7349		2	0,003 Kg
12	Podložka - Ø6,4 x 1,6	ISO 7089		3	0,002 Kg
11	Pouzdro	BP KKS 17 - 12	ČSN 42 4401	1	0,169 Kg
10	Spodní lišta	BP KKS 17 - 11	ČSN 42 4401	3	0,070 Kg
9	Polohovací deska	BP KKS 17 - 10	ČSN 11 373	1	0,732 Kg
8	Stojina	BP KKS 17 - 09	ČSN 11 373	2	0,892 Kg
7	Základní deska	BP KKS 17 - 08	ČSN 11 373	1	1,809 Kg
6	Aretační kolečko	BP KKS 17 - 07	ČSN 11 373	1	0,237 Kg
5	Osa	BP KKS 17 - 06	ČSN 11 373	1	0,232 Kg
4	Otočný čep	BP KKS 17 - 05	ČSN 11 373	1	0,604 Kg
3	Upínací šroub	BP KKS 17 - 04	ČSN 11 373	3	0,235 Kg
2	Upínací prvek	BP KKS 17 - 03	Polyoxymethylén (POM) dle ČSN	3	0,019 Kg
1	Nosný díl	BP KKS 17 - 02	Polyoxymethylén (POM) dle ČSN	1	1,091 Kg
Pozice	Název - Rozměr	Výkres - Norma	Materiál	Ks	Hmotnost

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	9,384	Průřez		Formát	A1
Kreslil	Pavel Rajal	Datum	26. 2. 2017	Název	Přípravek		
Schválil		Datum		Číslo dokumentu	BP KKS 17-01		
KKS	KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY	Úst 1	Úst 1		