

Optimalizace konstrukce upínacího přípravku a procesu frézování dílce VOLVO

Bc. Tomáš Kovářík

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Kovářik
Osobní číslo:	T23306
Studijní program:	N0788A270002 Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Optimalizace konstrukce upínacího přípravku a procesu frézování dílce VOLVO

Zásady pro vypracování

- Teoretická příprava a studie technologií
- Návrh a výroba přípravku pro optimalizované upínání
- Programování a verifikace procesu obrábění
- Analýza a optimalizace výrobního procesu

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání pro praxi*. Grada, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9.
KIEF, Hans B.; ROSHIWAL, Helmut A. a SCHWARZ, Karsten. *The CNC handbook*. South Norwalk, Connecticut: Industrial Press, 2022. ISBN 978-0-8311-3636-9.
GRZESIK, Wit. *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. Oxford: Elsevier, 2008. ISBN 9780080557496.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 3. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je úprava a vývoj výroby dílu pro zákazníka VOLVO, který má zájem o sériové dodávky dílů pro řídicí ústrojí přední nápravy elektricky poháněných nákladních vozidel. Díl je vyráběn metodou frézování na frézovacím centru. Cílem diplomové práce je úprava upínání dílce na přípravek. Návrh je proveden v CAD/CAM systému „Siemens NX“. Vytvořen je nový technologický postup a na konci provedeno porovnání optimalizace s původním řešením. Cílem je zrychlení výroby, a především zvýšení kvality dílců po obrobení.

Klíčová slova: frézování, frézovací centrum, řídicí ústrojí přední nápravy, CAD/CAM, přípravek, technologický postup, optimalizace

ABSTRACT

The topic of the thesis will be the modification and development of the production of a part for a VOLVO customer interested in the serial supply of parts for the front axle steering gear of electrically driven trucks. The part is produced by the milling method on a milling centre. The aim of the thesis will be to modify the clamping of the part on the jig. The design will be done in the CAD/CAM system "Siemens NX". A new technological process will be designed and at the end a comparison of the optimization with the original design will be made. Here, the speed of production and especially the quality of the parts after machining will be supervised.

Keywords: milling, milling centre, front axle control unit, CAD/CAM, jig, technological process, optimization

Děkuji tímto doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. z Fakulty technologické, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy CV Machining s.r.o. za poskytnutí možnosti podílet se na vývoji a projektech výroby v jejich firmě.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 POPIS TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....	15
1.1 HISTORIE FRÉZOVÁNÍ	15
1.2 VÝVOJ BĚHEM 20.STOLETÍ	16
1.3 MODERNIZACE VE FRÉZOVÁNÍ A DIGITALIZACE VÝROBY	17
1.4 PRINCIP FRÉZOVÁNÍ.....	17
1.4.1 Mechanismy odebrání materiálu pomocí rotujících nástrojů.....	18
1.4.2 Parametry procesu frézování	19
1.4.3 Vznik a druhy třísek	21
1.5 DRUHY FRÉZOVACÍCH OPERACÍ.....	22
1.5.1 Rovinné frézování	23
1.5.2 Obvodové frézování	23
1.5.3 Čelní frézování	24
1.5.4 Profilové frézování.....	25
1.5.5 Speciální metody frézování.....	25
1.6 ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	27
1.6.1 Řezná rychlost	27
1.6.2 Posuv	27
1.6.3 Objem odebraného materiálu	28
1.6.4 Výkon obrábění	29
1.6.5 Optimalizace řezných podmínek.....	29
1.7 DOKONČOVACÍ METODY PO FRÉZOVÁNÍ.....	30
1.7.1 Broušení	30
1.7.2 Lapování.....	31
1.7.3 Honování	31
1.7.4 Leštění	32
2 STROJE A NÁSTROJE	33
2.1 TYPY FRÉZEK A JEJICH ROZDĚLENÍ	33
2.1.1 Horizontální frézky	33
2.1.2 Vertikální frézky	34
2.1.3 Portálové frézky	35
2.1.4 CNC frézky	36
2.1.5 Speciální frézky.....	37
2.2 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ.....	38
2.2.1 Materiály nástrojů	39
2.3 POVLAKOVÁNÍ NÁSTROJŮ	41
2.3.1 Funkce povlakování nástrojů	41
2.3.2 Typy povlaků pro frézovací nástroje.....	42

2.3.3	Metody nanášení povlaků.....	43
2.4	UPÍNÁNÍ FRÉZOVANÝCH OBROBKŮ	44
2.4.1	Mechanické upínací systémy.....	44
2.4.2	Hydraulické upínací systémy	45
2.4.3	Magnetické upínací systémy	46
2.4.4	Vakuové upínací systémy.....	47
2.4.5	Inteligentní upínací systémy.....	47
3	ANALÝZA OBROBITELNOSTI MATERIÁLŮ PŘI FRÉZOVÁNÍ	48
3.1	OCELI	48
3.1.1	Uhlíkové oceli	48
3.1.2	Legované oceli	48
3.1.3	Nástrojové a kalené oceli	49
3.2	LITINY	50
3.3	HLINÍK A JEHO SLITINY	51
3.4	KOMPOZITY A PLASTY	52
4	CHLADÍCÍ A MAZACÍ SYSTÉMY	53
4.1	FUNKCE CHLADÍCÍCH A MAZACÍCH SYSTÉMŮ	53
4.2	TYPY CHLADÍCÍCH A MAZACÍCH KAPALIN.....	54
4.2.1	Vodou ředitelné emulze.....	54
4.2.2	Olejoyé kapaliny.....	54
4.2.3	Chemické roztoky.....	54
4.3	METODY APLIKACE CHLADÍCÍCH A MAZACÍCH KAPALIN.....	54
4.3.1	Konvenční chlazení	54
4.3.2	MQL (Minimum Quantity Lubrication).....	54
4.3.3	Suché obrábění	55
5	PROGRAMOVÁNÍ A TECHNOLOGIE V CNC FRÉZOVÁNÍ.....	56
5.1	PRINCIPY CNC OBRÁBĚNÍ	56
5.1.1	Hlavní komponenty CNC frézky.....	56
5.1.2	Výhody CNC frézování.....	57
5.2	PROGRAMOVÁNÍ CNC FRÉZEK	57
5.2.1	Struktura CNC programu:	58
5.3	CAD/CAM SYSTÉMY	59
5.4	BUDOUCNOST V CNC FRÉZOVÁNÍ.....	60
6	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	62
II	PRAKTICKÁ ČÁST	63
7	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	64
8	FÁZE PROTOTYPOVÉ VÝROBY	65
8.1	MATERIÁL VÝKOVKU	68

8.2	NALEZENÉ PROBLÉMY PŘI VÝROBĚ	68
8.3	ZÁMĚR ŘEŠENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:	69
9	NÁVRH A KONSTRUKCE NOVÝCH UPÍNEK.....	70
9.1	NÁVRH NOVÝCH UPÍNEK PRO 1. UPNUTÍ	70
9.1.1	Podsestava podepření	71
9.1.2	Podsestava ramenového podepření	72
9.2	NÁVRH NOVÝCH UPÍNEK PRO 2. UPNUTÍ	76
9.3	OBROBENÍ KÓNICKÉHO OTVORU NA 3. UPNUTÍ	80
10	SEŘIZOVACÍ PLÁN.....	81
10.1	PRVNÍ UPNUTÍ VÝKOVKU	81
10.2	DRUHÉ UPNUTÍ VÝKOVKU	82
10.3	UMÍSTĚNÍ NULOVÉHO BODU	84
12	OPTIMALIZACE OBRÁBĚNÍ VÝKOVKU 20002	89
12.1	PRVNÍ UPNUTÍ.....	91
12.1.1	Operace číslo 1 – Frézování čelní plochy 1.upnutí	91
12.1.2	Operace číslo 2 – Frézování boční plochy levé	93
12.1.3	Operace číslo 3 – Frézování boční plochy pravé	96
12.1.4	Operace číslo 4 – Vrtání otvorů na čelní straně	98
12.1.5	Operace číslo 5 – Vrtání otvoru na boční straně	100
12.1.6	Operace číslo 6 – Sražení otvorů	102
12.2	DRUHÉ UPNUTÍ.....	104
12.2.1	Operace číslo 7 – Frézování čelní plochy 2.upnutí	104
12.2.2	Operace číslo 8 – Odfrézování popisu na stěně výkovku	106
12.2.3	Operace číslo 9 – Sražení otvorů na čele 2. upnutí	108
12.3	TŘETÍ UPNUTÍ.....	110
12.3.1	Operace číslo 10 – Hrubování kónického otvoru 3.upnutí	110
12.3.2	Operace číslo 11 – Dokončení kónického otvoru	112
12.4	POROVNÁNÍ ČASŮ PŘED A PO OPTIMALIZACI	114
14	EKONOMICKÉ SHRUTÍ.....	119
	ZÁVĚR	122
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	123
	SEZNAM OBRÁZKŮ	126
	SEZNAM TABULEK.....	129
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	130
	SEZNAM PŘÍLOH.....	133

ÚVOD

Obsahem diplomové práce bude vývoj a úprava upínacího zařízení na přípravek pro daný díl řídicího ústrojí přední nápravy. Díl se jmenuje „Tie rod arm“. Pro sjednocení označení se v práci bude díl označovat jako „výkovek“. Práci jsem si vybral z důvodu již delší spolupráce s firmou CV Machining, kde pracuji jako stážista a kde jsem také pracoval na bakalářské práci.

Při prvotním prototypování se vyskytnuly problémy jako vznik vibrací při čelním obrábění ploch při prvním upnutí. Hlavní příčinou těchto vibrací je nedostatečně tuhé podepření krčku při obrábění.

Při druhém upnutí nastal problém, kdy výkovek špatně dosedal na základnu přípravku. Takový problém pak způsoboval, že nebyla dodržena požadovaná rovnoběžnost vůči základně A.

Při třetím upnutí byl opět problém se špatně podepřeným krčkem. Tyto problémy vedly až k zastavování včetně stroje při dokončovací operaci speciálním nástrojem, kde by mohlo dojít k poškození nástroje.

Tyto problémy v prototypových přípravcích vedly k prodloužení cyklového času obrábění. Dále kvůli nedostatečnému podepření krčku v poslední operaci obrábění nejsou dodrženy požadované rozměry a také požadovaná drsnost kónického otvoru. Při obrábění kónického otvoru pak docházelo k poškození nanesených vrstev barvy. Na to měl největší vliv špatně podepřený krček. Na obrobku se nachází 2 vrstvy barvy, jedna má černou barvu a je v kapalném stavu (tato barva chrání obrobek před korozí) a druhá šedá, která je v práškovém stavu zvyšuje odolnost proti otěru a mechanickému poškození povrchu.

Záměrem práce tedy bude návrh přestavbových přípravků pro upnutí vícero typů tvarové skupiny. Tvarová skupina (požadavek od zákazníka VOLVO) má 12 různě tvarově složitých výkovek. Tato práce se bude zaměřovat pouze na jeden typ s označením 20002. S tím souvisí vývoj technicky propracovanějších opěrných jednotek v místě otočného krčku, které eliminují vznik vibrací a také zamezí v poškození barevného nátěru při styku ploch obrobku a podpěrných upínek. Po návrhu bude provedeno celkové zhodnocení technologického postupu s cílem dosáhnout snížení cyklového času alespoň o 20 %. Nakonec bude provedeno technickoeconomické zhodnocení a ověření přípravku a technologického procesu na výrobní dávce o velikosti 100 ks.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POPIS TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří mezi základní technologie třískového obrábění a je jedním z nejrozšířenějších procesů používaných ve strojírenství. Hlavní funkce spočívá v opracování materiálu jako jsou kovy, plasty a kompozity či slitiny jednotlivých kovů do požadovaných rozměrů a tvarů.

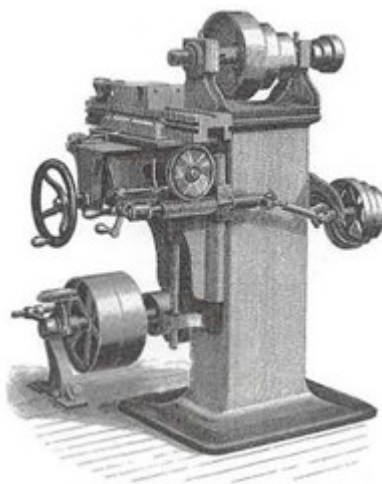
Díky univerzálnosti a schopnosti obrábět složité geometrie se frézování uplatňuje v mnoha odvětvích jako jsou průmysly automobilové a letecké, také pro výrobu forem a nástrojů, ale i v oblasti přesného strojírenství. [1,2,3,14,20]

1.1 Historie frézování

Frézování představuje jeden z nejstarších procesů obrábění materiálů, jehož vývoj lze vystopovat až do období průmyslové revoluce. Již v této době se objevily první manuální stroje, které byly poháněny ručním mechanismem nebo parními stroji.

První modernější stroje se začaly vyrábět v 19. století, kdy došlo k velkému technologickému skoku umožňujícímu přesnější obrábění materiálů.

Mezníkem bylo zavedení rotačního nástroje s vícebřitými hlavami, které umožňují rychlejší a efektivnější obrábění oproti tehdejším soustruhům a pilám. Jeden z takových je vyobrazen na následujícím obrázku. [1,20]



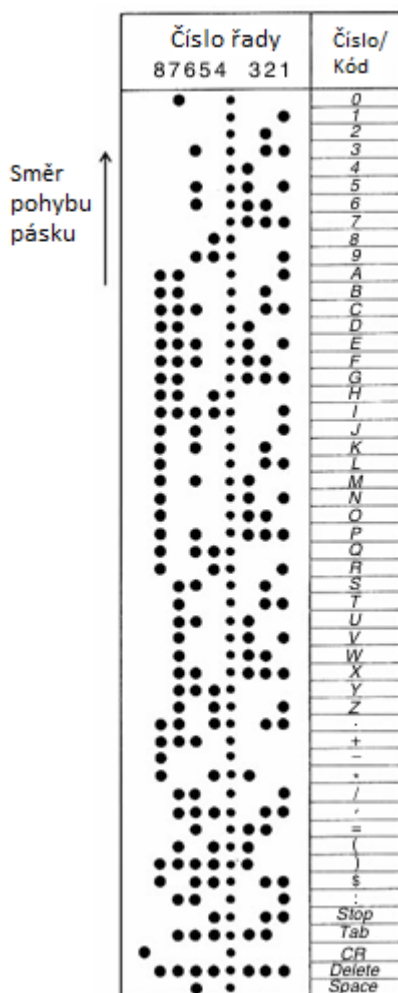
Obrázek 1 - Jeden z prvních frézovacích strojů z roku 1876

[20]

1.2 Vývoj během 20.století

Frézování se stalo v 20. století nezbytnou součástí výroby v leteckém a automobilovém průmyslu. Zavedla se standardizace nástrojů, a to umožnilo vyšší flexibilitu při výrobě dílů. Stroje byly postupně doplněny o automatizované posuvy a přesné měřicí systémy, které vedly ke zvýšení produktivity a kvality obrábění. [1,2,14,20]

Významným zlomem bylo uvedení do provozu numericky řízených strojů (NC) zhruba v polovině 20. století. Tyto stroje používaly perforované pásky nebo magnetické záznamy pro programování drah nástrojů, což snižovalo čas potřebný pro nastavení a také se tím výrazně zvýšila přesnost obrábění. Jeden z takových pásků lze vidět na následujícím obrázku. [14,20,23]



Obrázek 2 – Perforovaný pásek s NC kódem pro obráběcí zařízení

1.3 Modernizace ve frézování a digitalizace výroby

Na přelomu 20. a 21. století nastoupily na trh CNC stroje, které jsou značnou revolucí ve frézování. CNC stroje umožňují automatizaci výroby, minimalizaci lidských chyb a zpracování složitých tvarů, které byly manuálně neproveditelné.

Současné CNC frézky dosahují vysoké přesnosti a efektivity obrábění díky různým senzorům, adaptivního řízení a vysokorychlostnímu frézování. Moderní trendy také zahrnují integraci robotických systémů a technologie „Průmyslu 4.0“, které dále zvyšují přesnost a produktivitu výroby tím, že nahradí lidskou práci. Tím se značně sníží chybovost a zvýší se produktivita. Na obrázku číslo 3 lze vidět moderní CNC obráběcí centrum. [3,5,14,20]



Obrázek 3 – CNC obráběcí centrum

[14]

1.4 Princip frézování

Frézování umožňuje vytvářet složité geometrické útvary s vysokou přesností. Proces je charakterizován rotačním pohybem nástroje s více břity, který postupně odebírá materiál z obrobku ve formě třísek. Díky široké škále aplikací je frézování využíváno jak v malosériové, tak i velkosériové výrobě, přičemž nabízí vysokou efektivitu a flexibilitu. [14,17,20]

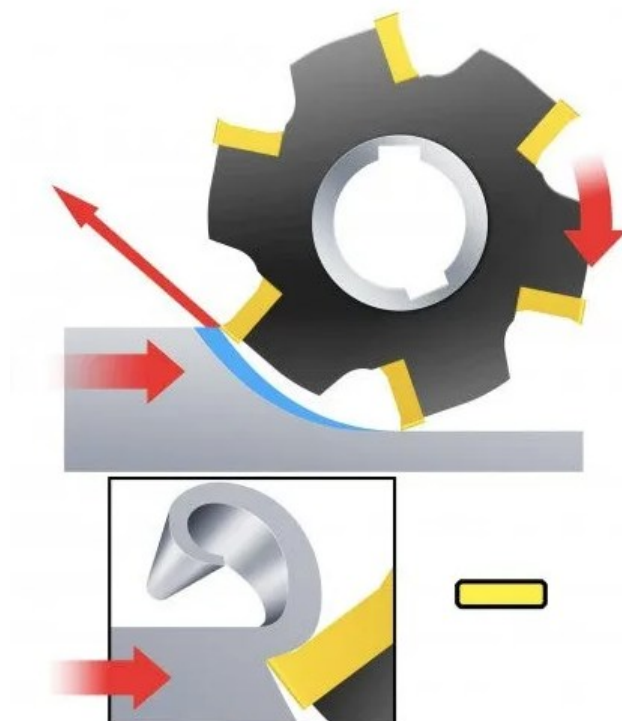
1.4.1 Mechanismy odebrání materiálu pomocí rotujících nástrojů

Frézování je velmi důležitá metoda třískového obrábění, která využívá rotující vícebřité nástroje k odebrání materiálu obrobku. Tento proces probíhá posuvem nástroje nebo obrobku, čímž se dosahuje požadovaného tvaru a rozměrů.

Základním rysem frézování je přerušované řezání, kdy každý břit nástroje vstupuje do materiálu pouze určitou částí během otáčení frézy. Tento přerušovaný kontakt snižuje generování tepla a umožňuje efektivnější chlazení oproti kontinuálním procesům, jako je soustružení. [14,17,20,29]

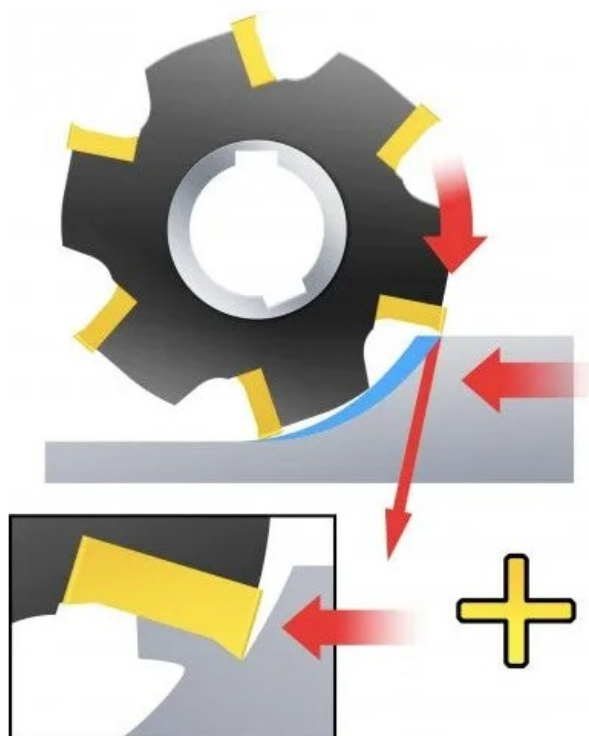
Jsou zde dva hlavní druhy, podle kterého princip frézování rozděluje. Jedná se o rozdělení podle směru posuvu: **konvenční** (nesousledné) a **kopírovací** (sousledné)

- **Konvenční frézování:** Při této metodě se nástroj pohybuje proti směru posuvu obrobku, čímž dochází k postupnému záběru zubů od minimální tloušťky třísky po maximální. Tato metoda není zrovna ideální, protože na břit působí značné síly způsobené odíráním břitu a tím vzniká výrazné opotřebení nástroje.



Obrázek 4 – Konvenční frézování (nesousledné)

- **Kopírovací frézování:** Nástroj se u této metody pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tento způsob vytváří nižší řezné síly a hladší povrch, avšak vyžaduje větší tuhost stroje, aby nedocházelo k chvění. Nástroj je takto vtahován do materiálu obrobku a tím se zvyšuje daný posuv, a to může mít za následek riziko lomu břitu při nepřiměřeném zvýšení tloušťky třísky.



Obrázek 5 – Kopírovací frézování (sousedné)

[29]

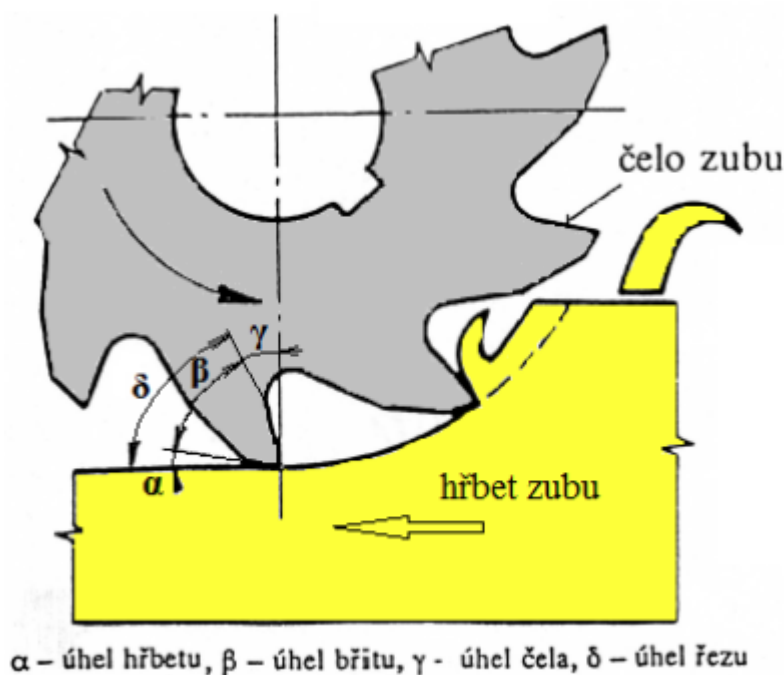
Moderní frézování často využívá CNC stroje, které umožňují komplexní pohyby nástroje ve více osách, čímž se dosahuje vyšší přesnosti a složitějších tvarů. CNC frézky navíc integrují automatizaci pro snížení potřeby lidské obsluhy stroje. Tyto stroje jsou schopné pracovat v nepřetržitém režimu, a tím se zvyšuje produktivita i přesnost výroby. [17,20,29]

1.4.2 Parametry procesu frézování

Geometrie řezného procesu ve frézování je jedním z hlavních faktorů ovlivňující přesnost a kvalitu povrchu, produktivitu obrábění a životnost nástroje. Každý nástroj je navržen s přesně definovanými parametry, které určují jeho výkon a efektivitu. Hlavními parametry geometrie procesu frézování jsou **řezné úhly** a **řezné síly**:

Řezné úhly: Tyto úhly určují, jakým způsobem nástroj proniká do materiálu a jakým způsobem jsou třísky odváděny z místa řezu. [16,22,29]

- Úhel čela (γ): Ovlivňuje tvorbu třísek a odpor materiálu. Větší úhel zajišťuje hladší řezání, ale snižuje pevnost ostří
- Úhel hřbetu (α): Minimalizuje tření mezi nástrojem a obrobkem, čímž snižuje opotřebení
- Úhel břitu (β): Čím menší je tento úhel, tím je snadnější vnikání nástroje do materiálu
- Úhel řezu (δ): Je součtem úhlu hřbetu a úhlu břitu
- Úhel sklonu břitu (λ): Pomáhá při odvodu třísek a stabilizuje řezné síly



Obrázek 6 – Základní řezné úhly na frézovacím nástroji

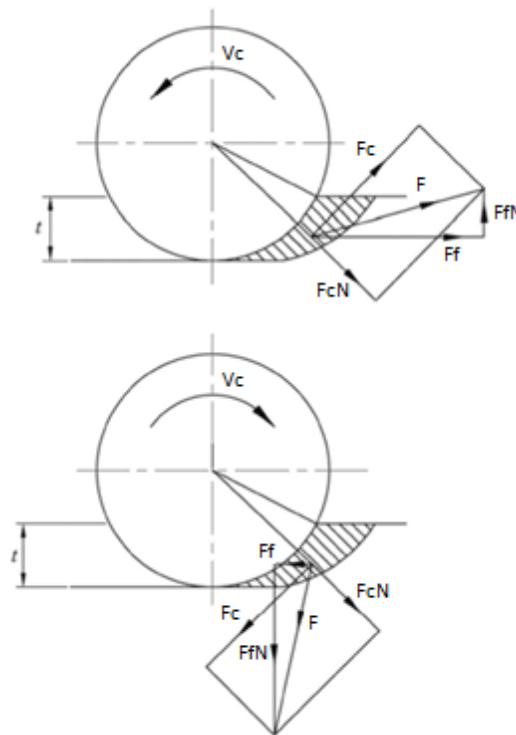
[30] (Zdroj je využit pouze na obrázky)

Řezné síly: Během frézování působí na nástroj i obrobek síly, ty lze rozdělit následovně: [16,22]

- F – celková řezná síla [N]
- F_c – řezná síla [N]
- F_{cN} – kolmá řezná síla [N]

- F_f – posuvová síla [N]
- F_{fN} – kolmá posuvová síla [N]

Na následujícím obrázku lze vidět graficky rozložení jednotlivých složek sil.



Obrázek 7 – Řezné síly při frézování

[3]

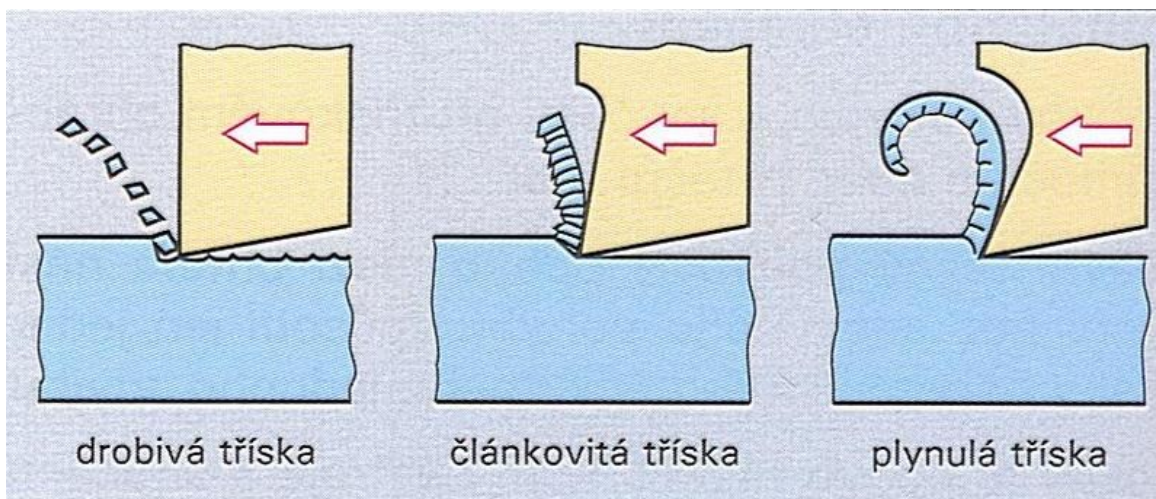
1.4.3 Vznik a druhy třísek

Třísky vznikají v důsledku plastické deformace materiálu v řezné zóně. Jejich struktura a tvar jsou silně ovlivněny termálními a mechanickými podmínkami obrábění. Hlavní typy třísek zahrnují: [14,20,23]

- **Plynulé třísky:** Vznikají při obrábění tvárných materiálů, jako jsou hliníkové slitiny. Tyto třísky mají hladký povrch a často vyžadují účinné chlazení k zajištění snadného odvodu
- **Člámkovité třísky:** Typické pro kovy s vyšší pevností, například oceli. Třísky jsou zvlněné a mohou vést k většímu zatížení nástroje

- **Drobivé třísky:** Vznikají u křehkých materiálů, jako je litina. Jsou snadno odváděny z řezné zóny, čímž snižují riziko poškození nástroje

Na obrázku číslo 8 jdou vidět jednotlivé typy třísek v grafickém provedení.



Obrázek 8 – Druhy třísek při obrábění

[30]

1.5 Druhy frézovacích operací

Existuje několik druhů frézovacích operací. Snadněji se dají rozdělit do základních typů právě podle způsobu obrábění a charakteristiky výsledného tvaru. Každý typ frézování má svůj účel pro vytvoření specifického tvaru a vyžaduje odpovídající nástroje a technologické parametry.

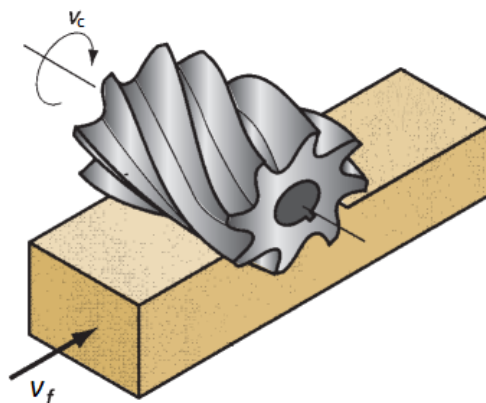
Běžná drsnost obrobeného povrchu se pohybuje mezi Ra 3,2 až Ra 0,8. Hodnota 3,2 spadá spíše pod operace hrubování a hodnoty nižší jako 1,6 nebo 0,8 pro metody dokončovací, hodnota 0,8 je pak vcelku velmi přesná a dosahuje se jí velmi kvalitním dokončováním. Snadnější by bylo dokončit povrch technologií, jako je například broušení.

Tato kapitola bude popisovat základní čtyři metody frézování a je zde zmínka také o speciálních technologiích používaných ve strojírenství. [4,10,13,14,16,24]

1.5.1 Rovinné frézování

Rovinné frézování je běžná metoda frézování, při které se obrábějí rovné plochy na obrobku. Rotující nástroj se pohybuje rovnoběžně s povrchem materiálu a odebírá materiál po vrstvách. Tento typ frézování se často využívá při obrábění základních tvarů nebo k vytvoření přesných rovinných ploch. [10,14]

Zpravidla se pro rovinné frézování používají válcové frézy s rovnoběžnými zuby, které jsou ideální pro rychlé odebírání materiálu. Moderní stroje hodně často využívají břitové destičky, které zvyšují produktivitu a umožňují snadnou výměnu ostří. Pro zajištění hladkého povrchu a přesnosti je důležité správné nastavení řezných parametrů (posuv, řezná rychlost a hloubka řezu). Na následujícím obrázku lze vidět rovinné frézování. [10,16,24]



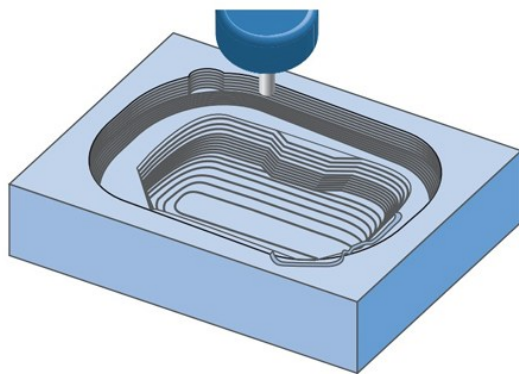
Obrázek 9 – Frézování rovinných ploch

[6]

1.5.2 Obvodové frézování

Obvodové frézování je metoda, při které se řezné nástroje pohybují podél hran obrobku a vytvářejí tak profilované tvary. Často se takto vyrábějí například drážky, hrany nebo tvarové výřezy. Na rozdíl od předešlé operace zde dochází k přerušovanému kontaktu mezi nástrojem a obrobkem, což má za následek snížení zahřívání a zvýšení životnosti nástroje.

Obvodové frézování se provádí pomocí válcových fréz s břity rozloženými po celém obvodu nástroje. Tento typ frézovací operace umožňuje vytvoření přesných kontur a detailních tvarů, například již zmíněné drážky pro pera nebo ozubená kola. Díky moderním CNC strojům lze dosáhnout velmi vysoké přesnosti a produktivity i u složitých profilů. Na následujícím obrázku lze vidět obvodové frézování. [4,13]



Obrázek 10 – Obvodové frézování profilových tvarů

[11]

1.5.3 Čelní frézování

Čelní frézování se využívá k opracování rovných ploch materiálů kolmých na osu rotace nástroje. Nástroj je složen z vícebřitých hlav nebo destiček, které umožňují efektivní odebrání materiálu při vysokých rychlostech. Metoda velmi vhodná pro dokončovací operace, u kterých je hlavním požadavkem vysoká kvalita povrchu.

Hlavní výhodou čelního frézování je schopnost opracovat široké plochy jedním záběrem, čímž zkracuje výrobní čas. Při použití nástrojů s vyměnitelnými destičkami lze navíc velmi snížit opotřebení nástroje a zvýšit efektivitu výroby. Tato metoda je určena pro přípravu různých montážních ploch a přípravek, nebo přesných otvorů, často u forem a lisovacích nástrojů. Na obrázku číslo 11 lze vidět obrábění čelní frézou s VBD. [16,17,23,24]



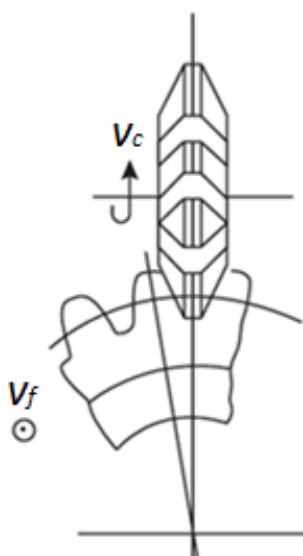
Obrázek 11 – Frézování čelních ploch

[8]

1.5.4 Profilové frézování

Profilové frézování se zaměřuje na výrobu složitých tvarů a kontur. Často se obrábí zakřivené drážky, zuby ozubených kol nebo šroubové závity. Tento typ frézování vyžaduje specifické nástroje, jako jsou tvarové frézy nebo frézy s kulovou hlavou. Moderní CNC frézky umožňují programování složitých drah nástrojů, čímž zajišťují vysokou přesnost právě takto složitých tvarů.

Profilové frézování se často využívá při výrobě matric pro lisování plastů, kovů nebo kompozitů a při výrobě tvarově složitých forem. Tato metoda je zejména využívána v automobilovém a leteckém průmyslu, kde se vyrábějí tvarově složité součásti s vysokými požadavky na přesnost. Na následujícím obrázku lze vidět frézování zubové mezery u ozubeného kola speciálním frézovacím kotoučem. [16,17,23,24]



Obrázek 12 – Profilové frézování zubů ozubeného kola

[24]

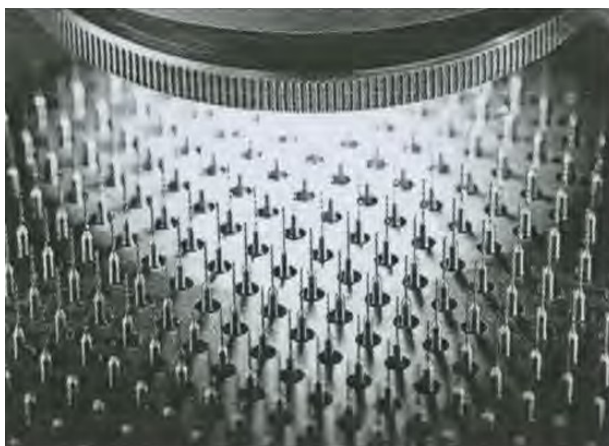
1.5.5 Speciální metody frézování

Mezi speciální metody frézování spadají: [10,15,19]

- Vysokorychlostní frézování (HSM): Moderní metoda umožňující velmi rychlé a přesné obrábění díky vysokým otáčkám vřetena
- Vysokoposuvové frézování (HFM): Názvem podobná metodě HSM. U této metody je velmi vysoký posuv a tloušťka třísky je přímo úměrná úhlu náběhu.

To nám zaručí menší tloušťku třísky a zvýšení šířky třísky. Tato metoda také napomáhá k lepšímu odvodu třísek z místa úběru.

- Frézování závitů: Používají se speciální nástroje k vytváření závitů ve velkých průměrech
- Hybridní frézování: Kombinuje tradiční metody s moderními procesy, jako je laserové (dochází zde k zahřátí cíleného povrchu před obráběním) nebo ultrazvukové obrábění
- Mikro-frézování: Je speciální metoda frézování, která se využívá pro výrobu značně malých, vysoce přesných součástí. Tato metoda nachází uplatnění především v mikroelektronice, zdravotnictví a leteckém průmyslu. Na následujícím obrázku lze vidět zásobník s mikro-frézami [8,9,10]



Obrázek 13 – Zásobník s nástroji o průměru řezné části $\varnothing 0,25$ mm

[8]

Mikro-frézování využívá nástroje s průměrem řezné části menším než 1 [mm]. Tento proces vyžaduje vysokou přesnost stroje. Už jen malá vibrace by totiž mohla způsobit uštípnutí nástroje. Požadavkem je také stabilní chladicí systém. [8,9,10]

Výhody mikro-frézování:

- Vysoká přesnost: Dosahuje tolerancí v řádu mikrometrů
- Vznikají zde malé síly, a proto jsou zde minimální deformace a poškození materiálu
- Díky použití nástrojů s diamantovými povlaky je zde možnost obrábění tvrdých materiálů

1.6 Řezné podmínky při frézování

Řezné podmínky při frézování zajišťují správnou efektivitu celého procesu a kvalitu opracovaného povrchu. Tyto podmínky musí být nastaveny co nejoptimálněji podle druhu obráběného materiálu, typu nástroje a požadované kvality a přesnosti obrábění. Mezi tyto parametry patří: řezná rychlost, posuv, hloubka řezu a výkon při obrábění, který vychází z výše uvedených parametrů. [11,18,19]

1.6.1 Řezná rychlost

Řezná rychlost představuje obvodovou rychlost břitu frézy při kontaktu s obráběným materiálem a vyjadřuje se v_c [m/min]. Přímou ovlivňuje opotřebení nástroje a v menší míře i kvalitu povrchu.

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Kde:

- v_c – řezná rychlost [m/min]
- d – průměr řezné části frézy [mm]
- n – otáčky vřetena [1/min]

Čím vyšší je řezná rychlost tím lepší je kvalita povrchu, může ale také vést k vyššímu zahřívání nástroje, a to vede k jeho rychlejšímu opotřebení. [11,18,19]

1.6.2 Posuv

Posuvem se myslí vzdálenost, kterou nástroj urazí za jednu otáčku nebo během jedné minuty. Ovlivňuje jak tloušťku třísky, tak kvalitu povrchu. Posuvů je vícero a rozdělují se na:

Posuv na zub (f_z): Posuv jednoho zubu frézy během jedné otáčky

Posuv na otáčku (f): Posuv nástroje během jedné otáčky nástroje.

Posuvová rychlost (v_f): Celkový posuv nástroje za minutu

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (2)$$

Kde:

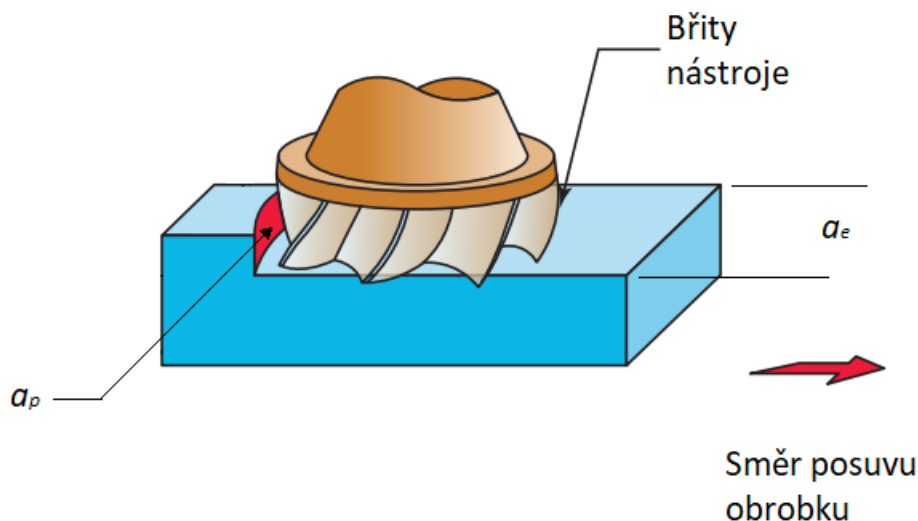
- v_f – posuvová rychlost [mm/min]

- f_z – posuv na zub [mm/zub]
- z – počet zubů frézy [-]
- n – otáčky vřetena [1/min]

Správné nastavení posuvu ovlivňuje tvorbu třísek a minimalizuje vibrace, které při frézování vznikají. [11,18,19]

1.6.3 Objem odebraného materiálu

Objem odebraného materiálu je úzce spjat s hloubkou řezu a posuvovou rychlostí. Hloubka řezu představuje tloušťku vrstvy materiálu, která je odebrána po průchodu nástroje. Na obrázku číslo 14 je vidět rozdíl mezi radiální a axiální hloubkou řezu.



Obrázek 14 – Znázornění hloubky řezu

[11]

Vyjadřuje se ve dvou směrech:

Radiální hloubka řezu (a_e): Šířka záběru nástroje

Axiální hloubka řezu (a_p): Hloubka vertikálního záběru nástroje

$$Q = v_f \cdot a_p \cdot a_e \quad (3)$$

Kde:

- Q – objem odebraného materiálu [mm³/min]
- v_f – posuvová rychlost [mm/min]

- a_p – axiální hloubka řezu [mm]
- a_e – radiální hloubka řezu [mm]

Správné nastavení hloubky řezu ovlivňuje délku obrábění a také životnost nástroje. [11,18,19]

1.6.4 Výkon obrábění

Výkon potřebný k obrábění velmi závisí na řezných silách a rychlostech. Tento parametr je velmi důležitý při navrhování a dimenzování stroje, kterým se operace bude provádět. [11,18,19]

$$P = F_c \cdot v_c \quad (4)$$

Kde:

- P – výkon [W]
- F_c – řezná síla [N]
- v_c – řezná rychlost [m/min]

1.6.5 Optimalizace řezných podmínek

Pokud jsou řezné podmínky správně nastaveny dosáhne se ideálního vyváženého přístupu mezi životností a efektivitou nástroje. [11,18,19]

Pokud zvolíme nižší hodnoty řezné rychlosti a posuvu – opotřebení bude minimální, ale sníží se tím produkce.

Pokud zvolíme vyšší hodnoty řezné rychlosti a posuvu – zvýšíme produktivitu, ale na druhou stranu tím zvýšíme opotřebení nástrojů (při vyšších rychlostech je dokonce někdy nutné použít chlazení).

Je důležité také uvést ostatní vlivy, které je nutné, aby technolog při optimalizaci bral v potaz, jako je trvanlivost nástrojů (podle ní určit ideální řeznou rychlost) a kritická teplota nástroje při obrábění tvrdých materiálů.

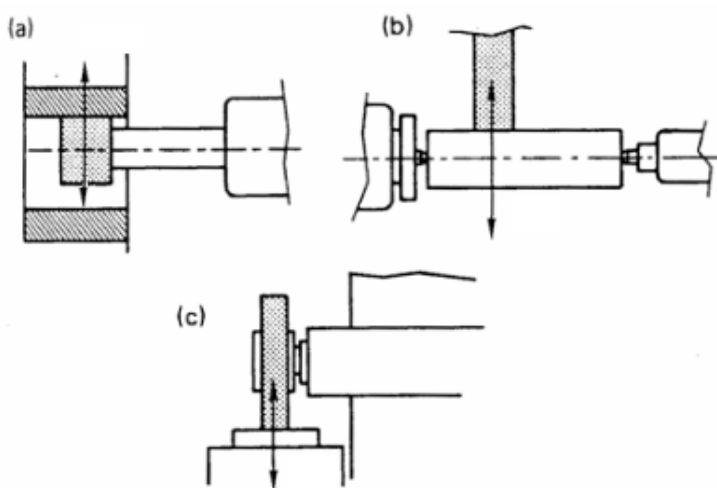
1.7 Dokončovací metody po frézování

Pokud je kladen důraz na kvalitu povrchu obráběné součásti je také důležité provést určité dokončovací procesy. Tím se dosáhne požadovaná přesnost, kvalita a estetický vzhled obrobků. Tyto procesy jsou obzvláště nezbytné v přesném strojírenství, leteckém průmyslu nebo zdravotnické technice, kde jsou vysoké požadavky na povrchovou integritu a stabilitu rozměrů. Uvedeny zde budou jen okrajově ty nejběžnější způsoby. [22,27,28]

1.7.1 Broušení

Broušení je jednou z nejběžnějších metod pro dokončování povrchu po obrábění. Používá se k vysoké přesnosti a jemnému povrchu. Broušení je možné rozdělit na několik způsobů, zde jsou tři typy:

- Rovinné broušení: Využívá se pro úpravu rovinných ploch
- Vnější a vnitřní válcové broušení: Využívá se pro úpravu válcových a dutých součástí
- Bezhraté broušení: Využívá se pro precizní úpravy menších válcových součástí



Obrázek 15 – Schéma brousících metod (a-Broušení vnitřních válcových ploch, b-Broušení vnějších válcových ploch, c-Broušení rovinných ploch)

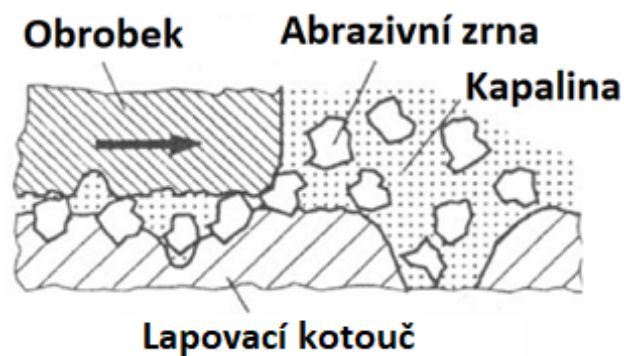
[28]

Mezi výhody broušení pak patří dosažená tvrdost povrchu až **Ra 0,2 [μm]** [22,27,28]

1.7.2 Lapování

Lapování je proces, při kterém se používá jemné brusivo rozptýlené v kapalině. Tento proces je vhodný pro dosažení extrémně jemného povrchu a vysoké rozměrové přesnosti.

Dosahuje se zde drsnosti povrchu až **Ra 0,05 [μm]** a používá se zejména pro dokončení ventilových ploch či optických komponentů. V následujícím obrázku lze vidět schéma zrn pohybující se v kapalině mezi obrobkem a lapovacím kotoučem. [22,27,28]

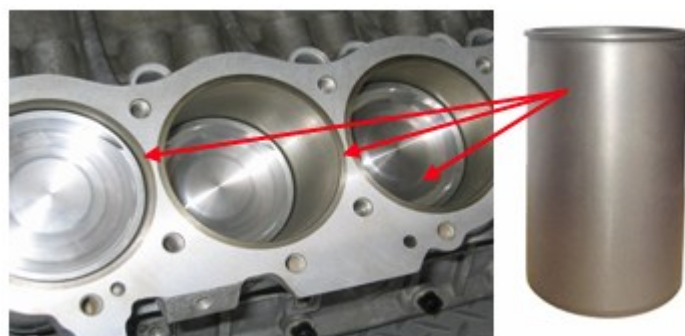


Obrázek 16 – Schéma lapování

[28]

1.7.3 Honování

Honování zajišťuje vysokou kruhovitost a hladkost povrchu. Používá se pro dokončení vnitřních povrchů otvorů. Proces zahrnuje oscilující pohyb abrazivního nástroje. Je vhodný pro dokončení válců motorů nebo hydraulických válců a dosahuje se zde drsnosti **Ra 01 až 0,8 [μm]**. [22,27,28]



Obrázek 17 – Honování válců motoru oscilujícím pohybem ve vertikálním směru

[27]

1.7.4 Leštění

Slouží k dosažení lesklého povrchu. Při této operaci nedochází k úběru materiálu. Je to proces běžně využívaný v optice, lékařském průmyslu a estetických aplikacích. Existují dva druhy leštění:

- Mechanické leštění: Použití abrazivních past a kotoučů
- Elektrolytické leštění: Chemický proces odstraňující mikroskopické nerovnosti

Mezi výhody těchto procesů patří dosažení odolného povrchu před korozí a odstranění škrábanců vzniklých po předchozím obrábění. [22,27,28]

2 STROJE A NÁSTROJE

Tato kapitola se zaměří na bližší popis strojů, které jsou spjaty s touto diplomovou prací. To znamená popis frézek a nástrojů použitých pro operace na těchto strojích. K tomuto také patří dodatečné podkapitoly jako je úprava těchto nástrojů a například upínání obrobků při obrábění, což je jedním z hlavních cílů této práce.

2.1 Typy frézek a jejich rozdělení

Frézky představují skupinu obráběcích strojů, které umožňují přesné a efektivní opracování materiálů. Díky své všestrannosti nacházejí široké uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu, zejména tam, kde je kladen důraz na rozměrovou přesnost a kvalitu povrchu. V této části bude podrobně popsána klasifikace frézek na základě jejich konstrukčních vlastností, pracovního postavení a stupně automatizace.

Zvolení správného typu frézky je důležitý krok k vytvoření požadovaného tvaru a kvality finálního výrobku. Také je to důležité pro optimalizaci obráběcího procesu, ať už jde o zpracování jednoduchých tvarů nebo výrobu složitých komponentů s vysokými požadavky na přesnost. Tento přehled poskytuje hlubší vhled do funkcí a specifikací jednotlivých kategorií frézek. [11,12,13,16]

2.1.1 Horizontální frézky

Horizontální frézky jsou charakteristicky rozeznatelné podle vodorovně umístěného vřetena, které umožňuje efektivní zpracování materiálu především při obvodovém frézování. Tyto stroje jsou často vybaveny podpěrnými rameny, které frézce poskytují dodatečnou stabilitu a umožňují obrábění velkých a těžkých obrobků.

Kromě tradičních modelů jsou k dispozici také horizontální frézky s výsuvným stolcem, které umožňují flexibilní přístup k obrobku a rozšířené možnosti opracování. Tyto stroje se běžně využívají ve strojírenském a automobilovém průmyslu.

Díky své robustní konstrukci mají horizontální frézky uplatnění zejména při výrobě drážek a drážkovaných hřídelí. Na následujícím obrázku lze vidět takový typ frézky. Široce jsou taky uplatněny při obrábění ploch. Jejich schopnost pracovat s více nástroji najednou zvyšuje produktivitu a snižuje časovou náročnost obrábění. [14,15,16]



Obrázek 18 – Horizontální frézka

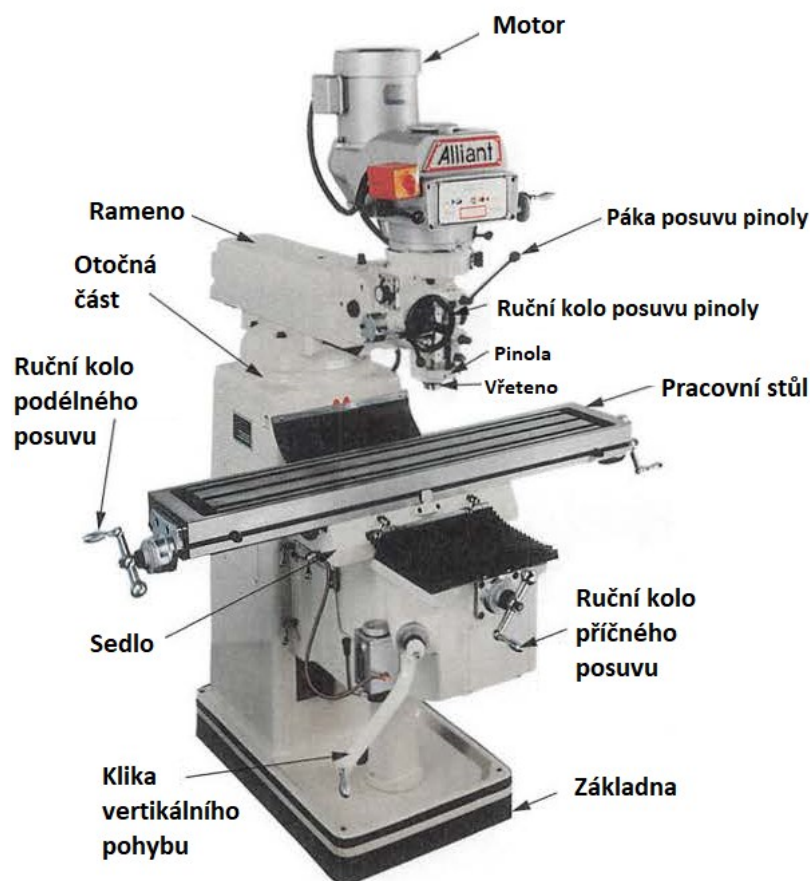
[20]

2.1.2 Vertikální frézky

Vertikální frézky se liší vřetenem, které je v tomto případě orientováno svisle. Tímto způsobem je umožněn snadný přístup k obrobku a přesné opracování různých tvarů. Způsob hojně používaný pro čelní frézování, vrtání nebo vyvrtávání otvorů.

Velkou výhodou vertikálních frézek je jejich flexibilita, protože umožňují obrábět pod různými úhly díky možnosti nahnout hlavu vřetená. Tato možnost rozšiřuje jejich využití, hlavně u výroby forem a přesných komponentů. V moderní době jsou nejpoužívanějším typem frézek díky této výhodě a značně se u nich provádí 5-ti či víceosé operace.

Moderní frézky často zahrnují doplňující funkce stroje jako je automatická výměna nástrojů a digitální řízení. Tyto funkce podstatně zvyšují produktivitu. Jejich obsluha je vcelku jednoduchá a využívá se pro jak kusovou, tak i pro sériovou výrobu. Jedna ze starších vertikálních frézek je vidět na obrázku číslo 19 i s popisem. [11,12,13]



Obrázek 19 – Vertikální frézka

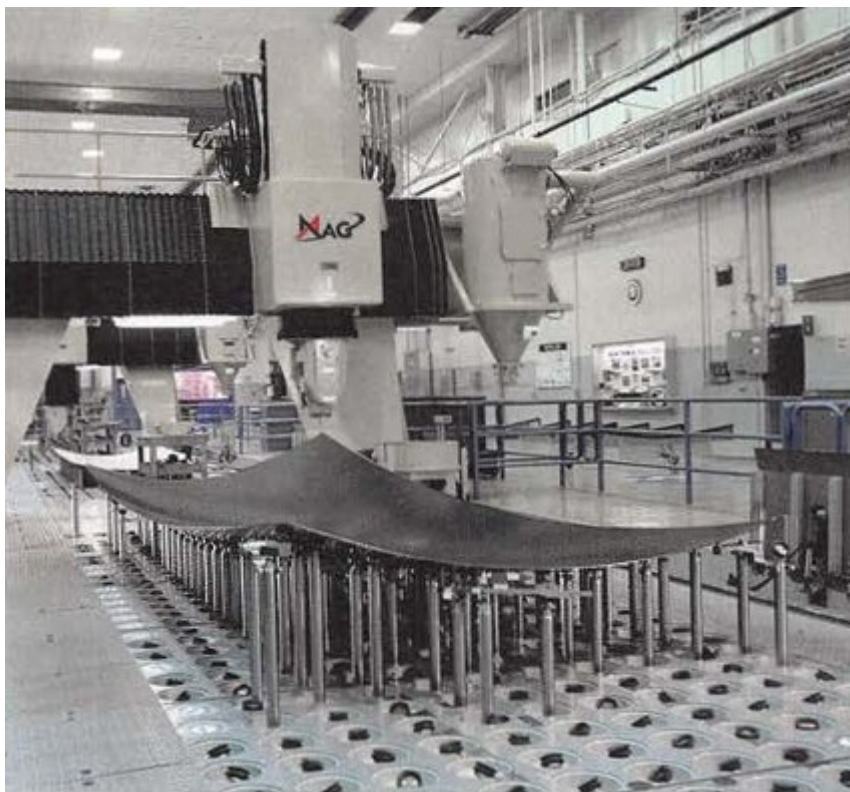
[20]

2.1.3 Portálové frézky

Portálové frézky vynikají svou masivní konstrukcí, která umožňuje obrobení velmi rozměrných a těžkých obrobků, například forem, lisovacích nástrojů nebo konstrukčních dílů pro letecký průmysl. Charakteristickým znakem těchto strojů je portálový rám, který zajišťuje výbornou stabilitu a tuhost při obrábění.

Díky víceosému pohybu umožňují portálové frézky provádět složité operace s vysokou přesností. Jsou ideální pro použití v průmyslových aplikacích, kde je vyžadována vysoká kvalita povrchu a geometrická přesnost.

Moderní portálové frézky jsou často vybaveny pokročilými řídicími systémy, které umožňují automatizaci celého procesu. Tyto stroje jsou také využívány pro velkorozměrovou výrobu součástí pro automobilový, lodní a energetický průmysl. [12,14,20]



Obrázek 20 – Portálová frézka

[20]

Na obrázku číslo 20 lze vidět portálovou frézku, která zrovna obrábí konturu křídla letadla. Jak bylo uvedeno v předchozí části, frézka je jednoduše rozpoznatelná díky masivnímu portálovému ramenu, které musí při obrábění zajišťovat vysokou tuhost a pevnost stroje. [20]

2.1.4 CNC frézky

CNC frézky (počítačem řízené frézky) představují moderní řešení pro obrábění materiálů díky své široké flexibilitě a přesnosti. Jsou vybaveny počítačovými systémy, které umožňují programování a simulace výrobních operací a tím výrazně zvyšuje přesnost a produktivitu výroby a zároveň tak snižuje možnost chyb, které by byly zapříčiněné chybou člověka.

Hlavní výhodou CNC frézek je jejich schopnost obrábět velmi složité geometrie s vysokou přesností a opakovatelností.

Díky integraci CAD/CAM systémů umožňují CNC frézky rychlý návrh a optimalizaci drah nástroje, které jsou výhodné pro výrobu prototypů i sériovou výrobu. Tyto stroje se již běžně používají téměř ve všech možných odvětvích, zejména ale jmenovitě v automobilovém, leteckém a lékařském průmyslu. [14,15,16,20]



Obrázek 21 – CNC frézka

[20]

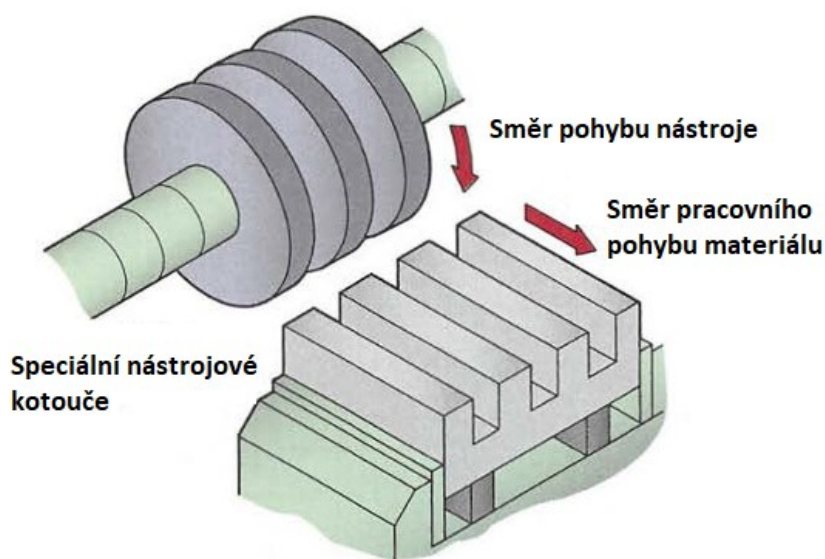
Na obrázku číslo 21 lze vidět moderní CNC frézku. Výhodou těchto strojů, jak bylo již uvedeno, je jejich počítačem řízený panel, kterým se proces zjednoduší a zpřesní.[20]

Při porovnání CNC frézky a CNC obráběcího centra si lze povšimnout, že CNC frézka je v tomto ohledu trochu jednodušší, ale zároveň není lepší než CNC centrum. CNC frézky mají většinou pouze jen tři osy a slouží k obrábění především rovinných ploch.

CNC obráběcí centra jsou dle norem přesnější a jsou více automatizované. CNC obráběcí centrum na rozdíl od frézky umí automaticky měnit nástroje.

2.1.5 Speciální frézky

Speciální frézky jsou navrženy pro specifické úkoly, jako je frézování ozubení, závitů nebo výroba přesných drážek. Tyto stroje mají často přizpůsobené nástroje a přípravky, které umožňují vysoce precizní operace. [8,12,13]



Obrázek 22 – Příklad speciální operace při výrobě přesných drážek

[20]

Další variantou jsou mikrofrézy, které se v moderní době využívají pro výrobu malých součástí v elektrotechnice a zdravotnictví. Díky schopnosti pracovat s vysokou přesností hrají tyto stroje důležitou roli v moderní výrobě. [8]

2.2 Nástroje pro frézování

Nástroje pro frézování hrají základní roli pro obrobení materiálu, protože přímo ovlivňují kvalitu obráběného povrchu, produktivitu a hospodárnost. Výběr správného nástroje závisí na několika faktorech, jako je typ obráběného materiálu, požadovaná přesnost, povrchová úprava a pracovní podmínky.

Tato část se zaměří na různé materiály používané při výrobě rezných nástrojů. Tyto parametry je velmi důležité znát, pokud je chtěným výsledkem optimalizace operací a zvýšení efektivity výroby. Na následujícím obrázku je skupina moderních frézovacích nástrojů. [7,8,21,22,24]



Obrázek 23 – Přehled pokročilých a speciálních frézovacích nástrojů

[8]

2.2.1 Materiály nástrojů

Materiály, ze kterých jsou nástroje vyrobeny hrají zásadní roli při zajištění trvanlivosti a spolehlivosti frézovacích operací. Mezi ty nejběžnější a široce používané materiály patří v dnešní době:

Nástrojové oceli (uhlíkové a legované): Nástrojové oceli jsou základní materiály používané pro výrobu řezných nástrojů. Rozlišit se dají na dva základní typy: [8,21,22]

- Uhlíkové nástrojové oceli – obsahují až 1,5 [%] uhlíku a jsou vhodné pro jednoduché operace při nízkých řezných rychlostech z toho důvodu, že vydrží teploty pouze do maximálně 250 [°C].
- Legované nástrojové oceli – Legury jsou přísady jako chrom, vanad či molybden, které zlepšují tvrdost a odolnost proti opotřebení. Tyto materiály vydrží o něco vyšší teploty než základní uhlíkové nástrojové oceli, a to do teplot až 500 [°C].

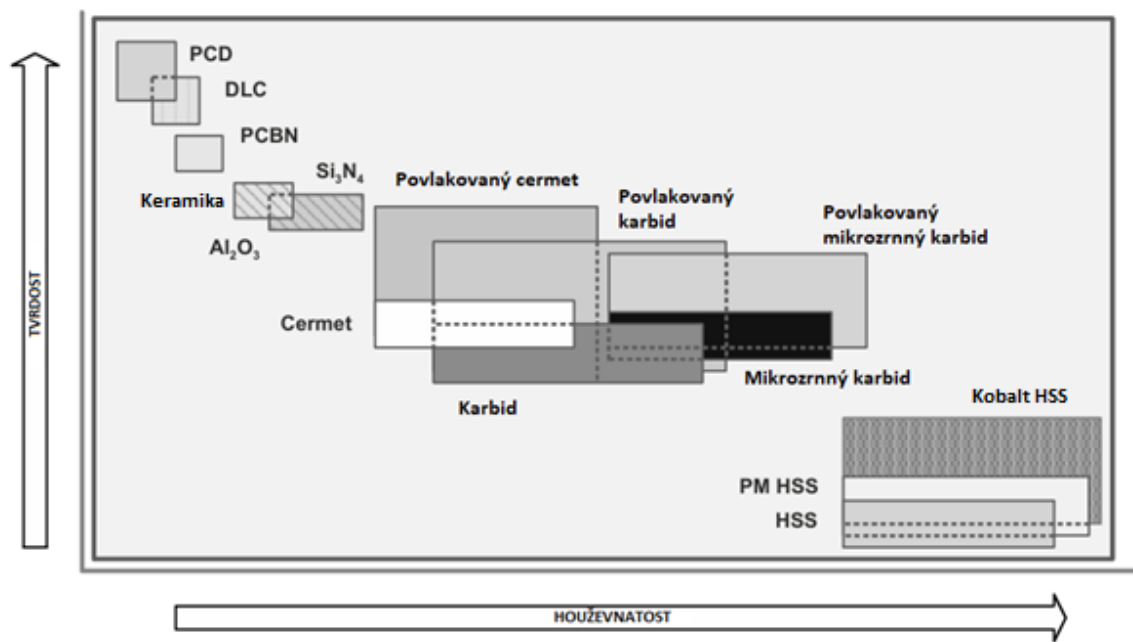
Rychlořezné oceli (HSS): Tyto slitiny se vyznačují vysokou houževnatostí a odolností proti opotřebení. Vyrží teplotu až 600 [°C]. Jsou často používány pro frézování materiálů se střední tvrdostí. Díky dobré houževnatosti a schopnosti odolávat vibracím se materiály využívají zejména při soustružení, frézování, vrtání složitých tvarů. Nevýhodou je jejich nižší řezná rychlost oproti moderním materiálům. [8,21,22]

Karbidové nástroje: Karbidové nástroje jsou vyrobeny ze směsi tvrdých částic, spojených kovovou maticí, často tím bývá kobalt, který se univerzálním pojivem pro materiály nástrojů. Tyto nástroje mají vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení a vyrží teploty 900 až 1000 [°C]. Jsou ideální pro vysokorychlostní frézování (HSM) a obrábění materiálů se značnou tvrdostí, jako jsou nerezové oceli, litiny a slitiny titanu. Umožňují efektivní odvod třísek při minimálním opotřebení bříty. [8,21,22]

Keramické nástroje: Skládají se především z oxidů, nitridů nebo karbidů, to jim poskytuje extrémní tvrdost a odolnost vůči teplotním účinkům do teplot až 1200 [°C]. Často se využívají při obrábění kalených materiálů a slitin s vysokou pevností. Hlavní nevýhodou je jejich křehká struktura, která omezuje jejich použití při obrábění materiálů, kde by vznikalo vysoké dynamické zatížení. [8,21,22]

KNB (Kubický nitrid boru): KNB nástroje jsou vysoce tvrdé a odolávají teplotám až do 2000 [°C]. Používají se pro obrobení zejména extrémně tvrdých materiálů, jako jsou kalené oceli, tam kde je požadováno minimální opotřebení a vysoká přesnost. KNB je druhým nejtvrdším materiálem, a to z něj dělá ideální materiál pro obrábění s vysokou produktivitou a stabilitou rozměrů. [8,21,22]

PKD (Polykrystalický diamant): Nejtvrdší typ běžně používaných materiálů pro nástroje. Mají vysokou odolnost proti opotřebení a odolávají teplotám do zhruba 800 [°C], při čemž vynikají v obrábění neželezných kovů, kompozitů a plastů. Nesmí se používat pro obrábění kovových materiálů, protože stejně jako kovové materiály obsahují v sobě uhlík. Díky své vysoké tvrdosti poskytují po obrobení materiálu vysokou kvalitu povrchu a umožňují obrábění při vysokých rychlostech. [8,21,22]



Obrázek 24 – Přehled charakteristik tvrdosti/houževnatosti jednotlivých nástrojových materiálů

[21]

2.3 Povlakování nástrojů

Důležitá technologie, která u nástrojů zvyšuje výkon, prodlužuje životnost a zlepšuje odolnost proti opotřebení a teplotním účinkům. Tento proces zahrnuje nanášení tenkých vrstev materiálů s vysokou tvrdostí na povrch nástroje a tím zlepšuje jeho vlastnosti. [8,21,22,24]

2.3.1 Funkce povlakování nástrojů

Povlaky zajišťují několik funkcí:

- Zvýšení tvrdosti
- Tepelná bariéra
- Snížení tření
- Odolnost proti oxidaci

2.3.2 Typy povlaků pro frézovací nástroje

Nitrid titanu (TiN)

TiN je jeden z více používaných povlaků pro řezné nástroje díky své vysoké tvrdosti až 2500 HV a odolnosti proti opotřebení. Tento povlak je odolný vůči teplotám do 600 [°C], zajišťuje nízké tření díky hladkému povrchu a je vhodný pro obrábění ocelí, litin a neželezných kovů. [8,21,24]

Nitrid titanu a hliníku (TiAlN)

TiAlN je modernějším typem oproti předešlému. Nabízí vyšší odolnost vůči teplotám až do 800 [°C], vysokou tvrdost a odolnost proti oxidaci a je vhodný pro vysokorychlostní frézování a obrábění bez použití chladících kapalin. Často se využívá pro obrábění titanu a žáruvzdorných slitin. [8,21,24]

Nitrid chromu (CrN)

CrN povlaky jsou známé kvůli své odolnosti proti adhezi a otěru. Nabízí odolnost proti teplotám do 700 [°C], ochranu při obrábění abrazivních materiálů, jako jsou slitiny hliníku a kompozity. Jsou vhodné pro obrábění bez použití chlazení díky nízkému koeficientu tření. [8,21,24]

Diamantové povlaky (PKD)

Nabízejí velmi vysokou tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Teplotní odolnost se pohybuje do 700 až 800 [°C], takže nejsou vhodné pro materiály generující vysoké teploty při obrábění. Jsou ideální pro obrábění neželezných materiálů, plastů, kompozitů. [8,21,24]

V následující tabulce lze vidět souhrn vlastností jednotlivých povlakových materiálů doplněné o další druhy povlaků. Jsou zde také uvedené tvrdosti jednotlivých povlaků.

Tabulka 1 – Výběr vlastností některých materiálů a povlaků

Materiál a povlaky	Tvrđost HV	Koeficient tření:nástroj vs. ocel	Maximální provozní teplota (°C)	Tloušťka vrstvy (μm)	Teplotní roztažnost (*10 ⁻⁶ K ⁻¹)
HSS	900	0,3-0,4	500	-	10 až 14
Oxidy a nitridy	1500-3000	0,1-0,2	800	-	2,8 až 9,4
Karbidy a boridy	2000-3600	0,1-0,2	500	-	4 až 8
TiN	2200	0,4-0,5	600	1 až 4	-
TiCN	3000	0,25-0,4	430	1 až 7	-
TiAlN vrstvený	3300	0,3-0,65	800	2 až 5	-
TiAlN jednovrstvý	4500	0,3-0,65	800	1 až 5	-
PKD	7000-10000	0,05-0,1	-	-	1,5 až 4,8

[22]

2.3.3 Metody nanášení povlaků

Povlaky se nanášejí přímo na povrchu nástroje dvěma hlavními metodami:

PVD (Physical Vapor Deposition – Fyzikální nanášení) [22,24]

- Povlaky se nanášejí ve vakuové komoře, kde se odpařuje povlakovací materiál a následně kondenzuje na povrchu nástroje
- Výhody: Vysoká přilnavost, nízké provozní teploty do 500 [°C]
- Použití: TiN, TiAlN, CrN

CVD (Chemical Vapor Deposition – Chemické nanášení) [22,24]

- Povlak je nanášen chemickou reakcí mezi plynnými složkami na povrch nástroje
- Výhody: Rovnoměrná tloušťka povlaku i na složitých tvarech
- Nevýhoda: Vyšší procesní teploty až 1000 [°C], nákladnější na proces
- Použití: Povlaky pro vysokorychlostní frézování

2.4 Upínání frézovaných obrobků

Pokud je požadavkem vysoká přesnost, kvalita a bezpečnost při obrábění, je správné upnutí obrobku velmi důležitým krokem pro zajištění jmenovaných požadavků. Upínání obrobků ovlivňuje jak stabilitu při obrábění, tak i životnost nástroje a efektivitu celého procesu. V této kapitole budou popsány základní metody upínání obrobků, používané systémy a jejich specifické vlastnosti. [24,25,26]

Cílem upínání obrobků na stroj je jejich pevné uchycení tak, aby obrobek odolal silám, které při frézování vznikají. Upínací systémy by měly splňovat základní požadavky jako:

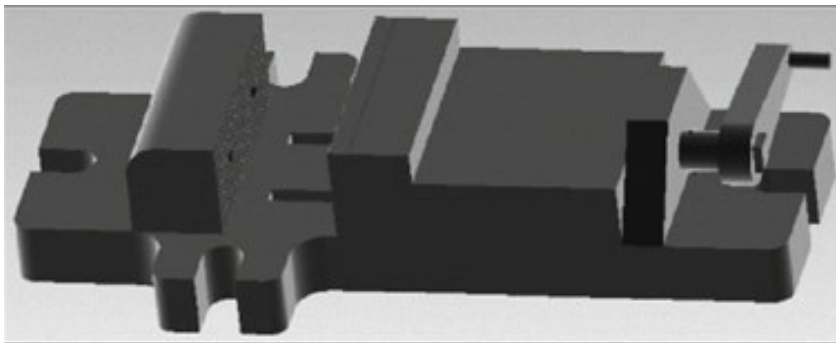
- Stabilita – obrobek se nesmí posouvat ani vibrovat při obrábění
- Flexibilita – různé typy obrobků vyžadují variabilní upínací metody
- Přesnost – upínání musí umožnit velmi přesné ustavení nulového bodu souřadného systému

Mezi typy upínacích systému patří čtyři velmi často používané metody.

2.4.1 Mechanické upínací systémy

Mechanické upínání je nejběžnější metoda, která zahrnuje svěrky, čelisti nebo šroubové upínače. [24,25,26]

- Svěrky: Se používají pro tvarově jednoduché obrobky, tam kde je vyžadováno rychlé a pevné upnutí
- Čelisti: Nejvíce používaný typ upínání pro rotační díly nebo díly s pravidelnými tvary, tříčelist'ová se běžně používají pro kruhové díly a čtyřčelist'ová jsou vhodná pro obrobky netypických tvarů
- Upínací šrouby: Mohou zajistit vysokou tuhost a přesnost při zajištění obrobku, často se používají v kombinaci s upínacími deskami



Obrázek 25 – Mechanické upínání obrobků pomocí svěráku

[25]

Velkou výhodou při použití mechanických upínacích systémů je jejich nízká cena a velmi snadná údržba. Také zde exceluje jednoduchost při upínání. Jedná se o univerzální použití pro mnoho různých typů obrobků.

Nevýhodou je pak nutnost manuálního nastavení, což znamená ztrátu času při plnění úkolu a jejich omezené možnosti pro upnutí tvarově komplexních dílů. [24,25,26]

2.4.2 Hydraulické upínací systémy

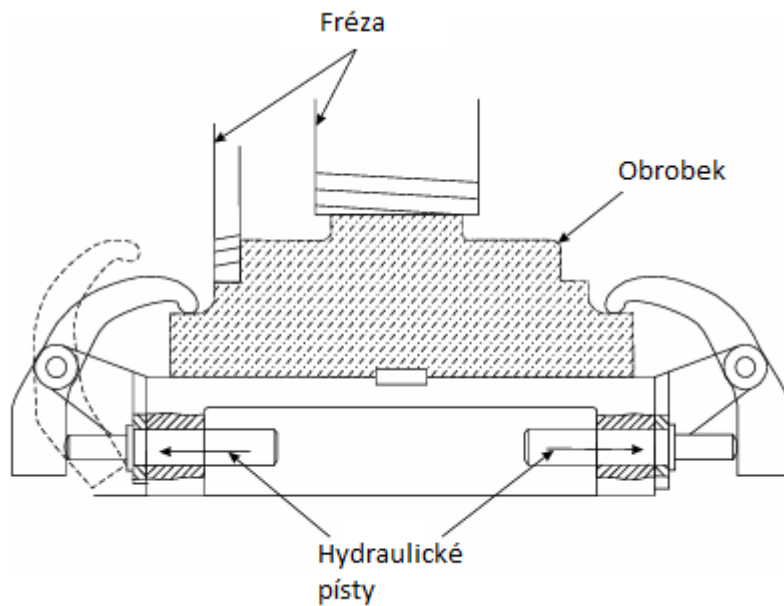
Hydraulické systémy využívají tlakových kapalin k vytvoření konzistentní a rovnoměrné upínací síly. Jsou vhodné pro sériovou výrobu, kde je kladen důraz na rychlost a přesnost upnutí. [24,25,26]

Kapalina je pod tlakem přiváděna do hydraulického válce, který vytváří upínací sílu. Systém tak může být ovládán manuálně, poloautomaticky nebo úplně automaticky.

- Svěráky s hydraulickým pohonem: Pro pevné a spolehlivé uchycení
- Hydraulické desky: Používají se při obrábění větších nebo nepravidelných dílů

Mezi výhody patří jejich rychlé upnutí a uvolnění obrobku, rovnoměrné rozložení upínací síly po celé ploše obrobku.

Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a složitější údržba oproti mechanickým systémům. Další nevýhodou je nutnost pravidelné kontroly stavu hydraulické kapaliny. [24,25,26]



Obrázek 26 – Upínání pomocí upínek s hydraulickými písty

[25]

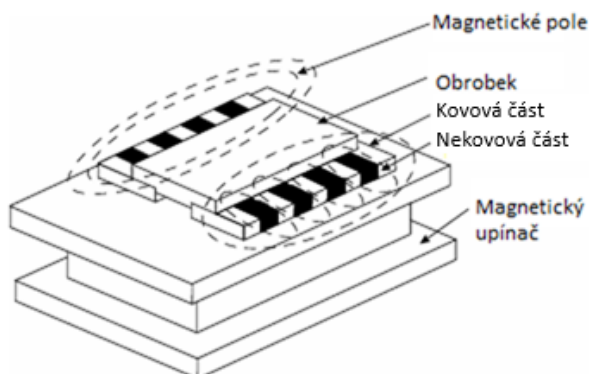
2.4.3 Magnetické upínací systémy

Magnetické systémy využívají sílu elektromagnetů nebo permanentních magnetů k upevnění obrobku. Tyto systémy se používají hlavně pro obrobky z feromagnetických materiálů. [24,25,26]

- Elektromagnetické desky: Nabízejí možnost plynulé regulace upínací síly a jsou vhodné pro obrábění velkých a plochých dílů
- Permanentní magnety: Nevyžadují napájení, a to je činí energeticky úspornými, udržují konstantní upínací sílu bez ohledu na přerušení napájení

Výhodou je rychlé nastavení obrobku a takřka nulové mechanické deformace obrobku při upínání.

Nevýhoda je, že tato metoda je použitelná pouze pro feromagnetické materiály. Také vyžadují pravidelné čištění povrchu, aby nedošlo k snížení účinnosti a správné funkci důsledkem nečistot na jejich povrchu. [24,25,26]



Obrázek 27 – Upínání obrobku na elektromagnetickou desku

[25]

2.4.4 Vakuové upínací systémy

Vakuové upínací systémy využívají podtlak k přitlačení obrobku na pracovní desku. Tento typ upnutí je vhodný pro tenké, ploché a nekovové obrobky.

Vakuové čerpadlo vytváří podtlak v prostoru mezi obrobkem a deskou, čímž vzniká přitlačná síla. Tato metoda je vhodná pro obrábění dřevěných, plastových nebo kompozitních dílů. Výhodou je minimální deformace obrobku při upínání a také jejich rychlá výměna. Nevýhodou je omezená upínací síla a požadavek na velkou kontaktní plochu mezi obrobkem a deskou. [24,25,26]

2.4.5 Inteligentní upínací systémy

V moderní době přinášejí technologie pokročilé upínací systémy s využitím různých senzorů a automatizačních funkcí.

- Senzory: Monitorují upínací síly a detekují vibrace vzniklé při obrábění
- Automatické nastavení: Systémy, které se přizpůsobí velikosti a tvaru obrobku bez manuálního zásahu

Výhody těchto metod zajišťují vyšší přesnost a bezpečnost a jsou vhodné pro sériovou výrobu a složité aplikace. [24,25,26]

3 ANALÝZA OBROBITELNOSTI MATERIÁLŮ PŘI FRÉZOVÁNÍ

Je velmi důležité si uvědomit, jaký materiál se bude v operaci obrábět. Díky této znalosti se pak totiž určuje volba správného nástroje, nastavení řezných podmínek a tím se dosáhne požadované kvality obrobeného povrchu. Je zde mnoho materiálů, které mají různé vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, houževnatost, odolnost proti korozním látkám a prostředí. [5,22,31]

3.1 Oceli

Ocel je nejčastější obráběný materiál ve strojírenském průmyslu, především díky její pevnosti a houževnatosti. Má také mnoho jiných mechanických vlastností, které se ještě k tomu dají modifikovat legurami. Podle struktury a chemického složení se dělí do několika skupin, nejznámější je ale rozdělení podle procenta uhlíku. [5,6,21,22]

3.1.1 Uhlíkové oceli

Je to jednoduchá slitina železa a uhlíku. Obsah uhlíku v železe zaručuje tvrdost a pevnost. Uhlíkové oceli se dělí na tři základní skupiny: [5,6,22]

Nízkouhlíkové (Uhlík <0,3 %): Mají vynikající obrobitelnost a používají se na běžné méně namáhané součásti jako jsou konstrukční profily a pouzdra. Obrábět se dají například nástroji z HSS nebo karbidů. Řezné rychlosti kolem 100–250 [m/min].

Středně uhlíkové (Uhlík 0,3-0,6 %): Oproti nízkouhlíkovým mají vyšší pevnost, ale horší obrobitelnost. Často se používají pro součásti s vyšším mechanickým zatížením, jako hřídele nebo ozubená kola. Obrábět se dají například povlakovanými nástroji z karbidu (TiAlN). Řezné rychlosti spíše menší kolem 80-150 [m/min].

Vysoce uhlíkové (Uhlík >0,6 %): Vyznačují se vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení, na druhou stranu jsou obtížně obrobitelné. Využívají se pro výrobu nástrojů, forem a ložisek. Obrábět se dají například KNB nebo PKD frézami při řezných rychlostech kolem 50-100 [m/min].

3.1.2 Legované oceli

Legované oceli obsahují dodatečné příměsi jako je molybden, vanad nebo chrom, které značně zvyšují mechanické vlastnosti základní oceli. Mezi takto vylepšené vlastnosti patří tvrdost, pevnost a odolnost proti korozi a jiným agresivním prostředím. [5,6,31]

Dělí se na dvě základní kategorie:

- **Nízko legované oceli:** Dají se snadněji obrobit a využití mají pro jednodušší stavební komponenty.
- **Vysoce legované oceli:** Zde patří například oceli nerezové a žáruvzdorné, u kterých je obtížnější je obrobit díky své houževnatosti, jinak mají velmi dobrou odolnost proti korozi.

Při obrábění nerezových ocelí je nutnost použití speciálních nástrojů, protože mají tendenci se vytvrzovat při obrábění. Používané nástroje jsou různé karbidové nástroje, většinou povlakované TiAlN nebo TiN. Řezné rychlosti se pohybují kolem 60-120 [m/min].

3.1.3 Nástrojové a kalené oceli

Nástrojové a kalené oceli se zejména využívají pro výrobu nástrojů, forem a dalších věcí, které vyžadují požadovanou pevnost a odolnost proti opotřebení. [5,6,22,31]

- **Nástrojové oceli:** Díky své vysoké tvrdosti je nutnost použití nástrojů, které jsou schopné takto tvrdý materiál obrobit. Většinou to jsou nástroje z KNB nebo s diamantovým povlakem. Tato ocel je tepelně zpracována na vysoké tvrdosti až 65 HRC.
- **Kalené oceli:** Jsou obtížně obrobitelné a vyžadují nízké řezné rychlosti a optimální chlazení.



Obrázek 28 – Obrábění kalené oceli

[31]

3.2 Litiny

Litiny jsou široce využívány díky své vysoké pevnosti, odolnosti proti opotřebení a jsou schopné tlumit vibrace. Dělí se na:

- **Šedé litiny:** Obsahuje grafitové částice, které fungují jako mazivo, dobře obrobitelné.
- **Tvárné litiny:** Vyšší pevnost a houževnatost, vyžadují pevnější nástroje.
- **Bílé litiny:** Jsou nejtvrdším typem a vyžadují proto speciální nástroje.

Je doporučeno litiny obrábět nástroji, které jsou tvrdé jako jsou karbidové nástroje s povlaky TiAlN nebo nástroji KNB. Optimální řezné parametry jsou – nízký posuv a velká řezná rychlost, aby se zabránilo tvorbě otřepů na obrobku. Také není doporučeno používat řeznou kapalinu. Na následujícím obrázku lze vidět obrábění typicky materiálově matné litiny. [20,21,31]



Obrázek 29 – Obrábění litiny

[31]

3.3 Hliník a jeho slitiny

Výhodou hliníku je jeho nízká hmotnost a obrobiteľnosť. Často se kvůli tomu používá právě v automobilovém a leteckém průmyslu. Má vysokou tepelnou vodivost a nízkou pevnost přispívající k jednoduchosti jeho obrobění.

- **Čistý hliník:** Snadno obrobiteľný, ale velmi náchylný k nárůstu materiálu na břit nástroje.
- **Slitiny hliníku:** Vykazují lepší mechanické vlastnosti jako pevnost a odolnost, často obsahuje hořčík nebo zinek.

Je vhodné používat nástroje s diamantovými povlaky nebo karbidy pro vysokou řeznou rychlost. Výhodou je právě to, že materiál neobsahuje uhlík, a proto je velká výhoda při obrobění takových materiálů. Nevýhodou je, jak bylo již uvedeno, lepení materiálu na nástroj. Proto je doporučeno zvýšit řezné rychlosti a nepoužívat maziva. Na obrázku číslo 30 lze vidět obrobění hliníku frézovací hlavou. [20,21,31]



Obrázek 30 – Obrobění hliníku

[31]

3.4 Kompozity a plasty

Kompozitní materiály a plasty jsou stále čím dál více využívanými materiály v moderní době. Uplatnění mají zejména v leteckém, automobilovém a zdravotnickém průmyslu. Tyto materiály mají podobně jako hliník nízkou hmotnost, ale oproti hliníku mají i vyšší pevnost, problémem je při obrábění delaminace nebo tavení materiálu (zejména u plastů).

- **Kompozity na bázi uhlíkových vláken:** Vyžadují přesné a ostré nástroje pro minimalizaci poškození vláken.
- **Termoplasty a termosety:** Jsou snadno obrobitelné, ale náchylné k tavení při vysokých rychlostech.

U běžných plastů se používají nástroje z rychlořezné oceli. Při obrábění plněných nebo kompozitních plastů je vhodné použít např. karbidové, keramické nebo diamantové řezné nástroje. Také je doporučeno použití suchého obrábění a minimálního množství maziv. [5,6,8]

4 CHLADÍCÍ A MAZACÍ SYSTÉMY

Systémy, které minimalizují tření, odvádějí teplo vznikající při obrábění a zajišťují optimální odvod třísek.

Výběr správného typu média závisí na typu obráběného materiálu, zvolené operace pro obrobení materiálu a požadavcích na ekologickou šetrnost. [22,23,27]



Obrázek 31 – Obrábění za vysokých řezných rychlostí s použitím chladících médií

[31]

U frézování je velmi doporučeno použití těchto systémů tam, kde je to možné pro správné odvádění třísek z místa řezu. Je nutné se ale vyvarovat použití takových kapalin u obrábění s pomocí keramických břitových destiček, aby zde nedošlo k tepelným šokům.

4.1 Funkce chladících a mazacích systémů

Funkce těchto systémů zajišťují: [22,23,27]

- **Odvod tepla:** Snižuje přehřívání nástroje a obrobku a zabraňuje tepelným deformacím
- **Mazání:** Snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem a tím minimalizuje opotřebení nástroje
- **Odvod třísek:** Správné odplavení vzniklých třísek z místa řezu a tím zabrání opětovnému styku třísky s břitem
- **Zlepšení kvality povrchu:** Šetrnější vliv na povrchu obrobku, snižuje jeho drsnost a minimalizuje možný vznik mikrotrhlin

4.2 Typy chladících a mazacích kapalin

4.2.1 Vodou ředitelné emulze

Je to směs vody a olejových emulzí. Vytváří chladicí médium s dobrými mazacími vlastnostmi. Jejich hlavní výhodou je nízká cena, schopnost efektivního odvodu tepla a biologická odbouratelnost. Díky těmto charakteristikám jsou vodou ředitelné emulze vhodné pro mnoho aplikací, zejména při obrábění ocelí a dalších materiálů jako jsou například litiny [22,23,27]

4.2.2 Olejové kapaliny

Jsou založeny na minerálních nebo syntetických složkách a vynikají vysokou mazivostí. I když poskytují vynikající mazací vlastnosti, nejsou vhodné pro efektivní odvod tepla, čímž omezuje jejich použití na obrábění materiálu s nízkou tepelnou vodivostí, jako je např. titan. [22,23,27]

4.2.3 Chemické roztoky

Obsahují speciální chemické přísady zlepšující ochranu proti korozi a zároveň zajišťují potřebnou mazivost. Tyto kapaliny se vyznačují vysokou tepelnou stabilitou a dobrou odolností proti biologickému znečištění, to je činí ideální volbou pro aplikace, kde je kladen důraz na vysokou čistotu pracovního prostředí. [22,23,27]

4.3 Metody aplikace chladících a mazacích kapalin

4.3.1 Konvenční chlazení

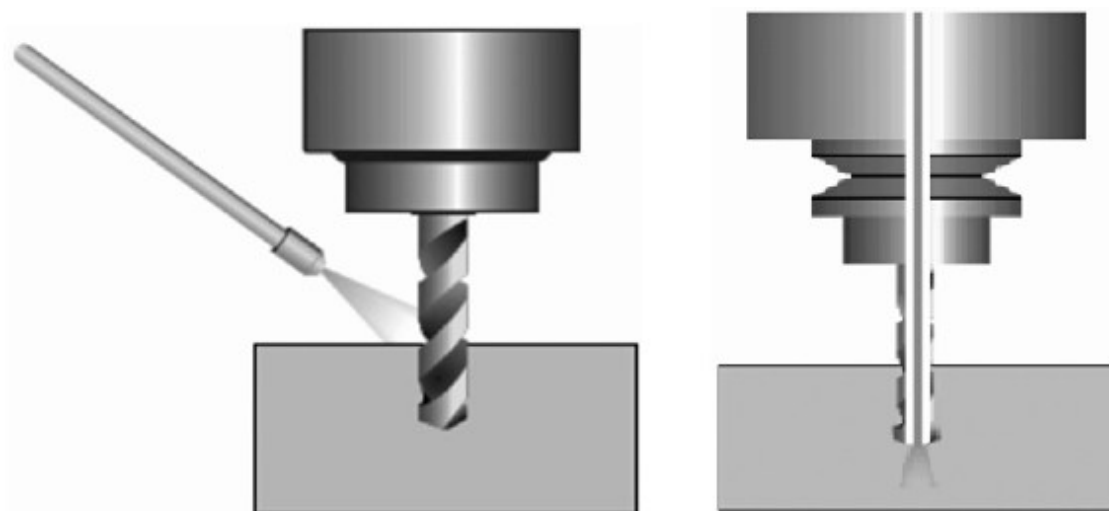
Kapalina je aplikována přímo do řezné zóny pomocí trysek nebo postřikovacích systémů. [22,23,27]

- Výhody: Rovnoměrný odvod tepla, efektivní mazání a odplavení třísek
- Nevýhody: Vyšší spotřeba kapaliny a nutnost časté údržby

4.3.2 MQL (Minimum Quantity Lubrication)

Metoda využívající minimální množství maziva v kombinaci se stlačeným vzduchem. [22,23,27]

- Výhody: Ekologické řešení, snížení množství odpadu, lepší kvalita obráběného povrchu
- Nevýhody: Omezená účinnost při vysokých řezných rychlostech a při obrábění s vysokou tepelnou vodivostí



Obrázek 32 – Způsob přívodu chladicí kapaliny do místa řezu externě (levý obrázek) a interně (pravý obrázek)

[27]

4.3.3 Suché obrábění

Při této metodě není použita chladicí kapalina, tzn. že nástroj pracuje za sucha s vysokou řeznou rychlostí. [22,23,27]

Výhody: Velmi ekologické řešení, žádný odpad z kapalin, snížení provozních nákladů

Nevýhody: Značně vyšší opotřebení nástrojů a nutnost použití speciálních povlaků

Obrábění s médiem je šetrnější na náklady nástrojů, ale zde poté nastává problém, jak naložit se zbytkovou kapalinou po operaci. V moderní době je tlak z různých ekologických směrnic a firmy tak musí hledat alternativy v obráběcích operacích a použití těch správných nástrojů.

5 PROGRAMOVÁNÍ A TECHNOLOGIE V CNC FRÉZOVÁNÍ

Jedná se o moderní technologie obrábění, kam termín CNC (Computer Numerical Control) spadá. Umožňuje proces, který je velmi přesný a efektivní při obrábění různě složitých součástí bez nuceného aktivního zapojení personálu. Díky univerzálnosti a rychlosti se zde nachází široké uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích, od automobilového průmyslu až po výrobu lékařských implantátů.

Tato poslední kapitola pojme a stručně probere základní principy CNC obrábění s programováním a využitím pokročilejších technologií pro optimalizaci frézovacích operací. [17,18,19]

5.1 Principy CNC obrábění

Základem CNC frézování je automatické řízení pohybu nástrojů a pracovního stolu dle předem definované strategie, která přímo vychází z vytvořeného programu. Frézka provádí operace v několika osách, jež umožňuje obrobení i velmi složitých tvarů.

Standardně frézovací stroje zahrnují tři posuvové osy (X,Y,Z), avšak v moderní době mohou stroje pracovat v 5-ti či více osách pro obrobení velmi komplexních součástí. [17,18,19]

5.1.1 Hlavní komponenty CNC frézky

- **Řídící jednotka (CNC kontrolér):** Přijímá instrukce ve formě a převádí je na pohyb os a nástroje. Na následujícím obrázku je pohled na display řídicí jednotky.



Obrázek 33 – Kontrolní panel FANUC

- **Senzory:** Monitorují polohu nástroje a zajišťují přesné nastavení pracovního bodu (pomocí dotykových sond se nastaví začátek souřadného systému pro obrábění)
- **Vřeteno:** Zajišťuje rotaci nástroje, dovolená rychlost vřetena je zásadní pro volbu ostatních rezných podmínek
- **Lineární pohony a servomotory:** Zajišťují přesný pohyb pracovního stolu nebo nástroje v jednotlivých osách

5.1.2 Výhody CNC frézování

CNC frézování mají řadu výhod. Jednou z předních je vysoká produktivita, jelikož automatizace procesu umožňuje obrábění s minimální prodlevou, a to vede k výrazně kratšímu výrobnímu času. Další velkou výhodou je vysoká přesnost, kdy toleranční hodnoty dosahují až $\pm 0,01$ [mm], čímž je zajištěna výroba součástí, na které se kladou vysoké nároky na kvalitu a rozměrovou přesnost. [17,18,19]

CNC frézování je také velmi flexibilní metoda, protože rychlá změna programu umožňuje snadné přizpůsobení výrobním požadavkům jako je změna sériovosti nebo při častých změnách designu.

5.2 Programování CNC frézek

Programování CNC frézek je proces, při kterém je vytvořena síť příkazů určující dráhu nástroje, rychlosti a další parametry operací. Programování se dá rozdělit na typy: [17,18,19]

Manuální programování: Operátor zapisuje jednotlivé příkazy přímo do programu. Používá se pro jednoduché operace, jako je odběr materiálu na rovinných plochách, či velmi jednoduché kruhové pohyby.

Automatizované programování (CAM): Software generuje kódy na základě CAD modelu. Operátor pouze definuje rezné podmínky a strategii frézování.

5.2.1 Struktura CNC programu:

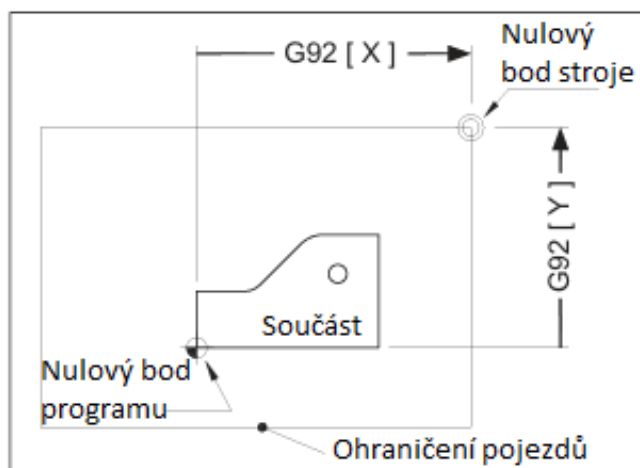
Program se skládá z jednotlivých bloků, kde každý blok obsahuje instrukce pro konkrétní pohyb nebo akci. Například:

Tabulka 2 – Příklad zdrojového kódu CNC programu

N4 G01 X40 Y35 Z-5 F80	(Lineární pohyb [G01] s posuvem [F]80 mm/min)
N8 M03 S1200	(Spuštění vřetena [M03] při otáčkách [S] 1200 ot/min)

(zdroj: vlastní)

Pokročilé techniky zajišťují makra (používají proměnné pro opakované vzory) a parametrické programování (umožňují měnit parametry obrábění na základě podmínek během samotného provozu). [17,18,19]



Obrázek 34 – Příklad nájezdu do nulového bodu programu

[19]

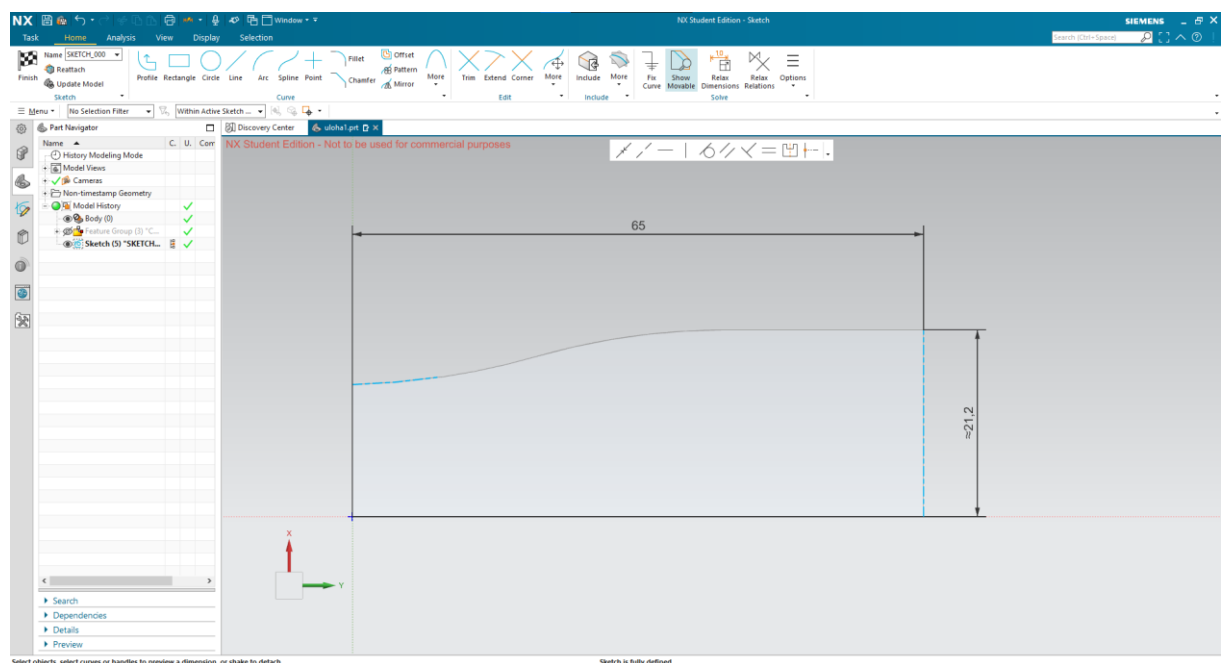
Nástroj přejede z nulového bodu stroje rychloposuvem (G92) do nulového bodu programu, který je určen předem v CAM programu nebo je manuálně zadán.

5.3 CAD/CAM systémy

CAD/CAM systémy jsou velmi důležité pro roli moderního obrábění, protože spojují proces návrhu a výroby do jednoho prostředí. [17,18,19]

CAD (Computer-Aided Design):

- Návrh geometrie obrobku s přesným vymezením rozměrů, tolerancí a povrchových úprav
- Simulace sestavení a analýzy obrobku před samotnou výrobou



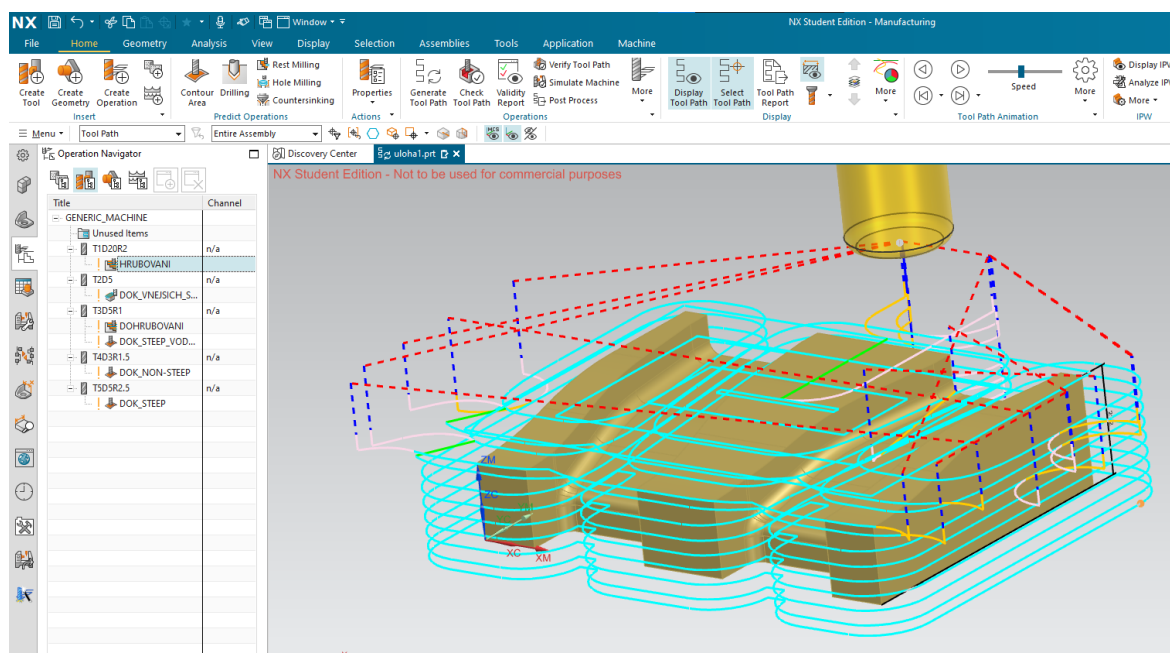
Obrázek 35 – Prostřední systému Siemens NX (Modeling)

(zdroj: vlastní)

CAM (Computer-Aided Manufacturing):

- Přenos dat z prostředí počítače do CNC stroje prostřednictvím postprocesoru
- Generují se zde dráhy nástroje a simulace procesu obrobení součásti
- Automatický výpočet optimálních řezných podmínek

Tyto systémy jsou nezbytné při dnešním moderním obrábění součástí. Přinášejí podstatné výhody jako snížení rizika chyb, které by normálně vznikly při manuálním odzkoušení přímo na stroji, zkracují čas potřebný jak při přípravě výroby, tak značně urychlují proces samotného obrábění a také umožňují provést simulaci a optimalizaci frézovacích drah. [17,18,19]



Obrázek 36 – Prostřední systému Siemens NX (Manufacturing)

(zdroj: vlastní)

5.4 Budoucnost v CNC frézování

Moderní CNC technologie se stále snaží zdokonalovat a využívat další pomocné systémy, které pomáhají s digitalizací a automatizací celého procesu. Mezi takovéto systémy patří například: [19,32]

- IoT a Průmysl 4.0: Umožňuje propojení strojů s cloudovými systémy a umožní živé sledování výkonu, dokážou tak vysledovat například jeho změny, což by mohlo značit potřebu údržby stroje
- AI a strojové učení: Optimalizace parametrů a zejména usnadnění složitého programování strojů
- Hybridní stroje: V moderní době se hledají různé alternativy konvenčních technologií jako je frézování, to vyústilo například v kombinaci frézování s aditivními metodami, jako je 3D tisk.

- Simulace a VR (Virtuální realita): Simulace umožňuje rozsáhlé odzkoušení jednotlivých operací ještě před jejím provedením, aby se snížila četnost rizik spojených se špatným nastavením procesu, mezitím co VR nám v moderní době pomáhá s pochopením jednotlivých operací a dokáže zastávat funkci kompaktního přenosného počítače s velkým množstvím dat. [32]



Obrázek 37 – Ilustrační obrázek Průmyslu 4.0

[32]

6 Shrnutí teoretické části diplomové práce

V první kapitole je popsán princip frézování, jeho historie a současné využití. Jsou zde představeny základní druhy frézovacích operací, jejich rozdělení a specifika, která definují jejich uplatnění.

Druhá kapitola obsahuje popis typů frézek a jejich konstrukčních rozdílů, které určují efektivitu a možnosti obrábění různých materiálů. Dále je zde detailně popsáno rozdělení nástrojů pro frézování a materiály, ze kterých se vyrábějí. Zapomenout zde nelze také na jejich geometrické parametry a povlakovací technologie, které přispívají ke zvýšení mechanických vlastností těchto nástrojů. Na konec druhé kapitoly bylo přidáno téma, které je blízce spjato s praktickou částí diplomové práce. Je zde stručně popsáno upínání frézovaných obrobků se stručně popsanými metodami upínacích systémů.

Třetí kapitola se věnuje analýze materiálů. Zde jsou představeny různé typy obrobků, jejich vlastnosti a jejich obrobitelnost. Jsou zde popsány základní kovové i nekovové materiály.

Čtvrtá kapitola doplňuje funkci chladících a mazacích systémů, které zajišťují optimální podmínky při frézování a ovlivňují kvalitu opracování.

Pátá poslední kapitola pak popisuje CNC frézování, včetně programování, CAD/CAM systémů a moderních trendů, jako jsou víceosé stroje a automatizace. V této kapitole jsou zdůrazněny výhody a možnosti využití CNC technologií v průmyslové praxi.

Tato část diplomové práce se zaměřovala na stručný popis a teoretický základ, který bude potřeba při pochopení následující praktické části.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

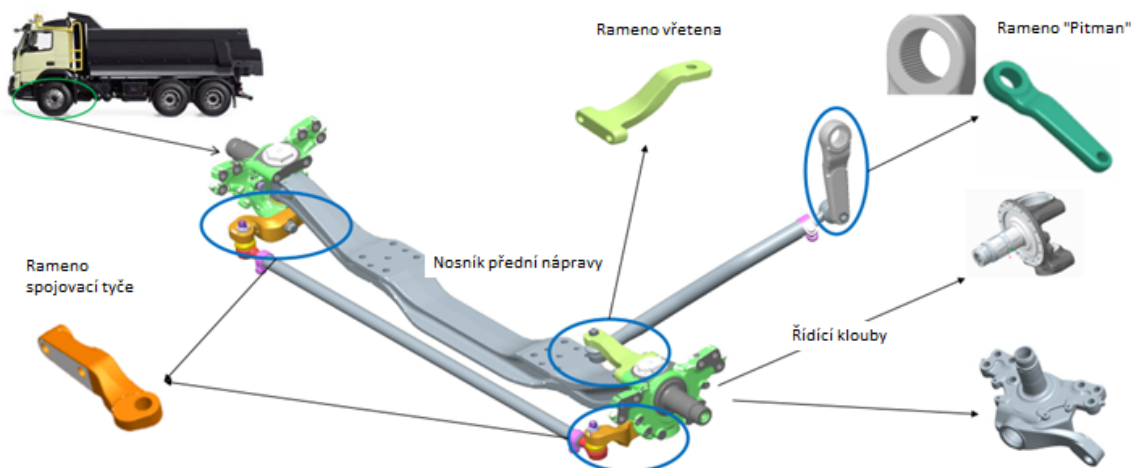
- Úvod praktické části a stanovení chtěných výsledků
- Popis části projektování přestavbových upínek na 20002
- Vytvoření seřizovacího plánu pro výrobu
- Popis stroje, na kterém se bude výroba odehrávat
- Technologický popis výroby a rozdíl mezi starou a novou metodou (Simulace)
- Ověření průhybů v oblasti krčku
- Ekonomické shrnutí
- Závěr

8 FÁZE PROTOTYPOVÉ VÝROBY

Ve společnosti CV Machining s.r.o. jsou obráběny primárně zápusťkové výkovky, které jsou dodávány do různých sektorů strojírenství (pohonné ústrojí nákladních vozidel, součásti čerpadel a hydromotorů, strojní součásti manipulační techniky, aj.)

Společnost CV Machining s.r.o. nyní řeší významný projekt pro zákazníka VOLVO, který má zájem o sériové dodávky dílů pro řídicí ústrojí přední nápravy elektricky poháněných nákladních vozidel.

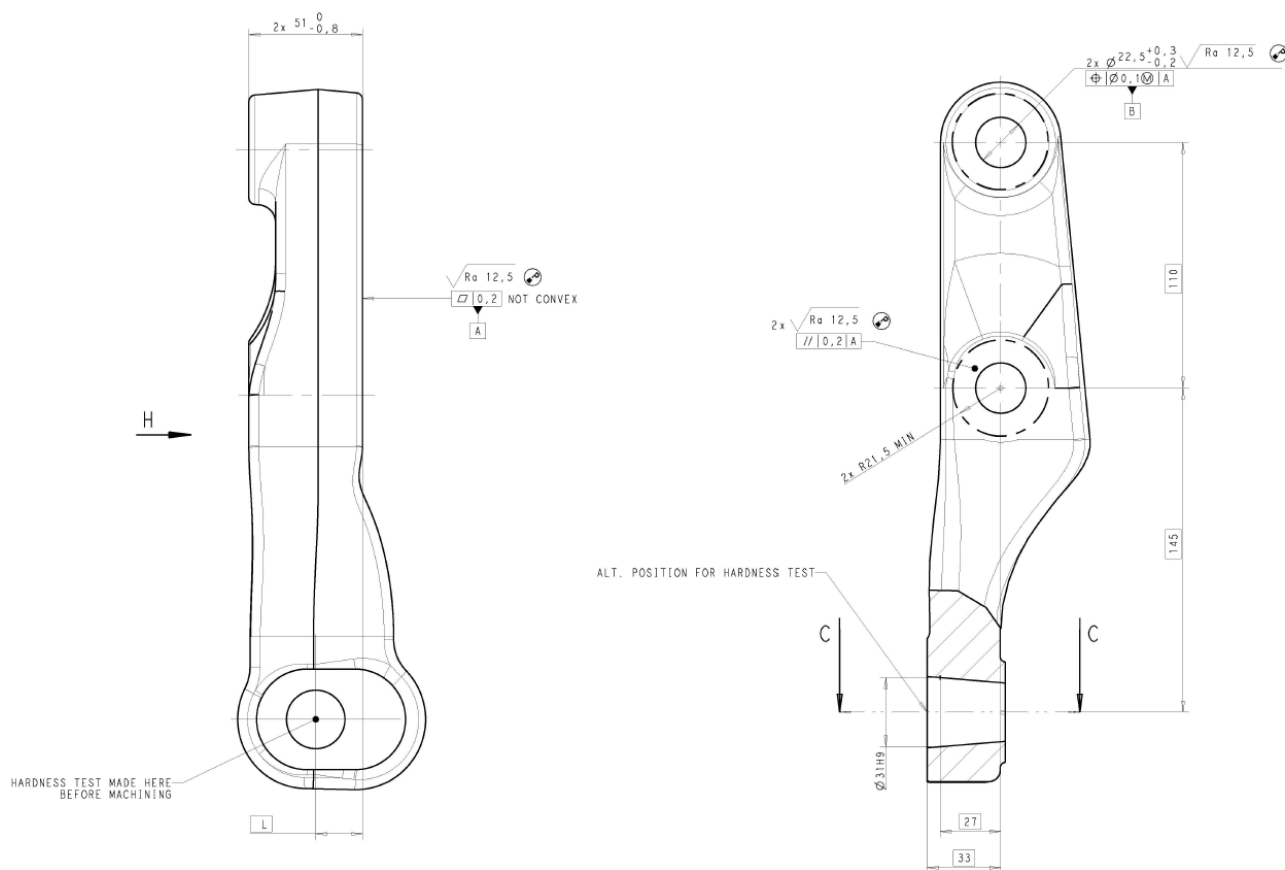
Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, kvůli nedostatku času se práce bude věnovat pouze jednomu výkovku (označení 20002), podle kterého bude provedena přestavba a nápady projektu budou převedeny také na následující výkovky. Níže v obrázku jsou zvýrazněny komponenty, které jsou předmětem řešeného projektu.



Obrázek 38 - Sestava řídicího ústrojí nákladního vozu VOLVO

(zdroj: vlastní)

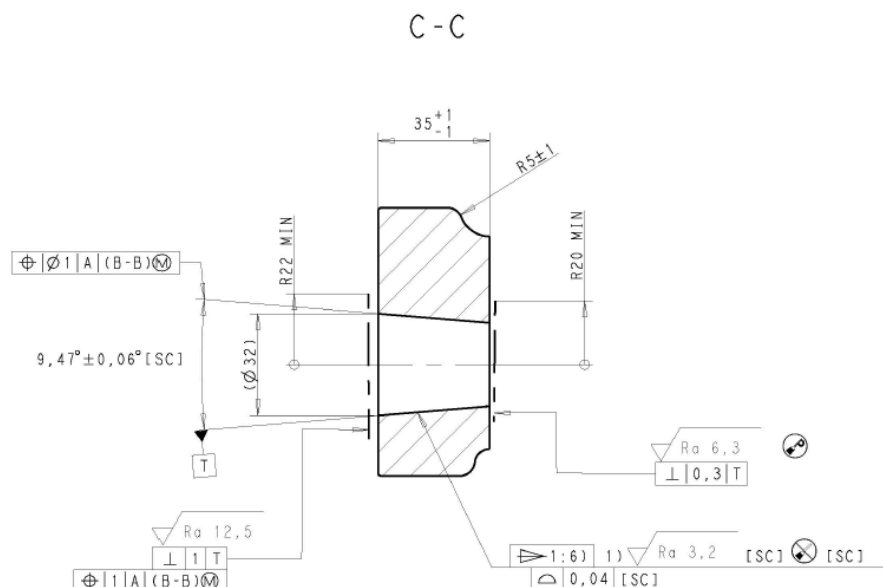
Projekt se nachází ve fázi prototypování a prvotních ověřovacích sérií. Hlavní skupinou dodávaných součástí jsou výkovky s označením „Tie rod arm“. Vstupním polotovarem pro obrábění je výkovek, který je zhotoven společností Kovárna VIVA a.s., jedná se celkem o dvanáct různých variant výkovků. Níže je jeden ze zástupců skupiny výkovků Tie rod arm.



Obrázek 39 - Výřez z výkresu výkovku Tie rod arm, označení 20002

(zdroj: vlastní)

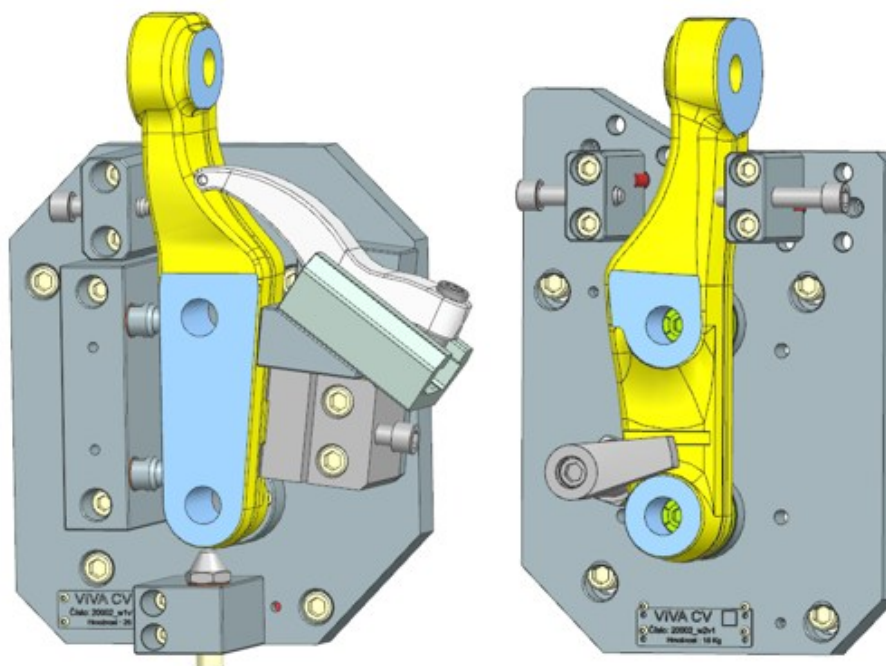
Zaváděné výkovky se zpracovávají ve dvou krocích, nejprve jsou obrobeny základny a otvory pro šrouby ($\text{Ø}22,5$ nebo $\text{Ø}25$), dále jsou ofrézovány styčné plochy (základna A a k ní protilehlá rovnoběžná plocha). Následně je na výkovky nanесena tekutá základová KLT vrstva (s tloušťkou $40 - 60 \mu\text{m}$) a finální prášková barva (s tloušťkou $100 - 140 \mu\text{m}$). Po operaci povrchové úpravy je obráběn přesný kuželový otvor s přísným požadavkem na přesnost, viz obrázek níže. Podrobnější popis operací naleznete v kapitole 11 a 12.



Obrázek 40 – Detail kuželového otvoru, který je obráběn po prvním upnutí

(zdroj: vlastní)

Ve fázi prototypování byly navrženy mechanické upínací přípravky. Před nanesením barvy jsou výkovky obráběny ve dvou operacích (1. a 2. upnutí). Po natírání je na výkvcích provedeno závěrečné obrábění na jedno upnutí (3. upnutí), zde je využíván přípravek pro 2.upnutí. Náhled na původní přípravky jsou v obrázku číslo 41.



Obrázek 41 – Pohled na původní mechanické upínací přípravky pro výkovek 20002

(zdroj: vlastní)

8.1 Materiál výkovku

Materiálem výkovku 20002 a také všech dalších výkovků této skupiny je ocel DIN/EN 42CrMo4 neboli chrom molybden manganová nízkolegovaná ocel. Tato ocel se vyznačuje svou houževnatostí a pevností. České značení dle ČSN je 15 142. Tato ocel je běžně používána pro komponenty aut, nákladních vozů, motorů a strojů. Typické díly vyrobené z této oceli jsou klikové hřídele či ozubená kola. V následující tabulce je chemické složení oceli 15 142.

Tabulka 3 – Chemické složení oceli ČSN 15 142

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,38-0,45	max 0,4	0,6-0,9	max 0,025	max 0,035	0,9-1,2	0,15-0,3

(zdroj: vlastní)

8.2 Nalezené problémy při výrobě

Při prototypování v navržených prototypových/předsériových přípravcích se vyskytly následující problémy:

- Při prvním upnutí nastával vznik vibrací při čelním obrábění ploch otočených o 90° oproti výchozí základně A, které jsou na konci krčku výkovku, kde je zhotovován kónický otvor. Hlavní příčinou vibrací je nedostatečně tuhé podepření krčku. Není možné bez stabilního podepření krčku dosahovat stabilně toleranci polohy plochy $\pm 0,5$ [mm]. U vrtáku, kde je v místě budoucího kónického otvoru před nanesením barvy obráběn pomocný otvor, dochází taktéž ke vzniku vibrací a výrazně vyššího zatížení nástroje a vřetene.
- Při druhém upnutí nedostatečné dosednutí výkovku na základnu přípravku, navržené upnutí pomocí kleštín bylo nutné doplnit o posuvnou hákovou upínku. Díky špatnému dosednutí výkovku nebyla stabilně dodržena požadovaná rovnoběžnost frézovaných čel $\pm 0,2$ [mm] vůči základně A.
- Při třetím upnutí se opakoval problém s nedostatečným podepřením krčku výkovku. Tyto problémy vedly k zastavování vřetene stroje při dokončovací operaci speciálním nástrojem. Povrch kónického povrchu byl více reliéfní a nedosahuje tak požadavku zákaznického výkresu. Do procesu po snížení zatížení vřetene a dokončovacích kónických nástrojů bylo zařazeno ještě předhrubování již vyvrtaného otvoru pomocí monolitní stopkové frézy.

Všechny výše uvedené problémy v prototypových přípravcích vedly k výraznému prodloužení cyklového času obrábění (kvůli zatížení a vibracím bylo nutné snížit řezné podmínky). Dále kvůli nedostatečnému podepření krčku v poslední operaci obrábění nejsou dodrženy přísné rozměry a také požadovaná drsnost Ra 3,2 kónického otvoru.

V neposlední řadě při dokončení kónického otvoru dochází k mechanickému poškození nanesených vrstev barvy, hlavní příčinou jsou nedostatečně flexibilní styčné body na opěrných prvcích přípravků.

8.3 Záměr řešení diplomové práce:

- návrh přestavbových přípravků, kde bude možné upnout vícero typů výkovků tvarové skupiny „Tie rod arm“
- vývoj technicky propracovanějších opěrných jednotek v místě otočeného krčku výkovku, které eliminují vznik vibrací při obrábění a zároveň na nich budou integrované tvarově přizpůsobitelné styčné plochy, aby nedocházelo k poškození nanesených vrstev barvy
- po návrhu a výrobě nově navržených přípravků celkové zhodnocení stavu frézovací a vrtací strategie s cílem dosáhnout snížení cyklového času minimálně o 20-30 [%] oproti současnému stavu
- technicko-ekonomické zhodnocení nově navrženého stavu, ověření přípravku a technologického procesu na fyzické výrobní dávce o velikosti 100 [ks]

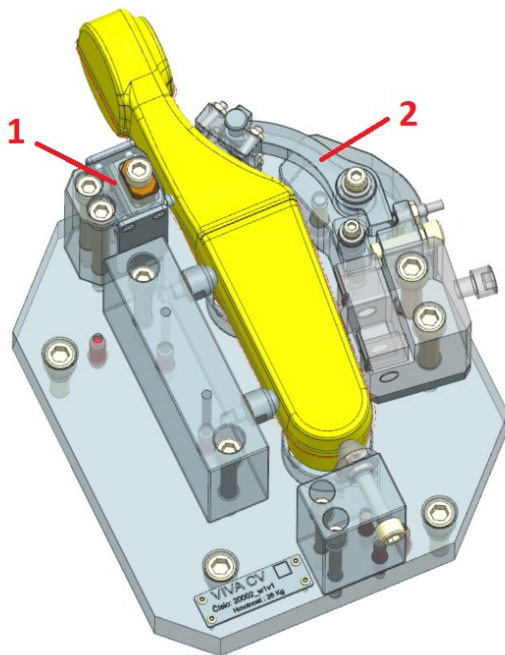
9 NÁVRH A KONSTRUKCE NOVÝCH UPÍNEK

Tato kapitola se bude zaměřovat na popis a průběh při návrhu nových přestavbových upínek, které budou unikátní a budou splňovat požadavky na kvalitu a zrychlení procesu. Tato kapitola bude rozdělena na tři části neboli 1. a 2. a 3. upnutí.

9.1 Návrh nových upínek pro 1. upnutí

Jak již bylo uvedeno v minulé kapitole hlavní problém se vyskytoval v místě, kde se na výkovku zužuje krček a kde je na konci o 90° oproti výchozí základně „A“ umístěn kónický otvor, který má velmi přesné tolerance. V této části byly nakonec přestaveny dvě upínky blízkosti krčku. Ostatní upínky, které se nacházejí na spodní části přípravku, viz. obrázek číslo 41, jsou dostačující a změna zde nebude probíhat.

Při navrhování nových upínek byl brán ohled na již udělaný systém a tím pádem byl brán zejména ohled na použití, co nejvíce stejných již vyrobených dílů. Tím je myšlena především stejná základní deska přípravku. Při návrhu nových upínek byla tedy pozice děr brána spíše dle základní desky, a ne podle nových upínek, proto jsou pozice děr upínek, a i některých děr na desce v necelých číslech (viz. výrobní výkres základny upínek; Příloha 15). Na následujícím obrázku lze vidět pohled na nový navrhnutý přípravek v kompletním stavu:



Obrázek 42 – Náhled na nově upravený přípravek pro 1. upnutí

(zdroj: vlastní)

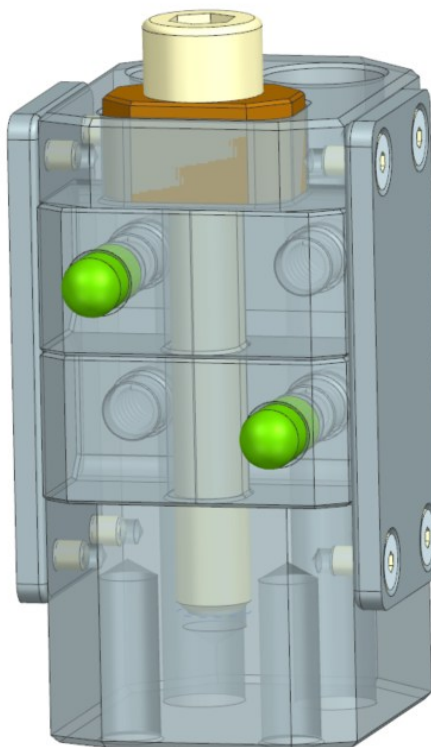
- Číslo 1 v obrázku 42 je flexibilní upínka s variačním dosednutím na plochu výkovku
- Číslo 2 v obrázku 42 je upínka založená na ramenovém stylu, tato upínka tvoří pevný dotek mezi upínkou a povrchem výkovku

Jak lze vidět v porovnání s obrázkem číslo 41 díly se zdají být velmi podobné, avšak v tomto případě je upínka v obrázku číslo 42 označená číslem 1 flexibilní a druhá upínka vytváří na rozdíl od jednoho styčného bodu rovnou čtyři styčné plochy.

V následujících podkapitolách budou jednotlivě popsány tyto dvě nově navržené upínky.

9.1.1 Podsestava podepření

Podsestava podepření funguje oproti minulému způsobu, který měl pouze jeden pevný styčný bod trochu jinak. Celý systém byl přepracován, tak aby byla zajištěna, co největší eliminace vznikajícího chvění při obrábění. Byl zde navržen způsob, který z upínky vytvoří flexibilní upínku, a to se podařilo zajistit pomocí lamel, které jsou usazeny v těle upínky – znázorněno na obrázku číslo 43.



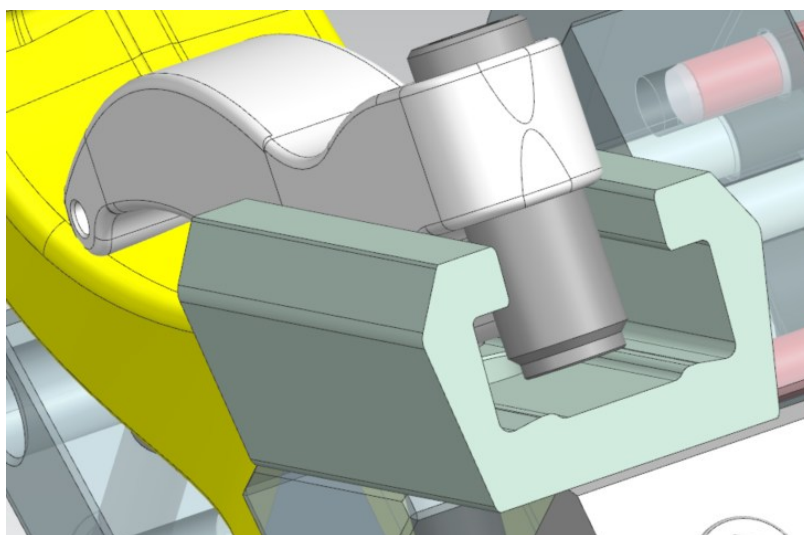
Obrázek 43 – Pohled na podsestavu podepření

(zdroj: vlastní)

Na obrázku číslo 42 jsou v jádře základny podepření umístěny za lamelami pružiny, které pomáhají s flexibilním nastavením upínky (lépe jdou vidět na výkrese podsestavy; Příloha 8). Tělo lamely je upraveno o drážku, kterou prochází šroub M10x70 a ten slouží jako zamezení vysunutí lamel ze svých pozic. Stejnou funkci plní kryty, které jsou vidět na každé straně. Kolíky s kulatou hlavou pak slouží jako bodový styk mezi upínkou a upínaným výkovkem. Detailní pohled na tuto sestavu je obsažen v jednotlivých výkresech v příloze.

9.1.2 Podsestava ramenového podepření

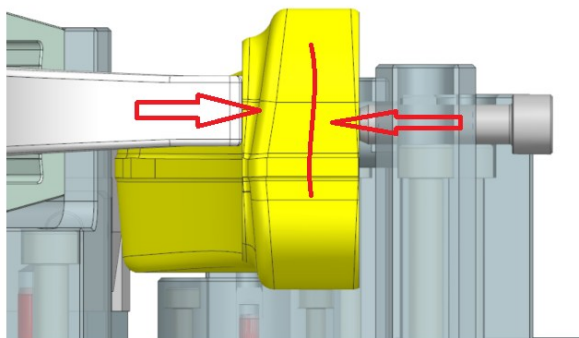
Druhou podsestavou je upínka principově velmi podobná té předchozí. Výhodou je zde to, že nemůže dojít k libovolnému uvolnění a posunutí upínky jako bývalo u té minulé, protože u ní bylo rameno upínky zaseknuté čepem v drážce upínky, jako lze vidět na obrázku číslo 44.



Obrázek 44 – Funkce zajištění polohy upínky před optimalizací

(zdroj: vlastní)

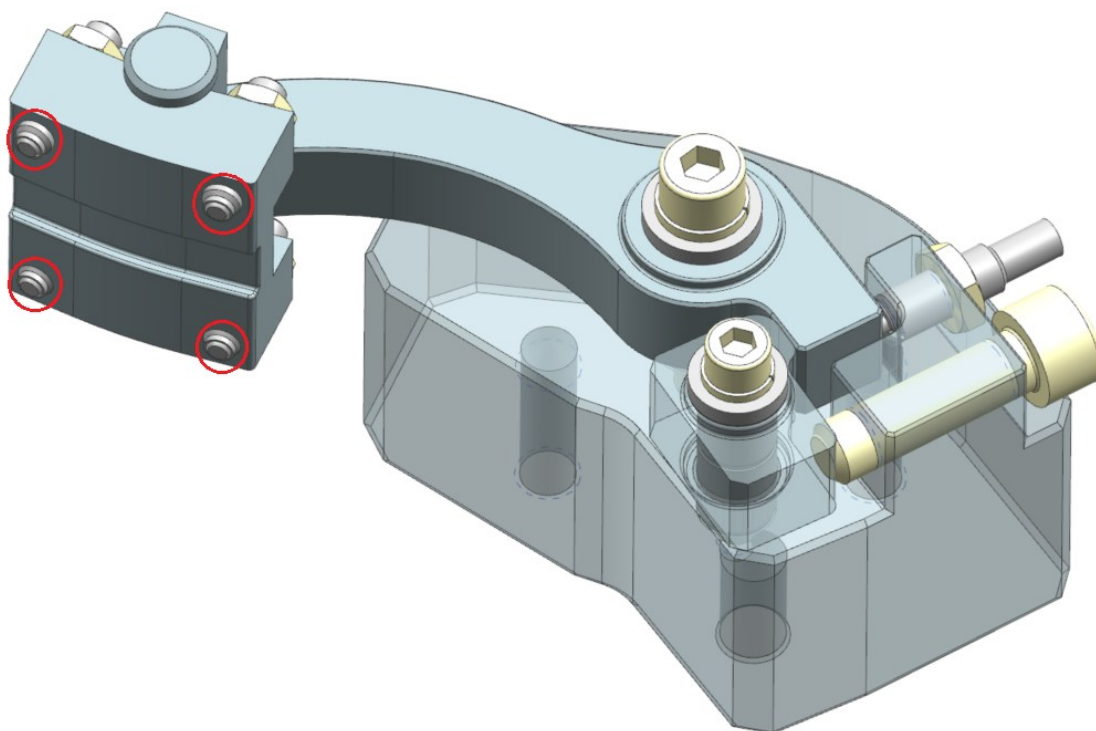
Navíc je zde vidět pohled na styčnou plochu konce ramene s výkovkem. Problém byl takový, že kvůli geometricky složitě navrhnutému výkovku zde nebyla využita celá plocha ramene, a navíc zde mnohokrát docházelo k vytočení protilehlých upínek. Znázorněné vyhnutí si lze představit na obrázku číslo 45.



Obrázek 45 – Problematika vytočení protilehlých upínek

(zdroj: vlastní)

Proto byla na místo bývalé upínky navrhnutá nová, která eliminuje oba problémy. Na následujícím obrázku číslo 46 lze vidět nový návrh ramenové upínky.



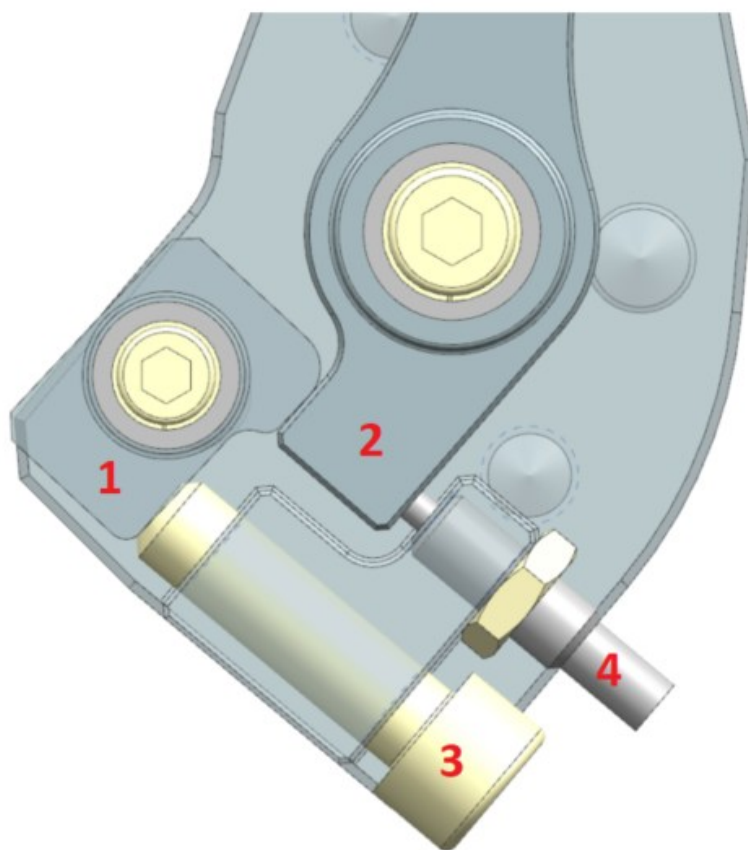
Obrázek 46 – Podsestava ramenového podepření

(zdroj: vlastní)

Červeně označené části na obrázku číslo 46 jsou speciální šrouby bez hlav, které mají na jednom konci otvor, ve kterém je vložena zploštělá kulička. Kulička vykonává funkci styku upínky s upínaným výkovkem. Velkou výhodou je úhlové nastavení plochy kuličky až o 9° . V programu siemens NX bylo odzkoušeno, že nejvyšší potřebné nahnutí je 7° .

Tyto šrouby sedí v tzv. dosedací kolébce, která má dosedací plochu pod určitým zaoblením a uprostřed si lze povšimnout drážky, která kopíruje střední lem výkovku. Šrouby jsou pak z druhé strany zajištěny maticí. Matice slouží pro nastavení jednotlivých šroubů a tím tvoří flexibilní možnost nastavení pro geometricky složitý výkovek. Kolébka je k rameni připojena čepem s hlavou a dírou na druhé straně, kterou se provlékne závlačka.

Nyní zde bude popsána funkce ostatních prvků této podsestavy:



Obrázek 47 – Funkce nastavení upnutí a samostatné vrácení

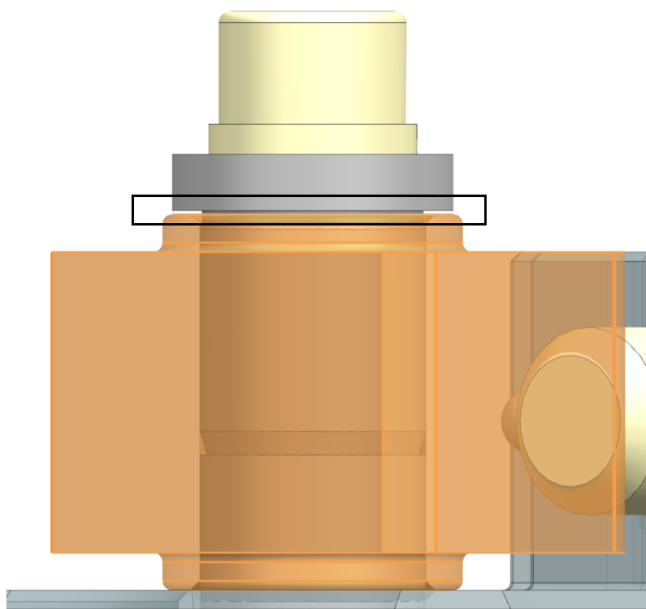
(zdroj: vlastní)

Popis pozic z obrázku číslo 47:

- 1 – Tlačný prvek
- 2 – Rameno upínky
- 3 – Nastavovací šroub
- 4 – Pružný čep s kulatou hlavou

Začneme-li popisovat jednotlivé prvky této podsestavy, tak nejdůležitějším je samotný „Tlačný prvek“. Ten má za úkol po dotažení šroubu s číslem 3 zajistit pohyb ramene ve směru tak, aby byla dosedací kolíbkka přitlačena k výkovku. Pozice 4 pak zajistí samovolné oddálení ramene po uvolnění šroubu a tím dojde k uvolnění upínky.

Stavba tlačného prvku je velmi jednoduchá. Jedna strana je určena jako plocha pro nastavovací šroub a druhá má výstupek, který zajistí tlačení ramene. Ve střední díře jsou uložena pouzdra a jimi prochází šroub pro zajištění prvku k základně. Pouzdra pak umožňují pohyb tlačného prvku při přisouvání nebo oddalování ramene od výkovku. Detailní pohled skrz tlačný prvek lze vidět na obrázku číslo 48.



Obrázek 48 – Tlačný prvek

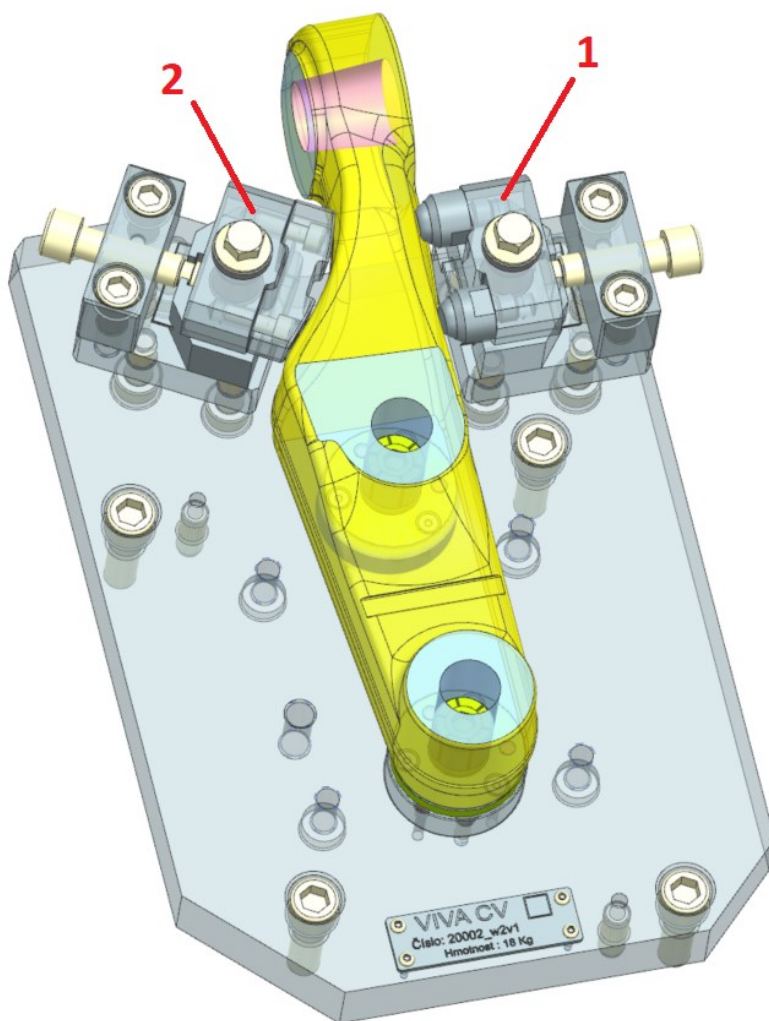
(zdroj: vlastní)

Na předešlém obrázku je také vyznačena černým obdélníkem mezera. Tato mezera je 1 [mm] velká a je zde z toho důvodu, aby pouzdro nedřelo o osazení na tlačném prvku. Stejně osazení a princip pouzder lze také najít v rameni podepření.

Díl s číslem 4 na obrázku číslo 47 je „Pružná opěrka s tlačným čepem“ a slouží jako automatické vrácení ramene do výchozí polohy neboli do polohy, ve které lze výkovek z přípravku vyjmout. Tento čep byl zvolen od firmy KIPP, od které je nakupována většina dílů potřebných pro úpravu upínání firmou CV Machining.

9.2 Návrh nových upínek pro 2. upnutí

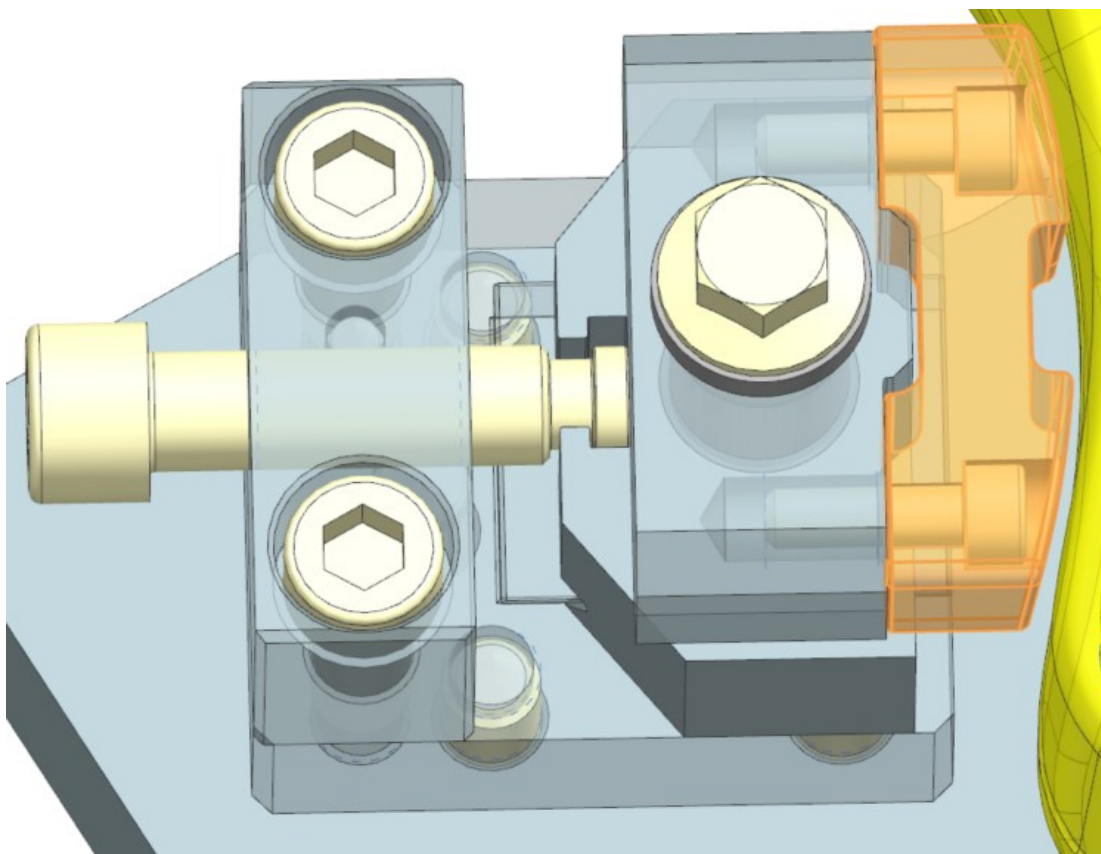
U 2. upnutí se vyskytovaly stejné problémy s podepřením krčku jako u 1. upnutí. Zároveň u původního přípravku pro 2. upnutí chyběla flexibilita podpěr, a i zde docházelo k značným vibracím a tím pádem k nepřesné rovině výkovku. Proto byly navrženy nové upínky, které lze vidět na následujícím obrázku číslo 49.



Obrázek 49 – Náhled na nově upravený přípravek pro 2. upnutí

(zdroj: vlastní)

Zde ačkoliv jsou v obrázku číslo 49 upínky odděleny číslováním, bude popsána pouze struktura jedné upínky, protože základní struktura obou upínek je totožná. Je tím myšleno to, že základní bloky a funkce přisouvání upínacích ploch je stejná. Jediný rozdíl je právě v provedení upínací plochy/upínacích styčných bodů. Na následujícím obrázku číslo 50 bude blíže popsán tento typ upínky.



Obrázek 51 – Náhled na sestavu otočného podepření s upravenou styčnou plochou

(zdroj: vlastní)

Zde by se dala popsat základna upínky stejně jako u předešlého typu. Změnou je zde oranžově označená část, která nahrazuje výkyvné opěrky. Styčná plocha upínky kopíruje zaoblení na tvarově složitém výkovku. Doraz je vyroben taktéž z polyamidu, aby zde nedocházelo k poškození barvy. Doraz je konstruován tak, aby se dal libovolně vyměnit s výkyvnými opěrkami.

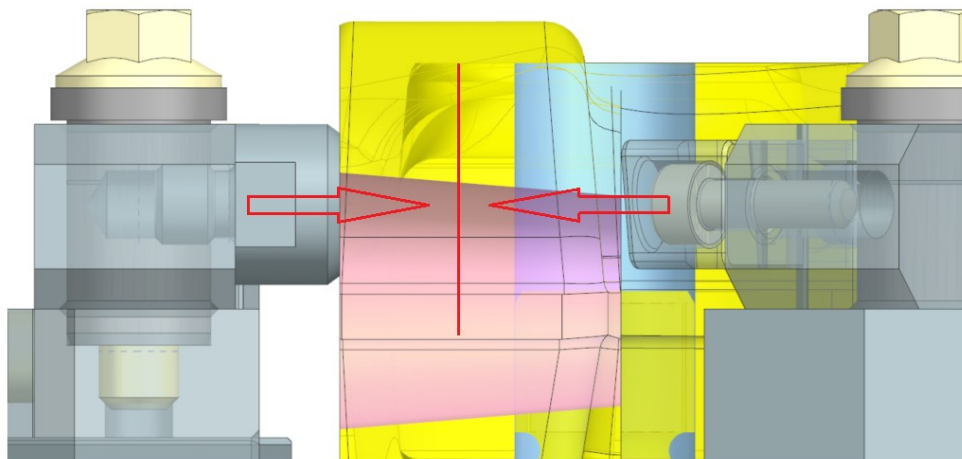
Šrouby, které jdou vidět v dorazu pak spojují doraz s pohyblivou částí upínky. Šrouby jsou nasunuty do závitového pouzdra, které bohužel v obrázku číslo 51 nejsou, ale fyzicky jsou dostupné (pro pouzdra zde nebyl poskytnut 3D model). Na následujícím obrázku je vidět závitové pouzdro, které bude součástí sestavy.



Obrázek 52 – Závitové pouzdro M6

(zdroj: vlastní)

Při přechodu na 2. upnutí je výhoda v tom, že výkovek je již obroben z druhé strany a jsou zde vytvořeny díry, ve kterých výkovek při 2. upnutí sedí a je zde upnut rozpěrnými kleštinami. Díky tomuto upnutí do kleštin je pak návrh upnutí v oblasti krčku jednodušší. Zde stačí když jsou podpěry umístěny na vrchní straně výkovku jako lze názorně vidět na obrázku číslo 53.

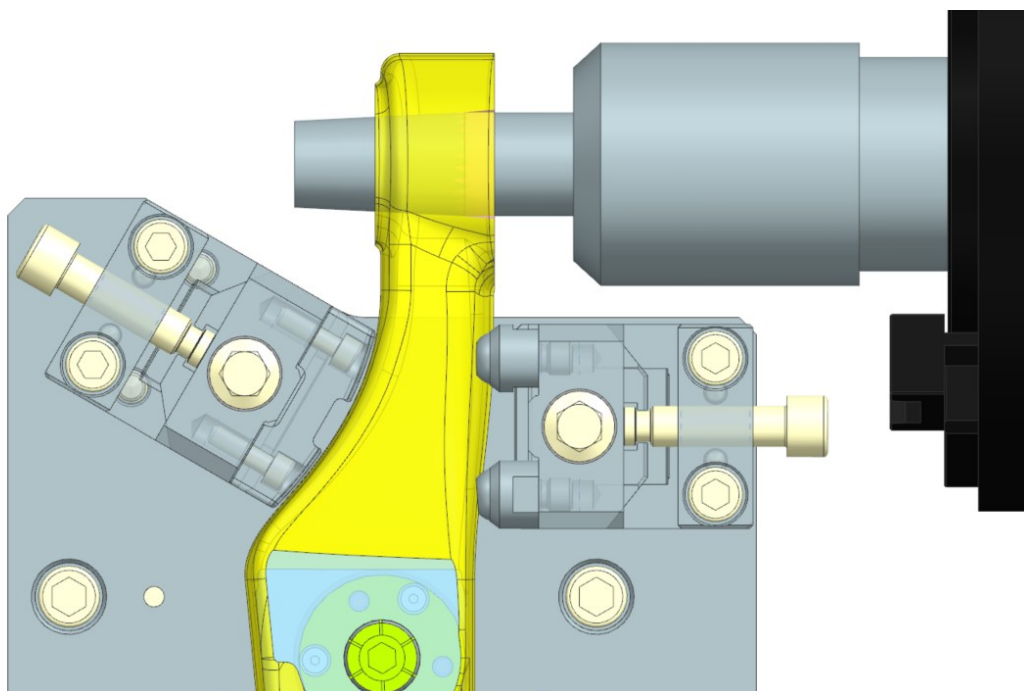


Obrázek 53 – Pozice protilehlých upínek při 2. upnutí

(zdroj: vlastní)

9.3 Obrobení kónického otvoru na 3. upnutí

Poslední 3. upnutí bude provedeno na stejném přípravku jako 2. upnutí a budou zde také použity stejné upínky. Třetí upnutí je spíše pojmenováno kvůli přerušení procesu, kde se přímo po 2. upnutí výkovek opatří požadovanou barvou a vloží se následně zpět na přípravek. Poté je zde dokončen kónický otvor speciálním kuželovým nástrojem jako lze vidět na obrázku číslo 54.



Obrázek 54 – Pohled na speciální nástroj obrábějící kónický otvor

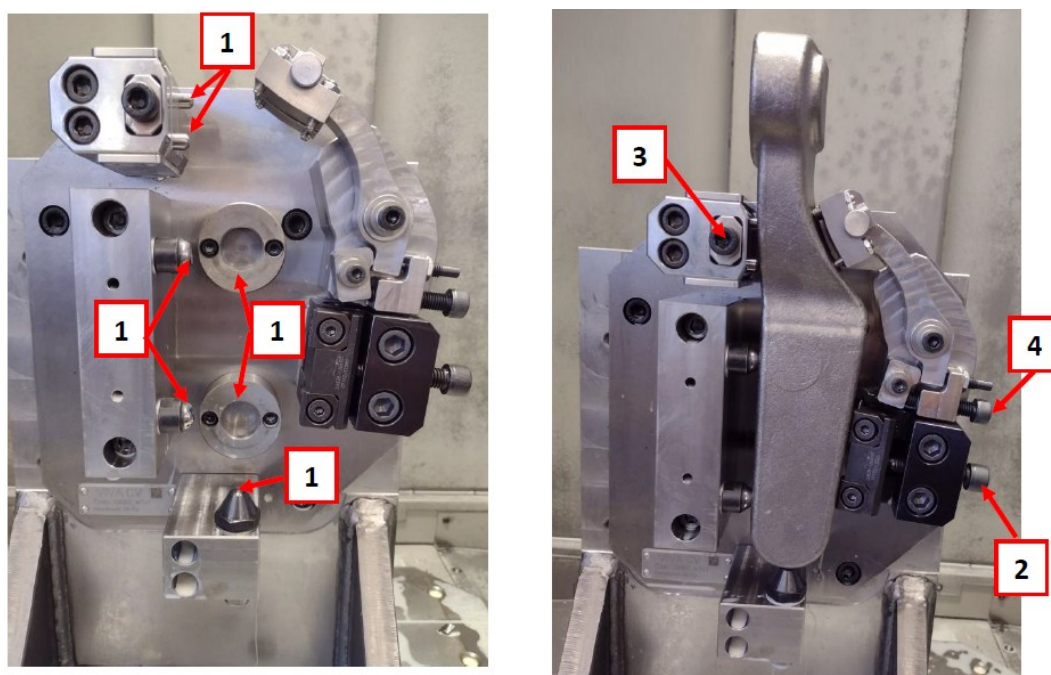
(zdroj: vlastní)

10 SEŘIZOVACÍ PLÁN

V této kapitole bude uvedeno, jakým způsobem se bude výkovek upínat.

10.1 První upnutí výkovku

Na následujícím obrázku lze vidět 1.upnutí a v textu jsou dále uvedené a odzkoušené hodnoty momentů při upínání výkovku 20002 na nový přípravek.



Obrázek 55 – První upnutí do přípravku

(zdroj: vlastní)

Upínky označené číslem 1 zde vykonávají princip dorazů. Následně se do výkovku zakousnou zubové kameny ze segmentu přítlačného upínače, na obrázku je tento upínač označen číslem 2 a k němu patří určitý moment utahování. Tímto je výkovek pevně upnut ve své dolní oblasti. Následuje utáhnutí sestavy podepření. Zde se právě díky předešlému utáhnutí upínky výkovek uložil na kolíky, které leží v lamelovém segmentu. Celá sestava podepření označená na obrázku číslem 3 je tedy následně utáhnuta šroubem a je zde zajištěn tvarový styk s levou stranou krčku.

Nakonec bude utáhnut nastavovací šroub sestavy ramenového podepření. Tato sestava je v obrázku označena číslem 4 a patří k ní náležitý moment. Tímto vznikne pevné upnutí výkovku po celé své délce.

K utažení upínek byl použit momentový klíč, který lze vidět na následujícím obrázku:



Obrázek 56 – Momentový klíč

(zdroj: vlastní)

Ke klíči byla přichystána sada bitů pro utažení jednotlivých šroubů. Velikosti utahovacích sil jsou následující (čísla odpovídají označení v obrázku číslo 55):

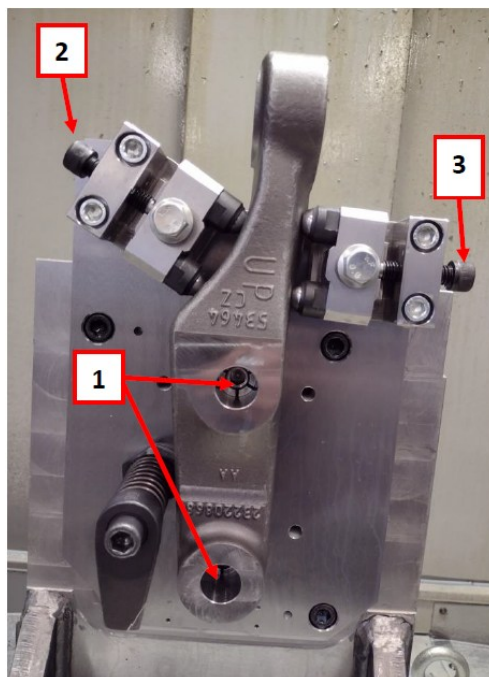
- (2) Nástavec s utahovacím momentem 40 Nm, boční spodní šroub
- (3) Nástavec s utahovacím momentem 70 Nm, horní šroub vlevo
- (4) Nástavec s utahovacím momentem 20 Nm, boční horní šroub

10.2 Druhé upnutí výkovku

Oproti 1. upnutí bude 2. upnutí značně jednodušší. Zde totiž dojde k položení výkovku na rozpínací kleštiny, které jsou na následujícím obrázku označeny číslem 1 a jsou v nich dotaženy šrouby pro pevné ustanovení. Tyto kleštiny jsou spolehlivé ustavení polohy právě díky dírákům obrobeným při 1. upnutí.

Následuje dotažení upínky označené číslem 2. Tato upínka slouží jako doraz na levé straně. Díky kuličce se sraženou ploškou se dokážou dostatečně tvarovat dle povrchu výkovku. Původně zde byl zamýšlen polyamidový doraz s plně tvarovým stykem, ale ten při druhém upnutí není nakonec nutný a je myšlen spíše pro třetí upnutí, kde je již výkovek opatřen povrchovou úpravou, aby zde nedošlo k odření nanesené barvy.

Nakonec dojde k upnutí výkovku upínkou na pravé straně označené číslem 3. Tato upínka má stejný tvarový styk jako druhá upínka. Pro obě upínky je zde uvedena odzkoušená síla utahování.



Obrázek 57 – Druhé upnutí na přípravek

(zdroj: vlastní)

K utažení je použit stejný momentový klíč jako lze vidět na obrázku číslo 56. Ke klíči jsou opět nachystány bity a následuje popis jednotlivých momentů:

(1) Nástavec s utahovacím momentem 40 Nm, kleštiny

(2, 3) Nástavec s utahovacím momentem 25 Nm, šrouby horních podpěr

Co se týče 3. upnutí, tak pro to platí stejné upnutí jako pro 2. upnutí. Je zde stejný postup upínání a také se opakují momentové síly. Pro 3. upnutí je vyměněna dosedací plocha upínky označená na obrázku číslo 57 číslem 2, kde na levé straně má být polyamidový tvarový doraz. Na následujícím obrázku je pak vidět finální obrobený výkovek s povrchovou úpravou.

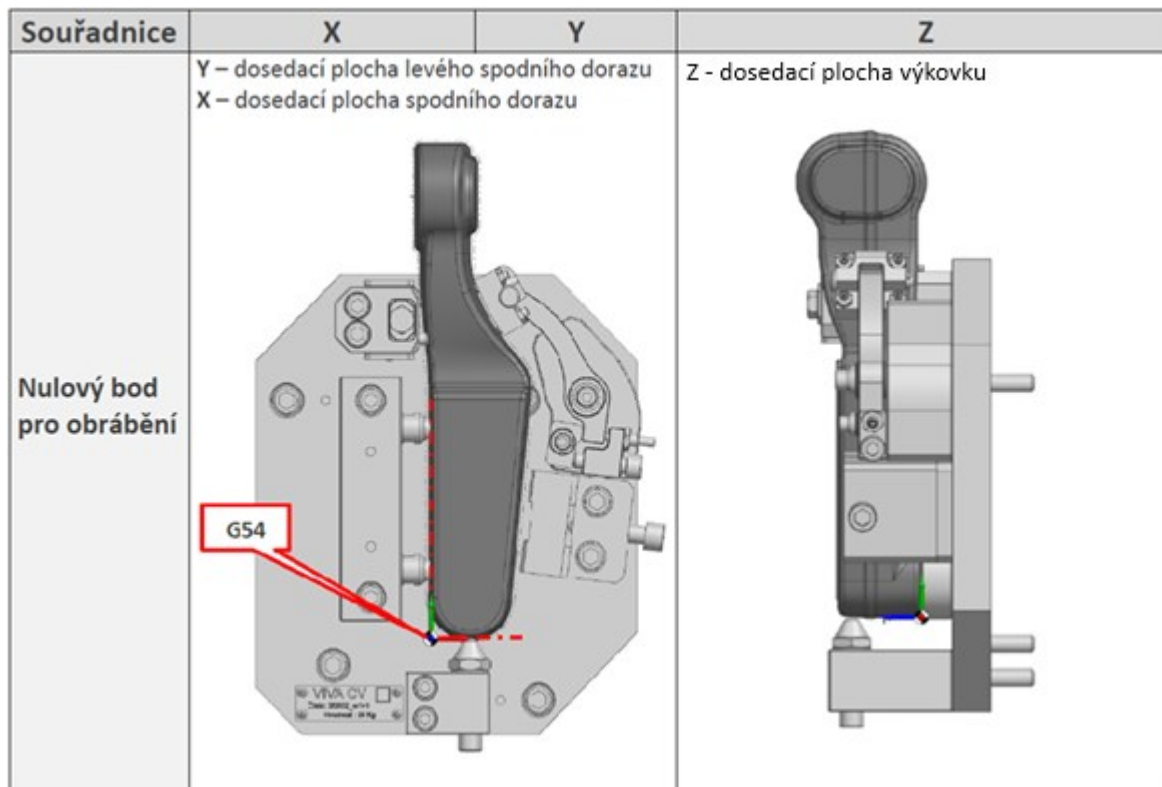


Obrázek 58 – Výkovek 20002 po 3. upnutí

(zdroj: vlastní)

10.3 Umístění nulového bodu

V této podkapitole jsou uvedeny obrázky ze seřizovacího listu s určeným nulovým bodem systému při obráběcím procesu výkovku 20002. Na následujícím obrázku lze vidět zpracování dokumentace pro umístění nulového bodu pro 1. upnutí.

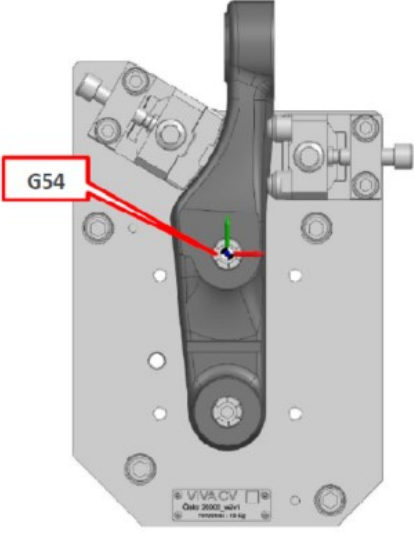
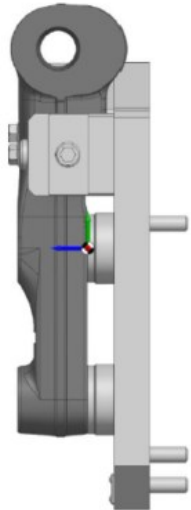


Obrázek 59 – Seřízení polohy přípravku 1. upnutí

(zdroj: vlastní)

- Přípravek je nutno zkontrolovat a sestavit dle výkresové dokumentace
- Při každém seřízení je nutnost kontroly utažení všech šroubů, dále zkontrolovat a vyzkoušet správnou funkčnost dorazových a upínacích prvků přípravku. Případně promazat čelisti a posuvové prvky upínačů
- Zkontrolovat, zda nejsou funkční části přípravku poškozeny, v opačném případě informovat technický a výrobní úsek
- Po dokončení obrábění přípravek očistit od třísek, zbytkových nečistot a emulze tlakovým vzduchem a látkou utřít do sucha

Na následujícím obrázku lze vidět poloha nulového bodu pro obrábění 2. a 3. upnutí.

Souřadnice	X	Y	Z
Nulový bod pro obrábění	X, Y – osa horního otvoru Ø22,5		Z – dosedací plocha kleštiny
			

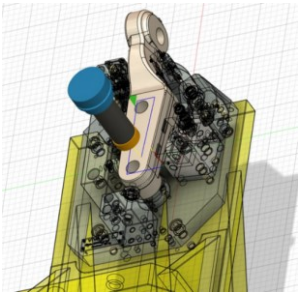
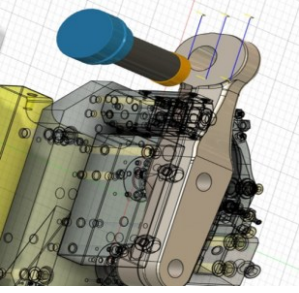
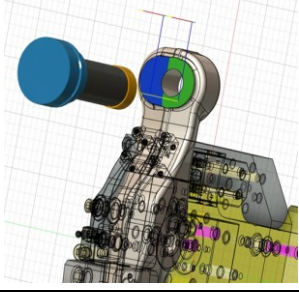
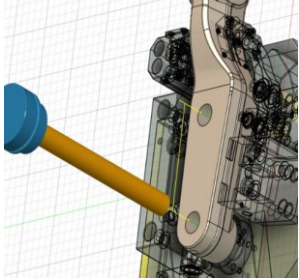
Obrázek 60 – Seřízení polohy přípravku 2. a 3. upnutí

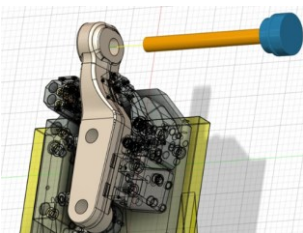
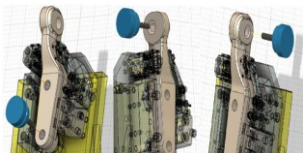
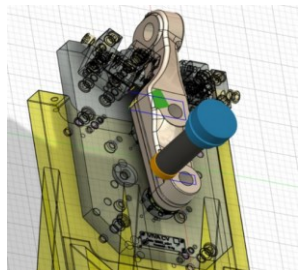
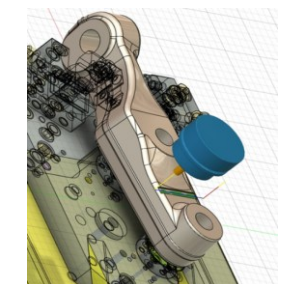
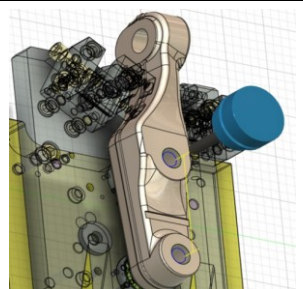
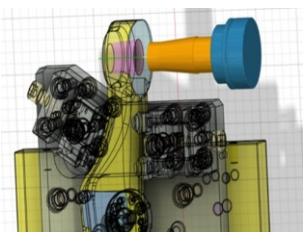
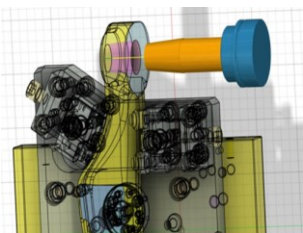
(zdroj: vlastní)

11 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

Tato kapitola bude zaměřena na shrnutí technologického postupu při výrobě zmiňovaného výkovku. Následuje zde tabulka, která zestruční, jak se výkovek bude obrábět. Podrobnější popis jednotlivých operací se nachází v kapitole číslo 12.

Tabulka 4 – Souhrn technologických operací

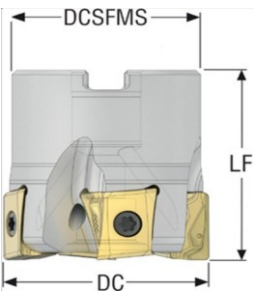
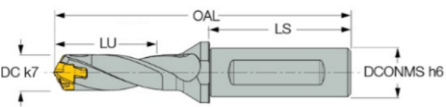
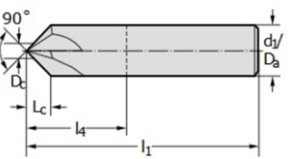
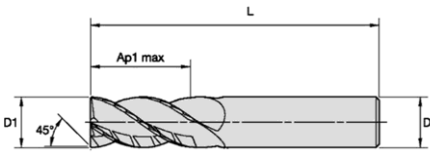
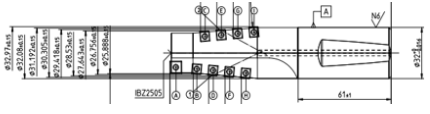
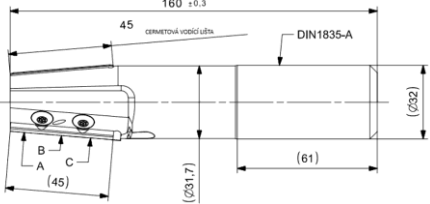
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Nástroj
1		Frézování čelní plochy 1.upnutí	T1
2		Frézování boční plochy levé	T1
3		Frézování boční plochy pravé	T1
4		Vrtání otvorů na čelní straně	T2

5		Vrtání otvoru na boční straně	T2
6		Sražení otvorů	T3
7		Frézování čelní plochy 2.upnutí	T1
8		Odfrézování popisu na stěně výkovku	T4
9		Sražení otvorů na čele 2. upnutí	T3
10		Hrubování kónického otvoru 3.upnutí	T5
11		Dokončení kónického otvoru	T6

(zdroj: vlastní)

V následující tabulce bude zpracován seznam nástrojů, které budou při obrábění použity.

Tabulka 5 – Souhrn použitých nástrojů

Označení nástroje	Obrázek	Název nástroje
T1		Fréza D40R0.8
T2		Vrták D22.5 s vyměnitelnou korunkou
T3		Srážec D12x45
T4		Fréza D8R0.4
T5		Vyvrtávací hlava s VBD
T6		Kuželový výstružník RIRT6

(zdroj: vlastní)

12 OPTIMALIZACE OBRÁBĚNÍ VÝKOVKU 20002

Tato kapitola se bude zabývat technologickým postupem obrábění daného výkovku a zároveň bude porovnávat hodnoty před a po optimalizaci. Programování probíhalo v softwaru FUSION. Sledované hodnoty zde budou primárně rychlosti jednotlivých operací a čas cyklů jednotlivých upnutí. Práce se bude odehrávat na stroji „a61nx“. Jedná se o horizontální obráběcí centrum, které dokáže obrábět ve čtyřech osách. Na následujícím obrázku lze vidět 3D pohled na daný stroj:



Obrázek 61 – Horizontální frézovací centrum a61nx

[33]

Zesílená robustní litinová konstrukce a lineární vedení pak zajistí velmi efektivní využití celého pracovního prostoru stroje. Stroj navíc disponuje mnoha technologiemi, díky kterým snižuje dobu prostoje (doba po kterou se neobrábí – je určena např. k výměně nástroje a údržbě). [33]

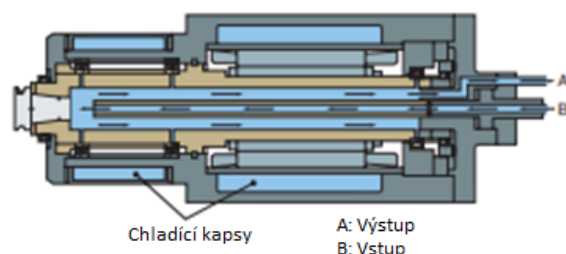
Vybrané technologické parametry stroje lze také vidět na následujícím obrázku.

Tabulka 6 – Základní parametry frézovacího centra

Parametry frézovacího centra		
Osa B	360°	DD NCRT
Otáčky vřetena	14000	1/min
Vřetenový kužel	CAT40	(HSK-A63 opt)
Rychlý posuv	60 000	mm/min
Rychlost posuvu řezání	50 000	mm/min
Max. velikost obrobku	ø800 mm x 1000 mm	
Max. užitečné zatížení	500	Kg
Kapacita ATC	60	nástrojů
Nástroj k nástroji	0,9	sec
Čip k čipu	2,5	sec
Max. průměr nástroje	205	mm/min
Max. hmotnost nástroje	12	Kg

[33]

Systém aktivního řízení setrvačnosti sleduje a řídí motor a také dokáže odhadovat hmotnost přípravku. Díky tomu může tento systém optimalizovat zrychlení a zpomalení os využívaných při otáčení stolu a příjezdu vřetena. Vřeteno využívá maximální potenciál jmenovitého točivého momentu k optimalizaci pohotové reakce start/stop. Tato výhoda se nejvíce projeví například u řezání vnitřních závitů. Standardní snímač zlomeného hrotu pak dokáže rozpoznat a kontrolovat stav vrtáků, závitníků a dalších jednobřitých nástrojů. Vysokorychlostní vřeteno s rychlostí až 14 000 [1/min] má točivý moment 303 [Nm]. Na následujícím obrázku lze vidět řez vysokorychlostním vřetenem a pohled na umístění vnitřního chlazení. [33]



Obrázek 62 – Pohled na řez vysokorychlostního vřetena

[33]

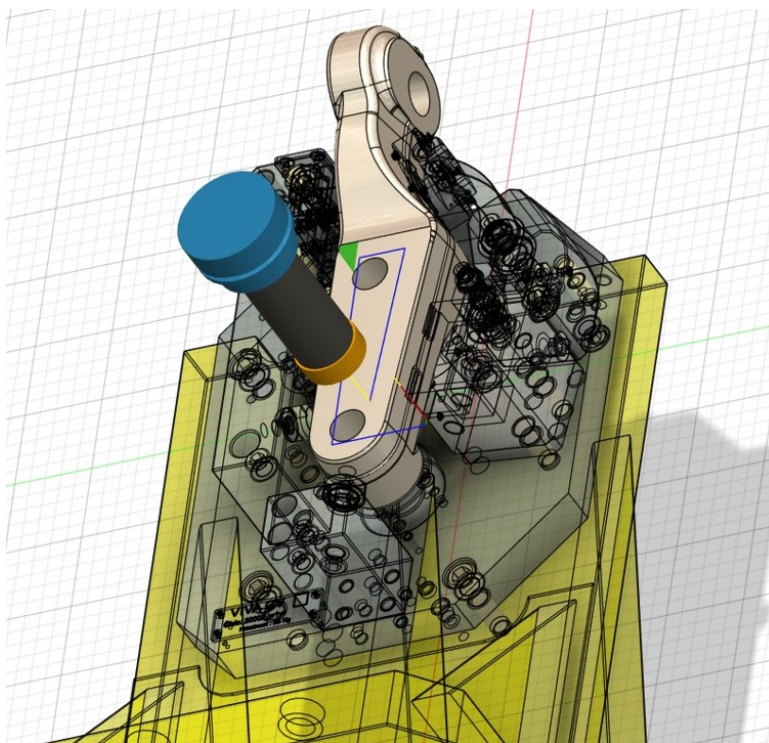
Chladicím médiem použitým při obrábění je vodou mísitelná chladicí kapalina ArrowCOOL SEM-235-H-BF od společnosti CHARVÁT oil. Jedná se o polosyntetickou, minerální řeznou kapalinu běžně používanou v moderních technologiích. Bohužel se mi nepodařilo dohledat dostupné informace o složení tohoto média.

12.1 První upnutí

V této podkapitole budou popsány jednotlivé operace náležící pro 1. upnutí. Na následujících obrázcích lze vidět dráhy nástrojů při obrábění výkovku.

12.1.1 Operace číslo 1 – Frézování čelní plochy 1.upnutí

Operace číslo 1 bude frézování čelní plochy. Tato plocha bude následně sloužit jako dosedací plocha pro následující operace jako např. vrtání otvorů, které budou přípravou pro 2. upnutí.



Obrázek 63 – OP_1_Frézování čelní plochy 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

Čelní plocha se zde obrobí na jeden průjezd nástroje. V následující tabulce jsou základní řezné podmínky pro první operaci:

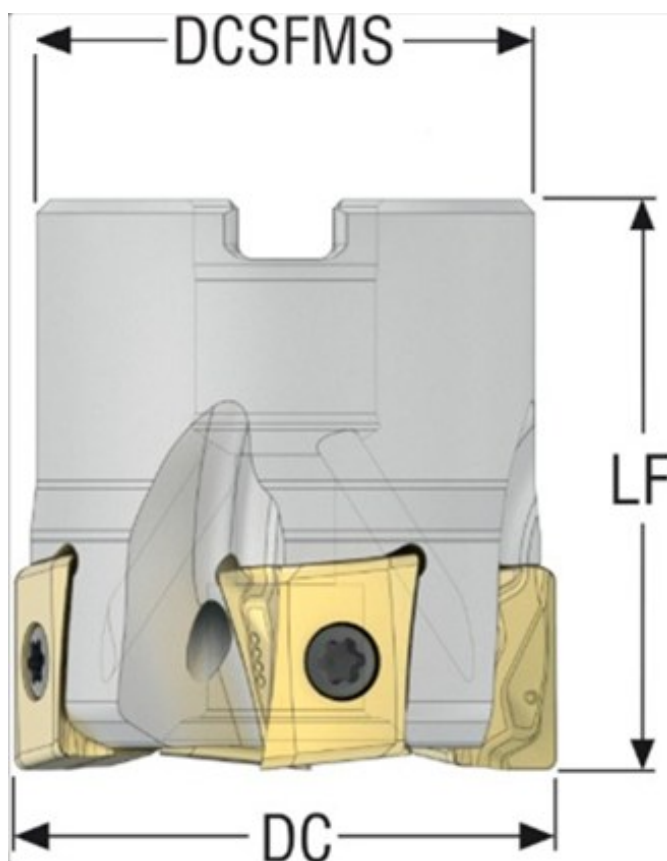
Tabulka 7 – Řezné podmínky OP_1

Operace číslo 1					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	120	m/min	Řezná rychlost	300	m/min
Otáčky nástroje	955	1/min	Otáčky nástroje	2387	1/min
Posuv na zub	0,1	[-]	Posuv na zub	0,12	[-]
Posuv	500	mm/min	Posuv	1430	mm/min

(zdroj: vlastní)

V tabulce lze vidět značný nárůst řezných podmínek. Bohužel se nepodařilo v programu FUSION zjistit jednotlivé časy pro každou operaci, ale pouze pro celkové upnutí, proto bude tento údaj až na konci této podkapitoly.

Na operaci číslo 1 byl použit nástroj T1, tím je fréza s označením D40R0.8



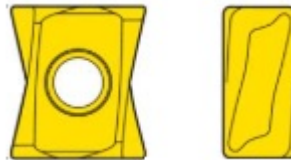
Obrázek 64 – Fréza D40R0.8

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 40 mm
- Průměr těla nástroje DCSFMS: 35 mm
- Celková délka nástroje LF: 40 mm
- Počet břitů (destiček): 5
- Výrobce (dodavatel): SECO
- Životnost: 150 ks (na 1 destičku)

Pro nástroj T1 byly použity obdélníkové břitové destičky DIN 4000-76:

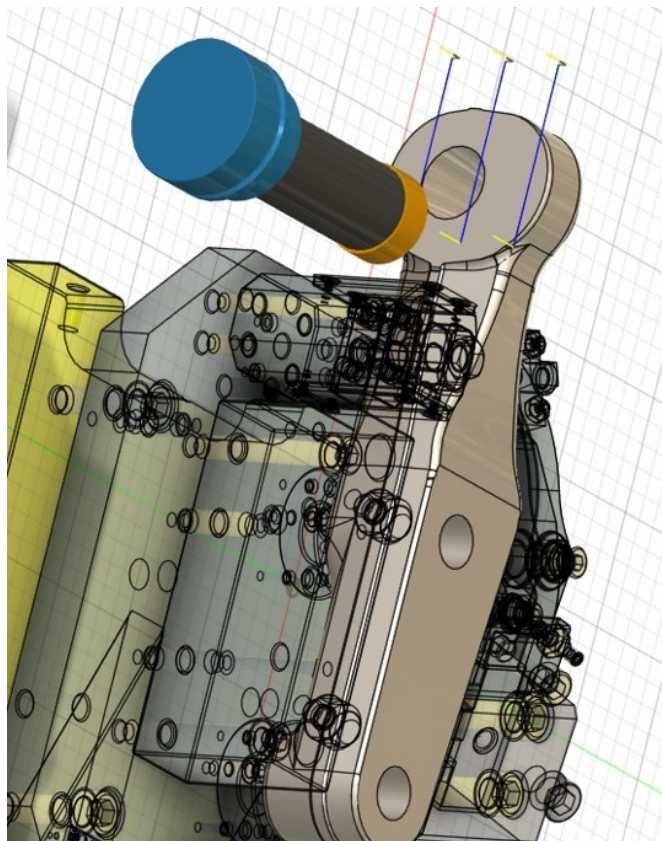


Obrázek 65 – Břitová destička DIN 4000-76

(zdroj: vlastní)

12.1.2 Operace číslo 2 – Frézování boční plochy levé

Operace číslo 2 je dokončení boční plochy z levé strany v místě budoucího kónického otvoru.



Obrázek 66 – OP_2_Frézování boční plochy levé 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

V následující tabulce jsou parametry pro druhou operaci:

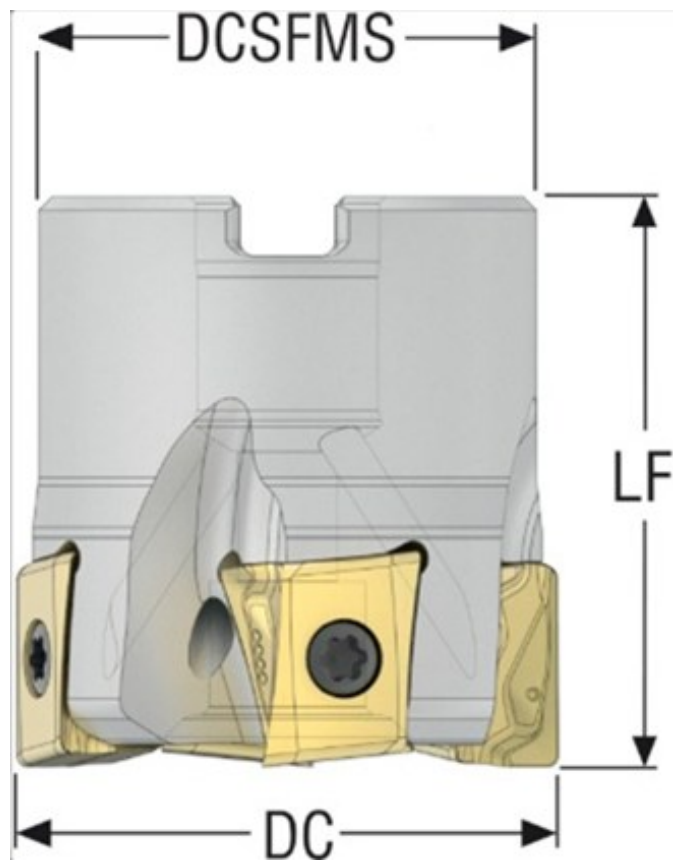
Tabulka 8 – Řezné podmínky OP_2

Operace číslo 2					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	120	m/min	Řezná rychlost	300	m/min
Otáčky nástroje	955	1/min	Otáčky nástroje	2387	1/min
Posuv na zub	0,1	[-]	Posuv na zub	0,12	[-]
Posuv	500	mm/min	Posuv	1430	mm/min

(zdroj: vlastní)

Tabulka má stejné parametry jako předchozí operace, protože se bude plocha obrábět stejným nástrojem. To platí a bude platit pro všechny následující operace. Řezné podmínky jsou tak vztaženy k použitému nástroji a operačně jsou tak stejné.

Na operaci číslo 2 byl použit nástroj T1, tím je fréza s označením D40R0.8



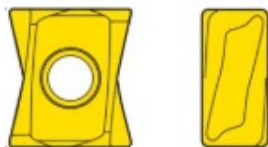
Obrázek 67 – Fréza D40R0.8

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 40 mm
- Průměr těla nástroje DCSFMS: 35 mm
- Celková délka nástroje LF: 40 mm
- Počet břitů (destiček): 5
- Výrobce (dodavatel): SECO
- Životnost: 150 ks (na 1 destičku)

Pro nástroj T1 byly použity obdélníkové břitové destičky DIN 4000-76:

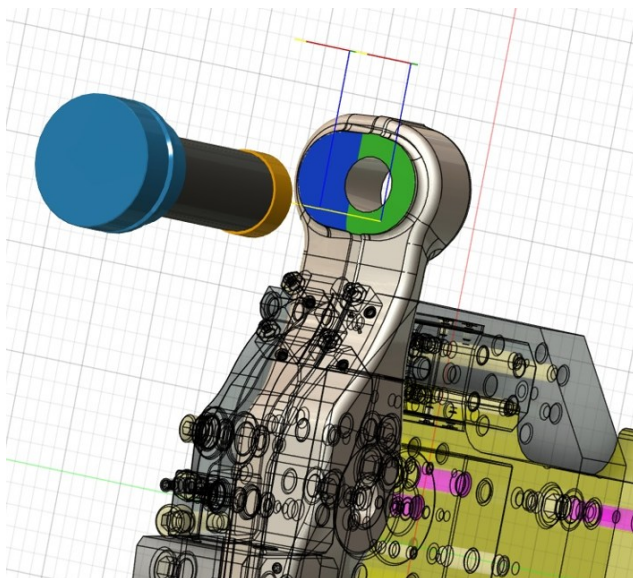


Obrázek 68 - Břitová destička DIN 4000-76

(zdroj: vlastní)

12.1.3 Operace číslo 3 – Frézování boční plochy pravé

V operaci číslo 3 se bude frézovat pravá strana plochy v prostoru budoucího kónického otvoru.



Obrázek 69 - OP_3_Frézování boční plochy pravé 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

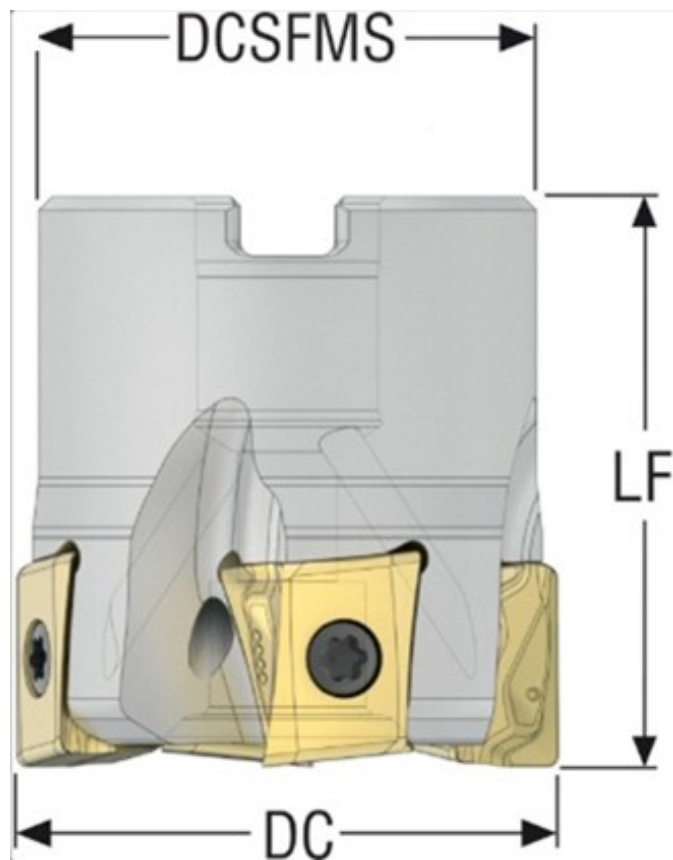
V následující tabulce jsou parametry pro třetí operaci:

Tabulka 9 - Řezné podmínky OP_3

Operace číslo 3					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	120	m/min	Řezná rychlost	300	m/min
Otáčky nástroje	955	1/min	Otáčky nástroje	2387	1/min
Posuv na zub	0,1	[-]	Posuv na zub	0,12	[-]
Posuv	500	mm/min	Posuv	1430	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 3 byl použit nástroj T1, tím je fréza s označením D40R0.8



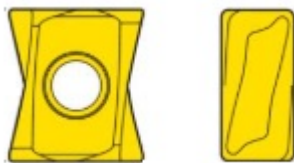
Obrázek 70 - Fréza D40R0.8

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 40 mm
- Průměr těla nástroje DCSFMS: 35 mm
- Celková délka nástroje LF: 40 mm
- Počet břitů (destiček): 5
- Výrobce (dodavatel): SECO
- Životnost: 150 ks (na 1 destičku)

Pro nástroj T1 byly použity obdélníkové břitové destičky DIN 4000-76:

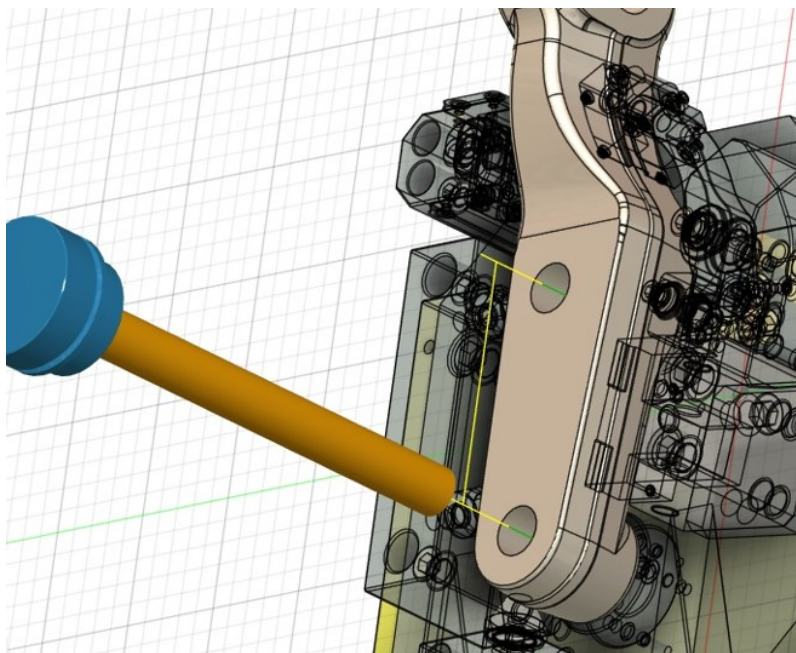


Obrázek 71 - Břitová destička DIN 4000-76

(zdroj: vlastní)

12.1.4 Operace číslo 4 – Vrtání otvorů na čelní straně

V operaci číslo 4 dojde k vyvrtání dvou děr na čelní straně, díry slouží pro následné spojení součástí, budou taky vhodné při upínání obrobku u 2. upnutí.



Obrázek 72 - OP_4_Vrtání čelních otvorů 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

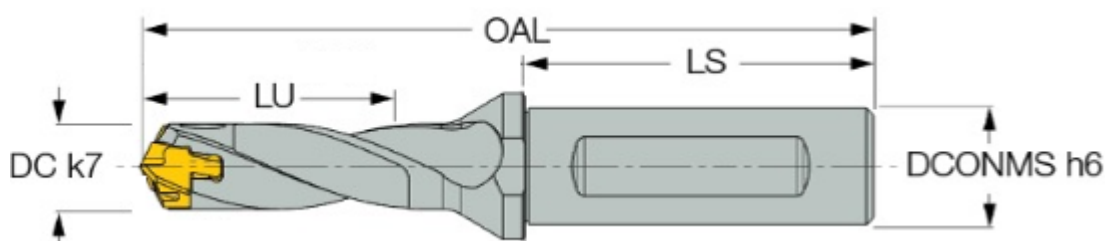
V následující tabulce jsou parametry pro čtvrtou operaci:

Tabulka 10 - Řezné podmínky OP_4

Operace číslo 4					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	90	m/min	Řezná rychlost	120	m/min
Otáčky nástroje	1275	1/min	Otáčky nástroje	1697	1/min
Posuv na zub	0,18	[-]	Posuv na zub	0,25	[-]
Posuv	230	mm/min	Posuv	424	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 4 byl použit nástroj T2, tím je vrták D22.5



Obrázek 73 – Vrták D22.5 s vyměnitelnou korunkou

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 22.5 mm
- Průměr stopky DCONMS: 25 mm
- Délka řezné části LU: 69.32 mm
- Délka stopky LS: 56 mm
- Celková délka OAL: 156.76 mm
- Počet břitů: 2
- Výrobce (dodavatel): ISCAR
- Životnost: 300 ks

Pro nástroj T2 byla použita vyměnitelná korunka ICP 225:

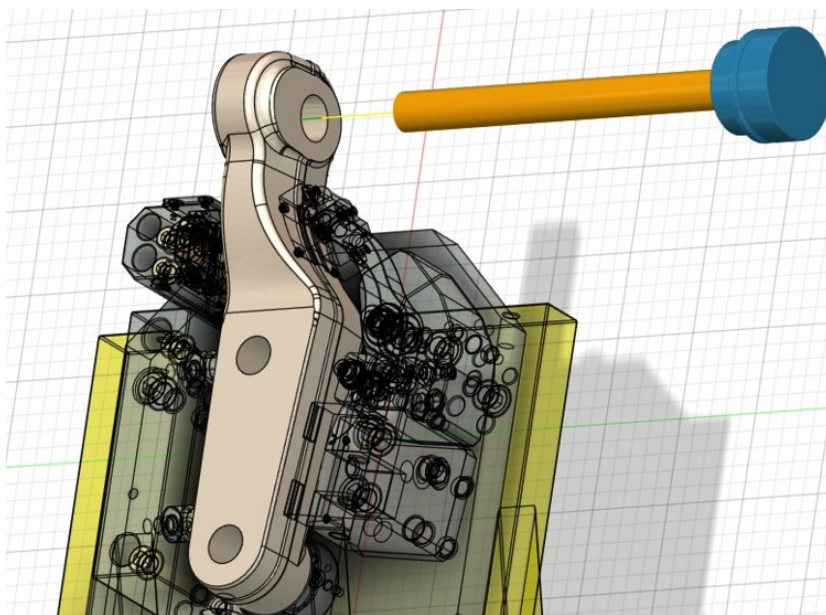


Obrázek 74 – Vyměnitelná korunka ICP 225

(zdroj: vlastní)

12.1.5 Operace číslo 5 – Vrtání otvoru na boční straně

V operaci číslo 5 dojde k předpřipravení otvoru s průměrem 22.5 [mm] pro budoucí operaci ve 2. upnutí, kde dojde k vytvoření kónického profilu.



Obrázek 75 - OP_5_Vrtání bočního otvoru 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

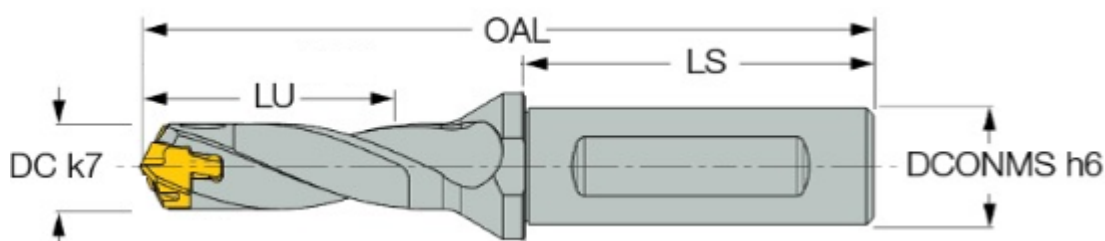
V následující tabulce jsou parametry pro pátou operaci:

Tabulka 11 - Řezné podmínky OP_5

Operace číslo 5					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	90	m/min	Řezná rychlost	120	m/min
Otáčky nástroje	1275	1/min	Otáčky nástroje	1697	1/min
Posuv na zub	0,18	[-]	Posuv na zub	0,25	[-]
Posuv	230	mm/min	Posuv	424	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 5 byl použit nástroj T2, tím je vrták D22.5



Obrázek 76 - Vrták D22.5 s vyměnitelnou korunkou

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 22.5 mm
- Průměr stopky DCONMS: 25 mm
- Délka řezné části LU: 69.32 mm
- Délka stopky LS: 56 mm
- Celková délka OAL: 156.76 mm
- Počet břitů: 2
- Výrobce (dodavatel): ISCAR
- Životnost: 300 ks

Pro nástroj T2 byla použita vyměnitelná korunka ICP 225:

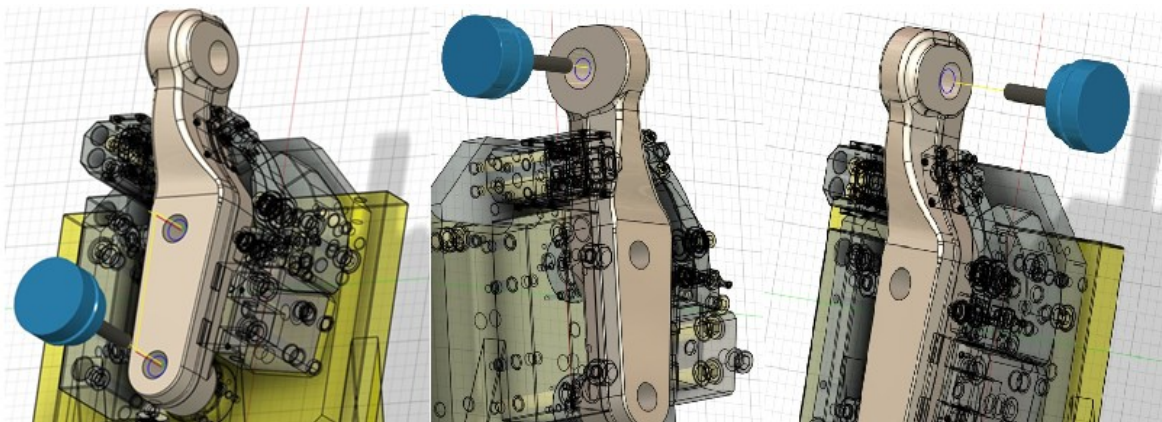


Obrázek 77 - Vyměnitelná korunka ICP 225

(zdroj: vlastní)

12.1.6 Operace číslo 6 – Sražení otvorů

V operaci číslo 6 dojde k finálnímu sražení všech otvorů. Tato operace je poslední u 1. upnutí.



Obrázek 78 - OP_6_Sražení všech otvorů 1.upnutí

(zdroj: vlastní)

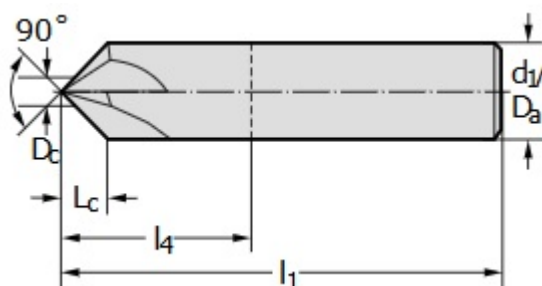
V následující tabulce jsou parametry pro šestou operaci:

Tabulka 12 - Řezné podmínky OP_6

Operace číslo 6					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	170	m/min	Řezná rychlost	250	m/min
Otáčky nástroje	4500	1/min	Otáčky nástroje	6630	1/min
Posuv na zub	0,035	[-]	Posuv na zub	0,05	[-]
Posuv	950	mm/min	Posuv	1990	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 6 byl použit nástroj T3, tím je srážecí D12x45



Obrázek 79 – Srážecí D12x45

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

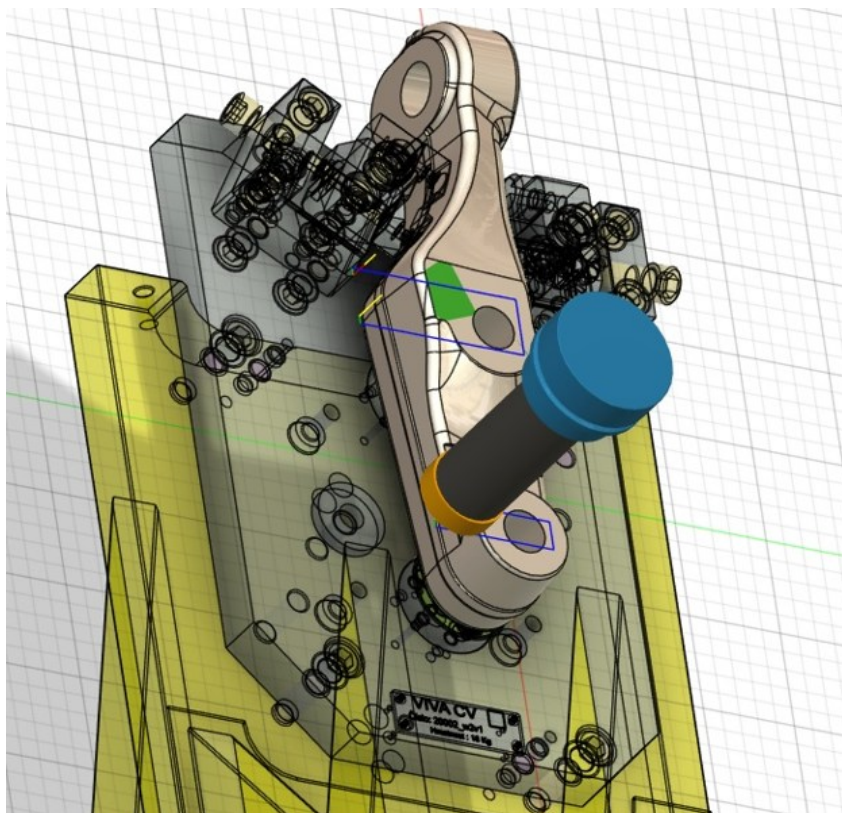
- Průměr řezné části nástroje D_c : 3 mm
- Délka břitu L_c : 4,5 mm
- Celková délka l_1 : 83 mm
- Maximální vyložení l_4 : 37 mm
- Průměr stopky d_1 : 12 mm
- Počet zubů: 6
- Výrobce (dodavatel): WALTER
- Životnost: 800 ks

12.2 Druhé upnutí

Tato podkapitola bude obsahovat technologický postup pro 2. upnutí. Tím se myslí přesunutí výkovku na nový přípravek, který má od toho prvního rozdílné upínky.

12.2.1 Operace číslo 7 – Frézování čelní plochy 2.upnutí

Při této operaci dojde k zarovnání čela z druhé strany, velkou výhodou je zde možnost upnutí výkovku do kleštin skrze díry, které byly obrobeny v 1.upnutí.



Obrázek 80 - OP_7_Frézování čelní plochy 2.upnutí

(zdroj: vlastní)

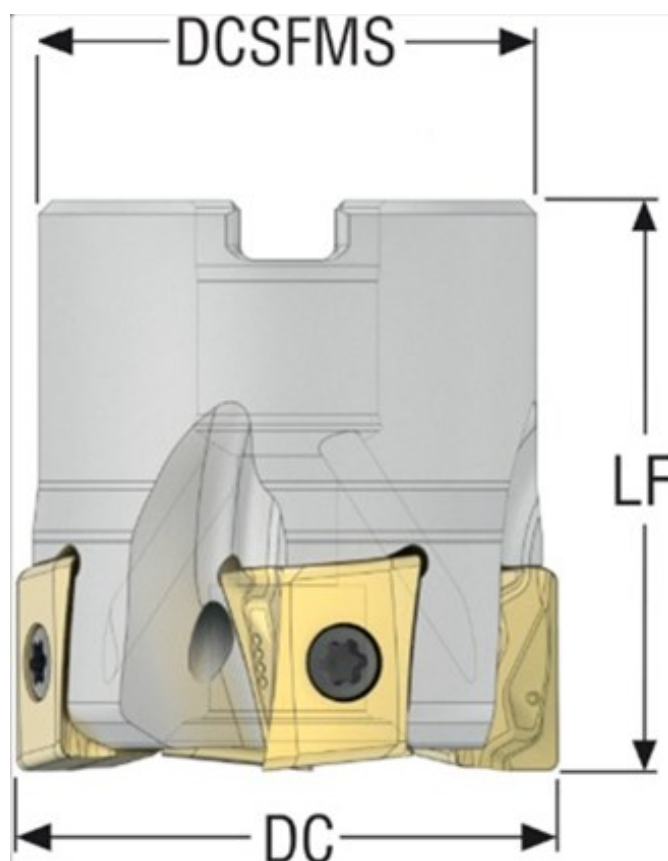
V následující tabulce jsou parametry pro sedmou operaci:

Tabulka 13 - Řezné podmínky OP_7

Operace číslo 1					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	120	m/min	Řezná rychlost	300	m/min
Otáčky nástroje	955	1/min	Otáčky nástroje	2387	1/min
Posuv na zub	0,1	[-]	Posuv na zub	0,12	[-]
Posuv	500	mm/min	Posuv	1430	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 7 byl použit nástroj T1, tím je fréza s označením D40R0.8



Obrázek 81 - Fréza D40R0.8

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje DC: 40 mm
- Průměr těla nástroje DCSFMS: 35 mm
- Celková délka nástroje LF: 40 mm
- Počet břitů (destiček): 5
- Výrobce (dodavatel): SECO
- Životnost: 150 ks (na 1 destičku)

Pro nástroj T1 byly použity obdélníkové břitové destičky DIN 4000-76:



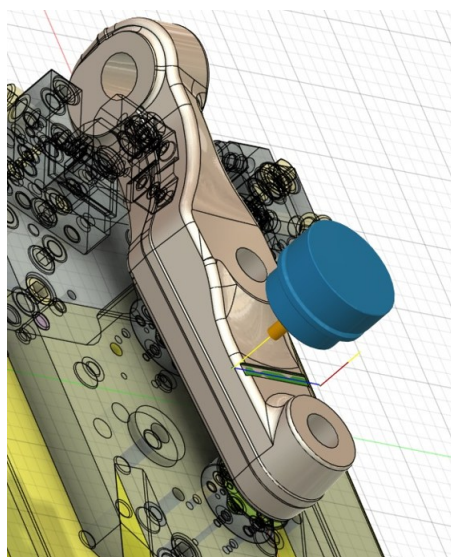
Obrázek 82 - Břitová destička DIN 4000-76

(zdroj: vlastní)

12.2.2 Operace číslo 8 – Odfrézování popisu na stěně výkovku

V operaci číslo 8 bude ofrézován popisové číslo udávající označení výkovku při kování.

Tento popis je důležitý pouze při kování.



Obrázek 83 - OP_8_Odfrézování popisu 2.upnutí

(zdroj: vlastní)

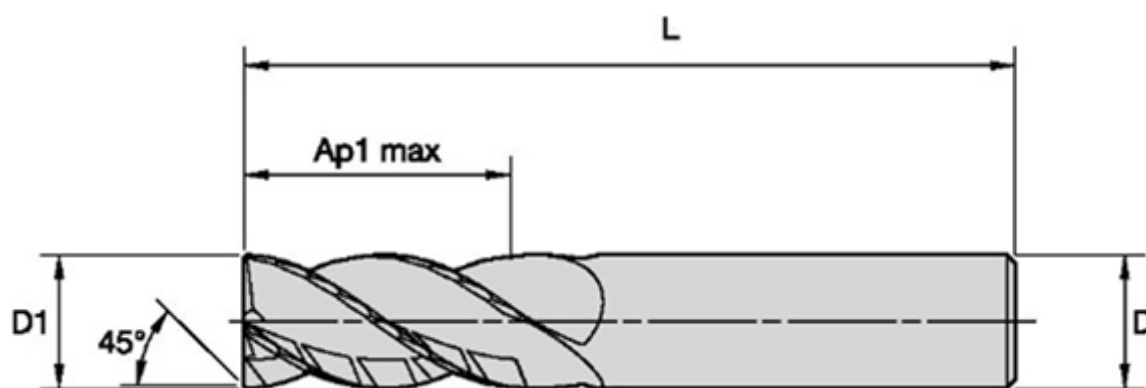
V následující tabulce jsou parametry pro osmou operaci:

Tabulka 14 - Řezné podmínky OP_8

Operace číslo					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	100	m/min	Řezná rychlost	160	m/min
Otáčky nástroje	4000	1/min	Otáčky nástroje	6366	1/min
Posuv na zub	0,015	[-]	Posuv na zub	0,04	[-]
Posuv	250	mm/min	Posuv	764	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 8 byl použit nástroj T4, tím je fréza s označením D8R0.4



Obrázek 84 – Fréza D8R0.4

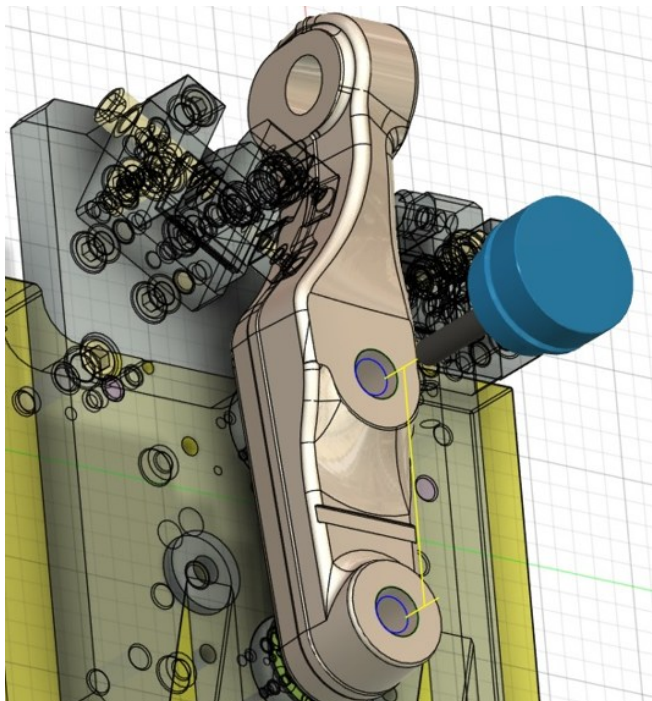
(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr řezné části nástroje D1: 8 mm
- Průměr těla nástroje D: 8 mm
- Maximální řezná hloubka Ap1 max: 16 mm
- Celková délka nástroje L: 63 mm
- Počet břitů (destiček): 4
- Výrobce (dodavatel): KENNAMETAL
- Životnost: 600 ks

12.2.3 Operace číslo 9 – Sražení otvorů na čele 2. upnutí

V této operaci dojde ke sražení otvorů obroběných z předchozího upnutí.



Obrázek 85 - OP_9_Sražení otvorů 2.upnutí

(zdroj: vlastní)

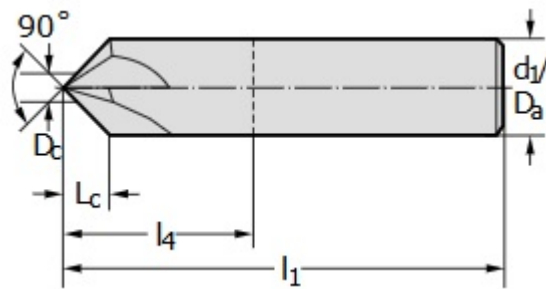
V následující tabulce jsou parametry pro devátou operaci:

Tabulka 15 - Řezné podmínky OP_9

Operace číslo					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	170	m/min	Řezná rychlost	250	m/min
Otáčky nástroje	4500	1/min	Otáčky nástroje	6630	1/min
Posuv na zub	0,035	[-]	Posuv na zub	0,05	[-]
Posuv	950	mm/min	Posuv	1990	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 9 byl použit nástroj T3, tím je srážec D12x45



Obrázek 86 - Srážec D12x45

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

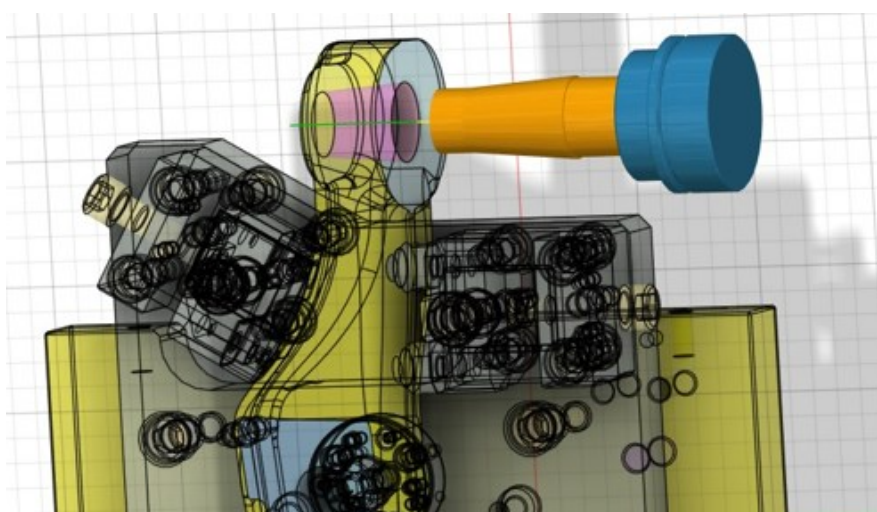
- Průměr řezné části nástroje D_c : 3 mm
- Délka břitu L_c : 4,5 mm
- Celková délka l_1 : 83 mm
- Maximální vyložení l_4 : 37 mm
- Průměr stopky d_1 : 12 mm
- Počet zubů: 6
- Výrobce (dodavatel): WALTER
- Životnost: 800 ks

12.3 Třetí upnutí

Tato podkapitola se zaměří na poslední 3. upnutí. To bude provedeno na stejném přípravku jako bylo 2. upnutí, myšlenou operací je zde obrobení kónického otvoru ve výkovku, který byl po 2. upnutí nabarven patřičnou barvou. Barvení se provádí po 2. upnutí z důvodu, aby byl ve finále kónický otvor přesný a hladký.

12.3.1 Operace číslo 10 – Hrubování kónického otvoru 3.upnutí

V této operaci dojde ke hrubování otvoru o $\varnothing 22,5$ [mm] vyvrtávací hlavou s VBD.



Obrázek 87 – OP_10_Hrubování kónického otvoru 3.upnutí

(zdroj: vlastní)

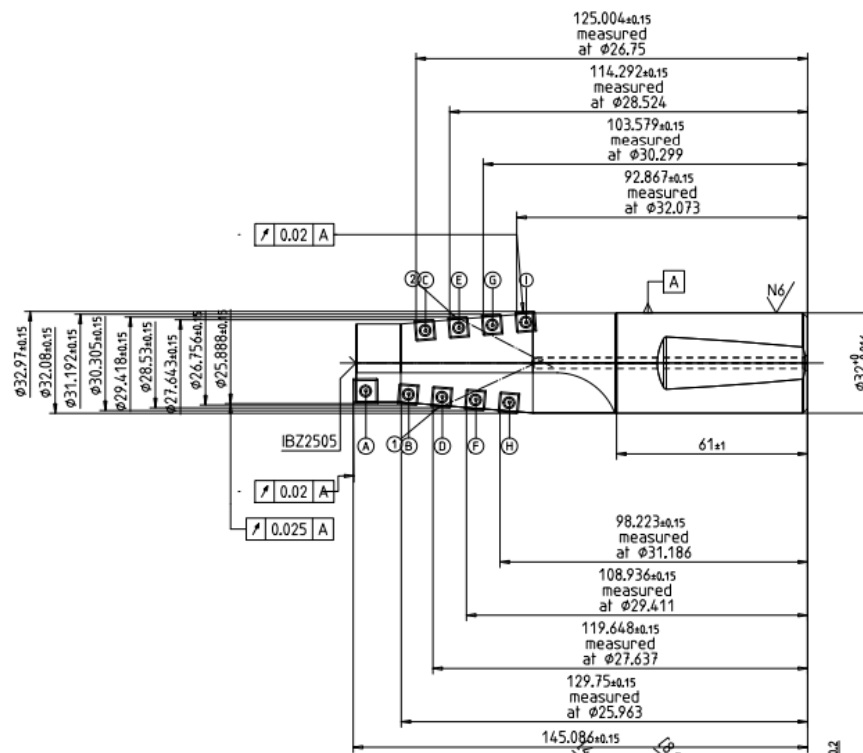
V následující tabulce jsou parametry pro desátou operaci:

Tabulka 16 - Řezné podmínky OP_10

Operace číslo					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	75	m/min	Řezná rychlost	80	m/min
Otáčky nástroje	750	1/min	Otáčky nástroje	800	1/min
Posuv na zub	0,13	[-]	Posuv na zub	0,15	[-]
Posuv	100	mm/min	Posuv	120	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 10 byl použit nástroj T5, tím je vyvrtávací hlava s VBD (upravený zahlubovací nástroj).



Obrázek 88 – Vyvrtávací hlava s VBD

(zdroj: vlastní)

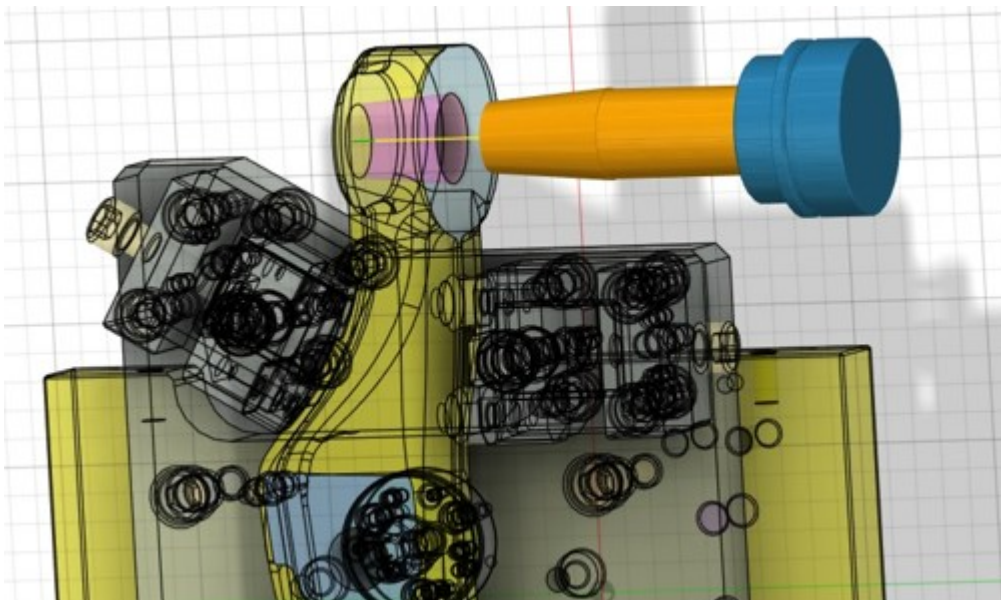
Parametry nástroje:

- Průměr nástroje: 25,5 mm
- Počet břitů: 2+8
- Rádus břitu R0,4
- Průměr stopky: 32 mm
- Délka stopky: 61 mm
- Výrobce (dodavatel): KENNAMETAL
- Životnost: 80 ks

Údaje o destičkách zde nebudou uvedeny, jelikož se nástroj již nevyrábí. Byly zjištěny alespoň parametry nástroje. Parametry destiček nejsou nikde uvedeny.

12.3.2 Operace číslo 11 – Dokončení kónického otvoru

Dokončení kónického otvoru se bude provádět kuželovým výstružníkem RIRT6



Obrázek 89 – OP_11_Dokončení kónického otvoru 3.upnutí

(zdroj: vlastní)

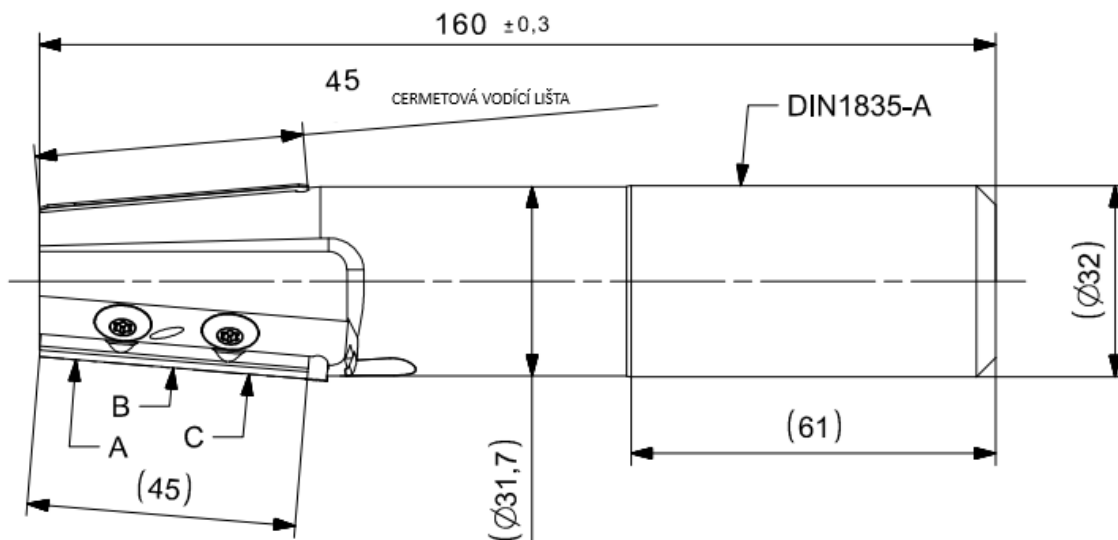
V následující tabulce jsou parametry pro jedenáctou operaci:

Tabulka 17 - Řezné podmínky OP_11

Operace číslo					
Před optimalizací			Po optimalizaci		
Řezná rychlost	50	m/min	Řezná rychlost	55	m/min
Otáčky nástroje	500	1/min	Otáčky nástroje	550	1/min
Posuv na zub	0,05	[-]	Posuv na zub	0,05	[-]
Posuv	45	mm/min	Posuv	50	mm/min

(zdroj: vlastní)

Na operaci číslo 11 byl použit nástroj T6, tím je kuželový výstružník RIRT6



Obrázek 90 – Kuželový výstružník RIRT6

(zdroj: vlastní)

Parametry nástroje:

- Průměr nástroje: 26,202 mm
- Počet břitů: 1
- Rádus břitu: R0,2
- Průměr stopky: 32 mm
- Délka stopky: 61 mm
- Výrobce (dodavatel): KENNAMETAL
- Životnost: 500 ks

12.4 Porovnání časů před a po optimalizaci

Dle zadání bylo požadavkem zvýšit produktivitu alespoň o 20 [%] z původního provedení. V následující tabulce je stručný souhrn všech návrhů, které jsou důležité pro porovnání samotné optimalizace. Zde budou uvedeny časy jednotlivých upnutí, protože právě ty jsou důležité a přehledněji se budou porovnávat mezi sebou.

Tabulka 18 - Porovnání časů jednotlivých upnutí

Porovnání časového vytížení stroje při obrábění 20002					
Simulace před optimalizací			Simulace po optimalizaci		
První upnutí	205	s/ks	První upnutí	157	s/ks
Druhé upnutí	72	s/ks	Druhé upnutí	59	s/ks
Třetí upnutí	50	s/ks	Třetí upnutí	45	s/ks
Celkový čas	327	s/ks	Celkový čas	261	s/ks
Odkoušení před optimalizací			Odkoušení po optimalizaci		
První upnutí	238	s/ks	První upnutí	123	s/ks
Druhé upnutí	85	s/ks	Druhé upnutí	65	s/ks
Třetí upnutí	55	s/ks	Třetí upnutí	47	s/ks
Celkový čas	378	s/ks	Celkový čas	235	s/ks

(zdroj: vlastní)

Ke každému upnutí při simulaci je dodatečně připočítán určitý čas, který je vztažen k výměně nástrojů a k času rychloposuvů. Výměna jednoho nástroje s dalšími pojedy trvá přibližně 10 [s].

Při výpočtu rozdílu simulací bylo zjištěno maximální snížení výrobního času při daných řezných parametrech. Při dalším zvýšení těchto parametrů by mohlo dojít k výraznému zvýšení opotřebení jednotlivých nástrojů a ke vzniku nerovností povrchu a tím k nedodržení požadovaných tolerancí.

$$t_{op} = \frac{t_{CS\text{před}} - t_{CS\text{po}}}{t_{CS\text{před}}} \cdot 100 \quad (5)$$

$$t_{op} = \frac{327 - 261}{327} \cdot 100$$

$$t_{op} = 20,18 \text{ [%]}$$

Kde:

- t_{Sop} – Procento rozdílu simulované optimalizace [%]

- $t_{CS_{před}}$ – Celkový čas výroby v simulaci 1 kusu před optimalizací [s]
- $t_{CS_{po}}$ – Celkový čas výroby v simulaci 1 kusu po optimalizaci [s]

Z tohoto výpočtu se zdá zjistit, že díky optimalizaci došlo při simulaci ke snížení cyklového času obrábění o přibližně 20 [%] což je minimální vize této optimalizace. Počítám ale stále s dalším zkrácení časů po optimalizaci a po reálném odzkoušení výroby na stroji.

Při porovnání reálných hodnoty je k povšimnutí, že čas před optimalizací je dokonce delší, než byl v simulaci, a to bylo zapříčiněno problémy, které při obrábění vznikaly jako byly například vibrace. Proto se musel proces zpomalit.

Pokud se ale podíváme na optimalizovaný program po odzkoušení, tak si můžeme všimnout dalšího snížení času u 1. upnutí. Díky dostatečné upínací síle se při odzkoušení podařilo dále zvýšit řezné parametry (zejména změnou hloubky řezu a tím ke snížení počtu přejezdů povrchu nástrojem) a tím docílit ještě lepšího výsledku. Potom co se výroba odzkoušela přímo na stroji se samozřejmě ještě program dále upravoval. Následující výpočet reprezentuje procentuální rozdíl jednotlivých metod po odzkoušení přímo na stroji:

$$t_{Op} = \frac{t_{CO_{před}} - t_{CO_{po}}}{t_{CO_{před}}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$t_{Op} = \frac{378 - 235}{378} \cdot 100$$

$$t_{Op} = 37,83 \text{ [%]}$$

Kde:

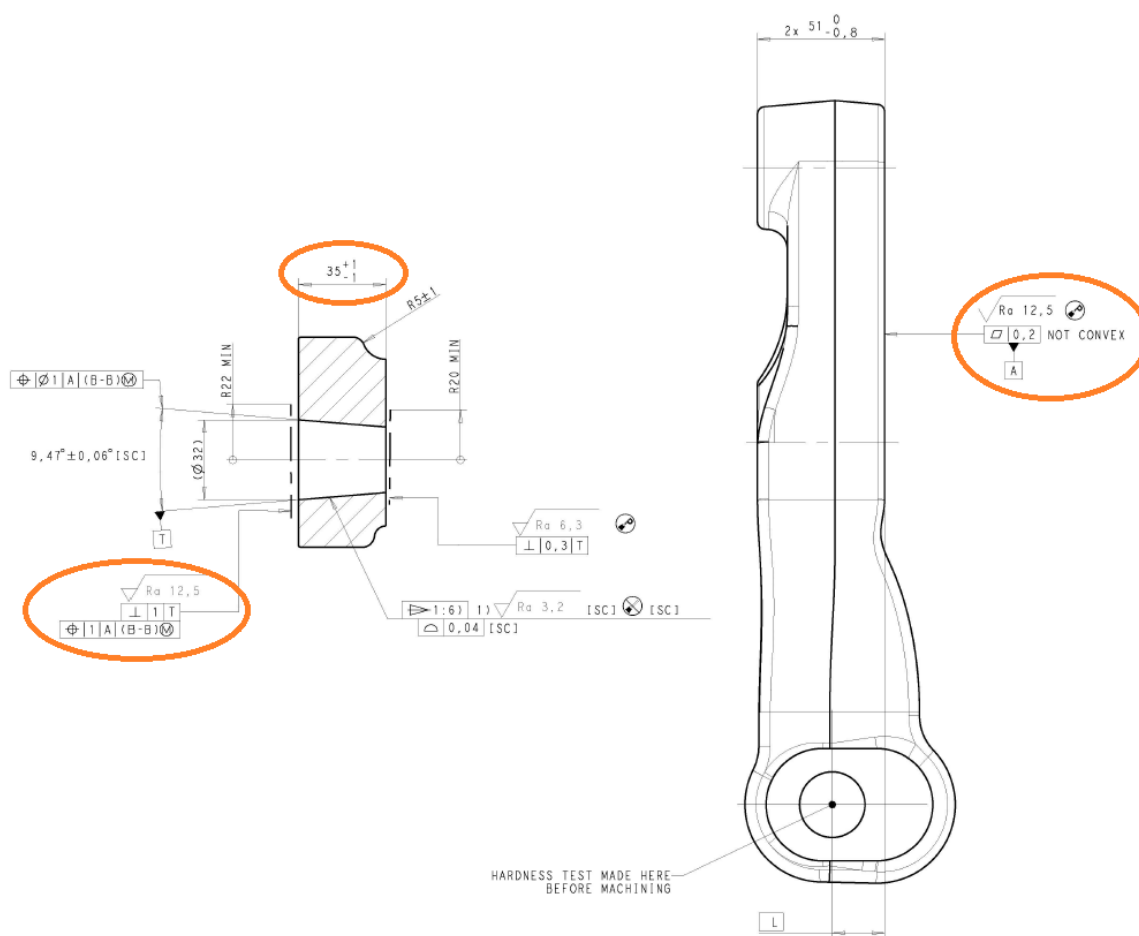
- t_{Op} – Procento rozdílu odzkoušené optimalizace [%]
- $t_{CO_{před}}$ – Celkový čas výroby po odzkoušení 1 kusu před optimalizací [s]
- $t_{CO_{po}}$ – Celkový čas výroby po odzkoušení 1 kusu po optimalizaci [s]

Z tohoto výpočtu vyplývá, že díky optimalizaci došlo ke snížení cyklového času obrábění o přibližně 38 [%] což je velmi dobrý výsledek.

13 OVĚŘENÍ PRŮHYBŮ PO OBROBENÍ V OBLASTI KRČKU

Zde je uvedena tabulka doplněná o obrázky grafů, kde jednotlivé grafy znázorňují rozptyl hodnot naměřených na dávce 100 ks. Toto měření je důležitou částí, protože z něho dokážeme určit kvalitu upnutí výkovku. Dokážeme určit, jestli při obrábění nevznikají vibrace na takové škále, že by došlo k nedodržení tolerancí zadaných zákazníkem.

Na následujícím obrázku lze vidět výkres výkovku s označenými velikostmi, které se budou měřit.



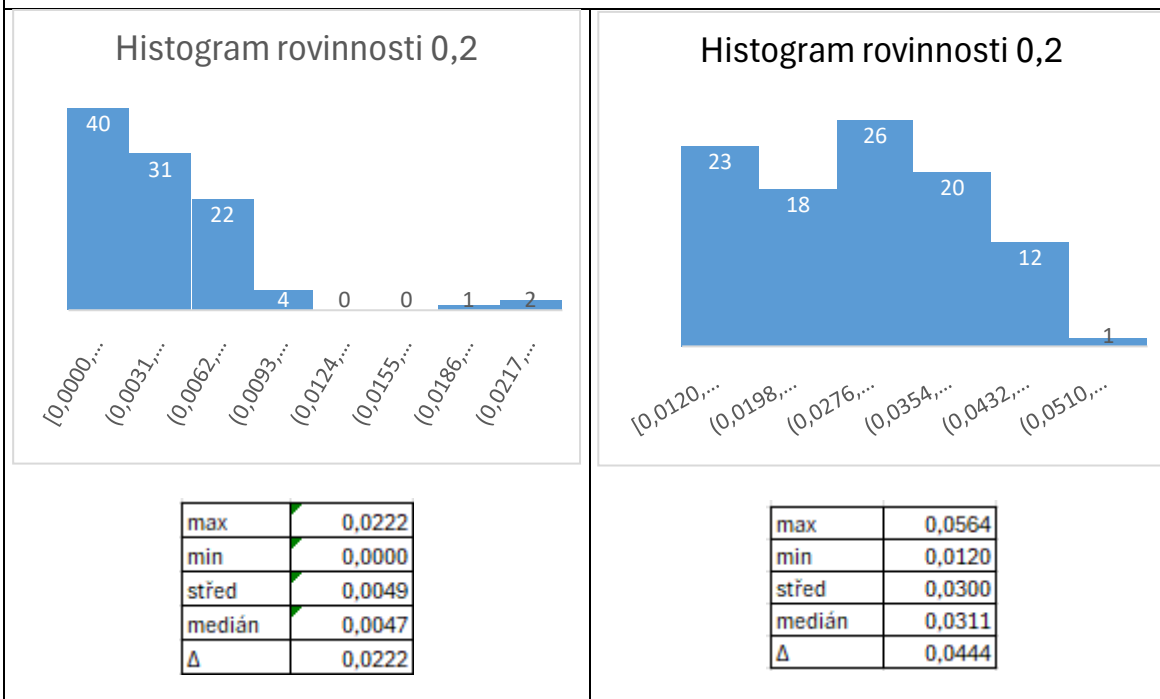
Obrázek 91 - Označení měřených tolerancí na měřícím přístroji DURAMAX

(zdroj: vlastní)

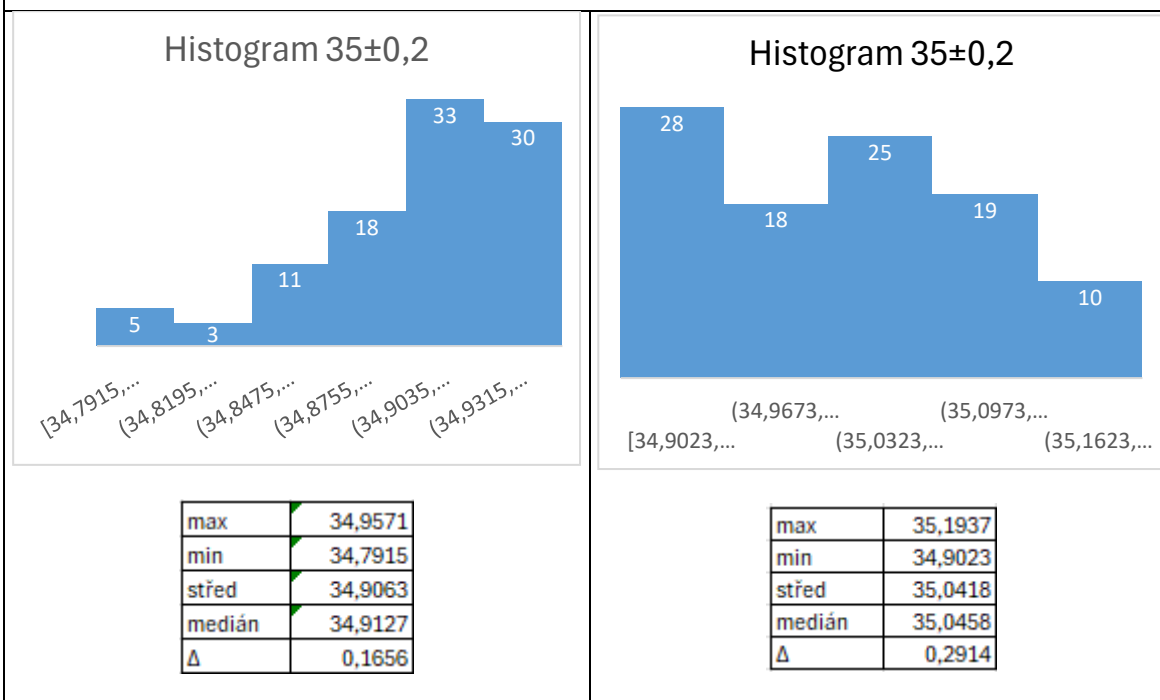
V následující tabulce jdou vidět grafy s naměřenými hodnotami. Bude se jednat o tři měřené hodnoty – tyto hodnoty jsou navíc oproti zákaznickému výkresu technologickým úsekem zpřísněny:

Tabulka 19 - Tabulka průhybů změřených po obrobení výkovku 20002

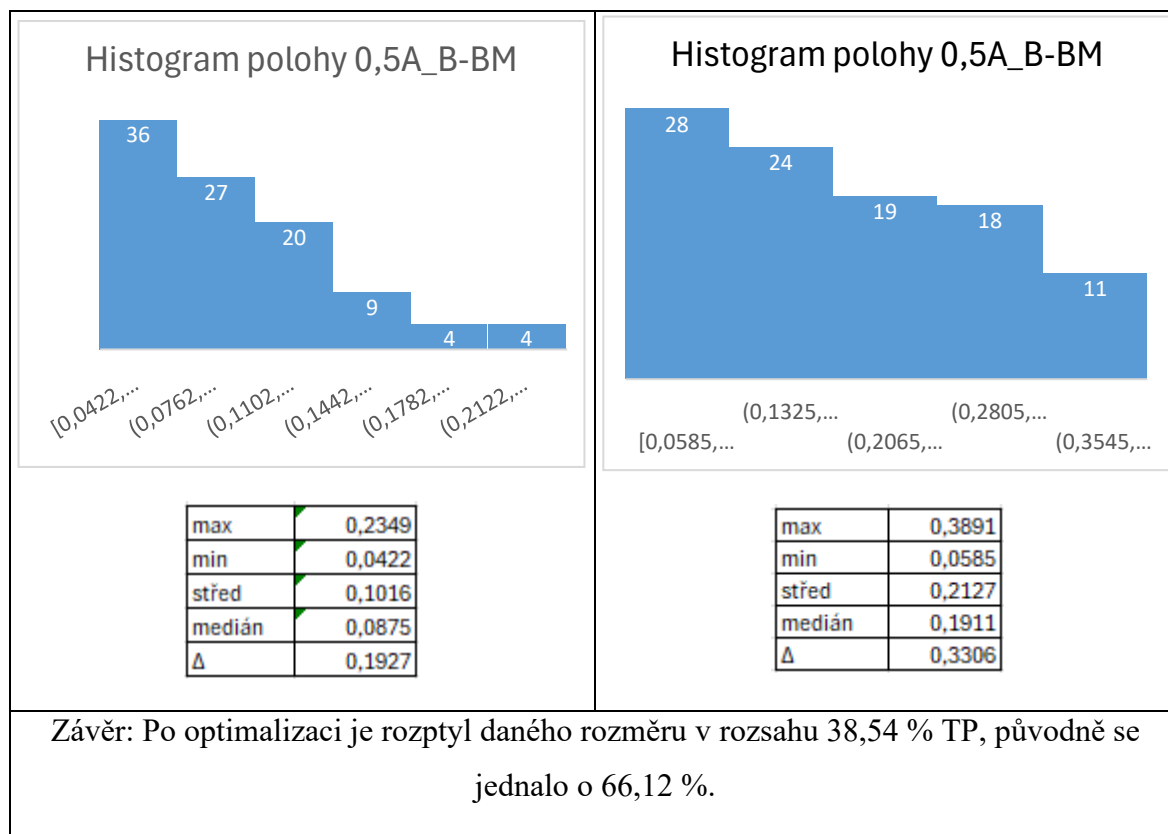
Hodnoty na spodní ose a v tabulce jsou v milimetrech a počet kusů v dané oblasti lze vidět v jednotlivých sloupcích.



Závěr: Po optimalizaci je rozptyl daného rozměru v rozsahu 11,1 % TP, původně se jednalo o 22,2 %.



Závěr: Po optimalizaci je rozptyl daného rozměru v rozsahu 41,4 % TP, původně se jednalo o 72,85 %.



(zdroj: vlastní)

Dle předpisů pro vyhodnocení způsobilosti procesu se redukuje toleranční pole na 66,7 [%] výkresové hodnoty, tzn.: zjištěný rozptyl nesmí být větší než 66,7 [%].

Jak lze vidět na pravé straně tabulky jsou grafy s hodnotami před optimalizací a ty vycházely u některých výkovků mimo toleranční pole (mimo zpřísněné pole firmy, ne zákazníka). Hlavní příčinou byl vznik vibrací a nedostatečné upnutí výkovku na přípravku.

Histogram rovinnosti a polohy měl představovat logaritmický průběh, který se nám povedl po optimalizaci dodržet. Histogram délky v toleranci $\pm 0,2$ podle očekávání tvoří Gaussovu křivku.

Výsledky jsou velmi uspokojivé. Z ohledu rovinnosti se podařilo snížit rozptyl na 11,1 [%] z původní hodnoty 22,2 [%]. Další dvě hodnoty jsou také úspěšné, zde se podařilo snížit rozptyl skoro o polovinu z původní hodnoty.

14 EKONOMICKÉ SHRUTÍ

Tato finální kapitola obsahuje ekonomické porovnání jednotlivých návrhů před a po optimalizaci. Vzhledem k tomu, že v praxi probíhá nový experiment na bázi návrhu a potom následného odzkoušení budou zde čtyři části, ze kterých je provedeno porovnání. Výsledným výpočtem pak bude roční úspora mezi ekonomickým výsledkem po odzkoušení před a po optimalizaci. Výsledek bude brán ze stejného základu vyrobených kusů za rok.

Následující tabulka obsahuje porovnání časů jednotlivých úseků a tím jsou časy pro obrobění každého upnutí. Z těchto časů je pak vypočtena finální cena, která je zákazníkovi nabídnuta k prodeji. Detailní kalkulace bohužel na povolení firmy není možná, důležitými porovnávacími hodnotami tedy budou hodnoty jednotlivých cyklů časů, finální cena, za kterou se výrobek prodá, cena, za kterou se výrobek vyrobí a počet kusů, které se za rok musí podle požadavků zákazníka odvést. Původní nabídnutá cena při dohodnutí zakázky byla 180 [Kč].

Tabulka 20 – Ekonomické srovnání jednotlivých návrhů před a po optimalizaci

Ekonomické srovnání jednotlivých návrhů před a po optimalizaci					
Roční požadované množství kusů: 21 446					
Návrh simulace před optimalizací			Návrh simulace po optimalizaci		
První upnutí	205	s/ks	První upnutí	157	s/ks
Druhé upnutí	72	s/ks	Druhé upnutí	59	s/ks
Třetí upnutí	50	s/ks	Třetí upnutí	45	s/ks
Celkový čas	327	s/ks	Celkový čas	261	s/ks
Výrobní cena:		162,32 Kč	Výrobní cena:		141,95 Kč
Prodejní cena:		180 Kč	Prodejní cena:		157 Kč

Odzkoušení před optimalizací			Odzkoušení po optimalizaci		
První upnutí	238	s/ks	První upnutí	123	s/ks
Druhé upnutí	85	s/ks	Druhé upnutí	65	s/ks
Třetí upnutí	55	s/ks	Třetí upnutí	47	s/ks
Celkový čas	378	s/ks	Celkový čas	235	s/ks
Výrobní cena:		178,06 Kč	Výrobní cena:		133,93 Kč
Prodejní cena:		197 Kč	Prodejní cena:		148 Kč

(zdroj: vlastní)

Zde si můžeme povšimnout, že při prvotním návrhu před optimalizací se dohodlo na prodejní ceně 180 [Kč]. Za cenu 162,32 Kč se dle simulace měl komponent vyrábět. Při prvotním návrhu se zjistilo, že výrobní takty jsou poněkud odlišné od těch navrhnutých v simulaci.

To vedlo ke zvýšení výrobní ceny až na 178,06 [Kč], což by bylo samozřejmě pro firmu minimálně výdělečné. Aby se dosáhlo podobného zisku jako při prvotní simulaci musela by prodejní cena z té výrobní díky maržím dosáhnout zhruba 197 [Kč]. Proto je vytvořena tato optimalizace, aby se zvýšil celkový zisk z prodeje tohoto výrobku při stejně dohodnuté prodejní ceně 180 [Kč]. S tím jsou spjaty rychlejší obráběcí cykly a také zvýšená přesnost a kvalita výkovku po obrobení.

Následuje porovnání ročních zisků ze zjištěných cen za výrobu a prodej výrobku:

$$C_{př} = (P_c \cdot m_r) - (V_{cpř} \cdot m_r) \quad (7)$$

$$C_{př} = (180 \cdot 21446) - (178,06 \cdot 21446)$$

$$C_{př} = 41\,605 \text{ Kč}$$

Z tohoto výsledku je zjištěno, že firma by každoročně vydělala na výrobě pouhých 41 605 [Kč]. Pro porovnání by firma vydělala 379 226 [Kč], pokud by se počítalo s hodnotami, které byly použity při simulaci.

- $C_{př}$ – Zisk před optimalizací [Kč]
- P_c – Prodejní cena výrobku [Kč]
- m_r – Roční množství prodaných kusů [ks]
- $V_{cpř}$ – Výrobní cena před optimalizací [Kč]

Následující výpočet se bude vztahovat k ročnímu zisku za prodej výrobků vyrobených po optimalizaci. Musím zmínit, že při této vypočtené výrobní ceně by stačilo s marží prodávat kus za 148 [Kč], aby se dosáhlo podobného zisku jako při původní simulaci (379 226 Kč). Dalo by se tedy říct, že kromě zisku z výrobní ceny jsem firmě získal 32 [Kč] pouze na samotné prodejní nabídce:

$$C_{po} = (P_c \cdot m_r) - (V_{cpo} \cdot m_r) \quad (8)$$

$$C_{po} = (180 \cdot 21446) - (133,93 \cdot 21446)$$

$$C_{po} = 988\,017 \text{ Kč}$$

Z tohoto výsledku vyplývá, že optimalizace byla úspěšná a pro firmu tato optimalizace znamená roční zisk 988 017 [Kč].

- C_{po} – Zisk po optimalizaci [Kč]
- P_c – Prodejní cena výrobku [Kč]
- m_r – Roční množství prodaných kusů [ks]
- V_{cpo} – Výrobní cena po optimalizaci [Kč]

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce je zvýšení produktivity a zároveň upravení upnutí výkovku v takové míře, aby zde bylo dosaženo lepších výsledků sledovaných parametrů.

Na začátku práce jsem zpracoval teoretickou část obsahující informace blíže spojené s mou prací. Tato teoretická část obsahuje pět hlavních okruhů.

Tuto práci jsem si vybral, jako pokračování v mém aktuálně řešeném projektu v práci, kde jsem měl experimentálně řešit přestavbu nového přípravku na upnutí výkovků z řady VOLVO.

Zde se mi povedlo zkonstruovat dvě nové upínky pro každé upnutí. Tyto upínky byly následně zkontrolovány a povoleny k výrobě. Hlavním problémem u starého provedení byla nedostatečná upínací síla. To vedlo k nedodržení tolerančních hodnot a k prodloužení cyklových časů jednotlivých upnutí.

Následně jsem vypracoval podrobný, ale také i zjednodušený technologický postup za pomoci programu FUSION. Můj návrh byl nakonec velmi úspěšný a díky němu jsem zrychlil celý proces výroby o 38 [%], což přesahuje dokonce o 8 [%] původní požadavek.

Také jsem provedl měření sledovaných parametrů v oblasti krčku na výkovku a zjistil jsem snížení rozptylu těchto hodnot, čímž se otevřela možnost do budoucna pro další optimalizace spojené se zvýšením řezných rychlostí nebo samotného upravení metody obrábění.

Nakonec jsem provedl ekonomické shrnutí a do mé práce jsem uvedl stručný výpočet finálního zisku. Ten se z původní hodnoty 379 226 [Kč] (jedná se o zisk z hodnot při původní simulaci) zvýšil po reálném odzkoušení na 988 017 [Kč] a tím jsem firmě zajistil více než dvojnásobně větší zisk za rok.

Firma je s mou prací velmi spokojená a těší se na další spolupráci, ať už by se jednalo o optimalizaci dalších výkovků z této řady, či podrobnějšího řešení výkovku 20002 a nalezení dalších možností, jak tento zisk nadále zvyšovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání: pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9.
- [2] KIEF, Hans B.; ROSCHI WAL, Helmut A. a SCHWARZ, Karsten. *The CNC handbook*. South Norwalk, Connecticut: Industrial Press, 2022. ISBN 978-0-8311-3636-9.
- [3] EL-HOFY, Hassan. *Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes*. 3rd ed. CRC Press, c2018. ISBN 978-1-1383-3490-8.
- [4] KALPAKJIAN, Serope a SCHMID, Steven R. *Manufacturing engineering and technology*. 7th ed. Harlow: Pearson, c2013. ISBN 978-981-06-9406-7.
- [5] GRZESIK, Wit. *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. Amsterdam: Elsevier, 2008. ISBN 978-0-08-044534-2.
- [6] GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. 5th ed. International adaptation. Singapore: Wiley, 2012. ISBN 978-1-119-70642-7.
- [7] ALTINTAS, Yusuf. *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2012. ISBN 978-0-521-17247-9.
- [8] SMITH, Graham T. *Cutting tool technology: industrial handbook*. London: Springer, c2008. ISBN 978-1-84800-204-3.
- [9] ALHADEFF, L.L.; MARSHALL, M.B.; CURTIS, D.T. a SLATTER, T. Protocol for tool wear measurement in micro-milling. Online. *Wear*. 2019, roč. 420-421, s. 54-67. ISSN 00431648. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.11.018>. [cit. 2024-11-04].
- [10] BIJOY, Bhattacharyya a BISWANATH, Doloi. *Modern Machining Technology: Advanced, Hybrid, Micro Machining and Super Finishing Technology*. Academic Press, 2019. ISBN 9780128128947.
- [11] FITZPATRICK, Michael. *Machining and CNC technology*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, c2014. ISBN 978-1-259-06053-3.

- [12] SIMHA, Rājendra. *Introduction to basic manufacturing process and workshop technology*. New Delhi: New Age International (P), Ltd., Publishers, 2006. ISBN 9788122423167.
- [13] THOMPSON, Rob. *Manufacturing processes for design professionals: for design professionals*. London: Thames and Hudson, 2007. ISBN 978-0-500-51375-0.
- [14] HOFFMAN, Peter J.; HOPEWELL, Eric S. a JANES, Brian. *Precision machining technology*. 2nd ed. New York: Cengage Learning, c2015. ISBN 978-1-285-44454-3.
- [15] HALL, Harold. *The Milling Machine for Home Machinists*. Fox Chapel Publishing, 2013. ISBN 9781565237698.
- [16] BOOTHROYD, G. a KNIGHT, Winston A. *Fundamentals of machining and machine tools*. 3rd ed. Mechanical engineering. Boca Raton, c2005. ISBN 15-744-4659-2.
- [17] OVERBY, Alan. *CNC machining handbook: building, programming, and implementation*. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
- [18] EVANS, Ken. *Programming of CNC Machines, Fourth Edition*. 4th ed. Industrial Press, 2016. ISBN 978-0-8311-3524-9.
- [19] SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. Third edition. South Norwalk: Industrial Press, [2008]. ISBN 978-0-8311-3347-4. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy1203/2007045901-d.html>.
- [20] WALKER, John R. a DIXON, Bob. *Machining fundamentals*. 10th edition. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, [2019]. ISBN 978-1-63563-208-8.
- [21] DAVIM, J. Paulo. *Machining : fundamentals and recent advances*. London: Springer, 2008. ISBN 978-1-84800-212-8.
- [22] STEPHENSON, David A. a AGAPIOU, John S. *Metal cutting theory and practice*. Third edition. Boca Raton: CRC Press, [2016]. ISBN 978-131-5373-119. Dostupné také z: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781315373119>.
- [23] YOUSSEF, Helmi A. a EL-HOFY, Hassan. *Machining technology: machine tools and operations*. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 9781420043396.
- [24] MEHTA, N. K. *Metal cutting and design of cutting tools, jigs & fixtures*. New Delhi: McGraw Hill Education (India), 2015. ISBN 9789339213190.

- [25] VENKATARAMAN, K. *Design of Jigs, Fixtures and Press Tools*. Second Edition. S.l.: Springer Nature, 2021. ISBN 9783030765330.
- [26] ZHANG, Weihong a WAN, Min. *Milling simulation: metal milling mechanics, dynamics and clamping principles*. Numerical Methods in Engineering Series. London, England: ISTE, 2016. ISBN 978-1-119-26290-9. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/natl-ebooks/detail.action?docID=4558345>.
- [27] DAVIM, J. Paulo. *Surface Integrity in Machining*. Springer, 2010. ISBN 9781848828735.
- [28] DORNFELD, D. A. a LEE, Dae-Eun. *Precision manufacturing*. New York: Springer, c2008. ISBN 978-0-387-68208-2.
- [29] SANDVIK. *Sousledné frézování nebo nesousledné frézování*. Online. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/down-milling-vs-up-milling>. [cit. 2024-12-28].
- [30] ELUC. *Elektronická učebnice*. Online. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz>. [cit. 2024-12-28]. **(Tento zdroj je využit pouze pro obrázky)**
- [31] SANDVIK. *Postup při frézování různých typů materiálů*. Online. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/milling-different-materials>. [cit. 2025-01-04].
- [32] ČISTÝ STROJ. *Budoucnost CNC obrábění: Co nás čeká?* Online. 2025. Dostupné z: <https://cistystroj.cz>. [cit. 2025-01-10].
- [33] MAKINO. *A61nx-5E*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.makino.eu/cs-cz/machine-technology/machines/horizontal-5-axis/a61nx-5e>. [cit. 2025-03-11].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Jeden z prvních frézovacích strojů z roku 1876.....	15
Obrázek 2 – Perforovaný pásek s NC kódem pro obráběcí zařízení	16
Obrázek 3 – CNC obráběcí centrum	17
Obrázek 4 – Konvenční frézování (nesousledné)	18
Obrázek 5 – Kopírovací frézování (sousledné).....	19
Obrázek 6 – Základní řezné úhly na frézovacím nástroji	20
Obrázek 7 – Řezné síly při frézování.....	21
Obrázek 8 – Druhy třísek při obrábění.....	22
Obrázek 9 – Frézování rovinných ploch	23
Obrázek 10 – Obvodové frézování profilových tvarů	24
Obrázek 11 – Frézování čelních ploch.....	24
Obrázek 12 – Profilové frézování zubů ozubeného kola	25
Obrázek 13 – Zásobník s nástroji o průměru řezné části $\varnothing 0,25$ mm	26
Obrázek 14 – Znázornění hloubky řezu.....	28
Obrázek 15 – Schéma brousících metod (a-Broušení vnitřních válcových ploch, b-Broušení vnějších válcových ploch, c-Broušení rovinných ploch)	30
Obrázek 16 – Schéma lapování.....	31
Obrázek 17 – Honování válců motoru oscilujícím pohybem ve vertikálním směru	31
Obrázek 18 – Horizontální frézka.....	34
Obrázek 19 – Vertikální frézka.....	35
Obrázek 20 – Portálová frézka.....	36
Obrázek 21 – CNC frézka.....	37
Obrázek 22 – Příklad speciální operace při výrobě přesných drážek	38
Obrázek 23 – Přehled pokročilých a speciálních frézovacích nástrojů	39
Obrázek 24 – Přehled charakteristik tvrdosti/houževnatosti jednotlivých nástrojových materiálů.....	41
Obrázek 25 – Mechanické upínání obrobků pomocí svěráku.....	45
Obrázek 26 – Upínání pomocí upínek s hydraulickými písty.....	46
Obrázek 27 – Upínání obrobku na elektromagnetickou desku	47
Obrázek 28 – Obrábění kalené oceli	49
Obrázek 29 – Obrábění litiny.....	50
Obrázek 30 – Obrábění hliníku.....	51
Obrázek 31 – Obrábění za vysokých řezných rychlostí s použitím chladících médií	53
Obrázek 32 – Způsob přívodu chladicí kapaliny do místa řezu externě (levý obrázek) a interně (pravý obrázek)	55

Obrázek 33 – Kontrolní panel FANUC	56
Obrázek 34 – Příklad nájezdu do nulového bodu programu	58
Obrázek 35 – Prostřední systému Siemens NX (Modeling).....	59
Obrázek 36 – Prostřední systému Siemens NX (Manufacturing).....	60
Obrázek 37 – Ilustrační obrázek Průmyslu 4.0	61
Obrázek 38 - Sestava řídicího ústrojí nákladního vozu VOLVO	65
Obrázek 39 - Výřez z výkresu výkovku Tie rod arm, označení 20002	66
Obrázek 40 – Detail kuželového otvoru, který je obráběn po prvním upnutí	67
Obrázek 41 – Pohled na původní mechanické upínací přípravky pro výkovek 20002	67
Obrázek 42 – Náhled na nově upravený přípravek pro 1. upnutí	70
Obrázek 43 – Pohled na podsestavu podepření	71
Obrázek 44 – Funkce zajištění polohy upínky před optimalizací.....	72
Obrázek 45 – Problematika vytočení protilehlých upínek.....	73
Obrázek 46 – Podsestava ramenového podepření	73
Obrázek 47 – Funkce nastavení upnutí a samostatné vrácení	74
Obrázek 48 – Tlačný prvek.....	75
Obrázek 49 – Náhled na nově upravený přípravek pro 2. upnutí	76
Obrázek 50 – Náhled na sestavu otočného podepření	77
Obrázek 51 – Náhled na sestavu otočného podepření s upravenou styčnou plochou	78
Obrázek 52 – Závitové pouzdro M6	79
Obrázek 53 – Pozice protilehlých upínek při 2. upnutí	79
Obrázek 54 – Pohled na speciální nástroj obrábějící kónický otvor.....	80
Obrázek 55 – První upnutí do přípravku	81
Obrázek 56 – Momentový klíč	82
Obrázek 57 – Druhé upnutí na přípravek.....	83
Obrázek 58 – Výkovek 20002 po 3. upnutí	83
Obrázek 59 – Seřízení polohy přípravku 1. upnutí	84
Obrázek 60 – Seřízení polohy přípravku 2. a 3. upnutí	85
Obrázek 61 – Horizontální frézovací centrum a61nx	89
Obrázek 62 – Pohled na řez vysokorychlostního vřetena	90
Obrázek 63 – OP_1_Frézování čelní plochy 1.upnutí	91
Obrázek 64 – Fréza D40R0.8	92
Obrázek 65 – Břitová destička DIN 4000-76	93
Obrázek 66 – OP_2_Frézování boční plochy levé 1.upnutí	94
Obrázek 67 – Fréza D40R0.8	95

Obrázek 68 - Břitová destička DIN 4000-76	96
Obrázek 69 - OP_3_Frézování boční plochy pravé 1.upnutí.....	96
Obrázek 70 - Fréza D40R0.8	97
Obrázek 71 - Břitová destička DIN 4000-76	98
Obrázek 72 - OP_4_Vrtání čelních otvorů 1.upnutí	98
Obrázek 73 – Vrták D22.5 s vyměnitelnou korunkou	99
Obrázek 74 – Vyměnitelná korunka ICP 225	100
Obrázek 75 - OP_5_Vrtání bočního otvoru 1.upnutí.....	100
Obrázek 76 - Vrták D22.5 s vyměnitelnou korunkou	101
Obrázek 77 - Vyměnitelná korunka ICP 225	102
Obrázek 78 - OP_6_Sražení všech otvorů 1.upnutí.....	102
Obrázek 79 – Srážec D12x45.....	103
Obrázek 80 - OP_7_Frézování čelní plochy 2.upnutí.....	104
Obrázek 81 - Fréza D40R0.8	105
Obrázek 82 - Břitová destička DIN 4000-76	106
Obrázek 83 - OP_8_Odfrézování popisu 2.upnutí.....	106
Obrázek 84 – Fréza D8R0.4.....	107
Obrázek 85 - OP_9_Sražení otvorů 2.upnutí	108
Obrázek 86 - Srážec D12x45	109
Obrázek 87 – OP_10_Hrubování kónického otvoru 3.upnutí.....	110
Obrázek 88 – Vyvrtávací hlava s VBD.....	111
Obrázek 89 – OP_11_Dokončení kónického otvoru 3.upnutí	112
Obrázek 90 – Kuželový výstružník RIRT6.....	113
Obrázek 91 - Označení měřených tolerancí na měřícím přístroji DURAMAX	116

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Výběr vlastností některých materiálů a povlaků	43
Tabulka 2 – Příklad zdrojového kódu CNC programu	58
Tabulka 3 – Chemické složení oceli ČSN 15 142	68
Tabulka 4 – Souhrn technologických operací.....	86
Tabulka 5 – Souhrn použitých nástrojů	88
Tabulka 6 – Základní parametry frézovacího centra	90
Tabulka 7 – Řezné podmínky OP_1	92
Tabulka 8 – Řezné podmínky OP_2	94
Tabulka 9 - Řezné podmínky OP_3.....	96
Tabulka 10 - Řezné podmínky OP_4.....	99
Tabulka 11 - Řezné podmínky OP_5.....	101
Tabulka 12 - Řezné podmínky OP_6.....	103
Tabulka 13 - Řezné podmínky OP_7.....	105
Tabulka 14 - Řezné podmínky OP_8.....	107
Tabulka 15 - Řezné podmínky OP_9.....	108
Tabulka 16 - Řezné podmínky OP_10.....	110
Tabulka 17 - Řezné podmínky OP_11.....	112
Tabulka 18 - Porovnání časů jednotlivých upnutí	114
Tabulka 19 - Tabulka průhybů změřených po obrobení výkovku 20002	117
Tabulka 20 – Ekonomické srovnání jednotlivých návrhů před a po optimalizaci.....	119

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
γ	[°]	Úhel čela
α	[°]	Úhel hřbetu
β	[°]	Úhel břitu
δ	[°]	Úhel řezu
λ	[°]	Úhel sklonu břitu
F	[N]	Celková řezná síla
F_c	[N]	Řezná síla
F_{cN}	[N]	Kolmá řezná síla
F_f	[N]	Posuvová síla
F_{fN}	[N]	Kolmá posuvová síla
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
d	[mm]	Průměr řezné části frézy
n	[1/min]	Otáčky vřetena
v_f	[mm/min]	Posuv za minutu
f_z	[mm/zub]	Posuv za zub
z	[-]	Počet zubů frézy
Q	[mm ³ /min]	Objem odebraného materiálu
a_p	[mm]	Axiální hloubka řezu
a_e	[mm]	Radiální hloubka řezu
P	[W]	Výkon
Ra	[μm]	Drsnost povrchu
DC	[mm]	Průměr řezné části nástroje
$DCSFMS$	[mm]	Průměr těla nástroje
LF	[mm]	Celková délka nástroje

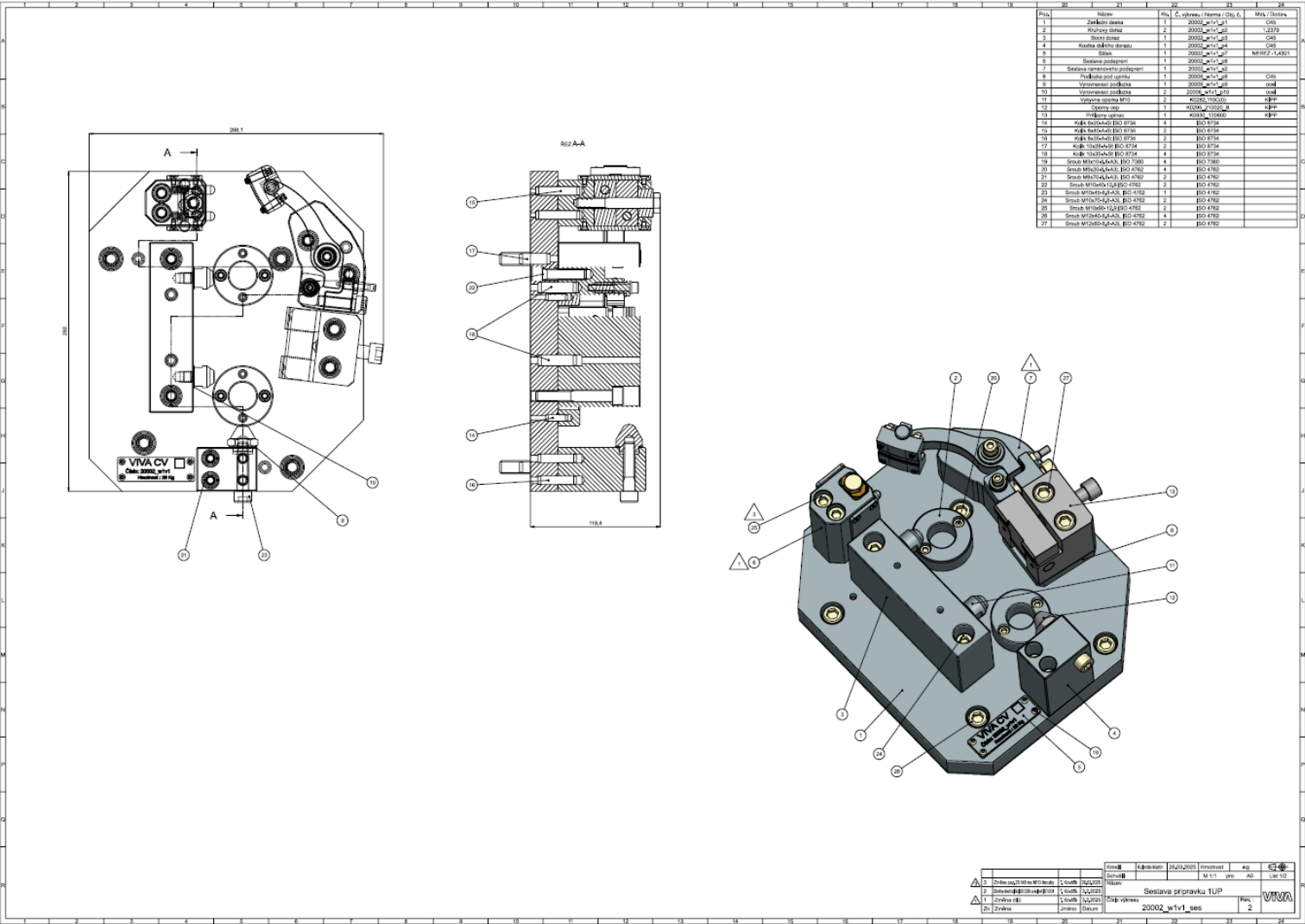
$DCONMS$	[mm]	Průměr stopky
LU	[mm]	Délka řezné části
LS	[mm]	Délka stopky
OAL	[mm]	Celková délka
Lc	[mm]	Délka břitu
l_1	[mm]	Celková délka
l_4	[mm]	Maximální vyložení
d_1	[mm]	Průměr stopky
t_{Sop}	[%]	Procento rozdílu simulované optimalizace
$t_{cpřed}$ optimalizací	[s]	Celkový čas výroby v simulaci 1 kusu před optimalizací
t_{cpo} optimalizaci	[s]	Celkový čas výroby v simulaci 1 kusu po optimalizaci
t_{Oop}	[%]	Procento rozdílu odzkoušené optimalizace
$t_{cOpřed}$ optimalizací	[s]	Celkový čas výroby po odzkoušení 1 kusu před optimalizací
t_{cOpo} optimalizaci	[s]	Celkový čas výroby po odzkoušení 1 kusu po optimalizaci
$C_{př}$	[Kč]	Zisk před optimalizací
P_c	[Kč]	Prodejní cena výrobku
m_r	[ks]	Roční množství prodaných kusů
$V_{cpř}$	[Kč]	Výrobní cena před optimalizací
C_{po}	[Kč]	Zisk po optimalizaci
V_{cpo}	[Kč]	Výrobní cena po optimalizaci

Zkratka	Popis
NC	Numerical Control
CNC	Computer Numerical Control
HSM	High Speed Machining
HFM	High Feed Machining
HSS	High Speed Steel
KNB	Kubický Nitrid Boru
PKD	Polykrystalický Diamant
TiN	Nitrid titanu
TiAlN	Nitrid titanu a hliníku
CrN	Nitrid chromu
PVD	Physical Vapor Deposition
CVD	Chemical Vapor Deposition
MQL	Minimum Quantity Lubrication
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
IoT	Internet of Things
AI	Artificial Intelligence
VR	Virtual Reality
VBD	Vyměnitelná Břitová Destička
OP	Operace
ČSN	Česká technická norma

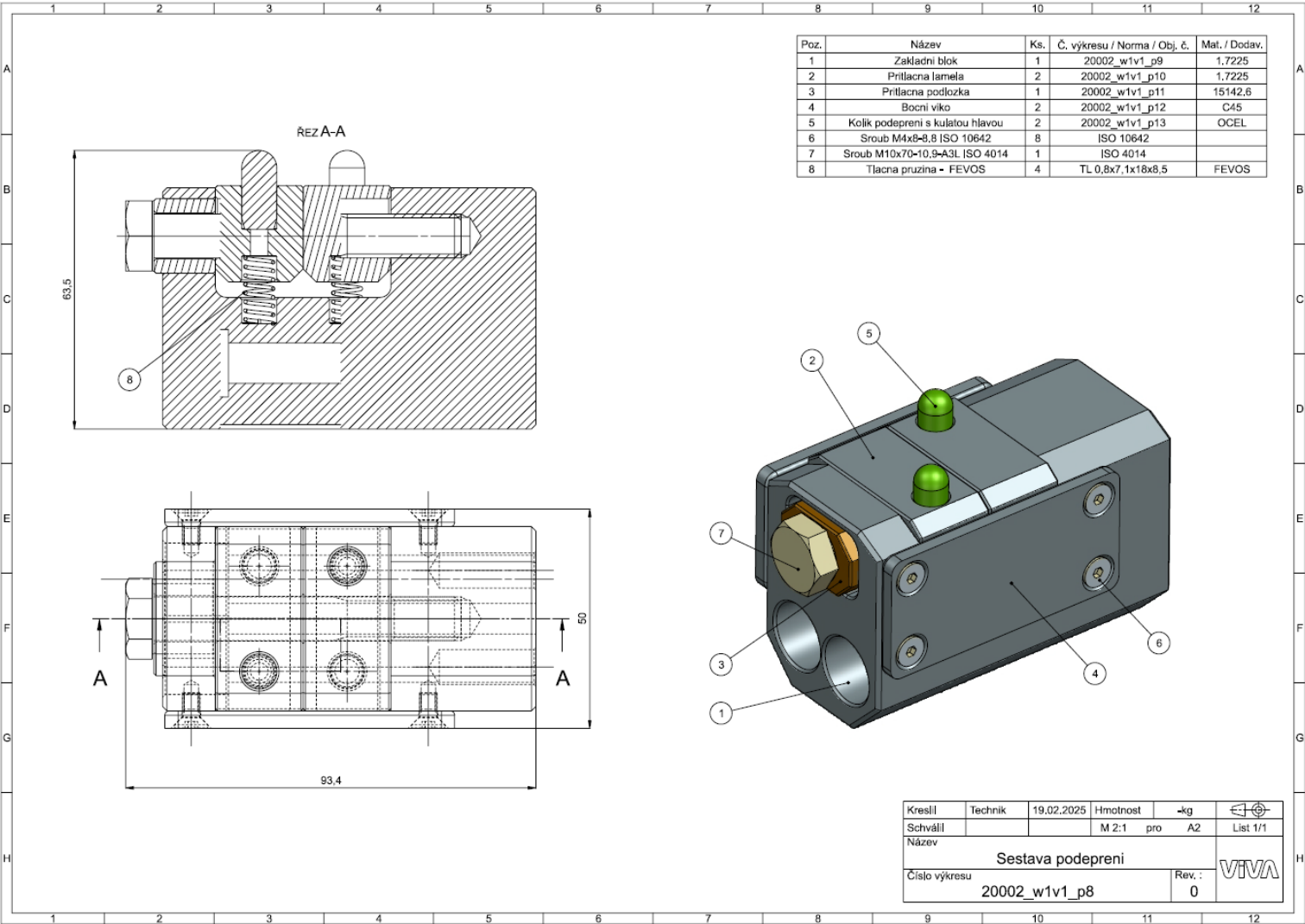
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P 1: Sestava přípravku 1UP
- Příloha P 2: Sestava podepření
- Příloha P 3: Zakladní blok
- Příloha P 4: Pritlačná lamela
- Příloha P 5: Pritlačná podložka
- Příloha P 6: Bocní viko
- Příloha P 7: Kolík podepření s kulatou hlavou
- Příloha P 8: Sestava ramenového podepření
- Příloha P 9: Dosedací kolíbka
- Příloha P 10: Rameno podepření
- Příloha P 11: Zakladna podepření
- Příloha P 12: Tlačný prvek
- Příloha P 13: Sestava přípravku 2UP
- Příloha P 14: Sestava otocného podepření
- Příloha P 15: Zakladna otoc_ramene
- Příloha P 16: Zakladna dorazu
- Příloha P 17: Otocné rameno
- Příloha P 18: Polyamidový doraz 1

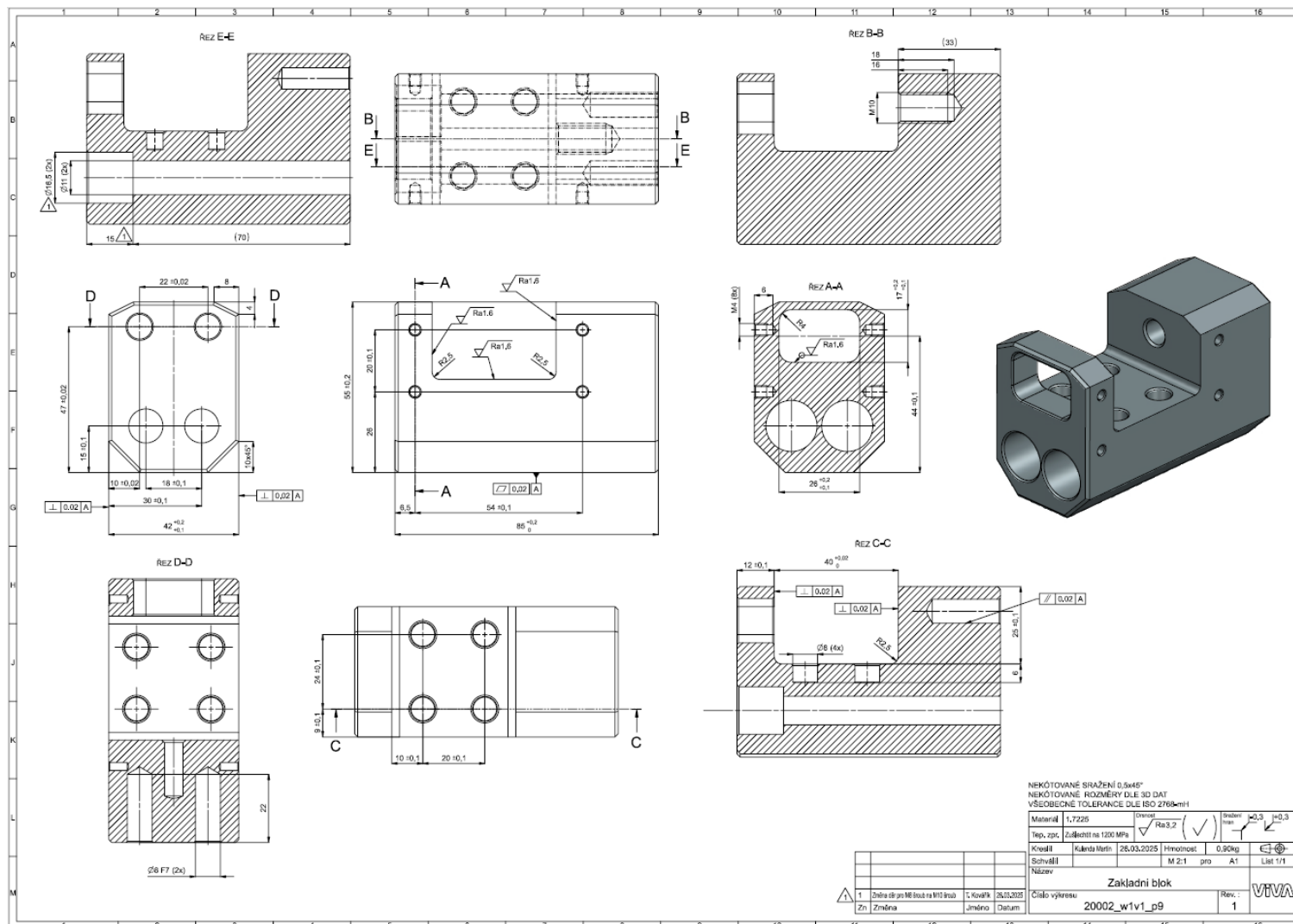
PŘÍLOHA P 1: SESTAVA PRIPRAVKU 1UP



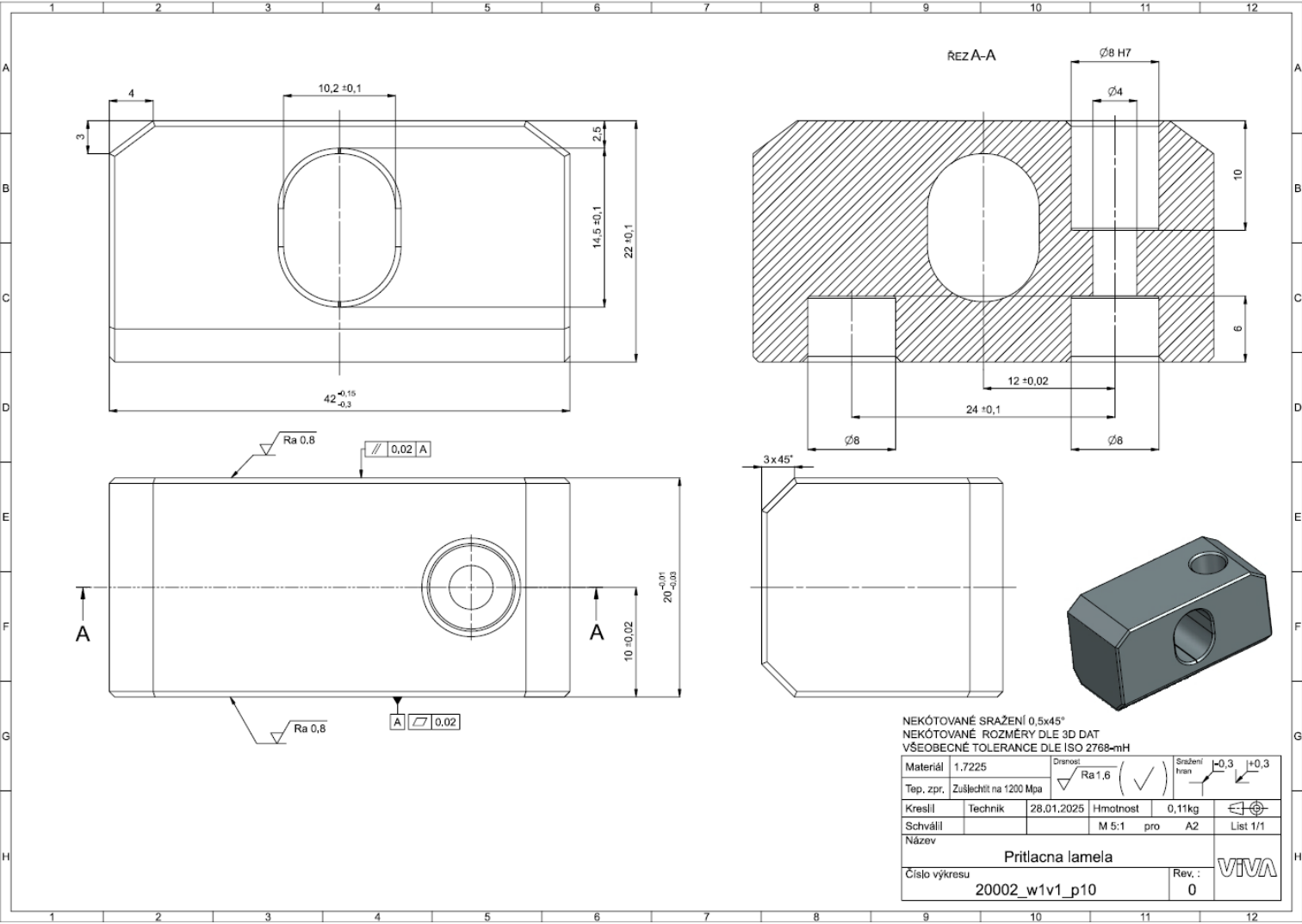
PŘÍLOHA P 2: SESTAVA PODEPRENI



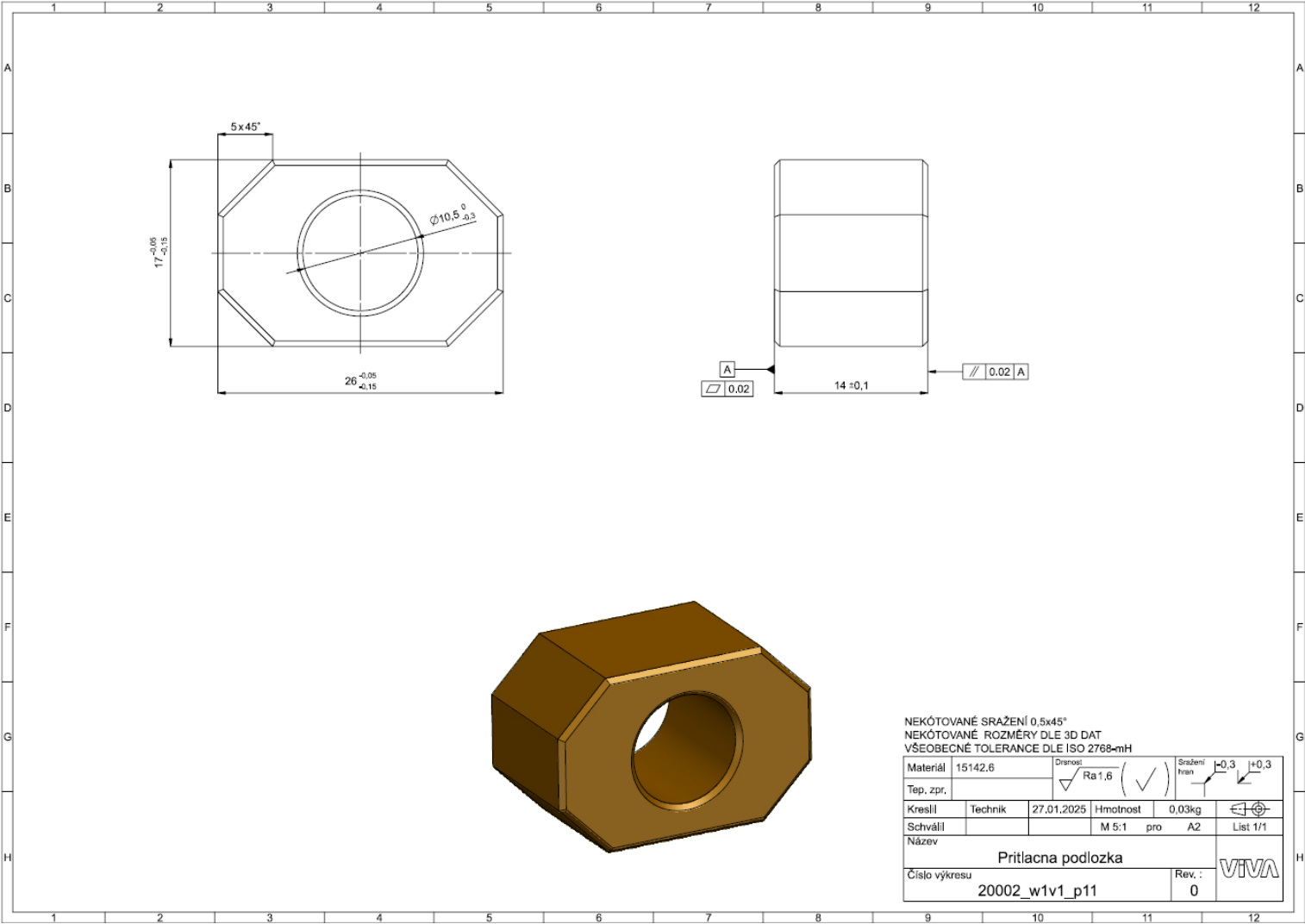
PŘÍLOHA P 3: ZAKLADNI BLOK



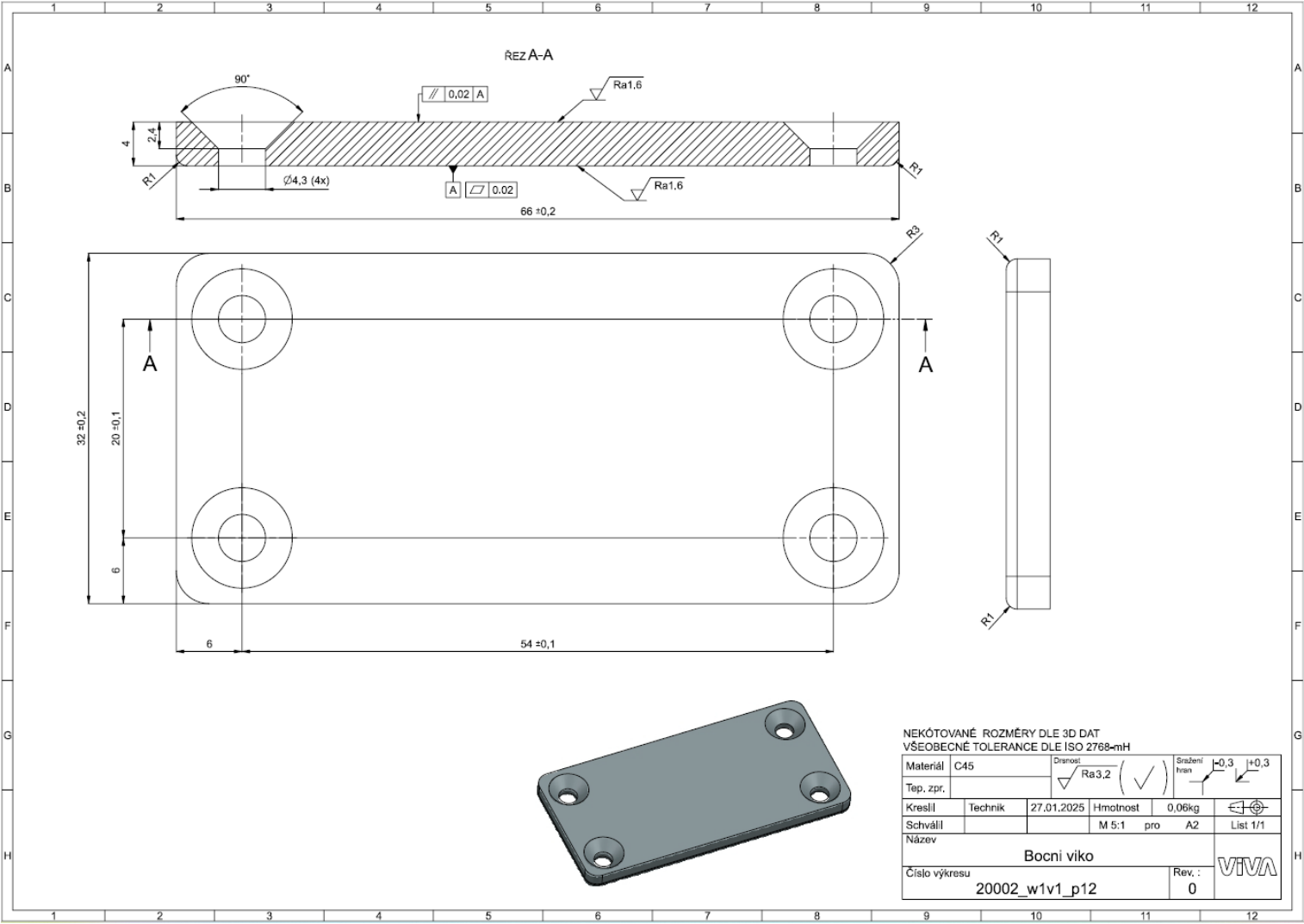
PŘÍLOHA P 4: PRITLACNA LAMELA



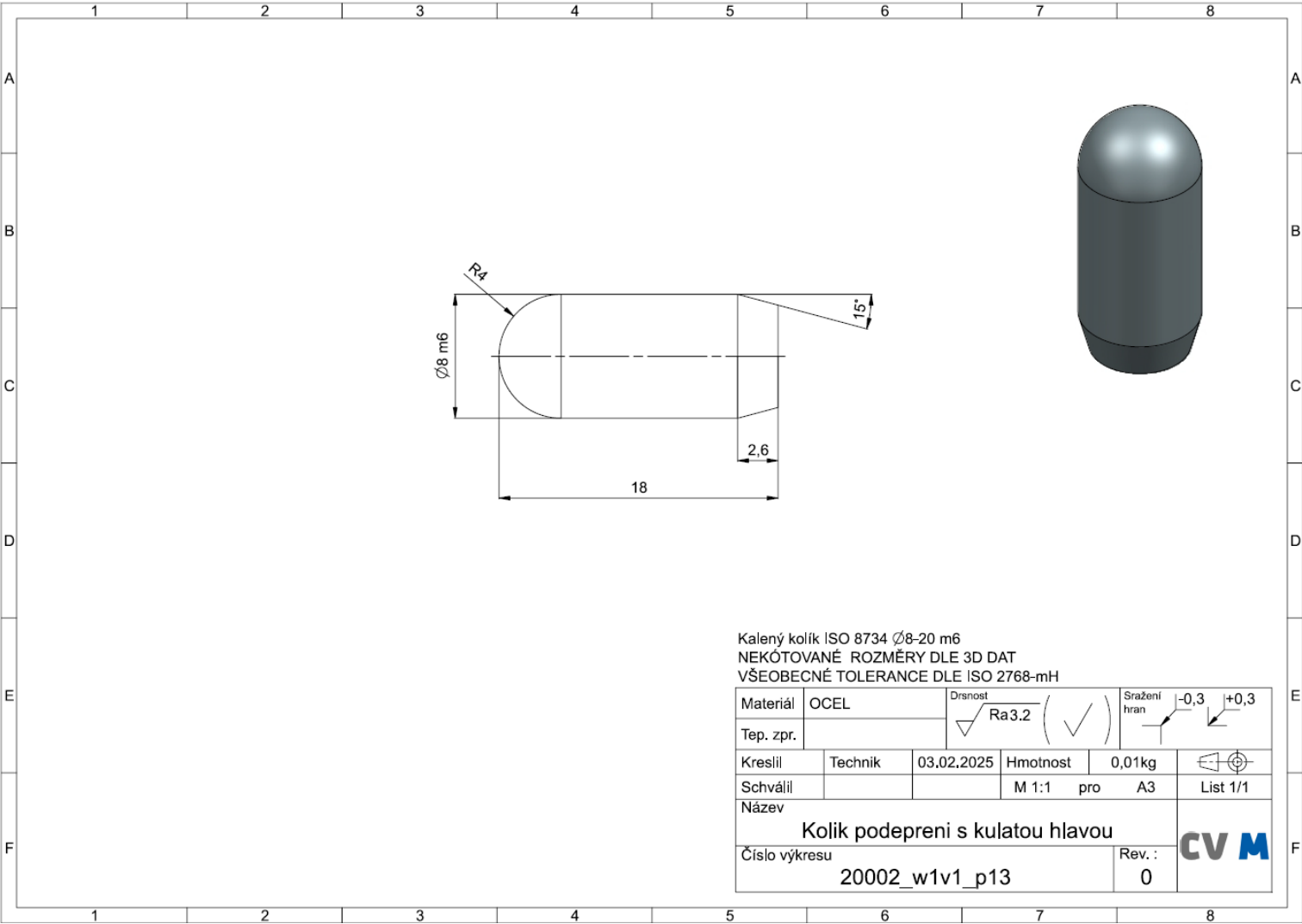
PŘÍLOHA P 5: PRITLACNA PODLOZKA



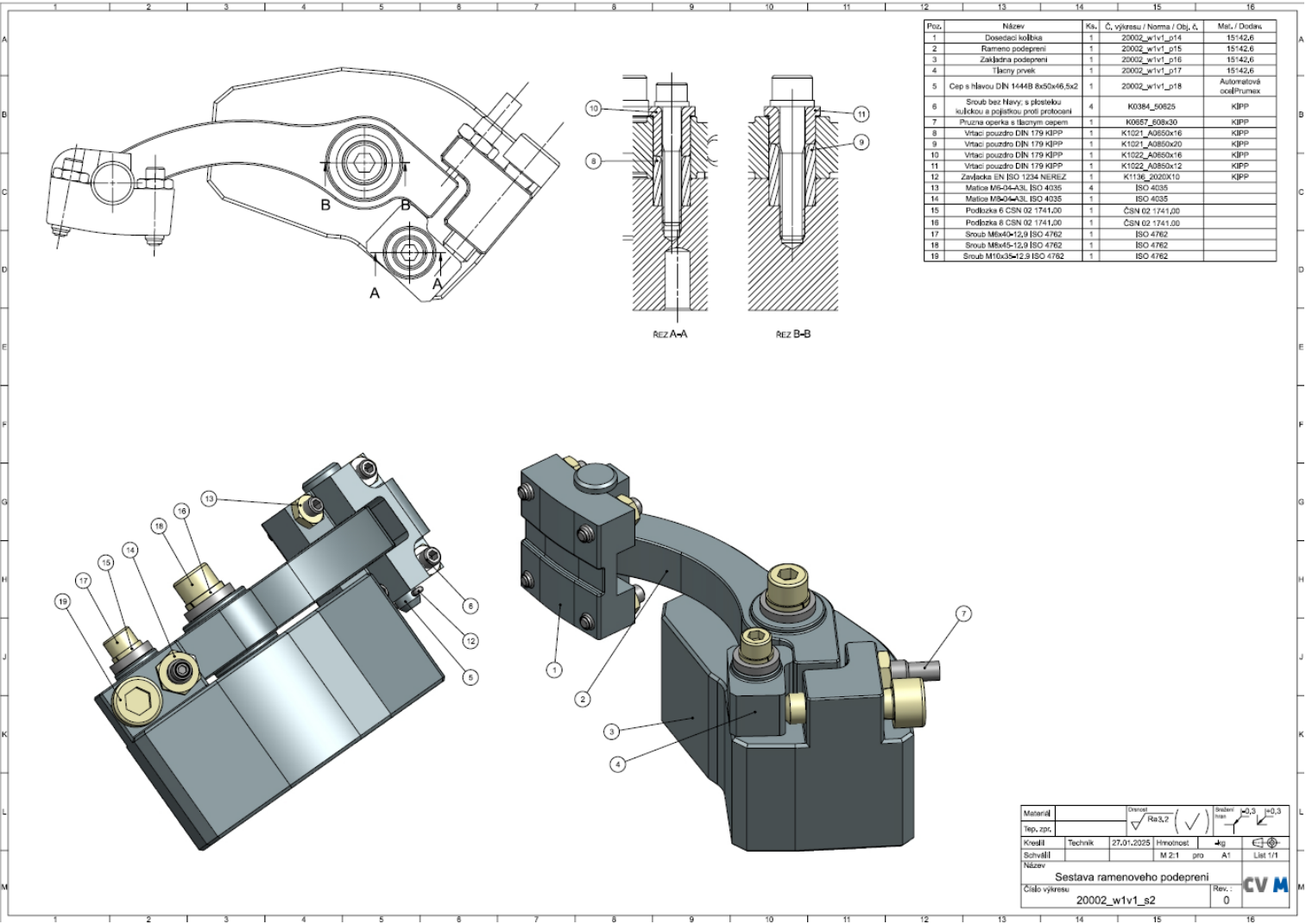
PŘÍLOHA P 6: BOCNI VIKO



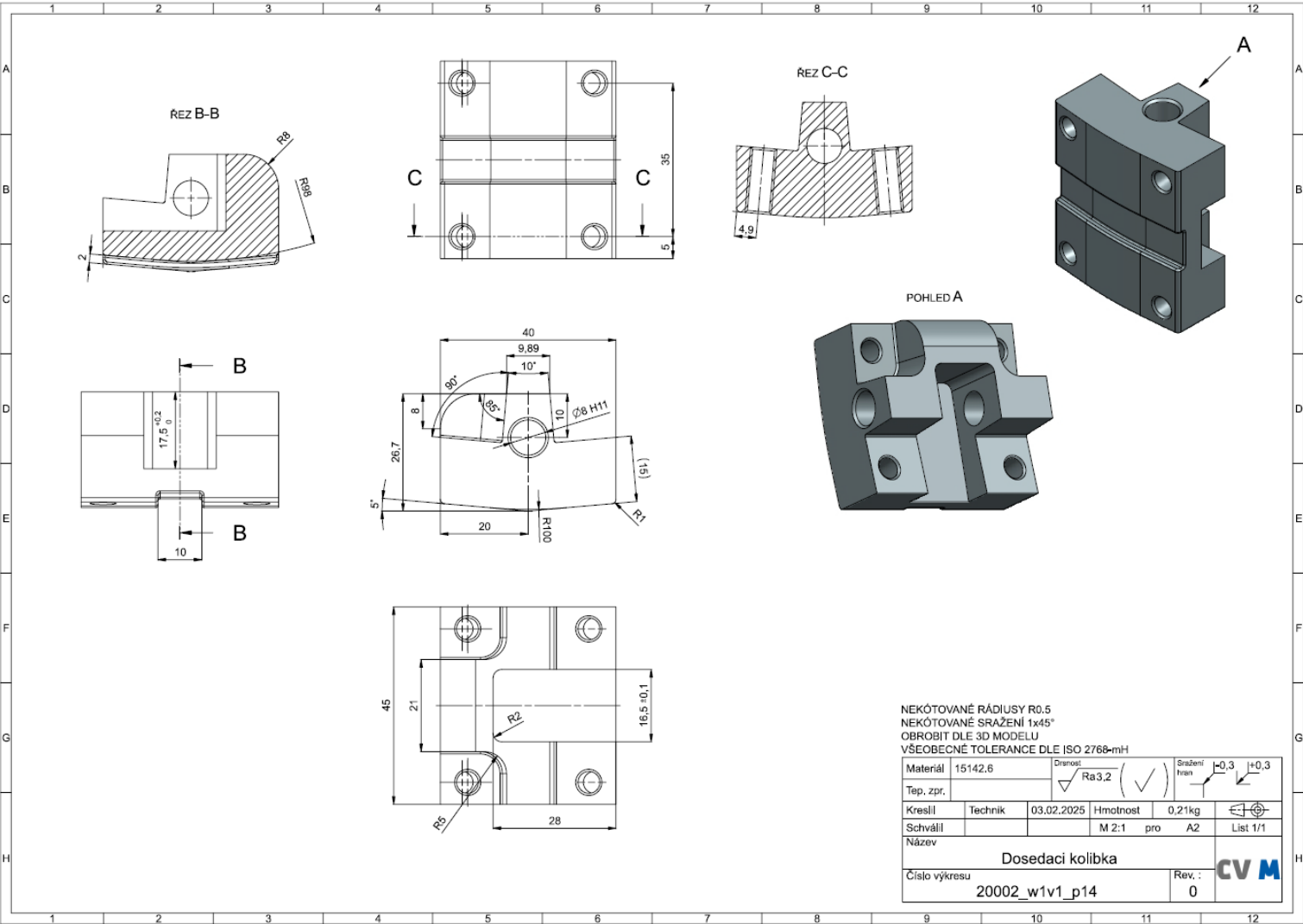
PŘÍLOHA P 7: KOLIK PODEPRENI S KULATOU HLAVOU



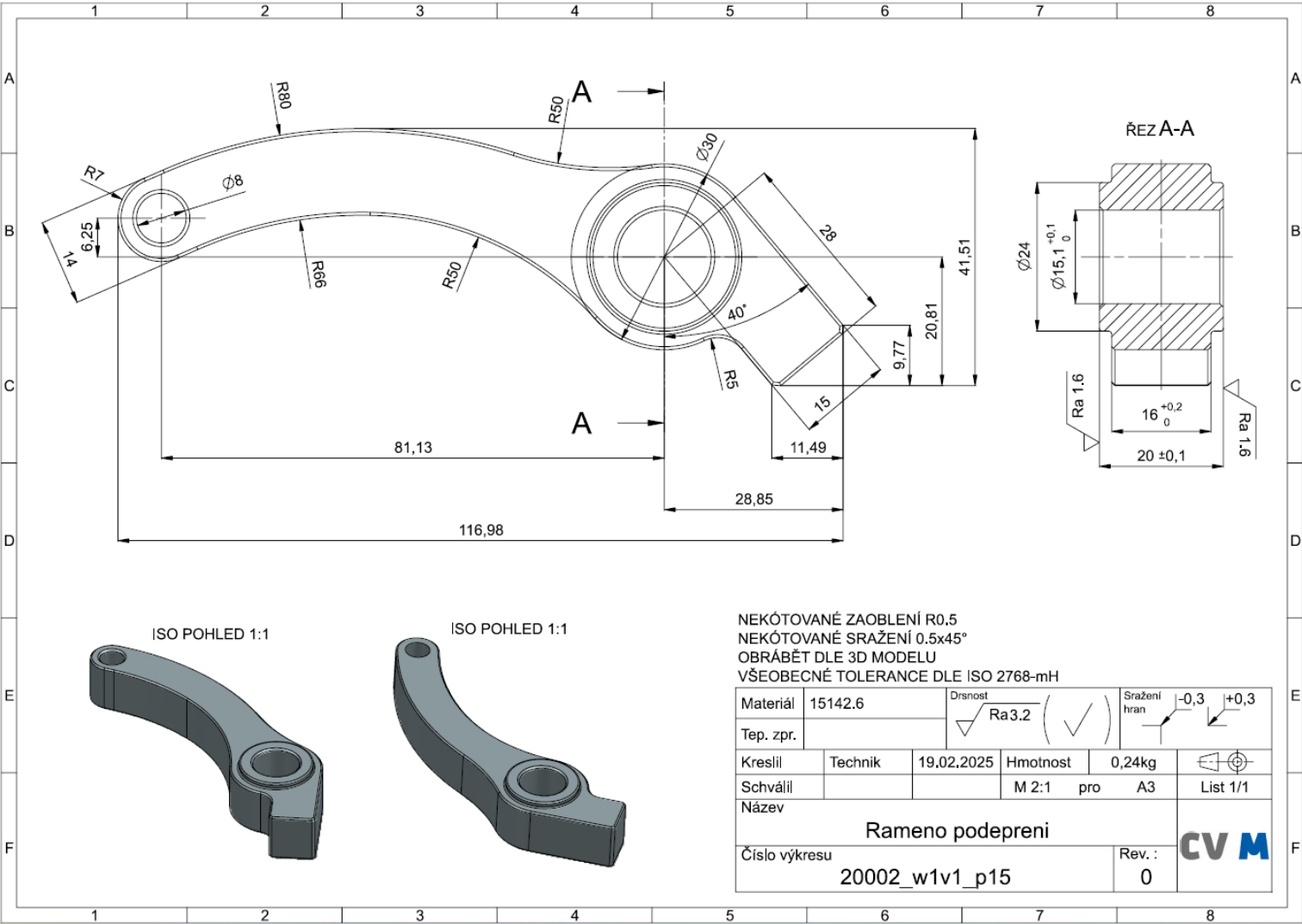
PŘÍLOHA P 8: SESTAVA RAMENOVEHO PODEPRENÍ



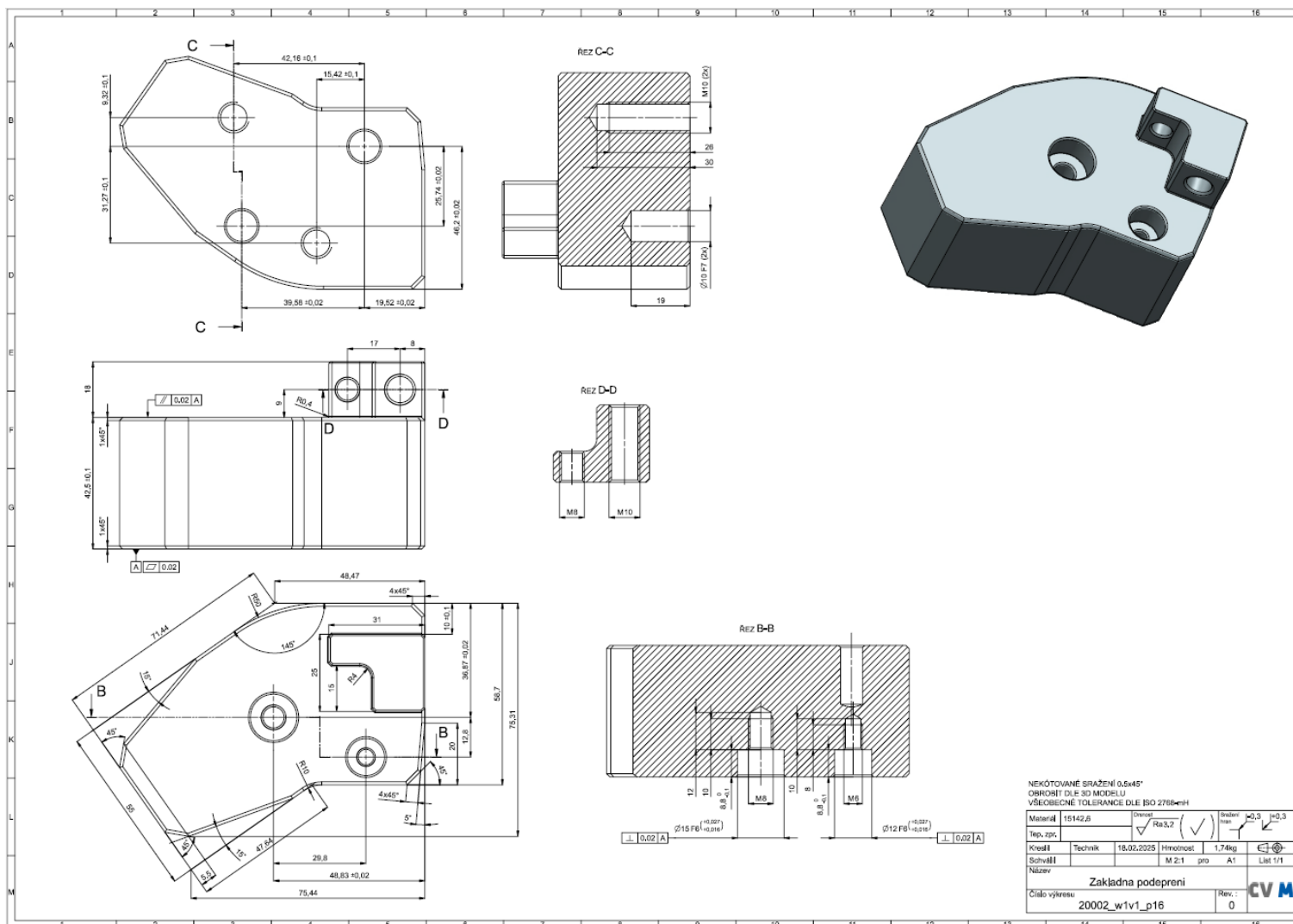
PŘÍLOHA P 9: DOSEDACÍ KOLIBKA



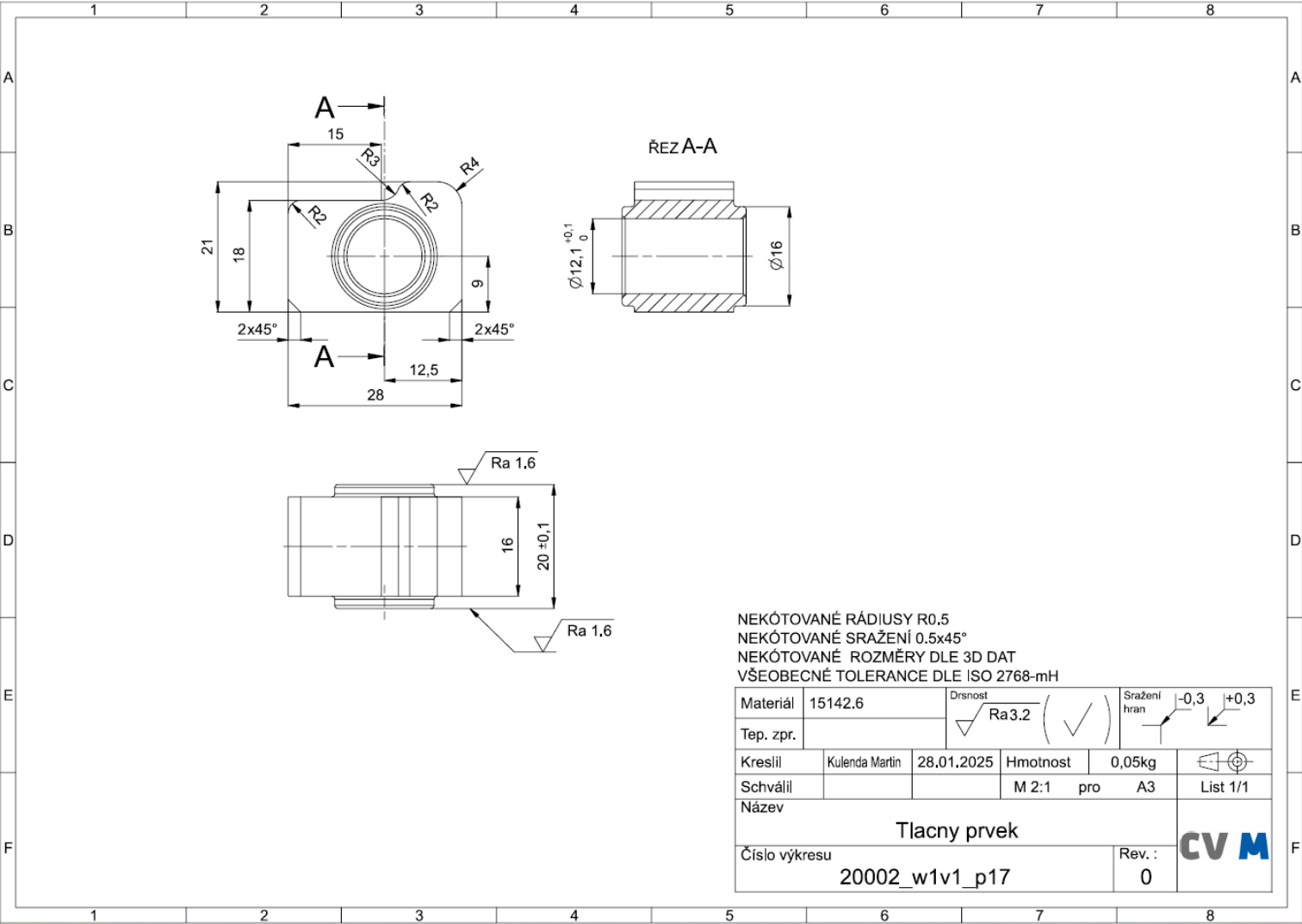
PŘÍLOHA P 10: RAMENO PODEPRENI



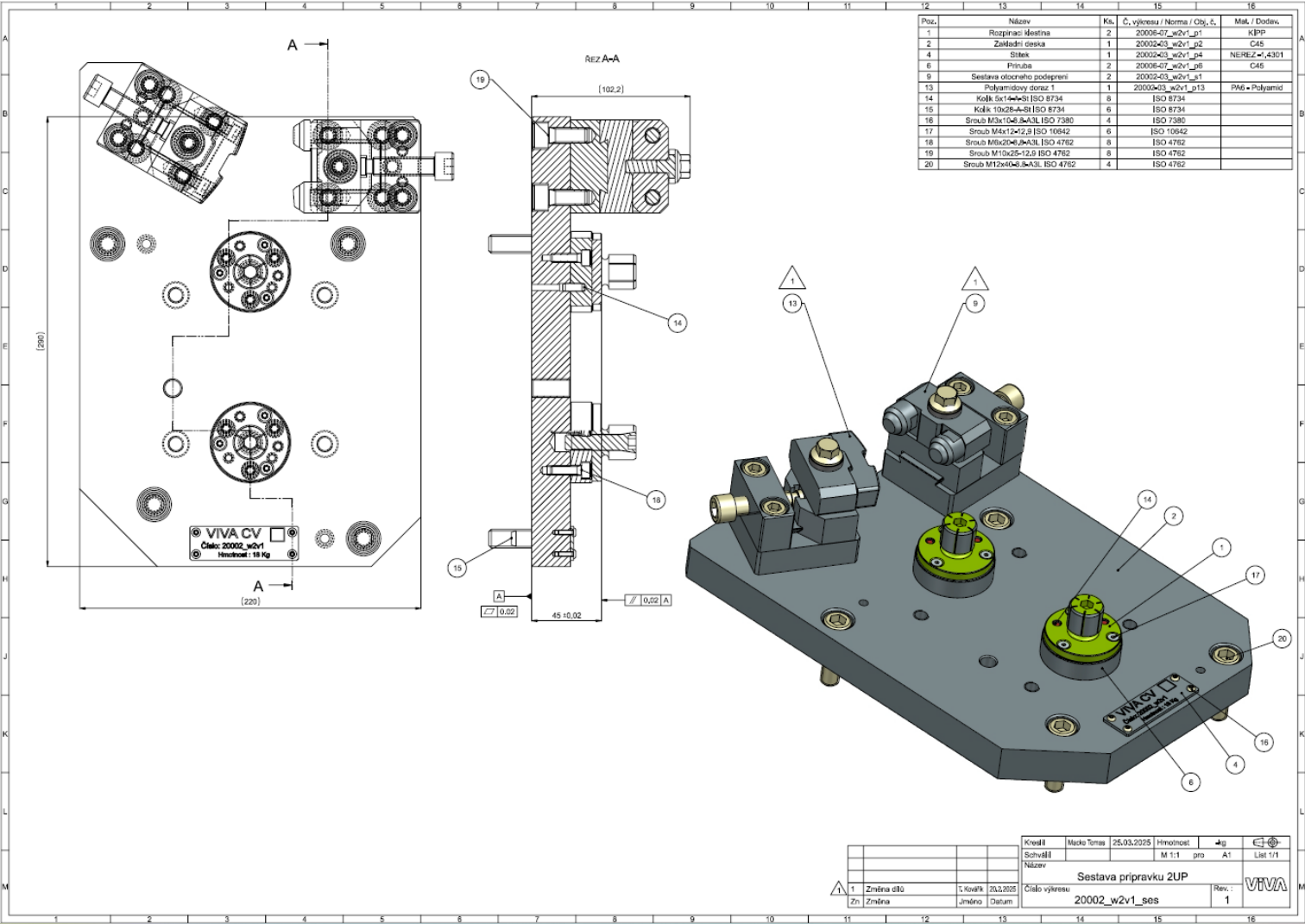
PŘÍLOHA P 11: ZAKLADNA PODEPRENI



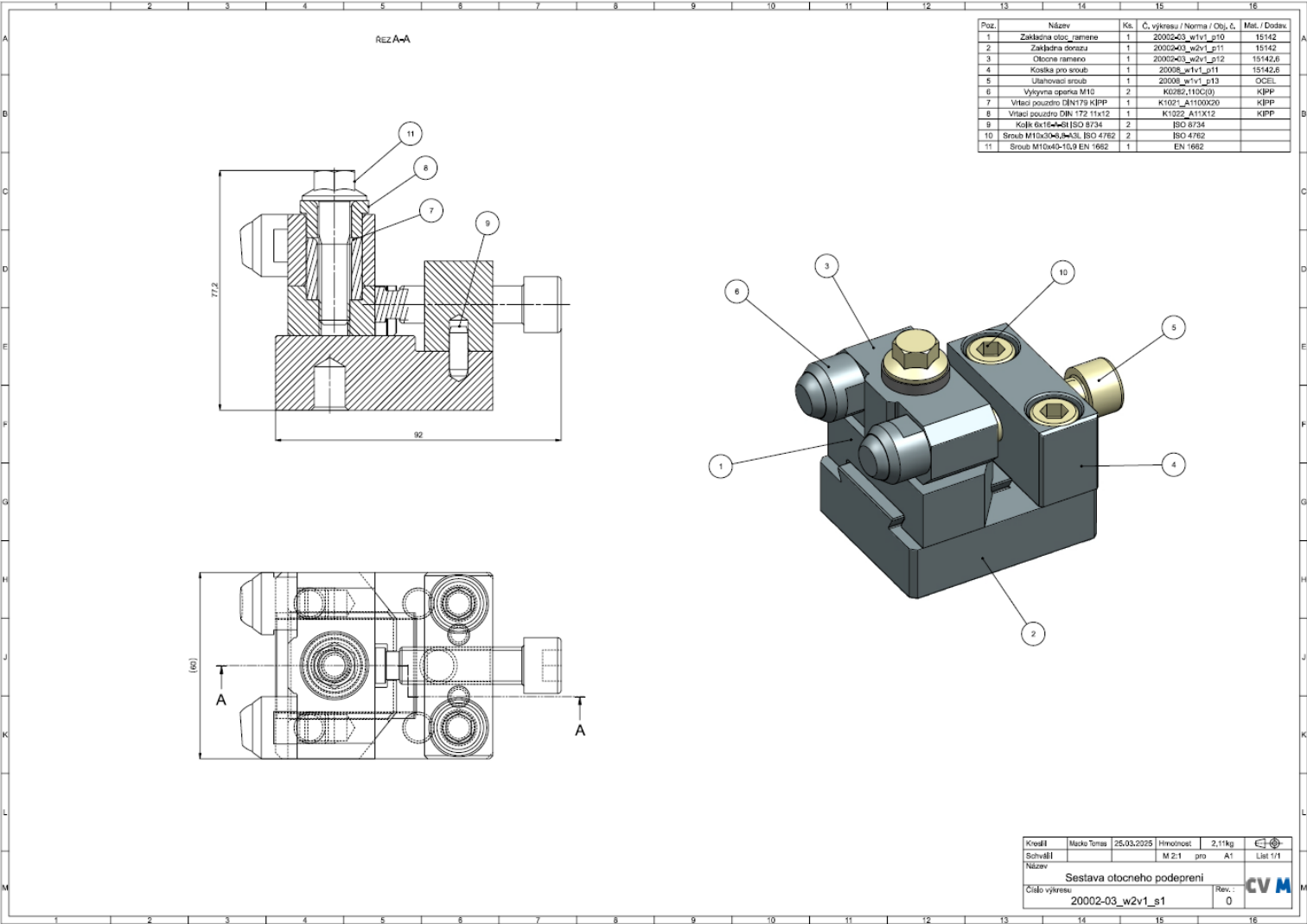
PŘÍLOHA P 12: TLACNY PRVEK



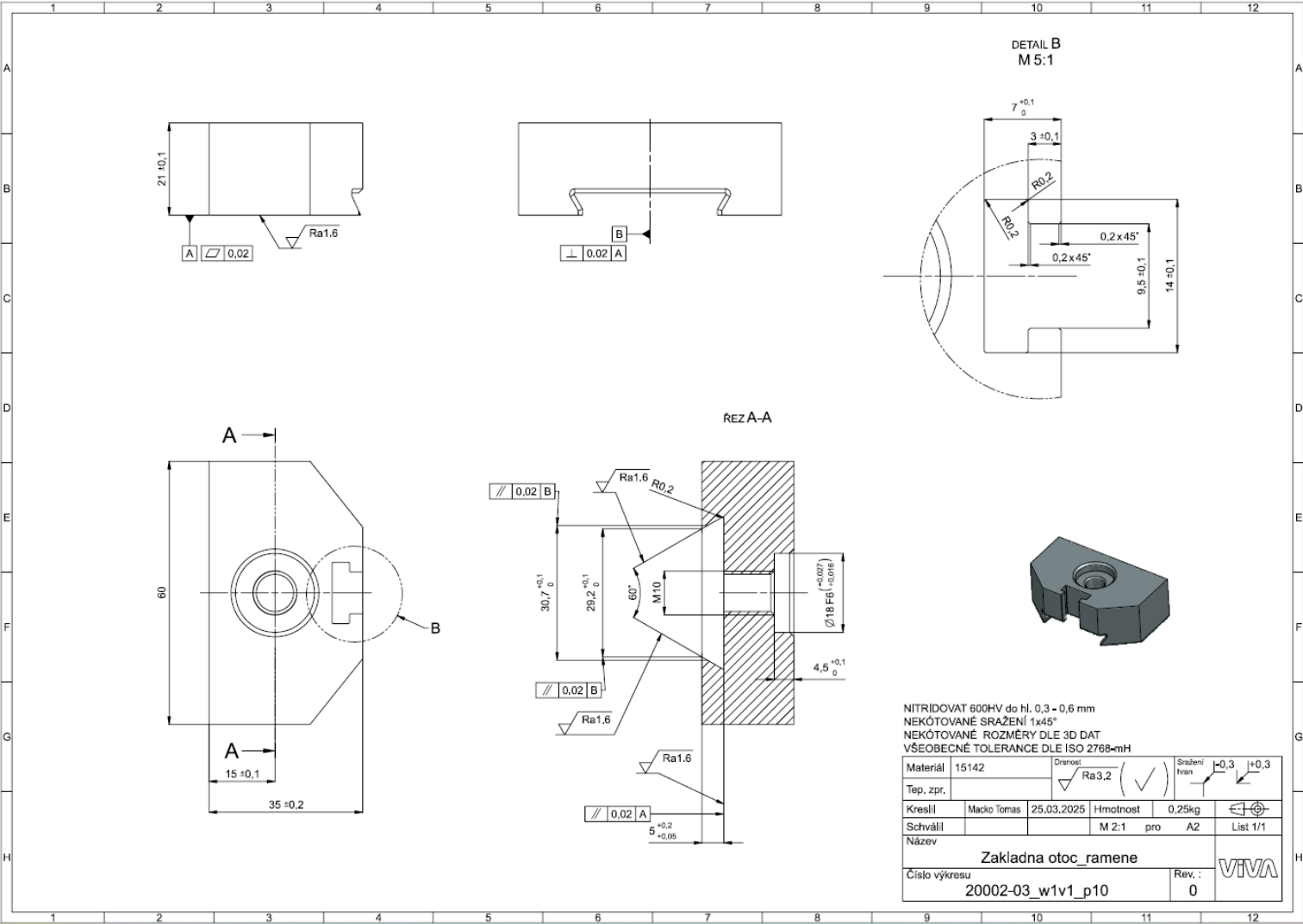
PŘÍLOHA P 13: SESTAVA PRIPRAVKU 2UP



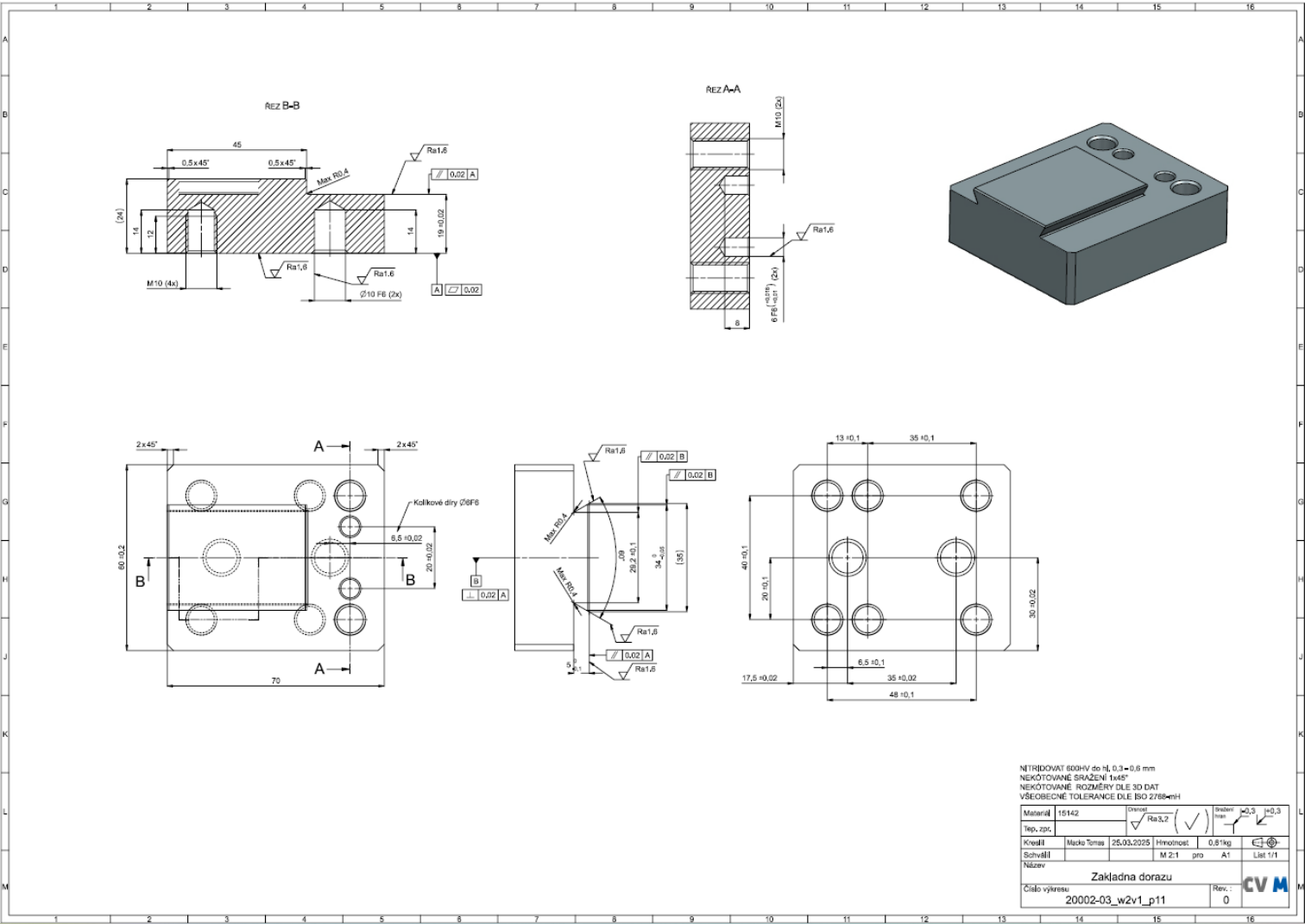
PŘÍLOHA P 14: SESTAVA OTOCNEHO PODEPRENI



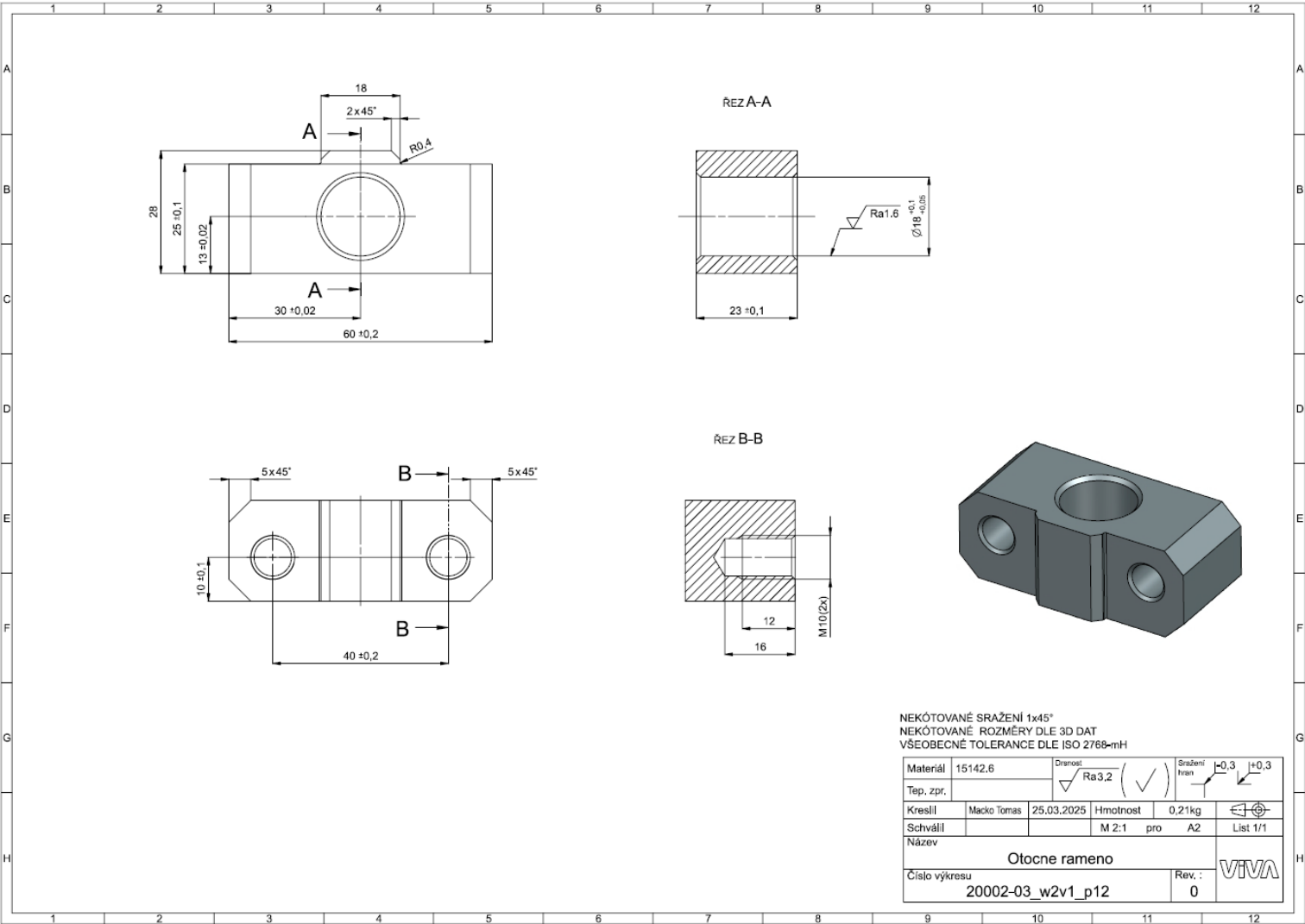
PŘÍLOHA P 15: ZAKLADNA OTOC_RAMENE



PŘÍLOHA P 16: ZAKLADNA DORAZU



PŘÍLOHA P 17: OTOCNE RAMENO



PŘÍLOHA P 18: POLYAMIDOVÝ DORAZ 1

