

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace těla AEP převodovky s využitím technologičnosti konstrukce

Optimizing the body of the AEP gearbox using construction technology

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Autor bakalářské práce: Josef Kiselica

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kiselica**

Jméno: **Josef**

Osobní číslo: **501438**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**

Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimalizace součásti s využitím technologičnosti konstrukce

Název bakalářské práce anglicky:

Technologicity of construction based part optimization

Pokyny pro vypracování:

Pro vybranou součást proveďte analýzu konstrukce a následnou úpravu konstrukce tak, aby vyhovovala z hlediska technologičnosti konstrukce .

Proveďte:

- 1) přiblížení pojmu technologičnost konstrukce a jejích zásad,
- 2) analýzu stávající konstrukce s ohledem na známé problémy i potenciálně možné,
- 3) navrhnete nový tvar včetně výrobního postupu,
- 4) dle možností proveďte simulaci výroby, nebo výrobu optimalizované součásti,
- 5) zhodnoťte navržené řešení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Tomíček, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Optimalizace těla AEP převodovky s využitím technologičnosti konstrukce“ vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů. Prohlašuji, že tato práce je přesnou kopií odevzdané elektronické verze.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 05.08.2024

.....

Josef Kiselica

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D. za umožnění zpracovat dané téma bakalářské práce, za cenné rady a za odborné vedení během její tvorby. Také bych chtěl poděkovat svojí rodině za zázemí a podporu při studiu na vysoké škole.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce s tématem „Optimalizace těla AEP převodovky s využitím technologičnosti konstrukce“ se zabývá návrhem konstrukčních úprav těla převodovky pro airsoftový samopal a její následnou výrobou na tříosé frézce. Vše za využití základů technologičnosti konstrukce. Práce obsahuje rešerši na téma technologičnost konstrukcí. Dále se zabývá sportem zvaným airsoft a fungováním airsoftových replik zbraní a rozdělením druhů pohonů těchto pušek. Praktická část obsahuje analýzu původní konstrukce převodovky a následné návržení konstrukce nové v CAD prostředí Solid Edge 2023. Nové tělo převodovky obsahuje několik konstrukčních změn, které mají zajistit její obrobitelnost na tříosé frézce a celkovou vyšší životnost. V praktické části je také v CAM prostředí Fusion 360 navržena výroba. Na konci práce jsou zhodnoceny výrobní a ekonomické aspekty návrhu nové konstrukce.

Klíčová slova

Technologičnost konstrukce, airsoft, převodovka, CAD, CAM

ABSTRACT

This bachelor's thesis titled "Optimizing the body of the AEP gearbox using construction technology" focuses on designing modifications to the gearbox housing for an airsoft submachine gun and its subsequent production on a three-axis milling machine. The work leverages the principles of design for manufacturability. The thesis includes a literature review on the topic of design for manufacturability. It also covers the sport of airsoft, the functioning of airsoft gun replicas, and the classification of different propulsion systems used in these guns. The practical part involves an analysis of the original gearbox design followed by the development of a new design in the CAD environment Solid Edge 2023. The new gearbox housing incorporates several design changes aimed at ensuring machinability on a three-axis milling machine and enhancing overall durability. The practical section also includes the manufacturing plan developed in the CAM environment Fusion 360. The thesis concludes with an evaluation of the manufacturing and economic aspects of the new design proposal.

Keywords

Technological construction, airsoft, gearbox, CAD, CAM

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
1 ÚVOD	10
2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE	11
2.1 Úvod do technologičnosti konstrukcí.....	11
2.2 Obecné zásady technologičnosti konstrukce z pohledů obrábění.....	11
2.2.1 Náklady na výrobu.....	11
2.2.2 Pracnost výroby	12
2.2.3 Materiál součásti a polotovar	13
2.2.4 Polotovar na minimalizace obrábění.....	14
2.2.5 Sériovost výroby	15
3 AIRSOFT.....	16
3.1 Historie	16
3.2 Druhy pohonu.....	17
3.2.1 Manuální pohon.....	17
3.2.2 Pohon na stlačený plyn	18
3.2.3 Elektrický pohon	19
4 TĚLO PŘEVODOVKY HNACÍHO ÚSTROJÍ	22
4.1 Zatížení konstrukce	22
4.1.1 Výpočet síly hnací pružiny.....	22
4.2 Stávající konstrukce	22
4.2.1 Popis konstrukce	23
4.2.2 Defekty na konstrukci	24

4.2.3	Simulace zatížení konstrukce.....	25
4.3	Návrh nové konstrukce.....	28
4.3.1	Optimalizace konstrukce pro výrobu	28
4.3.2	Technické zlepšení nové konstrukce	36
4.3.3	Zhodnocení návrhu nové konstrukce.....	40
5	NÁVRH VÝROBNÍHO PROCESU.....	41
5.1	CNC stroje a jejich využití	41
5.2	CAM/CAM systémy	41
5.3	Obrábění pomocí CAM Fusion 360.....	42
5.3.1	Příprava modelu konstrukce.....	42
5.3.2	Volba nástrojů.....	44
5.3.3	Program výroby	46
6	Analýza výrobního postupu a vyhodnocení	58
6.1	Vyhodnocení výrobního postupu	58
6.2	Požadavky na výrobní stroj.....	60
6.3	Vyhodnocení ekonomického hlediska.....	61
7	ZÁVĚR.....	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	66

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

GBB – gas blow back

NBB – non blow back

CAD – computer aided design

CAM – computer aided manufacturing

ROF – rate of fire

AEG – airsoft electric gun

AEP – airsoft electric pistol

Kč – Koruna česká

FS – Fakulta strojní

RPM – otáčky za minutu

L_0 – délka pružiny v klidu [mm]

L_s – délka pružiny stlačené [mm]

L_ϵ – délka pružiny činná [mm]

m_z – hmotnost zatížení pružiny [kg]

g – tíhové zrychlení

v_c – řezná rychlost [$\text{mm} \times \text{min}^{-1}$]

s_{min} – posuv minutový [mm min^{-1}]

D – průměr dané rotující frézy v záběru [mm]

n – otáčky dané frézy [$\text{o} \times \text{min}^{-1}$]

z – počet zubů dané frézy

1 ÚVOD

Tématu této bakalářské práce jsem se rozhodl věnovat proto, že airsoft jako sport je jeden z mých koníčků. Spíš, než samotné hraní je pro mě zajímavá část stavění airsoftových replik. Při stavbě hojně využívám zkušenosti z práce v CAD programech a z 3D tisku. Jádrem každé repliky, kterou sestavím, je její pohon, mezi nejrozšířenější patří ten elektrický. Jsem mimo jiné i fanouškem českého zbrojního průmyslu, zejména pak České Zbrojovky. Mé zájmy se setkaly u repliky československého samopalů Škorpion vz.61. Ta využívá speciální podtyp převodovky elektrického pohonu. Převodovky tohoto typu jsou typické nízkou životností a nezvládají snášet zatížení výkonnějších vnitřních dílů. Díky tomu není možné s původní konstrukcí převodovky dosáhnout kompetičních výkonů, což odráží množství hráčů od jejich použití.

Motivací této práce je navrhnout převodovku, která snese zvýšené zatížení, jenž jí umožní dosáhnout vyšší ústřové rychlosti těchto replik.

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE

Cílem této práce je návrh a výroba nové konstrukce převodovky Airsoft repliky, tak aby lépe splňovala technologičnost konstrukce. Je tedy třeba se seznámit s pojmem technologičnost konstrukcí.

2.1 Úvod do technologičnosti konstrukcí

Technologicky vhodná konstrukce je konstrukce, která kromě základních požadavků na funkčnost splňuje i požadavky z pohledu výroby (nízké výrobní náklady, nízká pracnost, nízká hmotnost, zvolení optimálního materiálu, sériovost výroby) a jejího použití (snadná obsluha, snadná montáž ale i demontáž a údržba). Nejedná se tedy pouze o vhodnost konstrukce z pohledu výroby samotné, ale i dalších aspektů. [1; 1; 2]

Protože je technologičnost konstrukcí velmi komplexní pojem zahrnující technické, ekologické a ekonomické aspekty, některé mohou působit protichůdně, je třeba pokaždé najít ideální kompromis, nicméně rozhodující jsou výrobní náklady na realizaci výrobku, při splnění požadavků na funkční vlastnosti konstrukce.[1]

2.2 Obecné zásady technologičnosti konstrukce z pohledů obrábění

Obecně platí, že zásady technologičnosti konstrukce se vztahují ke konvenčním obráběcím strojům, a i k numericky řízeným obráběcím strojům.

2.2.1 Náklady na výrobu

Jednoznačně platí, že hlavní faktor udávající cenu výrobku jsou náklady na výrobu. Tyto náklady by však měly být také rozšířeny o náklady na údržbu, opravy a ideálně i o náklady na recyklovatelnost. Jedná se o faktory, které by měl

upřednostňovat sám zákazník, protože případné náklady právě na údržbu a opravy mohou v budoucnu výrazně výrobek prodražit. Pokud se nejedná o výrobek na zakázku, hlavní slovo má konstruktér.

Například pokud zákazník žádá o konstrukci, která bude umístěna do korozního prostředí, vyplatí se danou konstrukci vyrobit z hliníkové slitiny nebo nerezové oceli. Výrobní náklady sice vzrostou, ale náklady na údržbu, povrchovou úpravu, prakticky odpadnou. Celkové náklady takovéto konstrukce budou po dobu její životnosti nižší ve srovnání s konstrukcí z nekorozivzdorné oceli.[1]

Také je třeba zdůraznit spojitost mezi výrobními náklady a velikostí série. Některé z technologií výroby mají nízké náklady na výrobu, ale dosahují nízké produktivity. Může tomu být ale i naopak, kdy při vysoké produktivitě dochází k vysokým výrobním nákladům.[2]

2.2.2 Pracnost výroby

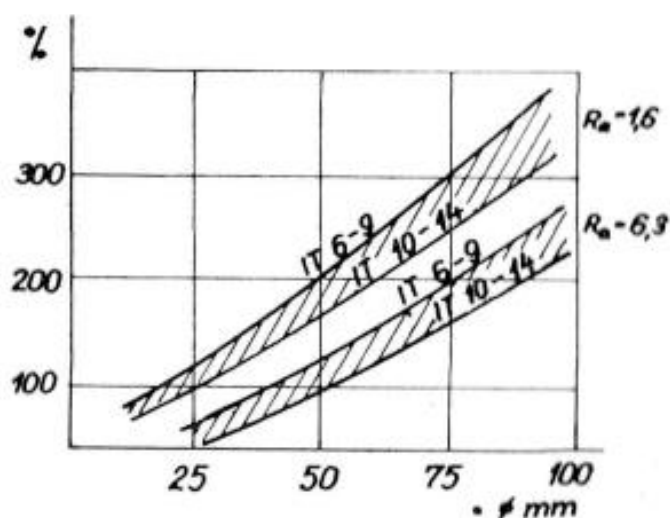
Nízký čas na výrobu může být v souladu se snahou o nízké výrobní náklady. Díky různorodosti výrobních procesů a jejich provozním nákladům tomu však tak být nemusí, a proto význam tohoto kritéria je až za kritériem výrobních nákladů. Pracnost tedy není rozhodujícím kritériem při posuzování technologičnosti konstrukce.

Pracnost výroby udává několik faktorů:

- Velikost
- Hmotnost
- Složitost tvarových ploch
- Požadavky na povrchové úpravy

Pracnost výrazně roste se složitostí konstrukce.

Právě špatně předepsané kvalitativní požadavky na drsnost, texturu, rozměry, a přesnost výroby jsou jedním ze základních problémů pracnosti výroby. Mnohdy k tomu dochází chybou konstruktéra, který stanoví požadavky na povrch, které neberou v potaz funkci konstrukce. Pracnost, a tak i výrobní náklady rostou se zvyšujícími se požadavky na kvalitu progresivně.[1]



Obrázek 1. - Závislosti relativní pracnosti na požadovaném R_a při soustružení hřídelů. [1]

2.2.3 Materiál součásti a polotovar

Určení vhodného materiálu je jedním ze základních kroků technologičnosti konstrukcí. Volba vhodného materiálu je kompromisem více faktorů. Snažíme se o nejnižší cenu, a to včetně výrobních nákladů při zachování požadavků na konstrukci a její funkčnost. Je třeba myslet na vhodnost materiálu pro následující technologické operace, hmotnost nebo třeba i dostupnost voleného materiálu. Neplatí však, že volba nejlevnějšího materiálu je nejvýhodnější. Například konstrukce z materiálů s vyšší pevností v tahu bude, v porovnání

s materiálem s nižší pevností v tahu, mít menší rozměry a díky tomu klesne spotřeba daného materiálu.

Při konstrukčním návrhu obvykle vzniká více možných alternativních řešení. Pokud nelze již od začátku posoudit, které řešení by bylo lepší. Je třeba všechny alternativní návrhy řešit a poté posoudit, který návrh je lepší na základě kalkulace ceny.

Důležitým faktorem při volbě materiálu je, jak už bylo zmíněno, jeho obrobiteľnosť. I přes to, že dnešními technologiemi lze většinu materiálů obrábět, některé technologie mohou mít velmi vysoké náklady. Výběrem dobře obrobiteľného materiálu dojde ke zkrácení výrobních časů a tím ke snížení výrobních nákladů. I tak je snaha o minimalizaci obráběcích operací, toho lze docílit například vhodnou volbou polotovaru součásti.[1]

2.2.4 Polotovar na minimalizace obrábění

Mezi základní polotovary pro strojírenskou výrobu patří například: vývalek, odlitek, výkovek, svařenec nebo výlisek a jsou dodávány ve formě tyčí, desek, trubek, úhelníku atd.

I tak většinou není druh polotovaru jednoznačně dán. Je snaha zvolit polotovar tak, aby následný celkový objem odebraného materiálu byl co nejmenší, to následně povede k nižším výrobním nákladům, které se projevují nejvíce při sériové výrobě. Při volbě polotovaru, je třeba také brát v potaz technologickou vybavenost výroby podniku, ve kterém se bude polotovar obrábět. Technické vybavení výroby a technologické profese zaměstnanců hrají důležitou roli ve výběru. Podnik musí být schopný s daným polotovarem pracovat.

Pokud se jedná o podnik se zavedenou výrobou konstrukcí ze svařenců, byla by volba polotovaru odlitku krátkozraká.

„Z hlediska spotřeby materiálu je obecně nejvýhodnější takový polotovar, jehož tvar a rozměr se co nejvíce přibližuje tvaru hotové součástky.“ [1]

Při návrhu tvarově složitých součástí stojí za zamyšlení, zda by nešlo součást rozdělit na více tvarově jednodušších dílů.[1]

2.2.5 Sériovost výroby

Sériovost je dalším z klíčových hledisek při návrhu výrobku. Rozdíl mezi sériovou výrobou a výrobou kusovou jsou v přístupu ke konstrukci. Vzhledem k tomu, že pro sériovou výrobu platí velké množství kusů a výroba přípravků, je každý ušetřený náklad, například volbou vhodného polotovaru nebo snížením strojního času, nezanedbatelný. Oproti kusové výrobě se k té sériové musí přistupovat s větším detailem a intenzitou.[1]

3 AIRSOFT

Airsoft je sport, ve kterém hráči po sobě střílejí plastovými kuličkami o průměru 6 mm z přesných replik reálných střelných zbraní. Jedná se o sport založený na fair play. Pokud je hráč zasažen, musí zásah přiznat. V České republice mohou vlastnit airsoft repliku osoby starší 18 let. Repliky nepodléhají registraci[3][4]

3.1 Historie

Airsoft byl vynalezen v 70. letech v Japonsku. Skutečné střelné zbraně jsou v Japonsku v následku poválečných restrikcí silně regulovány a pro civilisty prakticky nemožné je vlastnit. Mezi Japonským obyvatelstvem však zůstal zájem o střelné zbraně, vojenský výcvik. To postupně vedlo ke vzniku sportu v podobě, jak ho známe dnes.[3]

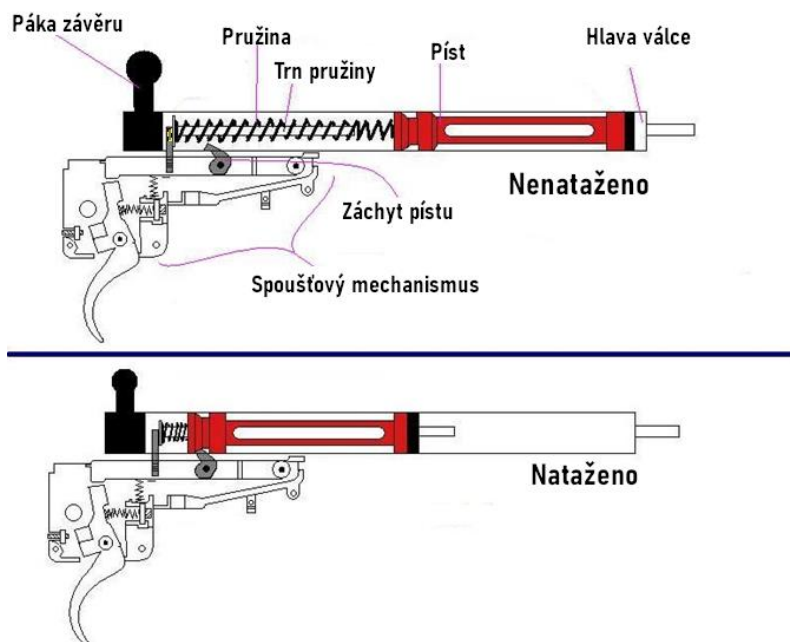
První repliky vznikaly pro potřeby sběratelů a dětí. Jednalo se o nestřílejší repliky, které musely být sestaveny, podobně jako tomu je u plastikových modelů. V první polovině 70. let. se začaly objevovat první jednoduché repliky, které byly schopné vystřelit, podobně jako u vzduchovky, pomocí pružinou stlačeného vzduchu plastové projektily. V 80. letech se prosadil standard plastových projektilů ve formě plastových kuliček o průměru 6 mm. Vedle manuálních pružinových zbraní se začaly objevovat první repliky poháněné na stlačený plyn. Na začátku 90. let Japonská firma Tokyo Marui představila první elektricky poháněnou airsoft zbraň. Tento systém se postupně stal nejrozšířenějším druhem pohonu. [4; 5]

3.2 Druhy pohonu

Airsoft repliky se dělí do několika kategorií. Pro tuto práci je relevantní dělení dle principu pohonu. Princip pohonu, který uvádí projektil do pohybu lze rozdělit na manuální, plynový a elektrický pohon.

3.2.1 Manuální pohon

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější konstrukci. Tento princip pohonu lze najít u zbraní pro začátečníky a také u pokročilých replik odstřelovacích pušek s pákovým mechanismem nebo brokovnic. Princip mechanismu se podobá vzduchovkám, kde před každým výstřelem je třeba mechanismus tzv. „natahnout“. To znamená stlačit pružinu pístu za záchyt spoušťového mechanismu. Po zmáčknutí spouště se stlačená pružina s pístem uvolní a stlačením vzduchu ve válci předá projektilu kinetickou energii.[4]



Obrázek 2 - Schéma principu manuálního pohonu.[6]

3.2.2 Pohon na stlačený plyn

Repliky na stlačený plyn se dají dělit na několik dalších podkategorií. Nicméně všechny fungují na bázi expanze plynu, který je v kapalně fázi uchován v tlakové láhvi buď v těle zbraně, zásobníku nebo externí nádrži.

3.2.2.1 Systém bez imitace zpětného rázu

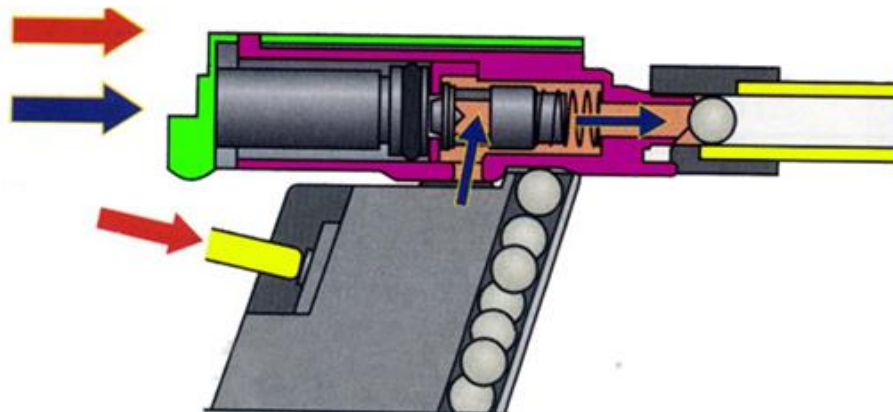
Systém bez imitace zpětného rázu (NBB – non blow back). Jedná se o elektronicky řízené plynové systémy, které využívají pneumatického solenoidu řízeného řídicí jednotkou. Řídicí jednotka má na starost dávkovat přesnou dávku upuštěného plynu, a i rychlost resetu celého mechanismu. Tento systém je velmi efektivní a dosahuje velmi vysokých hodnot ROF. Na druhou stranu ale neposkytuje pocit realistického zpětného rázu.[4; 6]

3.2.2.2 Systém s imitací zpětného rázu

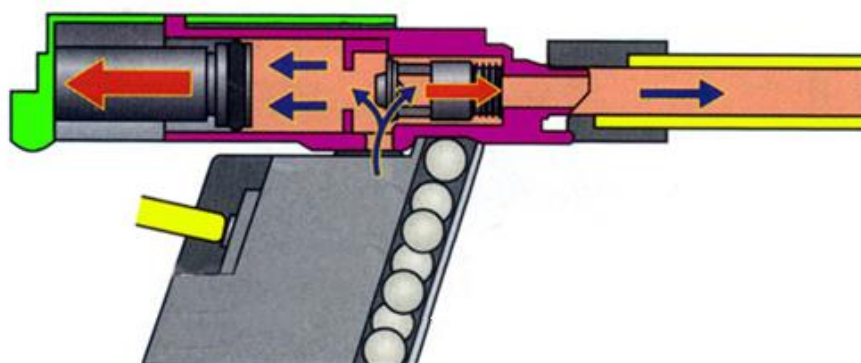
Systém s imitací zpětného rázu (GBB – gas blow back). GBB systém je specifický tím, že při výstřelu současně dochází k pohybu imitace závěru, který tak nabíjí další projektil ze zásobníku. Tyto repliky mají zpravidla realistický spoušťový mechanismus a zároveň i rozborku zbraně. Repliky se systémem GBB se v porovnání s jinými druhy pohonů airsoftových zbraní nejvíce přibližují reálným předlohám. Protože je celý chod řízen čistě mechanicky a část stlačeného plynu je kromě k akceleraci projektilu využívána i na tvorbu zpětného rázu, je tento systém poměrně neefektivní. Ke ztrátám dochází třením a úniky mezi několika spoji, které nemusí dostatečně těsnit.

Princip funkce spočívá v tom, že určitá obdoba úderníku udeří ventil nádržky se stlačeným plynem. To vede k uvolnění plynu, který žene projektil hlavní, dokud nedojde k překlopení klapky a plyn není přeměřován k resetu celého

mechanismu. Tento druh pohonu je nejčastěji k vidění u airsoftových replik pistolí a prémiových replik dlouhých pušek. [4; 6]



Obrázek 3 – Schéma GBB systému během výstřelu. [6]



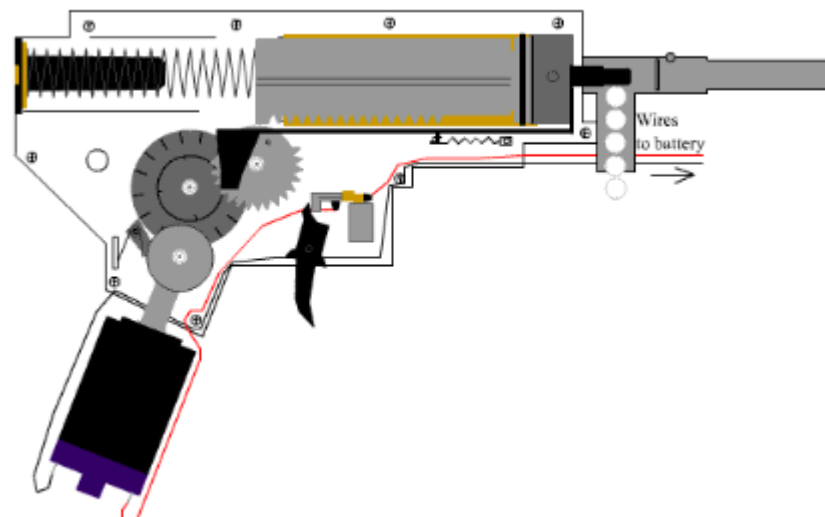
Obrázek 4 – Schéma GBB systému po výstřelu. [6]

3.2.3 Elektrický pohon

Nedostupnější druh pohonu airsoftových replik je elektrický pohon (AEG – airsoft electric gun, případně AEP – airsoft elektrik pistol). Jedná se o nejuniverzálnější druh pohonu, který lze v různých variacích nalézt ve velkém množství replik. Většina variací AEG systémů používá standardizované

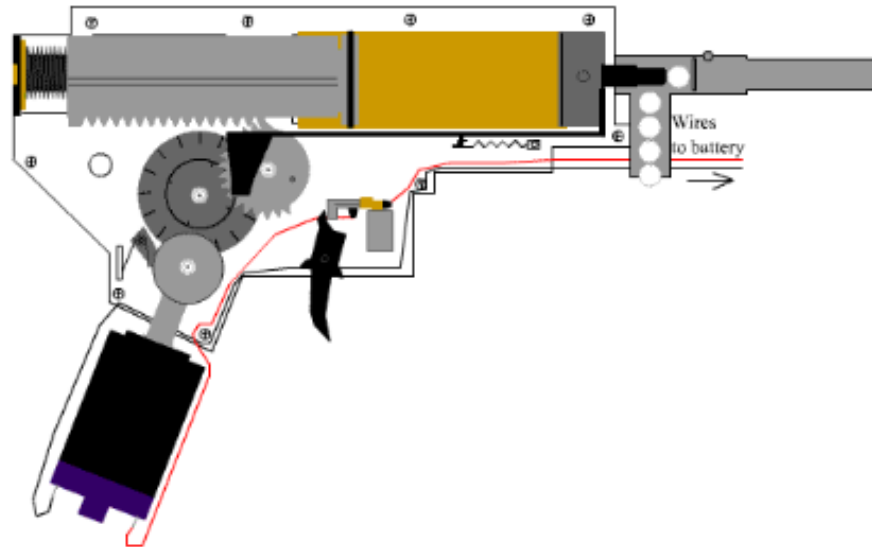
díly. Tyto systémy jsou levné, efektivní a v kombinaci se řídicí jednotkou i velmi versatilní. Nevýhodou je, že celý systém je poměrně komplikovaný. [4; 6]

Celý systém je sestaven uvnitř těla převodovky (celý hnací systém se obecně nazývá „gearbox“ s přídomkem dané verze[5]), které obsahuje válec s pístem, hnací pružinu, trysku, ramínko trysky, převodové ústrojí, spoušťový mechanismus, motorek a několik dalších drobných dílů. Po sepnutí spoušťového mechanismu dojde k napájení motorku, ten skrz převodové ústrojí, většinou tři ozubených kol, natahuje ozubený píst a stlačuje tak pružinu.



Obrázek 5 - Schéma AEG systému s nestlačenou pružinou. [6]

Na ozubeném sektorovém kole, které je v kontaktu s pístem chybí v daném sektoru ozubení. To vede k tomu, že píst ztratí s kolem v daný moment kontakt. Pružina poté tlačí píst kupředu a tlačí před sebou vzduch, který následně žene projektil z hlavně. Po výstřelu opět dojde ke kontaktu pístu a sektorového kola a celý proces se opakuje, dokud nedojde k rozpojení kontaktů[4; 5]



Obrázek 6 - Schéma AEG systému se stlačenou pružinou.[6]

Danou variací tohoto systému jsou AEP převodovky určené pro repliky malých samopalů a pistolí do kterých se díky jejich malému tělu nevejde plnohodnotná AEG převodovka. AEP převodovky jsou výrazně menší než AEG. Používají zmenšené atypické díly, a díky tomu dosahují znatelně nižších výkonů, i když objem válce může být v některých případech srovnatelný s AEG. [5]

Tato bakalářská práce se zabývá zlepšením konstrukčního řešení těla AEP převodovky, aby bylo možné dosáhnout větších výkonů.

4 TĚLO PŘEVODOVKY HNACÍHO ÚSTROJÍ

Tělo převodovky (Gearboxu) je jádro celého pohonu airsoftových replik. V tomto případě se jedná o AEP variantu určenou pro repliky typu Škorpion vz. 61, MP7 a podobné malé samopaly.[6]

4.1 Zatížení konstrukce

Celá konstrukce je zatěžována dopady pístu, který je tlačěn pružinou o dané síle. Dopady pístu jsou tlumeny polštářem, který je tvořen stlačením vzduchu mezi hlavou pístu a projektilem, který ještě neopustil hlaveň. Toto platí pro původní i navrhovanou konstrukci.

4.1.1 Výpočet síly hnací pružiny

$$F = (m \times g) \times \left(\frac{L_0}{L_s}\right)$$
$$F = (5,1 \times 9,81) \times \left(\frac{57}{48,7}\right)$$
$$F = 58 \text{ N}$$

$$L_0 = 80 \text{ mm}; L_s = 48,7 \text{ mm}; L_c = 57 \text{ mm}; m_z = 5,1 \text{ kg}; g = 9,81 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

4.2 Stávající konstrukce

Původní design těla převodovky pochází z dílny značky Tokyo Marui. Tokyo Marui je japonská firma které se musí řídit lokální legislativou. Ta stanovuje maximální povolenou sílu airsoftových replik pouze na 0,98 Joule. Celá konstrukce je tedy řešena pro maximální legální ústřovou rychlost v Japonsku a technicky nezvládá případné větší výkony, které mohou být v mezích zákona

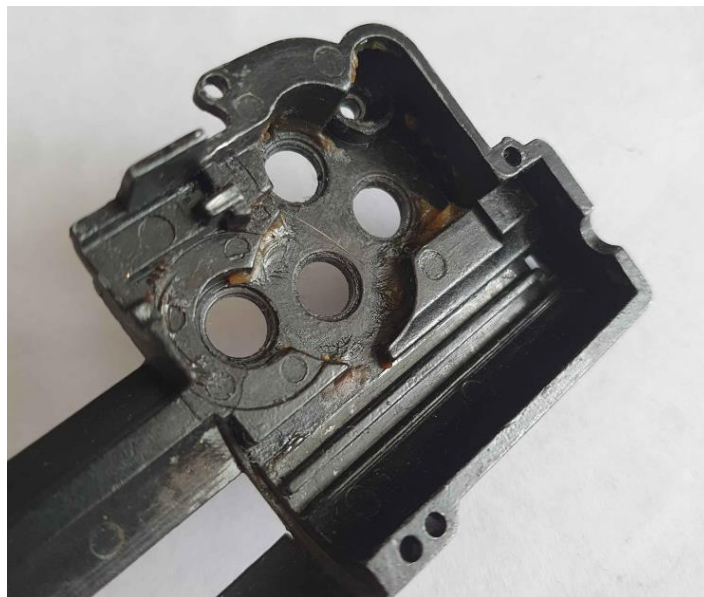
za hranicemi Japonska. Pro porovnání, v České republice se na oficiálních hřištích ústřední rychlost airsoftových zbraní pohybuje do 2,5 Joule.[4; 6; 7; 8]

4.2.1 Popis konstrukce

Originální konstrukce je soustava levé a pravé půlky převodovky, bočního úchytu motorku a drobného ramínka mechanismu, který staví výšku motoru vůči prvnímu ozubenému kolu. Všechny 3 díly těla převodovky (levá půlka, pravá půlka a boční úchyt motorku) jsou vyrobeny litím z blíže nespécifické slitiny zinku a hliníku. To, že se jedná o odlitky, naznačuje několik faktorů:

- Úkoslý na plochách a existence formovací roviny
- Stopy zanechané vyhazovačem
- Struktura lomu

Stopy po vyhazovači napovídají tomu, že odlité díly jsou vyráběny specificky pomocí tlakového lití, které se využívá zejména pro velkosériovou výrobu hliníkových a zinkových odlitků. [9]



Obrázek 7 - Viditelné stopy od vyhazovače

4.2.2 Defekty na konstrukci

Konstrukce má mnoho tenkých stěn. Některé stěny nejsou zakončeny zaoblením, ale ostrou hranou s viditelným počtem vrubů. V místech, kde došlo k fatálnímu selhání konstrukce je vidět, že odlitý materiál je značně porézní a obsahuje vzduchové bubliny. Na konstrukci lze dále najít stopy vnitřních pnutí, které se projevuje deformací rovných ploch.

Fatální selhání konstrukce nastalo hned v několika místech. Primární lom se stal na čele celé sestavy vlivem únavy materiálu a provozem. Svoji roly pravděpodobně hrála i kvalita odlitku samotného. K dalším lomům poté došlo v rámci manipulace a tím, že konstrukce jako celek byla oslabena lomem prvním. Místa lomů mají společné to, že se jedná o plochy s poměrně malým průřezem.



Obrázek 8 - Fatální poškození těla konstrukce s viditelným průřezem lomu



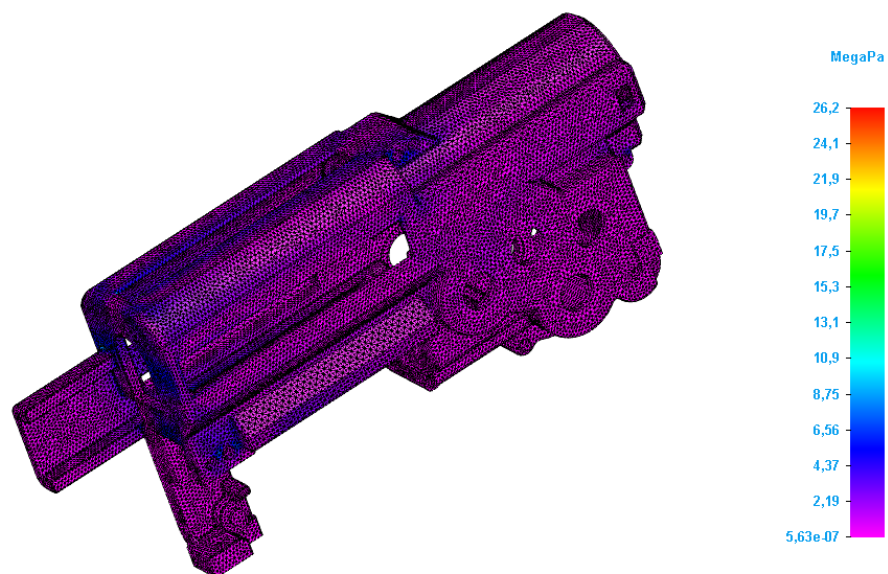
Obrázek 9 – Vruby na ostré hraně konstrukce převodovky

4.2.3 Simulace zatížení konstrukce

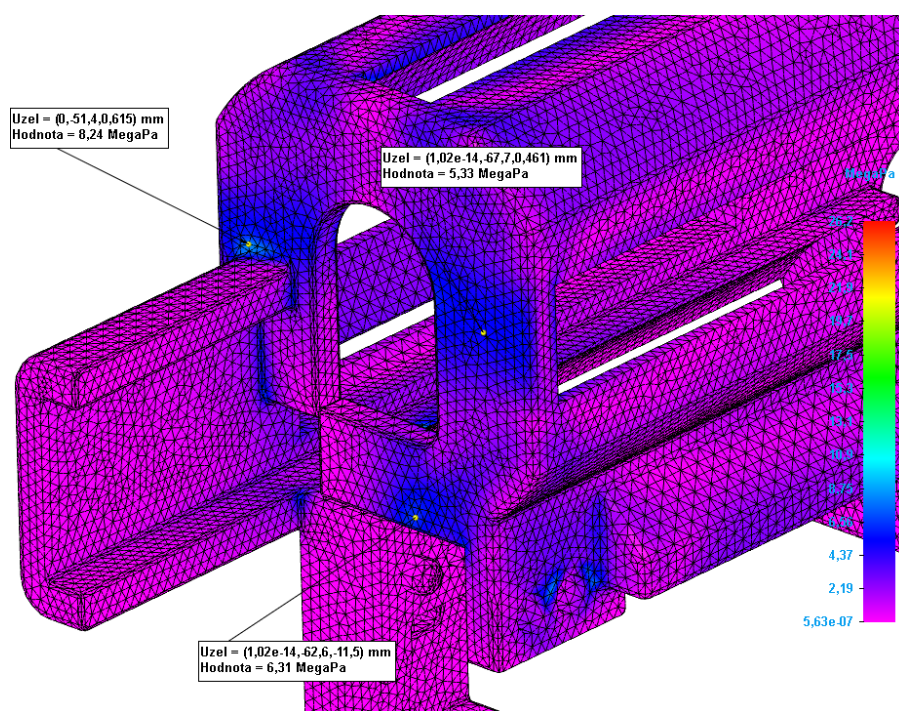
Zatížení bylo provedeno na digitální dvojici první konstrukce za účelem identifikovat potenciální riziková místa a porovnat je s poškozením, které vzniklo na existujících dílech původní konstrukce.

Simulace byla provedena v CAD software Solid Edge. Pro účel simulace byl konstrukci byl přidělen materiál Zamak 4. Zamak 4 je slitina hliníku, zinku a dalších prvků. Přední stěna konstrukce byla zatížena maximální dosažitelnou silou hnací pružiny a to 58 N.[10]

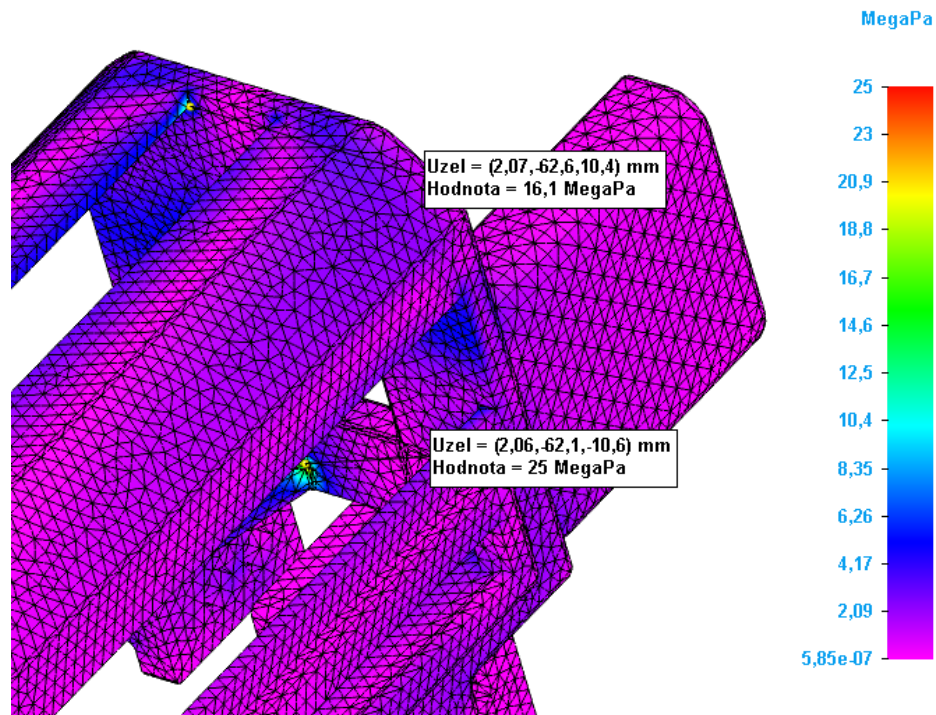
Redukované napětí se koncentruje v rozích konstrukce, převážně v přední části konstrukce. Na vnější ploše čela konstrukce je vidět, že dochází k akumulaci redukovaného napětí v místech, které mají tenkou stěnu, to je ale očekávané.



Obrázek 10 - Koncentrace redukovaného napětí v původní konstrukci převodovky



Obrázek 11 – Redukované napětí na vnější straně čela původní konstrukce.



Obrázek 12 - Redukované napětí na vnitřní straně čela původní konstrukce.

Nejvyšších hodnot redukovaného napětí na vnější straně čela, dosahuje zaoblení mezi čelem a výstupkem, viz obrázek 9. Tento výstupek je určen k vedení ramínka trysky a redukované napětí zde dosahuje 8,24 MPa. V horní části konstrukce dochází k hromadění napětí v ostrých rozích okénka pro válec. Tento jev je přítomen na obou půlkách konstrukce. Ve zmíněných rozích dosahuje velikost redukovaného napětí hodnoty 15,5 MPa. Nejvyšší hodnoty redukovaného napětí je dosaženo na vnitřní straně čela levé půlky převodovky, viz obrázek 10, zde redukované napětí dosahuje 26 MPa. Při porovnání simulace hromadění redukovaného napětí na simulované konstrukci převodovky a reálných dílech, je patrné, že k fatálnímu poškození došlo právě v místech, kde redukované napětí dosahuje vysokých hodnot.

4.3 Návrh nové konstrukce

Cílem této práce je zlepšit stávající konstrukci tak, aby splňovala nové požadavky. První okruh změn oproti původní konstrukci se týká způsobu výroby, místo toho, aby byly jednotlivé díly vyráběné litím, budou vyráběny pomocí frézování na tříosé frézce. Obrábění na tříosé frézce bylo vybráno proto, že oproti odlévání, kdy je třeba nákladně vyrobit licí formy, jsou pro obrábění nižší vstupní náklady. Lití se finančně vyplácí u velkosériové výroby, což není cílem pro tuto konstrukci. Dále můžeme volit materiály, které nejsou vhodné pro lití, ale nová konstrukce bude těžit z jejich vlastností. Druhý okruh změn se týká konstrukce z hlediska pevnosti. Cílem je nové tělo převodovky optimalizovat v oblasti kritických míst a zajistit tak, aby snesla vyšší zatížení. Nová konstrukce bude vyráběna kusově, nebo v malosériové výrobě do desítky kusů.

Materiál pro nové tělo převodovky jsem zvolil letecký dural EN AW 7075 T651, tento materiál je standard na trhu s high-end airsoft CNC díly díky dobré obrobiteľnosti a vysoké pevnosti. Cílem nové konstrukce je použití co nejnižšího počtu nástrojů a nejnižší počet upínacích operací.[11; 12]

4.3.1 Optimalizace konstrukce pro výrobu

Jak již bylo zmíněno, díly konstrukce převodovky budou vyráběny frézováním na tříosé frézce. Z hlediska technologičnosti konstrukce je cílem dosáhnout co nejvíce zjednodušené konstrukce převodovky, aby celkové náklady na výrobu byly minimální při zachování funkčnosti konstrukce. Jednotlivé úpravy jsem postupně provedl ve čtyřech hlavních iteracích nové konstrukce. Dané úpravy byly provedeny napříč iteracemi, proto jsou z důvodu přehlednosti rozřazeny do následujících podkategorií:

- Snížení počtu dílů sestavy konstrukce
- Zjednodušení tvaru a zajištění obrobiteľnosti

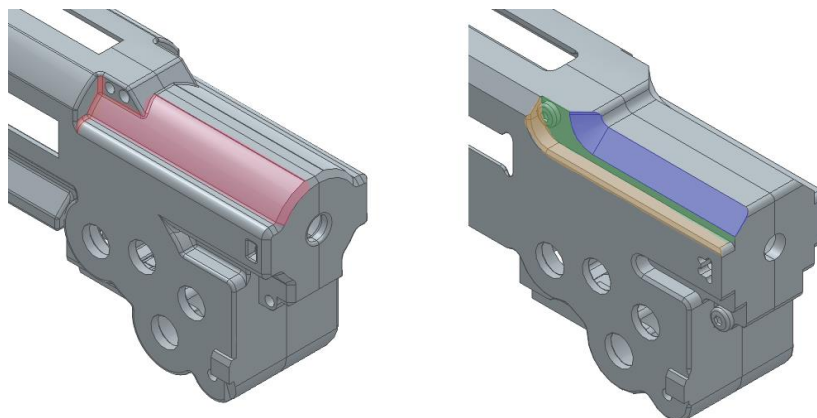
- Unifikace rozměrů

4.3.1.1 Snížení počtu dílů sestavy konstrukce

Původní konstrukce se skládá ze čtyř dílů, při zanedbání spojovacích prvků, a to z levé půlky převodovky, pravé půlky převodovky, bočního úchyty motoru a drobného ramínka, které staví pozici motoru vůči prvnímu ozubenému kolu. V rámci zjednodušení je ze sestavy odstraněn komplikovaný mechanismus nastavení umístění motoru. Tento mechanismus je nahrazen stavěcím šroubem po vzoru motorových klecí V3 AEG převodovek. Kromě snížení počtu hlavních dílů soustavy z původních čtyř na tři, došlo také ke značnému zjednodušení obráběné geometrie.

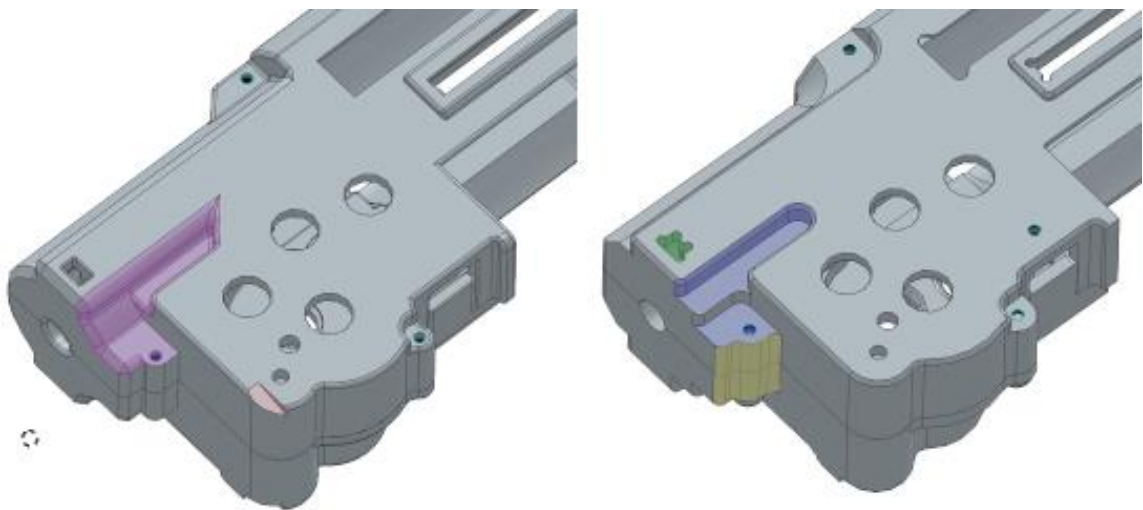
4.3.1.2 Zjednodušení tvaru a zajištění obrobitelnosti

První sekce, která vyžaduje úpravu geometrie kvůli obrobitelnosti na tříosé fréze, je zadní horní část převodovky. Geometrie původní konstrukce se skládá z válcové plochy, na kterou navazuje kolmo zkosení a několik vnitřních rohů s velmi malými rádiusy. Tato geometrie není obrobitelná v rámci vybraných parametrů, a proto byly provedeny následující úpravy.



Obrázek 13 – Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 1.

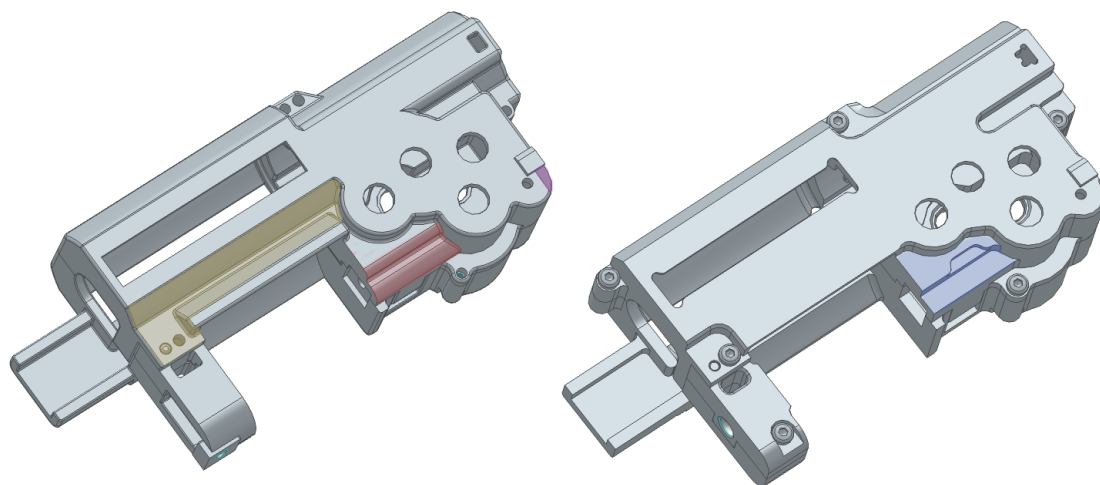
Došlo k odstranění většiny rádiusů (zobrazeno červeně viz Obrázek 13), místo s dírou pro šroub, která drží obě půlky konstrukce pohromadě, bylo rozšířeno tak, aby došlo k napojení na roh vnější plochy vodící ližiny pro píst (zobrazeno zeleně a žlutě viz Obrázek 13). Tvarová válcová plocha na původní konstrukci (zobrazeno červeně viz Obrázek 13) byla nahrazena obdélníkovou geometrií se zkosením na její horní hraně tak, aby imitovala původní půdorys válce (zobrazeno červeně viz Obrázek 13).



Obrázek 14 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 2.

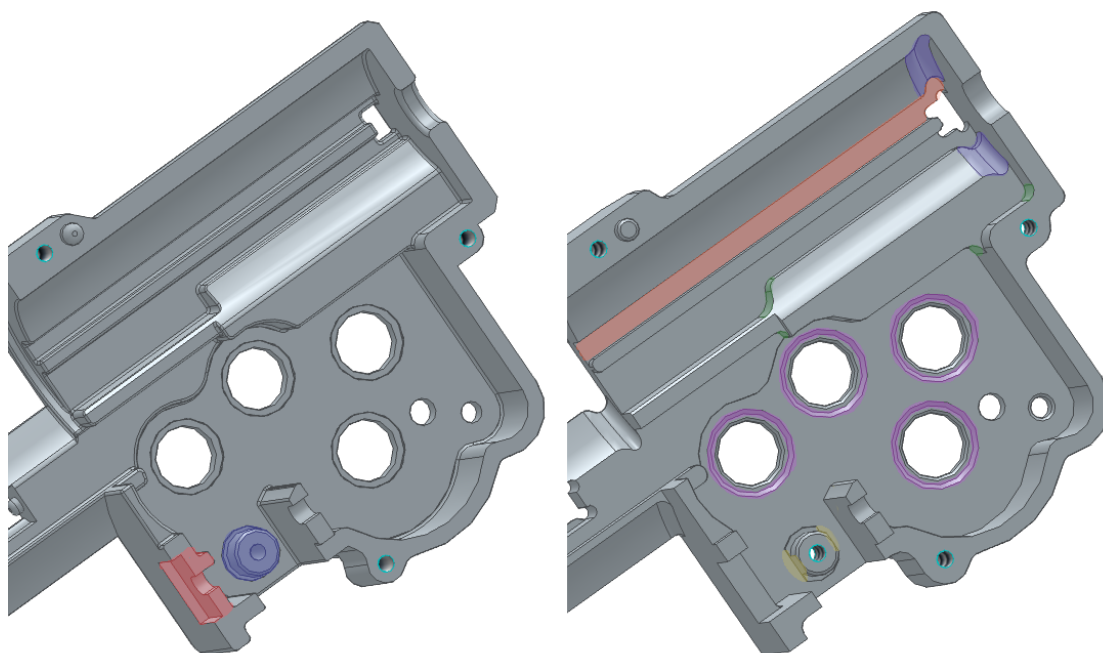
Druhá upravená sekce se nachází na boku levé a pravé půlky převodovky. Došlo k úpravě okénka, které zajišťuje polohu trnu pružiny. Okénko na nové konstrukci je nyní vyrobitelné tak, aby nástroj nezanechával zaoblené rohy, které by vedly ke kolizi s existujícím trnem (zobrazeno zeleně viz Obrázek 14). Oblast pod pístem (zobrazeno růžově viz Obrázek 14) byla výrazně zjednodušena. Válcová tvarová plocha a její okolí bylo odstraněno a ve dvou hloubkách nahrazeno jednoduchou geometrií, která imituje tvar původní konstrukce (zobrazeno modře viz Obrázek 14). Zaoblení v okolí šroubového spoje pod prostorem trnu pružiny byla doplněna a sjednocena tak, aby bylo místo možné obrobit jedním nástrojem (zobrazeno žlutě viz Obrázek 14). V neposlední řadě byl ubrán úkos ve spodní části

převodovky. Neplní totiž žádnou funkci, která by ovlivnila funkčnost konstrukce (zobrazeno oranžově viz Obrázek 14).



Obrázek 15 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 3.

Třetí sekce úprav se nachází na levé půlce převodovky. Zde došlo k odstranění dvou velkých zaoblení, která nebyla dle stanovených požadavků vyrobitelná (zobrazeno červeně viz Obrázek 15). Tyto plochy nahradila jednoduchá geometrie bez zaoblení, s kapsou, aby nedocházelo ke kolizi s táhlem již existujícího spoušťového mechanismu (zobrazeno modře viz Obrázek 15). Pod okénkem pro válec byla zaplněna kapsa, čímž došlo ke snížení množství obráběného materiálu a tím i vyztužení konstrukce v této oblasti (zobrazeno žlutě viz Obrázek 15).

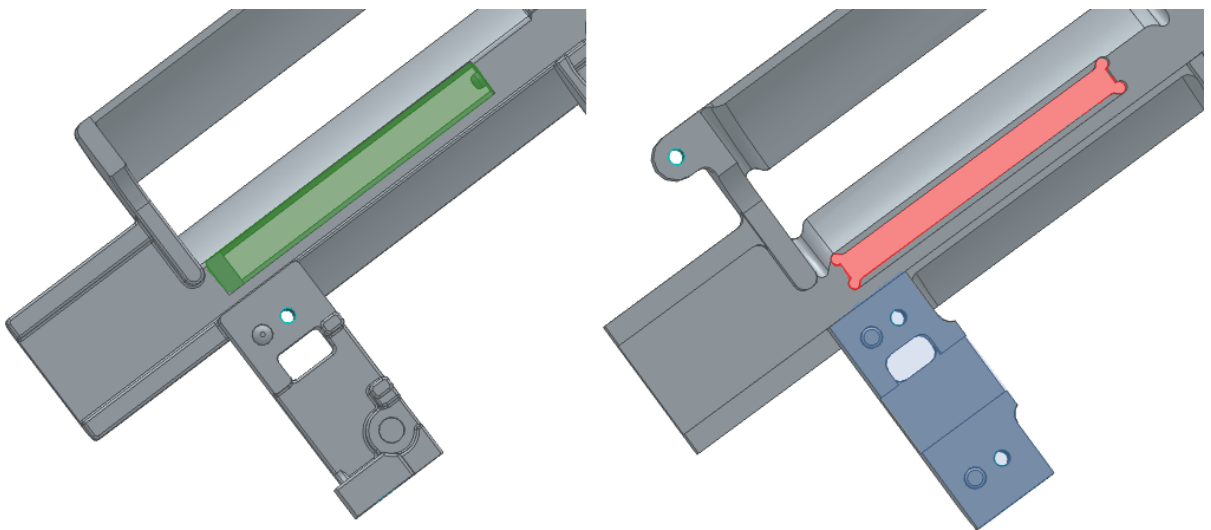


Obrázek 16 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 4.

Čtvrtá sekce úprav se nachází na zadní vnitřní straně převodovky. Zde došlo v první řadě k úpravě rohů válcových tvarových ploch v okolí trnu pružiny. Jíž zmíněné válcové tvarové plochy budou vyráběny kulovou frézou nebo válcovou frézou se zaoblenou špičkou. Nástroj z válcové plochy plynule přejde do křivky jakéhosi zápichu (zobrazeno fialově viz Obrázek 16) tak, aby v původních rozích nezůstával materiál definován poloměrem nástroje. Tato úprava je společná pro obě půlky převodovky. Okolí otvorů pro ložiska, na levé i pravé půlce, bylo také lehce upraveno. Na horní hrany otvorů bylo přidáno zaoblení tak, aby došlo k zpřístupnění zkosení na spodní hraně otvorů i nástrojům s větším poloměrem (zobrazeno růžově viz Obrázek 16). Upraven byl i prostor nad vodící ližinou pístu. Zde byl prostor zvětšen, aby byla plocha obrobitelná nástrojem s větším poloměrem (zobrazeno oranžově viz Obrázek 16).

Specifické úpravy pro pravou půlku se poté týkaly následujících změn. Domek pro uchycení přerušovacího ramínka na původní konstrukci (zobrazeno modře viz Obrázek 16) byl upraven tak, aby bylo možné projet nástrojem mezi stěnou

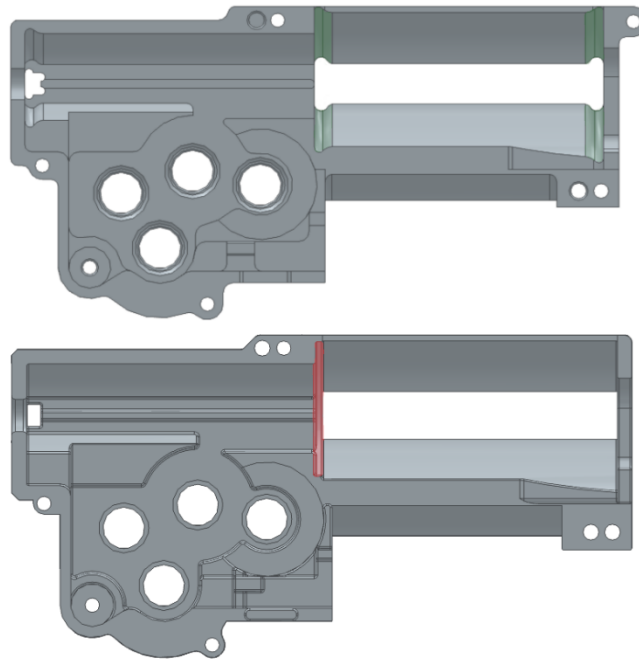
převodovky a zmíněným domkem. Takto provedené ubrání domku nenarušuje jeho funkčnost (zobrazeno žlutě viz Obrázek 16). Obrys čtvercového okénka, zde je usazen pružný plíšek, který předpíná elektrický motorek (zobrazeno červeně viz Obrázek 16), byl protažen skrz stěnu převodovky. Došlo tím k odstranění kontaktního bodu s osičkou motorku. Tato změna neovlivní funkčnost konstrukce. Pozice osičky motorku je dána pevně uchyceným motorkem a kontaktním bodem s konstrukcí na konci osičky. Zmíněné okénko bývá běžně protaženo skrz stěnu i u některých verzí původně lité konstrukce.



Obrázek 17 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 5.

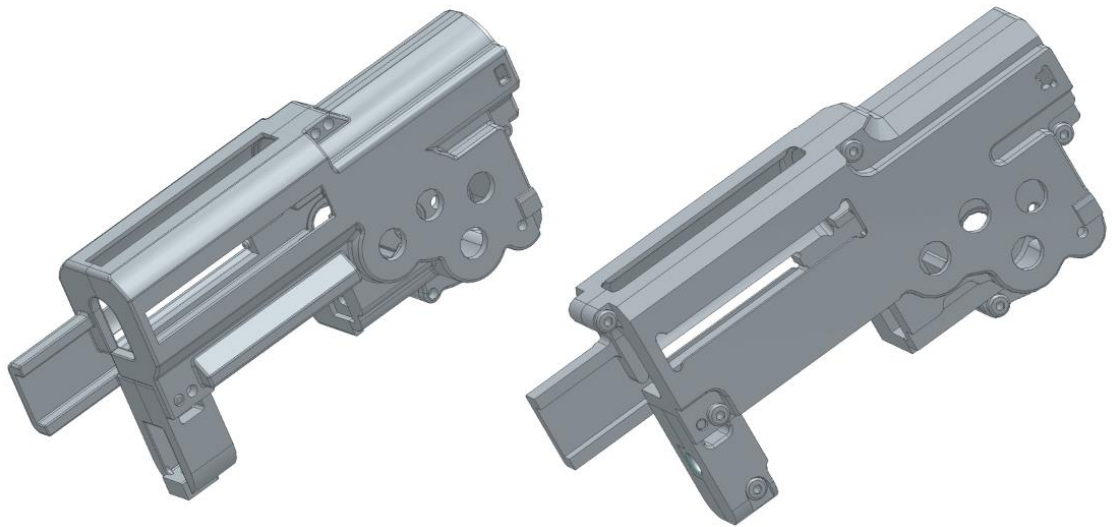
Pátá sekce se týká přední části pravé půlky převodovky (zobrazeno zeleně viz Obrázek 17). Prvním problematickým tvarem, který není obrobitelný na tříosé frézce, je kapsa pro vratnou pružinku ramínka trysky. Komplikované jsou zde ostré rohy a existence trnu pružiny. Vzhledem k tomu, že pružina je z jedné strany na místě držena stěnou převodovky a na druhé straně pomocí ramínka trysky, se konstrukce obejde bez trnu vratné pružinky. Proto jsem trn z nové konstrukce odebral. Ostré rohy, stejně jako několikrát u podobných sekcí, byly řešeny tím, že nástroj projede hlouběji do rohu (zobrazeno červeně viz Obrázek 17). Díky tomu v kapse nezůstane materiál, který by v rozích jinak zůstal díky

podstatě frézy. Jak jsem již zmiňoval, na pravé půlce převodovky také došlo ke zjednodušení uchycení motorku. Kromě toho, že došlo ke snížení dílů konstrukce, došlo také k vyřešení problému s obrobiteľnosťí. Původní konstrukce by byla dle stanovených požadavků neobrobiteľná. Nová konstrukce (zobrazeno modře viz Obrázek 17) obrobiteľná je.



Obrázek 18 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 6.

Šestou obráběnou sekcí je okolí, které obepíná válec mechanismu. Na původní konstrukci se nachází ostré rohy bez zaoblení a jsou tudíž nevyrobiteľné. Dále se zde nachází schodek z vnějšího průměru válce na jeho průměr vnitřní (zobrazeno červeně viz Obrázek 18). Tento schodek byl na nové konstrukci odstraněn. Zmíněné rohy byly na nové konstrukci (zobrazeno zeleně viz Obrázek 18) vyřešeny stejně jako velmi podobná oblast mezi zadní stranou konstrukce a válcové kapsy pro píst (zobrazeno fialově viz Obrázek 16). Řešení spočívá v tvorbě zápichu tak, aby nedošlo ke kolizi s ostrým rohem válce, který dosedá na vnitřní stranu čela konstrukce. Tyto změny se týkají levé i pravé půlky převodovky.



Obrázek 19 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 7.

Sedmá sekce se pak týká celé konstrukce. V rámci těchto úprav jsem řešil zaoblení rohů z původní konstrukce. Protože je původní konstrukce odlitá nachází se zaoblení z technologických důvodů na většině vnitřních a vnějších hranách. Pro obrábění na tříosé frézce je existence zaoblení, pokud nejsou určeny k tomu, aby byl výrobek obrobitelný nebo nejsou vyžadována z ergonomického hlediska, nepotřebná a zbytečně navyšuje strojní čas.

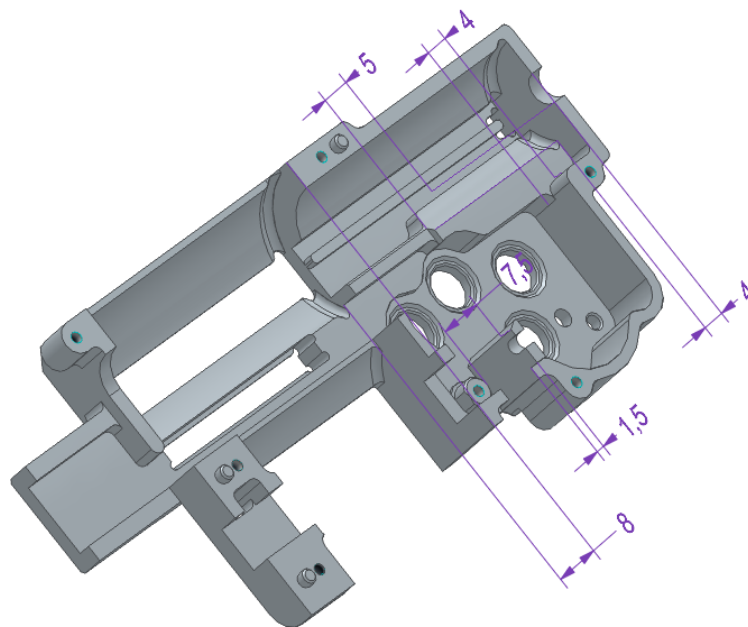
Na svislých plochách bylo třeba doplnit rádiusy do ostrých vnitřních rohů. Tam, kde se rádiusy již nacházely, musely být zvětšeny tak, aby byly obrobitelné plánovaným nástrojem (zobrazeno žlutě viz Obrázek 14). Minimální poloměr zaoblení vnitřních rohů nesmí být menší než poloměr frézy. Zaoblení hran ploch kolmých na nástroj bylo odstraněno. V některých případech bylo toto zaoblení nahrazeno zkosením, a to z důvodu eliminace ostrých hran a také z vizuálních důvodů.

4.3.1.3 Unifikace rozměrů

Unifikace rozměrů hraje podstatnou roli. Dobře unifikované rozměry snižují počet potřebných nástrojů. Menší počet nástrojů potřebných k výrobě znamená

rychlejší výrobu, která plyne z toho, že nedochází například k výměně nástrojů. Méně nástrojů také znamená nižší náklady na výrobu. Snaha snížit počet nástrojů by ale neměla ovlivňovat efektivitu obrábění.

Na nové konstrukci jsem unifikoval zaoblení vnitřních rohů a ploch (zobrazeno oranžově viz Obrázek 16 nebo žlutě viz Obrázek 14) tak, aby byly obrobitelné frézou o průměru 2 mm. Stejně tak jsem upravil u kapes, které to umožňovaly, hloubku na násobky 0,5 mm. Díky této úpravě dojde k zefektivnění obrábění hrubováním při práci v CAM softwaru.

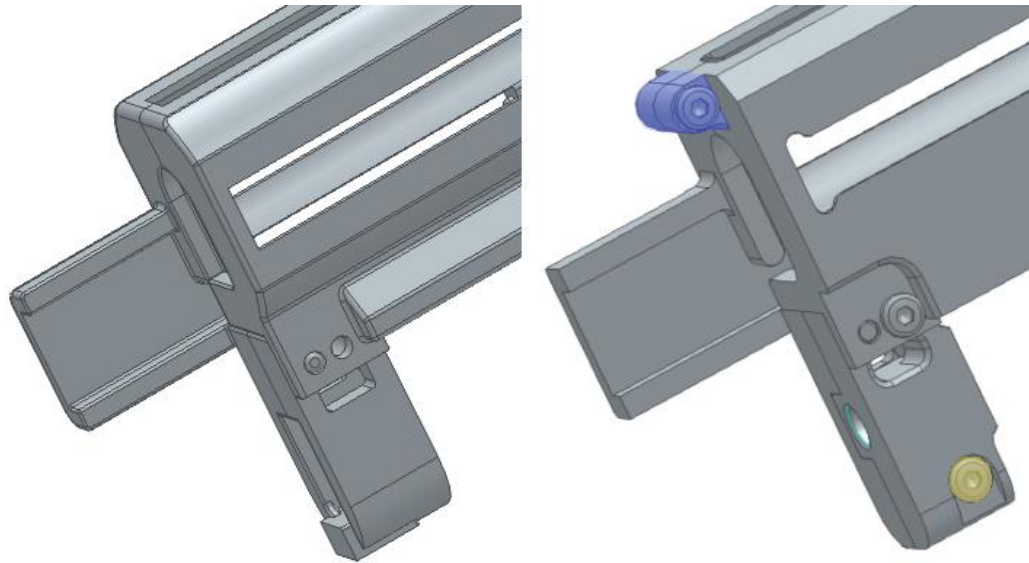


Obrázek 20 - Znázornění unifikace hloubky kapes v násobcích 0,5 mm.

4.3.2 Technické zlepšení nové konstrukce

Do této kategorie spadají úpravy, které se přímo netýkají zajištění obrobitelnosti. Tyto úpravy mají za cíl zlepšit fungování konstrukce jako celku.

4.3.2.1 Přidání spojovaných bodů



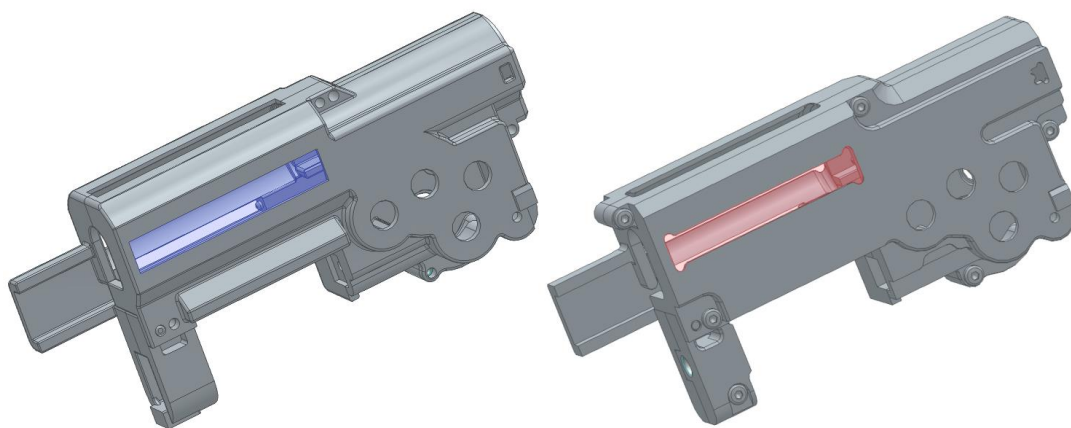
Obrázek 21 – Porovnání staré a nové konstrukce, domek šroubu na čele konstrukce.

Přidání spojovacích prvků povede ke zpevnění a lepšímu zarovnání dílů konstrukce. Na čelní straně je levá a pravá půlka původní konstrukce spojena pouze ve spodní straně, kde dochází i ke spojení druhé půlky úchytu motorku. První spoj jsem přidal v rámci šroubového domku na horní stranu čela obou hlavních půlek převodovky (zobrazeno modře viz Obrázek 21). Druhým přidaným šroubovým spojem je šroub na spodní straně úchytu motorku. Díky tomu, že dojde k přidání druhého šroubového spoje do části uchycení motorku, bude motorek pevněji a přesněji uchycen a zarovnán vůči prvnímu ozubenému kolu mechanismu. Právě kontakt mezi motorkem a prvním kolem bývá nejvíce problematický.

4.3.2.2 „Rádusování“ rohů převodovky

Takzvané „rádusování“ převodovky pro airsoft, je operace, při které dojde k odbroušení nebo odvrtání kritických rohů, aby nedocházelo k šíření nebo tvorbě trhlin. Technicky se jedná o druh zápichu. Někteří výrobci mají v dnešní

době tuto technickou úpravu již zakomponovanou do designu převodovky. Tato technická úprava prodlužuje životnost konstrukce a dovoluje jí snášet větší zatížení. [13; 12]



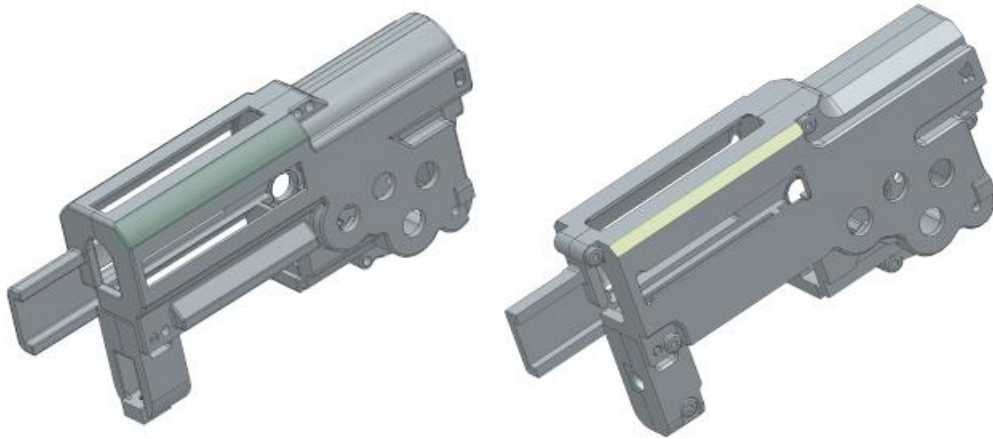
Obrázek 22 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 8.

Ke zmíněné úpravě došlo na levé i pravé půlce převodovky. Původní obdélníkový tvar s nijak neupravenými vnitřními rohy (zobrazeno modře viz Obrázek 22) byl přetvořen na nové konstrukci tak, aby v rozích okénka pro válec byly vytvořeny kruhové zápichy s navazujícím zaoblením, oba prvky mají poloměr o velikosti 1 mm. Kromě toho, že tento druh zápichu pomůže rozložit koncentraci v rozích, dojde i k čistějšímu napojení zápichů na koncích vnitřních ploch kapsy pro válec (zobrazeno fialově viz Obrázek 16) s vnější boční plochou konstrukce.

4.3.2.3 Zesílení konstrukce převodovky

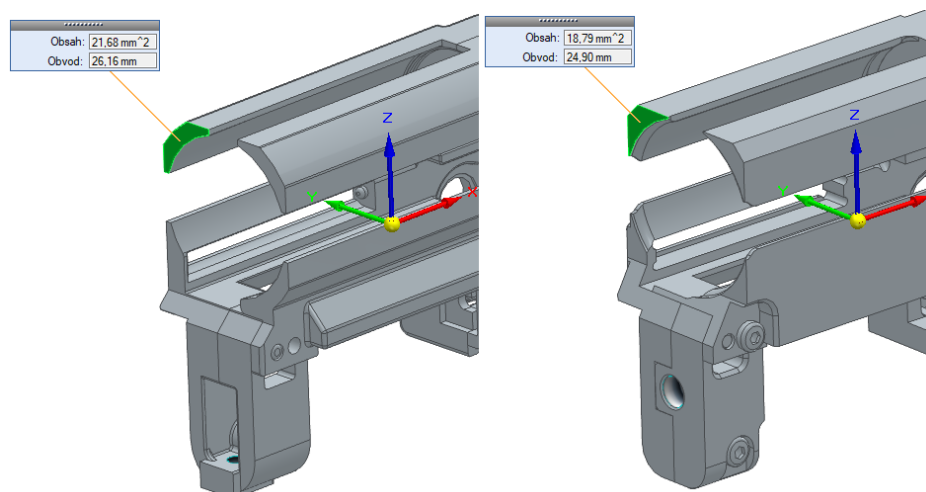
Provedení zápichů, jak na vnitřních, tak i vnějších plochách, vede na nové konstrukci k odebrání materiálu v místech, kde tomu v porovnání s původní konstrukcí nebylo. Zde je ideální opět nějaký materiál přidat. Původní válcová plocha (zobrazeno zeleně viz Obrázek 23) byla odstraněna. Poté byla nahrazena zkosenou plochou (zobrazeno zeleně viz Obrázek 23), tím bylo dosaženo

tlustší stěny v porovnání s původní konstrukcí. Menšího zkosení, potažmo větší tloušťky stěny, nelze použít, protože by docházelo ke kolizi s tělem repliky, do které celý mechanismus pasuje.



Obrázek 23 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 9.

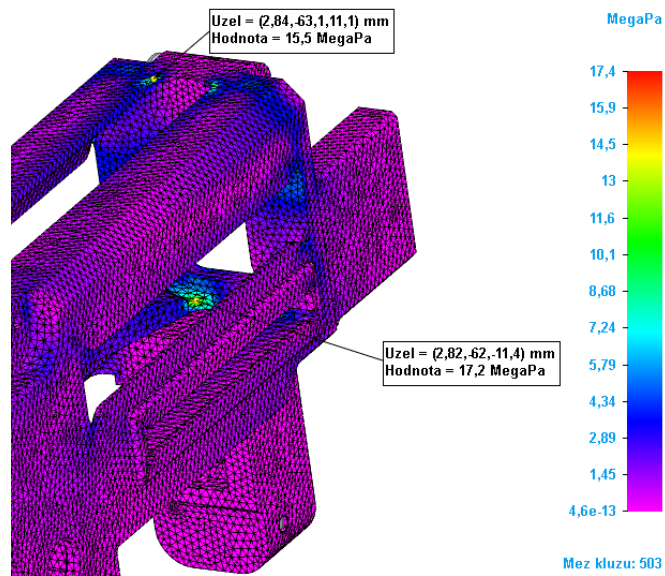
I po přidání materiálu je plocha průřezu, v nejužších místech na nové konstrukci v porovnání s konstrukcí starou, menší. To je zapříčiněno zápichy na vnitřních plochách kapsy válce, které se zde nacházejí, aby bylo možné konstrukci vyrobit dle zvolených požadavků.



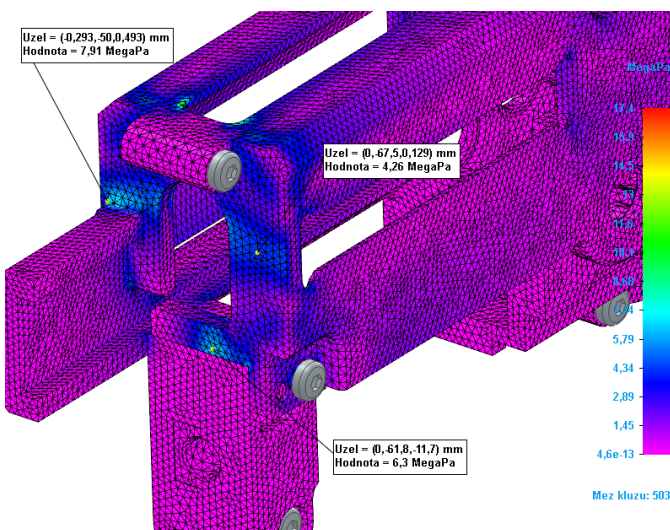
Obrázek 24 - Porovnání staré a nové konstrukce, obsah ploch čela.

4.3.3 Zhodnocení návrhu nové konstrukce

Na nové konstrukci došlo v porovnání s konstrukcí starou ke snížení redukovaného napětí. Nově zvolený materiál je několikanásobně pevnější než původní zinko-hliníková slitina. Díky konstrukčním a technologickým úpravám bude nová konstrukce vyhovovat zamýšlenému použití více, než konstrukce původní. A to převážně díky tomu, že snese větší zátěž. [12]



Obrázek 25– Redukované napětí na vnější straně čela nové konstrukce.



Obrázek 26 – Redukované napětí na vnější straně čela nové konstrukce.

5 NÁVRH VÝROBNÍHO PROCESU

5.1 CNC stroje a jejich využití

Číslicově řízené výrobní stroje jsou charakterizovány tím, že jednotlivé pracovní funkce stroje jsou ovládány jeho řídicím systémem. Řídicí systém stroj řídí dle spuštěného programu.[14]

5.2 CAM/CAM systémy

Výroba tvarově složitých součástí na CNC strojích vyžaduje komplexní NC kód, která je možné vytvořit několika způsoby. Nejefektivnější způsob tvorby NC kódu je skrz CAD/CAM systémy. Na rychlost tvorby výrobního programu má vliv i to, že dochází k převzetí digitálních dat z 3D modelu, nebo 2D výkresu konstruktéra. Rychlejší výroba vede k rychlejšímu obratu zakázek, rychlejší obrat zakázek je jedním z ukazatelů prosperity podniku. Některé složité programy je v podstatě nemožné programovat ručně, většinou jde o tvarově složité plochy jako například formy pro lití, formování nebo vstřikování plastů. To ovšem neznamená, že CAD/CAM systémy jsou universálním řešením pro každou situaci. Ruční programování bývá stále výhodnější pro geometricky nesložité díly malosériové nebo kusové výroby. Pro efektivní používání CAD/CAM systémů je třeba pochopit a správně volit strategie obrábění, které daný program nabízí, vhodnou stavbou operací a volbou postprocesoru. Při programování CAD/CAM systémů často nelze zpracovat maximálně ideální program na první pokus, toto platí zejména u tvarově složitých dílů. Výrobní program bývá dále odlazen na základě simulace výroby na stroji, kde kromě kvalitativních požadavků na vyráběný díl hraje podstatnou roli celkový výrobní čas. Snaha je dosáhnout minimálního výrobního času, při dosažení požadované kvality. Strategie výroby musí také respektovat fyzické limitace stroje, na kterém výroba probíhá.[14]

Pro CAD/CAM programy neexistuje norma postupu práce. Přesný postup a pořadí operací bývá specifické dle autora výrobního programu. To znamená, že se řešený úkol bude mezi různými autory lehce lišit, nicméně bude řešen na stejném principu. Výrobní program dané součásti se také bude lišit v závislosti na použitém CAD/CAM programu. Různé CAD/CAM programy nabízejí rozdílnou knihovnu funkcí a hloubku nastavení těchto funkcí.[14]

5.3 Obrábění pomocí CAM Fusion 360

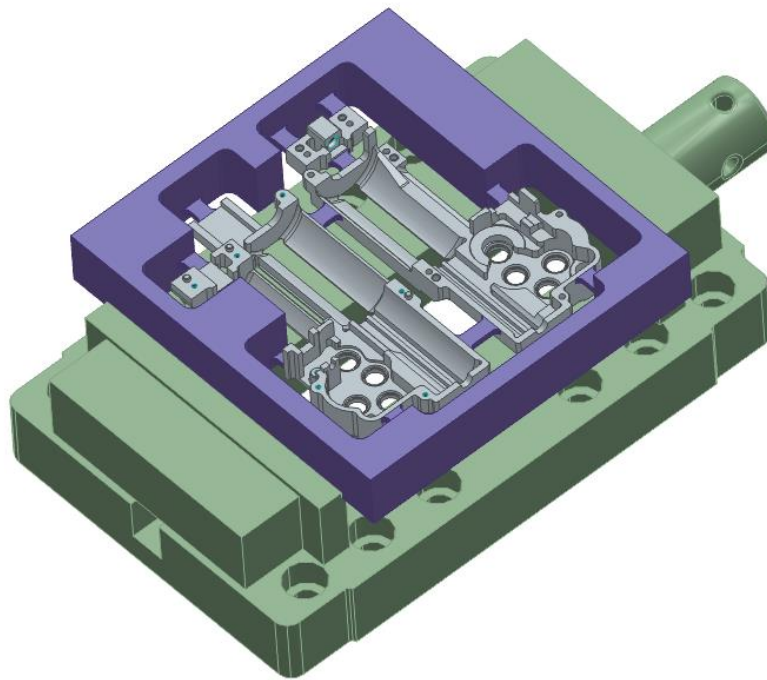
Dle předem stanovených požadavků bude výroba nové konstrukce převodovky probíhat na tříosé CNC frézce. Tento způsob výroby bude simulován v CAM programu Fusion 360 od softwarové firmy Autodesk. Tento program jsem zvolil díky několika faktorům. Zejména díky jednoduše získatelné licenci, kterou FS poskytuje. Tím, že je Fusion 360 „Cloud based“, je možné udělit přístup k projektu několika konstruktérům. To umožňuje efektivní kontrolu projektu vedoucím práce. V neposlední řadě je Fusion 360 poměrně jednoduchý program, v porovnání s jinými CAD/CAM systémy jako Solidworks CAM nebo Solid Edge CAM tak Fusion 360 neposkytuje stejnou hloubku nastavení nebo jejich efektivitu. Je nutné poznamenat, že pro plné využití potenciálu složitějších CAD/CAM systémů, je třeba se v programu dostatečně orientovat, a proto bude pro mé potřeby Fusion 360 dostatečný. Hlavní nevýhodu použití rozdílných programů pro tvorbu modelů a simulaci výroby je neexistující integrace změn konstrukce.

5.3.1 Příprava modelu konstrukce

Levá i pravá půlka konstrukce a nový úchyt motoru budou obráběny najednou. Zmíněné části nově navržené konstrukce budou v obráběném polotovaru uchyceny pomocí můstků, které budou dané díly držet na místě po celou dobu obrábění. Během obrábění vznikne z polotovaru jakýsi rám, ve

kterém se budou obrobené díly nacházet. Po dokončení obráběcích operací na tříosé fríze budou jednotlivé díly konstrukce vyříznuty z rámu polotovaru. Touto strategií dojde k zajištění jednodušší manipulace a upínání obrobků. Můstky jsou umístěny na plochách, které nemají přímý vliv na funkčnost konstrukce.

Pokud by byly jednotlivé díly obráběny kus po kusu, počet potřebných upnutí a následné hledání nulového bodu obrobku, by bylo několikanásobně navýšeno. Tím by došlo k navýšení strojního času a celkových nákladů na výrobu.



Obrázek 27 - Sestava frézování navrhnuté konstrukce.

Sestava, která vstupuje do CAM programu se skládá z upínacího zařízení (zobrazeno zeleně viz Obrázek 27), rámu s můstky, který zbude po obrobení polotovaru (zobrazeno fialově viz Obrázek 27) a geometrie samotných dílů nově navrhnuté konstrukce (zobrazeno šedě viz Obrázek 27). Rozměry polotovaru vychází z geometrie rámu s můstky a jeho velikost je 130x124x21 mm.

5.3.2 Volba nástrojů

Nástroje na obrábění dané konstrukce jsou volené v rámci mezí, které jsou definovány geometrií konstrukce a možnostmi stroje, na kterém výroba bude probíhat. Nástroje pro simulaci byly voleny z knihovny Fusion 360. Původní knihovna byla rozšířena o nástroje několika dalších výrobců. Jedná se o typové nástroje, které budou při realizaci výroby nahrazeny skutečnými nástroji.[15]

Name ^	Corner radius	Diameter	Flute length	Overall length	Type
Milling_setup v37					
1 - Ø6mm (E12 6.0 2F RR M/G End Mill 6 x 6 x 19 x 63 MG)	0 mm	6 mm	19 mm	63 mm	Flat end mill
2 - Ø2mm (E12 2.0 2F RR M/G End Mill 2 x 3 x 9 x 39 MG)	0 mm	2 mm	9 mm	39 mm	Flat end mill
3 - Ø1mm (E12 1.0 2F RR M/G End Mill 1 x 3 x 3 x 38 MG)	0 mm	1 mm	12 mm	40 mm	Flat end mill
4 - Ø1.5mm R0.75mm (E12B 1.5 2F RR M/G End Mill 1.5 x ...)	0.75 mm	1.5 mm	6 mm	38 mm	Ball end mill
5 - Ø2.2mm 140° (SCD 022-013-030 AP6 IC908)	0 mm	2.2 mm	13.2 mm	60 mm	Drill
6 - Ø1.6mm 140° (SCD 016-009-030 AP6 IC908)	0 mm	1.6 mm	9 mm	46 mm	Drill
7 - Ø2mm (Tap right hand)	0 mm	2 mm	20 mm	40 mm	Tap right hand
8 - Ø4mm 45° (Engrave/Chamfer mill)	0 mm	4 mm	2 mm	72 mm	Engrave/Chamfer mill
Milling_setup_mount v2					
1 - Ø1.1mm 140° (SCD 011-006...)	0 mm	1.1 mm	6.6 mm	46 mm	Drill
2 - Ø3.3mm 140° (SCD 0330-0...)	0 mm	3.3 mm	25 mm	70 mm	Drill
3 - Ø4mm (Tap right hand)	0 mm	4 mm	20 mm	50 mm	Tap right hand

Obrázek 28 – Tabulka knihovny použitých nástrojů.

1) Válcová fréza Ø 6 mm

Nástroj určen k hrubování geometrie konstrukce. Průměr frézy je dán velikostí kapes mezi můstky. Šířka těchto kapes je 6,5 mm. Průměr frézy byl zvolen mírně pod maximální průměr, tedy Ø 6 mm.

2) Válcová fréza Ø 2 mm

Nástroj určen k dokončení geometrie konstrukce. Průměr frézy je dán velikostí vnitřních zaoblení (například zobrazeno žlutě viz Obrázek 14) a malých kapes (zobrazeno oranžově viz Obrázek 16). Velikost vnitřních zaoblení a malých kapes konstrukce byla unifikována tak, aby se tyto prvky daly obrobit nástrojem o Ø 2 mm.

3) Válcová fréza Ø 1 mm

Nástroj určen k obrobení kapes pro pružinu ramínka trysky a trnu hnací pružiny. Vzhledem k tomu, že obě kapsy jsou velmi malé, je průměr frézy stanoven na základě zaoblení v rozích daných kapes. To vede velmi tenkému nástroji Ø 1. Touto frézou budou obráběny pouze zmíněné kapsy.

4) Kulová fréza Ø 1,5 mm

Nástroj určen k obrobení tvarové geometrie konstrukce. Průměr frézy je stanoven velikostí zápichů v oblasti kapes pro válec a píst. Maximální průměr nástroje k obrobení těchto oblastí je Ø 1,5 mm.

5) Vrták Ø 2,2 mm

Nástroj určen k vyvrtání průchozích otvorů pro díry a neprůchozích děr sloužících k indexaci obou půlek konstrukce.

6) Vrták Ø 1,6 mm

Nástroj určen k předvrtání děr pro následné vytvoření M2 závitů šroubových spojů.

7) Strojní závitník M2

Nástroj určen k vytvoření závitů šroubových spojů.

8) Úkosová fréza Ø 4 mm x 45°

Nástroj určen k obrobení zkosených hran, jako jsou hrany děr pro ložiska nebo čepy pro zarovnání levé i pravé půlky nové konstrukce.

9) Vrták Ø 1,1 mm

Nástroj určen k vyvrtání díry pro čep rotační indexace motoru

10) Vrták Ø 3,3 mm

Nástroj určen k předvrtání závitu šroubu, který nastavuje polohu motorku vůči ozubenému soukolí.

11) Strojní závitník M4

Nástroj určen k vytvoření závitu šroubu, který nastavuje polohu motorku vůči ozubenému soukolí.

5.3.2.1 Výpočet řezných podmínek nástrojů

Řezné podmínky jsou automaticky počítány v CAM programu na základě vstupních parametrů z databáze nástroje.

jako jsou: průměr nástroje, hloubka řezu, materiál nástroje a materiál polotovaru.

1) Řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

Koeficient 1000 slouží k přepočtu jednotek z metrů na milimetry tak, aby D mohlo být uváděno v mm.[14]

2) Posuv

$$s_{min} = S_z \times z \times n$$

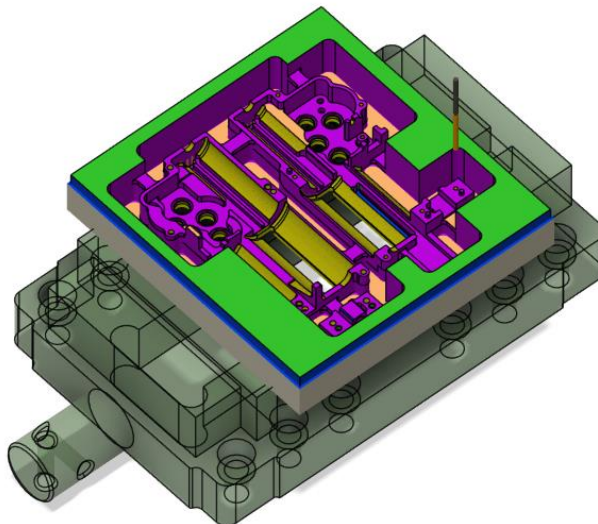
5.3.3 Program výroby

Tvorba výrobního programu je rozdělena na tři hlavní části. První část spočívá v obrábění *strany A* polotovaru, druhá část se týká otočení polotovaru

a obrobení *strany B*. V třetí části dojde k dokončení výroby úchyty motorku, jmenovitě vrtání děr a závitů.

5.3.3.1 Strana A

První krok v obrábění *strany A* polotovaru spočívá ve stanovení počátečního bodu souřadného systému, veškeré souřadnice drah nástrojů a hloubek jsou následně počítány právě od tohoto bodu. Počáteční bod byl umístěn do dolního levého rohu na vrchní ploše modelu výrobku (viz Obrázek 30). Pozice polotovaru bude nalezena pomocí dotykové sondy.

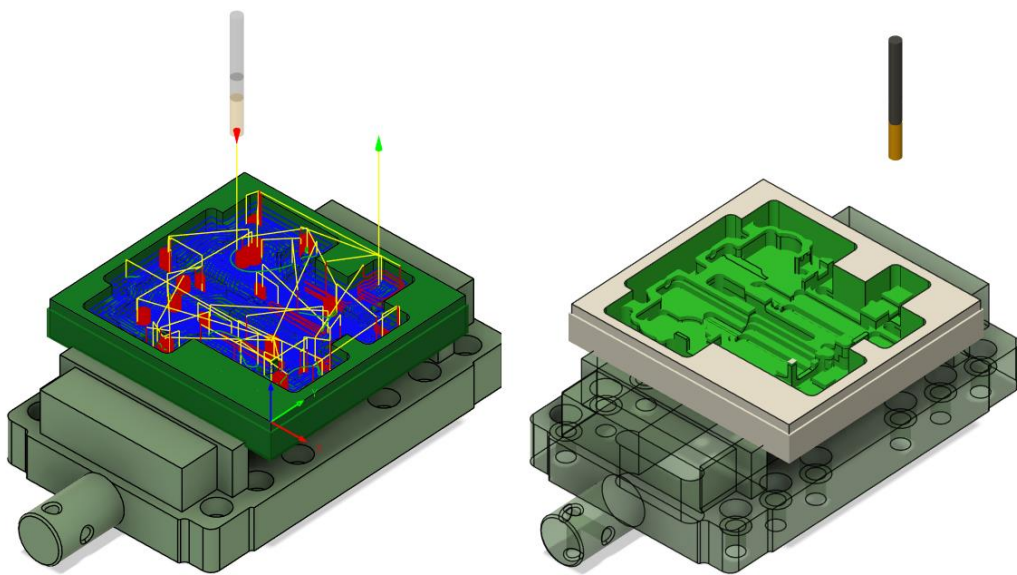


Obrázek 29 – Vyobrazení obráběcí operace provedené na straně A.

Druhý krok spočívá v obrobení vrchní plochy polotovaru a části vnějších ploch, aby při otočení materiálu obrobek ležel v upínacím zařízení na rovné ploše. V rámci obrábění bude odstraněn 1 mm materiálu frézou o průměru 6 mm.

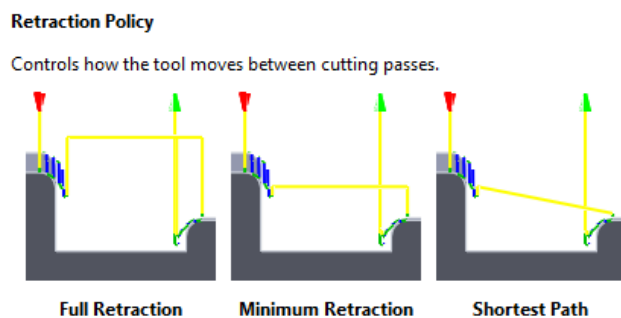
Zde by šlo využít nástroje s větším záběrem, ale v rámci udržení nízkého počtu nástrojů bude použita dále využívaná fréza s největším průměrem.

Třetí krok spočívá v hrubování hlavní geometrie válcovou frézou o průměru 6 mm (viz Obrázek 30 – Schéma frézování hlavní geometrie.). Pro danou operaci jsem zvolil funkci „Pocket Clearing“. Během této operace provede nástroj řezu v několika krocích do hloubky 18,5 mm. Maximální hloubka daného řezu je stanovena na 3 mm s nastavením fixní hloubky řezu. Detekce spodních ploch je pro urychlení hrubovací operace vypnutá. Fréza může při obrábění vykonat sousledné i nesousledné obrábění. Na svislých plochách je ponechán přídavek o tloušťce 0,2 mm.



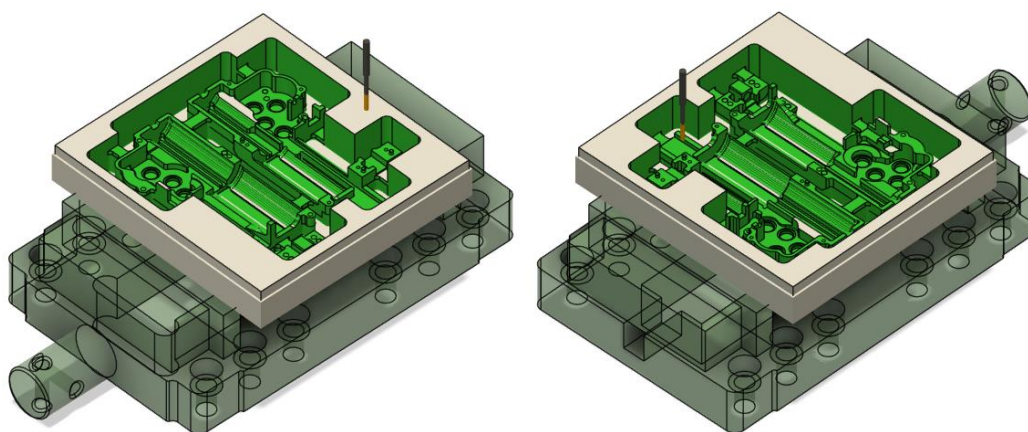
Obrázek 30 – Schéma frézování hlavní geometrie.

Fusion 360 neposkytuje funkci pro nastavení přídaveků jen na vybrané plochy a místo toho je aplikuje na model globálně. Toto není ideální a povede to k zbytečnému navýšení strojního času. Pro nástroj jsou povoleny rychlé přejezdy, a je zvolena strategie minimální retrakce. To znamená, že nástroj přejíždí z bodu A do bodu B bez nutnosti vyjetí a následného pohybu nad obrobkem. Při pohybu nástroje je zachována bezpečná vzdálenost 3 mm od obrobku (viz Obrázek 31). Nájezd do materiálu je proveden zakroužením.



Obrázek 31 - Zobrazení možných strategií pohybu nástroje během přejezdů.

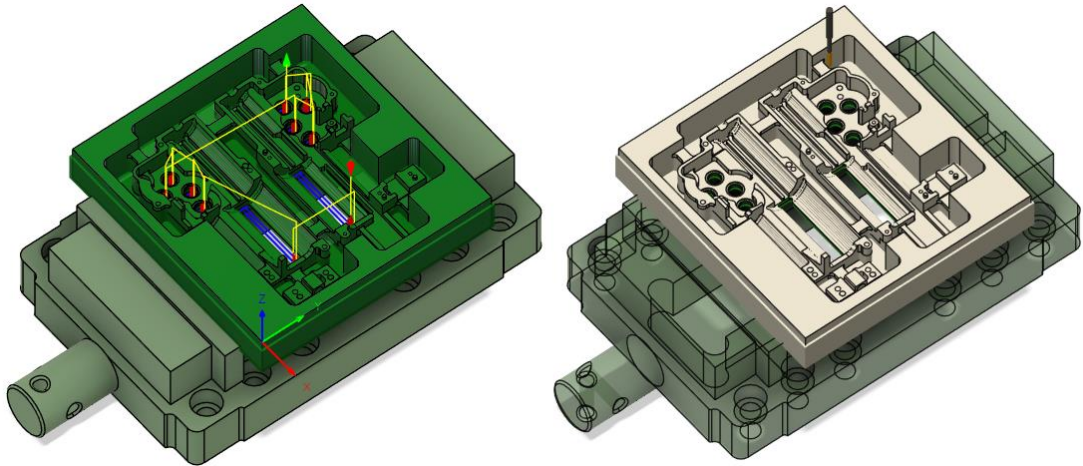
Na začátku čtvrtého kroku dojde k výměně nástroje. Válcová fréza o průměru 6 mm se vymění za válcovou frézu o průměru 2 mm. Využitím funkce „Pocket Clearing“ s pod nastavením „Rest Machining“ dojde k obrobení geometrie na čisto (viz Obrázek 32). Tato funkce rozpozná, již obrobenou geometrii a obrábí pouze do té doby neobrobené plochy. Kromě odstranění přídavků z předchozí operace dojde k obrobení většiny zbylé geometrie. Zde je detekce spodních ploch zapnutá. Nastavení funkce, jako způsob najetí do materiálu, strategie retrakce nástroje, nebo hloubka řezu, jsou převzaty z předchozí operace.



Obrázek 32 - Schéma dofrézování hlavní geometrie.

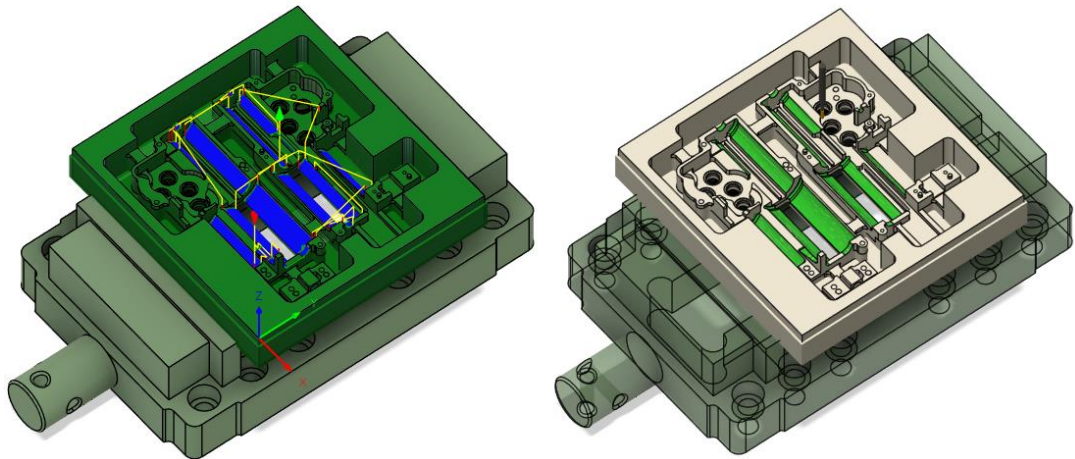
Pátý krok je realizován pomocí funkce „2D Pocket“, opět se využije frézy o průměru 2 mm. V tomto kroku dojde k vyfrézování děr pro ložiska a bočních

otvorů v kapse pro válce (viz Obrázek 33). Funkce „2D Pocket“ je poměrně jednoduchá funkce s minimem nastavení. Jednotlivé otvory jsou obrobeny skrz na skrz polotovarem na základě manuálně vybraných ploch. Nástroj do materiálu najede zakroužením jako u předchozích operací. Obrábění je provedeno načisto bez dodatečných přídavek.



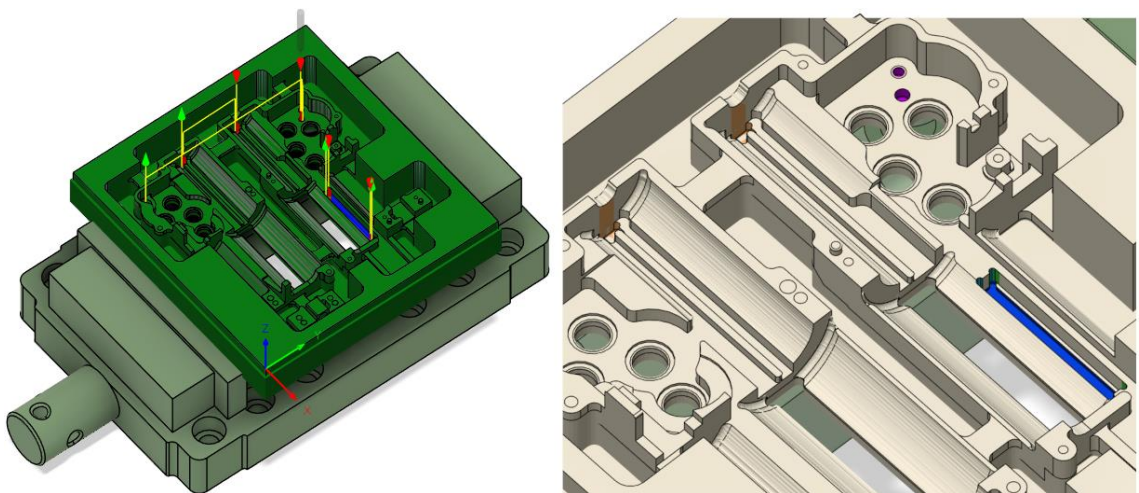
Obrázek 33 – Schéma frézování děr pro ložiska a okénka kapsy válce.

Šestý krok se týká tvarových ploch kapsy pro válec, píst a přidružených ploch (viz Obrázek 34). Na tyto plochy bude použita kulová fréza. Před začátkem samotného frézování musí dojít ke změně nástroje na kulovou frézu o průměru 1,5 mm. Materiál bude odebrán za pomoci funkce „Parallel“ s pod nastavením „Rest Machining“. Retrakce nástroje jsou nastaveny na minimum. Kontakt frézy s plochou je vynucen až na hranu plochy, tak aby došlo ke splnění podmínky zbytkové výšky obrábění na 0,01 mm.



Obrázek 34 – Schéma frézování tvarových ploch.

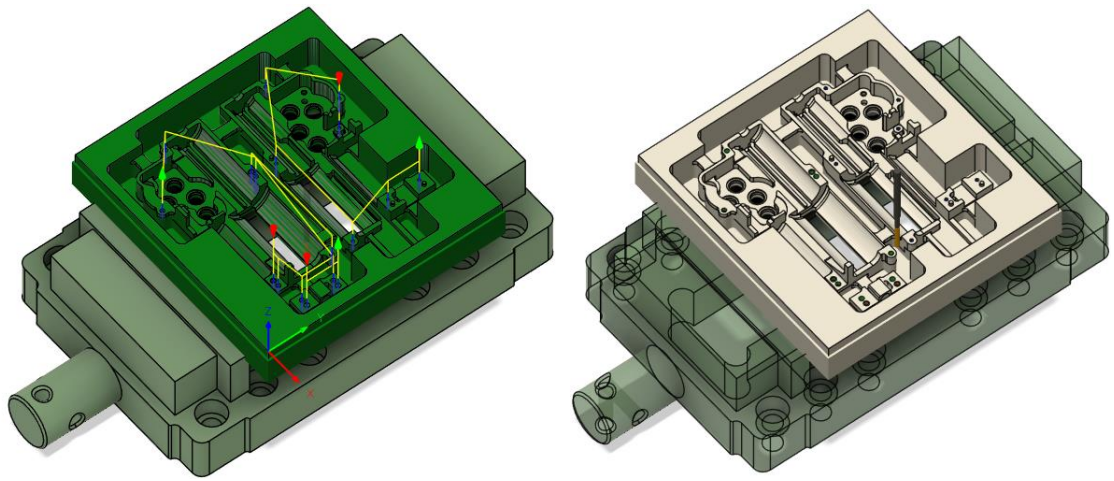
V sedmém kroku dojde k obrábění geometrie frézou o průměru 1 mm. Mezi touto a předchozí operací bude vyměněn nástroj. Obrábět se bude kapsa pro vratnou pružinu ramínka trysky, kapsy pro trn hnací pružiny a otvory pro západku zpětného chodu (viz Obrázek 35). Obrábění jednotlivých kapes je rozděleno do více funkcí „2D Pocket“. Fréza do materiálu, stejně jako u předchozích operací, najede zakroužením.



Obrázek 35 – Schéma frézování malých kapes.

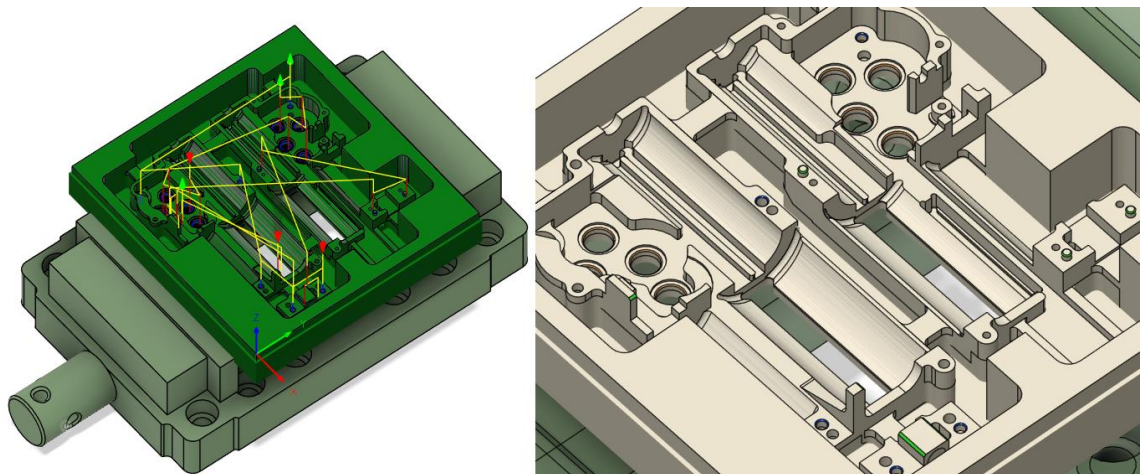
Osmý krok spočívá ve vrtání děr (viz Obrázek 36). Průchozí i slepé díry jsou tvořeny funkcí „Drilling“. Díry o průměru 2,2 mm budou vrtány vrtákem

o stejném průměru. Předvrtání děr závitů bude provedeno vrtákem o průměru 1,6 mm.



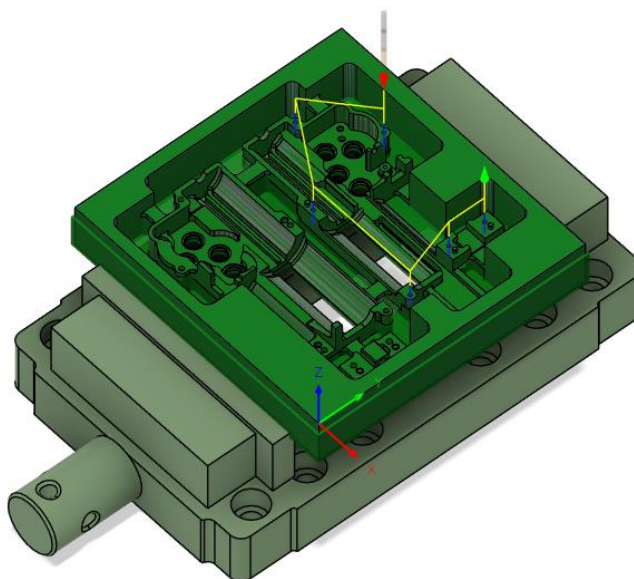
Obrázek 36 – Schéma vrtání děr.

Devátý krok spočívá v obrobení geometrie zkosených ploch (viz Obrázek 37).
úkosovou frézou o průměru 5 mm.



Obrázek 37 – Stav výrobku po obrobení zkosených ploch.

Desátý krok je poslední operací vykonanou na horní půlce konstrukce, jedná se o dokončení závitů v předvrtaných dírách (viz Obrázek 38).

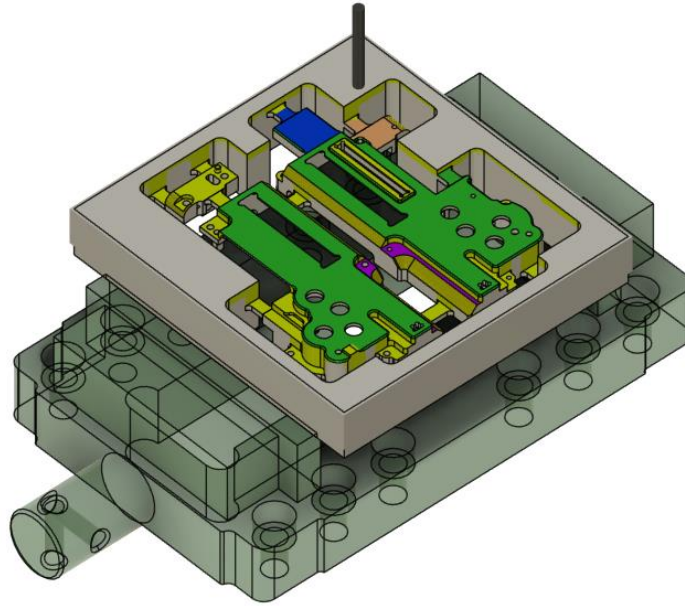


Obrázek 38 – Schéma tvorby závitů

Celkový predikovaný strojní čas pro výrobu *strany A* je v rámci simulace 3 hodiny 58 minut 9 vteřiny. Z toho jsou 3 hodiny a 31 vteřin odhadovány pouze pro třetí a čtvrtý krok.

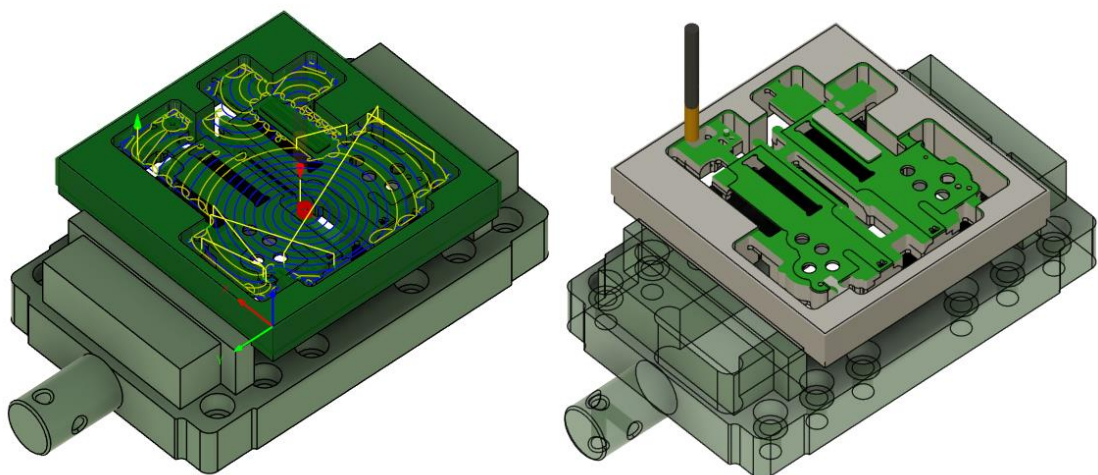
5.3.3.2 Strana B

Na začátku prvního kroku bude výrobek otočen o 180° okolo osy Y a opět upnut do upínacího zařízení za již obrobenejší strany a dojde, stejně jako u *strany A*, k stanovení nového počátku souřadného systému. Veškeré souřadnice drah nástrojů a hloubek jsou následně počítány právě od tohoto bodu. Počáteční bod byl umístěn do dolního levého rohu na vrchní ploše modelu výrobku (viz *Obrázek 40*). Přesná pozice obrobku bude ve výrobním prostoru nalezena pomocí dotykové sondy skrz definování polohy již vyfrézovaných okének kapes válce.



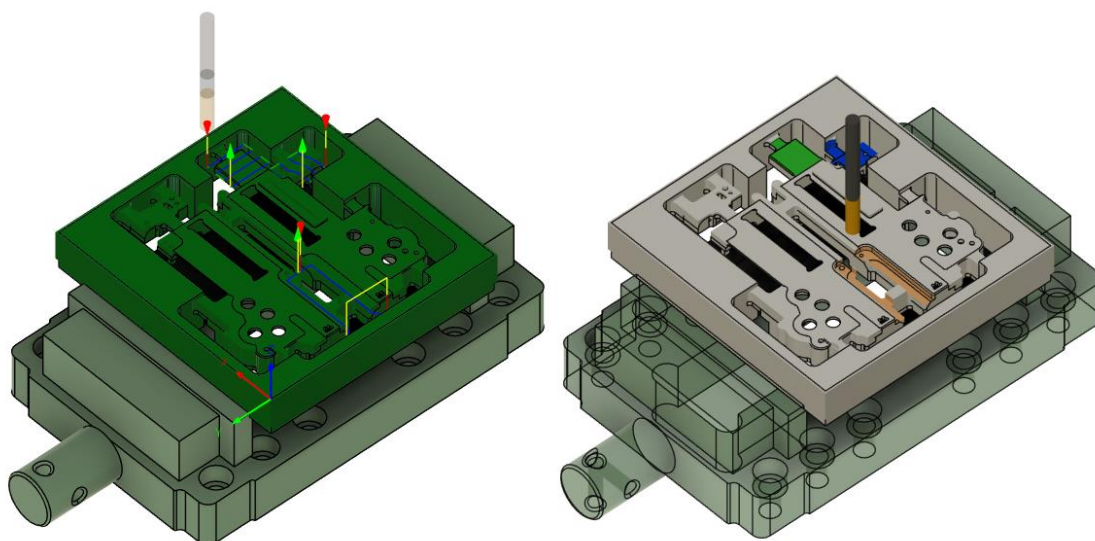
Obrázek 39 - Vyobrazení všech obráběcích operací provedených na straně B

Druhým krokem je vytvoření jednoduché kapsy pomocí funkce „2D Adaptive Clearing“ (viz Obrázek 40). Tato operace využije válcovou frézu o průměru 6 mm. Materiál bude odebrán do hloubky 2 mm v rámci jednoho kroku. Do materiálu nástroj najede pomocí zakroužení. Retrakce nástroje je pro snížení strojního času nastavena na minimální (viz Obrázek 31). Přídavek na svislé plochy má velikost 0,25 mm.



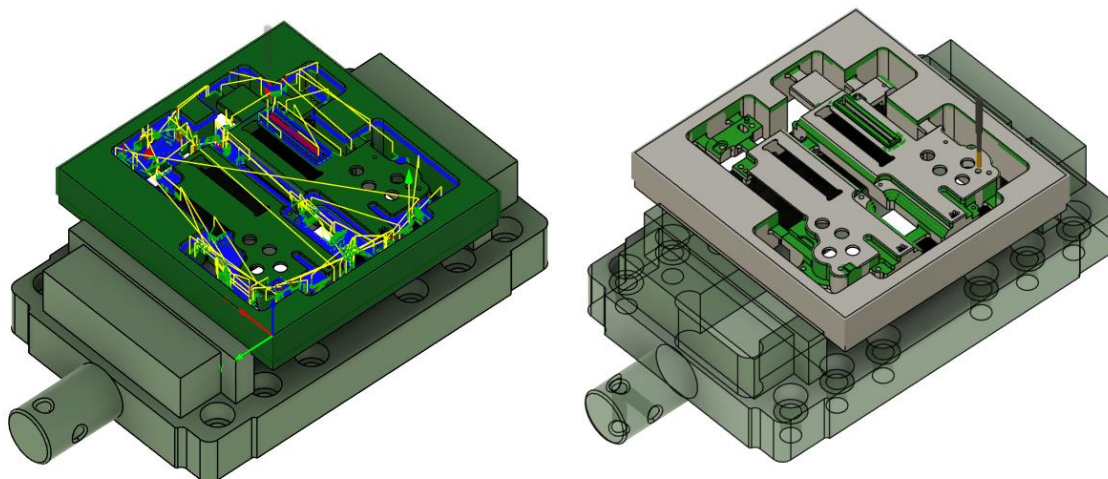
Obrázek 40 – Schéma frézování jednoduché kapsy.

Třetí krok spočívá v odstranění větších objemů materiálu z konstrukce pomocí nástroje s větším průměrem tak, aby v následujících krocích, kdy obrábění vykonává fréza s menším průměrem, byl ušetřen strojní čas. Větší objemy byly odstraněny ve skupině tří funkcí „2D Pocket“. Všechny funkce v této skupině mají stejné nastavení. Pomocí frézy o průměru 6 mm se obrábí pouze vybrané plochy (viz Obrázek 41). Nástroji je umožněno provádět řezný pohyb v obou směrech. Pro svislé plochy je ponechán přídavek o velikosti 0,2 mm. Do materiálu nástroj najede stejným způsobem jako u předchozích operací.



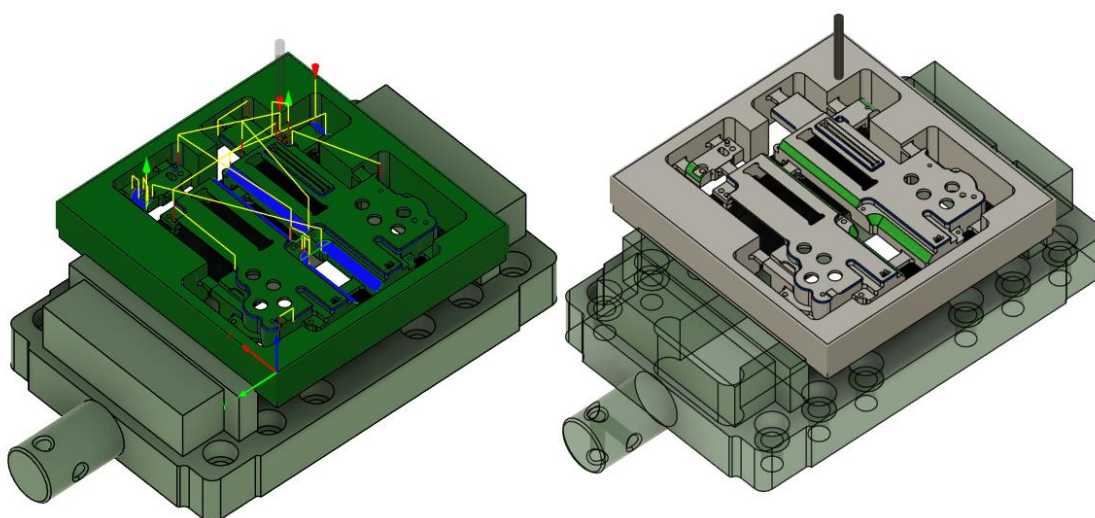
Obrázek 41 – Schéma frézování přebytečného materiálu hlavní geometrie.

Krok čtyři je realizován pomocí funkce „Pocket Clearing“. Obrábění v rámci tohoto kroku bude realizováno válcovou frézou o průměru 2 mm. Mezi touto a předchozí operací dojde k výměně nástroje. V tomto kroku dojde k obrobení zbytku hlavní geometrie včetně odstranění přídaveků z předchozích operací (viz ***Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.***). Nástroj do materiálu najede zakroužením a jeho retrakce je stanovena na minimální (viz Obrázek 31).



Obrázek 42 – Schéma frézování tvarových ploch.

Pátý krok se týká obrobení tvarových ploch a zkosení konstrukce. V rámci první funkce „Parallel“ dojde k obrobení větších ploch zkosení v horní části obou půlek převodovky a zaoblení na spodní straně úchyty motorku (znázorněno světle zeleně viz Obrázek 43). Nástrojem použitým pro tento úsek je kulová fréza o průměru 1,5 mm. „Rest Machining“ je pro tuto funkci zapnuté. Nastaveny jsou minimální retrakce. Kontakt frézy s plochou je vynucen až na hranu plochy, aby došlo k čistému obrobení ploch.



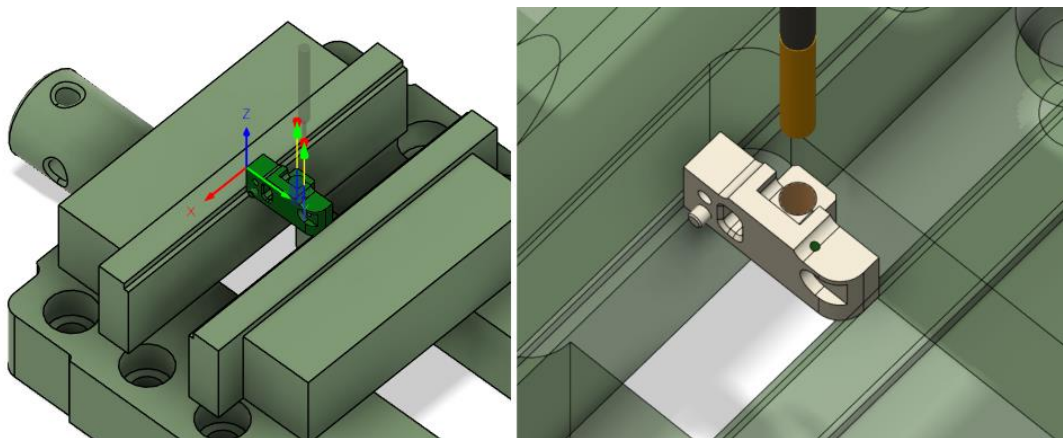
Obrázek 43 – Schéma frézování tvarových ploch.

Celkový predikovaný strojní čas pro *stranu B* je v rámci simulace 32 minut a 31 vteřiny.

5.3.3.3 Úchyt motorku

Poté co budou jednotlivé díly konstrukce odstraněny z rámu a můstků po obrobení *strany A* i *strany B*, bude třeba na dílu uchycení motorku vyrobít chybějící závit a díru sloužící k indexaci motorku.

Poloha dílu bude ve výrobním prostoru nalezena pomocí dotykové sondy. K naprogramování samotného výrobního programu v prostředí Fusion 360 bude využito funkce „Drilling“. Nejprve dojde k vyvrtání indexové díry pomocí vrtáku o průměru 1,1 mm. Následně proběhne předvrtání závitu pro polohovací šroub motorku vrtákem o průměru 3,3 mm a vytvoření závitu samotného pomocí M3 závitníku (viz Obrázek 44). Tyto zmíněné operace by bylo možné provést manuálně pomocí sloupové vrtačky, nicméně použití CNC zajistí výsledky s vyšší kvalitou a přesností.



Obrázek 44 - Schéma obrábění uchycení motorku.

Celkový predikovaný strojní čas programem Fusion 360 je pro soubor těchto operací 1 minuta a 42 vteřin.

6 ANALÝZA VÝROBNÍHO POSTUPU A VYHODNOCENÍ

Na nově navržené konstrukci lze hodnotit několik kritérií, které se týkají výroby a její finanční stránky.

6.1 Vyhodnocení výrobního postupu

Z analýzy strojních časů funkcí jednotlivých operací je patrné, že velkou část strojního času tvoří jen 3 funkce (viz Obrázek 45, Obrázek 46 a Obrázek 47). Všechny funkce jsou typu „3D Pocket Clearing“. První možností, jak optimalizovat celkový strojní čas, je nahradit tyto funkce jinou funkcí s více vyhovující strategií pro daný nástroj a geometrii obrobku. To by ale znamenalo razantní zásah do struktury výrobního programu, proto tuto možnost nezvolím. Další nabízenou možností je zaměřit se na samotné nástroje a jejich řezné podmínky.

[Číslo nástroje]	Název dráhy	No.	Otáčky [rpm]	Posuv [m/min]	Strojní čas
[T1]	Top face clearing	1	7268	137	0:08:35
[T1]	Side wall clearing	1	7268	137	0:10:24
[T1]	3D Main pocket 6MM	1	7268	137	0:34:55
[T2]	3D Main pocket 2MM	2	21804	137	2:26:25
[T2]	2D Cylinder pocket 2MM	2	21804	137	0:06:34
[T3]	Parallel 1.5MM	3	29072	137	0:09:06
[T4]	2D Return spring pocket A	4	43608	137	0:00:44
[T4]	2D Return spring pocket B	4	43608	137	0:00:27
[T4]	2D Spring guide pocket	4	43608	137	0:00:39
[T4]	2D Anti-reverse holes	4	43608	137	0:00:41
[T5]	Screw holes drilling [Rapid out]	5	20270	140	0:11:13
[T5]	Indexing hole drilling [Rapid out]	5	20270	140	0:05:48
[T6]	Threads pre-drilling [Rapid out]	6	27850	140	0:00:43
[T7]	2D Chamfer outer edges	7	17520	220	0:00:24
[T7]	Chamfer inner edges [Dwell and rapid out]	7	17520	220	0:00:06
[T7]	2D Chamfer bearing holes	7	17520	220	0:00:41
[T8]	M2 tapping [Tap]	8	-	-	0:00:42

Celkový strojní čas strany A	3:58:07
---	----------------

Obrázek 45 – Analýza CAM funkcí obrábění strany A.

[Číslo nástroje]	Název dráhy	No.	Otáčky [rpm]	Posuv [m/min]	Strojní čas
[T1]	2D Top face clearing	1	7268	137	0:07:06
[T1]	2D Main pocket A 6MM	1	7268	137	0:00:12
[T1]	2D Main pocket B 6MM	1	7268	137	0:00:11
[T1]	2D Main pocket C 6MM	1	7268	137	0:00:16
[T2]	Main pocket 2MM	2	21804	137	0:22:53
[T3]	Chamfered geometry	3	29072	137	0:01:12
[T7]	2D Chamfer	7	17520	220	0:00:41

Celkový strojní čas strany B	0:32:31
-------------------------------------	---------

Obrázek 46– Analýza CAM funkcí obrábění strany B.

[Číslo nástroje]	Název dráhy	No.	Otáčky [rpm]	Posuv [m/min]	Strojní čas
[T1]	Drill A [Rapid out]	1	28660	198	0:00:26
[T2]	Drill B [Rapid out]	2	8690	198	0:01:13
[T3]	Drill C [Right tap]	3	-	-	0:00:03

Celkový strojní čas úchytu motorku	0:01:42
---	---------

Obrázek 47 - Analýza CAM funkcí obrábění úchytu motorku.

Na základě zmíněné analýzy je vidět, že dochází k využití válcové frézy o průměru 2 mm a válcové frézy o průměru 6 mm. Oba tyto nástroje pracují s daty poskytnutými výrobcem v rámci přidané knihovny do CAM prostředí Fusion 360. Oba nástroje mají též maximální rychlost posunu stanovenou na 137 m za min. Dle podkladů poskytnutých výrobcem je vidět, že rychlost posuvu uvedená v CAM knihovně nástrojů platí pro nepovlakované frézy. V případě, že bude využito frézy s TiNC povlakem, je možné dosáhnout rychlosti posuvu 198 m za minutu.

Work Material	Type of Cut	Axial DOC	Radial DOC	Number of Flutes	Speed (M/min)		
					Uncoated	TiCN	AlTiN
Aluminum Alloys 2024, 6061, 7075	Slotting	.5 x D	1 x D	2	107	168	--
	Peripheral - Rough	1 x D	.5 x D	2	137	198	--
	Peripheral - Finish	1.5 x D	.01 x D	3	168	--	--

Obrázek 48 - Řezné vlastnosti na stránkách výrobce [16].

Ačkoliv došlo k navýšení zvýšení rychlosti posuvu pro problematické úseky téměř o 44 %, dané funkce nedokážou této změny efektivně využít a strojní časy se prakticky nezmění (viz Obrázek 49). Přesto dojde ke zvýšení otáček vřetene a tím i kladených požadavků na stroj. Z toho plyne, že pro snížení strojního času by bylo třeba výrobní program změnit, a využít jiných, nejspíš méně automatických, funkcí. Je nutné poznamenat, že takto dlouhé výrobní časy nejsou ideální a povedou ke zvýšení celkových nákladů na výrobu.

[Číslo nástroje]	Název dráhy	No.	Otáčky [rpm]	Posuv [m/min]	Strojní čas
[T1]	3D Main pocket 6MM	1	10504	198	0:34:55
[T2]	3D Main pocket 2MM	2	31513	198	2:26:18
[T2]	Main pocket 2MM	2	31513	198	0:22:59

Obrázek 49 – Analýza problémových CAM funkcí po změně rychlosti posuvu.

6.2 Požadavky na výrobní stroj

Frézka, na které bude výroba probíhat, musí splňovat několik základních požadavků. Jak už bylo stanoveno, obrábět se bude na tříosé frézce. Výrobní prostor stroje musí být větší než sestava obrobku a upínacího zařízení. Rozměry této sestavy jsou 130x230x66 mm.

Výrobní stroj musí také dokázat dosáhnout maximální rychlosti vřetene, kterou dané operace a nástroje potřebují. V tomto případě je maximální vyžadovaná rychlost nástrojem číslo 4. Tento nástroj dosáhne maximální rychlosti 43 608 RPM (viz Obrázek 45). V období tvorby této práce, nebyly v dílnách FS ČVUT k dispozici stroje, které by splnily všechny ze zmíněných požadavků.

6.3 Vyhodnocení ekonomického hlediska

Zhodnocení ekonomické stránky výroby hraje důležitou roli. Cena je jedním z parametrů technologičnosti konstrukce a mnohdy rozhoduje, zda daný díl má smysl vyrábět.

Za předpokladu, že bude firmou účtována hodina obrábění za 1500 Kč, bude cena za pouhé obrábění zhruba 6750 Kč. V této částce ale není započtena cena za manipulaci polotovaru nebo nástrojů, které by daná firma musela nakoupit v případě, že by danou frézou nedisponovala. Pokud by došlo i k připočítání čtyřiceti hodin konstruktéra, který má hodinovou sazbu 360 Kč dostaneme částku v desítkách tisíc korun českých (viz *Obrázek 50*). Při výrobě více kusů, by samozřejmě došlo k rozdělení fixních nákladů mezi více položek a cena za kus tím pádem mírně klesla. Nutné je třeba znovu podotknout, že částky jsou pouze odhadované, většina firem věnujících se obrábění sděluje své ceny pouze na vyžádání. To samé platí při nákupu materiálu na přířez.

Operace	h	Ceník	Kč
Celkový strojní čas	4,5	Hodinová sazba stroje	1500
Celková čas přípravy dat	40	Hodinová sazba konstruktéra	350

Náklady na obrábění	6750
Náklady na přípravu dat	14000
Celkem	20750

Obrázek 50 - Odhadovaná cena za konstrukci a strojní čas.

Pokud bych měl zhodnotit, kdy se konstrukce z pohledu koncového uživatele vyplatí, bylo by to v moment, kdy cena za konstrukci by nepřekročila hranici 3000 Kč. Přestože původní konstrukce stojí zlomek této částky, konstrukce nová nabízí vlastnosti, které původní převodovka nemůže nabídnout. [17]

7 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout novou konstrukci těla AEP převodovky pro airsoftové repliky samopalu typu Škorpion vz.61 nebo MP7 tak, aby snesla vyšší zátěž hnací pružiny a dosahovala tak vyšší ústřední rychlosti.

V rámci první poloviny praktické části byla navržena konstrukce, kterou lze nyní vyrobit jinou metodou než konstrukci původní. Místo původně lité konstrukce je konstrukce nová vyrobitelná na tříosé frézce, a to umožňuje použití materiálu s lepšími vlastnostmi. Nový návrh obsahuje několik nových šroubových spojů, pro lepší spojení levé i pravé půlky konstrukce, zjednodušený systém nastavení polohy motoru a celkové řešení kritických míst konstrukce původní. Je třeba ale poznamenat, že celý návrh je proveden pouze v CAD prostředí Solid Edge 2023 a je tak možné, že po výrobě prvního kusu bude třeba provést korekci modelu pro naprosto ideální spasování vnitřních dílů.

V druhé půlce praktické části je v prostředí CAM Fusion 360 proveden návrh operací pro výrobu převodovky. V závěru práce je hodnocení výroby a ekonomický aspekt konstrukce. Z vyhodnocení vyplývá, že poměrně vysoký strojní čas, který vzniká při výrobě *strany A*, vede k možným vysokým nákladům na výrobu. Pro snížení celkového strojního času a tím i celkových nákladů je třeba dále pokračovat v optimalizaci výrobního programu a zvážit možnou změnu za jiný, například mnohem schopnější Solid Edge CAM pro.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Technologičnost konstrukce-Obrábění a montáže*. ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03288-4.
- [2] HLAVATÝ, Ivo a Jiří HRUBÝ. *Technologičnost konstrukcí* [online]. Vysoká škola báňská-Technická universita Ostrava, 2012 [cit. 2024-01-19]. ISBN 978-80-248-2772-8. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/technologichnost_konstrukci.pdf
- [3] The History of Airsoft-How it all started | Explained. *EHobby Asia* [online]. 2023 [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://www.ehobbyasia.com/blogs/news/the-history-of-airsoft-how-it-all-started-explained-ehobby-asia>
- [4] Obecně o airsoftu. *Bohemia airsoft shop* [online]. 2021 [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://airsoftshop.cz/obecně-o-airsoftu>
- [5] Beginners' Guide: Gearbox Versions. *Patrol Base* [online]. 2022 [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.patrolbase.co.uk/news-help-and-advice/beginner-guide-articles/beginners-guide-gearbox-versions>
- [6] HOW DO AIRSOFT GUNS WORK. *Red Wolf Airsoft* [online]. 2021 [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.redwolfairsoft.com/blog/how-do-airsoft-guns-work>

- [7] Airsoft laws around the world. *Socom tactical* [online]. 2015 [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.socomtactical.net/airsoft-laws-around-the-world/>
- [8] TOKYO MARUI CO., LTD. 会社概要. TOKYO MARUI CO., LTD. 究極の感性を貫くガンメーカー 東京マルイ [online]. 2021 [cit. 2024-07-16]. Dostupné z: <https://www.tokyo-marui.co.jp/>
- [9] BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory*. Sobotáles, 1999. ISBN 978-80-85920-58-1.
- [10] Zamak 4. ZAMAK [online]. 2023 [cit. 2024-08-02]. Dostupné z: <https://www.zamak.jp/zamak-4>
- [11] EN AW-7075. *Hliníkové profily PROAL* [online]. 2019 [cit. 2024-08-03]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-7075/>
- [12] CNC mechabox V2 (8mm) - QSC. *RETROARMS* [online]. 2018 [cit. 2024-07-18]. Dostupné z: <https://www.retroarms.cz/cnc-mechabox/cnc-mechabox-verze-ii-8mm-qsc>
- [13] Radiusing Your Gearbox Shell. *SQAirsoft* [online]. 2024 [cit. 2024-07-18]. Dostupné z: <https://www.sqairsoft.com/how-to-radius-your-gearbox-shell.html>
- [14] *CNC: Programování obráběcích strojů*. Grada Publishing, 2015. ISBN 9788024752693.

- [15] Tools for Autodesk Fusion. In: *AUTODESK Fusion* [online]. 2020 [cit. 2024-08-05]. Dostupné z: <https://cam.autodesk.com/hsmtools>
- [16] E Series Application Guide – Speed & Feed (metric). In: *IMCO* [online]. 2024 [cit. 2024-08-05]. Dostupné z: <https://wlwebsiteliveimages.blob.core.windows.net/live-images/Speed%20&%20Feed%20Charts/E%20Series%20Metric.pdf?&uniqueParam=1722872560238>
- [17] Kostra GB scorpion vz.61. *Airsoft Morava* [online]. [cit. 2024-08-05]. Dostupné z: <https://www.airsoftmorava.cz/876-kostra-gb-scorpion-vz61>

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1. - Závislosti relativní pracnosti na požadovaném Ra při soustružení hřídelů. [1]	13
Obrázek 2 - Schéma principu manuálního pohonu.[6]	17
Obrázek 3 – Schéma GBB systému během výstřelu. [6].....	19
Obrázek 4 – Schéma GBB systému po výstřelu. [6]	19
Obrázek 5 - Schéma AEG systému s nestlačenou pružinou. [6]	20
Obrázek 6 - Schéma AEG systému se stlačenou pružinou.[6].....	21
Obrázek 7 - Viditelné stopy od vyhazovače.....	23
Obrázek 8 - Fatální poškození těla konstrukce s viditelným průřezem lomu ...	24
Obrázek 9 – Vruby na ostré hraně konstrukce převodovky.....	25
Obrázek 10 - Koncentrace redukovaného napětí v původní konstrukci převodovky.....	26
Obrázek 11 – Redukované napětí na vnější straně čela původní konstrukce.....	26
Obrázek 12 - Redukované napětí na vnitřní straně čela původní konstrukce. ...	27
Obrázek 13 – Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 1.....	29
Obrázek 14 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 2.....	30
Obrázek 15 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 3.....	31
Obrázek 16 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 4.....	32
Obrázek 17 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 5.....	33
Obrázek 18 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 6.....	34
Obrázek 19 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 7.....	35
Obrázek 20 - Znázornění unifikace hloubky kapes v násobcích 0,5 mm.....	36
Obrázek 21 – Porovnání staré a nové konstrukce, domek šroubu na čele konstrukce.....	37
Obrázek 22 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 8.	38
Obrázek 23 - Porovnání staré a nové konstrukce, sekce 9.	39
Obrázek 24 - Porovnání staré a nové konstrukce, obsah ploch čela.....	39

Obrázek 25– Redukované napětí na vnější straně čela nové konstrukce	40
Obrázek 26 – Redukované napětí na vnější straně čela nové konstrukce.	40
Obrázek 27 - Sestava frézování navrhnuté konstrukce.	43
Obrázek 28 – Tabulka knihovny použitých nástrojů.	44
Obrázek 29 – Vyobrazení obráběcí operace provedené na straně A.	47
Obrázek 30 – Schéma frézování hlavní geometrie.	48
Obrázek 31 - Zobrazení možných strategií pohybu nástroje během přejezdů....	49
Obrázek 32 - Schéma dofrézování hlavní geometrie.	49
Obrázek 33 – Schéma frézování děr pro ložiska a okénka kapsy válce.	50
Obrázek 34 – Schéma frézování tvarových ploch.	51
Obrázek 35 – Schéma frézování malých kapes.	51
Obrázek 36 – Schéma vrtání děr.	52
Obrázek 37 – Stav výrobku po obrobení zkosených ploch.	52
Obrázek 38 – Schéma tvorby závitů.	53
Obrázek 39 - Vyobrazení všech obráběcích operací provedených na straně B... 54	54
Obrázek 40 – Schéma frézování jednoduché kapsy.	54
Obrázek 41 – Schéma frézování přebytečného materiálu hlavní geometrie.	55
Obrázek 42 – Schéma frézování tvarových ploch.	56
Obrázek 43 – Schéma frézování tvarových ploch.	56
Obrázek 44 - Schéma obrábění uchycení motorku.	57
Obrázek 45 – Analýza CAM funkcí obrábění strany A.	58
Obrázek 46– Analýza CAM funkcí obrábění strany B.	59
Obrázek 47 - Analýza CAM funkcí obrábění úchyty motorku.	59
Obrázek 48 - Řezné vlastnosti na stránkách výrobce [16].	59
Obrázek 49 – Analýza problémových CAM funkcí po změně rychlosti posuvu.	60
Obrázek 50 - Odhadovaná cena za konstrukci a strojní čas.	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: 3D model sestavy nové konstrukce – *AEPGB_model_assembly.step*

Příloha 2: 3D model sestavy obráběných dílů – *AEPGB_milling_assembly.step*