

Výroba štítu bubnové brzdy

Petr Raiskup

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Petr Raiskup
Osobní číslo:	T21041
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Výroba štítu bubnové brzdy

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma
- Provedte hodnocení současného stavu
- Vypracujte model pro obrábění
- Realizujte výrobu

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

Seznam doporučené literatury:

MICHNA, Štefan, Jarmila TRPČEVSKÁ a Iva NOVÁ. *Strojírenská technologie*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 337 s. ISBN 9788074145018.

ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-207-8. [27]

MICHNA, Štefan, Jarmila TRPČEVSKÁ a Iva NOVÁ. *Strojírenská technologie*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012. ISBN 978-80-7414-501-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou 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 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou 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 bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou 3D skenování a reverzního inženýrství aplikovaných v oblasti technologií obrábění, konkrétně ve spojení s frézováním a výrobou na CNC strojích.

V teoretické části práce jsou detailně rozebrány brzdy, typy brzdových systémů, provozní podmínky a materiály používané při jejich výrobě. Dále je zkoumáno 3D skenování, jeho techniky a optimalizace modelů, stejně jako proces reverzního inženýrství a technologie obrábění, včetně frézování a CNC strojů.

V praktické části je provedeno skenování a vytvoření 3D modelů vybraných součástí. Poté je realizováno obrábění na obráběcím centru DMU 50, kde je vytvořen program pro výrobu, zahrnující volbu materiálu, upnutí, a samotný proces obrábění, včetně hrubování, dokončování povrchů a kompletní sestavy.

Klíčová slova: 3D skenování, Reverzní inženýrství, Frézování, CNC stroje, Brzdy, Výroba, Obráběcí centrum

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the issues of 3D scanning and reverse engineering applied in the field of machining technology, specifically in conjunction with milling and manufacturing on CNC machines.

In the theoretical part of the thesis, brakes, types of brake systems, operating conditions and materials used in their manufacture are discussed in detail. Furthermore, 3D scanning, its techniques and model optimization are examined, as well as the reverse engineering process and machining technology, including milling and CNC machines.

In the practical part, the scanning and creation of 3D models of selected components is carried out. It is then applied to machining on a DMU 50 machining centre, where a program for production is created, including material selection, fixturing, and the actual machining process, including roughing, surface finishing and complete assembly.

Keywords: 3D scanning, Reverse engineering, Milling, CNC machines, Brakes, Manufacturing, Machining center

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce, Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D., za jeho cenné odborné rady a vedení během psaní této bakalářské práce. Jeho přístup a ochota sdílet své znalosti hrály klíčovou roli v úspěšném dokončení této práce.

Dále bych chtěl vyjádřit svou vděčnost své rodině za jejich podporu během mého studia. Jejich pochopení a podpora mi byly vždy oporou a umožnily mi soustředit se na svou práci.

Na závěr bych chtěl poděkovat všem přátelům, kteří mě motivovali a poskytli mi podporu v průběhu celého procesu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 BRZDY	11
1.1 ROZDĚLENÍ BRZD	11
1.1.1 Kotoučové brzdy	11
1.1.2 Bubnové brzdy	13
1.2 PROVOZNÍ PODMÍNKY	15
1.3 VHODNÉ MATERIÁLY	15
2 3D SKENOVÁNÍ	17
2.1 DOTYKOVÉ 3D SKENERY	17
2.1.1 Destruktivní.....	17
2.1.2 Nedestruktivní	17
2.2 BEZDOTYKOVÉ SKENERY	18
2.2.1 Laserové	18
2.2.2 Optické	19
2.2.3 Rentgenové.....	19
2.3 OPTIMALIZACE MODELŮ	19
3 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ	21
3.1 ZÍSKÁVÁNÍ DIGITÁLNÍ DAT	21
3.2 VYUŽITÍ ZÍSKANÝCH DAT	21
4 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	22
4.1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	22
4.1.1 Frézovací nástroje	22
4.1.2 Metodika frézování	23
4.1.3 Upínání nástrojů a obrobků	24
4.2 CNC STROJE.....	25
4.2.1 Souřadnicový systém a nulové body	25
4.2.2 Vícesé obrábění	26
4.2.3 Konstrukce CNC stroje	27
4.3 FRÉZOVACÍ STROJE A OBRÁBĚCÍ CENTRA	28
4.3.1 CNC obráběcí centra	28
4.3.2 Konzolové frézky	29
4.3.3 Rovinné frézky	29
4.4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	29
4.4.1 Struktura CNC programu	30
4.4.2 Manuální programování	31
4.4.3 Programování s využitím CAD/CAM.....	31

5	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	32
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
6	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	34
7	3D SKENOVÁNÍ.....	35
7.2	PŘÍPRAVA SKENOVANÉ SOUČÁSTI	35
7.3	SKENOVÁNÍ.....	36
8	VYTVOŘENÍ 3D MODELU.....	38
8.1	SOFTWARE NX.....	38
8.2	OPTIMALIZACE SKENU.....	39
8.3	TVORBA MODELU	39
9	OBRÁBĚCÍ CENTRUM DMU 50	41
10	VYTVOŘENÍ PROGRAMU A VÝROBA	42
10.1	VOLBA MATERIÁLU	42
10.2	VOLBA UPNUTÍ.....	43
10.3	PRVNÍ UPNUTÍ	43
10.3.1	Počáteční obrábění	44
10.3.2	Dokončení funkční středové plochy.....	46
10.3.3	Dokončení ploch	47
10.3.4	Zbytkové obrábění	49
10.3.5	Obrobení děr.....	49
10.3.6	Uchycení tažného lanka	50
10.4	DRUHÉ UPNUTÍ.....	51
10.4.1	Hrubování.....	52
10.4.2	Dohrubování žebrování	53
10.4.3	Dokončení žebrování	54
10.4.4	Hrubování děr.....	55
10.4.5	Dokončení děr	56
10.4.6	Obrobení obvodových drážek	57
10.5	KOMPLETACE SESTAVY	57
10.5.1	Povrchová úprava.....	58
10.5.2	Zalisování dílů.....	59
10.5.3	Gravírování nápisu	60
10.5.4	Sestavení brzdy	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

Reverzní inženýrství je důležitý proces, který zkoumá fungování různých produktů a technologií. Často se používá k analýze softwaru, elektronických zařízení, mechanických součástí, a dokonce i biologických struktur. Cílem je pochopení funkčnosti nebo designu produktu, aniž bychom měli všechny potřebné informace. Tento proces má mnoho výhod, jako je zlepšení kompatibility mezi různými systémy, odhalení chyb a vytváření konkurenceschopnějších produktů.

Existuje mnoho metod reverzního inženýrství, například analýza softwaru, elektronických obvodů nebo mechanických součástí. Pomáhá inženýrům lépe porozumět existujícím systémům a využít této znalosti pro vylepšení nebo tvorbu nových produktů.

V dnešní době je reverzní inženýrství důležité v různých odvětvích, jako je informační technologie, elektronika, průmyslový design a medicína. Nedílnou součástí reverzního inženýrství je získávání digitálních dat zejména za pomoci 3D skenování.

Reverzní inženýrství poskytuje nezbytné informace a data pro vytvoření digitálního modelu existujícího dílce. Tento model může sloužit jako vstupní data pro CNC stroje, které poté obrobí součást přesně podle specifikací a požadavků.

CNC obrábění je technologie, která umožňuje přesné obrábění materiálů pomocí počítačově řízených obráběcích strojů. Tato metoda je široce využívána v průmyslu pro výrobu různých součástí a dílů.

Principem CNC obrábění je programování stroje pomocí počítače, který následně řídí pohyb nástroje a odstraňování materiálu z obrobku. Tento proces umožňuje vytvářet složité tvary a dosáhnout vysoké přesnosti výrobku. CNC obrábění se využívá v mnoha odvětvích, jako je strojírenství, automobilový průmysl, letecký průmysl a další.

Kombinace využití reverzního inženýrství a CNC obrábění je nedílnou součástí výroby moderního průmyslu díky své efektivitě a přesnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BRZDY

Brzdny mechanismus slouží ke zpomalení nebo úplnému zastavení pohybujícího se vozidla, případně k následnému zajištění jeho polohy. Bez jejich správné funkce není zaručena konzistence brzdneho účinku a bezpečnost vozidla. Převážná většina brzd plní svou funkci na principu tření dvou materiálů přitlačovaných k sobě, což má za následek vznik třecí brzdne síly a přeměnu kinetické energie na teplo, které je následně odváděno z brzdneho systému. [1]

1.1 Rozdělení brzd

Mezi dva hlavní typy třecích brzd můžeme zařadit kotoučovou a bubnovou brzdu. Jejich hlavním rozdílem je způsob vytvoření brzdneho účinku. U kotoučové brzdy se na každou stranu rotujícího brzdneho kotouče přitlačují brzdne destičky z třecího materiálu, naopak u bubnové brzdy se roztahují brzdové čelisti s připevněným brzdovým obložením z třecího materiálu k povrchu rotujícího brzdového bubnu. [1, 2]

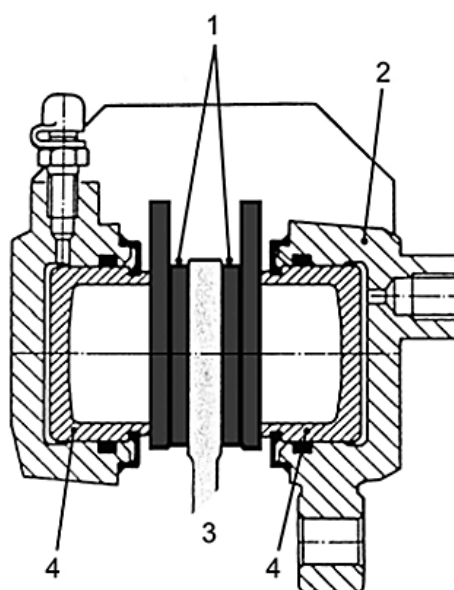
Hlavním cílem konstrukce brzd je konstantní vytváření brzdneho efektu za všech teplotních i povětrnostních podmínek. Z tohoto důvodu jsou nejrozšířenější kotoučové brzdy, které mají dobrou schopnost odvodu tepla a vyšší poskytnutí brzdne síly v porovnání s bubnovými brzdami využívanými převážně na zadních nápravách vozidel. Mezi důvody upřednostnění bubnové brzdy před kotoučovou většinou bývá snazší ustanovení funkce parkovací brzdy nebo nižší cena. [1]

1.1.1 Kotoučové brzdy

Základní součástí kotoučové brzdy je samotný brzdový kotouč, který může mít buď hladký povrch, nebo být opatřen drážkami či otvory pro zlepšení brzdneho účinku. Brzdové destičky jsou umístěny po obou stranách kotouče a jsou přitlačovány k jeho povrchu pomocí pístů v brzdném třmenu. Tato přitlačecí síla je generována buď hydraulicky nebo mechanicky, přičemž u motocyklů se často využívají lana a táhla pro mechanické přenosy sil. [3, 4]

Mezi pozitivní vlastnosti kotoučových brzd patří vysoká tepelná odolnost díky použití brzdových destiček vyrobených ze slinutých materiálů. Konstrukce těchto brzdových systémů také minimalizuje citlivost na tepelné roztažení a umožňuje efektivní odvod tepla díky přirozenému chlazení proudem vzduchu, který proudí kolem všech brzdových komponent. [3, 4]

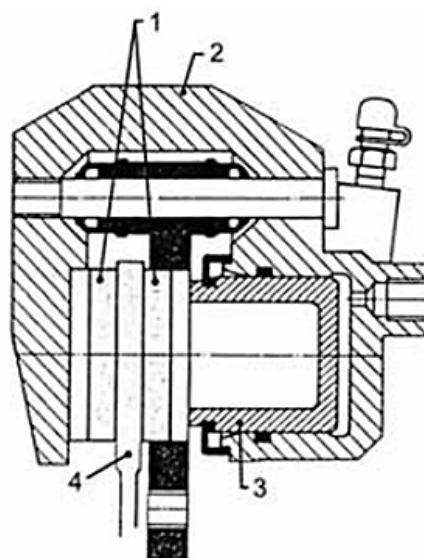
Kotoučová brzda s pevným brzdovým třmenem (obr.1) obsahuje písty, které jsou umístěny v brzdovém třmenu z obou stran, což umožňuje jejich rovnoměrné působení na brzdový kotouč. Tímto způsobem se minimalizuje ohybové namáhání brzdového kotouče. Obvykle jsou proti sobě umístěny dva až šest brzdových pístů, které tlakem brzdové kapaliny tlačí na brzdové destičky. V některých případech může být použito i více pístů. Při hydraulickém ovládní pístů se tlaková síla brzdové kapaliny rovnoměrně distribuuje do všech pístů. Pro návrat pístů do výchozí polohy jsou použity zkrutné kroužky a podtlak brzdové kapaliny. [4]



1 – třecí obložení; 2 – pevný třmen;
3 – brzdový kotouč; 4 – ovládací pístky.

Obr. 1 Kotoučová brzda s pevným třmenem [4]

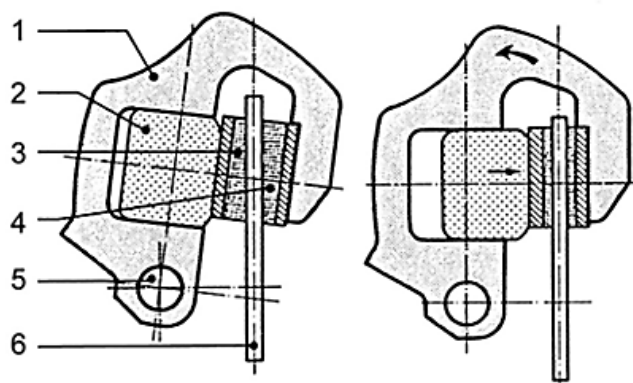
Kotoučová brzda s plovoucím brzdovým třmenem (obr. 2) má obvykle jeden až dva písty umístěné pouze z jedné strany v pohyblivém těle třmenu. Tyto písty působí pouze na jednu brzdovou destičku, která vyvolá reakční sílu v třmenu. Tento třmen, za pomoci vodících čepů, následně přisune druhou destičku k brzdovému kotouči. Tímto způsobem je přítlačná síla rovnoměrně rozložena a obě brzdové destičky působí na kotouč. Oproti kotoučové brzdě s pevným třmenem je konstrukce brzdy s plovoucím třmenem lehčí, zabírá méně prostoru a je obvykle cenově výhodnější. [4]



1 – třecí obložení; 2 – plovoucí třmen;
3 – ovládací pístek; 4 – brzdový kotouč.

Obr. 2 Kotoučová brzda s plovoucím třmenem [4]

Kotoučová brzda s otočným brzdovým třmenem (obr. 3), který je umístěn na svislém čepu, obvykle obsahuje jeden píst, který působí na vnější brzdovou destičku. Když je destička přitlačena pístem k brzdovému kotouči, vzniká reakční moment, který způsobuje otočení ramene a přitlačení druhé destičky ke kotouči. Návrat třmene do výchozí polohy je zajištěn pružinou, která je uchycena na aretačním kolíku. [4]



1 – třmen; 2 – pístek; 3 – vnější obložení; 4 – vnitřní obložení;
5 – osa otáčení třmene; 6 – brzdový kotouč.

Obr. 3 Kotoučová brzda s otočným třmenem [4]

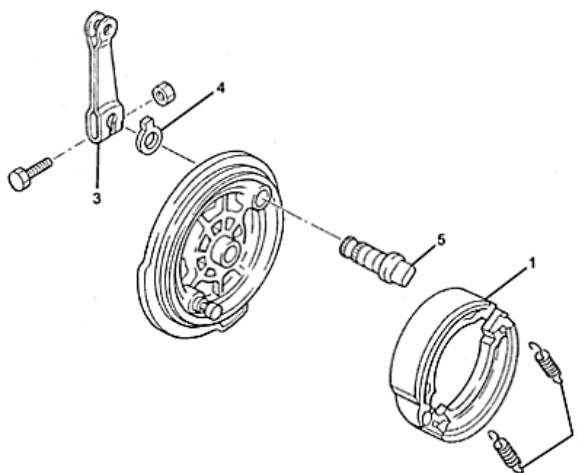
1.1.2 Bubnové brzdy

Základní princip fungování bubnových brzd spočívá v přitlačení brzdových čelistí k otočnému brzdovému bubnu a následném vytvoření brzdného efektu. Tyto brzdové čelisti jsou vybaveny třecími brzdovými obloženími a přichyceny k pevnému brzdovému štítu.

Mechanismus pro přitlačení brzdových čelistí může být buď hydraulický pomocí pístu, nebo mechanický s využitím vačky na hřídeli s pákou. V uvolněném stavu jsou brzdové čelisti přitahovány k sobě pružinami, aby nedocházelo k nežádoucímu tření a byla zachována určitá vůle mezi otočným bubnem brzdy a čelistmi. Existují jednočinné a dvojčinné brzdy. U jednočinných brzd se čelisti rozlišují na náběžnou a úběžnou podle směru otáčení a působení na brzdový buben. Náběžná čelist je ta, která se přitlačuje na buben předním koncem proti směru otáčení. V případě, že rotace je proti náběžné čelisti, dochází k posilování brzdného účinku. [3]

Uzavřená konstrukce brání vniknutí nečistot do mechanismu brzdy. Brzdný účinek je však nižší a v některých případech se může dostavit se zpožděním, proto se převážně využívají pro vozidla a motocykly s menšími nároky na brzdovou sílu. [4]

Jednočinné bubnové brzdy nazývané také simplex (obr. 4) jsou nejjednodušším konstrukčním provedením a vytváří relativně malou brzdovou sílu. Brzdové čelisti jsou od sebe roztahovány jen jednou společnou otočnou vačkou, popřípadě pístem a na druhé straně uchyceny čepem. [1]

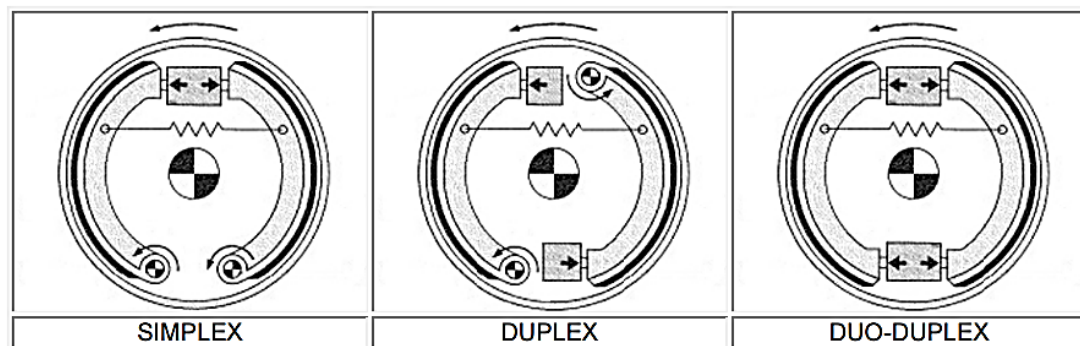


1 – brzdové čelisti; 2 – vratné pružiny; 3 – páka vačky brzdy;
4 – ukazatel opotřebení; 5 – brzdový klíč (vačka).

Obr. 4 Bubnová brzda simplex [4]

Duplex neboli dvojčinné bubnové brzdy disponují dvěma otočnými vačkami nebo písty, což je rozdíl oproti jednočinným brzdám simplex. V případě dvojčinných brzd je každá brzdová čelist přitlačována jednou vačkou nebo pístem. Na opačném konci čelisti se poté otáčí kolem čepu, což zajišťuje větší kontaktní plochu a tím pádem i zvýšený brzdný účinek. [1]

U dvojčinných brzd duo duplex je přitlačení čelistí zajištěno na obou stranách dvojčinným válečkem. Oproti brzdám simplex a duplex chybí pevný čep. [1]



Obr. 5 Schematické zobrazení typů bubnových brzd [5]

U Brzd servo je přitlačení čelistí zajištěno na jedné straně dvojčinným pístem a na straně druhé jsou upevněny jako plovoucí a brzdná síla se přenáší z jedné čelisti na druhou čímž dochází ke zvětšení samoposilovacího brzdného účinku. [1]

1.2 Provozní podmínky

Brzdné systémy musí být schopny plnit svou funkci za všech povětrnostních podmínek, které mají přímý negativní vliv na vznikající třecí síly. Konstrukčně musí být zajištěna odolnost proti takovým podmínkám a současně dostatečný odvod vzniklého tepla při brždění v opačném případě by mohlo dojít k poškození brzdy. [1, 2]

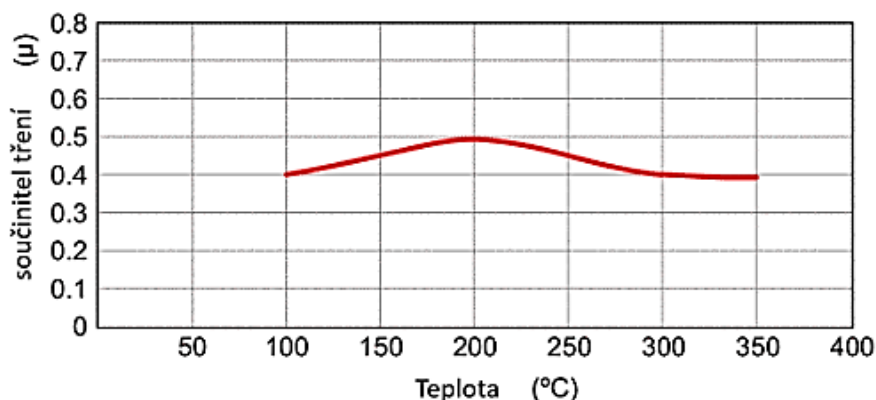
Pravidelná údržba a kontrola je důležitá pro dodržení technického stavu brzdových součástí, zejména brzdových destiček a obložení. Pokud by došlo k zanedbání pravidelné výměny mohlo by dojít k nenávratnému poškození brzdného mechanismu a kompletní ztráty brzdného účinku. Správná volba destiček je také hlavním aspektem správné funkce brzd v požadovaných provozních podmínkách. V závislosti na provedení brzdného systému a způsobu vyvolání brzdné síly je také třeba kontrola tlaku v hydraulickém brzdném obvodu nebo správnost nastavení brzdného lanka. [1, 2]

1.3 Vhodné materiály

Při konstrukci brzdných mechanismů se využívá široká škála materiálů odpovídajících požadavkům pro správnou funkčnost, mechanické vlastnosti materiálů a technologickou zpracovatelnost při výrobě. [2]

Pro konstrukci dílů, které nejsou přímo vystaveny tření se využívají běžné konstrukční oceli, litiny, popřípadě slitiny hliníku. Mezi tyto součásti patří například brzdové třmeny, brzdový štít a brzdové klíče, které jsou vystaveny pouze mechanickému namáhání. V případě že dochází u součásti k přímému tření jako jsou brzdové bubny a kotouče, využívají se materiály schopné vyvolat dostatečnou třecí sílu a zároveň odolat mechanickému namáhání, opotřebení při vyvolání tření a mají schopnost dostatečně odvádět vznikající teplo. [1]

Mezi běžně využívané materiály můžeme zařadit litiny, nerezové oceli, slitiny hliníku využívané zejména pro nízkou hmotnost, v některých případech keramické materiály, popřípadě keramické materiály vyztužené uhlíkovými vlákny. [1]



Obr. 6 Teplotní vliv na tření u kompozitní brzdové destičky vázané pryskyřicí [1]

Brzdové destičky a obložení se při brždění opotřebovávají nejvíce ze všech součástí. Nejčastěji se využívají spékané, keramické nebo uhlíkové destičky. [1]

Spékané brzdové destičky se vyrábí technologií práškové metalurgie a jsou schopny poskytovat vysoký třecí účinek a konzistenci v kombinaci s ocelovými kotouči při mokřích podmínkách. [1]

Keramické destičky jsou nákladné a vyžadují specificky potřebný materiál na bubnu či kotouči, avšak jsou schopny poskytovat konzistentní vysoký brzdový účinek. [1]

V případě uhlíkových brzdových destiček se jedná o kompozitní materiály z uhlíkových vláken, brzdový kotouč bývá z podobného či stejného materiálu. Tyto destičky jsou vysoce náchylné na teplotní změny a jsou nákladné, dokážou však poskytovat vysoké třecí síly a jsou hojně využívány například u závodních vozidel. [1]

2 3D SKENOVÁNÍ

Trojrozměrné skenery slouží k zobrazování fyzických objektů v digitálním rozhraní jako 3D modely. Mají širokou oblast využití jak v lékařství, tak v průmyslové výrobě zejména při využití takzvaného reverzního inženýrství, pro kontrolu vyrobených rozměrů nebo při tvorbě složitých modelů pro 3D tisk. Skenery využívají různé metody pro získávání dat pro následnou tvorbu 3D prvků a komplexních modelů a můžeme je základně rozdělit na dotykové a bezdotykové skenery. [6]

2.1 Dotykové 3D skenery

Dotykové 3D skenery pracují na principu fyzického dotyku se součásti. Hlavní výhodou je rozměrová přesnost, avšak s vysokým rizikem poškození nebo zničením skenované součástky z důvodu fyzického dotyku. [6]

2.1.1 Destruktivní

Destruktivní 3D skener je zařízení se schopností zobrazit vnější i vnitřní prvky součástky. Největší využití má tato metoda při digitalizaci vnitřně složitých součástek. Před samotným skenováním je součástka pokryta kontrastním nátěrem na všech plochách. Následně je umístěna na pracovní stůl skenovacího zařízení a pevně uchycena. Samotné skenování probíhá na principu odfrézování tenké vrstvy ze součástky a následným nasnímáním optickým skenerem. Z naskenovaných snímků se posléze postupně vytváří 3D model a skenovaná součástka je zničena. [7]

2.1.2 Nedestruktivní

Principem nedestruktivního 3D dotykového skeneru je dotyková sonda (obr. 7), která zaznamenává souřadnice dotyku a následně je zpracovává do 3D modelu skenu. Pro přesnější výsledky je nutno vyznačit body vhodné pro provedení dotyku tak aby zachytily co nejefektivněji tvarové prvky skenované součásti a podle členitosti se pak volí počet těchto bodů. Jako příklad takového systému je například souřadnicový měřicí stroj CMM. Tato metoda se také vyznačuje vysokou přesností za cenu rizika poškození součástky. [6, 7]



Obr. 7 Dotyková sonda [8]

2.2 Bezdotykové skenery

U bezdotykových skenerů nedochází k žádnému kontaktu se skenovanou součástkou a nehrozí tak její poškození. Fungují na principu vyzařování a zachycování světelných nebo rentgenových paprsků či ultrazvukových vln. V tomto případě se jedná o aktivní bezdotykové skenery. V případě pasivních skenerů se využívá pouze dvojice kamer. [6]

2.2.1 Laserové

Principem laserového 3D skeneru (obr.8) je vysílání laserových paprsků na skenovanou součást od které se posléze odráží a vrací se do skeneru. Rozměrová data se získávají z měření času uplynulého do navrácení paprsků do skeneru a měřením úhlu dopadu. Data o zakřivení povrchu získáme změřením úhlu navracejících se paprsků do skeneru. Kvalita skenu závisí na hustotě vysílaných laserových paprsků. [7, 9]



Obr. 8 Ukázka laserového skeneru [10]

2.2.2 Optické

Optické 3D skenery (obr. 9) fungují na základě postupného snímání objektu pomocí několika optických kamer umístěných kolem zobrazovacího ohniska skeneru. Objekt je postupně snímán z různých stran a úhlů. Některé skenery navíc využívají projekci strukturovaných paprsků světla pro dosažení vyšší kvality výsledků. Výsledný 3D model je poté získán zpracováním a aproximací nasnímaných dat. Optické skenery se vyznačují schopností zobrazit jak geometrii dílu, tak i texturu povrchu. Před samotným skenováním je třeba opatřit součástku referenčními body pro jednodušší orientaci při snímání a kompletaci skenovaných dat. Referenční body se umísťují na součást v dostatečném počtu tak aby při snímání konkrétního úhlu byly vždy alespoň 3 body viditelné. Velikost bodů se mění s velikostí součástky, která také určuje potřebný měřicí objem skeneru. V případech skenování lesklých ploch je třeba opatřit povrch antireflexní vrstvou pro eliminaci možných vznikajících odlesků na snímaných datech. [6, 9, 10]



Obr. 9 Ukázka optického skeneru [9]

2.2.3 Rentgenové

Rentgenové 3D skenery vyzařují rentgenové záření o vysoké intenzitě do povrchu součástky a umožňují získání dat o vnitřních rozměrech geometrických prvků uzavřených součástek, které by nebylo možno získat bez poškození dílu žádným jiným způsobem. [7]

2.3 Optimalizace modelů

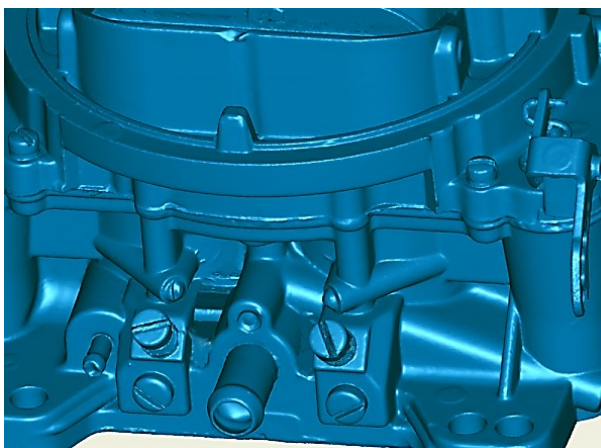
Výsledný model po 3D skenování by měl být v takovém stavu, aby byla možná podle něj další výroba a zpracování, nejčastěji 3D tisk. Takový model s celistvým povrchem

nazýváme vodotěsný model. Reálný model většinou má vady povrchu například v podobě nenaskenovaných ploch nebo zkreslené geometrické prvky a povrchy. V takovém případě je třeba dalších dodatečných úprav. [6]

Chybějící prvky lze opravit buď dodatečným skenováním anebo využitím oprav přímo v příslušném softwaru skeneru. V některých případech je nemožné nebo obtížné provést opravy automaticky a je potřeba plochy doplnit manuálně za pomoci křivek a bodů. Po opravách je důležitá kontrola modelu, zda proces oprav neovlivnil tvar ostatních ploch. [9, 10]

Při skenování skener zachycuje i nežádoucí okolí, které se při zpracování dat odstraňuje. Takové nežádoucí prvky nazýváme šum a zhoršují kvalitu a přesnost skenovaného objektu. Předcházet šumu lze částečně správným nastavením skeneru nebo zlepšení podmínek pro skenování jako je například rovnoměrné osvětlení, stabilita skenovaného dílu nebo eliminací a předcházení pohybujících se objektů. [9, 11]

3D skenery jsou schopny zobrazovat plochy ve vysoké kvalitě s velkými detaily (obr. 10), které mohou být v některých případech pro následné další využití nežádoucí. Pro odstranění se využívají různé metody vyhlazení povrchu nebo odstranění části povrchu a následné nahrazení celistvou plochou. Mezi nežádoucí prvky na plochách většinou považujeme rýhy v povrchu nebo poškození hran, případně možné poškození povrchu při opotřebení využíváním součástky. [9, 10, 11]



Obr. 10 Ukázka modelu vzniklého 3D skenováním [12]

3 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Reverzní inženýrství je proces, při kterém dochází k opačnému procesu než při výrobě, u které se využívá technické dokumentace. Zde využíváme fyzicky vyrobených součástí, ze kterých se následně získávají digitalizací CAD data. Největší zastoupení metody reverzního inženýrství nalezneme jak v průmyslové výrobě, tak i při výrobě zdravotnických prostředků mezi které můžeme zařadit například protézy. [9, 13]

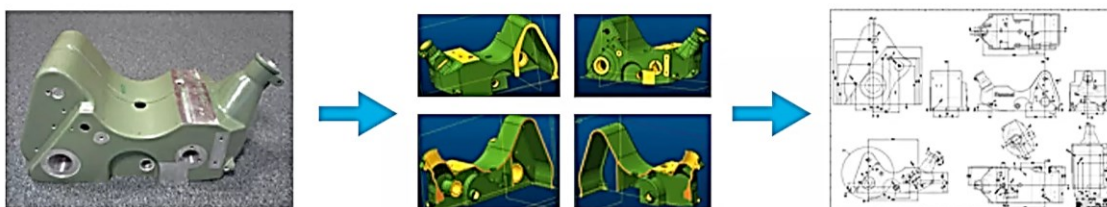
3.1 Získávání digitální dat

3D data z reálných těles získáváme různými metodami. Mezi neefektivnější a nepřesnější metodu můžeme zařadit 3D skenování, které umožňuje rychlé a přesné získání CAD dat. U tvarově jednoduchých součástek můžeme využít také manuálního měření tvarových ploch za pomoci délkových měřidel a následného vytvoření 3D modelu ze získaných rozměrů. Na rozdíl od 3D skenování má tato metoda vyšší riziko vzniku nepřesností z důvodu možných chyb při měření rozměrů. [9, 13]

3.2 Využití získaných dat

Získaná 3D data následně slouží pro různé potřeby ve výrobě. Data lze využít jako porovnávací modely pro zjištění přesnosti vyrobených dílů, případně pro rozměrové úpravy či změnu konstrukce součástek při zachování své funkce součástek u kterých není dostupná výkresová dokumentace. Reverzní inženýrství lze také využít pro obnovu výkresové dokumentace. [13, 14]

Při využití metody reverzního inženýrství občas dochází k plagiátorství při vytváření kopií výkresové dokumentace zakoupených součástek při konkurenčním boji. [13]



Obr. 11 Ukázka postupu reverzního inženýrství [14]

4 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění je technologický proces využívaný pro odstranění přebytečného materiálu z obráběné součásti za využití fyzikálně – mechanického procesu. Samotné obrábění lze rozdělit na cyklické, diskontinuální a kontinuální podle metody obrábění. [15]

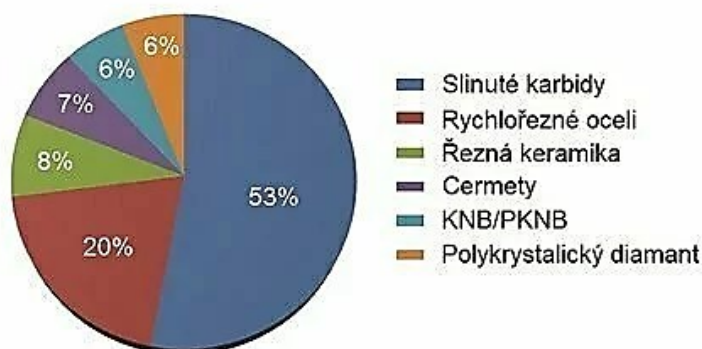
4.1 Technologie frézování

Frézování je rozsáhle využívaná technologie třískového obrábění. Tato metoda využívá několik rezných pohybů, které můžeme rozdělit na hlavní a vedlejší rezné pohyby. Hlavním rezným pohybem je otáčivý pohyb nástroje nazývaným fréza, který je upnut v otáčejícím se vřetenu stroje nazývaným frézka. Mezi vedlejší rezné pohyby řadíme posuv a přísuv. Tyto pohyby může podle typu stroje vykonávat buď obráběný materiál nazýván obrobek, který je upnut na stole frézky nebo v případě obráběcích center i pohyb vřetene s nástrojem. [15, 16]

4.1.1 Frézovací nástroje

Frézy mohou být klasifikovány podle několika hlavních kritérií, jako je například jejich konstrukce (například monolitní nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami), umístění břitů (válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové a úhlové frézy), uspořádání a tvar zubů (například dokončovací nebo hrubovací frézy) nebo způsob upnutí frézy (nástrčné nebo stopkové). Díky široké škále dostupných frézovacích nástrojů je možné vybrat ten nejvhodnější typ nástroje pro konkrétní účely obrábění. [16, 17]

Pro výrobu frézovacích nástrojů se používá široká škála rezných materiálů (obr.12). Monolitní frézy jsou nejčastěji vyrobeny z rychlořezné oceli, kde celý nástroj je vyroben z jednoho kusu materiálu. Nicméně častěji se používají frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami. V takovém případě je tělo frézy vyrobeno z konstrukční oceli, ke kterému jsou mechanicky připevněny nebo připájeny břitové destičky, přičemž slinuté karbidy mají největší zastoupení. Další možnosti zahrnují reznou keramiku, polykrystalický diamant nebo polykrystalický kubický nitrid boru. [18, 19]

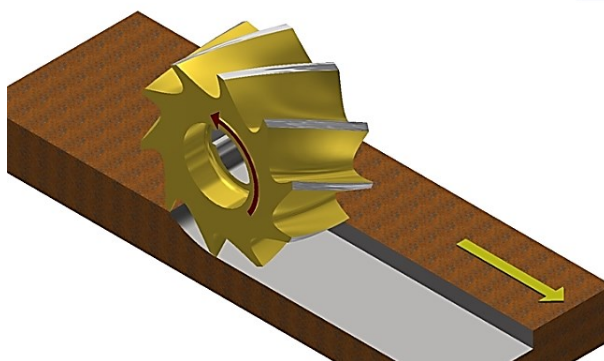


Obr. 12 Využití řezných materiálů [19]

4.1.2 Metodika frézování

Podle smyslu otáčení frézy vůči posuvům obrobku dělíme frézování na dva typy, a to sousledné a nesousledné. Každý způsob má své výhody a nevýhody podle kterých můžeme zvážit a zvolit vhodnost dané metody pro konkrétní obrábění obrobku. [15]

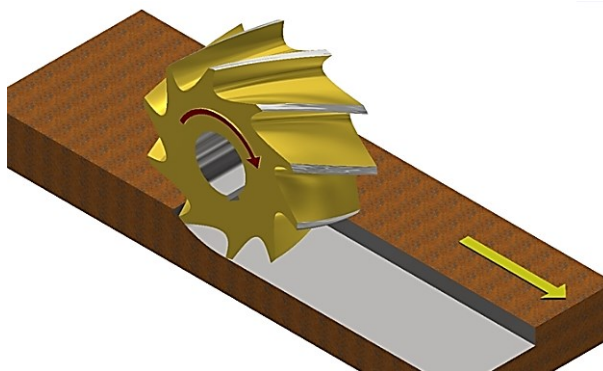
U sousledné metody frézování (obr.13) je otáčivý pohyb frézy totožný se směrem posuvu obrobku. Na počátku záběru se odebírá maximální velikost odebírané třísky, která se postupně zmenšuje což vede také ke změně řezných sil. Maximální řezná síla je na počátku úběru třísky což může ve většině případů vést ke vzniku rázů. Díky stejnému smyslu pohybů dochází k minimalizování vznikajícího tření, a to má za následek malé zahřívání v místě řezu. Díky směru řezné síly, která má výslednici směrem do obrobku dochází k přitlačení obráběného materiálu do upnutí a má tak pozitivní vliv na samotné upínací síly. [15, 20]



Obr. 13 Sousledné frézování [21]

U nesousledné metody frézování (obr. 14) je otáčivý pohyb frézy opačný než směr posuvu obrobku. Oproti souslednému frézování se velikost odebírané třísky postupně zvětšuje. Výslednice řezné síly je v tomto případě směrem od obrobku a působením této síly dochází k vyššímu nároku na upínací síly z důsledku snahy frézy vytržení obrobku z upnutí. Dále

zde dochází k vysokému vzniku tepla v důsledku tření a se spojením obtížné dopravy chladicího media do místa řezu je třeba využívat nástrojů určených pro vysokoteplotní obrábění. [15, 20]



Obr. 14 Nesousledné frézování [21]

4.1.3 Upínání nástrojů a obrobků

Při upínání fréz rozlišujeme upnutí podle typu a konstrukce samotné frézy. Kroutící moment je přenášen vždy třením anebo pomocí unášecích kamenů. Ve většině případů se využívá jejich kombinace. Nástrčné frézy se nejčastěji upínají za pomoci trnů. V případě stopkových fréz rozlišujeme frézy podle typu stopky. Zakončené frézy válcovou stopkou upínáme za pomoci kleštin do sklíčidla (obr. 15). Frézy s ukončením buď kuželovou stopkou nebo Morse kuželem upínáme přímo do vřetene stroje. [16, 17, 22]



Obr. 15 Ukázka upnutí na stopkové frézy [23]

Při upínání obrobků musíme brát v potaz hned několik vlivů vznikajících při samotném obrábění. Upnutí by mělo být dostatečně pevné, aby se předešlo možnému vysmeknutí obráběného materiálu z upnutí za předpokladu, že nesmí nastat poškození obrobku. Dále by se měly brát v potaz také vznikající řezné síly a díky správnému zvolení upnutí tak předejít částečně jejich negativnímu působení. Samotné upnutí může být provedeno hned několika

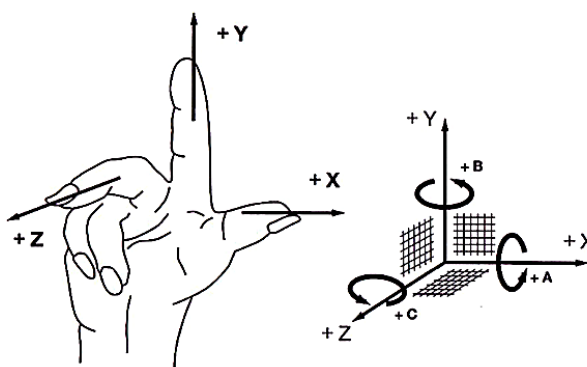
způsoby. Nejběžnější je upnutí do univerzálních strojních svěráků. Dále můžeme využít úpinky, které se šroubují přímo ke stolu obráběcího stroje. Při velkosériové výrobě se také využívají jednoúčelové přípravky na upnutí tvarově složitých součástek. [16, 24]

4.2 CNC stroje

Počítačem řízené stroje neboli také číslicově řízené stroje jsou zařízení ovládána za pomoci řídicího systému s využitím programu, který obsahuje informace o požadovaných procesech stroje a jejich posloupnosti. CNC stroje nachází široké uplatnění ve výrobě a umožňují částečnou nebo úplnou automatizaci výrobního procesu se snižujícími se nároky na manuální práci obsluhy stroje. [20]

4.2.1 Souřadnicový systém a nulové body

Výrobní systémy pracují s kartézským souřadnicovým systémem, který je definován normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu. Tento pravoúhlý souřadnicový systém (obr. 16) se skládá z os X, Y, Z a otáčivých pohybů kolem těchto os, označovaných jako A, B, C. Osa Z odpovídá ose pracovního vřetene, přičemž kladný směr směřuje od obrobku k nástroji. Důležitým prvkem tohoto systému je možnost pracovat s hodnotami jak v kladném, tak v záporném rozsahu souřadnic. [20, 25]



Obr. 16 Definování kartézského systému [20]

Kartézský souřadnicový systém je nezbytný pro efektivní řízení stroje, umožňuje pohyb nástroje v souladu s instrukcemi z řídicího panelu CNC stroje nebo podle pokynů obsažených ve spuštěném CNC programu. Tento systém je klíčový také pro provádění měření nástrojů. Je možné přizpůsobit souřadnicový systém podle konkrétních potřeb, včetně jeho posunu a otáčení. Při měření nástrojů je obvykle umístěn v místě výměny nástrojů nebo na špičce samotného nástroje. [20, 25]

Počátek souřadnicového systému kartézských souřadnic se umísťuje do optimální pozice na obrobku, která je označována jako nulový bod obrobku. Tato pozice nulového bodu obrobku je pečlivě vybrána s ohledem na usnadnění čtení jednotlivých geometrických bodů na obrobku a výpočet drah nástroje. [20, 25]

Referenční bod stroje nebo také nulový bod, který je stanoven výrobcem, slouží jako výchozí bod pro všechny další souřadnicové systémy a odkazové body na stroji. U soustruhů je referenční bod stroje umístěn v ose otáčení obrobku, konkrétně v místě čela vřetene. V případě frézovacích strojů je referenční bod obvykle umístěn v místě nejvzdálenější polohy stolu frézky ve všech osách, často vlevo a vpředu z pohledu obsluhy. [20, 25]

4.2.2 Víceosé obrábění

Víceosé obrábění představuje klíčový prvek v moderním průmyslu, kde zásadní roli hraje efektivita a přesnost. Tato technologie umožňuje strojům automatizovaně pracovat ve více rovinách současně, čímž rozšiřuje možnosti v oblasti výroby složitých součástí. Počet pracovních os stroje je klíčový pro efektivitu obráběcích procesů. Bez ohledu na to, zda se jedná o tři, čtyři nebo více os, tento faktor přináší větší flexibilitu a komplexnost obráběcích procesů. [20]

1D obrábění je metoda, která vyžaduje ruční nastavení polohy nástroje ve dvou osách, následované samotným obráběcím pohybem ve třetí ose. Typickým příkladem zařízení využívajícího tento princip je souřadnicová vrtačka. [20, 26]

2D obrábění s pravoúhlým řízením je metoda, při které je pohyb nástroje řízen podle os rovnoběžných se souřadným systémem. Tento pohyb může být prováděn buď po jednotlivých osách nebo současně po obou osách. Pohyb ve třetí ose, který určuje hloubku odstraňovaného materiálu, je prováděn manuálně. [20, 26]

2D obrábění se souvislým řízením narozdíl od metody s pravoúhlým řízením zvládá obráběcí pohyby ve dvou osách s interpolací, která spočívá v dopočítávání bodů dráhy nástroje. Tento typ obrábění je schopen vyrobit jednoduché geometrické tvary jako jsou například rádiusy, kužele nebo úkosy. [20, 26]

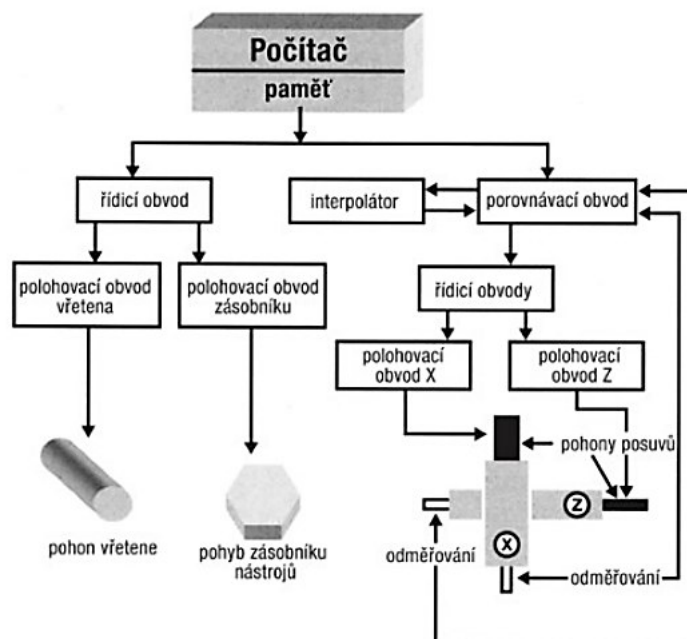
3D obrábění umožňuje pohyb nástroje ve třech osách X, Y, Z současně. Touto metodou lze obrábět většinu tvarů s proměnlivým povrchem. [20, 26]

4D obrábění je obrábění ve třech osách X, Y, Z za současného natočení obrobku či nástroje. Konstrukčně se jedná o 3D obráběcí stroj s otočným stolem v jedné ose. [20, 26]

5D obrábění se vyznačuje plynulým nakláněním nástroje nebo obrobku ve dvou rotačních osách, což zlepšuje řezné podmínky a přístupnost k obráběným tvarům na obrobku. Pohyby v osách X, Y, Z jsou synchronizovány s nakláněním v rotačních osách A, B, C. Tato metoda se často využívá při obrábění složitých geometrických prvků, jako jsou lopatky turbín. Obráběcí centrum nebo frézka s pěti osami umožňuje souběžné pohyby ve všech pěti osách, což je důležité například při frézování skloněných stěn polovičních kapes nebo při tvorbě rádiusu rohu. [20, 26]

4.2.3 Konstrukce CNC stroje

CNC stoj představuje komplexní mechanický systém skládající se z různých subsystémů založených na mechanických, elektrických a hydraulických zařízeních. [24]



Obr. 17 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [20]

Mechanická část CNC stroje se odvíjí podle jeho konkrétního typu a designu a skládá se z různých konstrukčních prvků, včetně stolu, vřetene, vřeteníku a převodové skříně. Tyto prvky jsou typicky vyrobeny z litinových odlitků, které splňují specifické požadavky na přenos sil a zároveň umožňují potlačení deformací a tlumení vibrací. Klíčové požadavky na mechanickou část zahrnují vysokou tuhost systému, jednoduchou obsluhu a možnost provádět údržbu s minimálním nákladem. Dále je důležité, aby byla schopna účinně odvádět teplo a třísky. Mezi nejčastěji využívané typy vodících ploch patří kluzná vedení s

polosuchým třením, kluzná hydrodynamická vedení a valivá vedení, které mají významný dopad na celkovou přesnost stroje. [24, 27]

Snímače polohy představují klíčový prvek v CNC strojích, jenž má zásadní dopad na jejich celkovou přesnost. Tyto senzory jsou integrovány do odměřovacího systému, který sehrává důležitou roli v diferenciálním členu. Ten transformuje informace o požadovaných pohybech z řídicího systému na odpovídající signály pro servomechanismy. Různé metody odměřování mohou být klasifikovány podle umístění sensorů na stroji a podle principu, jakým funguje odměřovací zařízení. [24, 27]

Pohony umožňují nastavení optimálních otáček a posuvů pro provádění řezných operací. Tyto pohony mohou pracovat na základě střídavého (AC) nebo stejnosměrného (DC) proudu. Primární pohony jsou odpovědné za základní řezné pohyby, zatímco vedlejší pohony se starají o další pohyby v různých osách a otáčení revolverových hlav. [24, 27]

Pomocné mechanismy v CNC strojích zastávají funkce v zajištění potřebných činností stroje. To může zahrnovat hydraulická zařízení a systémy pro mazání. Hydraulické zařízení má za úkol ovládat pomocné funkce CNC stroje i jeho příslušenství. Na druhé straně, zařízení pro mazání slouží k mazání kluzných ploch, kuličkových šroubů a dalších částí stroje, buď v automatickém nebo méně obvyklém ručním režimu. [24, 27]

4.3 Frézovací stroje a obráběcí centra

Frézovací stroje jsou univerzální obráběcí zařízení vyráběné v široké škále konstrukcí a velikostí. Rozdělit je lze na základě provedení posuvů a přísuvů vřetene stroje vůči obrobku a způsobu řízení buď manuálně nebo ovládané programem. [28]

4.3.1 CNC obráběcí centra

Obráběcí centra představují pokročilé varianty CNC obráběcích strojů, které umožňují vykonávání široké škály operací během jednoho upnutí obrobku. Tyto stroje využívají automatickou výměnu nástrojů a umožňují kontrolu rozměrů obrobku a polohy nástrojů. Kromě toho umožňují i automatickou výměnu obrobku. Obráběcí centra jsou vybavena zásobníkem nástrojů s automatickou výměnou a mohou být dále vybavena měřicími sondami pro kontrolu součástí nebo pro ověření rozměrů nástrojů. Některá centra jsou také vybavena speciálními technologickými hlavicemi pro provádění nestandardních operací. Tato zařízení vycházejí z konceptu horizontální nebo vertikální frézky, což umožňuje provádět frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a řezání závitů na součástech z různých stran v jednom

upnutí. U vertikálního provedení je možné zpracovávat součásti z jedné strany, a pokud je zapotřebí zpracování ze všech stran, je nutné stroj vybavit vhodným upínacím zařízením s možností polohování nebo otočnou frézovací hlavou. [27, 29]

4.3.2 Konzolové frézky

Konzolové frézky jsou velmi často využívané stroje, jejichž hlavní částí je konzola. Tato konzola je nastavitelná v ose Z a je připevněna svisle na vedení stojanu. Pracovní stůl, na kterém se upevňují obrobky, je umístěn na této konzole, což umožňuje jeho svislý pohyb. Stůl je vybaven možností příčného a podélného posuvu. Všechny tyto pohyby jsou řízeny pomocí šroubů a matic, což umožňuje pohyb obrobku ve třech osách. Pohon posuvu je obvykle oddělený od pohonu vřetene. [28]

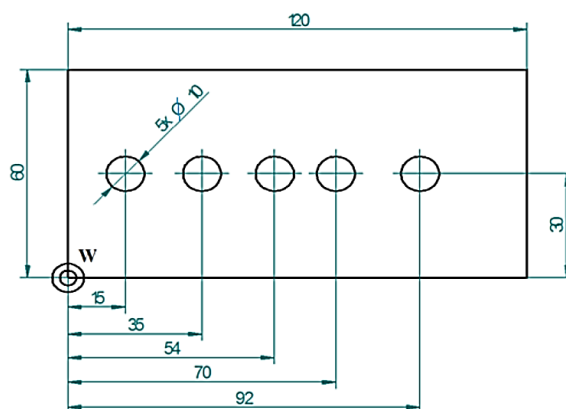
4.3.3 Rovinné frézky

Rovinné frézky jsou charakterizovány pohybem stolu pouze v jednom směru, konkrétně podél lože stroje. Pohyb vřeteníku je řízen pomocí svislého vedení, které tvoří stojan, spolu s pohybovým šroubem. V některých případech mohou být na stroj umístěna dvě nezávislá vřetena, se zajištěným pohybem svislým vedením. [28]

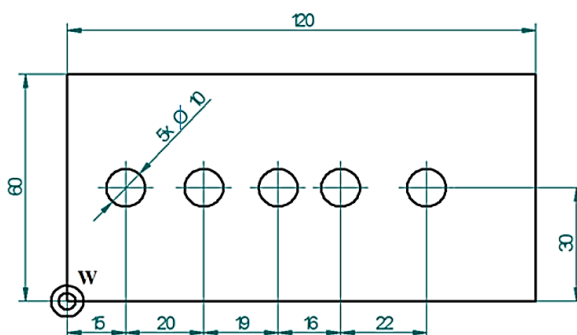
4.4 Programování CNC strojů

Proces programování CNC nebo NC strojů spadá do kompetence programátora. Moderní přístup k programování zahrnuje využití CAM softwaru, který je buď součástí dodávky stroje nebo pochází od externích poskytovatelů. Rozhodnutí, jaký software použít, leží v rukou samotného programátora, který má volbu mezi využitím CAM systému a manuálním programováním. [20, 26, 30]

Programování může probíhat dvěma základními metodami. Absolutní programování (obr. 18) spočívá v zadání stroji pohybového příkazu od nulového bodu do specifického místa v pracovním prostoru. Druhou metodou je přírůstkové programování (obr. 19), kde je příkaz generován od současné pozice vřetena směrem k novému umístění, kam je třeba přesunout nástroj. [20, 30]



Obr. 18 Ukázka absolutního programování [31]



Obr. 19 Ukázka přírůstkového programování [31]

4.4.1 Struktura CNC programu

NC program je speciálním typem souboru, který obsahuje důležité geometrické a technologické informace uložené ve formě bloků. Tyto informace jsou poté interpretovány řídicím systémem příslušného stroje. Vytvoření tohoto NC programu může probíhat buď přímo na ovládacím panelu stroje, nebo importováním z pracoviště CAD/CAM. Programovací prostředky udržují strukturu příkazů jednoduchou, která je organizována do programovacího kódu. Díky grafické simulaci obrábění na monitoru počítače je možné provádět kontrolu a ověření procesu před samotným spuštěním programu na výrobním stroji, čímž se minimalizuje riziko možných kolizí. [20, 32]

Tab. 1 Složení programu v bloku [20]

Příklad				Název
N 40 G 00 X 100 Z-50				Blok (věta)
N 40	G 00	X 100	Z-50	Příkaz (slovo)
N	G	X	Z	Adresa
40		00		Významová část
100		-50		Rozměrová část

4.4.2 Manuální programování

Proces manuálního programování CNC strojů představuje metodu, kdy programátor individuálně vytváří program v příslušném softwaru. Tento software umožňuje provedení simulace výrobního procesu, ale nenabízí automatické generování výrobních operací. Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je, že programátor musí mít detailní znalost a schopnost si zapamatovat nebo konzultovat všechny funkce specifického stroje. To může vést k potenciálním chybám a zároveň zvyšuje časovou náročnost procesu. Manuální programování je obvykle preferováno pro vytváření programů pro jednodušší výrobní úlohy. [22]

4.4.3 Programování s využitím CAD/CAM

Systémy CAD/CAM reprezentují komplexní nástroje umožňující formulaci různorodých strategií v oblasti obrábění, s cílem minimalizovat výrobní časy, garantovat vysokou kvalitu povrchů a efektivně využívat moderní nástroje. V rámci strategií frézování se zaměřují na specifické postupy. Kromě toho umožňují tyto systémy manipulaci s existujícími trasami nástroje, jejich přizpůsobování a kombinování, přičemž poskytují další rozšiřující možnosti. Současně s rozvojem nových nástrojů v oblasti CNC obrábění reagovali distributoři softwaru vytvářením nových cyklů, které optimalizují pracovní proces programování, zajišťují vysokou kvalitu výsledné práce při minimalizaci výrobního času a spojují různé operační úseky do komplexního celku. [24]

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část bakalářské práce se věnuje několika klíčovými oblastem souvisejících s technologiemi a postupy v oblasti obrábění a reverzního inženýrství. Prvním tématem jsou brzdy, kde jsou rozebrány kategorie, jako jsou kotoučové a bubnové brzdy, a zkoumány provozní podmínky a vhodné materiály používané při výrobě brzdových součástek.

Další část práce se věnuje 3D skenování, kde jsou prezentovány dotykové a bezdotykové 3D skenery včetně jejich druhů a aplikací. Následuje část o reverzním inženýrství, která se zabývá získáváním digitálních dat a využitím těchto dat pro reprodukci či optimalizaci existujících komponent.

Posléze následuje kapitola věnována technologiím obrábění, kde je provedena detailní analýza technologie frézování, včetně frézovacích nástrojů a metodiky frézování. Práce se zabývá rovněž CNC a frézovacími stroji, jejich konstrukcí, souřadnicovým systémem a víceosým obráběním.

Poslední kapitola teoretické části se zaměřuje na programování CNC strojů. Podrobně je rozebrána struktura CNC programu, metody manuálního programování a programování s využitím CAD/CAM systémů. Celkově teoretická část poskytuje komplexní přehled o technologiích spojených s obráběním, 3D skenováním a reverzním inženýrstvím až po detailní analýzu technologií frézování a programování CNC strojů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce má za cíl vytvoření plně funkčního zrcadlového brzdového štítu. Důraz je kladen na aplikaci teoretických poznatků za účelem optimálních výrobních výsledků.

Výrobní proces byl rozdělen do několika dílčích cílů:

- Skenování součásti

Proveďte skenování součásti pro získání dat pro následující zpracování.

- Úprava a příprava dat pro výrobu

Upravte data a proveďte jejich přípravu pro konkrétní výrobní proces.

- Návrh výroby a její realizace

Vytvořte návrh výroby a uskutečňte její realizaci na základě optimalizovaných dat.

- Kompletace sestavy

Proveďte kompletaci součástí do kompletního výrobku.

7 3D SKENOVÁNÍ

Jako metoda pro získání CAD dat součásti bylo zvoleno 3D skenování s využitím optického 3D skeneru ATOS GOM TripleScan II 5M dodávaným společností MCAE Systems.

Výsledkem skenování byl STL soubor obsahující rozměrové a tvarové parametry brzdového štítu určené pro následné zpracování.

7.1 Parametry využitého 3D skeneru

Použitý skener ATOS GOM TripleScan II 5M byl zvolen na základě parametrů v následující tabulce.

Tab. 2 Technická specifikace 3D skeneru [9]

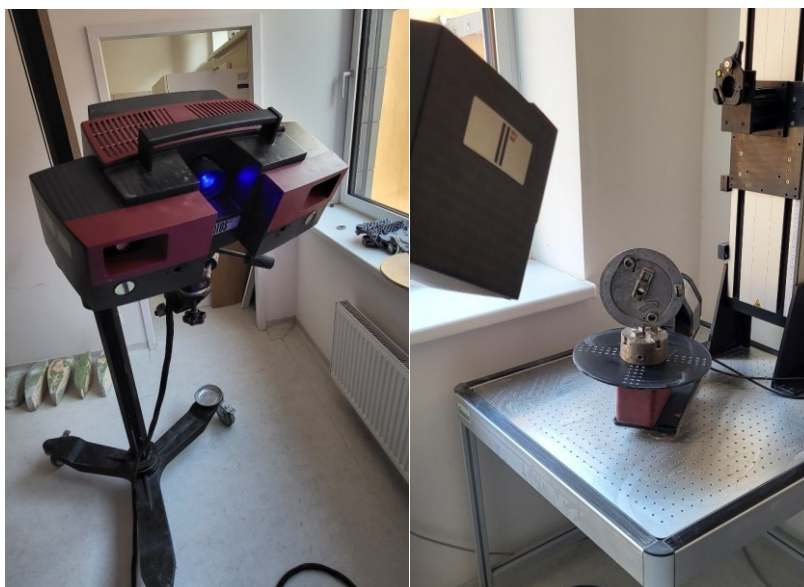
Měřicí plocha [mm ²]	38 x 29–2000 x 1500
Pracovní vzdálenost [mm]	490–2000
Počet měřících bodů v 1	5 milionů
Rozměry [mm]	570 x 340 x 240
Rozlišitelnost skeneru [mm]	+0,02

7.2 Příprava skenované součásti

Součást bylo třeba před samotným skenováním opatřit vhodně zvolenými referenčními body, v tomto případě o celkovém počtu 28 referenčních bodů jejichž velikost byla zvolena 1,5mm v závislosti na rozměrech skenovaného dílce a objemu skeneru.

Dále byl povrch součásti opatřen antireflexní vrstvou pro eliminaci případných odlesků, které by měly nepříznivý vliv na samotnou kvalitu 3D skenu. Pro aplikaci vrstvy byl využit antireflexní permanentní sprej AESUB, který po naskenování součásti nezmizí a zůstává na povrchu až do očištění.

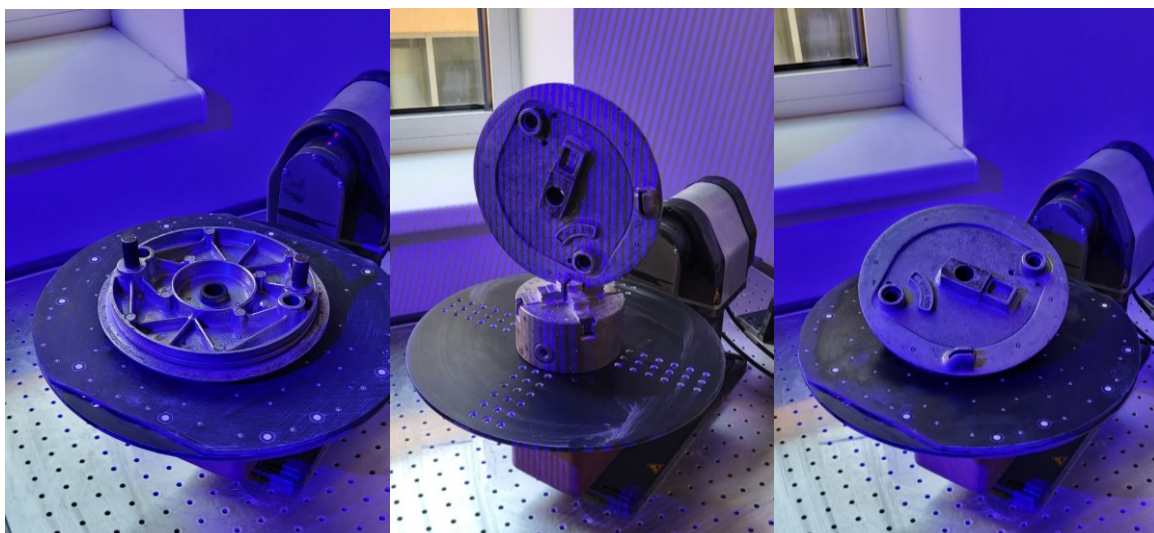
Skenovací objem byl zvolen MV 320 vhodný pro menší součástky. Volba vhodného skenovacího objemu má také přímý vliv na výslednou přesnost skenu.



Obr. 20 Příprava skenovacího zařízení

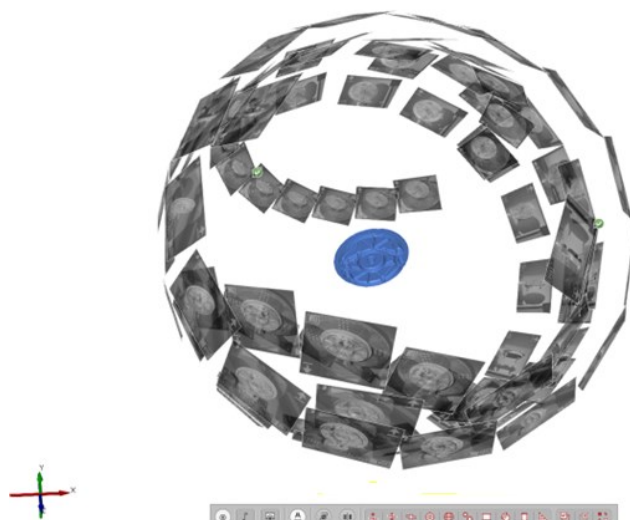
7.3 Skenování

Samotné skenování bylo provedeno kvůli tvarové členitosti na tři upnutí. Součást byla umístěna na otočný stůl pro plynulejší snímání součásti, v jednom případě s využitím upínacího sklíčidla. Na obrázku 21 jsou také patrné pruhy modrého světla promítané 3D skenerem, které snímají přesný tvar součásti a dále referenční body sloužící pro prostorovou orientaci snímků.



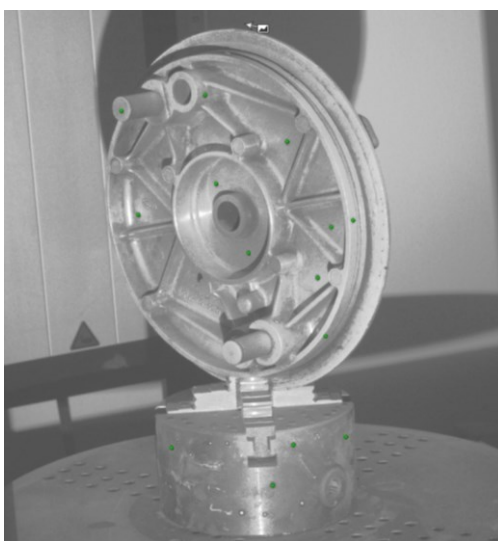
Obr. 21 Upnutí skenované součásti

Při skenování součásti bylo nasnímáno 95 snímků, které byly následně s využitím softwaru skeneru kompletovány do finálního skenu součásti. Na obrázku 22 je možno pozorovat postupné získávání snímků na tři upnutí s využitím otočného stolu.



Obr. 22 Zobrazení nasnímaných snímků

Při skenování optickým skenerem s využitím referenčních bodů je třeba aby byly viditelné minimálně tři referenční body jinak by nebylo možno sken provést. Skener při pořízení každého snímku načte referenční body, podle kterých poté provádí kompletaci modelu. Na obrázku 23 lze pozorovat zelené body představující načtené referenční body skenerem.



Obr. 23 Detailní pohled na snímek

Samotný skener nedokáže izolovaně nasnímat pouze danou součást, ale snímá i nejbližší okolí. Takové nežádoucí prvky nazýváme šum, který je následně odstraněn v postprocesu při postupné kompletaci snímků. V tomto případě byl snímán otočný stůl a upínací sklíčidlo. Celková doba skenování se pohybovala okolo 40 minut. Tento čas zahrnoval přípravu skenovacího zařízení, přípravu skenovaného štítu brzdy a samotné skenování s postprocesem skenu v softwaru 3D skeneru.

8 VYTVOŘENÍ 3D MODELU

Za pomoci skenování byla získána CAD data, která byla následně zpracována a byl vytvořen 3D model zrcadlové součásti. Pro práci s CAD daty byl zvolen software NX vhodný pro reverzní inženýrství a tvorbu obráběcího programu.

8.1 Software NX

NX, vyvinutý společností Siemens Digital Industries Software, představuje komplexní software, který umožňuje průmyslové inženýrství od počátečního návrhu až po výrobu a údržbu součástek. Jeho rozsáhlé nástroje poskytují inženýrům a designérům efektivní prostředky pro celý proces vývoje součástek. [33]

Jedním z klíčových prvků softwaru NX je oblast CAD (Computer-Aided Design), která umožňuje uživatelům vytvářet rozsáhlé a detailní 3D modely. To poskytuje rozsáhlý základ pro vytváření konceptů a vizualizaci návrhů. NX vyniká dále v oblasti CAE (Computer-Aided Engineering), nabízející například simulace pro pevnostní analýzy, proudění tekutin, tepelné simulace. Tato analýza je klíčová pro zajištění vysoké kvality a spolehlivosti produktu. [33]

V oblasti CAM (Computer-Aided Manufacturing) se NX stává výkonným nástrojem pro programování CNC strojů s různými strategiemi pro frézování a soustružení zvyšující efektivitu výrobního procesu. [33]

V rámci PLM (Product Lifecycle Management) slouží NX jako klíčový prvek pro správu životnosti produktu. To umožňuje efektivní sledování, správu a optimalizaci informací o produktu od návrhu přes výrobu až po údržbu. [33]

Synchronizace dat a spolupráce v reálném čase jsou dalšími významnými vlastnostmi NX, umožňující efektivní týmovou práci a sdílení informací napříč různými oblastmi inženýrství. Díky své adaptabilitě a možnostem konfigurace se NX stává flexibilním řešením, které lze přizpůsobit specifickým potřebám různých odvětví a firem. [33]

Celkově lze konstatovat, že NX vyniká v průmyslovém inženýrství jako komplexní software, který poskytuje špičkové nástroje pro návrh, simulaci a výrobu složitých součástek. [33]

8.2 Optimalizace skenu

V modelu vzniklém skenováním se objevily nedostatky v podobě prázdných míst, které nedokázal skener zobrazit (obr. 24). Tato místa se objevila na místech obvodových drážek a uchycení tažného lanka. Některé tyto nedostatky byly následně odstraněny s využitím nástrojů NX pro práci s plochami. Z důvodu, že by bylo obtížné nebo nemožné některé nedostatky odstranit při zachování funkčních tvarů a dále z důvodu opotřebení některých částí byla zvolena metoda tvorby 3D modelu s využitím manuálního modelování vycházejícího ze skenu.

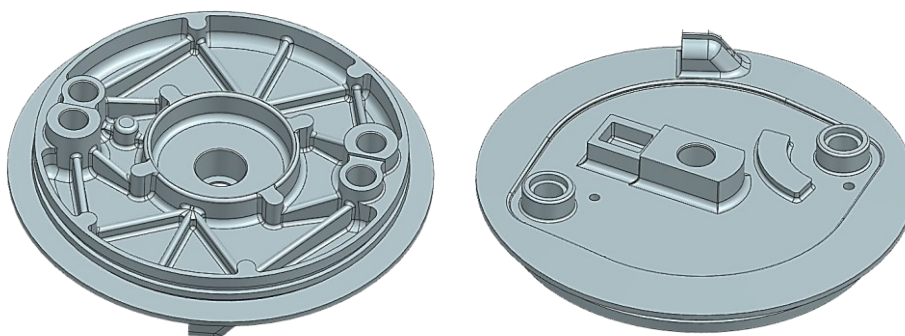


Obr. 24 Naskenovaný model originálního štítu

8.3 Tvorba modelu

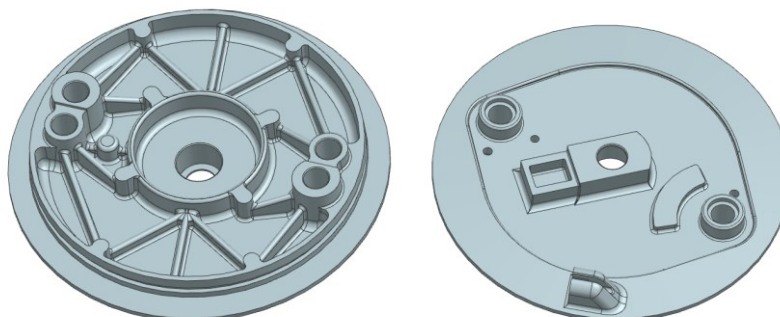
Základem tvorby modelu byla analýza geometrie skenu a rozdělení součásti na jednotlivé díly tvořící celkovou sestavu. Hlavním dílcem je samotný brzdový štít, do kterého jsou nalisovány dva čepy a středová vložka. Tyto prvky byly následně separátně vyrobeny na základě výkresové dokumentace viz. příloha.

V závislosti na analýze geometrie byl následně postupným modelováním za pomoci základních geometrických prvků vytvořen 3D model originálního brzdového štítu (obr. 25) splňující základní zásady modelování pro případné budoucí úpravy. Na modelu byly touto metodou eliminovány vady vzniklé opotřebením a model splňoval zachování funkčních rozměrů.



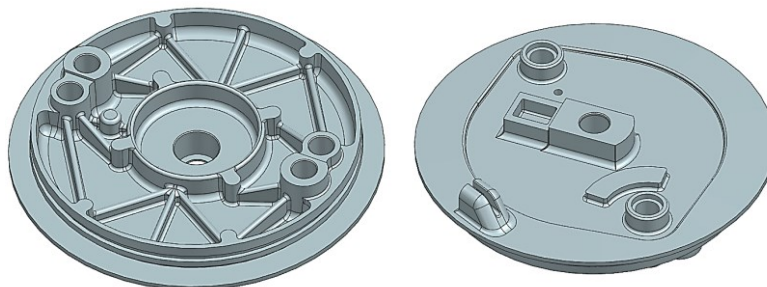
Obr. 25 Originální brzdový štít

Na základě vytvořeného modelu originální součásti byl posléze vytvořen zrcadlový model (obr. 26) metodou zrcadlení dle plochy. Tento systém byl zvolen z důvodu zachování funkčnosti sestavy bubnové brzdy. V opačném případě by nastala změna brzdných sil což by nezaručilo spolehlivou funkci brzdy.



Obr. 26 Zrcadlový brzdový štít

Dalším bodem výrobního procesu bylo vytvoření technologického modelu (obr. 27), se kterým se posléze pracovalo při tvorbě obráběcího programu. Tento model se od inverzního modelu lišil úpravou některých geometrických prvků. Mezi tyto úpravy patřilo sjednocení rádiusů, což vedlo k minimalizaci využitých nástrojů a také ke zlepšení mechanických vlastností. Dále došlo k odstranění dvou děr, které na originálním dílci plnily funkci pro případné vyražení nalisovaných čepů.



Obr. 27 Technologický model

9 OBRÁBĚCÍ CENTRUM DMU 50

Realizace výroby byla provedena na pětiosém obráběcím centru DMU 50 3rd generation dodávané společností DGM MORI. Jako řídicí systém stroje je využíván systém ShopMill od společnosti Siemens umožňující obrábění jednoduchých geometrických tvarů bez nutnosti vytvoření obráběcího programu v externím softwaru. Bližší technické specifikace stroje jsou uvedeny v následujících tabulce. [29]

Tab. 3 Technické parametry DMU 50 [29]

Max. pojezd v ose x [mm]	650
Max. pojezd v ose y [mm]	520
Max. pojezd v ose z [mm]	475
Max. průměr obrobku [mm]	630
Max. výška obrobku [mm]	600
Max. hmotnost obrobku [kg]	300
Max. otáčky [ot/min]	15 000
Max. točivý moment [Nm]	111
Max. hnací výkon [kW]	21



Obr. 28 Obráběcí centrum DMU 50 [29]

10 VYTVOŘENÍ PROGRAMU A VÝROBA

Obráběcí program byl koncipován s cílem optimalizovat proces výroby. Při jeho realizaci byl kladen značný důraz na časovou efektivitu, s účelem dosažení co nejefektivnějšího průběhu výrobních operací a na zajištění vysoké kvality výsledné součásti. V tomto kontextu byla klíčovým faktorem také rozměrová přesnost funkčních prvků, kde bylo kladené specifické zaměření na dosažení optimálních rozměrových tolerancí. Tato kombinace priorit reflektuje celkový záměr dosáhnout nejen efektivního výrobního procesu, ale i výsledné součásti s vysokou kvalitou a odpovídajícími technickými parametry.

Originální brzdový štít byl vyráběn odléváním. Z tohoto důvodu jsou kladeny vyšší požadavky na kvalitu obrábění na vnější pohledovou část štítu oproti vnitřní, která nevyžaduje vysokou kvalitu povrchu.

Celkový čas výrobního procesu, zahrnující také optimalizaci s přípravou polotovaru a stroje činil přibližně 24 hodin. Tato doba byla ovlivněna zejména tvarovou členitostí brzdového štítu, která představovala specifickou výzvu. Složité geometrické prvky této součásti vedly k náročnosti procesu obrábění což vedlo k prodloužení celkového času výrobního procesu.



Obr. 29 Příprava obráběcích nástrojů

10.1 Volba materiálu

Jako optimální materiál byla vybrána hliníková slitina AW 7075. Tato volba vychází z vyhovující kombinace dobrých mechanických vlastností, nízké hmotnosti a snadné obrobitelnosti. Tato slitina běžně nalézá využití při výrobě strojních součástí jak v automobilovém, tak i v leteckém průmyslu. Přehled základních mechanických vlastností této slitiny je zobrazen v tabulce 4.

Tab. 4 Mechanické vlastnosti AW 7075 [34]

Pevnost v tahu [MPa]	470
Mez kluzu [MPa]	400
Tažnost [%]	6

Rozměry polotovaru byly odvozeny na základě rozměrových specifikací štítu brzdy, a s přihlédnutím k nutným přídávům pro obrábění byly nakonec zvoleny na 200x200x50. Tento konkrétní rozměr vychází z pečlivé analýzy geometrických parametrů štítu brzdy a zohledňuje nároky na konečné rozměry výrobku po dokončení obráběcího procesu. Tímto způsobem je rovněž zajištěno optimální využití materiálu.

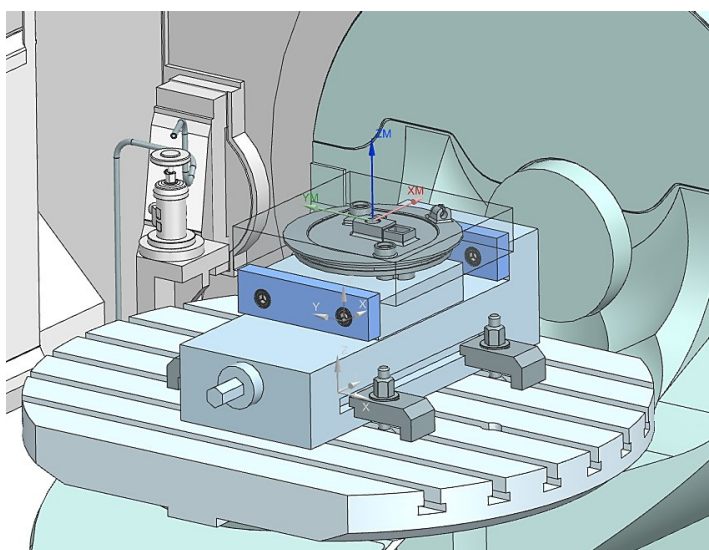
10.2 Volba upnutí

Z analýzy technického dílce bylo vybráno specifické řešení pro jeho obrábění, které bylo realizováno prostřednictvím dvou upnutí. Konkrétně bylo využito strojních svěráků Lang makro grip 47200 a tříosý dílenský svěrák, které poskytují dostatečnou upínací sílu obráběného kusu. Tato volba svěráků byla zvolena na základě rozměrových parametrů polotovaru a posléze vyrobených geometrických prvků.

Dalším klíčovým aspektem tohoto technologického procesu bylo pečlivé zajištění vystředění obou upnutí vůči sobě. Tento důležitý krok byl prováděn prostřednictvím využití středové díry, která sloužila jako referenční bod pro vytvoření optimální geometrické soustřednosti mezi jednotlivými body obrobku napříč upnutími. Tímto způsobem bylo dosaženo nejen maximální přesnosti v poloze upnutí, ale také minimalizace možných odchylek, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu výsledného dílce.

10.3 První upnutí

První upnutí (obr. 30) bylo realizováno s obráběním na vnější tudíž na méně geometricky složité polovině. Toto upnutí bylo zvoleno s ohledem na usnadnění druhého upnutí za funkční plochy na středu součásti. Samotné obrábění bylo rozděleno do pěti podprogramů pro snadnější orientaci v programu a efektivnější volbu posloupnosti výrobních operací.



Obr. 30 První upnutí

10.3.1 Počáteční obrábění

V rámci počátečního podprogramu bylo provedeno hrubování (obr. 31) destičkovou frézou průměru 32 mm s důrazem na maximalizaci odstranění nadbytečného materiálu, což mělo za následek zkrácení celkové doby výrobního procesu. Tato strategie hrubování byla implementována s cílem efektivněji odstranit hrubé vrstvy materiálu, čímž došlo k optimalizaci výrobního procesu a zvýšení jeho časové efektivity.

Tab. 5 Řezné parametry 1

Nástroj	FH_D32_L50_R1,6
Hloubka řezu [mm]	3
Otáčky [ot/min]	14 000
Posuv na zub [mm]	0,14
Přídavek [mm]	0,5

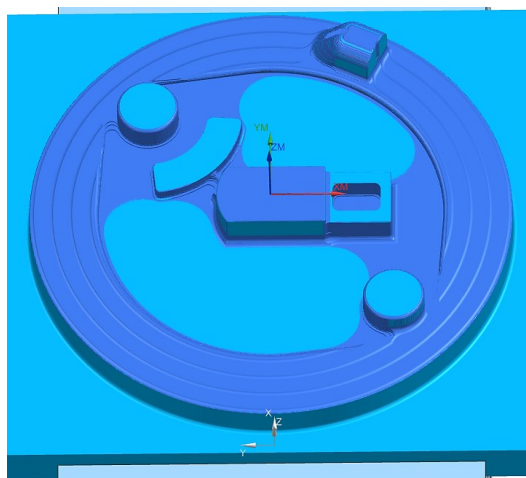


Obr. 31 První hrubovací operace

Poté následovaly operace dohrubování (obr. 32) s monolitními frézami průměru 16 a 5 mm. Tyto operace postupně odebraly zbytkový materiál po první hrubovací operaci a umožnily tak postupnou implementaci dokončovacích operací.

Tab. 6 Řezné parametry 2

Nástroj	FM_D16_L35_R2	FM_D5_L10_R0
Hloubka řezu [mm]	0,5	0,5
Otáčky [ot/min]	8 595	14 000
Posuv na zub [mm]	0,016	0,012
Přídavek [mm]	0,5	0,5



Obr. 32 Dohrubování

Poslední operací prvního podprogramu bylo dokončení rovinných ploch monolitní frézou průměru 10 mm. Tato fréza byla zvolena také s ohledem na nástroj využitý v následujícím podprogramu.

Tab. 7 Řezné parametry 3

Nástroj	FM_D10_L30_R0
Hloubka řezu [mm]	0,5
Otáčky [ot/min]	4 138
Posuv na zub [mm]	0,08
Přídavek [mm]	0



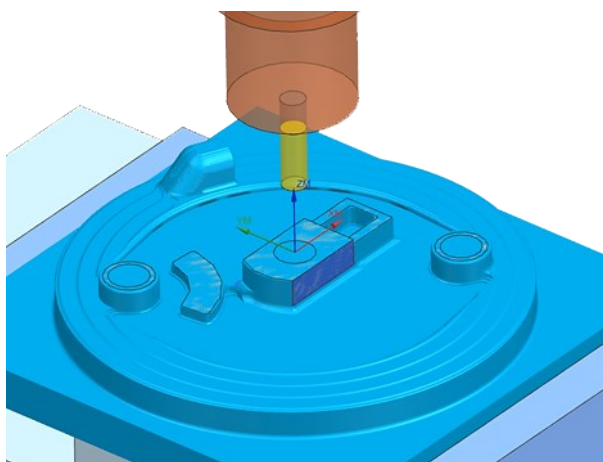
Obr. 33 Výsledek prvního obrábění

10.3.2 Dokončení funkční středové plochy

V rámci daného podprogramu bylo provedeno obrábění funkční plochy (obr. 34) monolitní frézou průměru 10 mm s postupně se měnícím přídavkem materiálu s cílem dosažení přesně tolerovaných rozměrů. Tímto způsobem bylo dosaženo optimálního tvaru a rozměrů funkční plochy s dodržení výrobní tolerance.

Tab. 8 Řezné parametry 4

Nástroj	FM_D10_L30_R0
Hloubka řezu [mm]	20
Otáčky [ot/min]	4 138
Posuv na zub [mm]	0,08
Přídavek [mm]	0



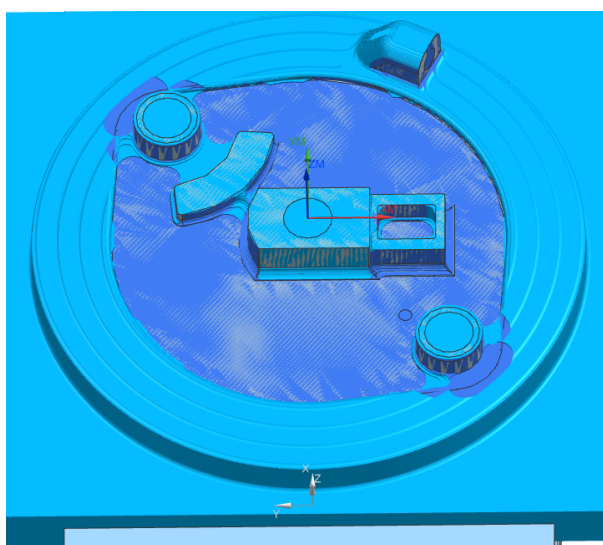
Obr. 34 Obrobení středové funkční plochy

10.3.3 Dokončení ploch

Cílem tohoto podprogramu bylo dokončení ploch (obr. 35), aby byla zajištěna posloupnost dokončovacích operací. Rovinné plochy byly obráběny monolitní frézou průměru 10 mm.

Tab. 9 Řezné parametry 5

Nástroj	FM_D10_L30_R0
Hloubka řezu [mm]	0,5
Otáčky [ot/min]	4 138
Posuv na zub [mm]	0,08
Přídavek [mm]	0



Obr. 35 Dokončení rovinných ploch

Pro dosažení požadovaných tvarů byly tvarové plochy obráběny pomocí kulových nástrojů s průměry 6 a 10 mm. Tato volba nástrojů byla provedena s ohledem na dosažení hladkých zakřivených ploch.

Tab. 10 Řezné parametry 6

Nástroj	FM_D10_L22_R5	FM_D6_L20_R3
Boční krok [%]	5	5
Otáčky [ot/min]	4 000	7 427
Posuv na zub [mm]	0,05	0,02
Přídavek [mm]	0	0

V posledním kroku bylo zařazeno vrtání středové díry. Pro vrtání byl využit tvrdokovový vrták průměru 12 mm a následně došlo k dokončení díry monolitní frézou průměru 10 mm. Při dokončování díry nastalo nežádoucí vytlačení materiálu. Tento materiál byl posléze manuálně odstraněn.

Tab. 11 Řezné parametry 7

Nástroj	VT_D12_L56
Otáčky [ot/min]	3 581
Posuv na zub [mm]	0,06



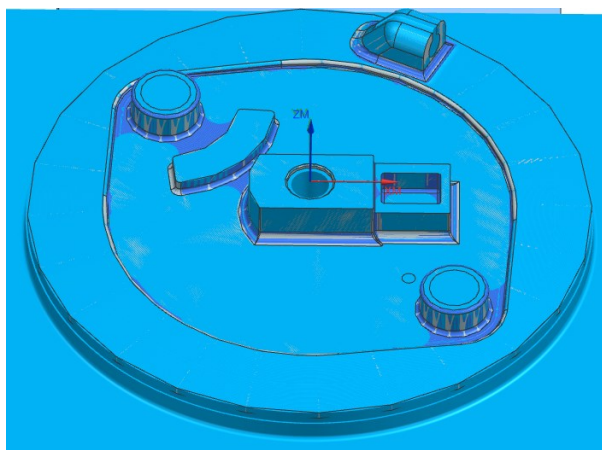
Obr. 36 Dokončení ploch

10.3.4 Zbytkové obrábění

Cílem tohoto podprogramu bylo dokončení zbývajících radiusových ploch a odstranění zbytkového materiálu po předešlých operacích (obr. 37). Pro dosažení optimálních výsledků byly využity kulové frézy průměrů 4, 3 a 2 mm. Z důvodu malých průměrů fréz a jejich délek bylo třeba využít operací využívajících všech pět os.

Tab. 12 Řezné parametry 8

Nástroj	FM_D4_L8_R2	FM_D3_L7_R1,5	FM_D2_L5_R1
Boční krok [%]	5	5	5
Otáčky [ot/min]	11 937	14 000	14 000
Posuv na zub [mm]	0,0106	0,01	0,03
Přídavek [mm]	0	0	0



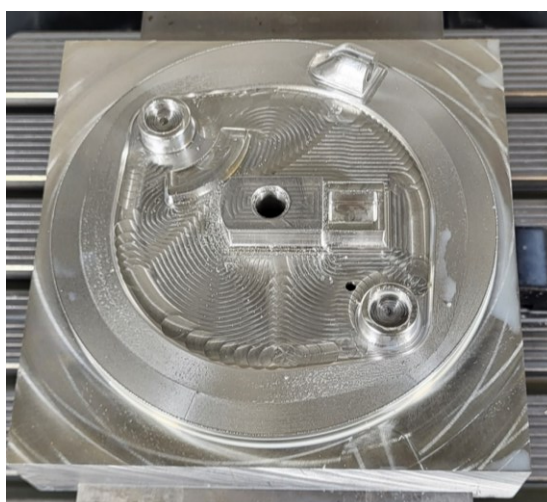
Obr. 37 Zbytkové obrábění

10.3.5 Obrobení děr

V rámci pátého programu byly obrobena díry (obr. 38), které by nebylo možno dokončit na druhé upnutí. Pro tvorbu osazení děr byla použita monolitní fréza průměru 5 mm. Pro tvorbu slepé díry na ploše součásti byl použit tvrdokovový vrták průměru 4,2 mm.

Tab. 13 Řezné parametry 9

Nástroj	FM_D5_L10_R0	VT_4,2_L22
Hloubka řezu [mm]	0,4	-
Otáčky [ot/min]	12 732	6 821
Posuv na zub [mm]	0,03	0,06



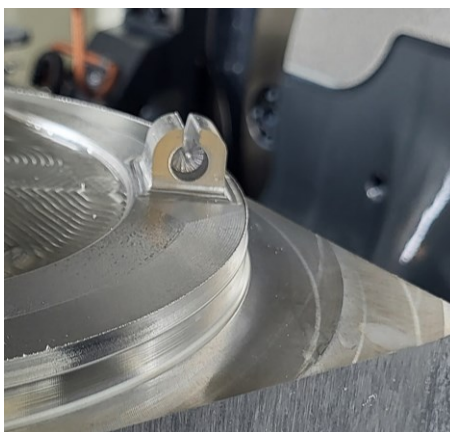
Obr. 38 Obrobení děr

10.3.6 Uchycení tažného lanka

V posledním bodě prvního upnutí bylo dokončeno uchycení určené pro ocelové tažné lanko (obr. 39). Z důvodu nedostupnosti vhodných nástrojů z důvodu jejich délky a umístění díry na součásti byla tato díra vyvrtána vrtákem průměru 8 mm upnutým na krátko. Zanechaná kuželová stopa po vrtáku v tomto konkrétním případě neovlivnila funkčnost prvku. Dále byla drážka vyfrézována kulovou frézou průměru 3 mm z důvodu zaoblení dna drážky.

Tab. 14 Řezné parametry 10

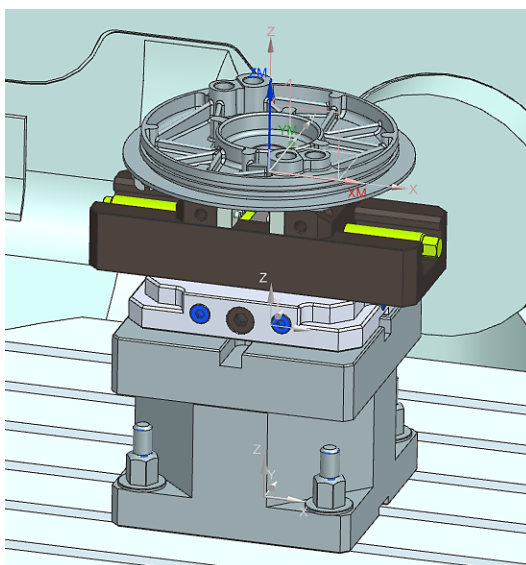
Nástroj	FM_D3_L7_R1,5	VHSS_D8_L90
Hloubka řezu [mm]	0,3	-
Otáčky [ot/min]	14 000	3 581
Posuv na zub [mm]	0,03	0,06



Obr. 39 Uchycení tažného lanka

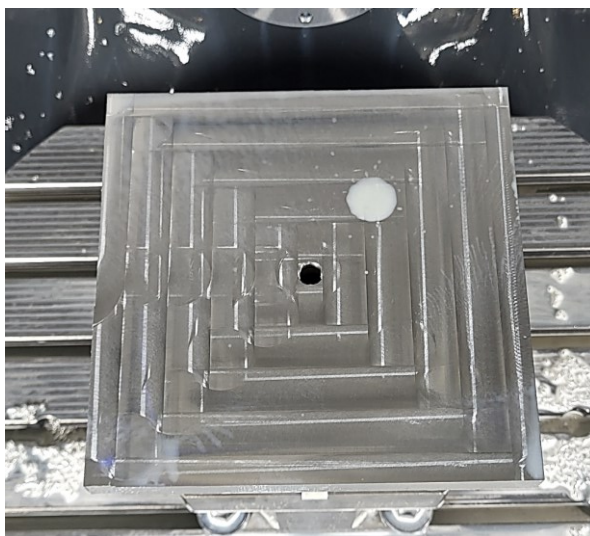
10.4 Druhé upnutí

Druhé upnutí (obr. 40) bylo provedeno za pomoci již vyrobených ploch. Při samotné volbě upínacích ploch bylo dbáno na dosažení bezpečného upnutí s dostatečnou upínací silou, která by nezpůsobila deformaci povrchu. Samotný program byl stejně jako u prvního upnutí rozdělen do šesti podprogramů.



Obr. 40 Druhé upnutí

Před samotným obráběním bylo třeba provést vystředění druhého upnutí vůči již vyrobeným geometrickým prvkům pro zajištění soustřednosti geometrických ploch. Před samotným spuštěním obráběcího programu předcházelo odfrézování tenké vrstvy polotovaru pro odkrytí středové díry (obr. 41) zvolené pro provedení vystředění.



Obr. 41 Díra pro vystředění

10.4.1 Hrubování

Počáteční podprogram obsahoval samotné hrubování (obr. 42) pro největší úběr materiálu. Nástrojem byla stejně jako u prvního upnutí destičková hrubovací fréza průměru 32 mm. Oproti prvnímu upnutí zde bylo třeba kvůli tvarové složitosti využít menší hloubky řezu.

Tab. 15 Řezné parametry 11

Nástroj	FH_D32_L50_R1,6
Hloubka řezu [mm]	1
Otáčky [ot/min]	14 000
Posuv na zub [mm]	0,14
Přídavek [mm]	0,5



Obr. 42 Hrubování upnutí dva

10.4.2 Dohrubování žebrování

V rámci tohoto podprogramu došlo k dohrubování, přičemž byl specificky zaměřen na vybrání kapes mezi žebrováním (obr. 43). Pro tuto účelovou operaci byly zvoleny monolitní frézy o průměrech 16 mm a 5 mm. Tento výběr dohrubovacích nástrojů byl proveden s ohledem na potřebu efektivního odstranění materiálu v oblastech mezi žebrováním a tvarovou dostupností nástroje v malých oblastech.

Nedílnou součástí bylo také dokončení rovinných ploch, které bylo provedeno monolitní frézou o průměru 10 mm.

Tab. 16 Řezné parametry 12

Nástroj	FM_D16_L35_R2	FM_D5_L10_R0	FM_D10_L30_R0
Hloubka řezu [mm]	0,5	0,5	0,5
Otáčky [ot/min]	8 952	14 000	4 138
Posuv na zub [mm]	0,021	0,05	0,08
Přídavek [mm]	1	0,5	0



Obr. 43 Dohrubování žebrování

10.4.3 Dokončení žebrování

Tento podprogram obsahuje významnou část dokončovacích operací zejména v oblasti žebrování (obr. 44). Pro obrábění byla zvolena kulová fréza průměru 3 mm. Toto dokončení tvořilo největší část z celkového obráběcího času z důvodu tvarové složitosti a malým záběrům frézy.

Tab. 17 Řezné parametry 13

Nástroj	FM_D3_L7_R1,5
Hloubka řezu [mm]	0,3
Otáčky [ot/min]	14 000
Posuv na zub [mm]	0,03
Přídavek [mm]	0



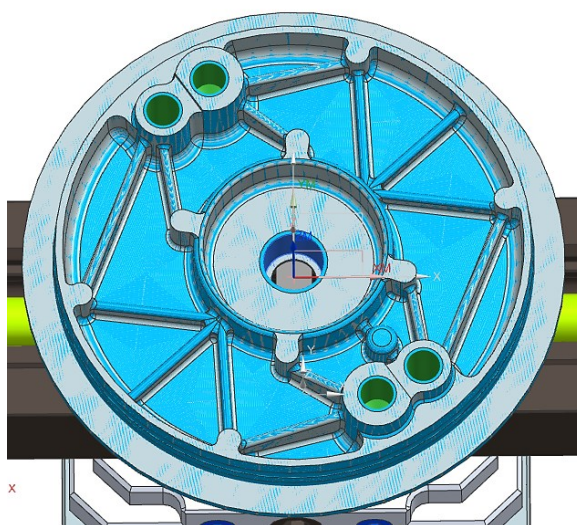
Obr. 44 Dokončení žebrování

10.4.4 Hrubování děr

Podprogram čtyři se věnuje tvorbě děr. Díry jsou zde vrtány a frézovány s přídávkem (obr. 45) pro obrobení z důvodu tolerance rozměrů, dokončeny jsou posléze v následujícím podprogramu. Středová díra je z důvodu rovného dna a jejímu průměru frézována destičkovou hrubovací frézou průměru 10 mm, zbylé díry jsou vrtány tvrdokovovým vrtákem o průměru 11 mm.

Tab. 18 Řezné parametry 14

Nástroj	FD_D10_L40_R0,4	VT_D11_L56
Hloubka řezu [mm]	0,5	-
Otáčky [ot/min]	4 456	2 604
Posuv na zub [mm]	0,07	0,06
Přídavek [mm]	1	-



Obr. 45 Hrubování děr

10.4.5 Dokončení děr

Následně proběhlo dokončení tolerovaných děr, kde byl rozměr vyroben postupným frézováním se zmenšujícím se přídavkem materiálu pro dosažení tolerance a eliminace výrobní odchylky (obr. 46). Pro frézování byla využita monolitní fréza průměru 10 mm. Na okrajích děr došlo k částečnému vytlačení materiálu, což bylo následně manuálně odstraněno.

Tab. 19 Řezné parametry 15

Nástroj	FM_D10_L30_R0
Otáčky [ot/min]	4 138
Posuv na zub [mm]	0,07



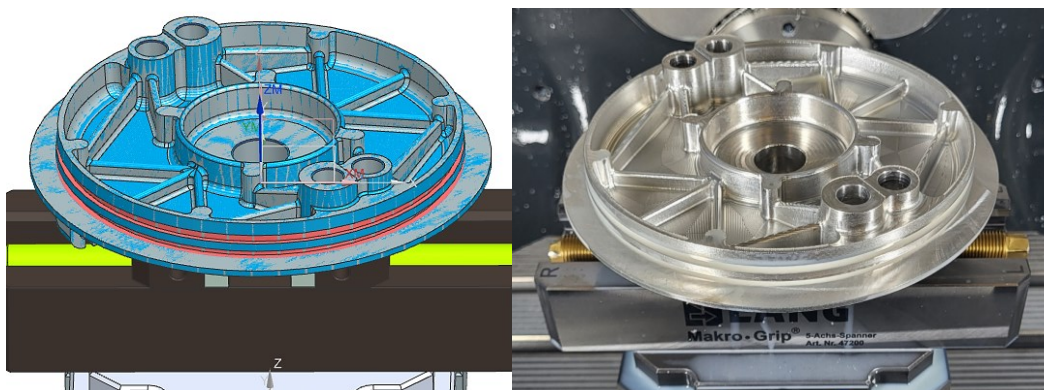
Obr. 46 Dokončení děr

10.4.6 Obrobení obvodových drážek

Posledním krokem výroby bylo obrábění obvodových drážek (obr. 47). Pro jejich obrobení byl využit řezný kotouč. Výsledek obrábění byl dostačující v porovnání s ostatními obrobenými plochami.

Tab. 20 Řezné parametry 16

Nástroj	FM_D63_T2
Otáčky [ot/min]	2 270
Posuv na zub [mm]	0,01



Obr. 47 Obrobení obvodových drážek

10.5 Kompletace sestavy

Po dokončení výroby inverzního brzdového štítu byly posléze vyrobeny čepy (obr. 48) a středová vložka (obr. 49) na základě výkresové dokumentace.



Obr. 48 Vyrobené čepy



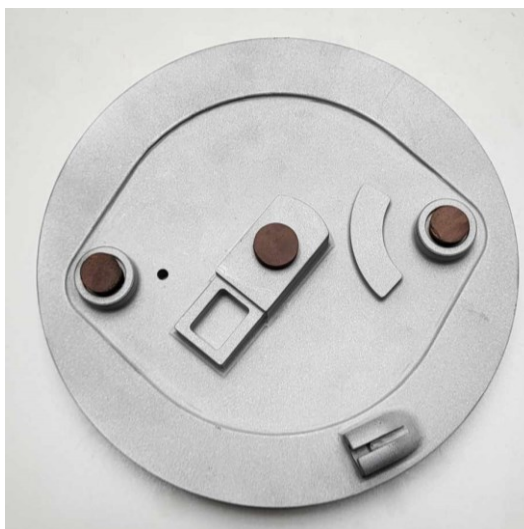
Obr. 49 Vyrobená vložka

10.5.1 Povrchová úprava

Z důvodu viditelných stop na pohledové straně brzdového štítu byla do procesu výroby dodatečně přidána povrchová úprava leštěním a pískováním.

Nejprve bylo provedeno broušení povrchu za pomoci brusných papírů pro odstranění nejvýraznějších stop po nástroji. Byly využity postupně brusné papíry zrnitosti 120 až 4000. Po dosažení optimálních výsledků následovalo pískování.

Metoda pískování byla zařazena do výroby za účelem sjednocení struktury povrchu. Před samotným pískováním byly zátkami opatřeny vyrobené díry pro zamezení vstupu zrn při pískování a zachování vyrobeného rozměru.



Obr. 50 Pískování brzdového štítu

Po provedení pískování bylo zařazeno do procesu leštění pro dosažení lesklých ploch. Kombinace pískování a leštění umožnila vzniku dostatečně hladkých a lesklých požadovaných ploch na pohledové straně dílce.



Obr. 51 Leštěný brzdový štít

10.5.2 Zalisování dílů

Vyrobené díly byly v posledním kroku kompletovány zalisováním. Posléze byl vyroben funkční rozměr středové díry, aby byla zajištěna kolmost vůči funkční ploše brzdového štítu. Při samotné výrobě byla součást uchycena ke stolu CNC stroje za pomoci úpinek a vyrobena s využitím jednoduchého programování přímo v systému stroje.

10.5.3 Gravírování nápisu

Pro vytvoření kompletního zrcadlového štítu bylo zařazeno do výroby laserové gravírování využito pro výrobu nápisu (obr. 52) na pohledové straně dílu. Nápis nebyl vytvořen frézováním z důvodu možného vytlačení materiálu frézou, které by mohlo vést k znehodnocení povrchu dané plochy.



Obr. 52 Gravírovaný nápis

10.5.4 Sestavení brzdy

Před samotným sestavením brzdy bylo třeba provést dodatečnou výrobu ovládacích prvků (obr. 53), konkrétně táhla a válečků dle výkresové dokumentace. Tyto součásti byly vyráběny z důvodu nevhodnosti dílů dostupných na trhu pro sestavovanou brzdu.

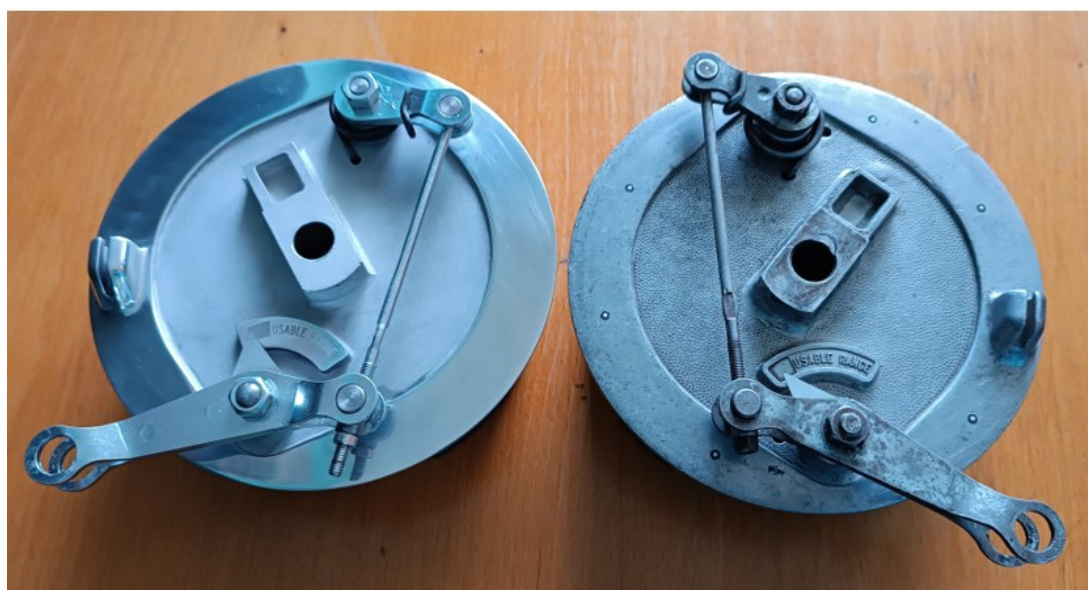


Obr. 53 Vyrobené ovládací prvky

Posledním krokem výroby bylo sestavení kompletní brzdy za pomoci vyráběných dílů společně s díly dostupnými na trhu. Mezi součástky dostupné na trhu patřily zejména funkční součástky brzdného mechanismu jako jsou brzdné čelisti, brzdové klíče a pružiny. Na následujících obrázcích 54 a 55 lze pozorovat porovnání originální a zrcadlové brzdy.

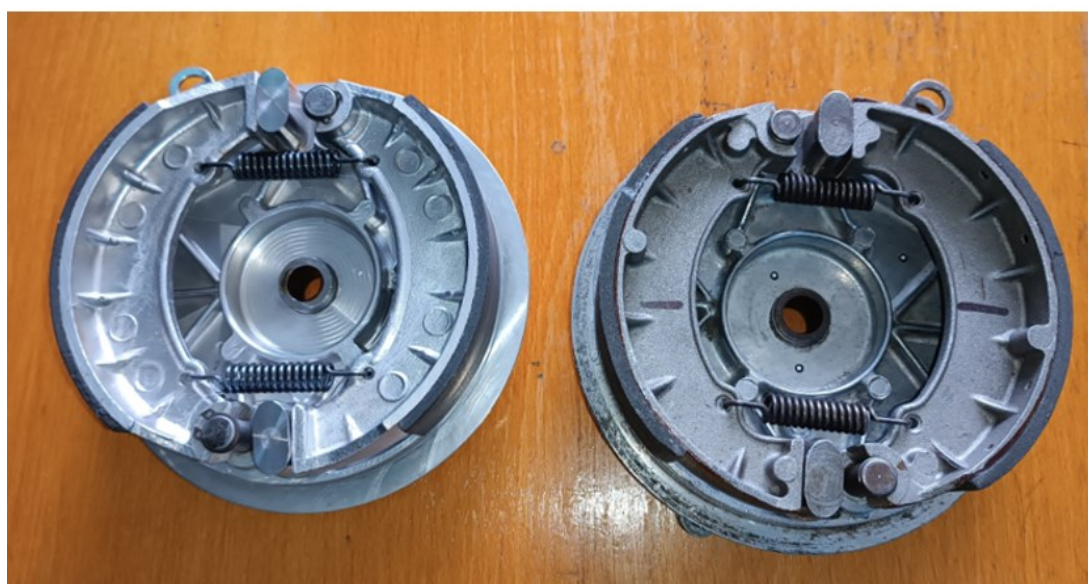
Zrcadlová

Originální

*Obr. 54 Pohledová strana brzdy*

Zrcadlová

Originální

*Obr. 55 Vnitřní strana brzdy*

ZÁVĚR

Bakalářská práce obsahuje teoretickou část zabývající se několika hlavními tématy, mezi které patří zejména brzdy, 3D skenování, reverzní inženýrství a technologie frézování. Každé téma je podrobně rozebráno s ohledem na aplikace v průmyslové výrobě.

Následuje detailní popis výroby s využitím reverzního inženýrství. Samotný proces byl rozdělen do několika hlavních částí, mezi které patří zejména získání CAD dat, příprava výroby a samotná realizace výrobního procesu.

S využitím 3D skeneru byla získána rozměrová data, která byla posléze zpracována na výrobní model s využitím systému NX. Komplikací se ukázalo opotřebení částí vlivem používání a jejich úprava do původního stavu.

Dalším krokem byla analýza geometrických prvků na základě, které byl posléze zvolen výrobní postup a vytvořen obráběcí program. Program byl rozdělen do dvou hlavních částí dle upnutí.

Posledním krokem byla realizace výroby. V průběhu docházelo k optimalizaci obráběcího programu za účelem co nejefektivnější výroby. Po vyrobení dílů následovala kompletace sestavy doplněná o povrchové úpravy, které byly zařazeny do procesu z důvodu eliminace vzniklých stop po nástrojích na pohledových stranách součásti. Tyto stopy by při budoucí výrobě byly odstraněny úpravou řezných podmínek při dokončovacích operacích.

Při celkovém zhodnocení vyrobené součásti a porovnáním s původním kusem lze konstatovat, že byl úspěšně aplikován proces reverzního inženýrství s úspěšnou realizací výroby při zachování funkčnosti brzdového dílce.

Jako největší nevýhodu zvoleného výrobního procesu považují vysoký výrobní čas, díky kterému by nejspíše zvolená metoda výroby nenalezla uplatnění v sériové výrobě a byla by nahrazena efektivnější metodou. Jednalo se však o zakázkovou kusovou výrobu na specifický motocykl se specifickými požadavky na pohledovou část.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DAY, Andrew J. Braking of Road Vehicles [online]. 1. Elsevier, 2014 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-12-397314-6. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpBRV00009/toc?b-q=Braking%20of%20Road%20Vehicles&include_synonyms=yes&q=Braking%20of%20Road%20Vehicles&sort_on=default
- [2] LIMPERT, Rudolf. Brake Design and Safety [online]. 3. SAE International, 2011 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-7680-3438-7. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpBDSE0003/toc?b-q=Brake%20Design%20and%20Safety&include_synonyms=yes&q=Brake%20Design%20and%20Safety&sort_on=default
- [3] CHILDS, Peter R. N. Mechanical design engineering handbook [online]. Elsevier, 2014 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-08-097759-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpMDEH0002/toc?b-q=Mechanical%20design%20engineering%20handbook&include_synonyms=yes&q=Mechanical%20design%20engineering%20handbook&sort_on=default
- [4] VLK, František. Brzdové systémy motocyklů [online]. In: . 2005, s. 254 - 267 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-05-254-267.pdf>
- [5] FLEIŠMAN, Luděk. Učební texty- montáže - brzdy [online]. 2012 [cit. 2023-12-02]. Dostupné z: <https://spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Mont%C3%A1%C5%BEE-Brzdy-UT.pdf>
- [6] KUTZ a MYER. Mechanical Engineers' Handbook, Volume 2 - Design, Instrumentation, and Controls [online]. 4. John Wiley, 2014 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-1-118-11283-0. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpMEHVDIC6/toc?b-q=Mechanical%20Engineers%27%20Handbook%2C%20Volume%202%20-%20Design%2C%20Instrumentation&include_synonyms=yes&q=Mechanical%20Engineers%27%20Handbook%2C%20Volume%202%20-%20Design%2C%20Instrumentation&sort_on=default
- [7] Digitalizace - její princip a rozdělení [online]. 2004 [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni>
- [8] CNC Machinery depot [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://cncmachinerydepot.com/producto/tc50-sonda-palpador/>
- [9] MCAE [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/>
- [10] 3D SCAN [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/>
- [11] G4D [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.g4d.cz/>

- [12] The Importance of High Quality 3D Scan Data – Ours versus Theirs – Episode #1. In: SCANSITE [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://scansite.com/the-importance-of-high-quality-3d-scan-data-ours-versus-theirs-episode-1/>
- [13] KAUSHIK, Kumar, Kumar DIVYA a Davim J. PAULO. Rapid Prototyping, Rapid Tooling and Reverse Engineering - From Biological Models to 3D Bioprinters [online]. De Gruyter, 2020 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-3-11-066324-2. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpRPRRTREF2/toc?b-q=Rapid%20Prototyping%2C%20Rapid%20Tooling%20and%20Reverse%20Engineering%20-%20From%20Biological%20Models%20to%203D%20Bioprinters.&include_synonyms=yes&q=Rapid%20Prototyping%2C%20Rapid%20Tooling%20and%20Reverse%20Engineering%20-%20From%20Biological%20Models%20to%203D%20Bioprinters.&sort_on=default
- [14] 3D skenování, digitalizace, reverzní inženýrství a metrologie. In: *Asseco CEIT* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: <https://www.asseco-ceit.com/cz/inzenyrske-sluzby/reverzni-inzenyrstvi/>
- [15] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788072047222.
- [16] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 8071833371.
- [17] Nástroje, upínání nástrojů a ostření. In: ELUC [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1228>
- [18] ISAKOV, Edmund. Cutting Data for Turning of Steel [online]. Industrial Press, 2009 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3314-6. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpCDTS000A/toc?b-q=Cutting%20Data%20for%20Turning%20of%20Steel&include_synonyms=yes&q=Cutting%20Data%20for%20Turning%20of%20Steel&sort_on=default
- [19] Řezné materiály současnosti. In: Průmyslové spektrum [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti>
- [20] ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. 1. vyd. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [21] Základní způsoby frézování. In: ELUC [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1226>
- [22] KIEF, Hans B., Schwarz KARSTEN a Helmut A. ROSCHI WAL. CNC Handbook [online]. Industrial Press, 2022 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3636-9. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpCNCH000E/toc?b-q=CNC%20Handbook&include_synonyms=yes&q=CNC%20Handbook&sort_on=default

- [23] CNC parts dept., Inc. [online]. In: . [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://www.cncpd.com/product/iso-30-tool-holder-42213-w-63/>
- [24] RADHAKRISHNAN, P. Computer Numerical Control Machines and Computer Aided Manufacture [online]. 2nd Edition. New Academic Science, 2015 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-1-78183-085-7. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpCNCMCAM2/toc?b-q=Computer%20Numerical%20Control%20Machines%20and%20Computer%20Aided%20Manufacture&include_synonyms=yes&q=Computer%20Numerical%20Control%20Machines%20and%20Computer%20Aided%20Manufacture&sort_on=default
- [25] EVANS, Ken. Programming of CNC Machines [online]. 4th Edition. Industrial Press, 2016 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3524-9. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpPCNCME13/toc?b-q=Programming%20of%20CNC%20Machines&include_synonyms=yes&q=Programming%20of%20CNC%20Machines&sort_on=default
- [26] SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming [online]. Third edition. South Norwalk: Industrial Press, 2007 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3347-4. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpCNCPHAC1/toc?b-q=Programming%20of%20CNC%20Machines&include_synonyms=yes&q=Programming%20of%20CNC%20Machines&sort_on=default
- [27] MICKELSON, Dale. Guide to hard milling & high speed machining [online]. Industrial Press, 2007 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3319-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpGHMHSM04/toc?b-q=Guide%20to%20hard%20milling%20%26%20high%20speed%20machining&include_synonyms=yes&q=Guide%20to%20hard%20milling%20%26%20high%20speed%20machining&sort_on=default
- [28] BOLJANOVIC, Vukota. Metal Shaping Processes - Casting and Molding; Particulate Processing; Deformation Processes; and Metal Removal [online]. Industrial Press, 2010 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3380-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpMSPCMPP1/toc?b-q=Metal%20Shaping%20Processes%20-%20Casting%20and%20Molding%3B%20Particulate%20Processing%3B%20Deformation%20Processes%3B%20and%20Metal%20Removal&include_synonyms=yes&q=Metal%20Shaping%20Processes%20-%20Casting%20and%20Molding%3B%20Particulate%20Processing%3B%20Deformation%20Processes%3B%20and%20Metal%20Removal&sort_on=default
- [29] DMG MORI [online]. In: . [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/>
- [30] EVANS, Ken. Programming of computer numerically controlled machines [online]. 3rd ed. New York: Industrial Press, 2007 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3316-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpPCNCME01/toc>

- [31] CNC obrábění: Pevné cykly speciální. In: ELUC [online]. [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1307>
- [32] KANDRAY, Daniel E. Programmable Automation Technologies - An Introduction to CNC, Robotics and PLCs [online]. Industrial Press, 2010 [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-0-8311-3346-7. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpPATAICN2/toc?b-q=Programmable%20Automation%20Technologies%20-%20An%20Introduction%20to%20CNC%2C%20Robotics%20and%20PLCs&include_synonyms=yes&q=Programmable%20Automation%20Technologies%20-%20An%20Introduction%20to%20CNC%2C%20Robotics%20and%20PLCs&sort_on=default
- [33] SIEMENS [online]. In: . [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://plm.sw.siemens.com/cs-CZ/nx/>
- [34] AW 7075. In: NPS PROAl s. r. o. [online]. [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-7075/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC Číslicové řízení počítačem

NC Číslicové řízení

CAD Počítačová podpora návrhu

CAM Počítačová podpora výroby

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Kotoučová brzda s pevným třmenem [4]</i>	12
<i>Obr. 2 kotoučová brzda s plovoucím třmenem [4]</i>	13
<i>Obr. 3 Kotoučová brzda s otočným třmenem [4]</i>	13
<i>Obr. 4 Bubnová brzda simplex [4]</i>	14
<i>Obr. 5 Schematické zobrazení typů bubnových brzd [5]</i>	15
<i>Obr. 6 Teplotní vliv na tření u kompozitní brzdové destičky vázané pryskyřicí [1]</i>	16
<i>Obr. 7 Dotyková sonda [8]</i>	18
<i>Obr. 8 Ukázka laserového skeneru [10]</i>	18
<i>Obr. 9 Ukázka optického skeneru [9]</i>	19
<i>Obr. 10 Ukázka modelu vzniklého 3D skenováním [12]</i>	20
<i>Obr. 11 Ukázka postupu reverzního inženýrství [14]</i>	21
<i>Obr. 12 Využití řezných materiálů [19]</i>	23
<i>Obr. 13 Sousedné frézování [21]</i>	23
<i>Obr. 14 Nesousedné frézování [21]</i>	24
<i>Obr. 15 Ukázka upnutí na stopkové frézy [23]</i>	24
<i>Obr. 16 Definování kartézského systému [20]</i>	25
<i>Obr. 17 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [20]</i>	27
<i>Obr. 18 Ukázka absolutního programování [31]</i>	30
<i>Obr. 19 Ukázka přírůstkového programování [31]</i>	30
<i>Obr. 20 Příprava skenovacího zařízení</i>	36
<i>Obr. 21 Upnutí skenované součásti</i>	36
<i>Obr. 22 Zobrazení nasnímaných snímků</i>	37
<i>Obr. 23 Detailní pohled na snímek</i>	37
<i>Obr. 24 Naskenovaný model originálního štítu</i>	39
<i>Obr. 25 Originální brzdový štít</i>	40
<i>Obr. 26 Zrcadlový brzdový štít</i>	40
<i>Obr. 27 Technologický model</i>	40
<i>Obr. 28 Obráběcí centrum DMU 50 [29]</i>	41
<i>Obr. 29 Příprava obráběcích nástrojů</i>	42
<i>Obr. 30 První upnutí</i>	44
<i>Obr. 31 První hrubovací operace</i>	45
<i>Obr. 32 Dohrubování</i>	45
<i>Obr. 33 Výsledek prvního obrábění</i>	46

<i>Obr. 34</i>	<i>Obrobení středové funkční plochy</i>	47
<i>Obr. 35</i>	<i>Dokončení rovinných ploch</i>	47
<i>Obr. 36</i>	<i>Dokončení ploch</i>	48
<i>Obr. 37</i>	<i>Zbytkové obrábění</i>	49
<i>Obr. 38</i>	<i>Obrobení děr</i>	50
<i>Obr. 39</i>	<i>Uchycení tažného lanka</i>	51
<i>Obr. 40</i>	<i>Druhé upnutí</i>	51
<i>Obr. 41</i>	<i>Díra pro vystředění</i>	52
<i>Obr. 42</i>	<i>Hrubování upnutí dva</i>	53
<i>Obr. 43</i>	<i>Dohrubování žebrování</i>	54
<i>Obr. 44</i>	<i>Dokončení žebrování</i>	55
<i>Obr. 45</i>	<i>Hrubování děr</i>	56
<i>Obr. 46</i>	<i>Dokončení děr</i>	57
<i>Obr. 47</i>	<i>Obrobení obvodových drážek</i>	57
<i>Obr. 48</i>	<i>Vyrobené čepy</i>	58
<i>Obr. 49</i>	<i>Vyrobená vložka</i>	58
<i>Obr. 50</i>	<i>Pískování brzdového štítu</i>	59
<i>Obr. 51</i>	<i>Leštěný brzdový štít</i>	59
<i>Obr. 52</i>	<i>Gravírovaný nápis</i>	60
<i>Obr. 53</i>	<i>Vyrobené ovládací prvky</i>	60
<i>Obr. 54</i>	<i>Pohledová strana brzdy</i>	61
<i>Obr. 55</i>	<i>Vnitřní strana brzdy</i>	61

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Složení programu v bloku [20]</i>	31
<i>Tab. 2 Technická specifikace 3D skeneru [9]</i>	35
<i>Tab. 3 Technické parametry DMU 50 [29]</i>	41
<i>Tab. 4 Mechanické vlastnosti AW 7075 [34]</i>	43
<i>Tab. 5 Řezné parametry 1</i>	44
<i>Tab. 6 Řezné parametry 2</i>	45
<i>Tab. 7 Řezné parametry 3</i>	46
<i>Tab. 8 Řezné parametry 4</i>	46
<i>Tab. 9 Řezné parametry 5</i>	47
<i>Tab. 10 Řezné parametry 6</i>	48
<i>Tab. 11 Řezné parametry 7</i>	48
<i>Tab. 12 Řezné parametry 8</i>	49
<i>Tab. 13 Řezné parametry 9</i>	49
<i>Tab. 14 Řezné parametry 10</i>	50
<i>Tab. 15 Řezné parametry 11</i>	52
<i>Tab. 16 Řezné parametry 12</i>	53
<i>Tab. 17 Řezné parametry 13</i>	54
<i>Tab. 18 Řezné parametry 14</i>	55
<i>Tab. 19 Řezné parametry 15</i>	56
<i>Tab. 20 Řezné parametry 16</i>	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: BRZDA PRAVA PREDNI

Příloha P II: BRZDOVY STIT

Příloha P III: CEP

Příloha P IV: VLOZKA

Příloha P V: TAHLO

Příloha P VI: VALECEK M5

Příloha P VII: VALECEK DISTANCNI

Příloha P VIII: VALEC

Příloha P IX: VALEC D12