



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ PŘEDNÍHO KOLA PRO STUDENTSKOU FORMULI TU BRNO RACING

PROPOSAL FOR CONTROL OF MANUFACTURE HOLDERS OF THE FRONT WHEEL FOR FORMULA
STUDENT TU BRNO RACING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Vašek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Lukáš Vašek
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výroby držáků řízení předního kola pro studentskou formuli TU Brno Racing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešen návrh a výroba prototypů držáků řízení předního kola vozu Formule Student s využitím moderní CAD/CAM a CNC technologie. Teoretická část práce se bude zabývat charakteristikou technologie třískového obrábění (technologie frézování) a volbou obráběného materiálu včetně aplikovaných řezných nástrojů. Prototypy držáků řízení předního kola budou vymodelovány v parametrickém programu Autodesk Inventor. Pro vytvoření obráběcích strategií bude využit CAM program PowerMILL. Výroba prototypů držáků řízení bude provedena na obráběcím centru MCV 754 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Práce bude ukončena technicko–ekonomickým zhodnocením a rozбором navržené varianty výroby.

Cíle diplomové práce:

1. Teoretický rozbor výrobku
2. Volba obráběného materiálu a řezných nástrojů (charakteristika, řezné podmínky)
3. Konstrukce prototypů držáků řízení předního kola vozu Formule Student v parametrickém programu Autodesk Inventor a návrh aplikace obráběcích strategií v CAM programu PowerMILL
4. Výroba prototypů držáků řízení předního kola na obráběcím centru MCV 754 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530
5. Technicko–ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele DIN/ISO. Programování iTNC 530. 533 188–Co-SW01.1.5/2005, Německo, Traunreut, 576 s.

HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele. Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530. 533 190–81-SW01.3.1/2005, Německo, Traunreut, 652 s.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou držáků řízení pro pravé přední kolo formule Dragon 4 týmu TU Brno Racing. V teoretické části je popsána soutěž Formule Student, včetně samotných držáků řízení, u kterých byla popsána i jejich funkce a umístění. Dále byl proveden rozbor hliníku a jeho slitin včetně začlenění materiálu CERTAL, ze kterého byly držáky vyrobeny. Praktická část zahrnuje konstrukci prototypů držáků v CAD programu Autodesk Inventor, návrh a aplikace obráběcích strategií v CAM programu PowerMILL. Dále praktická část mapuje výrobu na obráběcích strojích a to na centru MCV 754 QUICK a na obráběcím centru DECKEL MAHO DMU 50. Předposlední část se zabývá rozměrovou analýzou vyrobených držáků v porovnání s CAD modelem daných součástí. V závěru práce je technicko-ekonomické zhodnocení výroby.

Klíčová slova

frézování, Formule Student, CAD/CAM, 3D skenování, obráběcí strategie

ABSTRACT

This thesis deals with the design and production of wheel control holders for the right front wheel of the formula Dragon 4 of TU Brno Racing team. In the theoretical part, the Formula Student competition is described, including the steering holders themselves and description of their function and location. Later the analysis of aluminium and its alloy was made, including description of the CERTAL material of which the holders were made. The practical part includes the design of prototype holders in the Autodesk Inventor CAD software, the design and application of machining strategies in the PowerMILL CAM software. Further, the practical part includes production on milling machines at the MCV 754 QUICK and DECKEL MAHO DMU 50 machining centre. At the end, the dimensional analysis of the part is performed, manufactured holders were compared to the CAD model of the given components and the technical and economical evaluation of the production was made.

Key words

milling, Formula Student, CAD / CAM, 3D scanning, machining strategies

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAŠEK, L. *Návrh výroby držáků řízení předního kola pro studentskou formuli TU Brno Racing*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 67 s. 5 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh výroby držáků řízení předního kola pro studenstskou formuli TU Brno Racing** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Lukáš Vašek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za jeho nevyčerpávající energii při odpovídání na mé dotazy, za pomoc s přípravou i realizací výroby včetně realizace 3D skenování. Dále bych rád poděkoval pracovníkům školicího střediska společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. Jihlava a to jmenovitě panu Jiřímu Křivánkovi a panu Zdeňkovi Pavlíčkovi, především za realizaci výroby a velmi cenné rady. Dále bych rád poděkoval Ing. Markovi Fejfarovi, který mi zajistil nezbytně nutná data k realizaci této diplomové práce, včetně jeho času, který mi věnoval při konzultacích. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat aktivnímu členu týmu TU Brno Racing Bc. Adamovi Solařovi za ochotu a rychlou komunikaci.

Také bych rád poděkoval své rodině a kamarádům za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 FORMULE STUDENT	9
1.1 O PRAVIDLECH A PRŮBĚHU ZÁVODU	9
1.1.1 TECHNICKÁ PŘEJÍMKA	10
1.1.2 STATICKE DISCIPLINY	10
1.1.3 DYNAMICKÉ DISCIPLINY.....	11
1.2 ZÁVĚS PŘEDNÍCH KOL.....	11
1.2.1 ŘÍZENÍ A PŘENOS SIL V ŘÍZENÍ	12
1.3 UMÍSTĚNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ	13
2 ROZBOR OBRÁBĚNÉHO MATERIÁLU.....	15
2.1 HLINÍK.....	15
2.2 SLITINY HLINÍKŮ A VLIV JEDNOTLIVÝCH PŘÍSAĐOVÝCH PRVKŮ	15
2.2.1 SLITINY HLINÍKU PRO TVÁŘENÍ.....	16
2.2.2 SLITINY HLINÍKU PRO ODLITKY	17
2.3 OZNAČENÍ SLITIN HLINÍKU	18
2.3.1 OZNAČOVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN PRO TVÁŘENÍ DLE NORMY ČSN EN 573 –1.....	18
2.3.2 OZNAČOVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN NA ODLITKY DLE NORMY ČSN EN 1780–1.....	19
2.4 CERTAL – EN AW 7022	20
2.4.1 POROVNÁNÍ S KONRUNČNÍMI HLINÍKOVÝMI SLITINAMI	20
3 KONSTRUKCE PROTOTYPŮ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ PŘEDNÍHO KOLA FORMULE A NÁVRH OBRÁBĚCÍCH STRATEGIÍ.....	22
3.1 MODELOVÁNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ	22
3.2 NÁVRH OBRÁBĚCÍCH STRATEGIÍ V PROGRAMU POWERMILL	27
4 VÝROBA DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ PŘEDNÍHO KOLA FORMULE.....	37
4.2 POPIS PŘÍPRAVY NÁSTROJŮ	40
4.3 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ.....	42
4.3.1 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ NA STROJI DECKEL MAHO DMU 50	42
4.3.2 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ NA STROJI MCV 754 QUICK	43

5	KONTROLA PŘESNOSTI VYROBENÝCH DRŽÁKŮ ZA POMOCI 3D SKENOVÁNÍ.....	47
5.1	SKENOVÁNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ	47
5.2	IMPORT DAT A PROSTOROVÉ USTAVENÍ V SOFTWARE GOM INSPECT 2017.....	49
5.2.1	ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI HORNÍHO DRŽÁKU	50
5.2.2	ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI DOLNÍHO DRŽÁKU	52
6	TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	55
6.1	JEDNOTKOVÝ ČAS VÝROBY	55
6.2	VYHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA VÝROBU	57
	ZÁVĚR.....	61
	POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE:	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH	67

ÚVOD

Jedním z hlavních důvodů proč jsem si vybral jako vedoucího pana doc. Ing. Josefa Sedláka, Ph.D. byl jeho velmi milý přístup při výuce, který jsem poznal v minulých letech. Dále dalším hlavním důvodem výběru právě tohoto tématu byla moje bakalářská práce, kterou jsem měl též zaměřenou na studentskou formuli týmu TU Brno Racing.

Úvod práce se zabývá samotnou soutěží formule TU Brno Racing a jejím průběhem a pravidly. Práce se dále zabývá teoretickým rozbořem držáků a popisuje jejich funkci a samotné umístění na studentské formuli. Další teoretická část se zabývá rozbořem materiálu pro držáky řízení. S ohledem na nízkou měrnou hustotu a dostatečnou pevnost byl materiál držáků volen z hliníkových slitin.

Praktická část se zabývá modelováním samotných držáků z dostupné výkresové dokumentace v programu Autodesk Inventor a dále řeší návrh obráběcích strategií v softwaru Autodesk PowerMILL. Samotná výroba proběhne pod vedením mého vedoucího doc. Ing. Josefa Sedláka, Ph.D a operátora CNC ve školicím centru BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě.

Na závěr proběhne kontrola geometrie a rozměrů vyrobených držáků za pomoci 3D skenování v porovnání s počítačovými modely a technicko-ekonomické zhodnocení včetně celkového zhodnocení v závěru práce.

1 FORMULE STUDENT

Soutěž Formule Student je původně evropská odnož soutěže Formule SEA. Jedná se o soutěž týmů budoucích inženýrů. První zmínky o soutěži, byly zaznamenány v roce 1981 v USA. Do Evropy se tato soutěž dostal až koncem tisíciletí a to roku 1998. Soutěž se nekoná pouze na těchto dvou kontinentech, ale také v Brazílii, Japonsku či v Austrálii. Cíl soutěže není jenom navázat nové kontakty s kolegy ze zahraničí, či získat cenné zkušenosti při stavbě či prezentaci samotné formule, ale hlavním cílem jako každoročně zůstává postavit vlastní jednomístnou formuli, která bude dobře ovladatelná, estetická, výkonná, dále bezpečná, bezporuchová a levná. Další požadavky jsou kladeny na ekologii i na vzhled. Dalším nezbytným cílem je vyrobit formuli tak, aby splňovala veškeré soutěžní pravidla. Soutěžní pravidla se každý rok mění a k roku 2017 se jedná o 128 stránkový dokument [1, 2].

„Základní myšlenkou je vyrobit jednomístné závodní vozidlo pro víkendového neprofesionálního závodníka sprintu nebo autokrosu, s předpokládanou výrobou 1 000 kusů za rok“ [3].



Obr. 1 Formule Dragon 4.

1.1 O PRAVIDLECH A PRŮBĚHU ZÁVODU

Jako každá soutěž má soutěž Formule Student pravidla vyhodnocování a bodování jednotlivých disciplín závodu. Samotná soutěž se koná v rámci 5–6 dní. Pravidla se každý rok mění, ale struktura soutěže je zpravidla každý rok stejná. Soutěž je složena z hlavních tří částí. Jmenovitě se jedná o tyto hlavní tři části [1]:

- technická přejímka,
- statické disciplíny,
- dynamické disciplíny.

1.1.1 TECHNICKÁ PŘEJÍMKA

Technická přejímka se dělí na čtyři části. V první část (červená nálepka) na *obr. 2*, odpovídá především kontrole rozměrů formule. Kontrola rozměrů probíhá za pomoci šablon a dále je v první části zhodnocen celkový technický vizuální stav. Druhá část technické přejímky je tzv. TILT TEST (náklonový test). Formule se naklápí o 45° viz černá nálepka na *obr. 2* a kontroluje se únik všech kapalin ve všech soustavách. Dále se formule naklání až do úhlu 60° a v této pozici musí být všechny kola v kontaktu s povrchem. Třetí část technické přejímky je test hlučnosti, kde nesmí formule překročit stanovenou hladinu. Poslední část technické přejímky je test brzdného účinku. Formule se rozjede v přímém směru na předepsanou rychlost a při dosažení určité rychlosti musí být za pomoci brzd zablokovány všechny 4 kola, tak aby se formule během brždění nevychýlila z přímého směru. Pokud tým získá všechny čtyři nálepky, tedy uspěje v technické přejímce, může se účastnit dynamických disciplín. V opačném případě je tým se svou formulí vrácen do depa a může v rámci svých sil některé nedostatky opravit. Technická přejímka není bodovaná. Ostatní bodování je vztaženo k pravidlům roku 2017 [1].



Obr. 2 Štítek technické přejímky.

1.1.2 STATICKÉ DISCIPLÍNY

Při statických disciplínách každý tým prezentuje svojí roční práci, přičemž nejdůležitější je konstrukce formule. Tým musí vhodným způsobem obhájit a odůvodnit řešení různých problémů. Statické disciplíny jsou opět tvořeny z tří částí. Jmenovitě se jedná o [1]:

- Cost report (100 bodů) je kontrola dokumentace všech dílů formule. Tým musí mít veškerou výrobní dokumentaci včetně všech výdajů. Soudce kontroluje údaje a popřípadě se doptává na nejasnosti členů týmu.
- Business plan (75 bodů) je další ze statických disciplín, kdy tým musí co nejlépe poskytnout komplexní informace a vytvořit tzv. obchodní model, který dokládá jejich produkt, potažmo prototypové závodní vozidlo. Soudci soutěže v tento moment zastávají pozici potenciálních investorů a cílem týmu je investory přesvědčit.
- Design event (150 bodů) probíhá formou diskuze u formule. Pro tuto diskuzi je vybráno 10 členů týmu, přičemž každý člen odpovídá za určitou část formule. Soudci se z očí do očí ptají členů týmu na nejrůznější otázky, kterými chtějí zjistit, jak moc členové týmu své práci rozumí.

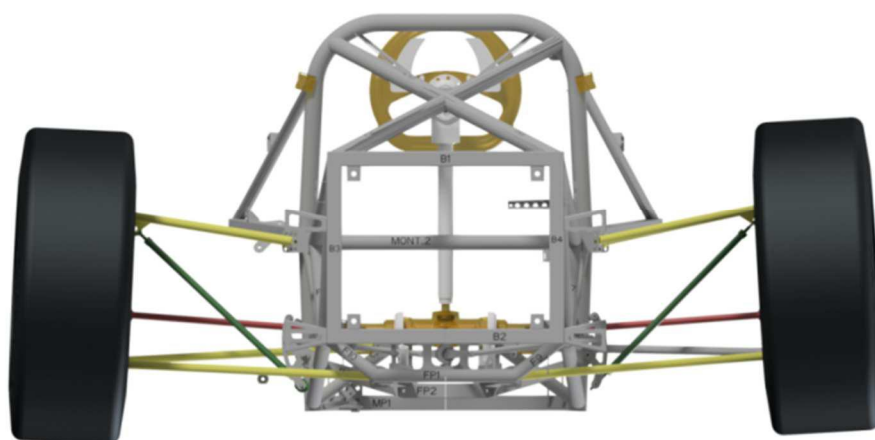
1.1.3 DYNAMICKÉ DISCIPLÍNY

Dynamické disciplíny jsou složeny ze čtyř částí [1]:

- Skid Pad (75 bodů) – Zde formule krouží po dráze připomínající tvar číslice 8. Cílem je urazit stanovenou dráhu za co nejkratší čas.
- Acceleration (75 bodů) – Formule musí z nulové rychlosti co nejrychleji překonat vzdálenost 0–75 metrů.
- Autocross (150 bodů) – Jedná o jedno kolo celého závodního okruhu, přičemž tato jízda slouží jako kvalifikace do poslední části soutěže Endurance.
- Endurance (300 + 75 bodů) – Tento hlavní závod má přibližně 22 km, přičemž v polovině závodu musí být provedena výměna řidičů (300 bodů). Další částí tohoto závodu je kontrola spotřeby paliva (75 bodů).

1.2 ZÁVĚS PŘEDNÍCH KOL

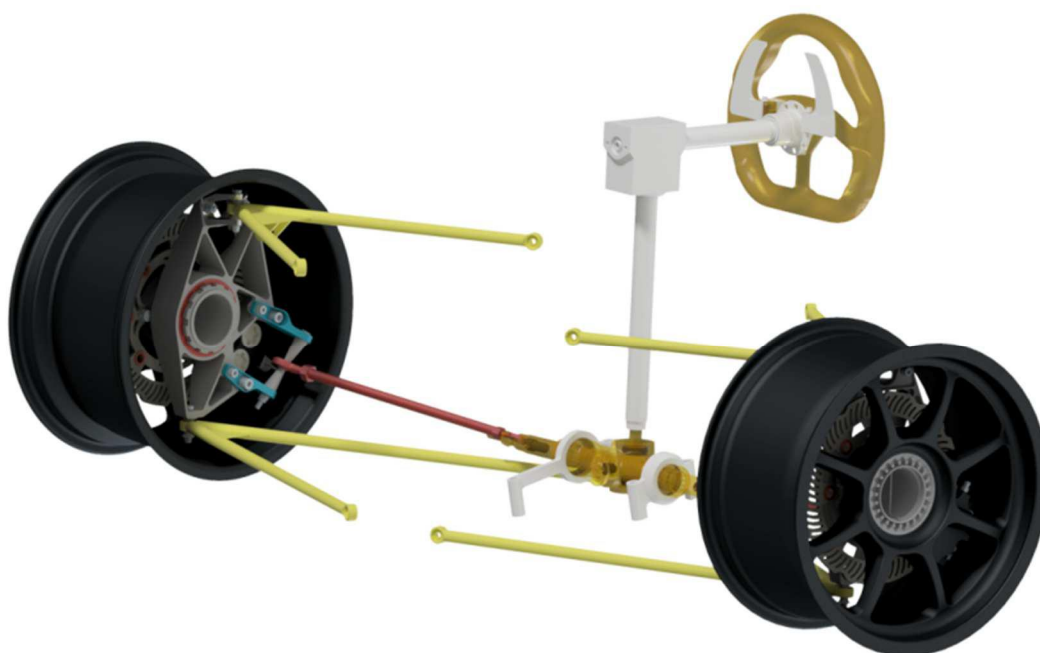
Jako i ostatní týmy, tak i tým TU Brno Racing na svých formulích používá pouze lichoběžníková zavěšení. Lichoběžníkové zavěšení je realizováno pomocí dvou příčných ramen o rozdílných rozměrech. Obě tyto lichoběžníková ramena mají tvar trojúhelníku, přičemž jsou upevněna ve dvou bodech k rámu formule a v jednom bodě k těhlici. Okraje ramen jsou tvořena oky ve, kterých jsou uložena kloubová ložiska tzv. „unibally“. Dolní rameno je delší a při pohledu zepředu, tvoří tato ramena lichoběžník, viz obr. 3 [4].



Obr. 3 Závěs předních kol formule Dragon 4.

1.2.1 ŘÍZENÍ A PŘENOS SIL V ŘÍZENÍ

Řízení formule funguje na stejném principu jako u osobních automobilů bez posilovače řízení. Krouticí moment vzniklý od rotace volantu je přenášen skrze hřídel na kuželové ozubené soukolí s přímými zuby. Po výstupu z kuželového ozubeného soukolí je krouticí moment přenášen další hřídelí, jejíž konec je osazen ozubeným pastorkem se šikmými zuby. V tomto ozubeném převodu je krouticí moment transformován na lineární pohyb ozubeného hřebenu a ten je následně přenesen skrze spojku na řídicí tyč, která je připojena skrze unibally na svorník mezi kónické podložky a následně na držáky řízení, potažmo na těhlici. Jedná se o popis *obr. 4*.

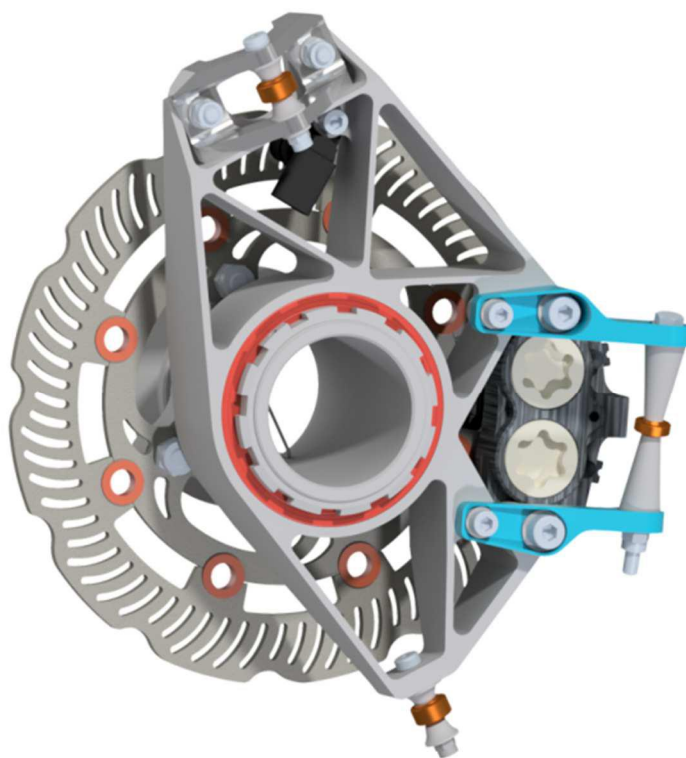


Obr. 4 Řízení předních kol studentské formule Dragon 4.

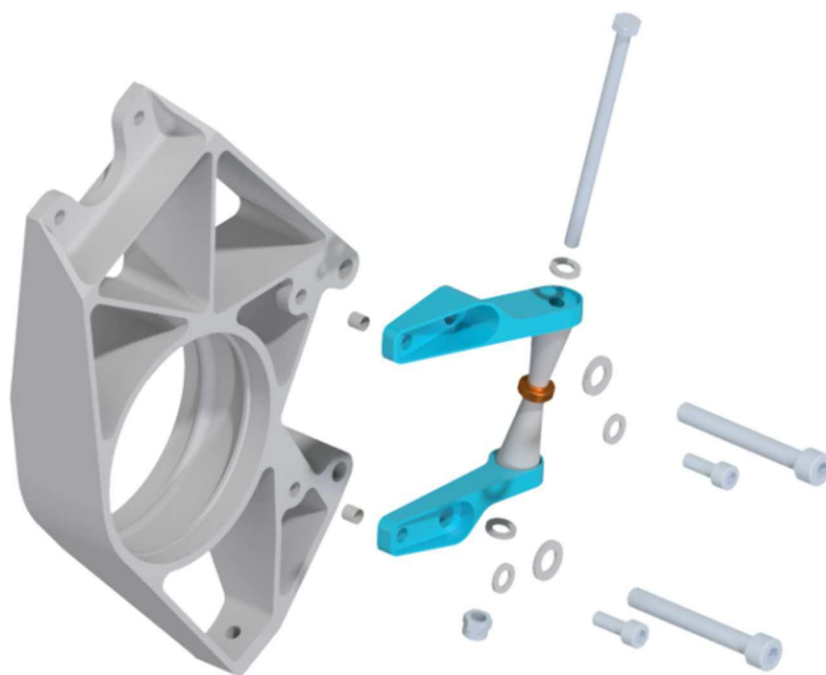
1.3 UMÍSTĚNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ

Držák řízení – na *obr. 5* (modré dílce) je tvořen ze dvou dílů. Jedná se o horní a spodní díl. Horní i spodní mají odlišné rozměry i geometrii. Oba tyto díly jsou připevněny k tělu těhlice. Připevněny jsou za pomoci šroubového spoje, konkrétně dvou šroubů M6 a M8. Skrze „oka“ obou držáků prochází šroub M6. Mezi „oky“ držáků jsou vloženy kónické podložky, které zajišťují ukotvení polohy uniballu. Držáky řízení na levém a pravém kole jsou zrcadlové.

Držáky řízení slouží k přenosu sil od řídicí tyče až k těhlici. V předchozích modelech formule Dragon byly držáky součástí těhlice. Vzhledem k velmi vysoké výrobní náročnosti těhlice, byly držáky od základní části těhlice odděleny. Na *obr. 6* je lépe vidět z čeho se sestava těhlice pravého předního kola formule skládá a jak jsou komponenty vůči sobě usazeny [4].



Obr. 5 Kompletní nastrojená těhlice pravého předního kola formule.



Obr. 6 Sestava těhlice, držáků řízení včetně kónických podložek, ocelových pouzder, uniballu, podložek a spojovacího materiálu.

2 ROZBOR OBRÁBĚNÉHO MATERIÁLU

Obecně řečeno ve všech motoristických soutěžích, bývají kladeny vysoké požadavky na všechny prvky celého vozidla. V případě formule týmu TU Brno Racing to není jinak. Hlavním požadavkem na materiál komponentů celé formule je nízká hmotnost a zároveň vysoká bezporuchovost. Bezporuchovosti jednotlivých komponent lze docílit správnou konstrukcí součásti a zároveň vhodnou volbou základního materiálu. Vzhledem k požadavku nízké hmotnosti držáků řízení, musel být zvolen materiál s nízkou měrnou hustotou a zároveň s vhodnými mechanickými vlastnostmi. Těmto kritériím vyhovují hliníkové slitiny. Následující část této kapitoly teoreticky popisuje materiál, ze kterého byly držáky vyrobeny.

2.1 HLINÍK

Největší procento zastoupení v zemské kůře má právě hliník. I přes tento fakt nebyl hliník v minulosti velmi využíván. V roce 1855 byl dokonce, tak drahý že byl vsazen do královské koruny jako šperk. Od roku 1859 začala výroba hliníku v průmyslovém měřítku. Hliník se v přírodě vyskytuje zhruba v 250 odlišných minerálech, přičemž mezi nejdůležitější patří korund, diaspor, boehmit, spinel gibbsit, andaluzit, kaolinit, nefelín a další. Z hlediska ekonomiky je nejvýznamnější rudou bauxit. Při výrobě jedné tuny hliníku potřebujeme čtyři až šest tun bauxitu [5].

Je to nepolymorfni kov s plošně centrovanou krystalickou mřížkou. Má dobré plastické vlastnosti za tepla i za studena. Je tepelně i elektricky vodivý a jeho povrchová vrstva Al_2O_3 o tloušťce 5 až 20 nm tvoří korozní ochranu. Je to dobře svařitelný kov. V technické praxi je i velmi často využíván právě pro svou nízkou měrnou hustotu [6].

Tab. 1 Základní fyzikální vlastnosti čistého hliníku [6].

Fyzikální vlastnost	Čistý hliník	Jednotka
Hustota ρ	2698,9 (při teplotě 20°)	$kg \cdot m^{-3}$
Teplota tavení t_t	660,4	°C
Teplota varu t_v	2494	°C
Tepelná vodivost λ	247	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Tab. 2 Mechanické vlastnosti hliníku ve vyžáhaném stavu [7].

Mechanická vlastnost	Čistý hliník	Jednotka
Mez pevnosti v tahu R_m	60	MPa
Modul pružnosti v tahu E	73	GPa
Tvrdość	20	HB
Tažnosť	25	%

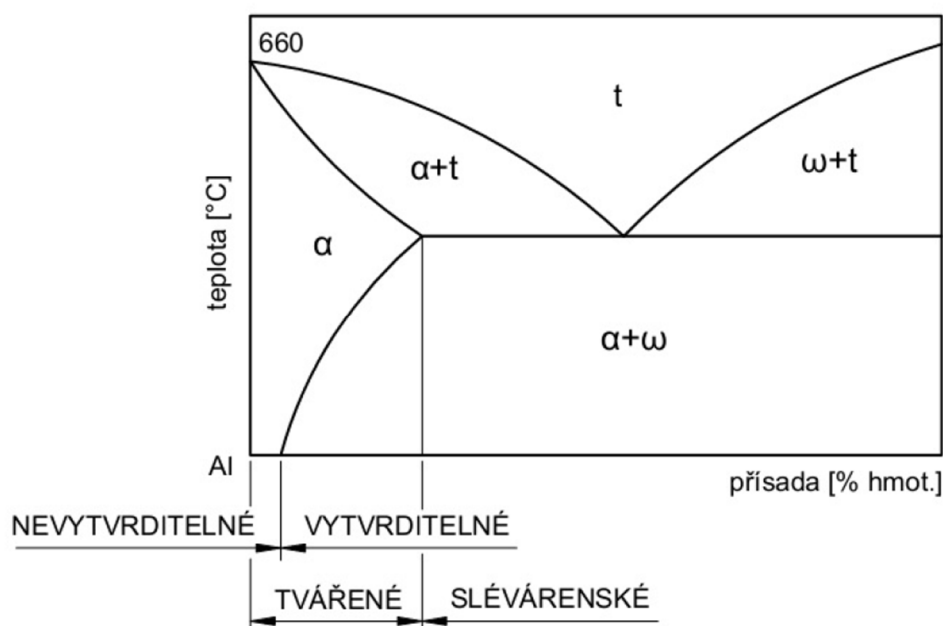
2.2 SLITINY HLINÍKŮ A VLIV JEDNOTLIVÝCH PŘÍSADOVÝCH PRVKŮ

Vzhledem k nízkým hodnotám meze pevnosti v tahu, je hliník jako čistý kov nevhodným konstrukčním materiálem. Proto se do čistého hliníku přidávají přísadové prvky, které zvyšují mechanické vlastnosti materiálu a zároveň mohou zlepšit i technologické vlastnosti. Jako přísadové prvky používáme nejčastěji: měď, křemík, stříbro, hořčík, bor, bismut, antimon, kobalt, olovo, mangan a další. V tab. 3 jsou uvedeny některé přísadové prvky hliníkových slitin a dále je v tab. 3 popsáno, jaký mají na čistý hliník vliv [6].

Tab. 3 Vliv jednotlivých přísadových prvků na čistý hliník [6].

Cu - Měď zvyšuje pevnostní vlastnosti – vytvrzováním. Snižuje odolnost proti korozi. Nejčastěji legována spolu s Mg.
Si - Křemík je hlavní legující prvek pro slévárenské slitiny – siluminy.
Ag - Stříbro v množství 0,1–0,6 % velmi zvyšuje odolnost vůči korozi za napětí.
Hg - Hořčík je častým legujícím prvkem u slitin Al-Cu-Mg a Al-Mg-Si, kde se podílí na zvýšení pevnostních vlastností.
B - Bor zvyšuje elektrickou vodivost a zjemňuje strukturu.
Bi - Bismut zlepšuje mechanickou odolnost.
At - Antimon zvyšuje odolnost vůči korozi ve slané vodě.
Pb - Olovo zlepšuje obrobitelnost.
Mn - Mangan zvyšuje pevnostní vlastnosti, zjemňuje zrna a zvyšuje teplotu rekrytalizace.

Slitiny hliníku se nejčastěji dělí do dvou skupin. Jedná se o slitiny pro tváření a slitiny pro odlitky. Dále se dají dělit do skupin vytvrditelných a nevytvrditelných slitin, podle toho zda jsou schopny zvýšit tvrdost a pevnost tepelným zpracováním. Schopnost vytvrditelnosti úzce souvisí s chemickým složením. Dle chemického složení určíme polohu slitiny v binárním diagramu z *obr. 7*.



Obr. 7 Schéma obecného rovnovážného binárního diagramu slitin hliníku [8]

2.2.1 SLITINY HLINÍKU PRO TVÁŘENÍ

Slitiny hliníku pro tváření se dělí do dvou skupin. V podstatě se jedná o slitiny hliníku obsahující měď a neobsahující měď. Slitiny hliníku obsahující měď je možné tepelně vytvrdit, na mez pevnosti přibližně okolo 550 MPa. Měď však ve slitině hliníku způsobuje snížení korozi odolnosti [9].

Základní slitiny hliníku s dobrou odolností proti korozi a nízkou pevností, neobsahující měď [9]:

- Al-Mg – v žíhaném stavu $R_m = 140$ až 200 MPa, po deformačním zpevnění dosahuje maximálně $R_m = 420$ MPa. Slitina obsahující více jak 6 hm. % hořčíku podléhá korozi.
- Al-Mg-Si – lze tepelným zpracováním vytvrdit maximálně až $R_m = 350$ MPa. Pro dobrou svařitelnost a tvárnost se využívají v letectví a stavebnictví.
- Al-Mn – se tepelně nevytvrzují, v průmyslu se vyrábí pouze AlMn1 mající po deformačním zpevnění $R_m = 220$ MPa, často slouží jako lepší náhrada za čistý hliník.

Základní slitiny hliníku s nízkou odolností proti korozi a vysokou pevností, obsahující měď [9]:

- Al-Cu-Mg – Jedná se o nejstarší a nejpoužívanější slitiny s označením dural. Tepelně vytvrzené dosahují pevnosti max. $R_m = 530$ MPa.
- Al-Cu-Mg-Ni – Duralová platforma obohacená o nikl je vhodná pro dlouhodobou funkci za teplot až 300 °C.
- Al-Cu-Si-Mn – Slitiny vhodné pro volné a zápusťkové kování.
- Al-Zn-Mg-Cu – Tepelným zpracováním dosahujeme pevnosti $R_m = 500$ až 580 MPa. Jedná se tedy o nejpevnější slitinu hliníku tohoto typu.
- Al-Li – Lithium snižuje měrnou hustotu a zároveň zvyšuje pevnost v tahu $R_m = 420$ až 600 MPa.

2.2.2 SLITINY HLINÍKU PRO ODLITKY

Slévárenské slitiny hliníku jsou určeny k lití do pískových forem, kovových forem nebo k tlakovému lití. Slévárenské slitiny přibližně dosahují max. $R_m = 250$ MPa. Nejhorší pevnosti a hrubé struktury se dosahuje při lití do pískových forem a jemné struktury se dosahuje při lití do kovových forem a při tlakovém lití [5].

Do slévárenských slitin hliníku je nejčastěji přidáván křemík, měď, hořčík a výjimečně zinek a mangan. Dle hlavních přísadových prvků se také dělí hlavní typy slévárenských slitin [9, 10]:

- Al-Si (siluminy)

Eutektické siluminy jsou nejvíce využívány pro své nejlepší slévárenské vlastnosti. Eutektikum je zhruba 11,7 hm. % křemíku.

- Al-Si-Mg a Al-Si-Cu (speciální siluminy)

Přísady hořčík a měď umožňují vytvrzování slitin, což vede ke zvýšení pevnosti. Další výhodou této slitiny je možnost mechanického zatěžování až do 275 °C. Využívají se jako písty spalovacích motorů, hlavy válců, disky kol či součásti letadla.

- Al-Cu

Tyto slitiny mají široký interval krystalizace (90–100 °C) což vede k menšímu využití vzhledem k horší zabíhavosti a vzniku trhlin při tuhnutí a k tvorbě mikropórovitosti. Tyto slitiny jsou vhodné k funkci za teploty 350 až 450°C.

- Al-Mg

Ze všech slévárenských slitin právě tato slitina vykazuje nejvyšší rázovou houževnatost a měrnou pevnost. Obrábějí se lépe než slitiny Al-Si. Využití mají tam, kde jsou odlitky rázově namáhány a kde jsou vystavovány koroznímu prostředí. Přidáním křemíku do slitiny získáme slitinu Al-Mg-Si. Slitina obohacená křemíkem disponuje lepší zabíhavostí a má sníženou tvorbu trhlin za tepla. Využití si najde tato slitina u součástí mechanicky namáhaných za vyšších teplot např. žebrované hlavy válců, součásti namáhané povětrnostními vlivy, fotonářstroje, atd.

- Al-Zn-Mg

Má velmi dobré slévárenské vlastnosti, avšak má vyšší sklon ke korozi pod napětím. Sklon ke korozi pod napětím se potlačuje obohacením 0,8–1,2 hm. % železa. Jsou to dobře svařovatelné slitiny. V porovnání s ostatními slévárenskými slitinami hliníku nejsou tolik citlivé na změnu tloušťky stěny odlitku.

- Al-Li

Jejich hlavní využití je pro hutní polotovary ovšem mohou být použity i pro odlitky.

2.3 OZNAČENÍ SLITIN HLINÍKU

Toto značení hliníku a jeho slitin se liší pro tvářený (norma ČSN EN 573–1) a pro odlitky (norma ČSN EN 1780–1). Tyto normy jsou dále podrobně rozebrány níže.

2.3.1 OZNAČOVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN PRO TVÁŘENÍ DLE NORMY ČSN EN 573 –1

Norma ČSN EN 573–1 platí pro tvářené výrobky a ingoty určené ke tváření a stanoví označování písmeny EN AW a čtyřmi číslicemi. V tab. 4 jsou uvedeny jednotlivé skupiny slitin hliníku.

Příklad značení [11]: EN AW – 7022

EN – označuje evropskou normu

A – určuje hliník

W – určuje tvážené výrobky

Čtyři číslice – označují chemické složení

Tab. 4 Označování slitin hliníku dle ČSN EN 573–1 [11].

Skupina	Prvky slitiny
Skupina 1000	Al minimálně 99,00% a více
Skupina 2000	Slitina Al-Cu
Skupina 3000	Slitina Al-Mn
Skupina 4000	Al-Si
Skupina 5000	Al-Mg
Skupina 6000	Al-Mg-Si
Skupina 7000	Al-Zn
Skupina 8000	Al s různými prvky

2.3.2 OZNAČOVÁNÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN NA ODLITKY DLE NORMY ČSN EN 1780–1

Norma ČSN EN 1780–1 platí pro ingoty pro přetavení a pro odlitky a platí pro všechna použití včetně letectví a kosmonautiky.

Příklad značení [12]: EN AB–440000

- a) Předpona EN označuje evropskou normu
- b) Písmeno A určuje hliník
- c) Písmeno určující tvar výrobku:
 - Písmeno B určuje slitinové hliníkové ingoty pro přetavení
 - Písmeno C určuje odlitky
 - Písmeno M určuje předslitiny
- d) Spojovací čárka
- e) Pěti číslicemi určujícími mezní hodnoty složení slitiny

První z pěti číslic v označení musí určovat hlavní slitinový prvek následovně:

- Měď: 2XXXX;

- Křemík: 4XXXX;

- Hořčík: 5XXXX;

- Zinek: 7XXXX;

Druhá z pěti číslic v označení musí určovat skupinu slitin následovně:

- 2 1 XXX: Al Cu;

- 4 1 XXX: Al SiMgTi;

- 4 2 XXX: Al Si7Mg;

- 4 3 XXX: Al Si10Mg;

- 4 4 XXX: Al Si;

- 4 5 XXX: Al Si5Cu;

- 4 6 XXX: Al Si9Cu;

- 4 7 XXX: Al Si(Cu);

- 4 8 XXX: Al SiCuNiMg;

- 5 1 XXX: Al Mg;

- 7 1 XXX: Al ZnMg;

Třetí číslice je libovolná.

Čtvrtá číslice je obecně 0.

Pátá číslice musí být 0, s výjimkou použití v letectví a kosmonautice.

2.4 CERTAL – EN AW 7022

Hliníková slitina CERTAL s chemickým označením AlZn5Mg3Cu je svými vlastnostmi velmi podobná konstrukční nízkolegované tepelně nezpracované oceli. Po tepelném zpracování tato slitina hliníku dosahuje pevnosti 500–580 MPa. Dále dosahuje velmi vysokých hodnot mechanických vlastností, viz tab. 5. Z globálního hlediska je slitina CERTAL svými vlastnostmi nejvhodnější slitinou právě tam, kde je třeba součástí z lehkého a zároveň pevného materiálu [9].

Tab. 5 Základní mechanické vlastnosti Certalu [13, 14].

Mechanická vlastnost	CERTAL	Jednotka
Mez pevnosti v tahu R_m	550	MPa
Modul pružnosti v tahu E	72	GPa
Tvrdość	165	HB
Tažnost A_{50}	8	%

2.4.1 POROVNÁNÍ S KONSTRUKČNÍMI HLINÍKOVÝMI SLITINAMI

Dle Lud'ka Ptáčka – Nauka o materiálu II, je pevnější hliníková slitina než CERTAL, ruská hliníková slitina s označením V96, která dosahuje až $R_m = 730$ MPa. Tato slitina by s ohledem na pevnost mohla být ještě vhodnější, ovšem na českém trhu není dostupná. Dalším konkurenčním materiálem je materiál s označením EN AW 7075. Dosahuje velmi podobných hodnot mechanických vlastností jako CERTAL, ale vzhledem k jeho horší obrobitelnosti, není vhodným adeptem [9, 15].

Tab. 6 Porovnání hliníkových slitin [13, 14, 16].

Materiál	Stav	R_m (min) [MPa]	Hustota [g/cm ³]	R_{p02} [MPa]	Tvrdost [HB]
EN AW 7022 - CERTAL	Vytvrzený	550	2,76	470	165
EN AW 7075	Vytvrzený	550	2,81	450	170
Al - V96 (ruská slitina)	-	až 730	-	-	-

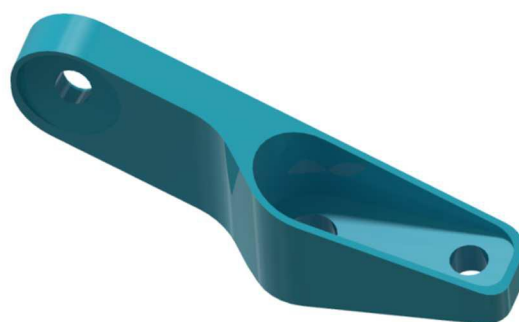
Z tab. 6 je patrné, že materiál EN AW 7022 je nejvhodnějším základním materiálem z výše uvedených. Z tohoto důvodu a zároveň z důvodu předchozích velmi dobrých zkušeností týmu TU Brno Racing s tímto materiálem, byl zvolen CERTAL jako základní materiál držáků pravého předního kola řízení.

3 KONSTRUKCE PROTOTYPŮ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ PŘEDNÍHO KOLA FORMULE A NÁVRH OBRÁBĚCÍCH STRATEGIÍ

Tato kapitola se zabývá konstrukcí prototypů držáků řízení předního pravého kola studentské formule Dragon 4, v parametrickém programu Autodesk Inventor a následně popisuje návrh obráběcích strategií v CAM programu PowerMILL. Konstrukce a výkresy držáků byly zásluhou hlavně bývalého člena týmu TU Brno Racing Ing. Marka Fejfar, se kterým byla posléze konstrukce návrhu projednána.



Obr. 8 Dolní držák řízení



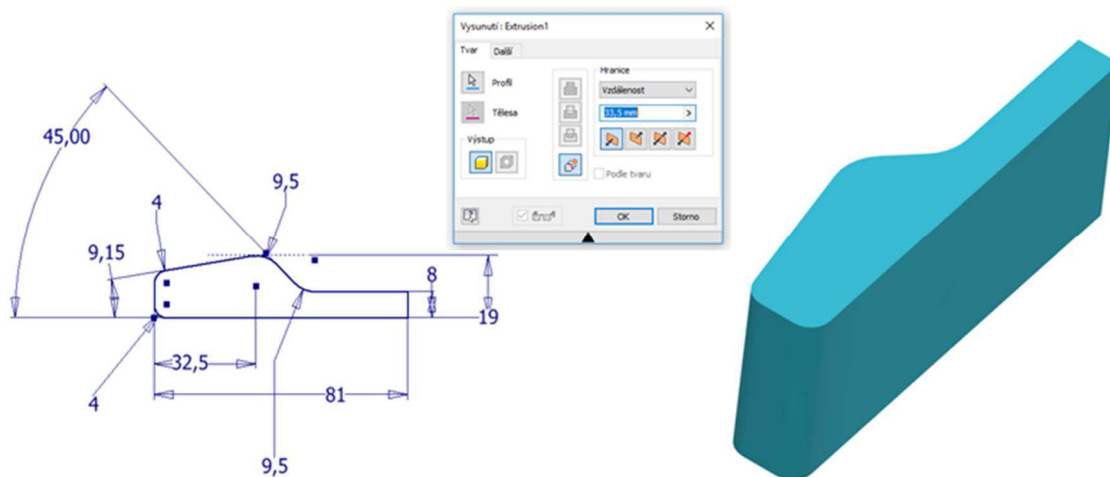
Obr. 9 Horní držák řízení

Veškeré modely včetně držáků řízení mi byly poskytnuty též od Ing. Marka Fejfara ve formátu STEP. Dále mi byla poskytnuta neúplná výkresová dokumentace držáků řízení z databáze týmu TU Brno Racing. Vzhledem k formátu, ve kterém mi byly díly sestavy poskytnuty, byly některé díly znovu vymodelovány. Jedná se pouze o držáky řízení a to jak horní tak i o dolní. Ostatní díly sestavy nebyly opětovně modelovány vzhledem k tomu, že sloužily pouze pro rendrování obrázků a tím byly dostačující i ve formátu STEP. Držáky byly vymodelovány na základě neúplné výkresové dokumentace a za pomoci některých rozměrů odměřených z modelu ve formátu STEP. Tímto způsobem byly získány veškeré geometrické rozměry a další parametry pro plnohodnotnou výkresovou dokumentaci a plnohodnotné editovatelné modely držáků viz *obr. 8, 9*.

3.1 MODELOVÁNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ

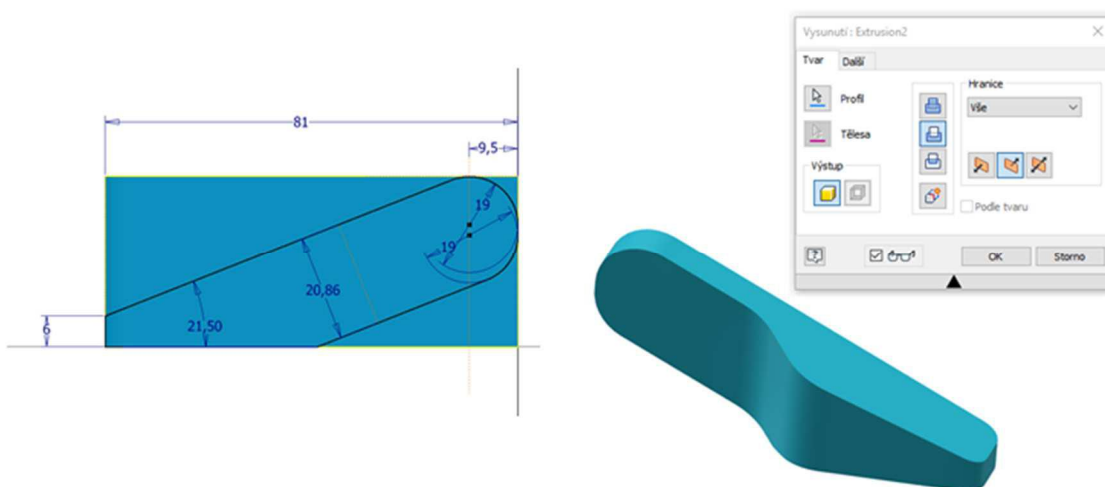
Modelování proběhlo v parametrickém programu Autodesk Inventor 2017 Professional. Oba dva držáky vzhledem k své podobnosti byly modelovány stejným principem. Vzhledem ke zmíněné podobnosti je v hlavní části dokumentu této práce uveden postup modelování pouze jednoho držáku a to konkrétně horního držáku viz *obr. 9*. Postup zhotovení modelu je v několika krocích popsán tak, že v každém kroku je uveden náčrt, tabulka dané operace včetně parametrů a vzhled součásti po dané operaci.

Operace č. 1 – Po vysunutí náčrtu v první operaci, viz *obr. 10*, vznikl objem materiálu, ze kterého se bude v dalších operacích odebírat.



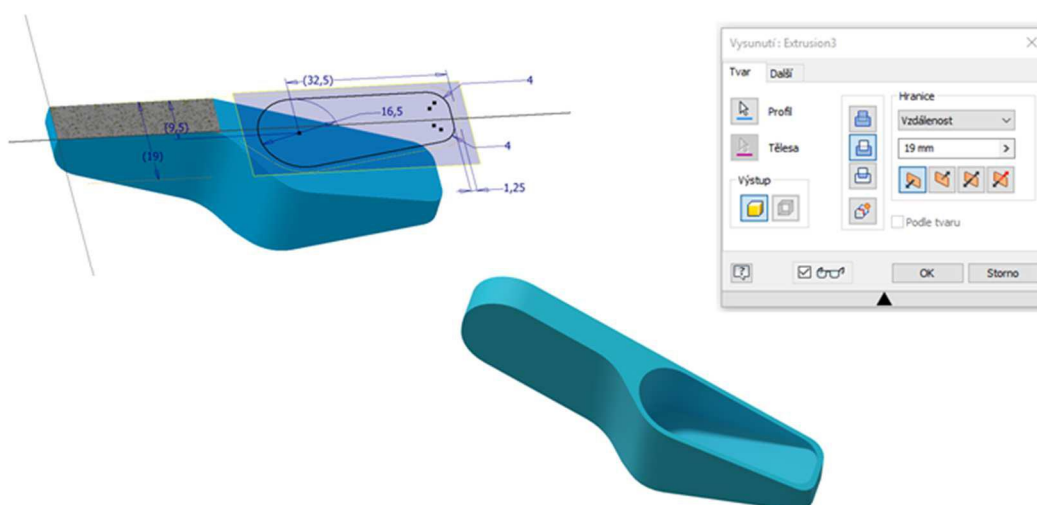
Obr.10 Operace č.1 vysunutí.

Operace č. 2 – Odebráním materiálu vysunutím v druhé operaci vznikl tvar součásti viz *obr. 11*.



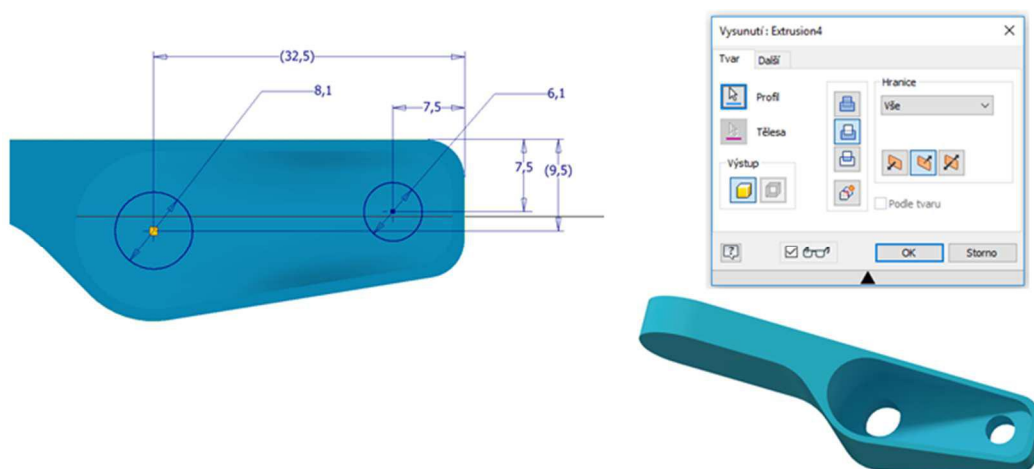
Obr. 11 Operace č. 2 odebrání vysunutím.

Operace č. 3 - Pracovní rovina v *obr. 12* byla posunuta 25 mm od spodní stěny součásti. V této pracovní rovině byl vytvořen náčrt, obrys kapsy. Kapsa vznikla vysunutím o 19 mm směrem do materiálu tak, že tloušťka stěny pod ní zůstala 6 mm.



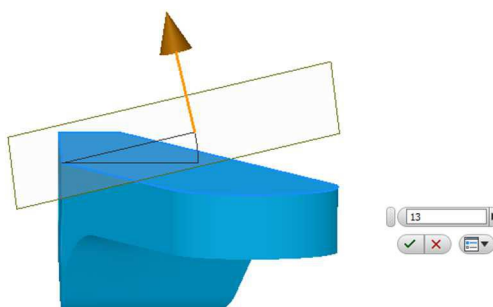
Obr. 12 Operace č. 3 odebrání vysunutím.

Operace č. 4 – Vysunutím náčrtu dvou kruhových děr obr. 13 byly získány průchozí otvory pro upnutí držáku k tělu těhlice za pomoci šroubů. Vysunutí děr proběhlo skrz dno kapsy.



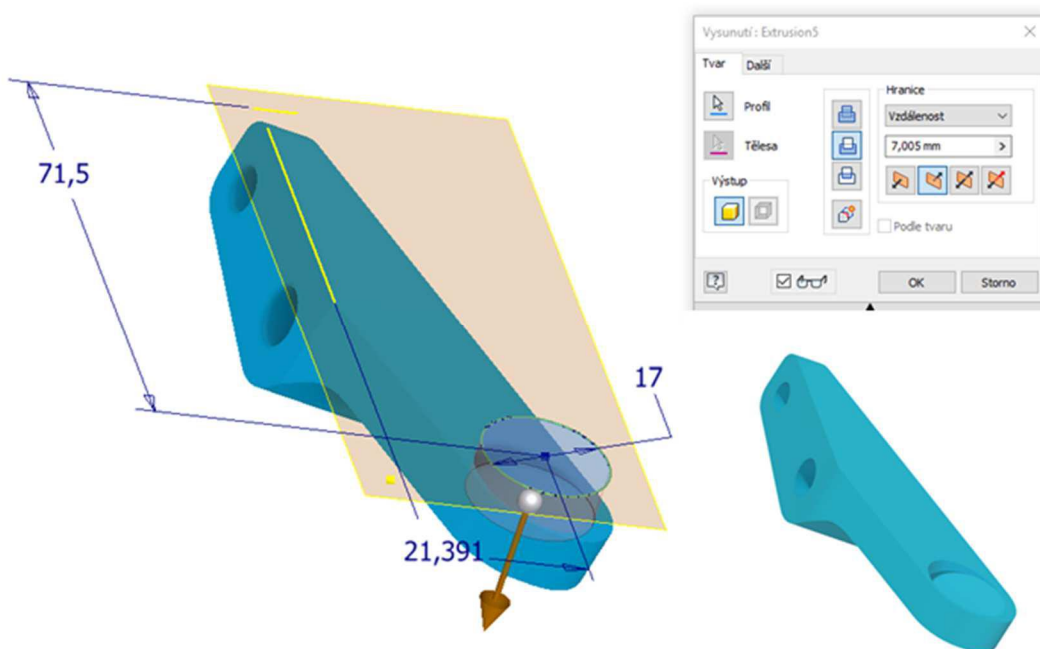
Obr. 13 Operace č. 4 vysunutí děr.

Operace č. 5 – Prvním krokem 5. operace byla tvorba pracovní roviny, viz obr. 14.



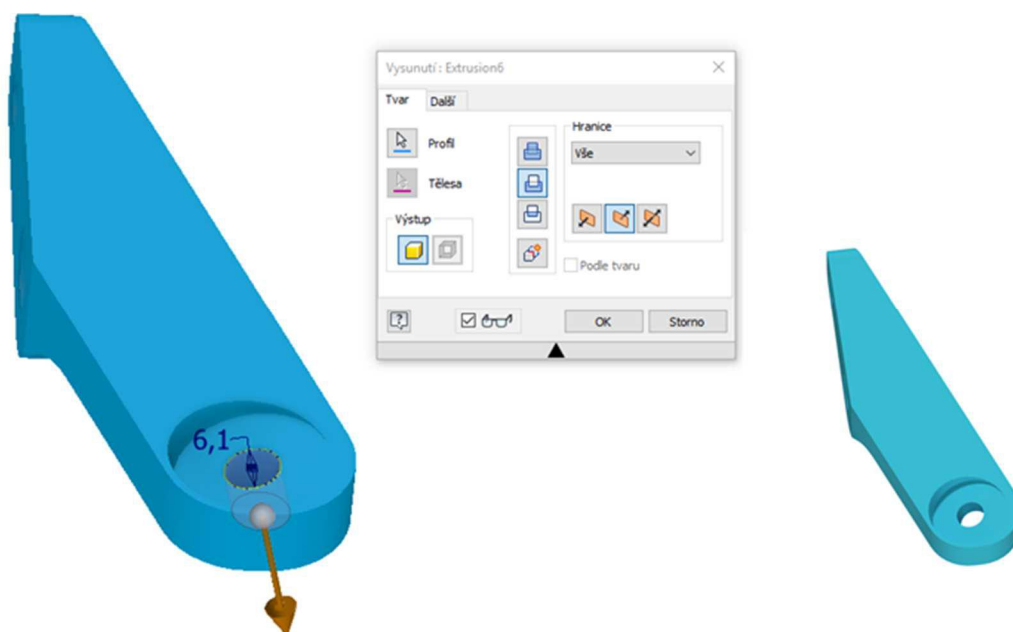
Obr. 14 Natočení pracovní roviny v 5. operaci.

Dalším krokem 5. operace byla tvorba náčrtu a následné odebrání vysunutím. Tomu předcházela výpočet polohy a vysunutí kružnice o průměru 17 mm viz obr. 15.



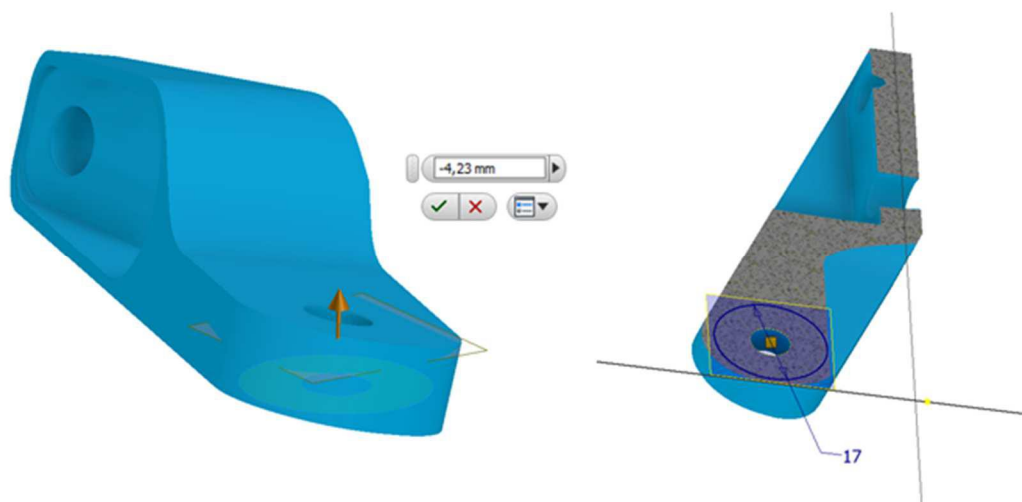
Obr. 15 Operace č. 5 náčrt a vysunutí kružnice.

Operace č. 6 – V této operaci byla zhotovena kruhová díra v ose kruhového osazení z předchozí operace.



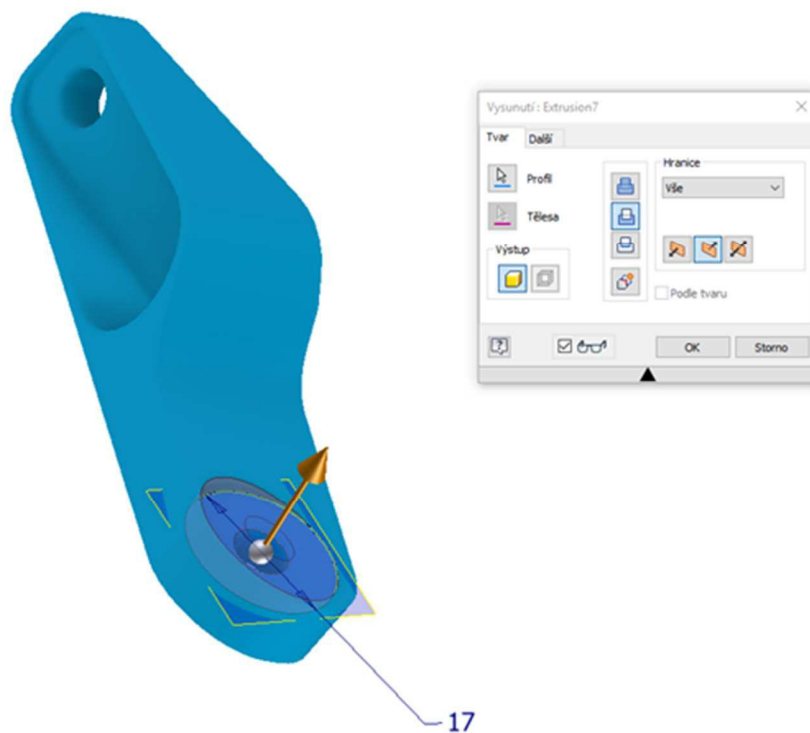
Obr. 16 Operace č. 6 náčrt a vysunutí průchozí kruhové díry.

Operace č. 7 – První část poslední operace je posunutí pracovní roviny viz obr. 17.



Obr. 17 Operace č. 7 posunutí pracovní roviny a tvorba náčrtu.

Dalším krokem 7. operace je samotné odebrání vysunutím. Touto operací bylo dosaženo i druhého osazení o průměru 17 mm v ose průchozí díry o průměru 6,1 mm.

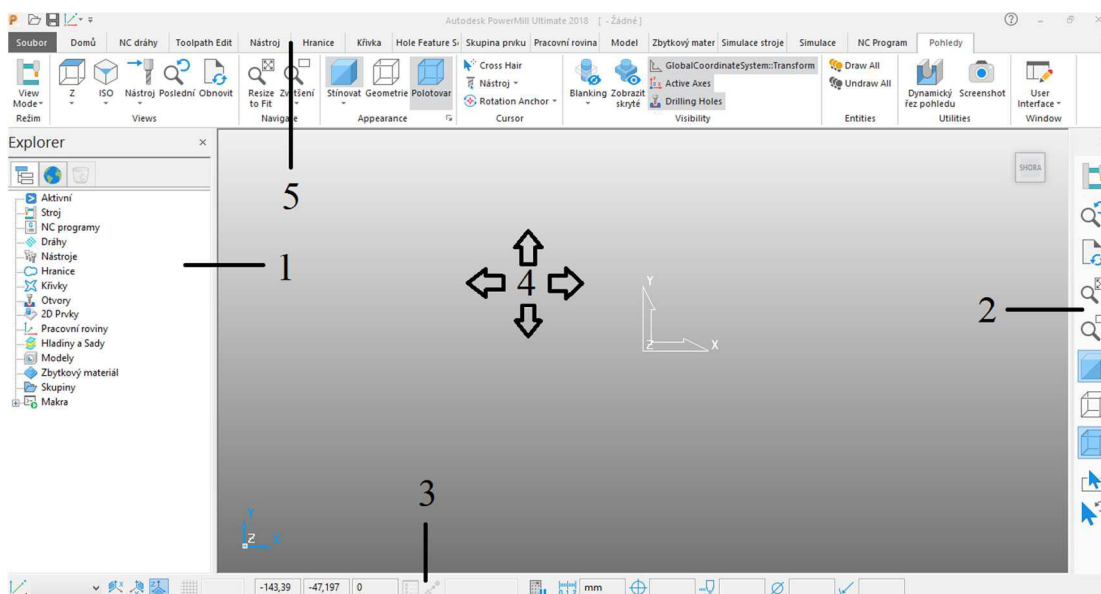


Obr. 18 Operace č. 7 odebrání vysunutím.

Postup modelování dolního držáku je v příloze č. 1.

3.2 NÁVRH OBRÁBĚCÍCH STRATEGIÍ V PROGRAMU POWERMILL

PowerMILL je CAM software společnosti Autodesk určený pro CNC programování frézovacích center včetně možnosti výstupu soustružnických drah na centrech se soustružnickými cykly. Návrh všech obráběcích strategií byl navrhnout v PowerMILLU bez dílenského programování. Při návrhu obráběcích strategií byla využita verze PowerMILL 2017 a zkušební 30 denní verze PowerMILL Ultimate 2018. Na *obr. 19* je zobrazeno základní uživatelské prostředí PowerMILL Ultimate 2018 [17].



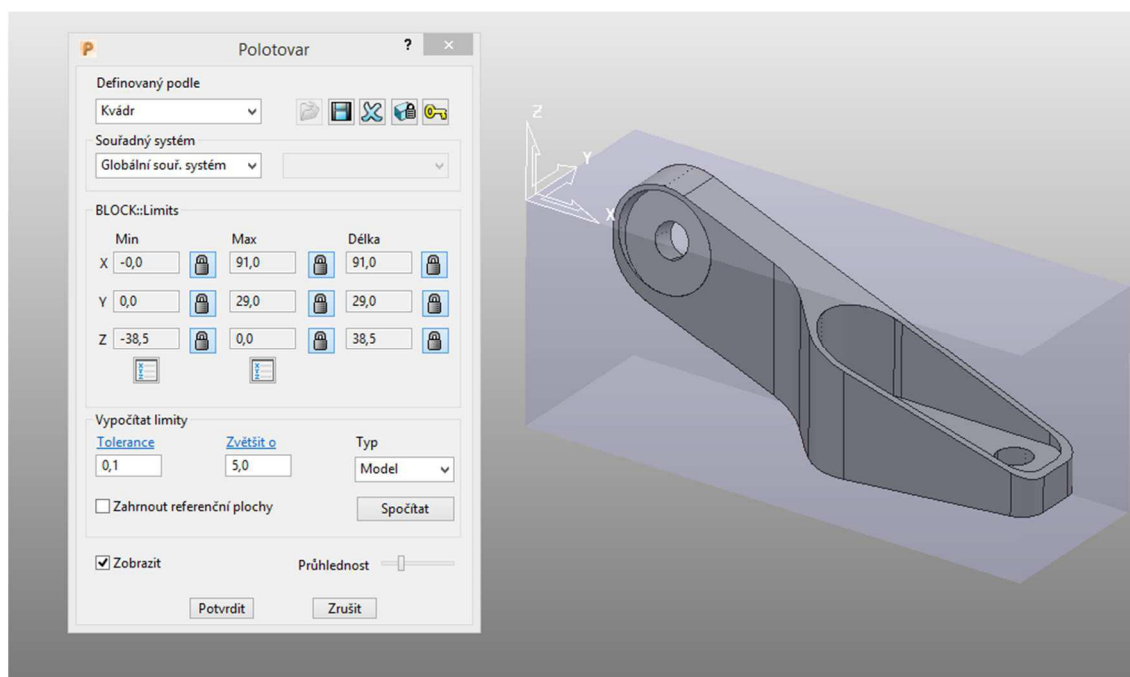
Obr. 19 Základní uživatelské prostředí programu PowerMILL Ultimate 2018.

Popis pracovního prostředí PowerMILL *obr. 19* [18]:

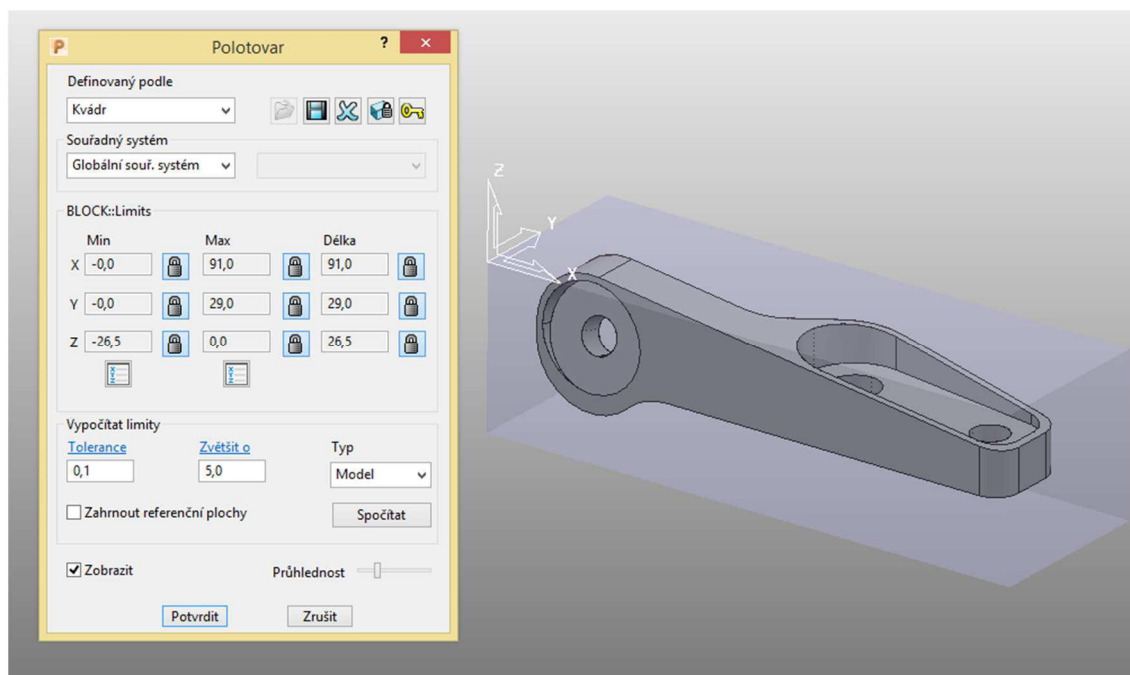
- (1) Průzkumník
- (2) Panel pohledů
- (3) Stavový řádek
- (4) Grafické okno
- (5) Hlavní panel záložek

Samotná tvorba prvních frézovacích strategií byla započata otevřením nového projektu a importem CAD modelu ve formátu IPT. Poté byl formát IPT za pomoci Autodesk Manufacturing Data Exchange Utility převeden na formát DDX, se kterým dále software PowerMILL pracuje. Po tomto kroku dále bylo třeba součást natáčet a posunovat v prostoru tak, aby byl souřadný systém souhlasný s konkrétní operací, respektive upnutím. Oba držáky byly zhotoveny na několik upnutí, přičemž pro každé upnutí musel být nastaven souřadný systém jinak.

Následujícím krokem byl vytvořen polotovár. Polotovár byl zvolen kvádr, který kopíroval maximální rozměry modelu součásti, ke které bylo přidáno 5 mm přídavek, mimo horní části obou držáků viz *obr. 20, 21*. Tento přídavek byl zvolen z důvodu eliminace odchylek.

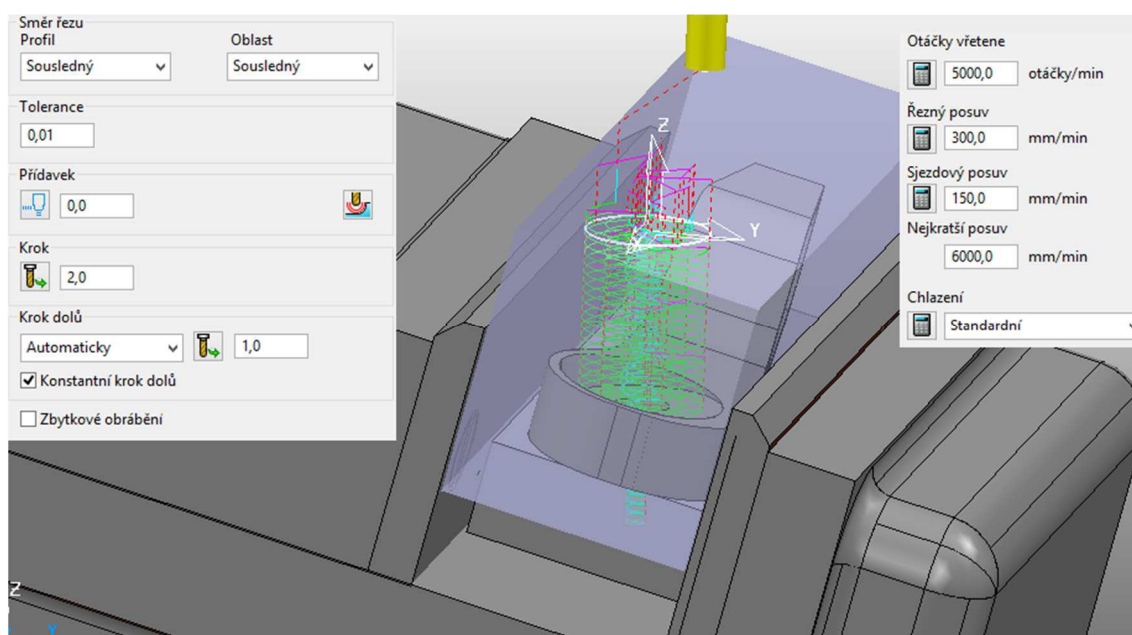


Obr. 20 Polotovar horního držáku řízení.



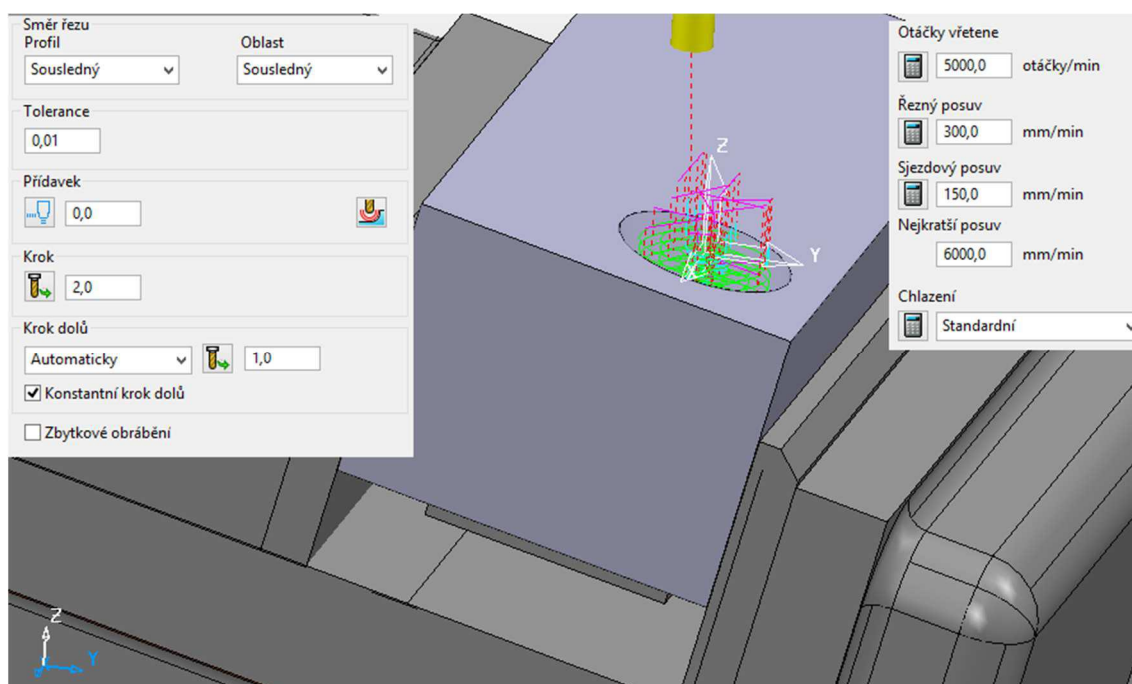
Obr. 21 Polotovar dolního držáku řízení.

První strategií bylo u obou držáků obrábění osazení o průměru 17 mm a průchozí díry o průměru 6,1 mm viz obr. 22, 23. Pro tuto strategii hrubování modelu byla zvolena čelní válcová fréza průměru 4 mm, ke které byla přičtena korekce, která byla měřena na měřicím zařízení Zoller. Více o měření délkových a průměrových korekcí v kapitole 4.2.



Obr. 22 První upnutí dolního držáku.

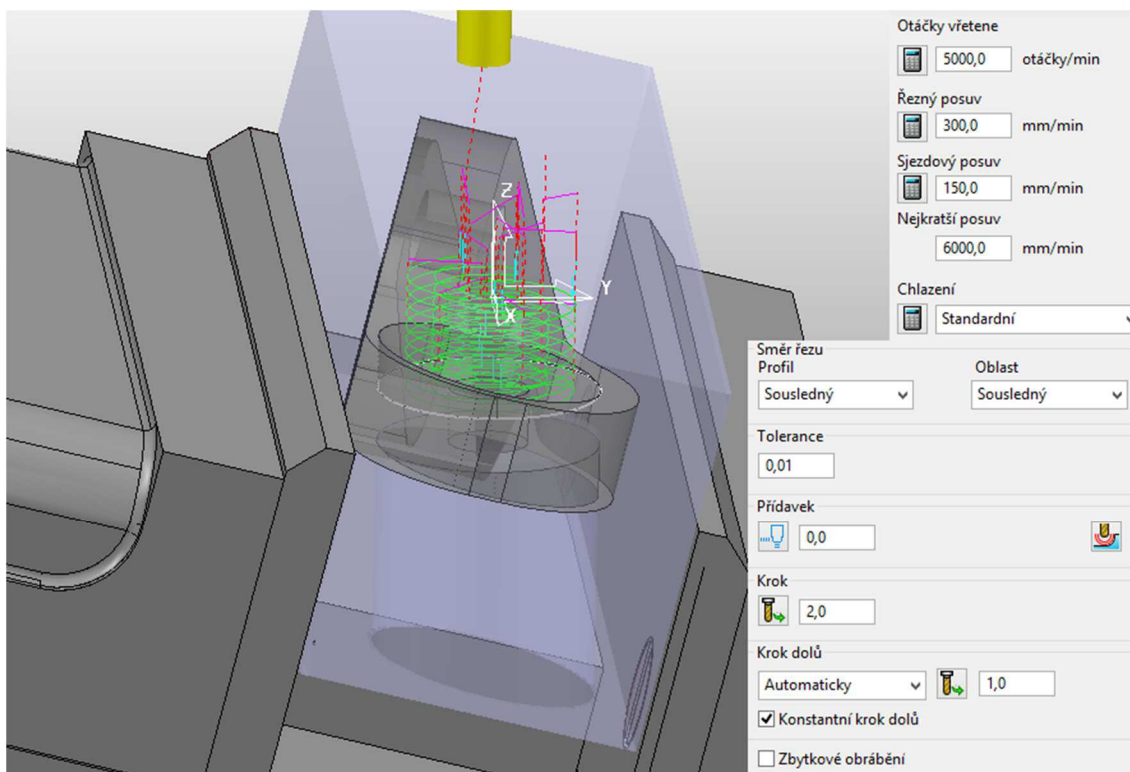
Stejným způsobem i za stejných řezných podmínek byl obroběn horní držák, viz obr. 23.



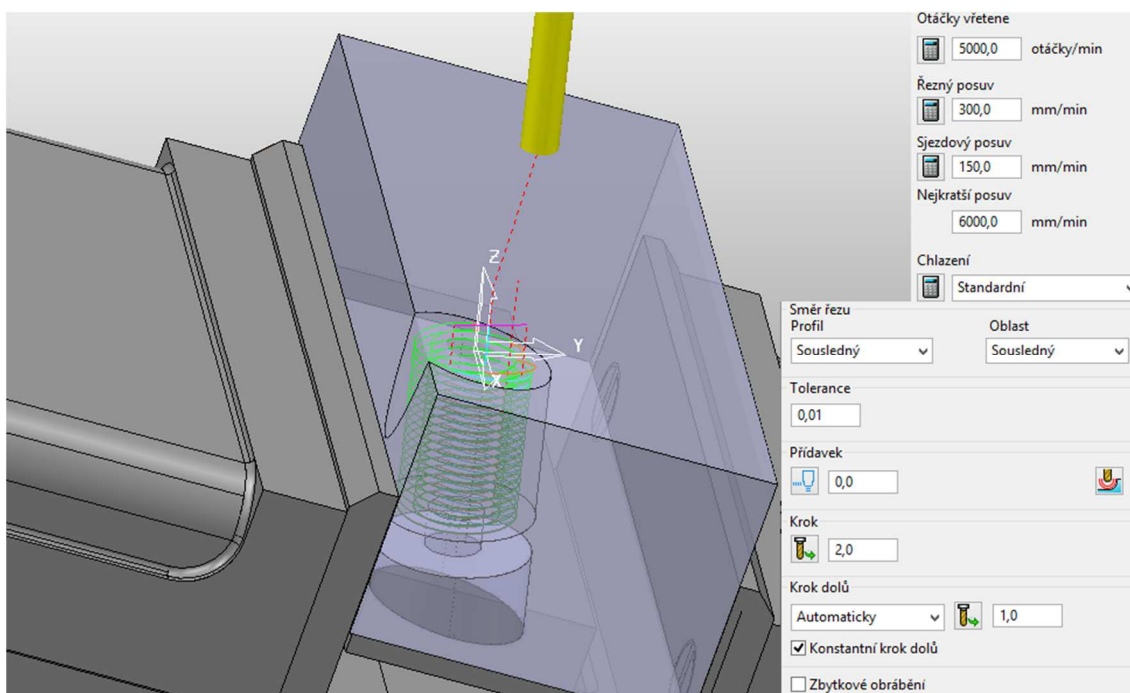
Obr. 23 První upnutí horního držáku.

Při prvním i druhém upnutí byly polotovary obou držáků natočeny kolem osy X globálního souřadnicového systému o 13° . Tím bylo dosaženo obrobení zahloubení a průchozí díry, která není vůči plochám kvádrového polotovaru kolmá. Poté byly oba obrobené polotovary vyexportovány za pomoci funkce zbytkový materiál. Již takto obrobené polotovary byly opětovně vloženy do nových projektů. Polotovary po obrábění v prvním upnutí bylo třeba znova ustavit do globálního souřadnicového systému, ke druhému upnutí viz obr. 24, 25. Opětovně musely být polotovary natočeny kolem osy X

o 13° . Toho bylo dosaženo za pomoci pracovní roviny, kterou se importované polotovary po prvním upnutí daly polohovat.



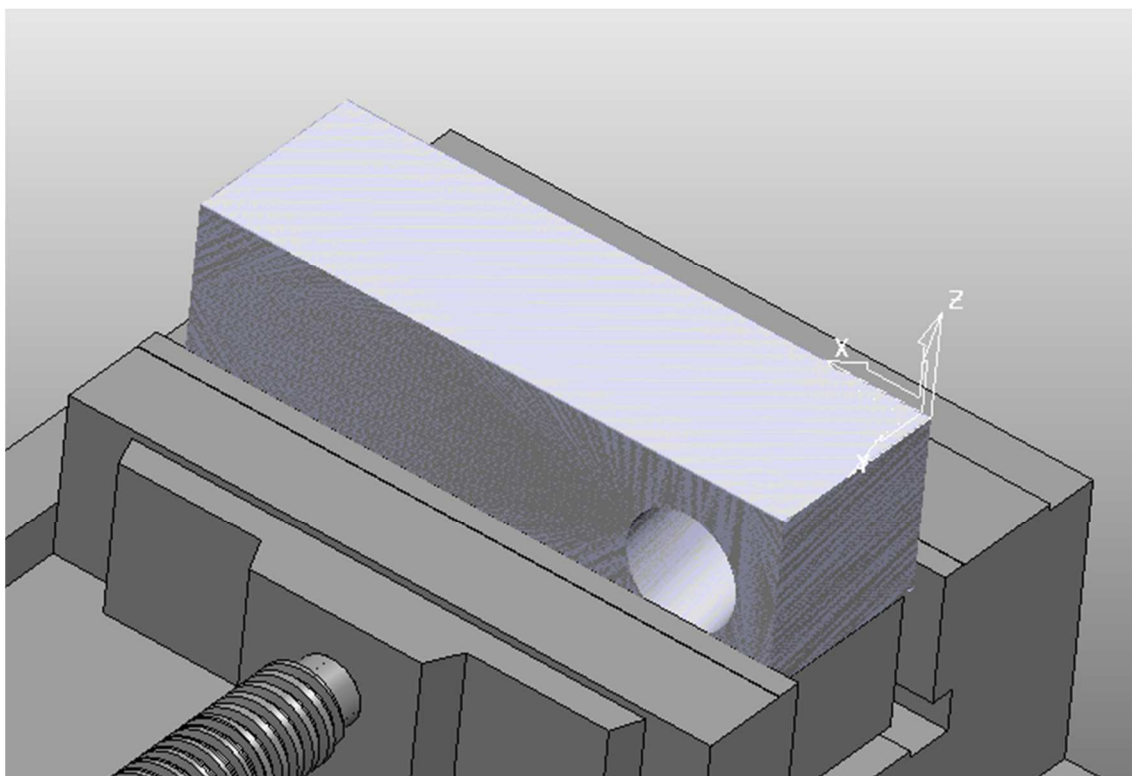
Obr. 24 Druhé upnutí dolního držáku.



Obr. 25 Druhé upnutí horního držáku.

Při druhém upnutí byly u obou budoucích držáků obrobena zahloubení o průměru 17 mm. Toho bylo opět dosaženo strategií hrubování modelu a čelní válcovou frézou o průměru 4 mm. Tolerance hrubování modelu byla při prvním i druhém upnutí rovna 0,01 mm z důvodu toho, že bylo cílem vyhrubovat zahloubení i průchozí díru, tak aby nebylo zapotřebí dále dokončovat. I proto byl zvolen přídavek na dno i stěnu 0 mm. Mimo to byl nastaven krok do strany 2 mm, což při průměru frézy 4 mm znamená 50 % šířky záběru průměru. Dalším krokem nastavení byl krok dolů o 1 mm. Hloubka záběru a_p tedy činila 1 mm. Stejně jako v přechodím upnutí byly vytvořeny zbytkové materiály u obou držáků a byly vloženy do nových projektů.

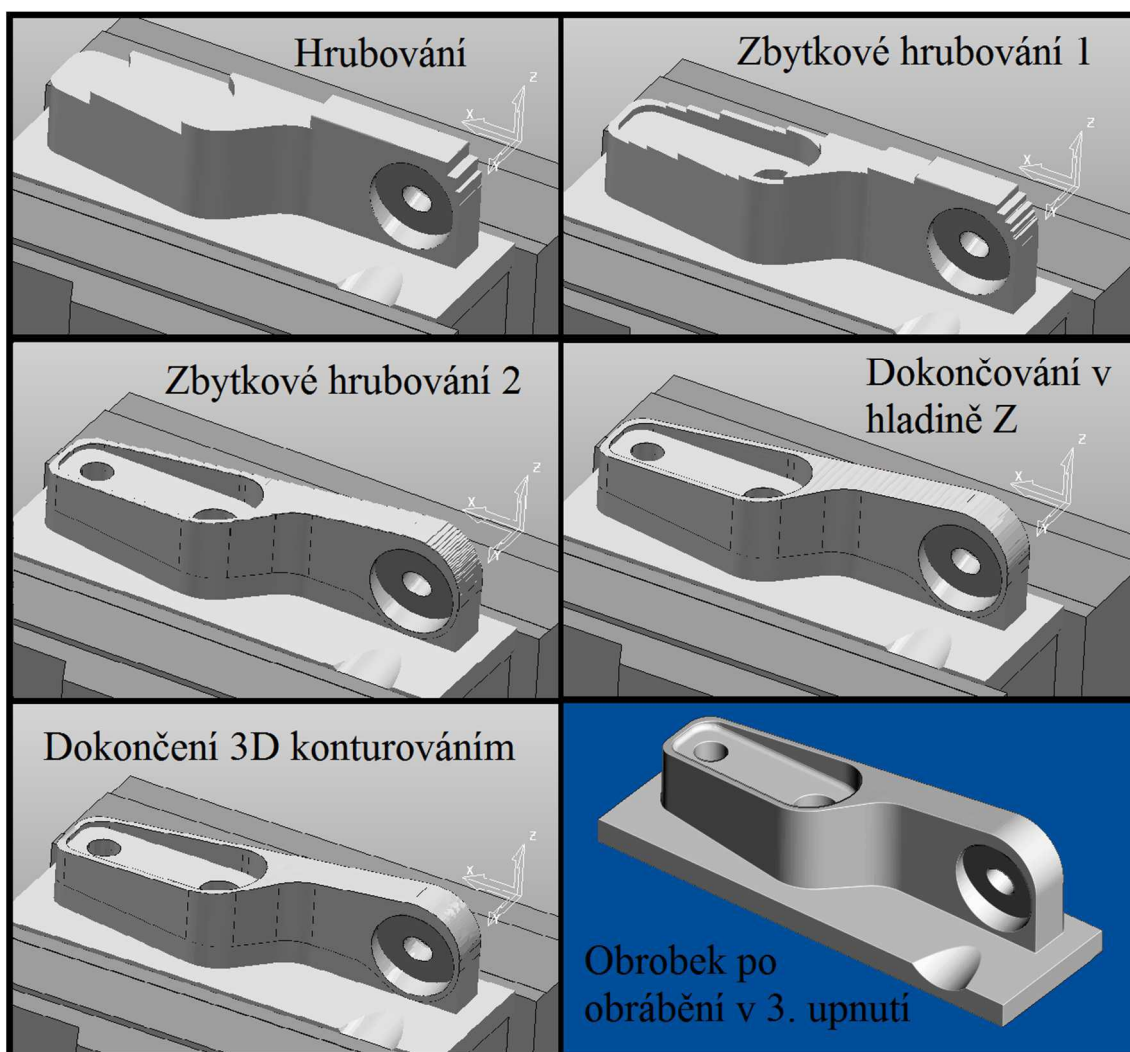
Při třetím upnutí bylo opětovně zapotřebí ustavení nového polotovaru (zbytkového materiálu) po předchozím obrábění do správného souřadnicového systému. Toho bylo opětovně dosaženo za pomoci vytvoření pracovní roviny, která byla vhodně orientována, tak, aby souhlasil globální souřadnicový systém s nulovým bodem polotovaru viz *obr. 26*.



Obr. 26 Třetí upnutí polotovaru dolního držáku.

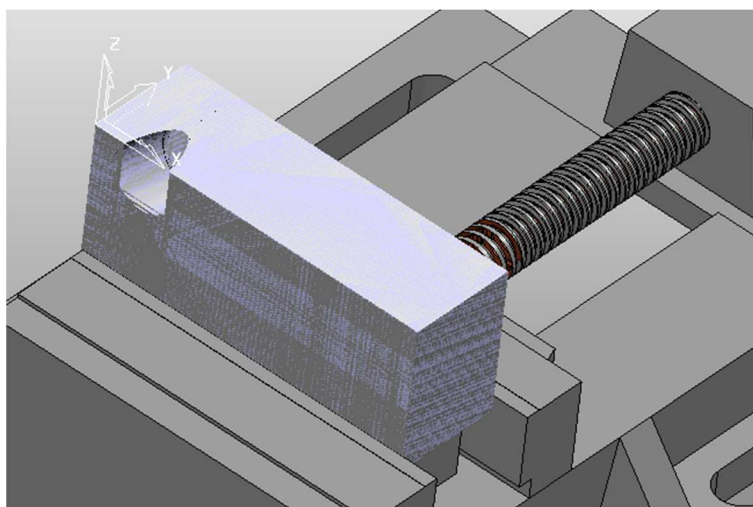
Pro třetí upnutí obou držáků bylo navrženo pět strategií:

- 1. Hrubování modelu,
- 2. Zbytkové hrubování 1,
- 3. Zbytkové hrubování 2,
- 4. Dokončení v hladině Z,
- 5. Dokončení 3D konturováním.

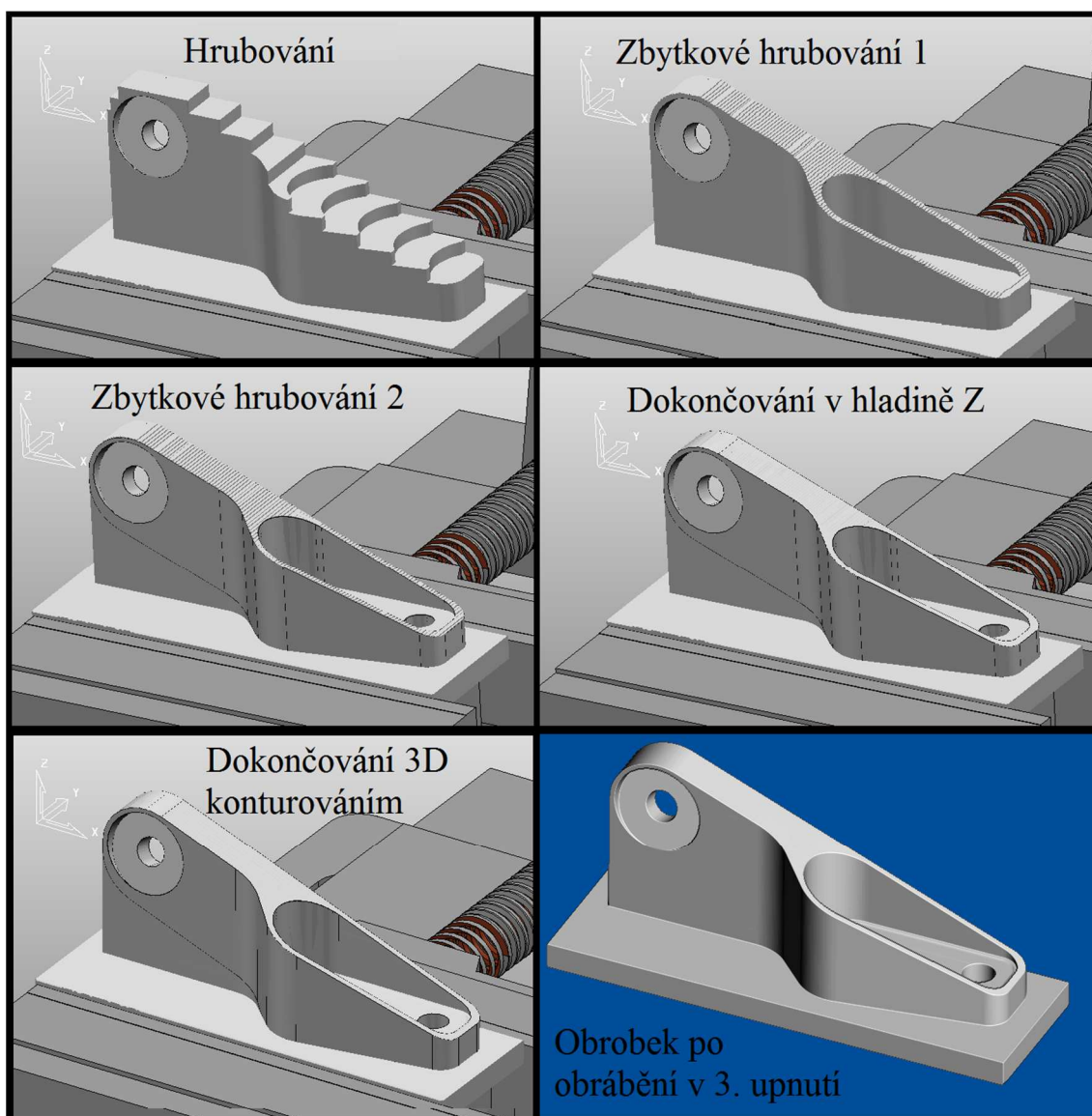


Obr. 27 Jednotlivé strategie v 3. upnutí dolního držáku.

Stejným způsob upnutí včetně stejných řezných podmínek a strategií byl navrhnout i horní držák viz obr. 28, 29.



Obr. 28 Třetí upnutí polotovaru horního držáku.

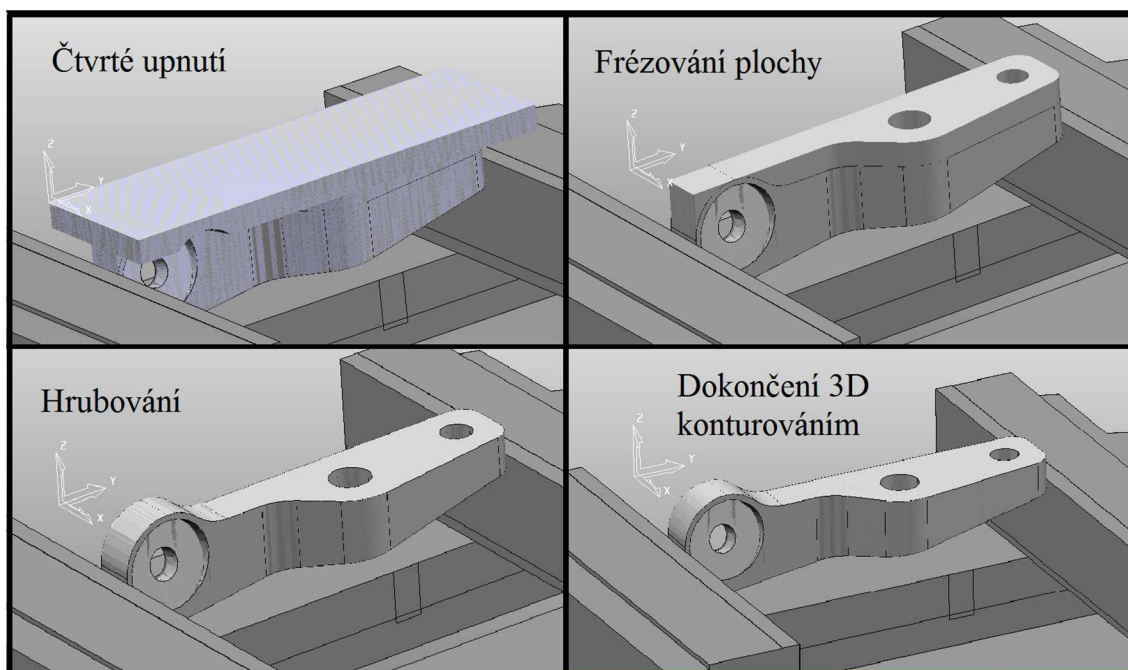


Obr. 29 Jednotlivé strategie v 3. upnutí horního držáku.

Pro čtvrté upnutí dolního držáku byly navrženy tři strategie:

- 1. Frézování plochy,
- 2. Hrubování modelu,
- 3. Dokončení 3D konturováním.

Jednotlivé strategie čtvrtého upnutí dolního držáku viz obr. 30.

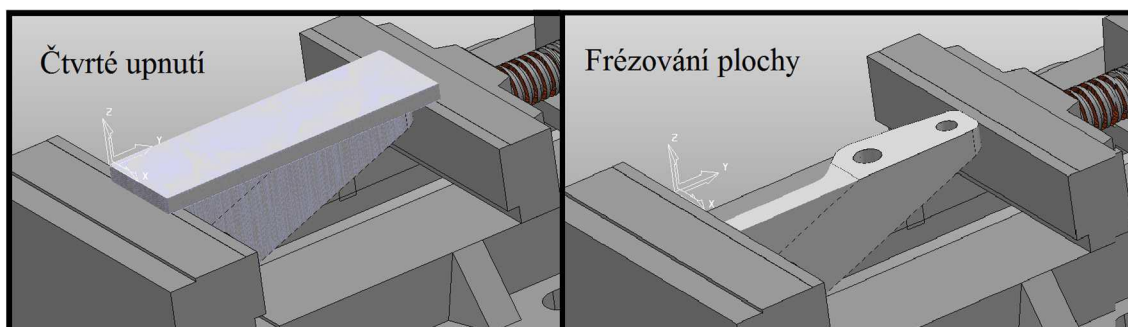


Obr. 30 Čtvrté upnutí dolního držáku.

Pro čtvrté upnutí horního držáku byla navržnuta jedna strategie:

- 1. Frézování plochy.

Jednotlivé strategie čtvrtého upnutí horního držáku viz obr. 31.

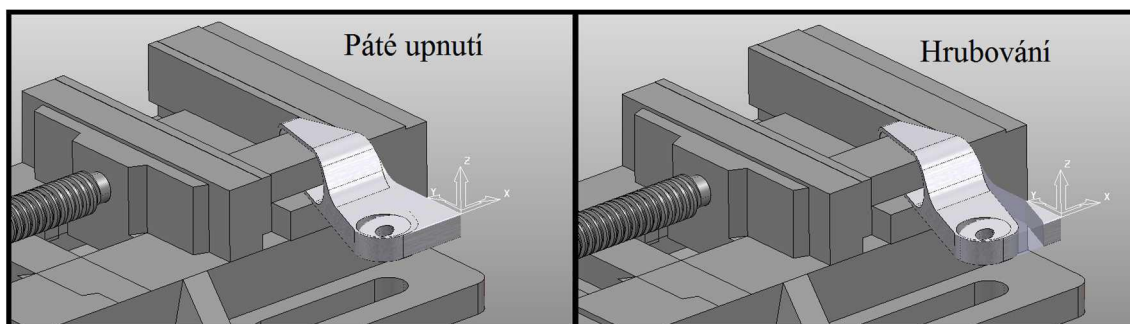


Obr. 31 Čtvrté upnutí horního držáku

Pro páté upnutí horního držáku byla navržnuta jedna strategie:

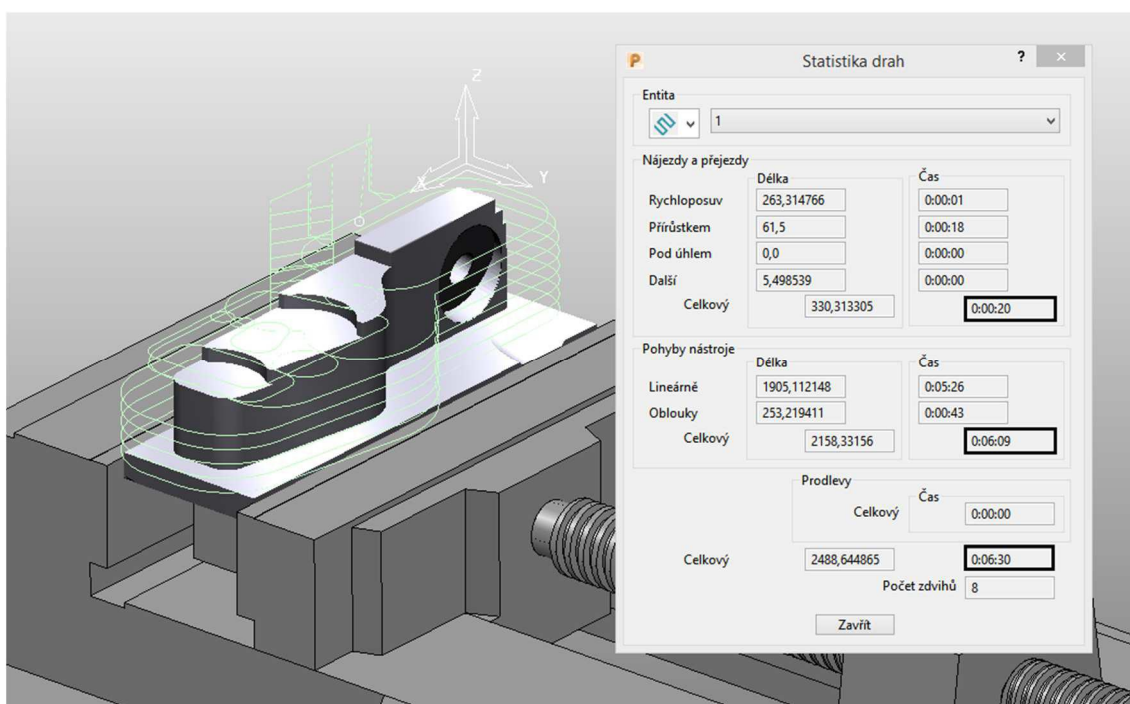
- 1. Hrubování modelu.

Strategie obrábění pátého upnutí horního držáku viz obr. 32.



Obr. 32 Páté upnutí horního držáku.

Jedna z dalších velmi užitečných funkcí programu PowerMILL je výpočet strojního času dané obráběcí strategie. Tento výpočet strojního času je rozdělen na čas nájzdů, přejezdů a samotného času obrábění. Na obr. 33 je tabulka vypočteného strojního času pro hrubování třetího upnutí dolního držáku. Ostatní vypočtené strojní časy v tab. 7, 8.



Obr. 33 Statistika hrubování dolního držáku při třetím upnutí.

Cílem návrhů jednotlivých strategií je eliminovat čas přejezdů a nájzdů a zároveň neprodlužovat čas samotného obrábění.

Tab. 7. Strojní časy všech strategií při obrábění dolního držáku.

Strategie		Strojní čas[<i>min</i>]
První upnutí	Hrubování	9:52
Druhé upnutí	Hrubování	3:02
Třetí upnutí	Hrubování	7:02
	1. Zbytkové hrubování	11:35
	2. Zbytkové hrubování	13:11
	Dokončování v hladině Z	23:15
	Dokončování 3D konturováním	9:01
Čtvrté upnutí	Frézování plochy	4:55
	Hrubování	8:07
	Dokončování 3D konturováním	19:08

Tab. 8. Strojní časy všech strategií při obrábění horního držáku

Strategie		Strojní čas[<i>min</i>]
První upnutí	Hrubování	7:14
Druhé upnutí	Hrubování	6:40
Třetí upnutí	Hrubování	10:49
	1. Zbytkové hrubování	15:17
	2. Zbytkové hrubování	26:21
	Dokončování v hladině Z	29:46
	Dokončování 3D konturováním	9:15
Čtvrté upnutí	Frézování plochy	3:43
Páté upnutí	Hrubování	4:57

4 VÝROBA DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ PŘEDNÍHO KOLA FORMULE

Výroba držáků řízení proběhla ve firmě BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě, která je zároveň hlavním partnerem týmu TU Brno Racing. BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě její logo na *obr. 34* vidíte níže (dále jen BOSCH) se zabývá výrobou komponentů pro dieselové automobily. Zabývá se především komponenty do vstřikovacího systému Common Rail. Jedná se tedy hlavně o dieselová vstřikovací čerpadla, tlakové regulační zásobníky a vysokotlaké zásobníky [19].

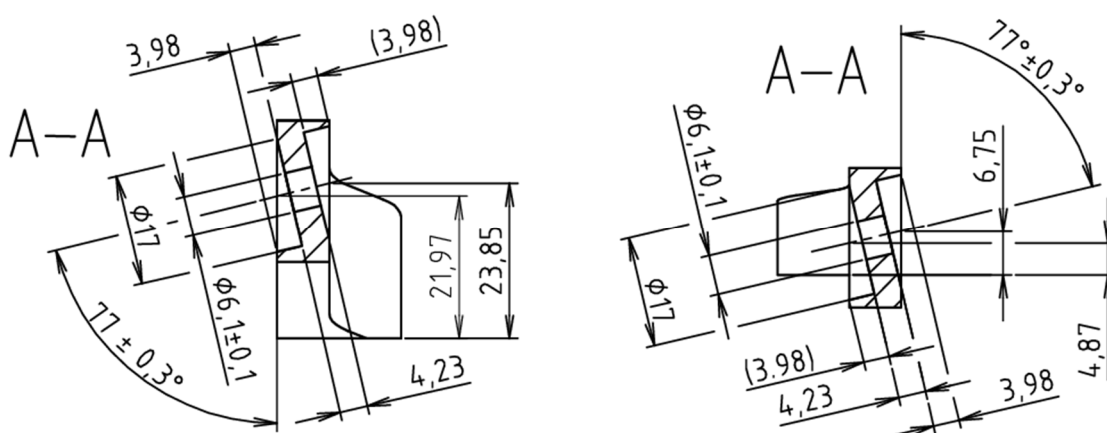


Obr. 34 Logo firmy BOSCH s.r.o. [20].

Oba držáky řízení byly vyrobeny ve školicím středisku firmy BOSCH, které se nachází v areálu Jihlavské pobočky na Pávově. Toto školicí středisko slouží ke vzdělávání samotných zaměstnanců firmy BOSCH, ale zároveň ke vzdělávání technických škol, kterým je umožněno získat zkušenosti z praxe a tím získat zkušenosti s moderními technologiemi. Dále toto školicí centrum umožňuje spolupráci s vysokými školami, jako například vysoká škola polytechnická v Jihlavě, technická univerzita v Liberci či vysoké učení technické v Brně [19].

4.1 POPIS STROJŮ

Pro výrobu oboustranného válcového zahloubení a průchozí díry u obou držáků viz *obr. 35* byl použit stroj DECKEL MAHO DMU 50 viz *obr. 36*, tab. 9.



Obr. 35 Oboustranné válcové zahloubení a průchozí díra, dolní (vlevo) i horní (vpravo) držák.

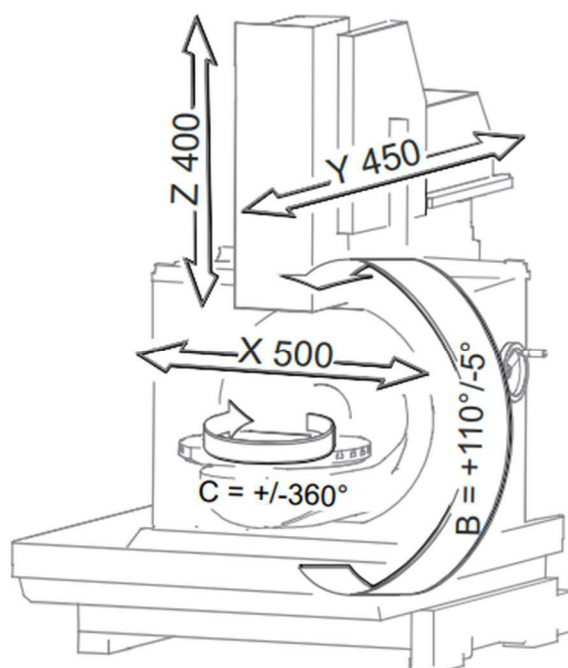


Obr. 36 DECKEL MAHO DMU 50 – 5osé CNC obráběcí centrum.

Tab. 9. Parametry pětiosého CNC obráběcího centra - DECKEL MAHO DMU 50 [15].

Základní parametry	
Otáčky vřetene	20–8 000 min ⁻¹
Výkon pohonu	13 kW
Maximální točivý moment vřetena	82 Nm
Hmotnost stroje	3 990 kg
Rozměry (V x Š x H)	2 426 x 3 210 x 2 132 mm
Upínací deska	630 x 500 mm
Rychlost posuvu (X/Y/Z)	0–10 000 mm/min
Posuv osy C/B	manuální za klidu vřetene
Řídicí systém	siemens 840D

Pro lepší názornost jsou pojezdové dráhy zobrazeny na obr. 37, přičemž osa C a B jsou ovládány manuálně za klidu stroje.



Obr. 37 Pojezdové dráhy CNC stroje DECKEL MAHO DMU 50 [21].

Druhá a zároveň finální část frézovacích operací proběhla u obou držáků na stroji MCV 754 QUICK od výrobce KOVOSVIT MAS viz obr. 38 a tab. 10.



Obr. 38 Obráběcí centrum CNC – MCV 754 QUICK od výrobce KOVOSVIT MAS.

Tab. 10 Parametry tříosého CNC obráběcího centra – MCV 754 QUICK [16].

Základní parametry	
Otáčky vřetene	20–10 000 min ⁻¹
Výkon pohonu	13 kW
Kuželová dutina vřetena	ISO 40
Rychlost pracovního posuvu (X/Y/Z)	1–15 000 mm/min
Rychlost rychloposuvu (X/Y/Z)	30 000 mm/min
Plocha upínacího stolu	1 000 x 500 mm
Maximální hmotnost obrobku	400 kg
Osa X	754 mm
Osa Y	500 mm
Osa Z	550 mm
Hmotnost stroje	4 000 kg
Rozměry (V x Š x H)	2 560 x 2 320 x 2 590 mm
Řídicí systém	Heidenhain iTNC 530

4.2 POPIS PŘÍPRAVY NÁSTROJŮ

Před samotným zahájením výroby proběhla délková a poloměrová korekce jednotlivých nástrojů na měřicím stroji značky Zoller viz *obr. 39*. Po změření byly jednotlivé korekce nástrojů zaznamenány a poté vloženy do jednotlivých projektů tvořených v PowerMILLU.



Obr. 39 Měření délkové a poloměrové korekce nástrojů na měřicím stroji Zoller.

Jednotlivé nástroje, které byly v průběhu výroby aplikovány, jsou zároveň s popisem v tab. 11.

Tab. 11 Přehled aplikovaných nástrojů [23].

Zobrazení nástroje	Popis
	Čelní válcová fréza stopková Ø 18 mm (s korekcí 18,042 mm). Výrobce: FRANKEN, materiál HSS s povlakem TiCN, počet břitů: 3, chlazení: standartní vnější, řezné podmínky: $v_c = 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_z = 0,038 \text{ mm}$, $n = 3\,000 \text{ min}^{-1}$, $a_p = 3 \text{ mm}$.
	Čelní válcová fréza stopková Ø 6 mm (s korekcí 6,104 mm). Výrobce: FRANKEN, materiál HSS s povlakem TiCN, počet břitů: 3, chlazení: klasické vnější, řezné podmínky: $v_c = 144 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_z = 0,029 \text{ mm}$, $n = 7\,500 \text{ min}^{-1}$, $a_p = 3 \text{ mm}$.
	Kulová fréza stopková Ø 6 mm (s korekcí 6,16 mm). Výrobce: FRANKEN, materiál HSS s povlakem TiCN, počet břitů: 4, chlazení: klasické vnější, řezné podmínky: $v_c = 145 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_z = 0,03 \text{ mm}$, $n = 7\,500 \text{ min}^{-1}$, $a_p = 0,3 \text{ mm}$.
	Rádusová fréza stopková Ø 6 mm (s korekcí 6,144 mm). Výrobce: FRANKEN, materiál HSS s povlakem TiCN, počet břitů: 4, chlazení: klasické vnější, řezné podmínky: $v_c = 145 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_z = 0,033 \text{ mm}$, $n = 7\,500 \text{ min}^{-1}$, $a_p = 0,3 \text{ mm}$.
	Čelní válcová fréza stopková Ø 4 mm (s korekcí 4,138 mm). Výrobce: FRANKEN, materiál HSS s povlakem TiCN, počet břitů: 4, chlazení: klasické vnější, řezné podmínky: $v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f_z = 0,0225 \text{ mm}$, $n = 7\,500 \text{ min}^{-1}$, $a_p = \text{od } 0,2 \text{ do } 1 \text{ mm}$.

V průběhu výroby však byly řezné podmínky upravovány. Například při najíždění prvních řádků nové strategie či při hrubování se snižoval posuv. Naopak při dokončování se posuv i otáčky zvyšovaly.

4.3 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ

Výroba byla započata se zúhlovanými polotovary o rozměrech 91x38,5x29 mm a 91x26,5x29 mm. Samotné výrobě předcházelo zúhlování původních kvádrů o rozměrech 100x45x35 mm a 100x30x35 mm. Toto zúhlování proběhlo za pomoci dílenského programování a dále není uvažováno mezi strojní časy.

Původním návrhem bylo vyrobit oba dva držáky pouze na stroji MCV 754 QUICK, ale vzhledem k obtížnému odměřování nulového bodu na šikmé ploše byla realizace za dané přesnosti nemožná. Původně bylo navrženo vytvořit obě osazení (viz *obr. 35*) v otočném svěráku viz *obr. 40*. Proto byl pro výrobu osazení zvolen jiný stroj ze školicího střediska v Jihlavě a to stroj DECKEL MAHO DMU 50.



Obr. 40 Odměřování nulového bodu na šikmé ploše (původní návrh výroby v natočené poloze).

4.3.1 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ NA STROJI DECKEL MAHO DMU 50

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1 tento stroj DECKEL MAHO DMU 50 byl použit pro výrobu zahloubení o průměru 17 mm a pro průchozí díru o průměru 6,1 mm u obou držáků viz *obr. 41*. Tento stroj byl použit jako náhrada původního návrhu z toho důvodu, že je schopen přepočítat nulový bod změřený v nenakloněné poloze do nakloněné polohy a je schopen naklápět stůl s požadovanou úhlovou přesností výrobku.

Polotovar byl upnut do svěráku a podložen lícovanou ocelovou destičkou, na kterou byl polotovar dotlačen. Poté byla zkontrolována přesnost upnutí za pomoci sondy Heidenhein TS 220 a dále byl odměřen nulový bod. Poté byla pracovní rovina stolu natočena v ose B o 77°. Dalším krokem bylo nahrát NC program do řídicího panelu stroje, ale řídicí systém nebyl schopen NC program načíst. Z toho důvodu byly zahloubení na obou držácích obrobena za pomoci dílenského programování pod vedením operátora

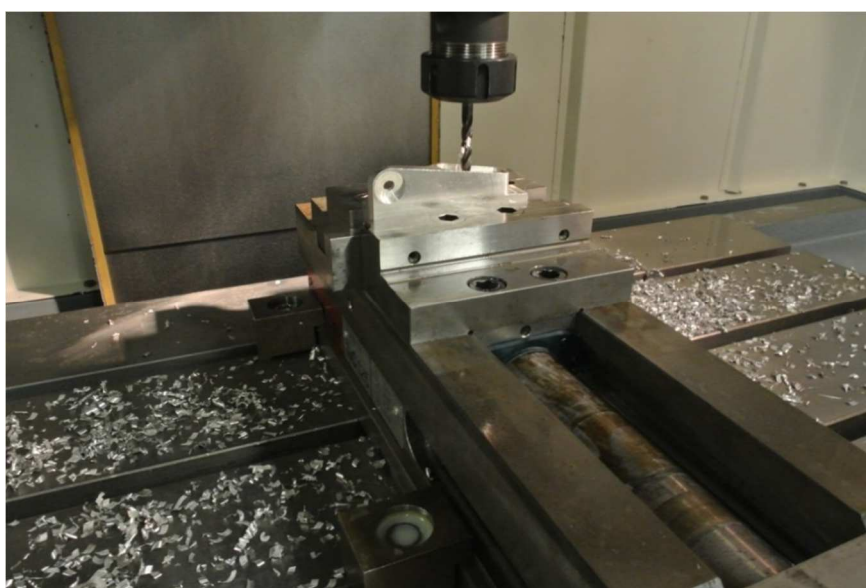
stroje, pana Křivánka. Po obrobení válcového zahloubení o průměru 17 mm a průchozí díry o průměru 6,1mm byl díl přeupnut a bylo vyfrézováno i druhé osazení o průměru 17 mm. Tímto způsobem byly vyrobeny osazení i průchozí díra u obou držáků.



Obr. 41 Obrábění válcového zahloubení o průměru 17 mm.

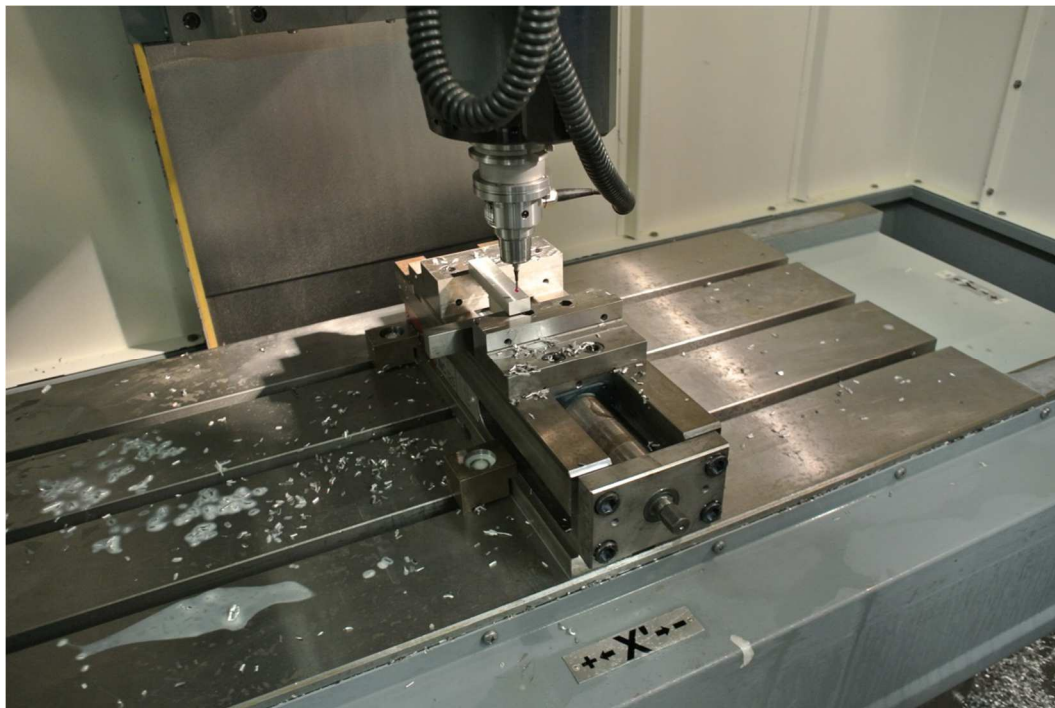
4.3.2 POPIS VÝROBY DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ NA STROJI MCV 754 QUICK

Třetí upnutí a tedy druhá část výroby začala upnutím polotovaru do svěráku ve stroji MCV 754 Quick. Polotovar byl položen na lícovanou ocelovou destičku pomocí, které se usnadnilo upínání, a poté byla poloha polotovaru zkontrolována za pomoci dotykové sondy Heidenhein TS 220 (dále jen dotykové sondy) a poté byl změřen nulový bod polotovaru. Nulový bod byl zvolen v levém horním předním rohu. Tento způsob obrábění byl zvolen opět u obou držáků.

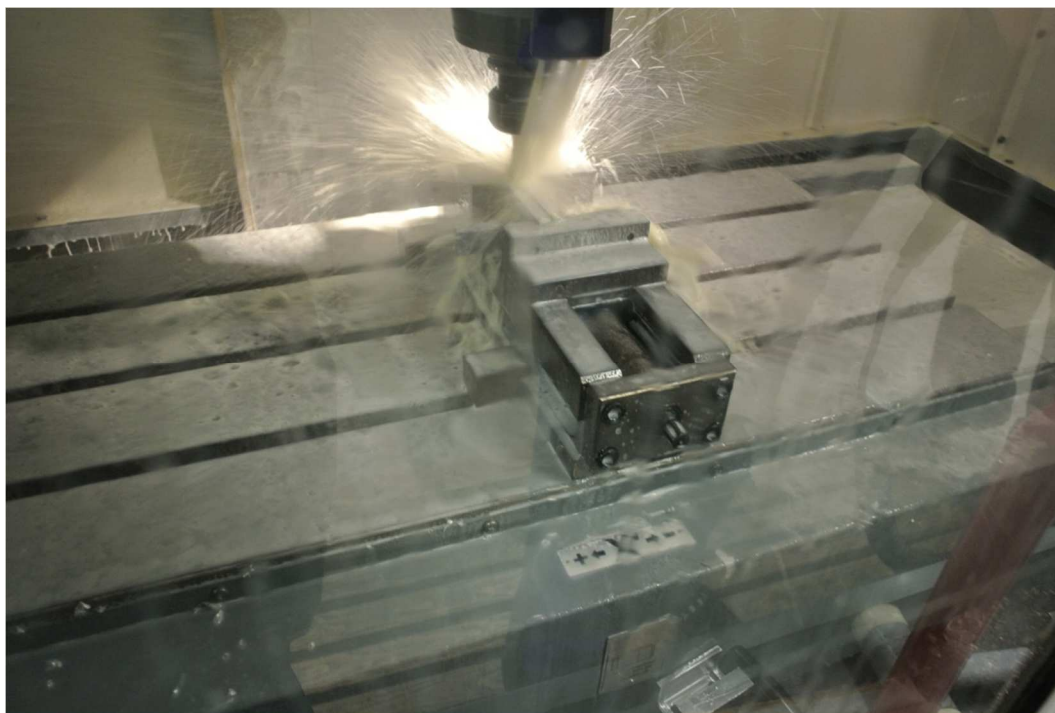


Obr. 42 Dolní držák po dokončení frézování vrchní strany.

Po obrobení vrchní části v třetím upnutí (*obr. 42*) byly oba držáky stejným způsobem přeupnuty viz *obr. 43*. Za pomoci dotykové sondy bylo zkontrolováno a upraveno upnutí. Nulový bod byl opětovně zvolen v pravém horním zadním rohu. Po ustavení byla odfrézována část původního polotovaru, za kterou byl výrobek upnut v třetím upnutí viz *obr 44*.



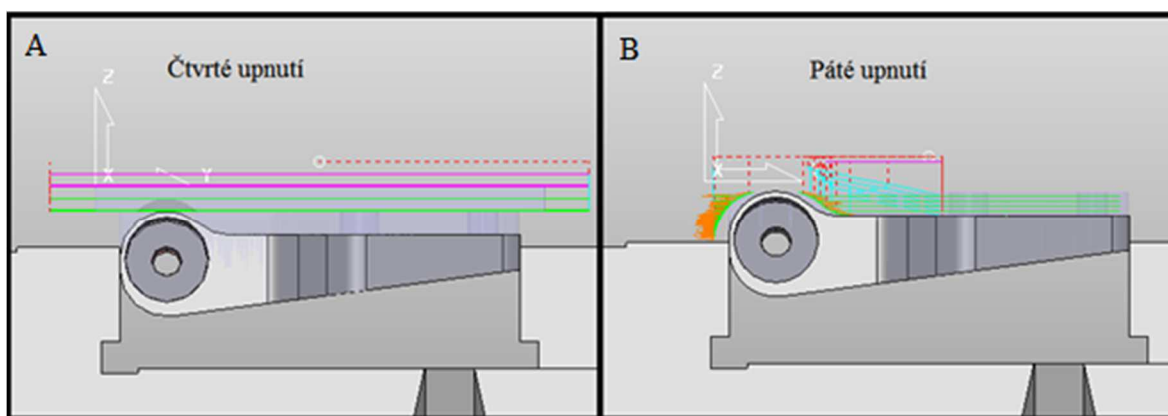
Obr. 43 Ustavování polotovaru a odměřování nulového bodu.



Obr. 44 Frézování zbylé části polotovaru dolního držáku.

Do této fáze výroby probíhala výroba stejným způsobem u obou držáků, ale poslední část výroby proběhla odlišným způsobem.

Při obrábění spodní části dolního držáku bylo původně navrženo odfrézování čelní plochy polotovaru a zároveň finálního odfrézování posledního zbytku materiálu na jedno upnutí. S ohledem na bezpečnost byl dolní držák při čtvrtém upnutí více ponořen mezi čelisti svěráku viz *obr.45A*. Při pátém upnutí viz *obr.45B* byl dolní držák upnutý za zbytek materiálu, tak aby byl schopen nástroj obrobít součást bez poškození čelistí svěráku. Na *obr. 46* dolní držák po frézování ve čtvrtém upnutí.



Obr. 45 Upnutí dolního držáku: A) ve čtvrtém upnutí B) v pátém upnutí.



Obr. 46 Dolní držák po čtvrtém upnutí.

Ustavení dolního držáku do pátého upnutí proběhlo opětovně za pomoci dotykové sondy. Odměření pozice skoro vyrobeného držáku proběhlo opět na rovinných plochách

dolního držáku a jako kontrola přesnosti získané pozice byla zkontrolována pozice průchozí díry o průměru 8,1 mm (viz obr. 47).



Obr. 47 Kontrola ustavení dolního držáku v pátém upnutí.

Poslední fáze obrábění horního držáku proběhla, při vetknutém upnutí viz obr. 32. Tento způsob není ideální s ohledem na snížení tuhosti upnutí a zároveň možnosti vzniku regenerativního kmitání. Nicméně při zohlednění těchto faktů byly přizpůsobeny řezné podmínky a frézování proběhlo bez problémů. Horní držák byl položen opět na lícovanou ocelovou destičku a kontrola ustavení byla provedena za pomoci dotykové sondy. Nulový bod byl zvolen dle obr. 32. Posledním krokem u obou držáků bylo ruční sražení ostřin. Na obr. 48 jsou finální výrobky.



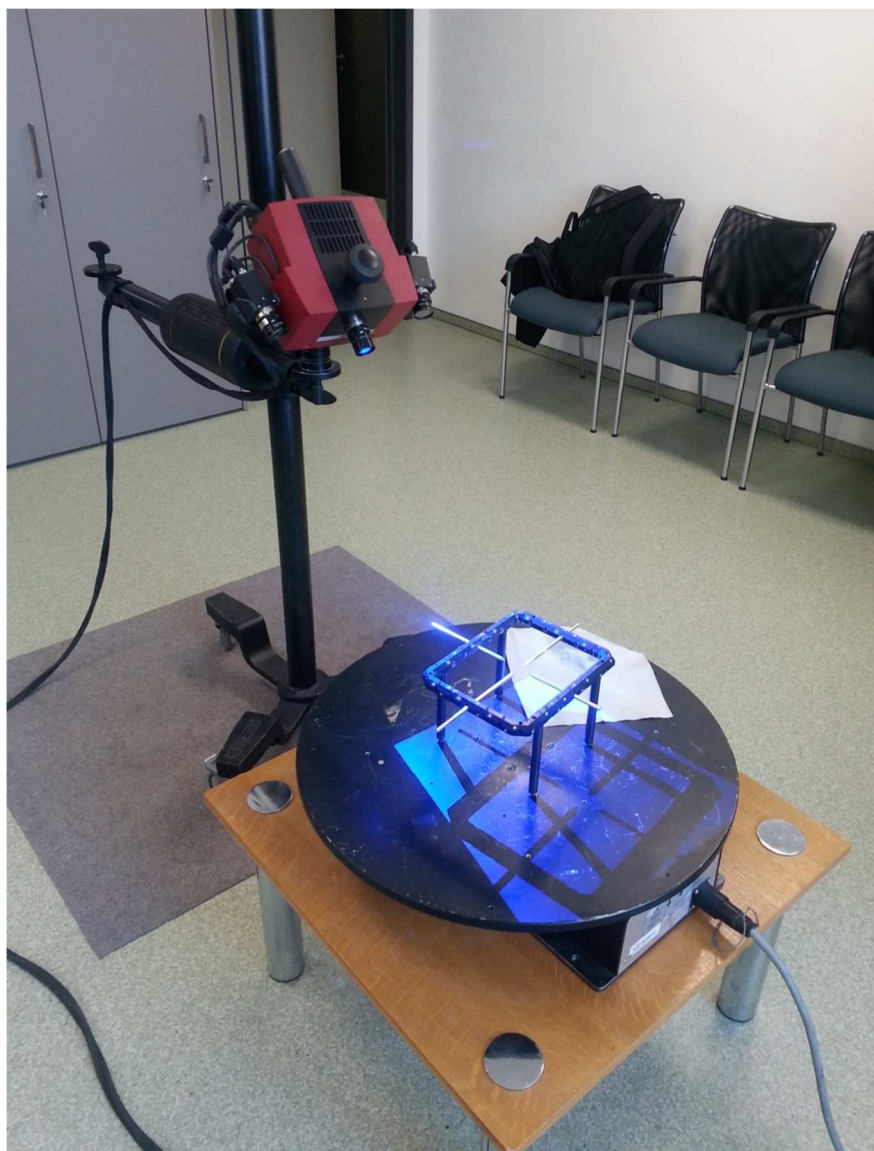
Obr. 48 Finální výrobky držáků řízení pravého předního kola formule.

5 KONTROLA PŘESNOSTI VYROBENÝCH DRŽÁKŮ ZA POMOCI 3D SKENOVÁNÍ

Jedna z možností prostorové dokumentace fyzických předmětů je 3D skenování. Toto skenování je hojně využíváno v reverzním inženýrství a výstupní kontrole kvality. V oblasti reverzního inženýrství se využívá pro dokumentaci tvaru existující součástky a k následné analýze či reprodukci [24].

5.1 SKENOVÁNÍ DRŽÁKŮ ŘÍZENÍ

Skenování proběhlo na 3D skeneru s označením ATOS Triple Scan viz *obr. 49*. Samotnému skenování součásti předcházela kalibrace skeneru. Poté následovala příprava součásti, kterou obnášela odmaštění samotných součástí a nástřik antireflexní vrstvy viz *obr. 50*.

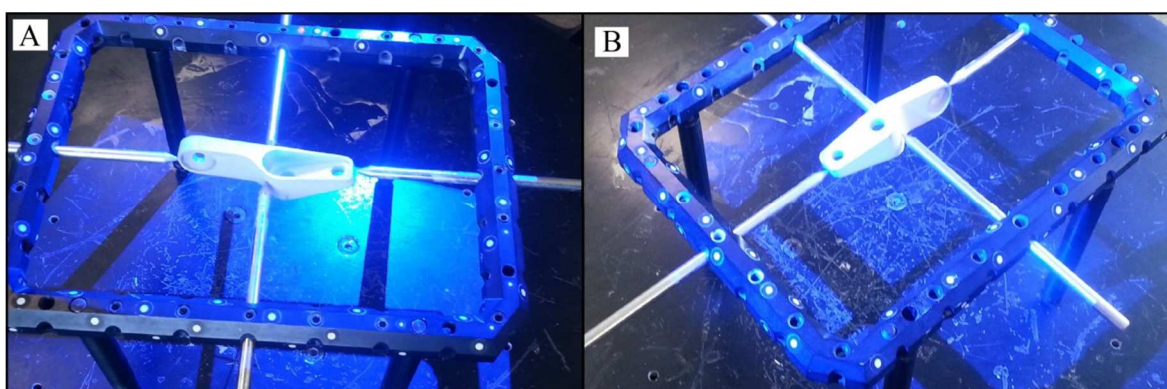


Obr. 49 3D skener ATOS Triple Scan.



Obr. 50 Držáky řízení s nástřikem antireflexní vrstvy.

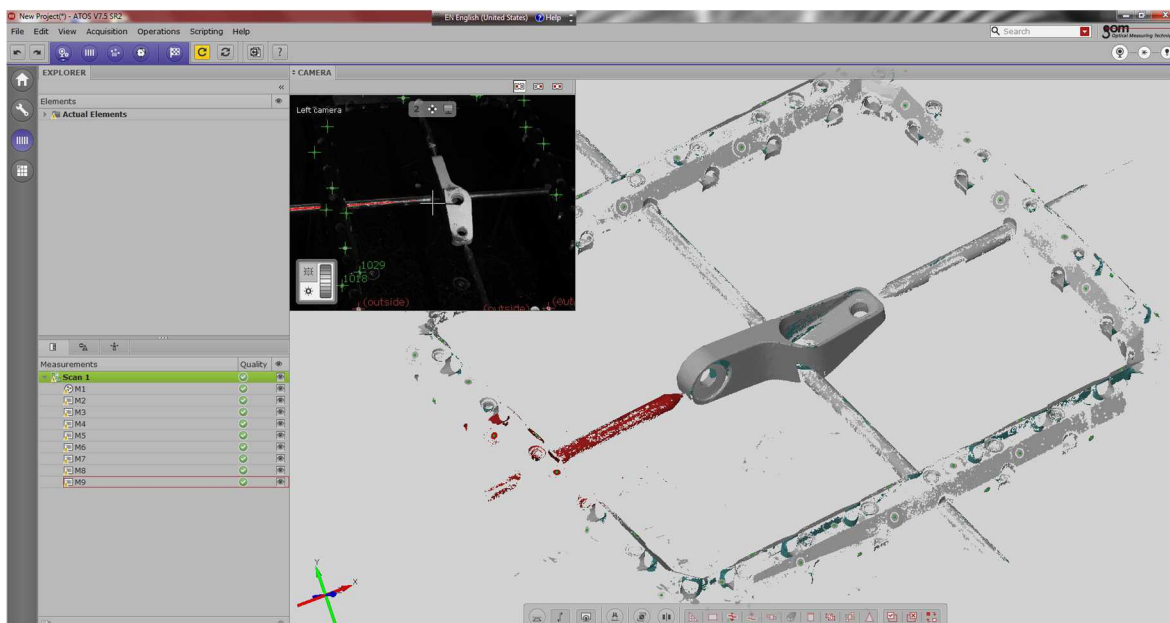
Po zaschnutí antireflexní vrstvy byly držáky jednotlivě skenovány. Držáky byly upnuty ve skenovacím rámečku (viz obr. 51A, B), který byl polepený referenčními body. Díky těmto referenčním bodům na rámečku, nemusely být referenční body na skenovaných součástech. To posléze usnadnilo samotnou práci s naskenovanou geometrií, v které nezbyly otvory po nálepkách (referenční body). Obě součásti musely být skenovány, jak z vrchní tak spodní strany. Toto oboustranné skenování bylo dosaženo nejprve skenováním z vrchní strany a poté se celý rámeček s upnutou součástí ručně otočil, tak aby bylo možné skenovat i spodní část. Při této operaci bylo důležité velmi opatrně manipulovat s rámečkem, aby nedošlo ke změně pozice součásti vůči rámečku.



Obr. 51 Upnutí pro skenování: A) vrchní části držáku B) dolní části držáku.

Příprava skenování se v tomto případě jevila mnohanásobně náročnější než samotné skenování, které proběhlo během několika minut automaticky. Naskenovaná data byla, ze skeneru a jeho příslušenství přenesena do počítačového programu Atos v 7,5 SR2, kde byla data dále editována. Skener naskenoval celé prostředí stolu včetně rámečku

a upínacích trnů, které byly odmazány, aby zůstaly pouze skeny součástí. Prostředí programu Atos v 7,5 SR2 včetně skenované součásti na *obr. 52*.

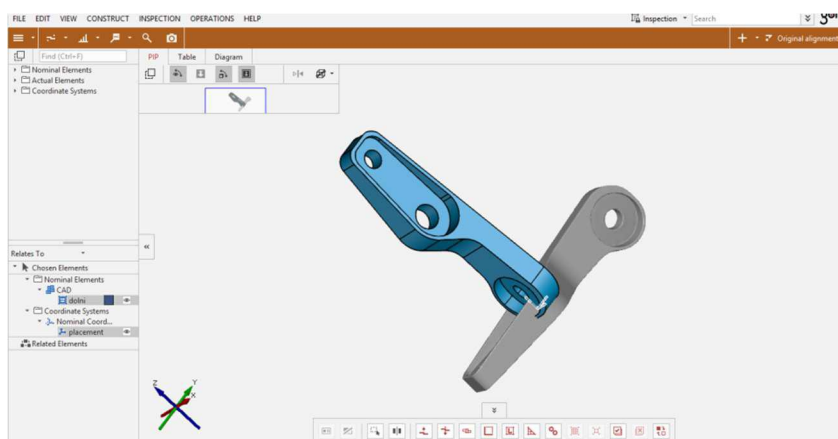


Obr. 52 Prostředí programu Atos v 7,5 SR2.

Obrys součásti na *obr. 52* je složen z mraku bodů, které jsou považovány stále za hrubá data. Na povrchu tohoto obrysu byla vytvořena polygonizační síť, která sloužila pro získání dat ve formátu STL. Skeny obou součástí ve formátu STL byly dále zpracovány v programu GOM Inspect 2017.

5.2 IMPORT DAT A PROSTOROVÉ USTAVENÍ V SOFTWARE GOM INSPECT 2017

Prvním krokem byl v práci s programem GOM Inspect import skenovaných dat ve formátu STL. Poté byly zalepeny díry ve skenovaném povrchu, které byly v místech, kde skener nebyl schopen zachytit povrch. Dále byl importován CAD model součásti ve formátu STL.

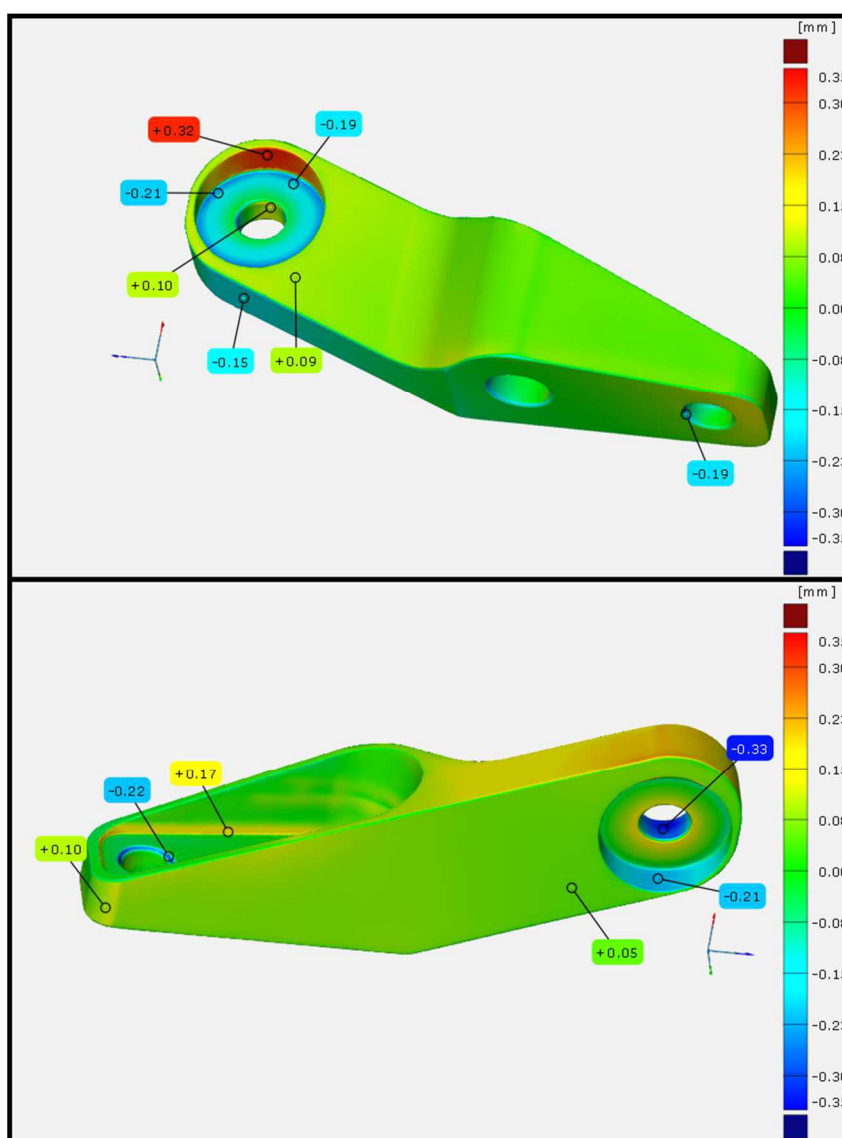


Obr. 52 Importovaná data skenu a CAD modelu do programu GOM Inspect 2017.

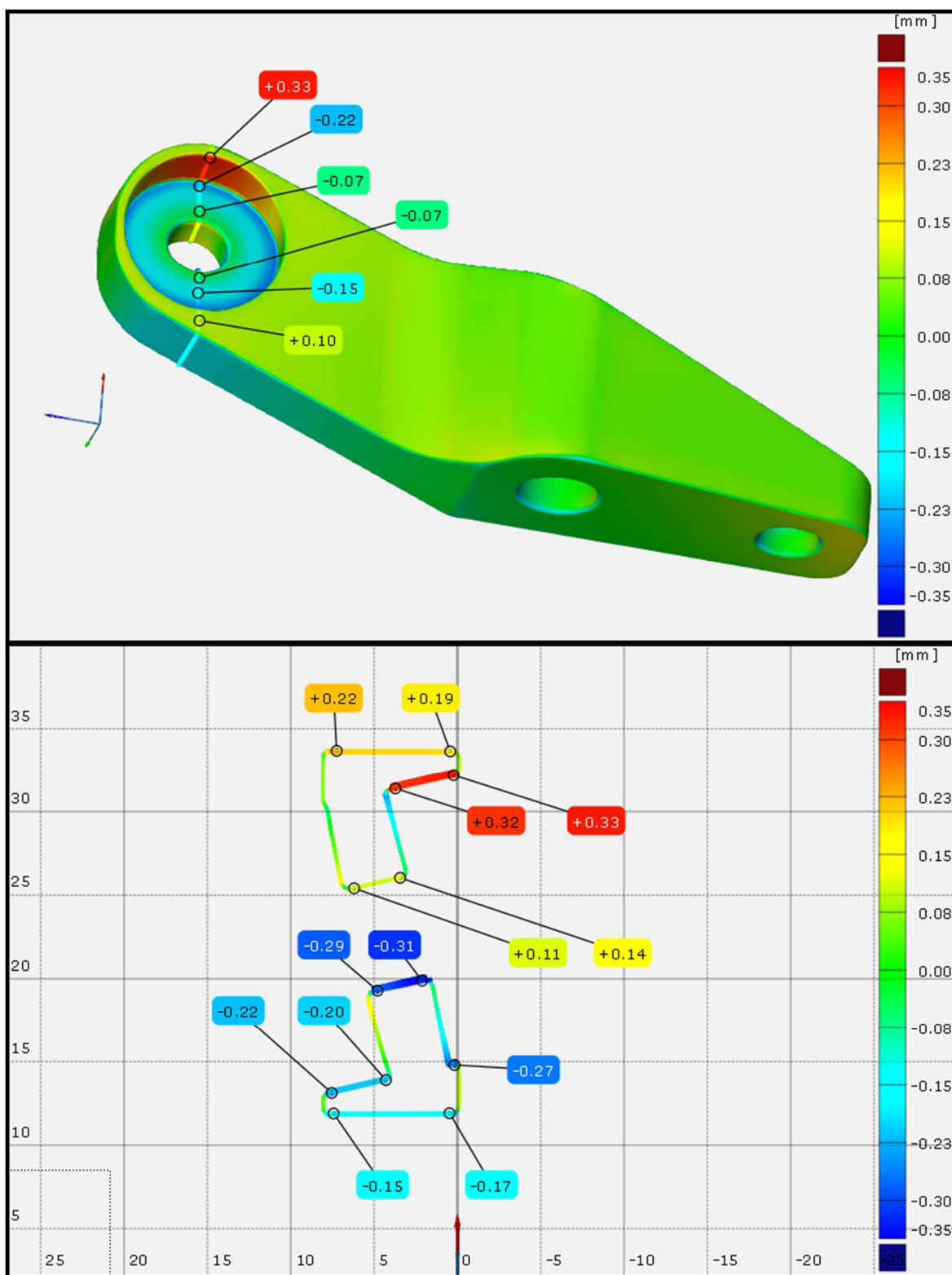
Jak je zřejmé z *obr. 52*, dále bylo zapotřebí skenovaná data a CAD model prostorově zarovnat, aby došlo k vhodnému překrytí. Pro překrytí součástí byly využity dvě funkce. Jednalo se o funkce Local best-fit a funkci Prealignment. Pro prostorové zarovnání horního držáku viz *obr. 53*, byla vybrána funkce překrytí Local Best-fit z důvodu lepšího překrytí funkčních ploch. Pro prostorové zarovnání dolního držáku viz *obr. 55*, byla vybrána funkce Prealignment, ze stejného důvodu jako u horního držáku.

5.2.1 ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI HORNÍHO DRŽÁKU

Přesnost vnějšího tvaru nefunkčních ploch včetně dvou rovnoběžných průchozích děr byla odměřena přibližně do 0,1 mm. Dále je z *obr. 53* viditelné, že při výrobě nedošlo k úplnému odebrání materiálu ve spodní hraně kapsy, což však nemá na smontovatelnost či funkci vliv. Z *obr. 53* dále je vidět, že největší nepřesnost geometrie funkčních ploch je v osazení a průchozí díře oka držáku. Charakter této geometrické chyby je lépe vidět v řezu samotného oka viz *obr. 54*.



Obr. 53 Analýza přesnosti horního držáku řízení.

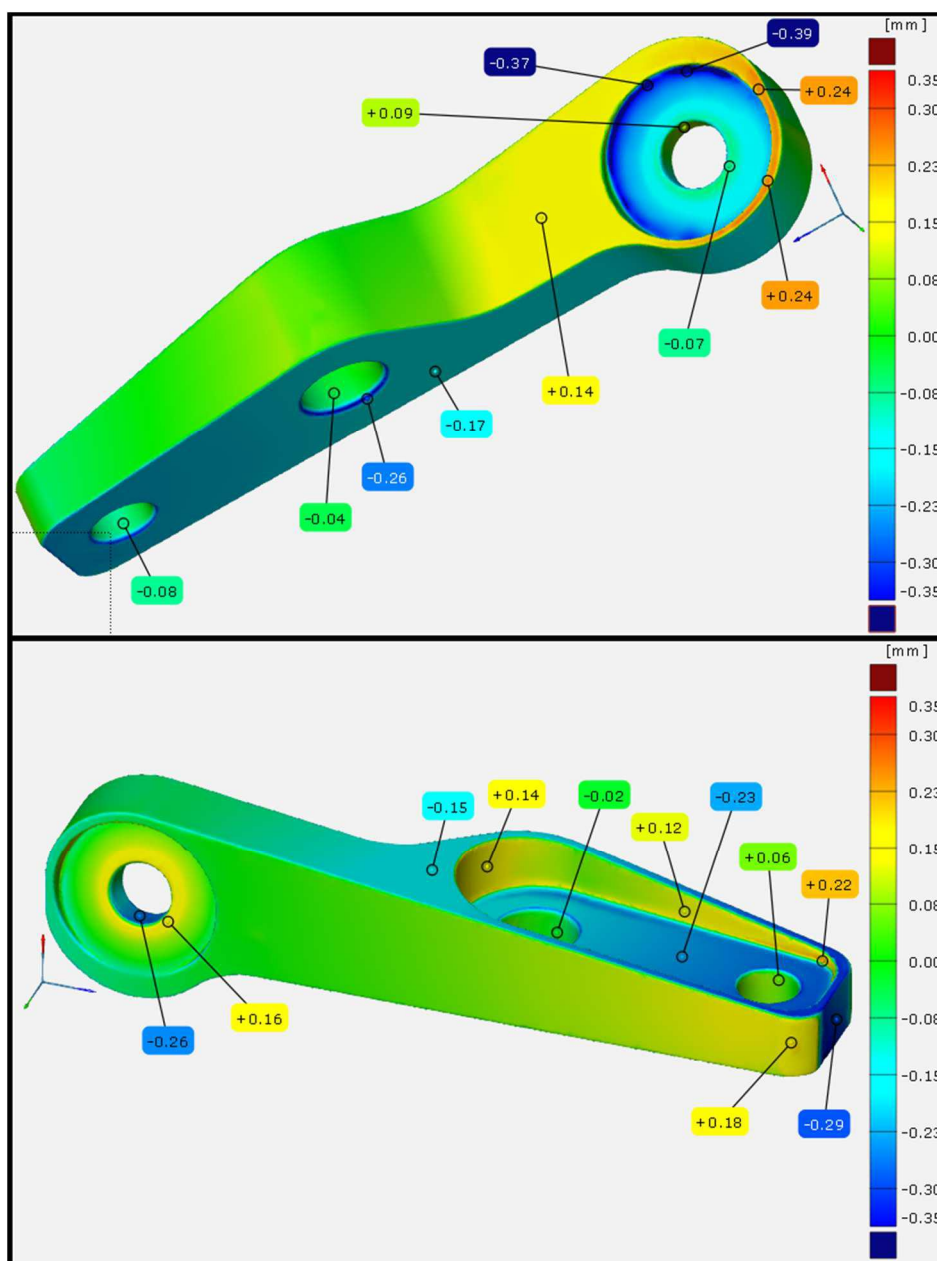


Obr. 54 Řez osazení a průchozí díry oka horního držáku v rovině XY.

K této nepřesnosti výroby došlo s největší pravděpodobností při nepřesném upnutí či nepřesném odměření v ose X na stroji *DECKEL MAHO DMU 50*.

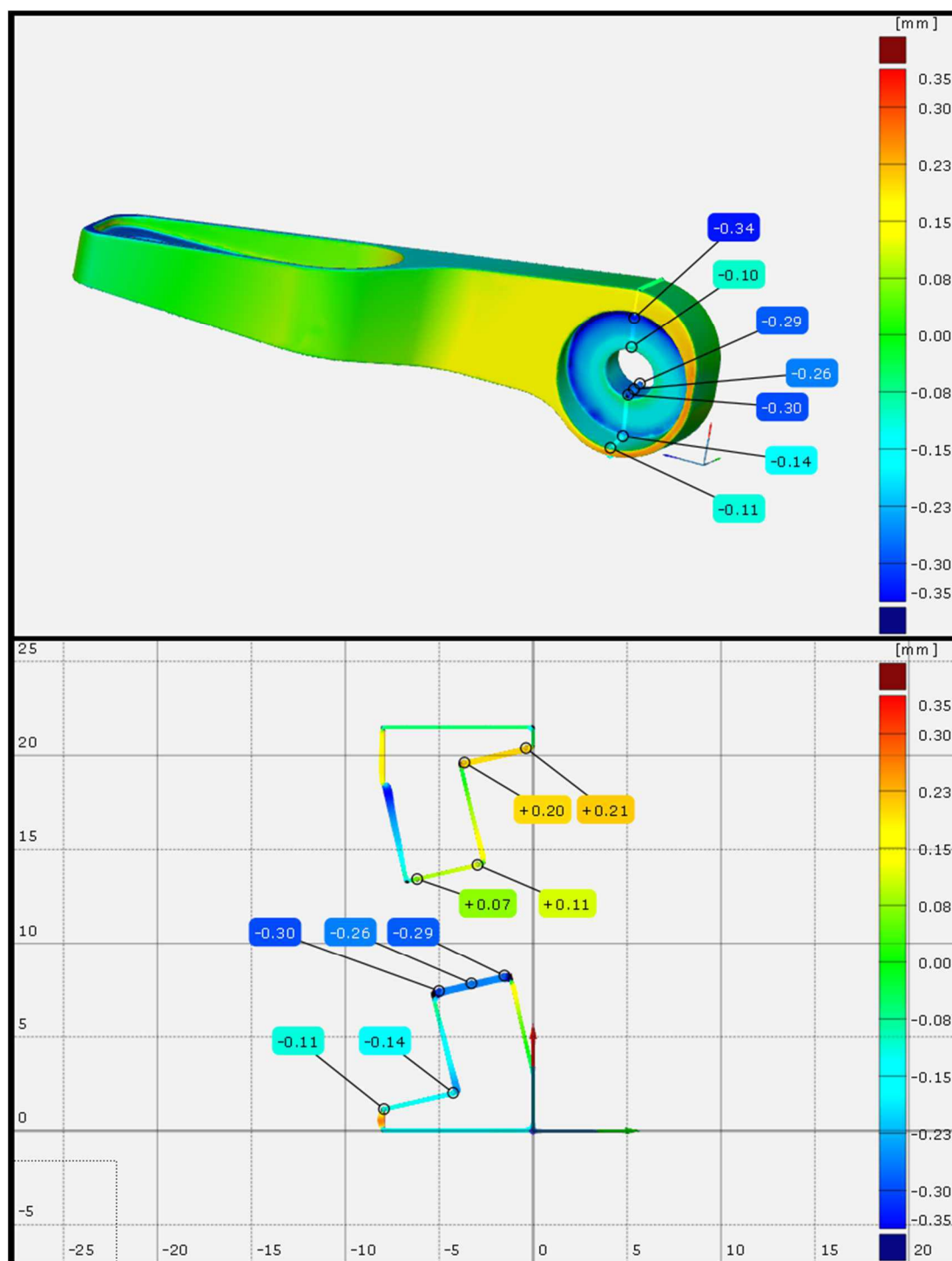
5.2.2 ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI DOLNÍHO DRŽÁKU

Pro překrytí CAD modelu dolního držáku s naskenovanými daty byla využita funkce Prealignment. U toho držáku nebylo překrytí zmiňovaných dat, tak jednoznačné jako u horního držáku. Z obr. 55 je zřejmé, že průchozí díry (v kapse držáku) opět v tomto případě vyšly v přesnosti do 0,1 mm. Ovšem vnější nefunkční tvarové plochy již nevyšly v tak vysoké přesnosti jako u přechozího dílu, což ovšem nemá vliv na funkci držáku.



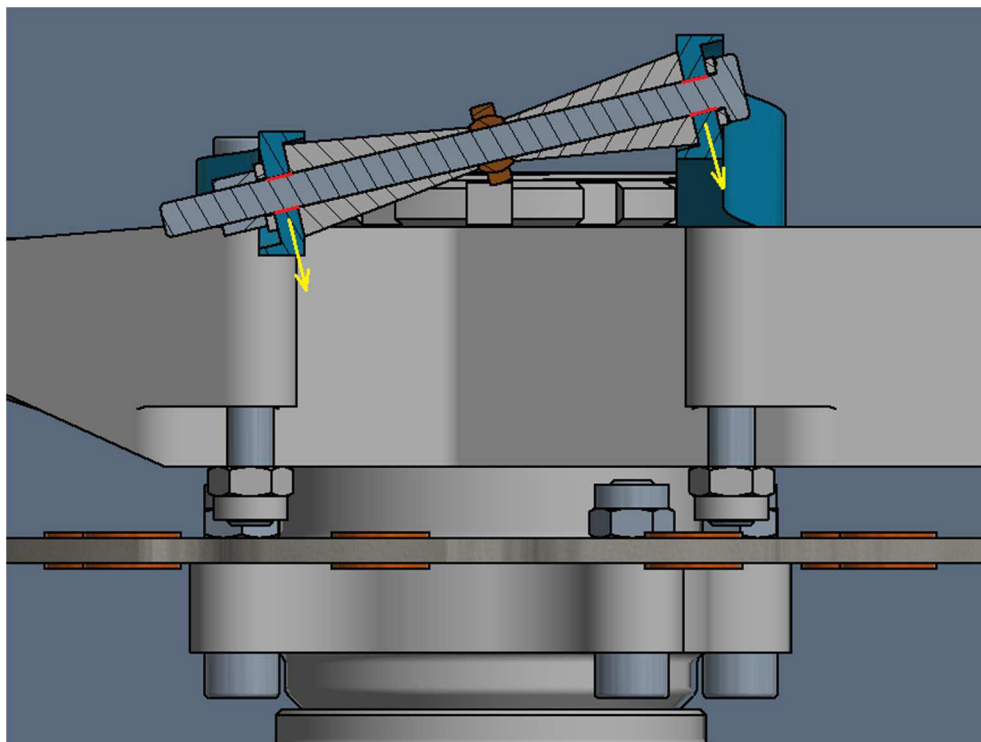
Obr. 55 Analýza přesnosti dolního držáku řízení.

Osazení a průchozí díra oka držáku byla vyrobena s obdobným charakterem nepřesnosti, jako u přechozího držáku. Z řezu oka dolního držáku (viz obr. 56) je vidět, že průchozí díra o průměru 6,1 mm je vyrobena opět nikoli s úhlovou nepřesností, ale s posunutím díry v ose X stroje DECKEL MAHO DMU 50.



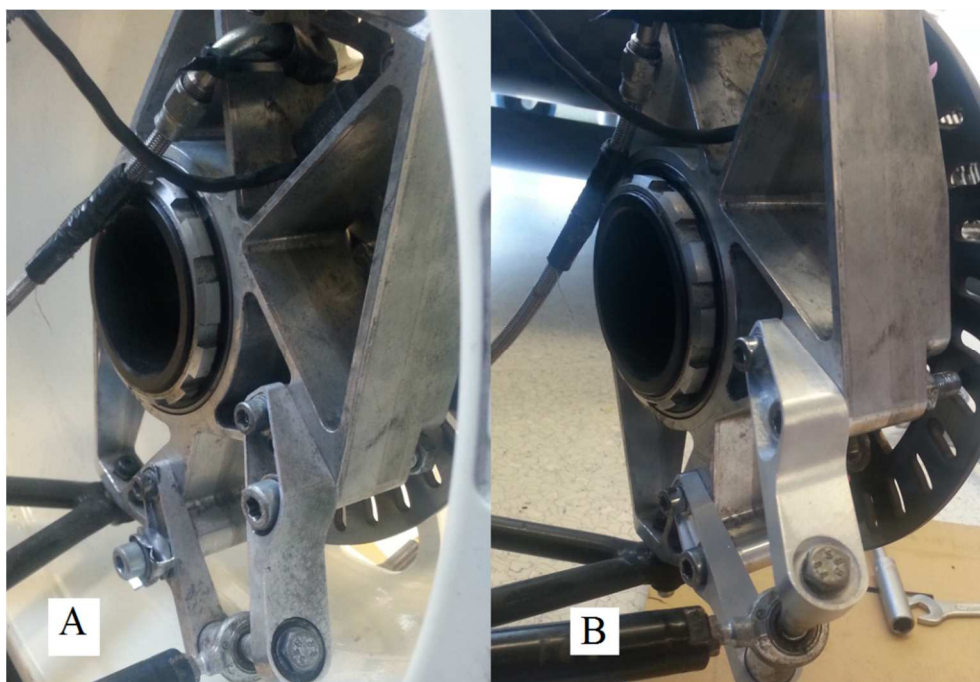
Obr. 56 Řez osazení a průchozí díry oka dolního držáku v rovině XY.

Nepřesnosti výroby průchozích děr v okách držáků jsou stejného charakteru, jak je vidět z obr. 54 a obr. 56. U obou děr ok držáků došlo k posunu polohy, ovšem ve stejném směru a o přibližně stejnou vzdálenost. Z obr. 57, je lépe vidět, že tyto nepřesnosti teoreticky nemají vliv na smontovatelnost.



Obr. 57 Řez sestavou držáků řízení.

Reálná smontovatelnost byla potvrzena při výměně původních držáků řízení za nově vyrobené, viz obr. 58.



Obr. 58 Těhlice řízení: A) se starými držáky B) s novými držáky.

6 TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem této kapitoly je vyčíslit náklady na výrobu prototypových držáků řízení pravého předního kola a porovnat tyto náklady s výrobními náklady u jiného dodavatele. Výpočet celého technicko – ekonomického zhodnocení je vztažen pouze k držákům řízení pravého předního kola.

6.1 JEDNOTKOVÝ ČAS VÝROBY

Jednotkový čas je čas potřebný k vyrobení jednoho kusu, který je definován (1). Vzhledem ke kusové výrobě byl kladen důraz spíše na kvalitu. Důležité tedy bylo vyrobit držáky na první pokus bez zbytečných komplikací. Nicméně tedy nebylo cílem čas výroby nějak zbytečně natahovat [25].

$$t_{mA} = t_{mA4} + t_{mA5} + t_{mA6} \text{ [min]} \quad (1)$$

kde: t_{mA4} [min] - jednotkový čas chodu CNC stroje,

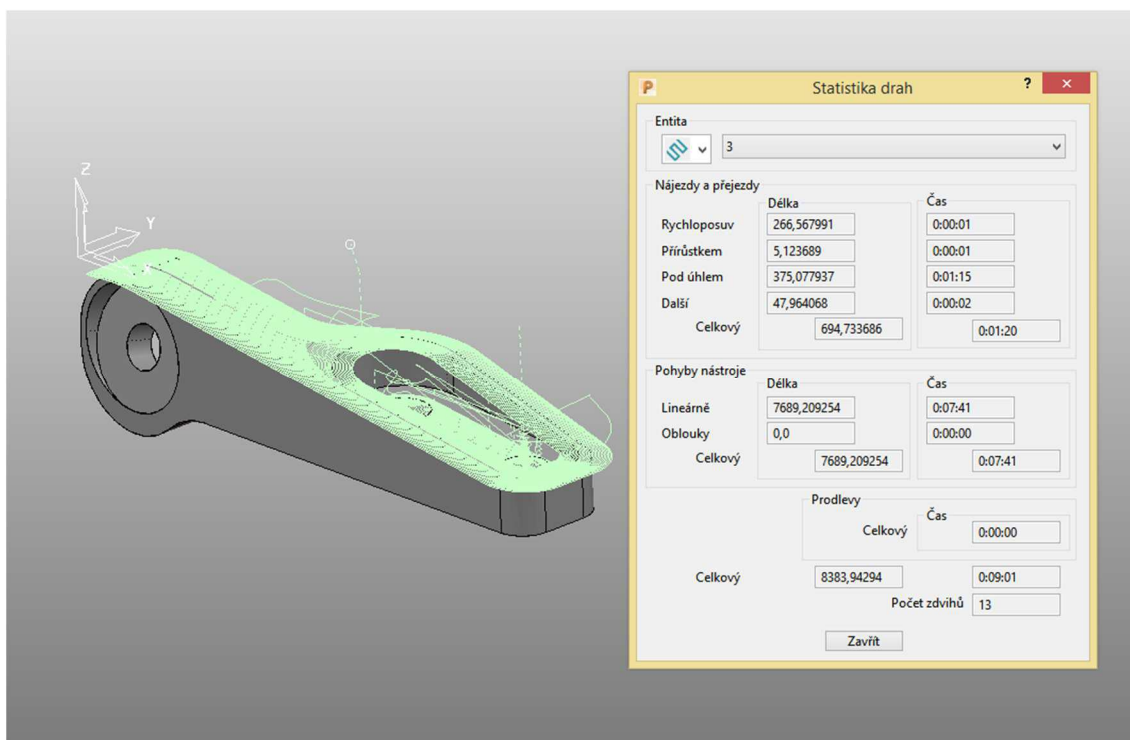
t_{mA5} [min] - jednotkový čas klidu CNC stroje,

t_{mA6} [min] - jednotkový čas interference CNC stroje.

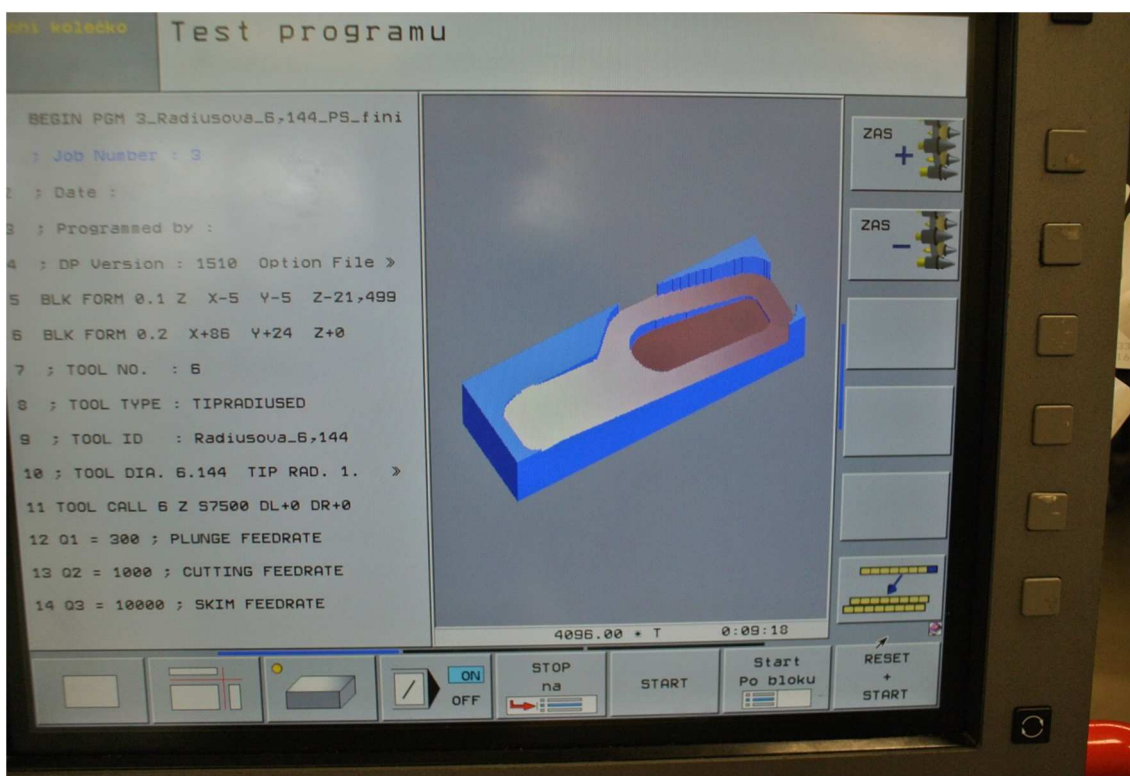
Přičemž jednotkový čas chodu CNC stroje t_{mA4} je čas samotného obráběcího procesu. Tento čas lze získat z několika zdrojů:

- výpočtem v softwaru PowerMILL viz *obr. 59*,
- výpočtem ze simulace obráběcího procesu v řídicím systému stroje (viz *obr. 60*),
- měřením času při reálné výrobě (některé stroje tento čas zaznamenávají sami).

Tyto časy byly vzorově porovnány pro strategii dokončování 3D konturování, třetího upnutí dolního držáku. Čas výrobního procesu vypočtený v softwaru PowerMILL byl vypočten na 9:01 minuty, přičemž čas vypočtený řídicím systémem stroje vyčíslil výrobní čas na 9:18 minut. Čas reálné výroby a čas vypočtený řídicím systémem stroje se však nelišil. Tato časová změna byla konzultována s programátorem a odborníkem v oblasti obrábění Romanem Fikarem ze společnosti Strojírny Benc s.r.o., který se s tímto časovým posunem setkává v praxi neustále. Dle jeho slov, k tomuto časovému posunu dojde vlivem zpomalené dynamiky posuvů stroje. Jedná se například o klasické tříosé frézovací CNC stroje, u kterých posun v ose X a v ose Y zajišťován i s posunem velké hmoty stolu stroje. Dle slov Romana Fikara, například u pětiosých frézovacích strojů, u kterých zajišťuje posun v ose X, Y, Z lehký vřeteník, je časový rozdíl takřka nulový. V případě této konkrétní strategie se jedná o časový posun zhruba o 3 %, přičemž v některých případech se tento časový posun může lišit výrazněji. Je zde na zvážení, zda tento časový rozdíl zohledňovat. Ovšem vzhledem k tomu, že časy výroby ostatních strategií nebyly zaznamenány, jsou pro výpočet nákladů uvažované jednotkové časy získané ze softwaru PowerMILL.



Obr. 59 Statistika dráhy 3D dokončování třetího upnutí.



Obr. 60 Displej stroje MCV 754 Quick s 3D dokončováním dolního držáku.

Jednotkový čas klidu CNC stroje t_{mA5} , který odpovídá času výměny nástrojů, upínání, výměně obrobků, měření apod., je běžně získán při sériové výrobě prvních kusů

měřením. V tomto případě, kde se jednalo o kusovou výrobu, nebyl tento čas měřen. Z toho důvodu byl čas t_{mA5i} přibližně odhadnut operátorem obráběcího stroje, který má víc jak dvacetiletou praxi v oboru. Tyto časy jsou uvedeny v tab. 12 a v tab. 13.

Jednotkový čas interference CNC stroje t_{mA6} je čas, který se uvažuje při více strojové obsluze. Je to tedy čas, kdy stroj stojí v důsledku vytížení pracovníka u jiného stroje. V případě, že současně jeden stroj obsluhuje jeden pracovník, je čas interference roven nule. Z toho důvodu čas interference CNC stroje nebyl zahrnut mezi jednotkové časy.

Tab. 12 Dílčí jednotkové časy při výrobě dolního držáku.

Stroj	i	t_{mA4i} [min]	t_{mA5i} [min]	t_{mAi} [min]
DECKEL MAHO DMU 50	1	12,90	5,00	17,90
MCV 754 QUICK	2	96,23	8,40	104,63

Tab. 13 Dílčí jednotkové časy při výrobě horního držáku.

Stroj	i	t_{mA4i} [min]	t_{mA5i} [min]	t_{mAi} [min]
DECKEL MAHO DMU 50	3	13,90	5,00	18,90
MCV 754 QUICK	4	100,13	8,40	108,53

Jednotkový čas chodu stroje t_{mA4i} v tab. 12 a v tab. 13 odpovídá hodnotě času, který vypočítal software PowerMILL původně pro obrábění v náklonném svěráku. Princip obrábění se však na stroji DECKEL MAHO DMU 50, neměnil oproti původnímu návrhu obrábění na stroji MCV 754 Quick. Obrábění na stroji DECKEL MAHO DMU 50 proběhlo sice za pomoci dílenského obrábění, nicméně řezné podmínky byly voleny stejné jako při upínání ve výklopném svěráku a rozdíl výrobního času v této operaci byl zanedbán.

6.2 VYHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA VÝROBU

Náklady na výrobu držáků řízení na přední pravé kolo studentské formule se odvíjí od ceny polotovarů z materiálu CERTAL a hodinové sazby stroje.

Cena polotovarů z materiálu CERTAL o rozměrech 100x45x35 mm a 100x30x35 mm byla skrze obchodníky ze společnosti ALFUN a.s. určena na $N_h = 125$ Kč pro horní držák řízení a $N_d = 85$ Kč pro dolní držák řízení [26].

Výroba proběhla ve školicím středisku v BOSCHI v Jihlavě, kde jakožto hlavní partner studentské soutěže Formule Student učinila slevu vy výši 100 % na výrobu držáků. Pro bezkonkurenční nabídku proběhla výroba právě tam. Pro ekonomické vyhodnocení byla panem Pavlíčkem (vedoucí školicího střediska BOSCH) vykalkulována hodinová sazba pro pětiosý stroj 1500 Kč (včetně obsluhy) a pro tříosý stroj 900 Kč (včetně obsluhy).

Dále byla oslovena firma v blízkosti autorova bydliště Strojírna Benc s.r.o., která se zaměřuje na svařování konstrukcí a obrábění. Majitel strojírny František Benc stanovil cenu hodinu provozu (včetně obsluhy) pro tříosý obráběcí stroj na $950 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$. Pro pětiosý stroj stanovil cenu provozu $1450 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$ (včetně obsluhy).

Jako poslední varianta byla výroba v dílnách Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně. Zde hodinová sazba pro tříosý stroj činí 700 Kč.h⁻¹ (včetně obsluhy) a pro pětiosý činí 1400 Kč.h⁻¹ (včetně obsluhy).

Původní zadání diplomové práce bylo vyrobit součást na tříosém stroji, ale realizace výroby ukázala, že výroba v dané přesnosti by byla velmi složitá až nereálná. Proto čas výroby na stroji DECKEL MAHO DMU 50 je považován za čas výroby na pětiosém stroji s hodinovou sazbou 1 500 Kč a jednotkový čas výroby stroje MCV 754 Quick na tříosém stroji s hodinovou sazbou 900 Kč. Ze znalosti jednotkových časů a nákladů na hodinu provozu stroje byly podle vztahu (2) vypočítány jednotkové náklady na provoz CNC stroje [25].

$$N_{Apsi} = \frac{N_{hsi}}{60} \cdot t_{mAi} \text{ [Kč} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (2)$$

kde: N_{Apsi} [Kč.ks⁻¹] - jednotkové náklady na provoz CNC stroje,
 N_{hsi} [Kč.h⁻¹] - náklady na hodinu provozu CNC stroje,
 t_{mAi} [min] - jednotkový čas CNC stroje.

Jednotkové náklady na provoz CNC stroje jsou jednotlivě uvedeny v tab. 12 pro dolní držák a v tab. 13 pro horní držák.

Tab. 14 Jednotkové náklady na výrobu dolního držáku při provozu CNC strojů ve firmě BOSCH.

Stroj	i	t_{mAi} [min]	N_{hsi} [Kč.h ⁻¹]	N_{Apsi} [Kč.ks ⁻¹]
Pětiosý stroj	1	17,90	1 500	448
Tříosý stroj	2	104,63	900	1 570

Tab. 15 Jednotkové náklady na výrobu horního držáku při provozu CNC strojů ve firmě BOSCH.

Stroj	i	t_{mAi} [min]	N_{hsi} [Kč.h ⁻¹]	N_{Apsi} [Kč.ks ⁻¹]
Pětiosý stroj	3	18,90	1500	473
Tříosý stroj	4	108,53	900	1628

Celkové výrobní náklady N_{DC} na výrobu dolního držáku byly vypočteny dle vztahu (3). Tyto náklady zohledňují cenu polotovaru dolního držáku a náklady na výrobu dolního držáku při provozu CNC strojů dle hodinové sazby ve výukovém středisku v BOSCH. Výsledná hodnota v tab. 16.

$$N_{DC} = N_{Aps1} + N_{Aps2} + N_d \text{ [Kč]} \quad (3)$$

- kde: N_{Aps1} [Kč.ks⁻¹] - náklady na provoz pětiosého CNC stroje,
 N_{Aps2} [Kč.ks⁻¹] - náklady na provoz tříosého CNC stroje,
 N_d [Kč.ks⁻¹] - náklady na polotovar dolního držáku.

Celkové výrobní náklady N_{HC} na výrobu horního držáku byly vypočteny dle vztahu (4). Tyto náklady zohledňují cenu polotovaru horního držáku a náklady na výrobu horního držáku při provozu CNC strojů dle hodinové sazby ve výukovém středisku v BOSCH. Výsledná hodnota v tab. 16.

$$N_{HC} = N_{Aps3} + N_{Aps4} + N_h \text{ [Kč]} \quad (4)$$

- kde: N_{Aps3} [Kč.ks⁻¹] - náklady na provoz pětiosého CNC stroje,
 N_{Aps4} [Kč.ks⁻¹] - náklady na provoz tříosého CNC stroje,
 N_h [Kč.ks⁻¹] - náklady na polotovar horního držáku.

Tab. 16 Výsledná cena výrobních nákladů držáků ve společnosti BOSCH.

Součást	Celkové výrobní náklady [Kč]
Dolní držák	2 102
Horní držák	2 225
Dolní + horní držák	4327

Stejnou metodikou byly vypočteny náklady na výrobu potencionální výroby ve firmě Strojírny Benc s.r.o. i v dílnách Ústavu strojírenské technologie VUT FSI v Brně. V tab. 17 jsou vypsány celkové výrobní náklady v případě výroby ve firmě Strojírny Benc s.r.o. a v tab. 18 jsou tyto náklady uvedeny pro výrobu v dílnách Ústavu strojírenské technologie VUT FSI v Brně.

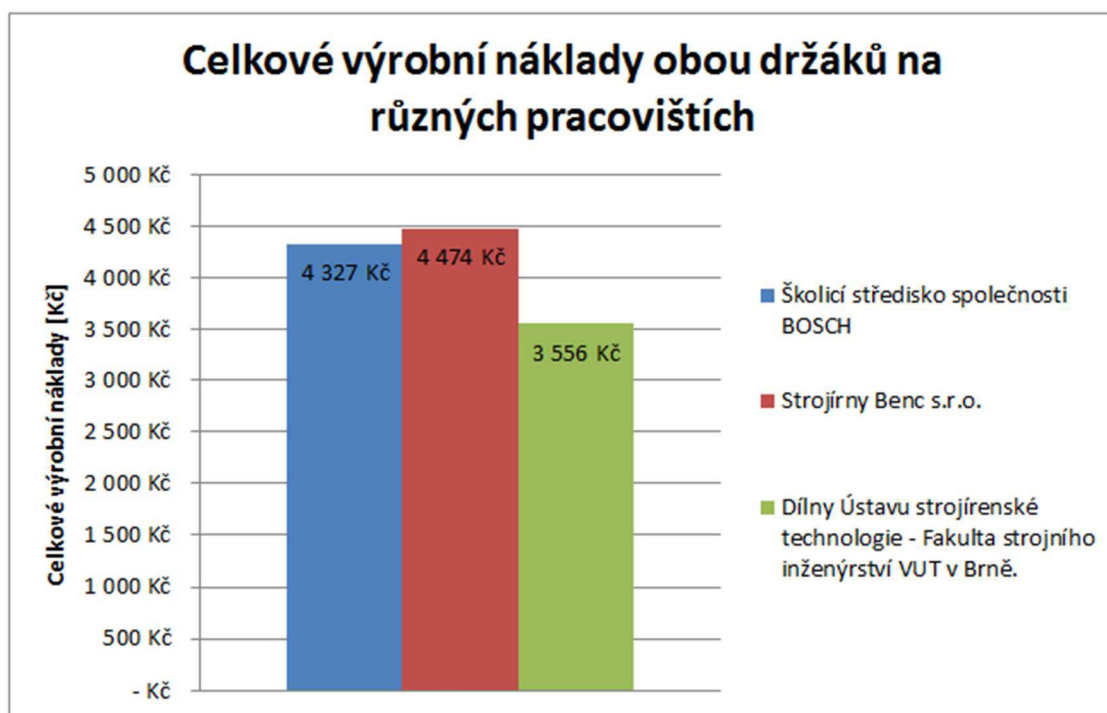
Tab. 17 Výsledná cena výrobních nákladů držáků ve firmě Strojírny Benc s.r.o.

Součást	Celkové výrobní náklady [Kč]
Dolní držák	2 174
Horní držák	2 300
Dolní + horní držák	4 474

Tab. 18 Výsledná cena výrobních nákladů držáků v dílnách Ústavu strojírenské technologie VUT FSI v Brně.

Součást	Celkové výrobní náklady [Kč]
Dolní držák	1 723
Horní držák	1 832
Dolní + horní držák	3 555

Z výsledných cen výrobních nákladů z tab. 16-18 byl vytvořen *graf č. 1*, který popisuje celkové výrobní náklady souhrnně obou držáků v závislosti na pracovišti, které výrobu realizuje.



Graf č. 1 Celkové výrobní náklady obou držáků v závislosti na výrobních pracovištích

Z *grafu č. 1* je zřejmé, že nejnižších nákladů výroby obou pravých držáků řízení studentské formule by bylo dosaženo při výrobě v dílnách Ústavu strojírenské technologie, kde by vůči nejdražší variantě výroby došlo k 21,5% úspoře nákladů. Stejně tak i ve školicím středisku, kde by vůči nejdražší variantě došlo k úspoře 3,3 % nákladů. Pro bezkonkurenční nabídku společností školicího střediska společnosti BOSCH proběhla výroba právě tam.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou držáků řízení pro pravé přední kolo studentské formule Dragon 4 týmu TU Brno Racing. Samotné výrobě předcházely teoretický rozbor držáků a poté i rozbor materiálu držáků. Hlavním cílem této diplomové práce byl ovšem návrh obráběcích strategií a samotná výroba držáků, která byla realizována ve školicím středisku společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě.

Teoretická část práce se zabývá soutěží Formule Student, dále posuje pravidla, průběh závodu této soutěže a blíže se zaměřuje na držáky řízení přičemž posuje jejich umístění, funkci. Dále se teoretická část zabývá hliníkovými slitinami, jejich rozdělením a označováním. Poslední část teoretické práce porovnává vhodné slitiny hliníku pro výrobu držáků a na závěr popisuje vybraný materiál s obchodním označením CERTAL.

Praktická část popisuje konstrukci těhlice v parametrickém programu Autodesk Inventor a dále se zabývá návrhem strategie obrábění v CAM programu PowerMILL a jeho aplikací při realizaci výroby držáků řízení pro pravé přední kolo studentské formule. Pro kontrolu přesnosti výroby bylo za pomoci 3D skenování provedeno porovnání geometrie CAD modelu a naskenované geometrie. Praktická část byla zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením výroby.

Shrnutí dosažených výsledků:

- Původní návrh výroby u obou držáků řízení na tříosém stroji byl při výrobě pozměněn, z důvodu velmi komplikované až nemožné realizace kompletního obrobení na tříosém stroji za dané přesnosti odměřování.
- Pro výrobu „ok“ držáků byl použit pětiosý stroj DECKEL MAHO DMU 50, který se ukázal jako vhodná varianta.
- Použitím většího polotovaru při výrobě na stroji DECKEL MAHO DMU 50 by bylo umožněno obrobení „ok“ držáků na jedno upnutí, což by ušetřilo jedno přeupínání a tím by se teoreticky měla zlepšit přesnost dosedacích ploch oka, ovšem na úkor větší množství odebíraného materiálu v dalších operacích.
- Při výrobě byly původní navržené řezné podmínky pozměňovány dle operátora stroje, který například při hrubování snižoval posuv a při dokončování zvyšoval otáčky i posuv. K této změně docházelo dle operátora stroje z důvodu použití kleštinových upínačů (nesnesou tak vysoký krouticí moment) či způsobu či míře bezpečnosti upnutí obrobku.

- Z naskenované geometrie a následného porovnání s CAD modelem vzešlo, že oba držáky řízení jsou vyrobené se stejným charakterem nepřesnosti. K této nepřesnosti výroby došlo s největší pravděpodobností při nepřesném upnutí či nepřesném odměření v ose X na stroji *DECKEL MAHO DMU 50*. Jelikož k této chybě došlo u obou držáků stejným charakterem, teoretický předpoklad byl, že součásti bude možné smontovat. Tento předpoklad byl ověřen reálnou montáží na těhlici kola formule.
- Z technicko-ekonomického zhodnocení plyne, že nejlevnější výroba dle hodinové sazby strojů a obsluhy stroje by byla z výše uvedených pracovišť, ve školních dílnách Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství v Brně. Nicméně výroba proběhla ve školicím středisku v BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě, které tuto výrobu sponzorovalo a zároveň soutěž Formule Student podporuje.
- Závěrem lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle diplomové práce byly splněny.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE:

1. *Formula student Germany: Formula Student Rules 2017 V1.1* [online]. 2016 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/formula-student-rules-2017-v11/>
2. *TU Brno Racing: Studentská formule* [online]. 2016 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.tubnoracing.cz/cs/studentska-formule/>
3. BAXANT, R. *Návrh uložení předního kola závodního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 62 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík
4. FEJFAR, M. *Konstrukce zavěšení předního kola závodního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 126 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.
5. MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. : il. ISBN 80-89041-88-4.
6. DOLEŽAL, P. *Přednášky k předmětu Struktura a vlastnosti inženýrských materiálů: Struktura a vlastnosti inženýrských materiálů: Přednáška 10 – Hliník a jeho slitiny*. Brno: vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2017.
7. TORČÍK, Václav. *Návrh výroby přední těhlice pro formuli TU Brno Racing*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2015.
8. LUČANÍK, Aleš. *Návrh a výroba příruby náboje zadního kola formule pomocí technologie CAD/CAM a dílenského CNC programování*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2013.
9. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN isbn80-7204-248-3.
10. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6
11. ČSN EN 573-1. *Hliník a slitiny hliníku: Chemické složení a druh tvářených výrobků – Část 1: Číselné označování*. Praha: Český normalizační institut, 2005-07-01. 12 s. Třídící znak 42 1401.
12. ČSN EN 1780-1. *Hliník a slitiny hliníku: Označování slitinových hliníkových ingotů pro přetavení, předslitin a odlitků – Část 1: Číselné označování*. Praha: Český normalizační institut, 2003-07-01. 12s. Třídící znak 42 1402.

13. Hliníkové desky. *Alfun metal service centrum* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/desky>
14. EN AW-7075. *Alumeco* [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/aluminium/en-aw-7075/3915/p/392/3915>
15. *Praktický přehled hliníkových slitin dostupných v ČR* [online]. Dolní Kounice: Petr Spáčil [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>
16. ALLUMINIUMS ALLOYS. *Sabater fundimol catalog* [online]. s. 50-51 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: http://www.sabater-fundimol.com/customers/resources/pdf/sabater-fundimol_catalog_p50-51.pdf
17. *CAD/CAM systems: AUTODESK POWERMILL* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://www.cadcam-systems.cz/cad-cam-software/powermill/>
18. ŠIMONEK, Pavel, Michal JELÍNEK a Aleš POLZER. *Aplikace CAD/CAM v technologii: vzdělávací a tréninkový modul*. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství. Brno, 2012, 343 s.
19. TULIS, Radek. *Bosch otevřel vlastní školicí středisko* [online]. 18.10.2007 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.jihlava.cz/bosch-otevrel-vlastni-skolici-stredisko/d-453348>
20. *BOSCH Česká republika. BOSCH s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.bosch.cz/>
21. *DMU 50 siemens 840D: Návod k obsluze* [online]. Seebach: DECKEL MAHO SEEBACH, 2004 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://filex.dmgmori.com/login.aspx>
22. KOVOSVIT MAS, Sezimovo Ústí: *Návod k použití vertikálního obráběcího centra MCV 754 QUICK*, 2007. 160s
23. *EMUGE FRANKEN: Katalog nástrojů* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/ZK22015_DEGB%20Rev_A_FRANKEN-Katalog%20250.pdf
24. ČERMÁK, J. *Metody 3D skenování objektů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
25. PROKOP, Jaroslav. *Přednášky z předmětu HTR Vybrané statě z obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství 2018.
26. ALFUN A.S. *Vaše dotazy* [online]. ALFUN a.s. © Copyright 2018 [vid. 2018-17-3]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	Computer Aided Design. / Počítačem podporované navrhování.
CAM	Computer Aided Manufacturing. / Počítačem podporovaná výroba.
CNC	Computer Numerical Control. / Počítačové číslicově řízené.
ČSN	Česká technická norma.
FCC	Face centered cubic. / Kubická plošně centrovaná mřížka.
FSI	Fakulta strojního inženýrství. / Faculty of mechanical engineering.
HB	Tvrдость dle Brinella.
HSS	High speed steel. / Rychlořezná ocel.
NC	Numerical control. / Číslicově řízený.
SEA	South East Asia.
TiCN	Karbonitrid titanu.
TU	Technická univerzita. / Technical university.
VUT	Vysoké učení technické.

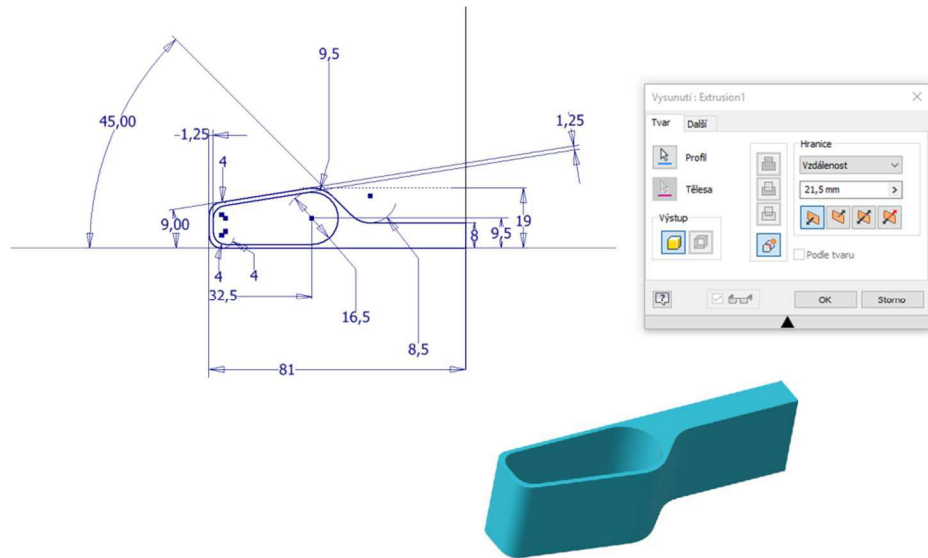
Symbol	Jednotka	Popis
A₅₀	[%]	tažnost
ap	[mm]	hloubka řezu
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
fz	[mm]	posuv na zub
N_{Aps}	[Kč]	jednotkové náklady na provoz CNC stroje
N_{DC}	[Kč]	výrobní náklady na výrobu dolního držáku
N_d	[Kč]	náklady na polotovar dolního držáku
N_{HC}	[Kč]	výrobní náklady na výrobu horního držáku
N_h	[Kč]	náklady na polotovar horního držáku
N_{hs}	[Kč]	náklady na hodinu provozu CNC stroje
n	[min ⁻¹]	otáčky vřetene
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu v tahu
t_{mA}	[min]	jednotkový čas CNC stroje

t_{mA4}	[min]	jednotkový čas chodu CNC stroje
t_{mA5}	[min]	jednotkový čas klidu CNC stroje
t_{mA6}	[min]	jednotkový čas interference CNC stroje
t_t	[°C]	teplota tavení
t_v	[°C]	teplota varu
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	tepelná vodivost
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota

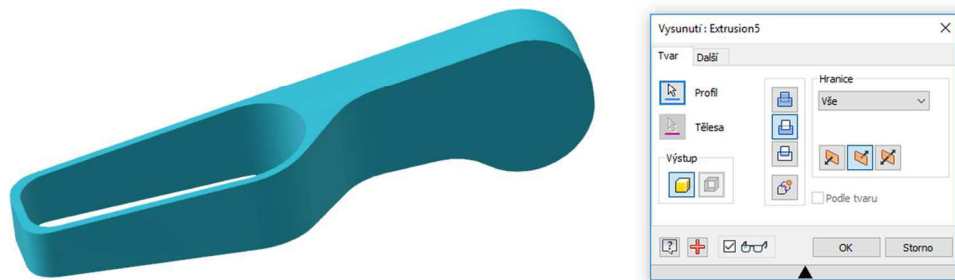
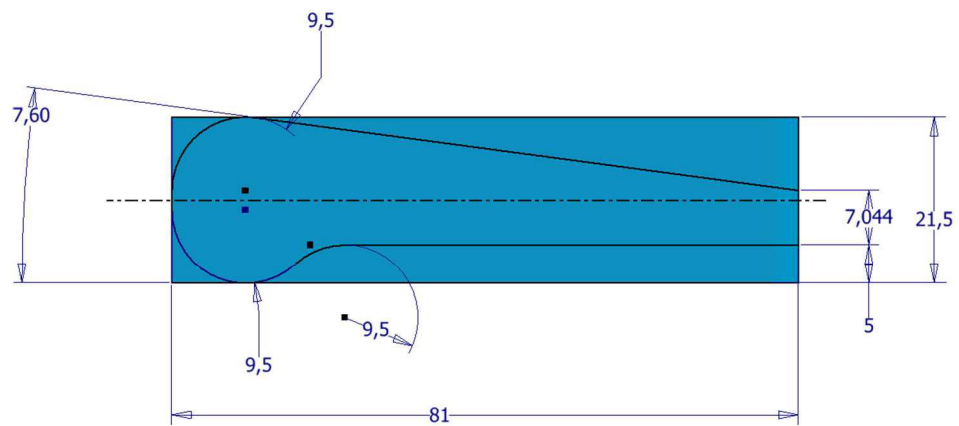
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Postup vymodelování dolního držáku řízení v programu Autodesk Inventor
- Příloha 2 Výkres součásti PRAVÝ DOLNÍ DRŽÁK ŘÍZENÍ
- Příloha 3 Výkres součásti PRAVÝ HORNÍ DRŽÁK ŘÍZENÍ
- Příloha 4 Výrobní postup DOLNÍ DRŽÁK
- Příloha 5 Výrobní postup HORNÍ DRŽÁK

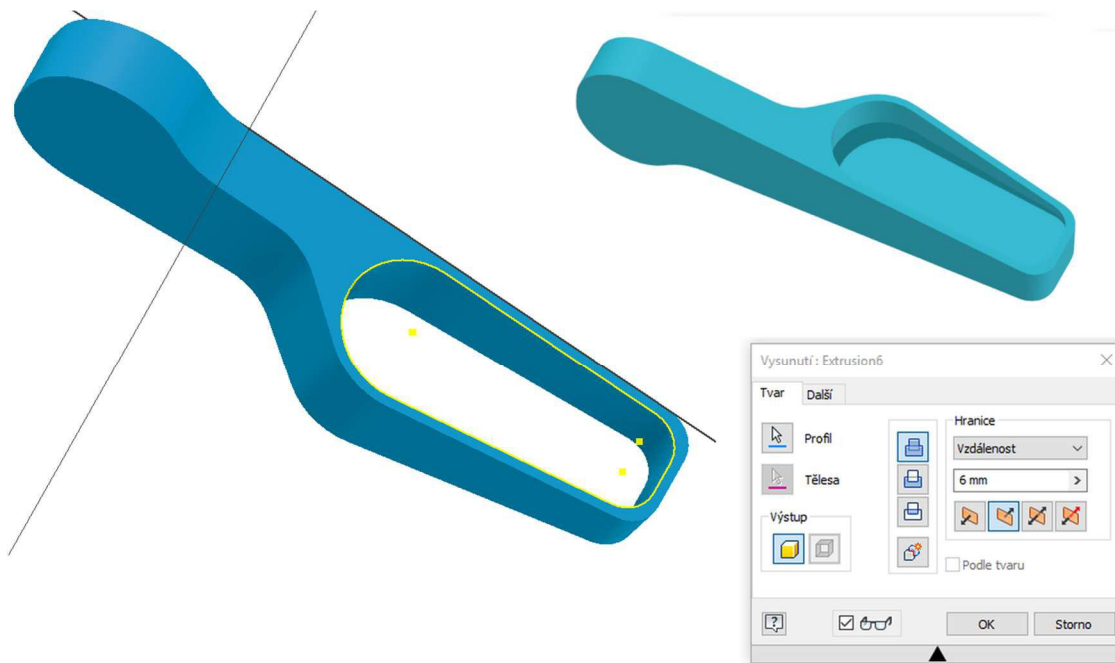
PŘÍLOHA 1



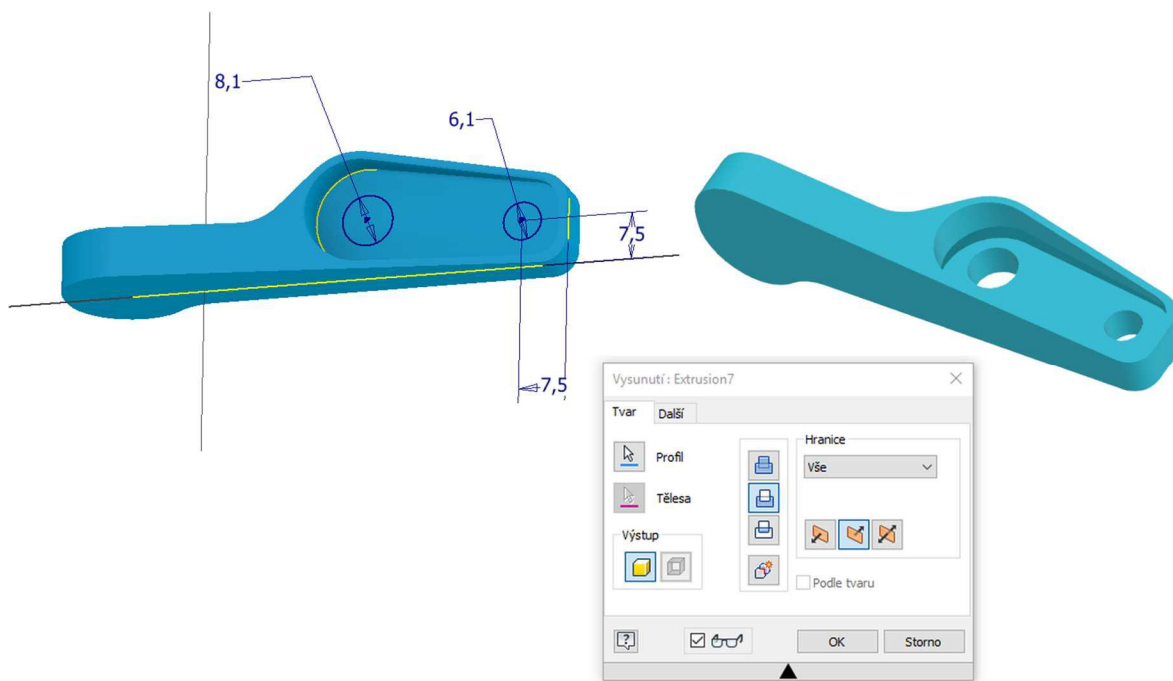
Operace č.1 vysunutí



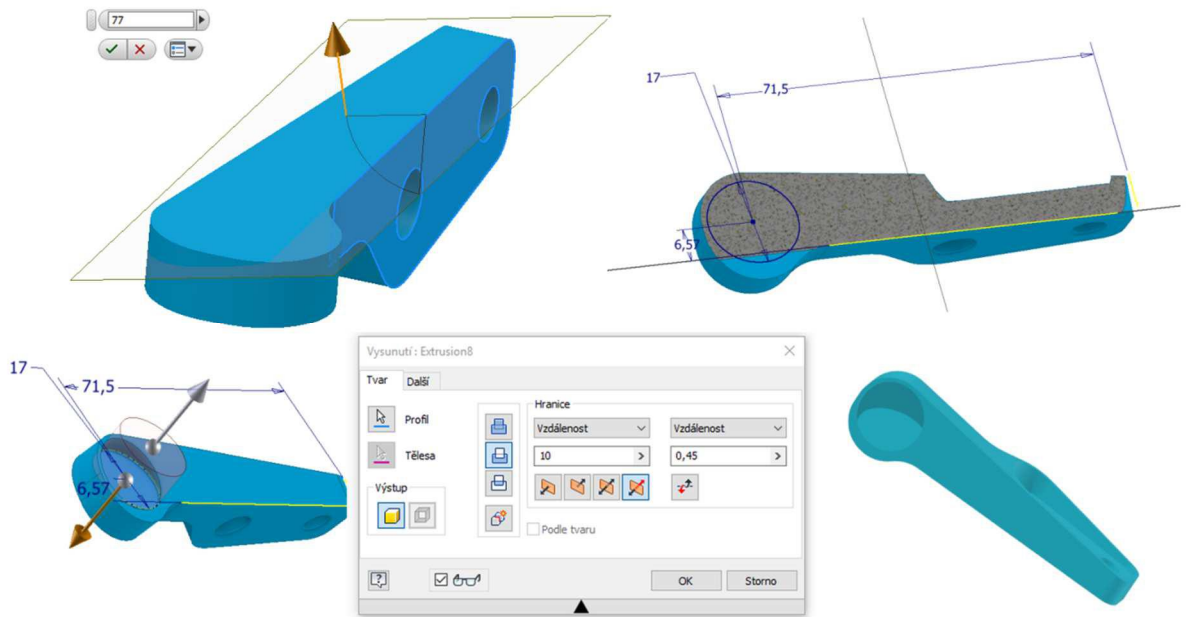
Operace č. 2 odebrání vysunutím



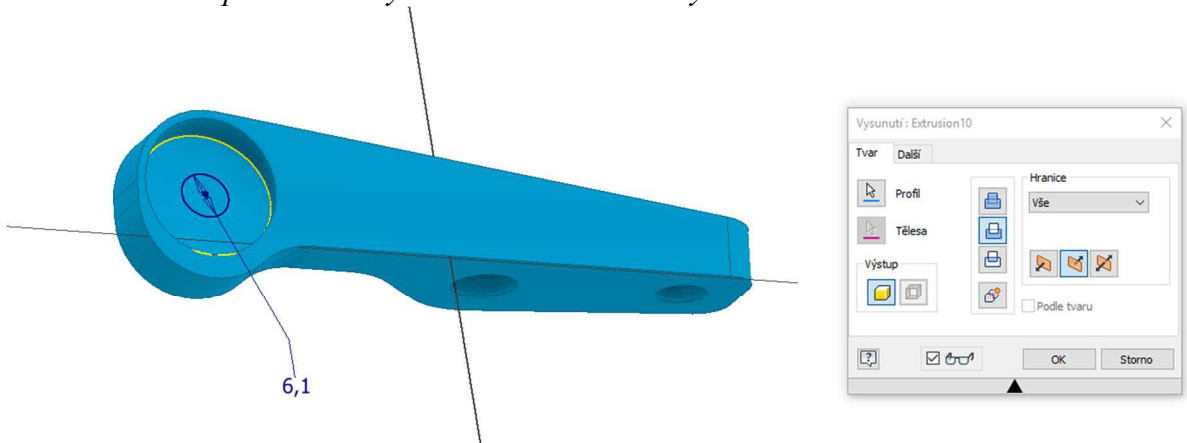
Operace č. 3 vysunutí dna kapsy



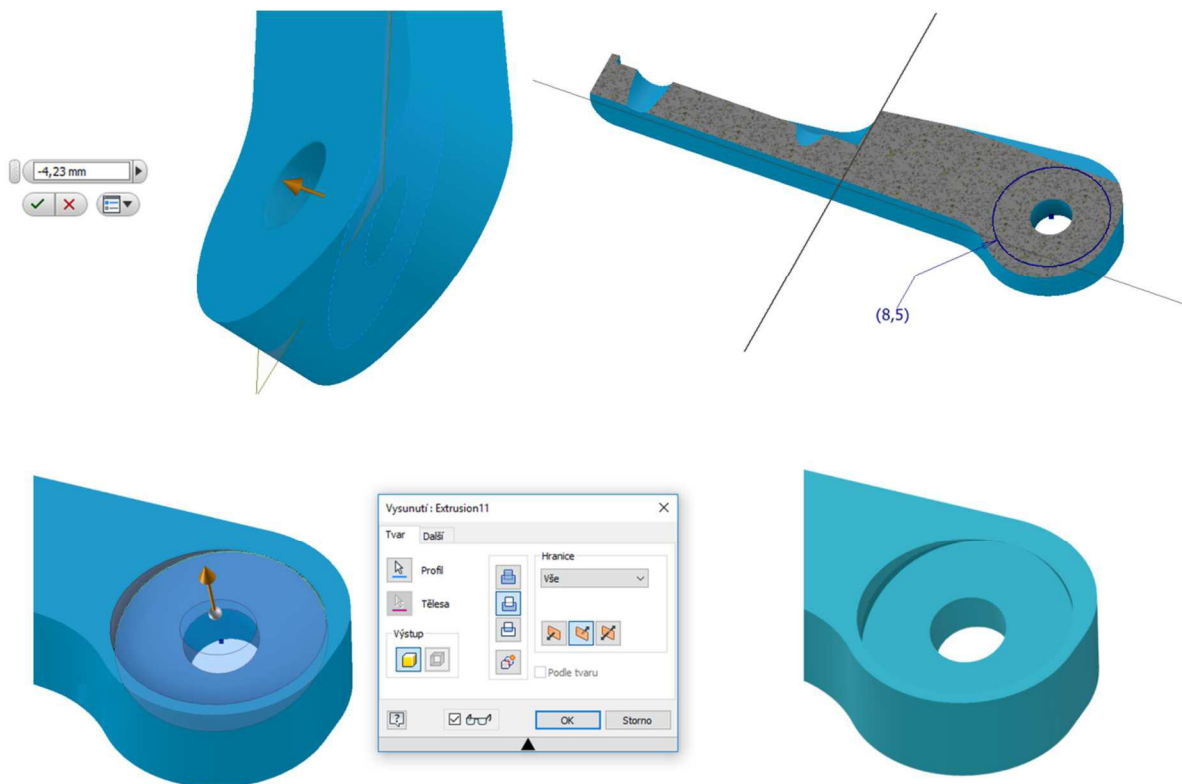
Operace č. 4 vysunutí děr



Operace č. 5 vytvoření natočené roviny a zhloubení o $\varnothing 17$ mm



Operace č. 6 vytvoření průchozí díry $\varnothing 6,1$ mm v ose zhloubení

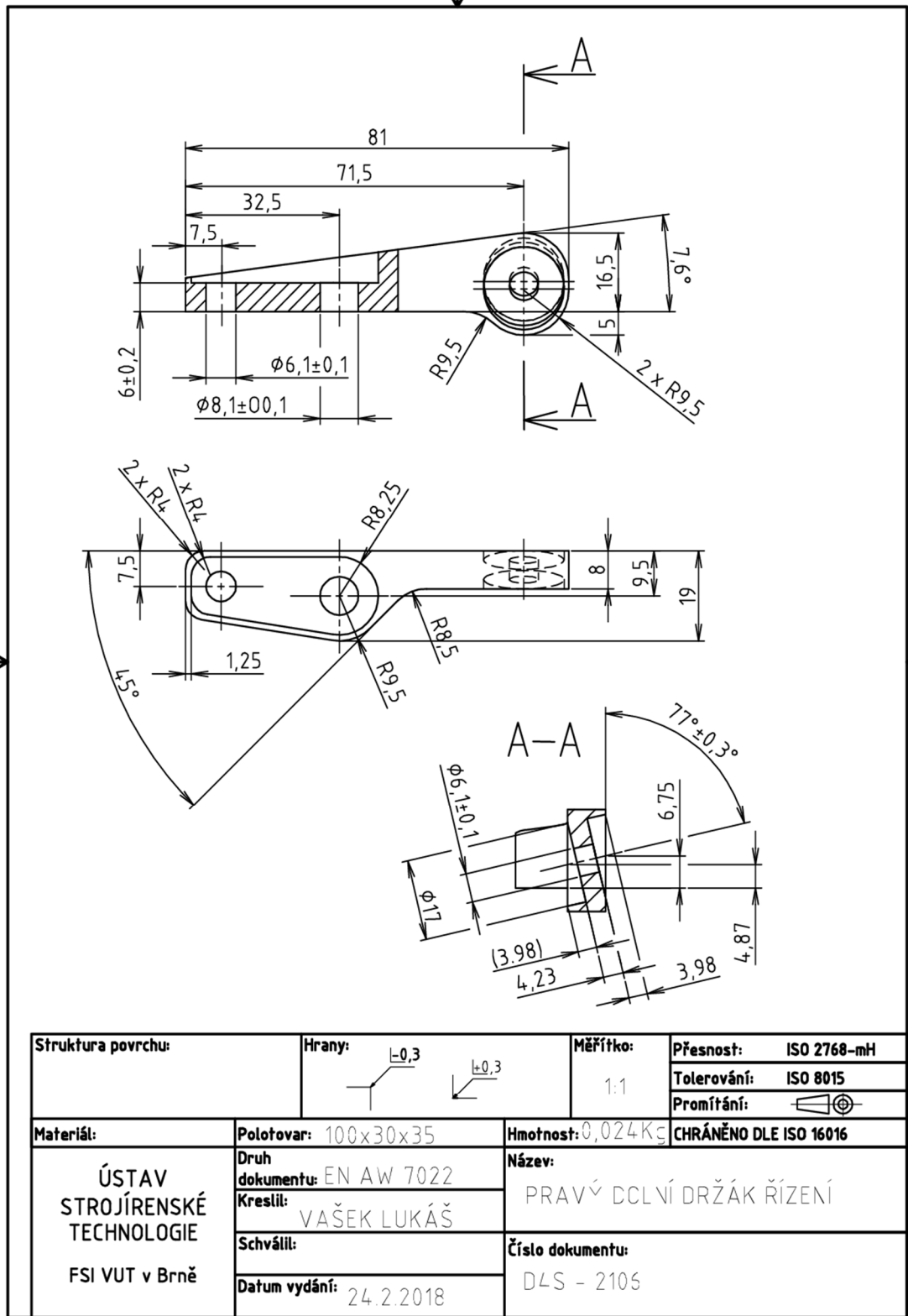


Operace č. 7 vytvoření odsazené roviny, vysunutí zhloubení o $\varnothing 17$ mm

PŘÍLOHA 2

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



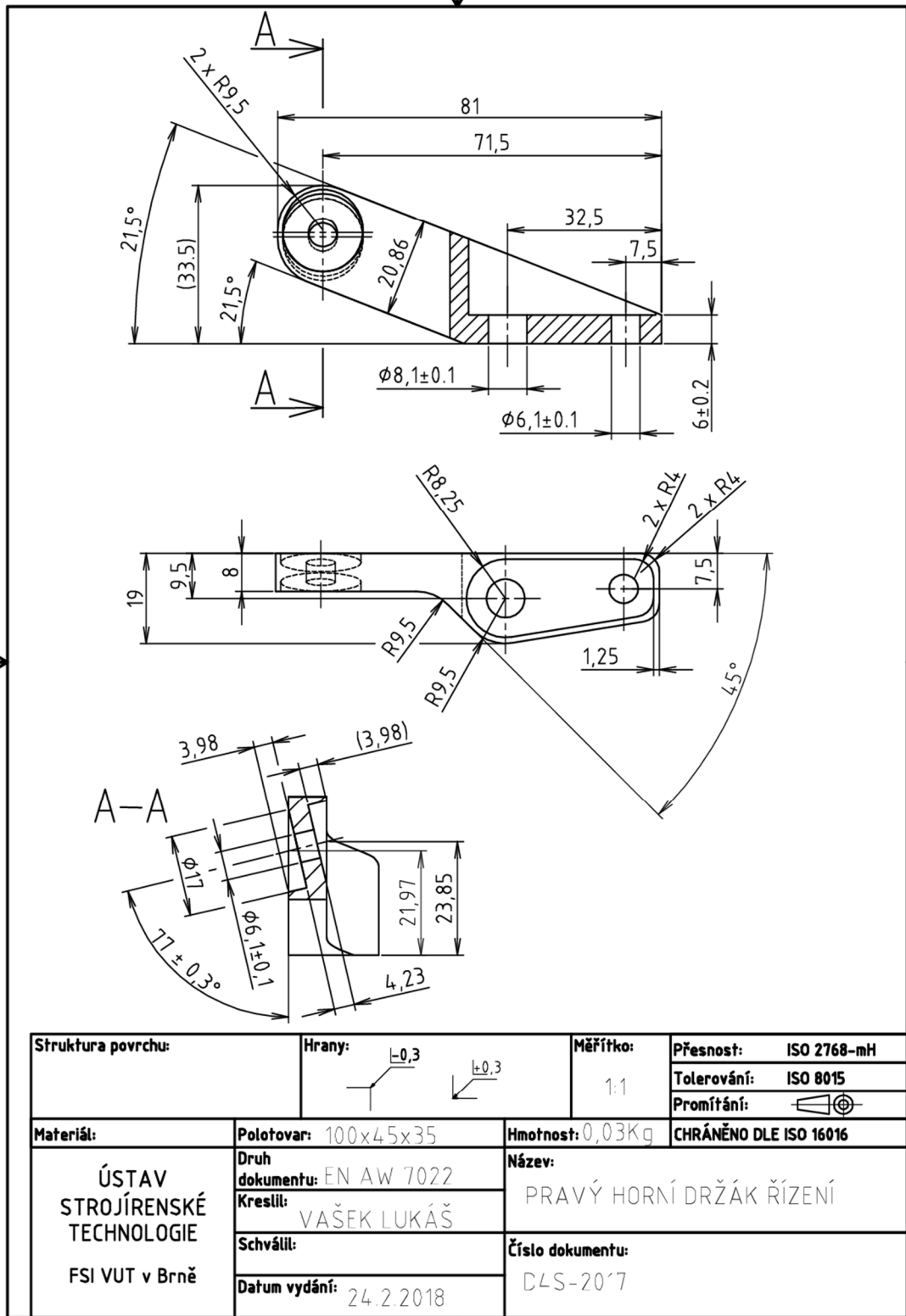
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Struktura povrchu:	Hrany: $\pm 0,3$	Měřítko: 1:1	Přesnost: ISO 2768-mH
			Tolerování: ISO 8015
			Promítání:
Materiál:	Polotovary: 100x30x35	Hmotnost: 0,024 Kg	CHRÁNĚNO DLE ISO 16016
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE FSI VUT v Brně	Druh dokumentu: EN AW 7022	Název: PRAVÝ DCLNÍ DRŽÁK ŘÍZENÍ	
	Kreslil: VAŠEK LUKÁŠ		
	Schválil:	Číslo dokumentu: DLS - 2105	
	Datum vydání: 24.2.2018		

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PŘÍLOHA 3

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Struktura povrchu:		Hrany: $\pm 0,3$		Měřítko: 1:1	Přesnost: ISO 2768-mH
					Tolerování: ISO 8015
					Promítání:
Materiál:	Polotovary: 100x45x35	Hmotnost: 0,03Kg	CHRÁNĚNO DLE ISO 16016		
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE FSI VUT v Brně	Druh dokumentu: EN AW 7022	Název: PRAVÝ HORNÍ DRŽÁK ŘÍZENÍ			
	Kreslil: VAŠEK LUKÁŠ	Číslo dokumentu: DLS-2017			
	Schválil:				
	Datum vydání: 24.2.2018				

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PŘÍLOHA 4

VUT	VÝROBNÍ POSTUP	ČÍSLO VÝKRESU	NÁZEV SOUČÁSTI	DOLNÍ PRAVÝ DRŽÁK ŘÍZENÍ	DATUM	2.3.2018		
FSI	VYHOTOVIL	D4S-2106	POLOTOVAR	91x26,5x29 - EN AW 7022	ČÍSLO LISTU	ČÍSLO LISTU		
Č. op.	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště	Popis práce v operaci	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky	Číslo nástroje	Výrobní podmínky			
				v_c [m/min]	f_z [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_A [min]
10	upnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti	stanovit mulový bod (1)	svěrák, palička	-	-	-	-	-
20	ručně natočit stůl v ose B o 77°		dotyková sonda Heidenheim TS 220	6	-	-	-	-
30	dílenské programování		-	-	-	-	-	-
40	DECKEL MAHO 50		-	-	-	-	-	-
50	zhloubení ø 17 mm a průchozí díra ø 6,1 mm		fréza čelní válcová ø 4	1	65	0,0225	1	7500
60	přepnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti		svěrák, palička	-	-	-	-	-
70	stanovit mulový bod (2), kontrola ustavení		dotyková sonda Heidenheim TS 220	6	-	-	-	-
80	dílenské programování		-	-	-	-	-	-
90	zhloubení ø 17 mm		fréza čelní válcová ø 4	1	65	0,0225	1	7500
100	upnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti		svěrák, palička	-	-	-	-	-
110	stanovit mulový bod (3)		dotyková sonda Heidenheim TS 220	6	-	-	-	-
120	hrubování		fréza čelní válcová ø 18	2	170	0,038	3	3000
130	1. zbytkové hrubování		fréza čelní válcová ø 6	3	144	0,029	3	7500
140	2. zbytkové hrubování		fréza čelní válcová ø 6	3	144	0,029	1	7500
150	dokončování v hladině Z		kulová fréza stopková ø 6	4	145	0,03	0,3	7500
160	dokončování 3d konturováním		rádusová fréza stopková ø 6	5	145	0,033	0,3	7500
170	přepnout do svěráku za délku 91 mm		svěrák, palička	-	-	-	-	-
180	stanovit mulový bod (4), kontrola ustavení		dotyková sonda Heidenheim TS 220	6	-	-	-	-
190	frézování čelní plochy		fréza čelní válcová ø 18	2	170	0,038	3	3000
200	upnout do svěráku za délku 91 mm		svěrák, palička	-	-	-	-	-
210	stanovit mulový bod (5), kontrola ustavení		dotyková sonda Heidenheim TS 220	6	-	-	-	-
220	hrubování		fréza čelní válcová ø 6	3	144	0,029	3	7500
230	dokončování		rádusová fréza stopková ø 6	5	145	0,033	0,3	7500
240	ručně odstranit ostřiny		-	-	-	-	-	-

PŘÍLOHA 5

VUT	VÝROBNÍ POSTUP	ČÍSLO VÝKRESU	D4S-2107	NÁZEV SOUČÁSTI	HORNÍ PRAVÝ DRŽÁK ŘÍZENÍ	DATUM		2.3.2018			
						ČÍSLO LISTU	ČÍSLO LISTU				
FSI	VYHOTOVIL	LUKÁŠ VAŠEK		POLOTOVAR	91x38,5x29 - EN AW 7022	Výrobní podmínky		t _A [min]			
Č. op.	Popis práce v operaci			Výrobní nástroje, přípravy, měřidla, pomůcky	Číslo nástroje	v _c [m/min]	f _z [mm]		a _p [mm]		
10	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště	upnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti			svěrák, palička	-	-	-	-		
20		stanovit nulový bod (1)			dotyková sonda Heidenhein TS 220	6	-	-	-		
30		ručně natočit stůl v ose B o 77°			-	-	-	-	-		
40	DECKEL MAHO 50 DMU	dílnské programování			-	-	-	-	-		
50		zhloubení ø 17 mm a průchozí díra ø6,1 mm			fréza čelní válcová ø 4	1	65	0,0225	1	7500	7:14
60		přepnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti			svěrák, palička	-	-	-	-	-	
70		stanovit nulový bod (2), kontrola ustavení			dotyková sonda Heidenhein TS 220	6	-	-	-	-	
80		dílnské programování			-	-	-	-	-	-	
90		zhloubení ø 17 mm			fréza čelní válcová ø 4	1	65	0,0225	1	7500	6:40
100		upnout do svěráku na šířku, za 29 mm mezi čelisti			svěrák, palička	-	-	-	-	-	
110		stanovit nulový bod (3)			dotyková sonda Heidenhein TS 220	6	-	-	-	-	
120		hrubování			fréza čelní válcová ø18	2	170	0,038	3	3000	10:49
130		1. zbytkové hrubování			fréza čelní válcová ø6	3	144	0,029	3	7500	15:17
140		2. zbytkové hrubování			fréza čelní válcová ø6	3	144	0,029	1	7500	2:21
150		dokončování v hladině Z			kulová fréza stopková ø6	4	145	0,03	0,3	7500	5:46
160	CNC obráběcí centrum	dokončování 3d konturováním			rádiusová fréza stopková ø6	5	145	0,033	0,3	7500	9:15
170		CNCMCV 754 QUICK	přepnout do svěráku za délku 91 mm			svěrák, palička	-	-	-	-	-
180		stanovit nulový bod (4), kontrola ustavení			dotyková sonda Heidenhein TS 220	6	-	-	-	-	
190		frézování čelní plochy			fréza čelní válcová ø18	2	170	0,038	3	3000	3:43
200		upnout do svěráku přes kostičku			svěrák, palička, ocelová kostička	-	-	-	-	-	
210		stanovit nulový bod (5), kontrola ustavení			dotyková sonda Heidenhein TS 220	6	-	-	-	-	
220		hrubování			fréza čelní válcová ø6	3	144	0,029	3	7500	4:57
230		ručně odstranit ostřiny			-	-	-	-	-	-	