

Realizace výroby součásti na CNC obráběcím centru DMU 50

Bc. Cyril Hořava

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Cyril Hořava
Osobní číslo:	T19498
Studijní program:	N0788A270002 Výrobní inženýrství
Studijní obor:	Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Realizace výroby součásti na CNC obráběcím centru DMU 50

Zásady pro vypracování

1. Teoretický rozbor aktuálního stavu výroby na CNC obráběcích strojích
2. Návrh a vytvoření modelu součásti ve 3D
3. Vytvoření CNC programu pro obráběcí centrum DMU 50
4. Zhotovení součásti podle programu a diskuze výrobního postupu

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

Seznam doporučené literatury:

STULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 9788024752693.

VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, 109 s. ISBN 9788074144998.

SMID, Peter. *CNC Programming Handbook: a Comprehensive Guide to Practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008, XX, 540 s. ISBN 9780831133474.

EVANS, Ken. *Programming of CNC machines*. 4th ed. Industrial Press, 2016, ISBN 978-1-5231-1572-3. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPCNCME13/programming-cnc-machines/programming-cnc-machines>

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

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

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

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá technologickou charakteristikou CNC obráběcích strojů a jejich programováním. Dále budou popsány plastové materiály, které jsou zpracovávány obráběním a specifika obrábění těchto materiálů. Cílem praktické části je zhotovení modelu následně podle modelu vytvořit CNC program a vyrobit jej na obráběcím centru DMU 50.

Klíčová slova: CNC, Programování, Obrábění, Plasty

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the technological characteristics of CNC machine tools and their programming. Plastic materials that are processed by machining and the specifics of machining these materials will be described next. The aim of the practical part is to make a model then create a CNC program according to the model and produce it on the DMU 50 machining center.

Keywords: CNC, Programming, Manufacturing, Plastics

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku mé diplomové práce.

Zvláště vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky, poskytnuté materiály, trpělivost a čas, který mi při tvorbě této práce věnoval.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ CNC STROJŮ	11
1.1 CHARAKTERISTIKA CNC ŘÍZENÍ	11
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY CNC STROJŮ	12
1.3 OBECNÉ TERMÍNY	13
1.4 SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE.....	14
1.5 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM CNC STROJE.....	16
1.6 CNC PROGRAM	22
2 PLASTY VHODNÉ K OBRÁBĚNÍ	29
2.1 PLASTY VS. KOVY.....	30
2.2 POLYAMID [PA].....	32
2.3 POLYETHYLENTEREFTALÁT, [PET].....	33
2.4 POLYTETRAFLUORETYLEN [PTFE]	35
2.5 POLYOXYMETHYLEN [POM]	36
2.6 VYSOCE HUSTOTNÍ POLYETHYLEN [PE-HD].....	37
2.8 POLYMETHYLMETHAKRYLÁT [PMMA]	41
2.9 POLYIMID [PI].....	42
2.10 POLYETHERETHERKETON [PEEK].....	43
3 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	46
3.1 SPECIFIKA OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	47
3.2 ŘEZÁNÍ	51
3.3 VRTÁNÍ.....	53
3.4 SOUSTRUŽENÍ.....	54
3.5 FRÉZOVÁNÍ.....	56
II PRAKTICKÁ ČÁST	59
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	60
5 MODEL	61
5.1 PROGRAM PRO MODELOVÁNÍ	61
5.2 TVORBA MODELU	63
7 PROGRAMOVÁNÍ A OBRÁBĚNÍ MODELU	71
7.1 PRVNÍ UPNUTÍ	72
7.1.1 Hrubování.....	73
7.1.2 Vrtání	75

7.1.3	Dohrubování.....	79
7.1.4	Dokončení.....	82
7.1.5	Shrnutí.....	88
7.2	DRUHÉ UPNUTÍ.....	90
7.2.1	Hrubování.....	91
7.2.2	Dohrubování a dokončení.....	94
7.2.3	Dokončení.....	100
ZÁVĚR.....		104
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		105
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		110
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		111
SEZNAM TABULEK.....		113
SEZNAM PŘÍLOH.....		114

ÚVOD

Programování CNC strojů je v dnešní době stále se dynamicky rozvíjející obor, který umožňuje vyrábět potřebné součásti rychleji bez zbytečných prostojů stroje a zároveň ve vyšší kvalitě jak povrchu, tak případného nežádoucího tepelného ovlivnění výrobku v porovnání s konvenčními stroji. Samotné naprogramování potřebné geometrie sice spotřebuje jistý čas. Ten je ale vykompenzován rychlostí výroby na obráběcím centru a také tím, že obsluha těchto strojů nemusí být kvalifikována na jednotlivé výrobní stroje. V teoretické části bude popsáno fungování těchto strojů využívaných pro obrábění.

Dále bude pozornost věnována obrábění plastů. Tato disciplína se v průmyslu uplatňuje stále více, hlavně kvůli nízkým počátečním nákladům a možnosti prototypové výroby. Obrábění plastů však sebou nese jistá specifika a nutná opatření, které budou popsány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ CNC STROJŮ

Urychlit, zlevnit a automatizovat výrobní proces. S tímto cílem byly v minulosti vyvíjeny NC, dnes jsou se stejnou myšlenkou konstruovány CNC stroje [7].

1.1 Charakteristika CNC řízení

Číslicově řízené výrobní stroje neboli CNC stroje jsou charakteristické převážně tím, že ovládání pracovních pohybů stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je ve stylu oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky. Programem se řídí silové prvky stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti [9].

Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátor a obsluhy, jsou soustruhy a frézky [17].

Řídicí systém CNC stroje vyšle ke stroji příkaz (například „zapni otáčení nástroje“). Může být zadán například stiskem tlačítka na řídicím panelu stroje nebo přímo z programu. Mechanismus CNC stroje příkaz vykoná a zašle zpětnou vazbu – informaci o jeho dokončení [17].

Pro zajištění automatického chodu musí být stroje vybaveny zařízením zajišťujícím pohyb nástroje vůči obrobku v jednotlivých souřadných osách. Pohony jsou motory ve spojení s posuvovými kuličkovými šrouby. Každý pohon ovládá pohyb v jedné souřadné ose. V rámci programu lze souřadnicový systém posouvat. K posunu dochází na bodu špičky nástroje, jehož pohyb se teoreticky programuje. Pohyb je nutný k určování poloměru zaoblení ostří soustruhu. Stejně tak na vztažném bodu suportu nebo vřeten, k němuž se vztahuje délková korekce nástroje. Posun je možný i v bodě nastavení nástroje. Ten leží na držáku nástroje. Bod při upnutí stroje splyne s vztažným bodem suportu nebo vřetene [17].

Podstatnou veličinou je skutečná poloha nástroje vůči obrobku. K tomu slouží odměřovací mechanismus. Odměřování je schopno zjistit hodnotu změny souřadnice nástroje vůči obrobku a umožňuje změnu převést do zobrazované hodnoty na monitoru řídicího systému [17].

Výběrem správného CNC stroje lze výrazně usnadnit a zlevnit výrobu. Zároveň s nákupem obráběcího stroje je ale potřeba odborně proškolit personál, který bude stroje programovat a ovládat [17].



Obr. 1. Ukázka CNC stroje [58]

1.2 Výhody a nevýhody CNC strojů

Žádná technologie nemá pouze výhody. Vždy je potřeba zvážit, jestli výhody převáží nevýhody. Níže budou popsány základní výhody a nevýhody CNC strojů.

1.2.1 Výhody

- Maximální pružnost – příprava programu je oddělena od vlastního stroje, minimální výpadky výroby způsobené seřizováním.
- Výroba je produktivnější a hospodárnější.
- Vyšší přesnost a kvalita s minimální zmetkovitostí i u složitějších tvarů.
- Výrobní program lze snadno a rychle měnit, stroj je snadno přizpůsobitelný střídání dávek. Obsluha nemusí být soustředěná, může současně obsluhovat i více strojů.
- Odpadají chyby a nepřesnosti způsobené nepozorností či únavou lidského faktoru.

- Zmenšují se požadavky na kvalifikaci pracovníků obsluhy, vyšší požadavky jsou kladeny na pracovníky zabezpečující seřizování a servis.
- Umožňují výrobu součástí, jejichž tvar je určen složitějšími matematickými funkcemi.
- Výrobní čas je přesně stanoven programem, není závislý např. na prostojích obsluhy.
- Používá se dokonalé nářadí, což se projeví ve zvýšení přesnosti a produktivity.
- Nemusí se skladovat náhradní díly – požadované součásti lze snadno a rychle vyrobit pomocí již připravených programů atd [9].

1.2.2 Nevýhody

- Vysoká pořizovací cena nových CNC strojů.
- Vyšší požadavky na kvalifikaci pracovníků zajišťujících seřizování a servis.
- Složitější technologická příprava výroby [9].

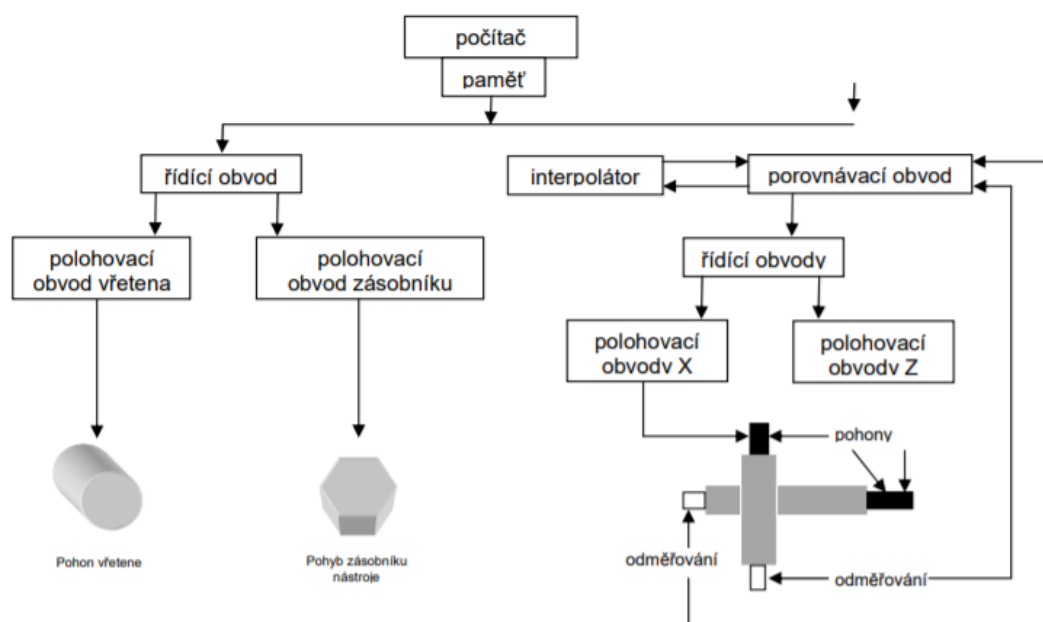
1.3 Obecné termíny

- Číslicové řízení (NC) – automatické řízení procesu prostřednictvím zařízení, které využívá zavedená číselná data, zatímco činnost pokračuje.
- Číslicové řízení počítačem (CNC) – realizace NC používající počítač k řízení funkcí stroje.
- Distribuované číslicové řízení (DNC) – hierarchický systém pro distribuci dat mezi počítačem řízenou výrobou a NC. Pozn.: přímé číslicové řízení je zastaralý pojem, označující systém připojující více číslicově řízených strojů ke společné paměti pro uložení programu obrobku nebo programu pro obrábění, která na požádání zajišťuje distribuci dat do strojů.
- Procesor – počítačový program, který provádí výpočty podle programu obrobku a připravuje data polohy rezného nástroje pro konkrétní obrobek.

- Postprocessor – počítačový program, který upravuje výstup CAD dat na program pro obrábění (CAM data) pro zhotovení obrobku na konkrétní kombinaci obráběcího stroje a řídicího systému [16].

1.4 Schéma CNC obráběcího stroje

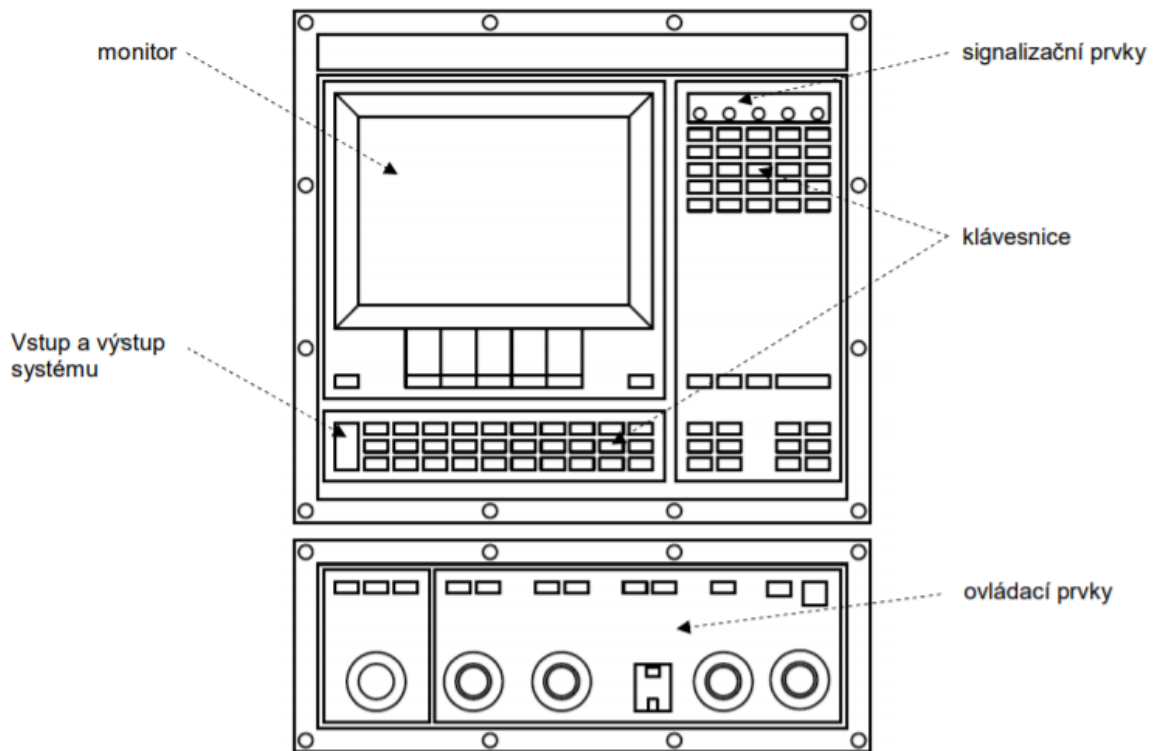
Každé řízení CNC stroje má svá specifika, ale pokud se zaměříme na hlavní komponenty, tak každý stroj musí obsahovat následující součásti [9].



Obr. 2. Blokové schéma CNC obráběcího stroje [20]

- Počítač – jedná se o průmyslový počítač s nahaným řídicím systémem, který je součástí stroje. Je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí panelu lze provádět potřebné úkony při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího a pro práci v dalších režimech stroje. Též umožňuje pomocí příslušného softwaru řídicího systému vytvářet požadovaný CNC program.
- Řídicí obvody – v těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje – motory vřetene a posuvů, ventily atd.

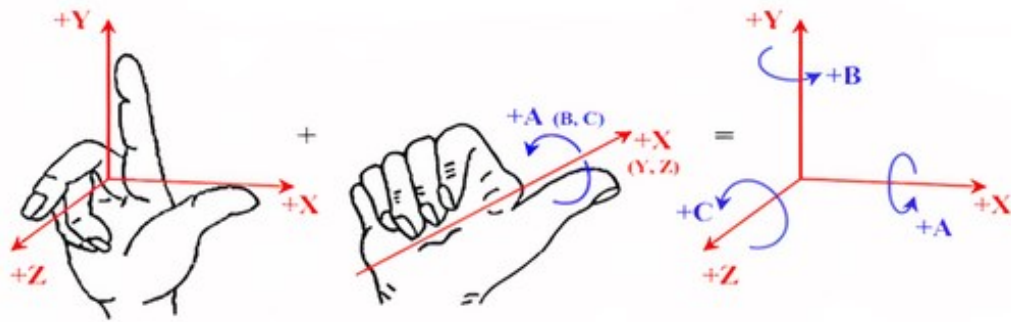
- Interpolátor – řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrií, a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje. Vypočítává tedy ekvidistantu pohybu bodu nástroje, která je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku.
- Porovnávací obvod – stroj musí být vybaven zpětnou vazbou (až na výjimky u jednoduchých CNC strojů určených pro základní výcvik obsluhy), která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Stroj musí být vybaven odměřováním, které slouží ke zjištění dosažených souřadnic.
- Řídicí panel (může být řešen jako na Obr. 3) se dělí na několik částí, lišících se svým významem:
 - vstup dat – část alfa numerická, pomocí níž se ručně zapisuje např. program, data o nástroji, o seřízení stroje, strojní konstanty atd,
 - ovládání stroje – část speciální, pomocí které se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřetene, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, otáček apod.,
 - volba režimu práce – lze volit ruční režim, automatický režim, dílenské programování atd.
 - aktivace paměti – vyvolání jednotlivých druhů paměti,
 - aktivace testů – vyvolání testů programů a testu stroje, simulací programů,
 - obrazovka – slouží ke kontrole prováděných činností.
- přenosný panel – slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje tak, jako základní část klávesnice. Umožňuje při seřízení a ovládání stroje obsluze přejít do míst, které poskytují přesnější a dokonaleji možnost vizuální kontroly [20].



Obr. 3. Možné provedení řídicího panelu CNC stroje [20]

1.5 Souřadnicový systém CNC stroje

Výrobní CNC stroje používají souřadnicový systém zvaný kartézský. Kartézský systém souřadnic je nezbytný pro řízení stroje. Jeho definice je dána normou ČSN ISO „Terminologie os a pohybu“ [56]. Jedná se o systém, který je pravotočivý, pravouhlý, se základními osami X, Y a Z. Dále se používají i doplňkové osy UVW, které jsou rovnoběžné se základními osami. Otáčivé pohyby kolem os se označují jako A, B a C (Obr. 4). V tomto souřadnicovém systému se nástroj pohybuje dle příkazů zadaných ve spuštěném programu. S kartézským souřadnicovým systémem se nejčastěji setkáváme při tvorbě programů, kde se snažíme jeho počátek umístit do nejvhodnějšího místa na obrobku, které nazýváme nulový bod obrobku. Jeho poloha může být libovolná, měl by ale být definován v bodě, ke kterému je na výkresu vztaženo nejvíce kót [16].



Obr. 4. Definování kartézských souřadnic v pravotočivé soustavě souřadnic [18]

Tab. 1. Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os [19 - upraveno]

Osy-Druhy				Určeno pro
Základní osy	X	Y	Z	Geometrie pohybu nástroje
Rotační osy	A	B	C	Pokud konstrukce stroje umožňuje provádět rotační pohyby v osách, jsou označeny jako A, B, C – např. u soustruhu, který používá přídavné rotační nástroje, je využita osa C pro nastavení polohy obrobku vůči nástroji
Doplňkové osy	I	J	K	Parametry interpolace, které vyjadřují např. určení středu poloměru oblouku na obrobku v souřadnicích, stoupání závitu v jednotlivých osách a další.
Sekundární doplňkové osy	U	V	W	Přídavné pohyby v osách, např. hloubka řezu
Terciální doplňkové osy	P	Q	R	Většinou pro programování manipulátorů u strojů

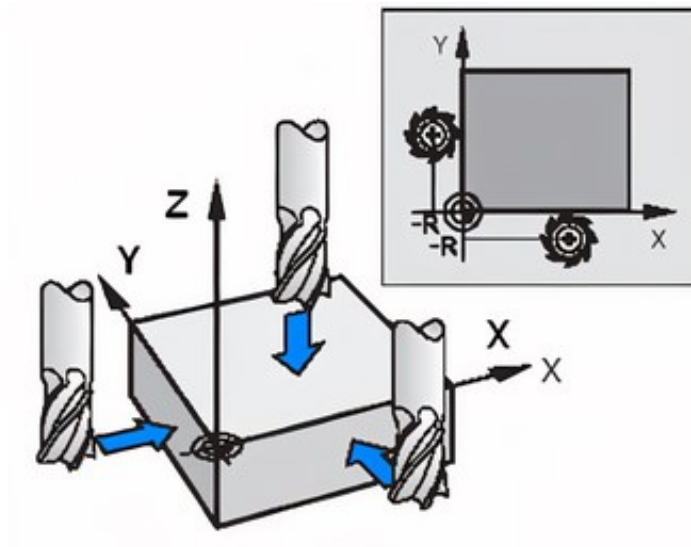
1.5.1 Důležité body CNC stroje

Každý CNC stroj má předem určený pracovní prostor, ve kterém se pohybuje. Řídící systém stroje aktivuje ihned po zapnutí souřadnicový systém, který umožňuje určovat polohu tělesa. V souřadnicovém systému existuje několik vztažných bodů, se kterými se je potřeba před prací na CNC stroji blíže seznámit [9,16].

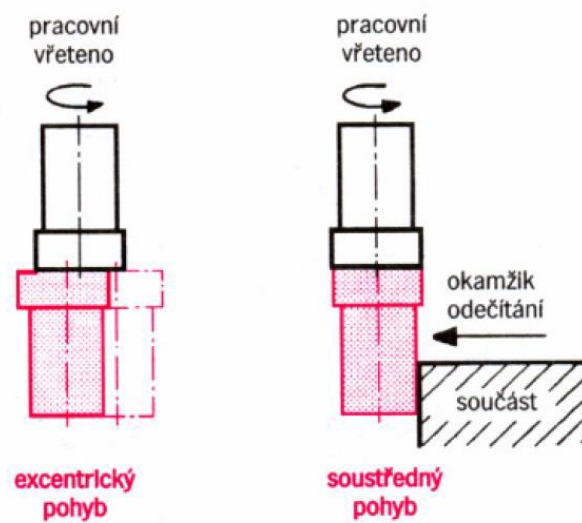
M – nulový bod stroje: tento bod je stanoven výrobcem a je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. Nemůže jej měnit ani programátor. U frézky bývá nulový bod stroje M umístěn obvykle z pohledu obsluhy vlevo, vpředu. Jedná se o polohu v krajních polohách stolu frézky, v obou osách [9,16].

W – nulový bod obrobku: nulový bod obrobku si nastavuje samotný programátor nebo obsluha tak, aby pro ně bylo výhodné stanovit souřadnice v osách. Od něho se potom počítá tvar samotné součásti. Obsluha nebo programátor mají pro určení nulového bodu obrobku W tyto možnosti [9,16]:

- naškrábnutím nástrojem – není nejpřesnější (ovalita, házení polotovaru, zručnost obsluhy), nevyžaduje ale náklady na zařízení (Obr. 5),
- pomocí excentrického měřicího dotyku (Obr. 6),
- pomocí měřicí sondy (Obr. 7),
- aj [20].



Obr. 5. Naškrábnutím nástroje [20]



Obr. 6. Excentrickým měřícím dotykem [20]



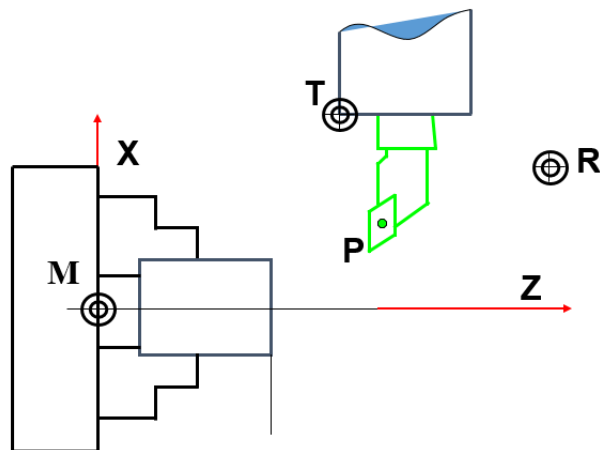
Obr. 7. Měřicí sondou [44]

R – referenční bod stroje: je stanoven výrobcem a najdeme ho v pracovním prostoru stroje. Vzdálenost referenčního bodu stroje R a nulového bodu stroje M jsou výrobcem přesně odměřeny a vloženy do paměti řídicího systému. Referenční bod je realizován obvykle koncovými spínači. Po každém zapnutí CNC stroje je nutné najet referenční bod stroje, aby ŘS poznal svoji polohu v souřadnicovém systému právě podle souřadnic referenčního bodu. Stroj si přičítá korekce aktuálně nastaveného nástroje [9,16].

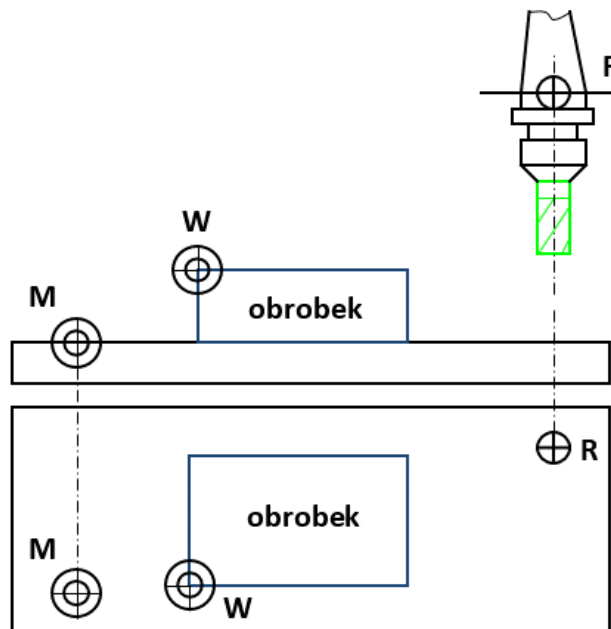
P – bod špičky nástroje: Používá se pro stanovení délkové korekce nástrojů. F – vztažný bod supportu, nebo vřetene: Je to bod výměny nástroje. Je umístěn na čele a v ose revolverové hlavy u soustruhu (Obr. 8), nebo u frézky (Obr. 9) na čele vřetene v ose její rotace. K bodu F se vztahuje délková korekce nástroje [9,16].

E – bod nastavení nástroje: Bod na držáku nástroje, který se při upnutí ztotožní s bodem F. Je nutný pro zjištění korekcí nástroje na přístroji mimo stroj [9,16].

Bod výměny nástroje: Je určen programátorem tak, aby výměna nástrojů proběhla v bezpečném prostoru. Při automatické výměně nástrojů je přednastaven funkcí v programu [9,16].



Obr. 8. Vztažné body soustruhu [43]

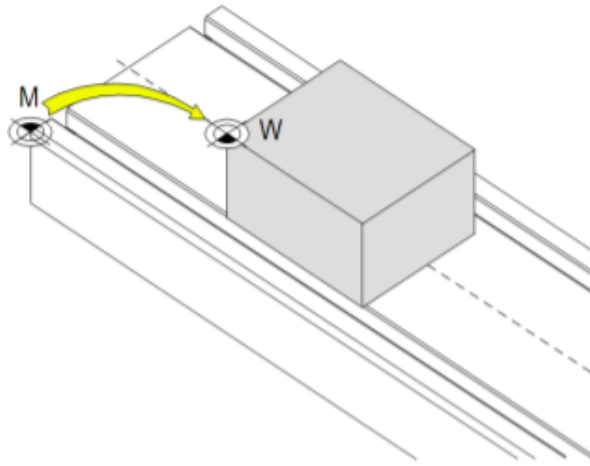


Obr. 9. Vztažné body frézky [43]

Na začátku obrábění (tvorby programu) je nutné posunout souřadnicový systém z nulového bodu stroje do nulového bodu obrobku. Současné systému umožňují dvojí typ posunutí počátku:

- absolutní (nastavené) posunutí – v programu se vyvolá přípravnou funkcí (G54 – G57) - jednotlivá posunutí jsou absolutní – udávají vzdálenost bodu W od bodu M – každé nové posunutí ruší předcházející.

- programovatelné (aditivní) posunutí (G58 – G59) - je relativní – udává vzdálenost od v té době aktivního bodu W – přičítá se k absolutnímu posunutí – působí jen ve větě, ve které bylo voláno [20].



Obr. 10. Posunutí nulového bodu obrobku – W [20]

1.6 CNC program

Někdy též označován jako part program. Je soubor geometrických, technologických a pomocných informací, které popisují činnost numericky řízeného stroje. Prostředky pro programování zachovávají jednoduchou skladbu slov (příkazů) seřazených v daném řetězci nazývaný programovací kód.

Informace obsažené v programu lze rozdělit na:

Geometrické – popisující dráhy nástroje, které jsou dány rozměry (tvarem) konkrétní obráběné součásti (způsob pohybu nástroje – přímka, kruhový oblouk).

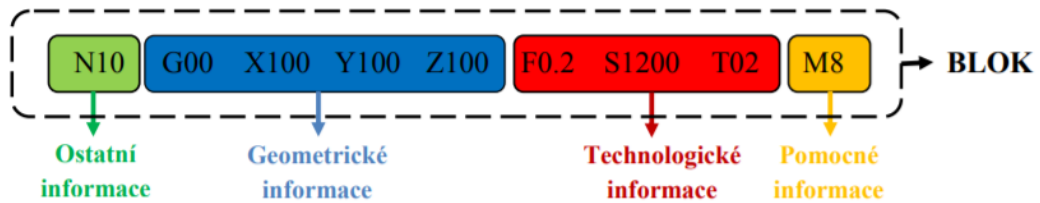
Technologické – určují technologii obrábění s ohledem na optimální řezné podmínky (hodnota řezné rychlosti, posuvu, hloubky řezu).

Pomocné – zahrnují ostatní informace nutné k výrobě součásti (zapnutí nebo vypnutí řezné kapaliny, otáček, konec nebo stop programu).

Ostatní – jsou další informace důležité v orientaci v programu (čísla bloků, poznámka...) [9].

1.6.1 Stavba CNC programu

Program se skládá z tzv. BLOKŮ (vět, řádků), bloky se skládají z jednotlivých PŘÍKAZŮ (slov), která obsahují adresovou část a významovou část [10].

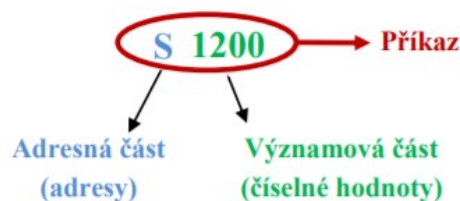


Obr. 11. Stavba CNC programu [10]

Tab. 2. Popis struktury bloku [9 - upraveno]

Popis struktury bloku		Druh informace
N	Číslo bloku	Ostatní
G	Přídavné funkce	Geometrické
X, Y, Z	Souřadnice	
F	Rychlost posuvu	Technologické
S	Otáčky vřetena	
T	Volba nástroje	
M	Pomocné funkce	Pomocné

Příkazy (slova) v bloku (Obr. 11) jsou: N10, G00, X100, Y100, Z100, F0.2, S1200, T02, M8. Slovo se dělí na adresnou část a na významovou část to je znázorněno na Obr. 12.



Obr. 12. Dělení slova [10]

Tab. 3. Nejdůležitější funkce [9 - upraveno]

Označení funkce	Název funkce		Použití
G00	Lineární	Rychloposuvy	Programuje se v souřadnicích os. Uvádí se cílový bod v souřadnicích, případně další adresy.
G01	interpolace	Pracovní posuvy	
G02	Kruhová	Ve směru hodinových ručiček	
G03	interpolace (zhotovení rádiusů)	Proti směru hodinových ručiček	
G17	Pracovní rovina	X–Y	Určení roviny, ve které se provádí pracovní posuvy a rychloposuvy.
G18		Z–X	
G19		Y–Z	
G33	Řezání závitů	Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez přídavku.	
G40	Zrušení korekcí	Vypnutí matematického aparátu výpočtu ekvidistanty.	
G41	Zapnutí korekce	Výpočet dráhy nástroje (její ekvidistanty).	Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury.
G42	rádiusů		Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury.
G45, G46, G47	Nájezdy nástrojem	Realizují se po přímce, rádiusu, oblouku, pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu.	
G54 – G59	Posuny nulového bodu	Posuny absolutně i přírůstkově, na začátku i v průběhu programu.	
G99	Absolutní	Programování – popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.	
G91	Přírůstkové	Programování – popis dráhy nástroje, o kolik se posune v osách.	
G92 (G50)	Omezení otáček	Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečný chod stroje.	
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček	Při pohledu do vřetene stoje, nikoli ze strany obsluhy.
M04		Proti směru hodinových ručiček	
M05	Zastavení vřetene		
M06	Výměna nástroje	Do této funkce se doplňují délkové korekce.	
M07 – M08	Zapnutí čerpadla	Chlazení. Mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).	

M09	Vypnutí čerpadla	
M17	Konec podprogramu	Vrací do hlavního programu.
M30	Konec programu	Návrat na začátek hlavního programu

Existuje více způsobů, jak vytvořit program pro danou součást. Program lze napsat ručně (psaní ISO kódu) využít dílenské programování nebo využít CAD/CAM systémy.

Je samozřejmostí, že kvalifikovaný programátor ovládá všechny tyto způsoby programování. Níže budou jednotlivé způsoby popsány [9].

1.6.2 Programování v ISO

Programování ISO kódu je tou nejzákladnější formou, která je standardizována a je využitelná napříč řídicími systémy. Prakticky to znamená, že programátor vytváří dráhy nástroje v G-kódu, tedy v programovacím jazyku, kterým se obráběcí stroje přímo řídí. Tato varianta není v průmyslu příliš užívaná vzhledem k časové náročnosti. Je však velice užitečné mít znalosti alespoň minimálních základů. Čím více programátor ovládá programování pomocí ISO dialektu, tím lépe může provádět korekce programů vzniklých dalšími způsoby tvorby programu a odhalit případné chyby [9].

Výhody:

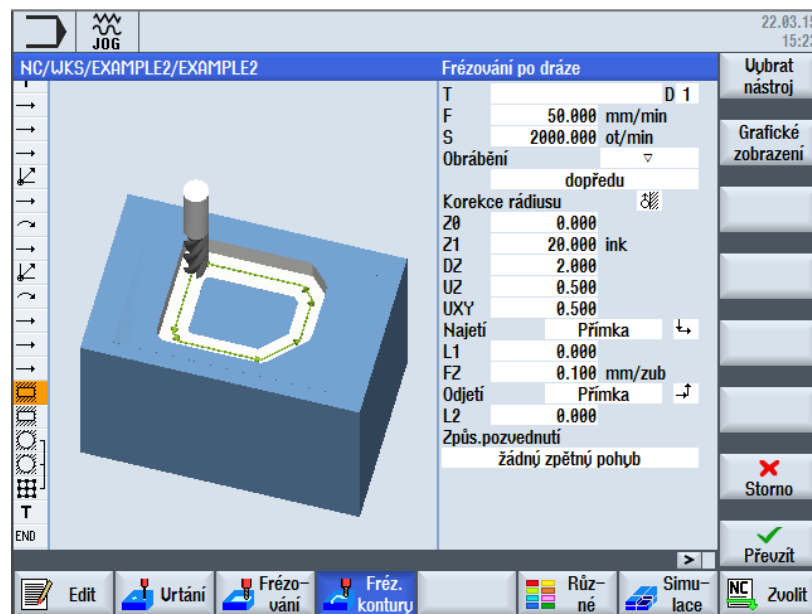
- jednoznačné,
- platný pro všechny řídicí systémy,
- NC program je možné psát v poznámkovém bloku.

Nevýhody:

- větší riziko tvorby lidské chyby,
- pracné,
- vyšší nároky na programátora.

1.6.3 Dílenské programování

Postupem doby a vývojem techniky, především výkonnější hardware přímo na stroji, se v některých případech přenáší programování do dílny. Kvalifikovaná obsluha v překrytém čase, kdy koná pasivní dozor u CNC stroje, který obrábí, využívá čas a připravuje si program pro další vyráběnou součást. Obsluha může programovat na svém pracovišti, pokud má k dispozici počítač s příslušným editorem nebo přímo na stroji během obrábění, pokud to řídicí systém stroje umožňuje. Zde je jednodušnost programování v dílně. Programuje se interaktivně, při využití grafické podpory tak, že lze přímo na simulátoru v editoru vidět simulaci obrábění dynamicky po jednotlivě napsaných blocích. Programuje se ve smyslu zde popsaných způsobů. Toto programování má své výhody, jako je úleva programátorům ve smyslu nezdržování programátorů jednoduchými dílci, které by mohla obsluha efektivněji naprogramovat sama v obráběcím čase stroje za účelem zrychlit výrobu a ušetřit tak výrobní časy, a nevýhody např. pokud kontrola zjistí chybu tak veškerá zodpovědnost padá na obsluhu stroje, a ne na programátora, tudíž nedochází ke vzájemné kontrole mezi programátorem a obsluhou [9].



Obr. 13. Ukázka dílenského programování [12]

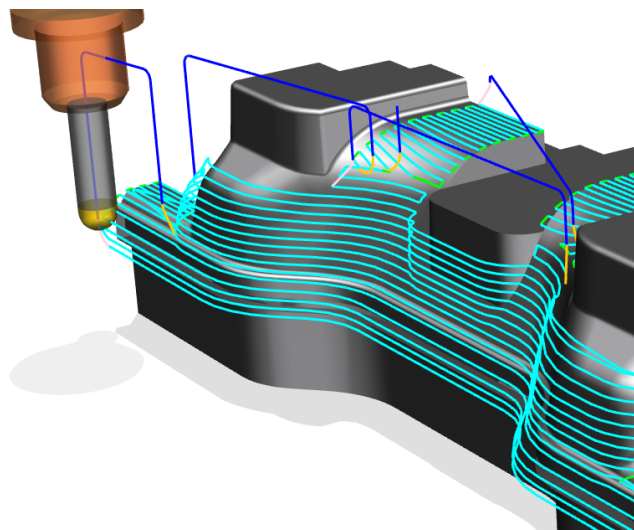
1.6.4 Programování CAM systémy

Programování v CAM (Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora obrábění) systémech se stále více uplatňuje v praxi, zejména kvůli rychlosti, s níž je vyhotoven program, napomáhá tomu i přímé převzetí výkresu od konstruktéra v digitální podobě (ve 2D, 3D modelu z CAD systému) technologem-programátorem, což znamená podstatné zrychlení průběhu zakázky na straně podniku. Následuje výroba, montáž a již lze výrobek expandovat.

Programy pro některé tvary požadovaných výrobků (např. forem) nelze pro jejich složitost vyhotovit jiným způsobem, nebo by bylo velmi obtížné je ručně naprogramovat. Ovšem CAM systémy mají přes různé výhody i nevýhody. Tyto spočívají v obecném pochopení principu těchto systémů a ve znalosti používaného softwaru, což v začátcích působí potíže, zejména co se týče správné volby strategie obrábění ve spojení s použitou technologií a postprocesorem [9].

Práce v CAM představuje vyšší automatizovaný stupeň pro vyhotovení CNC programů, kde podle modelu, výkresu stanovíme pracovní postup (po sobě jdoucí operační úseky) Pomocí slovních příkazů, ale také graficky a číselně určíme:

- Které (a v jakém pořadí) budeme obrábět jednotlivé prvky tvaru uvedené na výkrese, jakou pro to zvolíme technologii výroby na daném obrobku a vhodném stroji (např. čelo, hrubování, hlazení, otvor, závit atd.).
- Jakým způsobem budeme obrábět jednotlivé prvky (např. otvor – vrtáním, poté soustružením).
- Jakým nástrojem tento prvek vyrobíme, určíme ho výběrem (možnosti výdejný nářadí, možnosti nákupu podle katalogu). V CAM pak může být nástroj již uložen v seznamu nástrojů nebo jej lze definovat. K použitému nástroji se váží řezné podmínky, které je mnohdy nutné korigovat (např. nůž do otvoru, jeho délka a tvar ostří ovlivňují katalogem stanovené řezné podmínky [9]).



Obr. 14. Prostředí CAM systému NX [35]

2 PLASTY VHODNÉ K OBRÁBĚNÍ

Plasty jsou umělé syntetické materiály, které mají velké molekuly složené z řetězců atomů. Jsou vyrobené ze základních chemických surovin zvaných monomery. Komponenty, které určují jejich technologické a fyzikální chování jsou polymery, které jsou syntetizovány opakovaným přidáváním jednoho nebo více typů monomerních jednotek k rostoucím molekulám. Tyto polymery jsou vždy složeny z atomů uhlíku v kombinaci s dalšími prvky.

Polymerní chemici využívají pouze 8 z více než 100 známých prvků k vytvoření tisíce různých plastů, těchto osmi prvků vodík, uhlík, dusík, kyslík, fluor, křemík, síra a chlor.

Více než 50 různých druhů plastů je dnes komerčně využíváno a každý z nich může mít desítky podtypů a variací.

Objem plastů spotřebovaných každý rok je již vyšší než ocelí. Jejich spotřeba roste tak rychle, že, objem použitých plastů bude více než dvojnásobný než všech kovů na konci tohoto století.

Produkce plastů se zvyšuje, protože mohou nabídnout působivé výhody. Obecně nekorodují; jsou lehké, často s dobrým poměr pevnosti k hmotnosti; jsou velmi nákladově efektivní kvůli lehkosti a rychlosti, s jakou mohou být tvarované a sériově vyráběné, což dává svobodu designu a zkracuje doby montáže; jsou to dobré elektrické izolátory; a jsou barevné.

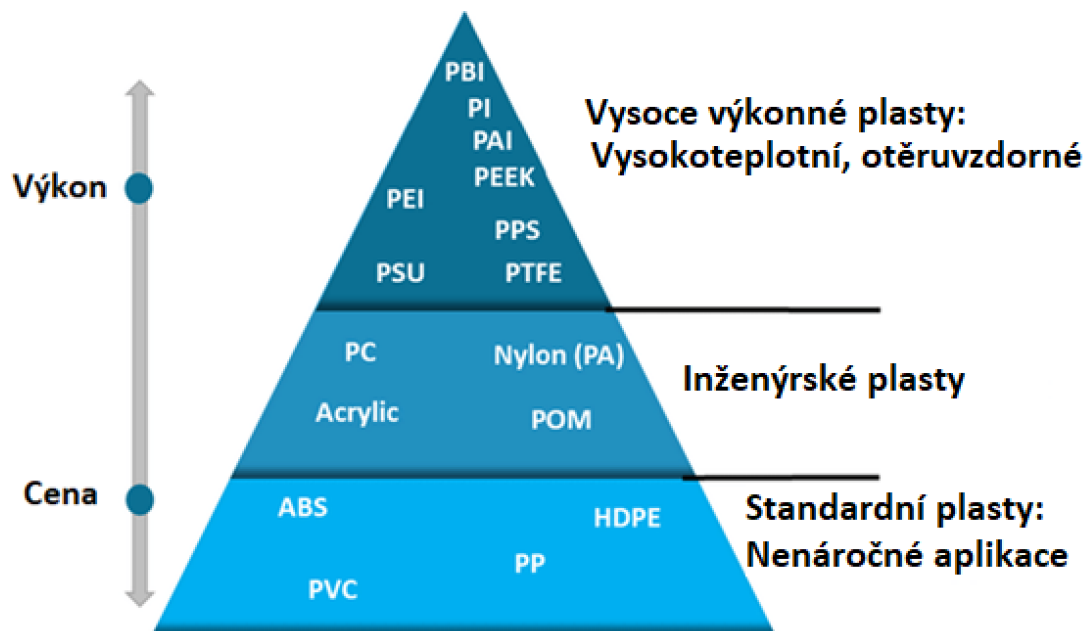
Navíc každý plastový materiál nabízí speciální vlastnosti, aby vyhovoval konkrétní aplikaci, od šálek na pití po klíčové komponenty v leteckém a kosmickém průmyslu.

Plastové díly jsou obvykle vyrobené formovacími procesy, ale pro malé množství výroby nebo pro extrémně složité nebo přesné tvary je zásadní obrábění [21].

V dnešní době vede zvyšování výkonosti komerčních plastů k nahrazování kovů v mnoha strukturálních a funkčních aplikacích [46].

2.1 Plasty vs. kovy

Plastové materiály nejsou levné. Mnohé technické plasty jsou podstatně dražší než kov. Např. Polybenzimidazol (PBI-Celazol) je až 25násobně dražší jako běžná za studena válcovaná ocel a až 15krát dražší než antikorozi ocel [1].



Obr. 15. Rozdělení plastů podle použití [36 - upraveno]

Otázkou pak je, v kterých případech upřednostnit volbu plastového materiálu před kovovými materiály.

Výhody použití plastů:

- snížení hmotnosti komponentů,
- odstranění koroze,
- snížení hladiny hluku,
- zlepšení třecích podmínek (snížení opotřebení),
- prodloužení životnosti,
- zabezpečení izolace (tepelné/elektrické),

- zabezpečení průchodu elektromagnetického záření přes součástku,
- využití vyšší tolerance plastů vůči nízké míře deformace [1].

Tab. 4. Porovnání vlastností kovových a plastových materiálů. [1 - upraveno]

	Kovové materiály	Plastové materiály
Teplota tavení	Všeobecně podstatně vyšší jak u plastů	Teplota tavení se pohybuje v rozsahu 120 °C do 300 °C
Korozivzdornost	Závisí na druhu kovu, obvykle nízká	Několika násobně nižší jak u kovů
Nasákavost	Téměř nulová	Závisí na druhu plastu – podstatně vyšší jak u kovů
Tepelná vodivost	Většina kovů je dobrým vodičem tepla	Všeobecně tepelné izolanty
Elektrická vodivost	Většina kovů je dobrým el. vodičem	Všeobecně izolanty
Útlum el. mag. záření	Výrazný	Nulový
Útlum zvuku	Nevýrazný	Výrazný
Rozměrová stabilita	Vysoká míra stability obrobku. K deformacím obrobené součástky dochází jen když byl materiál dodán v nevhodném stavu s vnitřním napětím.	Stabilita obrobku závisí na druhu plastu a podmínkách používání. Deformace se vyskytují v procesu obrábění vlivem špatné tepelné vodivosti, upínacím silám apod.
Tepelná roztažnost	Standardně do $10^{-5} \text{ m}\cdot\text{C}^{-1}$	Až pětinasobně vyšší jak u kovů

Kategorie plastových materiálů, které se používají k obrábění se nazývají technické plasty. Tento pojem zahrnuje širší spektrum materiálů, z nichž pouze některé se zpracovávají třískovým obráběním. Níže budou některé tyto materiály spolu s některými jejich vlastnostmi uvedeny.

2.2 Polyamid [PA]

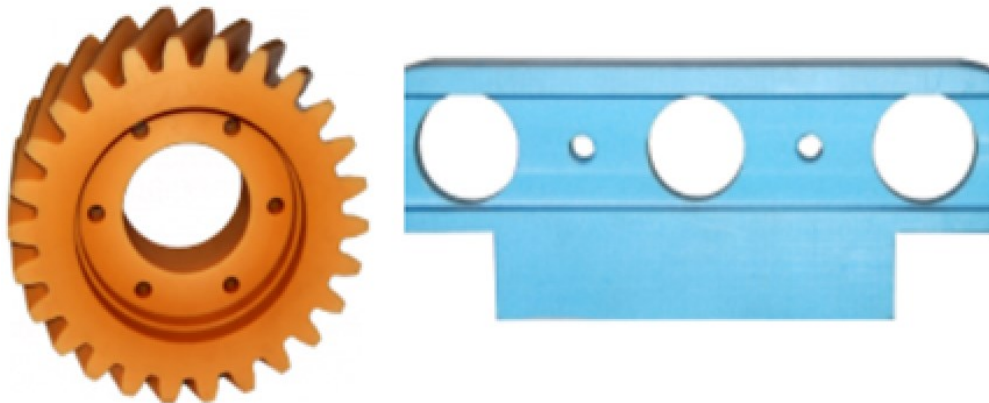
Polyamidy jsou částečně krystalické termoplasty, jejichž vlastnosti (zejména PA6 a PA66) velice silně závisí na obsahu vody. Žádný jiný termoplast neobsahuje takovou kombinaci tvrdosti a pevnosti, zároveň houževnatosti a pevnosti v tahu. Vyváženost charakteristiky vlastností přispěla k tomu, že Polyamidy jsou jedním z nejpoužívanějších plastů ve strojírenství. Rozdílné fyzikální vlastnosti, které uvedené typy mají, jsou určeny složením a stavbou jejich molekulových řetězců [3,13,14].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vysoká mechanická pevnost, tvrdost, tuhost a houževnatost,
- vysoká mez únavy,
- vysoká mechanická tlumící schopnost,
- výborné kluzné vlastnosti,
- špičková odolnost proti otěru,
- schopnost pracovat pod vysokým zatížením.

Použití:

- trubková a kluzná ložiska,
- válce pro dopravníky,
- ložisková pouzdra,
- kladky a obložení kotoučů,
- berany bucharů,
- ozubená kola,
- řezací a sekací desky,
- izolátory apod [3,13,14].



Obr. 16. Příklady výrobků z PA [14]

2.3 Polyethylentereftalát, [PET]

Předností PET je vysoká mechanická pevnost, vynikající rozměrová stabilita (lepší než POM), odolnost vůči oděru a velice dobré smykové vlastnosti. Kromě toho vykazuje dobré elektrické vlastnosti, je fyziologicky nezávadný a samozhášivý. Má velice nízkou nasákavost, která neovlivňuje mechanické a elektrické vlastnosti, Velmi nízký koeficient tepelné roztažnosti ho řadí na přední místo mezi termoplasty. Tento materiál lze dobře lepit a svářet.

Díky svým specifickým vlastnostem je čistý PET velmi vhodný pro výrobu mechanicky přesných částí, které jsou určeny pro velké zatížení a jsou vystaveny opotřebení [3,13,14].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vysoká mechanická pevnost, tuhost a tvrdost,
- velmi dobrá odolnost proti tečení,
- nízký a stálý koeficient tření,
- vynikající odolnost proti opotřebení (srovnatelná s odolností nylonů),
- vysoká rozměrová stabilita – lepší než POM,
- fyziologicky netečný (vhodný pro kontakt s potravinami),
- 100 % omyvatelnost – potravinářské provozy, jak vodou, tak i chemickými prostředky,

- mléčně bílý – potravinářské provozy [3,13,14],

Použití:

- obzvláště zatížená ložiska, pouzdra, podložky, vodící zařízení,
- rozměrově stálé části pro přesné mechanismy: pouzdra, kluzné dráhy, ozubená kola, válce, součásti čerpadel,
- izolační elektrotechnické komponenty,
- součástí v potravinářství a balících linkách [3,13,14].



Obr. 17. Příklady výrobků z PET [14]

2.4 Polytetrafluoretylen [PTFE]

Dobře známý a hodně používaný plast s velmi vysokou odolností proti teplotě (až - 200 °C a + 260 °C), vynikající chemickou odolností, s výbornými dielektrickými vlastnostmi, vysokou odolností proti stárnutí, téměř nulovou nasákavostí vodou, s nízkým součinitelem třením (za sucha plast/kalená ocel = 0,06) a tudíž dobrými kluznými vlastnostmi s efektem "neulpívání" součásti proti povrchu (bez vibrací při rozběhu mechanismů). Tyto vlastnosti umožňují použití PTFE tam, kde nemůže být použit jiný plast. Již zmíněná chemická odolnost je vskutku příznačná. PTFE odolává kyselinám, zásadám, solím a rozpouštědlům i za zvýšených teplot. Pozor však na plněné třídy PTFE, kde jeho chemická odolnost je ovlivněna typem použitého plniva [3,13,14].

PTFE má nejvyšší měrnou hmotnost ze všech plastů [3,13,14].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vynikající chemická odolnost,
- výborné kluzné vlastnosti,
- nízká odolnost proti otěru,
- výborné dielektrické vlastnosti,
- odolnost proti stárnutí,
- téměř nulová nasákavost,
- vynikající těsnicí schopnosti [3,13,14].

Použití:

- kluzná pouzdra, těsnění, kroužky, ucpávky a potrubí pro chemicky agresivní prostředí,
- obrovský rozsah použití pro těsnicí aplikace,
- součásti v leteckém a kosmickém průmyslu,
- součásti a díly pro farmaceutický průmysl,
- kluzné lišty a vedení pro vysoké teploty,
- součásti pro elektrotechnický průmysl,
- součásti pro potravinářský průmysl,

- součásti lékařských přístrojů [3,13,14].



Obr. 18. Příklady výrobků z PTFE [14]

2.5 Polyoxymethylen [POM]

Je vysoce krystalický a dělíme jej na kopolymer a homopolymer. Vyznačuje se minimálním přijímáním vody, velmi dobrou rozměrovou stabilitou a optimálními vlastnostmi pro třískové opracování. Díky příznivé charakteristice, velké tvrdosti, tuhosti a pevnosti při dobré houževnatosti, odolnosti vůči chemikáliím a chování materiálu ve smyku s odolností proti otěru úspěšně nahrazuje kovové materiály. Je odolný proti organickým rozpouštědlům. Vyznačuje se též dobrou odolností proti UV-záření u černého typu [3,13,14].

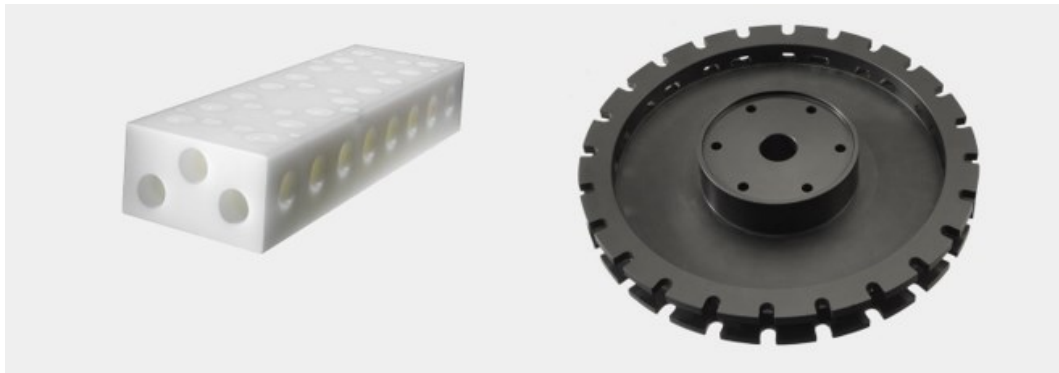
Nejdůležitější vlastnosti:

- 100% omyvatelnost v potravinářském provozu, jak vodou, tak i chemickými prostředky,
- fyziologicky netečný (vhodný pro styk s potravinami),
- vysoká rázová houževnatost i při nízkých teplotách,
- velmi dobrá rozměrová stálost (nenasákavý),
- vysoká mechanická pevnost, tuhost a tvrdost,
- bez efektu "ulpívání" na protikusy,
- dobrá odolnost proti tečení,

- vynikající obrobitelnost,
- dobré kluzné vlastnosti,
- vynikající pružnost,
- není samozhášivý [3,13,14].

Použití:

- součásti pracující nepřetržitě ve vodě o teplotě 60-80 °C,
- všechny druhy rozměrově stálých přesných strojních součástí,
- ložiska a ozubená kola s malou světlostí,
- izolační elektrotechnické komponenty,
- silně zatížené nosné plochy a válce,
- "zacvakávací" montážní sestavy,
- ozubená kola s malým modulem,
- sedla ventilů,
- vačky [3,13,14].



Obr. 19. Příklady výrobků z POM [14]

2.6 Vysoce hustotní polyethylen [PE-HD]

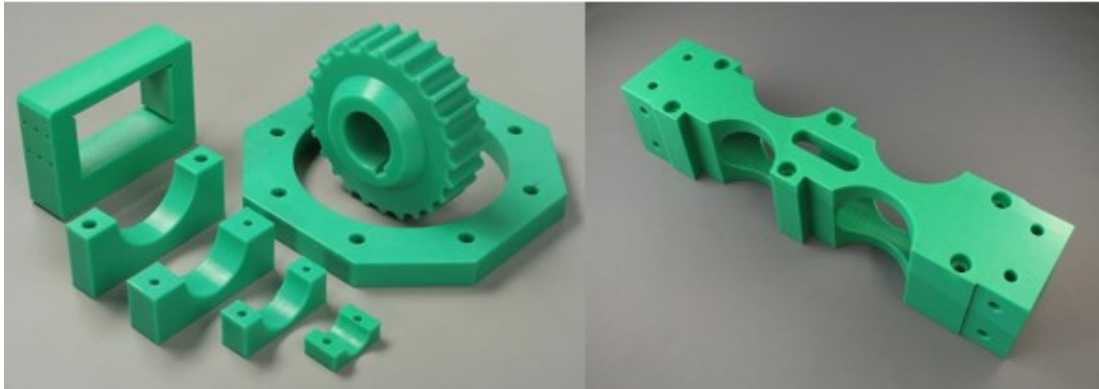
PE-HD má díky své nepolární struktuře neobyčejně vysokou odolnost vůči chemikáliím a jiným médiím. Je odolný vůči kyselinám, louhům, roztokům solí, alkoholům i benzínu. V zásadě platí, že u částečně krystalických termoplastů přibývá odolnost vůči chemikáliím se zvyšující se teplotou. Není odolný proti silným oxidačním činidlům, jako např. kyselina dusičná, ozon, výpary kyseliny sírové, peroxid vodíku nebo halogeny [3,13,14].

Nejdůležitější vlastnosti:

- dobrá odolnost proti otěru a oděru,
- vysoká rázová houževnatost dokonce i při nízkých teplotách,
- vynikající chemická odolnost,
- nízká měrná hmotnost ve srovnání s ostatními technickými plasty (méně než 1 g/cm³),
- velmi nízká absorpce vody,
- dostatečná mechanická pevnost, tuhost a odolnost proti tečení,
- velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti (pouze čisté třídy materiálů),
- výborná obrobiteľnosť,
- vhodný pro potravinářské účely,
- dobrá odolnost proti vysoké radiaci (gama a rentgenové paprsky),
- není samozhášivý [3,13,14].

Použití:

- trubky a roury,
- ložiska,
- ozubená kola,
- smršťitelné folie,
- hračky,
- sáčky (i mikroténové),
- textilní vlákna,
- elektrotechnická izolace [15].



Obr. 20. Příklady výrobků z PE-HD [14]

2.7 Polypropylen [PP]

Je ekonomický materiál, který nabízí kombinaci vynikajících fyzikálních, chemických, mechanických, tepelných a elektrických vlastností, které se nenacházejí v žádném jiném termoplastu [29].

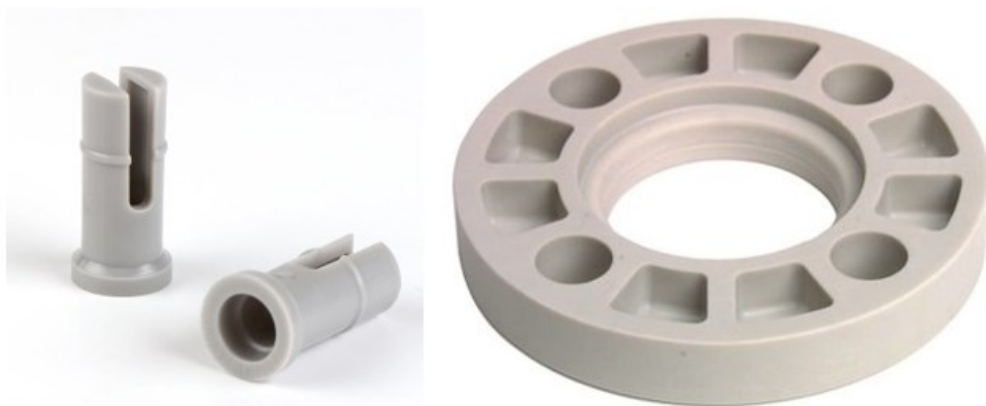
Nejdůležitější vlastnosti:

- odolný proti rázům,
- vysoká pevnost v tlaku,
- vynikající dielektrické vlastnosti,
- odolává většině zásad a kyselin,
- odolává praskání pod napětím,
- zachovává tuhost a pružnost,
- nízká absorpce vlhkosti,
- vysoká tepelná odolnost [29].

Použití:

- chemicky odolné nádrže a obložení,
- laboratorní konzoly, výlevky a kanály,

- záchodové přepážky,
- filtrační lisovací desky,
- součásti železničního přejezdu,
- součásti a skříně čerpadel,
- protetické pomůcky,
- vysekávací podložky [29].



Obr. 21. Příklady výrobků z PP [30]

2.8 Polymethylmethakrylát [PMMA]

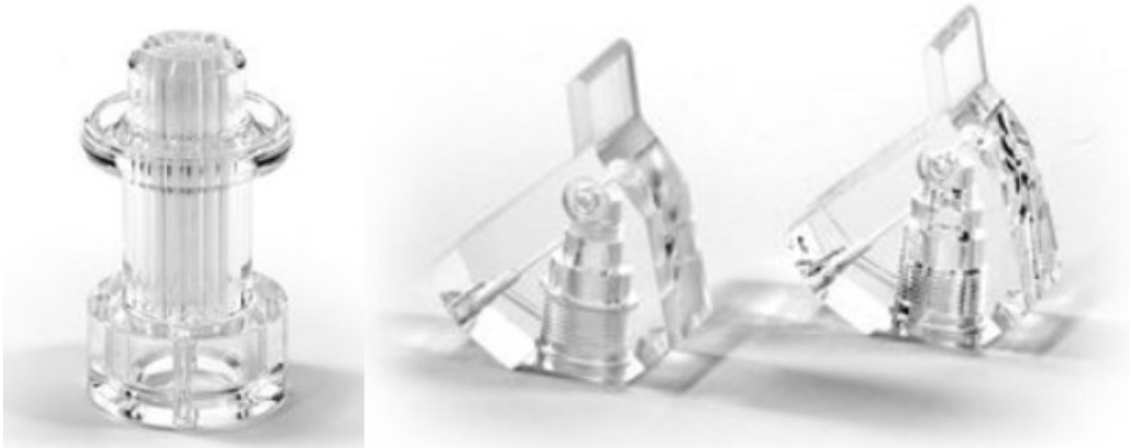
Běžně známý jako plexisklo nebo akrylátové sklo je průhledný syntetický plast s vlastnostmi termoplastu [15].

Nejdůležitější vlastnosti:

- čírost a bezbarvost i v silnějších vrstvách,
- dokonalá průhlednost,
- odolnost proti povětrnostním podmínkám,
- tvarovatelný při teplotách 130–140 °C,
- vynikající tvarová paměť,
- dobré elektroizolační vlastnosti,
- zdravotní nezávadnost,
- snadné opracování i lepení,
- snadno se poškrábe [15].

Použití:

- náhražka skla,
- ve stavebnictví,
- potravinářství,
- přístroje pro domácnost [15].



Obr. 22. Příklady výrobků z PMMA [24]

2.9 Polyimid [PI]

Vysokoteplotní plast pro extrémní nároky na odolnost [15].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vysoká pevnost v tahu v širokém teplotním rozsahu od -270°C do $+300^{\circ}\text{C}$,
- vysoká pevnost v tlaku a vysoký tlak a odolnost proti tečení,
- vynikající odolnost proti opotřebení při vysokém tlaku,
- vynikající odolnost proti praskání při napětí,
- vynikající dlouhodobá tepelně-oxidační stabilita,
- přirozeně zpomaluje hoření,
- minimální tepelná roztažnost,
- dobrá chemická odolnost vůči kyselinám, alkoholům, palivům, olejům a halogenovaným rozpouštědlům,
- vynikající elektrické izolační vlastnosti,
- nízká tepelná vodivost [25].

Použití:

- letecký průmysl,
- vakuová technika,
- elektrotechnika,
- ložisková pouzdra,
- vodící válečky [3,13,14].



Obr. 23. Příklady výrobků z PI [27]

2.10 Polyetheretherketon [PEEK]

Je semikrystalický bezbarvý technický plast [26].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vynikající odolnost proti opotřebení v širokém rozpětí provozních podmínek,
- dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti,
- velmi dobrá odolnost proti tečení, dokonce i při zvýšených teplotách,
- inherentní nízká hořlavost a velmi nízká produkce kouře při hoření,
- vynikající chemická a hydrolytická odolnost,
- špičková odolnost proti pronikavé radiaci,
- vysoké provozní teploty: 250 až 310 °C,
- vysoká pevnost, tuhost a tvrdost,

- velmi dobrá rozměrová stálost [26].

Použití:

- materiál může být využit v kosmickém, leteckém, jaderném, chemickém, automobilovém, elektrickém průmyslu,
- součásti čerpadel,
- ozubená kola,
- sedla ventilů,
- ložiska [26].



Obr. 24. Příklady výrobků z PEEK [28]

2.11 Polybenzimidazol [PBI]

Je tepelně, mechanicky a chemicky odolný heterocyklický termoplastický plast [31].

Nejdůležitější vlastnosti:

- vynikající odolnost proti opotřebení v širokém rozpětí provozních podmínek,
- velmi dobrá odolnost proti tečení, dokonce i při zvýšených teplotách,
- inherentní nízká hořlavost a velmi nízká produkce kouře při hoření,
- vysoké provozní teploty: 310 °C trvale, 500 °C krátkodobě,
- dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti,

- vynikající chemická a hydrolytická odolnost,
- vysoká pevnost, tuhost a tvrdost,
- velmi dobrá rozměrová stálost [32].

Použití:

- technologické přípravky a zařízení ve výrobě světelné techniky,
- náhrada keramických a kovových částí čerpadel a vývěv,
- extrémně vysoce mechanicky a tepelně zatížené prvky,
- kriticky namáhané části,
- vysoce-teplotní izolátory [33].



Obr. 25. Příklady výrobků z PBI [39,40]

3 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ

Po výběru optimálního plastového materiálu je potřebné zvážit technologii výroby součástky např. obrábění/vstřikování.

Většina plastových komponentů se vyrábí prostřednictvím vstřikování, což je nákladově nejvýhodnější metoda pro výrobu velkého počtu součástek. Vstřikování ale vyžaduje velkou počáteční investici do nástroje (formy) [1, 42].

Obrábění je často nákladově nejefektivnějším způsobem výroby součástí v malých až středních dávkách a prototypy (kdy náklady na formovací nástroje by byli příliš vysoké). K dispozici je široký výběr materiálů a obrábění nabízí velkou flexibilitu v designu [42, 45].

Rozměry a konstrukce součástí lze relativně snadno změnit, aniž by docházelo k nadměrným výdajům. [42].

Další výhody obrábění:

- Omezené fyzikální vlastnosti – některé materiály jako PTFE a UHMW se nedají zpracovat technologií vstřikování a pro získání finálního tvaru součástky vyžadují obrábění.
- Napětové faktory – vstřikované díly se vyznačují podstatně vyšší mírou vnitřní napjatosti jak extrudované profily, které se používají jako polotovary pro obrábění. Obrábění z tohoto důvodu přináší konzistentnější výsledky.

Typické aplikace na obrábění plastů zahrnují zpracování komponentů pro polovodičové součástky, třecí součástí těžkých zařízení a komponenty na zpracování potravin [1].

Navzdory desítkám let existence plastů a jejich velkému rozmachu dosud neexistuje univerzální metoda výběru nástrojů a výpočtu podmínek obrábění pro celou řadu těchto materiálů. Výrobci se dnes se musí spolehnout na poměrně obecná doporučení. Dokonce po experimentálním upřesnění těchto návrhů je obtížné pracovat s nástroji od jiných výrobců, protože výrobní řady se často nepřekrývají. Toto je velký problém pro výrobce, neboť určování optimálních podmínek při obrábění je časově a tím pádem i finančně náročný proces [49].

3.1 Specifika obrábění plastů

S ohledem na špatnou tepelnou vodivost a relativně nízký bod tání termoplastů je nutno zajistit, aby při obrábění vznikalo co nejméně tepla a současně aby co nejméně přecházelo na plastový obrobek. Zabráni se tak deformací, vzniku napětí v obrobku, změnám barvy a natavení povrchu. Proto je nutno dodržet následující doporučení:

- nástroje musí být udržovány neustále ostré a hladké,
- posuv by měl být co největší,
- nástroje musí mít takový tvar, aby se obráběného materiálu dotýkaly jen řeznou plochou,
- musí být zajištěn co nejlepší odvod třísky,
- při operacích, kdy vzniká nadměrné teplo (např. při vrtání), je vhodné použít chladicí médium.

Síla nutná pro obrábění technických plastů je nižší než síla nutná pro obrábění kovů, a navíc příliš vysoké upínací síly vedou k pružné deformaci obrobku, což má vliv na přesnost obrábění. Proto je nutno snížit upínací tlaky a při obrábění např. tenkostěnných pouzder je nezbytné obrobek podpírat [6].

3.1.1 Stroje

Plastové materiály je možné obrábět na běžných kovoobráběcích, popř. dřevoobráběcích strojích. Nejsou tedy potřeba žádné speciální stroje [6].

3.1.2 Řezné nástroje

Vhodné jsou běžné materiály používané pro kovoobrábění. Pro svou dlouhodobou trvanlivost jsou však nástroje s břitem ze slinutého karbidu lepší než nástroje z uhlíkaté oceli. Platí to zejména při obrábění grafitu, MoS_2 a termoplastů vyztužených skelným vláknem [6].

3.1.3 Chlazení

Při operacích, během nichž vzniká značné teplo (vrtání a řezání), je nutné chlazení.

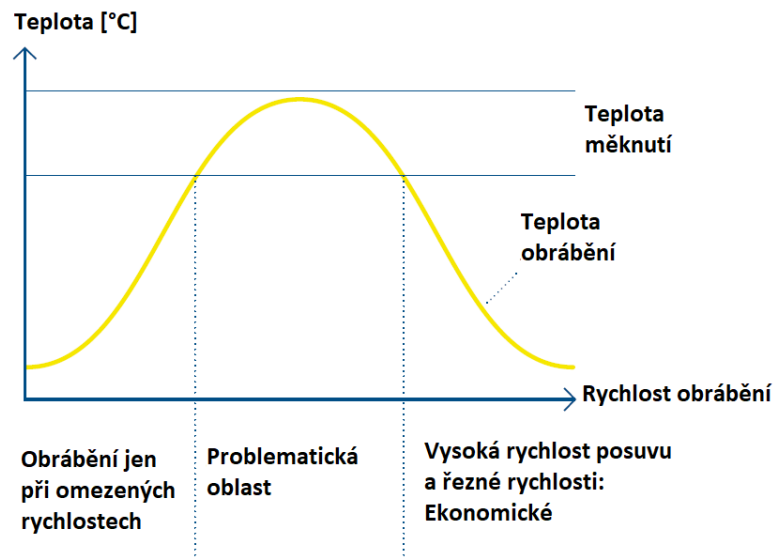
Všeobecně jsou vhodné chladicí kapaliny běžně používané při obrábění kovů. Rovněž lze použít stlačený vzduch. Chlazení povrchu obrobku vždy vede k lepší kvalitě povrchu a nižším tolerancím. Jsou vhodné běžné chladicí emulze pro obrábění. Tyto emulze však nesmí být použity pro chlazení amorfních materiálů (např. PMMA), které jsou náchylné k vnitřnímu popraskání po použití těchto médií. Pro chlazení těchto materiálů je nutné použít čistou vodu nebo stlačený vzduch. Stlačený vzduch je rovněž velmi vhodný z důvodu dobrého odvodu třísky mezi řeznou plochou a obrobkem [6].

3.1.4 Teploty při obrábění

Plasty mají špatnou tepelnou vodivost a vyžadují dobrý odvod tepla, resp. chlazení. Teplo vznikající při obrábění plastů vede k výrazně vyšší tepelné roztažnosti a deformaci obrobku nadměrným upnutím než u kovů. Proto jsou pro plasty nutné také vyšší výrobní tolerance [41].

Plastové materiály nesmí být při obrábění studené. Je doporučeno díl před obráběním nahřát na teplotu cca. 50 °C, sníží se tak doba obrábění.

V místě řezu nesmí dojít k přechodu podstatné části tepla do obráběné součástky na to má největší vliv řezná rychlost [5].



Obr. 26. Vliv řezné rychlosti na teplotu v místě řezu [4 - upraveno]

3.1.5 Upínání

Nízký modul pružnosti komplikuje možnosti upínání. U upínání obrobků je potřeba snížit upínací síly, aby nedošlo k deformaci součásti, ale musíme zajistit dostatečné upnutí pro technologii obrábění [5].

3.1.6 Ochranné balení proti vlhkosti

Obrobené součásti z takových plastů, které přijímají vlhkost z okolního prostředí, je nutno po obrobení ošetřit nebo skladovat tak, aby se zabránilo nabobtnání, a tudíž změnám v jejich rozměrech. Pro udržení velmi přesných tolerancí obrobků z materiálů PA je vhodné skladovat v ochranném plastickém obalu (sáčku) s pohlcovači vlhkosti [6].

3.1.7 Tolerance

Obráběcí tolerance pro termoplasty jsou významně vyšší než tolerance pro kovové součásti. Je to způsobeno zvýšeným koeficientem tepelné roztažnosti, bobtnáním vlivem absorpce vlhkosti a možnými deformacemi způsobenými vnitřním pnutím během obrábění. Deformace se objevují zejména tehdy, kdy obráběním vznikají asymetrické nebo velké změny v průměru (např. pouzdra, vyráběná z velkých tyčí kruhového průřezu). V těchto případech, podle požadavků na toleranci, může nastat nutnost tepelné úpravy (odstranění vnitřního pnutí) po předběžném obrábění (min. přesah 3 % průměru) a před konečným

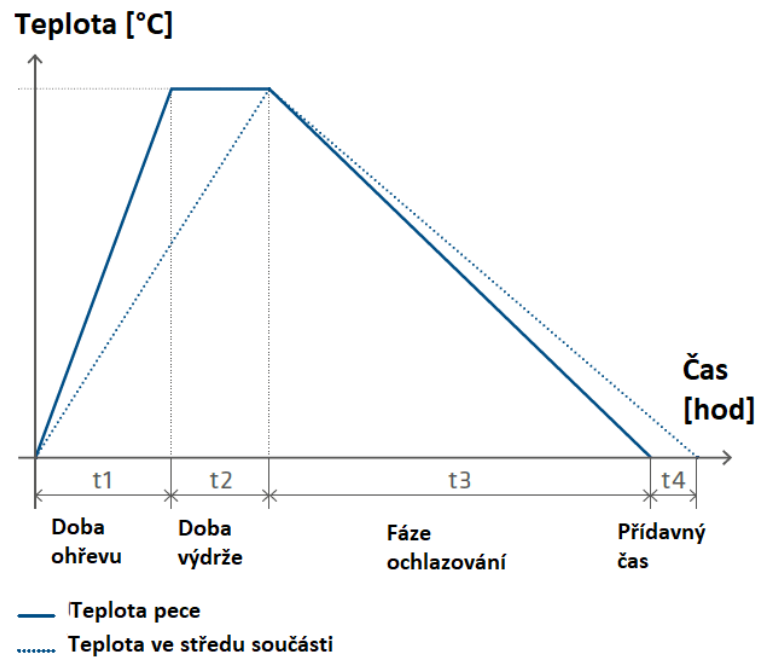
obráběním součástí. V současné době neexistují specifické mezinárodní normy pro tolerance při obrábění termoplastických součástí. Podle empirického pravidla pro soustružené nebo frézované součásti lze přijmout toleranci 0,1 - 0,2 % jmenovitého rozměru, bez zvláštních opatření. Jako vodítko pro tento účel lze použít normu ISO 2768 [6].

3.1.8 Žihání

Proces žihání je tepelné zpracování polotovárů, nebo hotových dílů. Výrobky jsou pomalu a rovnoměrně zahřátý na definovanou úroveň teploty podle konkrétního materiálu. Poté následuje prodleva, která závisí na materiálu a jeho tloušťce, aby se důkladně zahřál v celém objemu. Následně musí být materiál pomalu a rovnoměrně ochlazován zpět na pokojovou teplotu. To vše za účelem snížení napětí ve výrobku [4].

Využití žihání:

- zbytková napětí, která vznikla během výroby nebo zpracování, může být téměř úplně redukováno žiháním,
- zvýšení krystalinity materiálů,
- optimalizujte hodnoty mechanických vlastností materiálu,
- vznik rovnoměrné krystalické struktury v materiálech,
- zvýšení chemické odolnosti,
- snížení deformační tendence a změny rozměrů (během nebo po zpracování),
- zlepšování rozměrové stability [4].



Obr. 27. Teplotní průběh žíhání [4 - upraveno]

3.2 Řezání

Řezání je běžnou metodou obrábění plastových dílů. Plasty lze řezat pomocí kotoučových a pásových pil. Výběr závisí na tvaru řezané části. Největší riziko při řezání plastů je teplo, které se generuje třením nástroje o materiál. Z tohoto důvodu je důležité zvolit vhodný nástroj.

Např. silnostěnné součásti by měly být řezány relativně tenkými břity, aby se zabránilo nadměrnému tření. Pro optimalizaci řezání mnoha plastových materiálů (nylon, akryl) jsou k dispozici speciálně konstruované čepele [1,4,5].

3.2.1 Pásové pily

Nejvhodnější pro řezání kruhových tyčí a trubek. Doporučuje se používat podpěrné klíny.

Samozřejmostí je použít ostrou pilu to zaručí dobrý odvod třísek, klesne tření mezi nástrojem a obrobkem a tím i teplotní zatížení materiálu.

Teplo generované při řezání je dobře rozptýleno díky délce pilového pásu.

Pásové pily umožňují univerzální použití pro přímé, průběžné nebo nepravidelné řezy, které jsou v dobré kvalitě [1,4,5].

3.2.2 Kotoučové pily

Použití hlavně pro řezání desek s rovnou hranou řezu. Je vhodné volit tvrzené materiály pro pilové kotouče.

Je nutné zvolit dostatečně velký posuv a odsazení. To vede k dobrému vychýlení třísky, nedochází k ulpívání pilového kotouče, zabraňuje přehřívání v místě řezu a vede k dobré kvalitě řezu [1,4,5].

Při řezání může docházet k řadě chyb. Mezi nejčastější patří:

Tab. 5. Možné chyby vzniklé při řezání [1,4,5]

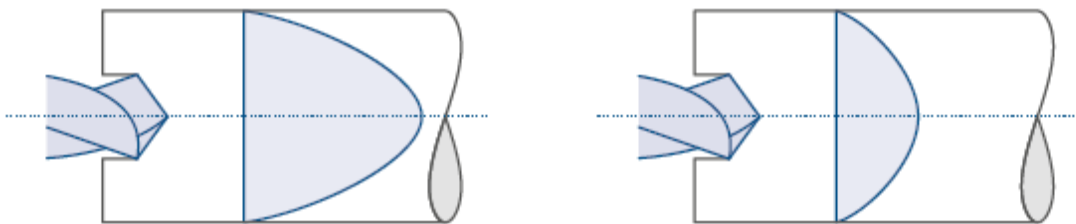
Chyba	Možné příčiny
Povrch se začal natavovat	Tupý nástroj
	Nedostatečná boční vůle
	Nedostatečný přísun chladicí kapaliny
Hrubý povrch	Příliš vysoký posuv
	Špatně naostřený nástroj
	Nenaostřená řezná hrana
Spirálové značky	Tření nástroje během vytahování
	Otřepy na nástroji
Konkávní a konvexní povrch	Úhel špičky je moc velký
	Příliš vysoký posuv
	Nástroj není kolmo vzhledem k vřetenu
Otřepy na hraně řezné plochy	Úhel rozvodu není dostatečně velký
	Tupý nástroj
	Příliš vysoký posuv

3.3 Vrtání

Vrtání je výroba vnitřních rotačních ploch v plném materiálu, převážně dvoubřítým nástrojem, zvaným vrták.

Při vrtání plastů se vytváří více tepla než u většiny ostatních obráběcích procesů. Snížení růstu tepla je zásadní pro minimalizaci namáhání při obrábění. Proto je při vrtání nutné zvláštní pozornost věnovat izolačním vlastnostem plastu. Ty mohou způsobit (hlavně u semikrystalických) rychlý nárůst tepla při procesu vrtání, zejména při vrtání hlubokých děr to může vést k „rozmazání“ vrtáku a tím k růstu napětí ve výrobku, toto napětí může být tak vysoké, že způsobí deformace, rozměrové nepřesnosti, praskliny, lomy nebo dokonce až prasknutí hotové součásti [1,4,5].

Nejen teplota ovlivňuje napětí ve výrobku. Vzhledem k materiálovým vlastnostem plastů je důležité používat ostré nástroje. Porovnání zatížení materiálu při použití ostrého a tupého vrtáku je na Obr. 28.



Obr. 28. Porovnání napětí ve výrobku, vlevo: tupý vrták, vpravo: ostrý vrták [4]

Zadní strana plastových dílů by měla být podepřena, aby se zabránilo odštěpování během vrtání. Rychlost posuvu by měla být snížena, když se vrták blíží k opuštění materiálu.

Co se samotných nástrojů týče. Pro většinu materiálů dobře fungují komerčně dostupné HSS vrtáky. Rovněž je doporučováno používat vrtáky s úzkým můstkem čímž se sníží tření a zamezí se hromadění tepla [1,4,5].

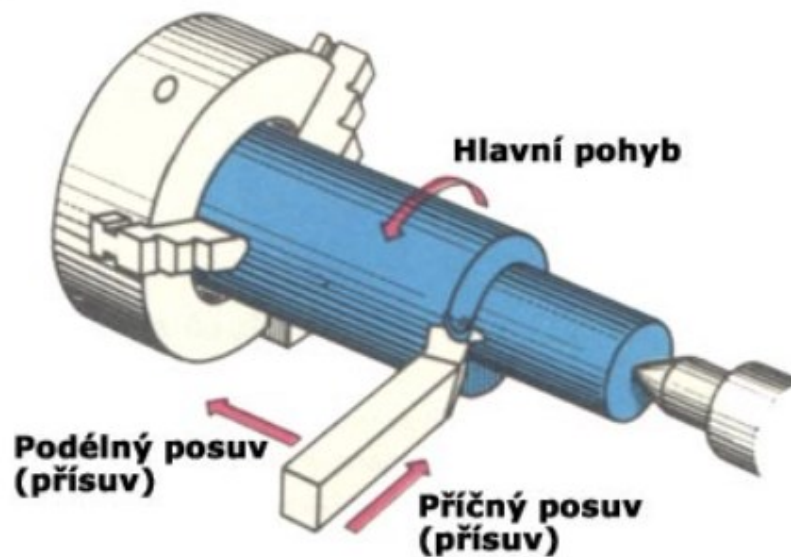
Při vrtání plastů je obtížné optimalizovat všechny parametry obrábění. Např. při velkých požadavcích na kruhovitost výsledného otvoru je doporučováno použít nízkou rychlost posuvu. To ale vede k velkému teplotnímu zatížení materiálu [47, 51].

Tab. 6. Možné chyby vzniklé při vrtání [1,4,5]

Chyba	Možné příčiny
Kuželový otvor	Špatně naostřený vrták
	Nedostatečná vůle
	Příliš vysoký posuv
Spálený nebo roztavený povrch	Použitý nevhodný vrták
	Špatně naostřený vrták
	Nedostatečný posuv
	Tupý vrták
Známky po vibrování	Nadměrná vůle
	Nedostatečný posuv
	Příliš velké vyložení vrtáku
Značky nebo spirálové čáry na ploše díry	Příliš velký posuv
	Vrták není vycentrován
	Střed vrtáku není ve středu díry

3.4 Soustružení

Soustružení je technologie obrábění, při níž hlavním řezným pohybem je rotace obrobku, vedlejší pohyby (nejčastěji přímočaré) vykonává nástroj. Stroje se nazývají soustruhy, nástroje se nazývají soustružnické nože. Soustružením se obrábí vnější a vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, rovinné plochy (čela) i tvarové plochy (vačky, kulové plochy atd.) [37].



Obr. 29. Princip soustružení [37]

Největší problém u soustružení plastů je udržování správné teploty v místě řezu.

Soustružení plastů vyžaduje nástroje s břitovými destičkami s pozitivní geometrií a broušený a leštěný povrch, to snižuje hromadění materiálu na destičce, což zlepšuje konečnou kvalitu povrchu.

Úprava obrobku kroucením umožňuje získat kvalitnější povrchovou vrstvu ve srovnání s konvenčním soustružením. Je to způsobeno tím, že deformace obrobku kroucením vede k poklesu stavu napjatosti polymerních řetězců jejich porušením. Tato změna je nejpatrnější na obvodu součásti, kde působí největší zatížení [4].

Další doporučení:

- Zvolit vysokou řeznou rychlost,
- Minimální hloubka řezu by měla být 0,05 mm,
- Pro chlazení je nejvhodnější použít stlačený vzduch,
- Použít lunetu kvůli snížené tuhosti plastů,
 - stabilizuje obrobek,
 - zabrání deformacím [4],

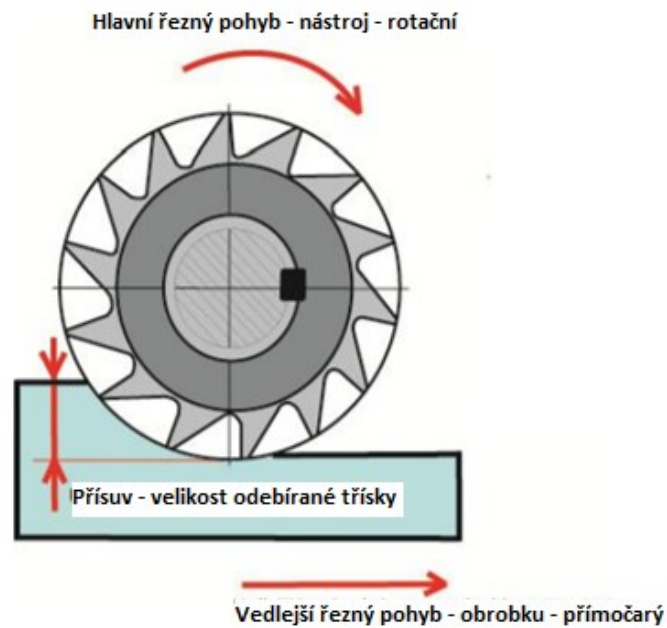
- Lepší drsnosti je možné dosáhnout při použití nástrojů z keramiky [48].

Tab. 7. Možné chyby vzniklé při soustružení [1,4,5]

Chyba	Možné příčiny
Natavený povrch	Tupý nástroj
	Vysoké otáčky
	Nízká velikost posuvu
Stopy po nástroji	Špatně upnutý nástroj
	Špatně upnutý obrobek
	Příliš široká řezná hrana
Praskliny	Příliš pozitivní sklon na nástroji
	Tupý nástroj
Hrubý povrch	Příliš vysoká rychlost posuvu
	Špatná vůle
	Ostrý bod na nástroji (je vyžadován rádius na řezné hraně)

3.5 Frézování

Frézování je způsob třískového obrábění, při němž se rotační vícebřítý nástroj – fréza – otáčí a obrobek (někdy i nástroj – podle druhu frézky) se posouvá tak, aby jednotlivé zuby odřezávaly třísku. Hlavním pohybem při frézování je otáčivý pohyb nástroje, vedlejšími pohyby jsou posuvný pohyb obrobku (nejčastěji přímočarý) a přísuv, kterým se nastavuje hloubka řezu [38].



Obr. 30. Princip frézování [38 - upraveno]

Pokud jde o frézování plastů, doporučuje se sousledné frézování. Největším problémem při frézování plastů vzhledem k jejich vlastnostem je upínání součásti tak, aby nedošlo k pohybu součásti, popř. ke vzniku vibrací, což by vedlo k znehodnocení součásti. Aby bylo toto riziko minimalizováno, často jsou používány vakuové upínací systémy (vyžadují plochý povrch součásti) nebo různé upínací přípravky (které ovšem často zavazí při obrábění). Tyto metody jsou tedy použitelné jen pokud umožní obrábění. Pokud je není možno použít, je doporučeno pro upevnění obrobku použít oboustrannou lepicí pásku, aby bylo zabráněno pohybu součásti (jen při malých obráběcích silách) [1].

Velkým nebezpečím při frézování jsou otřepy, které vznikají, když nástroj dosáhne konce obrobku. Možností, jak odstranit otřepy je použití sekundárního materiálu, který bude upevněn k obrobku tak, aby nástroj pokračoval v obrábění tohoto materiálu. To vede čistému řezu až k okraji obrobku [1].

Při frézování se tříška vytváří na základě elastické deformace a materiál, který byl pružně stlačen v průběhu obrábění je poté odstraněn nástrojem. Pružné reakce různých plastů za různých řezných podmínek budou jiné, ale budou podstatně větší než při obrábění oceli. Elastická reakce vytvoří napětí, které může přesáhnout krajní mez termoplastu a způsobit praskliny a jiné vady na obrobeném povrchu [49].

Další doporučení:

- Volit vysoké řezné rychlosti a střední rychlosti posuvu.
- Pro obrábění rovinných ploch je ekonomičtější čelní frézování než obvodové frézování.
- Při obvodovém frézování by nástroje neměly mít více jak dva břity, aby se minimalizovaly vibrace způsobené velkým počtem břitů a mezery pro odvod třísek musí být dostatečně dimenzovány.
- Pokud je při frézování generováno příliš tepla je doporučeno postupné frézování pro lepší rozptýlení tepla ve výrobku [1,4,5].

Tab. 8. Možné chyby vzniklé při frézování [1,4,5]

Chyba	Možné příčiny
Natavený povrch	Tupý nástroj
	Vysoké otáčky
	Nízká velikost posuvu
Stopy po nástroji	Špatně upnutý nástroj
	Nadměrný poloměr na řezné hraně
	Příliš široká řezná hrana
Odlupování rohů	Špatný záběh nástroje
	Nástroj upnutý pod středem
Hrubý povrch	Příliš vysoká rychlost posuvu
	Špatná vůle
	Ostrý bod na nástroji (je vyžadován rádius na řezné hraně)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je zhotovení součásti obráběním. Tento záměr se skládá z dílčích úkonů. Jako první bylo nutné zhotovit model, který poslouží k obrábění. Následně zhotovit part program s využitím CAM (počítačem podporované obrábění) softwaru. A na obráběcím centru DMU 50 součást vyrobit.

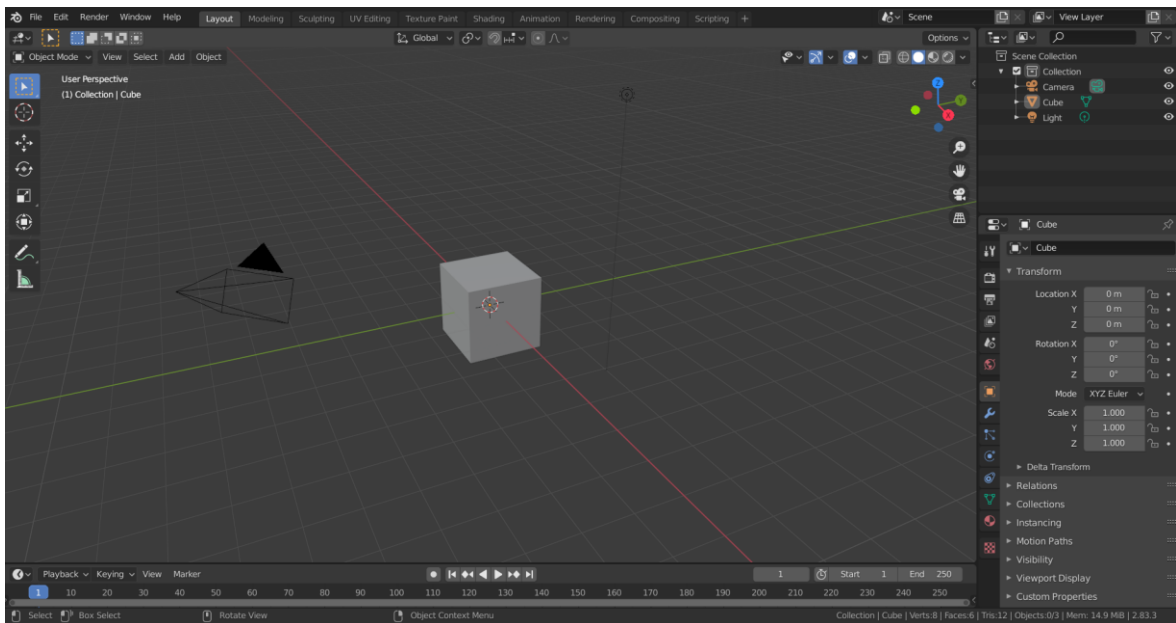
5 MODEL

Níže je popsán postup tvorby modelu, který byl použit pro obrábění.

5.1 Program pro modelování

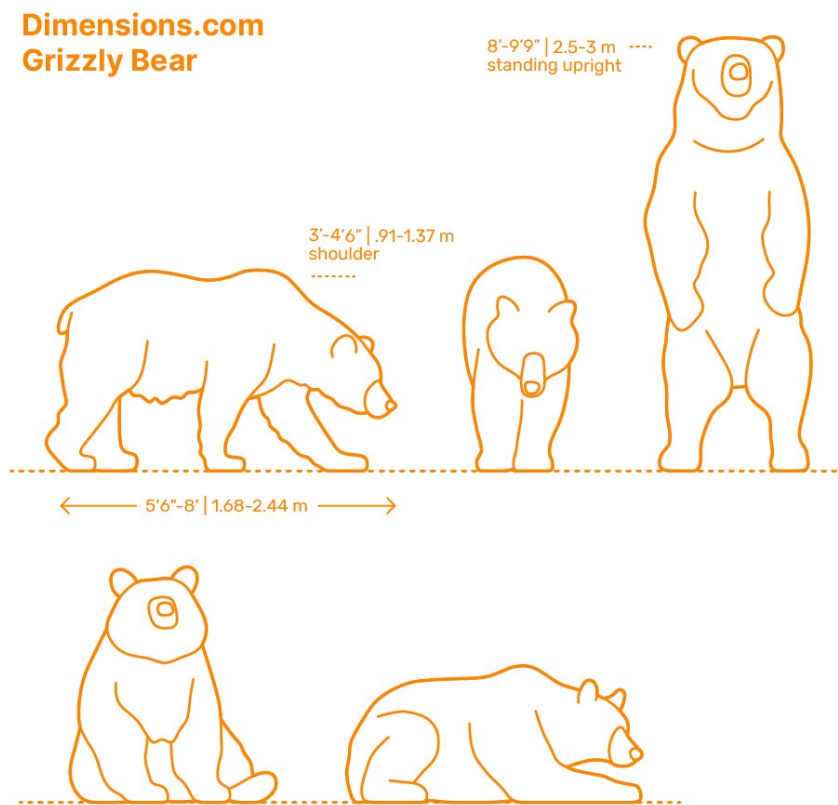
Model pro obrábění byl vytvořen ve volně dostupném CAD programu Blender v2.83.3.

Tento program byl zvolen, protože umožňuje snadnou manipulaci s vytvořenými plochami a jejich hranami.

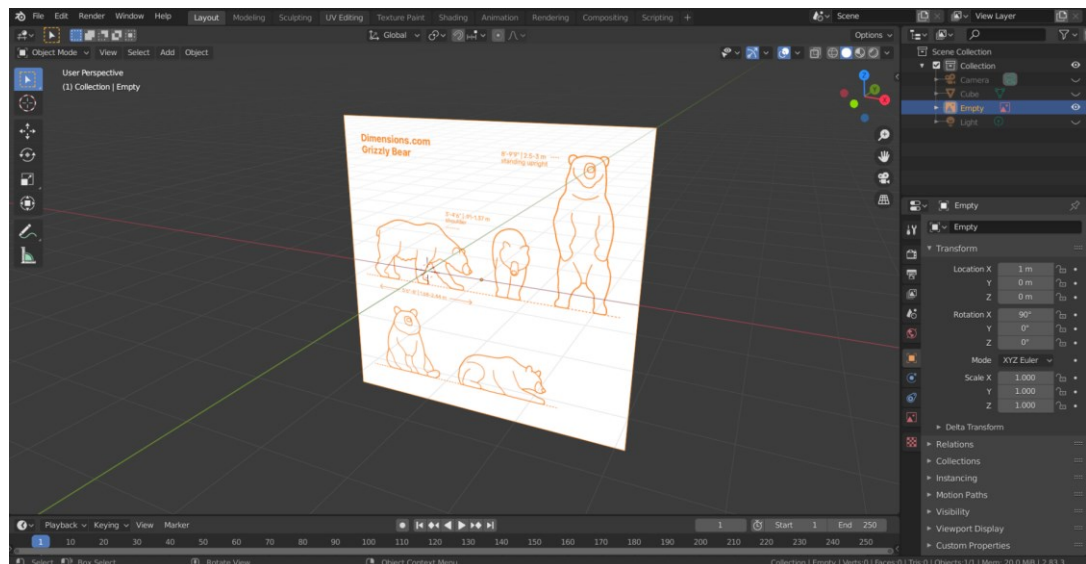


Obr. 31. Prostředí programu Blender

Přes funkci Add → Image → Background byl do pracovního prostředí programu vložen obrázek (Obr. 32), který sloužil jako předloha pro modelování. Předlohou pro model se stal medvěd. Z důvodu jeho výskytu v okolí Zlína, v době tvorby této práce.



Obr. 32. Předloha pro modelování [52]

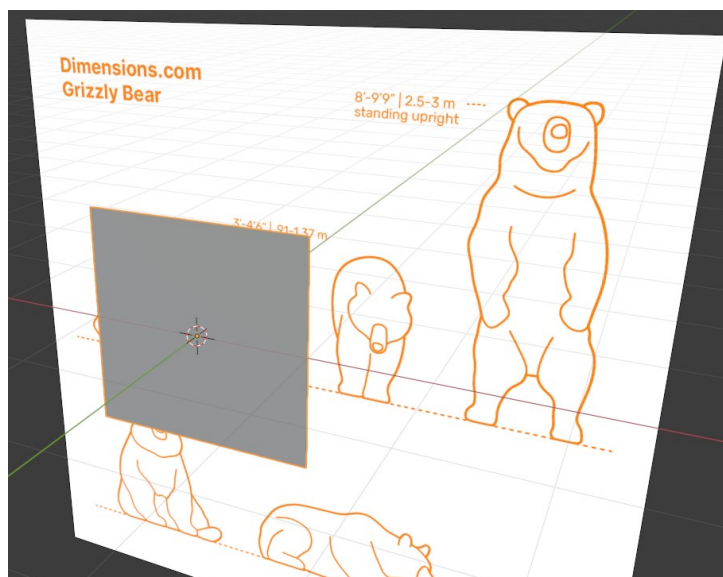


Obr. 33. Předloha vložena v pracovním prostoru

5.2 Tvorba modelu

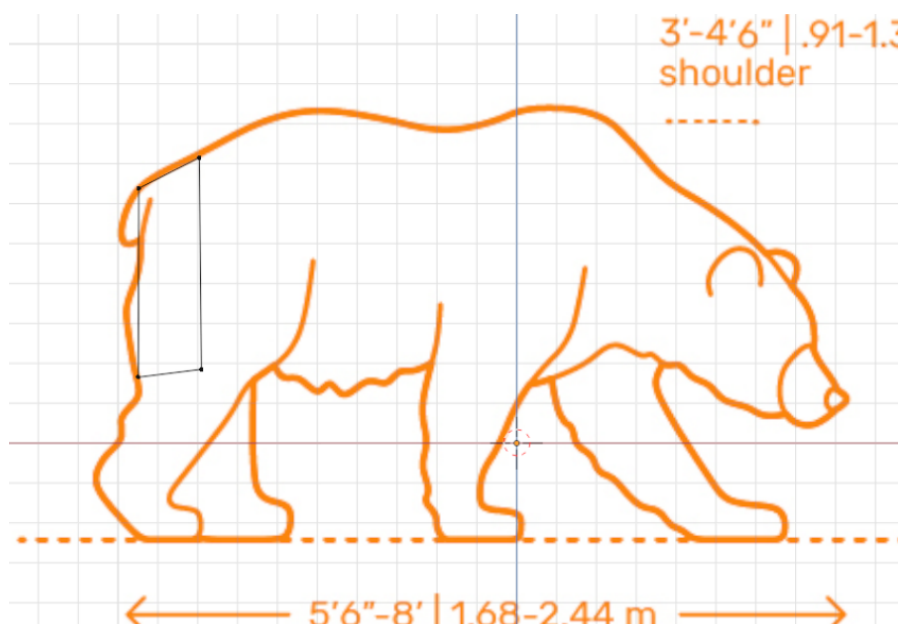
S vloženou předlohou v pracovním prostředí programu bylo možné přejít k tvorbě modelu.

Přes funkci Add → Mash → Plane byla přidána plocha, která bude upravována podle předlohy. Vložená plocha byla natočena ve stejném smyslu jako je předloha (Obr. 34).



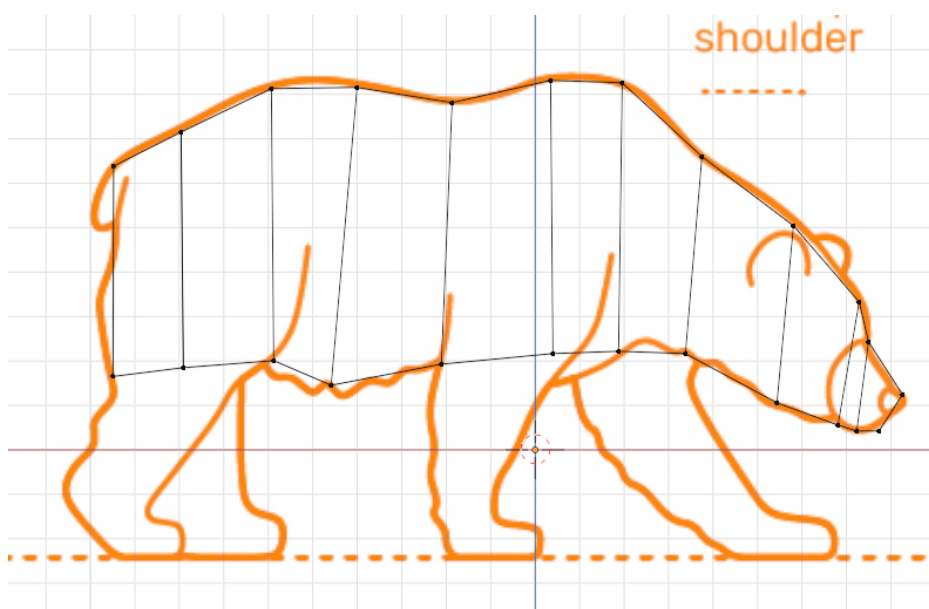
Obr. 34. Správně zorientovaná plocha

Plocha byla přeprnuta do editačního módu, aby bylo možné s ní dále pracovat. Pracovní pohled byl zorientován do stejné roviny jako je předloha spolu s plochou, aby nedocházelo k posunutím bodů kolmo na tuto rovinu. Zároveň byla plocha převedena na drátový model pro snazší kopírování předlohy. Plocha byla následně nastavena tak, aby začala kopírovat předlohu (Obr. 35).



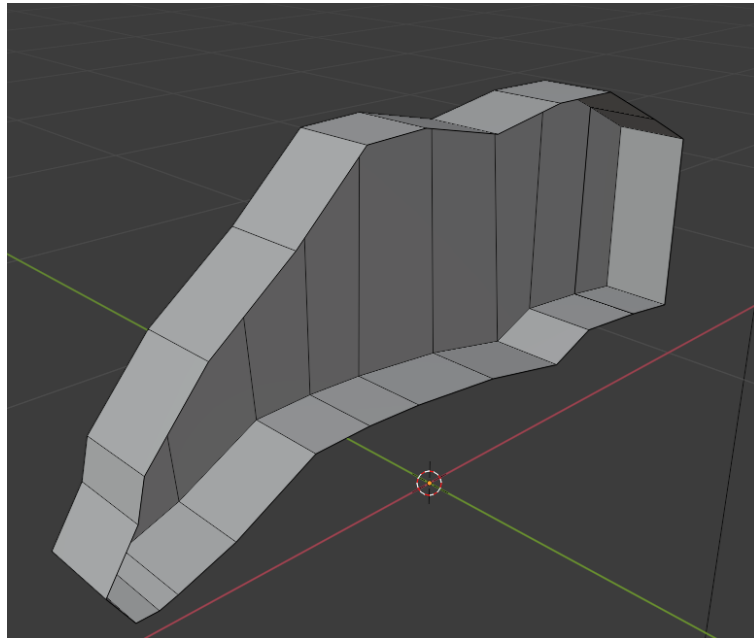
Obr. 35. Nastavení plochy

Touto plochou byla pokryta ta část předlohy, která tvoří souvislou část modelu z důvodu následného zrcadlení (Obr. 36).



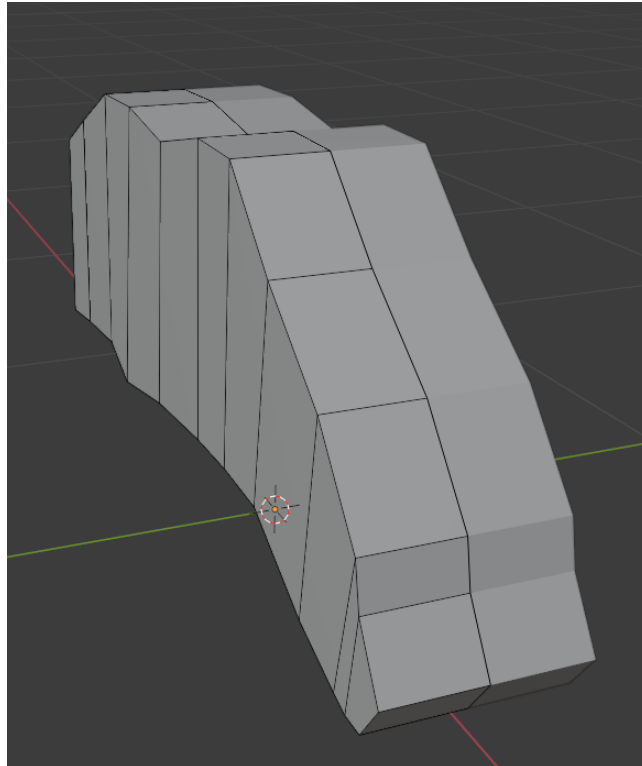
Obr. 36. Plochy pokrývající předlohu

Vytvořená plocha byla následně vytažena do prostoru. Po vytažení o požadovanou vzdálenost byla odstraněna původní stěna modelu, aby se v tomto místě nepřekrývali dvě plochy po zrcadlení.



Obr. 37. Model bez jedné stěny

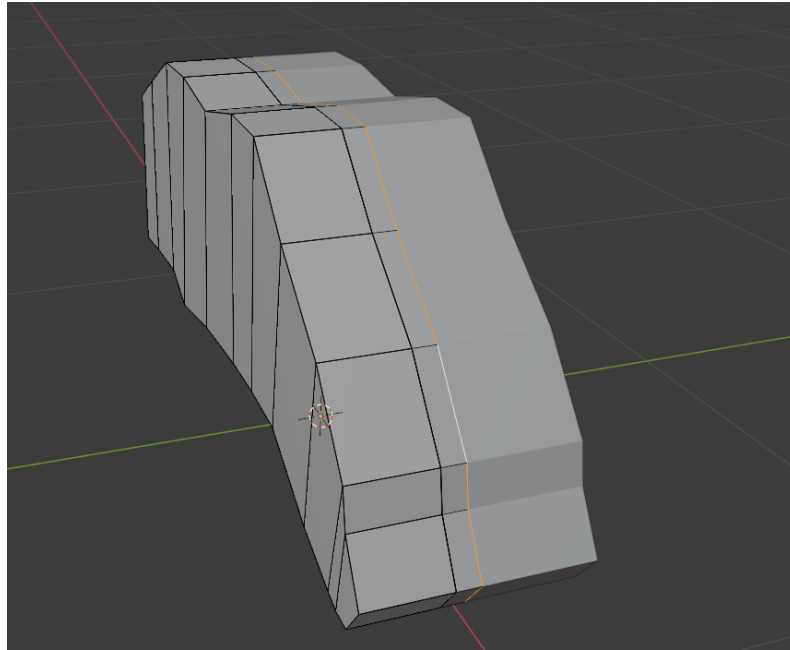
Přes záložku Add Modifier (přidání modifikace) byla zvolena možnost Mirror (zrcadlení). V nastavení této funkce byla zvolena rovina Z jako rovina zrcadlení.



Obr. 38. Zrcadlený model

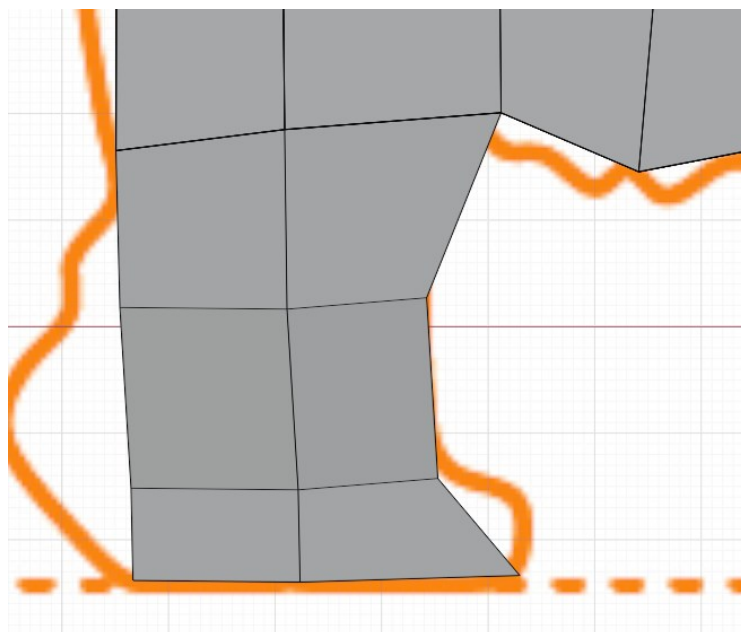
Při tomto nastavení zůstává aktivní pouze původní polovina modelu, veškeré změny provedené na ní se projevují i na druhé, ovšem tu není možno upravovat samostatně.

Pro vytvoření středové plochy, která bude tvořit přechod mezi aktivní a zrcadlenou částí modelu byly vybrány všechny aktivní plochy a posunuty od středu. Plocha byla vytvořena vytažením plochy z obvodové hrany modelu.



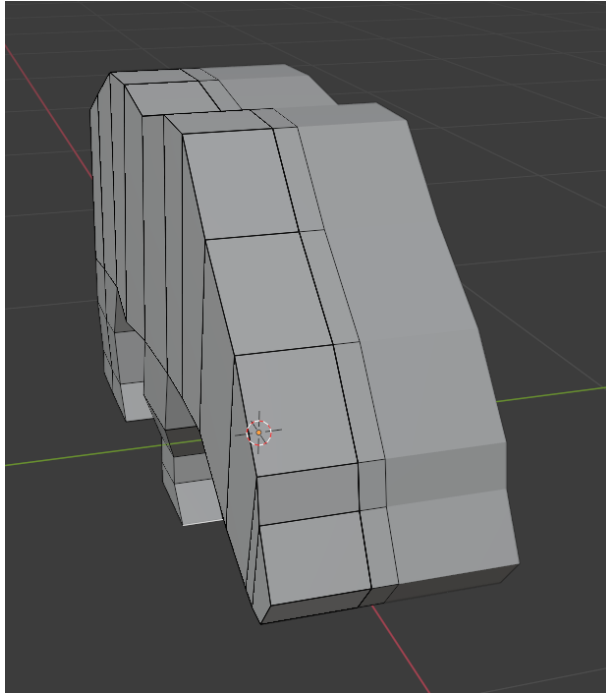
Obr. 39. Vytažená hrana

Poté byli na model přidány ty části, mezi kterými je mezera, v tomto případě se jedná o nohy. V místech vybraných pro nohy byli smazány plochy, aby výsledný model byl dutý. Z obvodové hrany těchto ploch byla vytažena plocha v požadovaném směru.

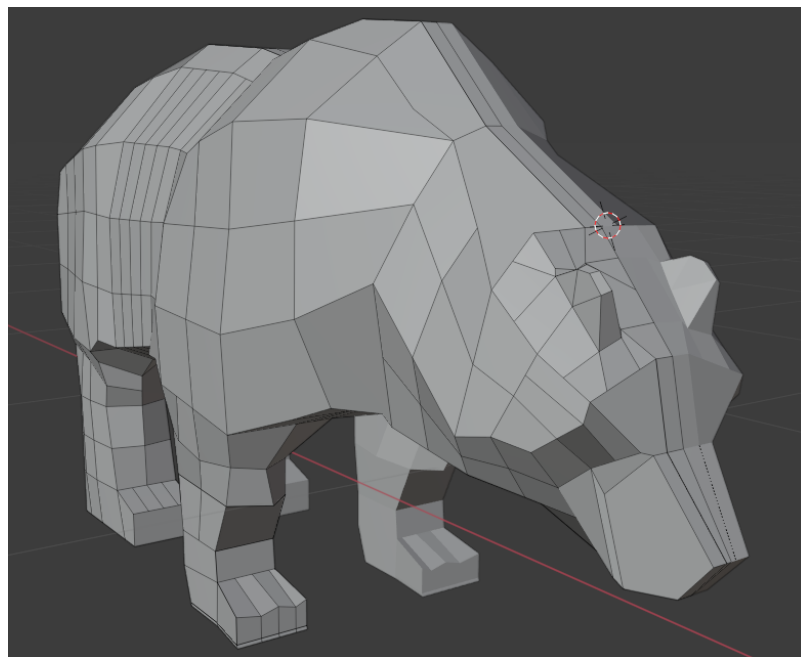


Obr. 40. Vytvořená noha

Obdobně se postupovalo u přední nohy. Takto byl vytvořen hrubý model. Ten byl následně upravován posouváním, natáčením ploch, hran a bodů, popř. jejich vytvářením, než model splňoval představy o tvarech.



Obr. 41. Hrubý model



Obr. 42. Hotový model

6 OBRÁBĚCÍ CENTRUM DMU 50

Výroba součásti byla realizována na obráběcím centru DMU 50 3rd Generation od firmy DMG MORI. Jedná se o univerzální obráběcí centrum pro pětiosé simultánní obrábění. Obráběcí centrum používá řídicí systém Siemens Sinumerik 840 d sl / CELOS. Další technické údaje o stroji jsou uvedeny v Tab. 9, Tab. 10 a Tab. 11 [23].

Tab. 9. Technické údaje stroje [23 – upraveno]

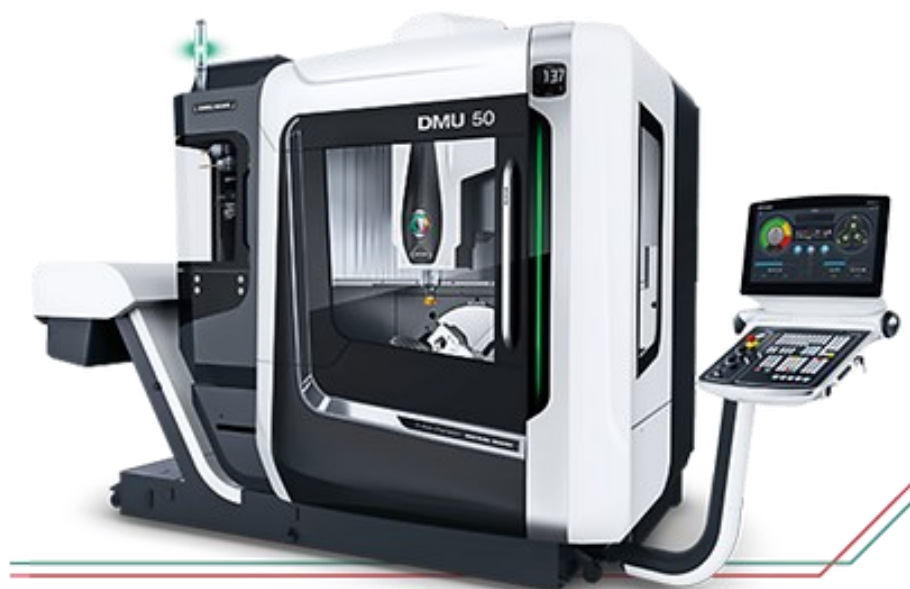
Max. pojezd v ose X	650 (mm)
Max. pojezd v ose Y	520 (mm)
Max. pojezd v ose Z	475 (mm)
Max. zatížitelnost stolu	300 (kg)
Průměr stolu	630 (mm)
Zásobník nástroje	30 (pozic)

Tab. 10. Parametry vřetena [23 – upraveno]

Otáčky	
Plynule programovatelné	20 - 15 000 (1/min)
V seřizovacím provozu	20 - 800 (1/min)
Točivý moment vřetena	
Max. točivý moment	111 (Nm)
Jmenovitý točivý moment	85 (Nm)
Výkon motoru	
Max. hnací výkon	21 (kW)
Jmenovitý výkon	16 (kW)

Tab. 11. Parametry pohonu posuvů [23 – upraveno]

Pohony	
Střídavé servomotory pro osu	X, Y, Z
Rychlost posuvu	
Osa X, Y, Z plynule programovatelný	až 42 000 (mm/min)
Rychlý chod	
Osa X, Y, Z	42 (m/min)



Obr. 43. Obráběcí centrum DMU 50 [23]

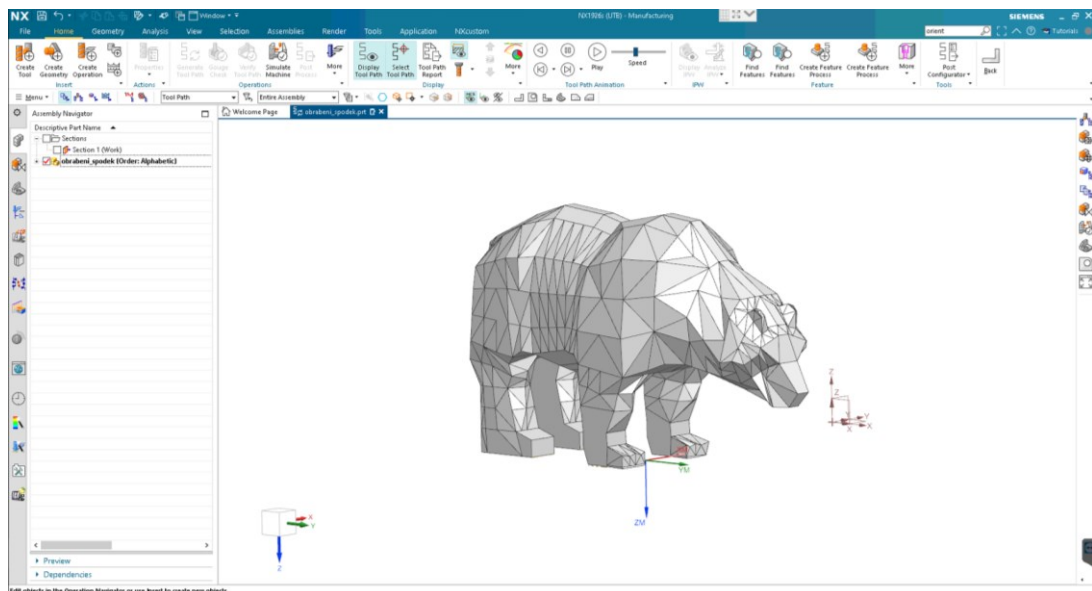
7 PROGRAMOVÁNÍ A OBRÁBĚNÍ MODELU

Jako materiál byl zvolen PE-HD (vysoce hustotní polyetylen) černé barvy, jeho základní vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 12. Polotovar o rozměrech 100 x 320 x 200 mm byl dodán firmou SLAVÍK - Technické plasty, s.r.o.

Tab. 12. Základní vlastnosti PE-HD

Hustota (ρ)	0,95 (mm)
Mez pevnosti v tahu (σ)	5 (MPa)
Model pružnosti (E_t)	1040 (MPa)
Tažnost (ϵ_ξ)	18,0 (%)

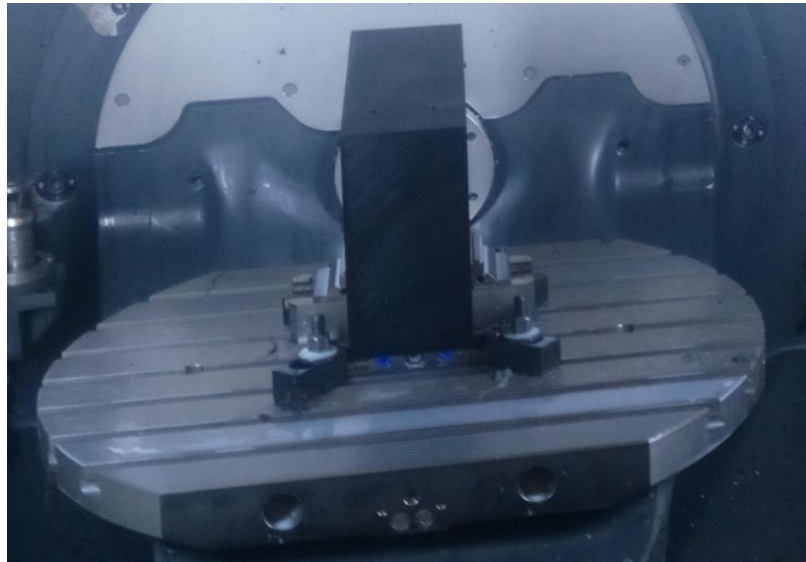
Model byl převeden do programu NX 1926s, který byl použit pro zhotovení CNC programu (Obr. 44).



Obr. 44. Model v programu NX 1926s

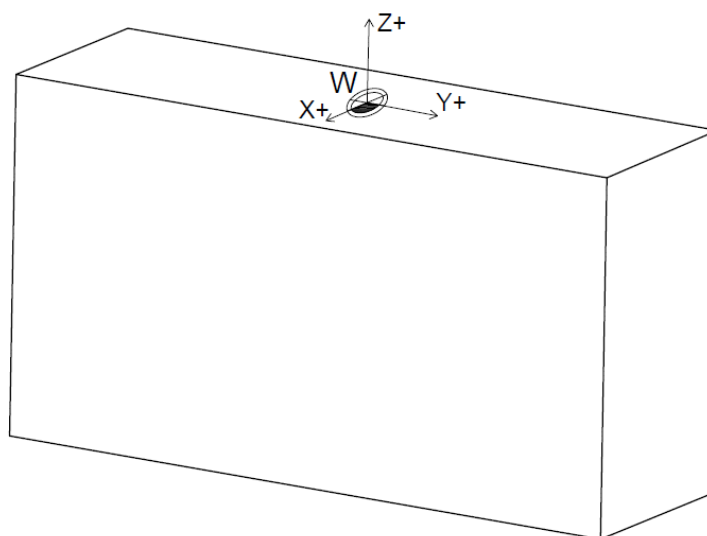
7.1 První upnutí

Při prvním upnutí byl polotovar upnut do svěráku, který byl pomocí upínek upnut k pracovnímu stolu stroje (Obr. 45).



Obr. 45. První upnutí

Pomocí dotykové sondy byl nastaven nulový bod obrobku. Ten byl nastaven na vrch polotovaru do jeho středu. Schematicky je jeho poloha znázorněna na Obr. 46.



Obr. 46. Poloha nulové bodu u prvního upnutí

7.1.1 Hrubování

Hrubování je operace, která slouží k hrubému opracování polotovaru. Řezné podmínky jsou v tomto případě nastaveny tak, aby došlo k co největšímu úběru materiálu, v co nejkratším čase.

V programu NX byla pro tento způsob obrábění zvolena operace Cavity Mill.

Hrubovací fréza

Jako hrubovací fréza byla použita monolitní povlakovaná fréza s označením JS453120D2CZ3.0-HEMI od firmy Seco (Obr. 47). Její parametry jsou uvedeny v Tab. 13.

Tab. 13. Parametry hrubovací frézy

Průměr (D)	12,0 (mm)
Šířka rohového sražení (R_l)	0,10 (mm)
Úhel rohového sražení (B)	45 (°)
Délka (L)	88,0 (mm)
Řezná délka (FL)	24,0 (mm)
břity	3 (-)



Obr. 47. Hrubovací fréza [53]

Hrubovací operace

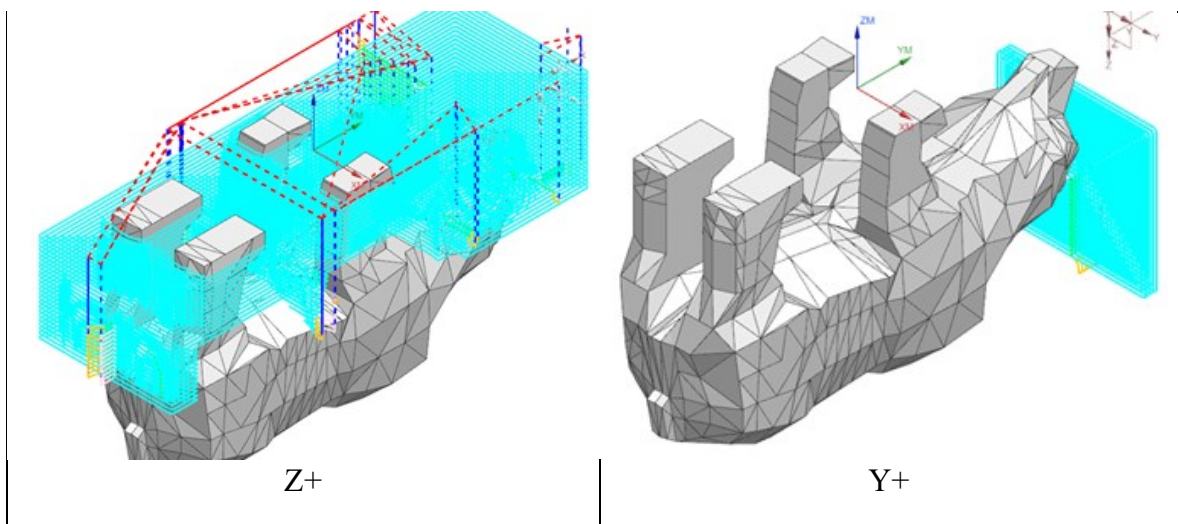
Jak bylo napsáno výše hrubování slouží k co největšímu úběru materiálu. Z tohoto důvodu byli operace navrženy ve smyslu hlavních os souřadného systému. Řezné podmínky při hrubování jsou zapsány v Tab. 14. Směry os a průběhy drah nástroje při hrubovacích operacích jsou znázorněny v Tab. 15.

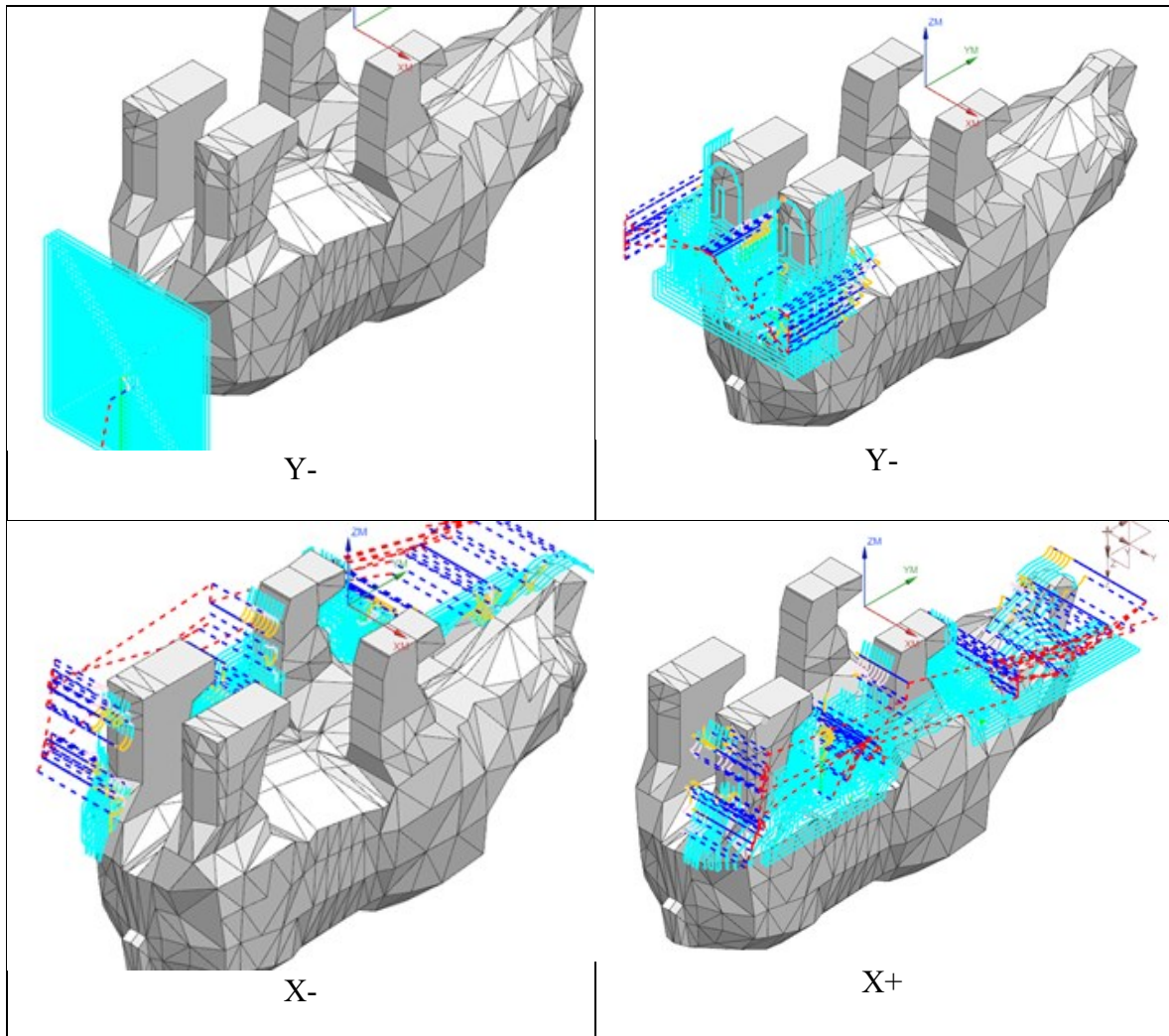
Upnutí polotovaru umožňovalo i obrobení čel polotovaru. To bylo žádoucí z důvodu snížení celkového objemu a tím i hmotnosti materiálu pro menší riziko vzniku chvění při druhém upnutí.

Tab. 14. Řezné podmínky hrubování při prvním upnutí

Řezná rychlost (v_c)	285 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,132 (mm/zub)
Otáčky (n)	9 080 (ot/min)
Přídavek na dokončení	1,00 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	3,00 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	3,6 (mm)
Chlazení	Emulze

Tab. 15. Průběhy hrubovacích operací při prvním upnutí





7.1.2 Vrtání

Pro druhé upnutí bylo potřeba ve výrobku zhotovit závitové díry. Vrtací operace byla zařazena po první hrubovací operaci.

V programu NX bylo pro tento způsob obrábění zvolena operace Drilling.

Vrták

Pro výrobu otvorů byl použit vrták s označením SD203A-0850-035-10R1-P od firmy Seco (Obr. 48), jeho parametry jsou uvedeny v Tab. 16.



Obr. 48. Vrták

Tab. 16. Parametry vrtáku

Průměr (D)	8,5 (mm)
Šířka rohového sražení (R_l)	0,15 (mm)
Úhel rohového sražení (B)	35,0 (°)
Délka (L)	89,0 (mm)
Řezná délka (FL)	35,0 (mm)
břity	2

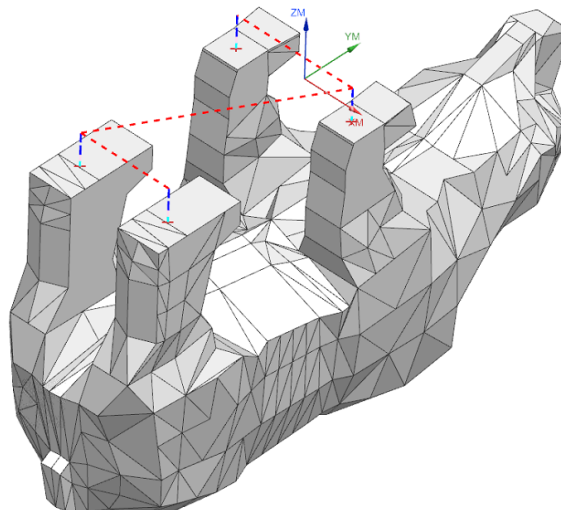
Vrtání

Při vrtání děr pro závitové díry bylo nastaveno cyklické vrtání s hloubkou vrtání 5 mm.

Řezné podmínky jsou uvedeny v Tab. 17 a průběh operace je znázorněn na Obr. 49.

Tab. 17. Řezné podmínky při vrtání

Řezná rychlost (v_c)	205 (m/min)
Posuv na otáčku (f)	0,24 (mm/zub)
Otáčky (n)	7 677 (ot/min)
Přídavek na dokončení	0,00 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	35,00 (mm)
Chlazení	Emulze



Obr. 49. Průběh vrtání

Po vyvrtání děr byly ručními závitníky vyřezány do otvorů závity M10.

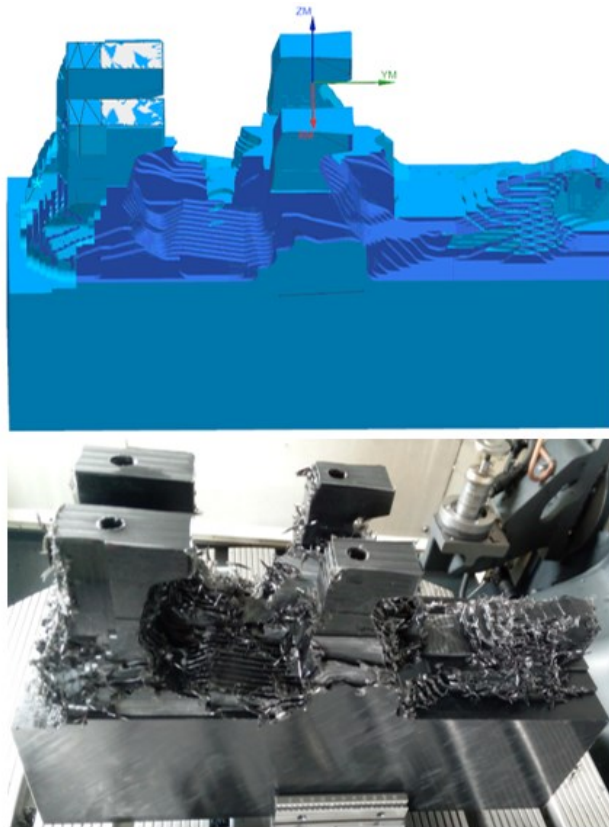
Výsledek po hrubování:

Výsledky hrubovacích operací jsou znázorněny na Obr. 50. Z obrázku je patrné, že kvůli délce frézy nebylo možné obrobít všechnen potřebný materiál např. mezi předními nohami modelu zůstal velký zbytek. Tento zbytek byl při dohrubování výrazně snížen ale nedošlo k jeho úplnému odstranění.

Dále je možno si všimnout velkého množství otřepů na obrobku. Řezné podmínky při hrubování byli nastaveny podle doporučení výrobce nástroje. Přesto že jako referenční materiál byl uveden jiný než PE-HD je více pravděpodobné, že otřepy jsou důsledkem nedostatečně ostrého nástroje. Velmi ostrý nástroj je totiž základní doporučení při obrábění plastových materiálů, které vede k lepší kvalitě povrchu.

Na vině také může být velké množství odebíraného materiálu. Hrubování ovšem ze své podstaty má odebrat velké množství materiálu za co možná nejkratší čas. Kvalita povrchu při hrubování není ani hlavním parametrem.

Ve výsledcích analýzy zbytku materiálu nejsou patrné vyvrtané otvory, neboť ty byli programovány zvlášť.



Obr. 50. Porovnání simulace a skutečnosti po hrubování při 1. upnutí

7.1.3 Dohrubování

Dohrubování slouží pro odebrání co největšího množství materiálu před dokončením. Proto je u těchto operací nastaven nízký boční posuv i hloubka řezu.

V programu NX bylo pro tento způsob obrábění zvolena operace Rest Milling.

Dohrubovací fréza pro první upnutí

Jako dohrubovací fréza byla použita válcová čelní dlouhá DIN 844 10x45 HSS Co8 typ N, stopka weldon od výrobce ZPS-FN (Obr. 51) Její parametry jsou uvedeny v Tab. 18.

Byla zvolena fréza s dostatečnou řeznou délkou, aby došlo k odebrání dříve zmíněného zbytku materiálu mezi nohami modelu.

Tab. 18. Parametry dohrubovací frézy pro první upnutí

Průměr (D)	10,0 (mm)
Šířka rohového sražení (R_f)	0,0 (mm)
Úhel rohového sražení (B)	0 ($^\circ$)
Délka (L)	95,0 (mm)
Řezná délka (FL)	45,0 (mm)
břity	4



Obr. 51. Dohrubovací fréza pro první upnutí [54]

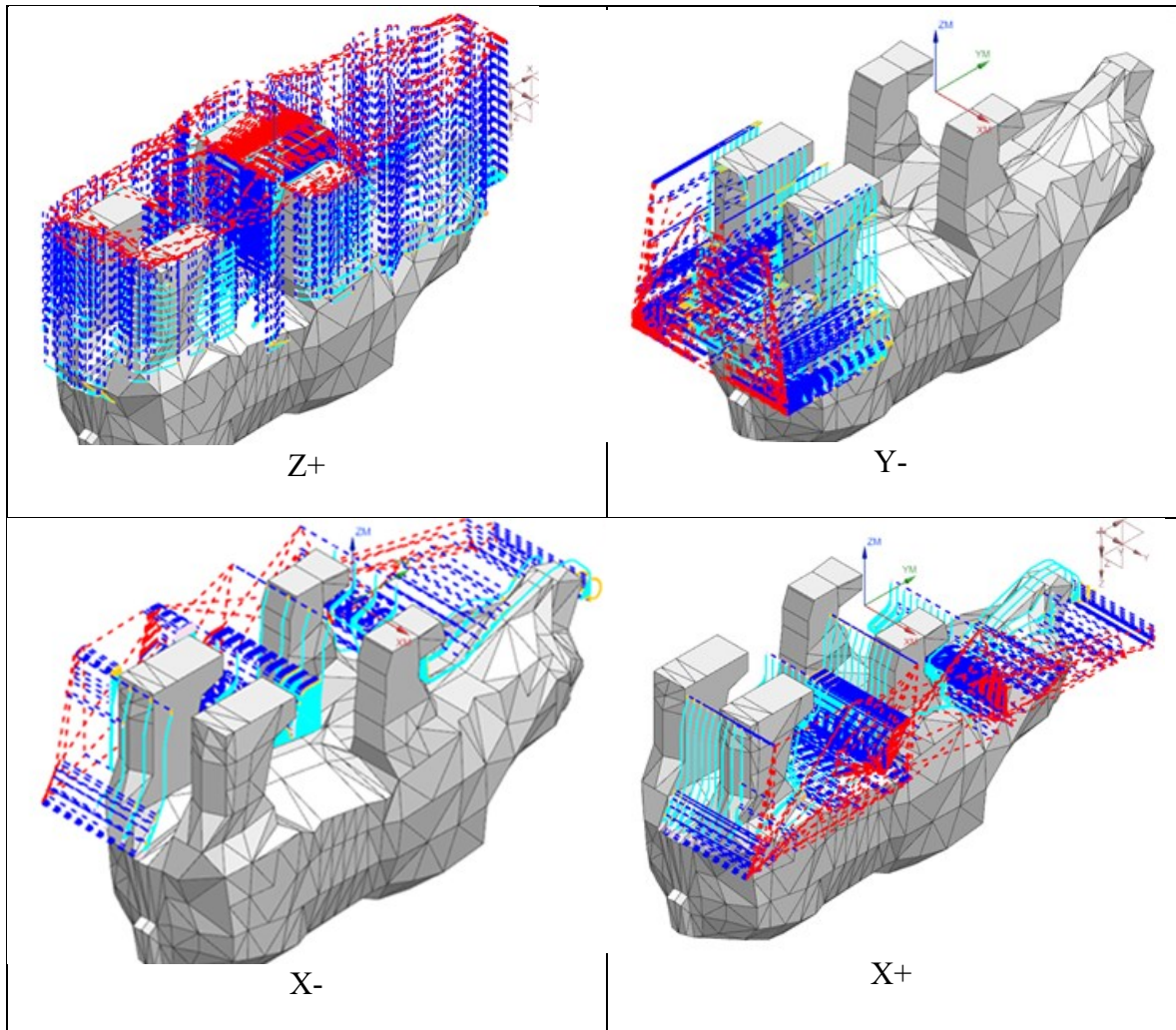
Dohrubovací operace

Pro dohrubovací operace byl zvolen stejný princip jako při hrubování tedy obrábění ve smyslu hlavních os souřadného systému. Řezné podmínky jsou uvedeny v Tab. 19, jejich průběhy jsou naznačeny v Tab. 20.

Tab. 19. Řezné podmínky dohrubování při prvním upnutí

Řezná rychlost (v_c)	300 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,1 (mm/zub)
Otáčky (n)	9 549 (ot/min)
Přídavek	0,25 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	5,00 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	1,00 (mm)
Chlazení	Emulze

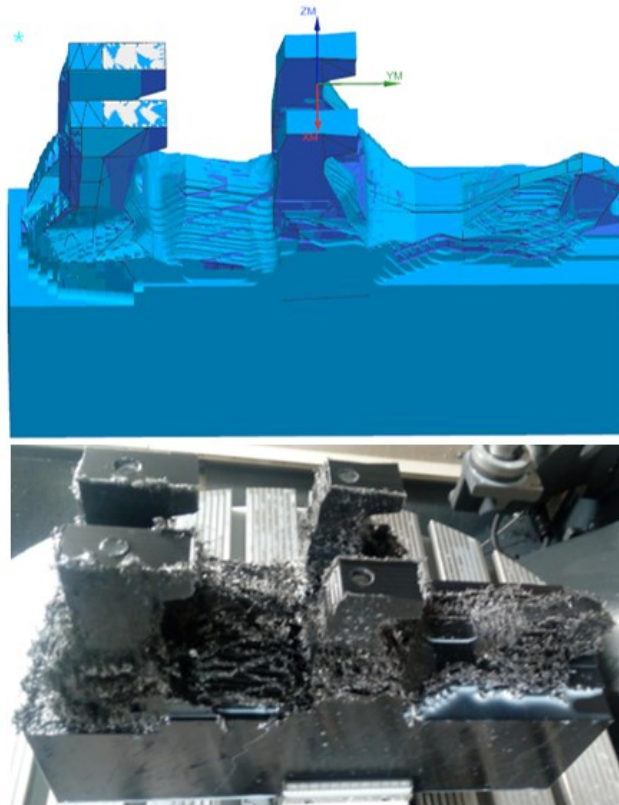
Tab. 20. Průběhy dohrubovacích operací při dohrubování při prvním upnutí



Výsledky po dohrubování při prvním upnutí

Z Obr. 52. je patrné, že dohrubováním došlo k žádoucímu zjemnění zbytku materiálu tak, aby bylo možné dokončit obrábění kulovou frézou.

I po dohrubování zůstalo na povrchu značné množství otřepů. Stejně jako u hrubování byli řezné podmínky nastaveny podle doporučení výrobce. Vznik otřepů je tedy možno přisoudit nedostatečně ostrému nástroji.



Obr. 52. Porovnání simulace a skutečnosti po dohrubování při prvním upnutí

7.1.4 Dokončení

Dokončování slouží pro dosažení požadovaných rozměrů výrobku, popř. co nejmenšího zbytku materiálu, pokud se jedná o obtížně dosažitelná místa.

V programu NX bylo pro tento způsob obrábění zvolena operace Area mill a Zlevel profile.

Dokončovací fréza

Jako dokončovací fréza byla použita kulová fréza s označením 13528 od firmy K-TOOLS (Obr. 53), její parametry jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21. Parametry dokončovací frézy pro první upnutí

Průměr (D)	8,0 (mm)
Šířka rohového sražení (R_f)	0,0 (mm)
Úhel rohového sražení (B)	0 (°)
Délka (L)	100,0 (mm)
Řezná délka (FL)	16,0 (mm)
břity	2 (-)



Obr. 53. Dokončovací fréza

Dokončovací operace

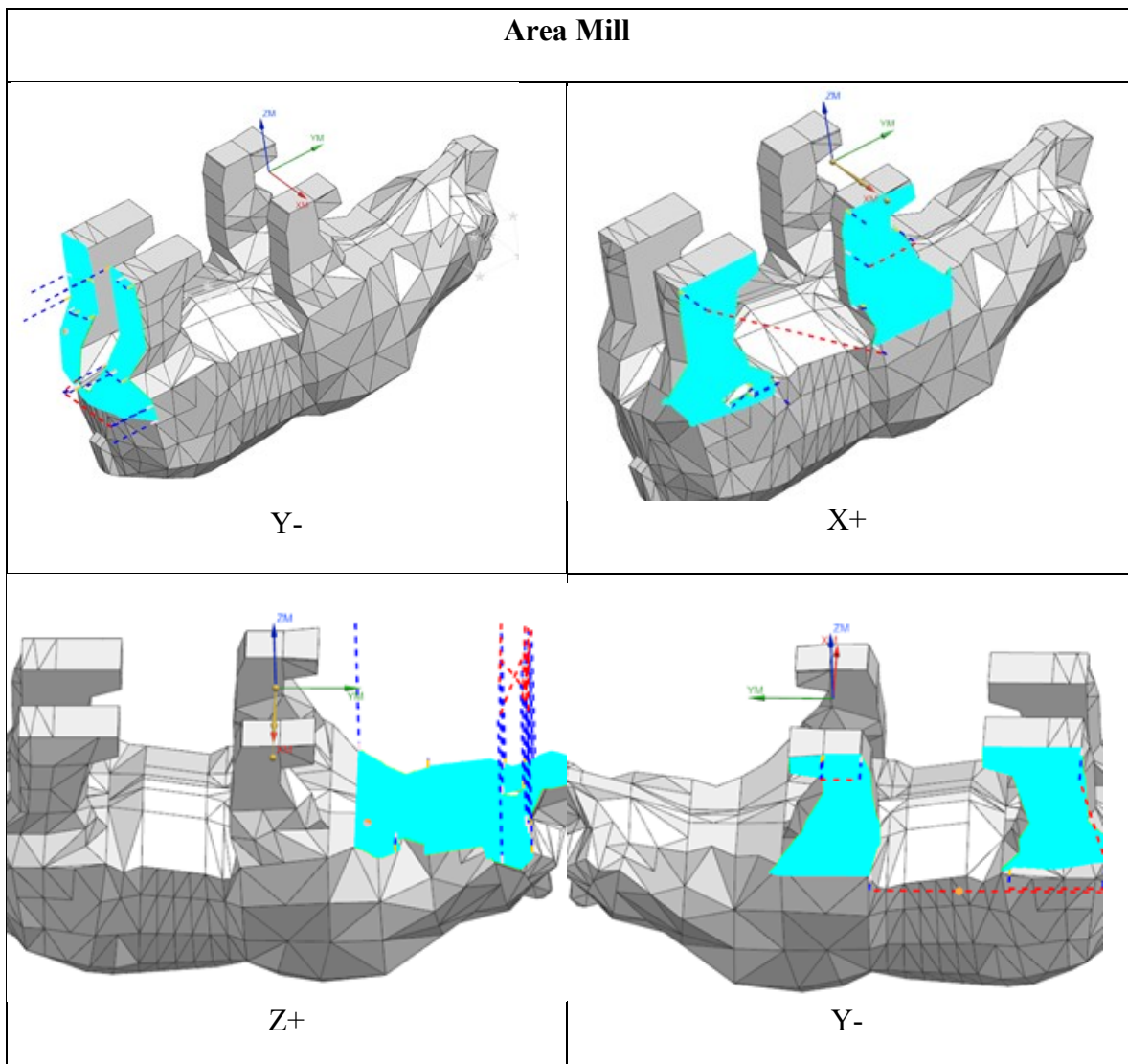
Dokončování bylo rozvrženo na mnoho operací z důvodu potřebného natočení a naklonění obrobku pro dosažení co nejlepšího výsledku. Řezné podmínky jsou uvedeny v Tab. 22 a jejich průběhy jsou naznačeny v Tab. 23.

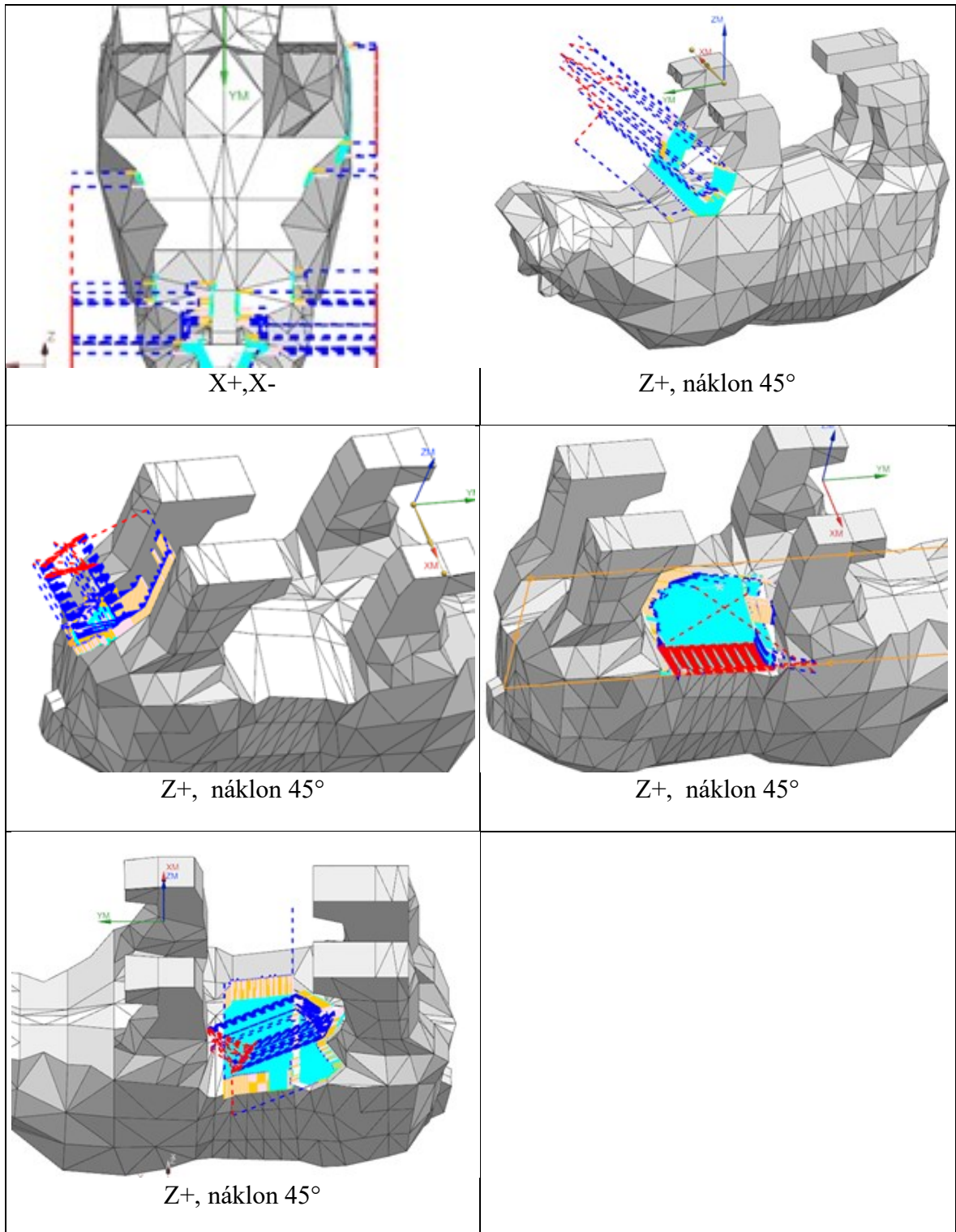
Při dokončovacích operacích začalo při obrábění docházet ke kolizím a k nechtěným odchylkám drah nástroje v porovnání se simulací. Důvod těchto kolizí a změn drah, které nastávaly se nepodařilo přesvědčivě určit. Tyto odchylky nastávaly při operacích, které vyžadovali náklon o 90°.

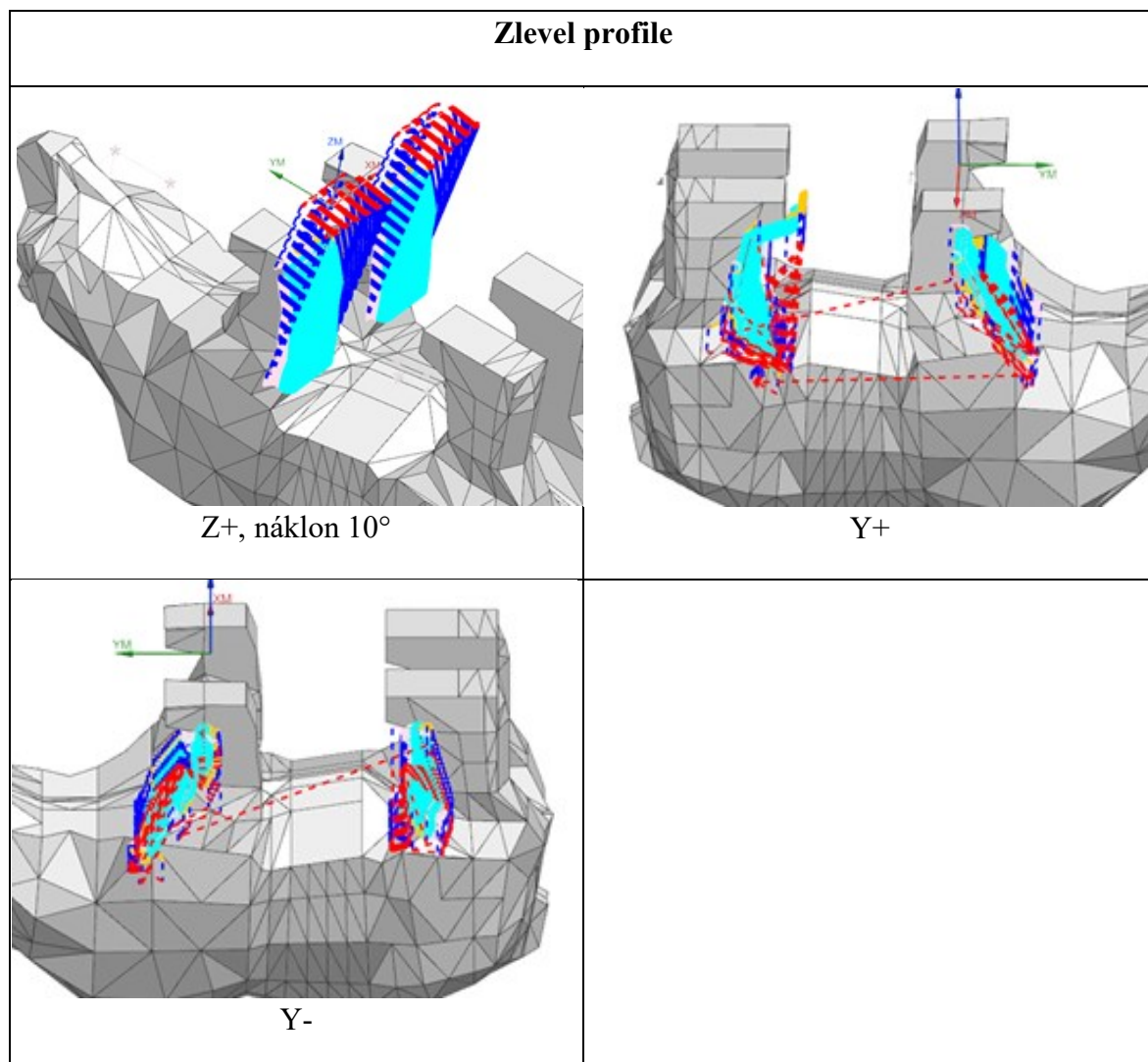
Tab. 22 . Řezné podmínky dokončování při prvním upnutí

Řezná rychlost (v_c)	285 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,083 (mm/zub)
Otáčky (n)	12 000 (ot/min)
Přídavek	0,00 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	0,5 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	0,4 (mm)
Chlazení	Emulze

Tab. 23. Průběh dokončování při prvním upnutí





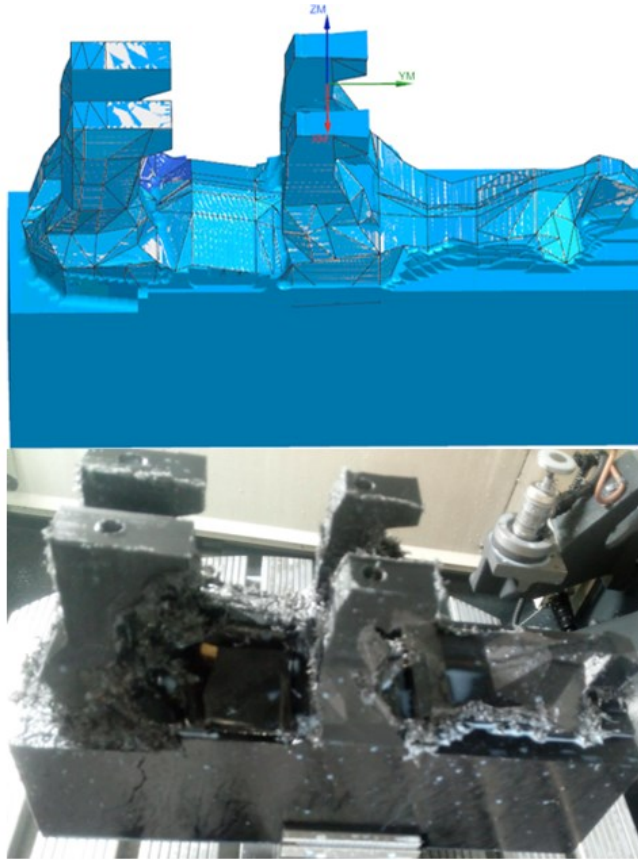


Výsledky po dokončování při prvním upnutí

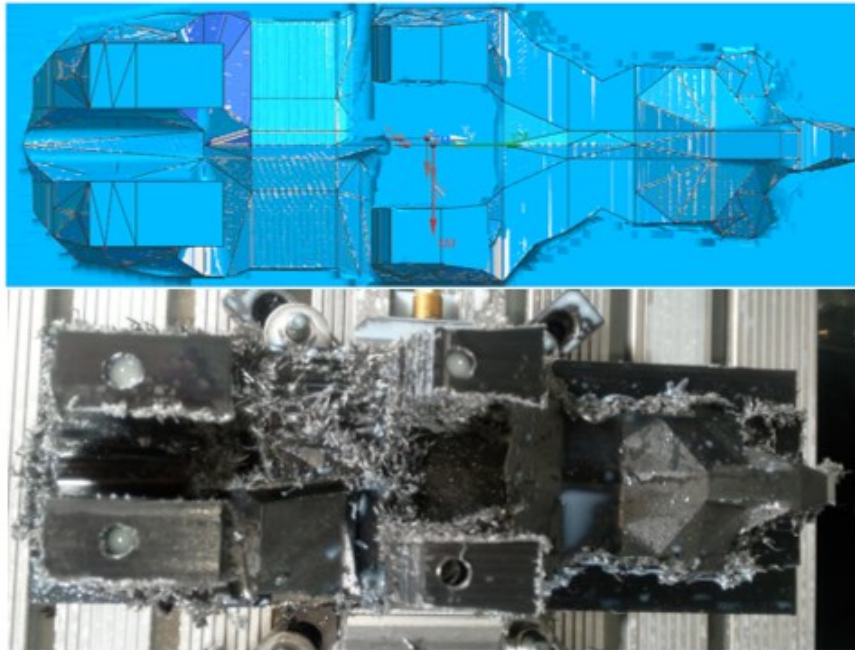
Jak bylo zmíněno, při dokončování docházelo ke kolizím a změnám drah nástroje. Na Obr. 54 a Obr. 55 jsou porovnány výsledky simulace a skutečnosti. Na Obr. 54 je možné si všimnout, že došlo k odfrézování značné části nohy modelu, která tak nekoresponduje se simulací. Na Obr. 55 je pro změnu oblast, kterou nebylo možné dokončit, jelikož docházelo ke kolizím nástroje a obrobku. Tato oblast tak byla ponechána. Její dokončení se mělo uskutečnit při druhém upnutí obrobku. I další oblasti nebyly dokončeny tak, jak bylo plánováno. Proto se na výrobku i po dokončení nachází spousta otřepů.

Kvalita povrchu, který se podařilo dokončit je na vysoké úrovni. Povrch je bez otřepů a s nízkou drsností. Řezné podmínky opět nastaveny podle doporučení výrobce a také fakt, že dokončovací fréza byla nová, potvrzují domněnku u předchozích operací. A sice

největší vliv na kvalitu obrobeneho povrchu má ostrost nástroje a množství odebíraného materiálu.



Obr. 54. Porovnání simulace a skutečnosti po dokončení při prvním upnutí



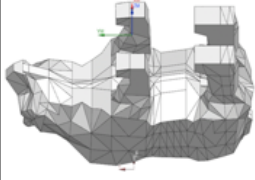
Obr. 55. Porovnání simulace a skutečnosti po dokončení při prvním upnutí

7.1.5 Shrnutí

Na Obr. 56 je zobrazen nástrojový list prvního upnutí. Obsahuje informace o nástrojích a operacích, na které byly tyto nástroje použity a časy obrábění.

Celkový výrobní čas při obrábění při prvním upnutí je 294,83 minut. Tento časový údaj zahrnuje pouze čas obrábění.

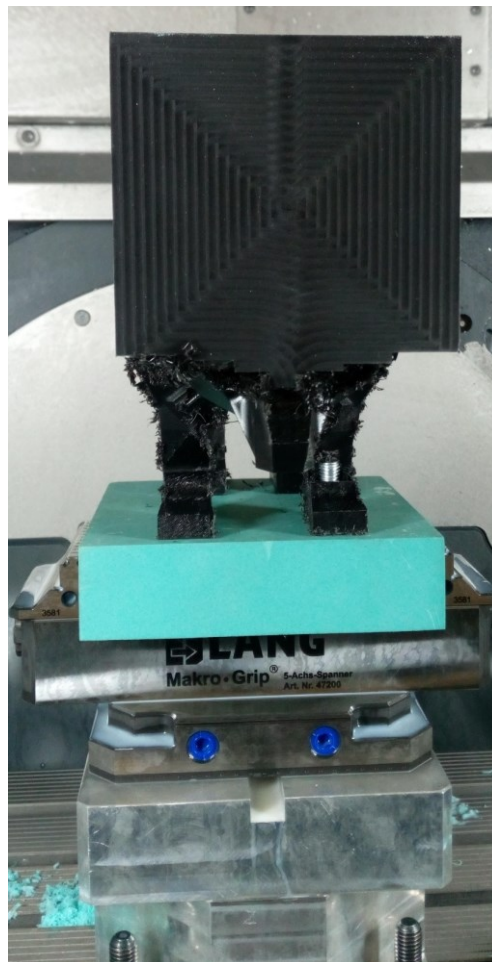
List nástrojů byl vytvořen v programu NX 1926s. Uvedené názvy nástrojů jsou totožné s označením těchto nástrojů v paměti obráběcího centra DMU 50. Program, který je ze softwaru přenesen do stroje, obsahuje informaci o označení nástroje, a proto bylo nutné použít stejné označení.

SIEMENS		Nástrojový list (první upnutí)				
Název:	první upnutí					
jednotky:	mm					
obrázek :						
Číslo nástroje	Název nástroje	Průměr nástroje	Řezná délka nástroje	Délka nástroje	Strojní čas [min]	Operace
1	FM_D10_L25_R0	10.0000	24.0000	38.0000	152.05	HRUB.1 HRUB.2 HRUB.3 HRUB.4 HRUB.5 HRUB.6
2	FM_D10_L55_R0	10.0000	55.0000	66.5000	50.68	DOHRUB.1 DOHRUB.2 DOHRUB.3 DORHUB.4
3	FM_D8_L18_R4	8.1520	19.0000	83.4000	91.02	DOK.1 DOK.2 DOK.3 DOK.4 DOK.5 DOK.6 DOK.7 DOK.8 DOK.9 DOK.10 DOK.11 DOK.12
4	FM_D8.5_L35_R0	8.5000	35.0000	89.000	1.08	VRTANI

Obr. 56. Nástrojový list (první upnutí)

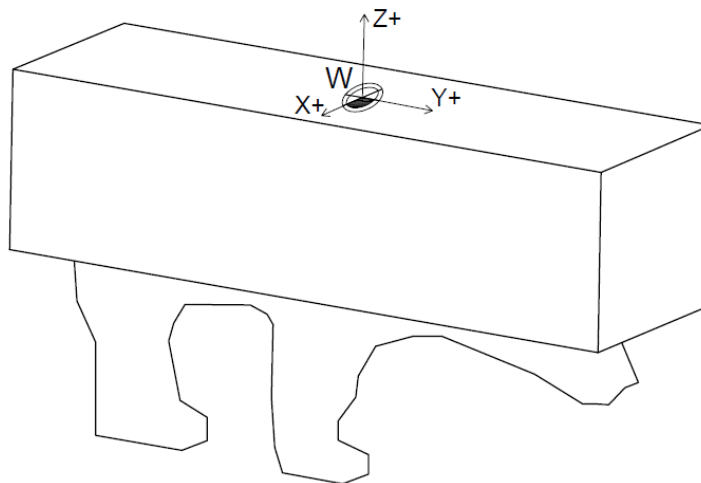
7.2 Druhé upnutí

Pro druhé upnutí byl vytvořen přípravek pro upínání. Do desky byli vytvořeny drážky pro šrouby, které byli těmito drážkami prostrčeny a zašroubovány do závitových děr vytvořených ve výrobku (Obr. 57). Při druhém upnutí byla použita distanční kostka pro zajištění dostatečné vzdálenosti vřetena stroje od upínacího stolu stroje. Do této kostky byla upnuta deska Quick point a do ní přes upínací čepy svěřák.



Obr. 57. druhé upnutí

Pomocí dotykové sondy byl opět nastaven nulový bod, a to obdobně jako při prvním upnutí (Obr. 58).



Obr. 58. Poloha nulového bodu u druhého upnutí

7.2.1 Hrubování

Stejně jako u prvního upnutí bylo potřeba odebrat přebytečný materiál hrubováním.

Hrubovací fréza

Jako hrubovací fréza byla použita monolitní fréza HSS-Co 8 % se stopkou Weldon, 3-zubá (Obr. 59), její parametry jsou uvedeny v Tab. 24.

Tab. 24. Parametry hrubovací frézy pro druhé upnutí

Průměr (D)	10,0 (mm)
Šířka rohového sražení (R_1)	0,10 (mm)
Úhel rohového sražení (B)	45 (°)
Délka (L)	63,0 (mm)
Řezná délka (FL)	22,5 (mm)
břity	3



Obr. 59. Hrubovací fréza pro druhé upnutí [55]

Hrubovací operace

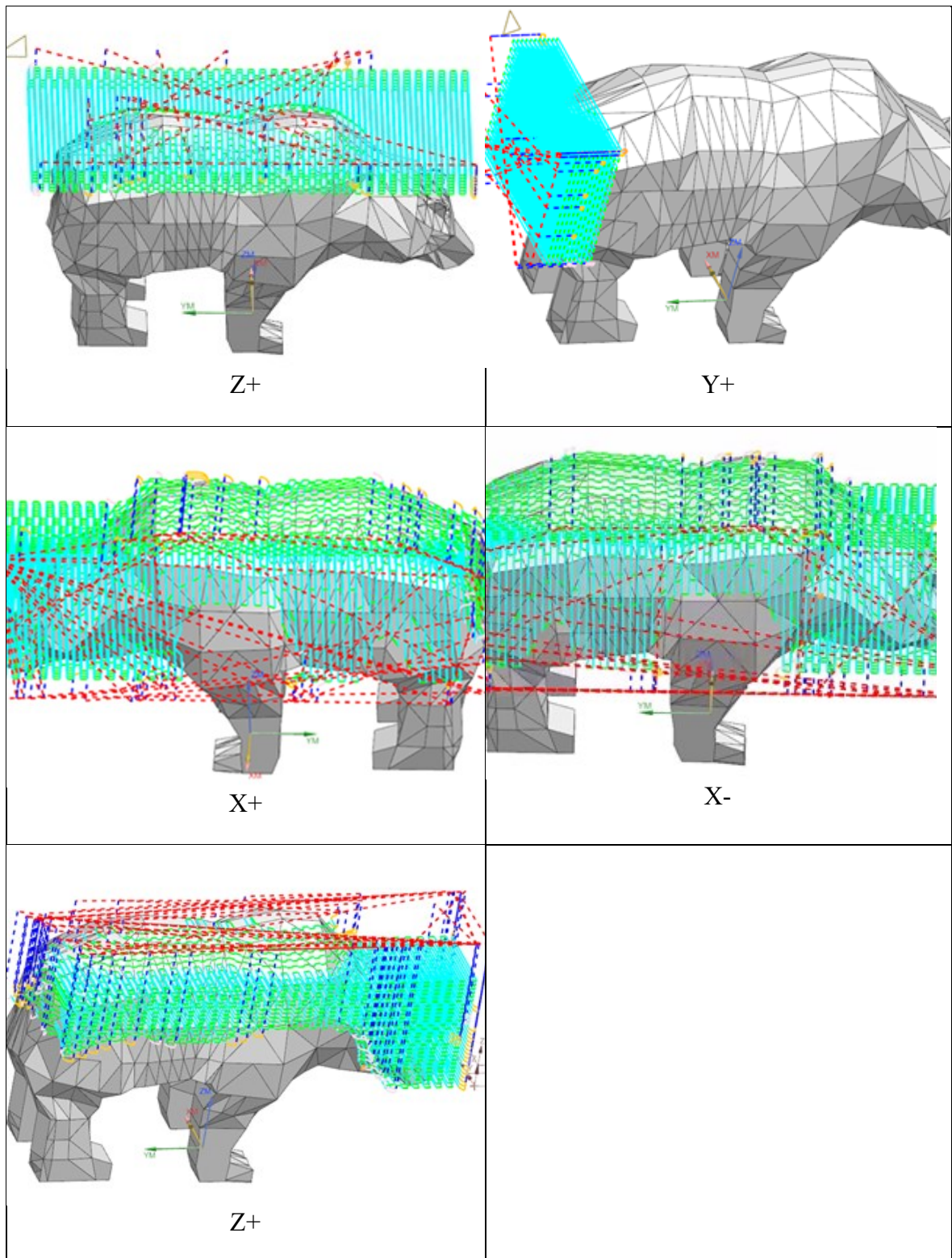
U hrubování při druhém upnutí byl použit stejný princip jako u prvního upnutí. Řezné podmínky jsou uvedeny v Tab. 25, dráhy nástroje jsou znázorněny v Tab. 26.

Při hrubování ve směru X- došlo ke kolizi držáku nástroje a nástrojové dotykové sondy. Kvůli této nehodě nebylo možné vložit do stroje dohrubovací frézu. Proto byla hrubovací fréza použita i pro dohrubování. Materiál, který z důvodu přerušení obrábění nebyl při operaci obroben, byl obroben další operací ve směru osy Z+.

Tab. 25. Řezné podmínky hrubování při druhém upnutí

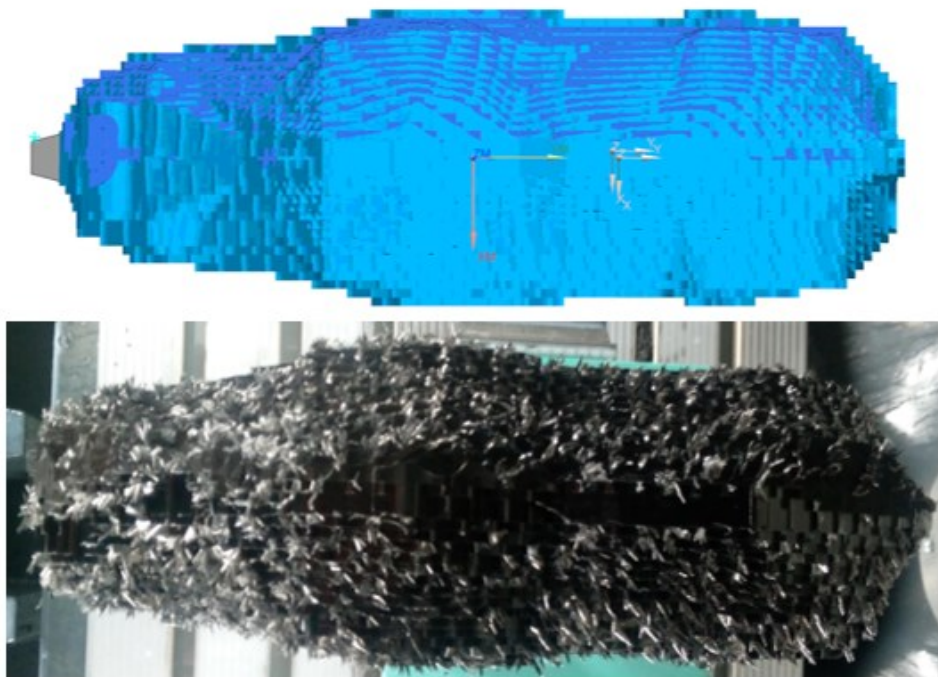
Řezná rychlost (v_c)	285,0 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,1318 (mm/zub)
Otáčky (n)	9 080 (ot/min)
Přídavek na dokončení	1,00 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	3,00 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	4,0 (mm)
Chlazení	Emulze

Tab. 26. Průběh hrubování při druhém upnutí



Výsledky po hrubování při druhém upnutí

Výsledek hrubovacích operací je znázorněn na Obr. 60. Z obrázku je patrné, že množství otřepů na obrobku je vyšší než u hrubování při prvním upnutí. Řezné podmínky byly jako v předchozích případech nastaveny podle doporučení výrobce. Hrubovací fréza byla nová. Výskyt otřepů na obrobeném povrchu se dá v tomto případě přisoudit velkému množství odebíraného materiálu (velká hloubka řezu, radiální posuv). K této domněnce vede porovnání kvality povrchu po hrubování a dohrubování.



Obr. 60. Porovnání simulace a skutečnosti po hrubování při druhém upnutí

7.2.2 Dohrubování a dokončení

Kvůli kolizi držáku nástroje a měřicí sondy a očekávaným problémům s kolizemi a drahami nástroje nekorespondujícími se simulací, byla upravena strategie obrábění. Nový postup probíhal tak, že došlo k dohrubování vybrané oblasti a vzápětí hned k jejímu dokončení.

Frézy

Pro dohrubování byla použita stejná fréza jako pro hrubování při druhém upnutí (kapitola 7.2.1).

Dokončovací fréza byla stejná jako v případě dokončování při prvním upnutí. (kapitola 7.1.4).

Dohrubovací a dokončovací operace

Při zvolené strategii obrábění se postupovalo tak, že oblast, která měla být po dohrubování dokončena, byla u prvních dvou dokončovacích operací zmenšena. Tato úprava měla za cíl zamezit tomu, aby dokončovací fréza případně zajela do ještě nedohrubované oblasti, což by se odrazilo na výsledné kvalitě povrchu i na životnosti nástroje. Řezné podmínky jsou uvedeny v Tab. 27 a Tab. 28. dráhy nástroje jsou znázorněny v Tab. 29.

Dohrubování bylo opět navrženo ve smyslu hlavních os souřadného systému. V návaznosti pak na ně navazovalo dokončování. Výjimku tady tvořilo dohrubování a dokončení hlavy. Z důvodu výše zmíněné kolize se v této oblasti nacházelo více materiálu po hrubování než na zbytku modelu. Tato oblast tak byla dohrubována jako poslední, a to pouze ve směru osy Z+ kde materiál zůstal.

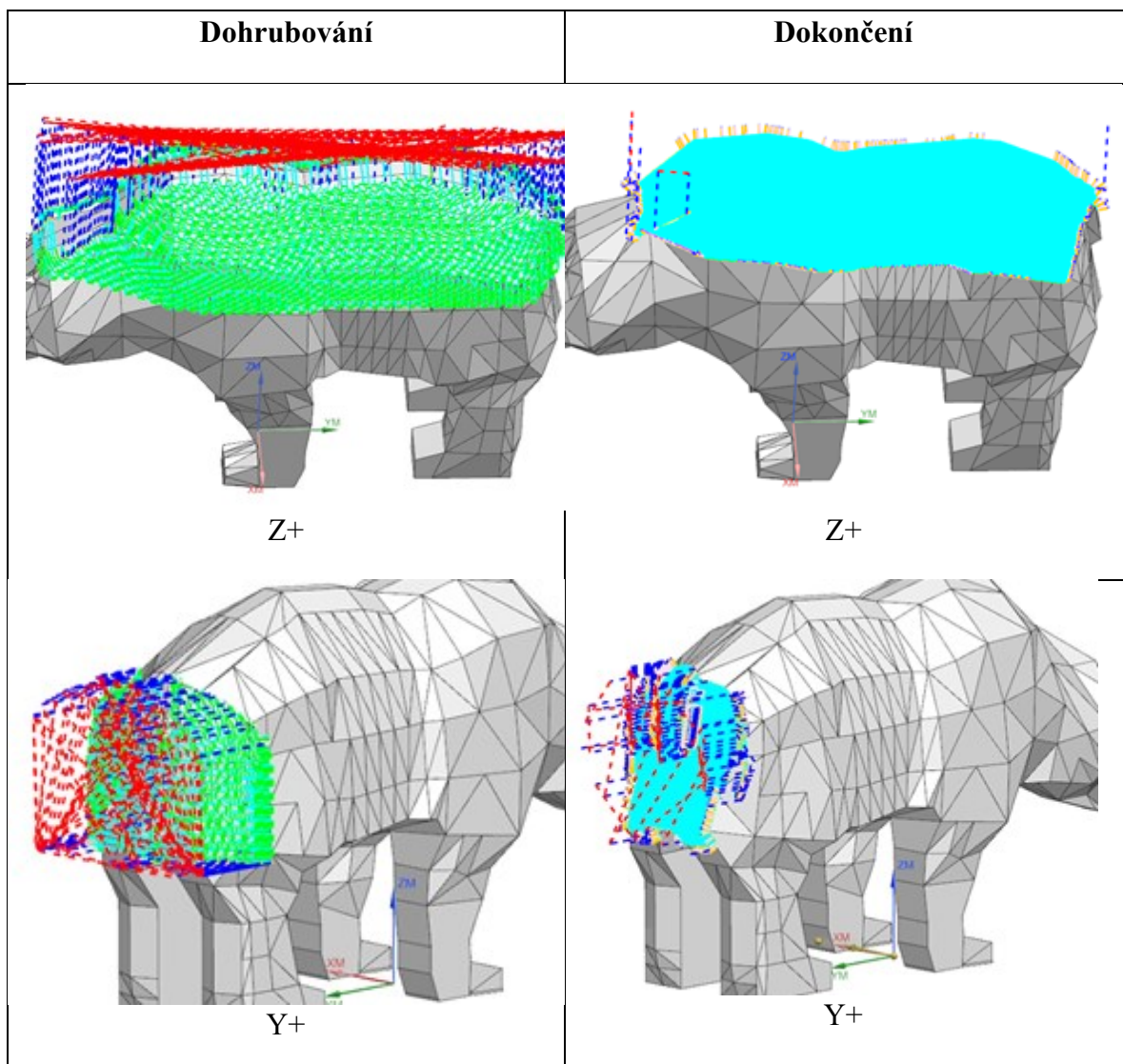
Tab. 27. Řezné podmínky pro dohrubování při druhém upnutí

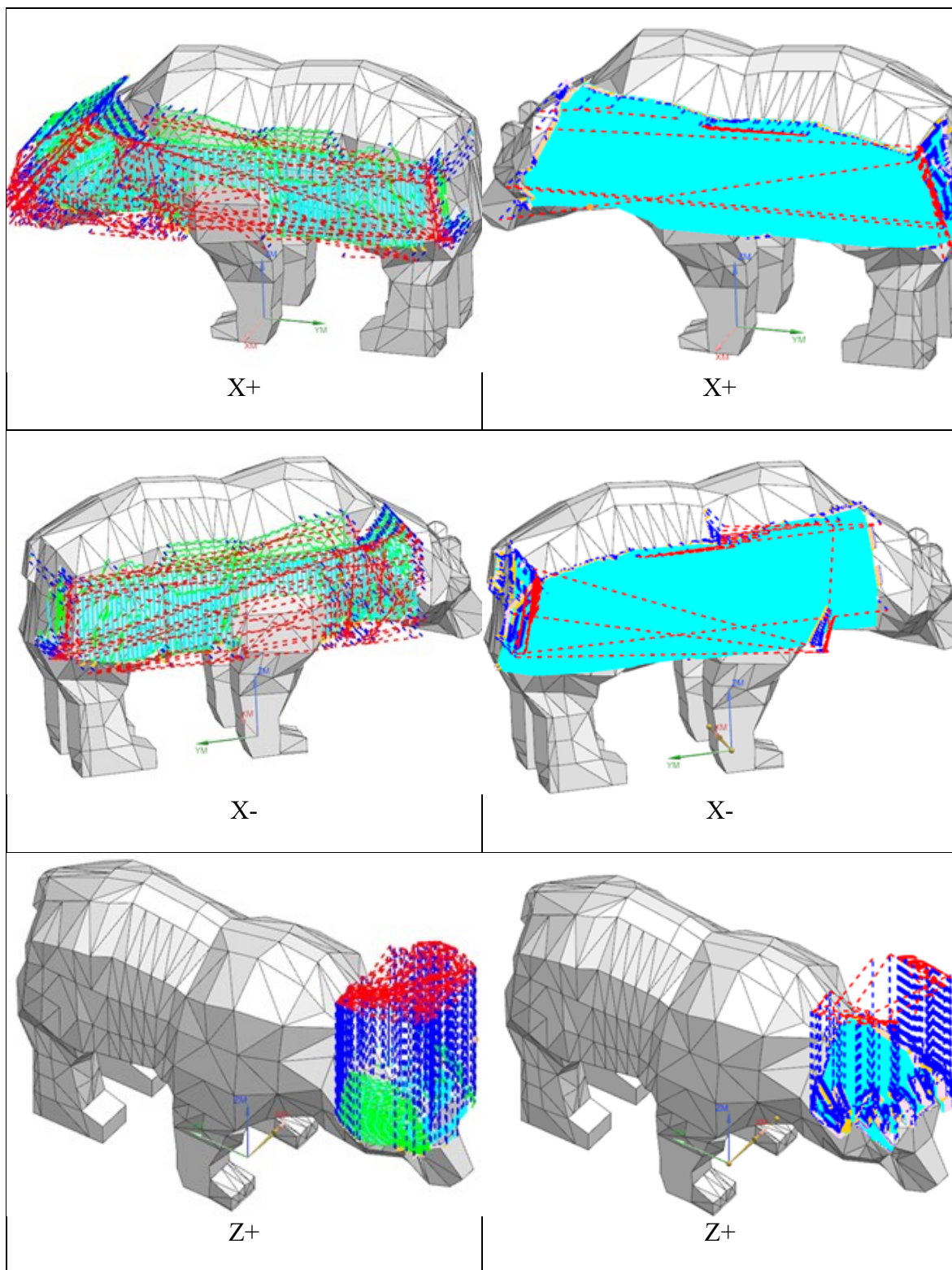
Řezná rychlost (v_c)	285,0 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,1318 (mm/zub)
Otáčky (n)	9 080 (ot/min)
Přídavek na dokončení	0,50 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	1,00 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	2,40 (mm)
Chlazení	Emulze

Tab. 28. Řezné podmínky pro dohrubování při druhém upnutí

Řezná rychlost (v_c)	307,0 (m/min)
Posuv na zub (f_z)	0,0833 (mm/zub)
Otáčky (n)	12 000 (ot/min)
Přídavek	0,00 (mm)
Max. hloubka řezu (a_{pmax})	0,40 (mm)
Max. radiální záběr (a_{emax})	0,50 (mm)
Chlazení	Emulze

Tab. 29. Průběh dohrubování a dokončování při druhém upnutí





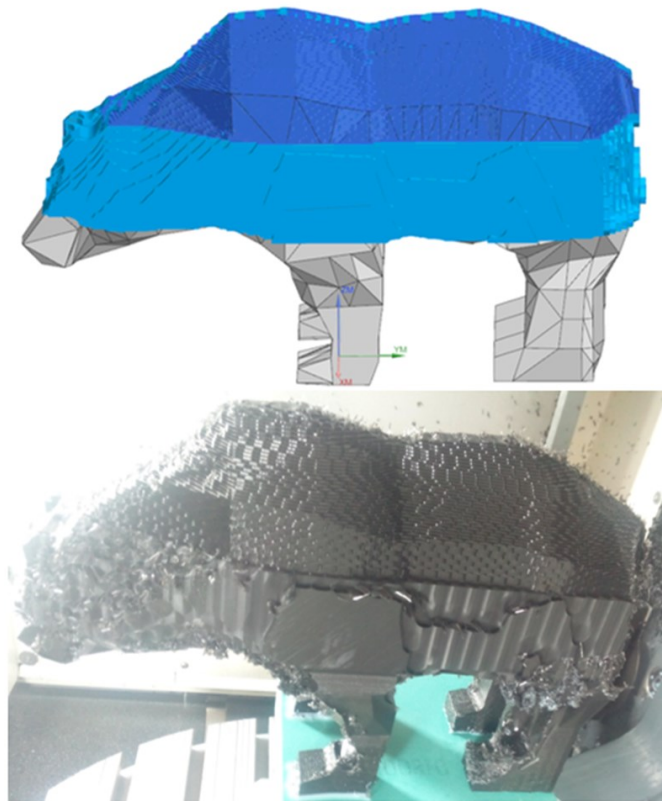
Výsledky po dohrubování a dokončení

Výsledky dohrubovacích a dokončovacích operací jsou znázorněny na Obr. 61. a Obr. 62.

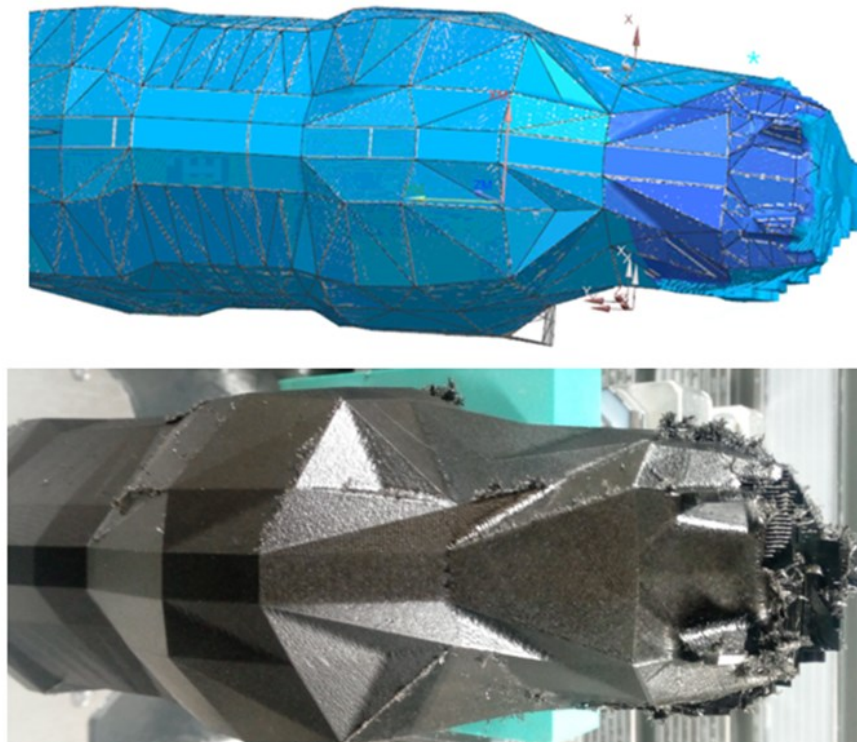
Po dohrubovacích operacích byla kvalita povrchu lepší v porovnání s dohrubováním při prvním upnutí. Vzhledem k tomu, že řezné podmínky byly v obou případech nastaveny dle doporučení výrobce, lze předpokládat nedostatečnou ostrost nástroje u dohrubovací frézy u prvního upnutí.

Zároveň je zde možné porovnat kvalitu povrchu po hrubování i dohrubování. Z důvodu použití stejné frézy při obdobných podmínkách obrábění. Množství ořepů po dohrubování je výrazně nižší v porovnání s hrubováním. Toto bylo způsobeno s největší pravděpodobností tím, že docházelo k úběru menšího množství materiálu. I když by stejně velkého úběru bylo možné dosáhnout i při hrubování kvůli časové náročnosti, kterou by takto nastavená operace vyžadovala, nejedná se o vhodnou alternativu.

Dokončovací operace vykazovali shodnou kvalitu povrchu. Na Obr. 62 je možné si všimnout zbytku v oblasti hlavy. Dokončení této oblasti je popsáno v následující kapitole.



Obr. 61. Porovnání simulace a reality po první dohrubovací operaci při druhém upnutí

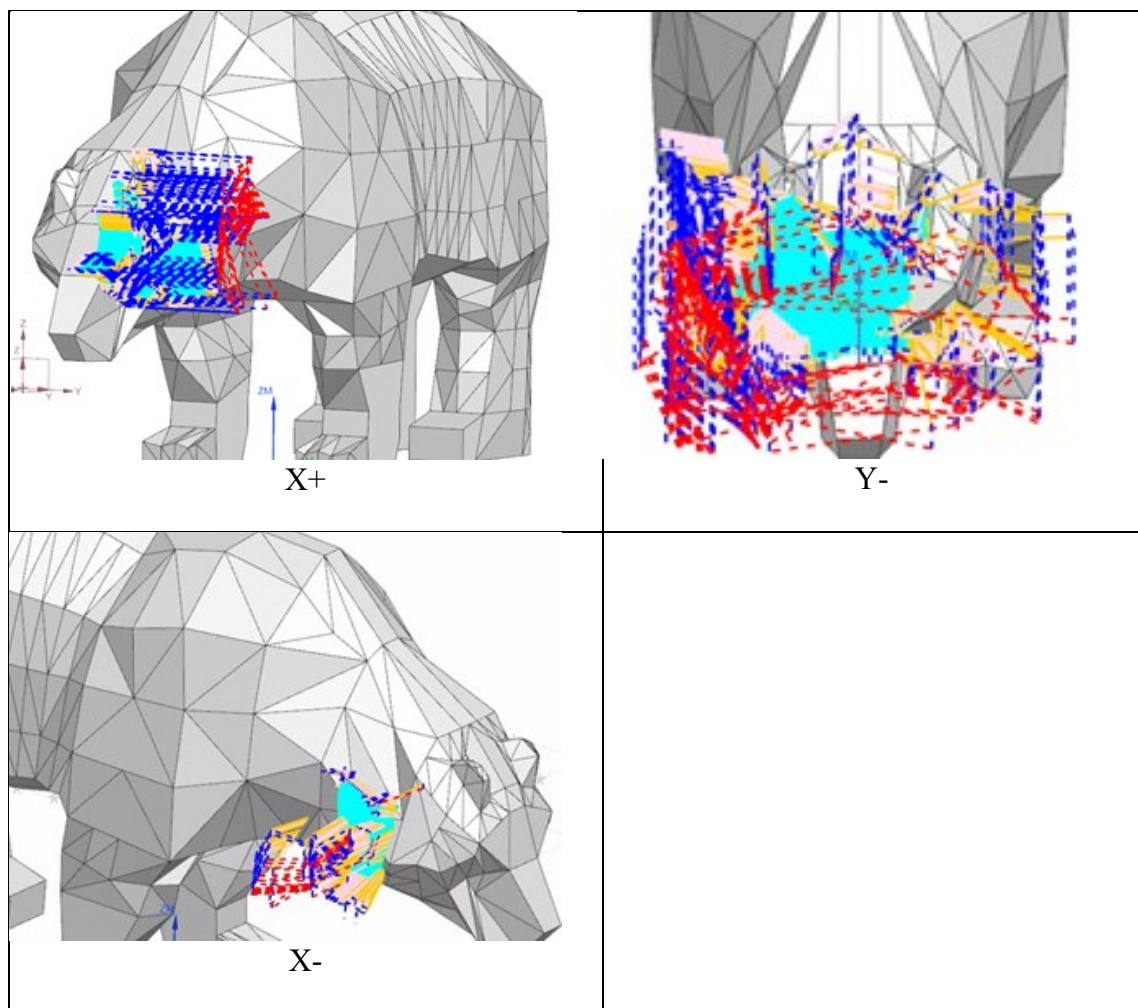


Obr. 62. Porovnání simulace a reality po paté dokončovací operaci při druhém upnutí

7.2.3 Dokončení

Po předchozích operacích zbyl materiál pouze v oblasti hlavy. Tyto zbytky byly odebrány dokončovacími operacemi. Operace měly stejné nastavení jako dokončování v předchozí kapitole.

Tab. 30. Průběh dokončování při druhém upnutí

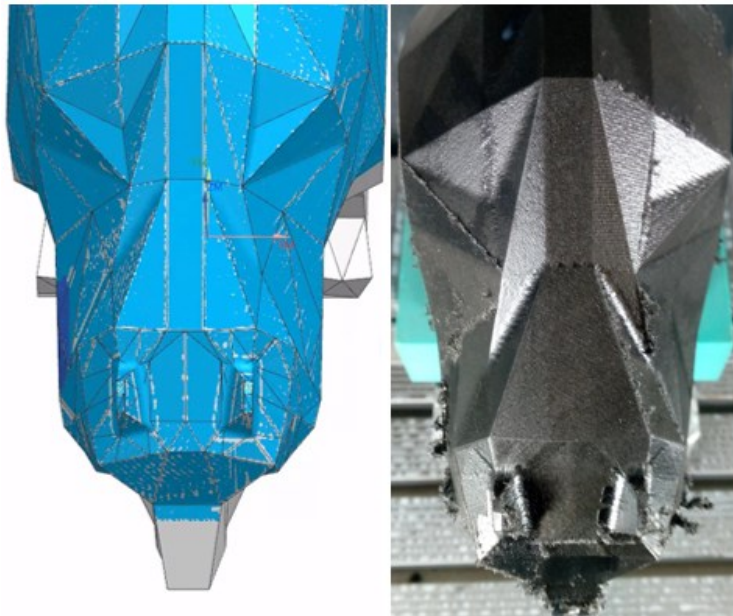


Výsledek po dokončení

Výsledek dokončení je zobrazen na Obr. 63. Je možné si všimnout malého množství ořepů na hranách mezi dvěma plochami. Kulová fréza použitá pro dokončení při své dané geometrii není schopna tyto hrany obrobit do čista.

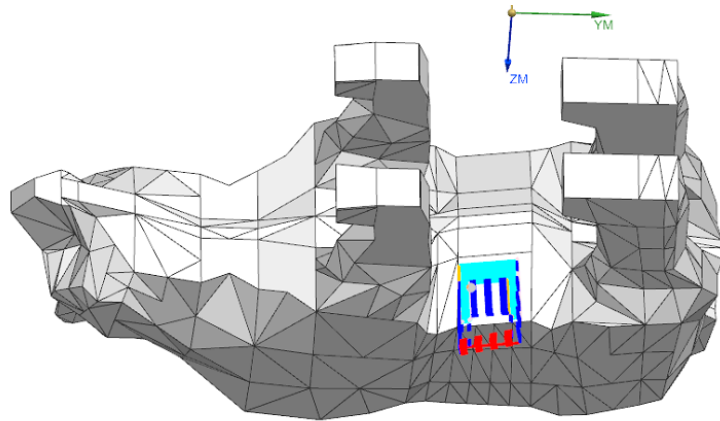
Jedná se ovšem i o důsledek rozvržení dokončování do tolika operací. Při programování v NX 1926 totiž na sebe operace vzájemně navazují ve smyslu zbytku materiálu.

V simulaci je operace naprosto beze zbytku, to ovšem nekoresponduje s realitou. Proto při programování dalších operací nedochází k překrytí v drahách nástroje tak, aby byli tyto zbytky obrobeny.



Obr. 63. Porovnání simulace a reality po dokončení při druhém upnutí

Po dokončení této části modelu se přistoupilo k pokusu dokončit nedodělané oblasti z prvního upnutí. Byla vybrána pouze malá oblast pro dokončení Obr. 64. Opět ovšem došlo ke odchylce v drahách nástroje mezi simulací a dráhami nástroje na stroji. Příčinu se nepodvedlo objasnit, a tak bylo obrábění ukončeno. Nedokončené oblasti a místa, kde došlo ke kolizím, byli následně dokončeny s využitím ručních nástrojů.



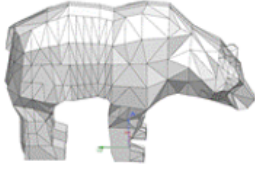
Obr. 64. Navržený průběh dokončování

7.2.4 Shrnutí

Na Obr. 65 je zobrazen nástrojový list druhého upnutí. Obsahuje informace o nástrojích a operacích na které byli tyto nástroje použity.

Celkový výrobní čas při obrábění při druhém upnutí je 281,85 minut.

V porovnání s prvním upnutím byli použity pouze dva nástroje, důvod byl popsán výše.

SIEMENS Nástrojový list (druhé upnutí)						
Název:	druhé upnutí					
jednotky:	mm					
obrázek :						
Číslo nástroje	Název nástroje	Průměr nástroje	Řezná délka nástroje	Délka nástroje	Strojní čas [min]	Operace
1	FM_D10_L22.5_R0	10.0000	22.5000	33.6000	134.29	HRUB.1 HRUB.2 HRUB.3 HRUB.4 HRUB.5 DOHRUB.1 DOHRUB.2 DOHRUB.3 DORHUB.4 DORHUB.5
2	FM_D8_L18_R4	10.0000	19.0000	83.4000	147.56	DOK. 1 DOK. 2 DOK. 3 DOK. 4 DOK. 5 DOK. 6 DOK. 7 DOK. 8

Obr. 65. Nástrojový list (druhé upnutí)

8 DISKUZE VÝSLEDKU

Při porovnávání výsledků simulace a skutečnosti, které se dosáhlo na obráběcím centru v předchozích kapitolách, jsou patrné rozdíly mezi modelem a skutečností. Např. na Obr. 54 je vidět že, došlo k nežádoucímu odfrézování materiálu z nohou modelu. Důvodem těchto odchylek, jak bylo dříve napsáno, jsou kolize a změny v drahách nástroje, které nekorespondovali se simulací.

Z důvodu těchto odchylek je poměrně složité hodnotit dosažený výsledek. Co se týče oblastí, kde obrábění proběhlo bez kolizí a bez změn v drahách nástroje, tak výsledek splňuje představy o kvalitě povrchu. Povrch není na pohled drsný a je až na výjimky, popsány dříve, bez otřepů.

Kromě nežádoucího odfrézování v jistých oblastech je pak oblast, která nebyla obrobena při dokončování. Tento problém byl popsán v kapitole 7.2.3.

Z výše zmíněných důvodů nebylo možno dokončit výrobek na obráběcím centru. Obrobek byl následně dokončen s použitím ručních nástrojů. Povrch takto dokončených míst ovšem nedosahuje kvalit povrchu po frézování.

ZÁVĚR

Cílem praktické části diplomové práce bylo zhotovit výrobek z materiálu PE-HD. Model pro obrábění byl zhotoven v programu Blender a měl by alespoň vzdáleně připomínat medvěda. Tvorba programu pro CNC stroj probíhala v programu NX 1926s.

Při samotném obrábění se ovšem začali objevovat rozpory mezi simulací a realitou.

Naprogramování a následná simulace drah nástroje nevykazovali žádný problém. Nebyli hlášeny kolize ani zajetí nástroje přímo do obrobku. K tomu ovšem docházelo na stroji. Jak bylo zmíněno výše, důvod těchto obtíží se nepodařilo objasnit, natož odstranit. Hotový výrobek tak tvarově neodpovídá modelu.

Během hrubování při druhém upnutí navíc došlo k poškození měřicí sondy na nástroje tzv. hříbek. Důvod této kolize se opět nepodařilo osvětlit. Kdyby k této kolizi nedošlo, tak hrubovací operace odpovídají simulaci. Ta ovšem měla na tuto kolizi upozornit.

Z těchto důvodů bylo obrábění ukončeno a obrobek byl dokončen s využitím ručních nástrojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Tri star university machining plastics* [online]. 2016, 2.8.2016 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/tristarplastics/tri-star-university-machining-plastics-2016>
- [2] PETRŮ, Jana. Současný vývoj v oblasti řezných nástrojů. *Mmspektrum* [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasny-vyvoj-v-oblasti-reznych-nastroju.html>
- [3] *Sortiment: Základní technické plasty* [online]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.eppplasty.cz/sortiment.php>
- [4] *Machining Recommendations for Semi-Finished Engineering Plastics* [online]. Ensinger [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.emcoplastics.com/assets/pdf/acetal/Machining%20guidelines%20Ensinger.pdf_02.pdf
- [5] *Pokyny pro třískové obrábění termoplastů* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://tenartplasty.cz/wp-content/uploads/2014/10/Pokyny-k-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf>
- [6] *Návod na obrábění polotovarů technických plastů* [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://plastum.cz/navod-na-obrabeni/>
- [7] SVOBODA, Rostislav. CNC: Co jsou to CNC stroje? Zjistěte, co dovedou. *Factory Automation* [online]. 29.8.2014 [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-cnc-stroje-zjistete-co-umi/>
- [8] *Rozdíl mezi CNC a konvenčním obráběním: Výhody CNC stroje* [online]. [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/cnc/cz.htm>
- [9] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [10] *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. Velká Bíteš: Středisko praktického vyučování PBS Velká Bíteš [cit. 2021-02-22].
- [11] PIVEC, František. Automatizace ve světě obrábění. *Mmspektrum* [online]. 8.3.2016 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatizace-ve-svete-obrabeni.html>

- [12] TOMAN, Martin. *Systém sinumerik při synchronním programování cnc obráběcích strojů*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] *Sortiment: Základní technické plasty* [online]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.eppplasty.cz/sortiment.php>
- [14] *Sortiment: Základní technické plasty* [online]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://plastum.cz/zakladni-technicke-plasty/>
- [15] *Technické informace: materiály* [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.koplast.cz/technicke-informace-materialy/>
- [16] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [17] DUCHOSLAV, Petr. Jak funguje cnc stroj. *Factory Automation* [online]. 2017 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-funguje-cnc-stroj/>
- [18] Části soustruhů. *Eluc.kr-olomoucky.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221>
- [19] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [20] *Průručka CNC programování* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf
- [21] M. Alauddin, I.A. Choudhury, M.A. El Baradie, M.S.J. Hashmi, *Plastics and their machining: A review*, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 54, Issues 1–4, 1995, Pages 40-46, ISSN 0924-0136, [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)01917-0](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)01917-0).
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0924013695019170>)
- [22] *Supply Services: Machining Engineering Plastics* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.supplyservices.co.nz/machining-of-semi-finished-engineering-plastics/>
- [23] *DMG MORI: DMU 50* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://uk.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu/dmu-50>
- [24] Carville: Precision Plastic Machining. *Carvilleplastics* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.carvilleplastics.com/services/precision-plastic-machining/>

- [25] *Polymer Properties Database: POLY(ETHER)IMIDES (PEI)* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyetherimide%20type.html>
- [26] *Polymer Properties Database: POLYETHER ETHER KETONE (PEEK)* [online]. [cit.2021-03-08]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyetherimide%20type.html>
- [27] Polyimide: Introduction (POLYIMIDE Molded Parts & Shape). *Daelim* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.daelimcorp.co.kr/en/pc/business-areas/polyimide/about-plavis.do>
- [28] *M&P: PEEK MACHINED PARTS* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://m-p.com/product/peek-machined-parts/>
- [29] *Millerplastics: Polypropylene machining* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.millerplastics.com/polypropylene-machining/>
- [30] *3dhubs: CNC machining Polypropylene Materials* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/cnc-machining/plastic/polypropylene/>
- [31] KAUSAR, Ayesha. *Tandfonline: Polybenzimidazole-based nanocomposite: current status and emerging developments* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/25740881.2019.1625387?journalCode=lpte>
21
- [32] *Plastum: High-end technické plasty DURATRON PBI* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://plastum.cz/high-end-technicke-plasty/duratron-pbi/>
- [33] *Tech Plasty: Duratrone® PBI - polybenzimidazol* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.techplasty.cz/material/specialne-plasty/duratroner-pbi-polybenzimidazol>
- [34] *LEP: Celazole PBI* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://lep.net.nz/materials-plastics-selection-guide/celazole-pbi/>
- [35] *Siemens: New Tech Tip describes new-for-NX CAM 9 Cut Region Management* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/nx-manufacturing/new-tech-tip-describes-new-for-nx-cam-9-cut-region-management/>

- [36] EMERSON ESCOBAR, Nunez. *Researchgate: Polymer pyramid* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Polymer-pyramid-listing-high-performance-polymers-used-in-TS-processes-organized-from_fig3_331467558
- [37] Soustružení: Základní pojmy. *OSU* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
- [38] *Strojírenství - frézování: PODSTATA FRÉZOVÁNÍ* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/03/1-podstata-frezovani.html>
- [39] *AIP precision machining: PBI (Polybenzimidazole)* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://aipprecision.com/product/pbi-polybenzimidazole/>
- [40] *Aetnoplastics: Celazole® / PBI (Polybenzimidazole)* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.aetnoplastics.com/products/d/Celazole>
- [41] Hoffmann GmbH Qualitätswerkzeuge. Příručka obrábění. Cross Media Solutions GmbH, Würzburg, 2016, 561 s. ISBN 978-3-9818286-2-7
- [42] *PWR Composite: Obrábění technických plastů* [online]. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://pwr.cz/12-obrabeni-technickyh-plastu>
- [43] *Eluc: Strojírenství / Obrábění a zpracování kovů / CNC obrábění / Souřadnicový systém stroje / Vztažné bod stroje* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1295>
- [44] *Renishaw: Sonda OMP40-2 s optickým přenosem signálu* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/sonda-omp40-2-s-optickym-prenosem-signalu--7992>
- [45] Fetecau, C., Stan, F., Munteanu, A. *et al.* Machining and surface integrity of polymeric materials. *Int J Mater Form* **1**, 515–518 (2008). <https://doi.org/10.1007/s12289-008-0192-z>
- [46] Quadrini, F. (2008). *Machining of plastics: A new approach for modeling*. *Polymer Engineering & Science*, 48(3), 434–438. doi:10.1002/pen.20968
- [47] Susac, Florin & Tabacaru, Valentin & Teodor, Virgil & Baroiu, Nicusor. (2019). *Effect of Cutting Parameters on the Hole Quality in Dry Drilling of Some Thermoplastic Polymers*. *Materiale Plastice*. 56. 245-251. 10.37358/MP.19.1.5160.

- [48] Erenkov, O. & Yavorskii, D. & Kalenskii, A. & Lopushanskii, I. (2020). *Turning of Thermoplastics Using Ceramic Cutting Tools*. *Glass and Ceramics*. 77. 194-196. 10.1007/s10717-020-00268-7.
- [49] Emel'yanenko, A. & Zhabin, O. & Polyanchikov, Yu. (2017). Programmable end milling of thermoplastics. *Russian Engineering Research*. 37. 122-124. 10.3103/S1068798X1702006X.
- [50] Erenkov, O.. (2020). New method of thermoplastic materials turning. *Plasticheskie massy*. 35-37. 10.35164/0554-2901-2020-1-2-35-37.
- [51] Campos Rubio, Juan & Panzera, T. & Scarpa, Fabrizio. (2014). Machining behaviour of three high-performance engineering plastics. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*. 229. 10.1177/0954405414525142.
- [52] *Dimensions: Grizzly Bear* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.dimensions.com/element/grizzly-bear>
- [53] *Seco: Frézy - Monolitní frézy - JS453120D2CZ3.0-HEMI* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_02881905
- [54] *BO-Import Nářadí-Nástroje: Frézy hss* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/frezy-hss/frezy-valcove-a-valcove-celni-hss-valc-stopka/freza-valcova-celni-dlouha-din-844-10x45-hss-co8-typ-n-stopka-weldon-1968.html>
- [55] *Cromwell: Frézy HSS-Co 8% se stopkou Weldon, 3-zubé* [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: http://www.cromwell.cz/images/pdf/cz12_section1b.pdf
- [56] *ČSN ISO 841: Systémy průmyslové automatizace a integrace - Číslicové řízení strojů - Souřadnicový systém a terminologie pohybu*. Český normalizační institut, 2003.
- [57] *SECO: SD203A-0850-035-10R1-P* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_03045987?language=en
- [58] *Kovosvit MAS: MULTICUT 630* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/multicut-630-p37.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC Computer numerical control

NC Numerical control

PE-HD Vysoce hustotní polyethylen

HSS High speed steel – rychlořezná ocel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Ukázka CNC stroje [58]	12
Obr. 2. Blokové schéma CNC obráběcího stroje [20].....	14
Obr. 3. Možné provedení řídicího panelu CNC stroje [20]	16
Obr. 4. Definování kartézských souřadnic v pravotočivé soustavě souřadnic [18]	17
Obr. 5. Naškrábnutím nástroje [20].....	19
Obr. 6. Excentrickým měřícím dotykem [20].....	19
Obr. 7. Měřící sondou [44]	20
Obr. 8. Vztažné body soustruhu [43]	21
Obr. 9. Vztažné body frézky [43].....	21
Obr. 10. Posunutí nulového bodu obrobku – W [20]	22
Obr. 11. Stavba CNC programu [10]	23
Obr. 12. Dělení slova [10]	23
Obr. 13. Ukázka dílenského programování [12].....	26
Obr. 14. Prostředí CAM systému NX [35].....	28
Obr. 15. Rozdělení plastů podle použití [36 - upraveno]	30
Obr. 16. Příklady výrobků z PA [14]	33
Obr. 17. Příklady výrobků z PET [14]	34
Obr. 18. Příklady výrobků z PTFE [14]	36
Obr. 19. Příklady výrobků z POM [14].....	37
Obr. 20. Příklady výrobků z PE-HD [14].....	39
Obr. 21. Příklady výrobků z PP [30].....	40
Obr. 22. Příklady výrobků z PMMA [24]	42
Obr. 23. Příklady výrobků z PI [27].....	43
Obr. 24. Příklady výrobků z PEEK [28].....	44
Obr. 25. Příklady výrobků z PBI [39,40]	45
Obr. 26. Vliv řezné rychlosti na teplotu v místě řezu [4 - upraveno].....	49
Obr. 27. Teplotní průběh žíhání [4 - upraveno]	51
Obr. 28. Porovnání napětí ve výrobku, vlevo: tupý vrták, vpravo: ostrý vrták [4].....	53
Obr. 29. Princip soustružení [37]	55
Obr. 30. Princip frézování [38 - upraveno].....	57
Obr. 31. Prostředí programu Blender	61
Obr. 32. Předloha pro modelování [52].....	62
Obr. 33. Předloha vložena v pracovním prostoru	62
Obr. 34. Správně zorientovaná plocha	63

Obr. 35. Nastavení plochy	64
Obr. 36. Plochy pokrývající předlohu	64
Obr. 37. Model bez jedné stěny	65
Obr. 38. Zrcadlený model.....	66
Obr. 39. Vytažená hrana	67
Obr. 40. Vytvořená noha	67
Obr. 41. Hrubý model.....	68
Obr. 42. Hotový model.....	68
Obr. 43. Obráběcí centrum DMU 50 [23]	70
Obr. 44. Model v programu NX 1926s.....	71
Obr. 45. První upnutí.....	72
Obr. 46. Poloha nulové bodu u prvního upnutí.....	72
Obr. 47. Hrubovací fréza [53].....	73
Obr. 48. Vrták	76
Obr. 49. Průběh vrtání	77
Obr. 50. Porovnání simulace a skutečnosti po hrubování při 1. upnutí	79
Obr. 51. Dohrubovací fréza pro první upnutí [54].....	80
Obr. 52. Porovnání simulace a skutečnosti po dohrubování při prvním upnutí	82
Obr. 53. Dokončovací fréza.....	83
Obr. 54. Porovnání simulace a skutečnosti po dokončení při prvním upnutí.....	87
Obr. 55. Porovnání simulace a skutečnosti po dokončení při prvním upnutí.....	88
Obr. 56. Nástrojový list (první upnutí).....	89
Obr. 57. druhé upnutí	90
Obr. 58. Poloha nulového bodu u druhého upnutí	91
Obr. 59. Hrubovací fréza pro druhé upnutí [55].....	92
Obr. 60. Porovnání simulace a skutečnosti po hrubování při druhém upnutí.....	94
Obr. 61. Porovnání simulace a reality po první dohrubovací operaci při druhém upnutí ...	99
Obr. 62. Porovnání simulace a reality po paté dokončovací operaci při druhém upnutí	99
Obr. 63. Porovnání simulace a reality po dokončení při druhém upnutí.....	101
Obr. 64. Navržený průběh dokončování.....	102
Obr. 65. Nástrojový list (druhé upnutí)	102

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os [19 - upraveno]	17
Tab. 2. Popis struktury bloku [9 - upraveno].....	23
Tab. 3. Nejdůležitější funkce [9 - upraveno]	24
Tab. 4. Porovnání vlastností kovových a plastových materiálů. [1 - upraveno].....	31
Tab. 5. Možné chyby vzniklé při řezání [1,4,5].....	52
Tab. 6. Možné chyby vzniklé při vrtání [1,4,5]	54
Tab. 7. Možné chyby vzniklé při soustružení [1,4,5].....	56
Tab. 8. Možné chyby vzniklé při frézování [1,4,5].....	58
Tab. 9. Technické údaje stroje [23 – upraveno].....	69
Tab. 10. Parametry vřetena [23 – upraveno]	69
Tab. 11. Parametry pohonu posuvů [23 – upraveno]	70
Tab. 12. Základní vlastnosti PE-HD	71
Tab. 13. Parametry hrubovací frézy	73
Tab. 14. Řezné podmínky hrubování při prvním upnutí	74
Tab. 15. Průběhy hrubovacích operací při prvním upnutí	74
Tab. 16. Parametry vrtáku	76
Tab. 17. Řezné podmínky při vrtání.....	77
Tab. 18. Parametry dohrubovací frézy pro první upnutí	80
Tab. 19. Řezné podmínky dohrubování při prvním upnutí	80
Tab. 20. Průběhy dohrubovacích operací při dohrubování při prvním upnutí	81
Tab. 21. Parametry dokončovací frézy pro první upnutí.....	83
Tab. 22 . Řezné podmínky dokončování při prvním upnutí.....	84
Tab. 23. Průběh dokončování při prvním upnutí	84
Tab. 24. Parametry hrubovací frézy pro druhé upnutí	91
Tab. 25. Řezné podmínky hrubování při druhém upnutí.....	92
Tab. 26. Průběh hrubování při druhém upnutí.....	93
Tab. 27. Řezné podmínky pro dohrubování při druhém upnutí.....	95
Tab. 28. Řezné podmínky pro dohrubování při druhém upnutí.....	96
Tab. 29. Průběh dohrubování a dokončování při druhém upnutí.....	96
Tab. 30. Průběh dokončování při druhém upnutí.....	100

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list PE-HD

Na CD je nahráno:

Výrobní program součásti

Soubory v NX 1926 ve kterém probíhalo programování

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PE-HD

Materiálový list PE-HD

Vlastnosti použitých materiálů ¹⁾	Norma	Jednotka	PE-HD
I. Všeobecné vlastnosti			
1. Hustota (ρ)	ISO 1183	g/cm ³	0,95
2a. Nasákavost (voda)	ISO 62	%	0,5
2b. Nasákavost (vzdušná vlhkost)	ISO 62	%	0,01
3a. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - horní mezní hodnota	UL 746B	°C	90
3b. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - dolní mezní hodnota		°C	-50
II. Mechanické vlastnosti			
1. Tahové napětí na hranici průtažnosti (σ_B)	ISO 527	MPa	27
2. Tažnost (ϵ_B)	ISO 527	%	18
3. Mez pevnosti v tahu (σ_R)	ISO 527	MPa	5
4. Protažení při přetržení (ϵ_R)	ISO 527	%	≥ 70
5. Rázová houževnatost (α_K)	ISO 179	kJ/m ²	o.B.
6. Vrubová houževnatost (α_K)	ISO 179	kJ/m ²	20
7. Tvrdost (H_R) dle Rockwella	ISO 2039	MPa	-
8. Shore-D	ISO 868	-	69
9. Pevnost v ohybu ($\sigma_{0,3,5\%}$)	ISO 178	MPa	22
10. Modul pružnosti (E_L)	ISO 527	MPa	1040
III. Tepelné vlastnosti ²⁾			
1. Teplota měknutí dle VICATA VST/B/50	ISO 306	°C	80
VST/A/50		°C	125
2. Teplotní tvarová stálost HDT/B	ISO 75	°C	69
HDT/A		°C	-
3. Koefficient délkové roztažnosti (α)	ISO 11359	K ⁻¹ x 10 ⁻⁴	1,5
4. Tepelná vodivost při 20°C (λ)	ISO 22007-4	W/(m x K)	0,42
5. Teplota skelného přechodu (T_g)	DIN EN ISO 3146	°C	-110
6. Teplota tání (T_m)	DIN EN ISO 3146	°C	130
IV. Elektrické vlastnosti			
1. Specifický vnitřní odpor (ρ_b) ³⁾	IEC 60093	$\Omega \times \text{cm}$	≥ 10 ¹³
2. Povrchový odpor (R_s) ³⁾	IEC 60093	Ω	> 10 ¹³
3. Permittivita při 1 Mhz (ϵ_r) ³⁾	IEC 60250		2,35
4. Diel. ztrátový činitel při 1 Mhz ($\tan\delta$) ³⁾	IEC 60250		0,0003
5. Průrazná pevnost ³⁾	IEC 60243-1	kV/mm	45
6. Izolační odpor ³⁾	IEC 60112	V	-
V. Ostatní vlastnosti			
1. Možnost lepení			+
2. Fyziologická nezávadnost ^{5) 6)}	EEC		+
	FDA		+
3a. Hořlavost/chování při požáru ⁷⁾	UL 94	-	HB
3b. Limitní kyslíkové číslo (LOI) ⁸⁾	ASTM D2863	%	18
4. Odolnost proti UV ^{9) 10)}			0