

Optimalizace G-kódu

Bc. Luboš Nechvátal

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš Nechvátal**
Osobní číslo: **T14547**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace G-kódu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Navržení obráběcích operací pro danou součást**
- 3. Provedení verifikace s detekcí kolizí, vygenerování G-kódu**
- 4. Optimalizace G-kódu**
- 5. Vyhodnocení efektivity optimalizační metody**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. VRABEC, Martin. Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012. ISBN 978-80-7414-499-8.
2. ADITHAN, M. a B. S. PABLA. CNC machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011. ISBN 81-224-2019-2., Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008. ISBN 978-0-8311-3347-4. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip084/2007045901.html>
3. KOH, Jaecheol. Siemens NX 10 design fundamentals. Seoul: ONSIA, 2015. ISBN 978-1-516994-04-5.
4. GROOVER, Mikell P. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. 3rd ed., New international ed. Harlow: Pearson, c2014. ISBN 978-1-29202-592-6.
5. Vericut manual

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství


Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

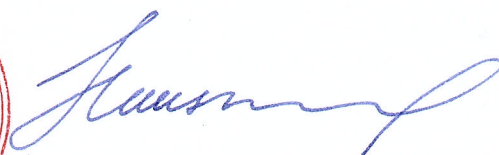
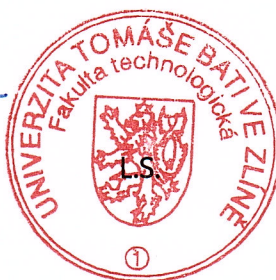
12. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je optimalizace G-kódu pro technologii frézování na obráběcím CNC centru. Diplomová práce se zabývá kompletním řešením součásti vložky dutiny vstřikovací formy pro část krytu akumulátorové vrtačky. Vlastní řešení začíná naprogramováním CNC programu v CAM programu NX 10, pokračuje jeho převedením přes post-processor do G-kódu, následuje provedení jeho optimalizace pomocí optimalizačního programu Vericut 8.0.2 modulem OptiPath. Závěrem jsou získané hodnoty z optimalizovaného a neoptimalizovaného CNC programu diskutovány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: CNC programování, NX, Vericut, optimalizace, G-kód

ABSTRACT

The aim of this thesis is to optimize the G-code for milling technology on a CNC machining center. The diploma thesis deals with the complete solution for the insert part of the injection mold cavity for the part of the cordless drill housing. The custom solution starts with programming of the CNC program in the CX program NX 10, it continues with its post-processor conversion into the G-code which is followed by its optimization using the Vericut 8.0.2 optimization program OptiPath. In the end of the work, data obtained from the optimized and non-optimized CNC program are discussed and evaluated.

Keywords: CNC programming, NX, Vericut, optimization, G-code

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné připomínky a poskytnuté rady, čas i trpělivost, které mi věnoval při vedení během vypracovávání diplomové práce.

Děkuji panu Ing. Kamilu Kyasovi, Ph.D. ze společnosti AXIOM TECH s.r.o. za odborné školení v optimalizačním programu Vericut 8.0.2.

Děkuji panu Ing. Jakobovi Černému ze společnosti AXIOM TECH s.r.o. za odborné rady a připomínky při programování v programu NX 10.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 CNC STROJE	13
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY	13
1.1.1 NC	13
1.1.2 CNC.....	13
1.1.3 DNC	14
1.2 PŘÍNOS ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ.....	14
1.3 HISTORIE CNC STROJŮ	15
1.4 VÝVOJOVÉ STUPNĚ.....	17
1.4.1 První vývojový stupeň.....	18
1.4.2 Druhý vývojový stupeň.....	18
1.4.3 Třetí vývojový stupeň	18
1.4.4 Čtvrtý vývojový stupeň.....	18
1.5 POPIS ŘÍZENÍ CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE	19
1.5.1 Počítač	19
1.5.2 Řídicí obvody	20
1.5.3 Interpolátor.....	20
1.5.4 Porovnávací obvod.....	20
1.5.5 Řídicí panel	21
2 DĚLENÍ CNC	22
2.1 PODLE SYSTÉMU ŘÍZENÍ A VÝKONNOSTI.....	22
2.1.1 Polohové řízení.....	22
2.1.2 Úsekové řízení.....	22
2.1.3 Souvislé řízení	23
2.2 PODLE TYPU OBRÁBĚNÍ	23
2.3 PODLE TYPU VÝROBY	24
2.4 PODLE DRUHU POHYBU KONSTRUKČNÍCH ČÁSTÍ.....	24
2.5 PODLE POČTU FUNKČNÍCH PRACOVNÍCH OS.....	25
3 PROGRAMOVÁNÍ	26
3.1 RUČNÍ PROGRAMOVÁNÍ.....	26
3.2 PROGRAMOVÁNÍ V CAD/CAM.....	27
3.2.1 Pojem CAD/CAM.....	28
3.2.2 Postup práce v CAM programu.....	28
3.2.3 Možnosti obrábění při použití CAM programu	30
3.2.4 Činnost programátora v CAM programu	31
3.2.5 Jazyk ATP	32
3.2.7 Příprava programu za pomoci CAM programování.....	34
3.3 PROGRAM PRO VÝROBNÍ STROJE.....	35
3.3.1 Program pro ručně řízené konvenční stroje	36
3.3.2 Program pro výrobní stroje s vyšším stupněm mechanizace	36
3.3.3 Program pro číslicově řízené výrobní stroje	37

3.4	NC PROGRAM	37
3.4.1	Struktura programu	37
4	OPTIMALIZACE CNC OBRÁBĚNÍ	40
4.1	KONVENČNÍ DRUH OPTIMALIZACE.....	40
4.2	ADAPTIVNÍ DRUH OPTIMALIZACE	43
4.2.1	Mezní systémy	43
4.2.2	Optimalizační systémy	44
4.3	OPTIMALIZACE Z EKONOMICKÉHO A ČASOVÉHO HLEDISKA.....	44
4.4	OPTIMALIZACE ŘEZNÉ RYCHLOSTI	45
4.5	OPTIMALIZACE Z HLEDISKA ŽIVOTNOSTI ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	45
4.5.1	Podle minimálních výrobních nákladů.....	46
4.5.2	Podle maximální výrobní produktivity	47
4.6	OPTIMALIZACE G-KÓDU	48
4.6.1	Postup optimalizace NC programu	49
4.6.2	Příklad optimalizovaného a neoptimalizovaného NC programu	50
5	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST	53
6	VYTVOŘENÍ CNC PROGRAMU.....	54
6.1	PROGRAM NX 10.0.3	54
6.2	3D MODEL	55
6.2.1	Rozbor 3D modelu	56
6.2.2	Polotovar	57
6.3	OBRÁBĚCÍ CNC CENTRUM	58
6.4	NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ.....	60
6.4.1	Nástrojové systémy a upínací zařízení.....	61
6.4.2	Nástroj pro vrtání temperačních kanálů	62
6.5	OPERACE CNC PROGRAMU	63
6.6	VYTVOŘENÍ CNC PROGRAMU	63
6.6.1	První část CNC programu	64
6.6.2	Druhá část CNC programu.....	66
6.6.3	Vyhodnocení CNC programu	83
6.6.4	Zbytkový materiál po 3D verifikaci.....	84
6.7	POSTPROCESSING CNC PROGRAMU.....	87
7	OPTIMALIZACE	89
7.1	PROGRAM VERICUT 8.0.2.....	89
7.2	OPTIMALIZACE G-KÓDU.....	90
7.2.1	Výsledky optimalizace	96
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	98
8.1	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	98
8.2	DISKUZE.....	99
8.2.1	Použité obráběcí CNC centrum.....	100
8.2.2	Následující dokončovací technologie	100
	ZÁVĚR	101

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	103
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	107
SEZNAM OBRÁZKŮ	108
SEZNAM TABULEK.....	111

ÚVOD

Téma optimalizace G-kódu nás seznámí se stále více se rozšiřující problematikou zvyšování výrobní produktivity procesu obrábění na CNC strojích v průmyslové výrobě z hlediska úpravy vstupního CNC programu pro řídicí systém.

Teoretická část pojednává o obecném seznámení s problematikou CNC strojů a jejich programováním, CNC programem a optimalizací.

Praktická část se zabývá řešením kompletního vytvoření CNC programu pro frézování pomocí CAD/CAM programu NX 10 na základě 3D modelu vložky dutiny vstříkovací formy pro část krytu akumulátorové vrtačky (Obr. 1). Z vytvořeného CNC programu je následně přes postprocessor vygenerován G-kód pro vybrané obráběcí CNC centrum. Tento kód je následně zčásti optimalizován v programu Vericut 8.0.2 pro zlepšení času samotného procesu výroby na daném stroji. V závěru jsou získané hodnoty z obou programů vyhodnoceny.



Obr. 1. 3D model vložky dutiny vstříkovací formy

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC STROJE

Hlavní charakteristikou CNC strojů je, že jejich pracovní funkce jsou ovládány řídicím systémem stroje na základě vytvořeného programu, který obsahuje potřebné informace o výrobním procesu. [1]

1.1 Základní pojmy

1.1.1 NC

„Numerical Control“ jedná se o všeobecný termín pro celou oblast numerického řízení a jsou v něm zahrnuty veškeré techniky, které se využívají pro řízení obráběcích strojů pomocí kódových pokynů. Podle The Electronic Industries Association (EIA) v USA je NC definováno jako „systém, ve kterém je činnost řízena přímým vložením numerických dat v určitém pořadí“. [2]

Číslicové řízení je provedeno na základě vložení série kódových instrukcí, které obsahují čísla, písmena a jiné symboly. Tyto kódy jsou ve stroji pomocí řídicího systému převedeny na jednotlivé elektrické impulsy nebo jiné výstupní signály, kterými se aktivují pohyby motorů stroje a jiných zařízení a funkcí stroje nutné pro řízení pohybů obráběcího stroje. Tyto impulsy jsou vykonány podle kódu tzv. řídicí jednotkou stroje (MCU – „Machine Control Unit“) a je nedílnou součástí stroje. [2]

Pokyny NC stroje se člení na funkce, které řídí pohyby stroje, jako jsou otáčky vřetene ve vazbě k pracovnímu stolu a pomocné funkce, které určují, jaký se má vybrat nástroj k dané operaci anebo nastavení požadovaných technologických parametrů procesu obrábění např. směr rotace a rychlost vřetene nebo rychlost posuvu. Pokyny jsou shromažďovány a logicky tříděny, takže mohou řídit stroj dle speciálního zadání. Toto uspořádání je uváděno jako NC program (neboli G-kód). Tento program může být uložen a uchován pro další použití, aby bylo možné získat přesně tytéž výsledky jako při prvním použití. NC je úspěšný pro svoji flexibilitu. K výrobě odlišného výrobku nebo k změně jeho části stačí pouze nahrát jiný program nebo provést jeho úpravu. Pokud je program a stroj nastaven stejně jako při prvním procesu, dosahujeme stejných výsledků při každém opakovaném použití. [2]

1.1.2 CNC

„Computer Numerical Control“ v překladu se u nás používá ekvivalent „Počítačem řízené obráběcí stroje“. Znamená to tedy, že obráběcí stroj využívá jako řídicí jednotku počítač

(CNC řídicí systém) k tomu, aby dokázal obrábět dle předem připravených technologických NC programů. CNC systém je vývojový nástupce základního NC systému. Rozdíl je, že k základnímu NC stroji je připojena počítačová jednotka s klávesnicí pro vytvoření a uložení programů v obráběcím stroji a automatický proces opakování. Většina dnešních obráběcích strojů jsou již variantou CNC. [2]

1.1.3 DNC

Jedná se o zkratku, která se používá pro dvě odlišná připojení počítače s NC strojem. První je „Direct Numerical Control“ (neboli „Přímé počítačové řízení“), kde řízení obstarává hlavní procesor, který řídí jeden nebo více strojů. Tento systém umožňuje centrální řízení výrobního systému, ačkoliv zvýšená cena koordinačního počítače a softwaru ho činí velmi drahým. U DNC dostává každý stroj povely z hlavního (centrálního) počítače. S vývojem mikroprocesorů se začalo upouštět od tohoto způsobu řízení a začalo se využívat systému „Distributive Numerical Control“ (neboli „Operační počítačové řízení“). Toto řízení lze představit v nejjednodušším sestavení, že samostatný počítač dodává řídicí informace přímo do řídicí jednotky stroje a v nejsložitějším sestavení jsou informace a data dodávány do stroje ze sítě počítačů, které jsou vzájemně propojeny a jsou schopny řídit výrobní operace organizace apod. DNC tedy obecně představuje řízení dvou a více strojů jedním centrálním počítačem. [2]

1.2 Přínos číslicově řízených strojů

Aplikace číslicově řízené techniky v praxi napomáhá k zefektivnění a zrychlení v následujících oblastech: [3]

- Redukování času při zpracování NC programů
- Zjednodušení tvorby programů pro číslicově řízené stroje
- Zkrácení délky programů (využití podprogramů a cyklů)
- Zjednodušení realizace na NC strojích
- Zkrácení výrobních časů výrobků
- Výroba složitých dílů (jak prostorově, tak i technologicky problémových) jednodušší metodou

Použití technologie výroby na číslicově řízených strojích vede k úspoře výrobních časů a přispívá ke snižování cen výrobků. [3]

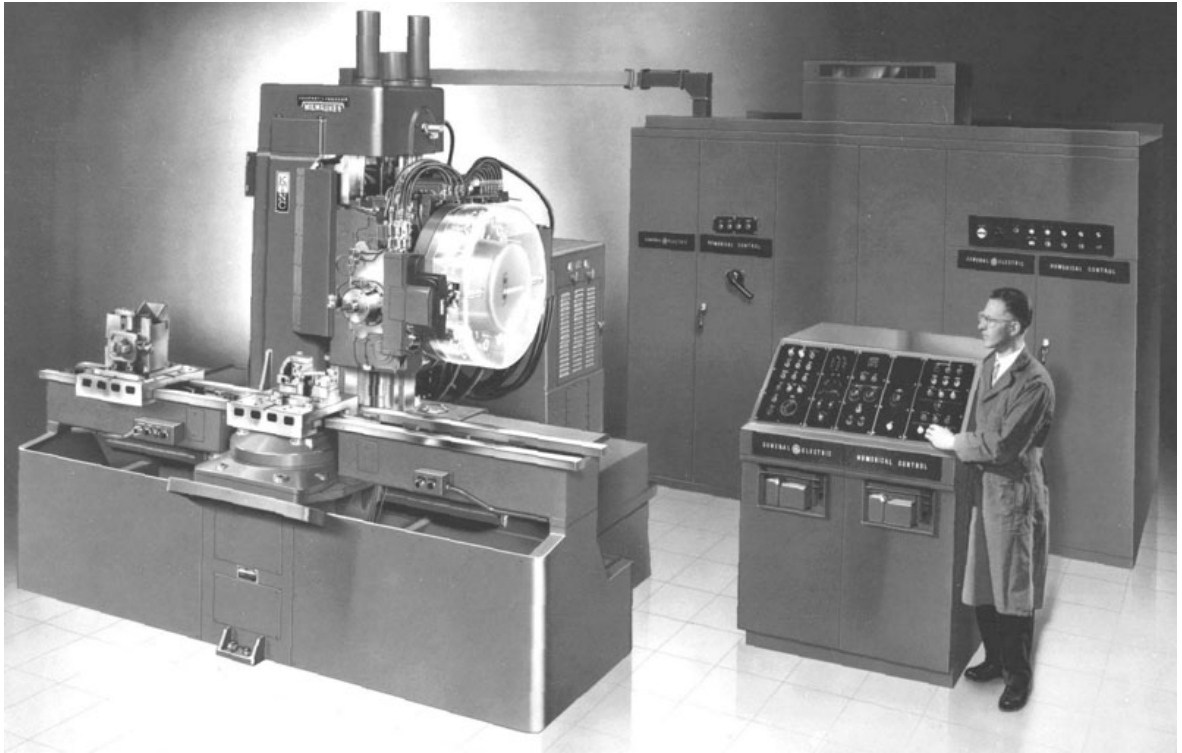
Číslicově řízené stroje se dnes uplatňují ve všech průmyslových oblastech, zejména pak v průmyslové výrobě (převážně ve strojírenství). Jedná se o výrobní, montážní nebo kontrolní stroje, které eliminují nejčastější systematickou chybu, a to chybu člověka. [3]

1.3 Historie CNC strojů

Vlivem světových dějin 20. století nastal velký rozvoj průmyslu. Tento rozvoj se stal startem pro nahrazování lidské práce automatickými (robotickými) stroji, které měly za úkol zvětšit produktivitu a efektivitu výrobního procesu a tím zlevnit náklady na výrobu a dosáhnout větší přesnosti vyrobených dílů. Velkou roli při myšlence vzniku číslicově řízených strojů sehrály firmy Ford Trimotor a Parson Corporation v USA. [3], [7]

Vývoj číslicově řízené techniky probíhal v několika odvětvích současně (jednotlivé strojní komponenty, výrobní soustavy, řídicí systémy a strojní celky). V polovině 20. století se začaly objevovat první číslicově řízené stroje, které byly postaveny na základě klasických obráběcích strojů a byly doplněny o řídicí systémy. Jejich výroba neboli modifikace probíhala například ve firmách Feranti ve Skotsku nebo Parson v USA. Řídicí systémy fungovaly na základě principu vakuových lamp („Record play back“) a postupně se začaly prosazovat i tzv. pravoúhlé řídicí systémy s magnetickým záznamem dat. [3], [7]

V roce 1959 bylo firmou Kearney&Trecker představeno první frézovací NC centrum, které bylo vybaveno měničem nástrojů, dostalo název Milwaukee-Matic-II (Obr. 2). NC systémy v 60. letech začaly být vytvářeny na základě tranzistorů. Koncem těchto let se začaly využívat v USA první integrované obvody s možností parabolických a splineových interpolací. NC stroje začaly být instalovány i v rámci výrobních linek. [7], [8]



Obr. 2. NC stroj Milwaukee-Matic-II [8]

70. léta přinesla do konstrukce strojů aplikaci kuličkových šroubů a hydrostatických vedení. Bylo uvedeno první soustružnické centrum s rotačními nástroji pro frézování a vrtání firmou Herbert. Do NC systémů se začaly osazovat paměti, tyto NC systémy začaly umožňovat editaci programů (Westinghouse). To vše bylo malým krůčkem k vytvoření prvních CNC systémů, a tím i celých strojů (Obr. 3). Firma Kearney&Trecker přišla s prvním pružným výrobním systémem. [7]



Obr. 3. Jeden prvních CNC strojů od firmy STAMA [6]

80. léta přinesla vybavování strojů o zásobníky nástrojů i obrobků, konstrukce NC strojů byla obohacena o senzory pro sledování pohonů a jednotlivých mechanismů. S rozvojem počítačů byly řídicí systémy na bázi CNC/PLC s multiprocessorovými mikropočítačovými strukturami. Tato éra vývoje měla významný dopad na prosazení frézovacích a soustružnických obráběcích center do technologií třískového obrábění. [7]

90. léta do vývoje strojů doplnila aplikaci velkokapacitních zásobníků s mezioperační dopravou nástrojů i obrobků. Velkým skokem se zvyšovala přesnost a produktivita výroby dílů na NC strojích. Architektura CNC strojů byla již poměrně otevřená a s rostoucí variabilitou obrobků se začaly více uplatňovat pružné výrobní systémy. [7]

V 21. století byl zahájen rozvoj a vývoj nové generace obráběcích CNC center. Trendem je vytvářet multifunkční stroje, hovoří se i realizuje se sjednocování hardwaru a softwaru. Dnes je již běžné, že do CNC strojů jsou integrovány CAD/CAM systémy a stále více se posiluje provázanost na externí počítačové stanice (DNC). [7]

1.4 Vývojové stupně

Vynález číslicově řízených strojů byl dalším krokem ve vývoji automatizace výrobního cyklu. Stroje již nemuseli být řízeny pomocí různých šablon, křivkových kotoučů, vaček

nebo kontaktními kolíky, ale informacemi potřebnými pro správný průběh výrobního cyklu, které byly do řídicího systému zadávány ve formě čísel a písmen (tzv. „programovacím jazykem“). [3]

V průběhu vývoje NC strojů jsou znatelné charakteristické pokroky, které lze označit za vývojové stupně. [3]

1.4.1 První vývojový stupeň

Jednalo se o stroje, které byly založeny na konstrukci klasických konvenčních strojů, k nimž byly přiřazeny po úpravě číslicové řídicí systémy. Tyto stroje byly ve většině případů řízeny pouze v pravoúhlých cyklech. V současnosti je však jejich použití nedostačující, protože nevyhovují požadavkům přesnosti, spolehlivosti a technologickými možnostmi pro dnešní výrobu. Jejich nespolehlivost se projevovala v čase, kdy stroj byl schopen provozu bez poruchy pouze v rádech desítek minut až hodin. [3]

1.4.2 Druhý vývojový stupeň

Tato generace strojů se již více svojí konstrukcí přizpůsobila požadavkům číslicového řízení, byly vybaveny servopohony. Umožňovaly řízení v obecných cyklech a v jednom pracovním cyklu bylo možné využít již více nástrojů. Pro využití více nástrojů byly zpravidla opatřeny revolverovými hlavami a zásobníky nástrojů. [3]

1.4.3 Třetí vývojový stupeň

Tyto stroje mají již konstrukci plně přizpůsobenou na číslicové řízení. Umožňují již souvislé řízení ve třech souřadných osách, zvýšila se u nich přesnost výrobků, produktivita výroby a počet nástrojů v zásobníku. V elektronice stroje se používají senzory a snímače pro sledování pohonů a mechanismů. Jejich zaměření směřovalo na použití ve výrobních soustavách, v těchto soustavách jsou potom přizpůsobeny s ohledem na řízení technologického a výrobního procesu pomocí počítačů. Řízení technologického postupu představuje řízení funkcí NC strojů od vstupu výrobků a výrobních prostředků až po jejich výstup z výrobní soustavy. Řízení výrobního procesu je dělba práce mezi jednotlivými technologickými pracovními úseky i s průchodem výrobních dávek danou výrobní soustavou. [3]

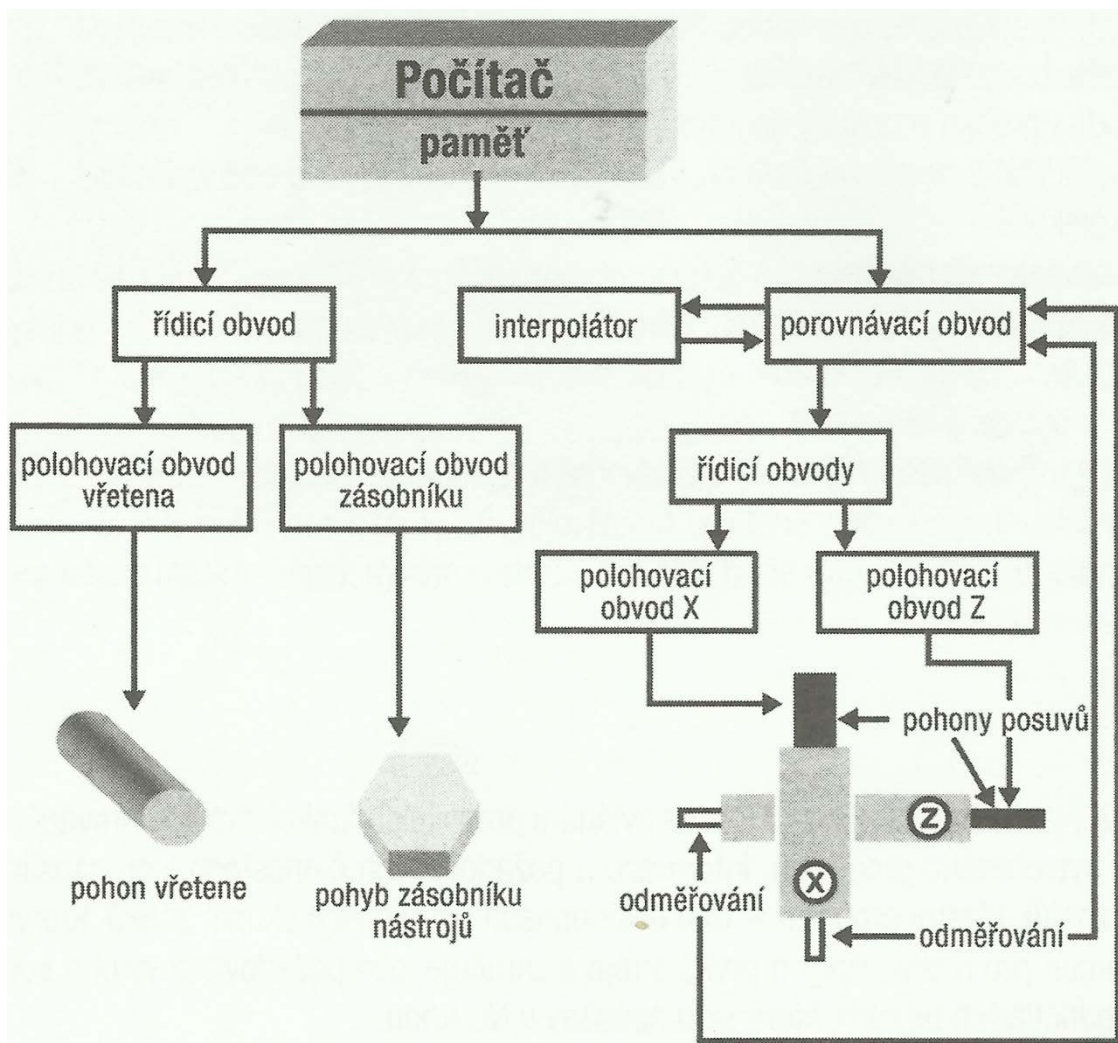
1.4.4 Čtvrtý vývojový stupeň

Jedná se o stroje, u kterých jsou zavedeny progresivní metody v konstrukci dle jejich využití (např. laserové odměřování, lineární pohony atd.). Umožňují souvislé řízení ve více jak

tří osách a jsou již schopny získávat informace z průběhu výrobního procesu, které mohou využít pro jeho zefektivnění (tzv. adaptabilní řízení). Jsou většinou již vybaveny plnohodnotnou počítačovou jednotkou s řídicím systémem, který je vybaven i jednoduchým CAM programem pro tvorbu nebo editaci řídicího programu. [3]

1.5 Popis řízení CNC obráběcího stroje

Uvedené schéma (Obr. 4) je sestaveno pro co nejjednodušší pochopení činnosti CNC stroje. [1]



Obr. 4. Schéma CNC stroje [1]

1.5.1 Počítač

U CNC strojů se jedná o průmyslový počítač, který obsahuje řídicí systém, který se může lišit v závislosti na možnostech stroje a počítače, tím i vyhovovat předpokládaným požadavkům technologie výroby. Dále se může lišit podle autora daného systému. Z pohledu

obsluhy je tvořen obrazovkou a ovládacím panelem. Přes ovládací panel se mohou provádět příkazy potřebné pro ruční obsluhu, pro seřizování CNC stroje a pro práce v dalších režimech stroje. Mezi jeho další funkce patří umožnění vytvoření, pomocí příslušného programu řídicího systému, požadovaný NC program. Program lze vytvořit i mimo stroj a do řídicího systému stroje ho posléze nahrát přes paměťové medium nebo jinou datovou cestu. Program může být uskladněn v paměti stroje a pro jeho případné použití se vyvolá daným příkazem. [1]

1.5.2 Řídicí obvody

Zde se převádí logické signály na silnoproudé elektrické signály a na základě nich se přímo ovládají jednotlivé části stroje, jako jsou například motory vřetene a posuvů. Obvody řídí stroj těmito funkcemi: [1]

- Pomocnými funkcemi – na schématu (Obr. 4) jsou zobrazeny otáčky vřetene nebo otáčení zásobníku na nástroje do pracovní polohy pro určený nástroj.
- Pohybovými funkcemi – řídí dráhu nástroje dle popsané geometrie pohybu v osách (X, Y a Z).

1.5.3 Interpolátor

Řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií, do ní zahrnuje délkové a geometrické korekce nástroje (např. poloměr špičky nástroje). Jeho činnost spočívá ve výpočtu elementů dráhy mezi bloky, ze startovacího bodu do bodu konečného – „ekvidistanta pohybu nástroje, která je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného obrysu.“ Zaručuje přesnost dané výroby, a tím i konečného výrobku. Dráha nástroje se může dělit na přímkovou (lineární interpolace) nebo kruhovou (rádiusová interpolace), u vyspělejších řídicích systémů je také dráha ve šroubovici a obecná (spline). [1]

1.5.4 Porovnávací obvod

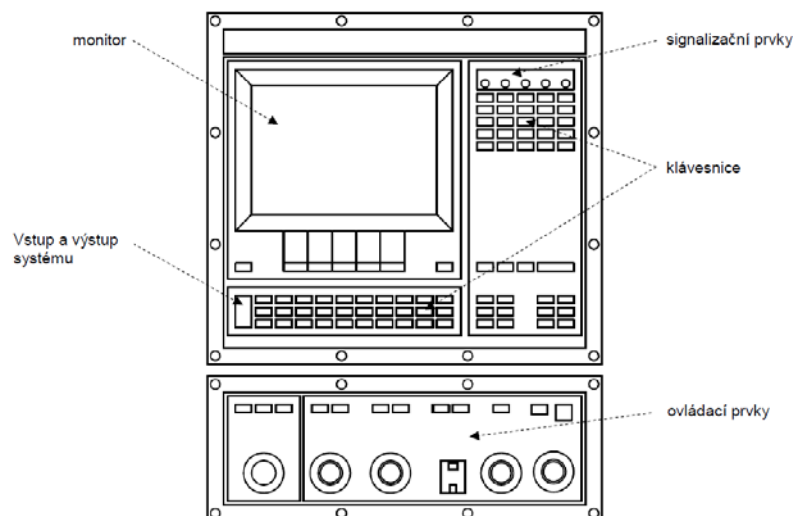
Ve většině případů by měl být stroj vybaven také tzv. zpětnou vazbou. Výjimky tvoří jednoduché CNC stroje, které se mohou využívat pro základní výcvik obsluhy. Zpětná vazba přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů z pravítek, která jsou umístěna v souřadných osách dráhy pohybu suportů (nástroje). Tyto informace se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány pomocí programu a jsou upraveny v interpolátoru. Pokud porovnávací obvod zjistí rozdílné hodnoty, pak pohony stroje dostanou pokyn

k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Takový stroj zajišťuje díky odměřování, které je součástí řídicího systému, vyšší stupeň přesnosti výroby. [1]

1.5.5 Řídicí panel

Jeho řešení záleží na výrobcí daného stroje. Může vypadat například jako na Obr. 5 a dělí se na několik částí, které mají různý význam: [1]

- **Vstup dat** – pomocí alfanumerické klávesnice se zapisují informace pro funkčnost CNC stroje, například ruční zadávání programu, informace o nástrojích, seřízení stroje a různé další konstanty.
- **Ovládání stroje** – slouží pro ovládání pohybů obrobku nebo nástroje, spouštění otáček vřetene, přívodu chladicí kapaliny a ovlivnění velikosti otáček a posuvů v ručním režimu.
- **Volba režimu práce** – umožňuje volbu režimu, ve kterém bude stroj pracovat (B-B blok po bloku, ruční režim, automatický režim). Dále je možné ovlivňovat velikost posuvů a rychloposuvů, otáček vřetene při seřizování stroje a ověřit správnou funkčnost NC programu a jeho vyvolání, uložení a editaci.
- **Aktivace paměti** – umožňuje práci s úložnou pamětí stroje a externími paměťovými médii.
- **Aktivace testů** – jedná se o kontrolní část, ve které se vyhodnotí správnost programu a nastavení stroje.
- **Obrazovka** – zobrazuje momentálně prováděné akce stroje.



Obr. 5. Řídicí panel CNC stroje [4]

2 DĚLENÍ CNC

CNC stroje můžeme rozdělit z několika hledisek: [2]

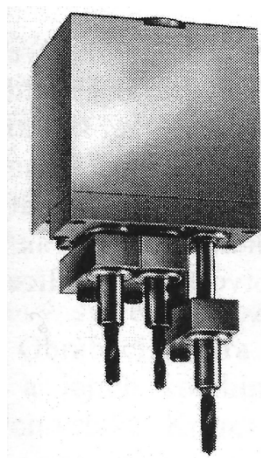
- podle systému řízení a výkonnosti,
- podle typu obrábění,
- podle typu výroby,
- podle druhu pohybu konstrukčních částí,
- podle počtu funkčních pracovních os.

2.1 Podle systému řízení a výkonnosti

Podle systému řízení a výkonnosti se dělí řízení stroje na tři typy. [2]

2.1.1 Polohové řízení

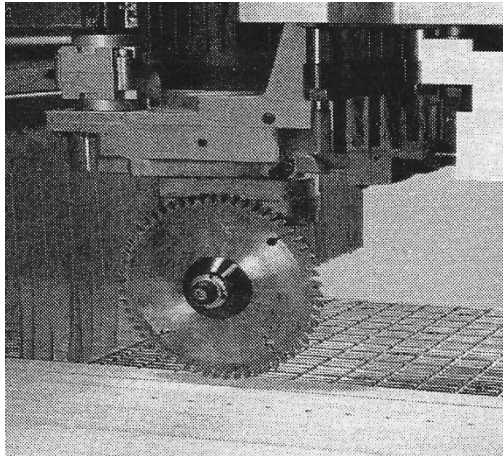
Tento typ řízení polohuje všechny tři osy stroje současně nebo postupně bez souvislosti s řízením pohybu. Nástroj je během průběhu polohování mimo obrobek. Je nejvíce využíváno u vrtacích automatů (Obr. 6). [2]



Obr. 6. Příklad polohového řízení CNC stroje [2]

2.1.2 Úsekové řízení

Pohyb probíhá podél os během obrábění. Většinou jsou pohyby rovnoběžné s osou. Šikmých pohybů lze dosáhnout kombinací pohybů ve dvou osách současně při zachování stejné posuvové rychlosti. Řízení se využívá především u jednoduchých frézek, dělicích pil (Obr. 7) na velkoplošné materiály a strojů pro obrábění hran v průběžném pracovním postupu. [2]



Obr. 7. Příklad úsekového řízení CNC stroje [2]

2.1.3 Souvislé řízení

Průběh pohybu může probíhat u všech tří os zároveň a nezávisle na sobě. V každé z os mohou být zvoleny jiné posuvové rychlosti, aby bylo možné vyrobit různé kruhové a obloukové kontury. Tento typ řízení se využívá u většiny dnešních strojů, dále se dělí na: [2]

- a) dvourozměrné (2D),
- b) dvou a půl rozměrné (2,5D),
- c) třírozměrné (3D),
- d) čtyřrozměrné (4D),
- e) vícerozměrné (xD).

Zde se již nerozlišuje možnost pohybu, ale schopnost, že řízení dokáže provádět i komplikované propočty dráhy (např. šroubovice nebo spirála). [2]

2.2 Podle typu obrábění

Dělení závisí na typu obrábění, pro které je stroj navržený. Dělí se na: [2]

- CNC vrtačky – využívají se nejčastěji na opracování plošných dílců. Tyto stroje jsou určeny pouze pro vrtací práce, a proto musí být agregáty polohovány přesně a rychle. Jsou u nich potřebné menší obráběcí síly než u frézování, a proto jejich konstrukce je jednodušší a lehčí.
- CNC horní frézky – obrobek je upevněn na nepohyblivém stole a je obráběn pohyblivou frézou nebo vrtákem.
- CNC obráběcí centra – provádí se na nich kompletní opracování obrobku ve většině případů na jedno upnutí.

- CNC formátovací pily – jsou určeny pro dělení velkoplošných desek na menší přířezy. Jsou schopny dělit desky nejenom v rovných řezech přes celou šířku a délku formátu, ale i v neuspořádaných řezech, které nejsou průběžné přes celou délku nebo šířku formátu.
- CNC stroje na kontinuální obrábění – na tomto stroji je obrobek veden postupně k jednotlivým obráběcím jednotkám.

2.3 Podle typu výroby

CNC obráběcí stroje lze dle typu výroby dělit podle jejich využití v daném průmyslovém odvětví. Například CNC obráběcí stroje pro obrábění dřeva lze rozdělit na: [2]

- CNC obráběcí stroje nábytkářské,
- CNC obráběcí stroje pro stavebně truhlářskou výrobu,
- CNC obráběcí stroje pro výrobu prvků dřevostaveb a střešních konstrukcí,
- CNC obráběcí stroje univerzální s možností jak k výrobě nábytku, tak i k stavebně truhlářským výrobkům.

2.4 Podle druhu pohybu konstrukčních částí

Pro funkčnost obrábění musí být pracovní stůl nebo agregáty nástrojů pohyblivé. Pohyby pro posuv se rozdělují do tří os (X, Y a Z), které spolu vzájemně svírají pravý úhel. Pro každý pohyb podél jedné osy jsou k dispozici vlastní hnací motory tak, aby pohyby probíhaly buď pouze v jedné ose, nebo současně ve více osách. Současným překrýváním pohybů v jednotlivých osách lze obrábět nejen v přímé linii, ale i v libovolném směru zakřivené.

Podle druhu pohybu konstrukčních částí rozdělujeme tři základní koncepce obráběcích center: [2]

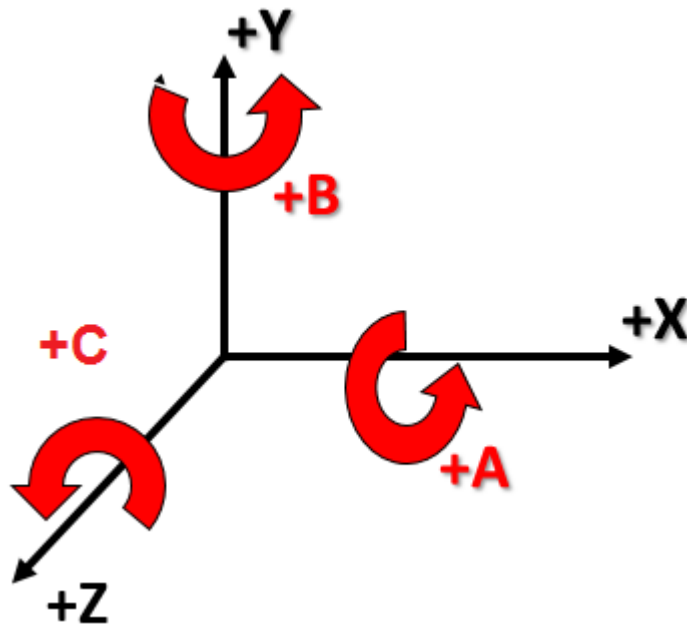
- otevřené C (struktura typu „Cantilever“),
- s pohyblivým portálem a pevným stolem,
- s pevným portálem a pohyblivým stolem.

2.5 Podle počtu funkčních pracovních os

Zde jsou stroje rozděleny dle počtu funkčních pracovních os. U NC a CNC strojů lze rozdělit na: [2]

- jednoosé,
- dvojosé,
- tříosé,
- čtyřosé,
- víceosé.

Čtyřosé a víceosé řešení je, kromě klasických os (X, Y, Z), doplněno ještě o rotaci kolem jednotlivých os (A, B, C; viz Obr. 8), u čtyřosého řešení o jednu rotační osu (převážně C) a u pětiosého o naklápění v dalších osách. [2]



Obr. 8. Souřadnicový systém [5]

3 PROGRAMOVÁNÍ

Pro správný chod CNC stroje je potřeba vytvořit NC program, podle kterého stroj danou součást vyrobí v požadovaném tvaru a kvalitě. NC program se vytváří pomocí ISO kódu (G-kód) popřípadě pomocí jiného programovacího jazyka. Vytvoření NC programu probíhá buď ručním zadáváním jednotlivých kroků (zdlouhavé a vhodné pro méně náročné díly), nebo pomocí CAD/CAM programu (moderní metoda, vhodná pro tvarově složité součásti). [1]

3.1 Ruční programování

Ruční programování je využíváno pro vytváření NC kódu pro jednodušší součásti. Jedná se o náročnou a odbornou činnost, kde záleží na znalostech a zkušenostech programátora. Je velmi časově náročné, protože jednotlivé bloky NC programu jsou zapisovány přes klávesnici ručně, a to i výpočty. Pokud je strojový park vybaven více druhy strojů s rozdílnými řídicími systémy, musí být připraveno i více druhů programů, protože každý ze strojů čte NC program z části jinak. Všechny tyto nevýhody zvyšují pravděpodobnost výskytu chyby v NC programu. Jeho vypracování se dělí se do dvou základních kroků: [1], [11]

1. Konstrukční příprava
 - Vytvoření výkresu součásti.
 - Stanovení geometrického tvaru a rozměrů součásti.
 - Stanovení přesnosti a drsnosti povrchu součásti.
2. Technologická příprava
 - Výběr vhodného obráběcího stroje, na kterém bude výroba probíhat.
 - Vypracování postupového listu a překótování součásti pro potřeby programování.
 - Vypracování programového listu – musí obsahovat veškeré údaje pro průběh úplného automatického cyklu.

V dnešní době pro tyto nevýhody není často využíváno, je nahrazováno programováním v CAD/CAM programech. [1], [11]

Zvláštním případem ručního programování je tzv. dílenské programování. Jedná se o programování přímo na CNC stroji v jeho řídicím systému. Dnes řídicí systémy nabízí tuto možnost pro rychlé naprogramování jednoduchých dílů pro zkrácení a zjednodušení cyklu

průběhu součástky výrobou. V řídicím systému jsou připraveny různé nejčastěji využívané cykly pro obrábění doplněné o grafické znázornění daného cyklu. Programátor nebo obsluha stroje vybere vhodné cykly pro vytvoření NC programu, do kterých pouze zadá potřebné hodnoty (např. rozměry obráběné části, otáčky vřetene, posuvy atd.). Po vytvoření daný program zkontroluje pomocí simulace přímo na stroji, aby se zamezilo případným chybám, a pak již může následovat samotný proces obrábění. [12]

3.2 Programování v CAD/CAM

Tento styl programování se uplatňuje v praxi programování CNC strojů stále více, protože je rychlý. Rychlost spočívá již v převzetí podkladu pro programování od konstruktéra v digitální podobě, a to buď ve 3D modelu nebo 2D výkresu. To znamená výrazné zvýšení rychlosti proběhnutí zakázky podnikem od jejího návrhu až po její expedici, a proto je tento způsob tak prosperující. [1] , [14]

Využívá se s výhodou pro vytváření programů pro tvarově složité výrobky (např. formy), které by nebylo možné jinou metodou naprogramovat nebo by jejich vytvoření za pomoci ručního programování bylo značně časově náročné. Převážnou část potřebných výpočtů pro stanovení dráhy nástroje za člověka přebírá počítač. Ovšem i tento způsob programování má své nevýhody, které spočívají v nezbytném pochopení principu systému a ve znalosti ovládání CAM programu, jenž je využíván k vytvoření CNC programu, což působí v začátcích velké problémy, zejména pro zvolení vhodné strategie obrábění ve spojitosti s použitou technologií a postprocesorem. [1] , [14]

Při programování se ne vždy napoprvé vytvoří kvalitní a vyhovující program (zejména u složitých výrobků), a proto se využívá simulace CNC programu, kterou obsahuje daný program pro jeho kontrolu. Na jejím základě může programátor program optimalizovat, tím zkrátit čas výroby a vyladit případnou kvalitu povrchu a tvar následujícího výrobku, který má stroj na základě CNC programu zhotovit. Dále je možné ušetřit mnoho nepříznivých ekonomických vlivů na výrobu jako například zmetkovitost výroby (zvyšování odpadů a znehodnocování materiálu) atd. Simulací zjištěný čas procesu výroby, který ale nezahrnuje vedlejší časy pro upnutí a odepnutí polotovaru (řeší se různými koeficienty času), se může využít i pro kalkulaci ceny výrobku, čímž se předchází ztrátám financí. Ve spojitosti se snižováním času výrobního procesu autoři CAM programů vymýšlejí stále lepší strategie obrábění, čemuž napomáhá i neustálý vývoj výkonnějších obráběcích nástrojů. [1] , [14]

3.2.1 Pojem CAD/CAM

CAD (**C**omputer **A**ided **D**esign) – jedná se o kreslení, navrhování, konstruování na počítači v CAD programu. V tomto typu programu se vytváří výkresy nebo modely, které jsou dále potřebné pro výrobu součástí. Většinou takto vytvořený výkres nebo model přebírá technologické pracoviště pro vytvoření vhodného technologického postupu výroby součástí. [1]

CAM (**C**omputer **A**ided **M**anufacturing) – jedná se o počítačovou podporu výroby, ve které technolog - programátor vytvoří vhodný program pro výrobu na CNC stroji na základě digitalizovaného modelu z CAD programu. Technolog vkládá do CAM modulu svoje znalosti a zkušenosti z oblasti obrábění, aby výsledný program byl co nejlépe optimalizovaný pro výrobu na daném stroji z hlediska všech ovlivňujících činitelů (např. ekonomické hledisko výroby). Výstupními daty jsou soubory ATP a CL. [1]

Postprocessor – Jedná se o součást CAM. Jeho úkolem je „přeložení“ dat ATP nebo CL do podoby G a M kódu, podle kterého bude řídicí systém daného stroje v dílně pracovat. [1]

3.2.2 Postup práce v CAM programu

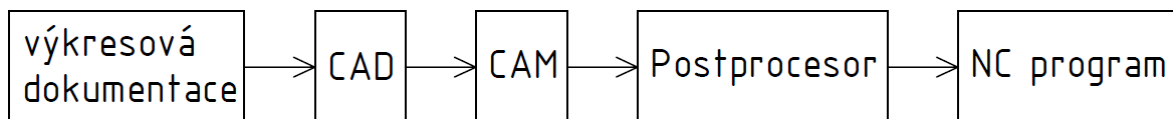
Základem je 3D model nebo 2D výkres v elektronické podobě a dle jednoho z nich stanovíme pracovní postup CNC stroje. Jednotlivé úkony jsou zadávány pomocí slovních příkazů nebo graficky a číselně, čímž se určuje: [1], [14]

- Které prvky tvaru, uvedené na výkresu nebo 3D modelu, se budou v postupném pořadí obrábět, a která technologie obrábění a vhodný stroj bude zvolen (např. hrubování, hlazení, válcová plocha apod.).
- Jakým způsobem budou obráběny jednotlivé prvky (např. díra – vrtáním, válcová plocha – soustružením atd.).
- Jaký nástroj pro daný úkon bude použit (např. vrták, soustružnický nůž atd.), nástroje se většinou vytvoří před nebo v průběhu programování na základě reálných nástrojů a jejich pozic v zásobníku stroje. Ke každému nástroji mohou být zadány i různé korekce a rychlosti.

Obecně lze postup (Obr. 9) programování v CAD/CAM softwaru popsat následovně: [1]

1. **Vytvoření digitálního výkresu nebo lépe 3D modelu v CAD programu** – výkresy se již příliš nevyužívají, postupným trendem se stále více ve firmách využívají pouze 3D modely.
2. **Převzetí digitální podoby podkladu (3D model nebo výkres) do CAM programu** – buď bývají CAM moduly již součástí CAD programů, nebo jsou oba programy samostatné. Při použití samostatných programů (CAD a CAM) mohou nastat problémy při přenosech dat. Záleží tedy na správné činnosti v CAD programu a podpoře výstupního formátu modelu nebo výkresu z CAD programu CAM programem. Případné nedodělky nebo chyby se poté musí v CAM programu upravit za pomoci jednoduchého CAD programu, který většinou již je obsahem.
3. **Kontrola 3D modelů nebo výkresů** – je nutná z těchto důvodů:
 - Nutná spojitost obráběných kontur součásti v CAM programu (program většinou obsahuje možnost spojit křivky, plochy, tělesa a případné mezery přeskočit). Spojitost je nutná, musí být ověřená, protože je možné, že některé plochy na modelu chybí. Pak je tedy nutné chybějící plochy doplnit a „sešít“ s okolními plochami, případně ponechat toleranci pro „přeskočení děr“.
 - Kontrola rozměrů je také nutná, protože se stává, že konstruktér skrz svůj nešvar při změně rozměru pouze přepíše kótu a poté daný rozměr neodpovídá (stává se to zejména u jednoduchých CAD programů).
 - Vhodné je také tzv. „očistění“ modelu nebo výkresu před prací v CAM programu, to znamená odstranění nepotřebných kót a tvarů (i tvarů, které se zhotovují následující operací) pro programování, dělá se z důvodu zvýšení přehlednosti.
4. **Práce v CAM programu** – programátor rozhoduje o tom, jaká bude strategie výroby a v jakém bude pořadí operačních úseků vázaných na nástroj použitých na výrobu daného prvku. Samozřejmě musí zvolit i vhodný nástroj pro obrábění dané plochy nebo tvaru. Výsledek se ověřuje pomocí simulace, kde se zjišťují případné chyby v dráze nástroje a geometrie povrchu po obrábění, ty se případně musí opravit. Poté se program archivuje pro další použití.

5. **Předání programu na CNC stroj** – program vytvořený v CAM programu se převede za pomoci příslušného postprocessoru pro daný CNC stroj, aby s ním mohl řídicí systém stroje pracovat. Poté se uloží na paměťové médium nebo se odešle jinou cestou do CNC stroje. Spolu s ním se předají i informace pro správné seřízení stroje na dílně (patří do nich pozice nulových bodů obrobku, způsob upevnění polotovaru pro obrábění atd.) a tzv. nástrojový list (jaké nástroje se použijí a v kterých pozicích v zásobníku budou umístěny).
6. **Ověření funkčnosti programu** – každý programátor nebo technik by měl ověřit funkčnost programu na dílně přímo na stroji na prvním kusu na CNC stroji. Je obvykle potřeba doladit a optimalizovat případná chybná zadání různých informací v programu (např. řezné rychlosti, rychlosti posuvů nebo případnou chybnou dráhu nástroje). Doladění provádí většinou obsluha stroje (seřizovač). Pokud nastanou případné chyby v dráze nástroje, tak je potřeba znát ruční programování. Programátor poté všechny tyto poznatky upraví i v programu, který má k dispozici v PC a archivuje ho pro další použití.



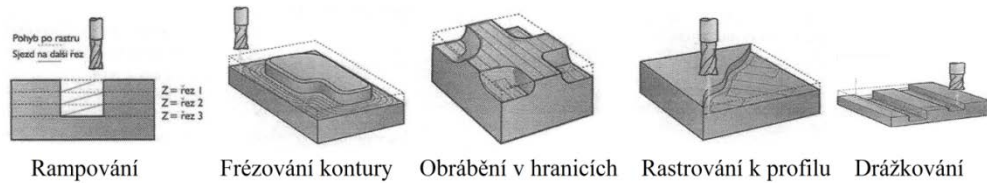
Obr. 9. Postup průběhu vytvoření NC programu [1]

3.2.3 Možnosti obrábění při použití CAM programu

Tyto programy obvykle nabízejí množství vytváření různých strategií pro obrábění, které sníží čas výroby, zaručí kvalitu povrchu plochy a účelné využití moderních nástrojů a strojů. [1]

Dále jsou představeny některé ze strategií frézování, používané pro výrobu forem (Obr. 10): [1]

- **Rampování** – jedná se o sjetí pod úhlem do materiálu při postupném odebrání jeho vrstev. Umožňuje využít frézy, které nemají břity do středu rotace.
- **Frézování kontury (ofsetování)** – frézováním je postupně odebrán materiál až po požadovaný tvar. Touto strategií se obrábí jak vnější, tak vnitřní tvary.
- **Obrábění v hranicích** – obrábění probíhá ve vyznačených hranicích, které programátor určí. Je vhodné pro obrábění horizontálních a mírně skloněných ploch.
- **Rastrování k profilu** – Je vhodné pro hrubování profilu.
- **Drážkování** – používá se pro vytváření drážek.



Obr. 10. Příklady strategií [1]

3.2.4 Činnost programátora v CAM programu

Běžné součásti nejsou pro tento program problémem a jsou často naprogramovány rychleji než ručním programováním. Vyplývá z toho, že je vhodné programovat v CAM programu i kusovou výrobu, zejména při složitých tvarech výrobku. Příkladem může být výroba dutiny formy se složitým tvarem, kde i v jediné dráze nástroje jsou na sebe tečně navázány různé rádiusy. Tento případ by bylo ručním programováním s velkou pravděpodobností nemožné naprogramovat. Obrábění takto zborcené plochy je ve vyšších CAM programech řešeno krátkými úsečkami drah funkcí „G1“. Čím vyšší je požadovaná přesnost a kvalita povrchu, tím kratší jsou úsečky funkcí „G1“ v dráze, a to i v tisícinách milimetru, ale pokud jejich velikost je čím dál menší, má to za důsledek vyšší výrobní čas. Proto je potřeba někdy nalézt kompromis a nově se často uplatňují křivky typu spline. V důsledku využití této křivky řídicí systém načítá více bloků předem, křivka neobsahuje skokové změny tvaru a je více plynulá, to zvyšuje rychlost a plynulost obrábění. Toto velké množství bloků lze naprogramovat pouze automatizovaně v programech CAM. [1] , [13]

Samotný modul CAM informuje v dialogu programátora, ten mu „odpovídá“ na kladené dotazy v nabídce programu a tím udává povely k činnosti programu. Nabídka z obecného hlediska obsahuje tyto typy příkazů, které jsou seřazeny v postupném použití v programu: [1] , [14]

1. **Nahrání 3D modelu nebo 2D výkresu** – tvar vyráběné součásti.
2. **Nastavení virtuálního polotovaru** – polotovar, který následně použije reálná výroba.
3. **Celková strategie obrábění** – pokyn programu, jak postupovat pro zhotovení konečného tvaru dílu (volba hrubování, hlazení atd.).
4. **Volba nástroje** – pro každý úsek operace je nutné vybrat nástroj, se kterým bude stroj pracovat při obrábění, a určit jeho pozici v zásobníku nástrojů stroje.
5. **Řezné podmínky** – jsou nastavovány pro používaný nástroj a obrobek v souvislosti s možnostmi následného použitého stroje.

6. **Funkce G, M** – většinou je již voleno automaticky dle použité strategie pro operační úsek, popřípadě se nastaví například poloha obrábění ke kontuře, způsob obrábění, chlazení a mazání nástroje, kontrola kolizí nebo případně další prvky vztažené k použitému nástroji.
7. **Simulace programu a optimalizace** – po vyhotovení CL dat následuje simulace programu pro jeho následnou úpravu chyb a celkovou optimalizaci.
8. **Výběr postprocessoru** – vybere se dle následného použitého CNC stroje pro správný převod programu na NC program, se kterým bude stroj pracovat.
9. **Vytvoření NC programu pro daný CNC stroj** – proběhne automaticky na základě vybraného postprocessoru a výstupem je NC program pro daný CNC stroj, který se následně odesílá do řídicího systému stroje buď pomocí paměťového média, nebo přes počítačovou síť.

Tento postup je pouze obecný, protože neexistuje závazná norma, která by ho v daném pořadí předepisovala, a většinou si jej každý autor volí sám dle potřeby, ale princip zůstává stejný. [1]

Pokud je programování složité, tak se většinou vyhotovuje více variant programů pro výrobu daného obrobku a rozhoduje se, která varianta programu je nejvíce vyhovující z hlediska času výroby, opotřebení nástroje a je vhodný pro použitý CNC stroj. Při hrubování se například využívá výkon stroje, aby odebral co nejvíce materiálu za nejkratší možnou dobu, ale při hlazení se nejvíce přihlíží na konečnou kvalitu výrobku (rozměrová a geometrická přesnost). [1], [13]

3.2.5 Jazyk ATP

APT („Automatically Programmed Tools“) jedná se o jazykový systém, který vznikl v USA v Massachusetts Institute of Technology stejně jako první NC obráběcí stroj. První prototyp jazyka se využíval pro vytváření děrných pásek za pomoci počítače, ale výpočty koncových bodů a dělení rovin musel stále vykonávat programátor sám. Tento prototyp dal základ pro vytvoření APT jazyka, který se používá v dnešních CAM systémech. [10]

Výstup z jazyka APT tvoří speciálně strukturovaný soubor informací zapsaných pomocí slov, symbolů, pravidel a konvencí, které jsou snadno srozumitelné pro programátora, protože za pomoci mnemotechnických pomůcek pro překlad stačí znát anglický jazyk. Data se nazývají CL data („Cutter Location data“). Zpočátku sloužil programátorovi pro jedno-

dušší výrobu děrných pásek s programem, dnes již za pomoci postprocessoru z něj získáváme konečný NC kód pro určitou výrobu na daném stroji. [10]

3.2.6 Postprocessor

Jedná se o softwarový převodník dat z CAM systému do datového jazyka konkrétního obráběcího stroje, na kterém bude výrobní proces probíhat. Postprocessor v sobě obsahuje veškeré informace o vlastnostech daného stroje, aby optimálně a efektivně byly využity jeho funkce v souladu s CAM systémem. Jelikož je postprocessor jedinečný pro každý typ obráběcího stroje nebo řídicího systému, není možné, aby existoval jeden universální. Dosáhnutí kvalitního postprocessoru je obtížné, protože existuje mnoho kombinací konfigurací obráběcích strojů. Proto při neodborném programování postprocessoru může docházet k vysoké chybovosti. [9], [10], [15]

Postprocessor ručí za správnost provedení těchto akcí: [10], [15]

1. Převod výstupních CL dat z CAM systému pro daný obráběcí stroj – provázání dat se souřadným systémem stroje.
2. Převod CL dat pro daný řídicí systém stroje, aby mohl zabezpečit funkce stroje:
 - správné otáčky vřetena nebo rychlost používaného hlavního pohonu,
 - správné nastavení rychlostí strojních posuvů a rychloposuvů,
 - správné ovládání pomocných funkcí stroje,
 - převedení kódu pro správné vedení dráhy nástroje,
 - další požadavky jako jsou například různé kontroly výrobního procesu stroje.
3. Potřebný výstupní formát souboru MCD – je znám také jako soubor „punch“ (s příponou *.pui nebo *.tap) a soubor „výpisu“ (s koncovkou *.lst). Další doplňující informace mohou být ve výstupním formátu HTML (s příponou *.htm) a soubor simulace (s příponou *.tab). Lze také použít soubory FIL k dalšímu vyhodnocování MCD souborů. Na konci převodu je vytvořena kopie souboru MCD a přiřazena přípona souboru, se kterou určený řídicí systém stroje umí pracovat (přípony *.nc; *.mpf; *.spf a jiné).

Pro získání postprocessoru k danému obráběcímu stroji existují tři možnosti: [9]

- Nechat si postprocessor naprogramovat od odborné firmy (zdlouhavá čekací doba, ale kvalitní zpracování).
- Prohledat existující databáze zákaznických postprocessorů CAM systému podle prodejce stroje a vybrat dle porovnání podmínek stroje, které bude vyhovovat nej- lépe.
- Naprogramovat vlastní postprocessor (jedna z nejlepších a nejekonomičtějších me- tod).

Pro správné a optimální naprogramování postprocessoru je nutné znát kompletní informace o obráběcím stroji. Mezi ně patří údaje o zásobníku nástrojů stroje, obecné informace o CNC stroji, řízených osách, rychloposuvech, otáčkách vřetena a mnoho dalších. [9], [10]

Úpravy postprocessoru existují tři: [15]

- **Generátorem souboru nastavení** – jedná se o aplikaci, která se využívá pro tvor- bu nebo úpravu souboru nastavení. Tento soubor je využit pro konfiguraci výstupu z postprocessoru podle zadaných hodnot uživatelem.
- **Souborem FIL** – je to textový soubor, který obsahuje hodnoty pro přidělení infor- mací do výstupního NC programu, jako jsou například tabulka nástrojů stroje, in- formace o autorovi, různé komentáře apod.
- **Pomocí příkazu PLABEL** – již se vůbec nevyužívá, ale je stále aktivně podporo- vaný. Využíval se pro malé změny přímo v CL souboru k možnosti přepsání vý- chozích hodnot.

3.2.7 Příprava programu za pomoci CAM programování

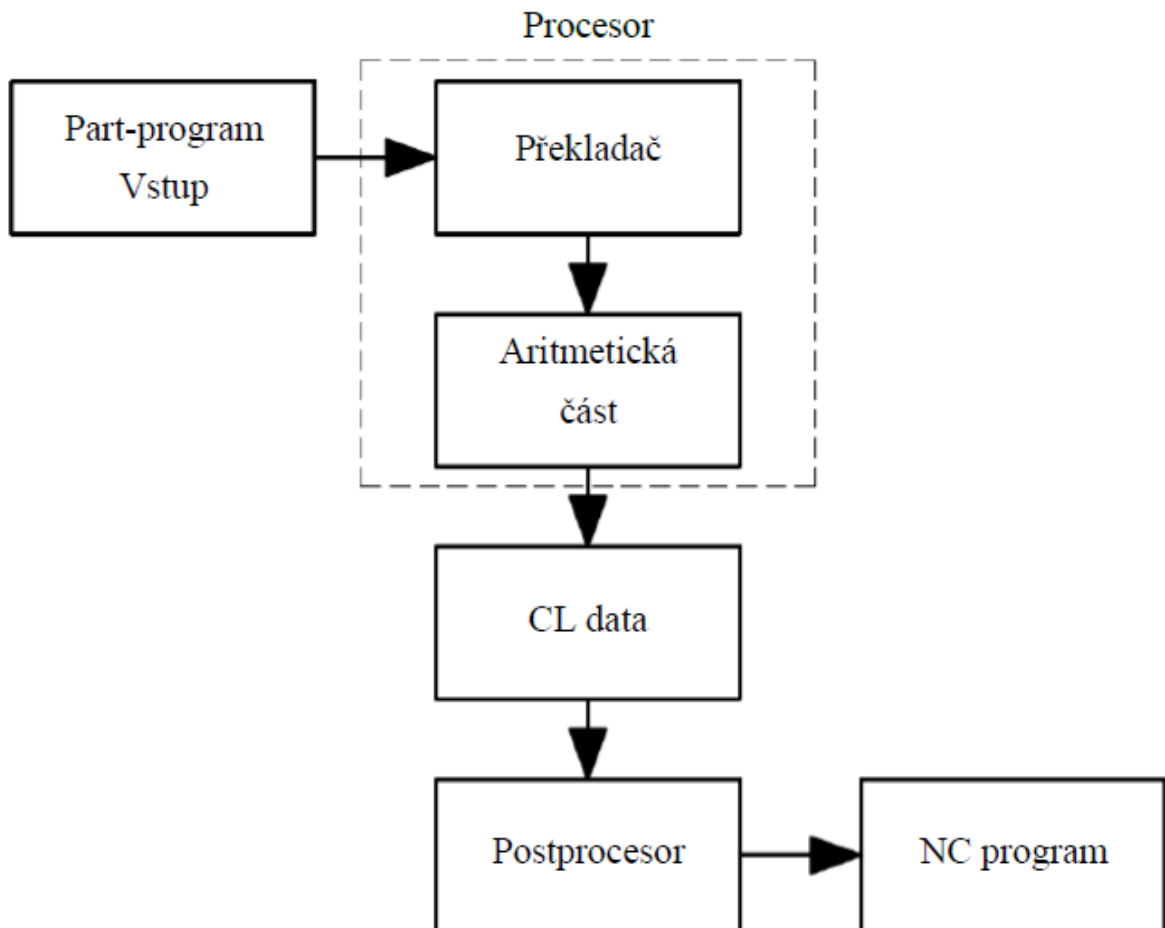
Počítač obvykle překlad CL dat na platné NC kódy provádí ve dvou stupních tak, jak je znázorněno na schématu (Obr. 11). [10]

V prvním kroku zahrnuje konverzi vstupních informací do zobecněné sady CL dat a po- třebných pohybů stroje. V této fázi je výstup všeobecně generovaný v sadě CL dat (CLDATA, CLTAPE, CLFILE), které jsou stále nezávislé na CNC stroji, na kterém má být výrobek vyrobený, a jsou použitelné pro virtuální optimalizaci daného programu napří- klad ke snížení výrobního času. Tato sada dat se nazývá „procesor“ a je ji možné použít pro převod pro různé typy CNC strojů. Obsahuje informace, které se týkají rychlosti posu- vu, otáček vřetena, dráhy nástroje, vypínání a zapínání různých pomocných činností, které

podporují výrobní proces ve stroji (např. zapnutí chladicí kapaliny, výměna nástroje a informace o nástroji atd.) kromě počátečních souřadnic řezu stroje. [10]

V následujícím kroku se CL data převedou přes postprocessor, který převede a upraví CL data a další potřebné informace o procesu obrábění na potřebný NC kód (ISO kód) nebo na data, která řídicí systém stroje podporuje, aby mohl proces výroby na daném stroji proběhnout. [10]

Tato příprava, která byla popsána výše, se používá nejčastěji. Jedná se o hlavní krok pro vytvoření potřebného NC programu. Takto vytvořený program musí obsahovat veškeré informace potřebné pro proces obrábění z CAM softwaru a zároveň je provázaný s daným CNC strojem, na kterém bude daný proces probíhat. [10]



Obr. 11. Schéma převodu part-programu na NC program [10]

3.3 Program pro výrobní stroje

Je v nejobecnějším smyslu pracovní cyklus. Jedná se o soubor úkonů, které provádí stroj v určitém po sobě jdoucím sledu. Na programem prováděný cyklus stroje je podíl a vliv

člověka daný stupněm automatizace daného stroje, který na základě programu provádí jednotlivé úkony. Programy lze rozřadit do tří základních skupin: [3]

- a) pro ručně řízené konvenční stroje,
- b) pro výrobní stroje s vyšším stupněm mechanizace a prvky automatizace,
- c) pro číslicově řízené výrobní stroje.

3.3.1 Program pro ručně řízené konvenční stroje

Výrobní stroj je ovlivněn pracovníkem, který při výrobě jednoho druhu součásti na něm provádí stále stejný po sobě následující sled a druh úkonů při výrobě stejných součástí. Můžeme tedy mluvit o programu. Charakteristikou tohoto programu, který je prováděn na konvenčním stroji, je přímé řízení celého pracovního cyklu člověkem. Bez člověka není možné provádět jednotlivé úkony programu na výrobním stroji. Výhodou je, že spojení univerzálního konvenčního stroje a člověka vytváří vysoce pružnou pracovní jednotku. Ve spojení s člověkem ale nastávají i značné nevýhody tohoto programu, vliv lidského činitele na výrobní proces je značně nestálý a závisí na momentálním výkonu člověka daného jeho únavou. Vznikají zde chyby způsobené pracovníkem. [3]

3.3.2 Program pro výrobní stroje s vyšším stupněm mechanizace

U tohoto typu programu byla snaha o vyšší produktivitu, a proto se začaly využívat různé typy mechanizace a automatizace. Mezi nejdůležitější patřila opatření, která urychlovala sled pracovních úkonů při vlastním procesu postupné změny tvaru a rozměrů výrobku v průběhu výroby. Mechanizace a automatizace výrobního procesu byla realizována pomocí tzv. tvrdé automatizace. Jednalo se o použití různých nárazkových systémů v součinnosti s přídavnými kopírovacími zařízeními (tímto řešením se zlepšilo dodržení tvaru výrobku). Na tuto fázi vývoje navazuje programové řízení, které vylučovalo zásah člověka do dalších činností obsluhy (řízení otáček stroje, na které navazuje řízení posuvu a rychlosti výroby atd.). Programové řízení lze řešit různými prostředky, mezi které patří například programový křížový volič. Charakteristikou pro tento typ řízení je již částečné oddělení programu od stroje (program, který ovládá rezné podmínky a jejich změny navazující na jednotlivé pracovní úseky stroje). [3]

3.3.3 Program pro číslicově řízené výrobní stroje

U číslicově řízených strojů bylo umožněno dosažení libovolné polohy pracovního orgánu podle předem zadaného úkonu v programu, který program čte ze záznamového média. U starších strojů byl program zaznamenáván na děrných a magnetických páskách a u nových typů strojů je zaznamenáván buď přímo z vlastního řídicího systému, kde byl program vytvořen, nebo z paměti přenosného média (flash disk, CD disk aj.), který byl vytvořen mimo stroj. U nejmodernějších strojů se využívá i zaslání programu pomocí počítačové sítě (DNC řízení). Program je napsán v určitém programovacím jazyce (nejčastěji G-kód) a za pomoci tohoto jazyka jsou v programu uvedeny veškeré informace pro řízení stroje. Výhodou je snadná změna programu stroje (pružné řízení) a eliminace vlivu člověka na pracovní proces (je potřeba pouze pro zadání programu do stroje). Program je již zcela oddělen od výrobního stroje a může se připravovat mimo něj. Oddělení nám umožňuje střídání tvarově i rozměrově rozdílných výrobků při minimálních časech změny seřízení daného stroje na nový výrobek. Pro jeho vysokou pružnost se číslicově řízená technika stala řešením pro automatizaci malosériové výroby a dále umožnila řešit velmi složité technologické operace (výroba velmi tvarově složitých součástí rovinně i prostorově například forem). Dříve muselo být využito značně drahých modelů a přípravků pro jejich výrobu. [3]

3.4 NC Program

NC program je uspořádaný soubor geometrických, technologických a případně pomocných informací, které jsou uspořádány v posloupnosti a formě pro daný řídicí systém CNC stroje. [1], [16]

3.4.1 Struktura programu

Informace v NC programu musí být vytvořeny v jazyku, kterému řídicí systém stroje rozumí a dovede ho zpracovat. [1], [16]

Struktura NC programu (Obr. 12) se řídí podle programovacího jazyka tzv. G-kódu (ISO kódu). Je sestaven z bloků (vět), které obsahují informace potřebné pro řízení silových prvků stroje. Obsahem každého bloku jsou: [1], [16]

- **Geometrické informace** – ty popisují dráhu nástroje v jednotlivých osách buď podél jedné z nich, nebo souvisle ve více z nich. Hodnoty v jednotlivých osách

jsou udávány dle rozměrů a tvaru vyráběné součásti. Tyto informace se zapisují pomocí G funkcí dle G-kódu (ISO kódu).

- **Technologické informace** – podle nich se nastavují různé parametry (řezné podmínky) pro proces obrábění např. otáčky vřetene, strojní posuvy, hloubka řezu atd.
- **Pomocné informace** – udávají stroji informace například, že má spustit chladicí kapalinu nebo určení orientace otáčení vřetena atd.
- **Ostatní informace** – jsou to různé poznámky programátora a číslování jednotlivých bloků pro lepší orientaci v programu.

Každý blok (věta) je složen z tzv. „slov“. Každé slovo obsahuje jeden příkaz pro stroj a skládá se z adresy a číselného kódu. Adresa udává, pro kterou činnost je informace určena. Číselný kód udává konkrétní hodnotu. Slova jsou rozdělena do dvou typů: [1], [16]

- **Rozměrová** - jejich významová část je tvořena fyzikální veličinou, která představuje například polohu v dané ose, velikost otáček vřetena, rychlost posuvu atd.
- **Bezrozměrová** - ta se dělí do skupin, které se nazývají funkce:
 - Přípravné funkce, které udávají informaci o způsobu prováděného pohybu podle věty (např. lineární, kruhová atd.).
 - Pomocné funkce, kde jejich význam je specifický pro každý stroj. Využívají se pro vyvolání určitých činností stroje (např. spuštění chladicí kapaliny apod.).

Pro zaručení posloupnosti NC programu se jednotlivé bloky označují pomocí adresy „N“ a číselné hodnoty, která udává místo v programu. Bloky NC programu je výhodné číslovat po pěti (5, 10, 15, atd.) nebo po deseti (10, 20, 30, atd.) pro případné vložení dalšího bloku, aby nebylo nutné jejich přečíslování. Číslování bloků slouží pro snadnější orientaci v NC programu. [1], [16]

4 OPTIMALIZACE CNC OBRÁBĚNÍ

V dnešní době je snahou, aby výrobní proces byl časově málo náročný a jeho výstup byl z technického hlediska kvalitní. Díky těmto snahám jsou na výrobní proces kladeny vysoké nároky zejména technického směru, a to rozměrová přesnost, drsnost povrchu aj. Další stránkou optimalizace výrobního procesu jsou ekonomické náklady, které tvoří v mnoha případech značnou část vlivů na výrobní proces. Proto v dnešní době pro konkurenceschopnost by měly firmy, které se zabývají výrobou, věnovat vyšší pozornost optimalizaci celého výrobního procesu. [17], [18]

Optimalizace v podstatě znamená výběr nejlepší možné varianty výrobního procesu z několika možných. Jako nejlepší možnou variantu lze označit takovou, která splňuje veškerá kritéria úspory výrobního času s nejlepší výstupní hodnotou, kterou představuje kvalitně zpracovaný výrobek. [17], [18]

Lze ji rozdělit na dva základní druhy: na konvenční a na adaptivní. Optimalizace konvenčního typu probíhá ještě před začátkem samotného obráběcího procesu. Adaptivní probíhá v průběhu obráběcího procesu za pomoci vyhodnocování jeho průběhu v aktuálním čase dle získaných hodnot ze snímačů umístěných na stroji nebo nástroji, který je právě v provozu. Principy obou druhů jsou téměř stejné. [17]

4.1 Konvenční druh optimalizace

Obráběcí proces je ovlivňován mnoha faktory. Základní faktory, které mají vliv na obráběcí proces, jsou z hlediska technologie, použitého materiálu, ekonomiky a ekologie. Všechny tyto faktory je nutné do optimalizace řezných podmínek zahrnout. Například u ekologie nás omezuje ve využití kapalin, které jsou škodlivé pro životní prostředí. Dnes faktory stále narůstají vlivem vývoje strojů a nástrojů a ztěžuje se tímto samotná optimalizace. Díky tomu se při návrhu technologie jednotlivých součástí nabízí ve většině případů více variant výroby, je proto nutné detailnějších ekonomických výpočtů. U technologie obrábění jsou ekonomické výpočty jedny z nejsložitějších, protože do procesu obrábění je mnoho vstupujících faktorů, které ji ovlivňují. Proto je nutnost pro tyto výpočty využívat vysoce kvalifikované odborníky. Z důvodu časové náročnosti výpočtů optimalizace obráběcího procesu se výpočty provádějí pouze do úsporné míry, která pokryje minimální náklady na optimalizaci. [18], [19]

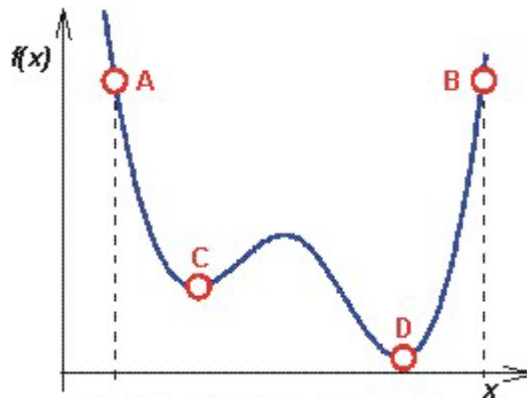
Na konvenční optimalizaci navazuje samotná technologická příprava výroby. Je nutné, aby při výběru nejlepší výrobní varianty byl sled operací co nejlépe optimalizovaný a nejméně časově náročný. Není však pravidlem, že při nejméně časově náročné variantě bude zaručena požadovaná kvalita výrobku, je nutné do výběru zahrnout všechny možnosti, které jsou pro výběr stěžejní. Následuje výběr vhodného stroje, který poskytuje strojový park dané firmy. Výběr stroje závisí na velikosti dávky výroby a druhem výrobku. Pro firmy, které se zabývají sériovou výrobou, nemusí být kusová výroba z ekonomického hlediska vhodná. Pro tyto případy se využívá možnosti kooperace s jinými firmami. [17], [18]

U obrábění je zahrnuto do technologických faktorů, které se řadí mezi nejdůležitější, materiál a geometrie rezného nástroje a materiál polotovaru. U samotného procesu se jedná o rezné podmínky (rezná rychlost, otáčky vřetene, rychlosti posuvů), trvanlivost rezného nástroje a prostředí rezného procesu. U ostatních technologií jako například slévání je počet faktorů ovlivňujících proces nižší. [18]

Jestliže již jsou provedeny ekonomické výpočty a jsou zvoleny stroje pro výrobu, následuje volba rezných nástrojů pro jednotlivé stroje nebo výrobní úseky. Výběr je značně ovlivněn možnostmi dané firmy. U výběru nástroje někdy není možné využít jednoúčelových nástrojů, je proto nutné brát v úvahu nástroje víceúčelové. Z ekonomického hlediska je nutné zvážit výrobu nebo nákup nových přípravků a strojů pro výrobu, případné zaškolení obsluhy strojů na nový typ procesu výroby, než když je využita možnost kooperace. Závisí to na sériovosti a opakovatelnosti výroby stejného nebo značně podobného výrobku. Do těchto možností se mohou zařadit i různé nové technologie (povrchové úpravy, tepelné zpracování, přechod z konvenčních na CNC stroje atd.). [18]

Po všech výběrech a volbách těchto podmínek následují samotné výpočty rezných podmínek a trvanlivosti nástrojů. Při optimalizaci je možné se zaměřit na minimalizaci výrobních nákladů a zvýšení produktivity, a tím zvýšení zisků nebo minimalizaci přídávků na polotovar pro obrábění. Pokud se jedná o optimalizaci výrobních nákladů, jsou na konci vyhodnoceny všechny možné varianty a na základě výsledků je vybrána ta nejlepší. Jedním nejvíce opomíjeným a nejdůležitějším faktorem pro správnou volbu jsou rezné podmínky, které jsou rozhodující při nákupu nebo výrobě nových přípravků, nástrojů a strojů, ale finanční náklady na jejich volbu je nejméně náročná. Důvodem je nízká kvalifikace pracovníků, která je potřebná pro jejich výpočet. Kusová výroba je výjimkou, protože úspora nemůže dosáhnout nákladů na výpočtového pracovníka. [17]

Princip celé optimalizace je určení ideálního bodu kritériální funkce za dodržení podmínek omezení (Obr. 13). Mezi omezení se řadí například eliminace zbytkového pnutí v povrchu materiálu obrobku, drsnost povrchu atd. Omezení nelze nazývat kritériem, protože jich lze dosáhnout jinými technologiemi po procesu obrábění. [20]



Obr. 13. Globální (D) a lokální (C) minimum kritériální funkce [20]

Kompletní optimalizaci výrobku lze rozdělit na jednotlivé obráběcí operace, které jsou ovlivněny individuálními náklady na výrobu. Dodržením těchto substitučních nákladů se zajistí minimalizace celkových nákladů a prodejnost výrobku stoupne. Musí však být dodržena požadovaná kvalita výrobku, drsnost povrchu atd. Zisk z jednoho výrobku roste exponenciálně v závislosti na jeho výrobní dávce. Nízká úspora na kusu může mít za důsledek přebytečné finance v celkové ekonomické bilanci (měsíční nebo roční), které se využijí v oblasti vývoje a výzkumu. Proces tohoto typu nelze však aplikovat donekonečna na jeden typ výrobku. Jeho důležitost je spíše při zavádění nového výrobku, kde každá optimalizace může vést k větším úsporám. Při stávajícím výrobku dává větší efektivitu hloubková analýza, kterou lze aplikovat se ziskem až od určité velikosti výrobní dávky. Pro správnou analýzu je potřeba kvalitního softwaru, výkonné počítačové techniky, kalkulace a databáze. [18]

Optimalizaci můžeme rozdělit na: [19]

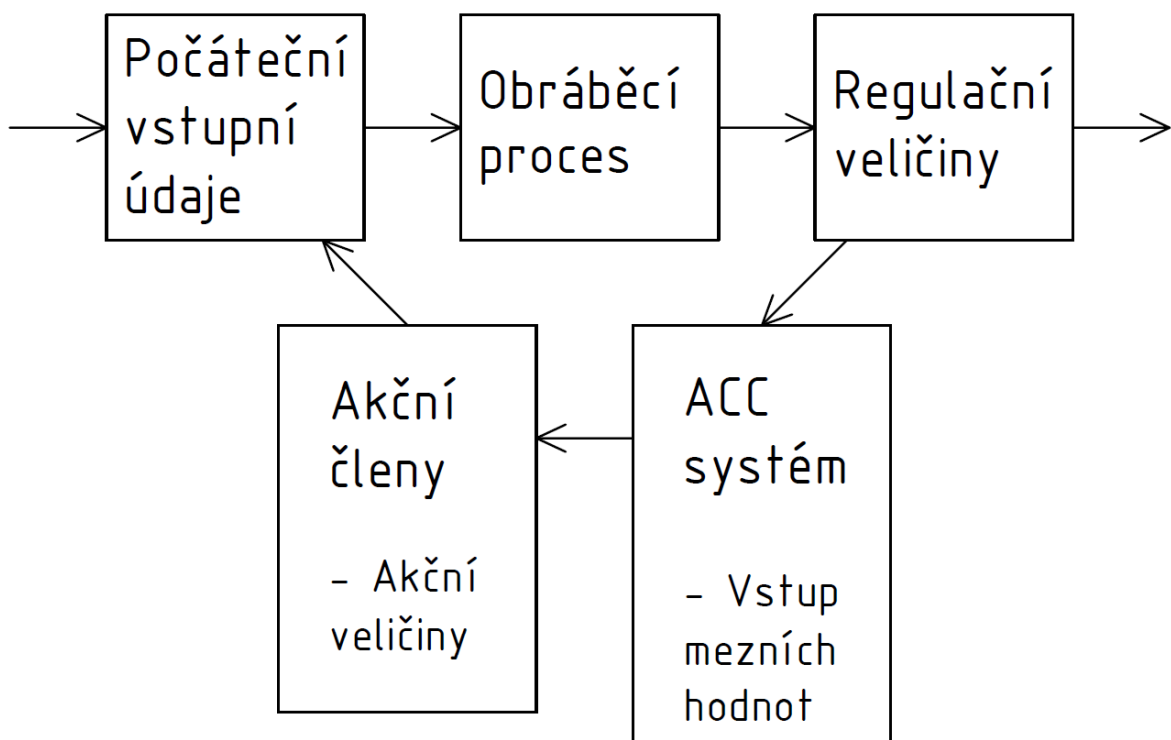
- Proces s jedním nástrojem.
- Proces na jednom stroji s více nástroji.
- Proces na více strojích zařazených do výrobní linky.
- Proces na více strojích vázaných organizačně.

4.2 Adaptivní druh optimalizace

V dnešní době je její aplikace spojena spíše s obráběním na CNC strojích, ale lze ji využít i pro konvenční stroje. Stroj je osazen různými snímači pro snímání veličin, které jsou pro optimalizaci v průběhu obráběcího procesu důležité. Snímají hodnoty, například příkon stroje, řeznou sílu, krouticí moment na vřetenu, teplotu (nástroje i obrobku), drsnost obrobene plochy, velikost opotřebení nástroje aj. Snímají především veličiny, které lze během procesu změnit (tzv. akční členy). [21]

4.2.1 Mezní systémy

Tyto systémy jsou porovnávací. Optimalizaci regulují veličiny otáček vřetene, posuvu nástroje a hloubku řezu na základě porovnání s jejich mezními hodnotami (Obr. 14). Jejich smyslem je co nejvíce maximalizovat hloubku řezu při dodržení požadované kvality povrchu a omezujících podmínek. Principem je, že pokud jsou všechny veličiny pod mezní hranicí veličin, lze proces dále optimalizovat a tím ho urychlit. Optimalizace může být prováděna až do té chvíle, pokud jedna z veličin nepřekročí mezní hranici, poté musí všechny klesnout pod ní. [21]



Obr. 14. Adaptivní optimalizace mezními systémy – blokové schéma [18]

4.2.2 Optimalizační systémy

Tento druh systémů optimalizuje řeznou rychlost v závislosti na velikosti posuvu nebo hloubce řezu a to vše s ohledem na kritérium minimálních nákladů. Plyne z toho závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách. Systém provede kalkulaci podle nasnímaných hodnot potřebných veličin a následným vyhodnocením výsledků upraví výrobní proces do nejvhodnějších hodnot. [21]

4.3 Optimalizace z ekonomického a časového hlediska

Jedná se optimalizaci času výroby a z toho plynoucích výrobních nákladů na výrobní proces. Vyhodnocení je zjednodušeno do jednoho modelu, který zahrnuje jeden typ obrábění plochy obrobku jedním nástrojem. Celkové náklady na výrobu jednoho výrobku se vyjádří dle rovnice (1) součtu dílčích položek. [22]

$$N_c = N_s + N_n + N_v \quad (1)$$

Kde: N_c – celkové náklady na výroby jednoho kusu,

N_s – náklady na strojní práci,

N_n – náklady na nástroj a jeho výměnu při jednom obrobku,

N_v – náklady na vedlejší práci.

Všechny tyto náklady jsou vyjádřeny v dané měně státu a pro každý typ technologie obrábění se dosazují odlišně, musí se dle ní dosadit (2). [22]

$$N_c = t_{AS} \cdot N_{sm} + N_T \cdot z_v + t_{AV} \cdot N_{vm} \quad (2)$$

Kde: N_{sm} – náklady na minutu strojní práce,

N_{vm} – náklady na minutu vedlejší práce,

N_T – náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené na jednu trvanlivost,

z_v – počet výměn nástroje, vztažený na jedno obrobání kusu [-],

t_{AS} – jednotkový strojní čas [min],

t_{AV} – jednotkový vedlejší čas [min].

4.4 Optimalizace řezné rychlosti

Pro určení optimální řezné rychlosti se vychází ze základního Taylorova vztahu, do kterého se dosadí rovnice celkových operačních nákladů (1). Vyšetřením minima dané funkce je definována rovnice (3) pro výpočet optimální řezné rychlosti dle kritéria optimálních výrobních nákladů. [23]

$$v_{c \text{ opt}} = \left(\frac{k_1}{k_2 \cdot (m-1)} \right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{c_T}{\tau} \cdot \frac{N_{sm}}{N_T \cdot (m-1)} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

Kde: $v_{c \text{ opt}}$ – optimální řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

N_{sm} – sazba za minutu práce stroje [$\text{Kč} \cdot \text{min}^{-1}$],

N_T – náklady na nástroj a jeho výměnu, trvanlivost břitu [Kč],

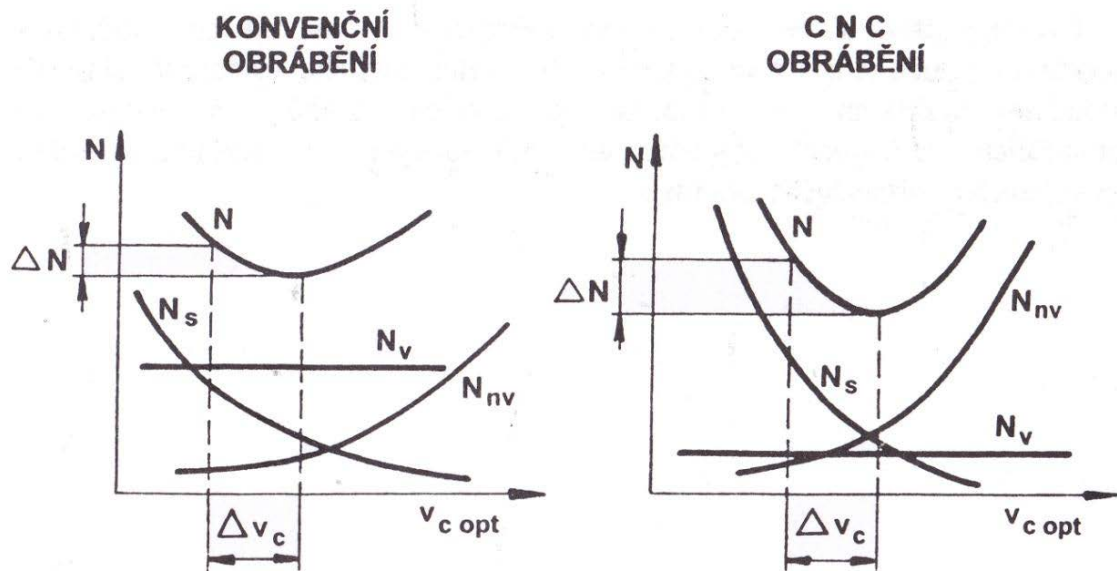
m – exponent [-],

c_T – konstanta [-],

τ – koeficient čistého řezu [-].

4.5 Optimalizace z hlediska životnosti řezného nástroje

Významným vlivem na optimalizaci pro snížení výrobních nákladů má řezná rychlost. Ta má největší vliv na životnost řezného nástroje, a proto je význam jeho životnosti jedním z důležitých aspektů ovlivňujících náklady na celý výrobní proces. Je však odlišná při využití konvenčních strojů a moderních obráběcích CNC strojů. Na Obr. 15 je zobrazeno porovnání závislosti výrobních nákladů na konvenčních strojích a CNC strojích. Při zhodnocení je patrné, že při stejné diferenci v řezné rychlosti je různý vliv na výslednou hodnotu výrobních nákladů pro jednotlivé typy strojů a plyne z něj, že u CNC strojů se jedná o hlavní faktor pro výrobní náklady. [18]



Obr. 15. Výrobní náklady v závislosti na řezné rychlosti – porovnání CNC a konvenčního obrábění [18]

Většina firem zabývajících se obráběním však využívá pouze doporučených řezných podmínek od výrobce nástroje a dál se tímto jevem nezabývá. Doporučené řezné podmínky ale nejsou často optimální a je nutné je upravit pro konkrétní typ obráběcího procesu, tím se životnost nástroje dále prodlouží. [18]

Pro optimalizaci životnosti nástroje existují dvě hlediska při procesu obrábění: [18]

- větší posuv a menší část nástroje v řezu,
- nižší posuv a větší část nástroje v řezu.

Hlavním aspektem životnosti je, aby nástroj měl konstantní zátěž v řezu a nebyl jeho řez přerušovaný. Použitý nástroj závisí hlavně na způsobu obrábění (hrubování nebo dokončování). [18]

Při optimalizaci životnosti nástroje je potřeba rozhodnout, která metoda procesu je pro nástroj výhodnější. Lze ji provést dle dvou různých hledisek: [18], [24]

- podle minimálních výrobních nákladů,
- podle maximální výrobní produkce.

4.5.1 Podle minimálních výrobních nákladů

Je potřeba upravit rovnici pro celkové výrobní náklady (1) pro daný úkol do následujícího tvaru (4): [24]

$$N_c = f(T) = K_{TN1} \cdot T^{\frac{1}{m}} + N_{nv} + N_T \cdot K_{TN2} \cdot T^{\frac{1}{m}-1} \quad (4)$$

Kde: T – trvanlivost [min],

m – exponent [-],

N_{nv} – náklady na nástroj a jeho výměnu [Kč],

N_T – náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené na jednu trvanlivost bříty [Kč],

K_{TN1} – konstanta vyjádřená pro specifický druh činnosti [-],

K_{TN2} – konstanta vyjádřená pro specifický druh činnosti [-],

Z této funkce se stanoví minimum (5) pro podmínku, která je vyjádřena (4): [24]

$$dN_c/dT = K_{TN1} \cdot m^{-1} \cdot T^{\frac{1}{m}-1} + N_T \cdot K_{TN2} \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T^{\frac{1}{m}-2} = 0 \quad (5)$$

Z minima funkce (5) lze vyjádřit optimální trvanlivost nástroje z hlediska minimálních výrobních nákladů podle rovnice (6): [24]

$$T_{optN} = \left(\frac{(m-1) \cdot \tau \cdot N_T}{N_{sm}}\right) \quad (6)$$

Kde: T_{optN} – optimální trvanlivost [min],

m – exponent [-],

τ – koeficient čistého řezu [-],

N_T – náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené na jednu trvanlivost bříty [Kč],

N_{sm} – sazba za minutu práce stroje [Kč.min⁻¹].

4.5.2 Podle maximální výrobní produktivity

Výrobní produktivita dosahuje lokálního maxima při minimální hodnotě operačního času jednotkové práce. Je definován v daném případě rovnicí (7) jako součet základních složek: [24]

$$t_A = t_{AS} + t_{AV} + \frac{t_{AX}}{Q_T} \quad (7)$$

Kde: t_A – operační čas jednotkové práce [min],

t_{AS} – jednotkový strojní čas [min],

t_{AV} – jednotkový vedlejší čas [min],

t_{AX} – jednotkový čas nepravidelné obsluhy [min],

Q_T – počet kusů obrobků za jednu trvanlivost nástroje [-].

Stanovení minima funkce (9) je závislé na vyjádření t_A ve tvaru (8), zatímco konstanta K_{TV} je definována v závislosti na parametrech a druhu obrábění: [24]

$$t_A = f(T) = K_{TV} \cdot T^{\frac{1}{m}} + t_{AV} + K_{TV} \cdot \tau \cdot t_{AX} + T^{\frac{1}{m}-1} \quad (8)$$

$$dt_A/dT = \frac{1}{m} \cdot K_{TV} \cdot T^{\frac{1}{m}-1} + \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot K_{TV} \cdot \tau \cdot t_{AX} + T^{\frac{1}{m}-2} = 0 \quad (9)$$

Kde: t_A – operační čas jednotkové práce [min],

T – trvanlivost [min],

m – exponent [-],

t_{AV} – jednotkový vedlejší čas [min],

t_{AX} – jednotkový čas nepravidelné obsluhy [min],

K_{TV} – konstanta závislá na parametrech obrábění [-].

Po úpravě lze z rovnice vyjádřit optimální trvanlivost nástroje dle maximální výrobní produktivity jako rovnicí (10): [24]

$$T_{optV} = (m - 1) \cdot \tau \cdot t_{AX} \quad (10)$$

Kde: T_{optV} – optimální trvanlivost [min],

m – exponent [-],

τ – koeficient čistého řezu [-],

t_{AX} – jednotkový čas nepravidelné obsluhy [min].

4.6 Optimalizace G-kódu

Ve firmách, které vyrábí formy a další podobné typy výrobků, bývá v dnešní době stále větší zájem investovat do výběru, nákupu a zaškolení kolem optimalizačních programů pro získání optimálních NC programů pro výrobu s důrazem na čas a opotřebení a trvanlivost nástroje. Při neoptimalizovaném NC programu se totiž stává, že při úběru materiálu v některých místech, kde by měl obráběcí nástroj odebírat materiál, odebírá v podstatě „pouze vzduch“. Proto je tedy vhodné NC program před samotným obráběním optimalizovat.

vat pomocí optimalizačního programu, který tyto problémy vyřeší a tím prodlouží životnost nástroje. [25]

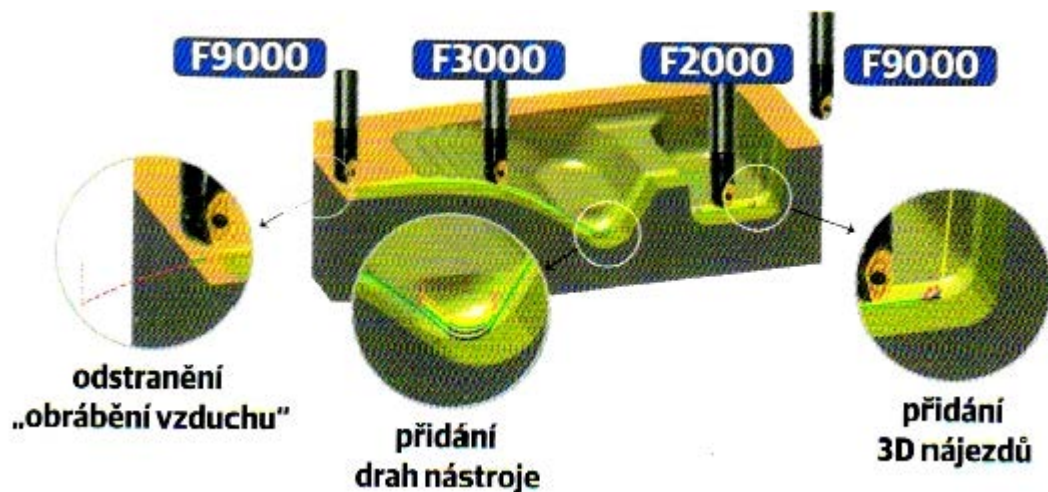
Optimalizační programy vychází ze základních principů obrábění a vědomostní databáze obráběcí technologie a její využití s používaným CNC strojem, na kterém bude výroba probíhat, a obráběcími nástroji a se stále aktualizovanými informacemi, kolik materiálu bude nutné v následujícím bloku NC programu odebrat. S těmito informacemi poté optimalizační program pracuje, aby mohl vhodně upravit strojní posuv, otáčky vřetene nebo přidat nebo i v potřebných případech odebrat dráhy nástroje, podle kterých nástroj obrábí „pouze vzduch“. Výstupem je optimalizovaný NC program, ve kterém jsou dráhy nástroje a další parametry nastaveny tak, že nástroj při procesu obrábění „neodebírá vzduch“. Zvyšuje se tím životnost nástroje, protože nemá přerušovaný řez, a zvyšuje se tím i kvalita obrobku a produktivita celého procesu obrábění. [25]

4.6.1 Postup optimalizace NC programu

V první řadě je do optimalizačního programu nahrán originální NC program a definuje se vhodný výchozí polotovár, zvolí se obráběcí nástroje a jejich držáky i s aktualizovanými informacemi o nich (popřípadě si je zjistí sám optimalizační program). Následuje simulace daného NC programu, kde proběhnou tyto operace (Obr. 16) optimalizačního programu: [25]

- **Řízení posuvu nástroje** – pokud je navolena rychlost posuvu například F1000, optimalizační program ji podle informací o nástroji řídí například v rozmezí od F800 do F4000. Tímto krokem se NC program stane bezpečnějším vůči nástroji a zároveň rychlejším.
- **Odstranění nadbytečných drah** – jedná se o dráhy, při kterých nástroj odebírá „pouze vzduch“ a minimum materiálu. Obvykle jsou v NC programu obsaženy v 5 - 30 % celkových drah nástroje. Optimalizační program analyzuje všechny dráhy, a právě tyto nadbytečné automaticky odstraní s ohledem na vstupní polotovár.
- **Řízení výšky nájezdů a přejezdů nástroje rychloposuvem** – optimalizační program zkontroluje všechny dráhy nájezdů a přejezdů a popřípadě je upraví do podoby rychloposuvů a pracovních posuvů v závislosti na vstupním polotovaru a možných kolizích nástroje s obrobkem.

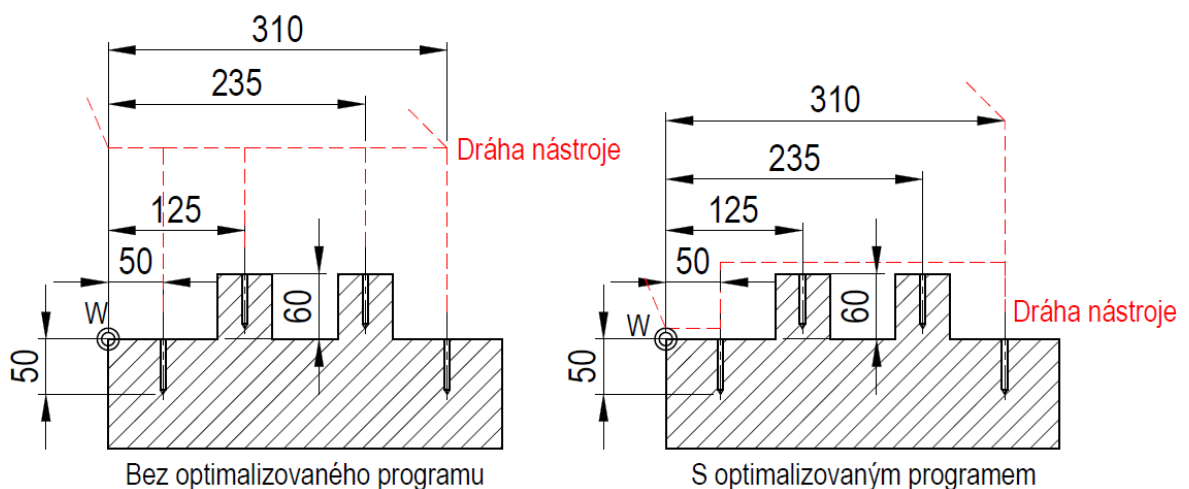
- **Přidání drah nástroje** – optimalizační program dráhy přidá v případě, že podle stávajících drah není konstantně odebírán materiál. Ty přidá s ohledem na obráběný tvar.
- **Doporučení optimální délky vyložení nástroje v držáku** – optimalizační program na základě obráběného tvaru, drah nástroje a držáku doporučí optimální délku vyložení nástroje z držáku. Vyložení nástroje má významný vliv na řezné podmínky při procesu obrábění.



Obr. 16. Základní principy optimalizace [25]

4.6.2 Příklad optimalizovaného a neoptimalizovaného NC programu

Zde je uveden příklad NC programu pro operaci vrtání (Obr. 17). V prvním případě nejsou jeho dráhy optimalizovány, v druhém již ano.



Obr. 17. Operace vrtání děr

Neoptimalizovaný NC program:

N005 G90 G54
N010 G00 X-200 Y-200 Z200
N015 T1 D5 M3 S1500 F100
N020 G00 X0 Y0 Z175
N025 G00 X50 Y100 Z175
N030 G00 X50 Y100 Z3
N035 G81 X50 Y100 Z-50
N040 G00 X50 Y100 Z175
N045 G00 X125 Y100 Z175
N050 G00 X125 Y100 Z63
N055 G81 X125 Y100 Z10
N060 G00 X125 Y100 Z175
N065 G00 X235 Y100 Z175
N070 G00 X235 Y100 Z63
N075 G81 X235 Y100 Z10
N080 G00 X235 Y100 Z175
N085 G00 X310 Y100 Z175
N090 G00 X310 Y100 Z3
N095 G81 X310 Y100 Z-50
N100 G00 X310 Y100 Z175
N105 G00 X-200 Y-200 Z200
N110 M30

Optimalizovaný NC program:

N005 G90 G54
N010 G00 X-200 Y-200 Z200
N015 T1 D5 M3 S1500 F100
N020 G00 X50 Y100 Z3
N025 G81 X50 Y100 Z-50
N030 G00 X50 Y100 Z63
N035 G00 X125 Y100 Z63
N040 G81 X125 Y100 Z10
N045 G00 X235 Y100 Z63
N050 G81 X235 Y100 Z10
N055 G00 X310 Y100 Z63
N060 G00 X310 Y100 Z3
N065 G81 X310 Y100 Z-50
N070 G00 X310 Y100 Z200
N075 G00 X-200 Y-200 Z200
N080 M30

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část seznamuje s číslicově řízenými stroji a jejich řízením. Obecně byly popsány tyto oblasti spojené s CNC technikou:

- seznámení se základními pojmy,
- přínos v průmyslové výrobě,
- historie,
- vývojové stupně,
- popis jednotlivých částí řízení pro funkčnost CNC stroje,
- základní rozdělení,
- seznámení s programováním CNC strojů,
- seznámení s optimalizací výroby a NC programů.

Převážná část se věnuje hlavnímu tématu diplomové práce, a to programování pomocí CAM programů a optimalizaci samotného NC programu pro výrobu.

Následující praktická část se bude zabývat:

- rozbohem 3D modelu zadané součásti,
- vytvořením CNC programu pomocí CAM programu NX 10,
- postprocessingem CNC programu na G-kód,
- optimalizací G-kódu NC programu,
- vyhodnocením a diskuzí praktické části.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VYTVOŘENÍ CNC PROGRAMU

Kapitola se zabývá vytvořením funkčního CNC programu pro obráběcí CNC centrum.

6.1 Program NX 10.0.3

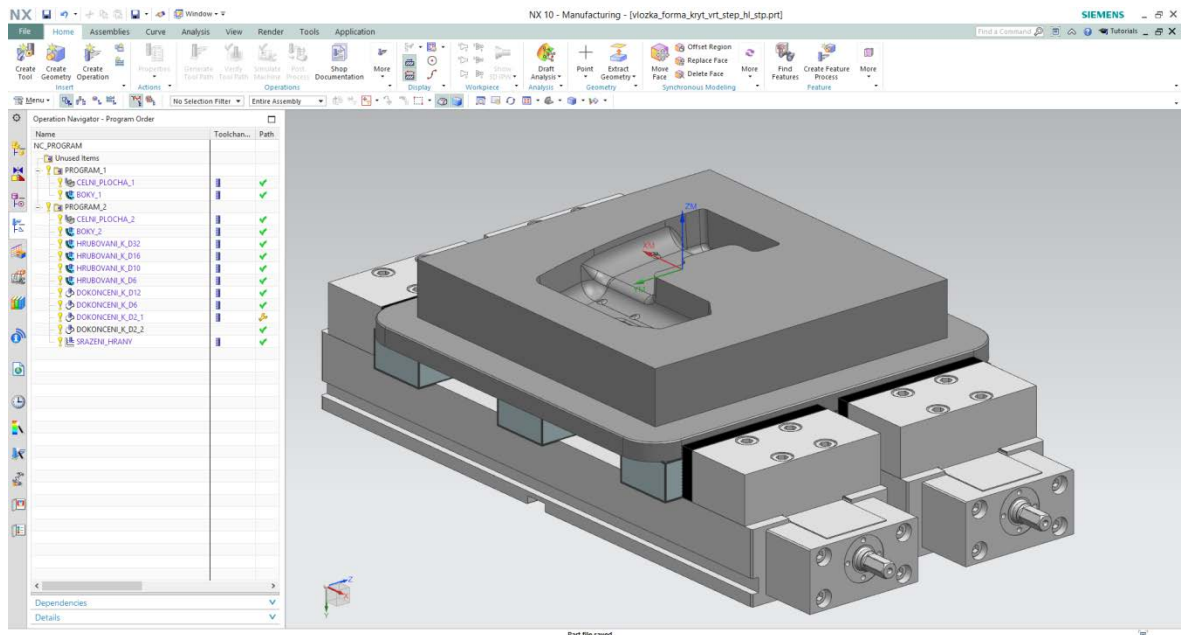
CNC program a další úpravy byly vytvářeny za pomoci programu Siemens PLM NX 10. Jedná se o program PLM („Product Lifecycle Management“), který zahrnuje CAD/CAM a CAE moduly pro konstrukční a výrobní řešení produktů. Napomáhá k rychlému a efektivnímu průběhu vývoje výrobku z hlediska návrhu, simulace fyzikálních a výrobních prostředků pro lepší konečný reálný produkt bez zbytečných ztrátových nákladů. Vše probíhá v integrovaném vývojovém prostředí programu (Obr. 18). Program NX poskytuje funkce, které jsou klíčové pro tuto oblast. Nabízí: [26]

- Moderní koncepční navrhování, 3D modelování a dokumentaci.
- Analýzu reálných fyzikálních vlastností výrobku na základě virtuálního modelu.
- Vytvoření vhodného CNC programu pro obrábění různými technologiemi na různých CNC strojích včetně nástrojů a kontrolu kvality výstupu ještě před samotnou finální výrobou.

Modul CAD je vybaven pro kompletní návrh a vytvoření 3D modelu a celých sestav produktů. Jedná se o rychlé a efektivní řešení pro snížení nákladů na vytváření i velmi složitých výrobků. [26]

Modul CAM zahrnuje kompletní programové řešení počítačem podporovaného obrábění. Zahrnuje programování obráběcích nástrojů, postprocessing a simulaci obrábění s kontrolou kolizních situací při procesu obrábění, a tím zamezuje případným vícenákladům spojených s poškozením nástrojů nebo samotných CNC strojů. Mezi nejvíce využívané druhy obrábění nabízí například: [26]

- 2,5D obrábění,
- 3D obrábění,
- vysokorychlostní obrábění,
- víceosé obrábění (5D),
- soustružení,
- elektroerozivní obrábění (EDM).



Obr. 18. Prostředí programu NX 10

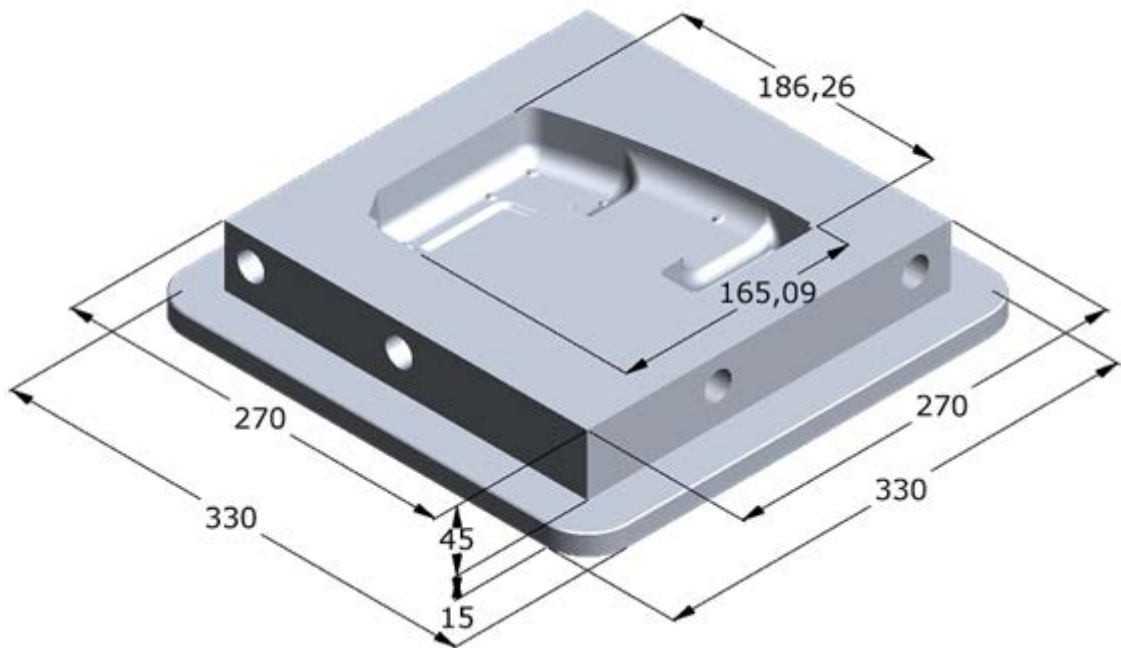
6.2 3D model

Diplomová práce se nezabývá konstrukcí součásti (3D modelu), ale model je vybrán z veřejné databáze na portálu GrabCAD. 3D model (PI) byl zvolen od autora „sunil kumar“ a jedná se o část krytu akumulátorové vrtačky (Obr. 19). [27]



Obr. 19. 3D model části krytu akumulátorové vrtačky [27]

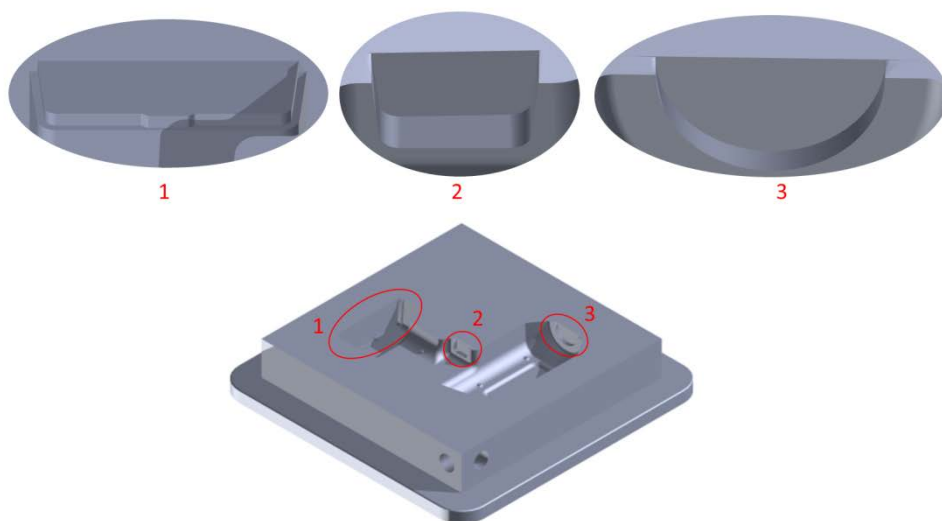
Z tohoto modelu byl vytvořen 3D model vložky dutiny vstřikovací formy (Obr. 20). Do modelu bylo vyznačeno možné vedení temperačních kanálů. Je součástí přílohy PI na CD.



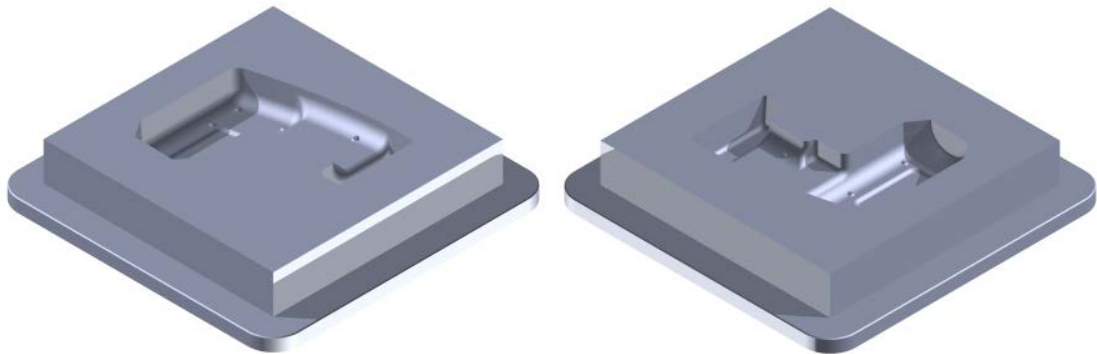
Obr. 20. Vytvořený 3D model vložky dutiny vstříkovací formy

6.2.1 Rozbor 3D modelu

Před samotným programováním byl proveden rozbor tvaru a rozměrů vstupního 3D modelu. Na 3D modelu byla vyhodnocena kritická místa, která jsou frézováním neobrobitelná a je nutné je při případné výrobě dílu obrobit jinou technologií. Jedná se o ostré hrany v místech 1, 2 a 3 (Obr. 21). 3D model byl následně upraven pouze pro tvorbu CNC programu pro technologii CNC frézování (Obr. 22), kde byla tato místa odstraněna. Dále z 3D modelu byly odstraněny temperační kanály, které se pro svoji hloubku obrábí jinou technologií výroby.



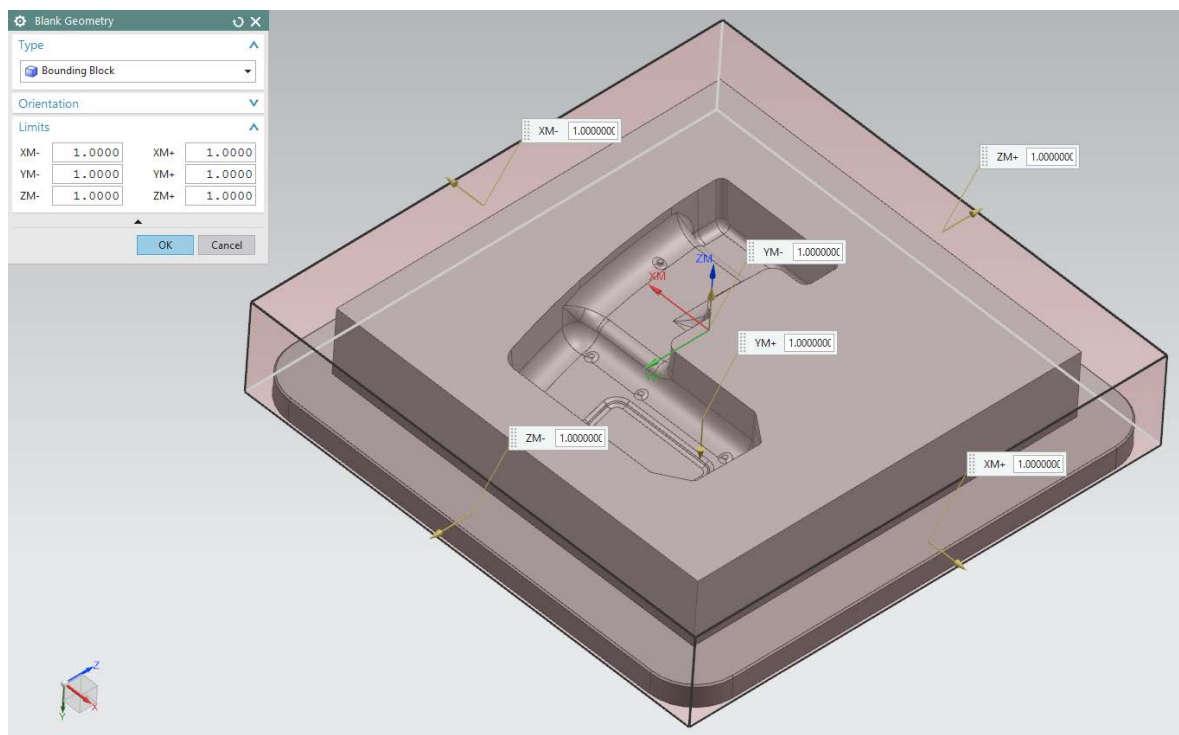
Obr. 21. Místa neobrobitelná frézováním



Obr. 22. Upravený 3D model pro programování

6.2.2 Polotovár

Jako materiál polotovaru byla zvolena cementační ocel 1.2162 (21MnCr5), která je vhodná pro výrobu forem pro vstřikování plastů, je dobře obrobitelná a má dobrou odolnost proti opotřebení. Tvar polotovaru je zvolený v programu NX 10 jako „Bounding Block“. Jedná se o kvádr s rozměry dle největších základních rozměrů 3D modelu s přídatkem na každou stěnu 1 mm (Obr. 23). Jeho rozměry jsou 332 x 332 x 62 mm.



Obr. 23. Zvolený polotovár pro programování

6.3 Obráběcí CNC centrum

Na základě vyhodnocení následující možné výroby dílu bylo zvoleno jako vhodné obráběcí CNC centrum Hermle C 42 U (Obr. 24) od firmy Hermle AG pro svoje nabízené technické parametry (Tab. 1).



Obr. 24. Obráběcí CNC centrum Hermle C 42 U [28]

Tab. 1. Technické parametry obráběcího CNC centra Hermle C 42 U [28]

TECHNICKÉ PARAMETRY		
Pracovní prostor		
Max. dráha pojezdu X/ Y/ Z	800/ 800/ 550	mm
Max. oběžný průměr	800	mm
Rozměry otočného upínacího stolu	ø800 x 630	mm
Rozsah úhlu natočení stolu	+/- 130	°
Dynamický rychloposuv stroje X/ Y/ Z	60/ 60/ 60	m.min ⁻¹
Rychloposuv stroje X/ Y/ Z	45/ 45/ 40	m.min ⁻¹
Obráběcí vřeteno		
Max. otáčky	18000	min ⁻¹
Max. výkon	31	kW
Max. krouticí moment	180	Nm
Obrobek		
Max. rozměry obrobku X/ Y/ Z	800/ 800/ 550	mm
Max. váha obrobku	1400	kg
Zásobník nástrojů		
Max. počet nástrojů	42	ks
Čas výměny nástrojů	přibližně 4,5	s
Max. délka nástroje	300	mm
Max. průměr nástroje	80	mm
Max. hmotnost nástroje	8	kg
Max. zatížení zásobníku	168	kg
Hlavní parametry		
Rozměry stroje	4000 x 2450 x 3290	mm
Hmotnost	cca 13 000	kg
Řídicí systém	FANUC	

Jedná se o pětiosé vysokovýkonné obráběcí CNC centrum pro využití ve všech odvětvích průmyslové strojírenské výroby. Jeho konstrukce splňuje požadavky na nejvyšší přesnost a nejmenší tolerance při obrábění. Je vhodné pro výrobu forem, lékařskou techniku, výrobu pro automobilový, letecký a kosmický průmysl a další. [28]

6.4 Nástroje pro frézování

Zde jsou představeny frézovací nástroje využité pro programování a následné možné zhotovení dílu dle CNC programu. Nástroje byly zvoleny od firmy SECO TOOLS AB. Všechny nástroje použité pro frézování jsou uvedeny v seznamu nástrojů (Tab. 2) a pro použití při seřizování stroje v nástrojovém listě (PII): [29]

– Nástroj pro čelní frézování ploch

Jako nástroj pro čelní frézování byla zvolena čelní fréza \varnothing 63 mm R220.53 -0063-12-9A (T1) s vyměnitelnými břitovými destičkami SEMX1204AFTN-MD19 MP1500 (PIII).

– Nástroj na obrobení bočních ploch

Pro obrobení bočních ploch byla použita fréza, která je vhodná jak na hrubování, tak na dokončování. Byla zvolena monolitní karbidová fréza \varnothing 20 mm JABRO - HSM/TORNADO JH930200R050-MEGA (T2) (PIV).

– Nástroje pro hrubování dutiny

Pro odebrání největšího množství materiálu bez kladení požadavků na přesnost z polotovaru je nutné použít hrubovací operace. Hrubovací nástroje pro vytvoření dutiny byly voleny, aby odpovídaly použití technologie vysokoposuvového frézování (HFM). Byly zvoleny následující frézy:

T3. HFM fréza \varnothing 32 mm R217.21-1632.RE-R125.3A s vyměnitelnými břitovými destičkami 218.19-125T-T3-MD10 MH1000 (PV)

T4. HFM fréza \varnothing 16 mm Minimaster MM16-16.60-HF-MD12 s vyměnitelnou břitovou hlavičkou MM16-16.60-HF-MD12 F30M (PVI)

T5. HFM fréza \varnothing 10 mm Minimaster MM10-10.50-HF-MD08 s vyměnitelnou břitovou hlavičkou MM10-10.50-HFMD08 F15M (PVII)

T6. HFM monolitní karbidová stopková fréza \varnothing 6 mm JABRO JHF980TL060-MEGA (PVIII)

– Nástroje na dokončení dutiny

Pro dokončení ploch dutiny na požadovanou jakost povrchu a odebrání zbytkového materiálu z polotovaru byly zvoleny kulové frézy typu JABRO – TORNADO (PIX):

T7. Monolitní karbidová stopková fréza \varnothing 12 mm JH112120D4B.0Z2-HXT (T7)

T8. Monolitní karbidová stopková fréza \varnothing 6 mm JH112060D4B.0Z2-HXT (T8)

T9. Monolitní karbidová stopková fréza \varnothing 2 mm JH112020J5B.0Z2-HXT (T9)

– Nástroj pro sražení hran

Pro konečné sražení hrany na bocích vložky byla zvolena fréza \varnothing 20 mm R217.49-1620.RE-XO12-45.3A s vyměnitelnými břitovými destičkami XOMX120408TR-MD13-MP1500 (T10), která je přímo určena pro srážení hran (PX). Jelikož výrobce neudává posuv pro zvolený materiál, ale destička je pro materiál polotovaru určena, byl posuv určen na základě rady odborníků z oboru obrábění.

Tab. 2. Seznam nástrojů pro frézování [29]

SEZNAM NÁSTROJŮ				
POZICE	ILUSTRACE	NÁSTROJ	OZNAČENÍ VÝROBCE	OPERACE V CNC PROGRAMU NAZEV
			ZÁKLADNÍ ROZMĚRY	
T1		ČELNÍ FRÉZA S VBD \varnothing 63	R220.53 -0063-12-9A	P1_1: CELNI_PLOCHA_1
			D = 63 mm; a = 6 mm; z = 9	P2_1: CELNI_PLOCHA_2
T2		STOPKOVÁ FRÉZA \varnothing 20	930200R050-MEGA	P1_2: BOKY_1
			D = 20 mm; a = 30 mm; z = 8	P2_2: BOKY_2
T3		FRÉZA S VBD \varnothing 32	R217.21 -1632.RE-R125.3A	P2_3: HRUBOVANI_K_D32
			D = 32 mm; a = 1 mm; z = 3	
T4		FRÉZA MINIMASTER \varnothing 16	MM16 -16.60-HF-MD12	P2_4: HRUBOVANI_K_D16
			D = 16 mm; a = 0,6 mm; z = 3	
T5		FRÉZA MINIMASTER \varnothing 10	MM10 -10.50-HF-MD08	P2_5: HRUBOVANI_K_D10
			D = 10 mm; a = 0,44 mm; z = 2	
T6		STOPKOVÁ FRÉZA \varnothing 6	980TL060-MEGA	P2_6: HRUBOVANI_K_D6
			D = 6 mm; a = 0,35 mm; z = 2	
T7		KULOVÁ FRÉZA \varnothing 12	JH112120D4B.0Z2-HXT	P2_7: DOKONCENI_K_D12
			D = 12 mm; a = 12 mm; z = 2	
T8		KULOVÁ FRÉZA \varnothing 6	JH112060D4B.0Z2-HXT	P2_8: DOKONCENI_K_D6
			D = 6 mm; a = 6 mm; z = 2	
T9		KULOVÁ FRÉZA \varnothing 2	JH112020J5B.0Z2-HXT	P2_9: DOKONCENI_K_D2_1
			D = 2 mm; a = 2 mm; z = 2	P2_10: DOKONCENI_K_D2_2
T10		FRÉZA NA SRAŽENÍ HRAN S VBD \varnothing 20	R217.49 -1620.RE-XO12-45.3A	P2_11: SRAZENI_HRANY
			D = 20 mm; a = 7 mm; z = 3	

6.4.1 Nástrojové systémy a upínací zařízení

Pro upínání nástrojů byly zvoleny nástrojové systémy od firmy SECO TOOLS AB. Byly vybírány s ohledem na nástroje. Pro stopkové monolitní a Minimaster frézy byly zvoleny tepelné držáky Seco-Capto (PXI). U frézy pro čelní frézování a první frézy pro hrubování jsou zvoleny upínací adaptéry Combimaster (PXII). Jedná se o následující typy:

1. Držáky Seco-Capto EPB 5600 (Obr. 25)
2. Adaptéry Combimaster EPB 5820



Obr. 25. Držák Seco-Capto EPB 5600 [29]

Pro upínání obrobku byl zvolen multi upínací svěrák SCHUNK KSD C 125-490 (Obr. 26). Protože rozměry obrobku jsou větší, tak pro upínání byly zvoleny dva stejné typy vedle sebe.



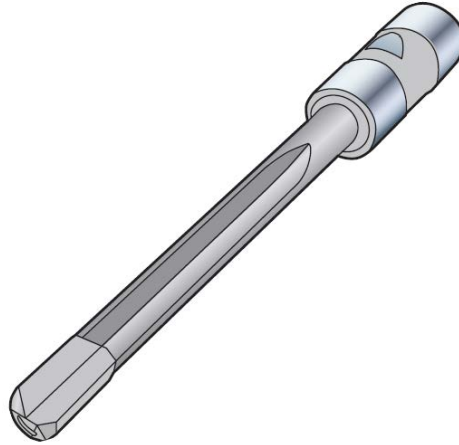
Obr. 26. Svěrák SCHUNK KSD C 125-490 [31]

Ve svěráku musely být použity pro druhé upnutí podložky do svěráku 30 x 50 x 300 mm, aby bylo možné se dostat při frézování i do obvodových tvarů (frézování boků vložky). Tyto vložky jsou vyrobeny dle potřeb pro proces obrábění a nejsou normalizované.

6.4.2 Nástroj pro vrtání temperačních kanálů

V diplomové práci není technologie obrábění těchto děr řešena, protože není prováděna na CNC stroji. Pro vyvrtání temperačních kanálů do správné hloubky a přesnosti děr by bylo vhodné použít dělový vrták. Tyto vrtáky většinou potřebují zvláštní stroj pro vrtání nebo

úpravu na stroji ve formě vedení vrtáku. Zaručují optimální přesnost vyvrtání hlubokých děr. Pro vyvrtání může být využit například dělový vrták jednobřítý CoroDrill 428.9 (Obr. 27) od firmy SANDVIK Coromat (PXIII).



Obr. 27. Dělový vrták jednobřítý [30]

6.5 Operace CNC programu

Pro typ obrobku byla zvolena technologie obrábění frézováním. Při hrubování bude využito technologie HFM („High Feed Milling“). Program NX 10 nabízí mnoho variant operací, jak bude vypadat cesta vedení frézy. Pro zvolený typ obrobku bylo vybráno pět následujících operací:

- Floor Wall IPW
- Cavity Mill
- Contour Area
- Flowcut Ref Tool
- Planar Profile

6.6 Vytvoření CNC programu

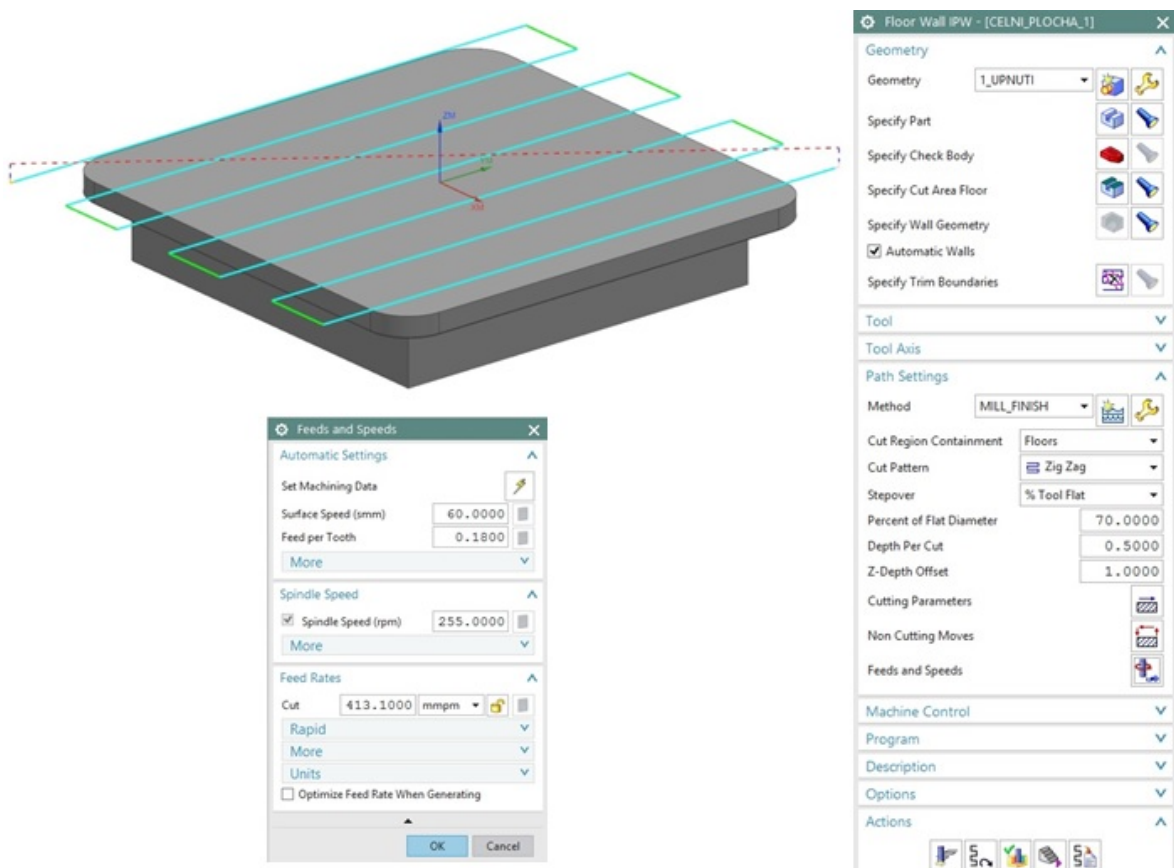
V této části je popsán postup vytvoření CNC programu v Siemens PLM NX 10. Frézování bylo prováděno na dvě upnutí, a proto je CNC program rozdělen na dva. V prvním programu je naprogramováno frézování části vnějšího tvaru obrobku z jedné strany na hotovo. Ve druhém programu je naprogramováno frézování zbývající části vnějšího tvaru a tvaru dutiny formy, který byl několika operacemi s různými frézami s odlišným průměrem hrubován a poté dokončován několika operacemi kulovými frézami s různým průměrem. Řezné parametry byly nastaveny dle katalogu nástrojů, kde byly frézovací nástroje vybrány.

6.6.1 První část CNC programu

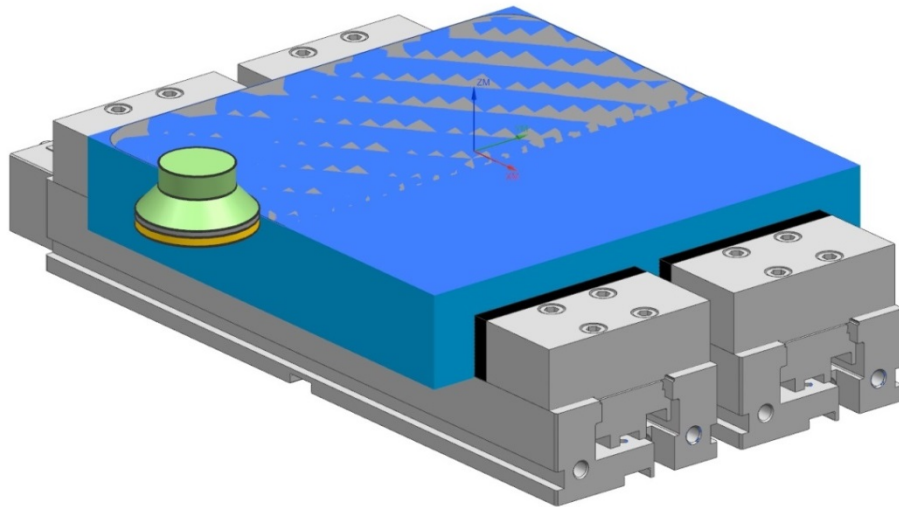
Při prvním upnutí obrobku, byla frézována pouze část vnějšího tvaru obrobku. Byly zde využity dvě nabízené operace „Floor Wall IPW“ a „Cavity Mill“. [32]

1. Frézování čelní plochy („Floor Wall IPW“)

Jako první fáze je frézování čelní plochy obrobku na hotovo (Obr. 29). Frézována je čelní frézou s vyměnitelnými destičkami o řezném průměru 63 mm. V programu NX byla pro naprogramování dráhy frézy (Obr. 28) nástroje použita operace „Floor Wall IPW“, která byla nastavena na odebrání dvou vrstev třísky po 0,5 mm, vzorem dráhy „Zig Zag“ do odebrání přídatku 1 mm.



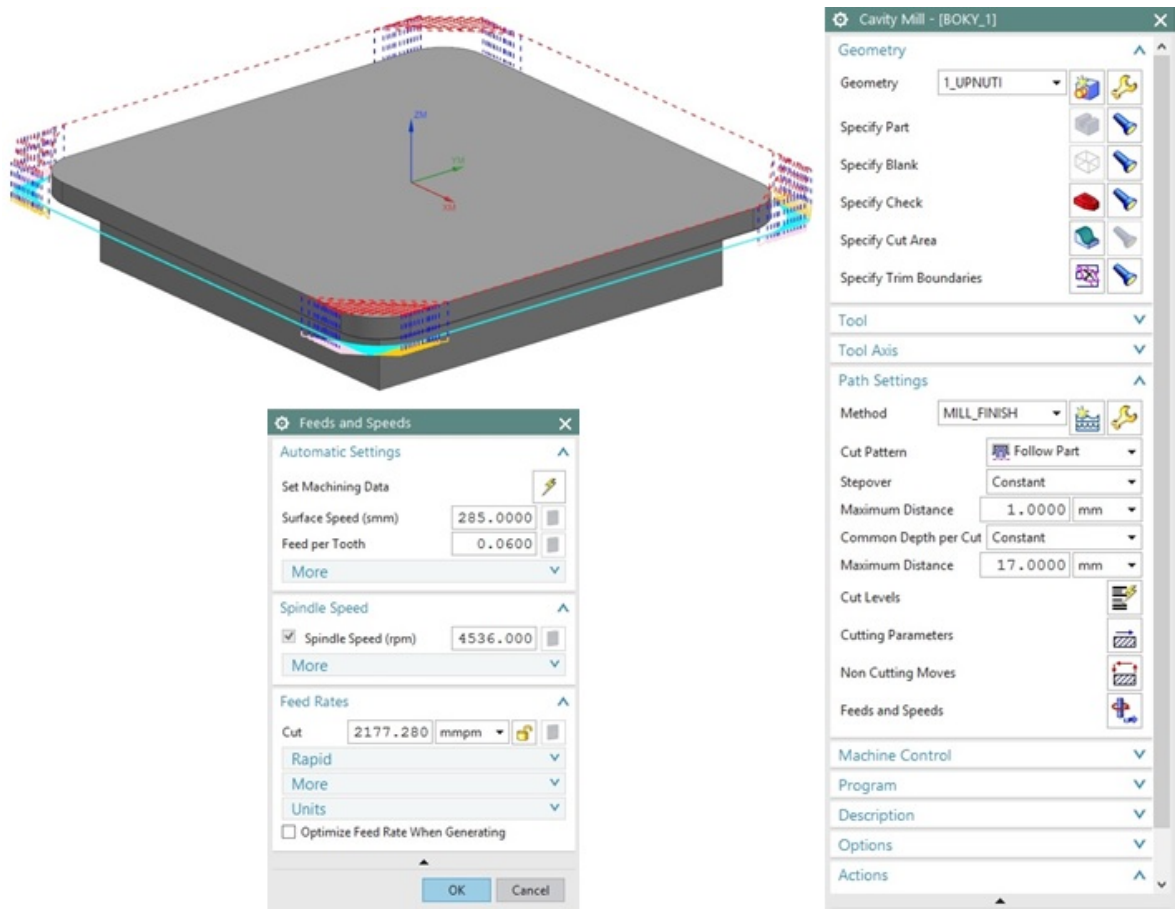
Obr. 28. Parametry frézování čelní plochy při prvním upnutí



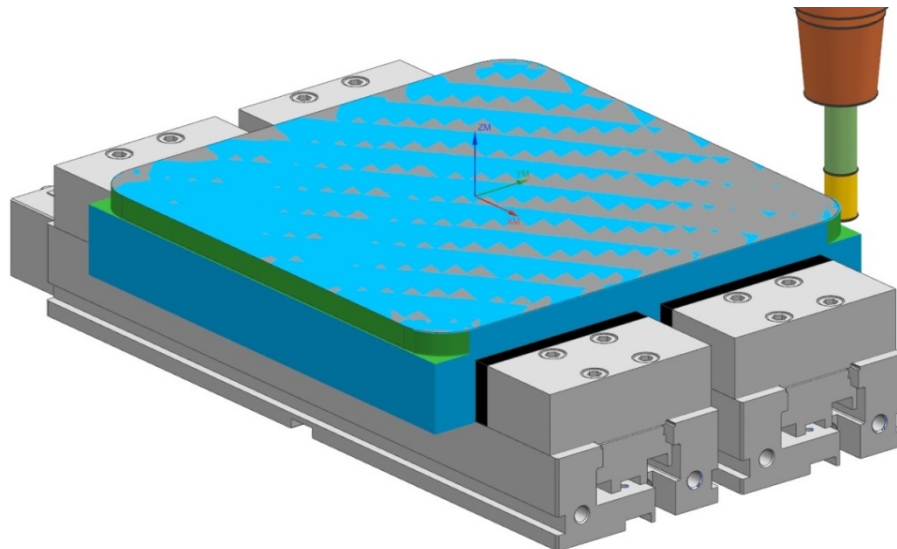
Obr. 29. Frézování čelní plochy při prvním upnutí - verifikace

2. Frézování části boků obrobku („Cavity Mill“)

Druhá operace je frézování části vnějších boků (Obr. 31). Byla použita stopková fréza o $\varnothing 20$ mm pro boční frézování. Dráha frézy (Obr. 30) byla vytvořena operací „Cavity Mill“ s vzorem dráhy „Follow Part“, která byla rozdělena na dva kroky. V prvním kroku dráhy odebírá bokem po délce 17 mm fréza třísku 1 mm, dráhu opakuje až do posledního přídávku na obrobku 0,3 mm, který odebere v posledním dokončovacím kroku stejnou frézou na hotovo.



Obr. 30. Parametry frézování části boků při prvním upnutí



Obr. 31. Frézování části boků při prvním upnutí - verifikace

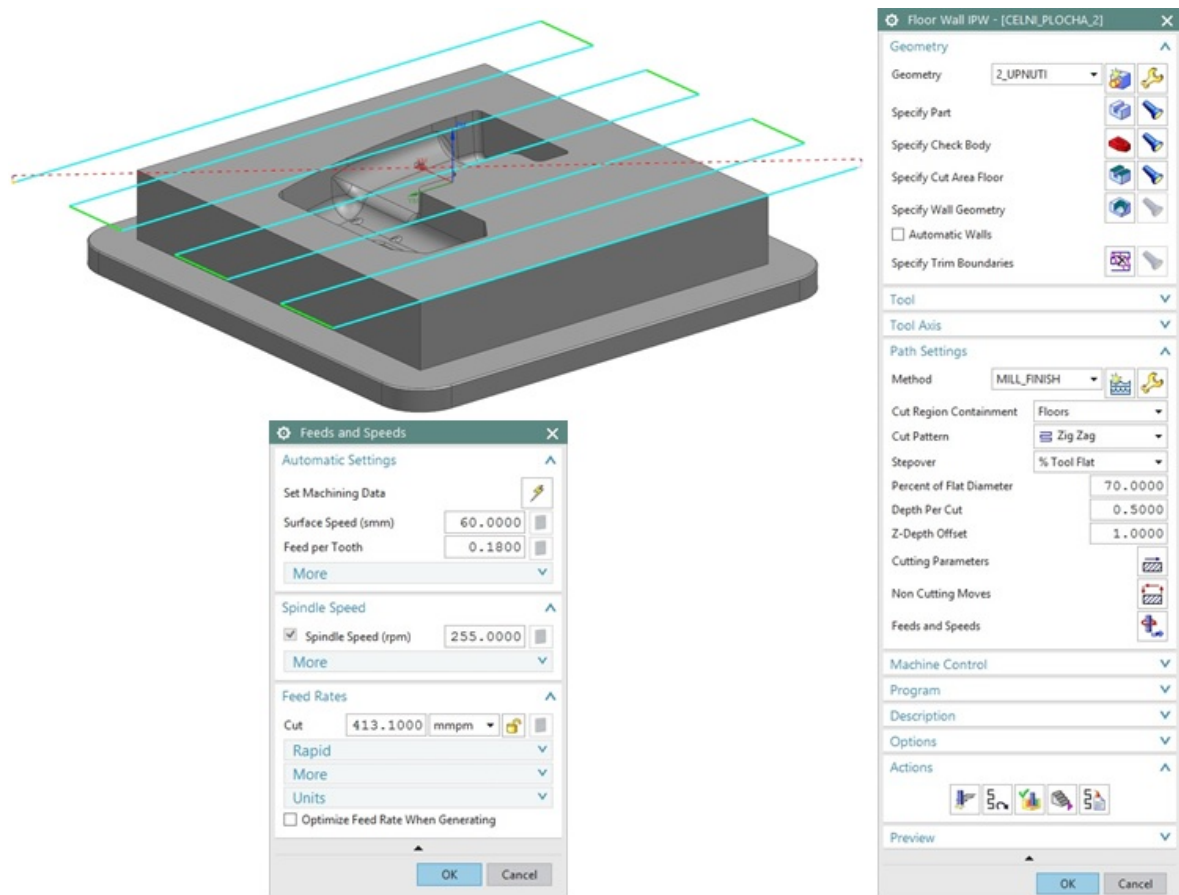
6.6.2 Druhá část CNC programu

Ve druhém upnutí obrobku jsou v CNC programu zahrnuty frézovací operace pro zbývající části vnějších tvarů a obrobení dutiny na finální tvar po frézování. Pro vytvoření drah nástrojů CNC programu byly využity operace „Floor Wall IPW“, „Cavity Mill“, „Contour

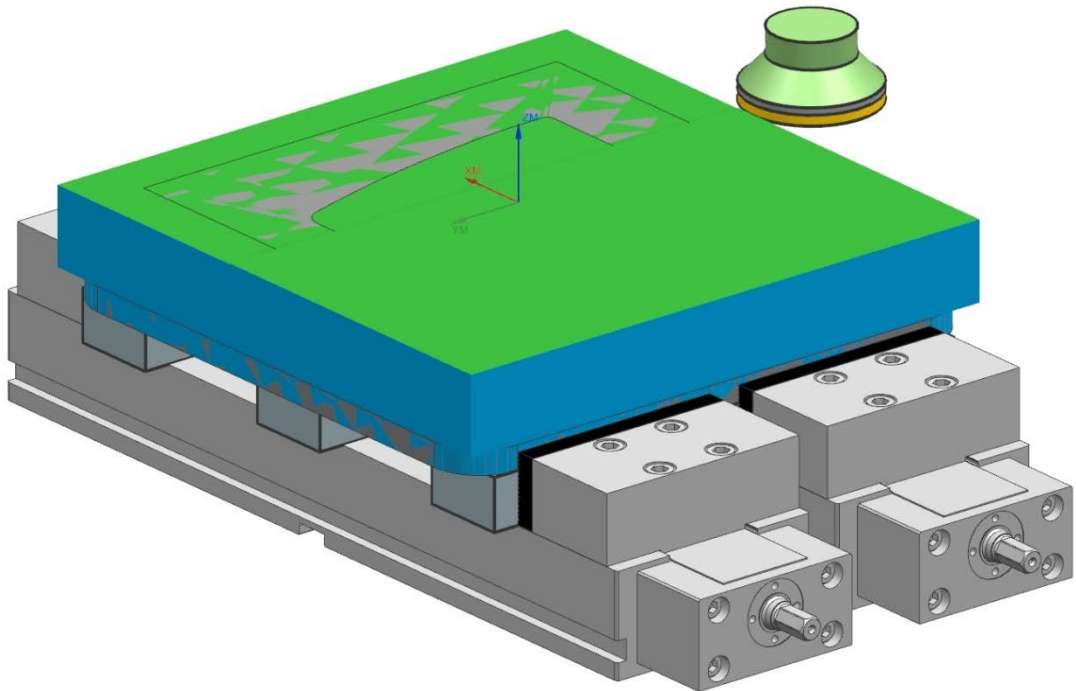
Area“, „Flowcut Ref Tool“, „Planar Profile“. Následně je finální obrobek z frézování postoupen do jiných dokončovacích operací pro dokončení kritických míst, které byly z frézování vyloučeny, a vytvoření temperačních kanálů, tyto operace již nejsou řešením této práce. [32]

1. Frézování čelní plochy („Floor Wall IPW“)

Jako při prvním upnutí i zde bylo nejprve naprogramováno frézování druhé čelní plochy obrobku na hotovo (Obr. 33). Jako nástroj je znovu využita čelní fréza s vyměnitelnými destičkami o řezném průměru 63 mm. Pro předchozí výhodnost operace frézování „Floor Wall IPW“ byla i pro následující naprogramování dráhy frézy (Obr. 32) použita identická operace se stejnými řeznými parametry pouze se změnou plochy obrábění.



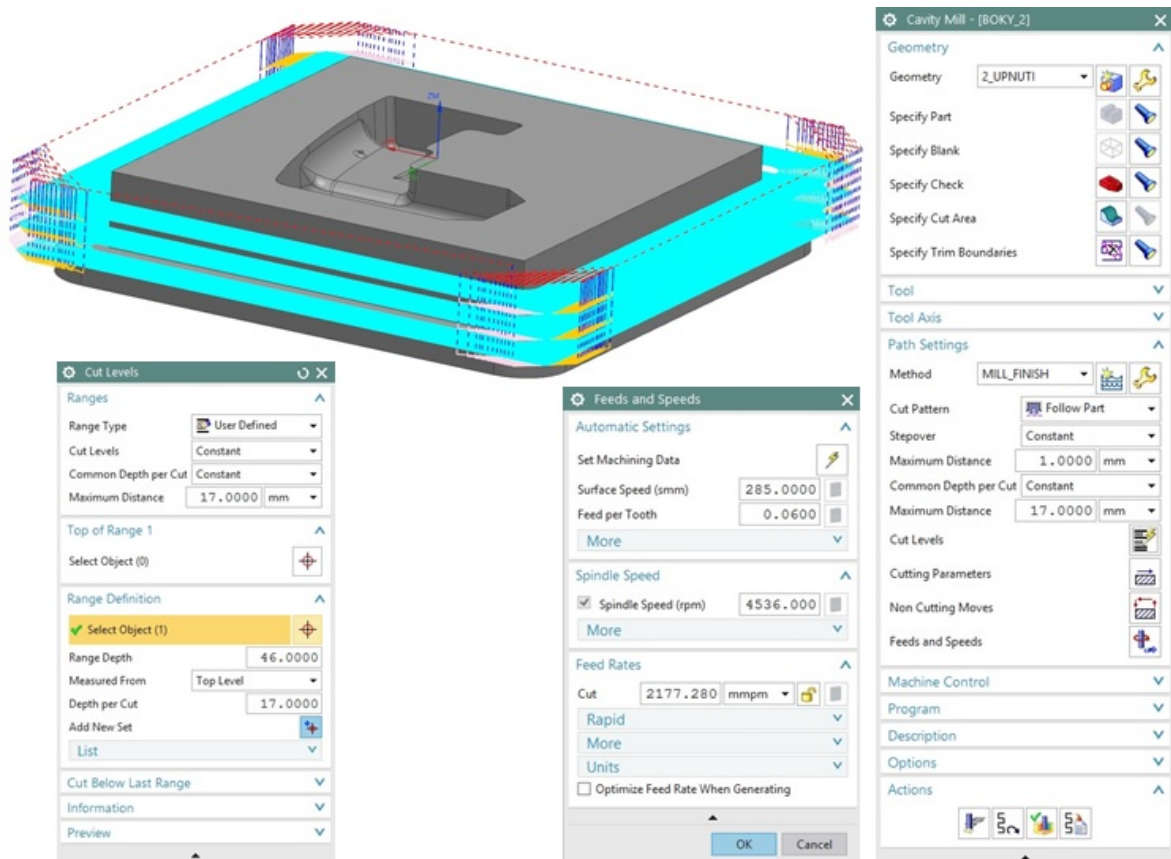
Obr. 32. Parametry frézování čelní plochy při druhém upnutí



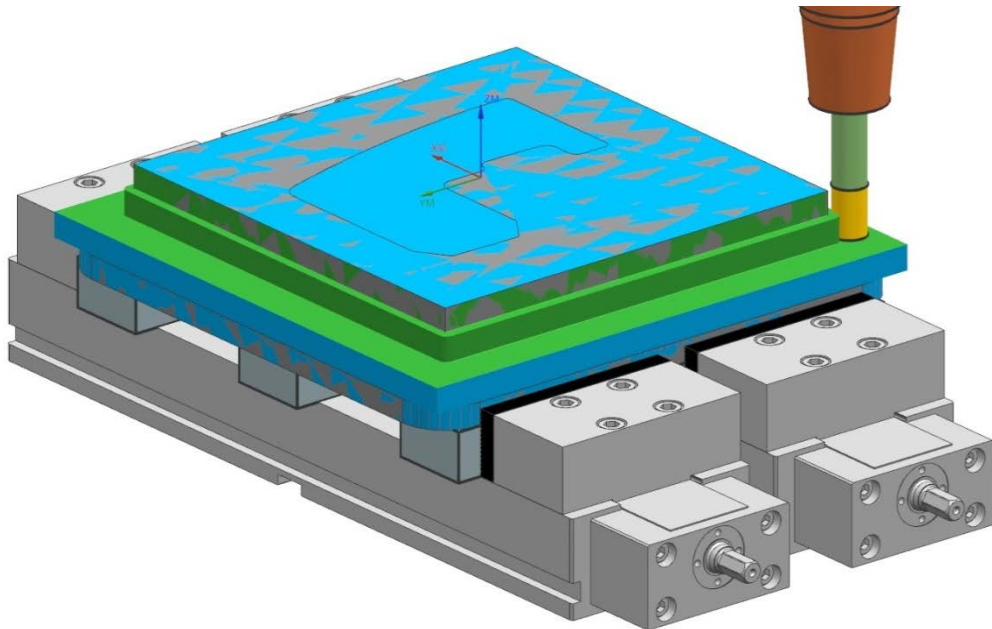
Obr. 33. Frézování čelní plochy při druhém upnutí - verifikace

2. Frézování části boků obrobku („Cavity Mill“)

Druhou operací je frézování zbývající části vnějších boků (Obr. 35) obrobku. Pro frézování je znovu použita stopková fréza o $\varnothing 20$ mm pro boční frézování, která byla použita již v první části CNC programu. Dráha frézy (Obr. 34) byla vytvořena na základě již použité operace „Cavity Mill“ z předchozí části programu se stejnými řeznými parametry, ale s menšími úpravami a změnou plochy obrábění. Zde však pro vyšší obráběnou část byla dráha rozdělena do tří vrstev maximálně hlubokých 17 mm.



Obr. 34. Parametry frézování zbývající části boků

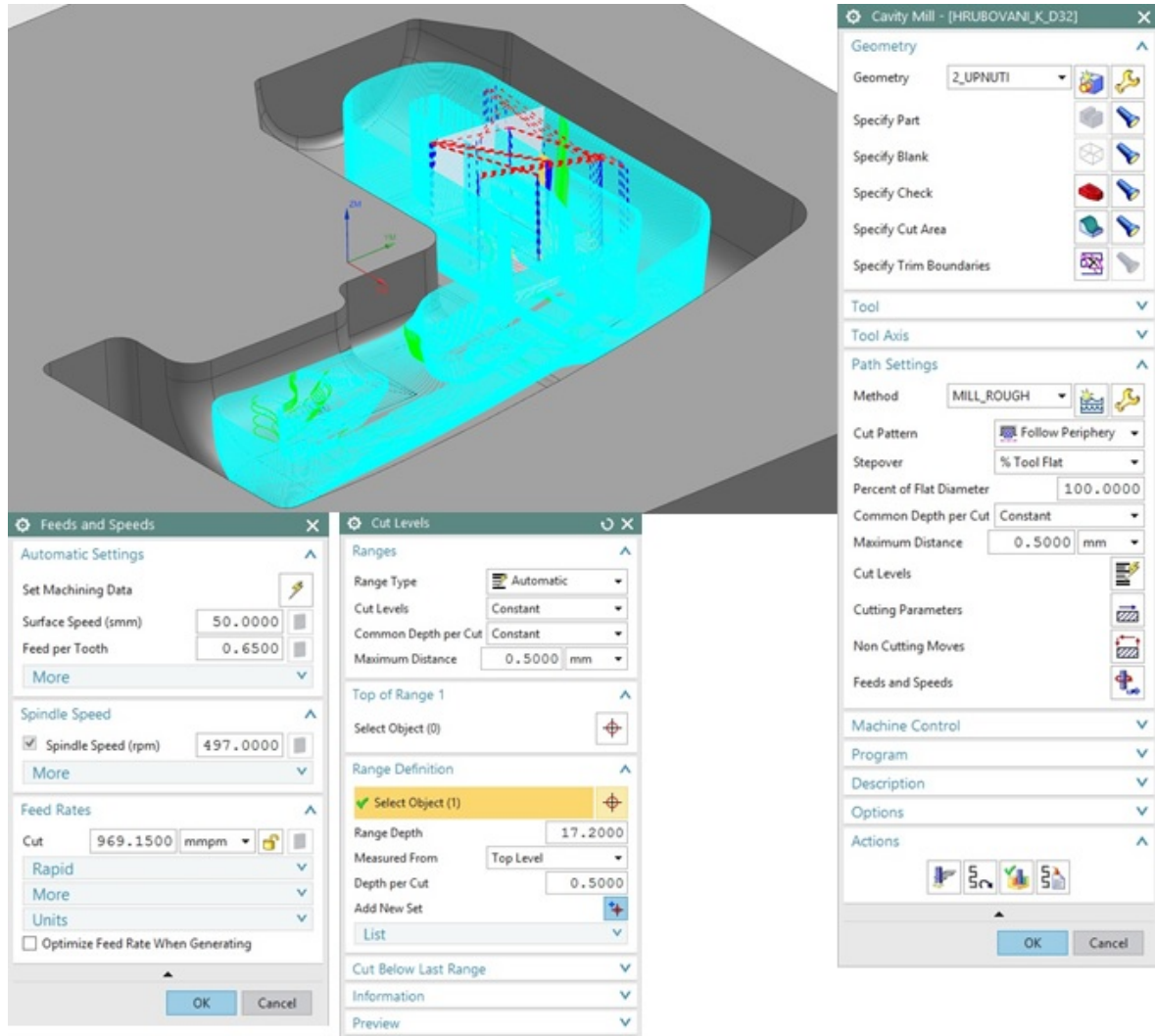


Obr. 35. Frézování zbývající části boků - verifikace

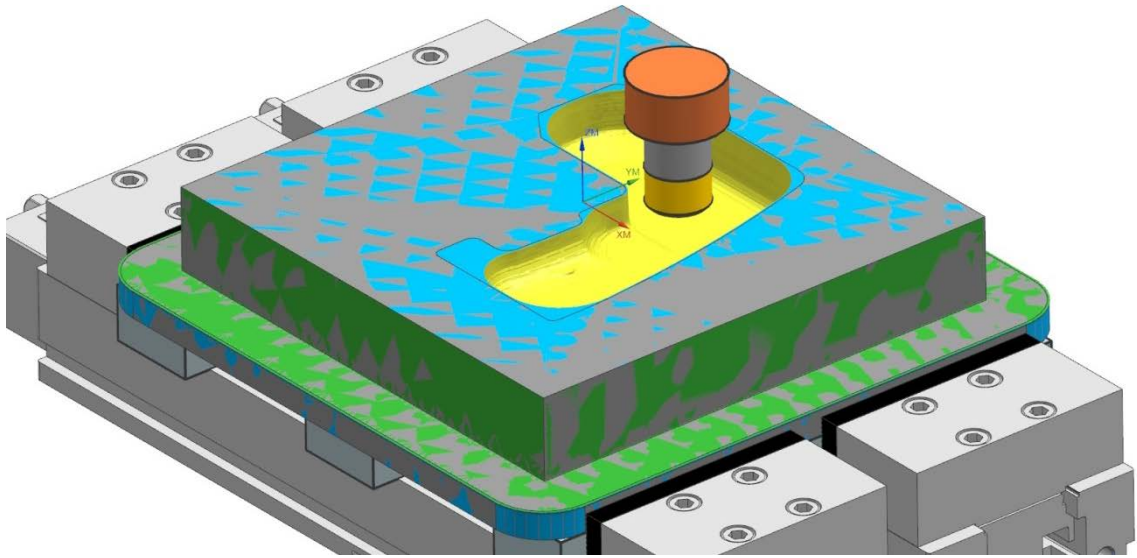
3. Hrubování dutiny - první část („Cavity Mill“)

Prvním krokem hrubování dutiny (Obr. 37) je využití frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami o $\varnothing 32$ mm pro HFM hrubování. Naprogramování dráhy frézy (Obr. 36) je pomocí operace „Cavity Mill“ se vzorem dráhy „Follow Periphery“. Fréza odebírá maximální tří-

ku 0,5 mm po celém průměru. Řešení je zvoleno z hlediska odebrání co největšího množství materiálu do přídatku 1 mm na dokončení pouze na větších místech vzhledem k průměru frézy.



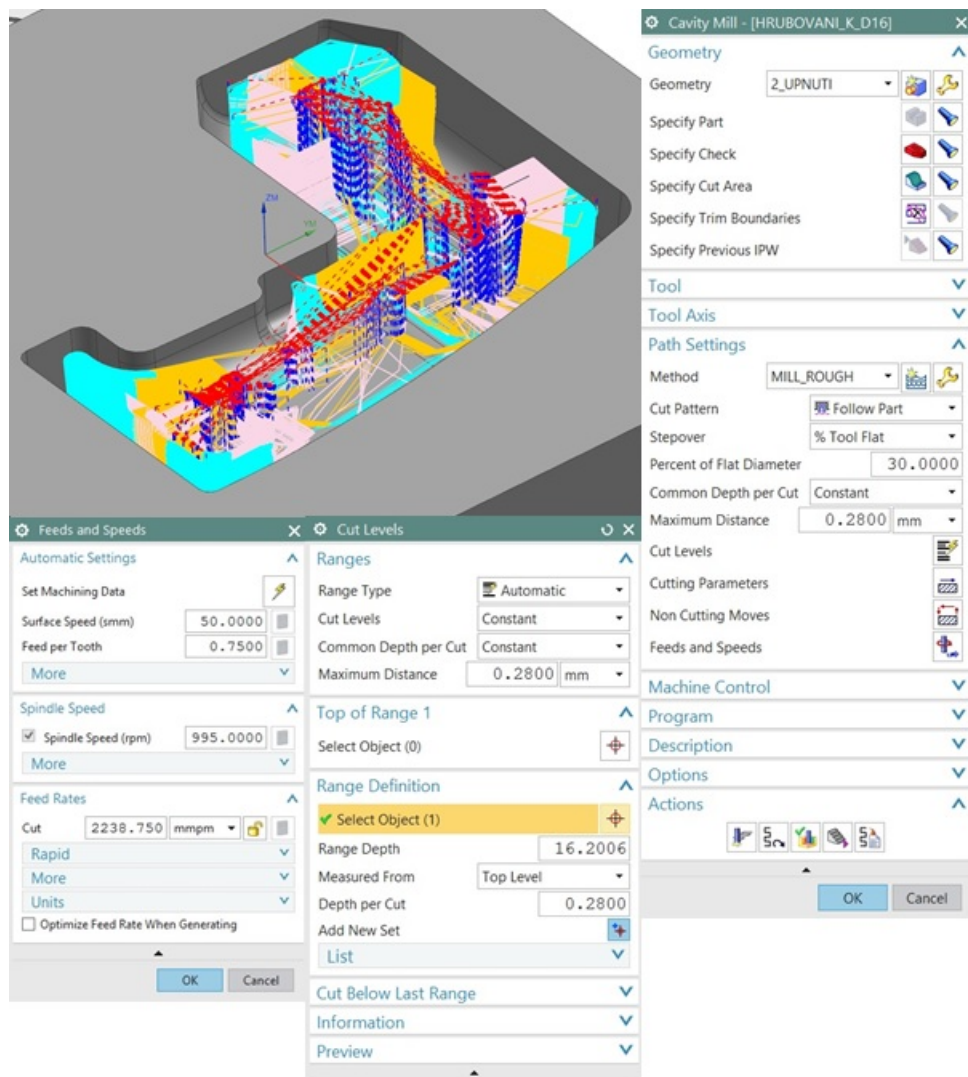
Obr. 36. Parametry hrubování dutiny - první část



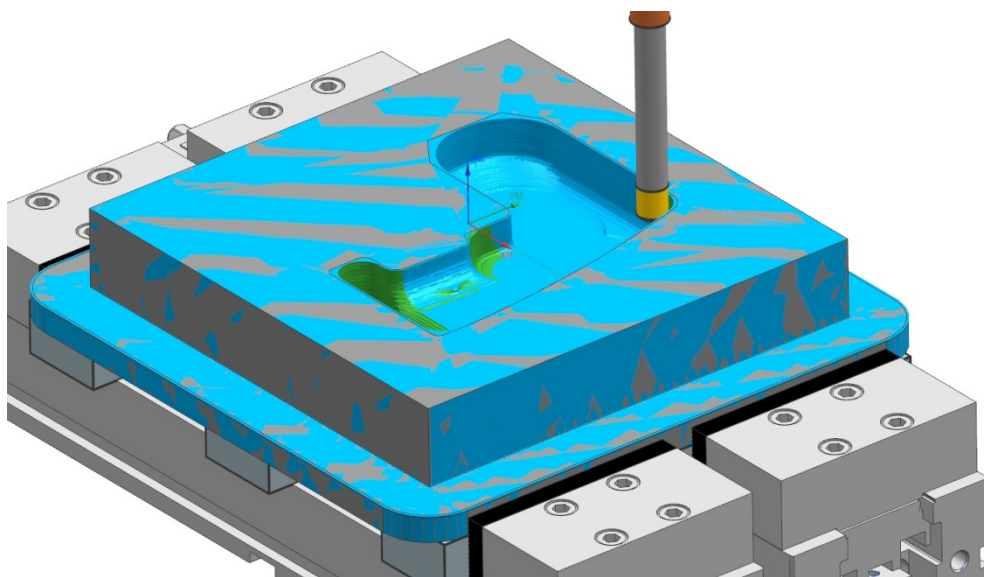
Obr. 37. Hrubování dutiny - první část - verifikace

4. Hrubování dutiny - druhá část („Cavity Mill“)

Druhým krokem hrubování dutiny (Obr. 39) je použití frézy „Minimaster“ s vyměnitelnou břitovou hlavičkou o \varnothing 16 mm pro HFM hrubování. Dráha frézy (Obr. 38) je řešena pomocí operace „Cavity Mill“ se vzorem dráhy „Follow Part“. Fréza odebrává maximální třísku 1 mm po 30 % průměru frézy pouze v místech, kam se dostane a ještě není odebrán materiál až na přídavek 1 mm pro dokončování.



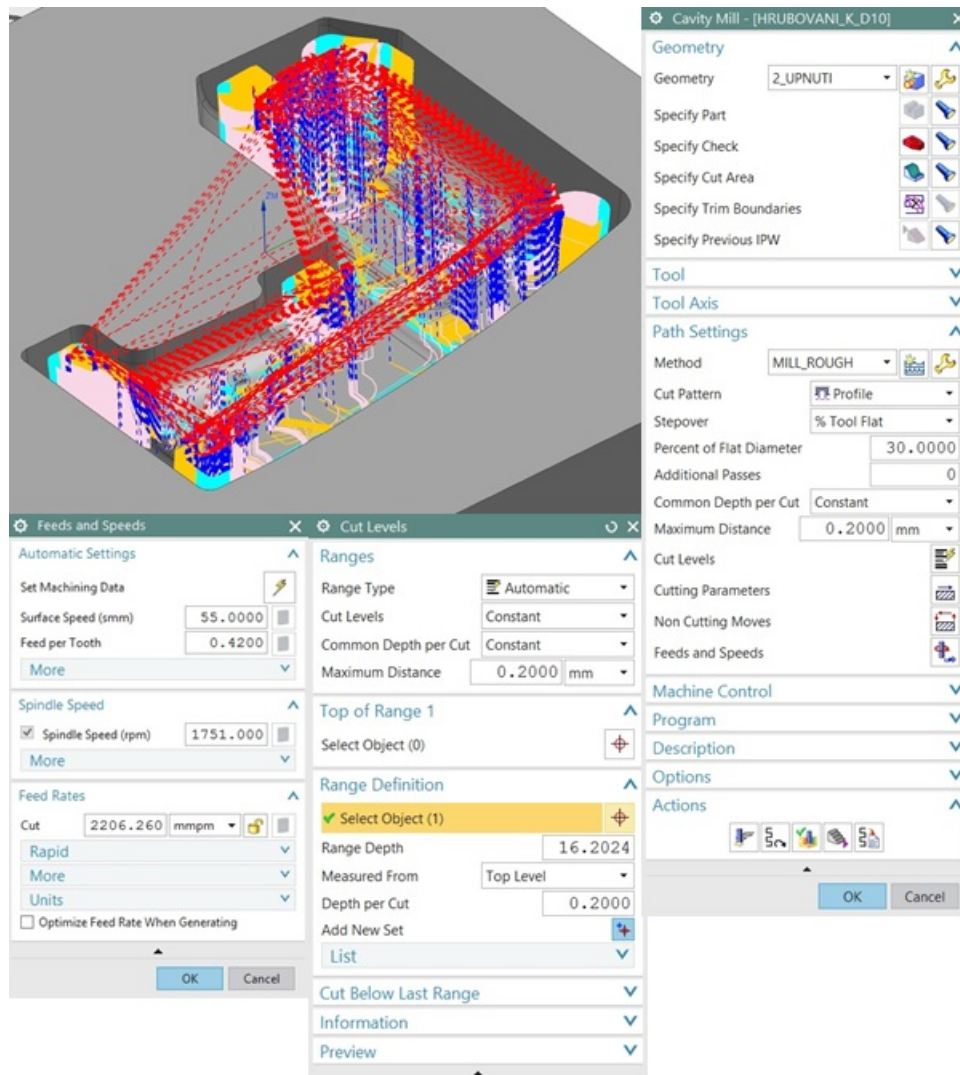
Obr. 38. Parametry hrubování dutiny - druhá část



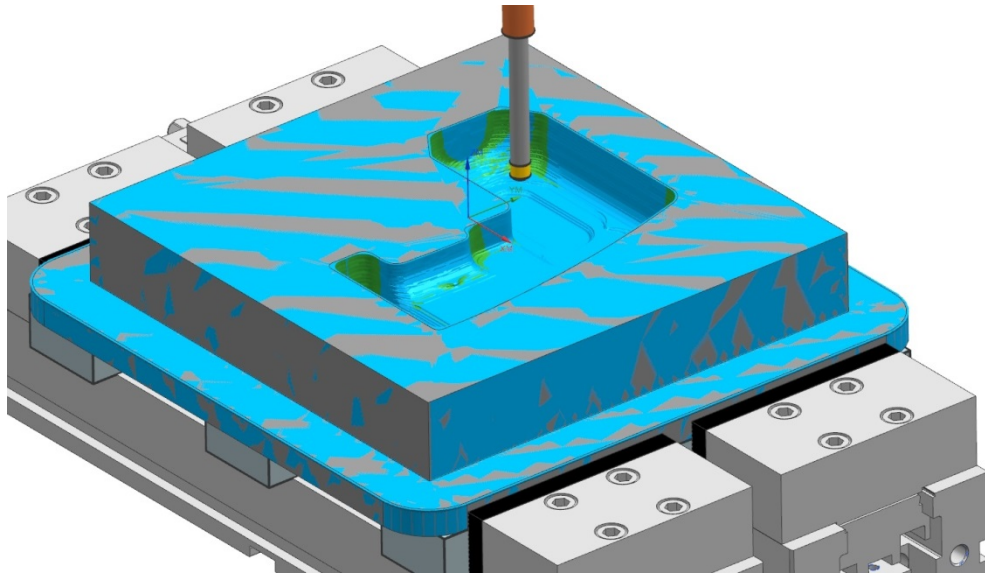
Obr. 39. Hrubování dutiny - druhá část - verifikace

5. Hrubování dutiny - třetí část („Cavity Mill“)

Třetí krok hrubování dutiny (Obr. 41) je obdobný předchozí druhé části hrubování, až na použitou frézu „Minimaster“ s vyměnitelnou břitovou hlavičkou o \varnothing 10 mm pro HFM hrubování. Dráha frézy (Obr. 40) je řešena pomocí operace „Cavity Mill“ se vzorem dráhy „Profile“. Fréza odebírá maximální třísku 1 mm po 30 % průměru frézy.



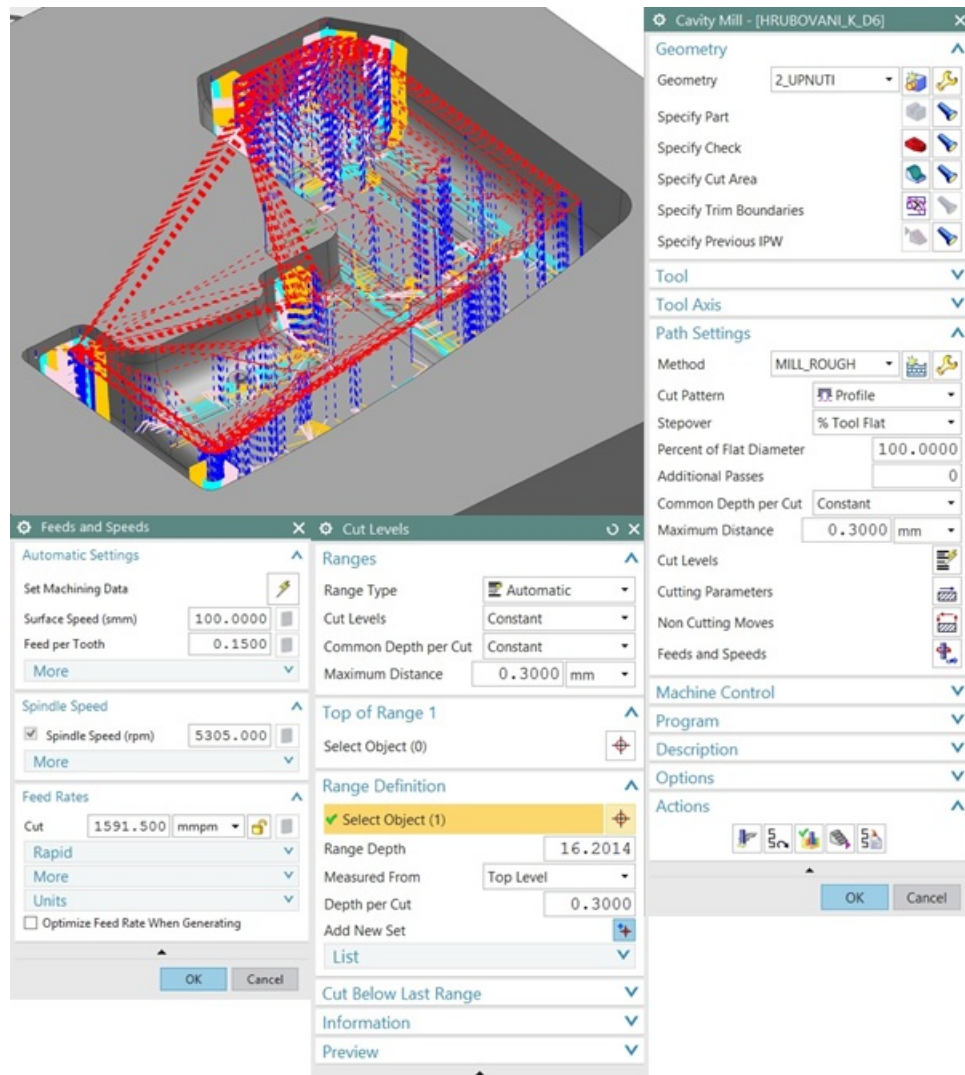
Obr. 40. Parametry hrubování dutiny - třetí část



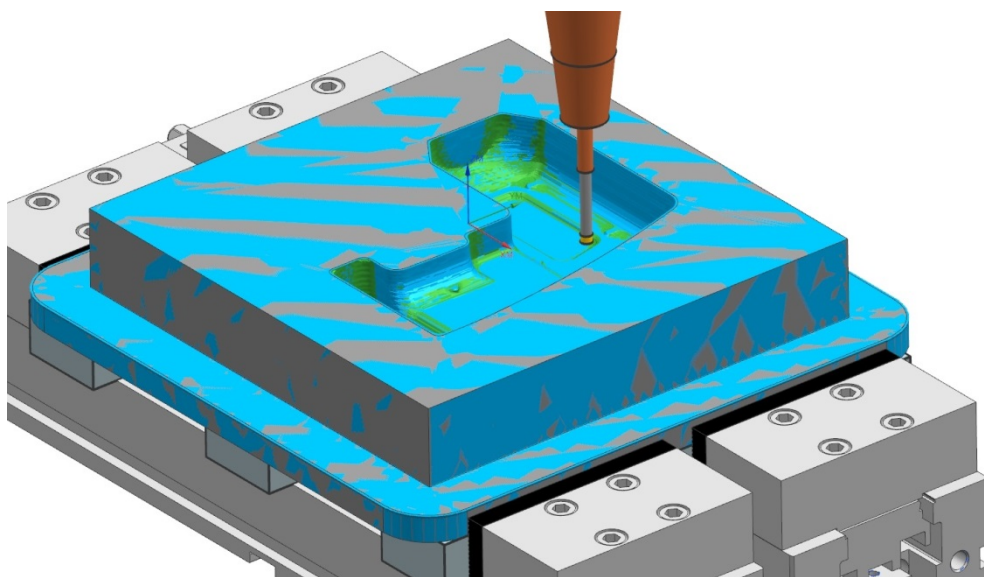
Obr. 41. Hrubování dutiny - třetí část - verifikace

6. Hrubování dutiny - čtvrtá část („Cavity Mill“)

Čtvrtý krok hrubování dutiny (Obr. 43) je dohrubování zbývajících částí dutiny, kam se ostatní frézy nedostaly. Pro tuto operaci byla použita monolitní karbidová stopková fréza „JABRO“ o \varnothing 6 mm pro HFM hrubování. Dráha frézy (Obr. 42) je řešena pomocí operace „Cavity Mill“ se vzorem dráhy „Profile“. Fréza odebírá maximální třísku 0,3 mm po 100 % průměru frézy.



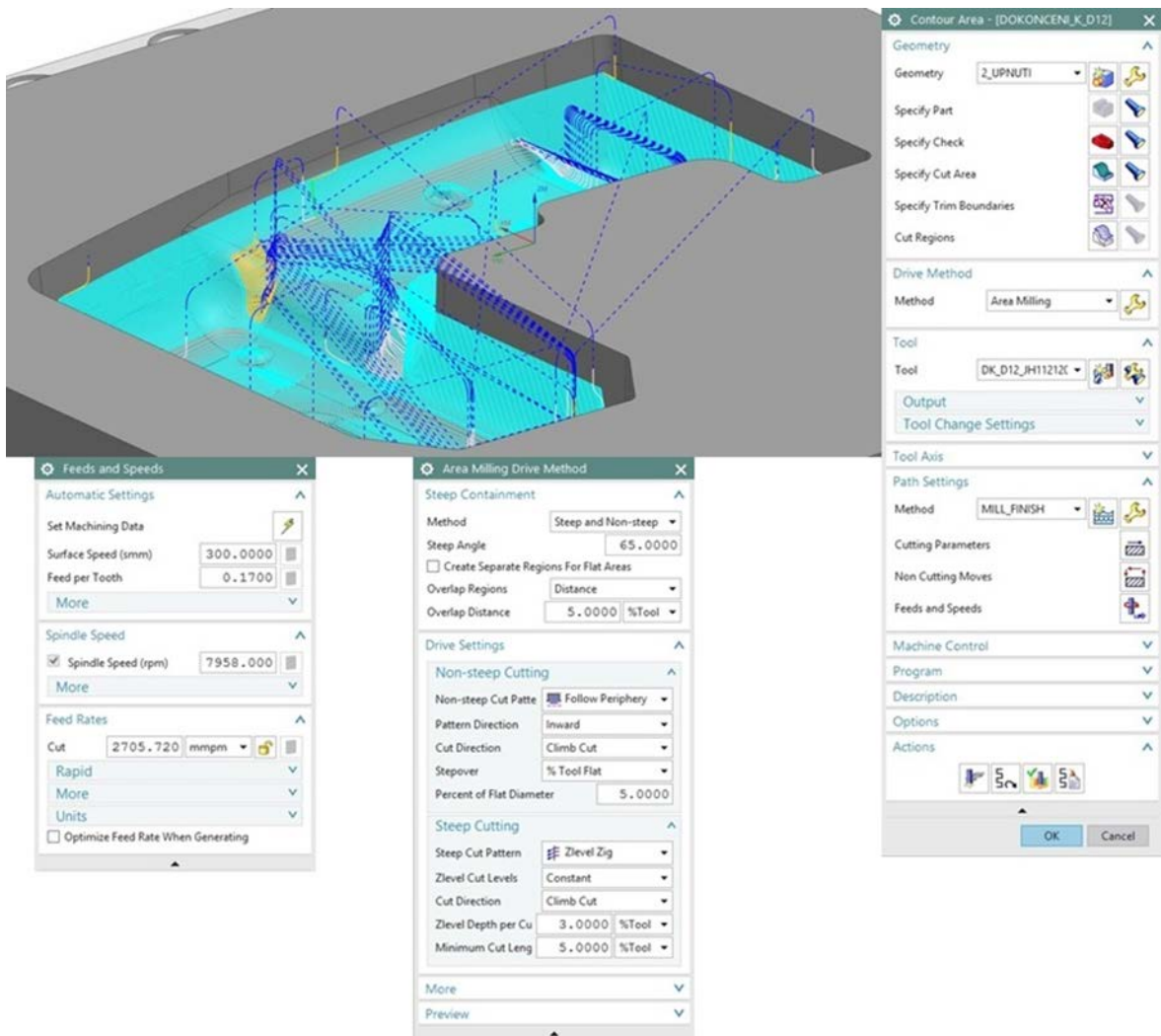
Obr. 42. Parametry hrubování dutiny - čtvrtá část



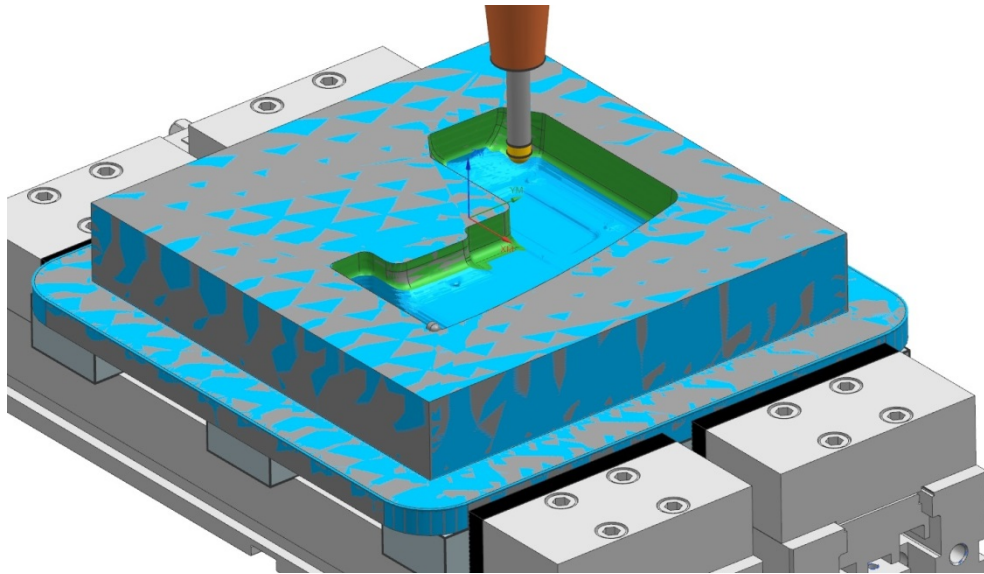
Obr. 43. Hrubování dutiny - čtvrtá část - verifikace

7. Dokončování dutiny - první část („Contour Area“)

První část dokončování dutiny (Obr. 45) je obrobení co nejvíce ploch dutiny na hotovo, kam se fréza dostane. Pro tuto operaci byla použita monolitní kulová karbidová stopková fréza „JABRO-TORNADO“ o \varnothing 12 mm. Dráha frézy (Obr. 44) je řešena pomocí operace „Contour Area“ se vzorem dráhy „Zlevel Zig“. Fréza odebírá maximální třísku, která je rovna 3 % průměru frézy na maximální délce řezu, který je roven 5 % průměru frézy. Je zde použito funkce překrývání dráhy pro co nejlepší jakost finálního povrchu.



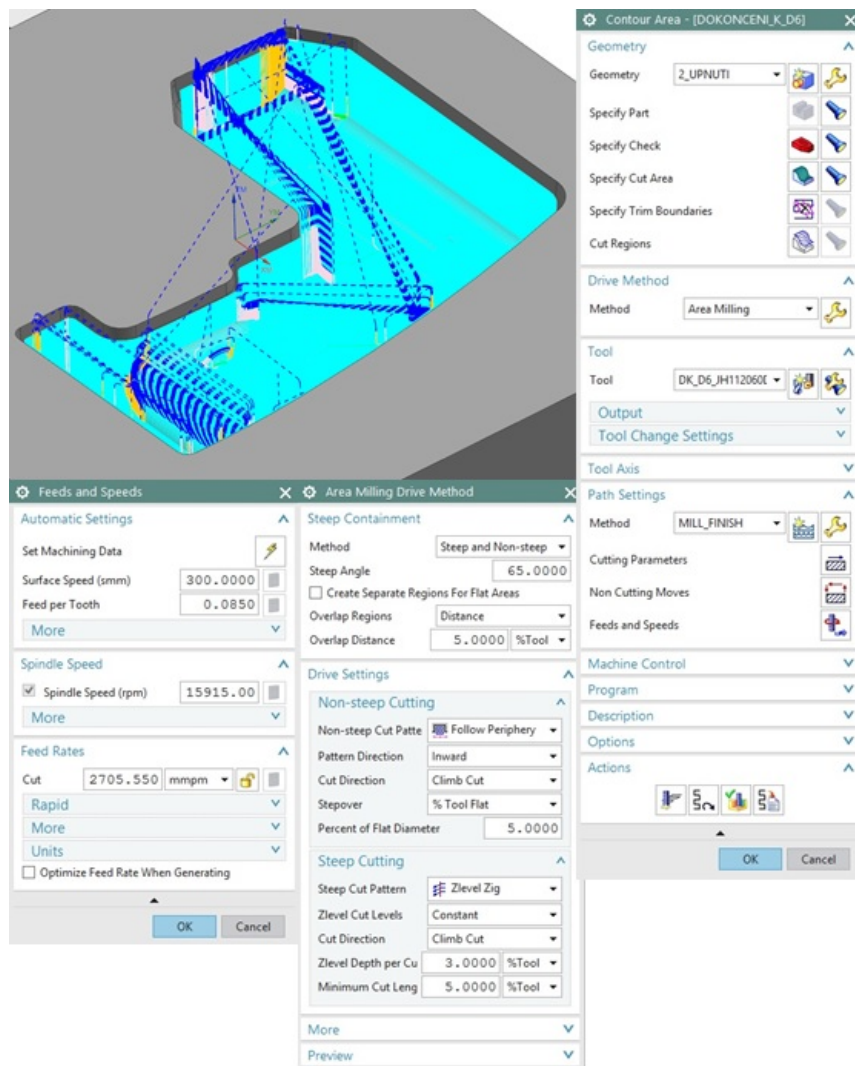
Obr. 44. Parametry dokončování dutiny - první část



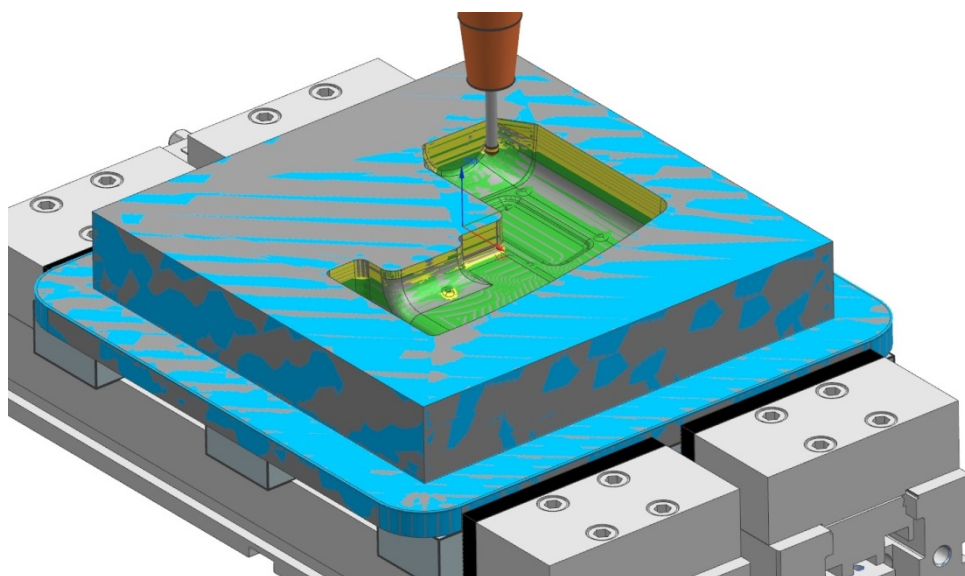
Obr. 45. Dokončování dutiny - první část - verifikace

8. Dokončování dutiny - druhá část („Contour Area“)

Druhá část dokončování dutiny (Obr. 47) je obrobení co nejvíce ploch dutiny na hotovo menší frézou než byla předchozí. Pro tuto operaci byla použita monolitní kulová karbidová stopková fréza „JABRO-TORNADO“ o \varnothing 6 mm. Dráha frézy (Obr. 46) je řešena pomocí identické operace „Contour Area“ jako předchozí první část dokončování.



Obr. 46. Parametry dokončování dutiny - druhá část

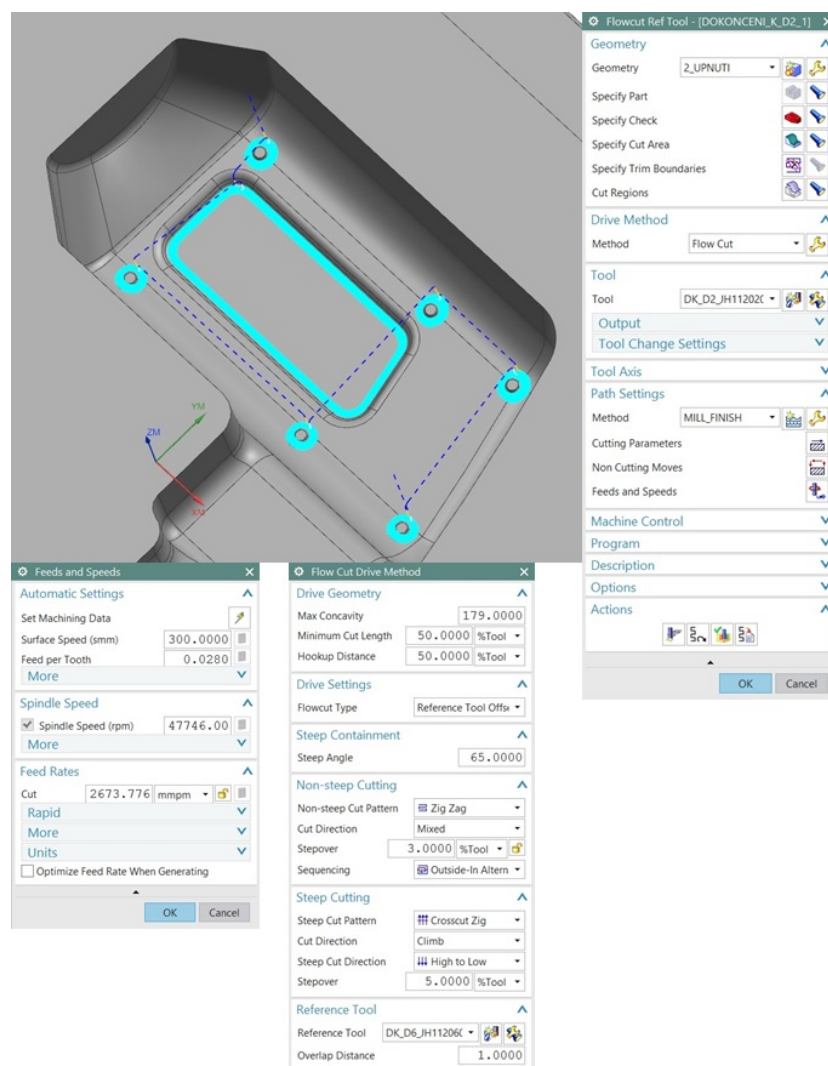


Obr. 47. Dokončování dutiny – druhá část - verifikace

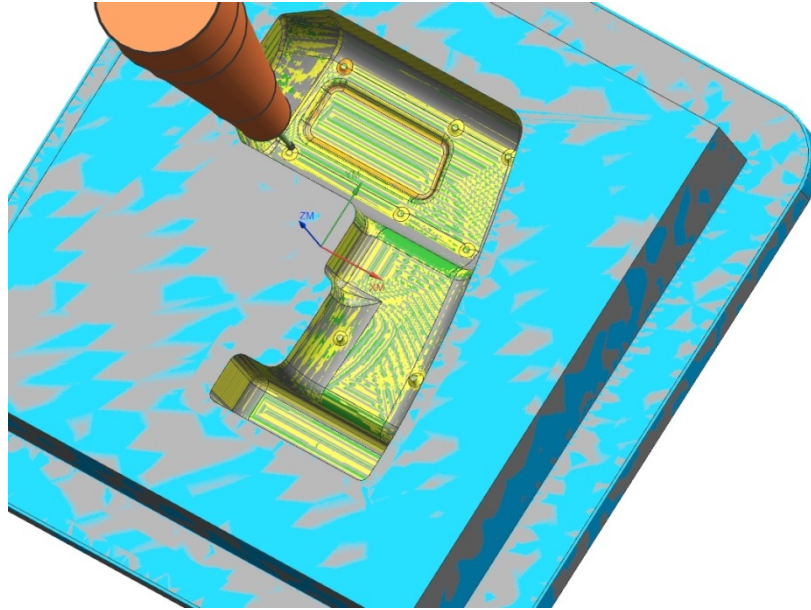
9. Dokončování dutiny - třetí část („Flowcut Ref Tool“)

Poslední částí dokončování dutiny frézováním je dokončení nejmenších rádiusových ploch po předešlé fríze. Pro tuto operaci byla použita monolitní kulová karbidová stopková fréza „JABRO-TORNADO“ o \varnothing 2 mm. Dráha frézy je řešena pomocí dvou identických operací „Flowcut Ref Tool“ se vzorem dráhy „Crosscut Zig“ s referenční kulovou frézou o \varnothing 6 mm, podle které systém vypočítá oblasti, které je nutné ještě obrobit.

První naprogramovaná dráha frézy (Obr. 48) je pro hlubší oblast části dutiny, kde se obrábí malé rádiusové přechodové plochy (Obr. 49).

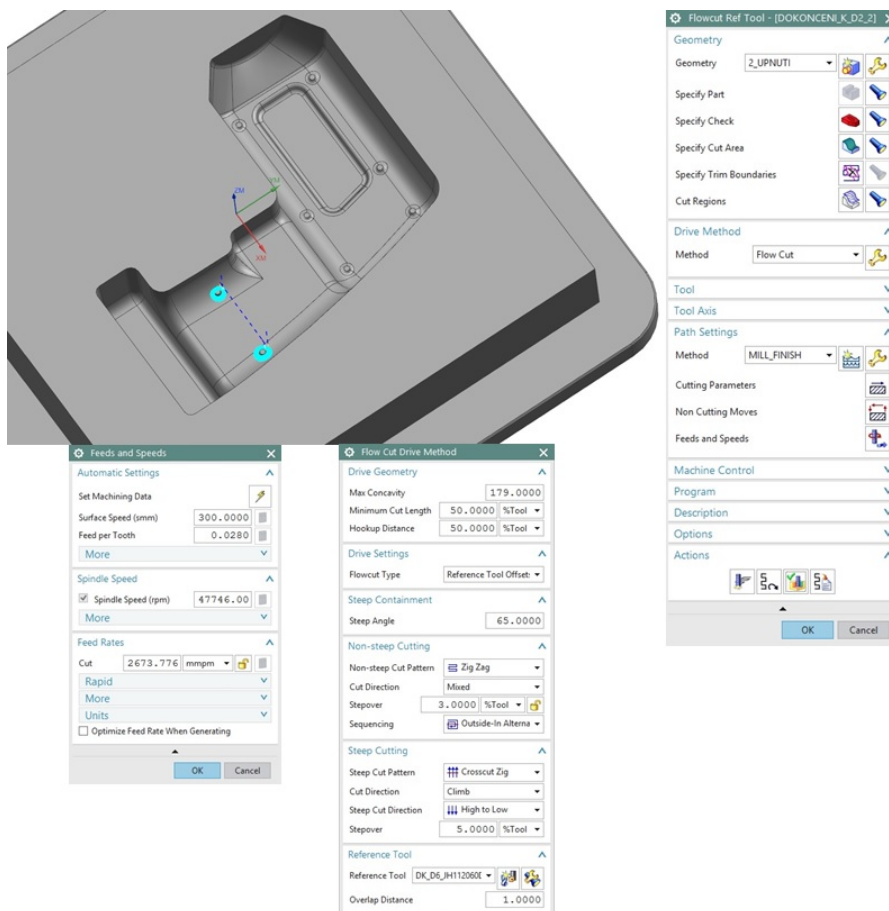


Obr. 48. Parametry dokončování vrchní části dutiny

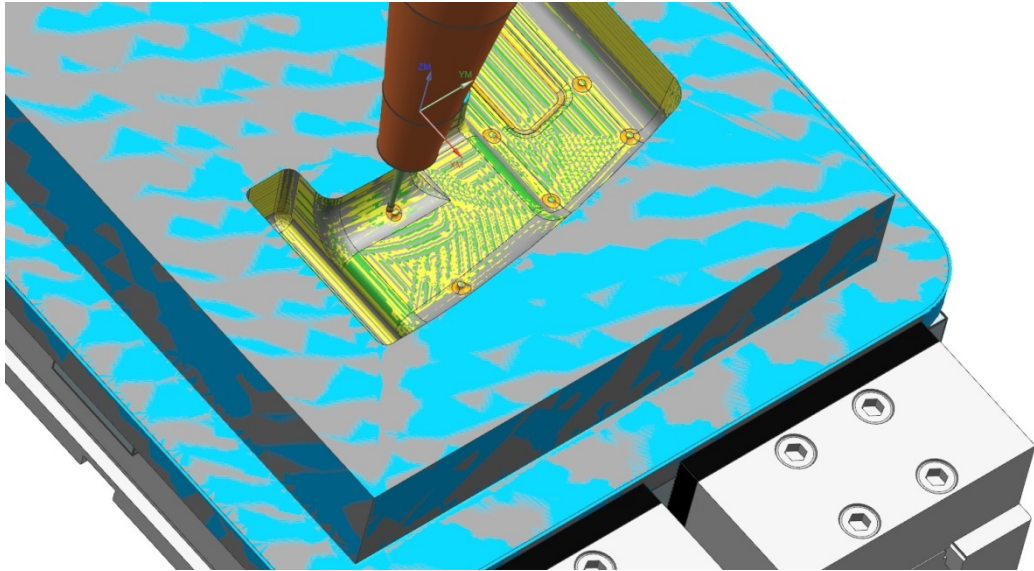


Obr. 49. Dokončování vrchní části dutiny - verifikace

Druhá část dokončuje dva poslední rádiusy ve vrchnější části dutiny (Obr. 51). Dráha frézy (Obr. 50) je naprogramována stejným postupem jako předchozí část, pouze pro jiné regiony, kde má být obrábění provedeno.



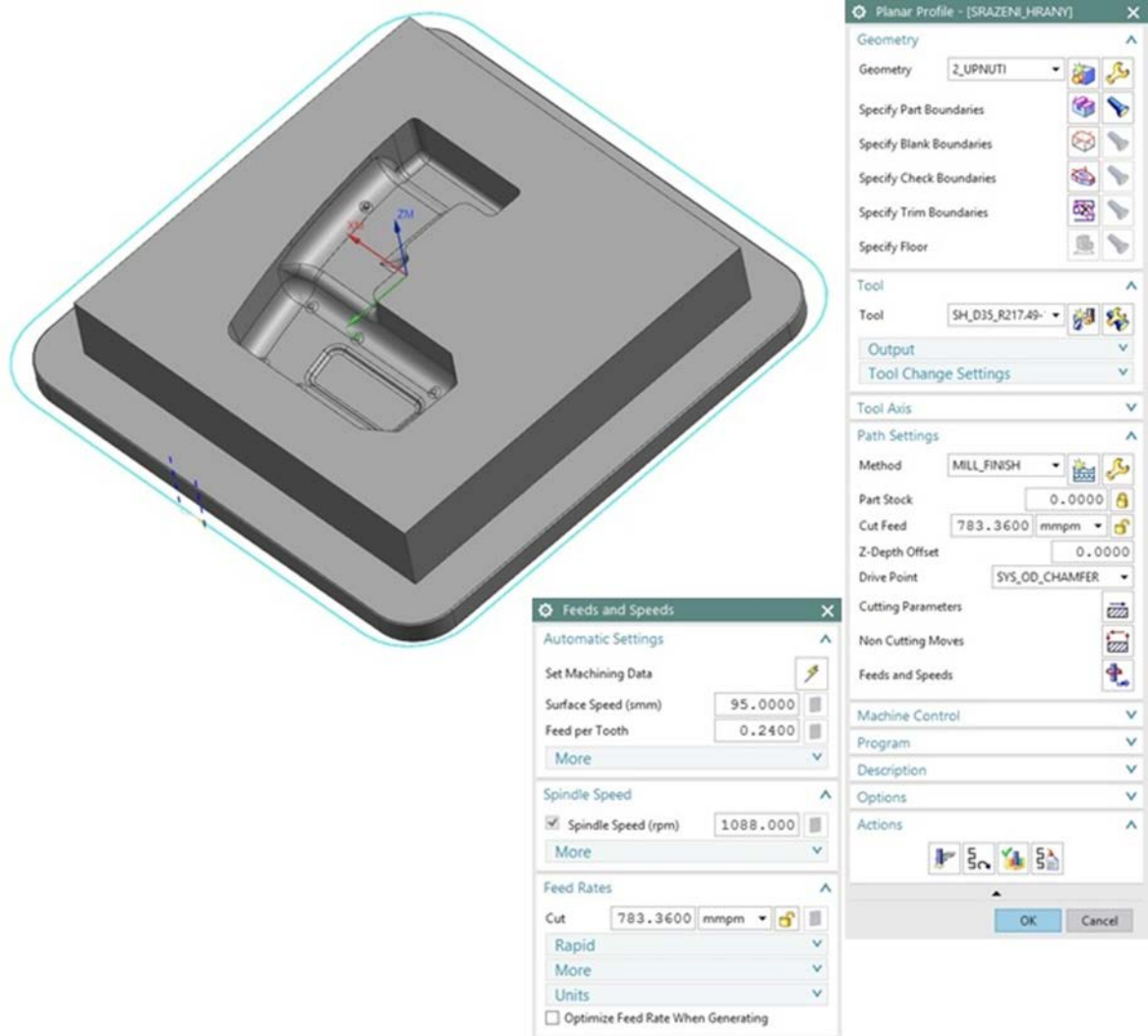
Obr. 50. Parametry dokončování spodní části dutiny



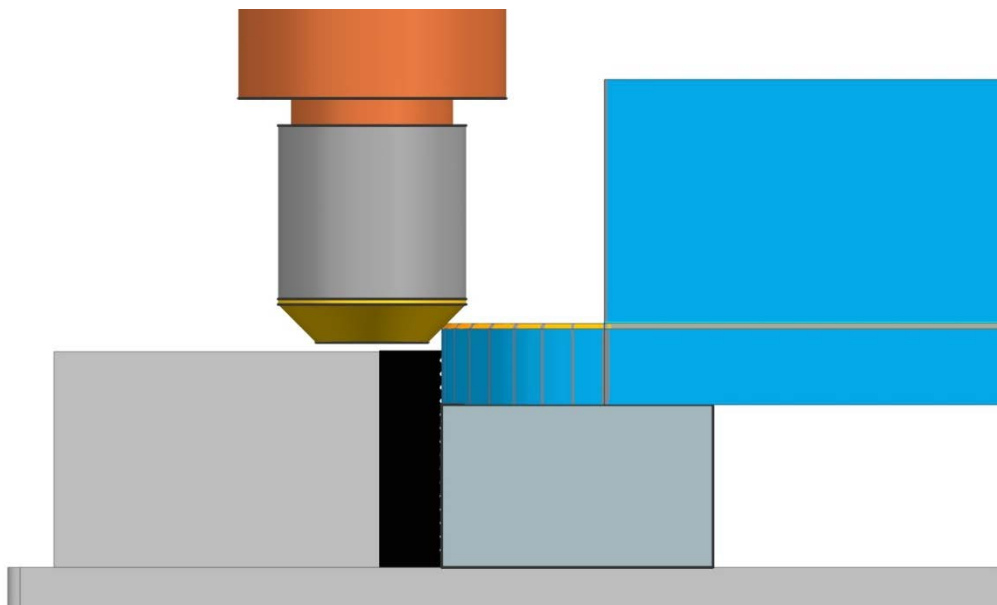
Obr. 51. Dokončování spodní části dutiny – verifikace

10. Sražení hrany („Planar Profile“)

Operace je určena pro sražení vnější hrany obrobku frézou o \varnothing 20 mm s vyměnitelnými břitovými destičkami přímo určenou pro sražení hran. Dráha frézy (Obr. 53) je řešena pomocí operace „Planar Profile“. Dráha je řešena pomocí vybrané řetězové křivky na obrobku a konstrukčního bodu na fríze tak, aby řezné síly působící na frézu byly rozloženy rovnoměrně a sražení bylo na správném místě na obrobku a nedošlo ke kolizi se svěráky (Obr. 52). Řezné podmínky jsou řešeny po dohodě s odborníky přes obrábění, protože katalog nenabízí obrábění pro daný materiál, ale použitá destička je vhodná k obrábění tohoto materiálu.



Obr. 52. Parametry sražení hrany



Obr. 53. Sražení hrany

6.6.3 Vyhodnocení CNC programu

CNC program (Obr. 54) je rozdělen na dvě části. První upnutí pro obrobení části vnějších ploch má celkový čas procesu výroby 19 min 19 s a druhé upnutí pro obrobení zbytku vnějších ploch a tvaru dutiny má celkový čas 5 h 17 min 15 s. Oba programy jsou programovány v tříosém obrábění. Program využívá 10 fréz, které jsou přiřazeny k jednotlivým operacím, pro které jsou určeny. Všechny informace o výsledcích a nastaveních jednotlivých operací obou částí programu jsou shrnuty v tabulce 3. Pro možnou výrobu součástí byly vytvořeny seřizovací listy (PXIV). Program je součástí přílohy PI na přiloženém CD.

Operation Navigator - Program Order □

Name	Toolchange	Path	Tool	Tool Number	Time	Length	Method	Shortest Tool Length	Feed	Speed
NC_PROGRAM					05:36:34	869050.3				
Unused Items					00:00:00	0.0				
PROGRAM_1					00:19:19	19482.7				
CELNI_PLOCHA_1	!	✓	CELNI_D63_R220.53-0063-12-9A	1	00:15:22	6876.8	MILL_FINISH	3.30	413.1 mmpm	255 rpm
BOKY_1	!	✓	BOKY_D20_930200R050-MEGA	2	00:03:33	12605.8	MILL_FINISH	17.69	2177.28 mmpm	4536 rpm
PROGRAM_2					05:17:15	849567.7				
CELNI_PLOCHA_2	!	✓	CELNI_D63_R220.53-0063-12-9A	1	00:15:22	6844.8	MILL_FINISH	3.50	413.1 mmpm	255 rpm
BOKY_2	!	✓	BOKY_D20_930200R050-MEGA	2	01:01:46	151236.8	MILL_FINISH	48.06	2177.28 mmpm	4536 rpm
HRUBOVANI_K_D32	!	✓	HK_D32_R217.21-1632.RE-R125.3A	3	00:46:44	48845.4	MILL_ROUGH	34.79	969.15 mmpm	497 rpm
HRUBOVANI_K_D16	!	✓	HK_MINI_D16_MM16-16.60-HF-MD12	4	00:40:53	128436.5	MILL_ROUGH	35.78	2238.75 mmpm	995 rpm
HRUBOVANI_K_D10	!	✓	HK_MINI_D10_MM10-10.50-HF-MD08	5	00:44:42	180604.1	MILL_ROUGH	37.09	2206.26 mmpm	1751 rpm
HRUBOVANI_K_D6	!	✓	HK_D6_980TL060-MEGA	6	00:24:39	96405.8	MILL_ROUGH	36.57	1591.5 mmpm	5305 rpm
DOKONCENI_K_D12	!	✓	DK_D12_JH112120D48.0Z2-HXT	7	00:22:30	66923.7	MILL_FINISH	37.00	2705.72 mmpm	7958 rpm
DOKONCENI_K_D6	!	✓	DK_D6_JH112060D48.0Z2-HXT	8	00:50:33	151540.0	MILL_FINISH	37.05	2705.55 mmpm	15915 rpm
DOKONCENI_K_D2_1	!	✓	DK_D2_JH112020J58.0Z2-HXT	9	00:05:24	14660.9	MILL_FINISH	35.29	2673.776 mmpm	47746 rpm
DOKONCENI_K_D2_2	!	✓	DK_D2_JH112020J58.0Z2-HXT	9	00:00:57	2598.4	MILL_FINISH	19.91	2673.776 mmpm	47746 rpm
SRAZENI_HRANY	!	✓	SH_D35_R217.49-1620.RE-XO12-45.3A	10	00:01:46	1471.3	MILL_FINISH	52.79	783.36 mmpm	1088 rpm

Obr. 54. Strom CNC programu

Tab. 3. Seznam operací

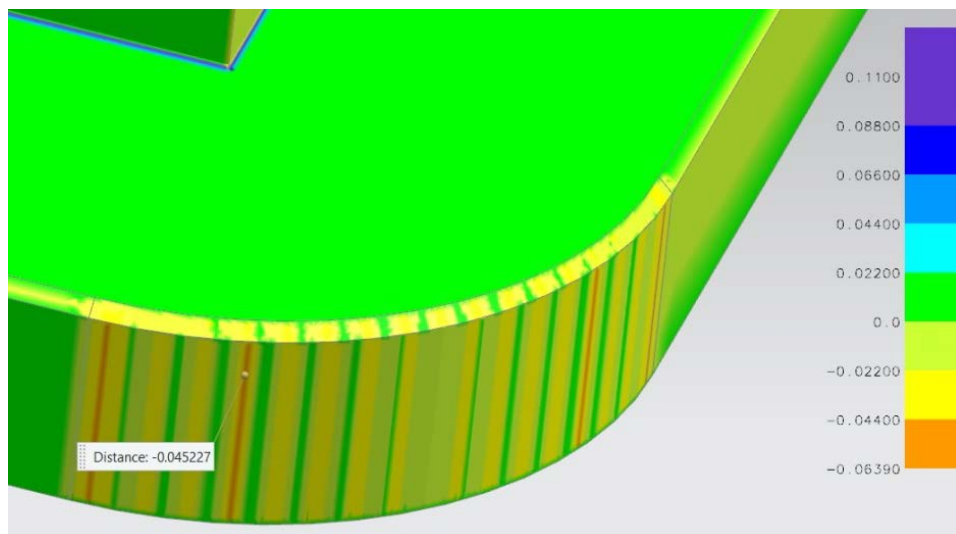
SEZNAM OPERACÍ					
P. POZ.	OPERACE	NÁSTROJ	ŘEZNÁ RYCHL.	ŠÍŘKA ZÁBĚRU	DÉLKA DRÁHY
			[m·min ⁻¹]	[mm]	[mm]
			OTÁČKY VŘETENA [min ⁻¹]	POSUV NA ZUB [mm]	ČAS OPERACE [hh:mm:ss]
P1_1	CELNI_PLOCHA_1	T1	60	0,5	6876,8
			255	0,18	00:15:22
P1_2	BOKY_1	T2	285	1 (0,3)	12605,8
			4536	0,06	00:03:33
P2_1	CELNI_PLOCHA_2	T1	60	0,5	6844,8
			255	0,18	00:15:22
P2_2	BOKY_2	T2	285	1 (0,3)	151236,8
			4536	0,06	01:01:46
P2_3	HRUBOVANI_K_D32	T3	50	0,5	48845,4
			497	0,65	00:46:44
P2_4	HRUBOVANI_K_D16	T4	50	0,28	128436,5
			995	0,75	00:40:53
P2_5	HRUBOVANI_K_D10	T5	55	0,2	180604,1
			1751	0,42	00:44:42
P2_6	HRUBOVANI_K_D6	T6	100	0,3	96405,8
			5305	0,15	00:24:39
P2_7	DOKONCENI_K_D12	T7	300	0,2	66923,7
			7958	0,17	00:22:30
P2_8	DOKONCENI_K_D6	T8	300	0,36	151540
			15915	0,085	00:50:33
P2_9	DOKONCENI_K_D2_1	T9	300	0,18	14660,9
			47746	0,028	00:05:24
P2_10	DOKONCENI_K_D2_2	T9	300	0,18	2598,4
			47746	0,028	00:00:57
P2_11	SRAZENI_HRANY	T10	95	1,41	1471,3
			1088	0,24	00:01:46
CELKEM					869050,3
					05:36:34

6.6.4 Zbytkový materiál po 3D verifikaci

Vzhledem ke tvaru fréz není vždy možné se dostat do všech míst, která chceme obrobít. V programu NX 10 po 3D verifikaci CNC programu může být zobrazen pomocí funkce „Show Thinkness by Color“ zbytkový materiál nebo podřezání pod plochu 3D modelu, který se může objevit na obrobku po obrobění pomocí CNC programu. Zobrazení problémových míst je pomocí barevného spektra, kde ke každé barvě je přidělena určitá hodnota z vyhodnoceného rozmezí.

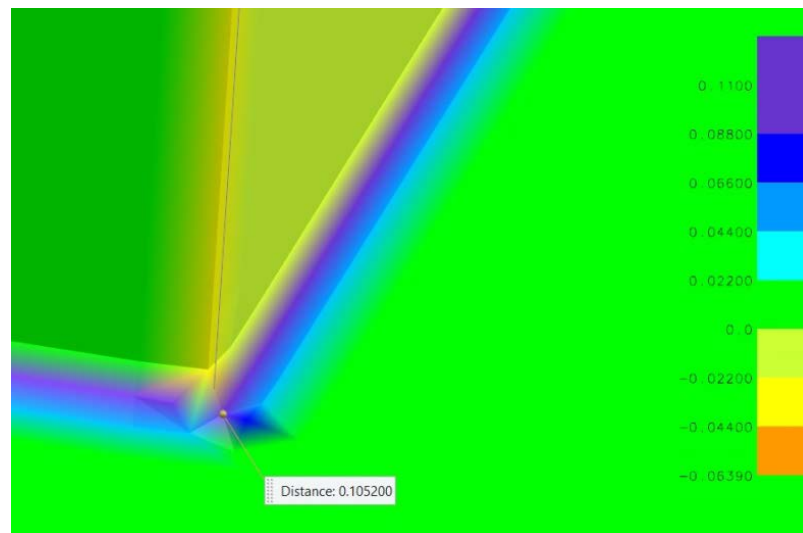
V následujícím zobrazení byla vybrána nejvíce problematická místa dle programu NX 10. Verifikace CNC programu byla provedena metodou „Fine“, tudíž nejlepší možnou, aby zobrazení se nejvíce přibližovalo následné realitě. Nastavení zobrazení „Show Thinkness by Color“ je do 8 stupňů barevného spektra a zobrazení je provedeno metodou „Sharp“ (ostré). Rozdíly od plochy 3D modelu vyhodnotil v rozmezí od -0,06390 mm až po 0,11 mm. Následně byla vyhodnocena tato problematická místa:

- Vnější rohové rádiusy po obrábění boků při prvním upnutí (Obr. 55) – zde dochází k podřezání pod plochu rádiusu. Hodnoty se pohybují dle barevného spektra až do nejnižší hranice. Po reálném obrábění se tento jev nemusí vyskytovat.



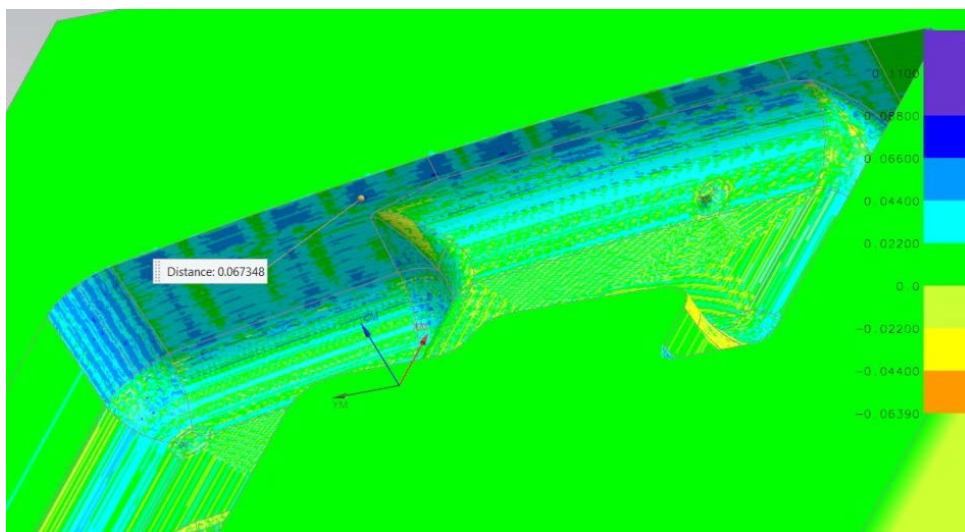
Obr. 55. Vnější rádiusová plocha

- Vnější rohy po obrábění operací boků při druhém upnutí (Obr. 56) – zůstává zde nejvíce materiálu na celém obrobku, hodnota zbytkového materiálu se dle barevného spektra dotýká vrchních hranic. Tento zůstatek je způsoben tvarem hlavy frézy, má totiž přechodový rádius mezi čelem a bočními zuby 0,5 mm.



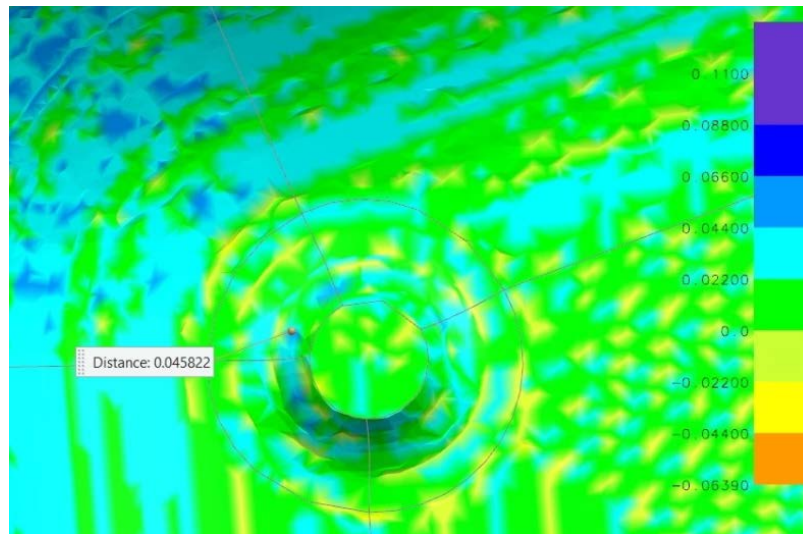
Obr. 56. Vnější rohy vložky

- Boční stěny dutiny (Obr. 57) – zde může být zůstatek materiálu zobrazený programem NX 10 pouze zdánlivý a po reálném obrábění zde nemusí být žádný.



Obr. 57. Stěny dutiny

- Malé přechodové rádiusy (Obr. 58) – zde se zbytkový materiál pohyboval v toleranci, proto se na reálném výrobku nemusí vyskytovat.



Obr. 58. Přechodový rádius v dutině

Všechna tato místa se mohou objevit i na reálném výrobku. V případě, že tato místa nebudou mít vliv na funkci výrobku, není nutné je dále řešit. Pokud by ovlivňovala jeho funkci, budou muset být dokončena pomocí jiné technologie obrábění. Pro rohy a dokončení dutiny může být využito nekonvenční technologie EDM obrábění elektrodou.

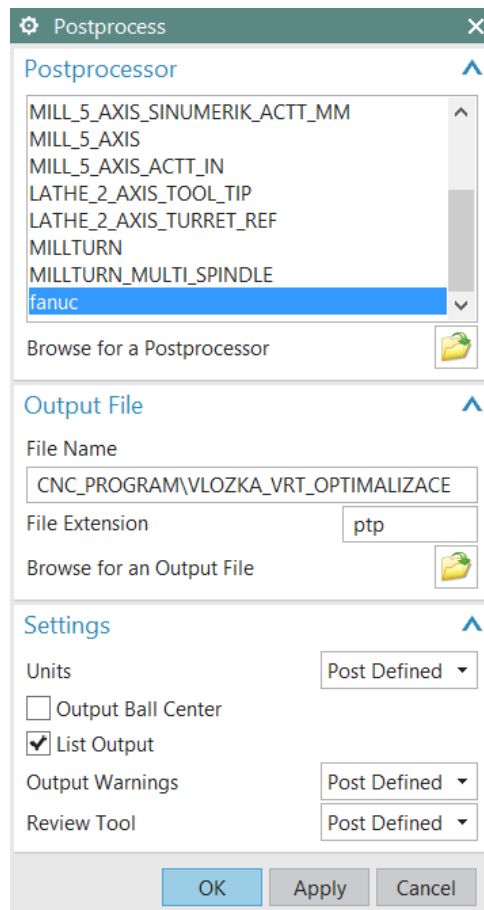
6.7 Postprocessing CNC programu

Před převedením byl CNC program rozdělen místo aktuálních dvou částí na čtyři (Obr. 59) z důvodu následné optimalizace pouze hrubovacích operací.

Name	Toolchange	Path	Tool	Tool Number	Time	Length	Method	Shortest Tool Length	Feed	Speed
NC_PROGRAM					05:36:34	869050.3				
Unused Items					00:00:00	0.0				
PROGRAM_1					00:19:19	19482.7				
CELNI_PLOCHA_1	✓	✓	CELNI_D63_R220.53-0063-12-9A	1	00:15:22	6876.8	MILL_FINISH	3.30	413.1 mmpm	255 rpm
BOKY_1	✓	✓	BOKY_D20_930200R050-MEGA	2	00:03:33	12605.8	MILL_FINISH	17.69	2177.28 mmpm	4536 rpm
PROGRAM_2					01:17:32	158081.6				
CELNI_PLOCHA_2	✓	✓	CELNI_D63_R220.53-0063-12-9A	1	00:15:22	6844.8	MILL_FINISH	3.50	413.1 mmpm	255 rpm
BOKY_2	✓	✓	BOKY_D20_930200R050-MEGA	2	01:01:46	151236.8	MILL_FINISH	48.06	2177.28 mmpm	4536 rpm
PROGRAM_3					02:37:45	454291.9				
HRUBOVANI_K_D32	✓	✓	HK_D32_R217.21-1632.RE-R125.3A	3	00:46:44	48845.4	MILL_ROUGH	34.79	969.15 mmpm	497 rpm
HRUBOVANI_K_D16	✓	✓	HK_MINI_D16_MM16-16.60-HF-MD12	4	00:40:53	128436.5	MILL_ROUGH	35.78	2238.75 mmpm	995 rpm
HRUBOVANI_K_D10	✓	✓	HK_MINI_D10_MM10-10.50-HF-MD08	5	00:44:42	180604.1	MILL_ROUGH	37.09	2206.26 mmpm	1751 rpm
HRUBOVANI_K_D6	✓	✓	HK_D6_980TL060-MEGA	6	00:24:39	96405.8	MILL_ROUGH	36.57	1591.5 mmpm	5305 rpm
PROGRAM_4					01:21:58	237194.2				
DOKONCENI_K_D12	✓	✓	DK_D12_JH112120D48.0Z2-HXT	7	00:22:30	66923.7	MILL_FINISH	37.00	2705.72 mmpm	7958 rpm
DOKONCENI_K_D6	✓	✓	DK_D6_JH112060D48.0Z2-HXT	8	00:50:33	151540.0	MILL_FINISH	37.05	2705.55 mmpm	15915 rpm
DOKONCENI_K_D2_1	✓	✓	DK_D2_JH112020J58.0Z2-HXT	9	00:05:24	14660.9	MILL_FINISH	35.29	2673.776 mmpm	47746 rpm
DOKONCENI_K_D2_2	✓	✓	DK_D2_JH112020J58.0Z2-HXT	9	00:00:57	2598.4	MILL_FINISH	19.91	2673.776 mmpm	47746 rpm
SRAZENI_HRANY	✓	✓	SH_D35_R217.49-1620.RE-XO12-45.3A	10	00:01:46	1471.3	MILL_FINISH	52.79	783.36 mmpm	1088 rpm

Obr. 59. Strom CNC programu pro optimalizaci

Poté byl CNC program převeden pomocí programu NX 10 přes postprocessor (Obr. 60) pro řídicí systém Fanuc pro vytvoření reálně použitelného G-kódu. Byl převeden i CNC program bez dělení na čtyři části. Oba NC programy, jak určený pro optimalizaci, tak ve formě po programování, jsou obsahem přílohy PI na CD.



Obr. 60. Postprocessing CNC programu

7 OPTIMALIZACE

Kapitola se zabývá optimalizací G-kódu vygenerovaného za pomoci postprocessoru z CNC programu z předchozí kapitoly.

7.1 Program Vericut 8.0.2

Jedná se o program pro verifikaci dráhy a optimalizaci NC programu. Vytvořila ho firma CGTech a od roku 1988 se stal průmyslovým standardem pro simulaci a optimalizaci obrábění na CNC strojích. Jeho pomoci se využívá všude, kde je potřeba detekovat kolize, chyby v programu nebo třeba oblasti procesu, které jsou z hlediska obrábění a ekonomiky neefektivní. Program Vericut používají společnosti všech možných velikostí, univerzity nebo i vládní organizace ve více jak 55-ti zemích světa. [33]

Program pomáhá eliminovat procesy manuálního ověřování přímo na CNC strojích, a tím zvyšuje produktivitu výroby, protože časově nezabírá optimalizací reálné CNC stroje, které mohou být využity pro výrobní proces. Snižuje neshodnost dílů, které potřebují následné dopracování, a tím šetří strojní čas, který by byl pro další úkony potřebný. Díky modulu pro optimalizaci zvyšuje produktivitu a kvalitu obrobeneho povrchu. Jeho simulace je využitelná pro všechny druhy CNC strojů a nástrojů včetně strojů od předních výrobců jako například Mazak, Makino, DGM/Mori Seiki, Okuma, Chiron a další. Jedná se o modulární systém. Lze jej využívat jako samostatnou aplikaci nebo interface jako integrovaný modul do většiny předních CAM systémů. [33]

Mezi základní moduly programu patří: [33]

- Vericut verification

Jedná se o 3D simulaci, která je založená na solid modelu a interaktivně simuluje úběr materiálu na základě NC programu. Verifikace v programu zahrnuje víceosé obrábění, frézování, soustružení, mill/turn operace a mnohačetné kombinace technologií. Umožňuje ověřit přesnost a kvalitu NC programů. Díky tomu mohou být chyby z programování a další možné problémy odstraněny ještě před tím, než je NC program spuštěn na reálných CNC strojích. Tím zabraňuje poškození strojů, ale také nástrojů, obrobků a dalších komponentů, které vstupují do procesu reálného obrábění.

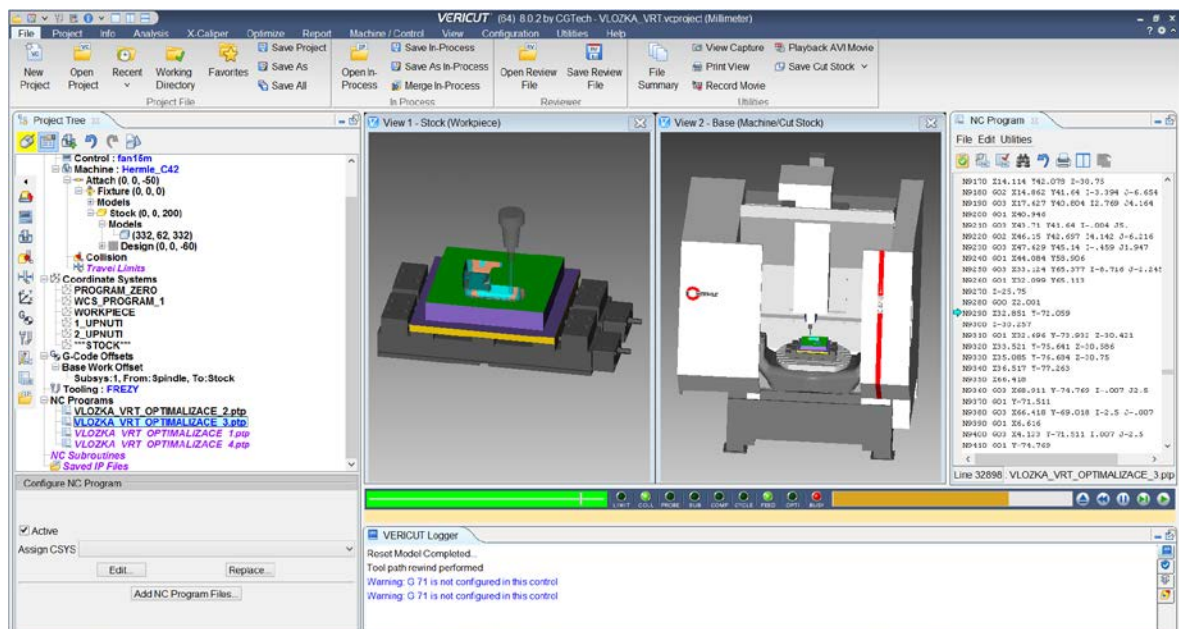
- Optimalizace OptiPath

Dalším modulem je NC optimalizace, která probíhá úpravou posuvů v NC programu tak, aby bylo zaručeno optimální zatížení nástrojů pro maximální produktivitu procesu. Optimalizačními algoritmy může být dosaženo, že konečné NC programy budou kratší. U nástrojů se dosáhne menšího opotřebení, a tím se ušetří náklady na pořízení nových. Dále může být optimalizací dosaženo, že nebudou potřeba zdlouhavé dokončovací operace, protože díky konstantnímu zatížení nástrojů je povrch po hrubování výrazně lepší.

- CNC Machine Simulation

Simulace v programu zobrazuje úběr materiálu z polotovaru, ale dokáže simulovat práci celého stroje tak, jako se děje ve strojovém parku při reálné výrobě. Tato simulace hlídá a dovoluje detekovat kolize všech pohyblivých a nepohyblivých prvků vstupujících do procesu nebo dokáže varovat před překročením určené hranice přiblížení těchto prvků k sobě. Tyto kontroly fungují v každou chvíli při průběhu simulace mezi všemi komponenty stroje. Dále dokáže simulovat i limity ve všech osách stroje, a tím zamezit případnému zastavení stroje v průběhu samotného procesu obrábění pro nedostatek pracovního prostoru.

Vše probíhá v intuitivním pracovním prostředí programu (Obr. 61).

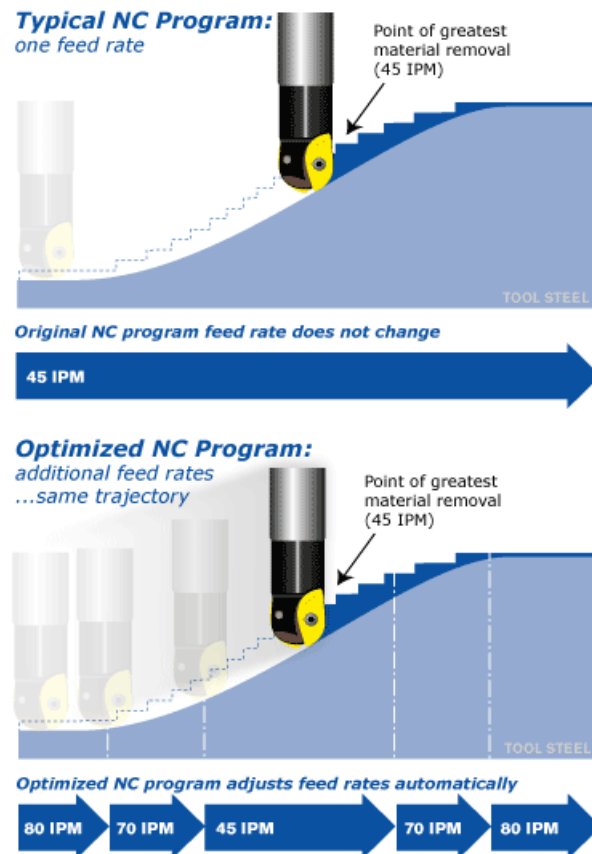


Obr. 61. Prostředí programu VERICUT 8.0.2

7.2 Optimalizace G-kódu

Optimalizace bude probíhat pomocí modulu OptiPath v programu Vericut. Tento modul na základě informací o odebraném množství materiálu v každém místě řezu automaticky vy-

počítá a upraví rychlost pracovního posuvu nástroje podle potřeby (Obr. 62). Pokud nástroj odebírá méně materiálu než má, tak rychlost posuvu zvýší, pokud odebírá více, tak rychlost posuvu zmenší. Poté upravenou rychlost vloží do G-kódu optimalizovaného NC programu beze změny trajektorie dráhy nástroje, aby mohly být optimalizované parametry využity v reálné výrobě. [33]



Obr. 62. Vizualizace funkce modulu OptiPath [33]

Optimalizace bude probíhat pouze pro operace hrubování dutiny ve vložce z důvodu, že ostatní použité operace jsou dokončovací nebo zatížení frézy je stále konstantní (např. obrábění vnějších boků) a mohla by být porušena kvalita obrobené plochy na konečném reálném výrobku. Optimalizace by byla tím pádem neefektivní.

Optimalizace v programu Vericut 8.0.2 byla realizována ve dvou variantách. První optimalizace zohledňuje životnost nástroje, kde může posuvová rychlost klesat i pod nastavenou hodnotu v NC programu, a druhá varianta je optimalizována pouze s možností nárůstu posuvové rychlosti nad hodnotu v NC programu, tím zohledňuje spíše zvýšení produktivity procesu obrábění.

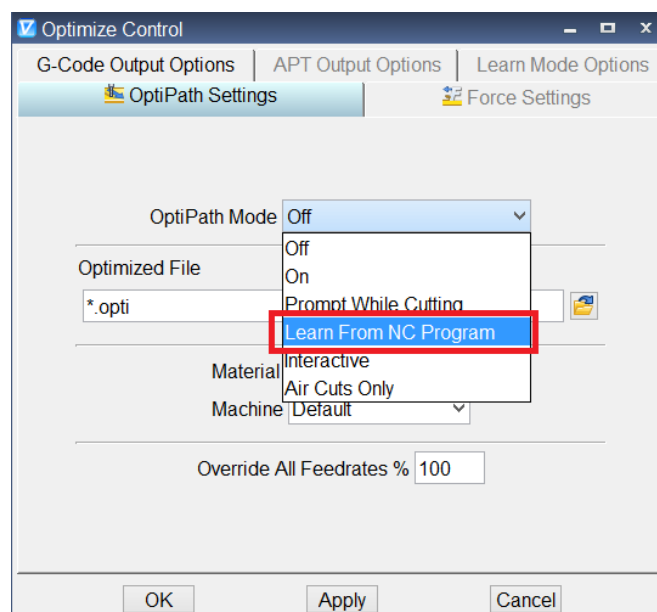
Postup optimalizace: [34]

1. Vytvoření projektu

Projekt byl vytvořen s prostředím, aby se co nejvíce přibližovalo reálnému. Do projektu byl vložen model obráběcího CNC centra Hermle C 42 U i s upínacími svěráky, polotovary a obráběcí nástroje. Dále byly nastaveny nástroje používané v programu a vloženy převedené NC programy s požadovaným G-kódem.

2. Verifikace NC programu před optimalizací

Před prvním spuštěním verifikace NC programu v programu Vecricut musel být nastaven parametr „Learn from NC Program“ v kartě „Optimize“ v položce „Optimize Control“ (Obr. 63) pro získání informací o NC programu pro následné nastavení optimalizačních parametrů.



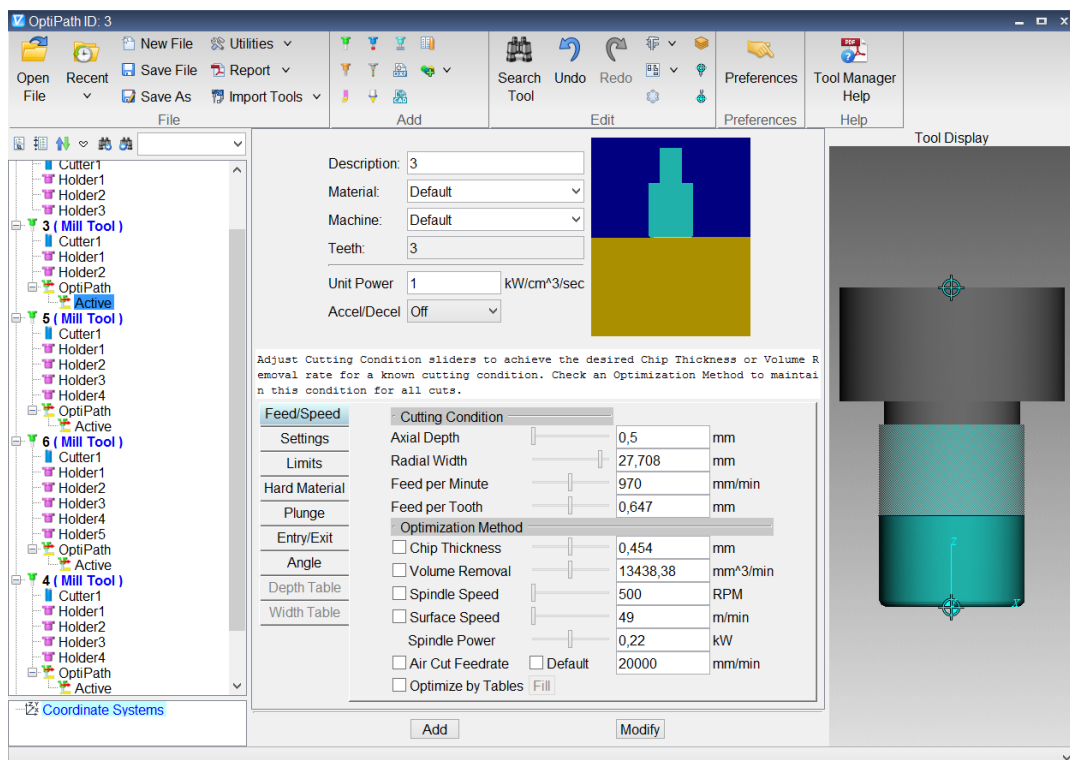
Obr. 63. Nastavení parametru „Learn from NC Program“

3. Nastavení parametrů optimalizace

Po dokončení verifikace NC programu je nutné nastavit potřebné podmínky optimalizace. Parametry se přiřazují k jednotlivým nástrojům používaným při obrábění. Ve stromu projektu je vybrána položka „Tooling“ (Obr. 64), ve které se potřebné parametry pro optimalizaci nastaví.

U obou variant optimalizace se nastavovaly parametry v záložkách:

- „Feed/Speed“ - pro popis a nastavení řezných podmínek pro optimalizaci. Zde byly zkontrolovány a případně upraveny původní řezné podmínky z naprogramovaného CNC programu.
- „Setting“ – zde se nastavuje, jak má optimalizace pracovat, například minimální hodnota změny posuvové rychlosti a rychlost začíšťování, ta byla nastavována jako 1,5 až 2 násobek hodnoty rychlosti posuvu.
- „Limits“ – v této záložce se nastavují minimální a maximální limity posuvu, hloubky řezu a další, mezi kterými může optimalizační modul měnit hodnoty během optimalizace. Zde byly nastaveny limity rozmezí změny posuvu. U první varianty s ohledem na životnost nástroje byla nastavena minimální hodnota posuvu jako 80% posuv z původního CNC programu a maximální jako 120% hodnota původního posuvu. U druhé varianty je pouze jiná minimální hodnota limitu posuvu, ta byla nastavena stejně jako hodnota posuvu z původního CNC programu.

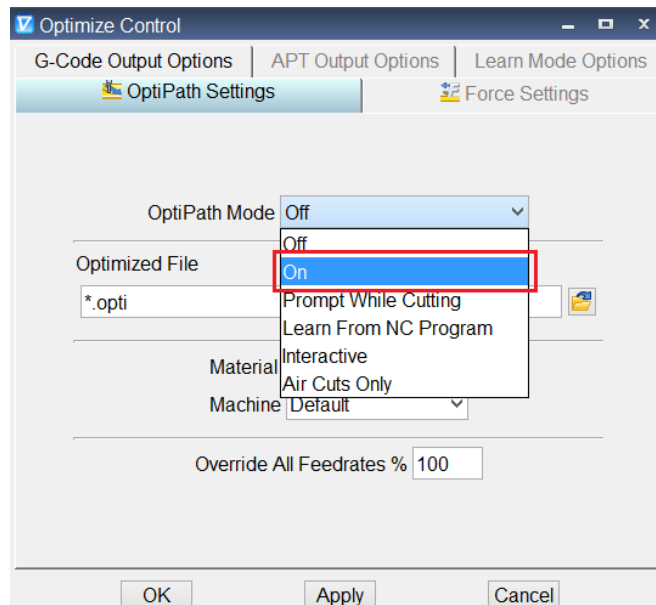


Obr. 64. Nastavení parametrů optimalizace „Tooling“

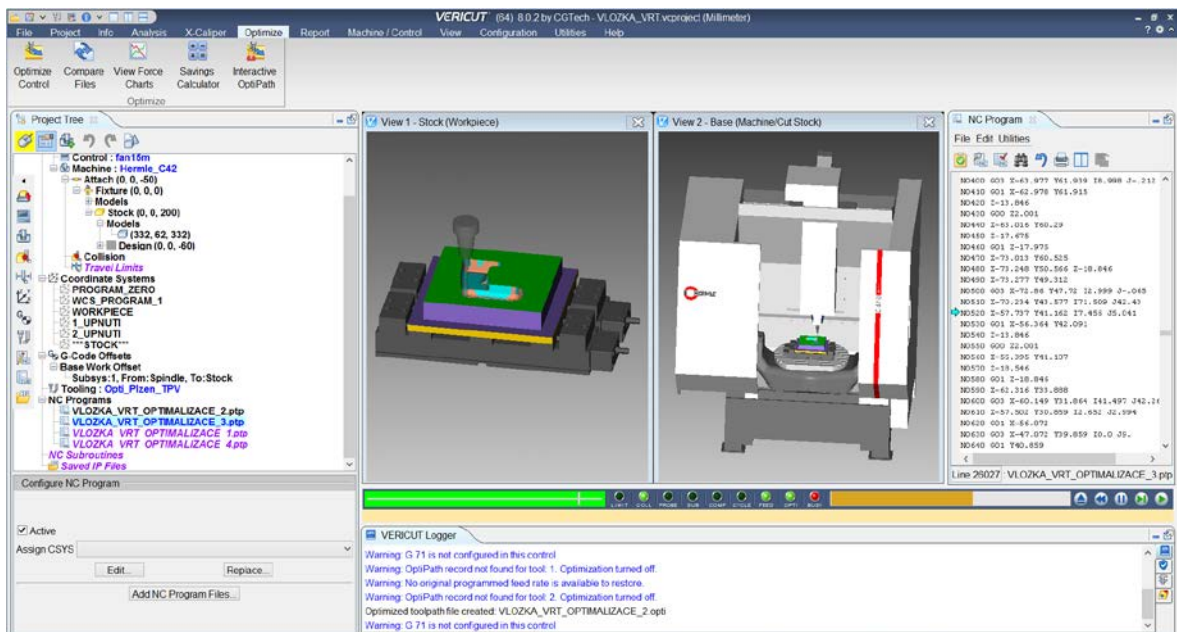
Všechna tato nastavení se provádí pro každý nástroj použitý v CNC programu pro úspěšný průběh optimalizace.

4. Spuštění optimalizace

Pro spuštění optimalizace je nutné v kartě „Optimize“ položce „Optimize Control“ zapnout optimalizaci (Obr. 65). Program provede verifikaci (Obr. 66) programu s optimalizací. Výstupem je optimalizovaný G-kód, kterým buď nahradí původní G-kód v NC programu, nebo ho uloží do formátu *.opti, u kterého je možné změnit příponu na *.ptp a použít ho jako NC program pro řídicí systém obráběcího CNC stroje.



Obr. 65. Nastavení spuštění optimalizace



Obr. 66. Průběh verifikace s optimalizací

5. Získání výsledků

Po proběhnutí optimalizace se zobrazí výsledek optimalizace NC programu. V tabulce o výsledcích jsou uvedeny časy před a po optimalizaci a je zde uvedena i procentuální účinnost optimalizace. Zde jsou uvedeny stručné výsledky (Obr. 67) jak pro první variantu, tak i pro druhou variantu.

Part Savings	
Original Time (hh:mm)	2:59
Optimized Time (hh:mm)	2:20
Percent Time Savings (%)	21,83
Number of Parts	100
Machine Hourly Rate (\$/hour)	100
Time Saved On These Parts (hh:mm)	
Money Saved On These Parts (\$)	
Calculate Savings For These Parts	
Workshop Savings	
Shop Hourly Rate (\$/hour)	100
Number of Machines	5
Machining Hours per Shift (hours)	8
Number of Shifts	2
Number of Workdays per Year	220
Total Yearly Savings (\$)	
Calculate Yearly Workshop Savings	
<input checked="" type="checkbox"/> Show this dialog at end of optimization	
Close	

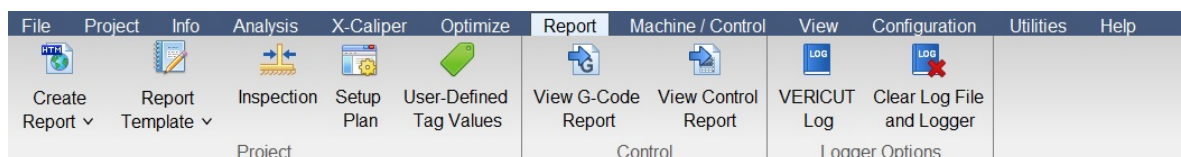
S ohledem na životnost nástrojů

Part Savings	
Original Time (hh:mm)	2:59
Optimized Time (hh:mm)	2:15
Percent Time Savings (%)	24,4
Number of Parts	100
Machine Hourly Rate (\$/hour)	100
Time Saved On These Parts (hh:mm)	
Money Saved On These Parts (\$)	
Calculate Savings For These Parts	
Workshop Savings	
Shop Hourly Rate (\$/hour)	100
Number of Machines	5
Machining Hours per Shift (hours)	8
Number of Shifts	2
Number of Workdays per Year	220
Total Yearly Savings (\$)	
Calculate Yearly Workshop Savings	
<input checked="" type="checkbox"/> Show this dialog at end of optimization	
Close	

Ke snížení výrobního času procesu

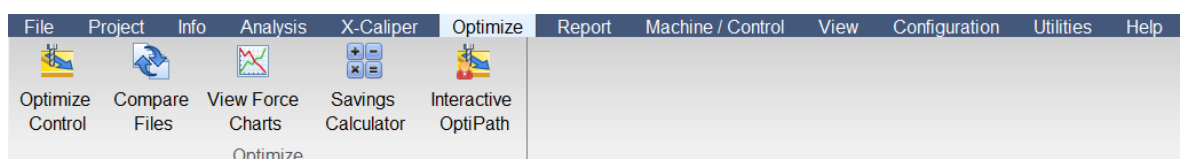
Obr. 67. Stručné výsledky optimalizací

V programu Vericut lze vytvořit i formulář s reportováním všech výsledků z optimalizace a s možností je uložit do samostatného souboru pro prezentaci. Jedná se o funkci „Create Report“ (Obr. 68), která je umístěna v kartě „Report“.



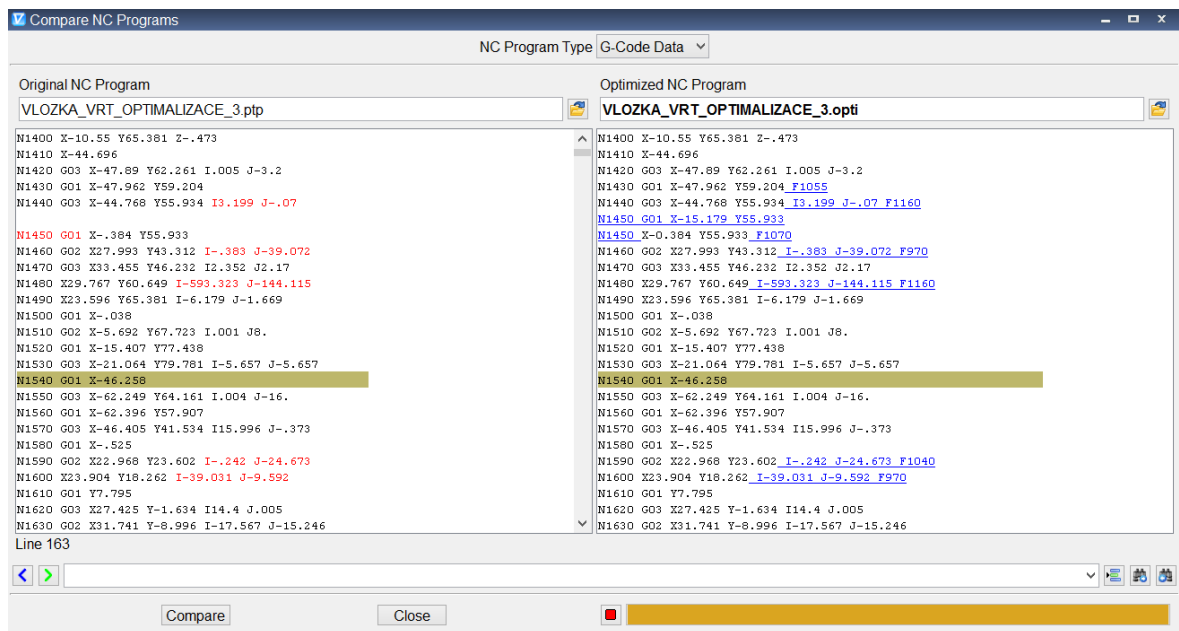
Obr. 68. Funkce „Create Report“

Dále je možné porovnat soubory s vygenerovaným G-kódem po optimalizaci a původním G-kódem pomocí funkce „Compare Files“ (Obr. 69), která je v záložce „Optimize“.



Obr. 69. Funkce „Compare Files“

Zde můžeme zjistit změny (Obr. 70), které optimalizace v G-kódu NC programu provedla. Změny jsou pro názornost barevně označeny.



Obr. 70. Porovnání G-kódů (původní G-kód na levé straně)

7.2.1 Výsledky optimalizace

Optimalizace vygenerovaného G-kódu v modulu OptiPath programu Vericut 8.0.2 byla provedena ve dvou variantách pro operace hrubování dutiny vložky. První varianta (PXV) je provedena s ohledem na životnost nástroje, kde optimalizace rychlosti posuvu fréz v řezu mohla být měněna v rozmezí limitu od 80% do 120% zadané hodnoty ve vstupním G-kódu. Druhá varianta (PXVI) se lišila pouze změnou rozmezí limitu, kde se pohybovalo pouze od 100% do 120% hodnoty rychlosti posuvu nástroje v řezu. U druhé varianty může být řečeno, že nebyl brán tolik ohled na životnost nástroje, ale spíše na snížení výrobního času procesu. Po ukončení každého procesu optimalizace program Vericut zobrazil výsledkové tabulky, které jsou uvedené v předchozím postupu s procentuální účinností optimalizace a základními časy hrubování před a po optimalizaci. Procentuální výsledky účinnosti optimalizace po zahrnutí optimalizovaného G-kódu do celkového NC programu pro řídicí systém CNC stroje se mohou v celkovém NC programu snížit. Výsledky (Tab. 4) jsou zpracovány na základě vygenerovaných reportů pomocí funkce „Create Report“ a na základě zobrazených výsledkových tabulek (Obr. 67) po konci optimalizace.

Tab. 4. Výsledky optimalizace

VÝSLEDKY OPTIMALIZACE						
	1. VARIANTA OPTIMALIZACE S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST NÁSTROJE ÚČINNOST: 21,83 %		2. VARIANTA OPTIMALIZACE S OHLEDEM NA ZVYŠOVÁNÍ PRODUKTIVITY PROCESU ÚČINNOST: 24,4 %		HRUBOVÁNÍ PŮVODNÍHO NC PROGRAMU (VYGENEROVANÝ G-KÓD) ÚČINNOST: ---	
OPERACE	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]
HRUBOVANI_K_D32	00:44:02	49343,5431	00:40:49	49343,5431	00:47:12	49343,5431
HRUBOVANI_K_D16	00:32:37	128580,5312	00:31:53	128580,5312	00:45:22	128580,5312
HRUBOVANI_K_D10	00:38:49	180981,5634	00:38:24	180981,5634	00:54:49	180981,5634
HRUBOVANI_K_D6	00:23:59	96514,1932	00:23:45	96514,1932	00:31:02	96514,1932
CELKEM	02:19:27	455419,831	02:14:51	455419,831	02:58:25	455419,831

Podle programu Vericut je čas hrubování z vygenerovaného původního NC programu 2 h 58 min 25 s (PXVII), což se výrazně liší od udávaného času programem NX 10, který měl pro tyto operace udávaný čas 2 h 37 min 45 s. Tento rozdílný čas může být způsoben převedením CNC programu přes postprocessor. Ve výsledcích se dále bude pracovat s časy, které vygeneroval program Vericut. NC programy po optimalizaci jsou součástí přílohy PI na CD.

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Kapitola se zabývá vyhodnocením výsledků získaných při vypracování diplomové práce.

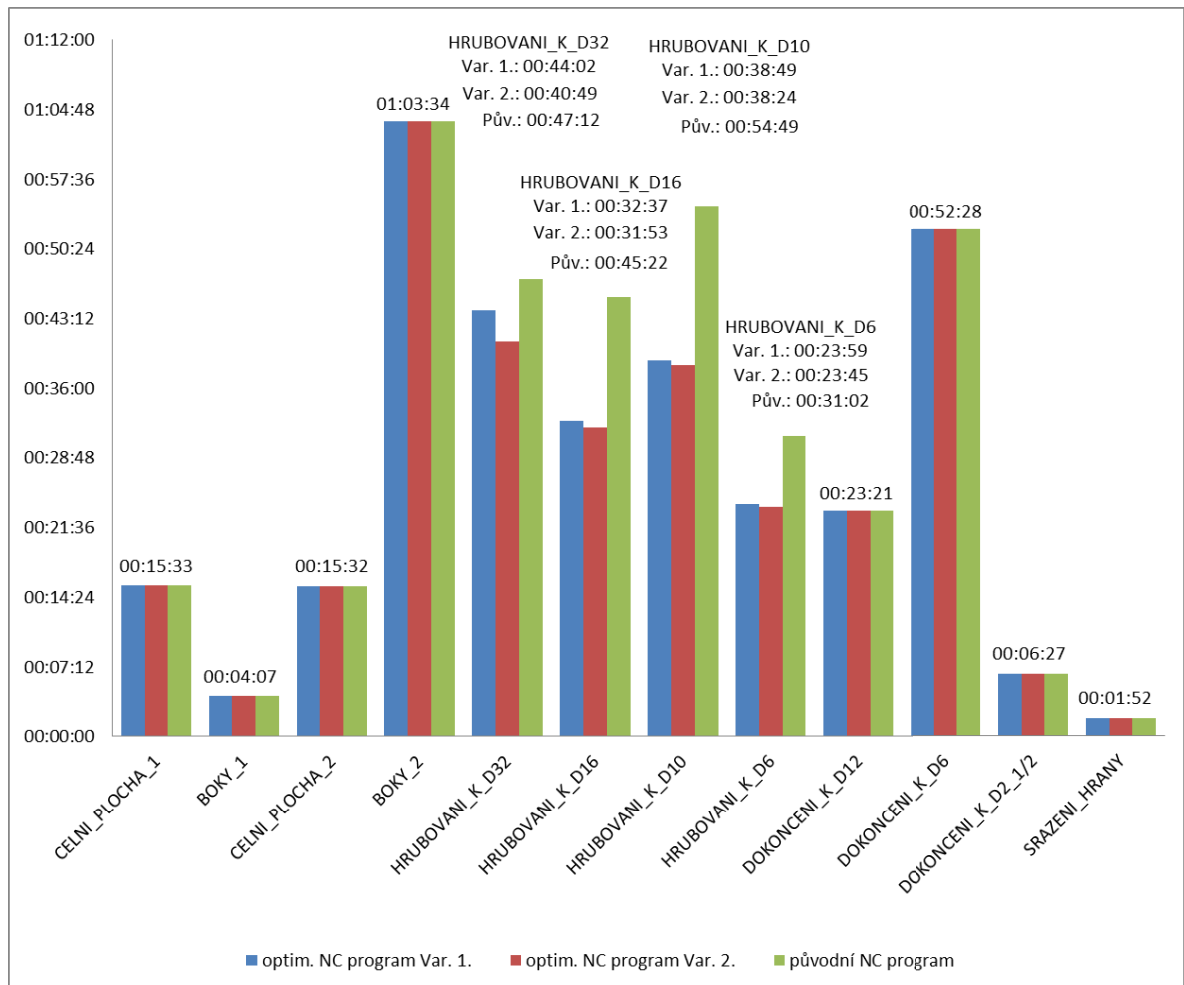
8.1 Porovnání výsledků

Zde jsou porovnány časy všech vytvořených programů pro obrobení dílu vložky dutiny vstřikovací formy pro část krytu akumulátorové vrtačky na obráběcím CNC centru. Hodnoty (PXVIII; PXIX; PXX) byly získány verifikací programem Vericut 8.0.2 (Tab. 5). Dráhy fréz v optimalizovaných G-kódech zůstávají nezměněné po použité optimalizaci modulem OptiPath.

Tab. 5. Porovnání výsledků

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ							
		1. VARIANTA OPTIMALIZACE S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST NÁSTROJE ÚČINNOST: 10,78 %		2. VARIANTA OPTIMALIZACE S OHLEDEM NA ZVYŠOVÁNÍ PRODUKTIVITY PROCESU ÚČINNOST: 12,05 %		PŮVODNÍ NC PROGRAM ÚČINNOST: ---	
NÁSTROJ	OPERACE	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]	ČAS	DRÁHA FRÉZY [mm]
T1	CELNI_PLOCHA_1	00:15:33	7601,6524	00:15:33	7601,6524	00:15:33	7601,6524
T2	BOKY_1	00:04:07	13220,2948	00:04:07	13220,2948	00:04:07	13220,2948
T1	CELNI_PLOCHA_2	00:15:32	7554,5113	00:15:32	7554,5113	00:15:32	7554,5113
T2	BOKY_2	01:03:34	151859,3448	01:03:34	151859,3448	01:03:34	151859,3448
T3	HRUBOVANI_K_D32	00:44:02	49343,5431	00:40:49	49343,5431	00:47:12	49343,5431
T4	HRUBOVANI_K_D16	00:32:37	128580,5312	00:31:53	128580,5312	00:45:22	128580,5312
T5	HRUBOVANI_K_D10	00:38:49	180981,5634	00:38:24	180981,5634	00:54:49	180981,5634
T6	HRUBOVANI_K_D6	00:23:59	96514,1932	00:23:45	96514,1932	00:31:02	96514,1932
T7	DOKONCENI_K_D12	00:23:21	67507,0477	00:23:21	67507,0477	00:23:21	67507,0477
T8	DOKONCENI_K_D6	00:52:28	152162,5094	00:52:28	152162,5094	00:52:28	152162,5094
T9	DOKONCENI_K_D2_1	00:06:27	17558,5689	00:06:27	17558,5689	00:06:27	17558,5689
	DOKONCENI_K_D2_2						
T10	SRAZENI_HRANY	00:01:52	1909,56	00:01:52	1909,56	00:01:52	1909,56
	CELKEM	05:22:20	874793,3202	05:17:45	874793,3202	06:01:18	874793,3202

Vstupní NC program vygenerovaný z programu NX 10 pomocí postprocessoru pro řídicí systém Fanuc je časově nejnáročnější a jeho hodnota je 6 h 1 min 18 s. Z porovnání všech NC programů vyšla nejlépe druhá varianta optimalizovaného NC programu pro zvyšování produktivity procesu výroby, kde čas práce obráběcího CNC centra vychází podle programu Vericut na 5 h 17 min 45 s a účinnost optimalizace modulem OptiPath je oproti původnímu NC programu 12,05 %. Časová úspora je v přepočtu 43 min 33 s. Druhá varianta, která brala ohled na životnost rezného nástroje, dosáhla času 5 h 22 min 20 s a účinnosti 10,78 %, což představuje časovou úsporu oproti původní verzi NC programu 38 min 58 s. Jednotlivé časy jsou znázorněny v grafu (Obr. 71).



Obr. 71. Graf porovnání NC programů

V grafu je názorně vidět, že optimalizace probíhala pouze pro část hrubování dutiny. Největší časové úspory se dosáhlo optimalizací operace HRUBOVANI_K_D10, kde rozdíl mezi původním časem operace a časem optimalizovaného G-kódu druhé varianty je 16 min 25 s. Následující největší úspora byla provedena v operaci HRUBOVANI_K_D16, kde největší rozdíl dosahoval 13 min 29 s. Ostatní hrubovací operace dosáhly následujících rozdílů: HRUBOVANI_K_D6 = 7 min 17 s; HRUBOVANI_K_D32 = 6 min 23 s. Ostatní operace jsou nezměněné, protože u nich žádná optimalizace neproběhla z důvodu dokončování povrchu obrobku.

8.2 Diskuze

I když je druhá varianta optimalizace časově nejúspornější, mohou nastat problémy z ekonomického hlediska procesu výroby při větších sériích. Pokud je posuv nástroje v řezu navýšen, tak může být více opotřebovávána řezná část nástroje a jeho výměna za nový kus bude tím pádem častější, tím narůstají i ekonomické náklady na pořízení nových nástrojů.

Z tohoto důvodu by bylo vhodnější zvolit pro výrobu optimalizovaný NC program první varianty, která se liší od druhé varianty optimalizovaného NC programu pouze o 1,27 % časové účinnosti, což dělá v přepočtu 4 min 35 s a nástroj nemusí být tolik opotřebováván. Vyplývá z toho, že nebude potřeba měnit tak často nástroj, tím se ušetří nejen finance podniku, ale i vedlejší časy potřebné pro výměnu.

8.2.1 Použité obráběcí CNC centrum

Je vyhovující pro svoje technické vlastnosti, ale výrobu tohoto dílu by nezvládl pro nedostatečné otáčky vřetena stroje pro dokončovací operace DOKONCENI_K_D2_1, DOKONCENI_K_D2_2 kulovou frézou \varnothing 2 mm (T9), kde otáčky dosahují hodnoty $47\,746\text{ min}^{-1}$. Proto je nutná úprava řezných podmínek na nižší otáčky, které vřeteno obráběcího CNC centra zvládne, ale tím by mohlo dojít ke zhoršení kvality povrchu po dokončovacích operacích. Pokud na kvalitě povrchu záleží, je nutné požádat výrobce stroje, zdali to umožňuje, o výměnu vřetene za výkonnější, nebo je potřeba využít jiného výkonnějšího obráběcího CNC centra vhodného pro tento typ výroby.

8.2.2 Následující dokončovací technologie

Protože frézováním není obrobek ve finální podobě, je nutné použít další technologie obrábění. Pro vyvrtání temperačních kanálů je vhodně využít dělového vrtáku a vhodného stroje pro tento typ technologie vrtání děr. Pro dokončení výroby tvaru součásti vložky dutiny vstříkovací formy do konečné podoby v místech, kde to frézováním nebylo možné, je dle návrhu vhodné využít nekonvenční technologii elektrojiskrového obrábění pomocí elektrody (EDM), která za použití vhodných tvarů elektrod pro daná místa je dokončí s požadovanou přesností a jakostí povrchu.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala optimalizací G-kódu pro technologii frézování na obráběcím CNC centru pro výrobu součásti vložka dutiny vstříkovací formy pro část krytu akumulátorové vrtačky.

Obecná teoretická část obsahuje seznámení s problematikou CNC strojů a jejich programováním a následnou optimalizací procesu výroby a G-kódu v optimalizačním programu.

Praktická část se zabývá naprogramováním CNC programu pro zadanou součást a následnou optimalizací vygenerovaného G-kódu pomocí postprocessoru pro řídicí systém Fanuc. Zadaná součást byla nejdříve vyhodnocena z hlediska tvaru a rozměrů, následně byla upravena v programu Siemens PLM NX 10 pro potřeby technologie frézování na obráběcím CNC centru. Úprava proběhla z hlediska vyloučení problémově obrobitelných míst ze součásti, která se musí dokončit jinými technologiemi obrábění. Poté byl zvolen materiál a polotovar, který je vhodný pro výrobu dané součásti a jeho rozměry jsou 332 x 332 x 62 mm. Jako obráběcí CNC centrum bylo zvoleno Hermle C 42 U od firmy Hermle AG, jehož předpoklady pro výrobu byly nejvhodnější. Před samotným CAM programováním součásti byly zvoleny frézovací nástroje a upínací systémy, s ohledem na technologii a materiál součásti, od firmy SECO TOOLS AB a upínací multi svěrák od firmy SCHUNK.

Programování CNC programu proběhlo za pomoci CAM modulu programu Siemens PLM NX 10. CNC program byl rozdělen na dvě upnutí součásti a obsahuje 13 operací obrábění za použití desíti frézovacích nástrojů. Řezné dráhy frézovacích nástrojů dosáhly délky asi 874 793,32 mm. Po vytvoření a verifikaci CNC programu s kontrolou kolizí následoval převod přes postprocessor pro získání G-kódu pro optimalizaci pomocí programu Vericut 8.0.2 od firmy CGTech.

Optimalizace proběhla pouze pro operace hrubování dutiny z důvodu zachování kvality povrchu po ostatních operacích, které nebyly do optimalizace zahrnuty. Proběhla ve dvou variantách pomocí modulu OptiPath, kde první varianta zohledňovala životnost frézovacích nástrojů a druhá varianta byla pro zvýšení produktivity výrobního procesu.

Po zhodnocení výsledných NC programů vyplynulo, že nejlepšího výsledného času po optimalizaci dosáhla druhá varianta, a to výrobního času 5 h 17 min 45 s. První varianta

dosáhla celkového času výroby 5 h 22 min 20 s, brala však ohled na životnost frézovacích nástrojů.

Domnívám se, že je výhodnější pro sériovou výrobu součástí využít první variantu optimalizovaného NC programu, protože s ní spojené náklady na frézovací nástroje mohou ušetřit celkové konečné náklady.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [2] KRÁL, Pavel a Jan ŠRAJER. *CNC obráběcí centra*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008. ISBN 978-80-7375-163-0.
- [3] NÁPRSTKOVÁ, Nataša a Karel JANDEČKA. *Programování výrobních strojů*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2010. Skripta. ISBN 978-80-7414-216-1.
- [4] VITRALAB, *Leonardo da Vinci Programme, Příručka CNC programování (Vitrabal_Title)*, [online]. [cit. 2017-12-05]. LLP/LDV/TOI/2009/SK/93100530, Dostupné z WWW: http://files.trojan2.webnode.cz/200000889-8013b810e2/CNC%20prirucka_CZ.pdf
- [5] ELUC, Investice do rozvoje vzdělávání, *Souřadnicový systém na stroji pro opracování plochých a skříňových obrobků* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z WWW: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1293>
- [6] STAMA. *History* [online]. STAMA Maschinenfabrik, 1999 - 2017 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z WWW: <http://stama.de/1/company/history/>
- [7] COPTTEL Internetový portál. *Historie CNC strojů* [online]. Zlín: Investice do rozvoje vzdělávání, 2010 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z WWW: <http://copttel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=22926&instance=2>
- [8] CNC Cookbook: Software and Information for CNC Machinists. *CNC Machine Overview and Computer Numerical Control History* [online]. 2010-2014 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z WWW: <http://www.cnccookbook.com/CCNCMachine.htm>
- [9] SADÍLEK, Miroslav. Postprocessor - slabé místo CAM systémů? *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník* [online]. Praha: MM publishing, 2005, roč. 2005, č. 4 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/postprocessor-slabe-misto-cam-systemu.html>
- [10] P. NAGESWARA Rao. *CAD/CAM: principles and applications*. 3rd ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2010. ISBN 978-0-07-068193-4.

- [11] COPTTEL Internetový portál. *Ruční programování* [online]. Zlín: Investice do rozvoje vzdělávání, 2010 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z WWW: <http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=31556&docGroup=4929&cmd=0&instance=2>
- [12] KIEF, Hans B., Helmut A. ROCHIWAL a Karsten SCHWARZ. *CNC-Handbuch: 2015/2016*. München: Carl Hanser Fachbuchverlag, 2015 [cit. 2017-02-13]. ISBN 978-3-446-44356-3.
- [13] VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2012. ISBN 978-80-7414-499-8.
- [14] SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008. ISBN 978-0-8311-3347-4.
- [15] Austin N. C., Inc. G-POST/CAM. *Generalized Postprocessor*. [Online] [cit. 2017-02-13]. Dostupné z WWW: http://bdml.stanford.edu/twiki/pub/Manufacturing/HaasReferenceInfo/V61_GPost_CD_Manual.pdf
- [16] BRYCHTA, Josef. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3522-8.
- [17] MÁDL, Jan. *Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 1988. 58 s.
- [18] MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 168 s. ISBN 80-01-01864-4.
- [19] MÁDL, Jan. *Optimalizace při obrábění (řezné parametry)*. [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z WWW: <http://fstroj.utc.sk/journal/sk/013/013.htm>
- [20] *Optimalizace v elektrotechnice: základní pojmy* [online]. Brno: FEKT VUT Brno [cit. 2017-02-15]. Dostupné z WWW: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/optimalizace/pojmy/pojmy_a.htm
- [21] MÁDL, Jan. *Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění: Doplnkové skriptum: pro stud. fak. strojní*. 4. vyd. Praha: ČVUT, 1990. ISBN 80-010-0323-X. 58 s.

- [22] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z WWW: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
- [23] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [24] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [25] STANĚK, Vlastimil. *Proč a kdy optimalizovat NC programy při obrábění forem*. Technický týdeník. Praha: Business Media CZ. 2017, roč. 2017, č. 4, s. 15.
- [26] *NX: Siemens PLM software* [online]. 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/nx/index.shtml
- [27] *GrabCAD* [online]. GrabCAD, a STRATASYS solution, 2014 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: <https://grabcad.com/library/mold-core-cavity-1>
- [28] *Hermle AG: C 42 / C 422 U MT3/4/5-axis machining centre* [online]. Gosheim, Germany: Maschinenfabrik Berthold Hermle, 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: http://www.walt2.hermle.de/cms/EN/products/product_overview/bearbeitungszentrum_c42/
- [29] *Machining Navigator* [online]. SECO TOOLS AB, 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: <https://www.secotools.com/en-GB/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
- [30] *Nástroje pro vrtání hlubokých děr: Dělové vrtáky* [online]. Sandvik Coromant, 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/gundrills/Pages/default.aspx>
- [31] *SCHUNK: Superior Clamping and Gripping* [online]. SCHUNK, 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z WWW: https://cz.schunk.com/cz_en/clamping-technology/product/19211-0430309-ksd-c-125-490/

- [32] KOH, Jaecheol. Siemens NX 10 design fundamentals. Seoul: ONSIA, 2015.
ISBN 978-1-516994-04-5.
- [33] *CGTech: About VERICUT Software* [online]. Hove, East Sussex, UK: CGTech, 2017 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z WWW:
<http://www.cgtech.co.uk/products/about-vericut/>
- [34] Vericut manual

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numerical Control
NC	Numerical Control
DNC	Direct Numerical Control
APT	Automatically Programmed Tools
CL	Cutter Location
PLM	Product Life Management
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. 3D model vložky dutiny vstřikovací formy</i>	11
<i>Obr. 2. NC stroj Milwaukee-Matic-II [8]</i>	16
<i>Obr. 3. Jeden prvních CNC strojů od firmy STAMA [6]</i>	17
<i>Obr. 4. Schéma CNC stroje [1]</i>	19
<i>Obr. 5. Řídicí panel CNC stroje [4]</i>	21
<i>Obr. 6. Příklad polohového řízení CNC stroje [2]</i>	22
<i>Obr. 7. Příklad úsekového řízení CNC stroje [2]</i>	23
<i>Obr. 8. Souřadnicový systém [5]</i>	25
<i>Obr. 9. Postup průběhu vytvoření NC programu [1]</i>	30
<i>Obr. 10. Příklady strategií [1]</i>	31
<i>Obr. 11. Schéma převodu part-programu na NC program [10]</i>	35
<i>Obr. 12. Struktura programu [16]</i>	39
<i>Obr. 13. Globální (D) a lokální (C) minimum kritériální funkce [20]</i>	42
<i>Obr. 14. Adaptivní optimalizace mezními systémy – blokové schéma [18]</i>	43
<i>Obr. 15. Výrobní náklady v závislosti na řezné rychlosti – porovnání CNC a konvenčního obrábění [18]</i>	46
<i>Obr. 16. Základní principy optimalizace [25]</i>	50
<i>Obr. 17. Operace vrtání děr</i>	50
<i>Obr. 18. Prostředí programu NX 10</i>	55
<i>Obr. 19. 3D model části krytu akumulátorové vrtačky [27]</i>	55
<i>Obr. 20. Vytvořený 3D model vložky dutiny vstřikovací formy</i>	56
<i>Obr. 21. Místa neobrobitelná frézováním</i>	56
<i>Obr. 22. Upravený 3D model pro programování</i>	57
<i>Obr. 23. Zvolený polotovar pro programování</i>	57
<i>Obr. 24. Obráběcí CNC centrum Hermle C 42 U [28]</i>	58
<i>Obr. 25. Držák Seco-Capto EPB 5600 [29]</i>	62
<i>Obr. 26. Svěrák SCHUNK KSD C 125-490 [31]</i>	62
<i>Obr. 27. Dělový vrták jednobřítý [30]</i>	63
<i>Obr. 28. Parametry frézování čelní plochy při prvním upnutí</i>	64
<i>Obr. 29. Frézování čelní plochy při prvním upnutí - verifikace</i>	65
<i>Obr. 30. Parametry frézování části boků při prvním upnutí</i>	66
<i>Obr. 31. Frézování části boků při prvním upnutí - verifikace</i>	66

<i>Obr. 32. Parametry frézování čelní plochy při druhém upnutí</i>	67
<i>Obr. 33. Frézování čelní plochy při druhém upnutí - verifikace</i>	68
<i>Obr. 34. Parametry frézování zbývající části boků</i>	69
<i>Obr. 35. Frézování zbývající části boků - verifikace</i>	69
<i>Obr. 36. Parametry hrubování dutiny - první část</i>	70
<i>Obr. 37. Hrubování dutiny - první část - verifikace</i>	71
<i>Obr. 38. Parametry hrubování dutiny - druhá část</i>	72
<i>Obr. 39. Hrubování dutiny - druhá část - verifikace</i>	72
<i>Obr. 40. Parametry hrubování dutiny - třetí část</i>	73
<i>Obr. 41. Hrubování dutiny - třetí část - verifikace</i>	74
<i>Obr. 42. Parametry hrubování dutiny - čtvrtá část</i>	75
<i>Obr. 43. Hrubování dutiny - čtvrtá část - verifikace</i>	75
<i>Obr. 44. Parametry dokončování dutiny - první část</i>	76
<i>Obr. 45. Dokončování dutiny - první část - verifikace</i>	77
<i>Obr. 46. Parametry dokončování dutiny - druhá část</i>	78
<i>Obr. 47. Dokončování dutiny – druhá část - verifikace.....</i>	78
<i>Obr. 48. Parametry dokončování vrchní části dutiny.....</i>	79
<i>Obr. 49. Dokončování vrchní části dutiny - verifikace.....</i>	80
<i>Obr. 50. Parametry dokončování spodní části dutiny</i>	80
<i>Obr. 51. Dokončování spodní části dutiny – verifikace.....</i>	81
<i>Obr. 52. Parametry sražení hrany</i>	82
<i>Obr. 53. Sražení hrany.....</i>	82
<i>Obr. 54. Strom CNC programu</i>	83
<i>Obr. 55. Vnější rádiusová plocha</i>	85
<i>Obr. 56. Vnější rohy vložky.....</i>	86
<i>Obr. 57. Stěny dutiny</i>	86
<i>Obr. 58. Přejíždový rádius v dutině.....</i>	87
<i>Obr. 59. Strom CNC programu pro optimalizaci</i>	87
<i>Obr. 60. Postprocessing CNC programu.....</i>	88
<i>Obr. 61. Prostředí programu VERICUT 8.0.2</i>	90
<i>Obr. 62. Vizualizace funkce modulu OptiPath [33]</i>	91
<i>Obr. 63. Nastavení parametru „Learn from NC Program“</i>	92
<i>Obr. 64. Nastavení parametrů optimalizace „Tooling“</i>	93

<i>Obr. 65. Nastavení spuštění optimalizace</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 66. Průběh verifikace s optimalizací</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 67. Stručné výsledky optimalizací</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 68. Funkce „Create Report“</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 69. Funkce „Compare Files“</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 70. Porovnání G-kódů (původní G-kód na levé straně)</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 71. Graf porovnání NC programů.....</i>	<i>99</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Technické parametry obráběcího CNC centra Hermle C 42 U [28]</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 2. Seznam nástrojů pro frézování [29]</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 3. Seznam operací</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 4. Výsledky optimalizace.....</i>	<i>97</i>
<i>Tab. 5. Porovnání výsledků.....</i>	<i>98</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI: PŘÍLOHY NA CD-ROM

PŘÍLOHA PII: NÁSTROJOVÝ LIST

PŘÍLOHA PIII: ČELNÍ FRÉZA [29]

PŘÍLOHA PIV: STOPKOVÁ FRÉZA Ø20 – BOKY [29]

PŘÍLOHA PV: FRÉZA Ø32 S VBD – HRUBOVÁNÍ [29]

PŘÍLOHA PVI: MINIMASTER FRÉZA Ø16 [29]

PŘÍLOHA PVII: MINIMASTER FRÉZA Ø10 [29]

PŘÍLOHA PVIII: STOPKOVÁ FRÉZA Ø6 [29]

PŘÍLOHA PIX: KULOVÉ FRÉZY [29]

PŘÍLOHA PX: FRÉZA NA SRÁŽENÍ HRAN [29]

PŘÍLOHA PXI: DRŽÁKY SECO-CAPTO EPB 5600 [29]

PŘÍLOHA PXII: ADAPTÉR COMBIMASTER EPB 5820 [29]

PŘÍLOHA PXIII: DĚLOVÝ VRTÁK [30]

PŘÍLOHA PXIV: SEŘIZOVACÍ LISTY

PŘÍLOHA PXV: VÝSLEDKY VERICUT - 1. VAR. OPTIMALIZACE
G-KÓDU HRUBOVÁNÍ

PŘÍLOHA PXVI: VÝSLEDKY VERICUT - 2. VAR. OPTIMALIZACE
G-KÓDU HRUBOVÁNÍ

PŘÍLOHA PXVII: VÝSLEDKY VERICUT – PŮVODNÍ G-KÓD
HRUBOVÁNÍ

PŘÍLOHA PXVIII: VÝSLEDKY VERICUT - 1. VAR.
OPTIMALIZOVANÉHO NC PROGRAMU

PŘÍLOHA PXIX: VÝSLEDKY VERICUT - 2. VAR.
OPTIMALIZOVANÉHO NC PROGRAMU

PŘÍLOHA PXX: VÝSLEDKY VERICUT – PŮVODNÍ NC PROGRAM

PŘÍLOHA PI: PŘÍLOHY NA CD-ROM

1. 3D MODEL KRYTU ČÁSTI AKUMULÁTOROVÉ VRTAČKY

Odkaz: CD:\PI\1_POZ\KRYT.stp

2. 3D MODEL VLOŽKY DUTINY VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ČÁST KRYTU

Odkaz: CD:\PI\2_POZ\VLOZKA_VRT.stp

3. CNC PROGRAMY VE FORMÁTU PRO NX 10

Odkaz: 1) CD:\PI\3_POZ\VLOZKA_VRT.prt

2) CD:\PI\3_POZ\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE.prt

4. NC PROGRAMY

Odkaz: 1) CD:\PI\4_POZ\PUVODNI\

2) CD:\PI\4_POZ\PRO_OPTIMALIZACI\

5. OPTIMALIZOVANÉ NC PROGRAMY

Odkaz: 1) CD:\PI\5_POZ\VAR_1\

2) CD:\PI\5_POZ\VAR_2\

POZN.: Obsahem přiloženého CD jsou dále některé tištěné přílohy.

PŘÍLOHA PII: NÁSTROJOVÝ LIST

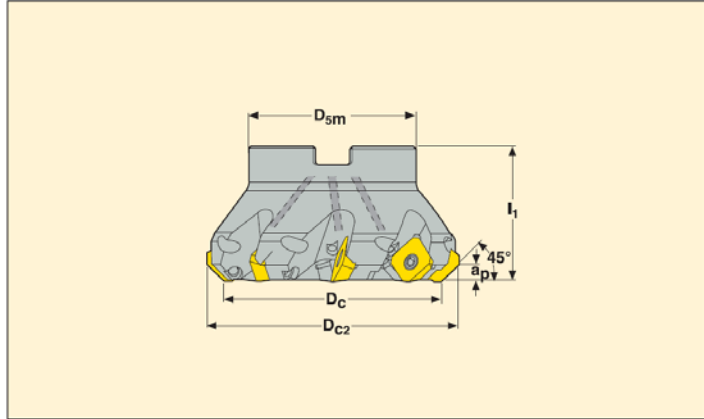
NÁSTROJOVÝ LIST				DATUM: 10.4.2017	STRANA: 1
VYPRACOVAL: NECHVÁTAL		CNC STROJ: HERMLE C 42 U		CNC PROGRAM: VLOZKA_VRT	POČET STRAN: 1
POZ.	NÁSTROJ	VÝR.	OZNAČENÍ VÝROBCE ZÁKLADNÍ ROZMĚRY	OZNAČENÍ DESTIČKY DRŽÁK	MATERIÁL
T1	ČELNÍ FRÉZA S VBD ø 63	SECO	R220.53 - 0063-12-9A D = 63 mm; a = 6 mm; z = 9	SEMX1204AFTN-MD19 MP1500 TRN	OCEL MP1500
T2	STOPKOVÁ FRÉZA ø 20	SECO	930200R050-MEGA D = 20 mm; a = 30 mm; z = 8	----- EPB 5600	MEGA
T3	FRÉZA S VBD ø 32	SECO	R217.21 - 1632.RE-R125.3A D = 32 mm; a = 1 mm; z = 3	218.19-125T-T3-MDI0 MHI000 ADAPT. ER 32 BE032582016005	OCEL MH1000
T4	FRÉZA MINIMASTER ø 16	SECO	MM16 - 16.60-HF-MD12 D = 16 mm; a = 0,6 mm; z = 3	MM16-16.60-HF-MD12 F30M EPB 5600	OCEL F30M
T5	FRÉZA MINIMASTER ø 10	SECO	MM10 - 10.50-HF-MD08 D = 10 mm; a = 0,44 mm; z = 2	MM10-10.50-HFMD08 F15M EPB 5600	OCEL F15M
T6	STOPKOVÁ FRÉZA ø 6	SECO	980TL060-MEGA D = 6 mm; a = 0,35 mm; z = 2	----- EPB 5600	MEGA
T7	KULOVÁ FRÉZA ø 12	SECO	JH112120D4B.0Z2-HXT D = 12 mm; a = 12 mm; z = 2	----- EPB 5600	HXT
T8	KULOVÁ FRÉZA ø 6	SECO	JH112060D4B.0Z2-HXT D = 6 mm; a = 6 mm; z = 2	----- EPB 5600	HXT
T9	KULOVÁ FRÉZA ø 2	SECO	JH112020J5B.0Z2-HXT D = 2 mm; a = 2 mm; z = 2	----- EPB 5600	HXT
T10	FRÉZA NA SRAŽENÍ HRAN S VBD ø 20	SECO	R217.49 - 1620.RE-XO12-45.3A D = 20 mm; a = 7 mm; z = 3	XOMX120408TR-MD13 MP1500 ADAPT. ER 32 BE032582016005	OCEL MP1500

PŘÍLOHA PIII: ČELNÍ FRÉZA [29]

Face milling cutters



R220.53-12



- For insert selection and cutting data recommendations, see page(s) 147–148
- For complete insert programme, see page(s) 641

Pitch	Part No.	Type of mounting	Dimensions in mm										Insert
			a_p	D_c	D_{c2}	D_{sm}	dm_m	l_1					
Close	R220.53 -0063-12-9A	Arbor	6,0	63,0	75,0	47,0	22,0	40,0	9	0,6	13200	SE.X1204	

Face milling cutters



R220.53-12 – Insert selection

SMG	Part No.	a_p	f_z		
			100%	30%	10%
H8	SEMX1204AFTN-MD19 MP1500	2,5	0,18	0,20	0,30

SMG = Seco material group

f_z = mm/tooth

v_c = m/min

a_e/D_c = %

All cutting data are start values

Face milling cutters



R220.53-12 – Cutting data v_c = (m/min)

SMG	MP1020			MP1500			MP2500			MP3000			T350M			F40M		
	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%
H8	—	—	—	55	70	85	42	55	65	37	50	60	41	55	65	35	47	55

PŘÍLOHA PIV: STOPKOVÁ FRÉZA Ø20 – BOKY [29]

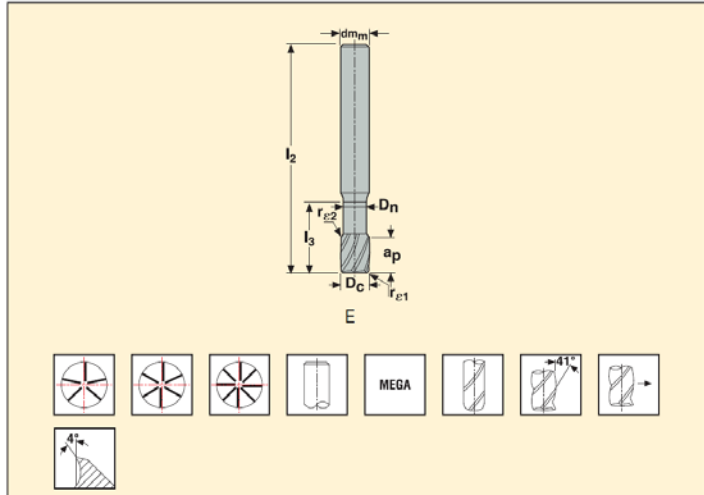
JABRO® – HSM/TORNADO – JH930



JH930 – Solid carbide end mill – cylindrical – corner radius – multi flute



Tolerances:
 $dm_m = h5$
 $D_c = 0,02/-0,04 \text{ mm}$
 $r_{e1} = +/-0,05 \text{ mm}$



Part No.	Length index	Tool shape	Dimensions in mm							r_{e1}	r_{e2}	z_n
			D_c	dm_m	a_p	l_2	l_3	D_n				
930200R050-MEGA	2	E	20	20	30	100	38	19,2	0,5	4	8	

JABRO® – HSM/TORNADO – JH930



Cutting data – JH930 Side milling roughing $a_e/D_c = 0,03$

SMG		a_p / D_c	f_z						v_c
			6	8	10	12	16	20	
H8	M/A	1,0	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,10	255 (235 – 275)

For cutting data recalculations, see page 330-338

SMG = Seco material group
 Coolant = A=air D=dry E=emulsion M=mist spray
 $v_c = \text{m/min}$
 $f_z = \text{mm}$
 $a_p (\text{mm})/D_c (\text{mm}) = \text{factor}$
 $a_e (\text{mm})/D_c (\text{mm}) = \text{factor}$
 All cutting data are target values

JABRO® – HSM/TORNADO – JH930



Cutting data – JH930 Side milling finishing $a_e/D_c = 0,02$

SMG		a_p / D_c	f_z						v_c
			6	8	10	12	16	20	
H8	M/A	0,70	0,017	0,028	0,034	0,040	0,050	0,060	285 (340 – 230)

For cutting data recalculations, see page 330-338

SMG = Seco material group
 Coolant = A=air D=dry E=emulsion M=mist spray
 $v_c = \text{m/min}$
 $f_z = \text{mm}$
 $a_p (\text{mm})/D_c (\text{mm}) = \text{factor}$
 $a_e (\text{mm})/D_c (\text{mm}) = \text{factor}$
 All cutting data are target values

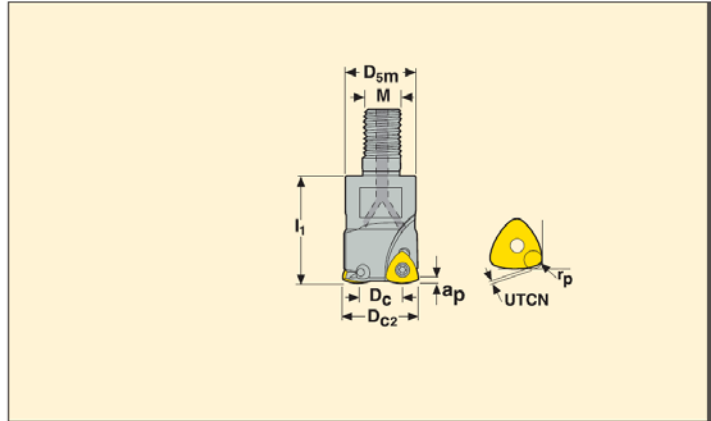
PŘÍLOHA PV: FRÉZA Ø32 S VBD – HRUBOVÁNÍ [29]

High feed milling cutters



R217.21

High feed cutters



- For insert selection and cutting data recommendations, see page(s) 420-427
- For complete insert programme, see page(s) 645

Part No.	Type of mounting	Dimensions in mm										α° max				Insert
		a_p	D_{c2}	D_c	D_{5m}	d_{m_m}	M	l_1	UTCN	r_p						
R217.21 -1632.RE-R125.3A	Combimaster	1,0	32	21,21	30	—	M16	40	0,61	1,74	3,7	3	0,3	19700	218.19-125	

High feed milling cutters



R217/220.21-125 – Insert selection

SMG		a_p	f_z		
			100%	70%	30%
H8	218.19-125T-T3-MD10 MH1000	0,55	0,65	0,65	0,75

SMG = Seco material group

f_z = mm/tooth

v_c = m/min

a_e/D_c = %

All cutting data are start values

R217/220.21-125 – Cutting data v_c = (m/min)

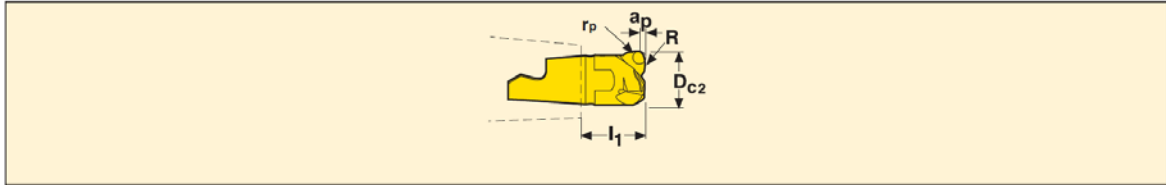
SMG	MM4500			MS2050			MS2500			MH1000			H25		
	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%
H8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	55	70	—	—	—

PŘÍLOHA PVI: MINIMASTER FRÉZA Ø16 [29]

Minimaster – Inserts MM16



High feed



Insert type	Part No.	Dimensions in mm						Z _c *	Wrench	Coated			
		a _p	D _{c2}	r _p	R	l ₁	Grades						
							T60M			F15M	F30M	F40M	
3-flute	MM16 -16.60-HF-MD12	0,6	16	1,2	10	17,24	3	MM0416			■		

Minimaster – MM16 cutting data



MM16 High-Feed Insert selection

SMG	Part No.	a _p	f _z			
			100%	70%	30%	20%
H8	MM16-16.60-HF-MD12 F30M	0,28	0,70	0,70	0,75	0,90

SMG = Seco material group

f_z = mm/tooth

v_c = m/min

a_e/D_c = %

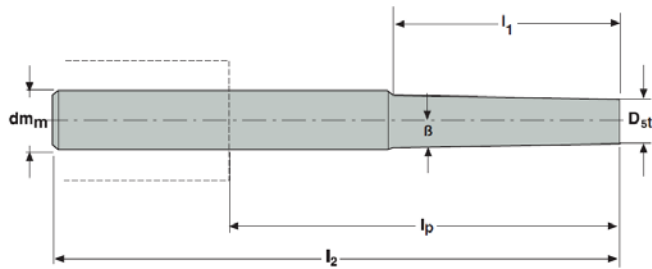
All cutting data are start values

Minimaster – MM16 cutting data



MM16 High-Feed Cutting data

SMG	F30M			
	100%	70%	30%	20%
H8	36	43	50	55



Minimaster – Shanks MM16



MM16

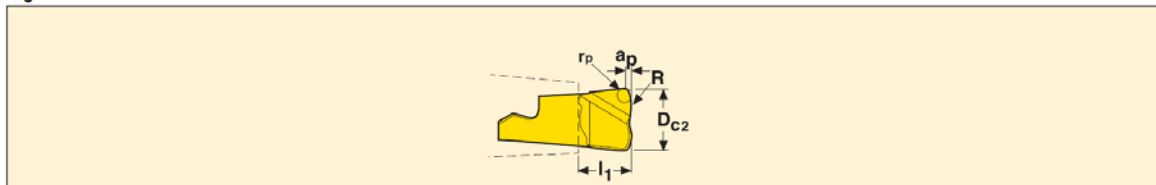
Design	Part No.	Connecting size	Dimensions in mm						 KG	Spare part no.
			D _{st}	dm _m	β°	l ₁	l ₂	l _p		
1	MM16- 20070.0-0000	MM16	15,2	20	60	0	70	20	0,2	1
3	MM16- 16070.0-0011M	MM16	15,2	16	0	11,3	70	22	0,1	1
4	MM16- 20080.0-0011DS	MM16	15,2	20	0	11,3	80	30	0,4	2
2	MM16- 25100.3-0019	MM16	15,2	25	0	19	100	94	0,3	3
2	20150.0-0038DS	MM16	15,2	20	0	38	150	100	0,6	2
2	20160.0-0076DS	MM16	15,2	20	0	76	160	110	0,6	2
2	16150.0-0080DS	MM16	15,2	16	0	80	150	102	0,4	2
5	MM16- 20115.3-3045	MM16	15,2	20	3	45,8	115	65	0,2	3
5	25115.3-3035	MM16	15,2	25	3	35	115	59	0,3	3
6	MM16- 25170.3-5056	MM16	15,2	25	5	56	170	114	0,6	4
7	MM16- 32250.0-10047	MM16	15,2	32	10	47,6	250	190	1,3	4
8	MM16- 20130.0-1045DS	MM16	15,2	20	1	45	130	80	0,5	2
8	20190.0-1055M	MM16	15,2	20	1	55	190	140	0,4	5
8	25170.0-1060	MM16	19	25	1	60	170	114	0,5	5
8	20190.0-1075M	MM16	15,2	20	1	75	190	140	0,4	5
8	20190.0-1075DS	MM16	15,2	20	1	75	190	140	0,8	2
8	20190.0-1095M	MM16	15,2	20	1	95	190	140	0,4	6
8	20190.0-1095DS	MM16	15,2	20	1	95	190	140	0,8	2
9*	MM16- 25250.0-1075DS	MM16	15,2	25	1	75	250	194	1,6	2

PŘÍLOHA PVII: MINIMASTER FRÉZA Ø10 [29]

Minimaster – Inserts MM10



High feed



Insert type	Part No.	Dimensions in mm							Z _c *	Wrench	Coated			
		a _p	D _{c2}	r _p	R	l ₁	Grades							
							T60M	F15M			F30M	F40M		
2-flute	MM10 -10.50-HF-MD08	0,44	10	1,13	5	8,5	2	MM0612		■	■			

Minimaster – MM10 cutting data



MM10 High-Feed Insert selection

SMG	Part No.	a _p	f _z			
			100%	70%	30%	20%
H8	MM10-10.50-HF-MD08 F15M	0,20	0,38	0,38	0,42	0,50

SMG = Seco material group

f_z = mm/tooth

v_c = m/min

a_e/D_c = %

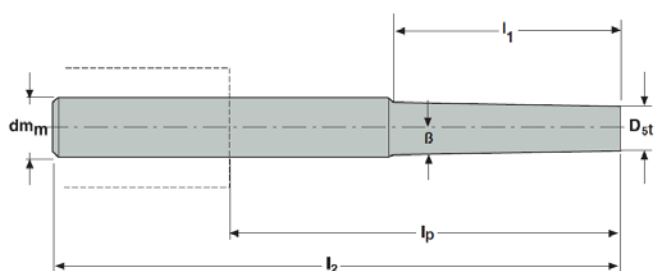
All cutting data are start values

Minimaster – MM10 cutting data



MM10 High-Feed Cutting data

SMG	F15M				F30M			
	100%	70%	30%	20%	100%	70%	30%	20%
H8	39	47	55	60	37	44	50	55



Minimaster – Shanks MM10



MM10

Design	Part No.	Connecting size	Dimensions in mm						KG	Spare part no.
			D _{st}	dm _m	β°	l ₁	l ₂	l _p		
1	MM10- 16065.0-0000	MM10	9,5	16	60	0	65	17	0,1	1
3	MM10- 10045.0-0007	MM10	9,6	10	0	7	45	7	0,1	2
4	MM10- 12060.0-0007DS	MM10	9,6	12	0	7	60	15	0,1	3
2	MM10- 20075.3-0010	MM10	9,5	20	0	10	75	25	0,2	4
2	16085.0-0020DS	MM10	9,5	16	0	20	85	37	0,3	3
2	16105.0-0040DS	MM10	9,5	16	0	40	105	57	0,3	3
5	MM10- 20085.3-3023	MM10	9,5	20	3	23	85	35	0,2	4
5	12085.0-3024DS	MM10	9,5	12	3	23,8	85	40	0,2	3
6	MM10- 20140.3-5060	MM10	9,5	20	5	60	140	90	0,3	5
7	MM10- 32250.0-10063	MM10	9,5	32	10	63,8	250	190	1,3	5
8	MM10- 16160.0-1035M	MM10	9,5	16	1	35	160	112	0,2	6
8	12100.0-1035DS	MM10	9,5	12	1	35	100	55	0,2	3
8	14120.0-1050DS	MM10	9,5	14	1	50	120	75	0,3	3
8	16160.0-1055M	MM10	9,5	16	1	55	160	112	0,2	7
8	16160.0-1055DS	MM10	9,5	16	1	55	160	112	0,4	3
8	16160.0-1075M	MM10	9,5	16	1	75	160	112	0,2	7
8	16160.0-1075DS	MM10	9,5	16	1	75	160	112	0,4	3
9*	MM10- 20250.0-1055DS	MM10	9,5	20	1	55	250	200	1,0	3

PŘÍLOHA PVIII: STOPKOVÁ FRÉZA Ø6 [29]

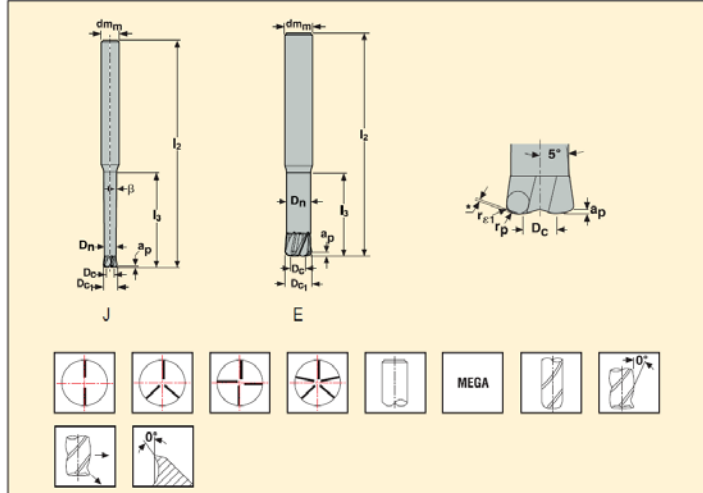
JABRO® – HFM – JHF980



JHF980 – Solid carbide end mill – cylindrical – high feed geometry



Tolerances:
 $dm_m = h5$
 $D_c = 0,02/-0,04$ mm
 $r_{c1} = +/-0,05$ mm
 $\alpha^\circ =$ collision angle



Part No.	Length index	Tool shape	Dimensions in mm								r_{c1}	r_p	UTCN	α°	β	z_n	Cylindrical
			D_{c1}	D_c	dm_m	a_p	l_2	l_3	D_n								
980TL060-MEGA	4	J	6	3	8	0,35	100	42	5,2	0,5	0,778	0,150	1,5	0,5	2	■	

JABRO® – HFM – JHF980



Cutting data – JHF980 Slotting

SMG	Coolant	a_p / D_{c1}	f_z										v_c	
			1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12		
H8	M/A/D	0,055	0,055	0,065	0,075	0,090	0,11	0,13	0,15	0,20	0,26	0,30	100 (125 – 90)	

For cutting data recalculations, see page 330-338

SMG = Seco material group
 Coolant = A=air D=dry E=emulsion M=mist spray
 $v_c =$ m/min
 $f_z =$ mm
 a_p (mm)/ D_c (mm)= factor
 All cutting data are target values

PŘÍLOHA PX: FRÉZA NA SRÁŽENÍ HRAN [29]

Chamfer milling cutters

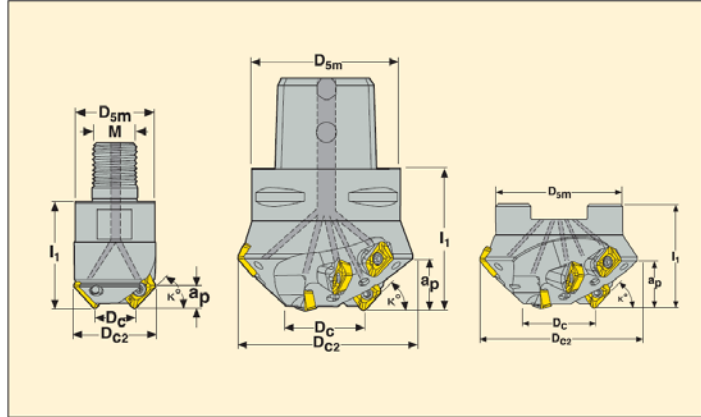


R217/220.49-XO12

Chamfer angle 30° / 45° / 60° and 75°



- For insert selection and cutting data recommendations, see page(s) 577-578
- For complete insert programme, see page(s) 641



Part No.	Type of mounting	K	Dimensions in mm								Zc*				Insert
			ap	Dc2	Dc	Dsm	dm	I1	M						
R217.49 -1620.RE-XO12-45.3A	Combimaster	45 °	7	34,8	20	30	–	40	M16	3	3	0,3	17400	XO..1204	

Chamfer milling cutters



R217/220.49-XO12 – Insert selection

SMG		fz		
		100%	30%	10%
H5	XOMX120408TR-MD13 MP1500	0,14	0,16	0,24
H11	XOMX120408TR-MD13 MP3000	0,14	0,16	0,24
H12	XOMX120408TR-MD13 MP1500	0,14	0,16	0,24

SMG = Seco material group

fz = mm/tooth

vc = m/min

ae/Dc = %

All cutting data are start values

Chamfer milling cutters



R217/220.49-XO12 – Cutting data vc = (m/min)

SMG	MP1500			MP2500			MP3000			T350M			F40M		
	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%	100%	30%	10%
H8	55	75	95	45	60	80	44	60	75	43	60	75	38	50	65

PŘÍLOHA PXI: DRŽÁKY SECO-CAPTO EPB 5600 [29]

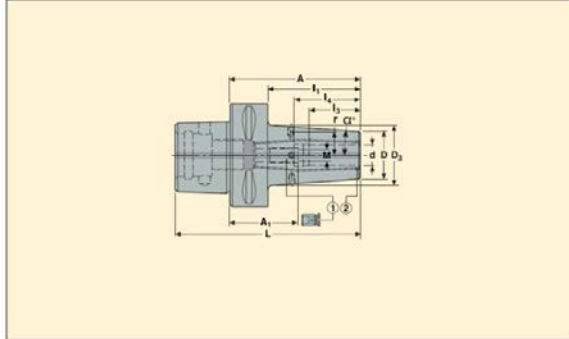
EPB – Seco-Capto™ tool holders



EPB 5600 – Shrinkfit holders, reinforced



- Reinforced design with wider front and tapered body
- Run-out 3 µm maximum at 3xd
- With coolant supply channels towards the tool (plugged)



Seco-Capto™ shank	d mm	Part No.	Dimensions in mm										M mm	r mm	α°	Balancing	KG
			A	D	D ₃	L	I ₁	I ₃	I ₄	A ₁ min-max							
C6	12	C6-391.5600-12080	80	27	35,6	118	55	34	47,5	34-44	M10x1	13,5	4,5	1	1,09		
	16	C6-391.5600-16085	85	33	42,4	123	60	39	50,5	36-46	M12x1	17	4,5	1	1,24		
	20	C6-391.5600-20085	85	44	53,4	123	60	41	52,5	34-44	M16x1	22,5	4,5	1	1,53		
	25	C6-391.5600-25090	90*	48	58,2	128	65	47	58,5	33-43	M16x1	26	4,5	1	1,68		
C8	16	C8-391.5600-16095	95	33	42,7	143	62	39	50,5	46-56	M12x1	17	4,5	1	2,28		
	20	C8-391.5600-20095	95	44	53,7	143	62	41	52,5	44-54	M16x1	22,5	4,5	1	2,58		
	25	C8-391.5600-25100	100*	48	58,5	148	67	47	58,5	43-53	M16x1	26	4,5	1	2,40		

EPB – Monobloc holders HSK-A

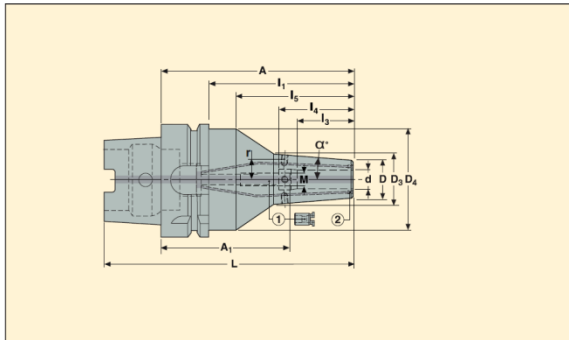


EPB 5600 – Shrinkfit holders, reinforced

HSK-A/ ISO 12164-1-A



- Reinforced design with wider front and tapered body
- Run-out 3 µm maximum at 3xd
- With coolant supply channels towards the tool (plugged)



Taper	d mm	Part No.	Dimensions in mm										M mm	r mm	α°	Balancing	KG		
			A	D	D ₃	D ₄	L	I ₁	I ₃	I ₄	I ₅	A ₁ min-max							
HSK-A63	6	E930456000670	70*	24	31	–	102	44	22	37,5	–	–	–	**	12	4,5	1	0,85	
	6	E9304560006130	130	24	32,2	52,5	162	104	22	37,5	88	94-104	M5	12	4,5	1	1,55		
	6	E9304560006160	160	24	32,2	52,5	192	134	22	37,5	118	124-134	M5	12	4,5	1	1,9		
	8	E930456000870	70*	24	31	–	102	44	26	37,5	–	–	–	**	12	4,5	1	0,85	
	8	E9304560008130	130	24	32,2	52,5	162	104	26	37,5	88	94-104	M6	12	4,5	1	1,55		
	8	E9304560008160	160	24	32,2	52,5	192	134	26	37,5	118	124-134	M6	12	4,5	1	1,9		
	10	E930456001070	70*	27	34	–	102	44	31	42,5	–	–	–	**	13,5	4,5	1	0,85	
	10	E9304560010130	130	27	35,2	52,5	162	104	31	42,5	88	89-99	M8x1	13,5	4,5	1	1,6		
	10	E9304560010160	160	27	35,2	52,5	192	134	31	42,5	118	119-129	M8x1	13,5	4,5	1	1,95		
	12	E930456001270	70*	27	33,9	–	102	44	34	46	–	–	–	**	13,5	4,5	1	0,85	
	12	E9304560012130	130	27	35,2	52,5	162	104	34	47,5	88	84-94	M10x1	13,5	4,5	1	1,6		
	12	E9304560012160	160	27	35,2	52,5	192	134	34	47,5	118	114-124	M10x1	13,5	4,5	1	1,95		
	16	E930456001675	75*	33	40,8	–	107	49	39	50,5	–	–	–	**	17	4,5	1	1,0	
	16	E9304560016130	130	33	42,2	52,5	162	104	39	50,5	88	81-91	M12x1	17	4,5	1	1,7		
	16	E9304560016160	160	33	42,2	52,5	192	134	39	50,5	118	111-121	M12x1	17	4,5	1	2,15		
	20	E930456002075	75*	44	51,7	–	107	49	41	50,5	–	–	–	**	22,5	4,5	1	1,19	
	20	E9304560020130	130	44	57,6	52,5	162	104	41	52,5	88	79-89	M16x1	22,5	4,5	1	2,12		
	20	E9304560020160	160	44	62	52,5	192	134	41	52,5	118	109-119	M16x1	22,5	4,5	1	2,74		
	25	E930456002585	85*	48	56,5	52,5	117	59	47	58,5	43	–	–	**	–	***	4,5	1	1,41
	25	E9304560025130	130	48	63	52,5	162	104	47	58,5	88	73-83	M16x1	26	4,5	1	2,34		
	25	E9304560025160	160	48	63	52,5	192	134	47	58,5	118	103-113	M16x1	26	4,5	1	3,04		
	32	E930456003285	85*	48	56,5	52,5	117	59	51	61	43	–	–	**	–	***	4,5	1	1,25

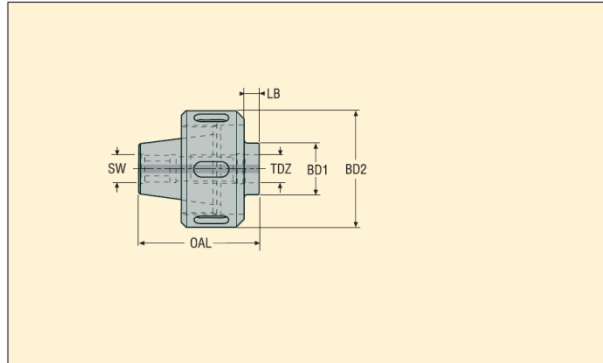
PŘÍLOHA PXII: ADAPTÉR COMBIMASTER EPB 5820 [29]

Tooling – Combimaster adapters



EPB 5820 – ER to Combimaster holders

ER/ISO 15488



- Ready to use assembly
- To equip ER machine spindles or ER collet chucks

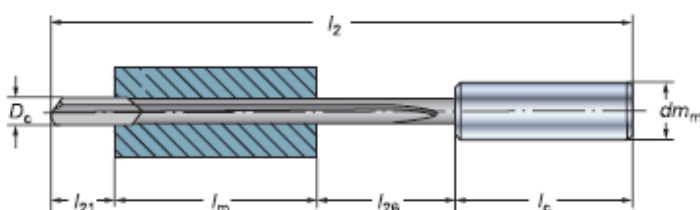
Machine side	Workpiece side	Part No.	Dimensions in mm					KG
			OAL	LB	BD1	BD2	SW	
ER 25	M8	BE025582008005	39,5	5	13,5	41,6	10	0,19
	M10	BE025582010005	39,5	5	18,5	41,6	10	0,20
	M12	BE025582012005	39,5	5	23,0	41,6	10	0,20
ER 32	M10	BE032582010005	46,5	5	18,5	49,6	10	0,34
	M12	BE032582012005	46,5	5	23,0	49,6	10	0,40
	M16	BE032582016005	46,5	5	30,0	49,6	10	0,40
ER 40	M12	BE040582012005	52,5	5	23,0	63,0	10	0,63
	M16	BE040582016005	52,5	5	30,0	63,0	10	0,62
	M20	BE040582020005	52,5	5	36,5	63,0	10	0,70

PŘÍLOHA PXIII: DĚLOVÝ VRTÁK [30]

VRTÁNÍ HLUBOKÝCH DĚR Dělové vrtání

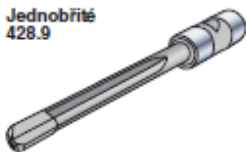
Dělové vrtáky

Hlavy z masivního karbidu 428.9 a 428.2



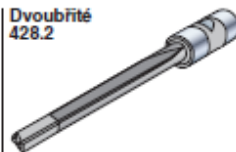
l_2 = Celková délka s unašečem nebo bez něj
 D_c = Průměr vrtáku
 l_{21} = Přídavek na přestřování
 l_m = Hloubka díry
 l_{26} = Minimální vzdálenost pro odvod třísek
 l_c = Délka unašeče
 dm = Průměr unašeče

Jednobřitý
428.9



Průměr vrtáku: 0,98–40,50 mm
 Hloubka díry: $\leq 100 \times$ průměr
 Tolerance díry: IT9
 Jakost povrchu: R_a 0,1–3,0 μ m
 Chladicí kapalina: Čistý olej
 Tolerance: $D_c = h5$
 $dm_m = d9$

Dvoubřitý
428.2



Průměr vrtáku: 5,00–26,50 mm
 Hloubka díry: $\leq 100 \times$ průměr (Poznámka! $l_{2 \max} = 1250$ mm)
 Tolerance díry: IT10
 Jakost povrchu: R_a 1,0–4,0 μ m
 Chladicí kapalina: Čistý olej
 Tolerance: $D_c = h5$
 $dm_m = d9$

Rozsah průměru, mm	Objednávací kód	Rozměry, mm		Rozsah průměru, mm	Objednávací kód	Rozměry, mm	
D_c	P M K N S	l_{21}	l_{26}	D_c	P K N	l_{21}	l_{26}
0,98– 1,84	428.9- xxxxx-AAAA-BBB	8	25	5,00– 7,05	428.2- xxxxx-AAAA-BBB	23	30
1,85– 2,60	xxxxx-AAAA-BBB	10	25	7,06– 8,55	xxxxx-AAAA-BBB	25	40
2,61– 3,35	xxxxx-AAAA-BBB	13	25	8,56–13,05	xxxxx-AAAA-BBB	25	50
3,36– 4,05	xxxxx-AAAA-BBB	13	30	13,06–18,05	xxxxx-AAAA-BBB	25	55
4,06– 5,15	xxxxx-AAAA-BBB	19	30	18,06–23,00	xxxxx-AAAA-BBB	30	65
5,16– 7,05	xxxxx-AAAA-BBB	23	30	23,01–26,50	xxxxx-AAAA-BBB	35	65
7,06– 8,55	xxxxx-AAAA-BBB	25	40				
8,56–13,05	xxxxx-AAAA-BBB	25	50				
13,06–18,05	xxxxx-AAAA-BBB	25	55				
18,06–23,00	xxxxx-AAAA-BBB	30	65				
23,01–26,50	xxxxx-AAAA-BBB	35	65				
26,51–32,00	xxxxx-AAAA-BBB	40	80				
32,01–40,50	xxxxx-AAAA-BBB	45	90				

Při objednávání dělových vrtáků je nutno uvést následující údaje:

- Průměr vrtáku, xxxxx v kódu objednávky.
- Celkovou délku l_2 , AAAA v kódu objednávky.
- V případě potřeby číslo unašeče, BBB v kódu objednávky.
- Vrtaný materiál.

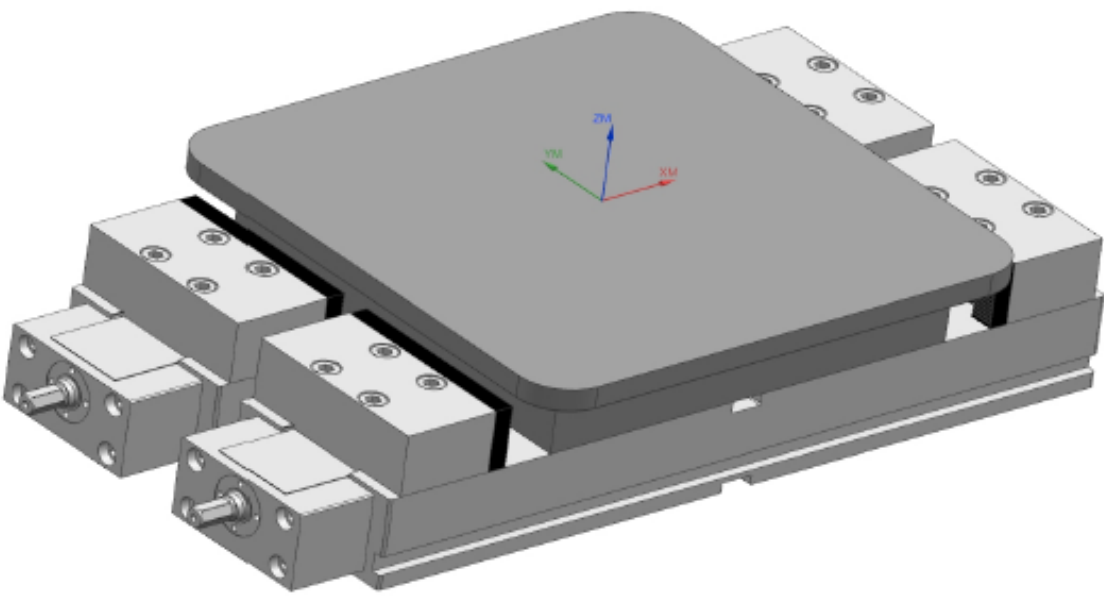
Přestřování viz strana 143.

Příklad objednávky dělového vrtáku s hlavou z monolitního slitutého karbidu D_c 1,90 mm, délky 250 mm s unašečem č. 002 pro vrtání korozivzdorné oceli:

2 ks 428.9-01900-0250-002 s hlavou z monolitního slitutého karbidu pro korozivzdornou ocel.

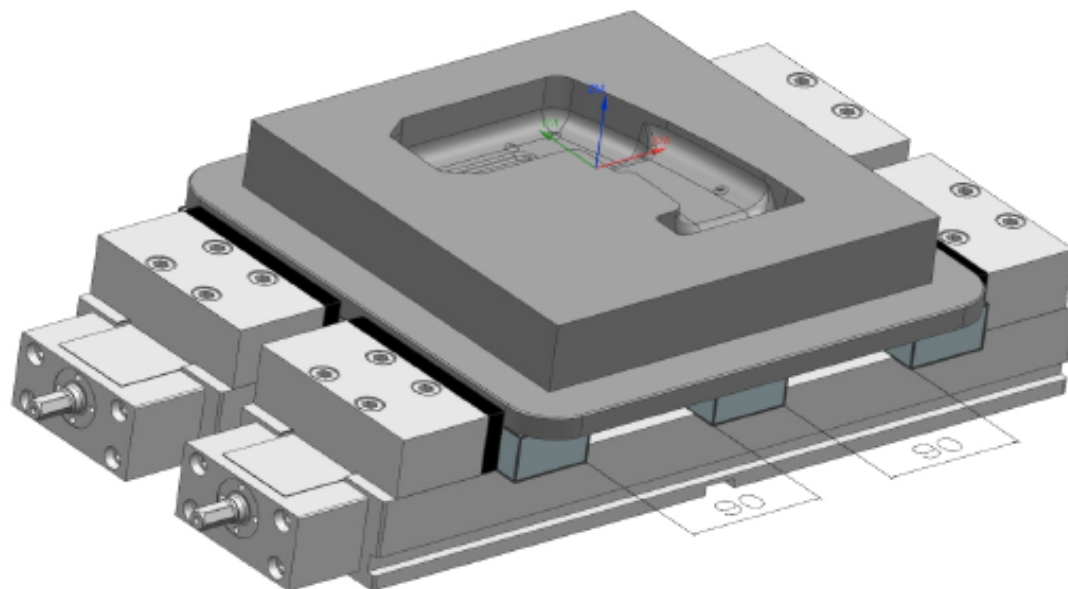
Jiné rozměry se dodávají na objednávku.

PŘÍLOHA PXIV: SEŘIZOVACÍ LISTY

SEŘIZOVACÍ LIST				
VYPRACOVAL: NECHVÁTAL		STRANA: 1		
DATUM: 10.4.2017		POČET STRAN: 2		
NÁZEV DÍLU: DUTINA KRYTU VRT	CNC PODPROGRAM: 1_UPNUTI			
CNC STROJ: HERMLE C 42 U	POLOTOVAR (mm): 332 x 332 x 62			
ŘÍDICÍ SYSTÉM: FANUC	POČET KUSŮ: 1			
CNC PROGRAM: VLOZKA_VRT	MATERIÁL: 1.2162 (21MnCr5)			
POČET OPERACÍ: 2	HMOTNOST: 34,8 kg			
POZN.: Začátek programu je dle bodu výměny nástroje CNC stroje				
	X	Y	Z	
NULOVÝ BOD	165	165	60	
ZAČÁTEK PROGRAMU	X	Y	Z	
	UPINACÍ PŘÍPRAVEK			
1	Multi upinací svěrák SCHUNK KSD C 125-490			
2	Multi upinací svěrák SCHUNK KSD C 125-490			
3				
				

SEŘIZOVACÍ LIST

VYPRACOVAL:	NECHVÁTAL	STRANA:	2
DATUM:	10.4.2017	POČET STRAN:	2
NÁZEV DÍLU:	DUTINA KRYTU VRT	CNC PODPROGRAM:	2_UPNUTI
CNC STROJ:	HERMLE C 42 U	POLOTOVAR (mm):	výstup z 1_UPNUTI
ŘÍDICÍ SYSTÉM:	FANUC	POČET KUSŮ:	1
CNC PROGRAM:	VLOZKA_VRT	MATERIÁL:	1.2162 (21MnCr5)
POČET OPERACÍ:	11	HMOTNOST:	34,8 kg
POZN.:	Začátek programu je dle bodu výměny nástroje CNC stroje		
	X	Y	Z
NULOVÝ BOD	165	165	60
ZAČÁTEK PROGRAMU	X	Y	Z
	UPÍNAČÍ PŘÍPRAVEK		
1	Multi upínací svěrák SCHUNK KSD C 125-490		
2	Multi upínací svěrák SCHUNK KSD C 125-490		
3	Podložka do svěráku 30 x 50 x 300 mm - 3 ks (rozteč 90 mm - mezera)		



PŘÍLOHA PXV: VÝSLEDKY VERICUT - 1. VAR. OPTIMALIZACE G-KÓDU HRUBOVÁNÍ



Verified By:	A Programmer
Date:	28.4.2017
Time:	9:45:25

Errors	0	Cycle Time	2:19:27
Warnings	1	Optimized Cycle Time	2:19:27
MIN Feed	780	Cutting Distance Traveled	455419,831
MAX Feed	20000	Volume Removal	439943,2119

VERICUT File Summary

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hemle_C42.mch	Hemle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctl	fan15m.ctl
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp

Tool Use Graph



Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
3			32	65	20	0 0 70	0	1	0:44:02	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:32:37	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:38:49	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:23:59	96514,1932
	Total						0	1	2:19:27	455419,831

PŘÍLOHA PXVI: VÝSLEDKY VERICUT - 2. VAR. OPTIMALIZACE G-KÓDU HRUBOVÁNÍ



Verified By:	A Programmer
Date:	28.4.2017
Time:	10:05:29

Errors	0	Cycle Time	2:14:51
Warnings	1	Optimized Cycle Time	2:14:51
MIN Feed	969	Cutting Distance Traveled	455419,831
MAX Feed	20000	Volume Removal	439943,2119

VERICUT File Summary

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_BZ\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hemle_C42.mch	Hemle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctl	fan15m.ctl
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_BZ\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp

Tool Use Graph



Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
3			32	65	20	0 0 70	0	1	0:40:49	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:31:53	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:38:24	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:23:45	96514,1932
	Total						0	1	2:14:51	455419,831

PŘÍLOHA PXVII: VÝSLEDKY VERICUT – PŮVODNÍ G-KÓD HRUBOVÁNÍ



Verified By:	A Programmer
Date:	28.4.2017
Time:	9:36:54

Errors	0	Cycle Time	2:58:25
Warnings	1	Optimized Cycle Time	2:58:25
MIN Feed	969	Cutting Distance Traveled	455419,831
MAX Feed	969	Volume Removal	439943,2119

VERICUT File Summary

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hermle_C42.mch	Hermle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctl	fan15m.ctl
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE _vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti
	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp

Tool Use Graph



Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
3			32	65	20	0 0 70	0	1	0:47:12	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:45:22	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:54:49	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:31:02	96514,1932
	Total						0	1	2:58:25	455419,831

PŘÍLOHA PXVIII: VÝSLEDKY VERICUT - 1. VAR.

OPTIMALIZOVANÉHO NC PROGRAMU



Verified By:	A Programmer
Date:	30.4.2017
Time:	12:56:02

Errors	0	Cycle Time	5:22:20
Warnings	1	Optimized Cycle Time	5:22:20
MIN Feed	413	Cutting Distance Traveled	874793,3202
MAX Feed	413	Volume Removal	2312360,0009

VERICUT File Summary

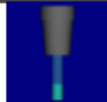
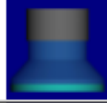
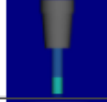
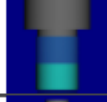

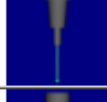
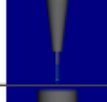
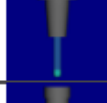

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\OPTIMALIZACE\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hemle_C42.mch	Hemle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctf	fan15m.ctf
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\zivotnost\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp

Tool Use Graph


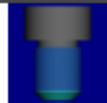


Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
1			75	40	6	0 0 65	0	1	0:15:33	7601,6524

2			20	100	30	0 0 165	0	0	0:04:07	13220,2948
1			75	40	6	0 0 65	0	0	0:15:32	7554,5113
2			20	100	30	0 0 165	0	0	1:03:34	151859,3448
3			32	65	20	0 0 70	0	0	0:44:02	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:32:37	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:38:49	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:23:59	96514,1932
7			12	60	12	0 0 140	0	0	0:23:21	67507,0477
8			6	45	6	0 0 214	0	0	0:52:28	152162,5094

Page 1 of 2

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
9			2	44	4	0 0 213	0	0	0:06:27	17558,5689
10			34,8	40	8	0 0 70	0	0	0:01:52	1909,56
Total							0	1	5:22:20	874793,3202

Page 2 of 2

PŘÍLOHA PXIX: VÝSLEDKY VERICUT - 2. VAR.

OPTIMALIZOVANÉHO NC PROGRAMU



Verified By:	A Programmer
Date:	30.4.2017
Time:	13:02:08

Errors	0	Cycle Time	5:17:45
Warnings	1	Optimized Cycle Time	5:17:45
MIN Feed	413	Cutting Distance Traveled	874793,3202
MAX Feed	413	Volume Removal	2312360,0009

VERICUT File Summary

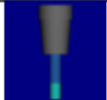

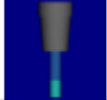
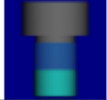
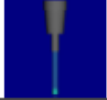
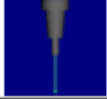
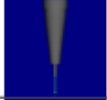
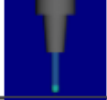

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\OPTIMALIZACE\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hemle_C42.mch	Hemle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctf	fan15m.ctf
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\vykonost\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.opti
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp

Tool Use Graph


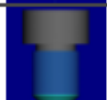


Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
1			75	40	6	0 0 65	0	1	0:15:33	7601,6524

2			20	100	30	0 0 165	0	0	0:04:07	13220,2948
1			75	40	6	0 0 65	0	0	0:15:32	7554,5113
2			20	100	30	0 0 165	0	0	1:03:34	151859,3448
3			32	65	20	0 0 70	0	0	0:40:49	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:31:53	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:38:24	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:23:45	96514,1932
7			12	60	12	0 0 140	0	0	0:23:21	67507,0477
8			6	45	6	0 0 214	0	0	0:52:28	152162,5094

Page 1 of 2

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
9			2	44	4	0 0 213	0	0	0:06:27	17558,5689
10			34,8	40	8	0 0 70	0	0	0:01:52	1909,56
	Total						0	1	5:17:45	874793,3202

Page 2 of 2

PŘÍLOHA PXX: VÝSLEDKY VERICUT – PŮVODNÍ NC PROGRAM



Verified By:	A Programmer
Date:	30.4.2017
Time:	13:08:07

Errors	0	Cycle Time	6:01:18
Warnings	1	Optimized Cycle Time	6:01:18
MIN Feed	413	Cutting Distance Traveled	874793,3202
MAX Feed	413	Volume Removal	2312360,0009

VERICUT File Summary

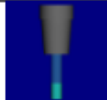

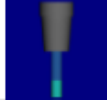
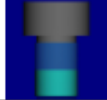
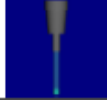
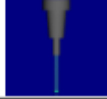

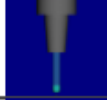

File Type	Full Path	File Name
Project File	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\OPTIMALIZACE\OPTIMALIZACE\VLOZKA_VRT.vcproject	VLOZKA_VRT.vcproject
Machine File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Hermle_C42.mch	Hermle_C42.mch
Control File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\fan15m.ctf	fan15m.ctf
Tool Library File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE\Opti_Plzen_TPV.tls	Opti_Plzen_TPV.tls
Design Model File	C:\Users\lubo012\Desktop\OPTIMALIZACE_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn	_vlozka_forma_kryt_vrt_step_hl_stp_1.dsn
NC Program	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_1.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_2.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_3.ptp
	C:\Users\lubo012\Desktop\dp1\DIPLOMOVA_PRACE_HLAVNI\programy\puvodni\VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp	VLOZKA_VRT_OPTIMALIZACE_4.ptp

Tool Use Graph


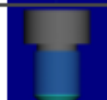


Tool Summary

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
1			75	40	6	0 0 65	0	1	0:15:33	7601,6524

2			20	100	30	0 0 165	0	0	0:04:07	13220,2948
1			75	40	6	0 0 65	0	0	0:15:32	7554,5113
2			20	100	30	0 0 165	0	0	1:03:34	151859,3448
3			32	65	20	0 0 70	0	0	0:47:12	49343,5431
4			16	112,24	17,24	0 0 242,24	0	0	0:45:22	128580,5312
5			10	83,5	8,5	0 0 205,5	0	0	0:54:49	180981,5634
6			6	42	5	0 0 231	0	0	0:31:02	96514,1932
7			12	60	12	0 0 140	0	0	0:23:21	67507,0477
8			6	45	6	0 0 214	0	0	0:52:28	152162,5094

Page 1 of 2

Tool ID	Tool Thumbnail	Tool Description	Cutter Diameter	Cutter Height	Flute Length	Gage Offset	Number of Errors	Number of Warnings	Original Time	Distance
9			2	44	4	0 0 213	0	0	0:06:27	17558,5689
10			34,8	40	8	0 0 70	0	0	0:01:52	1909,56
Total							0	1	6:01:18	874793,3202

Page 2 of 2