

CNC výroba a souřadnicové měření tvarových částí forem

Bc. David Frolo

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David FROLO**

Osobní číslo: **T14301**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **CNC výroba a souřadnicové měření tvarových částí forem**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma.
2. Programování tvarových dutin desek vstříkovací formy v programu WorkNC pro CNC frézování.
3. Návrh elektrod pro elektroerozivní obrábění a jejich naprogramování.
4. Výroba a kontrola dutin na souřadnicovém měřicím stroji.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, xv, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.
2. KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
3. SMID, P. CNC Programming Handbook: a Comprehensive Guide to Practical CNC programming. Industrial Press Inc. New York, 2003, 508 p., ISBN 0-8311-3158-6.
4. RAO, R. N. CAD/CAM: Principles and Applications. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 2006, 253 p., ISBN 0-07-058373-0.
5. BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 173 s. ISBN 978-80-7454-471-2.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2016

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buřka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: FROLO DAVID

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 5.5.2016



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 nevyjádřeně 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 nahlázení 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, apisy 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).

²⁴ 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 díla:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

V diplomové práci je popisován výrobní proces tvarových dutin u vstřikovacích forem. V teoretické části jsou uvedeny metody obrábění, způsoby programování CNC strojů a měření výrobků. V poslední kapitole teoretického zpracování diplomové práce jsou zmíněny jednotlivé části vstřikovací formy a jejich popis. V první kapitole praktické části je uveden popis vstřikovaného produktu a v dalších kapitolách jsou u vybraného dílu tvárníku aplikovány technologie frézování a elektroerozivního hloubení. Veškerá příprava frézování ocelové části tvárníku nebo grafitových elektrod, potřebných pro EDM hloubení, je tvořena pomocí programování a modelování v softwaru WorkNC. Vyrobený díl tvárníku je dále měřen pomocí tříosého stroje Wenzel LH87 a vytvořené dokumentace z programování nebo měřicí protokoly jsou uvedeny v přílohách jako výstupy z jednotlivých operací.

Klíčová slova: CNC, WorkNC, tříosé frézování, měření, CAD/CAM.

ABSTRACT

This diploma thesis describes a manufacturing proces of shaped cavities of injection molds. Machining methods, CNC programming modes and measurements of final products are mentioned in the theoretical part of the work. In the last chapter of the theoretical part are mentioned individual parts of injection molds, it also contains their description. The first chapter of the practical part is dedicated to the description of injected product. In the next chapters milling and electrified dredging are applied to the selected parts of the core. Preparations for the millig process of the steel core and graphite electrodes design, which were used for EDM dredging, are done in WorkNC software. Producted part of the core is measured by three-coordinate machine Wenzel LH87. Measurement protocols and program documentation are listed in appendix as the outputs of each operation.

Keywords: CNC, WorkNC, three-axis milling, measurement, CAD/CAM.

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení v průběhu vypracovávání této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům za veškerou podporu a rady, a taky firmě SKD Bojkovice za poskytnuté materiály a prostor k vypracování mé diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH DUTIN VSTŘIKOVACÍCH FOREM	12
1.1 FRÉZOVÁNÍ	12
1.1.1 Druhy frézování	12
1.1.2 Frézky – strojní zařízení.....	13
1.1.3 Frézy – rozdělení.....	14
1.1.4 Nástroje pro frézování složitých tvarů	14
1.2 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	16
1.2.1 Elektrojiskrové hloubení	17
1.2.1.1 Nástrojové elektrody.....	18
1.2.1.2 Výpočet hrubovací a dokončovací elektrody.....	19
1.2.2 Elektrojiskrové řezání – drátování	20
1.3 DALŠÍ TECHNOLOGIE JAKO BROUŠENÍ, VRTÁNÍ A SOUSTRUŽENÍ	21
1.3.1 Broušení	21
1.3.1.1 Rovinné broušení	22
1.3.1.2 Broušení rotačních ploch	24
1.3.1.3 Rozdělení brusek a brusných kotoučů	26
1.3.2 Vrtání.....	27
1.3.2.1 Druhy nástrojů – vrtáky	28
1.3.3 Soustružení.....	28
1.3.3.1 Druhy nástrojů – soustružnické nože.....	29
2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	30
2.1 RUČNÍ PROGRAMOVÁNÍ – ISO KÓD	31
2.1.1 Tvorba programu.....	31
2.2 STROJNÍ PROGRAMOVÁNÍ POMOCÍ CAM SYSTÉMŮ	34
2.2.1 Obráběcí strategie v CAM systému	35
2.2.2 WorkNC – rozdělení obráběcích strategií.....	36
2.2.2.1 Hrubování a dohrubování	36
2.2.2.2 Dokončování a zbytkový materiál	37
2.2.2.3 2D strategie obrábění	38
2.2.3 WorkNC – popis jednotlivých strategií obrábění.....	39
2.3 POMOCNÉ CAD SYSTÉMY	40
2.3.1 Rozdělení CAD systémů	41
2.3.2 Prostorové modely v CAD systému	42
2.4 POSTPROCESOR	43
2.4.1 Rozdělení postprocesorů	44
3 MĚŘENÍ TVAROVÝCH ČÁSTÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM	46
3.1 TYPY SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ	46
3.2 SNÍMACÍ HLAVICE	48
3.2.1 Snímací hlavice mechanické	48
3.2.2 Optické měřicí zařízení	49
3.2.3 Elektronické měřicí zařízení	50

3.3	SNÍMAČE POUŽÍVANÉ K MĚŘENÍ	50
4	ZÁSADY KONSTRUKCE A VÝROBA VSTŘIKOVACÍCH FOREM	52
4.1	NÁZVOSLOVÍ A POPIS DÍLŮ VSTŘIKOVACÍ FORMY	52
4.2	POUŽITÍ MATERIÁLŮ PŘI TVORBĚ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ FORMY	53
5	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	55
II	PRAKTICKÁ ČÁST	56
6	PROGRAMOVÁNÍ TVAROVÝCH DUTIN VSTŘIKOVACÍ FORMY	57
6.1	TVÁRNÍK – POPIS A FUNKCE OBRÁBĚNÉHO DÍLU	58
6.2	WORKNC – CAD/CAM PROSTŘEDÍ SOFTWARE	59
6.3	TVORBA POMOCNÉHO ZALEPENÍ A PLOCH NA TVÁRNÍKU V CAD	61
6.4	TVORBA FRÉZOVÁNÍ TVÁRNÍKU V CAM PROSTŘEDÍ	62
6.4.1	Založení projektu	63
6.4.2	Volba obráběcích strategií	63
6.4.3	Volba nástroje a řezných podmínek	65
6.4.4	Volba parametrů pro frézování	67
6.4.5	Úpravy obráběcích drah a korekce chybných výpočtů	68
6.4.6	Postprocessor – určení a aplikace	69
6.4.7	Konečná tvorba a popis nájezdového listu	69
7	NÁVRH ELEKTROD PRO ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ A JEJICH NAPROGRAMOVÁNÍ	71
7.1	TVORBA ELEKTRODY V CAD	71
7.1.1	Specifikace míst pro hloubení elektrodami	72
7.1.2	Popis souřadnic pro elektroerozivní hloubení	73
7.1.3	Příprava materiálu na polotovár k frézování pro elektrody	73
7.1.4	Nástroje používané k frézování elektrod	74
7.2	PROGRAMOVÁNÍ FRÉZOVÁNÍ ELEKTROD	75
7.2.1	CNC obráběcí stroj Fehlmann – Picomax 60-HSC-F k obrábění elektrod	76
8	VÝROBA A KONTROLA DUTIN NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM STROJI	78
8.1	POPIS CNC STROJNÍHO PARTU	78
8.2	POPIS EDM HLOUBICÍHO STROJE	79
8.3	SOUŘADNICOVÝ MĚŘICÍ STROJ WENZEL LH87	81
8.3.1	Software Metrosoft CM pro aplikaci měření	82
8.3.2	Postup měření tvárníku	82
8.3.3	Aplikace 2D a 3D měření u grafitových elektrod	84
9	ČASOVÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROCESU	85
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	87
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK	97
	SEZNAM PŘÍLOH	98

ÚVOD

Výroba vstříkovacích forem zahrnuje komplex složitých strojírenských technologií a operací. Lze při ní využít jak klasických, tak i speciálních obráběcích metod. Veškeré způsoby obrábění musejí být voleny s ohledem na schopnost danou pasáž vyrobit.

V případě této diplomové práce jsou v jednotlivých kapitolách popisovány technologie, které mohou být aplikovány při výrobě vstříkovacích forem. První část popisuje možnosti a principy těchto technologií, které lze k výrobě vstříkovacích forem použít a aplikovat. V následující kapitole jsou uvedeny možnosti programování CNC strojů a aplikace CAM programování. Následuje rozdělení CAD systémů a postprocesorů. V průmyslu je nezbytnou částí měření. Proto je další kapitola věnována možnosti aplikace měření pomocí souřadnicových strojů a jejich příslušenství, jako měřicí hlavy nebo snímací doteky. Problematika funkcí jednotlivých dílů a jejich použití ve vstříkovací formě bude podrobně popsána v poslední kapitole teoretické části.

Praktická část diplomové práce je následně rozdělena do čtyř hlavních částí. První část popisuje programování tvarové dutiny u vybraného dílu – tvárníku a taky prostředí používaného softwaru – WorkNC. V další části je rozebrána tvorba elektrod pro elektroerozivní obrábění, které jsou nutné pro obrobení oblastí ostrých přechodů a míst, kde se nástroje – frézy nedostanou, a tedy tento povrch neobrobí. Tyto elektrody jsou zde namodelovány a následně naprogramovány. Technologie CNC frézování a elektroerozivní obrábění jsou dokumentovány v průběhu výroby pomocí uvedených fotografií a popisků. V předposlední části je potom popsán způsob měření tvárníku dle 3D modelu a měření elektrod pomocí aplikace 2D + 3D měření, které jsou doplněny o výstupy vyhodnocených grafických protokolů. V závěrečné kapitole je zhodnocena časová a ekonomická náročnost výrobního procesu při výrobě dílu tvárníku.

V praktické části tedy popisují celkový proces výroby tvarového dílu – tvárníku, elektrod, jejich namodelování, programování, měření a následně i použití v praxi s ukázkou konečného produktu, který je vystříknut do vstříkovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH DUTIN VSTŘIKOVACÍCH FOREM

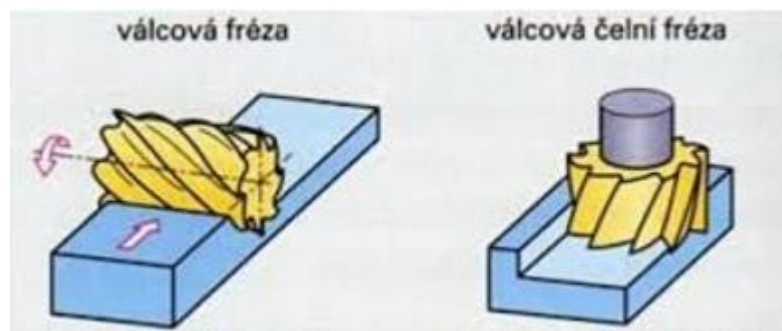
Pro komplexní výrobu vstřikovací formy je zapotřebí použít široké spektrum možných technologií obrábění. Mezi tyto technologie se řadí klasické frézování, soustružení, vrtání, CNC frézování, elektroerozivní obrábění (hloubení, drátové řezání) a dále třeba broušení (naplocho, nakulato). Stejně tak důležitou část tvoří povrchové úpravy jednotlivých dílů formy. Dané technologie obrábění jsou popisovány níže v jednotlivých pasážích.

1.1 Frézování

Frézování kovů je strojní třískové obrábění pomocí vícebřitého nástroje. Rotační pohyb, který je zde hlavním pohybem, koná nástroj a vedlejší pohyb, což je přířuv či pohyb, koná obrobek. Stroj je nazýván frézka a nástroj k frézování fréza. Frézování lze rozdělit na dva hlavní typy, a to na frézování sousledné a nesousledné. Při sousledném frézování se nástroj otáčí ve směru pohybu stolu s obrobkem a u nesousledného obrábění jde nástroj pohybem proti posuvu stolu s obrobkem. [1]

1.1.1 Druhy frézování

Z hlediska orientace osy nástroje k obráběné ploše lze popsat dva druhy frézování. Jedná se o frézování obvodem válcové frézy – obvodové frézování a čelem čelní frézy – čelní frézování.



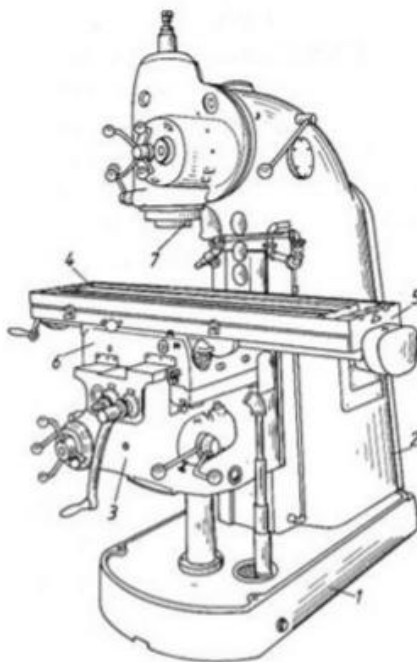
Obr. 1 Frézování obvodové a čelní [34]

Obvodové frézování – při obvodovém frézování je osa frézy rovnoběžná s obráběnou plochou. Třísky jsou tvořeny ve formě kapkovitého tvaru. Nevýhodou tohoto druhu frézování může být nerovnoměrné zatěžování frézky, čímž může dojít k vibracím a následně po frézování může být povrch obráběného kusu vlnitý. To je způsobeno záběrem jen jednoho zubu nástroje v malých hloubkách a taky nestejnou tloušťkou třísky. [2]

Čelní frézování – při čelním frézování je osa frézy kolmá k obráběné ploše. Zatížení frézky je rovnoměrné a to vede k vyšší kvalitě povrchu i větší řezné rychlosti. Třísky jsou zde stejně silné a zuby odřezávají materiál obvodem frézy. Volba frézy bývá často ovlivněna šířkou frézované plochy a volí se dvakrát větší než právě šířka frézované plochy. [2]

1.1.2 Frézky – strojní zařízení

Obráběcí stroj určený k frézování se nazývá frézka. Lze na ní obrábět rovinné, tvarové a za pomoci určitých příslušenství i rotační plochy a závity. Obráběná část se nazývá obrobek, který nevykonává zpravidla žádný rotační pohyb za účelem úběru třísky a je pevně uchycen k posuvnému stolu. Frézky lze dělit dle osy vřetene nebo dle konstrukce. Podle osy vřetene dělíme frézky na horizontální (vodorovné), vertikální (svislé) a univerzální. Dále se mohou frézky dělit dle konstrukce. Následně dle konstrukce například na konzolové, nástrojařské, portálové, odvalovací a další. Dle druhu řízení se frézky dělí na ruční, ruční s číslicovým odměřováním (NC) a počítačem řízené (CNC). [3] Názorná ukázka svislé konzolové frézky je uvedena níže na obrázku. Pro lepší popis jsou zde uvedeny čísla k jednotlivým částem stroje. Základová deska, na níž je stroj usazen, je v oblasti pod číslem 1. Dále je zde stojan – 2, konzola – 3, pracovní stůl – 4, podélný suport – 5, příčný suport – 6 a vřeteno – 7.



Obr. 2 Svislá konzolová frézka [35]

1.1.3 Frézy – rozdělení

Nástroj pro frézování se nazývá fréza. Jedná se o vícebřítý obráběcí nástroj používaný pro frézování, třískové obrábění kovů a jiných materiálů. Frézy lze rozdělit dle způsobu upnutí na stopkové a nástrčné. Stopkové se dále dělí na frézy s kuželovou stopkou a s válcovou stopkou. Oba druhy mohou být jak válcové, tak i tvarové. Dále lze frézy dělit dle tvaru hlavy, a to na kulové, válcové, stopkové, kuželové nebo tvarové. Obvodové, celoplošné a nebo kombinované frézy, jsou frézy rozděleny dle jejich obráběcích ploch. Veškeré tyto nástroje lze vyrábět frézováním, odléváním nebo taky podsoustružováním. Pro kvalitnější frézu s vyšší životností je používán především tvrdokov. Pod označení HSS je ukryta rychlořezná ocel. K výrobě lze taky použít například umělý diamant nebo slinuté karbidy pro břítý. V dnešní době je nejvíce používáno fréz s výměnnými destičkami. Ty lze vyrábět ze všech používaných řezných materiálů. Následně jsou nejčastěji břitové destičky připevněny pomocí šroubku. Používané stopkové frézy na CNC strojích jsou uvedeny na obrázku 3 níže.



Obr. 3 Stopkové frézy pro CNC stroje [36]

V případě použití každého nástroje při obrábění je třeba volit správné řezné podmínky a použití. Veškeré tyto informace lze vyhledat v konkrétním katalogu. A jsou nedílnou součástí kvalitního obrobku požadovaných ploch obrobku. [4]

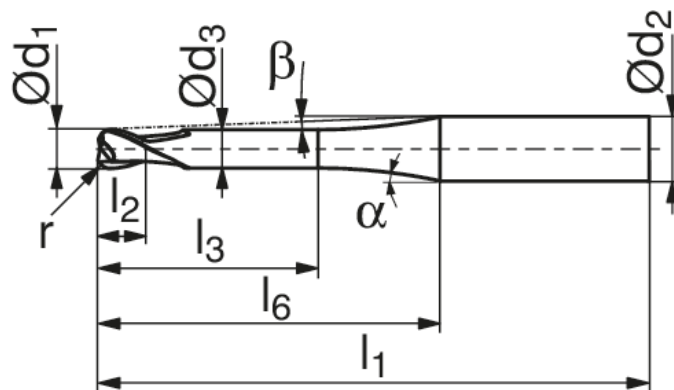
1.1.4 Nástroje pro frézování složitých tvarů

Řezný nástroj je aktivním prvkem u obrábění. U řezné části nástroje je obsažena činná část, a to břit. Ten má tvar klínu, jenž je ohraničen určitou plochou čela, po níž odchází tříška

a taky plochou hřbetu. Daná průsečnice ploch čela a hřbetu se nazývá ostří. Zpravidla řezná část nástroje obsahuje hlavní a vedlejší ostří. Stopka nástroje je ta část, za kterou je nástroj upínán s kuželovým nebo válcovým profilem. [28]

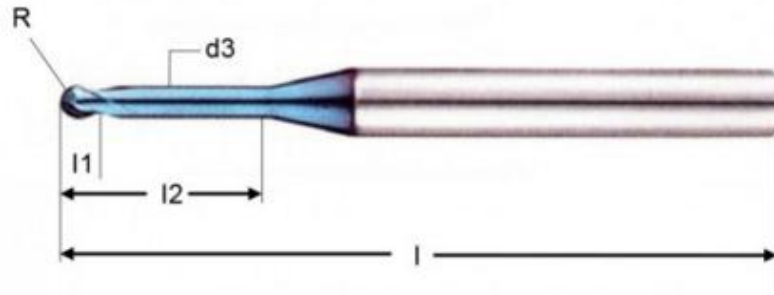
Protože u tvarových částí forem se obrábějí různé tvarové plochy, využívá se zde několika různých frézovacích nástrojů. Je zde taky využíváno několika frézovacích strategií jako například hrubovací, předdokončovací či dokončovací strategie a to ovlivňuje výběr nástroje. Lze zde používat například frézy toroidní, kopírovací neboli kulové nebo čelní válcové – ostré frézy. V případě tvrdších materiálů jsou toroidní frézy využívány i k hrubovacím strategiím. Zřídka se využívají i kopírovací – kulové frézy. [29]

Toroidní fréza je používána především pro obrábění materiálů do tvrdosti 65 HRC a je tedy doporučena pro střední a dokončovací obrábění. V profilu je vyznačována určitým rádiusovým zakončením břitu, a tudíž s ní lze obrábět i rádiusy v prostorách u kolmých stěn. Příklad toroidní frézy i s profilovým označením je uveden níže na obrázku 4. [30]



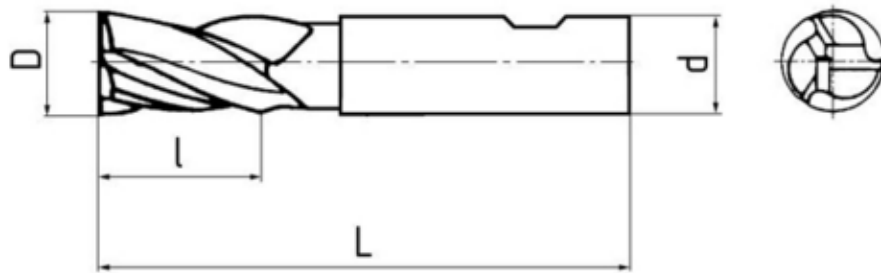
Obr. 4 Toroidní fréza [51]

Kopírovací neboli kulová fréza je volena při výrobě tvarové části a při strategii dokončování, kde je již zohledňován konečný tvar daného povrchu. Tato fréza je zakončena rádiusovým břitem a může se tedy poměrně snadno dostat do tvarově složitých pasáží na obrobku. Kopírovací fréza je vhodná pro obrábění materiálu do 65 HRC. Ukázkou tohoto nástroje lze vidět na obrázku 5. [29]



Obr. 5 Kopírovací fréza [52]

Čelní válcové neboli ostré frézy lze užívat například na obrábění prostor v ostrých přechodech. Dle povrchové úpravy frézy ji lze používat i pro obrábění kalených ocelí, a to až do 70 HRC tvrdosti. Vyznačují se velmi malým rádiusovým zakončením na břitu, proto je lze nazvat taky ostrými frézami, obr. 6. [31]



Obr. 6 Čelní válcová fréza [53]

1.2 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění se taky nazývá elektrojiskrové obrábění a bývá značeno zkratkou EDM, což je z anglického Electrical Discharge Machining. Jedná se o technologii, při níž je materiál odebrán pomocí drobných elektrických výbojů (jisker), které vznikají mezi obrobkem a elektrodou. [5] Lze tedy říct, že tato metoda využívá elektrotepelných principů úběru materiálu. Dané obrábění probíhá mezi dvěma ponořenými elektrodami v prostředí kapalného média. Toto médium musí být kapalina, která má vysoký elektrický odpor a nazývá se dielektrikum. Elektrický výboj, který proběhne mezi nástrojem a obrobkem je podmíněn napětím, kdy jeho výše je závislá na několika faktorech. Jedním z těchto faktorů je například vodivost dielektrické kapaliny, čistota dielektrika a především vzdálenost mezi elektrodami. [6] Elektroerozivní obrábění lze poměrně snadno řídit počítačem, mezi obrobkem a nástrojem nepůsobí mechanické síly a lze tak obrábět i velmi tvrdé materiály. Vyznačuje se vysokou přesností a kvalitou povrchu. Vzhledem k možnostem obrobit i velmi složité tvary jsou tyto technologie často využívány právě při

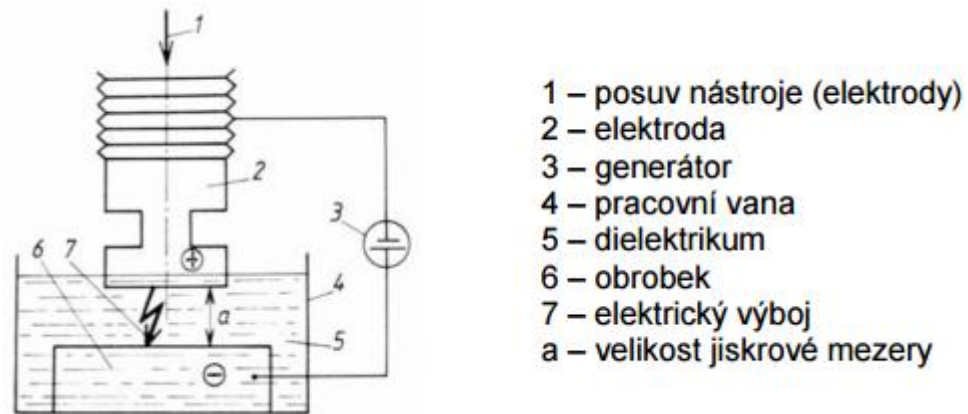
výrobě lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem, především v oblastech tvarových částí. [5] Stroje využívané k danému obrábění se nazývají elektroerzivní hloubičky a drátovky. Níže na obrázku 7 lze vidět v levé části elektroerzivní hloubičku a v pravé části elektroerzivní drátovou řezačku.



Obr. 7 Elektroerzivní stroje – hloubička [38] a drátovka [39]

1.2.1 Elektroerzivní hloubení

Při porovnání této metody s třískovým obráběním, lze říct, že elektroerzivní obrábění je ekonomicky výhodné a používané především v případě výroby u tvarově složitých dutin i při malém počtu obráběných dílů, které svou složitostí, nelze obrobit pomocí třískových metod obrábění. Hloubení materiálu lze provádět několika způsoby, a to klasickým způsobem založeným na postupném přenášení ve svislé ose Z, dále vychýlením elektrod ve vodorovných rovinách X–Y a taky planetovým hloubením. Planetové hloubení se vyznačuje rozkmitáním elektrody v orbitálním směru a lze tak hloubit i těžce přístupná místa. Zvláštní případ příjezdu pinoly s elektrodou je vyznačován pomocí šikmého nájezdu. Jedná se o místa, kde se jinak nelze dostat z určitého důvodu, například zákoutí a jiných překážek v cestě elektrody. Princip klasického elektroerzivního hloubení je znázorněn níže na obrázku. [6]

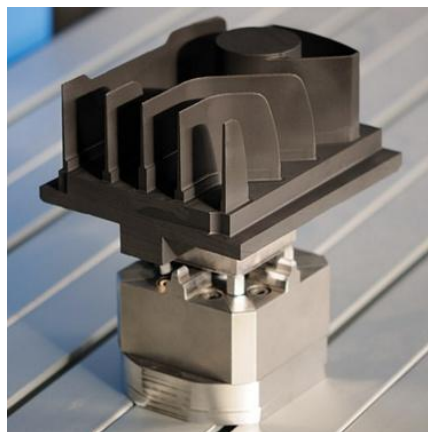


Obr. 8 Princip elektrojiskrového obrábění [7]

1.2.1.1 Nástrojové elektrody

U výroby každé elektrody je nutno zohledňovat především to, jaký druh materiálu bude daná elektroda obrábět. To znamená, že velikost úbytku materiálu z obrobku, je ovlivnitelná více faktory a to například dobou trvání impulsu, velikostí pracovního proudu a taky polaritou. Lze dosahovat jak desítek procent úběru, tak i desetin procenta úběru. [6] „Při dokončovacím obrábění bývá opotřebení nástroje zpravidla vyšší.“ [6] Veškeré výše zmiňované údaje a mnohé další jsou uvedeny v materiálech jednotlivých obráběcích strojů. Vhodnými materiály pro výrobu elektrod jsou mosaz, wolfram, ocel, slitiny hliníku, wolframovou měď (slitina 50 – 80% Cu), měď, a často používaný je grafit. Ten se vyznačuje dobrou obrobiteľností, avšak při třiskovém obrábění elektrod je nevýhodou prašnost a nutnost dovozu polotovarů do ČR.

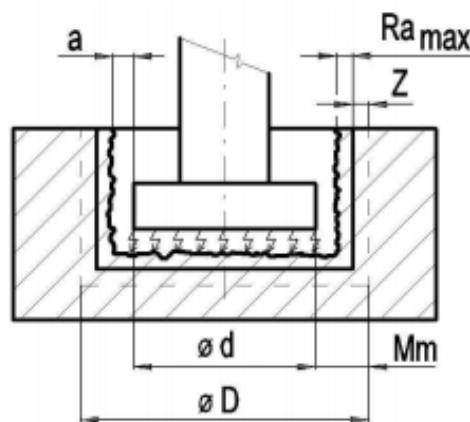
Kovové nástrojové elektrody mohou být vyráběny litím, práškovou metalurgií, stříkáním kovu, zápustkovým kováním nebo lisováním, stříkáním kovu nebo často třiskovým obráběním. Obrázek 9 zobrazuje grafitovou elektrodu.



Obr. 9 Grafitová elektroda [40]

1.2.1.2 Výpočet hrubovací a dokončovací elektrody

Při použití elektrod u elektrojiskrového hloubení je důležité určení velikosti daných rozměrů. Musí se zde zohlednit několik parametrů jako například jakost finálního povrchu, způsob vyplachování dielektrika, výchozí rozměr vyráběné dutiny, velikost jiskrové mezery a v neposlední řadě je důležitá hodnota, o kterou musí být daná elektroda menší, což zapříčiní dosažení požadovaných rozměrů dutiny. Rozměr hrubovací elektrody u hloubení válcové dutiny lze určit pomocí vztahu 1, přičemž rozměr dokončovací elektrody lze určit podle vztahu 2. [7]



Obr. 10 Popis rozměrů elektrody [7]

kde: a ... velikost jiskrové mezery [mm],

D ... požadovaný rozměr dutiny [mm],

Z ... tloušťka narušeného povrchu [mm],

M_m ... nejmenší hodnota, o kterou musí být elektroda menší, pro dosažení požadovaného průměru dutiny [mm],

Ra_{max} ... jakost povrchu, která má být dosažena [μm]. [7]

Vztah výpočtu pro hrubovací elektrodu:

$$d = D - 2(a + R_{max} + z) = d - 2M_m \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

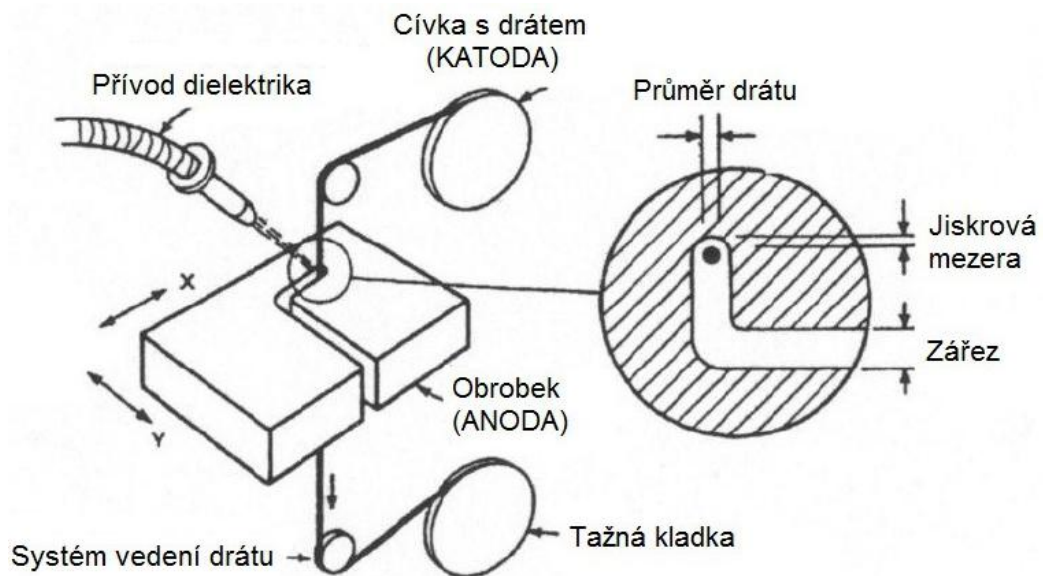
Po dokončení výpočtu pro hrubovací elektrodu lze začít s výpočtem pro dokončovací elektrodu. Daný výpočet se tedy může určit dle vztahu:

$$d = D - 2a \quad [mm] \quad (2)$$

Po vypočtení obou potřebných vztahů, jak u hrubovací, tak i dokončovací elektrody, lze danou elektrodu uvolnit k výrobě. [7]

1.2.2 Elektrojiskrové řezání – drátování

Elektroerozivní řezání drátovou elektrodou je řazeno mezi nejrozšířenější nekonvenční metody obrábění. Princip této metody spočívá v pohybu tenkého drátu – nástrojové elektrody v oblasti obrobku, kdy daný drát je převíjen pomocí speciálního zařízení a obráběná součást je připojena ke generátoru jako elektroda opačné polarity. Řez naprogramovaného tvaru se vytváří mezi drátovou elektrodou a obrobkem pomocí elektrických výbojů. Daný řez lze provádět jen průchozím tvarem a bočními průchozími stěnami, tzn. nelze řezat uzavřený profil. Popis drátového řezání je uveden na obrázku 11.



Obr. 11 Princip drátového řezání [41]

Mezi vlastnosti a technické požadavky drátové elektrody patří například vysoká elektrická vodivost, úzké tolerance průměru a kruhovitosti, na kterých závisí přesnost řezání, velká mechanická pevnost a odolnost proti přetržení. Z pohledu přesnosti řezání, stability procesu a kvality řezu je kladen důraz na správné napnutí řezacího drátu. Materiál řezacího drátu je většinou používána měď. Pro jemné řezy

o průměrech cca 0,03 – 0,07 mm je používán molybden a naopak pro větší průřezy je používána mosaz.

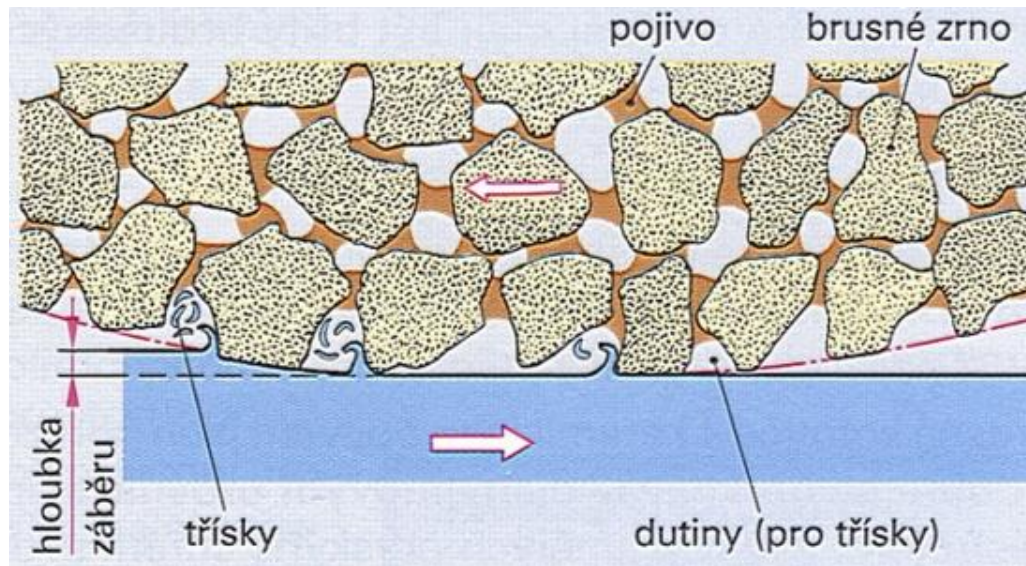
1.3 Další technologie jako broušení, vrtání a soustružení

Při výrobě vstřikovací formy lze využít i další možné metody obrábění. Jedná se především o broušení, vrtání či soustružení. Tyto způsoby obrábění jsou voleny v závislostech na tvaru a rozměrech daného dílu, na kvalitě vyrobeného povrchu, dostupnosti použití dané technologie s ohledem na její finanční výhodnost. To znamená že, že díl s neurčitým tvarem, skrytou hranou či jiným nedostupným místem většinou nelze obrábět výše uváděnými způsoby. Nebo se daná výroba těmito způsoby finančně nevyplatí. Pro tyto případy se volí způsoby obrábění frézování, případně elektroerozivní obrábění.

Právě při daných progresivních technologiích – broušení, vrtání, soustružení či frézování vzniká teplo v místě řezu díky tření a je nutné tato místa chladit. K tomu se používají různé chladicí kapaliny, emulze, vodní lázně, oleje a další účinné mazací a chladicí látky.

1.3.1 Broušení

Broušení je obráběcí postup, při němž lze opracovávat tvrdé materiály s dosaženou přesností a hladkostí, kterou většinou nedosáhneme při jiném opracování (například soustružením nebo frézováním). [8] I proto je broušení řazeno mezi dokončovací operace a patří k nejvýznamnějším částem technologie výroby s ohledem na dnešní dobu. [9] K broušení jsou využívány stroje, které se nazývají brusky, a nástroje brusné kotouče, brousící papíry a podobně. Broušení se provádí za pomoci brusiva. To jsou drobné tvrdé částičky, které jsou k sobě spojeny pojivem. Mohou se nacházet ve formě emulze, prášku, mohou být nalepeny na pružnou podložku (plátno, smirkový papír) nebo spojeny již zmiňovaným pojivem. [10] Brousící elementy jsou nepravidelně rozloženy po obvodě brousícího kotouče a mají nepravidelný geometrický tvar, odolnost proti teplotě a vysokou tvrdost. [9] Na obrázku 12 lze vidět popis odběru třísky brusným kotoučem.



Obr. 12 Odběr třísek brusným kotoučem [8]

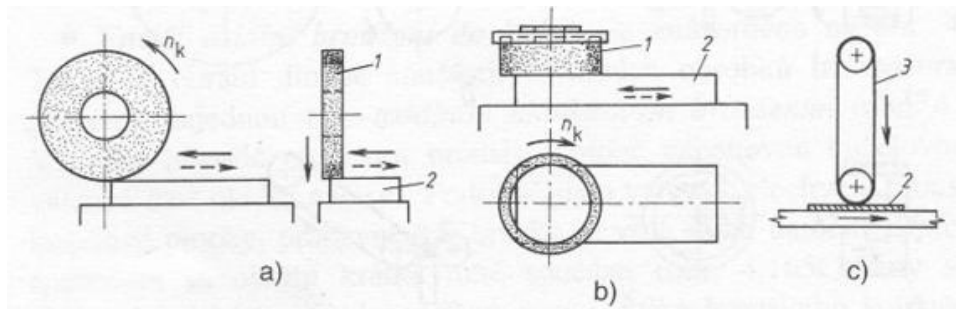
Brusiva jsou obvykle přírodní nebo umělá. Mezi přírodní brusiva je řazen například kámen, pískovec nebo pemza, břidlice nebo speciální druhy smirku (korund). Poměrně často se jedná o usazené horniny, ve kterých jsou obsaženy jemné částičky velmi tvrdého materiálu. Právě tyto částičky potom působí jako břity, které se při broušení otupují a následně se vylamují. [10] Umělá brusiva, která taky obsahují vlastní určitý brusný materiál, jsou například diamant, sklo, karbid křemíku nebo umělý korund. [10] Veškeré tyto částičky brusiva, jak již bylo zmiňováno, jsou spojeny tzv. pojivem. „Úlohou pojiva je držet pohromadě brousící nástroj a zrna na jeho povrchu udržet, dokud se neotupí a pak musí pojivo povolit, aby se otupené zrno vylomilo.“ [8] Mezi pojiva je například řazeno kovové pojivo, keramické pojivo, spojení v galvanické lázni, pryžové pojivo nebo pojivo z umělé pryskyřice zesílené vláknem. [8]

Samotné broušení lze potom rozdělit na dva základní způsoby, a to na rovinné broušení a broušení rotačních ploch. Tyto dva způsoby jsou blíže specifikovány níže v podkapitolách 1.3.1.1 a 1.3.1.2.

1.3.1.1 Rovinné broušení

Rovinné broušení lze považovat za nejpoužívanější operaci při broušení za účelem dosažení požadované drsnosti, přesnosti a rovinnosti povrchu. Slouží hlavně k broušení rovinných ploch. Dále lze rovinné broušení rozdělit na rovinné čelní broušení a rovinné obvodové broušení. Veškeré tyto operace jsou prováděny na rovinných a profilových

bruskách, pomocí brusných kotoučů. [11] Níže na obrázku 13 jsou uvedeny způsoby rovinného broušení.

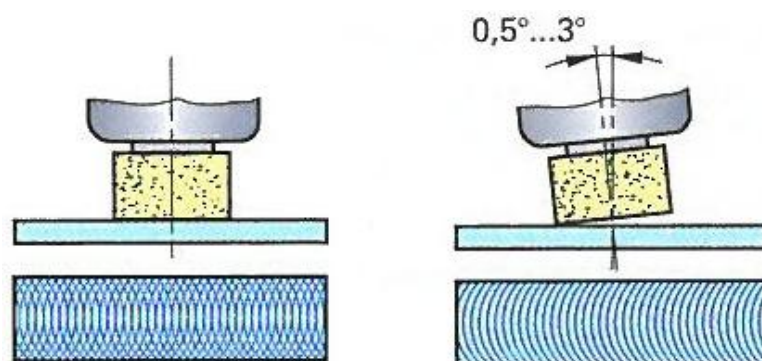


Obr. 13 Rovinné broušení [12]

U obrázku pod označením A se jedná o broušení obvodem kotouče. Pod označením B je broušení čelem kotouče a pod označením C broušení broušicím pásem. Jednotlivá čísla představují části potřebné k obrábění. Číslo 1 – broušící kotouče, 2 – obrobek, 3 – broušící pás. Parametr n_k představuje dané otáčky broušícího kotouče. [12]

Rovinné čelní broušení

„Při čelním broušení se brousí rovnou čelní plochou brusného kotouče. Pohyb obrobku může být podélný nebo kruhový (na otočném stole).“ [8] V případě čelního broušení je tedy neustále v záběru velká plocha brusného kotouče a i z toho důvodu je zanesena vzniklými třískami. V tomto případě je tedy vyvíjen velký tlak kotouče na obrobek, a taky při něm vzniká velký broušící výkon neboli odběr třísky. Tímto způsobem se nedosahuje kvalitního broušeného povrchu. Pro případ odlehčení, zefektivnění a zkvalitnění této operace lze naklonit osu kotouče o $0,5^\circ$ až 3° od kolmice k dané ploše určené k broušení, čímž se zmenší plocha záběru a styk kotouče s určitou broušenou plochou je tak teoreticky jen bodový a prakticky tedy je jeho tvar v srpku. [8]

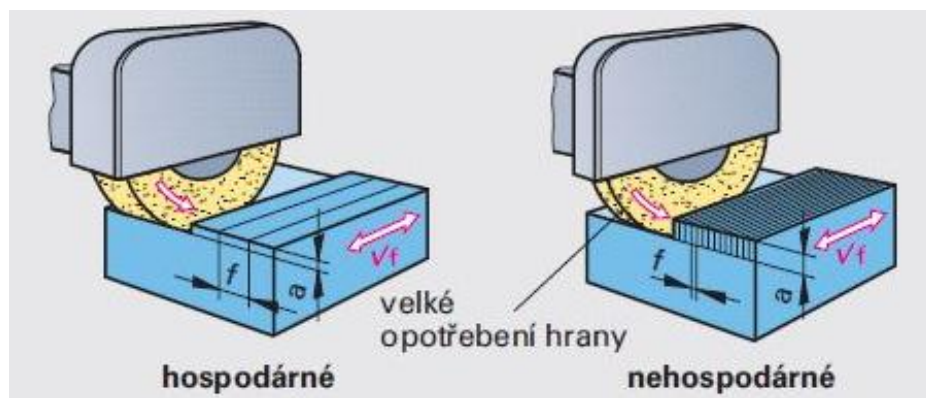


Obr. 14 Obraz brusu při bočním rovinném broušení [8]

Na obrázku 14 lze vidět rozdílnost v nastavení brusu při bočním rovinném broušení. Jsou zde uvedeny dva způsoby nastavení brusu, a to broušení bez natočení (křížový brus) vlevo na obrázku a s natočením brusného kotouče (obloukový brus) vpravo na obrázku.

Rovinné obvodové broušení

„Při obvodovém broušení se brousí válcovou obvodovou plochou brusného kotouče. Pohyb může být podélný nebo kruhový.“ [8] Lze tedy říct, že plocha záběru je poměrně malá a kotouč se tedy nijak zásadně nezanáší. Odstraňování vzniklých třísek se provádí pomocí odstředivé síly a taky vzniklým tlakem brousící neboli řezné kapaliny. [8] V případě větší plochy záběru by měl být kotouč průměrově a taky svou šířkou co největší z důvodu velkého brousícího výkonu. Pro ideální případ by měl být kotouč širší než plocha na obrobku, určená k broušení. Ne vždy je to ale možné. [8]



Obr. 15 Broušení širokým a úzkým kotoučem [8]

Obrázek 15 zobrazuje hospodárné a nehospodárné obvodové broušení. Jeden z hlavních rozdílů je ten, že při hospodárném broušení je použit širší a větší brousící kotouč. To zapříčiní tedy větší úběr a zefektivnění samotného broušení.

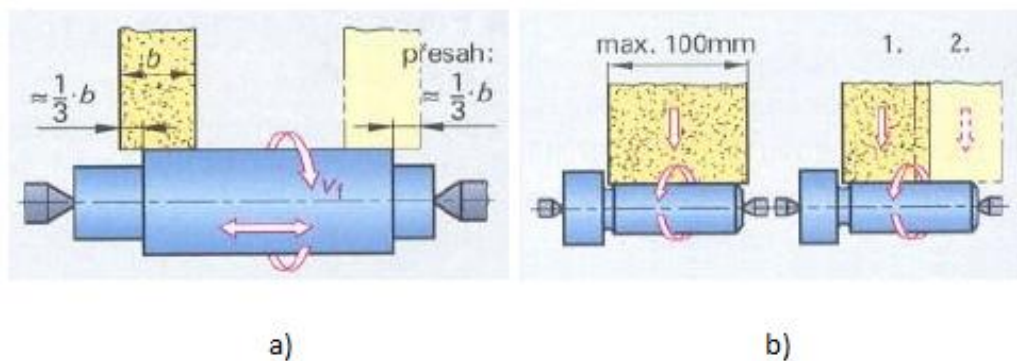
1.3.1.2 Broušení rotačních ploch

Broušením rotačních ploch slouží pro válcové, rotační či kuželové plochy. Broušení rotačních či válcových ploch lze dále rozdělit na broušení vnějších rotačních ploch, vnitřních rotačních ploch nebo taky bezhroté broušení vnějších válcových ploch.

Broušení vnějších rotačních ploch

Broušení dokulata neboli broušení vnějších rotačních ploch lze typizovat úzkou plochou záběru brousícího kotouče s danou rotační broušenou plochou. Díky tomu lze dosáhnout dobrému odvodu třísek z kotouče, přístupu brousící kapaliny, a taky malému vzniku tepla.

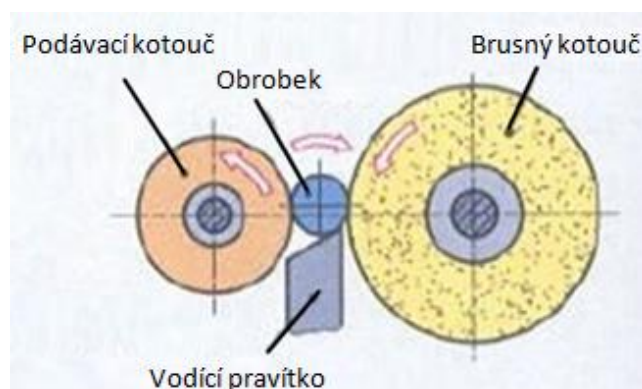
„Při podélném broušení koná pracovní stůl s obrobkem přímočarý (většinou vratný) pohyb.“ [8] Jinak je tomu u zápichového broušení. „Při zápichovém broušení (s pouze příčným nebo šikmým posuvem) je přísuv spojité (ne krokový jako u podélného broušení) až do dosažení cílového rozměru broušené plochy.“ [8] V tomto případě bývá brusný kotouč rozměrově širší než plocha, která se brousí, a tedy zde není potřebný žádný podélný pohyb.



Obr. 16 a) Podélné broušení dokulata, b) Příčné zápichové broušení [8]

Bezhraté broušení vnějších válcových ploch

Jedná se o broušení, kdy je obrobek volně veden mezi broušicím a přidržovacím kotoučem. Obrobek by měl mít zhruba stejnou obvodovou rychlost jako přidržovací kotouč. Tento způsob broušení je vhodné použít v případě, že daný dílec nemá důlky pro uchycení do hrotů. Princip bezhratého broušení lze vidět na uvedeném obrázku.



Obr. 17 Princip a prvky bezhratého broušení [8]

1.3.1.3 Rozdělení brusek a brusných kotoučů

Brusky jsou stroje, jejichž hlavní pohyb při broušení je otáčivý a koná jej nástroj – brusný kotouč. Při broušení může být použit posuv složený, přímočarý nebo otáčivý a dle způsobu obrábění jej koná buď to nástroj nebo obrobek. [13]

Podle účelu práce lze brusky dělit na brusky:

- na ostření nástrojů
- pro hrubé broušení
- pro přesné ostření

Dále se dělí brusky dle tvaru broušených ploch, a to na:

- rovinné brusky – vodorovné, svislé
- hrotové brusky – k broušení rotačních ploch obrobku, upnutém mezi hroty
- bezhroté brusky – bez zařízení na upínání obrobku, často pro vnější broušení
- brusky na díry – sklíčidlové, planetové, bezhroté
- speciální brusky – broušení závitů, ostření nástrojů, broušení ozubení [11]

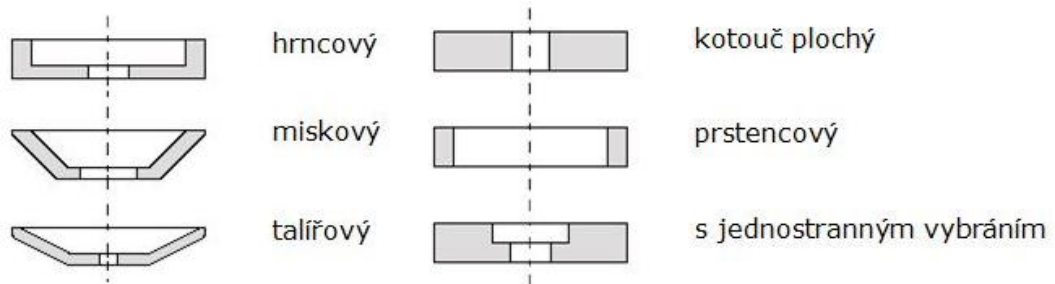


Obr. 18 Rovinná bruska PROTH [42]

Brusné kotouče se dělí dle tvaru profilu samotného kotouče na:

- kotouče ploché
- kotouče prstencové
- kotouče kuželové
- kotouče oboustranně kuželové
- kotouče s jednostranným vybráním

- kotouče hrncovité
- kotouče miskovité



Obr. 19 Příklad tvarů brusných kotoučů [14]

1.3.2 Vrtání

Vrtání je operace, kterou lze vyhotovovat díry do plného materiálu. Operace vyvrtávání je používána k rozšiřování již dříve předvrtané díry. Pro vrtání jsou jako nástroje používány vrtáky, nejčastěji šroubovité a obráběcí stroje, které se nazývají vrtačky nebo vyvrtávačky. Při vrtání konají vrtáky řezný pohyb a taky zároveň se posouvají ve směru osy otáčení. Lze vrtat díry osazené, hladké, neprůchozí či průchozí. Z hlediska různých operací, které se provádí, existuje několik druhů vrtacích strojů. Lze je dělit na vrtačky stolní, sloupové, radiální, stojanové, případně vyvrtávačky vodorovné – horizontální a další. [15] Níže na obrázku je uvedena stojanová vrtačka s křížovým laserem.



Obr. 20 Stojanová vrtačka s křížovým laserem [43]

1.3.2.1 Druhy nástrojů – vrtáky

Nástroje k vrtání – vrtáky jsou určeny k vrtání kruhových otvorů do určitých materiálů. Lze je dělit podle několika specifíků. Podle materiálu lze vrtáky používat např. do dřeva, do oceli, do betonu, do hornin či zemní a zubní vrtáky. Vrták je volen dle materiálu, do kterého má vnikat, tak aby danou operaci bylo možné zvládnout.

Rozdělení podle upínání:

- vrták se šestihrannou stopkou,
- vrták s válcovou stopkou,
- vrták s Morse kuželem,
- vrták – bit se stopkou šestihran $\frac{1}{4}$ palce (6,35 mm),

a jiné. Mezi vrtáky rozdělené podle tvaru řadíme například spirálový, stupňovitý vrták, středící vrták, plochý vrták, oboustranný, frézovací a mnohé další. Níže na obrázku 21 jsou uvedeny dva šroubovitě vrtáky s různou stopkou. V případě obrázku a) – se jedná o šroubovitě vrták s válcovou stopkou. Na obrázku b) – šroubovitě vrták s kuželovou stopkou. [16]



Obr. 21 Šroubovitě vrtáky s válcovou a kuželovou stopkou [44]

1.3.3 Soustružení

Ve strojírenství je soustružení nejčastějším způsobem obrábění rotačních dílů. Soustružením lze rovněž obrábět plochy rovinné – čelní soustružení. U této technologie daný obrobek vykonává hlavní rotační pohyb. Nástroj, který se nazývá soustružnický nůž, koná vedlejší pohyb přímočarý – posuv a přísuv. Obráběcím strojem je tedy soustruh. Dle podstaty výroby lze používat soustruhy hrotové, revolverové, automaty a poloautomaty, případně karuselové. [15]



Obr. 22 Holzmann ED 300FD stolní soustruh na kov [45]

1.3.3.1 Druhy nástrojů – soustružnické nože

Soustružnický nůž je nástroj, jehož pomocí je materiál upnutý ve sklíčidlech soustruhu obráběn. Jeho tvar je obvykle hranolovitý pro upínací část a řezná část je ve tvaru klínu. Právě řezná část je tvořena buď z kalené nástrojové oceli, rychlořezné oceli, případně se zde může napojit břitová destička ze slinutého karbidu.

Samotné nože lze potom dělit na pravé a levé, vnitřní a vnější, základní uběrací, zapichovací, upichovací, tvarové, hrubovací a dokončovací. [17] Na obrázku 23 lze vidět sadu soustružnických nožů s výměnnými břitovými destičkami. Tyto nože jsou navíc povlakovány titanem, což jejich kvalitu podstatně zvyšuje.



Obr. 23 Soustružnické nože s výměnnými břitovými destičkami [46]

2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Programování CNC strojů je nedílnou součástí strojírenství. CNC stroje se využívají hlavně z důvodu výkonu, efektivnosti, přesnosti, rychlosti a možnosti optimalizace oproti strojům konvenčním, respektive strojům, jejichž posuvy a další části doslova řídí člověk jednotlivec. [8] Lze tedy říct, že v případě klasických strojů nelze zaručit stejnou výslednou přesnost u více dílů, což naopak u CNC obráběcích strojů by mělo být jejich předností. Tyto stroje, aby byl vykonán obráběcí proces, je třeba naprogramovat a určit řezné dráhy, nástroje a jejich řezné podmínky. Toho lze docílit buď ručním programováním např. v ISO kódu, nebo programováním pomocí CAM systému. Veškeré tyto možnosti programování je třeba zvažovat dle náročnosti výroby a ekonomického využití těchto druhů programování. Můžeme tedy říct, že programování CNC strojů lze rozdělit na dva typy. Lze použít online programování – jedná se o způsob programování přímo na stroji a offline programování – zde je způsob tvorby CNC programu veden mimo řídicí systém například pomocí CAM systému. Protože je programování poměrně složitým oborem, musí daný programátor-technolog k problému zpracování technologie přistupovat mnohem komplexněji a zodpovědněji. [24] Ukázka CNC stroje je uvedena níže na obrázku 24.



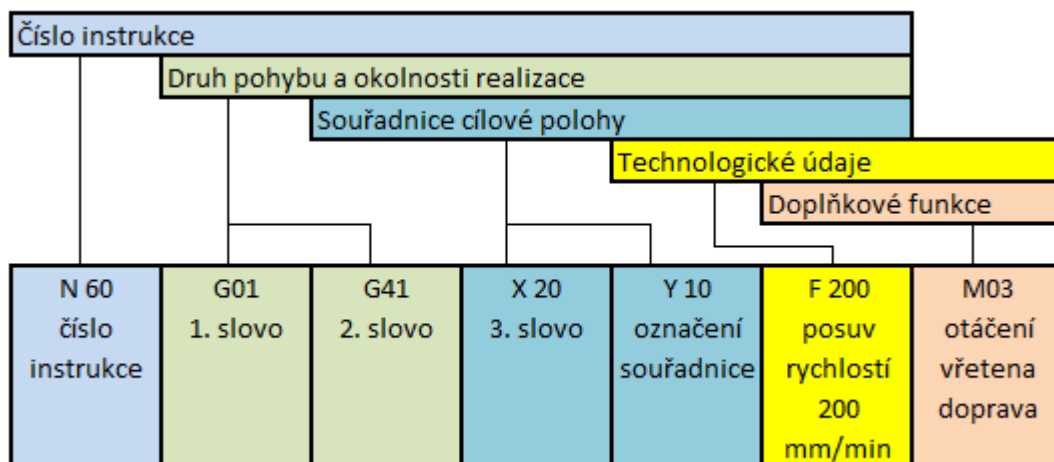
Obr. 24 CNC obráběcí centrum Deckel Maho DMC – 635V [47]

2.1 Ruční programování – ISO kód

V případě ručního programování CNC strojů je ve značné míře využíván ISO kód v daném popsaném absolutním programování. ISO kód pro ruční programování dodávají například Heidenhain nebo Mazak. Tato programování se používají především pro jednodušší tvorbu programů. Naopak pro složitější tvary je třeba využívat strojní CAM systémy. [25]

2.1.1 Tvorba programu

Tak zvaný part program lze pro vykonání části obrábění zabudovat do hlavního programu nebo z hlavního programu může být vyvolán jako podprogram. Začátek programu je značen znakem % a dále je doplněn o jednotlivé instrukce. Tyto instrukce se následně vykonávají postupně. Lze je značit postupně, převážně písmenem N = number, neboli číslo, např. N1, N2, N3... a nebo N5, N10, N15, Pomocí druhého způsobu se lze efektivněji vracet k úpravám v případě potřeby vložení operace do již vytvořeného programu. Vytvořené instrukce jsou řídicím systémem načteny s předstihem před realizací, což umožňuje plynulost pro potřebné výpočty aktuálních souřadnic a korekcí nástrojů. Skladba instrukce programu je složena z jednoho nebo více slov. Pořadí slov dané určitým formátem je pevné a nelze jej tedy měnit. Jako první je třeba napsat číslo instrukce a geometrii pohybu G. Dále se zde musí objevit souřadnice cílového pohybu, rychlost pohybu F – Feedrate, otáčky vřetena S – Spindle Speed, označení nástroje T – Tool a poslední je doplňková funkce M – Miscellaneous functions, což jsou rozmanité funkce. Na obrázku 25 lze vidět určitý příklad složené instrukce pro obrábění na frézce. [8]



Obr. 25 Příklad instrukce programu pro obrábění na frézce [8]

Význam funkcí potřebných k řízení NC stroje:

Okolnost nebo druh pohybu G – například rychloposuv (žádný požadavek na tvar dráhy), volba rovin, zadání měřítka nebo korekce či přímý nebo kruhový pohyb.

Cílové souřadnice pohybu – pro posuvy v osách se jedná o souřadnice X, Y, Z a pro otáčení kolem těchto os A, B, C.

Technologické údaje F, S, T – jsou užívány pro rychlost posuvu, dále otáčky vřetena a označení nástroje.

Funkce doplňkové M – označují výměnu nástroje nebo přívod obráběcí kapaliny a taky konec programu. [8]

Tabulka 1 uvádí kódy funkcí používaných k programování a jejich významový popis.

Tab. 1 – G-kódy

Kód	Význam
G00	rychloposuv z bodu do bodu
G01	posuv s lineární interpolací
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček (doprava)
G03	kruhová interpolace doleva
G40	zrušení korekce nástroje
G41	korekce dráhy nástroje, nástroj vlevo
G42	korekce dráhy nástroje, nástroj vpravo
G53	zrušení přesunutí nulového bodu
G59	programové přesunutí nulového bodu
G90	absolutní souřadnice
G96	režim konstantní řezné rychlosti
G98	volně programovatelná funkce (uživatelsky)

Důležité kódy pro doplňkové přepínací funkce jsou uvedeny v další tabulce 2 s popisem jejich jednotlivých významů.

Tab. 2 – Doplňkové funkce

Kód	Význam
M03	otáčení vřetena doprava (zapnutí)
M04	otáčení vřetena doleva (zapnutí)
M05	zastavení vřetena
M08	zapnutí přívodu obráběcí kapaliny
M09	zastavení přívodu obráběcí kapaliny
M30	konec a reset programu

V případě každé funkce G, která je naprogramovaná a následně uložena do paměti je potřeba mít na vědomí, že tato funkce platí až do doby, dokud ji nějaká jiná G funkce nezruší. Daný příklad zrušení G funkce a taky zápis G-kódu lze vidět níže v tabulce 3.

Tab. 3 – Zrušení G-funkce

Část part programu	Vysvětlení významu
:	
N8 G00 X-20 Y-10	rychloposuvem do výchozí polohy
N9 z -5	při stálé platnosti G00
N10 G41	aktivace korekce s nástrojem vlevo
N11 G01 X0 Y0	lineární interpolace
N12 X10 Y20	G01 stále platí
N13 Y24.5	G01 stále platí
N14 G02 X34.5 Y30 R10	kruhová interpolace doprava
N15 G40	zrušení korekce nástroje

Při programování lze využívat dvou rozdílných režimů, a to pomocí programování v absolutním nebo relativním režimu. Největší rozdíl je v umístění nulového bodu, respektive určení souřadnic, od kterých je další dráha počítána.

Absolutní programování – funkce G90 zajišťuje režim absolutních souřadnic, a to znamená, že veškeré zadané rozměry neboli souřadnice pro obrábění jsou vztahovány k nulovému bodu obrobku. Dané pořadí pohybů neboli posuvů nemá žádný vliv na zadávané souřadnice.

Relativní programování – funkce G91 je využívána pro režim programování v relativních souřadnicích. To znamená, že se souřadnice zadávají inkrementálně – přírůstkově, vždy vzhledem k poslední dosažené poloze. Lze tedy říct, že program je nezávislý na dané poloze nulového bodu obrobku. Relativní způsob programování je využíván především pro programování cyklů a podprogramů.

Pro programování v polárních souřadnicích se využívá dvou typů interpolace, a to lineární a polární interpolace.

Lineární interpolace – v tomto případě je používána funkce G01 a režim posuvů je veden ve více osách a souřadnice bodů jsou propočítávány tak, aby ležely vprostřed tolerančního pole.

Kruhová interpolace – je používána pro kruhový pohyb supportu, jenž potřebuje řídicí systém pro výpočet souřadnic určené dráhy, zadání roviny pohybu a tři údaje navíc.

- **Směr otáčení** je určován funkcí G02 – po směru hodinových ručiček a G03 – proti směru hodinových ručiček.
- **Souřadnice konečného bodu** – jedná se o konce oblouku a je nutno je zadat i v případě, že je koncový bod shodný s počátečním.
- **Poloha středu kružnice** – je zadávána pomocí souřadnic I, J a K středu daného oblouku vzhledem k souřadnicím X, Y a Z počátečního bodu oblouku.

2.2 Strojní programování pomocí CAM systémů

Pro řadu tvarů je dnes ruční programování nedostačující, proto je velmi vhodnou možností jak obrábět daný většinou složitý tvar generování programů pomocí CAM systémů. [32] Jedná se o systémy, kde není potřeba uvádět funkce G, M, popis dráhy atd., protože tyto funkce jsou automaticky vygenerovány ze zadaných příkazů z převzaté kontury CAD, a to buď z 2D výkresové dokumentace, nebo z 3D modelu. Protože CAD/CAM systémy jsou složitějším systémem, musí i programátor znát veškeré možnosti daných programovaných CNC strojů a obsluhy, včetně technologie. [25] Podle používaného softwaru je nabídka v modulu CAM směřována na body následovně nebo taky i v jiném pořadí. Tyto body lze sestavit do tohoto pořadí:

1. Volba strategie obrábění a jejich pořadí (např. hrubování, hlazení, rastrování, ofsetování, a další)
2. Volba nástroje, jeho tvar a rozměry, řezné podmínky vztažené na určitou strategii, nástroj a obrobek.
3. Podmínky vlastního obrábění při ručním programování jsou funkce G a M. U strojního programování se zde volí poloha obrábění ke kontuře a jeho způsob, chlazení, mazání nástroje, strategie obrábění určitého úseku pomocí jednoho nástroje a další jako třeba ochrana proti kolizi nástroje s držákem atd.
4. Simulace vyhotoveného programu je provedena následně po tom, kdy procesor automatizovaně vyhotoví CL data. Lze zde zjistit chyby jako například neobrobená místa nebo podřezané plochy.
5. Programátor musí vybrat postprocesor, jehož pomocí budou přeložena CL data pro požadovaný řídicí systém CNC stroje, na kterém je obrobek vyráběn.
6. Následuje výpočet programu CNC v systému CAM, jenž je zapisován v ISO kódu stejně tak, jako při ručním programování.

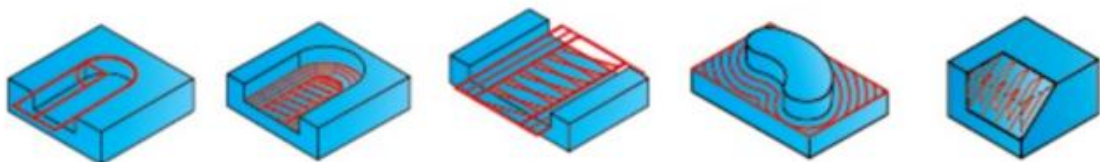
7. Vyhotovený program je následně nahrán do stroje, kde jej lze číst a případně opravovat. [25]

Tyto CAM systémy umožňují využívat velké množství specializovaných i univerzálních strategií obrábění a lze je tedy použít i k výrobě tvarově velmi složitých dílů a součástí. [29] Mezi CAM systémy používané pro víceosé obrábění, které jsou k zakoupení na trhu lze zařadit například systémy jako NX CAM, EdgeCAM, Kovoprog, PowerMILL, SurfCAM nebo třeba WorkNC. Ne vždy musí systémy obsahovat oba moduly, tedy jak CAD systém, tak i CAM systém. Především specializované firmy tyto moduly mohou tvořit a prodávat samostatně. [25]

2.2.1 Obráběcí strategie v CAM systému

Pomocí CAD/CAM systémů lze tvořit různé strategie obrábění a tím snižovat výrobní časy, používat moderní nástroje nebo zaručit kvalitu obrobeneho povrchu. V těchto systémech lze taky upravovat již vytvořené dráhy nástroje, spojovat je nebo měnit. [25]

U jednotlivých CAD/CAM systémů se dané strategie mohou lišit svým názvem, případně provedením jednotlivých operací. Nicméně mezi standardy lze zařadit strategie jako například hrubovací strategie a dokončovací strategie. Další strategie se nazývají například frézování po kontuře, drážkování, dokončování pomocí rastru, zbytkové obrábění. Další strategie jsou obrábění šikmé plochy nebo boční frézování. [25] Některé z uvedených strategií jsou uvedeny na obrázku 26 z grafického pohledu.



Obr. 26 Ukázka strategií obrábění pomocí CAD/CAM systémů [48]

Protože dané CAD/CAM systémy jsou rozdílné svým provedením, v dalších podkapitolách jsou uvedeny popisy hrubovacích, dokončovacích a 2,5D strategií pomocí CAD/CAM systému s ohledem na programování pomocí softwaru WorkNC.

2.2.2 WorkNC – rozdělení obráběcích strategií

WorkNC je software speciálně vyvinutý k doplňování konstrukčních systémů jako pro přípravu dat pro 2D až pětiosé frézování. Umožňuje poměrně rychlou přípravu dat k obrábění u složitých tvarových dílců lisovacích nástrojů, postupových nástrojů a vstřikovacích forem. Tento software je využíván řadou předních světových nástrojářen. Lze zde uvést například Jaguar, BMW, Ford, Volkswagen, Mercedes Benz nebo taky ŠKODA AUTO a mnoho dalších. [33]

Ve WorkNC lze obráběcí strategie rozdělit na tři hlavní typy: hrubovací, dokončovací a 2,5D strategie obrábění.

2.2.2.1 Hrubování a dohrubování

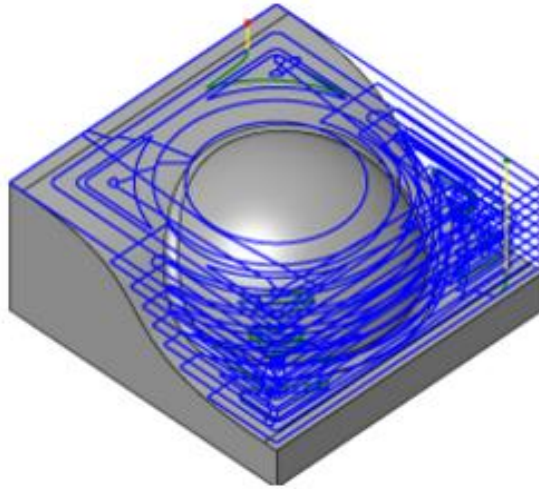
Hrubovací a dohrubovací dráhy jsou považovány za základní kameny WorkNC. Je zde minimalizované obrábění vzduchu, a to lokálními přejezdy s pomocí vyhlazených rádiusových přejezdů. Jednotlivé oblasti je WorkNC schopný si automaticky stanovit. Spolehlivé obrábění zajišťuje dynamický polotovar, který bere v úvahu jak nástroj, tak i držák nástroje pro aktualizaci dané dráhy, a tím eliminuje takřka veškerá možná rizika kolize. [33]

Strategie dohrubování umožňuje systematické obrábění postupně menšími nástroji.

Mezi tyto obráběcí strategie lze zařadit:

- spirálové hrubování
- hrubování tvrdého materiálu
- adaptivní trochoidní hrubování
- hrubování a dohrubování s velkým točivým momentem
- vysokorychlostní obrábění
- velkoobjemové obrábění
- hrubování a dohrubování rovinných ploch [33]

Hrubovací strategie obrobek předchystá s přídavkem vhodným k dokončovací metodě. Tato strategie je uvedena na obrázku 27.



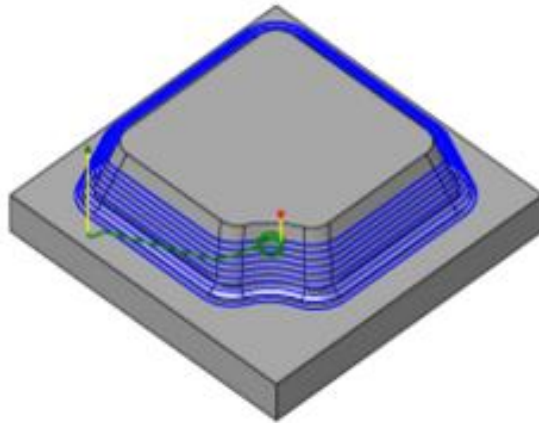
Obr. 27 Hrubovací strategie [49]

2.2.2.2 Dokončování a zbytkový materiál

Jedná se o široký rozsah strategií dokončování, které jsou schopny, poskytnout nejlepší řešení ze všech požadavků pro dokončování nhrubo, načisto a pro doobrobení rohů. Pomocí nastavitelných parametrů v dané knihovně nástrojů lze nastavit optimální řezné podmínky. Mezi parametry nastavení patří například tangentsní protažení, tolerance výpočtu drah nebo optimalizace přiblížení k materiálu, které pomáhají programátorovi doladit danou dokončovací dráhu nástroje. Následné strategie doobrobení zbytkových materiálů lze považovat za účinné a výkonné. Automaticky odhalují oblasti potřebné k doobrobení, aniž by přitom bylo použito zbytečných přejezdů nástroje. To znamená jediné – zkrácení času obrábění. Dokončovací dráhy nástroje musejí být optimalizovány na co nejvyšší výkon při použití vysokorychlostních technologií obrábění. [33]

Mezi dokončovací strategie obrábění se řadí například:

- dokončování Z-konstant
- dokončování rovinných ploch
- optimalizace
- zbytkový materiál [33]



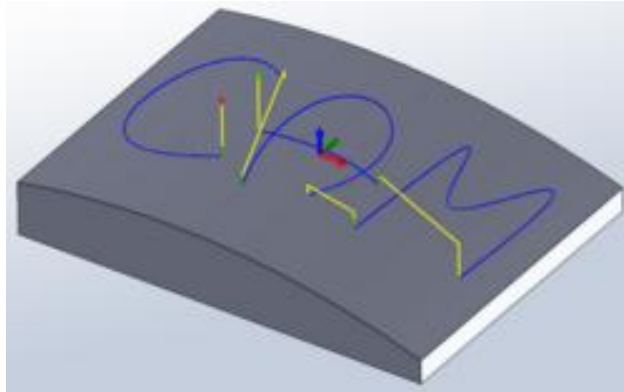
Obr. 28 Dokončovací strategie [49]

2.2.2.3 2D strategie obrábění

Tyto strategie jsou navrženy především pro obrábění základních desek a následných jednotlivých pozic. Pro obrábění lze přípravu provést pomocí 2D nebo 3D CAD modelů, a to z libovolného konstrukčního systému. Tyto modely lze obrábět 3D nebo 2,5D strategiemi jako jsou obrábění čel, obrábění kapes, vrtání či závitování a další. Díky spolehlivým drahám s bezpečnými přejezdy nad materiálem, zvýšením produktivity a kontrolou kolize držáku je možné použít právě strategii obrábění křivek. Mezi 2D strategie obrábění lze tedy zařadit tyto strategie:

- zbytkový materiál křivka
- obrábění kapes
- obrábění žeber
- frézování čel
- po křivce
- tangentsně ke křivce
- vrtání a závitování
- gravírování

V případě vrtání otvorů desek je tato strategie založena na automatickém rozpoznání otvorů, které musí být zpracovány dle předem připravené technologie obrábění otvorů. [33]



Obr. 29 2D gravírovací strategie [49]

2.2.3 WorkNC – popis jednotlivých strategií obrábění

Programovací software WorkNC disponuje celou řadou užitečných a speciálních strategií obrábění. Již v předešlé kapitole se lze dočíst o rozdělení strategií obrábění, a to do třech základních částí. Jedná se o hrubovací a dohrubovací strategie, dokončovací strategie a následně 2D strategie obrábění. V těchto oblastech se tedy nachází blíže specifikované strategie, které si nyní přiblížíme.

Globální hrub./dohrub. – je strategie, která umožňuje dohrubování, a to pomocí namodelovaného polotovaru. Software WorkNC tedy může automaticky rozeznat oblast pro doobrobení, která je definována modelem polotovaru. Lze obrábět vysokým záběrem v ose Z a velkým řádkem, tj. 95% průměru nástroje. Přídavek, který má být ponechán při obrábění lze jednoduše definovat.

Dokončování Z-konstant – jedná se o dokončovací dráhu pro obrábění velmi strmých oblastí. Tato strategie je určena převážně pro rychlostní obrábění s optimalizovanými přejezdy a pohyby nástroje. Díky tomu je zde optimalizován i čas obrábění.

Dokončování rovinných ploch – tuto strategii lze použít jako doplněk hrubování, ale taky především pro obrábění rovinných oblastí. Samostatně dokáže rozeznat rovinnou oblast a vyhodnotit potřebu jejího obrábění.

Optimalizace Z-konstant – pomocí této strategie lze obrobit méně strmá místa geometrie jako například rádiusy či různá zaoblení, což lze považovat za doplněk pro strategii Dokončování Z-konstant.

Zbytkový materiál Z-konstant – je dráha nástroje, která obrábí oblasti se zbytkovým materiálem a to šetrně v Z – úrovních. Je zde možnost optimalizovat méně strmá místa a použít optimalizaci konturou.

Gravírování křivky – tato strategie lze použít pro operace jako je gravírování textu, čísel, loga firmy nebo taky tvorby různých odvodušňovacích drážek, a to pomocí namodelované křivky. Veškeré parametry, které dráhu ovlivňují (pořadí obrábění, dráha s nájezdem po křivce či konec dráhy nad křivkou) lze v zadávacích tabulkách měnit dle možností uživatele.

2.3 Pomocné CAD systémy

CAD systémy jsou programové nástroje, které se používají v prvotních etapách u výrobního procesu, v konstrukci, ve vývoji a, nebo taky v technologické přípravě výroby. CAD systém je jednou z mnoha částí technologií, které jsou řazeny pod označením CA technologie. V překladu CAx znamená Computera Aided – počítačová podpora. Tyto technologie jsou výbornou podporou pro práci konstruktéra, výpočtáře, technologa a mnoha jiných profesí díky tvůrčímu přístupu při řešení úkolů, jež souvisí s výrobním procesem. [26]

CAx technologie jsou děleny do těchto oblastí:

CAE – Computer Aided Engineering – počítačem podporované inženýrství

CIM – Computer Integrated manufacturing – výroba integrovaná počítačem

CAD – Computer Aided Design – počítačem podporovaný návrh

CAPE – Computer Aided Production Engineering – PC podpora výrobního inženýrství

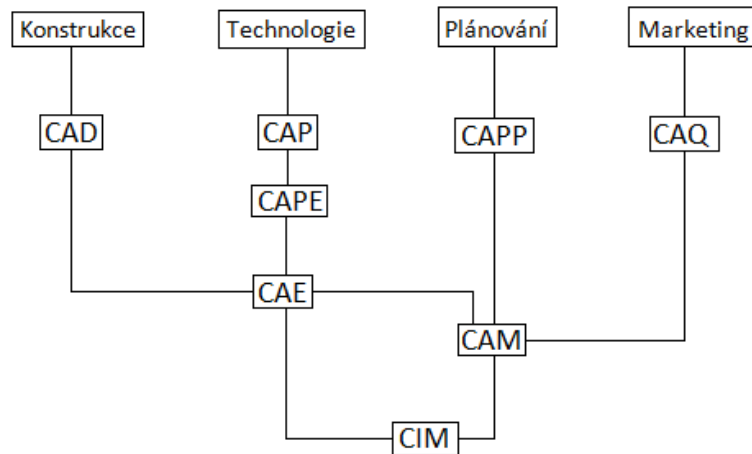
CAP – Computer Aided Planning – počítačem podporované programování

CAPP – Computer Aided Process Planning – PC podpora při zpracování technologické dokumentace

CAQ – Computer Aided Quality – počítačová podpora řízení kvality

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba [24]

Propojení a návaznost jednotlivých zmiňovaných oblastí jsou uvedeny níže na obrázku 30.



Obr. 30 Návaznost CA technologií [26]

2.3.1 Rozdělení CAD systémů

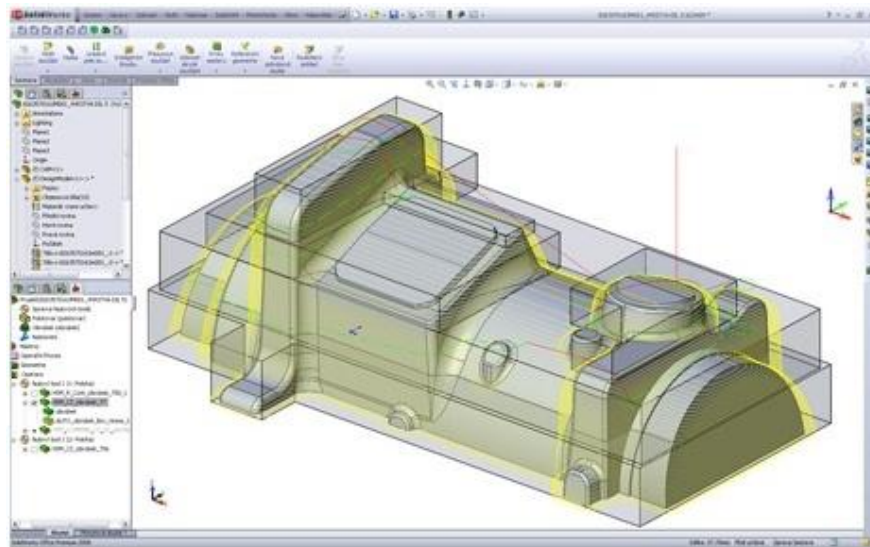
V případě CAD technologií lze tvrdit, že tyto technologie v metodice konstruování přinesly poměrně značný kvalitativní posun. Zároveň za dobu používání prošly CAD systémy několika vývojovými etapami. Lze je rozdělit do několika kategorií, a to:

- nižší
- střední
- vyšší
- velké

Mezi CAD systémy nižší třídy lze zařadit systémy, které podporují generování výkresové dokumentace a tvorbu jednoduchých dvojrozměrných objektů – modelů. Mohou zde být například TurboCAD Delux nebo AutoCad LT.

Ve střední třídě jsou systémy schopny modelovat trojrozměrné nástroje včetně vizualizace. Lze zde tvořit výkresovou dokumentaci nebo podklady pro marketingové oddělení v trojrozměrném zobrazení výrobku. Tyto systémy jsou otevřené a lze zde tedy vytvářet různé nadstavby dle potřeb a požadavků konstruktérů. Patří mezi ně mimo jiné programy Microstation, TurboCAD Professional, AutoCAD nebo KeyCreator (CADKEY).

Do třídy velkých CAD systémů jsou řazeny ty, které jsou schopny tvořit zcela trojrozměrné systémy. Lze zde vypracovat výkresovou dokumentaci z předešlého trojrozměrného modelu. Následně lze z modelu vytvořit sestavu či již zmiňovanou výkresovou dokumentaci. Poměrně velkou výhodou těchto systémů jsou parametrické modeláře. Jedná se o neustálé propojení výkresu i modelu, a tedy každá změna provedená v některé z částí, je hned zanesena i v dalším prostředí. Dané systémy jsou otevřené a tedy libovolně upravovatelné. Jmenovitě se jedná o Pro/Engineer, Unigraphics NX, Catia, SolidWorks, Autodesk Mechanical Desktop nebo taky I-DEAS. [26]

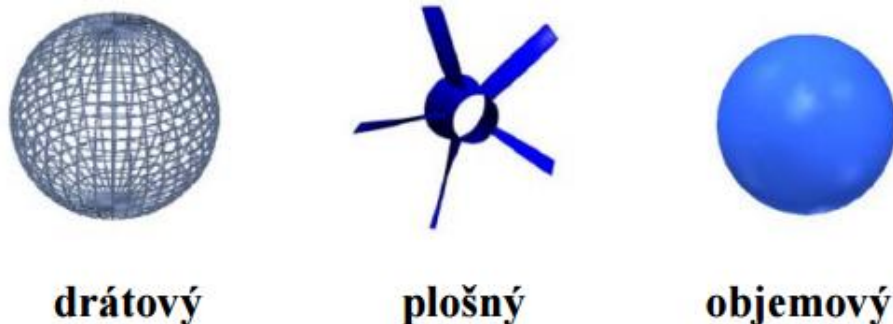


Obr. 31 Pracovní prostředí SolidWorks [50]

Obrázek 31 ukazuje pracovní prostředí v CAD systému SolidWorks.

2.3.2 Prostorové modely v CAD systému

V případě CAD systémů lze konečný výrobek modelovat, tedy tvořit ve třech možných prostorových modelech. Jedná se o modely drátové, plošné a objemové.



Obr. 32 Druhy prostorových modelů [27]

Příklady těchto modelů představuje obrázek 32. Jejich popis je uveden v následujících odstavcích.

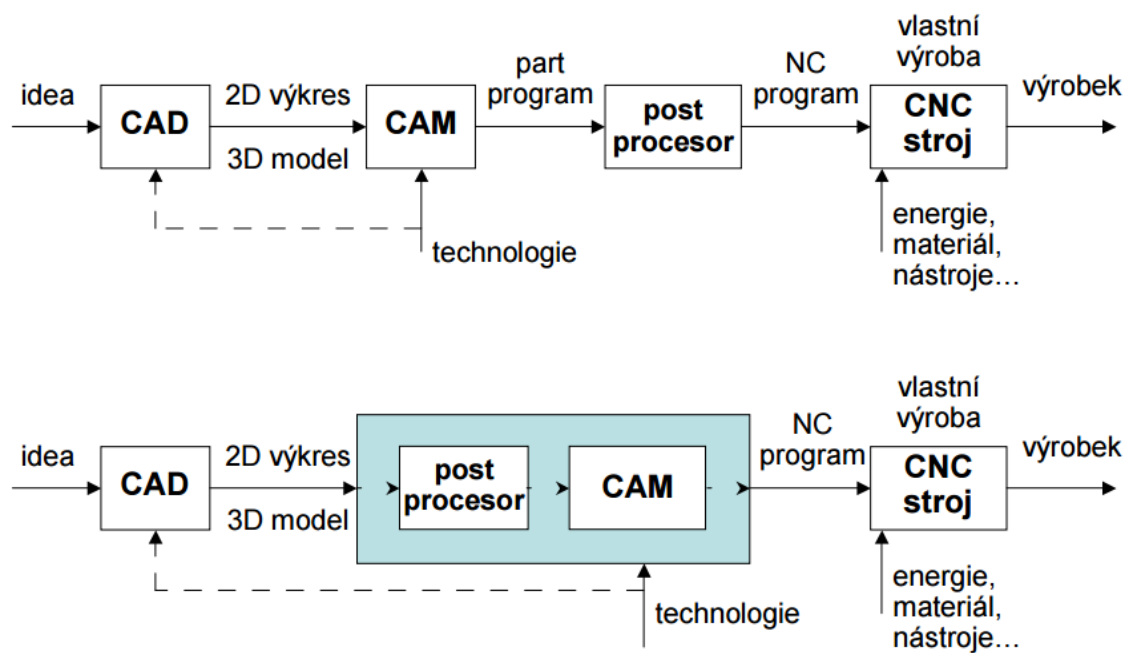
Drátový model (wire – frame model) je vytvořen body, jenž jsou spojovány pomocí křivek. Model je poměrně úsporný, bohužel pro praktické účely značně omezující a poměrně zjednodušující.

Plošný model (surface model) je vytvořen body – vrcholy, stěnami a hranami. Poměrně kvalitně definuje tvar ploch, nicméně chybí informace o objemu nebo hmotových vlastnostech. Veškeré systémy, které pracují s plošnými modely, jsou schopny umožňovat konstrukci ploch.

Objemový model (solid model) velmi dobře umožňuje spojování těles, jejich rozdíl či průnik, řezy rovinami či jinými plochami nebo taky modelaci hmotnostní vlastnosti těles jako moment setrvačnosti či těžiště a jiné. Lze zde provádět názornou vizualizaci nebo animaci trojrozměrného tělesa, měnit jeho povrchy a prostorová osvětlení nebo tvořit stíny, to překonává tedy veškerá omezení u předešlých prostorových modelů daných trojrozměrných těles. [27]

2.4 Postprocessor

V případě programování lze považovat problematiku postprocesorů u CAM programů za velmi důležitou. Postprocessor je překladač INC souborů neboli již vygenerovaných drah nástrojů. Tyto soubory jsou přeloženy do řídicího systému používaného stroje, tak aby mohl používat tzv. vlastní řeč. Jelikož je jak u nás, tak i ve světě spousta řídicích systémů i jejich nejrůznějších variant, veškeré požadavky na daný postprocessor musí vycházet z možností použitého stroje. V případě dějové posloupnosti lze popsat postprocessor v následujících krocích. Nejprve procesor musí vygenerovat APT nebo CL data, která lze nazvat programem pro řízení tzv. „ideálního“ NC stroje. Následně se musí CL data přizpůsobit daným technickým možnostem a určitému formálnímu tvaru zadávaného programu pro určitou konkrétní dvojici (řídicí systém a stroj). V předposledním kroku, než je vytvořen samotný NC program, musí právě postprocessor přeložit vygenerovaná CL data – dráhy nástroje do příslušné řeči používaného stroje tak, aby bylo možné program uplatnit a použít. Následně lze považovat jako výsledek vytvořený a spočítaný NC program. Níže na obrázku 33 lze vidět posloupnost tvorby NC programu pomocí systému CAD/CAM. [24]



Obr. 33 Tvorba NC programu pomocí systému CAD/CAM [54]

Postprocesor pro potřeby uživatele lze získat několika způsoby. Jedním z nich je například vytvoření vlastního postprocesoru, dále vyhledávání v databázi existujících postprocesorů a prodejce a porovnávat je dle potřebných podmínek a poslední možností je si nechat daný postprocesor objednat na „míru“ dle potřeby. Protože požadavky na postprocessing vycházejí z možností od určitého použitého stroje, je zde velmi důležitá vlastnost respektive možnost tyto postprocesory uživatelsky konfigurovat či upravovat tak, aby daná práce byla přizpůsobena dle potřeb uživatele a jeho prostředí.

Postprocesory v návaznosti na určitý CAM systém lze vybírat, buď ještě před samotnou tvorbou obráběcího postupu (EdgeCam), nebo naopak u některých jiných CAM systémů se daný výběr postprocesoru provádí jen těsně před generováním NC kódu (PowerMill, Esprit, WorkNC). Při výběru postprocesoru ještě před tvorbou obráběcího postupu lze považovat za výhodu to, že CAM systém nabízí v tomto případě jen instrukce podporované zvoleným postprocesorem. V závislosti na řešené problematice to může být někdy taky nevýhoda. Například při zpětné opravě zjištěné chyby. [24]

2.4.1 Rozdělení postprocesorů

V závislosti na daných kritériích lze charakterizovat rozdělení postprocesorů dle několika faktorů.

Mezi tyto faktory patří rozdělení:

- podle počtu os, vůči kterým je generován pohyb nástroje
- podle určitého počtu řídicích systémů, kvůli kterým je generován NC program
- podle daného typu generovaných NC dat

Následně je možné rozdělit postprocesory na:

- parametrické
- neparametrické
- adaptivní
- neadaptivní

Podle počtu os, vůči kterým je generován pohyb nástroje:

- jednoosé
- dvouosé
- trojosé
- čtyřosé
- pětiosé

Podle daného typu generovaných NC dat:

- diskrétní postprocesory
- splinové postprocesory

3 MĚŘENÍ TVAROVÝCH ČÁSTÍ VSTŘIKOVČÍCH FOREM

Při výrobě vstřikovacích forem, jejich částí a tvarů je důležitá zpětná vazba, a tedy kontrola vyrobených dílů. Protože vyrobené díly jsou z velké části tvarovými, tedy jejich povrch je nesymetrický a nevhodný k běžnému měření, je potřeba použít speciální způsob měření. K tomuto měření se využívají tzv. třísořadnicové měřicí stroje. Toto měření následně probíhá buď ve 3D nebo 2D prostoru. Lze tak měřit jak ocelové části formy jako například tvárnici, tvárník, pohybové vložky a jiné díly, tak i následně zpracované a vystříknuté polymerní dílce ze vstřikovací formy. Typy strojů, softwary a způsoby měření jsou uvedeny níže v podkapitolách této části.

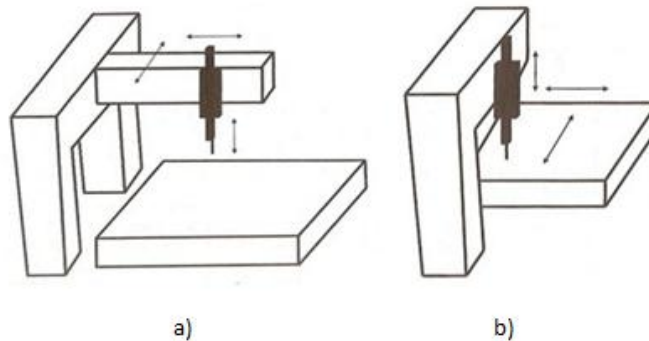
3.1 Typy souřadnicových měřicích strojů

Souřadnicový měřicí stroj představuje složitý měřicí systém, díky němuž je možné realizovat měření ve 2D – v rovině dle výkresu nebo ve 3D – v prostoru dle modelu. Tato měření probíhají v dané souřadné soustavě, kde je možno využít plnou automatizaci měření a vyhodnocování. [18] Měření podle výkresu probíhá pomocí elementů jako například kružnice, válec, plocha, bod, přímka, které se následně pomocí dalších funkcí promítají do vytvořených elementů a vyhodnocují se dle výkresových dokumentací. Opačným případem je měření dle 3D modelu. To probíhá pomocí namodelované součásti, která je nahrána do softwaru a porovnávána s fyzickým kusem pomocí snímání bodů na jednotlivých plochách dílu upevněného na měřicí desce stroje. V softwaru se na modelu objevují snímané body a dle odchylek lze potom určovat, jak přesně je daný díl vyroben. Dá se tedy říct, že tyto dva způsoby měření jsou nejčastěji praktikovanými měřeními na souřadnicových strojích.

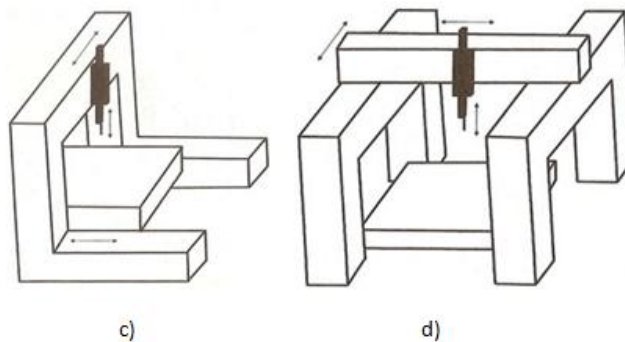
Podle konstrukce souřadnicových strojů je lze dělit na:

- Sloupové – určené převážně pro menší rozsahy měření. Vyznačují se tuhou konstrukcí a dobrým přístupem k měřenému objektu.
- Výložníkové – kvůli tuhosti je tvořena osy y poměrně krátce, a tedy je vhodný především pro delší a úzké součásti.
- Portálové – užíván pro velké a střední rozsahy měření. Velká tuhost umožňuje vysokou přesnost měření. Konstrukcí je omezen přístup k měřenému objektu.

- Mostové – používáno pro velké rozsahy měření. Často používáno v automobilovém a leteckém průmyslu. [18]



Obr. 34 a) Výložníkový souřadnicový stroj, b)
Stojanový souřadnicový stroj [55]



Obr. 35 c) Portálový souřadnicový stroj, d)
Mostový souřadnicový stroj [55]

Na výše uvedených obrázcích 34 a 35 jsou znázorněna jednotlivá provedení daných souřadnicových měřicích strojů. Souřadnicový měřicí stroj se skládá z několika důležitých částí. Ty lze rozdělit dle účelu, ke kterému jsou určeny. Jedná se o pohyblivé části stroje, odměřovací systém, měřicí hlava a měřicí software.

Pohyblivé části stroje slouží k polohování snímacího zařízení vůči součásti. Patří sem například i aerostatická ložiska, která zajišťují hladký pohyb bez tření.

Odměřovací systém slouží ke zpětné vazbě pro měřicí software. Dále umožňuje přesné polohování mechanických částí stroje.

Měřicí hlava slouží k upnutí a polohování měřicí sondy nebo laserové hlavy.

Měřicí software zajišťuje vyhodnocení naměřených dat a práci s funkcemi k měření.



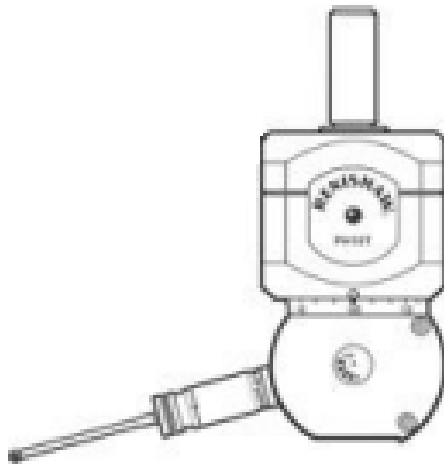
*Obr. 36 Souřadnicový měřicí
stroj WENZEL LH87 [56]*

3.2 Snímací hlavice

Snímací měřicí hlavice, které jsou součástí souřadnicových měřicích strojů lze dělit dle způsobu snímání daných povrchů na měřeném objektu. Tyto měřené objekty lze snímat několika způsoby, a to například mechanicky, opticky nebo elektronicky. Popis jednotlivých metod a přiblížení jejich principů je popsáno níže v podkapitolách.

3.2.1 Snímací hlavice mechanické

Mechanické snímací hlavice lze taky nazvat pevnými měřicími doteky. „*Při doteku sepne nepatrnou silo ($< 0,01\text{ N}$) piezoelektrickým indikátorem tlaku na dotekovou sondu obvod, který přenesse do paměti hodnoty souřadnice měřicí sondy (resp. bodu dotyku s měřeným povrchem).*“ (8) Pevný dotek lze použít jak ve směru osy snímače, tak ve směru kolmém k ose snímače a lze jej polohovat dle potřeby dostupnosti na měřeném objektu. [20]



*Obr. 37 Mechanická snímací
hlavice [57]*

3.2.2 Optické měřicí zařízení

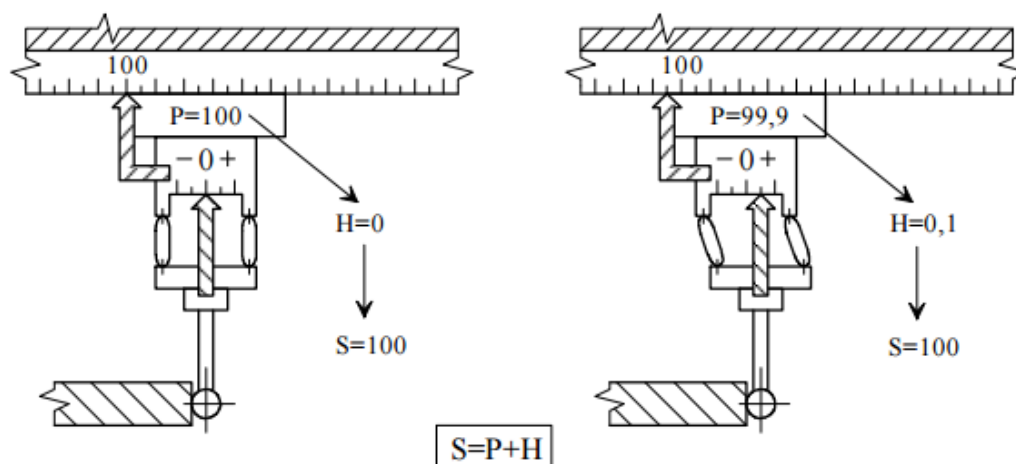
Toto zařízení lze taky jinak nazvat promítací mikroskop. Je využíváno k vymezení polohy bodů v určité rovině kolmé k ose snímače, a to z několika důvodů. Jedná se o postupné snímání daných bodů z výkresu nebo taky postupné přejíždění rozměrů. Dále měření průměrů otvorů a jejich polohy a taky pro seřizování obrobku dle orýsovaných souřadnic pomocným nitkovým křížkem mikroskopu.



*Obr. 38 Optická snímací
hlavice [58]*

3.2.3 Elektronické měřicí zařízení

K měření průměrů a meziosových vzdáleností slouží elektronické měřicí hlavy. Toto měření se vyznačuje dostatečnou přesností, rychlostí a nenáročností. Elektronické měřicí hlavy mají odpružené doteky, což umožňuje snímání rozměru s již předem předvolenou měřicí silou. „Měřicí hlava má přesně definovanou střední polohu měřicího systému (nulový bod)“ a tím i střední polohu měřicího doteku.“ [20] Měřicí dotek v určité poloze může dělit měřicí hlavy na měřicí hlavy s předvychýleným měřicím dotekem a měřicí hlavy s měřicím dotekem ve střední poloze. [20] Měřicí hlava s předvychýleným dotekem má měřicí dotek před daným snímáním již vychýlen určitou předvolenou měřicí silou, a to ve směru pohybu měřicí hlavy. Jakmile měřicí dotek najede na výchozí plochu měřeného objektu, tak převezme daný řídicí systém souřadnicového měřicího stroje řízení rychlosti pohybu měřicí hlavy po dobu nezbytnou k tomu, aby měřicí dotek zaujal střední polohu. Následně se pohyb měřicí hlavy zastaví a tím elektronický systém měřicí hlavy dá povel, aby proběhl záznam souřadnic snímaného bodu. Na obrázku 39 je ukázka měřicí hlavy firmy Opton. [20]

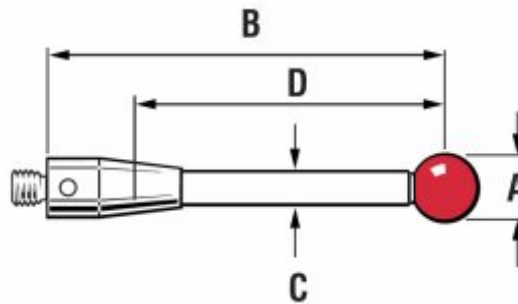


Obr. 39 Ukázka snímací hlavy firmy Opton [20]

3.3 Snímače používané k měření

Každý stroj je vybaven základním příslušenstvím. Toto vybavení je následně dle přání zákazníka možno rozšířit. Snímací doteky se dělí na mechanické, optické, elektronické a cejchovací normál. V případě mechanických doteků se může jednat o provedení v několika tvarech. Tato provedení jsou využívána z důvodu dostupnosti sondy

do měřeného místa či objektu. Nejčastějším provedením bývá měřicí dotek s kuličkou v různých průměrových provedeních. [20]



Obr. 40 Měřicí dotek s kuličkou [37]

U výše uvedeného doteku představují písmena A - D tato označení:

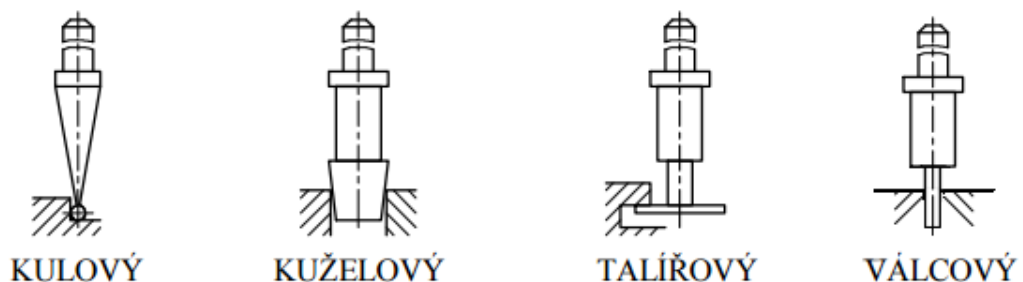
A – průměr kuličky

B – délka doteku

C – průměr dřívku

D – efektivní činná délka [37]

Měřicí doteky jsou vyráběny především ve tvarech s kulovým, kuželovým, talířovým nebo válcovým zakončením. Obsluha při měření si následně zvolí dotyk, kterým se do měřeného místa nejlépe dostane, aniž by se mohla vyskytnout chyba při měření dosažená například špatným sejmutím měřeného bodu, to znamená sejmutí bodu dřívkem a ne měřícím dotekem. [20]

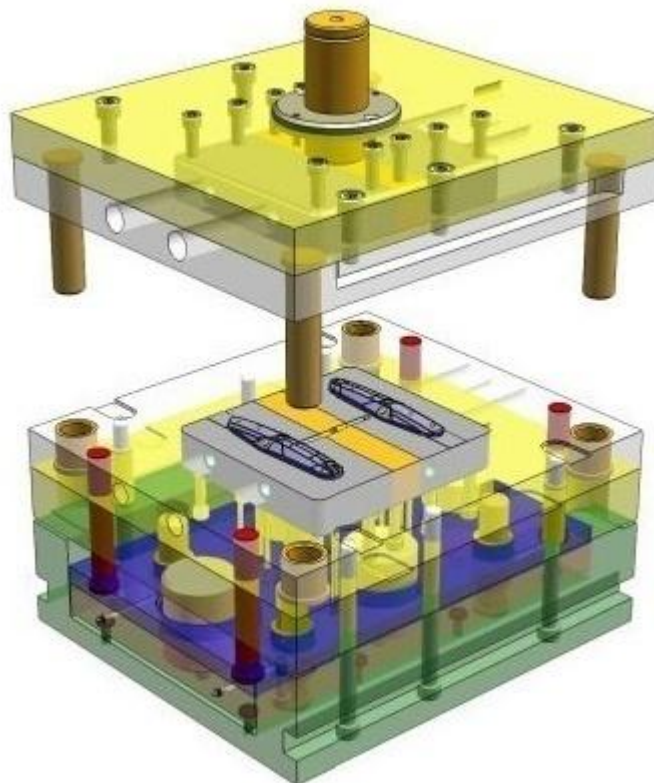


Obr. 41 Typy měřících doteků [20]

Typy vyráběných doteků lze vidět na výše uvedeném obrázku 41 s následným řezem měřeným materiálem. Doteky mohou být vyrobeny z několika materiálů. Lze je vyrobit například z monokrystalicky syntetického rubínu, sintrovaného oxidu zirkoničitého, nástrojové oceli, syntetického rubínu nebo taky karbidu wolframu a jiných materiálů. [21]

4 ZÁSADY KONSTRUKCE A VÝROBA VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma se skládá z několika částí, které se do sebe skládají a tím tvoří celek. Každá část tedy tvoří určitou úlohu ve formě a nese určitý název. Tomuto popisu je věnována kapitola 4.1, ve které jsou jednotlivé díly popsány a přiblížena jejich funkčnost. Ne všechny díly musí být z vysoce kvalitních ocelí a jiných materiálů. Tato důležitost se přisuzuje jednotlivým dílům dle funkčnosti v dané části vstřikovací formy. Problematiku použití materiálů k výrobě dílů ve vstřikovací formě popisuje kapitola 4.2. Níže na obrázku lze vidět příklad otevřené vstřikovací formy se dvěma částmi, a to posuvnou půlkou a pevnou půlkou.

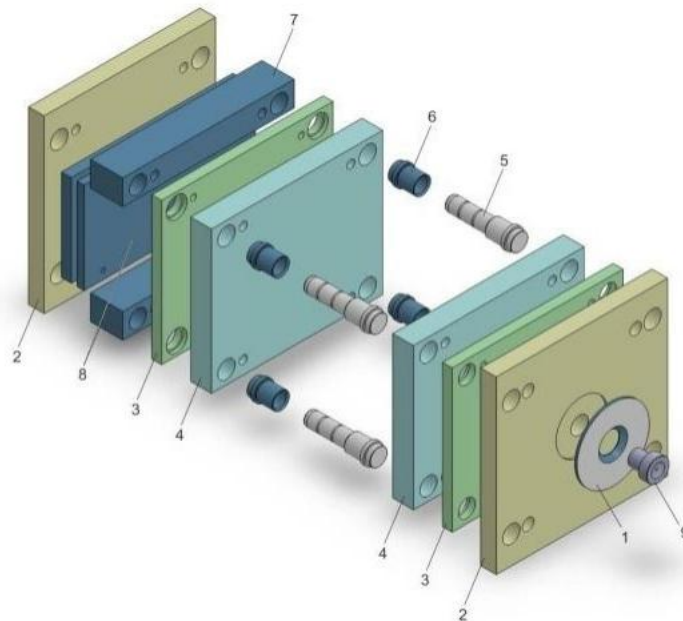


Obr. 42 Otevřená vstřikovací forma [59]

4.1 Názvosloví a popis dílů vstřikovací formy

Vstřikovací forma je složena ze dvou částí. Tyto dvě části do sebe zapadají, uzavírají se a následně do vytvořené dutiny zatéká vstřikovaný polymerní materiál. Tyto dvě části se dělí na pevnou půlku formy a pohyblivou půlku formy. Pevná půlka formy je uchycena na straně vstřikovacího stroje, zde se nachází vstřikovací tryska stroje, která je vystředěna pomocí středících kruhů. V pevné části formy se nachází tvárnice.

Pohyblivá část formy se potom pohybuje proti pevné části, nejčastěji po vodicích kolících. V pohyblivé části formy se nachází tvárník a pohyblivé vložky. V případě, že se na výrobku mají nacházet tvary mimo dělicí rovinu, řeší se to pomocí pohyblivých vložek. Ty slouží k tvorbě tvaru mimo dělicí rovinu a tím je tedy vytvořena další dělicí rovina. Protože je třeba hotový výrobek vyhodit z dutiny formy, jsou za částí tvárníku vyhazovací kolíky, které prostupují určenými otvory a odtlačí hotový výrobek z dutiny formy. Veškeré pohyby se dějí většinou pomocí vodicích sloupků a pouzder vodicích sloupků. [22]



Obr. 43 Popis hlavních částí formy [23]

Na výše uvedeném obrázku lze vidět rozdělení jednotlivých dílů ve formě. Dle uvedeného číselného rozdělení se zde tedy nachází: 1 – středící kroužek, 2 – upínací desky, 3 – opěrné desky, 4 – tvarové desky, 5 – vodicí sloupky, 6 – pouzdra vodicích sloupků, 7 – rozpěrné desky, 8 – desky vyhazovačů, 9 – vtokové vložka. [23]

4.2 Použití materiálů při tvorbě jednotlivých dílů formy

Tím, že je vstřikovací forma složena z mnoha dílů, ne každý díl musí být bezpodmínečně vyroben z nejlepších ocelí, a ne vždy musí být povrch daného dílu bezpodmínečně speciálně upravován. Dané materiály a příslušné operace jsou voleny s ohledem na funkčnost dílu ve formě, ekonomickou vyrovnanost a životnost dílu. Proto se díly taky mohou pro zlepšení vlastností kalit, žíhat nebo třeba cementovat. Pro případ méně namáhaných desek není třeba volit nejkvalitnější ocel. Je vhodné tedy zvolit ocel třídy 11. V případě více namáhaných ocelí se následně volí cementační oceli konstrukční nebo

nástrojové. Vtokové vložky jsou vyráběny z cementačních ocelí nebo taky z ocelí nástrojových vhodných ke kalení. Dorazy jsou voleny z nástrojových ocelí a následně kaleny na vysoké tvrdosti. K výrobě vodičích sloupů a pouzder je volena cementační ocel a materiál na vyhazovací kolíky je vhodný z nástrojové či nitridované oceli. Jakožto hlavní části vstřikovací formy tvárník a tvárnice, musí mít jedny z nejkvalitnějších materiálů. Zde pro dosažení tvrdého povrchu, houževnatého jádra a zároveň dobré leštitelnosti by mělo proběhnout cementování. Kvůli vysoké odolnosti taky kalení. Proto se zde volí materiály nejčastěji z třídy 19, a taky antikorozi oceli z důvodu zpracování chemicky agresivních plastů. [22] K výrobě forem se z největší části používají oceli. Lze ale použít i jiné materiály, jako například dural, měď, hliník nebo taky mosaz a nejrůznější ochranné a izolační materiály. [7]

5 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části diplomové práce byly popsány technologie používané k obrábění tvarových dutin vstřikovacích forem a souvisejících dílů. Následně zde byl uveden popis jednotlivých technologií, ke kterým se řadí frézování, elektroerozivní obrábění, broušení, soustružení či vrtání a dále byly detailně popsány možnosti ručního a strojního programování CNC strojů. U strojního programování byly představeny obráběcí strategie s ohledem na software WorkNC, který je následně využíván v praktické části diplomové práce.

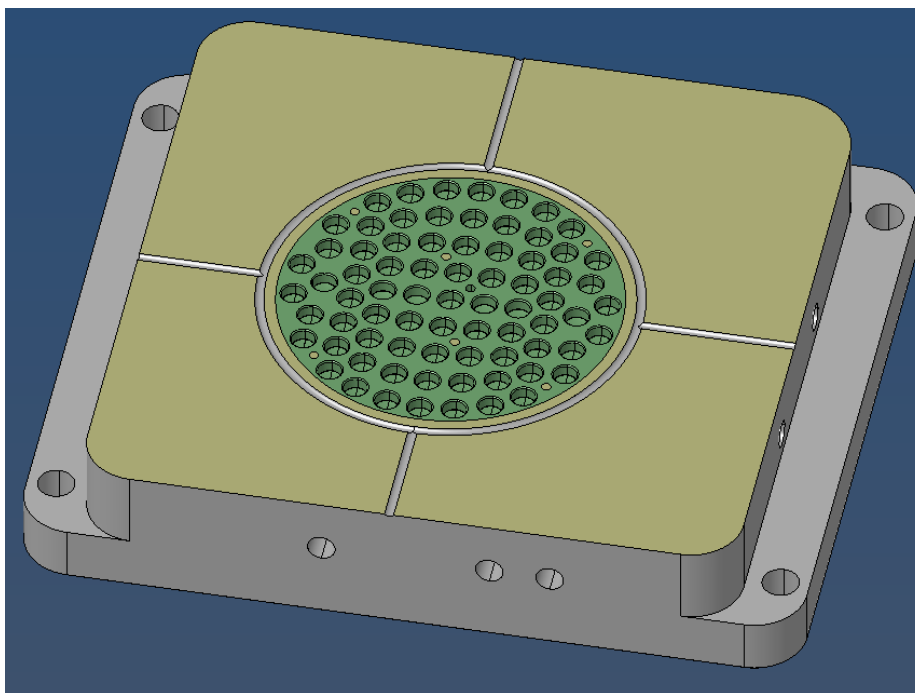
Praktická část se zabývá rozdělením pomocných CAD systémů, definicí postprocesoru a jeho rozdělení. Další kapitola popisuje způsoby měření tvarových částí vstřikovacích forem, kde jsou uvedeny typy souřadnicových měřicích strojů, používané snímací hlavice a snímače. V poslední části jsou popsány zásady konstrukce a výroba vstřikovacích forem. Tato část se věnuje názvosloví a popisu dílů ve vstřikovací formě a taky možnosti použití materiálů pro jednotlivé díly. Tyto teoretické poznatky budou následně využity v praktické části.

Praktická část se zabývá programováním tvarové dutiny dílu frézováním v softwaru WorkNC, dále popisu jednotlivých kroků v CAD a CAM systému. V dané části se popisuje použití elektroerozivního obrábění s návrhem, programováním a s obrobením elektrod. V předposlední části je pak vyrobený díl i elektroda měřena na souřadnicovém měřicím stroji. Konečné výsledky měření na díle tvárníku a postup jednotlivých měření je taktéž detailně popisován v jednotlivých bodech této části. Poslední kapitola praktické části se věnuje zhodnocení časové a ekonomické náročnosti výrobního procesu pro výrobu dílu tvárníku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PROGRAMOVÁNÍ TVAROVÝCH DUTIN VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je složena ze dvou hlavních částí, a to pohyblivé a pevné půlky. V pohyblivé části se nachází díl, jenž se nazývá tvárník. Na pevné části vstřikovací formy se nachází tvárnice. Model tvárnice lze vidět na obrázku 44. Velmi podobným způsobem, jakým je v následujících kapitolách popisována výroba dílu tvárníku, tedy obráběním na CNC stroji a následným EDM obráběním, byl vyráběn i díl tvárnice. K naprogramování tvarové dutiny pro cíl praktické části diplomové práce je vybrán díl z pohyblivé části vstřikovací formy – tvárník. V části programování bude vytvářen program pro frézování, respektive nahrubování všech dostupných míst. Následně bude použito několik elektrod k dokončení všech míst, kde se frézovací nástroje nedostanou z důvodu úzkých míst nebo ostrých přechodů. Veškeré programování jak pro obrábění ocelové části tvárníku, tak i pro obrábění grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění, jsou programovány pomocí CAD/CAM softwaru WorkNC. Prostředí softwaru a jednotlivé postupy programování jsou popsány v následujících kapitolách a podkapitolách.



Obr. 44 Tvárnice – CAD model

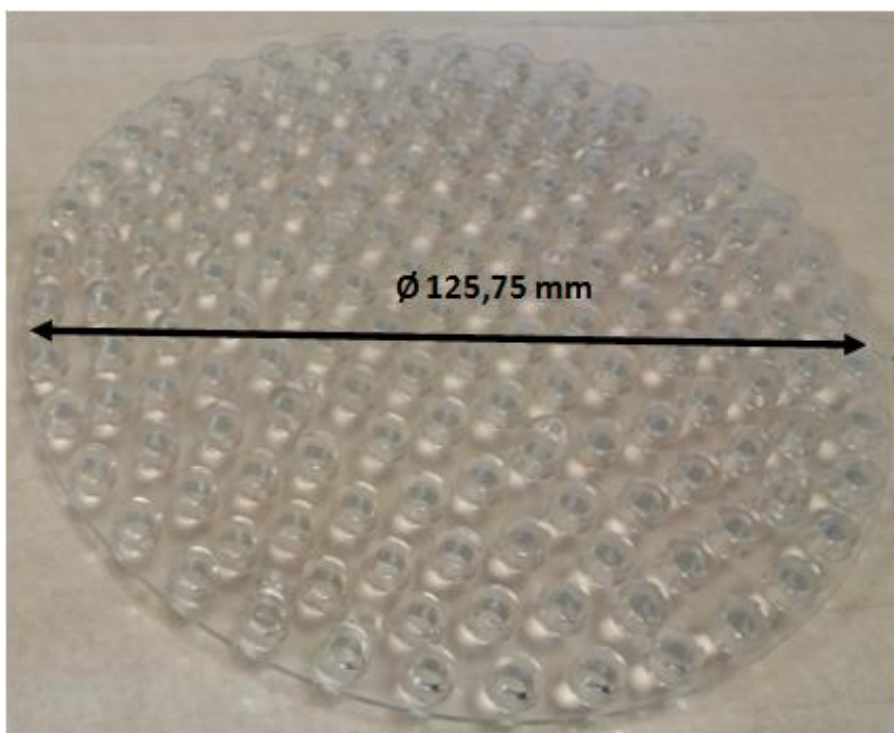
Veškeré tyto tvarové desky jsou součástí vstřikovací formy, v níž se následně pomocí vstříknutí polymerního materiálu vyhotoví výsledný produkt – technický díl, požadovaný

zákazníkem. Materiál pro daný technický díl a parametry vstřikování jsou zobrazeny v tabulce 4.

Tab. 4 – Vstřikovací parametry

	Materiál	Teplota formy [°C]	Čas cyklu [s]	Čas chlazení [s]	Vstřikovací rychlost [ccm/s]	Vstřikovací tlak [Pa]	Uzavírací síla [N]
Technický díl	PC Makrolon 2205 čirý	90	50	25	120	900	20 * 10 ⁵

Tento technický díl je součástí závorových systémů na vlakových přejezdech, kde slouží jako kryt pro signální světla (volný nebo zakázaný průjezd aut přes vlakový přejezd). Tvorba dutin u vstřikovací formy byla tedy aplikována pro technický díl, viz obrázek 45.



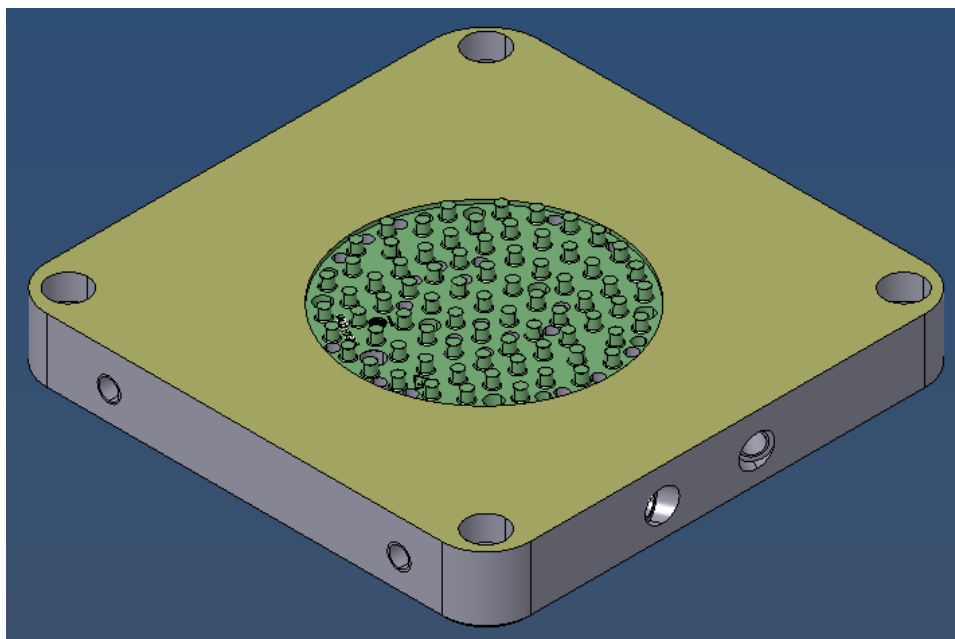
Obr. 45 Technický díl

6.1 Tvárník – popis a funkce obráběného dílu

Tvárník je ve formě umístěn na pohyblivé straně vstřikovací formy. Po příjezdu této části k pevné půlce se dutina formy zaplní vstřikovaným polymerem a následně se okolí dutiny chladí. Po otevření formy následuje vyhození výstřiku pomocí vyhazovacích kolíků či systémů vyhazování.

Tento díl určený k obrábění je nachystán v polotovaru jako ocelový kvádr z materiálu 1.2343 o rozměrech 250 x 250 x 41 mm, pouze s průchozími otvory vyřezanými pomocí elektroerozivní drátové řezačky. Výroba děr tedy není řešena programovým zpracováním. Průchozí otvory slouží pro prostup vyhazovačů přes tvárník, a tedy umožňují vyhodit vystříknutý výrobek z části tvárníku ven.

Na tvárníku se nachází velký počet pinů, což jsou tvarové části. Piny jsou kuželového profilu z důvodu lepšího odformování. Tím, že tyto piny jsou poměrně blízko sebe, je poměrně náročné tato místa obrábět frézovacími nástroji na CNC strojích, a tak je výhodné použít EDM technologii k obrábění pomocí grafitových elektrod. Ta umožňuje odhloubení materiálu, který zůstává v úzkých místech a u ostrých přechodů. Tímto způsobem tedy dosáhneme vytvoření přesných ostrých přechodů na tvárníku dle požadavků zákazníka. Níže na obrázku je uveden model konečného tvárníku. Jsou zde vidět místa kolem pinů, která se musejí dohloubit pomocí EDM obrábění stejně tak, jako postranní válcová část tvaru, která je napojená na spodní část jako u pinů. Veškeré boční díry a chladicí systémy jsou již předvrtány pomocí horizontálních vrtaček.

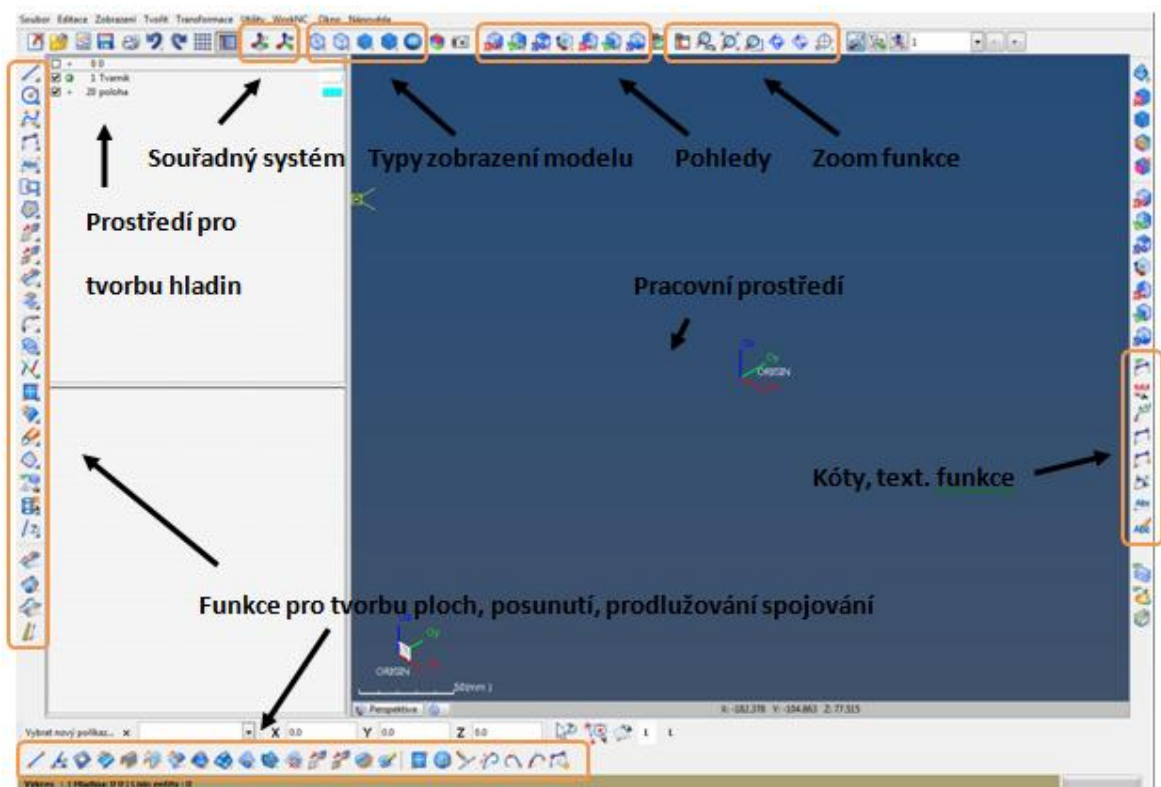


Obr. 46 Tvárník – CAD model

6.2 WorkNC – CAD/CAM prostředí softwaru

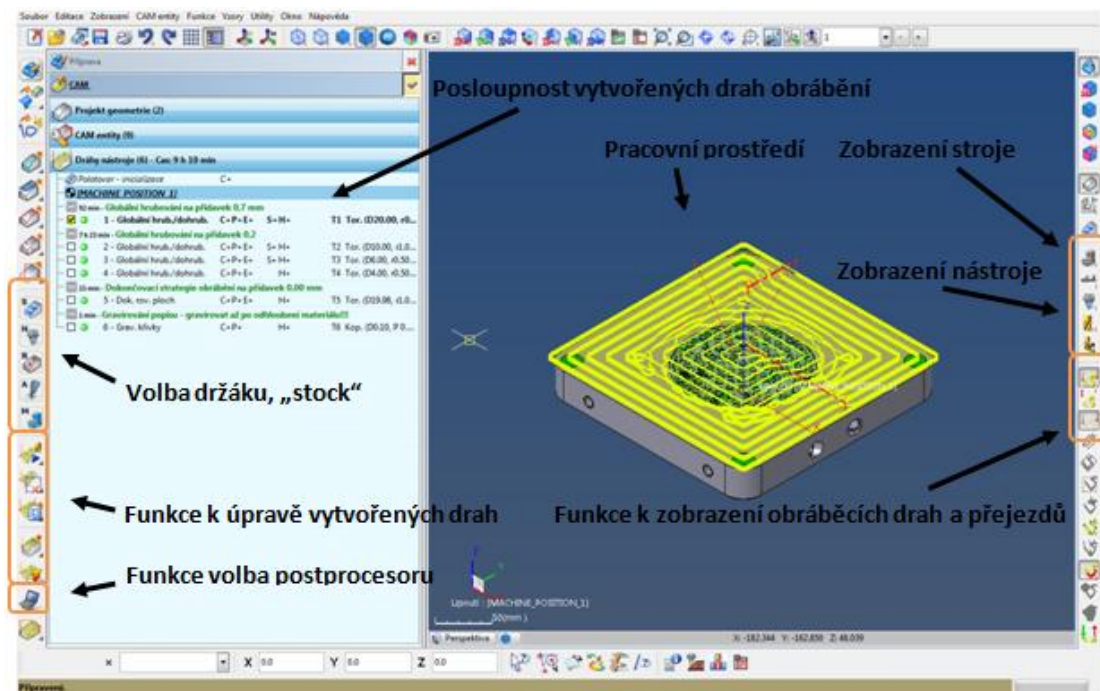
Každý CAD/CAM software má své vlastní specifické prostředí. V softwaru WorkNC lze toto prostředí rozdělit do dvou základních oblastí. První se zabývá CAD tvorbou a druhá je zaměřena na CAM technologie. V CAD oblasti lze daný model výrobku

předchystat tak, aby při následné tvorbě v CAM prostředí jezdil nástroj jen tam, kde je zapotřebí. Zde se tedy domodelují pomocné, zalepující či prodlužující plochy. Tvoříme se zde křivky pro obrábění popisů, odvzdušňovacích drážek a jiných oblastí, které jsou následně použity pro obrábění v CAM prostředí jako vodící křivky. V oblasti CAM technologií lze tvořit potřebné obráběcí strategie, volit obráběcí nástroje a parametry obrábění. Lze upravovat vypočítané dráhy obrábění, případně volit technologie neboli místa, která mají být obrobena přesně tak, jak programátor zvolí. U CAD prostředí v levém panelovém okně a taky ve spodním panelovém okně jsou umístěny funkce pro tvorbu ploch a jejich úpravy jako posunutí, prodlužování nebo spojování. Na pravém panelovém okně jsou například kótovací nebo popisové funkce. Jednotlivé typy zobrazení modelu, pohledy a zoom funkce jsou umístěny v horním panelu. Vedle zobrazovacích funkcí nalezneme funkce pro tvorbu souřadných systémů a taky pro zobrazení nebo přepnutí do nové pomocné mřížky k tvorbě křivek v různě kolmých místech. Níže je prostředí pro tvorbu hladin, kterými definujeme vytvořenou aplikaci jako například elektrodu, model tvárníku a jiné. Tvorba hladin je velmi důležitá z důvodu přehlednosti jednotlivých aplikací a taky pro následnou tvorbu projektu do CAM prostředí.



Obr. 47 CAD prostředí

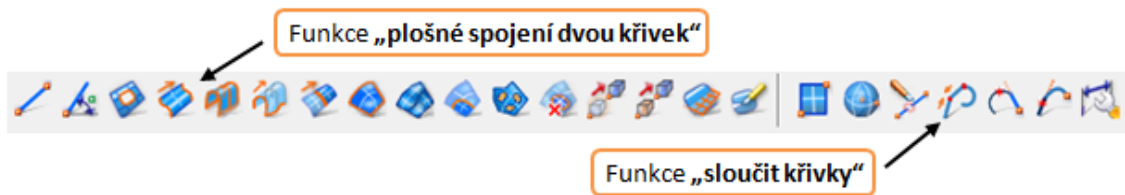
CAM prostředí je uvedeno na obrázku 48, kde jsou rovněž uvedeny základní popisky jednotlivých ikon a oblastí pro využitelnost a přehlednost. V levé panelové části jsou umístěny funkce k úpravě obráběcích drah, nástrojů a držáků nástrojů, jako například funkce „stock“, postprocesor, volba držáku a další. Na pravé panelové straně jsou potom zobrazovací funkce. Zde lze zobrazovat a skrývat jednotlivé nástroje, držáky, obráběcí dráhy, přejezdy a posuvy a taky zobrazit nástroje ve formě modelu v plném, průhledném nebo taky drátovém zobrazení.



Obr. 48 CAM prostředí

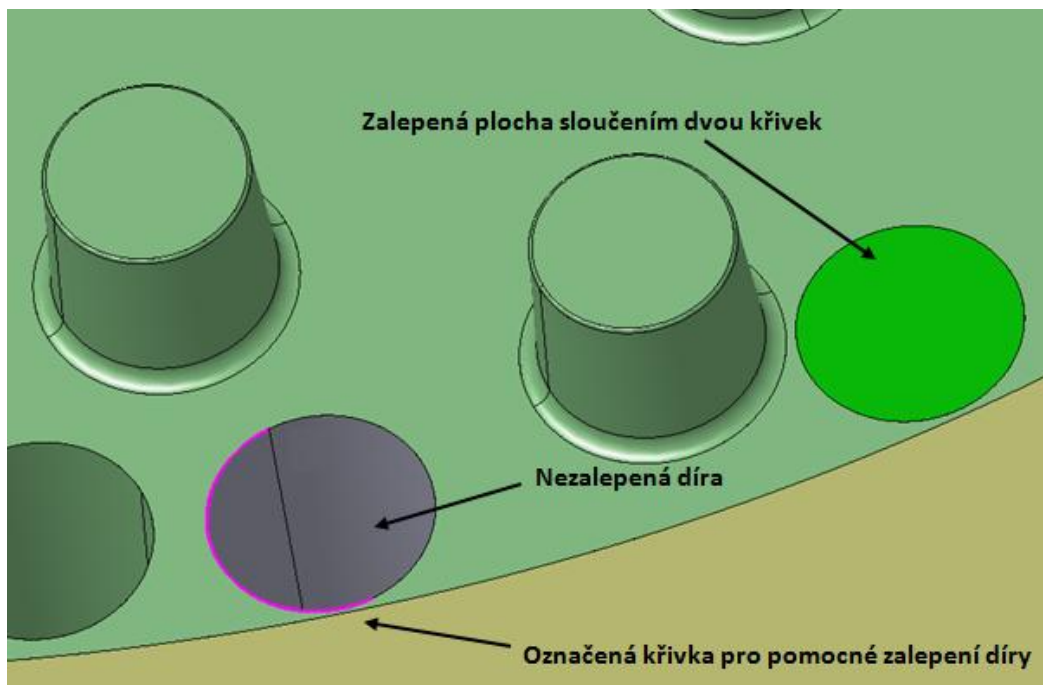
6.3 Tvorba pomocného zalepení a ploch na tvárníku v CAD

Pomocné zalepení ploch je velmi důležitou součástí u programování. Za využití pomocných ploch, kterými bylo v CAD prostředí možné domodelovat daná místa, byly zalepeny průchozí díry tak, aby zde nehrozilo nežádoucí zajištění frézou, a tedy zbytečného frézování nebo případné kolize. Mohlo by dojít i k odfrézování částí tvaru, který zde má zůstat (zajištěním do některých z funkčních míst). Tak zvané zalepování pomocných ploch bylo provedeno v CAD prostředí pomocí funkcí k tomu určených. Nejprve se slučují křivky, které nejsou jednotné, a následně pomocí funkce plošné spojování dvou křivek se tato místa zalepí tak, aby zde nehrozilo zafrézování.



Obr. 49 Funkce sloučení a spojení křivek

Výše na obrázku 49 lze vidět funkce, pomocí kterých se slučují křivky a taky zalepují plochy mezi těmito křivkami. Tyto plochy se zanášejí do hladiny „Pomocne_zalep“ a z důvodu přehlednosti se označují zelenou barvou. Zalepení otvoru i s jeho tvorbou lze vidět na obrázku 50.



Obr. 50 Popis tvorby ploch pomocí sloučení křivek

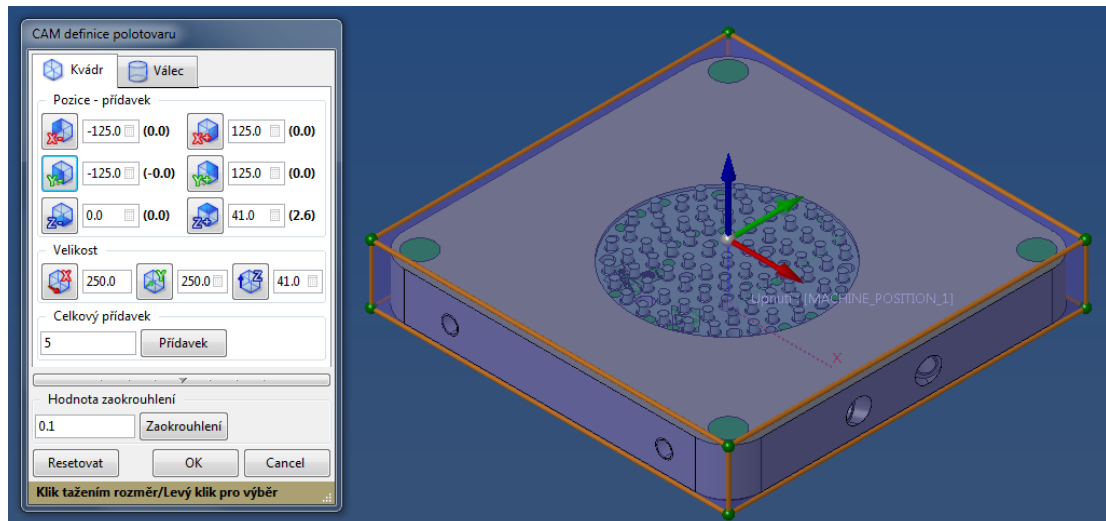
6.4 Tvorba frézování tvárníku v CAM prostředí

Tvárník s pomocnými plochami vytvořenými v CAD prostředí lze použít k založení projektu a tím přejít do prostředí obrábění. Při zakládání projektu je důležité dbát na správný výběr entit při jejich označování. Nejprve se zvolí pořadí obráběcích strategií tak, aby na sebe správně navazovaly a nedošlo k nedoobrobení určitého místa nebo kolizi nástroje s neobrobeným materiálem. Je zdefinován obráběcí nástroj a řezné podmínky tak, aby se dosáhlo požadovaných operací v dostatečné kvalitě pro následující operace. Dále se zadávají veškeré parametry frézování. Po výpočtu všech určených obráběcích

strategií se v některých místech vypočítané dráhy upravují (odstraňují) z důvodu přebytečného obrábění. Velmi důležitou součástí při tvorbě obráběcího programu je přiřazení správného postprocesoru pro převod NC dat (z pc do stroje). Po odladění všech operací a následném odsimulování se vytvoří nájezdový list (v html prostředí). Zde jsou udávány veškeré údaje potřebné pro obsluhu stroje. Výše zmiňované operace a postup tvorby programování pro frézování jsou přiblíženy v následujících podkapitolách.

6.4.1 Založení projektu

Při zakládání projektu je nutné dbát na vytvoření polotovaru, kterým je reálný kvádr o rozměrech 250 x 250 x 41 mm. Software má tak nadefinovanou oblast pro obrábění. Polotovaz lze namodelovat v CAD prostředí, a nebo jej lze nasimulovat v prostředí CAM pomocí zadaných rozměrů reálného polotovaru. V tomto případě je využito možnosti nasimulování polotovaru v CAM prostředí. Obvodové rozměry dílu jsou nafézovány ve 2D pomocí univerzální frézky a nejsou součástí tvorby programů v CAM softwaru. Pro větší přesnost a kvalitu je provedeno broušení obvodových stěn. Vytvoření polotovaru pro frézování znázorňují na obrázku 51.

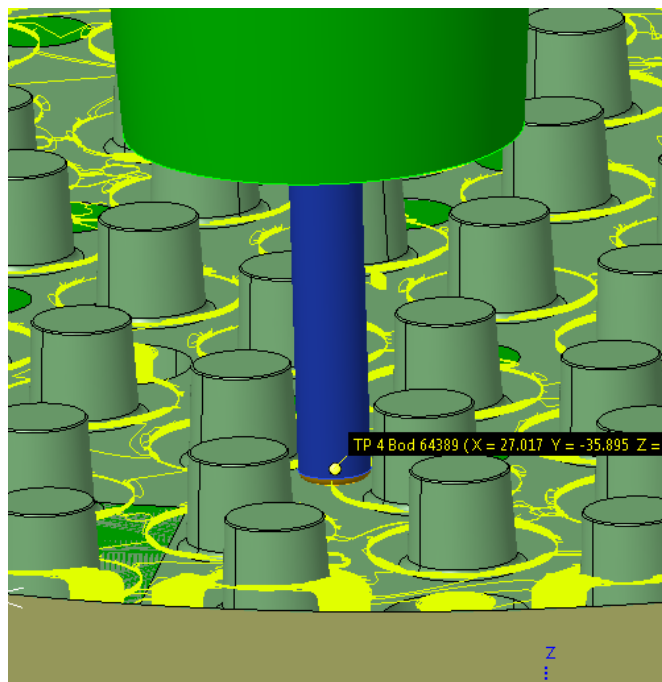


Obr. 51 Tvorba polotovaru v CAM

6.4.2 Volba obráběcích strategií

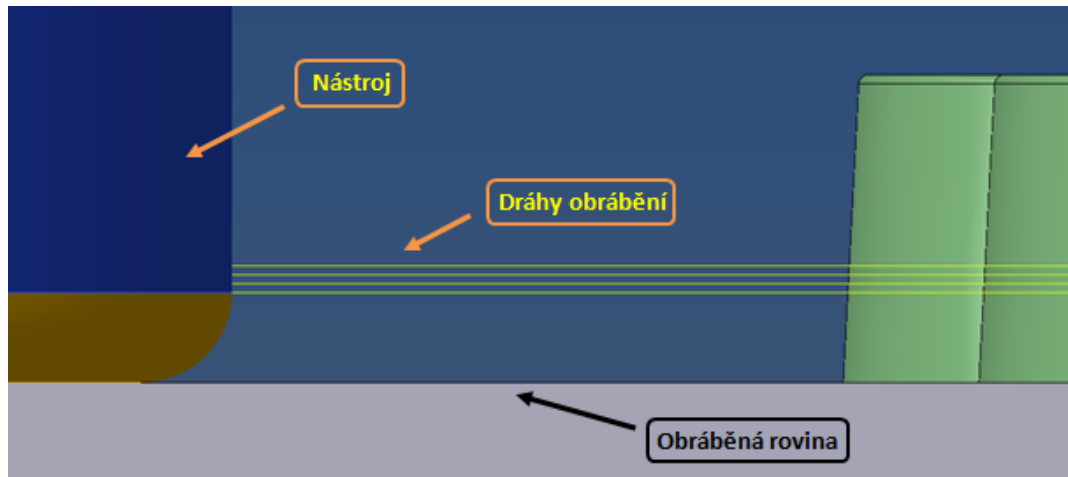
Vstupním polotovarem je kalený kvádr o rozměrech 250 x 250 x 41 mm. Správnou volbou technologie obrábění s ohledem na strojní part dané firmy se musí dosáhnout vysoké efektivity a jednoduchosti výroby. První technologie řeší tvar tvárníku a předhrubování dosedací plochy a připravuje tak tvárník pro elektroerozivní obrábění (hloubení).

Zvolena je obráběcí strategie „Globální hrubování/dohrubování“ větším průměrem frézovacího nástroje s přídávkem 0,7 mm na obráběném díle. Tento přídavek je volen především z důvodu velikosti použitého nástroje. Pro elektroerozivní obrábění je tento přídavek reálný, nicméně by toto obrábění trvalo velmi dlouhou dobu a bylo by tak neekonomické. Proto se použije stejná strategie obrábění k dohrubování pomocí třech rozměrově menších nástrojů. Každý nástroj následně odebere materiál všude tam, kde se svým průměrem dostane. Tyto nástroje odebírají materiál až do hodnoty přídávku 0,2 mm. Aby každá fréza neobráběla stejnou pasáž, nastavuje se v každé hrubovací strategii funkce „Stock“. To zaručuje doobrobení míst po všech – průměrově větších frézách bez zbytečného frézování. Následně tedy vznikne přídavek 0,2 mm pro elektroerozivní obrábění.



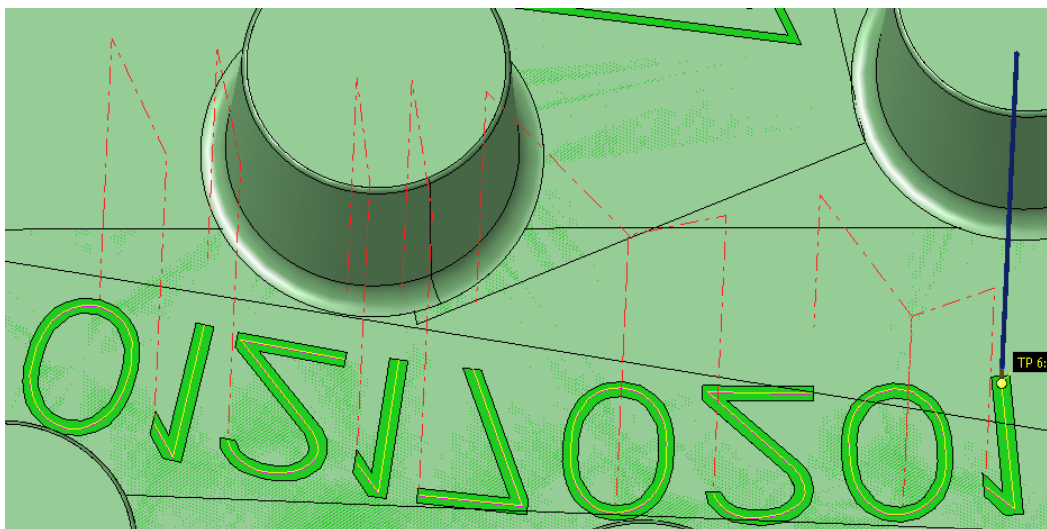
Obr. 52 Ukázka dohrubovací strategie

Mimo tvarové pasáže se musí obrobit rovina, která dosedá na protější díl (tvárnici). Pro tuto oblast je použita obráběcí strategie „Dokončování rovinných ploch“, která je definována nulovým přídávkem materiálu. V zadávaných parametrech se definuje Z-krok, tedy hodnota úběru nástroje. Na daných plochách je přídavek 0,2 mm. Z-krok je volen 0,1 mm. Odebrání materiálu je provedeno na dvě dráhy. Aby se předešlo případné kolizi, u parametrů je zde určen o 0,2 mm větší přídavek. Odebírání tedy proběhne po 0,1 mm na čtyři dráhy i se zvoleným přídávkem navíc.



Obr. 53 Ukázka strategie dokončování rovin s úběrem po desetíně mm materiálu

Poslední použitá frézovací strategie je strategie „Gravírování křivky“. Tato obráběcí strategie gravíruje popis. Zde je nutné vytvořit si v CAD prostředí vodící křivku, po které je následně frézovací nástroj veden, a tak se gravíruje požadovaný popis. Popisy nerealizovatelné pomocí frézování se vypalují do oceli laserovým paprskem u externího dodavatele. Obráběcí strategie „Gravírování křivky“ je použita až po odhloubení materiálu ve tvarových místech pomocí frézovacího hrotu o velikosti nástroje D0,1 mm.



Obr. 54 Ukázka strategie „Gravírování křivky“

6.4.3 Volba nástroje a řezných podmínek

Pro každou operaci se volí vždy specifický nástroj a jeho řezné podmínky. Hlavní rozdíly při určování řezných podmínek jsou u strategií pro hrubování a strategií pro dokončovací operace. V případě hrubování je volen menší pracovní posuv z důvodu úběru většího

množství materiálu. Naopak při dokončovací strategii je již zvolena vyšší rychlost otáček při menším pracovním posuvu. Tím se dosahuje kvalitního povrchu například u obrábění rovin. Řezné a další podmínky jsou voleny v kombinaci s ohledem zkušeností programátora, listů od výrobců nástrojů a především s ohledem na přednastavené knihovny řezných podmínek jednotlivých nástrojů. Níže v tabulce 5 lze vidět porovnání podmínek obrábění u hrubovací a dokončovací strategie.

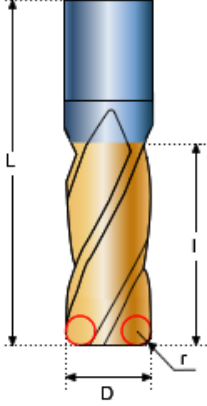
Tab. 5 – Porovnání podmínek obrábění u hrubovací a dokončovací strategie

	Přídavek na dokončení [mm]	Řezná rychlost v_c [m/min]	Hloubka řezu a_p [mm]	Šířka záběru a_e [mm]	Pracovní posuv [mm/min]	Rychloposuv [mm/min]	Nástroj [mm]
Hrubovací strategie	0,20	157,00	0,15	12,00	2000,00	80000,00	D20,00 R0,8
Dokončovací strategie	0,00	169,00	0,10	10,00	1700,00	80000,00	D20,00 R1,0

Pro strategie „Globální hrubování/dohrubování“ a „Dokončování rovinných ploch“ se volí jako optimální nástroj toroidní frézy různých průměrů. Nejprve je použita toroidní fréza D20.00 R0.80, následně pro další hrubovací strategie jsou voleny nástroje jako D10.00 R1.00, D6.00 R0.5 a D4.00 R0.5. Pro dokončování rovinných ploch je následně použita fréza D20.00 R1.00, která je definována pro použití k dokončování obrábění daného povrchu přímo výrobcem z důvodu jejího přesnějšího rozměru. V případě gravírování textu se používá kopírovací fréza D0.10 neboli hrot. Tato rozměrově malá fréza je využívána především právě pro frézování popisu jednotlivých textů, označení, popisků a dalších například různých číselných doplňků.

Veškerou volbu nástrojů, jejich řezné podmínky, parametry a další potřebné informace lze měnit variabilně dle potřeby. K tomu se využívá především ta část tabulky, kde se zadávají parametry pro hrubování pomocí nástroje frézy D20.00 R0.8. Tyto parametry lze zadávat v bloku knihovny nástrojů. Zde se nástroj může měnit nebo určovat jeho vlastnosti, mezi které patří například: tvar ostří nebo délka, jeho průměr či rádius nástroje, a taky je zde možnost veškeré tvorby a modelování nástroje dle reálných fyzických nástrojů. Následně je tedy přehlednost daného nástroje velmi jednoduchá a využitelná.

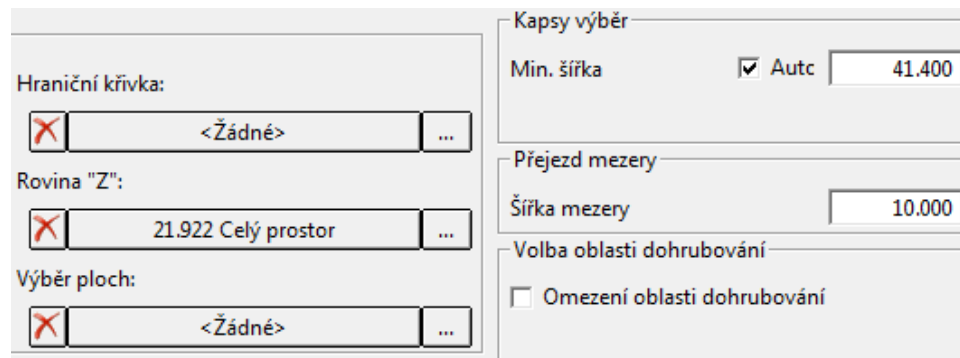
Nástroj	Držák	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Dodavatel	Uživatelské
Typ:	Toroidní fréza					
Jméno:	20r0.8 L=83					
Popis:	Veldon dmu 80 ,prodloužení 50mm , fréza dlouhá 33 mm					
Efektivní délka nástroje:	83.000 mm	Číslo nástroje:				
Min. bez. vzdálenost upnutí:	4.500 mm	Symbolické č.:				
Tvar ostří	Profil	Kód chlazení:				-1=Žádný
Délka:	L	83.000 mm				
Průměr:	D	20.000 mm				
Rohový rádius:	r	0.800 mm				
Délka ostří:	l	3.000 mm				
Neřezný průměr:		0.000 mm				
Neřezná délka:		0.000 mm				



Obr. 55 Geometrické parametry toroidní frézy pro hrubování

6.4.4 Volba parametrů pro frézování

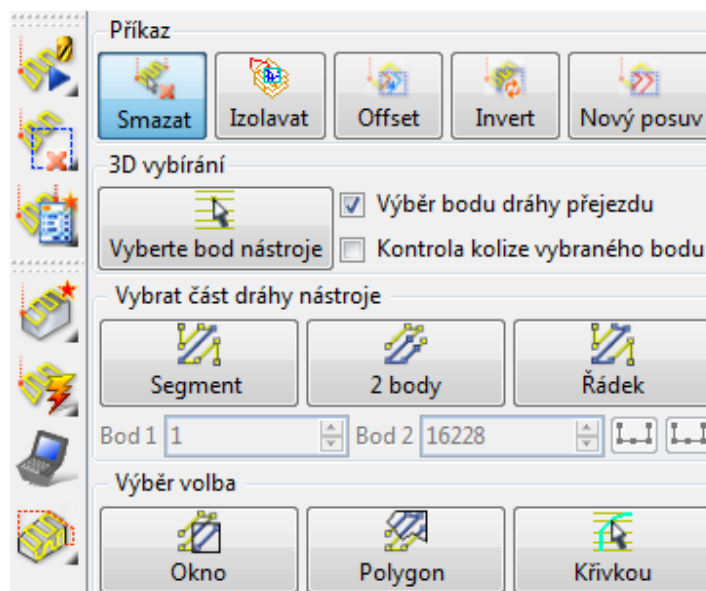
U frézování lze v CAM softwaru WorkNC určovat, kde všude fréza může obrábět, čímž se zamezí zbytečného obrábění již obrobených míst. V programu se ovlivňují tyto parametry pomocí tří funkcí. V případě potřeby se využívá například omezení pomocí křivky, kterou lze vytvořit v CAM prostředí. Rovněž je možné určit konečnou hodnotu, na které se skončí dané frézování. To znamená, že pomocí funkce omezení Z-konstant zamezíme frézování pod danou Z-úroveň. Nabízí se zde možnost vytvořit vlastní technologii ploch, které budou obráběny. Pro tuto možnost je vhodné jednotlivé plochy při modelování v CAD prostředí rozdělit do různých hladin, které se následně aplikují pro určení technologie obrábění. Pro zamezení frézování kapsovitých míst se dají určit nejmenší přípustné šířky možného místa frézování. Všechny tyto možnosti lze aplikovat v jakékoliv kombinaci. U dílu tvárníku, pro který je tvořeno programové obrábění, je využito omezení pomocí Z-konstant a zamezení frézování v šířce kapes/děr. Na obrázku 56 lze vidět v aplikaci omezení Z-konstant při nastavování. Toto omezení je zvoleno do roviny v úrovni celého prostoru ve výšce 21.922 mm. Zároveň zde lze vidět další možnosti omezování, a to omezování výše zmiňovanými parametry jako například hraniční křivkou, tvorbou určité technologie pomocí výběru ploch, a nebo omezení pomocí minimální šířky při frézování. Pro vyhledávání zbylého materiálu po hrubování lze využít volbu oblasti dohrubování, kdy se pomocí omezení oblasti dohrubování zvolí, jaký přírůstek má při přepočtu daná frézovací dráha vyhledávat.



Obr. 56 Parametry omezení z tabulky

6.4.5 Úpravy obráběcích drah a korekce chybných výpočtů

I přes určení mezí, ve kterých se daný nástroj má pohybovat, se mohou vyskytovat místa drah, kde by nástroj obrábět neměl. Tyto obráběcí dráhy se tedy odstraňují pomocí funkce k ořezávání drah. V závislosti na způsobu ořezu je možné vybrat z několika možností, jak danou oblast odstranit. V nabídce je volba ořezávání pomocí okna, kdy se označením dvou protějších bodů vytvoří okno, které ořeže vybranou oblast frézovacích drah. V případě špatně dostupných míst se využívá funkce polygonu, kdy se označuje tímto polygonem oblast k ořezání frézovacích drah. Pomocí funkce dvou bodů se určí oblast ořezu odkud kam, a to přímo na obráběcích drahách.



Obr. 57 Pomocné upravující funkce

Při potřebě oříznutí drah lze využít funkce ořezávání pomocí řádku. Výše na obrázku je vidět funkce k ořezávání drah, které nejsou vhodné k obrábění. Jakmile jsou nevhodné

obráběcí dráhy ořezány, musí se daná strategie nechat přepočítat. Tato změna se u dané strategie v prostředí CAM zaznačila písmenem „E+“, Editation – upozornění editace.

6.4.6 Postprocessor – určení a aplikace

Postprocessor neboli překladač CL dat (dráhy nástroje příslušné řeči) je nedílnou součástí programování. V případě nepoužití postprocessoru by data nebyla čitelná pro CNC stroj, a byla by tedy zcela nepoužitelná. V závislosti na druhu obrábění je určen i postprocessor stroje. Protože se jedná o tříosé obrábění, pro stroj Deckel_Maho_75 je platný pro obrábění postprocessor DMU_3axis. V případě použití pětiosého obrábění u ocele by se použil postprocessor DMU_5axis. Pro pětiosé obrábění grafitových elektrod lze použít postprocessor Fehlmann_5axis. V případě, že je daný postprocessor vypočítán, objeví se u vypočítaných strategií záznam, a to s písmenem „P+“

6.4.7 Konečná tvorba a popis nájezdového listu

Konečnou fází tvorby obrábění v CAM programování je vytvoření a popis obráběcího listu. Tento list je vytvořen po vypočítání potřebných parametrů, kolizí a použitých držáků, editací a postprocessorů, které jsou nutné k fungování programu. Na obrázku 58 lze vidět atributy strategií. Výpočet kolize držáku, respektive bezkolizního stavu, je zde pod označením „H+“. Nehrozí tak kolize držáku s dílem a obrábění lze uvést do praxe a aplikovat jej na CNC strojích.

Dráhy nástroje (6) - Cas: 9 h 10 min	
Polotovar - inicializace C+	
[MACHINE POSITION 1]	
92 min - Globální hrubování na přídavek 0,7 mm	
1 - Globální hrub./dohrub.	C+P+E+ S+H+ T1 Tor. (D20.00, r0.80, P 0.70) Válcová stopka
7 h 23 min - Globální hrubování na přídavek 0,2	
2 - Globální hrub./dohrub.	C+P+E+ S+H+ T2 Tor. (D10.00, r1.00, P 0.20) Válcová stopka
3 - Globální hrub./dohrub.	C+P+E+ S+H+ T3 Tor. (D6.00, r0.50, P 0.20) Válcová stopka
4 - Globální hrub./dohrub.	C+P+E+ H+ T4 Tor. (D4.00, r0.50, P 0.20) Válcová stopka
15 min - Dokončovací strategie obrábění na přídavek 0,00 mm	
5 - Dok. rov. ploch	C+P+E+ H+ T5 Tor. (D19.98, r1.00, P 0.00) Válcová stopka
1 min - Gravírování popisu - gravírovat až po odhloubení materiálu!!!	
6 - Grav. křivky	C+P+ H+ T6 Kop. (D0.10, P 0.00) Válcová stopka

Obr. 58 Atributy operací E+, P+, H+

Pro přenos informací programátor – operátor se využívá dokumentace (viz přílohy I – VI). Tato dokumentace obsahuje informace o použití nástrojů, řezné podmínky, druhy držáků, jednotlivé kroky úběrů při odebírání, konečný přídavek na obráběném díle a další.

Dokumentaci si operátor může vytisknout nebo prohlížet v elektronické podobě. Tabulka 6 uvádí výpis jednotlivých technologií pro frézování ocelové dutiny a grafitové elektrody č. 1.

Tab. 6 – Technologie pro frézování ocelového tvárníku a grafitové elektrody

Druh strategie Fréz. tvárníku	Přídavek na dokončení [mm]	Nástroj [mm]	Řezná rychlost v_c [m/min]	Hloubka řezu a_p [mm]	Šířka záběru a_e [mm]	Pracovní posuv [mm/min]	Rychloposuv [mm/min]
Glob. hrub / dohrub	0,70	D20,00 R0,8	157,00	0,15	12,00	2000,00	80000,00
Glob. hrub / dohrub	0,20	D10,00 R1,0	79,00	0,08	6,00	1500,00	80000,00
Glob. hrub / dohrub	0,20	D6,00 R0,5	47,00	0,06	3,00	1100,00	80000,00
Glob. hrub / dohrub	0,20	D4,00 R0,5	31,00	0,05	2,00	900,00	80000,00
Dok. rovin. ploch	0,00	D20,00 R1,0	157,00	0,10	10,00	1500,00	80000,00
Gravírování křivky	0,00	D0,1	1,00	-	-	200,00	80000,00
Druh strategie E1	Přídavek na dokončení [mm]	Nástroj [mm]	Řezná rychlost v_c [m/min]	Hloubka řezu a_p [mm]	Šířka záběru a_e [mm]	Pracovní posuv [mm/min]	Rychloposuv [mm/min]
Glob. hrub / dohrub	0,20	D10,00 R1,00	283,00	1,00	7,50	2500,00	50000,00
Glob. hrub / dohrub	0,20	D4,00 R0,20	151,00	0,30	2,50	1200,00	50000,00
Dokon. Z-konst.	0,00	D4,00	151,00	0,10	0,001	1500,00	50000,00
Optim. Z-konst.	0,00	D4,00	151,00	0,00	0,10	1500,00	50000,00
Zbyt. mat. Z-konst.	0,00	D2,00	75,00	0,08	0,08	900,00	50000,00
Zbyt. mat. Z-konst.	0,00	D1,00	41,00	0,07	0,07	700,00	50000,00
Zbyt. mat. Z-konst.	0,00	D0,50	20,00	0,06	0,04	600,00	50000,00

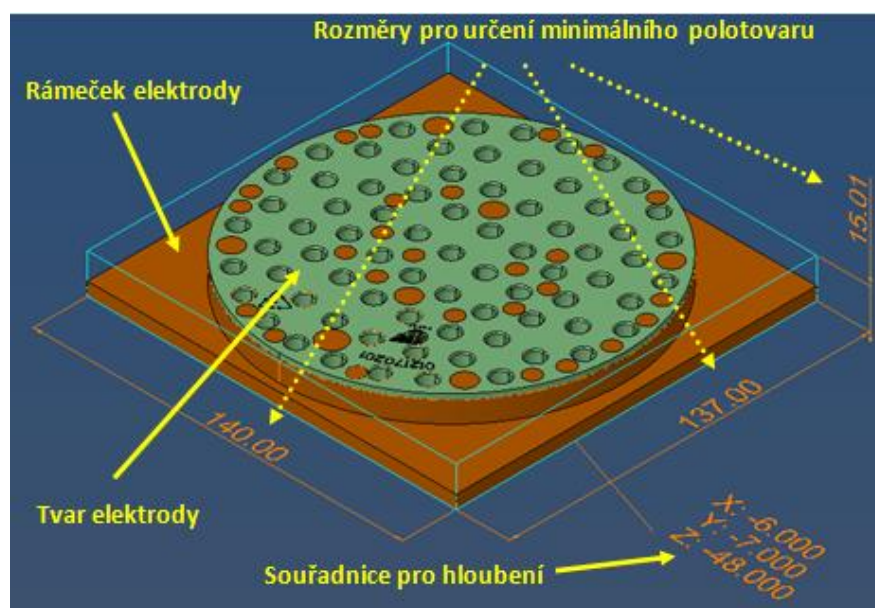
7 NÁVRH ELEKTROD PRO ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ A JEJICH NAPROGRAMOVÁNÍ

Tvorba grafitových elektrod k elektroerozivnímu obrábění je důležitou součástí technologického procesu při zpracování postupů u obrábění tvarových částí vstřikovacích forem. Modelování a příprava elektrod pro obrábění je tvořena v CAD prostředí již zmiňovaného softwaru WorkNC. Lze zde využít širokou škálu možností modelovacích a pomocných funkcí. Je nutné dbát na správné a vhodné vytažení a domodelování chybějících ploch. Již při tvorbě elektrod musí programátor předvídat veškeré možnosti obrábění elektrody a taky aplikaci a funkčnost při EDM obrábění. Tyto poznatky při tvorbě jednotlivých modelů elektrod musí programátor celkově začlenit a efektivně využít. Z hlediska efektivnosti se jedná převážně o úsporu materiálu. Programátor musí tedy zvolit vhodnou velikost elektrod. Určení souřadnic pro EDM hloubení, jak u tříosého, tak i u pětiosého obrábění dané elektrody nebo taky při obrábění tak zvané mimostředové elektrody, určuje programátor. Dle způsobu obrábění elektrody a podle způsobu elektroerozivního obrábění se tyto veškeré souřadnice mění. Jsou podstatné taky především pro přesnou definici polohy elektrody při elektroerozivním obrábění. Při tvorbě uváděných elektrod není nutné používat pětiosé obrábění a ani mimostředové elektrody. Veškeré tříosé obrábění, postup a ukázky tvorby elektrody jsou popsány níže v dalších podkapitolách, kde jsou uvedeny i obrázkové příklady s danými popisky.

7.1 Tvorba elektrody v CAD

Při tvorbě elektrody je nutné již předem předpokládat obrobitelnost všech pasáží, využitelnost délek a průměrových velikostí nástrojů a taky následnou aplikaci elektrody v místě obrábění. Následně po vybrání tvarů a míst na tvárníku, které jsou začleněny do elektrody, jsou tyto plochy vytaženy a prodlouženy nad tvar tvárníku tak, aby mohla být elektroda zakončena namodelováním rámečku (uchycení elektrody). Rámeček je standardně 5 mm vysoký a musí přesahovat přes namodelovanou elektrodu. To proto, že jej lze považovat za určitý polotovar elektrody a hranici pro uchycení k erowě. Při tvorbě elektrod je využito prodloužení křivek, přičemž jsou nejprve vysunuty křivky od tvaru tvárníku do určité výšky a pomocí spojování ploch označena křivka, kterou je nutno vysunout, a dvě křivky, podél kterých toto tažení probíhá. To umožňuje domodelovat potřebné stěny elektrody (dokončení úplnosti elektrody). Takto vytvořená

elektroda je modelem reálně obrobene a vytvořené elektrody. Elektroda je ohraničena drátovým polotovarem, a to z důvodu vykótování potřebných rozměrů elektrody a určení souřadnic pro EDM hloubení. Jako hlavní rozměry jsou vytaženy kóty pro délku, šířku a výšku elektrody, díky nimž si operátor uřízne na pilce grafit daných rozměrů zvětšený o přídavky pro obrábění (tím se podrobněji zabývá 7.1.3). Pro tvorbu elektrod v softwaru WorkNC v prostředí CAD systému jsou využity potřebné funkce jako vysunutí ploch, sloučení, vysouvání a prodlužování křivek a upravování ploch funkcí k ořezávání či zaoblování křivkami. Vytvořenou elektrodu č. 1 lze vidět na níže uváděném obrázku 59. Další použité elektrody jsou uvedeny v přílohách (viz přílohy XIV).



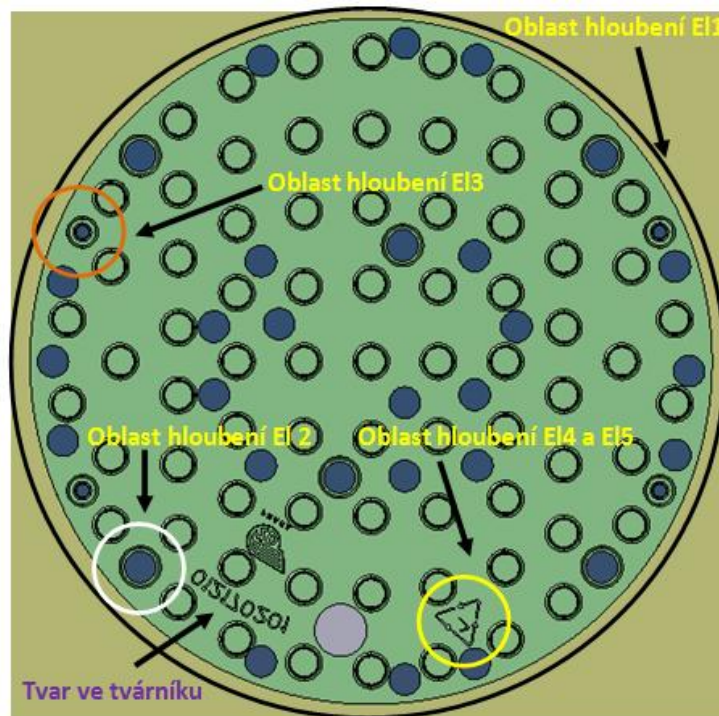
Obr. 59 Elektroda – 3D CAD model

U výše uvedené elektrody je uveden princip rámečku, ohraničení tvaru pod elektrodou. Tvar elektrody tedy musí být rozměrově užší a v zákrytu rámečku tvarové elektrody.

7.1.1 Specifikace míst pro hloubení elektrodami

K dokončení tvarové části tvárníku je zapotřebí namodelovat celkem pět elektrod. Na všechny tyto elektrody je potřeba udělat frézování naprogramováním v softwaru WorkNC a tyto elektrody vyrobit. Elektroda č. 1 dokončuje celý hlavní tvar tvárníku a hloubí postupně ve směru vertikálním, tedy v ose „Z“, největší prostor na díle. Na obrázku 60 je tato oblast značena černou kružnicí. Elektrodami č. 2 a č. 3 se dohlubují v několika místech otvory s osazením, které jsou určeny pro prostupy vyhazovacích kolíků. První oblasti pro elektrody č. 2 a č. 3 jsou značeny bílou a oranžovou kružnicí. Popis, který

není vytvořen pomocí laserového paprsku, je hlouben pomocí elektrody č. 4 a elektrody č. 5. Na uvedeném obrázku 60 je tato oblast značena žlutou kružnicí. Místa, kde je nutnost jednotlivé elektrody použít, jsou uvedena na specifikaci níže.



Obr. 60 Specifikace míst pro hloubení elektrod

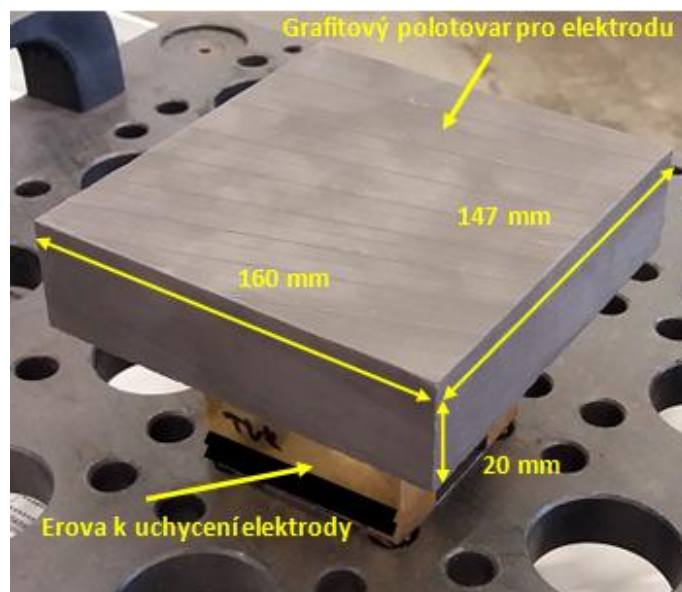
7.1.2 Popis souřadnic pro elektroerozivní hloubení

Pro elektroerozivní hloubení je zapotřebí nastavit správné souřadnice (určit místa hloubení). Tyto souřadnice jsou určeny pomocí souřadného systému tvárníku nebo souřadného systému elektrody, který má osy X a Z v opačném směru oproti souřadnému systému tvárníku. Pokud programátor určí souřadnice hloubení dle elektrodového souřadného systému, operátor si následně musí u těchto souřadnic změnit směr os X a Z (změní znaménka kladných hodnot na záporné a naopak). Tento způsob se realizuje v případě tříosého obrábění elektrody. Ukázkové souřadnice pro hloubení jsou řešeny v kapitole 7.1 u obrázku 59. Jako další možnost uvedení souřadnic pro hloubení, se udávají souřadnice pro hloubení v několika polohách. To se aplikuje v případě elektrody č. 4 a elektrody č. 5.

7.1.3 Příprava materiálu na polotovar k frézování pro elektrody

Při výrobě grafitové elektrody programátor definuje základní polotovar (délku, šířku, výšku). V případě elektrody č. 1 se jedná o rozměry 140 x 137 x 15,01 mm. Pro získání

těchto rozměrů se využívá funkce drátového polotovaru a získají se tak informativní rozměry pro polotovar elektrody. S těmito rozměry dále pracuje operátor. Z uskladněného grafitového materiálu pomocí pásové pilky uřeže výchozí polotovar pro frézování elektrody. K rozměrům 140 x 137 mm musí z pravidla připočítat 10 mm a k rozměru v ose Z (15,01 mm) se připočítá 5 mm, protože uřezaný materiál nebývá zcela rovný a mohlo by dojít k rozměrovým neshodám. Operátor tedy nachystá grafitový polotovar o rozměrech 150 x 147 x 20 mm. Následně je tento polotovar pomocí lepidla Loxeal Instant 34 upevněn na tzv. erowu. Erowa s polotovarem je následně vložena do stroje, kde je upevněna do připravených sklíčidel pomocí kombinace šroubového utažení se vzduchovým podtlakem. Používaný materiál pro elektrody je ULTRAFINE (nejlepší ultra jemný grafit). Vyznačuje se špičkovými parametry hlavně při úběru kovu, jakosti povrchu a opotřebením elektrody. Jde o materiál snadno řezatelný na elektroerozivní drátové řezače. Grafit lze hodnotit dle velikosti zrn. Čím je grafit jemnější, tím je kvalitnější. Polotovar elektrody je připraven k obrábění.



Obr. 61 Polotovar elektrody

7.1.4 Nástroje používané k frézování elektrod

Při frézování grafitových elektrod je využito několik druhů frézovacích nástrojů. Všechny tyto nástroje mají diamantový povlak, který snižuje opotřebením nástroje. Používají se nástroje od více výrobců, jako například Karnasch, K-Tools, nebo Seco. Určení velikosti a druhu nástrojů volí programátor při zadávání obráběcích strategií. V závislosti na obráběných místech, velikosti úběru a členitosti obráběného tvaru (uvnitř zaoblení hran,

ostré hrany,...). Na tvárníku je nejmenší rádiusové zaoblení hran R0,25 mm. K obrábění se používá i kopírovací fréza D0,5. Obecně platí, že k hrubování elektrody se použije nástroj D10 R1.00. Případné dohrubování provede menší nástroj D2 R0.15. Při dokončovacích operacích se používají kopírovací frézy sestupně od větších rozměrů nástroje k menším. Jedná se o frézovací kopírovací nástroje D4, D2, D1 a do nejmenších rádiusových prostor D0,5. Typy nástrojů od výrobce Karnasch jsou uvedeny níže na obrázku 62, kde lze vidět toroidní a kopírovací druhy fréz.



Obr. 62 Nástroje Karnasch

7.2 Programování frézování elektrod

Elektrody musejí být zhotoveny s určitým podrozměrem. Je to hodnota, o kterou musí být obráběná elektroda menší, a to z důvodu možného EDM hloubení v osách X, Y nebo Z, případně i pro použití při efektivním planetování touto elektrodou. Tento podrozměr se určuje dle celkové velikosti elektrody, velikosti jednotlivých míst na obráběné elektrodě a v závislosti na úběru materiálu. V případech, kdy se jedná o elektrodu velmi malou s úzkými prostupy, je volen podrozměr menší (-0,08 mm až -0,1 mm). V případě obrábění větší nebo velké elektrody s velkými mezerami je volen standardní podrozměr -0,15 mm. V případě grafitových elektrod do tvárníku jsou pro frézování určeny dva rozdílné podrozměry. Jedná se o podrozměry při hrubování a při dokončování. U hrubování je podrozměr 0,2 mm, což je zcela dostačující hodnota pro kvalitně nahrubovanou grafitovou elektrodu. Hodnota podrozměru pro dokončování je -0,15 mm. Jedná se o hodnotu, o kterou je elektroda ve všech místech užší (volnější).

Při hrubování elektrod je použita strategie Globálního hrubování, čímž se dosahuje polotovaru kostky tvaru elektrody s přídávkem 0,2 mm. Následně jsou použity strategie

dokončovací již s podrozměry. Pomocí Dokončování Z-konstant se obrábějí veškeré kolmé a strmé oblasti. Dále se aplikuje strategie Optimalizace Z-konstant, která je doplňující strategií Dokončování Z-konstant a využívá se pro obrobení méně strmých míst (různá zaoblení nebo rádiusy, případně i roviny). Je volena velikost řádku obrábění jen 0,1 mm. Z důvodu správného tvarového napojení na již obrobená místa a pasáže. Pro doobrobení míst, kde vznikl zbytkový materiál z důvodu použití velikosti kopírovací frézy o průměru D4, je použita strategie Zbytk. mat. Z-konstant. Tyto strategie se aplikují pro tři rozdílné velikosti kopírovacích fréz. A to dle volby velikosti nástrojů u této strategie postupně od průměru D2, D1 a D0,5 čímž je zajištěno obrobení všech míst. Tato strategie obrábí veškerá místa zbytkového materiálu, a to šetrně v Z-úrovních pomocí optimalizace konturou. Aby nedošlo ke kolizi mezi nástrojem a erowou, na níž je připevněna elektroda, využívá se zde možnost omezení konce frézovací dráhy nástroje. Toto omezení se stanovuje na 0,2 mm od spodní hrany rámečku obráběné elektrody. Jedná se o dostačující vzdálenost k zabránění případné kolize nástroje s erowou nebo jinými úpinkami. Programy na tvorbu potřebných elektrod se následně nahrají do stroje FehlmannPicomax 60-HSC-F a provádí se obrábění grafitové elektrody.

7.2.1 CNC obráběcí stroj Fehlmann – Picomax 60-HSC-F k obrábění elektrod

Tento stroj je speciálně upravovaný pro obrábění grafitových elektrod. Při obrábění grafitu vzniká jemný prach, který škodí prostředí stroje a neméně lidskému zdraví. Veškeré obráběcí stroje na grafit musí být vybaveny odsáváním. Odsávání je zde řešeno přívodem vzduchu z jedné strany do stroje, která odfoukává vzniklý prach a následně na druhé straně je vyvedeno odsávání, pomocí kterého je prach zase odsáván pryč z prostředí stroje ihned po jeho vzniku. Tím je zabezpečena velmi malá prašnost při obrábění. Stroj Fehلمان-Picomax 60-HSC-F je vybaven tepelnou kompenzací. Což znamená, že výkyvy teplot jsou započítávány do obráběcích operací, a tedy přesnost výrobku není teplotně ovlivněna. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 – Parametry stroje Fehlmann – Picomax 60-HSC-F

	Otáčky [min^{-1}]	Přesnost [mm]	Zásobník nástrojů [ks]	Rychlost posuvu [mm/min]	Posuvná síla [N]
Fehlmann - Picomax 60-HSC-F	50 - 36 000	0,005	28	1 - 20 000	12000
	Rozměry stroje [mm]	Váha stroje [Kg]	Rozměry prac. Stolu [mm]	Dráhy pojezdu v osách X x Y x Z [mm]	Zatížení [Kg]
Fehlmann - Picomax 60-HSC-F	2650 x 1940 x 2340	3750	920 x 380	505 x 355 x 610	300

Daný stroj lze použít k obrábění, jak ve třech tak i v pěti osách. Osy jsou zde definovány jako posuvné X, Y, Z a následně otáčení stolu C a stupeň naklonění stolu B.



Obr. 63 Stroj Fehlmann – Picomax 60-HSC-F

8 VÝROBA A KONTROLA DUTIN NA SOUŘADNICOVÉM MĚŘICÍM STROJI

Výroba dílců vstřikovací formy a následné měření se provádí na speciálních strojích. Tyto stroje praktikují tří nebo pětiosé vlastnosti a často bývají uzpůsobeny pro obrábění pomocí speciálních technologií. Tvarová dutina u dílu tvárníku je obrobena pomocí několika technologií, kde se využilo několika strojních partů. Místa vhodná k frézování (obrábění na CNC strojích) jsou obrobena pomocí CNC stroje Deckel_Maho_75. Místa na tvárníku, které nebylo možné nafrézovat na nulový přídavek, se dohlubují na elektroerozivním Form 400 stroj. Toto hloubení se provádí z důvodu ostrých přechodů v jednotlivých místech, a taky z důvodů nedofrézovaných pasáží při CNC frézování. kvůli úzkým místům, kde nástroj frézy svou velikostí již nemohl být použit. Protože se jednalo o tvarovou pasáž, tak se nemusely řešit části jako průchozí díry nebo temperanční systém, který byl navrtán na horizontální vrtačce. Po veškerém očištění takto obrobených míst následuje operace měření. Toto měření probíhá na stroji Wenzel LH87, dle požadavků zákazníka. Veškeré strojní a měřicí zařízení a následné měření je popsáno v následujících kapitolách.

8.1 Popis CNC strojního partu

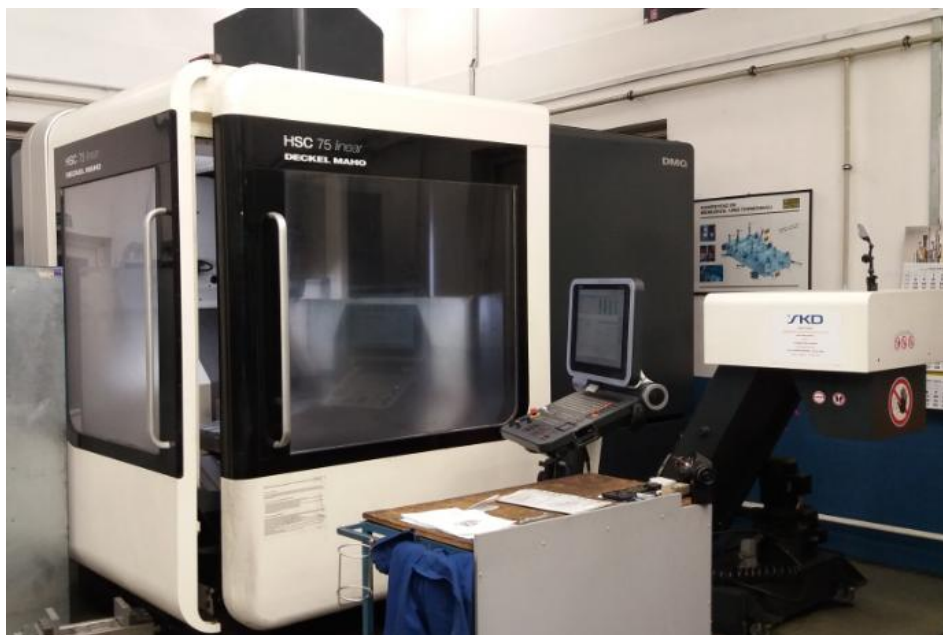
Předhrubování tvárníku pomocí frézovacích nástrojů probíhá na CNC stroji Deckel_Maho_75. Jedná se o CNC stroj využitelný jak pro tříosé obrábění, tak i pro pětiosé obrábění. V případě pětiosého frézování je osa C vedena jako osa pro otáčení stolu a osa B pro potřebné naklonění stolu. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 – Parametry stroje Deckel Maho - 75

	Rozměry stroje [mm]	Váha stroje [Kg]	Zatížení [Kg]	Dráhy pojezdu [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Zásobník nástrojů [Ks]
Deckel Maho - 75	4200 x 2500 x 2900	12500	600	750 x 650 x 560	20 - 18 000	60

Tento CNC stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain. Pracovní stůl je tvořen pomocí vyfrézovaných T-drážek, což umožňuje použití různých úpinkových a šroubových

přípravků k upevnění materiálu při obrábění frézovacím nástrojem. Příklad stroje Deckel_Maho_75 lez vidět níže na uváděném obrázku 64.



Obr. 64 CNC stroj Deckel_Maho_75

8.2 Popis EDM hloubicího stroje

Pro elektroerozivní obrábění tvárníku pomocí elektrod byl použit stroj Form 400. Jako řídicí systém je zde používán AC FORM HMI. Určité technické parametry stroje jsou uvedeny v následující tabulce 9.

Tab. 9 – Parametry stroje Form 400

	Rozměry stroje [mm]	Teplota okolí [°C]	Rozměry prac. prostředí [mm]	Zatížení [Kg]	Rozměry max. obrobku [mm]	Výška hladiny prostředí [mm]
Form 400	2970 x 3100 x 3320	20 + 25	1814 x 1215 x 700	3000,00	1200 x 800 x 350	0 - 650

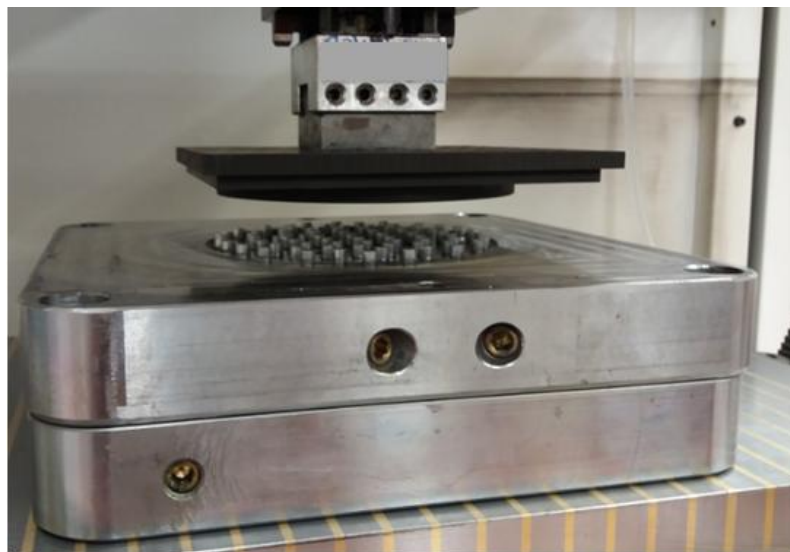
Strojní zařízení pro elektroerozivní obrábění vyžaduje bezprašné prostředí. Čistotu dielektrického prostředí s kapacitou 2500 litrů zajišťuje osm filtračních kazet. Velikost maximálního proudu je zde 80 A a nejvyšší dosaženou kvalitu obráběného povrchu při měření parametru Ra je možné dosáhnout Ra 0,2 μm . Používané dielektrikum má za úkol čistit obráběcí prostředí, chladit toto prostředí a zároveň zajišťuje při dostatečném přiblížení opačně nabitých pólů, elektrody a obrobku, elektrický výboj,

který odpálí část materiálu. Dielektrikum lze používat od několika výrobců, a to například od Agip, Aral, Avia Oel Held 110, BP nebo Castrol. Použitý stroj pro elektroerozivní obrábění je uveden níže na obrázku.



Obr. 65 EDM stroj FORM 400

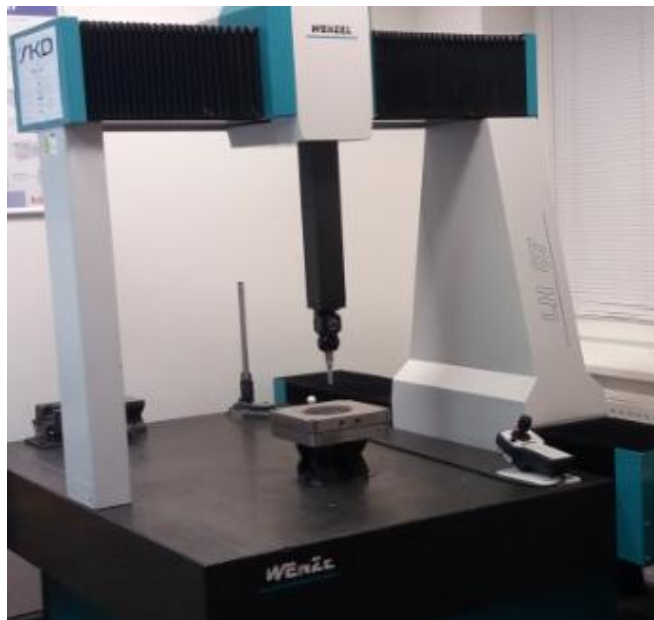
Při elektroerozivním hloubení se aplikuje několik způsobů hloubení. Mezi hlavní patří planetování elektrodou nebo hloubení elektrodou v ose X, Y, nebo Z. Planetování elektrodou je nejvíce využíváno při výrobě kruhových tvarů. Naopak hloubení v osách je aplikováno při menším možném prostoru u obráběných tvarů. Pracovní prostor stroje s elektrodou a obrobeným tvarem na tvárníku lze vidět na uváděném obrázku 66.



Obr. 66 Pracovní prostor elektrody a tvárníku

8.3 Souřadnicový měřicí stroj Wenzel LH87

Pro konečné měření tvarových částí tvárníku se využívá stroj typu Wenzel LH87. Tento třísouřadnicový měřicí stroj je složen z několika částí. Příhradová konstrukce se vyznačuje nízkou hmotností všech jednotlivých prvků. Rameno, které má pojezd na žulovém prostředí, se pohybuje pomocí vzduchových ložisek. Zde jsou kladeny vysoké nároky na čistotu a bezmastné prostředí. Pinola je vodící tyč pro měřicí hlavu. Tato pinola je vyrobena z uhlíkových vláken a je přizpůsobitelná pro rozdílné rozměry měřicí hlavy. Další důležitou součástí měřicího stroje je již zmiňovaná měřicí hlava, která je otočná libovolně dle úhlu natočení při kalibrování. Pod měřicí hlavou se nachází měřicí sonda (měřicí dotyk). Tento dotyk je složen ze dvou částí. První částí je takzvaný „dřík“, který je vyroben z nemagnetické nerezové oceli a pod tímto dříkem se nachází snímací kulička. Tato kulička je vyrobena z rubínu, což je jeden z nejtvrdějších známých materiálů a lze říct, že je pro měření standardem. Používají se kuličky různých průměrů. Nejčastěji se jedná o průměry kuliček D2 mm a D1 mm. Pro správné snímání veškerých hodnot se tyto rozměry kuliček musí při kalibraci evidovat. Veškeré měření musí probíhat na stole třísouřadnicového měřicího stroje. Tento stůl je broušený do vysokých přesností a je vyroben ze žulového materiálu.



Obr. 67 Měřicí stroj Wenzel LH87

Měřicí rozsah stroje je v osách X, Y a Z 800 x 1500 x 700 mm. Za velkou výhodu tohoto stroje se považuje poměrně pohodlná přístupnost na měřicí desku. Taktéž k velkým

výhodám patří použitelnost teplotní kompenzace stroje. Menší teplotní výkyvy dokáže stroj redukovat a zahrnovat do naměřených odchylek. Veškerá měření by ale měla probíhat při co nejvíce stálé teplotě, a to kolem $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro pohyb dotyku je využíván joystick, na němž lze nalézt spoustu tlačítkových možností k využití při měření. Měřicí stroj by nemohl být v provozu bez řídicího počítače a bez kontroléru (řídicí jednotka), který je zabudován v podstavci stroje a bez řídicího počítače. Měřicí stroj je schopen měřit s přesností na $0,001\text{ mm}$ a je zcela dostačujícím měřidlem. Pro měření plně využívá software Metrosoft CM.

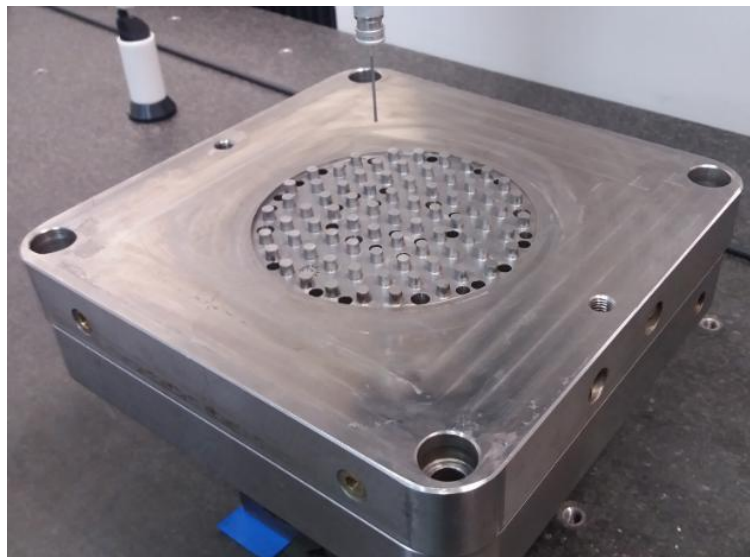
8.3.1 Software Metrosoft CM pro aplikaci měření

Základním měřicím prostředím pro měření tvarových částí vstřikovacích forem na tříosřadnicovém stroji Wenzel LH87 je prostředí softwaru Metrosoft CM. V daném prostředí se měří ve 2D a pomocí CAD modelů i ve 3D. Pro 2D měření se plně využívají funkce k tomu uzpůsobené, mezi které patří například tvorba bodu, přímky, kružnice nebo taky obdélníku jako plochy. Pro toto měření je zde taky jiná možnost vyhodnocování naměřených hodnot než u 3D měření. Jedná se především o vyhodnocování vzdáleností, průměrů, pozic naměřených elementů, ale taky se zde vyhodnocují vlastnosti měřených elementů jako například kruhovitost, souosost, rovnoběžnost, válcovitost, kolmost a mnohé další. Oproti tomu 3D měření probíhá na základě porovnávání vytvořeného CAD modelu oproti fyzickému dílu. V určitých pravidelných intervalech musí probíhat tak zvaná kalibrace dotyků. Jedná se o určité srovnání měřicí hlavy a sondy vůči pevně dané kuličce na měřicím stole, čímž je stroj opětovně seřízen na určitou přesnost. Požadavek kalibrace je součástí softwaru a lze jej zde efektivně nastavit i s možností tvorby nových snímacích poloh jednotlivých dotyků.

8.3.2 Postup měření tvárníku

Veškeré měření tvárníku probíhá pomocí 3D měření dle modelu. Tvárník se upíná pomocí lepidla Loctite na prizmatické kostky. Tím se zamezí jakémukoliv posunu při dotyku dílu s měřicí sondou. Při měření tvárníku je zapotřebí definovat základní ustavení dílu z důvodu správnosti naměřených přesných hodnot. Ustavení se provádí ve dvou krocích. První hrubé ustavení je definováno šesti body. Dodržuje se rozdělení bodů: tři – rovina, dva – přímka a jeden – bod. Všechny tyto body musejí být nasmímány tak, aby byl díl zafixován ve všech třech osách X, Y a Z. Tímto ustavením je zadefinováno, kde se na základní měřicí desce díl nachází. Po tomto hrubém ustavení se přechází k ustavování dílu načisto.

Jedná se o ustavení, kdy je díl již pevně zafixován a jeho poloha je definována na základní měřicí desce. Ustavení probíhá pomocí snímání bodů, a to ve všech směrech os. Pro toto ustavení je zvoleno 20 bodů. Tyto body jsou rozděleny tak, že každá boční strana je nasnímána čtyřmi body. Tím se definuje vždy plocha (stěna) dílu a zbylými čtyřmi body je osnímána i horní plocha. Všemi těmito body se zajistí pevné ustavení dílu ve všech třech osách X, Y a Z. A může být zahájeno měření. Díl tvárníku s měřicím dotykem lze vidět na uvedeném obrázku 68.

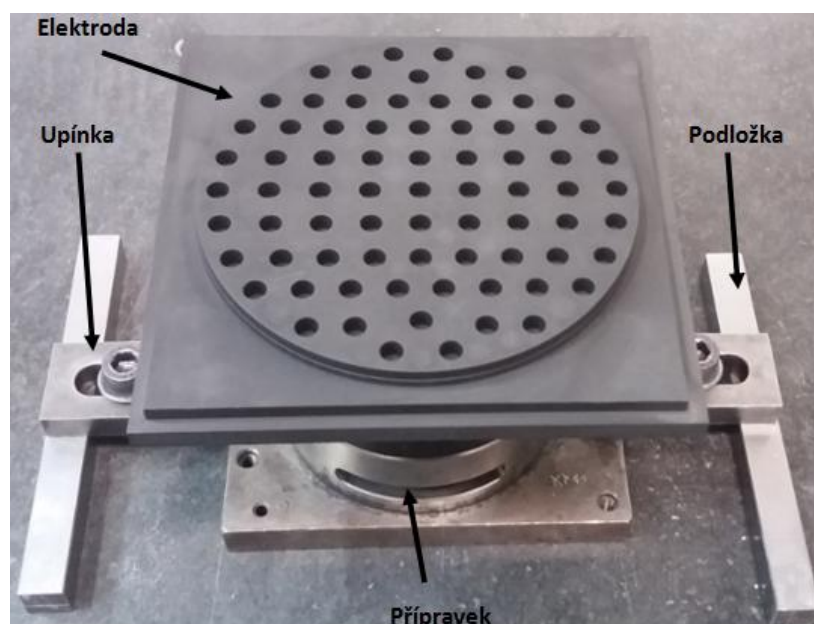


Obr. 68 Tvárník na měřicím stole

Zákazník respektuje výrobní odchylky do $\pm 0,05$ mm, a tyto parametry jsou nastaveny před započítáním měření v softwaru Metrosoft CM. Nejprve se pomocí dotyku nasnímají otvory a boční stěny ve tvaru tvárníku. Toto měření je uvedeno v prvních dvou měřicích protokolech, které jsou součástí přílohy VII – XIII. Poté se měří vytypované výstupky pinů na tvaru tvárníku. U těchto pinů jsou po nasnímání vytaženy jednotlivé praporky s odchylkami (viz protokoly v přílohách VII – XIII). Následně probíhá výškové měření ve tvaru, a to v několika místech pomocí nasnímaných bodů. Do měřicího protokolu je zaneseno i hlavní ustavení dílu. A to z důvodu přehlednosti a zachování všech informací o měření (výchozí bod měření). Tím se předchází veškerým neshodám. Měření se následně zasílá zákazníkovi, který se vyjadřuje k naměřeným hodnotám a uvolňuje (odsouhlasuje) funkčnost formy a následnou výrobu výstřiků..

8.3.3 Aplikace 2D a 3D měření u grafitových elektrod

V případech, kdy je zapotřebí prověřit grafitovou elektrodu, je nutné tuto elektrodu prověřovat pomocí kombinace 2D a 3D měření. Tato kombinace se nejvíce projevuje při ustavování elektrody. Grafitová elektroda připevňovaná na erowu musí být upnuta do speciálního přípravku pro měření elektrod. Přípravek se skládá z upínky, podložek a hlavního upínacího mechanismu. Upnutí erowy se uskutečňuje zapadnutím kuliček při utahování přípravku. Pro správné měření musí být 3D CAD model elektrody ustaven v programovacím softwaru WorkNC podle souřadnic určených k EDM obrábění. V měřicím softwaru Metrosoft CM se následně musí elektroda zapolohovat ve 2D pomocí křivek. Nejprve se na přesném rámečku osnímá čtyřmi body rovina, do které se následně promítnou nasnímané čtyři přímky po obvodu rámečku. Z rovnoběžných přímek se vytvoří symetrická přímka průchozí jejich středem. Do vytvořených elementů je zařazeno ustavení elektrody. Rovina určuje primární směr a definuje osu Z. Symetrické přímky určují sekundární směr, a tím natočení elektrody v ose X. Jako poslední je určeno posunutí nulového bodu do středu, a to na druhou vytvořenou symetrickou přímku. Toto posunutí probíhá v ose Y. Po zapolohování elektrody je souřadný systém posunut o souřadnice EDM hloubení. Nyní probíhá měření elektrody pomocí 3D CAD modelu. Nastavená maximální odchylka u elektrody je stanovena - 0,15 mm, což je hodnota podrozměru při hloubení. Odchyly do této hodnoty jsou zcela vyhovující. Upnutou elektrodu v přípravku s popisem elementů lze vidět na uváděném obrázku 69.



Obr. 69 Elektroda v měřicím přípravku

9 ČASOVÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROCESU

Z pohledu časového zhodnocení celého procesu jsou v tabulce 10 uvedeny údaje o délce procesu jednotlivých obrábění, měření a tvorbě programování. Dále obsahují údaje o délce jednotlivých procesů a o době trvání jednotlivých operací. Hodinová sazba umožňuje propočet konečné ceny. Koeficient prostoje 1,2 znázorňuje časovou informaci například o čase, který obsluha CNC stroje stráví chystáním materiálu k upnutí do stroje a stroj tedy není v záběru operace.

Tab. 10 – Časové a ekonomické zhodnocení procesu

Operace	Čas operace [hod]	Koeficient prostoje hod*1,2	Hodinová sazba [Kč / hod]	Konečná cena [Kč]
Programování	32,00	32,0	1000,0	32000,0
Frézování	10,00	12,0	800,0	9600,0
EDM obrábění	10,00	12,0	800,0	9600,0
Elektroda-1	5,52	6,7	800,0	5360,0
Elektroda-2	0,23	0,3	800,0	240,0
Elektroda-3	0,25	0,3	800,0	240,0
Elektroda-4	0,25	0,3	800,0	240,0
Elektroda-5	0,15	0,2	800,0	160,0
Měření	4,00	4,8	850,0	3600,0
Celkem	52,40	68,6	X	61040,0

Výše vypočtené cenové údaje jsou uváděny z hlediska výroby a jednotlivých procesů. Z tohoto důvodu zde tedy není započítávána cena materiálu pro ocelový polotovár tvárníku a taky pro polotovary jednotlivých grafitových elektrod.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na celkový popis výroby a měření tvarových částí vstřikovací formy s tím, že pro aplikaci v praktické části byl vybrán díl tvárníku. V teoretické části byly popsány možnosti obráběcích technologií využitelných pro výrobu dílů u vstřikovacích forem. Rovněž zde bylo popsáno ruční a strojní programování, u strojního programování byl následně přiblížen programovací software WorkNC, který byl využit v praktické části, a taky popis využitelných obráběcích strategií tohoto softwaru. Několik dalších kapitol se věnovalo popisu měření tvarových částí forem pomocí souřadnicových měřicích strojů. V poslední kapitole teoretické části byly pro lepší přehlednost uvedeny a popsány jednotlivé části vstřikovací formy.

Cílem praktické části bylo vytvořit obráběcí programy pro tvarovou dutinu a grafitové elektrody v softwaru WorkNC, tyto elektrody namodelovat a vyhodnotit jejich aplikaci v jednotlivých místech. Díl tvárníku byl obroběn pomocí CNC stroje Deckel Maho 75. Elektrody byly vyrobeny na stroji Fehlmann – Picomax 60-HSC-F a následně proběhlo elektroerozivní hloubení tvaru tvárníku na stroji Form 400. Po výrobních operacích proběhlo měření dílu tvárníku a v případě potřeby u vzniklých neshod i elektrod na třísouřadnicovém měřicím stroji Wenzel LH87. Veškeré výrobní a měřicí procesy byly zdokumentovány a vloženy do příloh ve formě dokumentací a měřicích protokolů. Poslední kapitola praktické části byla věnována časovému a ekonomickému zhodnocení celého výrobního procesu.

Lze tedy konstatovat, že zvolené cíle práce byly splněny vytvořením elektrod, programováním jednotlivých dílů, jejich výrobou a měřením. Veškeré odchylky měření se pohybovaly do tolerance $\pm 0,05$ mm, což zákazník plně akceptoval. Následně proběhla zkouška vstřikování u vyrobené vstřikovací formy a technický díl „světelný kryt“ z materiálu PC – Makrolon 2205 čirý byl proměřen s uspokojivým výsledkem. Takto připravená a odladěná forma byla předána zákazníkovi, který ji převzal bez výhrad.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Vyd. 1. Překlad Iva Michňová, Zdeněk Michňa. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5.
- [2] Frézování. *Studentka*. [online]. Ostrava: goNET, 2007 [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://studentka.sms.cz/index.php?P_id_kategorie=7630&P_soubor=%2Fstudent%2Findex.php%3Fakce%3Dprehled%26ptyp%3D%26cat%3D89%26idp%3D%26detail%3D1%26id%3D3774%26view%3D1%26url_back%3D.
- [3] *Frézovací stroje současné produkce* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13078/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce.pdf?sequence=1>.
- [4] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [5] GELETA, Vojtech. *Progressívnetechnológieobrábania*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2013. ISBN 978-80-227-3997-9.
- [6] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-708-2518-9.
- [7] JÍLEK, Bohumil. *Výroba vstříkovací formy. Vysoké učení technické v Brně*. [online] Brno, 2009 [cit. 2016-04-27] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14760.
- [8] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [9] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [10] JANDEČKA, Karel. *Postprocesory a programování NC strojů*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2007. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [21] BARTOŇOVÁ, Renáta. *Technologie broušení. ElearningVOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice*. [online] 2012, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf.

- [32] JOSÍFKO, Jiří. Princip broušení. *Jirijosifko*. [online] 7. února 2010, [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://jirijosifko.blog.cz/>.
- [43] HAMERNÍK, Jan. Obráběcí stroje. *Jhamernik*. [online] Datum poslední revize 11. listopadu 2006, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/OBRSTROJ.htm>.
- [54] JANÍČKOVÁ, Petra. Broušení. *Učíme v prostoru*. [online] 2007, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2445.
- [65] HLUCHÝ, Miroslav a KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie I: nauka o materiálu*. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 1998. ISBN 80-7183-150-6.
- [76] JURKO, Jozef a Imrich LUKOVICS. *Vrťanie: technologická metóda výroby dier*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2007. ISBN 978-80-7318-488-9.
- [87] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
- [98] PERNIKÁŘ, Jiří. *Technická měření*. Brno, 2002.
- [109] Doteky pro měření. *Renishaw*. [online] Renishawplc, © 2001-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2445.
- [20] Souřadnicové měřicí stroje. *Katedra výrobních systémů a automatizace*. [online] 2012, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>.
- [21] Technické parametry: doteky a příslušenství. *Renishaw*. [online] Renishawplc, © 2002-2012. [cit. 2016-04-29] Dostupné z: <http://resources.renishaw.com/cs/details/technicke-parametry-doteky-a-prislusenstvi--45939>.
- [22] PŘIKRYL, Adam. Forma na vstřikování plastů. *České vysoké učení technické v Praze*. [online] 2011, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2011/sbornik/39.pdf>.
- [23] PAŘENICA, Martin. Konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl obal CD. *Digitální knihovna UTB*. [online] 2015, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/34024/pa%C5%99enica_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [24] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1821-4.

- [25] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0207-8.
- [26] Systémy CAD. *Vysoké učení technické v Brně*. [online] © 2013, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://esf.fme.vutbr.cz/modul/3/systemy_cad.pdf.
- [27] Počítačem podporované systémy – CA systémy. *Katedra oděvnictví*. [online] 2012, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/CAD/prednasky/prednasky_2011_2012/prednaska_CAD_2012_2B.pdf.
- [28] HLUCHÝ, Miroslav a HANĚK, Václav. *Strojírenská technologie* 2. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-127-1.
- [29] CAM systémy a výroba tvarových ploch. *CAD.cz*. [online] © 2009-2016, [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.cad.cz/component/content/article/2321.html>.
- [30] TK stopková fréza toroidní typ SRA. Hablissteel. [online] © 2016, [cit. 2016-04-29] Dostupné z: <https://www.kovoobrabeci-nastroje.cz/katalog/frezovani-7/frezy-tvrdokovove-154/stopkove-733/professional-734/serie-speed-837/speed-toroidni-859/tk-stopkova-freza-toroidni-typ-sra-894/>.
- [31] Frézování. *Grumant*. [online] © 2013. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.grumant.cz/produkty/nastroje-pro-obrabeni/frezovani>.
- [32] VRABEC, Martin a MÁDL, Jan. *NC programování v obrábění*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3045-8.
- [33] *Work NC: Školící manuál*. Jeseník, 2006.
- [34] Frézování rovinných ploch. Střední škola strojírenská a elektrotechnická Brno. [online] SŠSE Brno, © 2012-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>.
- [35] Základní stroje a jejich použití ve strojírenské výrobě. *SlidePlayer*. [online] SlidePlayer.cz, © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2615331/>.
- [36] Frézovací nástroje. *BOUKAL*. [online] © 2010-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://shop.boukal.cz/nastroje/frezovaci-nastroje/>.
- [37] Doteky pro měření. *Renishaw*. [online] Renishawplc., © 2001-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/doteky-pro-mereni--6628>.

- [38] CNC elektroerozivní hloubička tuzemské provenience. *MM průmyslové spektrum*. [online] © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cnc-elektroerozivni-hloubicka-tuzemske-provenience.html>.
- [39] Elektroerozivní obrábění. *Kovomik*. [online] KOVO Mík s.r.o., © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.kovomik.cz/vyroba/elektroerozivni-obrabeni>.
- [40] Galeria. *KIMLA*. [online] KIMPLA.PL, © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.kimla.pl/en/gal/4>.
- [41] Drátové řezání. *SoliCAD*. [online] SoliCAD, s.r.o., © 2006-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://solicad.com/album/34/c/galerie-sprutcam>.
- [42] Nové obráběcí stroje. *CZ MOOS TRADING s.r.o.* [online] CZ MOOS TRADING s.r.o. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://www.moostrading.cz/serie_psgsa_uvod.html.
- [43] DP 16 SL stojanová vrtačka s křížovým laserem Scheppach. *RS-TOOLS*. [online] [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.rs-tools.cz/rs-tools/eshop/7-1-Elektricke-naradi/0/5/1838-DP-16-SL-stojanova-vrtacka-s-krizovym-laserem-Scheppach-DOPRAVA-ZDARMA>.
- [44] NAROVEC, David. Výroba vrtáků tvářením a jejich využití v praxi. *Vysoké učení technické v Brně*. [online] 2013. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65252.
- [45] *Dobré stroje*. [online] 2016. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/27-1-KOVOOBRABECI-STROJE/102-2-SOUSTRUHY-NA-KOV/5/1176-HOLZMANN-ED-300FD-STOLNI-SOUSTRUH-NA-KOV>.
- [46] Soustružnické nože. *První hanácká BOW*. [online] code IZON, s.r.o., © 2005-2016. [cit. 2016-04-12] Dostupné z: <http://www.bow.cz/produkt/3441511-soustruznicke-noze-hm-16-mm-7-ks/>.
- [47] Strojní vybavení. *Plastvalm s.r.o.* [online] David-Studio.net, © 2009. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.plastvalm.cz/182-strojni-vybaveni.htm>.
- [48] Jak naprogramovat N-céčko. *Publi*. [online] Codecreator s.r.o., © 2011-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <https://publi.cz/books/182/07.html>.

- [49] Přehled operací. *ICPro*. [online] IC Pro s.r.o., © 2015. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://www.icpro.cz/hsmworks_3d.php.
- [50] GRMELA, Vladimír. Obrábění modelových zařízení s CAD/CAM softwarem. *CAD.cz*. [online] Webservis, © 2009-2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1563-obrabeni-modelovych-zarizeni-s-cad-cam-softwarem.html>.
- [51] Toroidní fréza. *WNT*. [online] WNT Česká republika s.r.o., © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monolitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/Toroidn%C3%AD%20fr%C3%A9zy/Typ%20N/TK%20TOROIDN%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20N-TO-91-60-9Z2-930%C2%B0-9R-9R0-625-9HA-9L%20TI1000%2052730010>.
- [52] 2BŘIT. - 1,2mm (l2: 8mm) 30°šroubovice CERANIT – SK –KULOVÁ KOPÍROVACÍ FRÉZA DLOUHÁ. *TK METAL CZ s.r.o.* [online]© 2016. [cit. 2016-04-27]Dostupné z: http://tkmetal.cz/product/product&product_id=179.
- [53] Fréza 140608.040 4x11 (222132) válcová čelní krátká, rychlořezná ocel HSS Co8. *NAKO.cz*. [online] NAKO Pardubice s.r.o., © 2016. [cit. 2016-04-29]Dostupné z: <http://www.nako.cz/9191-freza-140608040-4x11-222132-valcova-celni-kratka-rychlerezna-ocel-hss-co8.html#!prettyPhoto>.
- [54] KELLER, Petr. Postprocesory a ukázka tvorby postprocesoru. *Educom*. [online] 2011. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/PNC/VY_03_16-postprocesory%20a%20uk%C3%A1zka%20tvorby%20postprocesoru_p%C5%99_MZ_6.pdf.
- [55] ROŽEK, Pavel. Výukový program: Strojírenská metrologie : Název programu:Souřadnicové měření.*SlidePlayer*. [online] 1. Března 2009. [cit. 2016-04-29] Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2283897/>.
- [56] Výstupní kontrola. *Kovomik*. [online] KOVO Mík s.r.o., © 2016.[cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.kovomik.cz/vyroba/vystupni-kontrola>.
- [57] Flyer: PH10 PLUS motorisedprobeheadrange (pdf). *Renishaw*. [online] Renishawplc, © 2001-2016. [cit. 2016-04-29] Dostupné z:

<http://resources.renishaw.com/en/details/flyer-ph10-plus-motorised-probe-head-range--62755>.

- [58] Werth, Inc. Introduces Articulated Optics for CMM. *Manufacturingnews*. [online] Gross Publications, Inc, © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.mfgnewsweb.com/archives/4/32973/Quality-Control-Measurement-sep10/Werth-Inc.-Introduces-Articulated-Optics-for-CMM.aspx>.
- [59] Vstříkovací formy. *TVP group*. [online] Ebrána s.r.o., © 2016. [cit. 2016-04-27] Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/solid-edge/popis-solid-edge/vstrikovaci-formy.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer Aided Design – Počítačem podporované projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing – Počítačová podpora obrábění
CAD/CAM	Kombinace systémů CAD a CAM
CNC	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
WorknNC	CAD/CAM software
EDM	Elektrické Discharge Machining – Elektrojiskrové obrábění
2D	2D prostor
3D	3D prostor
D	Průměr
R	Poloměr
Mm	Milimetr – jednotka délky
N	Newton – jednotka síly
G	Funkce u ručního programování

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Frézování obvodové a čelní [34]</i>	12
<i>Obr. 2 Svislá konzolová frézka [35]</i>	13
<i>Obr. 3 Stopkové frézy pro CNC stroje [36]</i>	14
<i>Obr. 4 Toroidní fréza [51]</i>	15
<i>Obr. 5 Kopírovací fréza [52]</i>	16
<i>Obr. 6 Čelní válcová fréza [53]</i>	16
<i>Obr. 7 Elektroerozivní stroje – hloubička [38] a drátovka [39]</i>	17
<i>Obr. 8 Princip elektrojiskrového obrábění [7]</i>	18
<i>Obr. 9 Grafitová elektroda [40]</i>	18
<i>Obr. 10 Popis rozměrů elektrody [7]</i>	19
<i>Obr. 11 Princip drátového řezání [41]</i>	20
<i>Obr. 12 Odběr třísek brusným kotoučem [8]</i>	22
<i>Obr. 13 Rovinné broušení [12]</i>	23
<i>Obr. 14 Obraz brusu při bočním rovinném broušení [8]</i>	23
<i>Obr. 15 Broušení širokým a úzkým kotoučem [8]</i>	24
<i>Obr. 16 a) Podélné broušení dokulata, b) Příčné zápichové broušení [8]</i>	25
<i>Obr. 17 Princip a prvky bezhrotého broušení [8]</i>	25
<i>Obr. 18 Rovinná bruska PROTH [42]</i>	26
<i>Obr. 19 Příklad tvarů brusných kotoučů [14]</i>	27
<i>Obr. 20 Stojanová vrtačka s křížovým laserem [43]</i>	27
<i>Obr. 21 Šroubovité vrtáky s válcovou a kuželovou stopkou [44]</i>	28
<i>Obr. 22 Holzmann ED 300FD stolní soustruh na kov [45]</i>	29
<i>Obr. 23 Soustružnické nože s výměnnými břitovými destičkami [46]</i>	29
<i>Obr. 24 CNC obráběcí centrum Deckel Maho DMC – 635V [47]</i>	30
<i>Obr. 25 Příklad instrukce programu pro obrábění na frézce [8]</i>	31
<i>Obr. 26 Ukázka strategií obrábění pomocí CAD/CAM systémů [48]</i>	35
<i>Obr. 27 Hrubovací strategie [49]</i>	37
<i>Obr. 28 Dokončovací strategie [49]</i>	38
<i>Obr. 29 2D gravírovací strategie [49]</i>	39
<i>Obr. 30 Návaznost CA technologií [26]</i>	41
<i>Obr. 31 Pracovní prostředí SolidWorks [50]</i>	42
<i>Obr. 32 Druhy prostorových modelů [27]</i>	42

<i>Obr. 33</i>	<i>Tvorba NC programu pomocí systému CAD/CAM [54]</i>	44
<i>Obr. 34 a)</i>	<i>Výložníkový souřadnicový stroj, b) Stojanový souřadnicový stroj [55]</i>	47
<i>Obr. 35 c)</i>	<i>Portálový souřadnicový stroj, d) Mostový souřadnicový stroj [55]</i>	47
<i>Obr. 36</i>	<i>Souřadnicový měřicí stroj WENZEL LH87 [56]</i>	48
<i>Obr. 37</i>	<i>Mechanická snímací hlavice [57]</i>	49
<i>Obr. 38</i>	<i>Optická snímací hlavice [58]</i>	49
<i>Obr. 39</i>	<i>Ukázka snímací hlavy firmy Opton [20]</i>	50
<i>Obr. 40</i>	<i>Měřicí dotek s kuličkou [37]</i>	51
<i>Obr. 41</i>	<i>Typy měřicích doteků [20]</i>	51
<i>Obr. 42</i>	<i>Otevřená vstřikovací forma [59]</i>	52
<i>Obr. 43</i>	<i>Popis hlavních částí formy [23]</i>	53
<i>Obr. 44</i>	<i>Tvárnice – CAD model</i>	57
<i>Obr. 45</i>	<i>Technický díl</i>	58
<i>Obr. 46</i>	<i>Tvárník – CAD model</i>	59
<i>Obr. 47</i>	<i>CAD prostředí</i>	60
<i>Obr. 48</i>	<i>CAM prostředí</i>	61
<i>Obr. 49</i>	<i>Funkce sloučení a spojení křivek</i>	62
<i>Obr. 50</i>	<i>Popis tvorby ploch pomocí sloučení křivek</i>	62
<i>Obr. 51</i>	<i>Tvorba polotovaru v CAM</i>	63
<i>Obr. 52</i>	<i>Ukázka dohrubovací strategie</i>	64
<i>Obr. 53</i>	<i>Ukázka strategie dokončování rovin s úběrem po desetině mm materiálu</i>	65
<i>Obr. 54</i>	<i>Ukázka strategie „Gravírování křivky“</i>	65
<i>Obr. 55</i>	<i>Geometrické parametry toroidní frézy pro hrubování</i>	67
<i>Obr. 56</i>	<i>Parametry omezení z tabulky</i>	68
<i>Obr. 57</i>	<i>Pomocné upravující funkce</i>	68
<i>Obr. 58</i>	<i>Atributy operací E+, P+, H+</i>	69
<i>Obr. 59</i>	<i>Elektroda – 3D CAD model</i>	72
<i>Obr. 60</i>	<i>Specifikace míst pro hloubení elektrod</i>	73
<i>Obr. 61</i>	<i>Polotovar elektrody</i>	74
<i>Obr. 62</i>	<i>Nástroje Karnasch</i>	75
<i>Obr. 63</i>	<i>Stroj Fehlmann – Picomax 60-HSC-F</i>	77
<i>Obr. 64</i>	<i>CNC stroj Deckel_Maho_75</i>	79
<i>Obr. 65</i>	<i>EDM stroj FORM 400</i>	80

<i>Obr. 66 Pracovní prostor elektrody a tvárníku</i>	80
<i>Obr. 67 Měřicí stroj Wenzel LH87</i>	81
<i>Obr. 68 Tvárník na měřicím stole</i>	83
<i>Obr. 69 Elektroda v měřicím přípravku.....</i>	84















SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – G-kódy</i>	32
<i>Tab. 2 – Doplnkové funkce</i>	32
<i>Tab. 3 – Zrušení G-funkce</i>	33
<i>Tab. 4 – Vstřikovací parametry</i>	58
<i>Tab. 5 – Porovnání podmínek obrábění u hrubovací a dokončovací strategie</i>	66
<i>Tab. 6 – Technologie pro frézování ocelového tvárniku a grafitové elektrody</i>	70
<i>Tab. 7 – Parametry stroje Fehlmann – Picomax 60-HSC-F</i>	77
<i>Tab. 8 – Parametry stroje Deckel Maho - 75</i>	78
<i>Tab. 9 – Parametry stroje Form 400</i>	79
<i>Tab. 10 – Časové a ekonomické zhodnocení procesu</i>	85



SEZNAM PŘÍLOH












P I	Dokumentace programování – Frézování tvárníku
P II	Dokumentace programování – Elektroda 1
P III	Dokumentace programování – Elektroda 2
P IV	Dokumentace programování – Elektroda 3
P V	Dokumentace programování – Elektroda 4
P VI	Dokumentace programování – Elektroda 5
P VII	Protokol 3D měření
P VIII	Protokol 3D měření
P IX	Protokol 3D měření
P X	Protokol 3D měření
P XI	Protokol 3D měření
P XII	Protokol 3D měření
P XIII	Protokol 3D měření
P XIV	CAD modely všech použitých elektrod
P XV	Výchozí poloha dílu pro obrábění

PŘÍLOHA P I: DOKUMENTACE PROGRAMOVÁNÍ

WorkNC Dokumentace - Standardní		Přehled - [Dráha nástroje]		Datum: 05.03.2016 - 12:54:57								
				Projekt Č.: 39-1 Programátor: David_F Jednotky: mm Offset přídávku: 0.000 Měřítka: 1.00 Rozměr: Průměr								
Projekt: D:\Zakazky\rotiDavid\David\PIP-0011-15-AZD\Tvarnik\Frezovani1												
Komentář:												
Geometrie: Tvarnik.wnc (0.00), Pomocne_zalep.wnc (0.00)												
Rovina zrcadlení: -												
Č.	Typ dráhy							NC-soubor	Úhel A	Úhel B	Úhel C	
[MACHINE_POSITION_1]												
Globální hrubování na přídávku 0,7 mm												
1.	Globální hrub./dohrub.		Toroidní D 20.00 r 0.80	20.00	0.80		2500	2000	1800	4.50	39-101.h	
Globální hrubování na přídávku 0,2												
2.	Globální hrub./dohrub.		Toroidní D 10.00 r 1.00	10.00	1.00		2500	1500	1400	4.50	39-102.h	
3.	Globální hrub./dohrub.		Toroidní D 6.00 r 0.50	6.00	0.50		2500	1100	1000	6.50	39-103.h	
4.	Globální hrub./dohrub.		Toroidní D 4.00 r 0.50	4.00	0.50		2500	900	800	17.70	39-104.h	
Dokončovací strategie obrábění na přídávku 0,00 mm												
5.	Dok. rov. ploch		Toroidní D 19.98 r 1.00	19.98	1.00		2500	1500	1400	4.50	39-105.h	
Gravírování popisu - gravírovat až po odhloubení materiálu!!!												
6.	Grav. křivky		Kulový D 0.10	0.10	0.05		2500	200	100	6.00	39-106.h	
Délky a časy všech vypočtených drah nástrojů												
Celková délka	Čas: Celkem	Délka obrábění	Čas obrábění	Délka přejezdů rychloposuvem	Čas přejezdů	PP délka obrábění	NC čas					
872407.31	09:10:02	696656.00	09:07:45	175853.31	00:02:11	872509.31	09:09:57					
















PŘÍLOHA P III: DOKUMENTACE PROGRAMOVÁNÍ

WorkNC Dokumentace - Standardní		Přehled - [Dráha nástroje]		Datum: 05.03.2016 - 13:01:38	
				Projekt č.: 79-2 Programátor: David_F Jednotky: mm Offset přídávku: 0.000 Měřítko: 3.00 Rozměr: Průměr	
Projekt: D:\Zakazky\stroji\David\David\PIP-0011-15-AZD\Tvarnik\ENEZ1					
Komentář:					
Geometrie: E1-2.wnc (0.00) Rovina zrcadlení: -					







č.	Typ dráhy								Úhel A	Úhel B	Úhel C	
[MACHINE_POSITION_1]												
				X: 27.00	X: 49.00	Y: -57.00	Y: -36.00	Z: -53.00	Z: -23.93			
1	Globalní hrub./dobrub.		Toroidní D 10.00 r 1.00	10.00	1.00		9000	2500	2500	29.60	79-201.h	
2	Dok. Z-kon.		Kulový D 4.00	4.00	2.00		12000	1500	2000	24.20	79-202.h	
3	Optim. Z-kon.		Kulový D 4.00	4.00	2.00		12000	1500	2000	18.60	79-203.h	
4	Zbyt. mat. Z-kon.		Kulový D 2.00	2.00	1.00		12000	900	900	12.40	79-204.h	

Délky a časy všech vypočtených drah nástrojů							
Celková délka	Čas: Celkem	Délka obrábění	Čas obrábění	Délka přejezdů rychloposuvem	Čas přejezdů	PP délka obrábění	NC čas
26914.90	00:14:17	25253.40	00:14:15	1728.30	00:00:02	26981.70	00:14:17















PŘÍLOHA P IV: DOKUMENTACE PROGRAMOVÁNÍ

WorkNC Dokumentace - Standardní		Přehled - [Dráha nástroje]		Datum: 05.03.2016 - 13:03:20								
				Projekt č.: 80-3	Průměr							
				Programátor: David_F	Průměr							
				Jednotky: mm	Průměr							
				Offset přídávku: 0.000	Průměr							
				Měřítko: 3.00	Průměr							
				Velikost: 3.00	Průměr							
				Velikost: 3.00	Průměr							
Projekt: D:\Zakazky\rot\David\David\PIP-0011-15-AZDIT\varnik\ENE\B3												
Komentář:												
Geometrie: EI-3.wnc (0.00)												
Rovina zrcadlení: -												
Č.	Typ dráhy							NC-soubor	Úhel A	Úhel B	Úhel C	
[MACHINE_POSITION_1]												
X: 39.00 Y: -41.50 Z: -53.00												
X: 59.00 Y: -22.50 Z: -21.92												
1	Globální hrub./dohrub.			10.00	1.00		9000	2500	2500	29.60	80-301.h	
2	Dok. Z-kon.		Toroidní D 10.00 r 1.00	4.00	2.00		12000	1500	2000	24.00	80-302.h	
3	Optim. Z-kon.		Kulový D 4.00	4.00	2.00		12000	1500	2000	20.60	80-303.h	
4	Zbyt. mat. Z-kon.		Kulový D 2.00	2.00	1.00		12000	900	900	12.40	80-304.h	
5	Zbyt. mat. Z-kon.		Kulový D 1.00	1.00	0.50		13000	700	700	2.30	80-305.h	
6	Zbyt. mat. Z-kon.		Kulový D 0.50	0.50	0.25		13000	600	500	2.40	80-306.h	
7	Zbyt. mat. Z-kon.		Kulový D 0.30	0.30	0.15		13000	600	500	2.30	80-307.h	
Délky a časy všech vypočtených drah nástrojů												
Čas: Celkem	Délka obrábění	Čas obrábění	Délka přejezdů rychloposuvem	Čas přejezdů	PP délka obrábění	NC čas						
26268.50	00:14:43	24458.80	00:14:40	1871.10	00:00:02	26329.90	00:14:43					

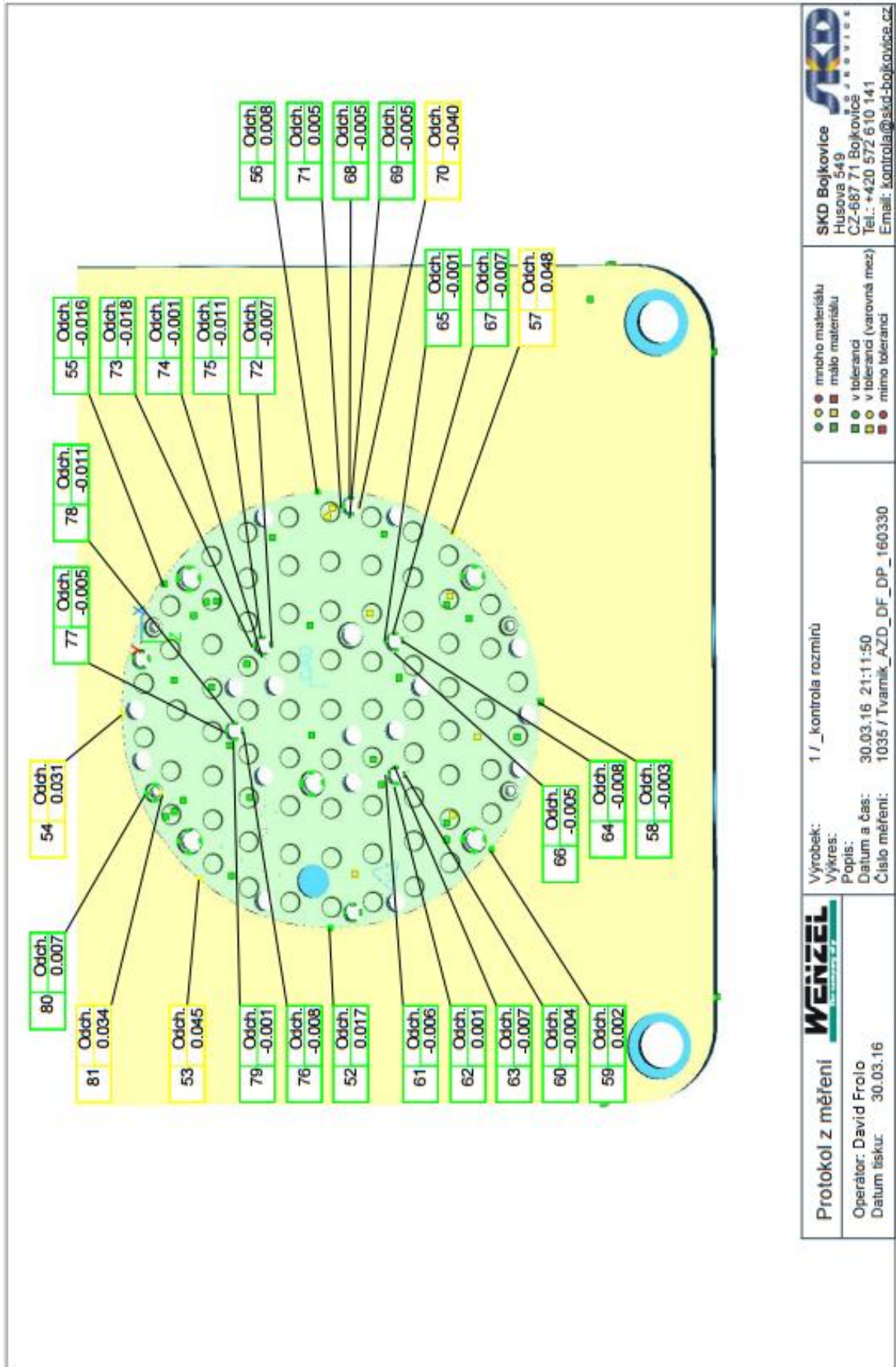
PŘÍLOHA P V: DOKUMENTACE PROGRAMOVÁNÍ

WorkNC Dokumentace - Standardní		Přehled - [Dráha nástroje]		Datum: 05.03.2016 - 13:20:04								
				Projekt Č.:	81-4							
				Programátor:	David_F							
Projekt:		D:\Zakazky\rotDavid\David\PIP-0011-15-AZD1\varnik\ENE141		Jednotky:	mm							
Komentář:				Offset přidavku:	0.000							
Geometrie:		EI-4.wnc (0.00)		Měřitko:	3.00							
		Rovina zrcadlení: -		Rozměr:	Průměr							
Č.	Typ dráhy				Vřeteno rpm	Pracovní posuv	Posuv přiblížení		NC-soubor	Úhel A	Úhel B	Úhel C
[MACHINE_POSITION_1]												
1	Globální hrub.řohnub.	Toroidní D 10.00 r 1.00	10.00	1.00	9000	2500	2500	12.80	81-401.h			
2	Globální hrub.řohnub.	Toroidní D 2.00 r 0.15	2.00	0.15	12000	800	1000	7.80	81-402.h			
3	Dok. Z-kon.	Kukový D 4.00	4.00	2.00	12000	1500	2000	7.40	81-403.h			
4	Optim. Z-kon.	Kukový D 4.00	4.00	2.00	12000	1500	2000	2.10	81-404.h			
5	Zbyt. mat. Z-kon.	Kukový D 2.00	2.00	1.00	12000	900	900	5.80	81-405.h			
6	Zbyt. mat. Z-kon.	Kukový D 1.00	1.00	0.50	13000	700	700	6.20	81-405.h			
7	Zbyt. mat. Z-kon.	Kukový D 0.50	0.50	0.25	13000	600	500	5.70	81-407.h			
Délky a časy všech vypočtených drah nástrojů												
Celková délka	Čas: Celkem	Délka obrábění	Čas obrábění	Délka přejezdů rychloposuvem	Čas přejezdů	PP délka obrábění	NC čas					
18896.90	00:15:03	15827.90	00:14:59	3075.10	00:00:03	18903.00	00:15:03					

PŘÍLOHA P VI: DOKUMENTACE PROGRAMOVÁNÍ

WorkNC Dokumentace - Standardní		Přehled - [Dráha nástroje]		Datum: 05.03.2016 - 13:26:45							
				Projekt Č.:	82-5						
				Programátor:	David_F						
Projekt:		D:\Zakazky\stroh\David\DP-0011-15-AZD\Tvarnk\ENE15\		Jednotky:	mm						
Komentář:				Offset přídávku:	0.000						
Geometrie:		EI-5.wnc (0.00)		Měřtko:	3.00						
		Rovina zrcadlení: -		Rozeřeno:	Průměr						
Č.	Typ dráhy						Posuv přiblížení	NC-soubor	Úhel A	Úhel B	Úhel C
[MACHINE_POSITION_1]											
1	Globalní hrub.,dohrub.		Toroidní D 10.00 r 1.00	10.00	1.00		2500	12.70 82-501.h			
2	Globalní hrub.,dohrub.		Toroidní D 2.00 r 0.15	2.00	0.15		800	7.90 82-502.h			
3	Dok. Z-kon.		Kulový D 4.00	4.00	2.00		1500	7.50 82-503.h			
4	Optim. Z-kon.		Kulový D 4.00	4.00	2.00		1500	2.10 82-504.h			
5	Zbyť. mat. Z-kon.		Kulový D 2.00	2.00	1.00		900	5.70 82-505.h			
6	Zbyť. mat. Z-kon.		Kulový D 1.00	1.00	0.50		700	5.00 82-506.h			
7	Zbyť. mat. Z-kon.		Kulový D 0.50	0.50	0.25		500	4.20 82-507.h			
Délky a časy všech vypočtených drah nástrojů											
Čas: Celkem	12866.80	00:09:22	11478.60	00:09:20	1394.30	00:00:01	12872.90	00:09:22			

PŘÍLOHA P VII: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



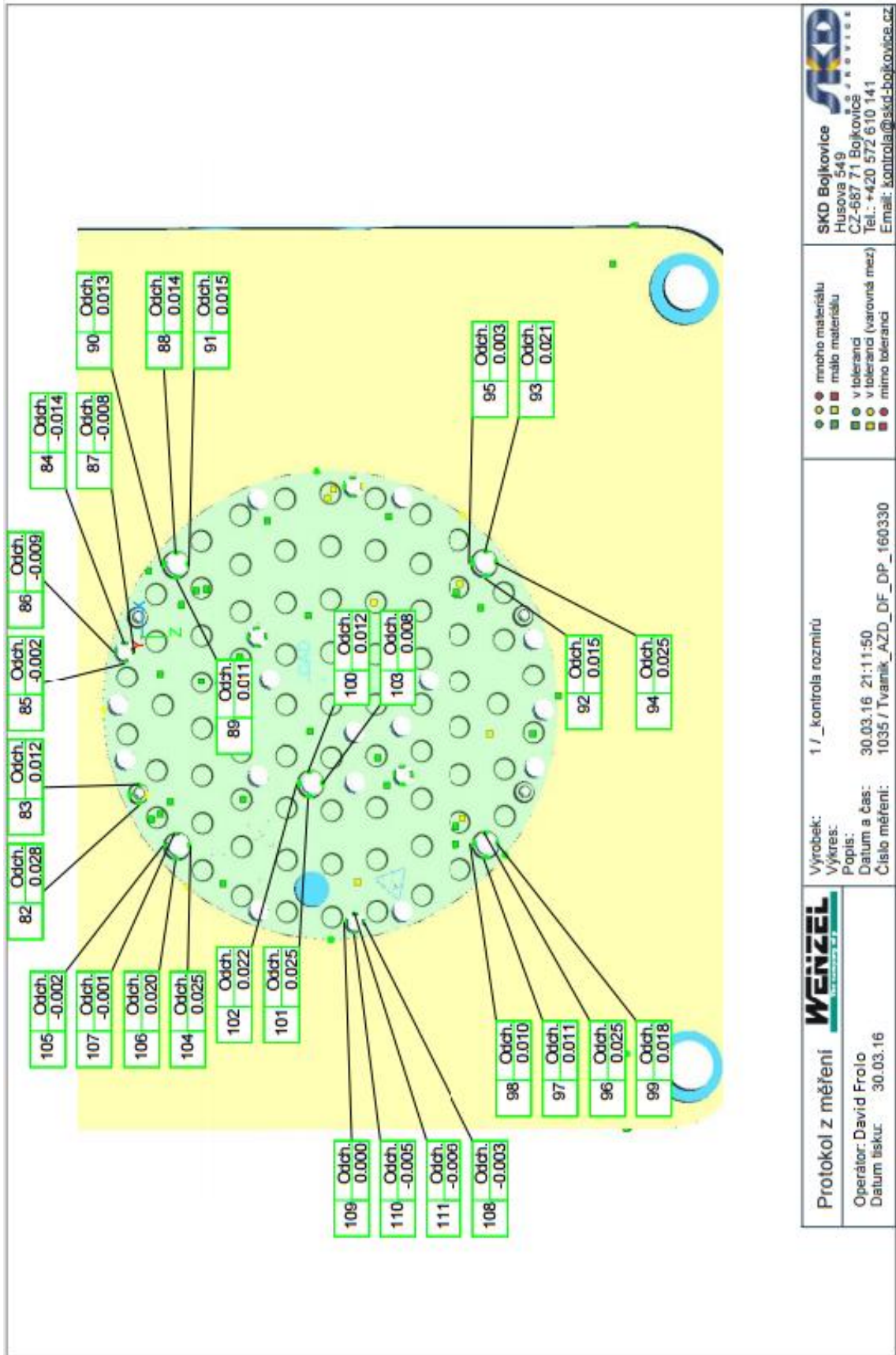
SKD Bojkovice
 Husova 549
 CZ-687 71 Bojkovice
 Tel.: +420 572 610 141
 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz

1 / _kontrola rozměrů

Výrobek: 1 / _kontrola rozměrů
 Výkres:
 Popis:
 Datum a čas: 30.03.16 21:11:50
 Číslo měření: 1035 / Tvamik_AZD_DF_DP_160330

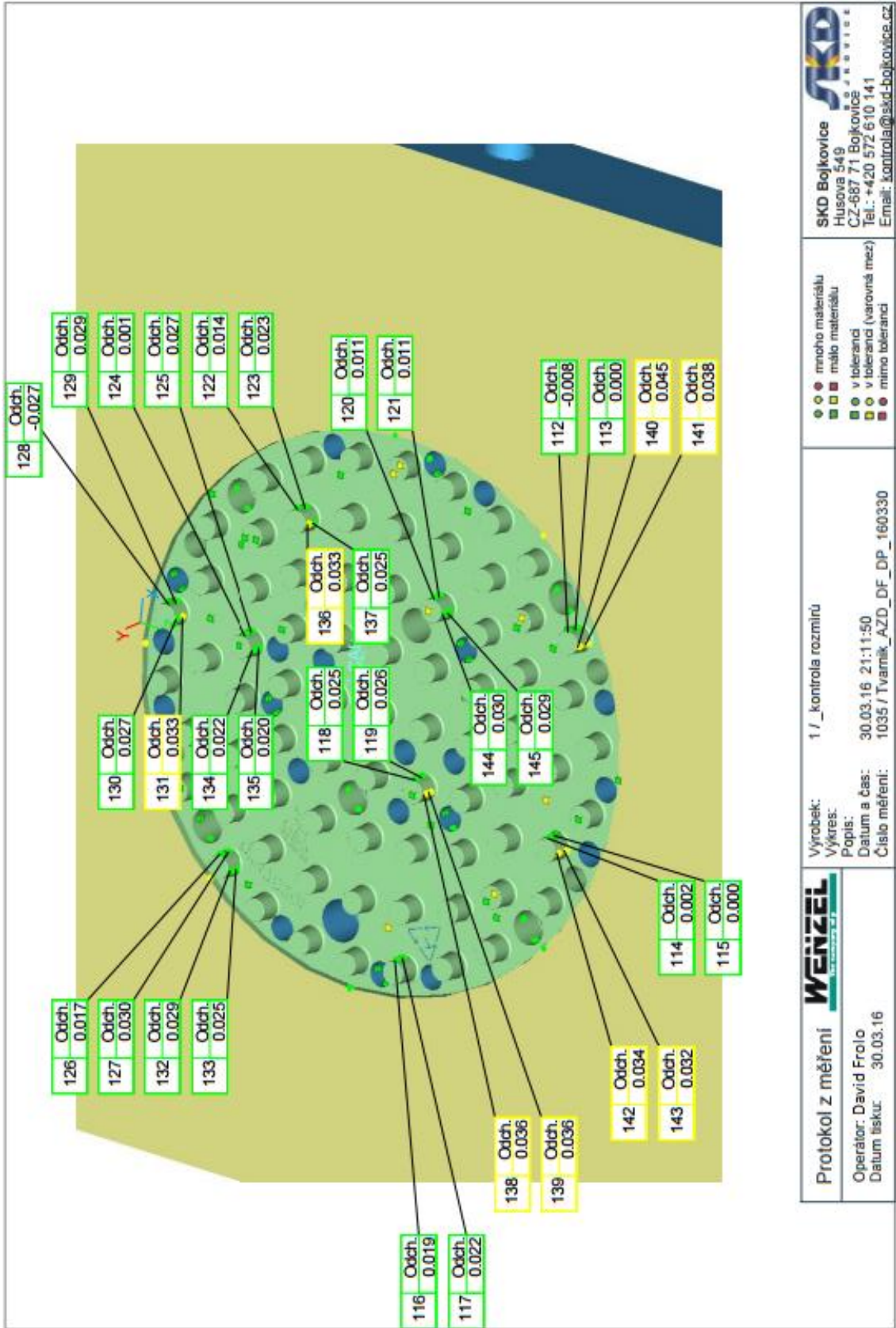
WENZEL
 Protokol z měření
 Operátor: David Frolo
 Datum tisk: 30.03.16

PŘÍLOHA P VIII: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



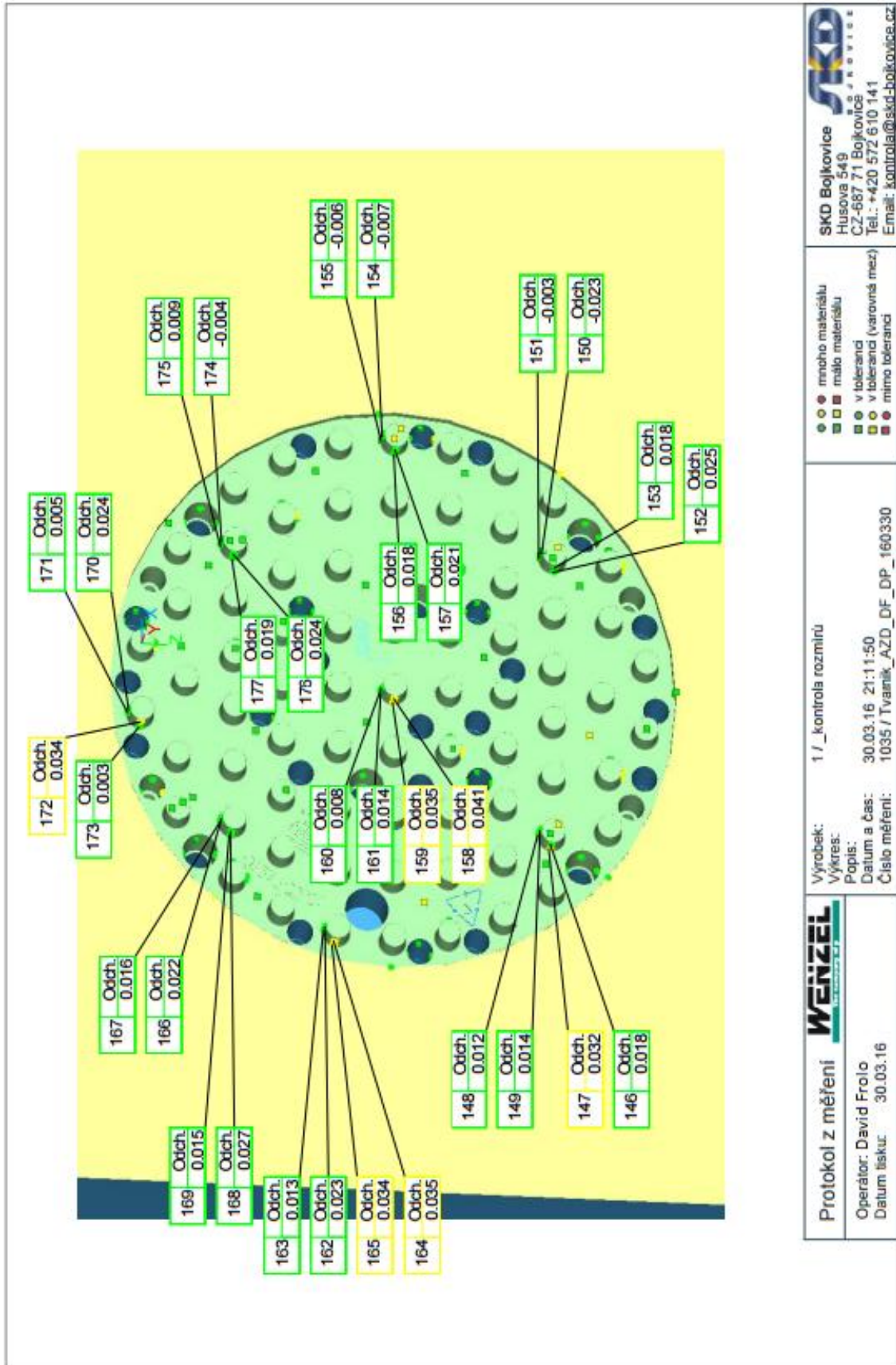
WENZEL OPERATIONAL PART	Výrobek: 1 / _kontrola rozměru Výkres: Popis: 30.03.16 21:11:50 Datum a čas: 1035 / Tvařik_AZD_OF_DP_160330 Číslo měření:	SKD Bojkovice Husova 549 CZ-687 71 Bojkovice Tel.: +420 572 610 141 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz
	Protokol z měření Operátor: David Frolo Datum tisk.: 30.03.16	● mnoho materiálu ■ málo materiálu ● v toleranci ■ v toleranci (varovná mez) ● mimo toleranci

PŘÍLOHA P IX: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



WENZEL Technická služba	SKD Bojkovice Husova 549 CZ-687 71 Bojkovice Tel.: +420 572 610 141 E-mail: kontrola@skd-bojkovice.cz
Protokol z měření	Výrobek: 1 / _kontrola rozměrů
Operator: David Frolo	Popis: 30.03.16 21:11:50
Datum tiskur: 30.03.16	Číslo měření: 1035 / Tvárník_AZD_DF_DP_160330

PŘÍLOHA P X: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



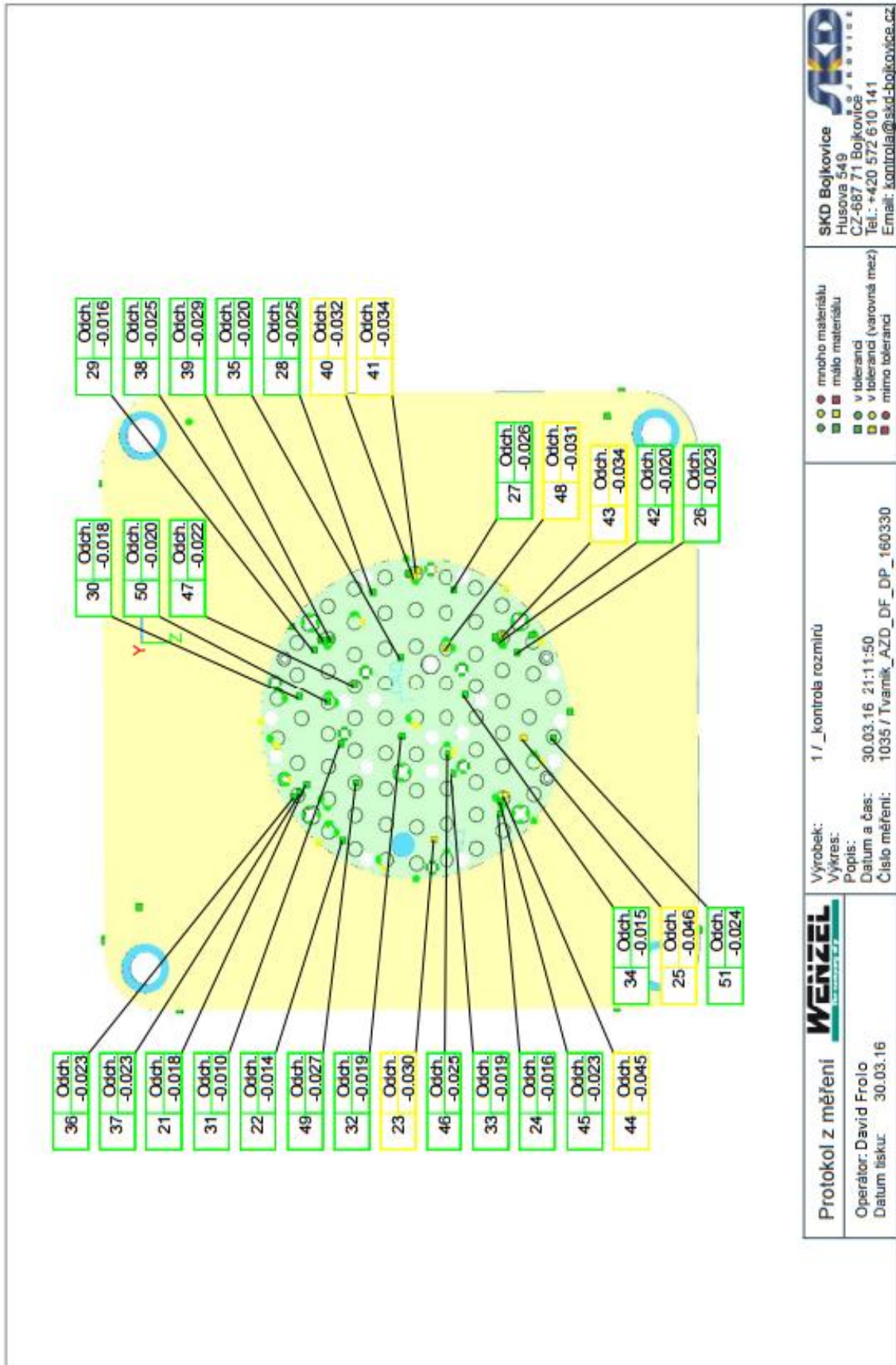
SKD Bojkovice
 Husova 549
 CZ-687 71 Bojkovice
 Tel.: +420 572 610 141
 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz

1 / _kontrola rozměrů

Výrobek: 1 / _kontrola rozměrů
 Výkres:
 Popis:
 Datum a čas: 30.03.16 21:11:50
 Číslo měření: 1035 / Tvařik_AZD_DF_DP_160330

WENZEL
 Protokol z měření
 Operátor: David Frolo
 Datum tisku: 30.03.16

PŘÍLOHA P XI: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



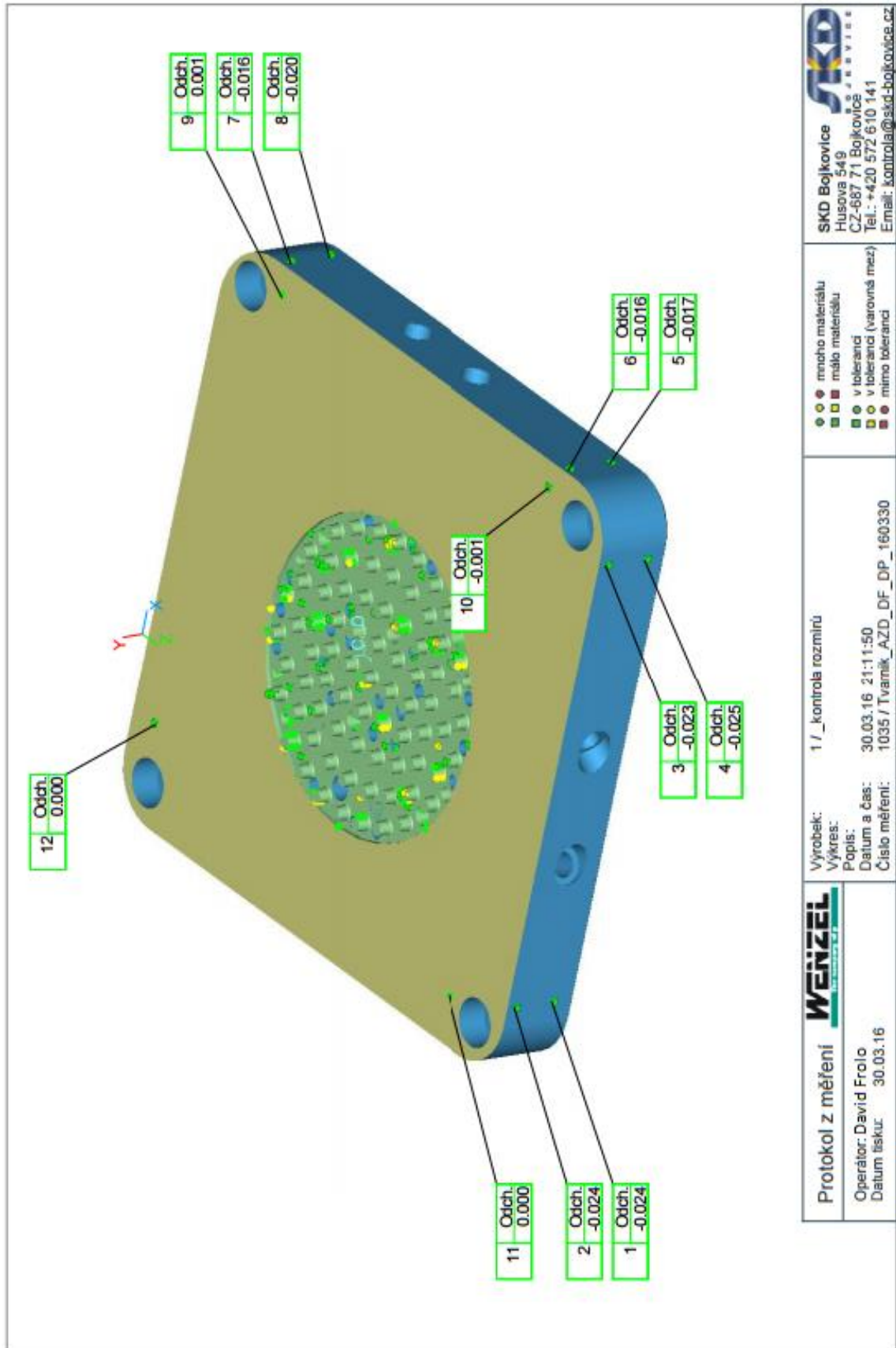
SKD Bojkovice
 Husova 549
 CZ-687 71 Bojkovice
 Tel.: +420 572 610 141
 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz

1 / _kontrola rozměrů

Výrobek: 1 / _kontrola rozměrů
 Výkres:
 Popis:
 Datum a čas: 30.03.16 21:11:50
 Číslo měření: 1035 / Tvarník_AZD_DF_DP_160330

WENZEL
 Protokol z měření
 Operator: David Frolo
 Datum tisku: 30.03.16

PŘÍLOHA P XII: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



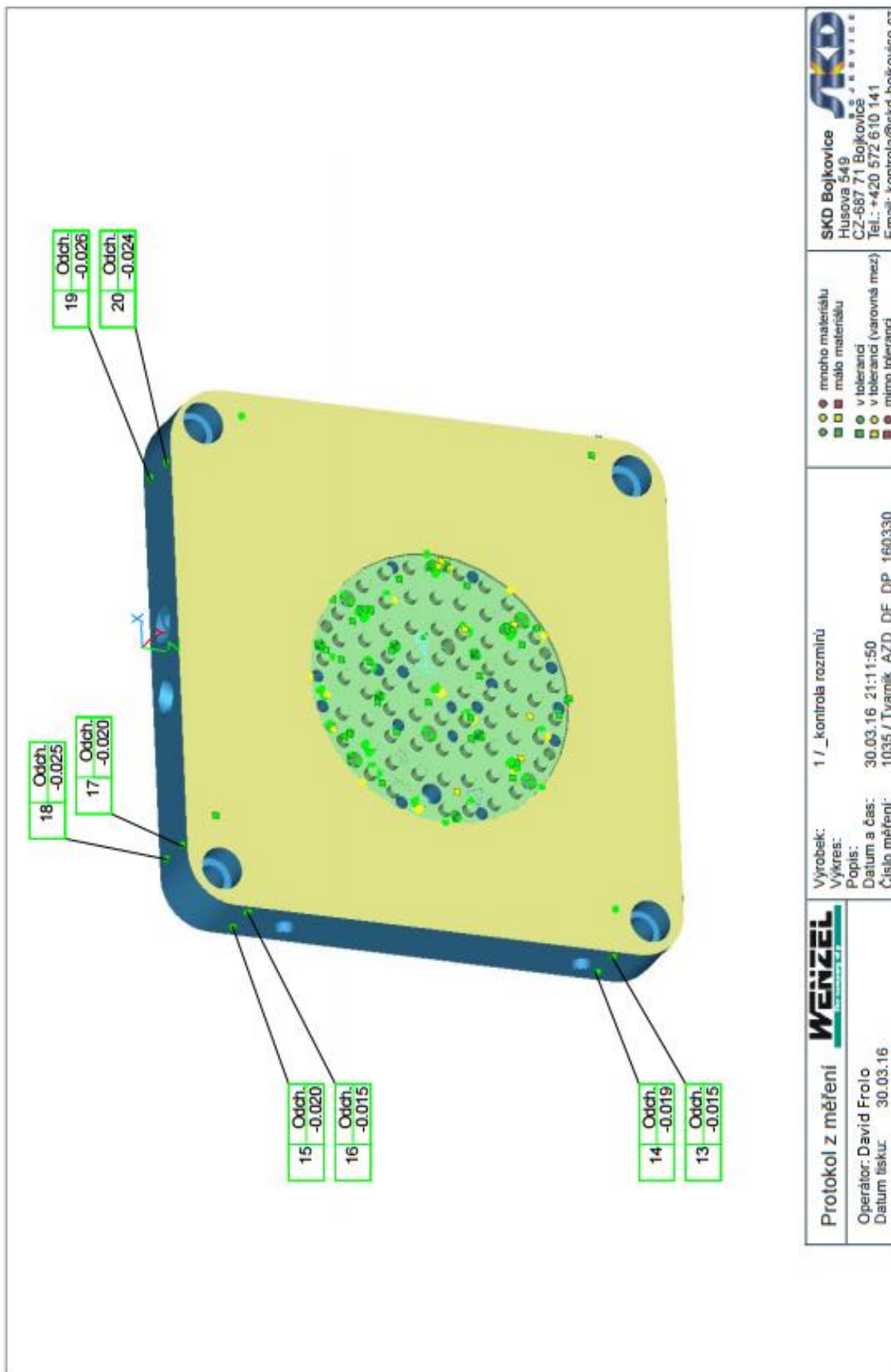
SKD Bojkovice
 Husova 549
 CZ-687 71 Bojkovice
 Tel.: +420 572 6 10 141
 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz

● mnoho materiálu
 ● málo materiálu
 ● v toleranci (varovná mez)
 ● v toleranci (varovná mez)
 ● mimo toleranci

Výrobek: 1 / _kontrola rozměrů
 Výkres:
 Popis:
 Datum a čas: 30.03.16 21:11:50
 Číslo měření: 1035 / Tvárník_AZD_DF_DP_160330

WENZEL
 TECHNOLOGIES s.r.o.
 Protokol z měření
 Operátor: David Frolo
 Datum tisku: 30.03.16

PŘÍLOHA P XIII: PROTOKOL 3D MĚŘENÍ



SKD Bojkovice
 Husova 549
 CZ-687 71 Bojkovice
 Tel.: +420 572 610 141
 Email: kontrola@skd-bojkovice.cz

1 / _kontrola rozmíru

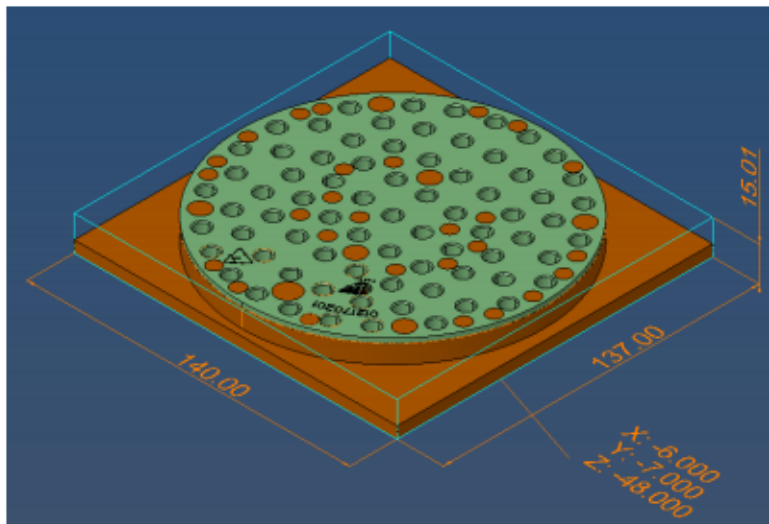
Výrobek: 1 / _kontrola rozmíru
 Výkres:
 Popis:
 Datum a čas: 30.03.16 21:11:50
 Číslo měření: 1035 / Tvarník_AZD_DF_DP_160330

WENZEL
 PROJEKČNÍ A MĚŘENÍ
 s.r.o.

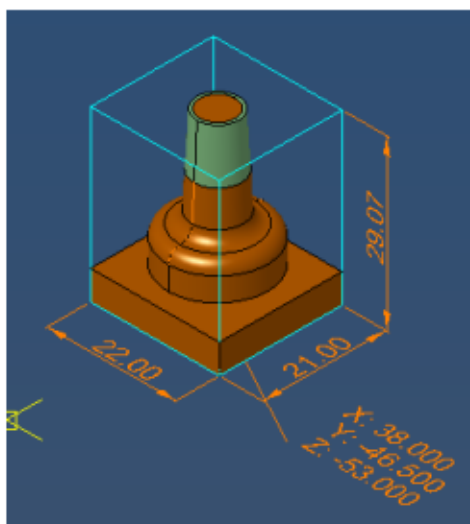
Protokol z měření
 Operátor: David Frolo
 Datum tisku: 30.03.16

PŘÍLOHA P XIV: CAD MODELY VŠECH POUŽITÝCH ELEKTROD

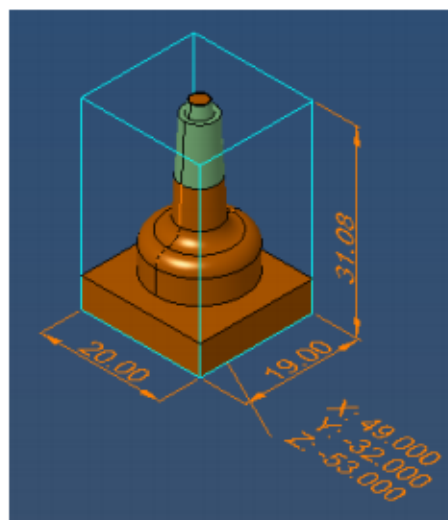
Elektroda 1



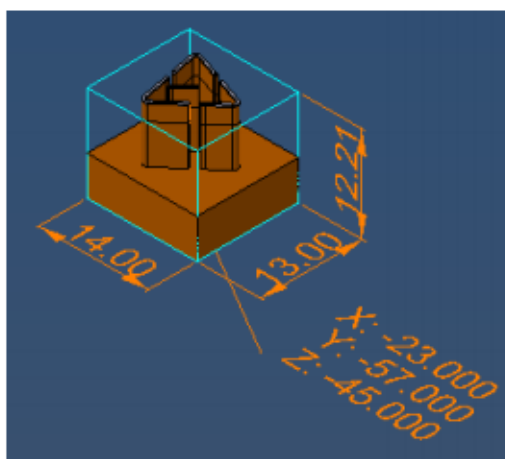
Elektroda 2



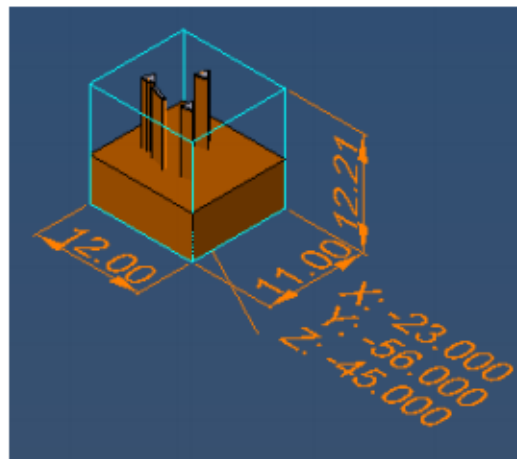
Elektroda 3



Elektroda 4



Elektroda 5



PŘÍLOHA P XV: VÝCHOZÍ POLOHA DÍLU PRO OBRÁBĚNÍ

Poloha dílu:

Tvárník

