

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie-technologie obrábění

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Porovnání víceosých technologií na zadané součásti

Autor: **Bc. Luboš VOKŘÁL**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří ČESÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském. č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Česánkovi za poskytnuté rady, odbornou pomoc a čas v průběhu vypracování diplomové práce.

Toto poděkování bych také rád věnoval své rodině za veškerou podporu a také všem lidem, kteří mi po celou dobu studia a při vypracování diplomové práce pomáhali.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Bc. Vokřál	Jméno Luboš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Strojírenská technologie- technologie obrábění		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Česánek, Ph.D.	Jméno Jiří	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Porovnání víceosých technologií na zadané součásti		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	84	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	65	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	19
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	V této práci je řešen návrh a porovnání technologických variant tříosého a pětiosého obrábění pro zadanou součást. První část diplomové práce se zabývá analýzou současného stavu obrábění zápustek a forem. Dále je řešen obráběcí postup výroby spolu s programováním obráběcích operací na konkrétních prvcích formy pomocí CAD/CAM CATIA V5R20, pro které je provedeno vyhodnocení z hlediska finančně výhodnější varianty.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Zápustky, formy, obrábění, CAD/CAM, software, Catia V5R20, stroj, nástroj, obrobek, porovnání, strategie

## SUMMARY OF MASTER SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Bc. Vokřál	Name Luboš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Manufacturing processes - technology of metal cutting		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Česánek, Ph.D.	Name Jiří	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST – KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Comparison of multi-axis technology for specified component		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	84	<b>TEXT PART</b>	65	<b>GRAPHICAL PART</b>	19
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	In this thesis is solving suggestion and comparison of three and five axis technological variant for specified component. The first part of this thesis deals with analyse of machining for molds and dies. Next is solving machining procedure together with programming of machining operation on specified elements of mold by software CAD/CAM CATIA V5R20, for which are evaluated better options due to financial expenses.
<b>KEY WORDS</b>	Dies, molds, machining, CAD/CAM, software, CATIA V5R20, machine, tool, workpiece, comparison, strategy

## OBSAH

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A ZNAČEK VELIČIN .....	2
ANOTACE.....	4
ÚVOD .....	5
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	6
1.1 Technologické varianty výroby zápusťek a forem.....	8
1.1.1 Konvenční technologie výroby.....	8
1.1.2 Nekonvenční technologie výroby .....	22
1.2 Programování číslicově řízených obráběcích strojů.....	23
1.2.1 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů.....	24
1.2.2 Struktura postupu výroby součásti v CAD/CAM systémech .....	25
1.2.3 Možnosti frézovacích strategií obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů ...	27
1.2.4 Editace drah nástroje .....	29
2 CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI – DESKA TVÁRNICE .....	31
2.1.1 Vlastnosti materiálu součásti .....	32
2.1.2 Obrobitelnost materiálu Impax Supreme.....	34
2.1.3 Doporučené řezné podmínky materiálu Impax Supreme .....	34
2.1.4 Volba nástrojů .....	35
2.1.5 Volba strojů .....	37
3 VYTVOŘENÍ MODELU ZADANÉ SOUČÁSTI.....	39
4 TVORBA TECHNOLOGICKÝCH VARIANT .....	39
4.1 Použitý software pro tvorbu technologických variant.....	40
4.1.1 Catia V5 – struktura aplikací.....	41
4.1.2 NC obrábění v Catia V5 .....	42
4.2 Technologický popis výroby zadané součásti .....	48
4.3 Návrh tříosé technologie opracování.....	52
4.4 Návrh víceosé technologie opracování.....	58
5 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ .....	61
5.1 Porovnání technologických variant opracování .....	61
5.2 Technicko-ekonomické zhodnocení navržených variant .....	62
6 ZÁVĚR.....	67
LITERATURA.....	68
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	70
PŘÍLOHY.....	72

## SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A ZNAČEK VELIČIN

2D	Two dimension – dvou rozměrný (obraz)	
3D	Three dimension – tří rozměrný (obraz)	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý (oxidová keramika)	
AlTiN	Vrstva nitridu titanu a hliníku	
C	Uhlík	
CAD	Computer Aided Design - Počítačová podpora projektování	
CAM	Computer Aided Manufacturing - Počítačová podpora obrábění	
CIM	Computer integrated manufacturing - výroby integrované počítačem	
CNC	Computer Numerical Control - Počítačově numerická řízená kontrola	
Cr	Chrom	
ČSN	Česká státní norma	
DIN	Deutsches Institut für Normung - Německá státní norma	
HB	Hardness Brinnel (tvrdost dle Brinnela)	
HRC	Hardness Rockwell (tvrdost dle Rockwella)	
HSC	High Speed Cutting - Vysokorychlostní obrábění	
HSM	High Speed Machining - Vysokorychlostní obrábění	
HV	Hardness Vickers (tvrdost dle Vickerse)	
ISO	International standard organization - Mezinárodní organizace pro normalizaci	
Mn	Mangan	
Mo	Molybden	
NC	Numerical control – Číslicové řízený	
Ni	Nikl	
P	Fosfor	
PD	Polykrystalický diamant	
PLM	Product Lifecycle Management - Management životního cyklu výrobku	
PVD	Physical Vapor Deposition – Fyzikální technologie přípravy tenkých vrstev	
RO	Rychlořezná ocel	
S	Síra	
Si	Křemík	
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Nitrid křemičitý (neoxidová keramika)	
SK	Slinutý karbid	
S-N-O	Stroj – nástroj - obrobek	
STL	Stereo litografie	
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
ZČU	Západočeská univerzita	
Obr.	Obrázek	
Tab.	Tabulka	
$\varphi_\varepsilon$	Úhel záběru břitu frézy	°
$a_e$	Radiální hloubka řezu (šířka řezu)	mm
$a_p$	Axiální hloubka řezu (hloubka řezu)	mm

$\beta$	Úhel sklonu nástroje	$^{\circ}$
d	Průměr nástroje	mm
$d_{\text{eff}}$	Efektivní průměr nástroje	mm
f	Posuv na otáčku	mm/ot.
$f_z$	Posuv na zub	mm/zub
$h_m$	Průměrná tloušťka třísky	mm
n	Otáčky vřetene	min <sup>-1</sup>
$r_{\epsilon}$	Poloměr zaoblení	mm
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu	$\mu\text{m}$
Rm	Pevnost v tahu	N/mm <sup>2</sup>
$R_{p0,2}$	Mez pružnosti	N/mm <sup>2</sup>
$v_c$	Řezná rychlost	mm/min
$v_{c,\text{eff}}$	Efektivní řezná rychlost	mm/min
$v_f$	Posuvová rychlost	mm/min
Cs	Cena stroje	Kč
D	Náklady demontáže	Kč
dv	Výrobní dávka	ks
KA	Kalkulované odpisy	Kč/rok
kc	koeficient směnového času	
KE	Náklady na energie	Kč/rok
KI	Náklady na opravy	Kč/rok
KR	Prostorové náklady	m <sup>2</sup> /rok
KZ	Kalkulované úroky	Kč/rok
L	Likvidační hodnota	Kč
N	Náklady na pořízení	Kč
Nop	Náklady na operaci	Kč
P	Výkon vřetene stroje	kW
S	Plocha stroje	m <sup>2</sup>
Sf	Fixní hodinová spotřeba	Kč/hod
SHS	Strojní hodinová sazba	Kč/hod
t	Doba upotřebitelnosti	rok
T	Délka směny	min
TA	Čas strojní práce	min
$T_{AC}$	Korekce času TA koeficientem času směnového	min
$T_{BC}$	Korekce času TB koeficientem času směnového	min
$t_c$	Směnový čas	min
$T_N$	Norma času operace	min
$T_v$	Využitelný časový fond pracoviště	hod/rok
$\dot{U}_{K\check{c}}$	Finanční úspora	Kč
$\dot{U}_{\text{min}}$	Minutová úspora času	min
Kchs1,2	Konstanty pro obrábění oceli	

## ANOTACE

V úvodu práce jsou popsány cíle diplomové práce spolu s uvedením do problematiky výroby zápustek a forem.

V kapitole Analýza současného stavu jsou uvedeny technologické možnosti výroby zápustek a forem, frézovací strategie, ukázka nástrojů pro výrobu a možnosti programování číslicově řízených obráběcích strojů. Jsou tu popsány technologické varianty výroby forem a zápustek pomocí konvenčních a nekonvenčních technologií výroby, tj. třískové obrábění a elektroerozivní obrábění. Tato kapitola zmiňuje také technologické strategie výroby, které jsou rozděleny pro použití tříosé a pětiosé varianty obrábění a kritéria pro volbu nástroje. Je zde i úvod do programování číslicově řízených obráběcích strojů pomocí CAD/CAM systémů, jelikož je nutné vytvořit i CAD model formy a následně pro něj programovat technologické varianty výroby v softwaru CATIA V5.

V kapitole Charakteristika zadané součásti je krátce, ale podrobně popsána forma, pro kterou bude vytvořen technologický postup výroby. Popsány jsou fyzikální a mechanické vlastnosti a obrobitelnost materiálu, ze kterého je forma vytvořena.

Kapitola Vytvoření modelu zadané součásti popisuje, jak byl model formy, určený pro obrábění, vytvořen.

Kapitola Tvorba technologických variant obsahuje kompletní technologický popis výroby zadané součásti, použitý software pro tvorbu technologických variant a jeho moduly, které byly pro tvorbu technologií použity. Součástí kapitoly jsou dvě podkapitoly Návrh tříosé a pětiosé technologie opracování, které jsou podrobně rozepsány podle jednotlivých úseků výroby při použití softwarového modulu Advance Machining aplikace CATIA V5.

V kapitole Závěr – porovnání technologických variant je uvedeno zhodnocení dvou technologických postupů výroby a je vybrán postup, který je pro výrobu zadané součásti vhodnější z technologického, ale hlavně z ekonomického hlediska. V této kapitole jsou také zahrnuty i poznatky, které lze plně uplatnit ve výrobní praxi.



## ÚVOD

Vstřikování plastových dílů představuje v současnosti jednu z nejrozšířenějších metod zpracování plastů. Finální výrobky se s ohledem na požadavky trhu vyznačují vysokou kvalitou a přesností. Snaha výrobních podniků je dosáhnout těchto požadavků při využití minimálních nákladů, které souvisejí s úsporou času výroby. Důležitou součástí vyhotovení vstřikovaných produktů je zvolená technologie výroby zápustek a forem. Kvalitně vyrobená forma má největší podíl na kvalitu vstřikovaného výrobku. Výrobci se setkávají při výrobě zápustek a forem s řadou komplikací, jelikož se pro takové díly často používají velmi tvrdé a houževnaté materiály, které musí odolávat pracovním procesům a zachovávat si svůj tvar. Takové materiály dosahují pevnosti v zušlechtném stavu až 1800MPa a tvrdosti vyšší než 50 HRC. Mezi současné typické technologie výroby patří především frézování a elektrojiskrové obrábění. Z hlediska minimalizace nákladů je snaha vyrobít všechny tvary formy pomocí konvenčních metod obrábění, tj. frézováním, neboť náklady na nekonvenční technologické varianty výroby jsou vyšší. Frézování tvarových ploch je u jednodušších tvarů forem možné provést klasickým tříosým obráběním. Pokud se na formách vyskytují složité tvary, které jsou obtížně přístupné pro použití tříosého obrábění, je možné použít technologii víceosého obrábění.

Cílem této diplomové práce je navrhnout dva vhodné postupy obrábění pomocí tříosého a pětiosého frézování na zadané součásti. Zadaná součást, pro kterou je úkolem navrhnout dva vhodné postupy obrábění, je model formy, pro který byly získány podklady (výkres součásti a 3D model) ze společnosti Škoda PILSEN TOOLS s.r.o. Jedná se o desku tvárnice určenou pro vstřikování plastů k výrobě hrabacího náčiní. Pro výběr výhodnější technologické varianty výroby existuje celá řada CAD/CAM softwarů, kde je možné programovat a simulovat obráběcí procesy, které přináší programátorům určitou představu o tom, za jak dlouhou dobu a v jaké kvalitě vzhledem k použitým drahým nástrojům bude forma vyrobená. Pro srovnání a vyhodnocení technologických variant byl vybrán software CATIA V5R20, který se hojně využívá při ZČU v Plzni.

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současné době se zápustky a formy vyrábějí převážně pomocí třískového obrábění. Technologie třískového obrábění je v kombinaci s elektroerozivní metodou odebrání materiálu tam, kde není dostatek místa pro řezný nástroj, nebo jsou na obrobci tvary, které nelze třískovým obráběním vytvořit (ostré rohy, hluboké a úzké drážky). Pro jednodušší formy jsou k výrobě běžně používány tříosé obráběcí stroje, s kterými lze dosáhnout požadovaných tvarů a rozměrů. Formy složitějších tvarů je rovněž možné vyrobit pomocí tříosého obráběcího stroje, ale je zapotřebí volit frézovací strategie tak, aby bylo možné zajistit požadovanou kvalitu obrobku. S rozvojem průmyslu došlo k rozmachu obráběcích strojů s možností současného řízení více souřadnicových os. Takové stroje jsou dnes označovány jako víceosé obráběcí centra. S rostoucími nároky na složitější tvary vstřikovacích forem dochází k úvahám, zda použít tříosé nebo víceosé technologie obrábění. Cílem porovnávání technologických variant a požadavkem dnešní doby je vyrábět kvalitní výrobky při dosažení minimálních výrobních nákladů v co nejkratším čase. Hlavními faktory porovnávání jsou tedy zejména cena, kvalita a čas. Faktor času a ceny jsou spolu velice úzce spojeny, jelikož každý obráběcí stroj disponuje svou hodinovou sazbou, která zahrnuje práci obsluhy, vynaloženou energii, servis atd. Důsledek porovnávání technologických variant výroby pomocí tří nebo pěti řízených souřadnicových os je podkladem pro investiční záměry podniků, které uvažují o koupi nového obráběcího stroje.

Porovnáním víceosých technologií pouze na jedné formě nelze jednoznačně rozhodnout, která investiční varianta je lepší, jelikož se často jedná o kusovou výrobu. Současná podoba vstřikovacích forem se vyznačuje složitými tvary. Pětiosá obráběcí centra jsou schopna vyrábět takové tvary forem na jedno upnutí, často za kratší čas a v lepší kvalitě než v případě použití tříosého obráběcího stroje. Na druhou stranu je strojní hodinová sazba pětiosého obráběcího centra obecně výrazně vyšší, než při použití tříosého obráběcího centra. Prostřednictvím ekonomické analýzy a hodnocení výrobních postupů lze získat podklady pro výběr optimální technologie výroby zadané součásti. Je nutné brát v úvahu též charakter výroby (kusová nebo sériová), jelikož právě povaha výroby má největší vliv při výběru vhodné technologie výroby.

Oblast výroby zápustek a forem je v dnešní době neustále se vyvíjejícím výrobním odvětvím, které vyžaduje vznik nových technologií výroby s použitím moderního strojního a nástrojového vybavení spolu s využitím sofistikovaných CAD/CAM softwarů. Základní možnosti výroby zápustek a forem lze rozdělit do dvou základních skupin, a to obrábění nekonvenční (elektroerozivní) a konvenční (frézování). Za zvýšení produktivity výroby zápustek a forem jsou považovány například nástroje pro HSC (high speed cutting) frézování ocelí s nižší závislostí na následném elektroerozivním nebo ručním dokončování v podobě dočišťování a leštění forem. Je nutné si uvědomit neměnnou skutečnost, že formy a zápustky je třeba rychleji hrubovat, polohrubovat a dokončovat v hůře obrobitelných podmínkách, neboť materiál, z kterého jsou formy vyrobeny, má dobré mechanické vlastnosti. Pevnost materiálu některých forem dosahuje 1200MPa a tvrdosti až k 504 HB. Ať se jedná o formy pro plasty, razidla, lisovadla či postupné zápustky, konkurenceschopnost a ziskovost výroby závisí spolu s vysokou kvalitou obrobeného povrchu především na rychlosti s jakou je přebytečný materiál odebírán. [1]

Pod pojem víceosé obrábění bychom mohli zahrnout celou řadu úkolů, s kterými se zámečníci v dobách konvenčních strojů museli úspěšně vypořádat, zejména museli obrábění provést na více upnutích, pokud obráběné plochy na sebe nebyly kolmé, či šlo o tvarově velmi náročné součásti.

Významným mezníkem se stal příchod číslicového řízení do obráběcích strojů, který nejprve umožnil automatické polohování ve dvou, třech či více osách a později i souvislé řízení lineárních a rotačních os. To vyvolalo potřebu tvorby programů pro správné řízení relativní polohy břitu nástroje vůči obrobku. První programátoři víceosého obrábění dokonale ovládali nejen syntaxi tvořených programů, tedy ISO kód, ale museli být schopni pracovat s matematickým popisem požadovaných tvarů a ploch, které byly znamenávány do tabulek a následně se k nim vytvářely jednotlivé body trajektorie nástroje. Programátoři zde propojili znalost prostorové deskriptivní geometrie, matematiky, algoritmizace se zkušenostmi z výroby a znalostmi technologií, neboť s návrhem každé vytvořené trajektorie jsou spjaty informace o řezné rychlosti a pracovním posuvu. [2]

## 1.1 Technologické varianty výroby zápustek a forem

Výrobní technologie zápustek a forem se v současné době rozděluje na konvenční, jejímž hlavním představitelem je frézování, a nekonvenční, jako jsou například elektroerozivní obrábění, elektrochemické obrábění a obrábění paprsky koncentrované energie. Pro úspěšné dokončení vývoje a zavedení nových zařízení do výrobní praxe byly v těchto oblastech průmyslu soustředěny finanční prostředky a vědeckovýzkumné kapacity, čímž se každá z těchto metod rozšířila do všech odvětví strojírenské výroby a umožnila tak pokračování jejich dalšího vývoje. Mezi hlavní důvody rozšiřování těchto technologií do průmyslové výroby je například rostoucí podíl těžkoobrobitelných materiálů vstřikovacích forem, nároky na tvarovou a rozměrovou přesnost s vhodností využití CAD/CAM systémů.

### 1.1.1 Konvenční technologie výroby

Pod termínem konvenční technologie se rozumí odebrání přebytečného materiálu obrobku v podobě třísky při použití zdroje mechanické energie a jejímu působení vedoucí k porušení molekulární soudržnosti materiálu. Při úběru materiálu vznikají řezné síly a řezný odpor, který je způsoben mechanickými vlastnostmi obráběného materiálu. Pro případ vyhotovení zadané součásti této diplomové práce je hlavním představitelem konvenčních technologií frézování.

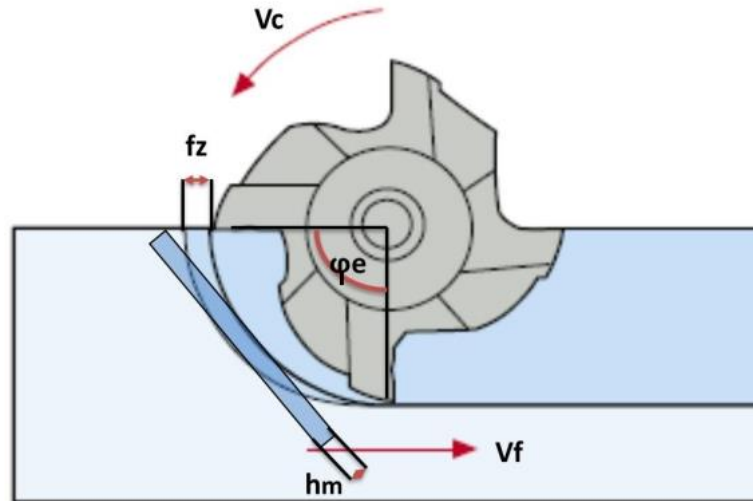
Frézování se v minulosti používalo výhradně k obrábění rovinných ploch. Postupným technickým vývojem spolu s použitím moderních víceosých obráběcích center umožnilo výrobu téměř kteréhokoliv tvaru obrobku. Tradiční postupy výroby forem pomocí nekonvenčních metod již nemají z důvodů nízké flexibility a značné časové náročnosti velkou šanci na úspěch. Rozvojem nových progresivních technologií, jako jsou HSC (High Speed Cutting), suché, tvrdé a kryogenní obrábění, se otevírají široké možnosti volby frézovacích strategií při výrobě zápustek a forem z materiálů s vyšší pevností a tvrdostí. Moderní technologie podstatně zkracují celý výrobní řetězec a rozpracovanost výroby, protože veškerá výroba je realizována frézováním již od tepelně zpracovaného polotovaru. Potenciál moderních technologií obrábění tkví v minimalizaci či úplném odstranění manuálního dokončování. K obrovskému posunu společně s technologiemi dochází také k neustálému zlepšování řezných nástrojů pro obrábění. V důsledku vývoje řezných nástrojů (řezný materiál, depozice, makro- a mikro geometrie břitu...) se posouvají limity k hodnotám delších životností břitů, vyšších řezných rychlostí a pracovních posuvů při snaze získávat kvalitně obrobený povrch součástí. Pro ekonomické uplatnění vysokorychlostního tvrdého obrábění

je nutné si uvědomit, aby byly striktně dodržovány určité technologické zásady nejen při volbě řezných podmínek, nástrojů apod., ale také při volbě frézovacích strategií. [3; 4]

## Frézovací strategie

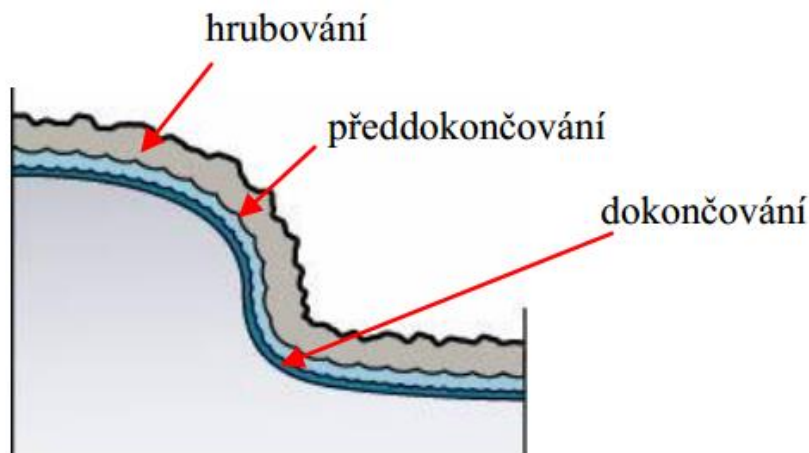
Technologie výroby zápustek a forem bývá zdlouhavý proces, který s nástupem CNC systémů řízení obráběcích strojů a rozmachem CAM systémů byl postaven před nový problém. Kromě běžných činností, jako je stanovení postupu obrábění, volba nástrojů a určování řezných podmínek se technologie musela začít zabývat i novou úlohou, a to volbou strategie obrábění. Pod tímto pojmem se skrývají předdefinované dráhy nástroje, optimalizované pro obrábění různých tvarových ploch tak, aby obrobek byl obroben co nejefektivněji. Rychlostní frézování zápustek a forem téměř výhradně prosazuje použití sousledného (souměrného) frézování, které je charakterizováno minimalizací přerušovaných pohybů. To je prokázáno spolu s dynamickým zatížením nástroje, kdy je v záběru více než jeden zub frézy. V podstatě je sousledné frézování výhodnější z hlediska silového než nesousledné. Vytváření nových strategií, a to generování a optimalizace nových způsobů přechodu nástroje po obrobené ploše, je víceoborovou oblastí, vyžadující znalosti z teorie obrábění, informatiky i matematiky. Jedním z výstupů této diplomové práce a důležitou oblastí strategií obrábění je také hodnocení a porovnání stávajících strategií, neboť jejich správný výběr může významně snížit obráběcí časy, opotřebení nástroje, ale i náklady na výrobu. Toho je možné docílit redukcí délky pracovní dráhy nástroje nebo například volbou řezných podmínek za účelem dosažení konstantního zatížení nástroje. To přispívá jednak k prodloužení životnosti nástroje, zkvalitnění zhotovovaného povrchu obrobku, ale také se výrazně projeví na efektivitě výroby. Frézovací strategie se v podstatě rozdělují na hrubování a dokončování. [4; 5]

Hrubování si klade za cíl hospodárně a co nejrychleji odebrat co největší objem materiálu a tím co nejblíže přiblížit konturu součásti pro následné dokončování. Strategie pro hrubování nebo dynamické frézování jsou založeny na konstantním úhlu záběru frézovacího nástroje a kontinuální dráze. Volbou takových strategií se eliminuje problematika obrábění rohů, kde docházelo k trhavým změnám posuvových a řezných rychlostí. Pro tyto účely se využívají modulární nastavby v CAM systémech, které přizpůsobují dráhy nástroje tak, aby se úhel záběru  $\varphi_e$  v průběhu procesu obrábění neměnil a nepřekročil maximálně přípustnou hodnotu. Optimální dráha nástroje s využitím CAM systémů vede k racionalizaci a efektivnější výrobě zápustek a forem. [6]



Obr.1.1 Optimální úhel záběru  $\varphi_e$  v průběhu procesu obrábění. [6]

Dokončovací strategie jsou voleny podle tvarové charakteristiky obráběné součásti. V některých případech je možné zcela vynechat předdokončování a značně omezit vlastní dokončování. To je možné za předpokladu, že se hrubováním dokážeme přiblížit požadované kontuře součásti, což je realizovatelné použitím nástroje se zaobleným tvarem břitu. Nepostradatelným předpokladem při frézování ocelí je kontinuální a sousledný záběr břitu frézy, aby po hrubování vznikl přírůstek přibližně stejné tloušťky na dokončovací práce. (viz Obr.1.2) [4; 7]



Obr.1.2 Frézovací strategie odebrání materiálu z místa řezu [8]

Orientace jednotlivých drah by měla být volena tak, aby nedocházelo ke krátkým a prudkým stoupáním či klesáním. Často využívané jsou strategie řádkováním nebo konstantním Z krokem (Z - level). Při vysokorychlostním frézování se nejvíce osvědčilo tzv. kapsování (kapsovací frézování), při kterém je kontura zhotovována ve spirálových drahách

a lze zde poměrně dobře dodržet rovnoměrné záběrové podmínky vedoucí k menšímu namáhání nástroje a tím prodloužení jeho životnosti. [4]

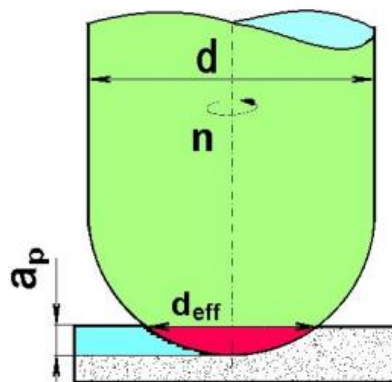
Při obrábění na čisto je velice důležité udržet rovnoměrné záběrové podmínky a zachovat kontinuální dráhy nástroje bez extrémních změn směru, jelikož by se to mohlo podepsat na výsledné kvalitě obrobeného povrchu součásti. Pro obrábění šikmých ploch v případech, kdy nasazení předchozích strategií nevyhovuje, je další zásadou využívání co největší řezné rychlosti na nástroji, kterou lze zajistit vhodnou orientací směru pohybu nástroje vůči sklonu stěny formy či záпустky. Pro frézování šikmých ploch je kladen důraz na to, aby maximální tloušťka odebírané vrstvy byla odebírána tou částí řezného nástroje, která je vůči jeho ose na co největším průměru.

### 1.1.1.1 Třiosé frézování

Technologie výroby pomocí třiosého frézování nemá tak široké možnosti obrábění tvarových ploch jako pětiosé. Pro zajištění ideálního pohybu nástroje vůči šikmé ploše formy nelze osu nástroje orientovat kolmo na plochy, které nejsou rovnoběžné se základnou. Při dokončovacích operacích se používají zpravidla kulové frézy malých průměru ( $d \leq 6mm$ ). U nástrojů s tak malým průměrem bez možnosti naklonění se i při velmi vysokých otáčkách vřetene obráběcího stroje nedosahuje dostatečně velké řezné rychlosti. Tento problém je způsoben tím, že efektivní (funkční) průměr nástrojů  $d_{eff}$ , kterými je určována skutečná řezná rychlost  $v_{c,eff}$ , je redukován na polovinu až třetinu průměru frézy  $d$ . K tomu dochází právě při dokončovacích operacích, kde jsou obráběny malé hodnoty tloušťky obráběné vrstvy  $a_p$  [4; 8]

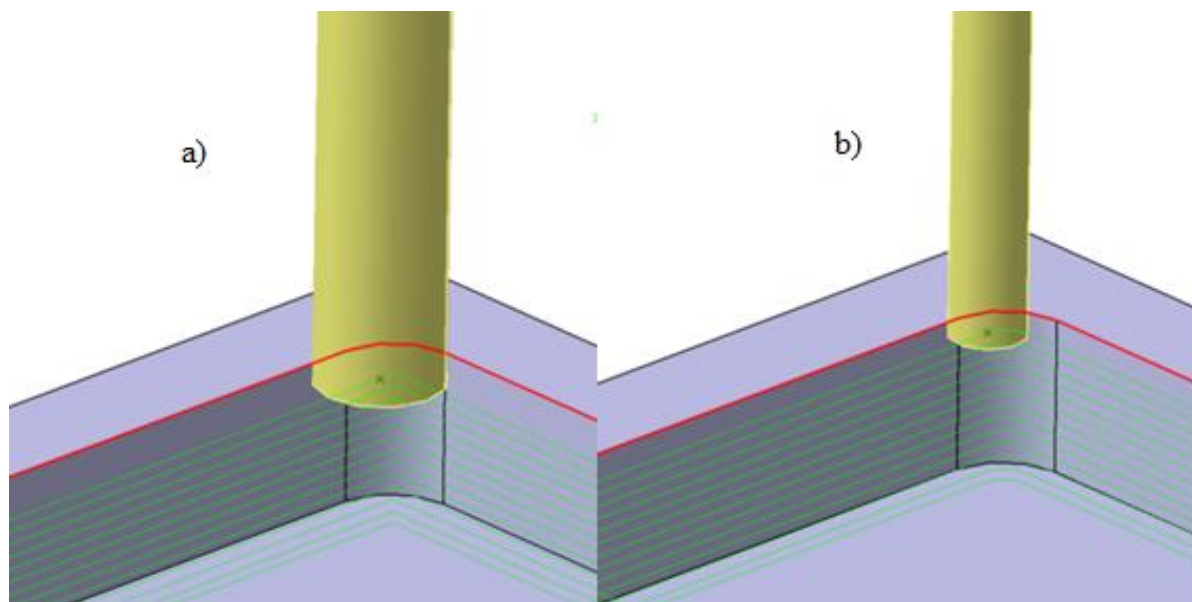
$$d_{eff} = 2 \cdot \sqrt{d \cdot a_p - a_p^2}$$

$$v_{c,eff} = \frac{\pi \cdot d_{eff} \cdot n}{1000}$$



Obr.1.3 Schéma a vzorec efektivního průměru kulové frézy  $d_{eff}$  při dokončovacím frézování [8]

Pro kombinované a přechodové tvary (kouty, rohy, zaoblené přechody apod.) jsou k dispozici speciální strategie přizpůsobující dráhy nástrojů charakteru daného tvaru. Pro odebrání přebytečného materiálu v rozích součásti musí být průměr nástroje menší než vnitřní rohový rádius formy. Pokud průměr nástroje odpovídá rohovému rádiu formy, dojde k situaci známé jako tvrdý stop, při které dochází k nerovnoměrným záběrovým podmínkám a vznikají mnohé komplikace. Při lineárním pohybu nástroje musí dojít na velmi krátkou dobu k zastavení pohybu kvůli změně směru posuvu ve zlomovém bodě, přičemž otáčky nástroje zůstanou konstantní. Inteligentní řízení stroje dokáže zpomalit pohyb nástroje před zlomovým bodem, ale stejně tato situace přináší nadprůměrné třecí teplo, způsobené třecím úhlem nástroje s obrobkem, a náchylnost k vibracím, což může vést k poškození nástroje, tak i obráběného povrchu. Pokud by se jednalo o tenkostěnné profily vyráběné touto metodou, mohl by být obráběný materiál vlivem takových vibrací znehodnocen. Jednoduchým řešením, jak se těmto komplikacím vyhnout spočívá v použití nástroje s menším průměrem, než je vnitřní rohový rádius formy. Použití takového nástroje má řadu výhod. Třecí úhel bude v tomto případě menší, čímž na nástroj bude působit menší tepelné namáhání a zároveň bude nástroj méně náchylný ke vzniku vibrací. To je způsobeno i tím, že nedojde k zastavení pohybu nástroje, jelikož je možné využít kruhovou interpolaci a vyhnout se tak zlomovému bodu. (viz Obr.1.4) [4; 7]



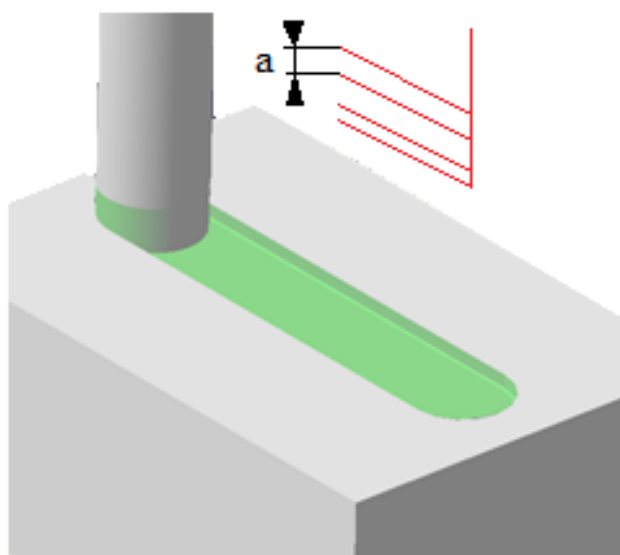
Obr.1.4 Dráhy nástroje

a) Nástroj a obráběný roh se shodným poloměrem,

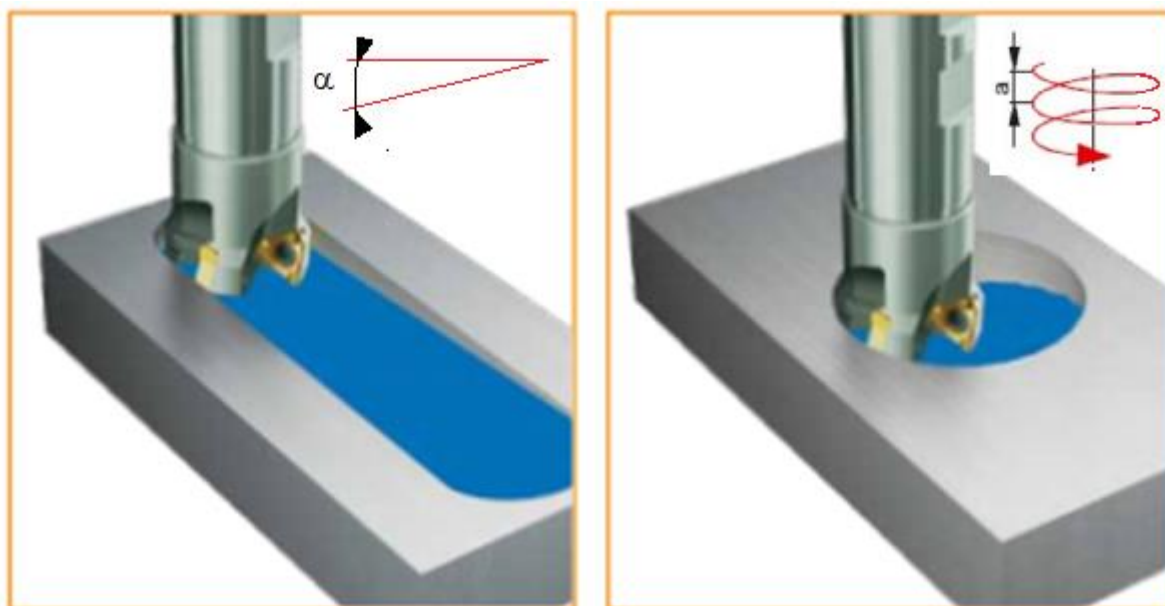
b) Využití kruhové interpolace u nástroje s menším poloměrem než je obráběný roh



Další problematikou pro obrábění zápustek a forem po volbě strategie frézování je, vzhledem k dosažení požadované životnosti nástrojů a kvalitě vyhotovení forem, volba najíždění a vyjíždění břitu řezného nástroje z a do místa řezu. Pokaždé, když břit frézy přichází do záběru, je v závislosti na obráběném materiálu, průřezu odřezávané vrstvy a druhu frézování vystaven méně či více šokovému zatížení. Vše záleží na tom, kde bude první kontakt mezi břitem a obrobkem, což může ovlivnit celý následující proces řezání a dokonce způsobit destrukci břitu. Všeobecně je vhodné pro najíždění do řezu a vyjíždění z místa řezu, aby tímto místem byl střed destičky, resp. plochy čela, která je závislá na radiální hloubce řezu. Jedna z hojně používaných starších metod, která má v dnešní době stále své uplatnění je předvrtání počátečního otvoru na požadovanou hloubku dutiny. Nástroj, většinou drážkovací fréza vnikne do materiálu axiálním směrem na stanovenou hloubku řezu a následně provádí frézování v rovině kolmé na osu rotace. Tato metoda se nazývá radiální frézování. Může se zdát vhodné provést vyhotovení vícero takových otvorů například v rozích formy, ale během následného radiálního frézování je nástroj mezi těmito prostorovými přechody nevhodně zatěžován, neboť přerušování řezu nástroje negativně ovlivňuje jeho trvanlivost. Další problematika takto volené strategie je v podobě vzniklých třísek, které musí nástroj při najetí do dutin překonávat. Spolehlivý odvod třísek z místa řezu je zásadním pro dosažení požadovaných kvalit obrobku a zajištění delší trvanlivosti nástroje. Nejvýhodnější strategií, která právě tento požadavek zajišťuje, je nájezd nástroje šikmo s kruhovou interpolací rovnou na plnou hloubku dutiny. Často se využívá strategie tzv. rampování při kterém nástroj koná radiální řezný pohyb společně s axiálním zajižděním do materiálu (lineárně nebo kruhovou interpolací). Frézy s kruhovými VBD výhodně používají strategii, která spočívá v kruhové interpolaci s pohybem po spirále v axiálním směru. [4]

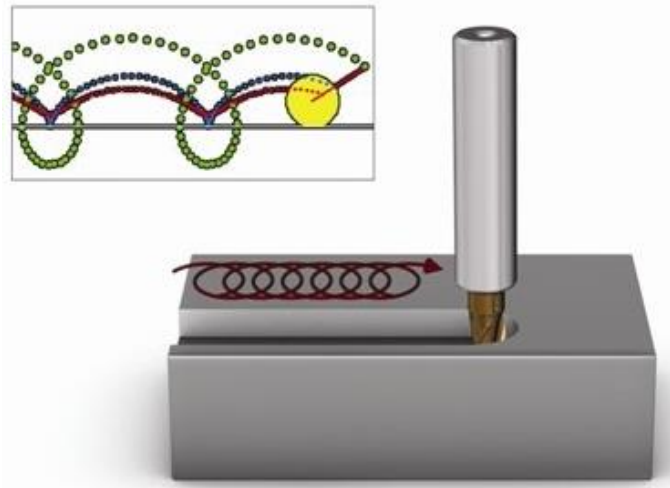


Obr.1.5 Radiální frézovací strategie po hladinách



Obr.1.6 Frézovací strategie rampování - lineární a s kruhovou interpolací [9]

Další velmi účinný způsob frézování drážek je trochoidní frézování. Tato metoda byla vyvinuta pomocí technologie HSM a je považována za typický příklad dynamického obrábění. Trochoida je geometrická křivka, která je tvořena bodem na kruhu, který rotuje a zároveň se pohybuje i jeho střed. Takovou trajektorií nástroje lze při frézování uzavřených kapes řídit a upravovat radiální hloubku řezu a tím je kontrolován i úhel záběru nástroje. Pomocí kontroly popřípadě úpravy radiální hloubky řezu a úhlu záběru nástroje lze omezit množství vznikajícího tepla na přijatelnou úroveň. Průměr nástroje se používá vždy menší, než je šířka drážek, protože jinak by nástroj nemohl frézovat drážky po trochoidních drahách. Tato strategie kombinuje parametry řezných podmínek a dráhy nástroje, které zaručují vysokou efektivitu procesu obrábění. [10]



Obr.1.7 Schematické možnosti trochoidních pohybů s ukázkou frézování otevřené drážky [10]

### 1.1.1.2 Pětiosé frézování

Při tříosém frézování používá obráběcí stroj tři lineární osy X, Y a Z, kde je osa nástroje pevná. Při pětiosém polohovém obrábění jsou přidány další dvě rotační osy. Polohování na 5.osých strojích se mohou rozdělovat na nesouvislé a souvislé. [11]

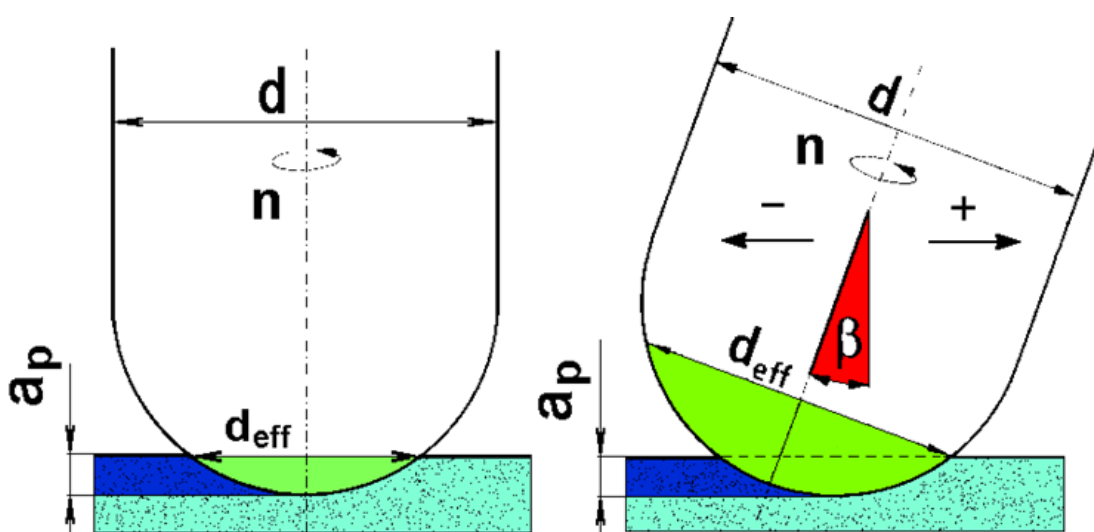
Nesouvislé polohování je značeno jako 3+2 obrábění, které odkazuje na tři lineární osy, které se ovládají současně a dvě osy rotační, pomocí kterých se hlava s nástrojem může přesunout na novou pozici a pak provést obráběcí operace. Jakmile je hlava v nové pozici, provádí se klasické tříosé obrábění. V tomto způsobu obrábění lze pohybovat pouze lineární nebo rotační osou. Nelze tedy provádět oba pohyby najednou. [11]

Obrábění pomocí souvislých (kontinuálních) 5os umožňuje současný pohyb lineárních i rotačních os obráběcího stroje. Podle kinematiky obráběcího stroje získáme v NC programu kromě lineárních os X, Y, Z také rotační osy A, B, C. Rotační osy se zpravidla vždy budou otáčet kolem jedné z hlavních lineárních os.(viz Obr.1.8) [11]



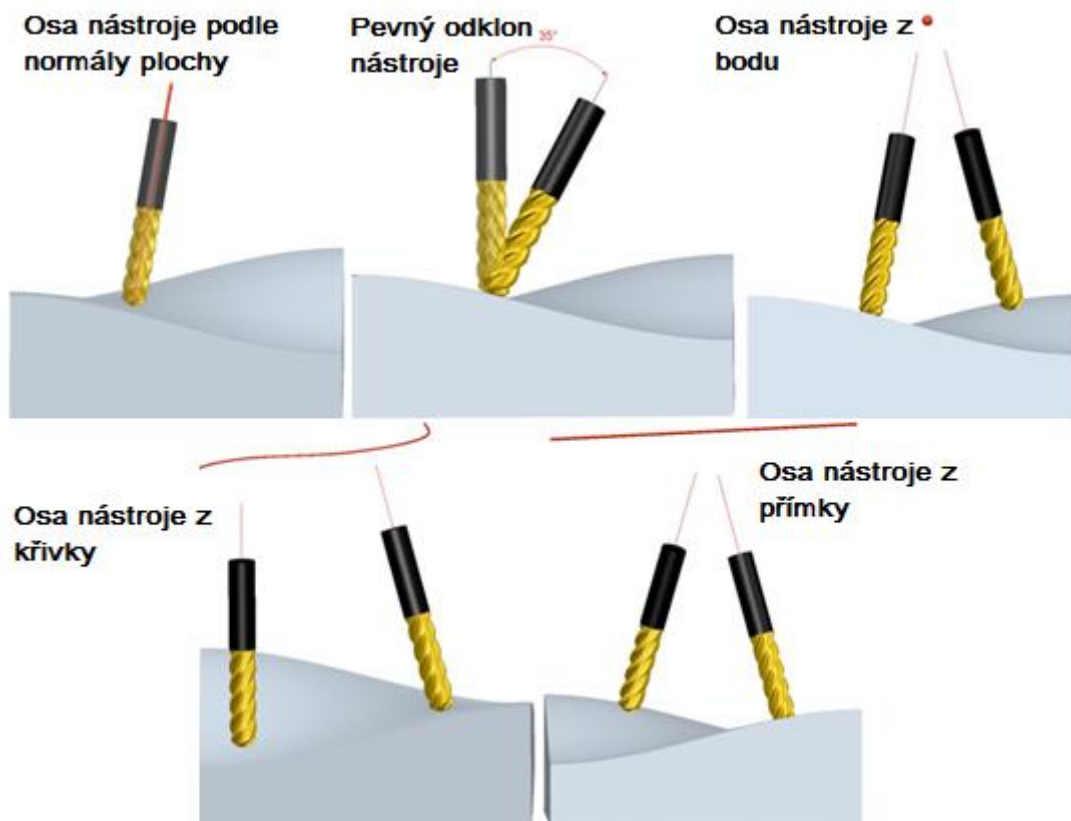
Obr.1.8 Schéma a značení lineárních a rotačních os [11]

Pětiosé frézování je velice progresivní technologie CNC obrábění tvarových ploch. Nástroj může odebrat materiál z ploch s jakoukoliv orientací s výjimkou ostrých rohů a hlubokých děr, kde je technologie frézování nahrazována jinými nekonvenčními metodami odebrání materiálu. Použití pětiosého polohování poskytuje řadu výhod. Velká část obráběných ploch včetně podkosů může být obrobena při jednom upnutí součásti. Tím se razantně snižují časy potřebné pro manipulaci s obrobkem a minimalizuje se počet chyb. Souvislým řízením všech pěti os lze obrábění realizovat plynulým natáčením vřeteníku, natáčením obrobku, nebo rozdělením natáčení mezi vřeteník a obrobek. Při dokončovacích operacích pomocí kulových nástrojů může docházet k nepříznivým záběrovým podmínkám způsobené nulovou řeznou rychlostí v ose nástroje na stroji s polohováním pomocí tří os. V tomto místě nedochází k třískovému obrábění, ale k pýchování. Pomocí polohování nástroje pomocí 5 ti řízených os můžeme nástroj naklopit tak, aby nesvíral s obráběným povrchem pravý úhel. Vyklonění nástroje je realizovatelné ve směru posuvu, kdy se rozumí tzv. vlečení nástroje, a ve směru kolmém na posuv. Strategie naklápění nástroje přináší kvalitnější obrábění vlivem zvětšení efektivního průměru nástroje, a tím zvýšení efektivní řezné rychlosti. Nejvýhodnější úhel náklonu není jednoznačně určen, ale v praxi se používají náklony v rozsahu od 10° do 30°. Kombinace naklápění spolu s možností použití kratšího vyložení nástrojů přenáší kontaktní bod na bok frézy a zaručuje tím získat kvalitněji opracované součásti za kratší výrobní časy s ohledem na prodloužení životnosti nástroje. Možnost naklápění nástroje poskytuje vyšší tuhost stroje, snižuje deformace obráběných ploch a ovlivňuje výslednou přesnost obrobku. [11; 12]

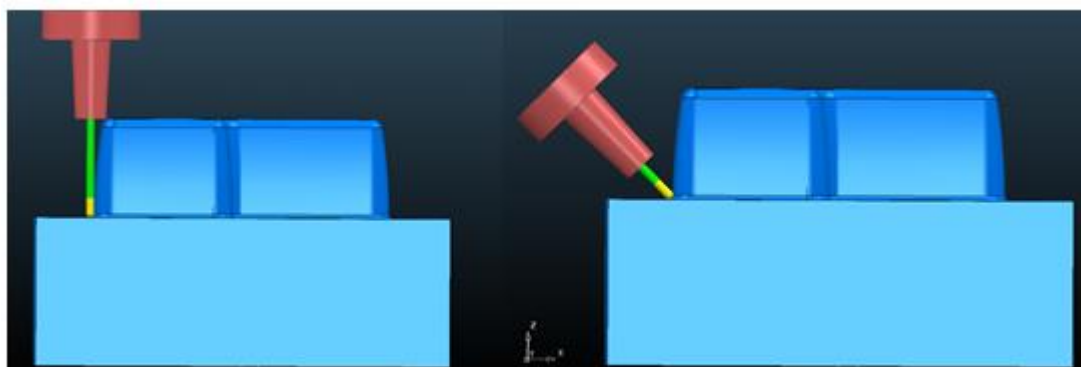


$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[ \beta \pm \arccos \left( \frac{d-2a_p}{d} \right) \right] \quad ; \quad v_{c,eff} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \cdot \sin \left[ \beta \pm \arccos \left( \frac{d-2a_p}{d} \right) \right]$$

Obr.1.9 Závislost efektivního průměru frézy na úhlu náklonu [13]



Obr.1.10 Ukázky možností naklápění nástrojů pomocí polohování v pěti osách [11]

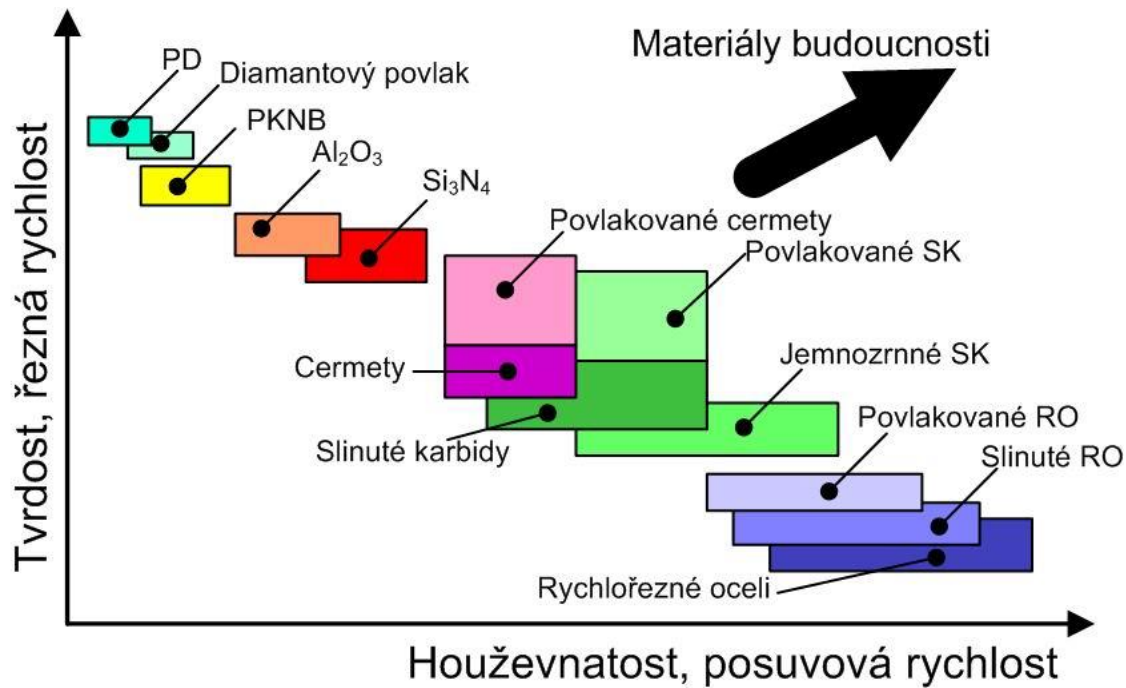


Obr.1.11 Kratší korekce nástroje díky použití pětiosého polohování [11]

### **Nástroje pro obrábění zápustek a forem:**

Průmyslová výroba zápustek a forem spotřebovává velké množství nástrojů, a zároveň udává krok k vývoji nových řešení nástrojů, které se prezentují vyšší výkonností i univerzálním použitím. Použití moderních technologií, jak bylo zmíněno v minulé kapitole, je spjata s vyšší potřebou volby frézovacích strategií, ale současně i s rozvojem nových frézovacích nástrojů. Nástroje pro HSM (High Speed Machining) frézování jsou klíčovým řešením pro zvýšení produktivity a snížení strojních časů výroby. Rozvoj frézovacích technologií ve strojírenství vede k použití specifických typů fréz s víceúčelovým využitím. Tím je myšleno, aby jeden nástroj zvládl vícero výrobních operací bez nutnosti jeho výměny. Mimo to musí nástroje určené pro obrábění zápustek a forem odolávat enormně vysokým teplotám, působením vysokých řezných sil a obstát při rychlých posuvech a řezných rychlostech. Frézy mohou být vícebřité, někdy i tvarově složité nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém využití rozdělit do jednotlivých skupin podle různých hledisek. Volba vlastností nástroje (geometrie břitu a řezný materiál) musí zohledňovat vlastnosti materiálu a tvar obrobku, požadavek na jakost povrchu, strategie obrábění a řezné podmínky. Nástroje musí být robustní, s velkou zubovou mezerou a s destičkami s vhodnou geometrií čela, neboť všechny tyto vlastnosti vedou preventivně ke snížení působení řezných sil a eliminují rizika vzniku vibrací při vysokých posuvech. [1; 3; 9]

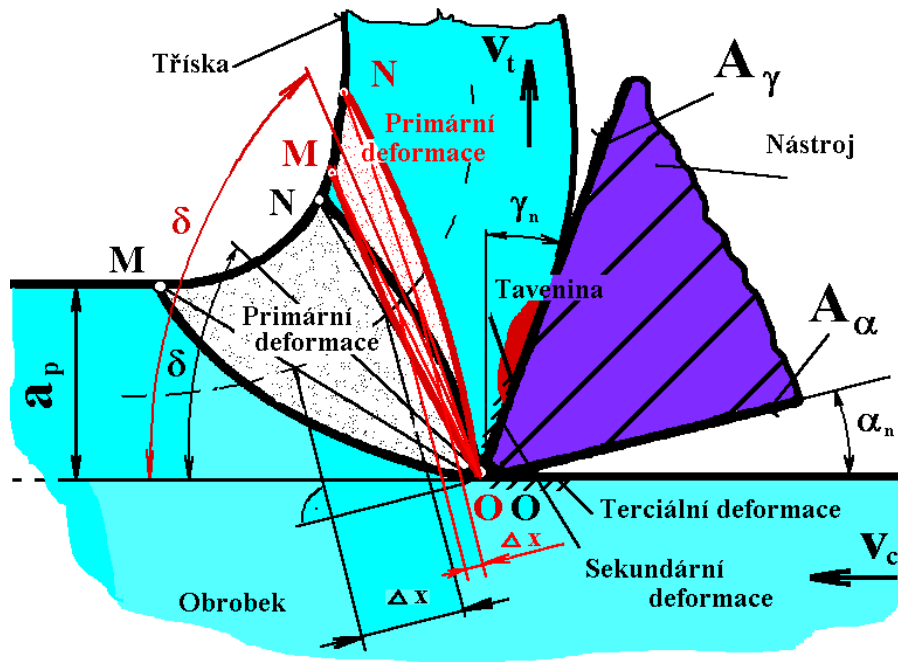
Vysokorychlostní techniky frézování jsou dnes pro výrobu zápustek a forem stále více využívány. Jedním z hlavních přínosů vysokorychlostního obrábění je zvýšení produktivity výroby a tím snížení výrobních nákladů, které vedou ke zlepšení konkurenceschopnosti. Techniky HSC nachází svou značnou účinnost při použití monolitních obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu, které zejména během hrubování kombinují velké hloubky řezu s relativně malým radiálním záběrem při obrábění materiálů o tvrdosti 60 HRC a vyšší. Výrobní proces v zásadě začíná použitím nástrojů s velkými vyměnitelnými břitovými destičkami pro hrubovací práce a pokračuje přes vyměnitelné kulové frézy s menším průměrem až po monolitní nástroje z SK, které se používají ve finální fázi obrábění formy. Podmínka volby materiálu řezného nástroje je stanovena tak, aby tvrdost nástroje byla minimálně o 5HRC vyšší. Pro obrábění zápustek a forem o vysoké tvrdosti je možné použít většinu nástrojových materiálů (viz *Obr.1.12*) vyjímaje rychlořezné oceli, která nedosahuje podmínky tvrdosti a diamant, který má vysokou afinitu uhlíku k železu. [14; 15]



Obr.1.12 Druhy nástrojových materiálů [16]

Při konstrukci nástrojů je nutné si uvědomit a brát zřetel na vznik třísek a jejich následný odvod z místa řezu, jelikož jsou velmi tvrdé a vykazují vysoké teplo. Vzniklé teplo v třísece by při přechodu do obrobku mohlo negativně ovlivnit jeho rozměrovou přesnost a při přechodu do nástroje má vliv na jeho trvanlivost. Odvod třísek by mohl být realizován proudem chladicí kapaliny vedený vnitřkem nástroje k řeznému břítu, ale u těžce obrobitelných materiálů při vysokorychlostním frézování platí pravidlo, že chladicí kapalina se za žádných okolností nedoporučuje. Dnes používané vysoké řezné rychlosti vedou k velmi horké zóně řezu, kde se teplota třísky blíží teplotě tavení obráběného materiálu (nad 1000°C) a mění se její mechanické a chemické vlastnosti. Podrobnou analýzou řezného procesu byl zjištěn vliv řezné rychlosti na oblast primární plastické deformace třísky. S rostoucí řeznou rychlostí se snižuje oblast primární plastické deformace (viz Obr.1.13). To znamená, že tříška během obráběcího procesu skokově zvýší svou teplotu, změkne a tím dojde k menšímu působení síly třísky na čelo nástroje. Vlivem rychlého odchodu třísky z místa řezu nestačí předat své teplo do nástroje ani do obrobku. Vzniklé teplo je přibližně z 99% odvedeno třískou a spolu s poklesem řezných sil se zvýší přesnost obrábění a trvanlivost nástroje. Chladicí kapalina přivedena k břítu v záběru nemá prakticky žádný význam, jelikož by se okamžitě vypařila. Následek použití chladicí kapaliny rozšiřuje oblast primární plastické deformace třísky a zvýrazňuje teplotní rozdíly, které mohou způsobit cyklické namáhání a vést ke vzniku tepelných prasklin jdoucích ke snížení životnosti nástrojů. Moderní nástrojové materiály (karbidy, cermety, keramika) jsou navrženy tak, aby snášely vysoké

řezné rychlosti a teploty v řezu. Pro správný odvod třísek se nabízí použití stlačeného vzduchu, který je veden směrem přes dutinu vřetena k řezným břitům. [15; 17]



Obr.1.13 Deformační zóny klasického a HSC obrábění [13]

Podle strategického najíždění fréz do řezného procesu volíme různé typy fréz. Při radiálním obrábění záleží hlavně na tom, zda je obráběná kapsa uzavřená po obvodu nebo otevřená. Pro obrábění uzavřené kapsy musíme volit nástroje, které jsou určeny pro drážkování. Tyto nástroje mají své široké uplatnění, jelikož mohou obrábět kombinací pohybů v axiálním i radiálním směru nebo v každém směru zvlášť. Otevřené kapsy můžeme obrábět rovněž drážkovacími frézami, ale běžně jsou voleny nástroje s břity, které nejsou přes střed nástroje. Frézování pomocí nástrojů, které nejsou určeny pro drážkování lze rovněž obrábět materiál, který se nachází uvnitř uzavřené kapsy, ale je třeba uvažovat, že velké množství takových nástrojů má odlehčené neřezné jádro. Pro tyto nástroje musíme brát veliký ohled na tabulkové hodnoty určující úhel nájezdu "ramping", pod kterým mohou vniknout do obráběného materiálu. Doporučený úhel nájezdu pro nástroje s odlehčeným jádrem je závislý na počtu zubů frézy a na obráběném materiálu. Pro obrábění kalené oceli je nejčastěji volen o hodnotě  $2^\circ$ . Při jeho překročení může dojít k defektu řezného nástroje. Se zmenšujícím se průměrem nástroje může mít úhel nájezdu do řezu vyšší hodnotu. Každý výrobce nástrojů má vzhledem k rozdílné koncepci pro totožný průměr nástroje odlišný úhel záběru pro rampování.



### Nástroje pro dokončovací operace:

Při výběru frézovacích nástrojů je klíčovým faktorem dosažení nejvyššího možného výkonu (produktivita či efektivita nákladů), a to u každé operace. Pro ukázky některých dokončovacích nástrojů vyvinula společnost TaeguTec nástroje, určené k výrobě zápustek a forem, které zajišťují hladký a stabilní průběh při obrábění, díky kterému není potřebné dodatečné broušení. Nástrojová koncepce jiných firem pro výrobní průmysl zápustek a forem není nijak zásadně odlišná od firmy TaeguTec.

Řada nástrojů firmy TaeguTec se sestává z karbidových, ocelových i wolframových stopek různé délky a štíhlosti s výměnnými karbidovými frézovacími hlavicemi různých geometrických tvarů. Varianty tvarů břitu prezentují nástroje s vyměnitelnými destičkami tak i monolitní stopkové frézy opatřeny otěruvzdornou vrstvou AlTiN metodou PVD. Tyto nástroje se vyznačují svou vysokou tvrdostí a spolehlivostí při vysokorychlostním frézování. První případ systému upnutí destiček dodává díky velké styčné ploše k držákům mimořádně silné upnutí a zajišťuje tak dostatečnou stabilitu řezného procesu. Převážně se uplatňují pro frézování různých profilů (viz Obr.1.14 a). Další možností pro dokončovací obrábění zápustek a forem je použití monolitních nástrojů ze submikronového karbidu označeného UF10N s povlakem TT1040 (povlak AlTiN metoda PVD) určený speciálně svými vlastnostmi pro vysokorychlostní obrábění ocelí do 70 HRC. (viz Obr.1.14 b).



Obr.1.14 Frézovací nástroje pro dokončovací operace od společnosti TaeguTec

a) Nástroje opatřeny držáky s VBD

b) Monolitní karbidové nástroje [9]

Pro porovnání víceosých technologií bude v případě tříosého frézování pro obrábění součásti nutné větší vyložení nástroje od upínací čelisti a bude tak docházet ke vzniku vibrací a tím k vlivu na trvanlivost nástroje a výslednou kvalitu obrobeného povrchu. Nástroje z SK prokazují menší náchylnost k rozvibrování vlivem své vyšší houževnatosti než je tomu u ostatních materiálů. Významný podíl na vznik vibrací při stejné délce vyložení je závislý na drahách řezného nástroje, tedy převážně na strategii obrábění.

### 1.1.2 Nekonvenční technologie výroby

Podstata použití nekonvenčních (fyzikálních) technologií je obecně v případech, kde nelze z technických nebo ekonomických hledisek použít obrábění pomocí klasických řezných nástrojů. Nutnou podmínkou je přítomnost obrobku z vodivého materiálu. Využití nekonvenčních metod je nejvíce používáno v případech, kde ostatní metody selhávají (např. obrábění problematických tvarů, velmi přesných rozměrů a těžko obrobitelných materiálů). Zásadním předpokladem pro získání požadované kvality obrobku není podstatná tvrdost materiálu, ale zejména důležitá je vodivost a teplota tavení materiálu. Hlavní představitel nekonvenčních technologií výroby je elektroerozivní hloubení. V praxi můžeme touto metodou dosáhnout přesnosti obrábění v řádech mikrometrů a drsnosti obrobeného povrchu Ra 0,2  $\mu\text{m}$ . Výhoda této metody je možnost nahrazení technologie broušení v obtížně přístupných místech. [18; 19]

Konstrukce a návrh nástrojové elektrody se provádí pro každý případ obrábění samostatně. Náklady na výrobu elektrod zahrnuje až 50% z celkových výrobních nákladů formy. V první řadě je zásadní volba materiálu elektrody, který se volí dle materiálu obrobku, použitého stroje a relativního opotřebení nástrojové elektrody. Pro nástrojové elektrody mohou být použity materiály kovové (elektrolytická měď, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra, slitina chromu a mědi, ocel, mosaz), nekovové (grafit) nebo kombinované (kompozice grafitu a mědi). Tvar elektrody může být v jednodušším případě přesným negativním modelem žádaného tvaru, který se do obráběného kusu zahloubí a vytváří tak požadovaný profil. U moderních strojů s možností automatické výměny nástrojových elektrod je výhodné rozdělit celkový tvar obráběné dutiny na jednodušší vyrobitelné tvary (kruhy, obdélníky, čtverce, trojúhelníky). Při stanovení velikosti nástrojových elektrod se vychází z požadovaného rozměru dutiny, velikosti pracovní mezery a požadované drsnosti obrobeného povrchu. Pomocí elektroerozivního hloubení můžeme vytvářet právě ty prvky na zadané součásti, jako jsou hluboké díry nebo ostré rohy, které by nebyly realizovatelné pomocí konvenčních způsobů odebrání materiálu. [18; 19]



Obr.1.15 Příklady grafitových elektrod pro výrobu složitějších tvarů forem [19]

## 1.2 Programování číslicově řízených obráběcích strojů

Programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která je zařazována do oblasti technologické přípravy výroby. Jedná se o relativně nový obor činnosti, který vznikl s nasazením NC strojů do výroby. Vyžaduje nejen praktické znalosti technologie obrábění, zejména z oblasti navrhování technologických postupů a posloupností úkonů v jednotlivých operacích, ale i volby kvalitních řezných nástrojů, navrhování řezných parametrů apod. Pracovní proces číslicově řízených strojů je řízen programem v číselné kódované formě – NC (numerical control), který v potřebném rozsahu a sledu obsahuje všechny geometrické, technologické i pomocné informace. Se zvyšující se technickou úrovní a složitostí techniky se adekvátně zvyšují i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora. Souvislé řídicí systémy zahrnují vysokou náročnost a složitost řídicích programů, kde u NC strojů je nutnost předpokládat i více současně řízených souřadných os. Proto byla stále více vyžadována pozornost a soustředěnost práce programátora, aby se zabezpečilo riziko výskytu chyb. Z tohoto důvodu byla pozornost zaměřena na možnost tvorby řídicích programů zejména pro CNC obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, kde se uskutečňuje možnost návaznosti tvorby CNC programu ze zadaného modelu formy. [20]

Možnost jak NC program sestavit je ovlivněna technologickými možnostmi stroje, řídicím systémem stroje respektive jeho softwarovým vybavením, složitostí a přesností obráběných tvarových ploch, ale i stupněm využívání CAD/CAM technologií při vývoji produktu. [12]

### **1.2.1 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů**

Využívání komplexních CAD (Computer Aided Design) systémů již není při práci konstruktérů a technologů žádnou novinkou ve většině vývojových pracovišť. Při vytváření prostorových modelů, od jednotlivých součástí až po složité montážní celky, je možné pomocí těchto systémů sledovat vyrobitelnost a funkčnost výrobku, dynamické vlastnosti, pevnostní a tepelné namáhání zatěžovaných součástí, ale také lze provádět obráběcí a technologické strategie ještě dříve, než je vyroben prototyp. Není sporu, že efektivní využívání komplexních CAD systémů umožňuje zkrácení technologické přípravy výroby. [12]

Pro řešení diplomové práce se při porovnávání technologických variant setkáme hlavně s moduly CAD/CAM. Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti výroby forem, zápusťek a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojního průmyslu. Práce v CAM představuje vyšší, automatizovaný stupeň pro vyhotovení CNC programu, kde je podle modelu a výkresu součásti stanoven výrobní postup. Uplatnění CAD/CAM systémů pak zvláště roste s narůstajícím počtem vyráběných kusů, kdy právě CAM systémy mohou efektivněji optimalizovat dráhy nástroje u sériové a hromadné výroby na rozdíl od dílenského programování. Programátorské rutinní vědomosti (funkce G, M, popis dráhy, možnosti cyklů atd.) není třeba uvádět. To znamená, že technologové nemusí disponovat hlubokými programátorskými znalostmi, aby mohli sestavit program, v němž se vyskytují složité dráhy, jelikož systémy automaticky tyto dráhy nástrojů generují pomocí zadaných příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu nebo z modelu ve 3D. V nabídce je široká paleta frézovacích strategií. Můžeme se setkat s různými druhy hrubování, automatickým dohrubováním, kopírovacím nebo topologickým řádkováním, konturováním ploch nebo křivek, interpolací mezi křivkami a dalšími cykly. V těchto případech se každá ušetřená vteřina strojního a vedlejšího času projeví na ekonomickém hodnocení obrábění. [12; 21]

Nabídka možností v modulu CAM je soustředěna na totožné body, které jsou v závislosti na použitém softwaru často v jiném pořadí. Zpravidla modul CAM komunikuje s programátorem, který odpovídá za vybrané možnosti, které jsou:

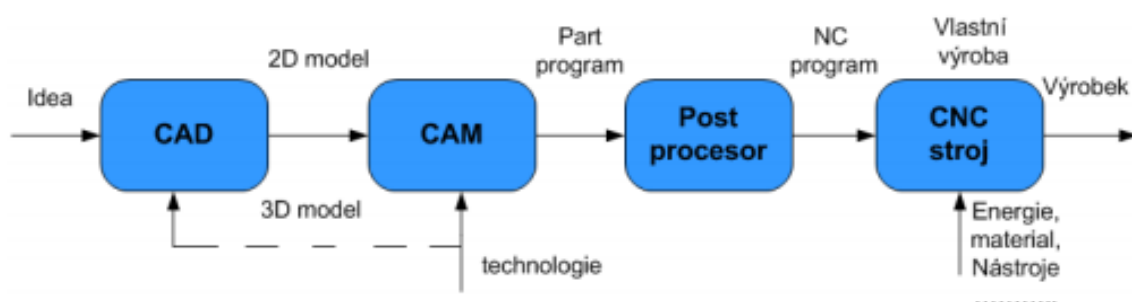
1. Celková strategie obrábění (hrubování, dokončování, závity, atd., u výroby forem je to např. rampování, rastrování, ofsetování)
2. Volba nástroje (tvar a rozměry), bod výměny nástroje

S tím souvisí i volba řezných podmínek vztažené na nástroj a obrobek pro danou strategii obrábění

3. Podmínky vlastního obrábění:
  - Strategie obrábění daného operačního úseku
  - Poloha obrábění ke kontuře
  - Způsob obrábění (podél kontury, lineárně atd.)
  - Chlazení, mazání stroje...
4. Simulace zhotoveného programu
5. Výběr postprocesoru
6. Automatizované vyhotovení programu CNC v modulu CAM

### 1.2.2 Struktura postupu výroby součásti v CAD/CAM systémech

Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech lze chápat jako souhrn činností probíhající na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku, od počáteční fáze návrhu, až po konečnou fázi výroby, jejímž výsledkem je konkrétní výrobek (viz Obr.1.16) [22]



Obr.1.16 Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [22]

V hierarchii výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů je obsaženo několik termínů, které nejsou zmíněny. Vstupem do systému je idea, která je v podstatě myšlenka, bývá omezena rozměrovými i jinými požadavky na budoucí vyráběné součásti. Proces výroby prochází od myšlenky k vymodelování součásti (CAD) a následně její výrobě (CAM). Výsledkem činnosti CAM modulu je partprogram. Partprogram je tvořen sledem příslušných adres obsahujících kódový zápis geometrie a technologie opracování součásti. Tento sled adres jednoznačně popisuje obráběcí postup, který se pomocí postprocesoru upravuje pro konkrétní obráběcí stroj a řídicí systém. Při tvoření partprogramu je třeba vycházet z těchto údajů:

- geometrie stroje (souřadný systém, orientace os, nulové body)
- geometrie polotovaru (možnost kolize, umístění obrobku v souřadné soustavě stroje)
- geometrie nástroje (rozměry, tvar, korekce dráhy nástroje a tvar obrobku)
- geometrie výsledného obrobku (daná výkresem-modelem součástí)
- technologické a řezné podmínky (procesní prostředí, řezná rychlost, posuv, hloubka
- řezu, apod.)
- ostatní podmínky důležité pro činnost obráběcího stroje (pozice nástrojů, korekcí atd.)

[23]

Postprocesor je program, který transformuje interní datovou strukturu nebo CL (Cutter Location) data do formy řídicího NC programu. V podstatě zpracovává informace z geometrického a technologického procesoru již s ohledem na konkrétní NC stroj a použitý řídicí systém. V případě použití softwaru CAD od jiné firmy než CAM se může stát, že nelze použít datový formát CAD. V těchto případech se nejčastěji používají přenosové formáty IGS, DXF, VDA, STL a další. [22; 24]

Myšlenkou procesu obrábění je volba technologických strategií a určení pořadí operačních úseků k dosažení výsledného tvaru navržené součásti. Výhodou softwarového vybavení je možnost simulace úběru materiálu jednotlivých cyklů obrábění kdykoliv během tvorby technologie. Tím je možné získat postupnou představu, jak bude po krocích obrobek získávat svou konečnou podobu. Simulace také přináší programátorům obráběcích strojů cennou odezvu, díky které se provádí vyhodnocení a výběr nejvhodnější varianty z hlediska kvality obrobeného povrchu a úspory času. [12]

### **1.2.3 Možnosti frézovacích strategií obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů**

#### **Frézování kontury (ofsetování, paralelní frézování) (viz Obr.1.17 a)**

Pohyb nástroje je realizován podél vytvořeného CAD tvaru formy. Postupně je přebytečný materiál odebírán, až se dosáhne požadovaného tvaru. Frézovat můžeme ve více vrstvách („Z“ výškách) a také ve spirále (rampováním). Touto strategií jsou zhotovovány vnější i vnitřní tvary. U vnitřních je možné začít frézovat od středu ke kontuře nebo naopak. [25]

#### **Rastrování k profilu (viz Obr.1.17 b)**

Tato strategie je vhodná pro větší úběr materiálu. Vlastní tvar profilu je obráběn před nebo po rastrování. [25]

#### **Nastavení úhlu pohybu nástroje (viz Obr.1.17 c)**

Pokud forma obsahuje drážky, pak je optimální upravit dráhy nástroje ve směru těchto drážek [25]

#### **Drážkování a přejezdy nástroje (viz Obr.1.17 d)**

Při obrábění drážek je zapotřebí, aby nástroj vyrobil jednu drážku po druhé zvlášť a vyhnul se tak obrábění všech drážek současně ve stejných výškách. Pokud nástroj nemůže plynule přejít k obrábění následující drážky, je nutné, aby software vyhodnotil minimální výšku přejezdů. Tím se eliminují neúspěšné dráhy nástroje a minimalizuje se výrobní čas. [25]

#### **Minimalizování záběrů plnou šířkou frézy (viz Obr.1.17 e)**

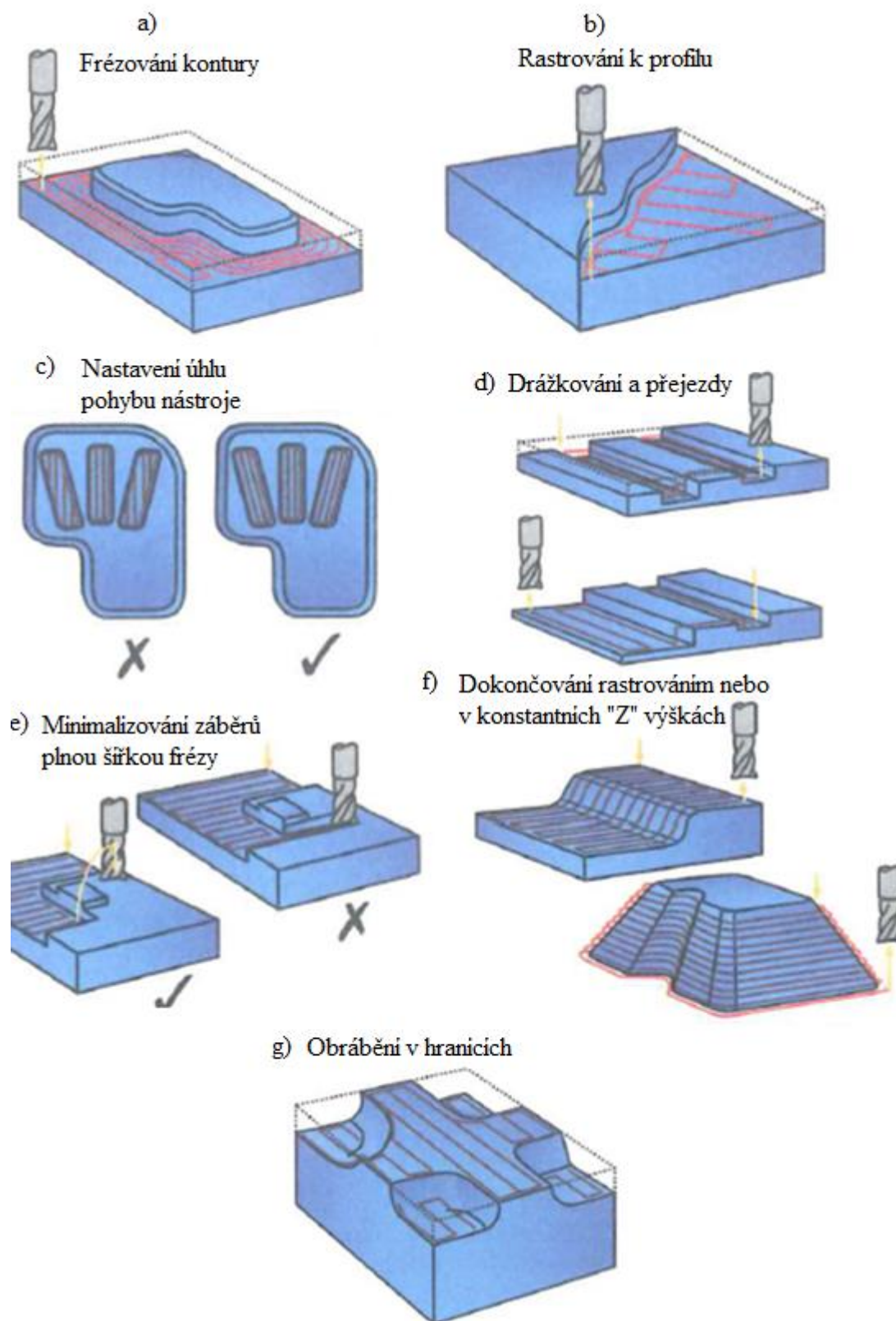
Optimální záběr frézovacího nástroje se v literatuře uvádí jako 2/3 až 3/4 průměru frézy. Pokud nejsou řezné podmínky sníženy v případě plného záběru frézy, může dojít k přetížení nástroje, snížení jeho trvanlivost vedoucí k otupení, případně destrukci. [25]

#### **Dokončování profilu pomocí rastrování nebo v konstantních Z-výškách (viz Obr.1.17 f)**

Frézovací operace rastrování lze provádět rovnoběžně s osami, pod zvoleným úhlem nebo kolmo na povrch součásti. Použití má vliv na drsnost obráběné plochy a závisí na sklonu ploch vůči dráze nástroje. Na rozdíl od rastrování je další použitelná strategie dokončování v konstantních „Z“ výškách. [25]

#### **Obrábění v hranicích (viz Obr.1.17 g)**

Na povrchu modelu součásti můžeme vyznačit (nakreslit) pomocnou geometrii určující hranici, která vymezuje práci řezného nástroje. Limitující hranice může být definována i jako prostor, kam by se nástroj neměl dostat. Lze programovat obrábění uvnitř i vně limitní hranice. [25]



Obr.1.17 Možnosti frézovacích strategií obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů [25]



## 1.2.4 Editace drah nástroje

### **Náběhy a propojení** (viz Obr.1.18 a)

Při programování drah nástroje je důležité před odladěním na obráběcí stroj upravit náběhy při vstupech a výstupech do materiálu součásti. Navíc je třeba upravit a propojit dráhy nástroje při přejezdech mezi jednotlivými ostrůvky obrábění. Účelem modifikovaného programu je optimalizovat dráhy nástroje a minimalizovat čas obrábění. [25]

### **Transformace drah** (viz Obr.1.18 b)

Dnešní softwary nabízí velké množství možností jako je například zrcadlení, posun, rotace. Při zásahu do generování nových drah je důležité dbát na rotaci nástroje, aby nedocházelo nevhodným programováním ke snižování jeho životnosti, způsobené například širokým záběrem břitu. [25]

### **Limitování drah** (viz Obr.1.18 c)

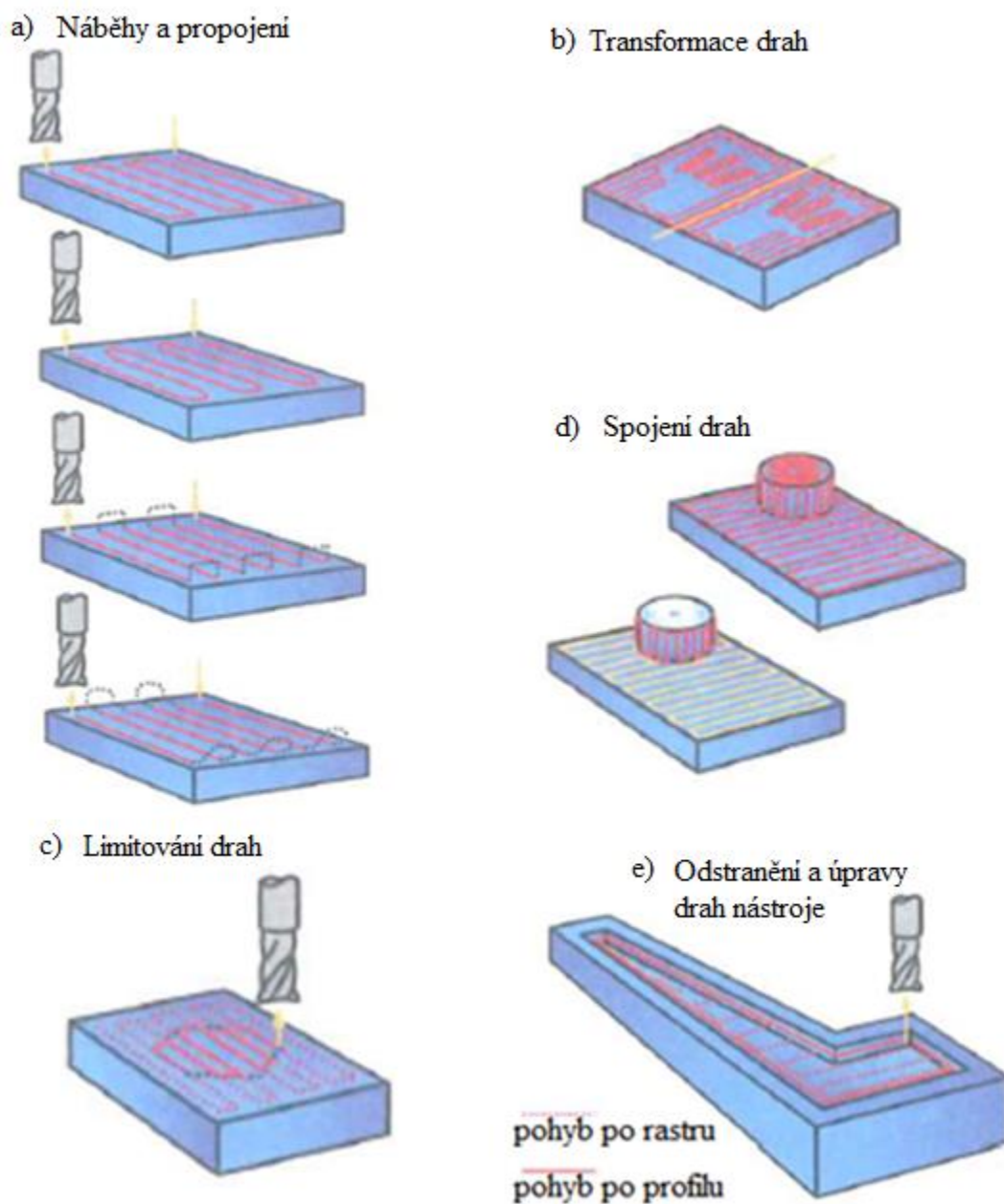
Nastavení limitních hranic můžeme provádět pomocí výběru roviny nebo geometrie součásti. Rovinou můžeme nastavit spodní popřípadě horní hranici, kde dojde k obrábění. [25]

### **Spojení drah** (viz Obr.1.18 d)

Dráhy nástroje, které byly naprogramovány pro jednotlivé obráběcí strategie zvláště, je možné mezi sebou spojit a redukovat tak výrobní čas. [25]

### **Odstranění a úpravy drah nástroje** (viz Obr.1.18 e)

Důvodem k odstranění nebo úpravám drah nástroje je z hlediska ekonomiky. Jedná se rychloposuvy a pracovní posuvy nástroje, které nejsou efektivní. [25]



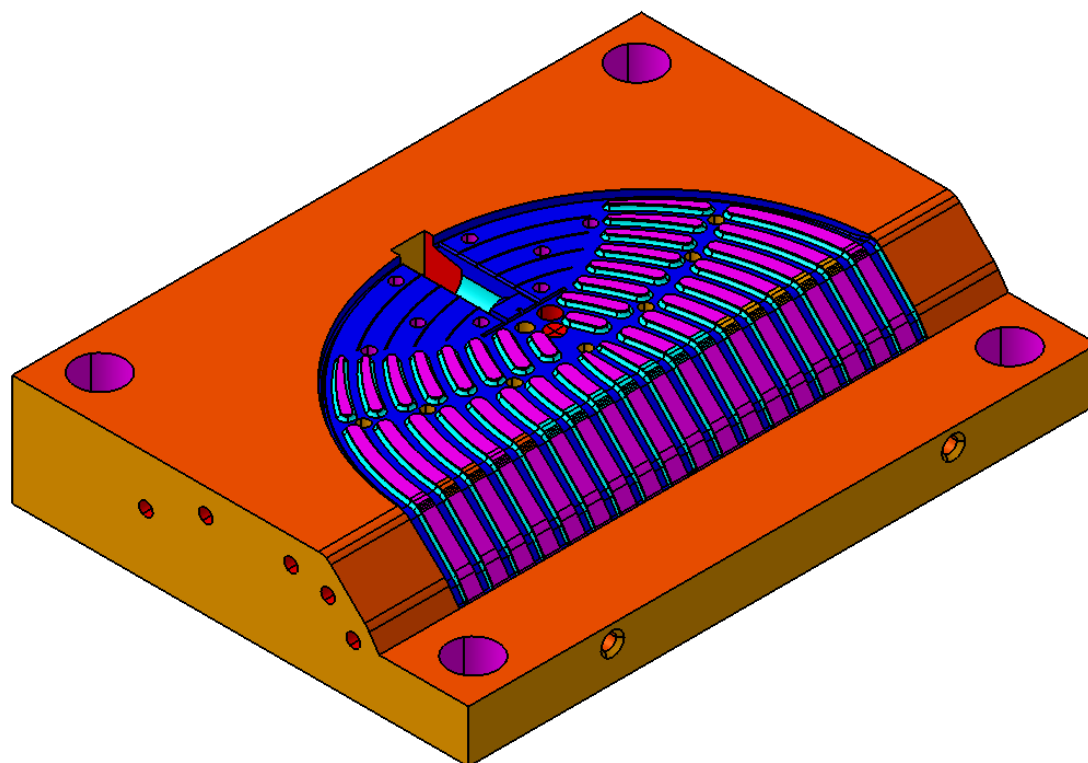
Obr.1.18 Možnosti editací drah nástroje při použití CAD/CAM systémů [25]

## 2 CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI – DESKA TVÁRNICE

Deska tvárnice je statická část vstřikovací formy na plasty. Podkladem pro tvorbu technologických variant byl 3D model s tzv. mrtvou geometrií (Solid). To znamená, že prvky součásti (kapsy, díry, otvory) nejsou z modelu definovány. Forma se skládá ze soustavy chladících (temperačních) kanálků, vtokové soustavy, několika přesných děr s tolerancemi H7 (otvory pro vedení), skupinou děr pro vyhození plastového dílu a několik dalších pro uchycení na závěsné šrouby. Komparace technologických variant, vedoucí k řešení této práce, se týká zejména těch prvků součásti, které jsou k základně orientované pod určitým úhlem tj. drážek mezi žebry případně některých závitových otvorů.

Konstrukce formy musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku a pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Technologický postup výroby a porovnávací varianty musí v obou případech zajistit požadovanou kvalitu a rozměrovou přesnost včetně předepsaných tolerancí, jelikož samotná technologie výroby formy je závislá na budoucí kvalitě vstřikovaného produktu. Nedostatečná přesnost výroby předepsaných tolerancí formy vede k nežádoucím jevům zatékání plastového materiálu do drobných dutin formy. To zvyšuje dodatečné náklady vzniklé víceprací na vstřikovaném dílu.

Polotovár byl zadán s půdorysnými rozměry 546 x 396 mm a tloušťkou desky 96,75 mm. Na delší hraně desky je vybrání pod úhlem 45°, které se sklopí o dalších 11,3°. Sklon začal ve vzdálenosti 123,89 mm od kraje a dosáhl k poklesu o 51,5 mm ve vzdálenosti 77,54 mm od kraje desky.



Obr.2.1 3D Model zadané součásti v CATIA V5R20

### 2.1.1 Vlastnosti materiálu součásti

Impax Supreme – 1.2738 (40CrMnNiMo8-6-4; 19520 + Ni)

#### Charakteristika:

Deska tvárnice je vyráběna z ušlechtné legované oceli WNr. 1.2738 (označení dle DIN: 40CrMnNiMo8-6-4, označení dle ČSN: 19520+Ni). Firmou UDDEHOLM si získala název IMPAX SUPREME. Tento materiál s nízkým obsahem síry se vyznačuje vysokou čistotou a homogenitou struktury a z toho vyplývající leštitelností, fotoleptatelností a erodovatelností. Přísada Ni a s ní spojená vysoká prokalitelnost zaručuje rovnoměrnou tvrdost v celém průřezu při vysoké houževnatosti i v tloušťkách nad 400 mm. Ocel je vhodná pro nitridování, galvanické pokovování a depozici PVD vrstvou. Dobře se svařuje. Ocel se dodává v zušlechtném stavu a není nutné ji dále tepelně zpracovávat (využívá se dodaného stavu). Další tepelné zpracování se doporučuje pouze ve výjimečných případech, kdy je požadována vyšší tvrdost. Pevnost v tahu dodávaného stavu je 900 - 1200 MPa (36 HRC). Ve stavu žíhaném na měkko je dobře obrobitelná při tvrdosti max. 21 HRC. Dosažitelná tvrdost po kalení může být až 51 HRC. [26; 27]

**Použití:**

- Vstřikovací formy na termoplasty
- Vytlačovací nástroje na termoplasty
- Tvarování vyfukováním
- Tvarové nástroje pro tváření za tepla
- Díly – např. hřídele, strojní součástky

**Chemické složení a vlastnosti materiálu:**

Chemické složení oceli 1.2738 [%]							
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Pmax	Smax
0,35 - 0,45	0,20 - 0,40	1,30 - 1,60	1,80 - 2,10	0,15 - 0,25	0,90 - 1,20	0,035	0,035

Tabulka 1 Chemické složení oceli 1.2738 [26]

Teplota [°C]	20 °C	200 °C
Měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	7800	7750
Součinitel tepelné roztažnosti °C od 20°C	-	12,7 x 10 <sup>-5</sup>
Tepelná vodivost [W/m°C]	29,0	30
Modul pružnosti Mpa [N/mm <sup>2</sup> ]	205 000	200 000
[kp/mm <sup>2</sup> ]	20 000	20 400

Tabulka 2 Fyzikální vlastnosti oceli 1.2738 [26]

Zkušební teplota	20°C	200°C
Pevnost v tahu, Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	1 020	930
Mez průtažnosti Rp0,2 [N/mm <sup>2</sup> ]	900	800

Tabulka 3 Mechanické vlastnosti oceli 1.2738 v zušlechteném dodávaném stavu [26]

## 2.1.2 Obrobitelnost materiálu Impax Supreme

Obrobitelnost je obecně známa jako systémová vlastnost materiálu vyjadřující efektivitu obrábění při nízkých nákladech a za stanovených technologických podmínek. Materiál Impax Supreme nemá stanovený ekvivalent dle ČSN, i když se v literatuře uvádí jako ČSN 19520+Ni. Pro takto značený materiál nejsou dostupné hodnoty stupně obrobitelnosti. Určení obrobitelnosti materiálu Impax Supreme lze provést pomocí výpočtu dle obsahu legujících prvků nebo porovnáním mechanických vlastností a chemického složení materiálu, který se nejvíce přibližuje těmto hodnotám. Nejblíže odpovídá materiálu ČSN 19554. Ve stavu žíhaném na měkko má obrobitelnost hodnotu 11b pro obrábění a hodnotu 7b pro broušení. Na základě výpočtu dle chemického složení, který je obsahem přílohy, odpovídá třídě obrobitelnosti 10b.

Na základě vypočtené obrobitelnosti jsou i tak zkušenosti s obráběním tohoto materiálu v praxi společností Škoda PILSEN TOOLS a.s. velice příznivé. Materiál se dobře opracovává a během obráběcích operací tvoří drobivou třísku, která nezatěžuje tolik řezné nástroje, jejichž životnost dosahuje při styku s takovým materiálem optimálních hodnot. Frézování bylo vyzkoušeno i s nástroji z rychlořezné oceli, které rovněž obstály.

## 2.1.3 Doporučené řezné podmínky materiálu Impax Supreme

Volba řezných podmínek je stanovena zejména s ohledem na technologii obrábění (hrubování nebo dokončování), druh materiálu obrobku a jeho vlastnosti (obrobitelnosti, tvrdost, pevnost...) či typ použitého nástroje (řezný materiál, geometrie, depozice). Cílem stanovení řezných podmínek je nalezení nejlepší kombinace v závislosti na životnosti nástroje a produktivity obrábění. Vysoké řezné parametry zajistí vysokou produktivitu, ale za cenu vyšších nákladů. Platí to i v opačném případě při nízkých parametrech budou sice náklady nižší, ale sníží se také produktivita. Důležité pro volbu řezných podmínek je určit správnou rovnováhu obou faktorů. Společnost UDDEHOLM poskytuje na svých internetových stránkách obsáhlé informace o doporučených řezných podmínkách pro materiál dané součásti. Pro frézovací nástroje od firmy TaeguTec se řezné parametry shodují. [26]

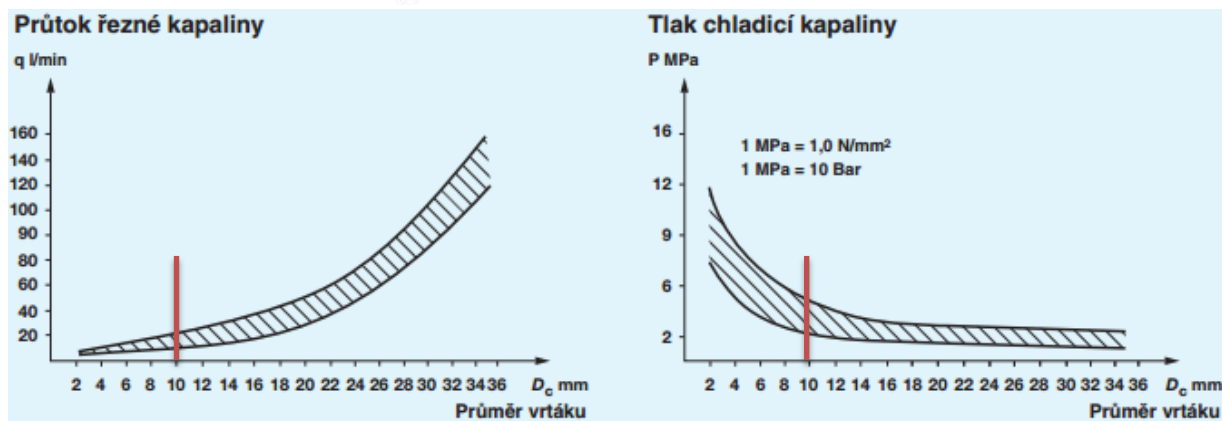
Frézování s tvrdokovem			
Parametry řezu	hrubování	obrábění na čisto	dokončování rychlořeznou ocelí
Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	80 - 150	150 - 190	16
Posuv $f_z$ [mm/zub]	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1
Hloubka řezu $a_p$ [mm]	2 - 4	< 2	< 2
Obráběcí skupina ISO	P20 - P40 povlakovaný SK	P10 - P20 povlakovaný SK nebo Cermet	-

Tabulka 4 Řezné podmínky pro čelní a válcové frézování [26]

#### 2.1.4 Volba nástrojů

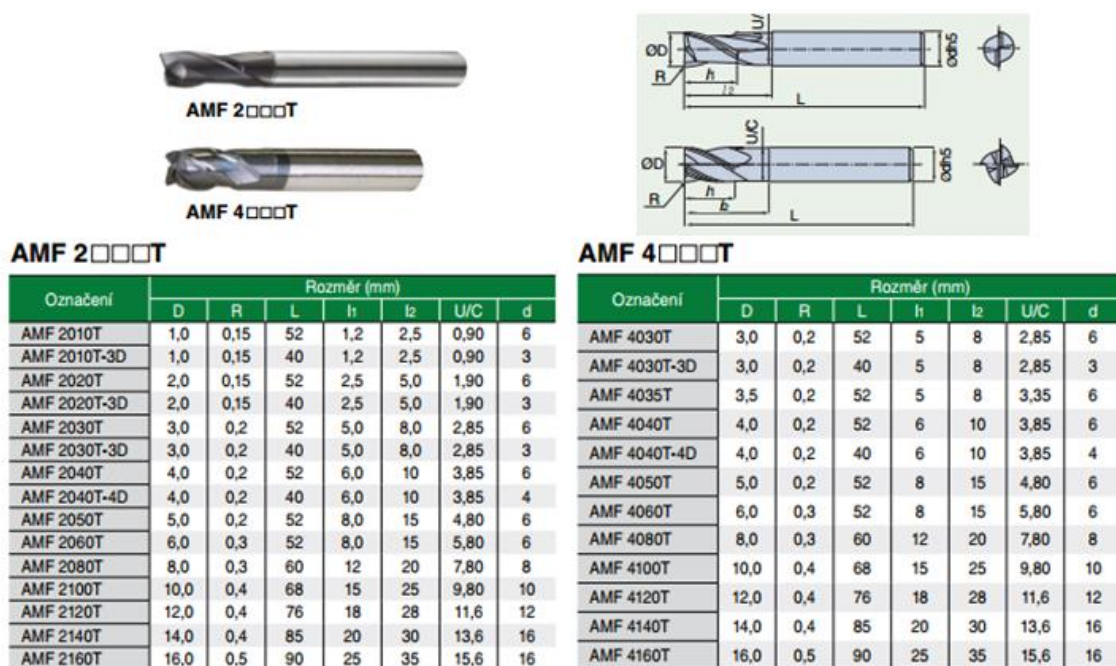
Vlastnosti nástrojů pro obrábění zápustek a forem o vysoké tvrdosti byly popsány v podkapitole 1.1.1. V této kapitole je uvedeno několik konkrétních nástrojů, s kterými budou následující aplikace dle výrobního postupu proveditelné. Kritérium pro jejich volbu je v zásadě tvrdost obráběného materiálu.

Pro vrtání hlubokých děr byl zvolen dvoubřitý dělový vrták 428.2 od společnosti Sandvik Coromant s hlavou z masivního karbidu. Dělový vrták má dutou špičku a řezná kapalina je čerpána jeho osou k řezu a vytlačována otvory v řezné hlavě. Stopka vrtáku má po obvodu drážku s profilem V nebo běžnou drážku. Tlak řezné kapaliny odvádí třísky touto drážkou ven z díry. Dělový vrták lze použít v běžném obráběcím centru, ale musí být zajištěn vysoký tlak řezné kapaliny. Doporučené hodnoty pro průtok řezné kapaliny a tlak chladicí kapaliny jsou uvedeny na obrázku (viz Obr.2.2). Rozsah průměrů je od 2 mm do 36 mm. Vrtání lze tímto vrtákem provádět do hloubky, která je menší než sto násobek vrtaného průměru. Doporučené řezné podmínky pro dělový vrták jsou řezná rychlost  $v_c = 0 \div 100$  m/min. Posuv na otáčku se volí v závislosti na průměr vrtáku. Byl volen vrták o průměru 10 mm, pro který je posuv v rozsahu  $f = 0,015 \div 0,050$  mm/ot. [28]



Obr.2.2 Doporučené hodnoty vlastností kapalin pro použití dělového vrtáku o průměru 10 mm [28]

Pro frézovací operace byly vybrány nástroje společnosti TaeguTec. Nástroje jsou monolitní karbidové frézy určené pro drážkovací operace.



Obr.2.3 Karbidové frézy APEXMILL společnosti TaeguTec a jejich rozměrové řady [29]



## 2.1.5 Volba strojů

Stroje určené pro výrobní operace zadané součásti byly zvoleny náhodně, ale pro vrtání a frézování děr s tolerancemi H7 byl zvolen stroj z praxe ze společnosti Pilsen Tools a.s. Jedná se o souřadnicovou vrtačku WKV 100 od výrobce TOS, která se vyznačuje vysoce přesným obráběním a svou koncepcí. Vrtačka je vybavena dvěma na sebe kolmými vřeteny pro obrábění ve vertikálním i horizontálním směru. Dalším uvedeným strojem je horizontální vyvrtávačka WHN 110 Q, která byla vybrána pro hrubovací operace hlubokých děr pomocí dělového vrtáku, kde je důležitý požadavek na tlak chladicí kapaliny.



Obr.2.4 Souřadnicová vrtačka WKV 100



Obr.2.5 Horizontální vyvrtávačka WHN 110 Q (vlevo) a hloubička PENTA 1060 CNC

Pro porovnání technologických variant byla zvolena frézovací obráběcí centra společnosti Kovošvit MAS. Pro první variantu bylo vybráno tříosé obráběcí centrum MCV 750. Pro druhou variantu bylo zvoleno pětiosé obráběcí centrum MCU 700V-5X.



*Obr.2.6 Obráběcí centra společnosti Kovošvit MAS – tříosé obráběcí centrum MCV750 (vlevo), pětiosé obráběcí centrum MCU700V-5X (vpravo) [30]*

### **3 VYTVOŘENÍ MODELU ZADANÉ SOUČÁSTI**

Na počátku zpracovávání této diplomové práce byl podkladem pro tvorbu modelu a následné programování víceosých technologií výkres součásti, který neměl všechny rozměry k modelování součásti zakótovány. Modul Mechanical Design, konkrétně podmodul Part Design softwaru Catia V5R20 byl určen pro tvorbu modelu součásti. Vzhledem ke složité geometrii prvků součásti, které navíc nebyly opatřeny kótami, nebylo možné model vytvořit, a proto byl získán funkční model součásti (Solid) s tzv. mrtvou geometrií. Na této součásti jsou provedena porovnání víceosých technologií. Na základě doloženého modelu spolu s výkresem součásti v papírové formě byl vytvořen nový výkres v aplikačním modulu Mechanical Design – Drafting. Pro vytvoření výkresu se všemi jeho prvky musel být model upravován tak, aby byly viditelné závity, které na původním modelu (solidu) nebyly. To bylo realizováno metodou propojení závitových prvků s modelem součásti. Vyhotovený výkres je obsahem příloh této diplomové práce.

### **4 TVROBA TECHNOLOGICKÝCH VARIANT**

Součást s výrobním názvem „Deska tvárnice“ určena pro výrobu násad na hrabací nářadí bude podrobena průzkumu výrobních možností za účelem získání přívětivé ekonomické varianty. Na základě výrobního postupu budou provedeny dvě technologické varianty řešení výroby vstříkovací formy v systému CATIA V5R20. První varianta se bude zabývat výrobou vybraných prvků součásti technologií tříosého frézování. V druhé variantě stejné prvky vytvoříme technologií víceosého frézování. „Deska tvárnice“ je vybavena tenkými drážkami a ostrými vnitřními rohy, které nelze frézovacími technologiemi vyhotovit. Proto se během výrobního postupu budeme zabývat úvahami, zda jsou takové prvky na součásti nutné a budou-li vyrobeny elektroerozivními nebo frézovacími metodami. Obě varianty budou před závěrem porovnány a podrobny technicko - ekonomickému zhodnocení.

Mezi důležitá porovnávací hlediska patří fixní náklady (cena strojů, nástrojů, upínačů, apod.) a variabilní náklady (čas výroby, ostření nástrojů). Platí pravidlo, že každý technologický proces musí být hospodárný. Hospodárnost výrobních technologií ovlivňujeme zejména optimalizací řezných podmínek. Znalosti nástrojového a obráběného materiálu spolu se znalostmi obráběcích strojů nám nestačí pro komplexní optimalizaci. Celý výrobní proces má mnoho proměnných hodnot, které mají nemalý vliv vedoucí k hospodárné výrobě. Při plánování výroby musí každý výrobce myslet na to, zda se jedná o kusovou, seriovou nebo hromadnou výrobu. Vzhledem k tomu se volí uspořádání pracovišť v podniku a stanovují se řezné podmínky vedoucí k požadované produktivitě.

## **4.1 Použitý software pro tvorbu technologických variant**





Catia V5 je software pro 3D počítačové konstruování v oblastech CAD/CAM/CAE, který byl vybrán pro praktickou část této diplomové práce. Tento software byl vyvinut francouzskou firmou Dassault Systems. Systém nachází své uplatnění ve všech průmyslových odvětvích, kde nabízí široké spektrum řešení integrovaných do jednoho prostředí pro veškeré aspekty jako je konstruování a vývoj výrobku, zvyšování konkurenceschopnosti firmy, snižování nákladů a optimalizace technologických procesů. Catia V5 je systém, který je schopen pokrýt kompletní životní cyklus výrobku (tzv. PLM Product Lifecycle Management), tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, různé pevnostní a výpočtové analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu výkresové dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu. Špičkové dílčí uplatnění, využité právě pro porovnání zvolených technologických variant výroby zadané součásti pro diplomovou práci, je v oblasti CAM, kde Catia dosahuje skvělých výsledků v simulacích NC obrábění, a to jak ve frézování, tak i soustružení od dvou až po pětiosé simultánní obrábění s možností přímé komunikace s CNC centry. Standardně je software vybaven schopností vizualizace a verifikace vytvořeného NC programu, čímž ve značné míře přispívá ke zvyšování efektivnosti obrábění. Pomocí této verifikace lze kontrolovat kolizi nástroje s obrobkem nebo upínkami. Verifikace taky analyzuje zbytkový materiál nebo podřezání. [5]

### 4.1.1 Catia V5 – struktura aplikací


Software Catia je vybaven řadou modulů, které jsou mezi sebou provázané. Kombinací některých z nich získáváme konkrétní řešení v závislosti na typu výrobního podniku. Zde jsou uvedeny moduly, které jsou použity ke splnění cílů diplomové práce.

#### Mechanická konstrukce – Mechanical Design

Obsahuje skupiny aplikačních modulů, které vytváří CAD modely obecných strojírenských konstrukcí na bázi hybridního modelování. Modely jsou tvořeny s řadou geometrických a technologických prvků. V tomto modulu můžeme mimo zmíněné modelování vytvářet:

-  ➤ Tvorba modelů (Part Design)
-  ➤ Skicy (Sketcher)
-  ➤ Výkresy (Drafting)
-  ➤ Design nástrojů pro výrobu forem (Mold Tooling Design)...

#### Designová konstrukce – Shape

Tento modul, konkrétně jeho část Generative Shape Design  byl použit pro barevné obrázky výrobního postupu. Modul nabízí možnosti rozložení součásti na jednotlivé plochy bez objemu materiálu. Mezi další možnosti se řadí spojování takto rozdělených ploch, vytažení plošných profilů apod. Modul je nápomocný pro poznávání skutečného tvaru vstříkovacích forem.


#### NC Obrábění – Machining

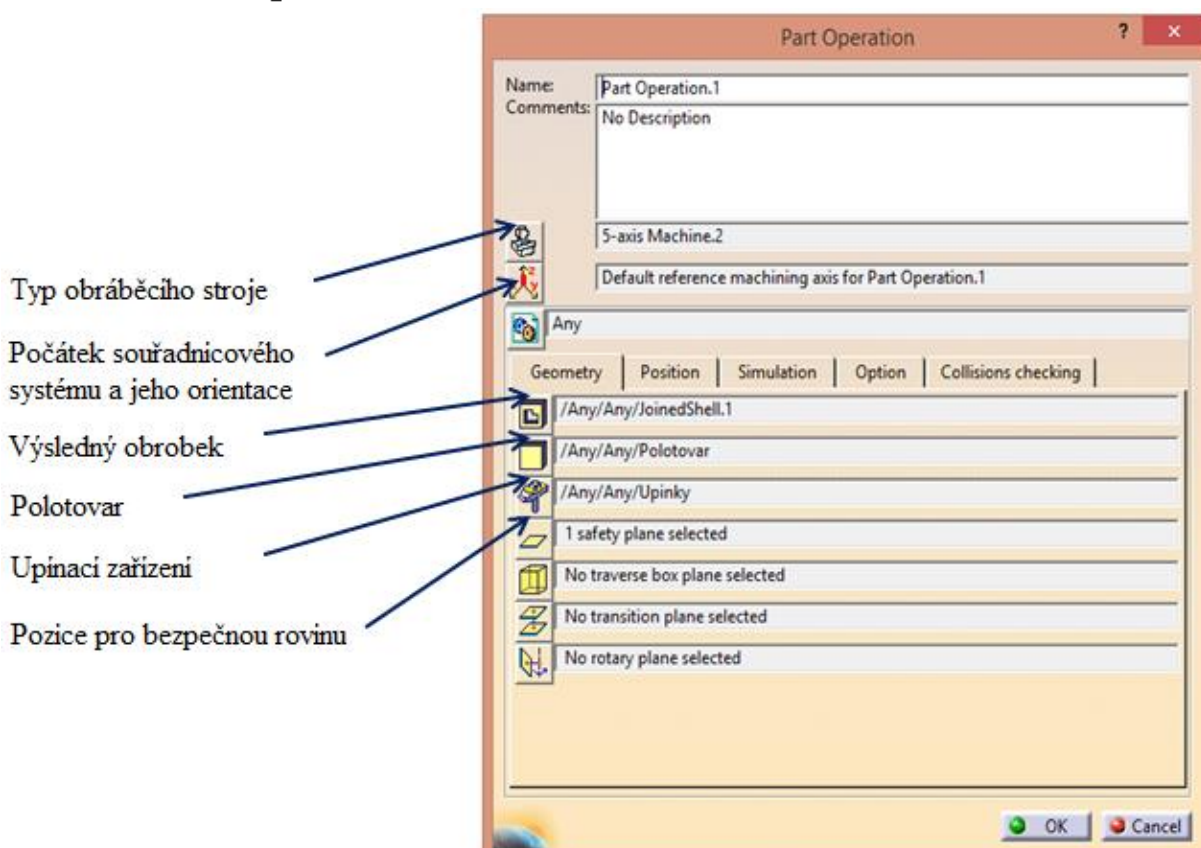
Portfolio aplikací zahrnuje činnosti spojené s technologií výroby na NC strojích. Tento modul je podstatný pro diplomovou práci, kde bude provedeno porovnání víceosých technologií pro zadanou součást. Kombinace CAD/CAM modulů umožňuje těsnou spolupráci a sdílení znalostí konstruktérů a NC technologů. Použití knihoven vede k vysoké míře automatizace a standardizace. Modul nám umožňuje plánovat procesy obrábění, provádět simulace a verifikace drah nástrojů. Pod NC obráběním se skrývají následující možnosti použití:



- Soustružení – Lathe Machining
- Frézování 2,5osé – Prismatic Machining
- Frézování 3osé – Surface Machining
- Frézování víceosé (5osé) – Advanced Machining
- Vizualizace obráběcích dat – NC Manufacturing Review
- STL Rapid Prototyping

#### 4.1.2 NC obrábění v Catia V5

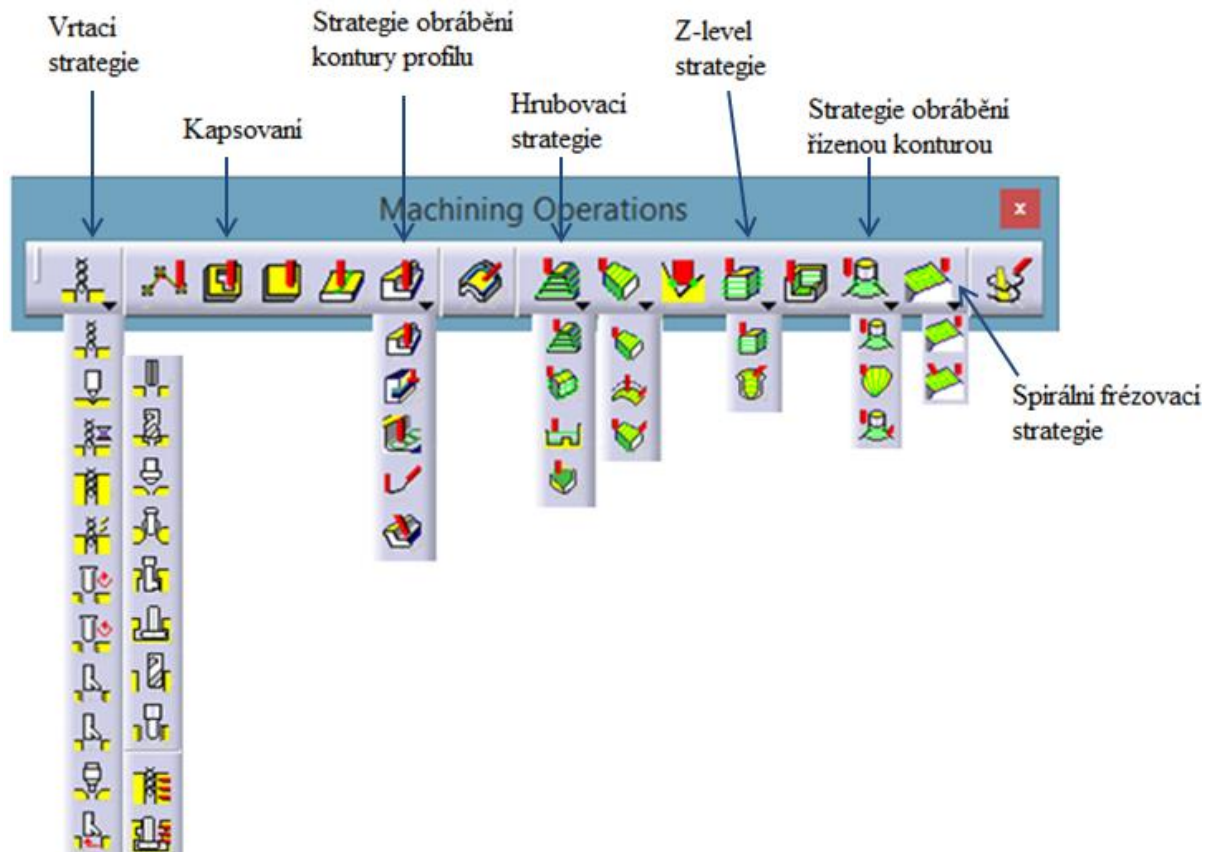
Porovnání víceosých variant pro danou součást budeme provádět v aplikačním modulu Advanced Machining (pokročilé obrábění), kde lze varianty tříosého a pětiosého frézování aplikovat. V první fázi programování je zapotřebí nastavit základní parametry pomocí ikony Part Operation  (viz Obr.4.1).



Obr.4.1 Nastavení základních parametrů pro obrábění v Part Operation

Upínací zařízení je potřeba v modulu Part Design vymodelovat. Polotovar byl zadán a jeho popis je uveden v kapitole 2.

Po základním nastavení obráběcího procesu je aplikace připravena k programování obráběcích strategií, kterých je celá řada. Většina z těchto strategií má své omezené uplatnění, ale některé z nich, jako například Roughing (hrubování) nebo Z-level, patří mezi nejčastější, ale také nejsložitější operace v CAM systémech. Tyto operace nám nabízí široké možnosti obráběcích strategií a závisí na schopnostech a zkušenostech konstruktéra, jak tyto operace vhodně využívat. Přehled operací je uveden (viz Obr.4.2)



Obr.4.2 Obrázkové schéma obráběcích strategií v software CATIA V5R20

Pro příklad frézovacího cyklu v aplikaci Catia V5R20 byl vybrán cyklus kapsování (pocketing), neboť právě kapsy neboli dutiny (čtvercového tvaru nebo kapsy komplexní s nepravidelnými hranicemi s velkým počtem ostrůvků) patří mezi časté prvky forem. Programováním vybraných cyklů určených pro hrubovací operace lze správným nastavením cyklu provádět i operace dokončovací. Stejně je to možné u cyklu Pocketing (kapsování), kde můžeme programovat kapsování jako hrubovací operaci nebo profilování jako operaci určenou k dokončování. Strategie frézování kapes lze nastavit na první záložce. Kromě nastavení přesnosti obrábění, radiální a axiální hloubky řezu, jsou na výběr strategie určující dráhy nástroje:

➤ jednosměrně (One way)

Nástroj koná pohyb po přímce. K úběru materiálu dochází pouze v jednom směru. To znamená, že zpětný pohyb nástroje se koná na prázdno.

➤ CIK – CAK (ZIG-ZAG)

Úběr materiálu je realizován v obou směrech pohybu nástroje podél hrany kapsy. Nástroj se při dokončení dráhy v jednom směru posune do záběru o předem navolenou procentuální část svého průměru a vrací se zpět. Na závěr cyklu se nástroj pohybuje po obvodě kapsy a odebere zbytkový materiál.

➤ Tam a zpět (Back and Forth)

Pro tuto strategii pohybu nástroje je vyžadováno určit, pomocí geometrie formy nebo souřadnicového systému, orientaci pro pohyb nástroje v rovině XY.

➤ Směrem do středu

➤ Směrem ze středu

Druhá záložka cyklu Pocketing slouží k určení geometrie obráběné formy pomocí výběru ploch (dno a vrchol kapsy) a kontur (okraj kapsy). Dále můžeme vybrat pomocí kontur ostrůvky, které nechceme obrábět. Na této záložce je možné nastavit hodnotu přídavku na dokončovací operace.

Pomocí třetí záložky vybereme nástroj pro obrábění a jeho upínací zařízení. Nástroj může být vybrán z databáze nástrojů, nebo jej můžeme zadáním základních rozměrů vytvořit.

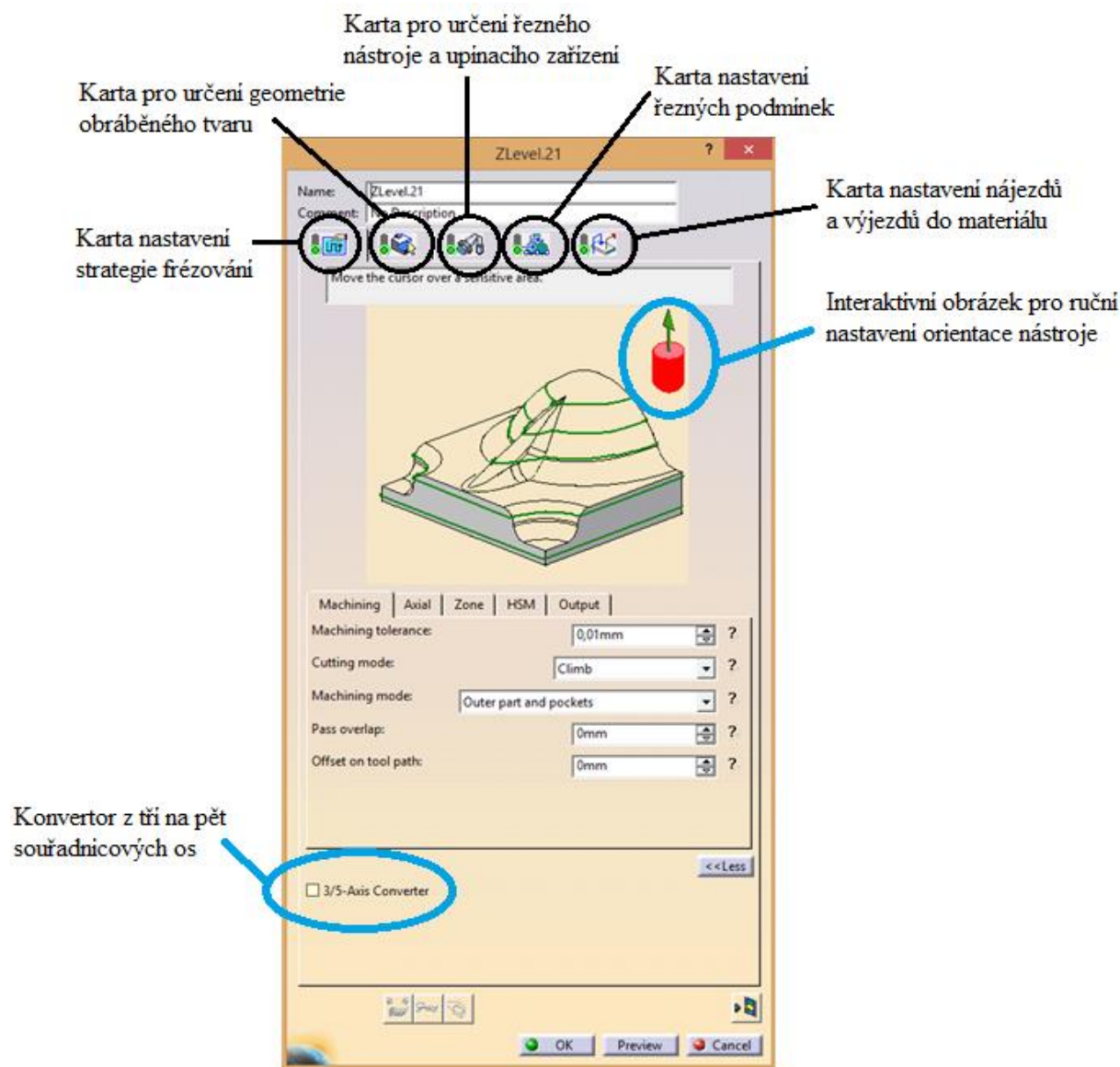
Čtvrtá záložka je určena k ručnímu nastavení řezných podmínek. Zde je možné redukovat rychlosti posuvu v rozích formy nebo vybrat nastavené řezné podmínky pro hrubování nebo dokončování.

Na páté záložce má cyklus celou řadu způsobů nájezdů a výjezdů nástroje z a do materiálu. Software nabízí možnost nastavení pohybů uživatelem nebo pomocí přednastavených maker.

Každý cyklus má pět záložek, které mají stejnou funkci, ale volba ploch a tvarů určených pro obrábění je odlišná. Některé cykly jsou předurčeny pro tříosé frézovací strategie. Jedná se například o Roughing (hrubování), Z-level, Pocketing (kapsování), Sweeping („zametání“), Contour-driven (frézování řízenou konturou)... Jiné cykly, které mají na začátku názvu „Multi-Axis“ (např. Multi-Axis Contour Driven, Multi-Axis Curve Machining), jsou předurčeny pro frézování pomocí pěti řízených os. Není vyloučeno, že cykly určené pro tříosé frézování lze programovat jako pětiosé. V aplikaci Catia V5R20 lze nastavit orientaci nástroje vícero způsoby, které závisí na vybraném obráběcím cyklu. Většina cyklů

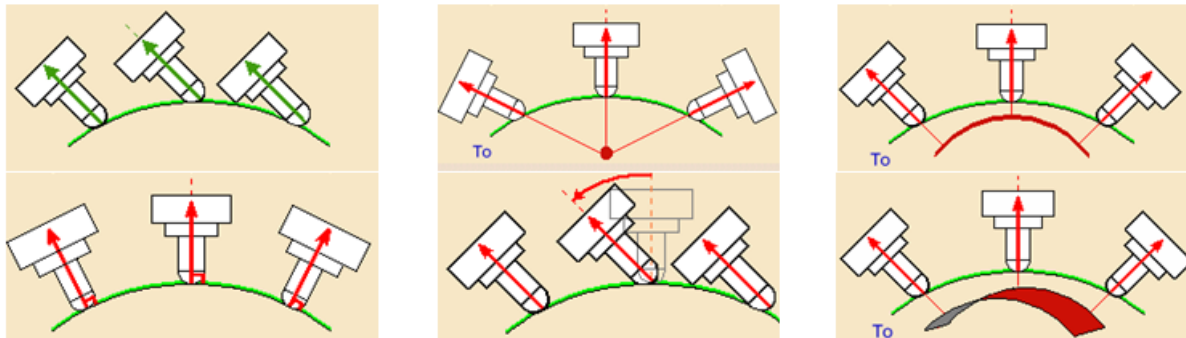


má na kartě volby strategie obrábění interaktivní obrázek, kde lze nastavit osu nástroje kliknutím na zelenou šipku vedoucí z červeného válce, který symbolizuje nástroj. Další možností je zaškrtnutí volby 3/5 Axis Converter, který zahrnuje řadu možností, jak nastavit osu nástroje pomocí existujících či pomocných geometrií. V okně 3/5 Axis Converter jsou dvě záložky.



Obr.4.3 Ukázka pracovního cyklu Z-level s popisem jednotlivých karet a možností nastavení orientace řezného nástroje

První záložka obsahuje globální modifikace, které jsou vázány k bodu dotyku mezi nástrojem s obrobkem (viz Obr.4.4). Osu nástroje na této kartě můžeme nastavit jako zafixovanou osu, skrz bod nebo křivku, pomocí úhlu, kolmo k povrchu součásti nebo kolmo na vytvořenou plochu z pomocné geometrie.



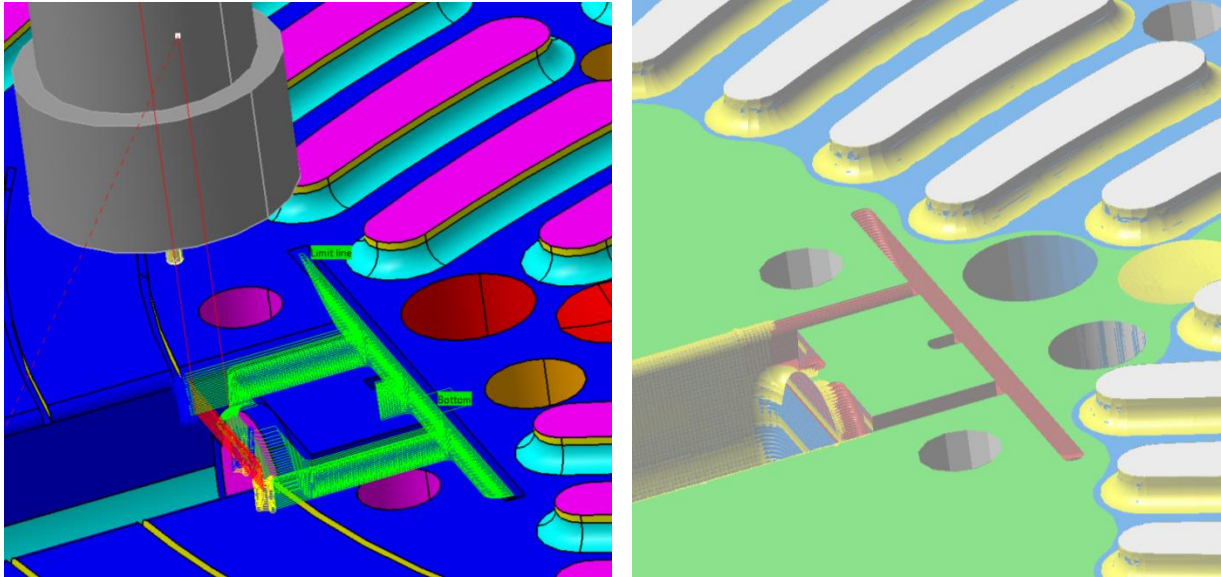
Obr.4.4 Možnosti globálních modifikací pro řízení osy řezného nástroje v aplikaci  
Catia V5R20

Druhá záložka poskytuje úpravy orientace osy nástroje tak, aby se předcházelo kolizím. Osa nástroje je závislá spíše k prostorové orientaci upínacího zařízení v obráběcím prostředí. Možnosti vedení nástroje jsou stejné jako na kartě globálních modifikací navíc s automatickým odklonem nástroje, kde se ručně nastavuje vzdálenost upínacího zařízení od obrobku.

Tento modul systému Catia V5R20 poskytuje rozsáhlé simulace obráběcích procesů. Simulace obrábění je funkce, která umožňuje grafickou simulaci pohybu nástroje během opracování. Používá se zpravidla čárová simulace nebo simulace ve fotorealistickém zobrazení. Díky těmto simulacím se snižuje pravděpodobnost kolize nástroje s obrobkem, zmetkovitost, poškození nebo zničení nástroje, případně poškození stroje. Kolize může nastat i v jiných případech. Detekce kolizí bere ohled i na upínací zařízení nástroje a obrobku. Simulace přináší představy o skutečných drahách nástrojů, na kterých můžeme provádět úpravy vedoucí k nejvhodnější strategii obrábění.

Z čárové simulace jsou zřetelné dráhy nástroje, které jsou označeny barvami. Každá barva představuje konkrétní fázi pohybu nástroje. Příjezd a odjezd nástroje do řezu je značen žlutou a modrou barvou. Obráběcí proces se značí barvou zelenou a rychloposuv je označen červeně. V místě kolize se vykreslí dráha nástroje červenou čarou, která je rozeznatelná od čar pro rychloposuv. Při kliknutí na kolizní místo lze zjistit číselnou hodnotu, o kolik milimetrů se nástroj zabořil do materiálu.

Fotorealistická simulace detekuje kolizní stavy i s ostatními členy (upínač pro nástroj a obrobek). V této simulaci můžeme pomocí barev odlišit použití řezných nástrojů. Každý z těchto nástrojů zanechá po obrobení svou přidělenou barvu. Obě zmíněné simulace jsou uvedeny pro jeden z úseků výroby na zadané součásti (viz Obr.4.5).



*Obr.4.5 Ukázka čárové simulace (vlevo) a fotorealistické simulace (vpravo) v systému  
Catia V5R20*

## 4.2 Technologický popis výroby zadané součásti

V této kapitole je uveden obecný postup výroby konkrétních prvků „desky tvárnice“, pro které není zapotřebí rozdílných variant výroby pro tříosé a pětiosé strategie. Postup výroby obsahuje schematický obraz součásti a barevně označené prvky určující postupný sled operací.

### Operace 10

Polotovar o zmíněných rozměrech upneme na pracovní stůl horizontální vyvrtávačky WHN 110 Q společnosti TOS Varnsdorf tak, aby bylo možné obrábět prvky součásti umístěné na základně (spodní část desky). Použije se upínací úhelník a sada podložek, aby se mohli vyrobit průchozí díry.

Vyvrtá se průchozí díra o průměru 30 mm (4x) pro otvory, kde budou vodící tyče.

Otvory pro vodící tyče (4x) se pomocí drážkovací frézy vyfrézují na průměr 48 mm do hloubky 6mm s tolerancí +0,1 mm. Následně se drážkovací frézou o průměru 40 mm provede hrubování průchozích otvorů pro vodící tyče (4x) s přídavkem 1 mm na konturu.

Drážkovací frézou bude vyhrubován průchozí otvor obdélníkového tvaru (34,18 x 29,39 mm) s přídavkem 1 mm na konturu povrchu.

Do hloubky 8 mm s tolerancí 0,05 mm bude obrobena obdélníková kapsa o rozměru 40,4 mm karbidovou frézou o průměru 10 mm.

Vyvrtají se vodící díry pro následné použití dělového vrtáku (15x pro vyhazovací tyče, 2x pro díry ve středu desky). Pro díry ve středu desky bude odfrézován materiál o průměru 11 mm do hloubky 8,5 mm.

Na základně se předvrtá 4x díra do hloubky 35 mm pro následné vytvoření závitů M16 o hloubce 30 mm s náběhem do díry 3,5x45°.

### Operace 20

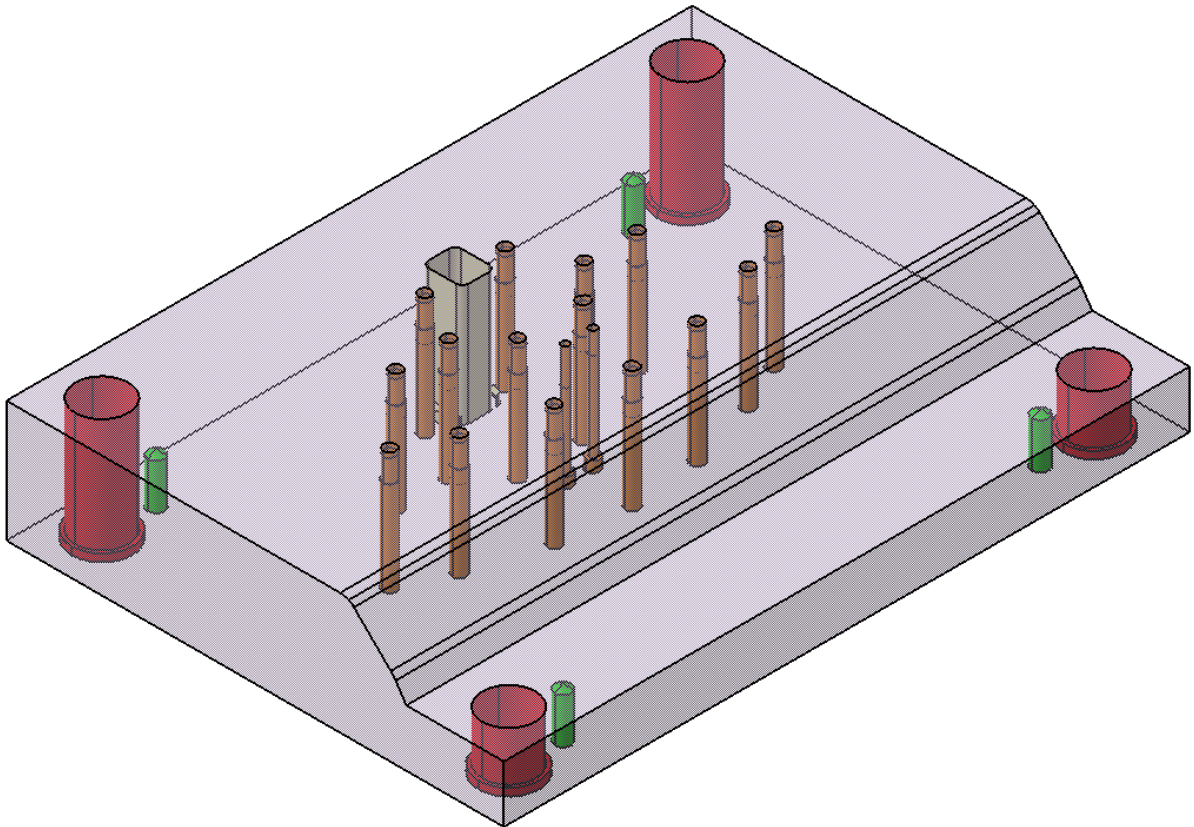
Součást s vyhotovenými náběhy pro hluboké díry se upne na stůl souřadnicové vrtačky WKV 100 základnou vzhůru na sadu podložek, abychom mohli vrtat skrz celkovou tloušťku součásti. Tento stroj je vybaven dvěma vřeteny a otočným stolem. Obrábění je tak možné provádět na všech stranách součásti mimo té, na kterou je upnuta. Stroj disponuje vysokou přesností polohování a zaručí tak správnost pozic a míru tolerancí vyráběných otvorů.

Pomocí výstružníku dokončíme díru pro vodící tyče (4x) na rozměr 42H7.

Dělový vrták vytvoří 15 otvorů o průměru 9,5 mm pro vyhazovací zařízení, které jsou všechny průchozí skrz součást, tj. hloubka je 96,75 mm. Pro bezproblémový průchod vyhazovacích tyčí jsou otvory o průměru 9,5 mm rozšířeny na průměr 11 mm do hloubky

75 mm od základny. Otvory pro vyhazovače dokončíme výstružníkem na rozměr 10H7. Rozměrová a poziční přesnost těchto otvorů je podstatně důležitá, jelikož by svou nepřesností docházelo k zatékání plastového materiálu podél vyhazovacích tyčí a tím by se zmenšila kvalita plastového dílu. Nemluvě o úpravách před expedicí. Přebývající materiál by se musel dodatečně z plastového dílu odříznout.

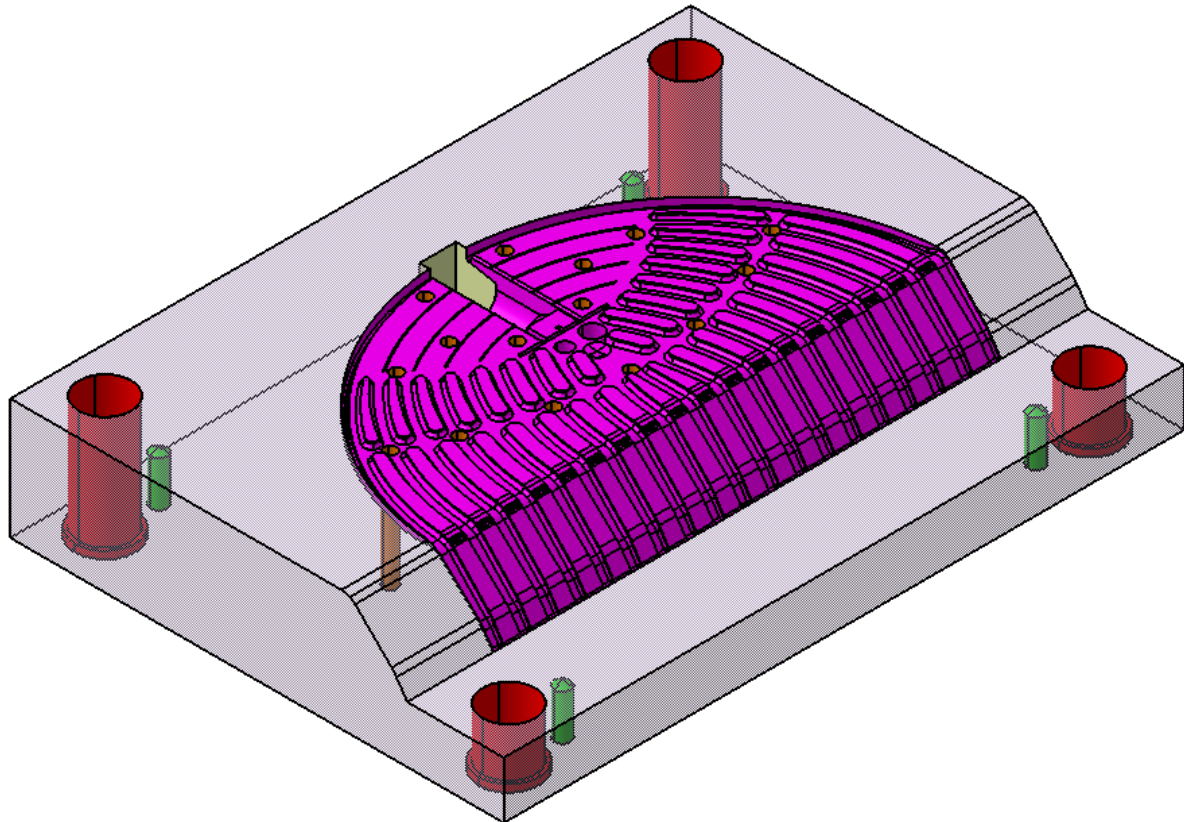
Dělový vrták použijeme také pro výrobu průchozích děr (2x) o průměru 6,4 mm.



*Obr.4.6 3D model Desky tvárnice s barevně označenými prvky vyrobené po operaci č.20*

### **Operace 30**

Tato operace je podrobněji rozvedena v kapitolách návrh tříosé a víceosé technologie opracování. Porovnání technologických variant proběhne na prvcích, které jsou uvedeny na obrázku (viz Obr.4.7). Jmenovitě se jedná o frézování několika drážek mezi žebry na ploše vodorovné a pod určitým úhlem se základnou, dvou otvorů pro počátky vtokové soustavy a kapsovitého vybrání v místě pro budoucí uchycení plastového dílu na násadu.



*Obr.4.7 Fialovou barvou zvýrazněné prvky určené pro porovnání technologických variant*

## **Operace 40**

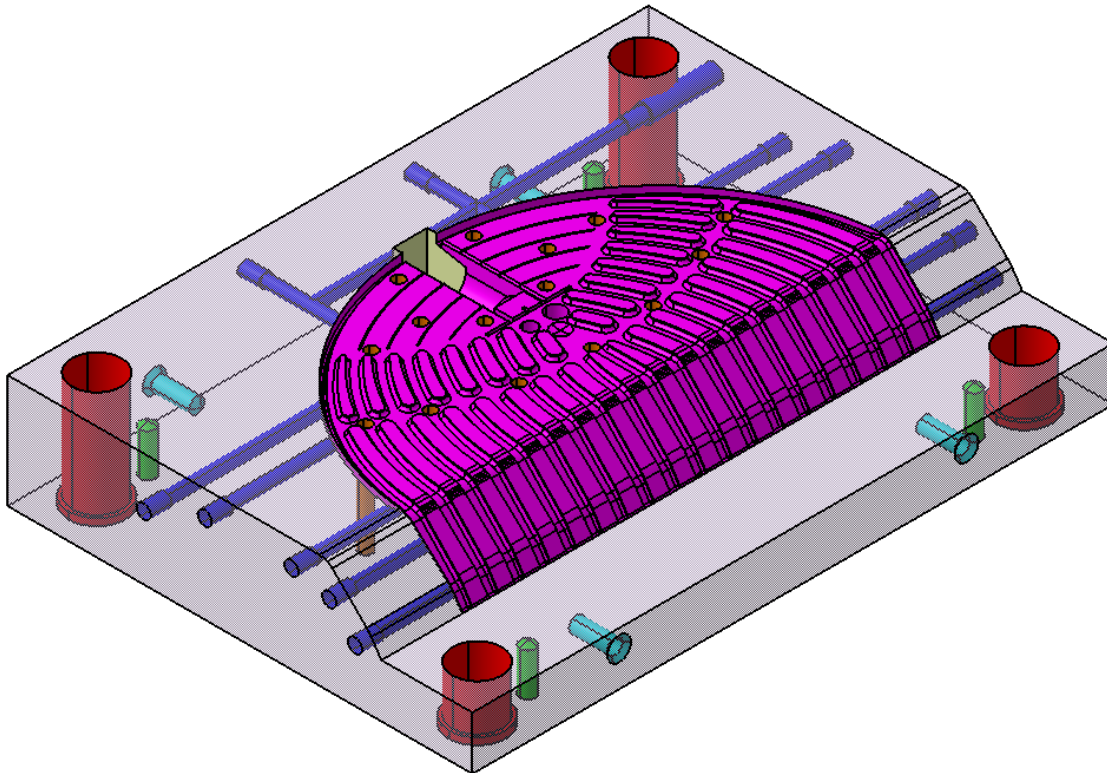
Desku upneme na základnu pomocí upínek na stůl horizontální vyvrtávačky WHN 110 Q společnosti TOS Varnsdorf, kde vytvoříme vodící díry (9x pro chladicí kanálky). Pro následnou výrobu hlubokých otvorů určených pro chladicí kanálky bude použit dělový vrták, který by se neměl otáčet mimo díru. V obvyklých případech vrtání hlubokých děr jsou charakteristické požadavky na vysoký úběr materiálu v kombinaci na vysokou přesnost, a to zejména na přímost díry, rozměrovou toleranci a kvalitu povrchu.

Dělovým vrtákem po obvodu kolmo na boky součásti vrtat otvor 9x  $\varnothing 10$  mm pro chladicí soustavu. Čtyři z nich jsou průchozí o délce 546 mm. Dělový vrták se používá pro malé průměry otvorů, kde je důležitým požadavkem vysokotlaký přívod chladicí kapaliny.

Na vyústění děr pro chladicí soustavu se vyvrtá odlehčení ve vzdálenosti 17 mm. Výjimku tvoří jedna neprůchozí díra, která bude mít odlehčení vytvořená až o 60 mm hlouběji od boku desky. Ve vzdálenosti od boku desky do 60 mm vytvořit díru o průměru 16 mm.

Dále bude vytvořen závit (13x konec děr chladicí soustavy) M14x1,5 do hloubky 15 mm.

Na protilehlých stranách desky budou vyrobeny 2+2 díry na každé straně. Díry se předvrtají vrtákem s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  do hloubky 35 mm. Následně se vytvoří závit M16 (2x). Stejný proces se provede na protilehlé straně součásti. Všechny 4 díry budou opatřeny náběhem o hodnotě  $3,5 \times 45^\circ$ .



*Obr.4.8 Kompletní 3D model desky tvárnice s barevně označenými prvky určené pro  
obráběcí operace*

### **Operace 50**

Obrobek obsahuje pro obrábění špatně dostupná místa, která budou dokončena na elektrojiskrové hloubičce Penta 1060 CNC. Tvar elektrody z grafitu bude vyroben dle nedokončených tvarů.



### **Operace 60**

Hotový obrobek se nechá nitridovat do hloubky 0,2 – 0,3 mm

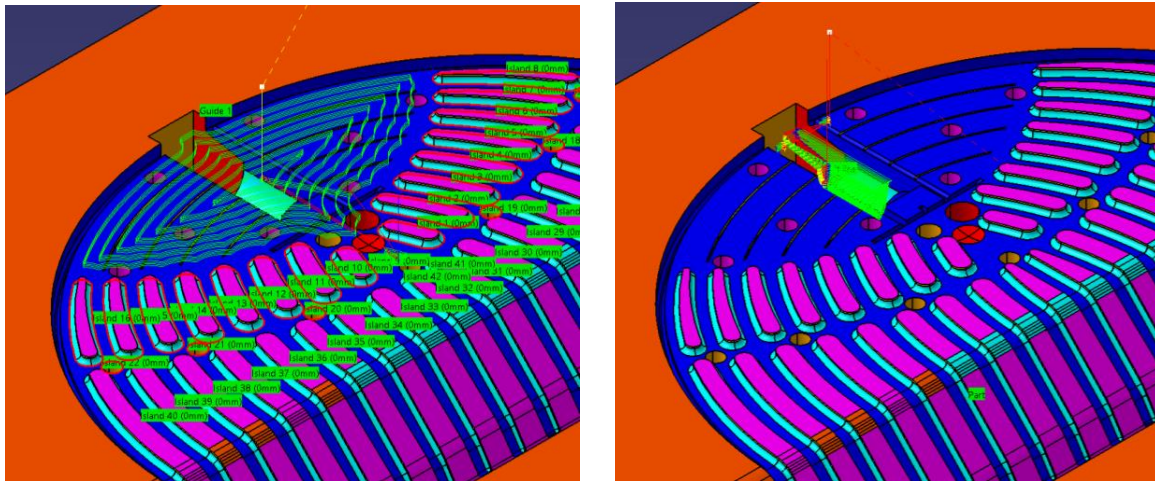
Ucelený technologický postup výroby je součástí příloh této diplomové práce.

### 4.3 Návrh tříosé technologie opracování








V této variantě se provede obrábění a porovnání technologických variant na konkrétních prvcích součásti pomocí 3řízených os v softwarovém modulu aplikace CATIA V5R20. Některé prvky součásti budou mít shodné výrobní technologie pro obě výrobní varianty. Jedná se zejména o hluboké díry a frézování tvarů součásti, kde není zapotřebí programovat složitější dráhy a naklápět řezný nástroj. Výchozí polotovár je definován v charakteristice zadané součásti o půdorysných rozměrech 564 x 396 mm a tloušťkou 96,75 mm obsahující vybrání podél delší strany desky s vyrobenými prvky z předchozích operací (viz Obr.4.6).

První technologií pro CNC frézovací centrum byla použita strategie Pocketing  (kapsování), která provedla frézování plochy, kde se nenachází žebra, ale pouze díry pro vyhazovače. Byla zvolena strategie radiálního frézování začínající v pomyslném středu volné plochy (bez žebrovitých výběžků) jdoucí do stran k limitní zóně. Vzhledem ke strategii je nutné jako nástroj volit drážkovací frézu o průměru 20 mm, která je schopna obrábět jak v axiálním tak v radiálním směru zvlášť. Tento cyklus byl nastaven pomocí vybrání axiální hranice (Bottom) a limitní kontury pro obrábění. Strategie byla nastavena s maximální hloubkou řezu 1 mm a přídkem 0,3 mm na boční konturu. Pro jednoznačné určení drah pohybu frézy byly také vybrány pro tento cyklus ostrůvky určující rozestupy mezi články budoucího hrabacího nástroje, kam se fréza svým velkým průměrem nedostane. Čas pro tento úsek výroby spočítal software Catia na hodnotu  $t_{1,1} = 9\text{min } 42,5\text{s}$ . Následně byl použit  Z-level (vrstevnicové frézování) jako hrubovací cyklus s axiálním krokem 0,5 mm pro místo, kde bude vstříkovaný plastový díl upevněn na násadu. K hrubování tvarové části bylo potřeba vybrat v cyklu celý model a limitní konturu ohraničující oblast pro práci nástroje, která byla vytvořena zvlášť jako pomocná geometrie. Příklad pro dokončování byl zvolen na hodnotu 0,2 mm. Čas pro cyklus Z-level byl vypočten na  $t_{1,2} = 5\text{min } 12\text{s}$ .

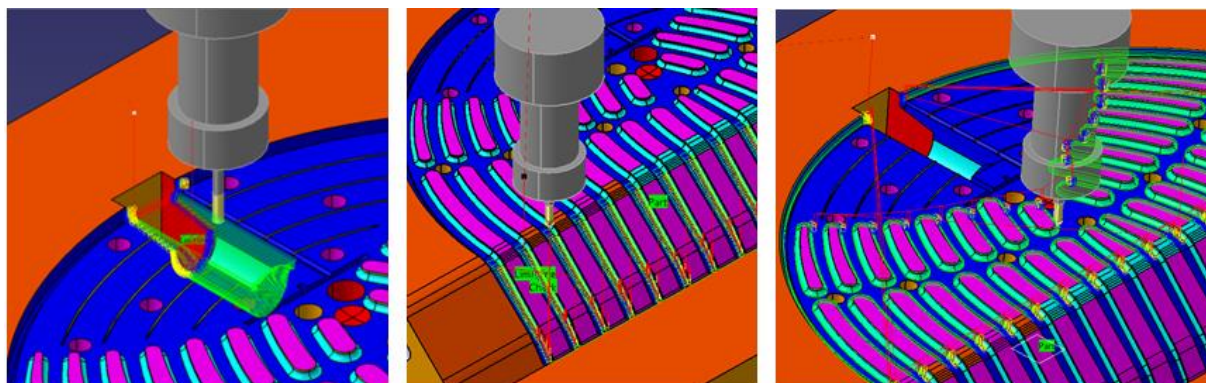




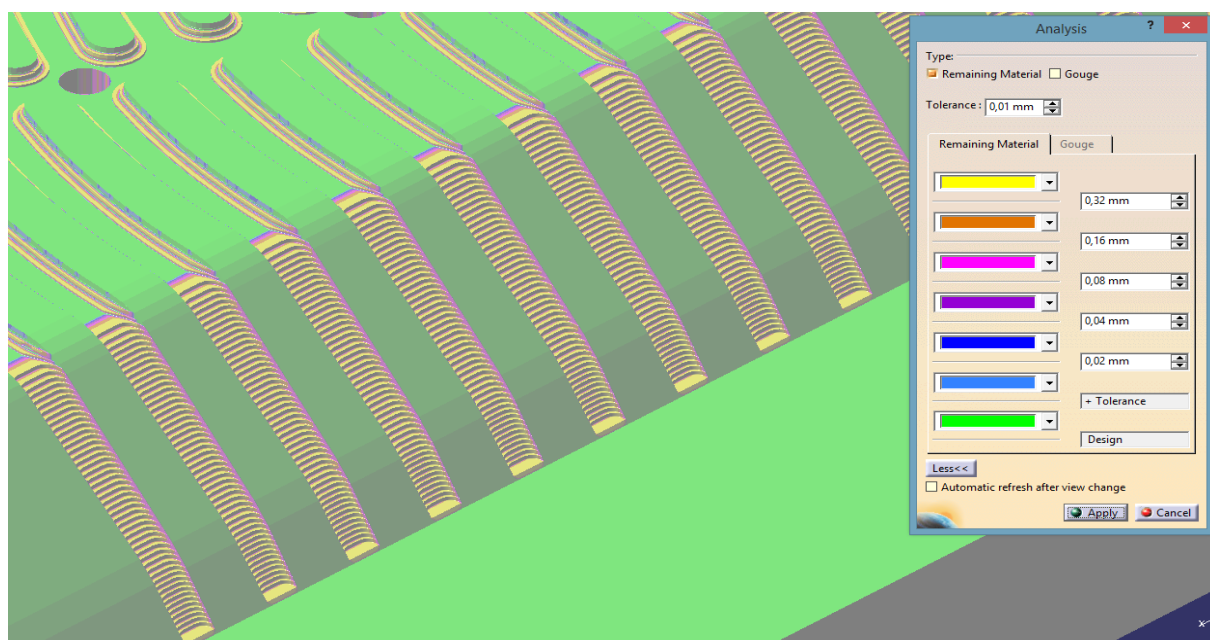
Obr.4.9 První série použitých cyklů pro výrobní variantu č.1 (vlevo cyklus Pocketing, vpravo Z-level)

Pro frézování drážek mezi žebry na ploše paralelní se základnou byl znovu zvolen cyklus  Z-level. Jako nástroj byla použita drážkovací fréza o průměru 5 mm. Na základě informací ze společnosti Pilsen Tools se materiál velmi dobře obrábí, a proto byla zvolena hloubka řezu na 1,5 mm, kde byl čas vypočten na  $t_{1,3} = 23\text{min } 22\text{s}$ . Pro následný frézovací krok byl použit cyklus Roughing  (hrubování). V tomto kroku je odstraněn přebytečný materiál mezi žebry po spirálových drahách za čas  $t_{1,4} = 17\text{min } 42\text{s}$ , které po sobě zanechal cyklus Z-level. Stejným nástrojem byla frézována kapsa, kde bude upevnění plastového dílu k násadě opět pomocí Z-level  (viz Obr.4.10 vlevo) za čas  $t_{1,5} = 7\text{min } 32,5\text{s}$ . Axiální vzdálenost drah nástroje byla v tomto kroku 0,5mm. Významné prvky porovnání v podobě drážek mezi žebry na skloněné ploše byly v případě tříosé strategie obrábění vyhrubovány pomocí cyklu Z-level  (viz Obr.4.10 uprostřed). Prostorové možnosti při obrábění dovolují minimální vyložení špičky nástroje od upínacího zařízení ve vzdálenosti 30 mm. Samotný nástroj má dle katalogu společnosti TaeguTec celkovou délku 52 mm. Vyložení frézy o průměru 5 mm bylo vybráno tak, aby i všechny ostatní úkony prováděné s tímto nástrojem nepřišly do kolize s upínacím zařízením. Hrubování tvaru 19ti drážek vytvořilo schodovité průběhy hrabacích ramen jedno po druhém. Pomocí fotorealistické simulace je znázorněn výsledek hrubovacího procesu (viz Obr.4.11). Příklad pro pozdější dokončení je 0,2 mm. Čas pro hrubování 19 ti drážek byl vypočten na hodnotu  $t_{1,6} = 38\text{min } 17\text{s}$ . Pro výrobu dvou otvorů pro vstřikování plastového materiálu byly zvoleny cykly Roughing  a Circular Milling  (spirální frézování). Díry o průměru 12 a 6 mm jsou v toleranci H7. Použité cykly zohledňují přídavek 0,3 mm pro následné dokončování pomocí výstružníků. V Catii V5R20 tomu odpovídá cyklus 



Reaming(vystružování). Cykly Roughing, Circular Milling a Reaming nejsou časově náročné, a proto byl čas  $t_{1,7} = 2\text{min } 22,5\text{s}$  získán sloučením těchto cyklů.






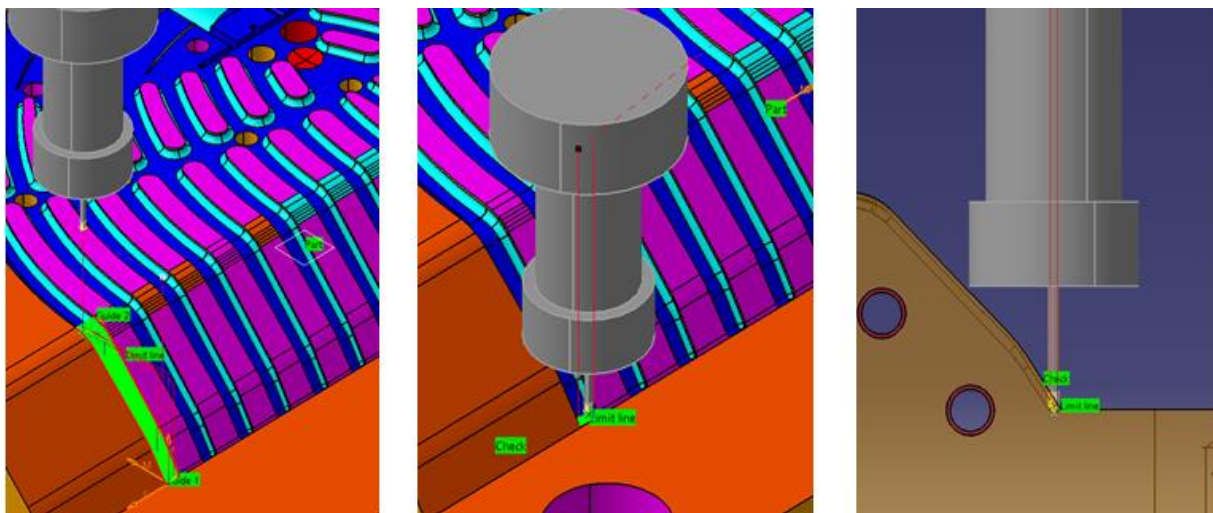
Obr.4.10 První série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo a uprostřed obráběcí cyklus Z-level nastaven pro hrubování, vpravo cyklus Z-level pro dokončování zaoblení na ostrůvcích)



Obr.4.11 Fotorealistická analýza varianty č. 1 po hrubování drážek pomocí cyklu Z-level

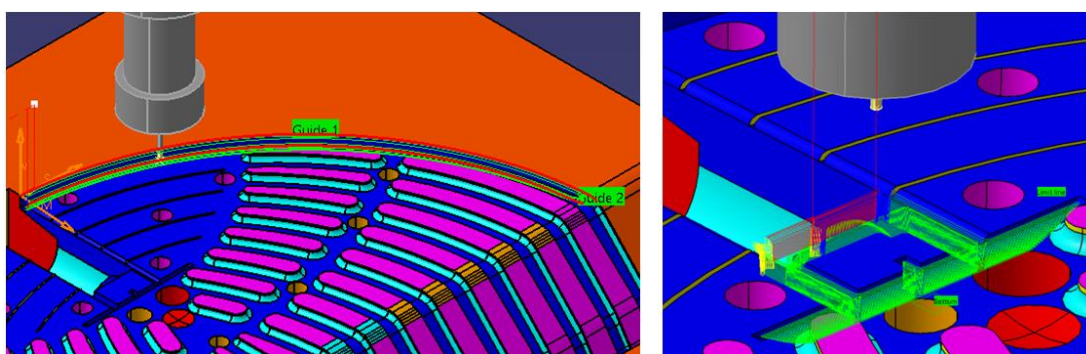
Kulová fréza o průměru 5 mm vytvoří zaoblení kolem ostrůvků na ploše vodorovné se základnou. Zaoblení na těchto prvcích jsou naměřena s hodnotou 2,58 mm, což samozřejmě odpovídá i přiloženému výkresu. Axiální posuv nástroje mezi jednotlivými řezy byl nastaven na 1mm. Hloubka drážek, které jsou paralelně k základně, je 3,6mm. Cyklus Z-level  vytvoří zaoblení na všech ostrůvcích systematicky jeden ostrůvek po druhém (viz Obr.4.10 vpravo) za čas  $t_{1,8} = 27\text{min } 19,5\text{s}$ . Tímto nástrojem bylo následně provedeno dokončení tvaru pro umístění násady pomocí obráběcího cyklu  Sweeping, kde byl přídavek zvolen na hodnotu 0,2 mm. Stejný cyklus vyfrézoval na čisto kruhové vybrání RK30, kde byla nastavena šířka řezu nástroje na 0,2 mm a bylo nutné vybrat hraniční konturu a zadaný model. Pro oba cykly Sweeping byl vypočten čas  $t_{1,9} = 8\text{min } 49\text{s}$ .

Pro obrábění drážek na skloněné ploše byl použit obráběcí cyklus Contour-driven  (pomocí řízené kontury) (viz Obr.4.12 vlevo). Vzhledem k doloženému výkresu a modelu součásti jsou zřejmé hloubky drážek a velikosti zaoblení. V místech, kde se drážky formy sklápějí nejprve o  $45^\circ$ , je velikost zaoblení  $r = 2,06$  mm a posléze sklopení o dalších  $11,3^\circ$  má velikost zaoblení  $r = 1,55$  mm. Proto byla zvolena kulová fréza o průměru 3 mm, která má podle katalogu délku  $l = 52$  mm a nejmenší odzkoušené vyložení nástroje od upínacího zařízení je stejné jako pro hrubovací nástroj, tj. 30 mm (viz Obr.4.12 vpravo). Obráběcí cyklus byl vytvořen pomocí obrobku, limitní kontury a dvou hraničních křivek vedoucích podél drážky. Dráha nástroje postupovala okolo hraničních křivek drážky po vrstvách směrem k jejímu středu s axiální hloubkou řezu 0,1mm. Obrábění zbylých 18 - ti drážek bylo naprogramováno naprosto stejným způsobem, ale pro ulehčení práce programátora byl použit ovladač  Copy-Transformation. Cyklus Contour-driven nevyrobí finální podobu tvaru drážek. Metodou  Sweeping bylo možné tento tvar dokončit (viz Obr.4.12 uprostřed). Jedná se o programování drah nástroje pro koncové vybrání drážek. Pohyb nástroje byl určen metodou Zig-zag s radiálním posuvem 0,1 mm a zároveň byla zvolena orientace podél drážky pro určení dráhy obrábění. Celý cyklus pro dokončení tvaru drážek orientovaných pod určitým úhlem spočítal software Catia V5R20 na čas  $t_{1,10} = 1\text{hod } 28\text{min } 22\text{s}$ .



Obr.4.12 Druhá série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo a uprostřed obráběcí cykly Contour driven a Sweeping, vpravo znázorněny prostorové podmínky pro určení minimálního vyložení nástroje)

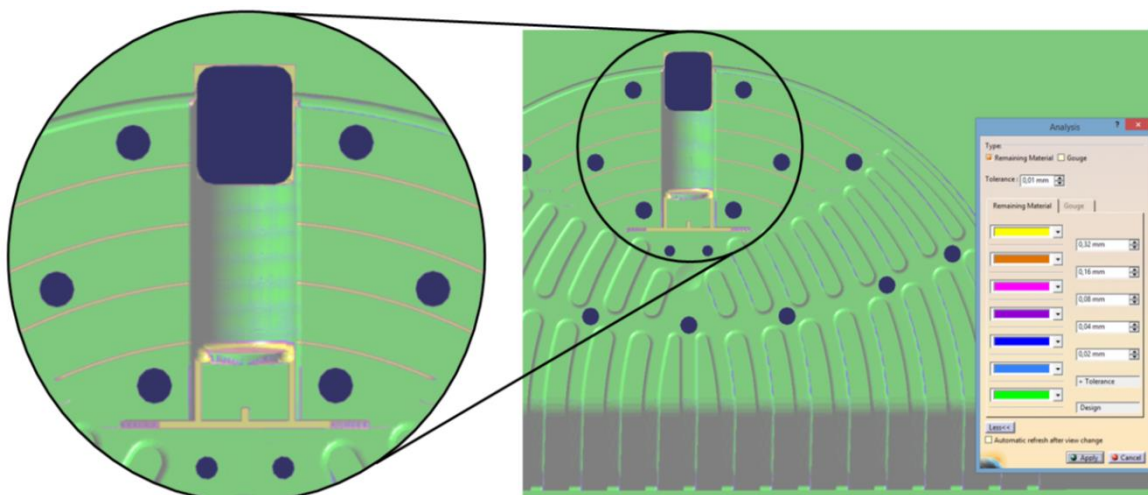
Na paralelní ploše k základně byly obrobena dvě drážky podél kružnice o poloměru 204,97 mm pomocí Contour driven (viz Obr.4.13 vlevo). Drážky budou složité pro vyztužení hrabacího hřebenu. Jako poslední prvek určený pro frézování je zobrazen na obrázku (viz Obr.4.13 vpravo). Pro tento úkon byl vybrán cyklus Z level a jako nástroj použita drážkovací fréza z katalogu firmy TaeguTec. Nástroj má průměr 2 mm s odsazením 5 mm od špičky nástroje na průměr 3 mm. Z hlediska prostoru nemůže tento nástroj frézovat mezi stěnami o více než zmíněnou vzdálenost osazení. Čas pro cykly Contour driven a Z level byl sloučen a vypočten na hodnotu  $t_{1,11} = 16\text{min } 10,5\text{s}$ .



Obr.4.13 Třetí série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo Contour driven, vpravo Z-level)

Součást obrobena touto variantou byla prozkoumána analýzou zbytkového materiálu, který nelze pomocí tří řízených os obrobit s pomocí obráběcích nástrojů (viz Obr.4.14). Žlutou barvou jsou na analýze zobrazeny části, které mají přídavek větší než 0,32 mm. Materiál, který zůstal na součásti neobroben, bude odebrán nekonvenčním způsobem pomocí elektroerozivního hloubení. Při zadaných řezných podmínkách a způsobu obrábění nám simulátor aplikace Catia vypočte čas výroby. Simulátor ale již nezahrnuje čas výměny nástroje a neuvažuje čas reálného stroje na rozjezdy a zastavení posuvu. Proto se časy ze simulátorů násobí koeficientem pro přepočítání na přibližení se k reálné hodnotě. V případě první varianty řešení vyšel výsledný čas obrábění  $t_1 = 4\text{hod } 4\text{min } 54\text{s}$ .

$$t_1 = \sum_{1}^n t_{1,n} = t_{1,1} + t_{1,2} + \dots + t_{1,n}$$
$$t_1 = 9,71 + 5,2 + 23,37 + 17,7 + 7,54 + 38,28 + 2,38 + 27,33 + 8,82 + 88,37 + 16,2$$
$$t_1 = 244,9 \text{ min} = 4\text{hod } 4 \text{ min } 54\text{s}$$





Obr.4.14

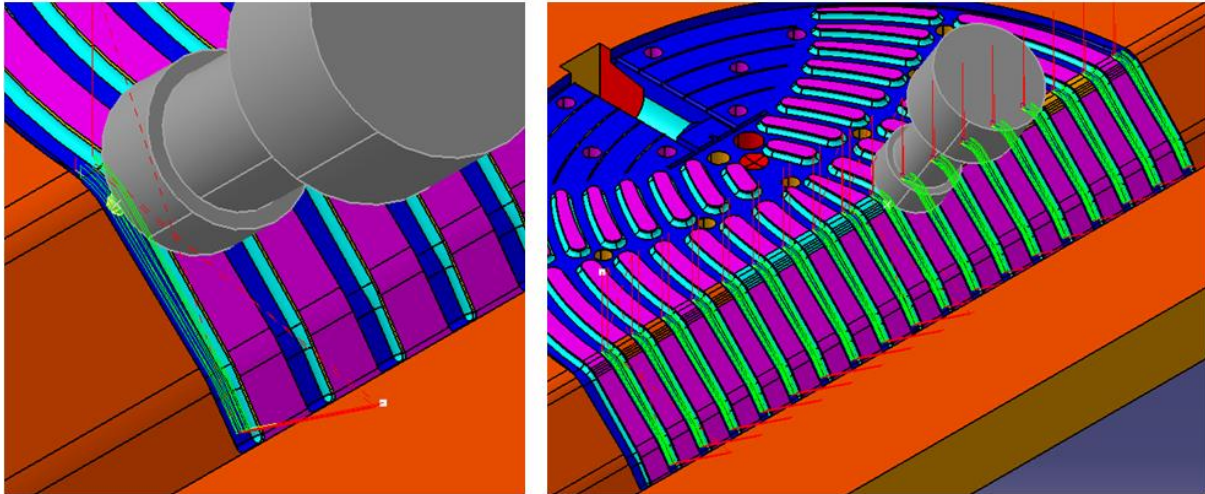
Analýza zbytkového materiálu po obrábění variantou č. 1 s detailním  
pohledem

## 4.4 Návrh víceosé technologie opracování

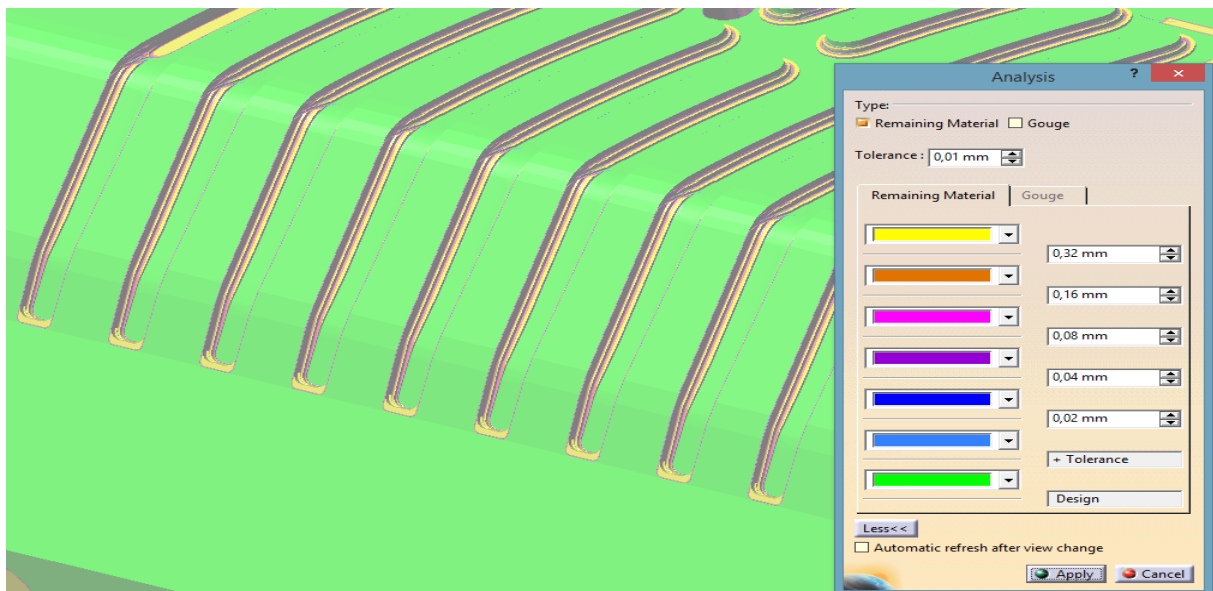
Varianta technologie opracování pomocí tří řízených os vyhovuje zadaným požadavkům u prvků a tvarů, které jsou umístěny rovnoběžně se základnou. Varianta pětiosé technologie opracování se od tříosé liší pouze tím, že drážky mezi žebry na skloněné ploše je možné vyrobít rychlejším způsobem právě díky tomu, že lze frézovat tvar drážek sklopeným nástrojem. Tím lze ovlivnit velikost efektivního průměru nástroje, která souvisí s velikostí efektivní řezné rychlosti, čímž vznikají lepší záběrové podmínky. Průběžné časy technologických operací jsou převzaty s tříosé varianty. Celkový čas tříosé technologie opracování bude odečten o hodnoty  $t_{1,6}$  a  $t_{1,10}$ , což odpovídá době, za kterou bylo provedeno hrubování a následné dokončování drážek na skloněné ploše. Tento čas je označen jako  $t_{2,1}$ . Tyto dvě operace výroby představují hlavní rozdíly v úspoře celkového času výroby, jelikož jsou provedeny rozdílné dráhy nástroje pomocí pěti řízených souřadnicových os.

$$t_{2,1} = t_1 - t_{1,6} - t_{1,10} = 244,9 - 38,28 - 88,37 = 118,25 \text{ min}$$



Prvním rozdílem od varianty tříosého frézování je hrubování drážek na dvakrát lomené ploše pomocí drážkovací frézy o průměru 5 mm. Hrubování bylo provedeno pomocí obráběcího cyklu  Multi-Axis Curve Machining (viz Obr.4.15 vlevo), po kterém byl zbylý materiál určený pro dokončovací operace v podobě schodovitých výstupků. Na jednu drážku byl použit cyklus Multi-Axis Curve Machining celkem šestkrát (tři cykly na každou hranu). Cykly byly vytvořeny pomocí vybraných ploch určených pro kontakt nástroje, hraničních křivek a obráběcí strategie určující orientaci řezného nástroje. Strategie byla zvolena vybráním ploch na dně drážek, ke kterým nástroj nastavil kolmou orientaci. Tři po sobě jdoucí cykly Multi-Axis Curve Machining se od sebe lišili vzdáleností od kontury (offset on contour) a přídavkem materiálu. Vzdálenosti od kontury šli postupně od hodnoty 0,1 mm přes 0,8 mm na 2 mm, přičemž poslední cyklus byl zvolen s nulovým přídavkem na součást. Hrubování jedné drážky vypočítal systém Catia V5R20 podle simulace na čas 58,8 vteřin. Ostatní drážky vznikly kopií cyklů Multi-Axis Curve Machining pomocí  Copy Transformation (viz Obr.4.15 vpravo). Hrubování drážek bylo nastaveno s nulovým přídavkem na dno formy, jelikož nástroj obrábí povrch s dostatečnou kvalitou vzhledem k vysokým otáčkám na jeho obvodu. Vzhled formy po procesu hrubování je uveden na obrázku (viz Obr.4.16). Pro hrubování všech 19 drážek byl vypočten čas  $t_{2,2} = 17 \text{ min } 47 \text{ s}$ .




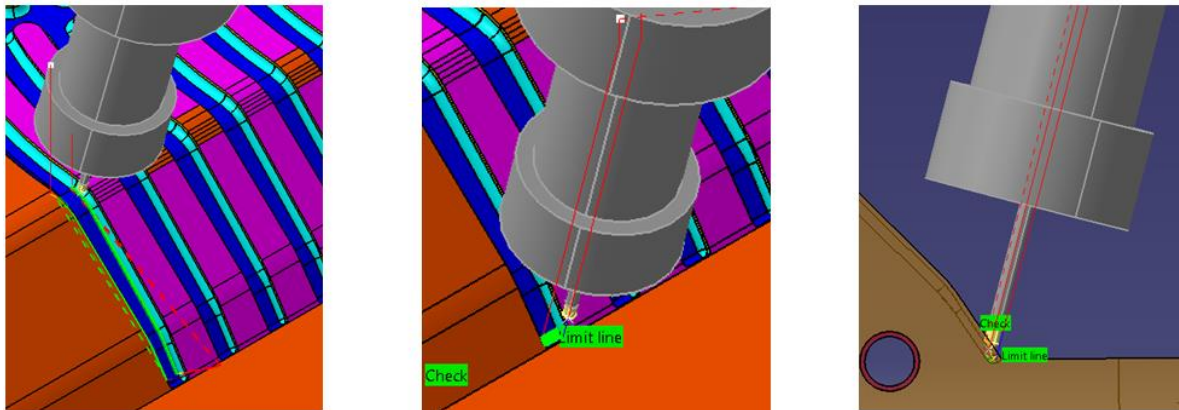
Obr.4.15 První série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 2  
(vlevo obráběcí cyklus Multi Axis Curve Machining, vpravo Copy Transformation)



Obr.4.16 Fotorealistická analýza varianty č. 2 po hrubování drážek pomocí cyklu  
Multi Axis Curve Machining

Dalším rozdílem od tříosého frézování je dokončování tvaru drážek na dvakrát lomených plochách. Jako nástroj byla zvolena kulová fréza o průměru 3 mm vzhledem k velikosti zaoblení na bocích drážek. Pro dokončovací operace byl opět velice užitečný cyklus  Multi-Axis Curve Machining (viz Obr.4.17 vlevo), který byl nastaven postupně s distancemi od hrany, kde začíná drážka. Nástroj se pohyboval z hodnoty odsazení od kontury 0,56 mm po kroku 0,1 mm až k hraně. S následným použitím nástroje  Copy Transformation byl celý dokončovací proces frézování drážek vypočten na čas  $t_{2,3} = 15\text{min } 26,7\text{s}$ . Z toho vyplývají dvě skutečnosti. První zní, že pomocí pětiosého obrábění můžeme obrábět složitější tvary daleko rychleji a za druhé lze použít i kratšího vyložení

nástroje, což zvyšuje tuhost celé obráběcí soustavy S-N-O (menší vibrace, vyšší životnost nástrojů). Vyložení nástroje bylo stejné jako v případě 3osého obrábění, jelikož nástroj byl orientován v cyklu Z-level kolmo k povrchu obrobku. Za kratšího vyložení by došlo ke kolizi nástroje. Vyložení by bylo možné ještě zkrátit, ale bylo by třeba vytvořit složitější pomocné geometrie v podobě křivek nebo ploch určující dráhu pohybu nástroje. V našem případě je vyložení dostačující o hodnotě 30 mm od upínacího zařízení. Při frézování zbytkového materiálu ve spodní části drážek byl nastaven cyklus  Sweeping, kde pomocí osového konvertoru z 3 na 5os, kontrolující kolize, byla zvolena automatická kontrola kolizí tak, aby vzdálenost od upínacího zařízení nástroje byla 2 mm (viz Obr.4.17 vpravo). Obrobení zbytkového materiálu na konci drážek byl vypočten na  $t_{2,4} = 4\text{min } 13,5\text{s}$ .



Obr.4.17 Druhá série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 2 (vlevo a uprostřed obráběcí cykly Multi-Axis Curve Machining a Sweeping, vpravo prostorové podmínky vyložení nástroje)

Celková doba výroby pomocí pětiosého obráběcího centra byla vypočtena na čas 2hod 35min 43s. Zbytkový materiál je vzhledem k použití stejných nástrojů totožný jako v předchozí variantě výroby. To znamená, že čas potřebný pro elektroerozivní hloubení hlubokých tenkých drážek a ostrých rohů bude rovněž shodný s variantou č. 1.

$$t_2 = \sum_1^n t_{2,1} = t_{2,1} + t_{2,2} + \dots + t_{2,n}$$

$$t_2 = 118,25 + 17,78 + 15,45 + 4,23 = 155,7\text{min} = 2\text{hod}35\text{ min } 43\text{s}$$



## 5 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

### 5.1 Porovnání technologických variant opracování

Porovnání technologických variant výroby zadané součásti je možné zhodnotit z několika hledisek. Základní porovnání mezi oběma variantami jsou z pohledu dosahované kvality obrobeného povrchu součásti a z ekonomického hlediska. Z hlediska ekonomie je nutné brát ohled na to, jak vytvořený program ovlivňuje čas výroby a jakým způsobem spolu s využitím stroje ovlivňují ekonomiku podniku. Z hlediska kvality obrobeného povrchu lze často dosáhnout lepších výsledků pomocí pětiosého frézování. To je dáno v souvislosti s širšími možnostmi programování drah řezného nástroje pomocí CAD/CAM softwarů. Z fotorealistické simulace frézování drážek mezi žebry (třiosou i pětiosou variantou) je patrné, že obě technologické varianty z hlediska kvality dosahují požadovaných parametrů.

Výsledky z virtuálního programování přináší určitou představu o tom, která z technologických variant výroby má kratší časovou náročnost. Vzhledem k tomu, že software nezohledňuje časy potřebné k upnutí součásti a seřízení stroje, je v odborné literatuře uveden koeficient navýšení času, který se přibližuje k reálné hodnotě. Na základě zkušeností z praxe bývá virtuální čas získaný softwarem Catia V5R20 navýšen procentuálně. V případě technicko - ekonomického hodnocení je korekce času vypočtena dle vzorců.

## 5.2 Technicko-ekonomické zhodnocení navržených variant

Stanovení strojní hodinové sazby:

Položka		MCV 750	MCU700V-5X	Komentář/výpočty
Cena CNC stroje [Kč]	Cs	2 494 000	8 200 000	Nákup od výrobce
Náklady na pořízení [Kč]	N	70 000	100 000	Dovoz, vybudování základů
Náklady demontáže [Kč]	D	50 000	60 000	Uvedení do původního stavu
Likvidační hodnota [Kč]	L	100 000	400 000	Odprodej, případně cena šrotu
Doba upotřebitelnosti [rok]	t	10	10	Doba odepisování je dána přílohou k zákonu
Využitelný časový fond pracoviště [hod/rok]	Tv	1 807,2	1 807,2	2008x1x0,9, fond pracovní doby 2008hod/rok 2015 x počet směn x využitelnost stroje 90%
Fixní hodinová spotřeba [Kč/hod]	Sf	300	300	Mzda obsluhy 120Kč/hod + spotřeba náradí, podíl práce programátora atd. za rok, dělená počtem pracovních hodin stroje
Výkon vřetene stroje[kW]	P	25	35	
Plocha stroje [m <sup>2</sup> ]	S	12,5	45	Základní plocha +50% na pomocné plochy

Pro stanovení strojní hodinové sazby je nutné provést výpočty dalších nákladů, které jsou pro oba stroje odlišné. Jedná se o prostorové náklady, náklady na energii a náklady na opravy.

**Použité vzorce:**

$$SHS = \frac{KA + KZ + KR + KE + KI + N + D - L}{Tv} + Sf \left[ \frac{Kč}{hod} \right]$$

**Kalkulované odpisy KA:**

$$KA = \frac{Cs}{t} \left[ \frac{Kč}{roky} \right]$$

**Kalkulované úroky KZ:**

$$KZ = \frac{Cs}{2} * \text{roční úroková sazba (9\%)}$$

**Prostorové náklady KR:**

$$KR = \text{základní plocha stroje} * \text{náklady na } 1\text{m}^2/\text{rok}$$

### Náklady na energii KE:

$$KE = Tv * \text{náklady na energii/hod}$$

Náklady na energii = výkon vřetene stroje \* výkonové využití \* cena energie

- Předpokládá se 40% výkonové využití

### Náklady na opravy KI:

$$KI = KA * \text{faktor oprav}$$

- Faktor oprav byl zvolen na 50%

Pro následující výpočty je potřeba znát následující údaje:

- Náklady na prostor:  $75 \text{ Kč/m}^2/\text{měsíc} = 900 \text{ Kč/m}^2/\text{rok}$
- Cena energie pro rok 2015:  $4,83 \text{ Kč/kWh}$

### 1. varianta:

$$KA = \frac{Cs}{t} = \frac{2\,494\,000}{10} = 249\,400 \text{ Kč/10 let}$$

$$KZ = \frac{2\,494\,000}{2} * 0,09 = 112\,230 \text{ Kč/rok}$$

$$KR = 12,5 * 900 = 11\,250 \text{ Kč/rok}$$

$$KE = 1807,2 * (25 * 0,4 * 4,83) \cong 87\,288 \text{ Kč/rok}$$

$$KI = 249\,400 * 0,5 = 124\,700 \text{ Kč/rok}$$

$$SHS = \frac{249\,400 + 112\,230 + 11\,250 + 87\,288 + 124\,700 + 70\,000 + 50\,000 - 100\,000}{1\,807,2}$$
$$= \frac{604\,868}{1\,807,2} + 300 = 634,69 \cong \mathbf{635 \text{ Kč/hod}}$$

### 2. varianta:

$$KA = \frac{Cs}{t} = \frac{8\,200\,000}{10} = 820\,000 \text{ Kč/10 let}$$

$$KZ = \frac{8\,200\,000}{2} * 0,09 = 369\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$KR = 45 * 900 = 40\,500 \text{ Kč/rok}$$

$$KE = 1\,807,2 * (35 * 0,4 * 4,83) \cong 122\,203 \text{ Kč/rok}$$

$$KI = 820\,000 * 0,5 = 420\,000 \text{ Kč/rok}$$

SHS

$$= \frac{820\,000 + 369\,000 + 40\,500 + 122\,203 + 420\,000 + 100\,000 + 60\,000 - 400\,000}{1\,807,2}$$
$$= \frac{1\,531\,703}{1\,807,2} + 300 = 1\,147,55 \cong \mathbf{1\,148 \text{ Kč/hod}}$$

### Výpočet nákladů výrobních variant:

#### Použité vzorce:

Korekce času  $T_A$  koeficientem podmíněně nutných přestávek  $T_{A1}$ :

$$T_{A1} = T_A + 0,05 * T_A$$

$T_A$  ... čas strojní práce [min]

Koeficient směnového času  $k_c$ :

$$k_c = \frac{T}{T - t_c}$$

$T$  ... délka směny [min]

$t_c$  ... směnový čas na obecně nutné přestávky, přípravu a úklid pracoviště [min]

Korekce času  $T_A$  koeficientem času směnového:

$$T_{AC} = T_{A1} * k_c \text{ [min]}$$

Korekce času  $T_B$  koeficientem času směnového:

$$T_{BC} = T_B * k_c \text{ [min]}$$

Norma času operace  $T_N$ :

$$T_N = T_{AC} + \frac{T_{BC}}{d_v}$$

$d_v$  ... výrobní dávka [ks]

Náklady na operaci  $N_{OP}$ :

$$N_{OP} = T_N * SHS$$

#### Výpočet 1. varianta:

Operace	Hodnota
Čas frézování	4hod 4min 54s (244,9 min)
Čas upnutí obrobku	20 min
Čas seřízení stroje	10 min

Délka směny  $T$ : 8 hodin = 480 min

Směnový čas:  $t_c = 70$  min

Výrobní dávka:  $d_v = 1$  ks

$$T_{A1} = 244,9 + 0,05 * 244,9 = 257,145 \text{ min}$$

$$k_c = \frac{480}{480 - 70} = 1,17$$

$$T_{AC} = 257,145 * 1,17 = 300,86 \text{ min}$$

$$T_{BC} = 30 * 1,17 = 35,1 \text{ min}$$

$$T_{N1} = 300,86 + \frac{35,1}{1} = 335,96 \text{ min} = 5 \text{ hod } 35 \text{ min } 57 \text{ s} = 5,6 \text{ hod}$$

$$N_{OP1} = 5,6 * 635 = 3 \ 556 \text{ Kč}$$

### Výpočet 2. varianta:

Operace	Hodnota
Čas frézování	2hod 35min 43s (155,7 min)
Čas upnutí obrobku	20 min
Čas seřízení stroje	10 min

Délka směny T: 8 hodin = 480 min

Směnový čas:  $t_c = 70 \text{ min}$

Výrobní dávka:  $d_v = 1 \text{ ks}$

$$T_{A1} = 155,7 + 0,05 * 155,7 = 163,5 \text{ min}$$

$$k_c = \frac{480}{480 - 70} = 1,17$$

$$T_{AC} = 163,5 * 1,17 = 191,3 \text{ min}$$

$$T_{BC} = 30 * 1,17 = 35,1 \text{ min}$$

$$T_{N2} = 191,3 + \frac{35,1}{1} = 226,4 \text{ min} = 3 \text{ hod } 46 \text{ min } 24 \text{ s} = 3,77 \text{ hod}$$

$$N_{OP2} = 3,77 * 1148 = 4 \ 328 \text{ Kč}$$

### Vyhodnocení:

	MCV 750	MCU700V-5X
Strojní hodinová sazba SHS [Kč/hod]	635	1 148
Celkový čas výroby t [min]	335,96	226,4
Celková cena výroby $N_{op}$ [Kč]	3 556	4 328

Úspora:

$$\dot{U}_{min} = T_{N1} - T_{N2} = 335,96 - 226,4 = 109,56 \text{ min}$$

$$\dot{U}_{Kč} = N_{op2} - N_{op1} = 4 \ 328 - 3 \ 556 = 772 \text{ Kč}$$

Z výše vypočtených hodnot je patrné, že mezi technologickými variantami výroby jsou značné rozdíly. Strojní hodinová sazba tříosého obráběcího stroje činí 635 Kč/hod a pro pětiosé frézovací centrum vychází 1148 Kč/hod. Celková časová náročnost výroby dle varianty č. 1 (tříosé frézování) byla vyčíslena na 5hod 35min 57s, zatímco varianta č. 2 (pětiosé frézování) zvládla obrobít součást za 3hod 46min 24s, což je sice o 109,56 min kratší, ale provozní náklady na hodinu práce stroje tuto variantu znevýhodňují. Z hlediska finančních nákladů je výhodnější varianta č. 1 (tříosé frézování). Finanční náklady varianty č. 1 jsou 3 556 Kč. Celkové finanční náklady varianty č. 2 činí 4 328 Kč. Porovnáním časové a finanční náročnosti technologických variant vychází časová úspora 109,56 min při použití pětiosého obráběcího centra a finanční náklady tříosé varianty jsou nižší o 772 Kč.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navržení a následné porovnání technologických variant výroby vstříkovací formy určené pro výrobky v podobě hrabacího náčiní z plastu. Podklady k diplomové práci v podobě výkresu a modelu součásti s "mrtvou" geometrií byly obdrženy od společnosti Škoda PILSEN TOOLS a.s., kde se součást v minulosti vyráběla. Technologický postup výroby formy byl konzultován s vedením této společnosti.

Návrh technologických variant byl proveden pomocí vyspělého CAD/CAM systému CATIA V5R20, který umožňuje použití technologických strategií a postupů, kterými lze docílit zvýšení efektivity obrábění. Programováním strategických postupů výroby lze dosáhnout snížení času obrábění, zvýšení životnosti nástroje a v neposlední řadě zlepšení kvality obrobeného povrchu. Porovnání technologií výroby bylo provedeno pouze na těch prvcích součásti, kterým bylo možné naprogramovat dráhy nástrojů pomocí tří nebo pěti řízených os.

Na základě technicko – ekonomického porovnání obou variant výroby zadané součásti získané softwarem CATIA V5R20, bylo vyhodnoceno, že vzhledem k časovému využití strojů je časově méně náročná technologie pětiosého obrábění, ale vzhledem k finančním nákladům je výhodnější tříosá varianta výroby. Finanční náklady tříosé technologie výroby jsou 3556,- Kč při časovém využití stroje 5hod 35min 57s. Finanční náklady pětiosé technologie byly vypočteny na hodnotu 4328,- Kč při časovém využití stroje 3hod 46min 24s. Vzhledem k tomu, že se jedná o kusovou výrobu a ne o sériovou, není výsledný čas výroby tak podstatným faktorem. V případě výsledné kvality obrobeného povrchu nepředstavuje ani jedna z navržených technologií výroby rozdíl. Dle výkresové dokumentace lze oběma technologiemi dosáhnout požadovaných hodnot tolerancí a jakostí obrobených ploch. Zásadním a rozhodujícím faktorem, v případě volby technologické varianty výroby zadané součásti, jsou zejména finanční náklady. Proto pro výrobu zadané součásti je výhodnější tříosá technologie, která je o 772,-Kč levnější než pětiosá technologie výroby.

Finanční úspora v řádech sto korun je, v porovnání s pořizovacími náklady na polotovary při daném materiálu, zanedbatelná. Při plánování budoucích investic podniku je, nejvýznamnější rozhodující faktor, charakter obráběných součástí. Formy a zápustky se vyznačují komplexními tvary a složitou geometrií, které nejsou vždy vyrobitelné pomocí tříosých obráběcích strojů. Proto se vyplatí investovat do pětiosého obráběcího centra, protože právě na těchto strojích lze uplatnit širokou škálu frézovacích strategií, které jsou často potřebné pro výrobu zápustek a forem.

## LITERATURA

- [1]. **HORVÁTH, E.** MM Průmyslové spektrum. *Frézovací nástroje pro obrábění forem a zápuštěk.* [Online] 10. září 2013. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-nastroje-pro-obrabeni-forem-a-zapustek.html>.
- [2]. Misan s.r.o. *Víceosé obrábění - optimální směr pro růst průmyslu.* [Online] 13. únor 2012. Dostupný z WWW: <http://www.misan.cz/clanky/>.
- [3]. Technologie II (2.díl). [Online] 2010. Dostupný z WWW: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf).
- [4]. **SKOPEČEK, T. a HOFMANN, P.** MM Průmyslové spektrum. *Frézovací strategie při výrobě forem a zápuštěk.* [Online] 18. květen 2005. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-strategie-pri-vyrobe-forem-a-zapustek.html>.
- [5]. CAD.CZ. *CATIA V5 – CAM, s kterým obrobíte i dřevo.* [Online] [Citace: 9. 2 2015.] Dostupný z WWW: <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1564-catia-v5-cam-s-kterym-obrobite-i-drevo.html>.
- [6]. **PAGÁČ, M.** Průmysl.cz. *Progresivní frézovací strategie pro výrobu forem.* [Online] 30. 12 2013. Dostupný z WWW: <http://www.prumysl.cz/progresivni-frezovaci-strategie-pro-vyrobu-forem/>.
- [7]. **IŽOL, P. a ĎURÍČEK, M.** CAD.CZ. *CAM systémy a hodnocení strategií obrábění.* [Online] [Citace: 30. leden 2015.] Dostupný z WWW: <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2385-cam-systemy-a-hodnoceni-strategii-obrabeni.html>.
- [8]. **BRYCHTA, J., SADÍLEK, M. a ČEP, R.** *Progresivní metody v obrábění.* Ostrava, 2011. ISBN: 978-80-248-2513-7.
- [9]. TaeguTec. *Total Machining Solutions for the Mold & Die Industry.* [Online] [Citace: 12. únor 2015.] Dostupný z WWW: [http://www.taegutec.cz/download/prumysl/TT\\_Mold\\_Die.pdf](http://www.taegutec.cz/download/prumysl/TT_Mold_Die.pdf).
- [10]. MM Průmyslové spektrum. *Příručka pro technology: Dynamické frézování - využití kompenzačního přístupu.* [Online] 25. 6 2013. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-dynamicke-frezovani-vyuziti-kompenzacniho-pristupu.html>.
- [11]. *Metody 5osého frézování.* [Online] [Citace: 4. 2 2015.] Dostupný z WWW: <http://www.frezovani-5os.cz/metody-frezovani/>.
- [12]. **SADÍLEK, M. a SADÍLKOVÁ, Z.** *Počítačová podpora procesu obrábění.* Ostrava, 2012. ISBN: 978-80-248-2770-4.
- [13]. **BRYCHTA, J.** Seminář ZBYTKOVÁ NAPĚTÍ. *Vliv řezných parametrů na integritu povrchu.* [Online] 2013. Dostupný z WWW: <http://ateam.zcu.cz/>.
- [14]. **ZYKA, S.** *Obrábění oceli o vyšší tvrdosti kulovou frézou.* Plzeň : ZČU v Plzni - Fakulta strojní, 2013.



- [15]. PRŮMYSL.CZ. *Jak na výběr optimálního nástroje pro obrábění forem*. [Online] Seco Tools, 28. únor 2013. Dostupný z WWW: <http://www.prumysl.cz/jak-na-vyber-optimalniho-nastroje-pro-obrabeni-forem/>.
- [16]. PRAMET. *Katalog soustružení 2014*. [Online] 15. 5 2014. Dostupný z WWW: <http://www.pramet.cz/cz/ke-stazeni.html>.
- [17]. MM Průmyslové spektrum. *Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění*. [Online] 11. 12 2002. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dulezite-aspekty-vysokorychlostniho-obrabeni.html>.
- [18]. MM Průmyslové spektrum. *Elektroerozivní obrábění*. [Online] 17. červenec 2006. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-obrabeni.html>.
- [19]. MM Průmyslové spektrum. *Nekonvenční metody obrábění*. [Online] 19. červenec 2007. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>.
- [20]. **KOCMAN, K.** *Speciální technologie obrábění*. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. ISBN: 80-214-2562-8.
- [21]. MM Průmyslové spektrum. *Systémy CIM ve slévárnách*. [Online] 13. březen 2002. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/systemy-cim-ve-slevarnach.html>.
- [22]. **SADÍLEK, M.** *Počítačová podpora výroby*. Ostrava, 2011. ISBN: 978-80-248-2738-4.
- [23]. **SADÍLEK, M.** *CAM systémy v obrábění I*. Ostrava : Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN: 978-80-248-1821-4.
- [24]. **JANDEČKA, K.** *Programování NC strojů*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2000. ISBN: 80-7082-692-4.
- [25]. **ŠTUPLA, M.** *CNC Obráběcí stroje a jejich programování*. Praha, 2006. ISBN: 80-7300-207-8.
- [26]. Uddeholm.cz. *IMPAX SUPREME - předzušlechtěná ocel na formy a konstrukční díly se sníženým obsahem síry (HB 290 - 330)*. [Online] 2011. Dostupný z WWW: [http://www.bucanada.ca/media/UDDEHOLM\\_IMPAXSUPREME.pdf](http://www.bucanada.ca/media/UDDEHOLM_IMPAXSUPREME.pdf).
- [27]. Preciz, s.r.o. *1.2738 (40CrMnNiMo8-6-4, 19 520+Ni)*. [Online] 2012. Dostupný z WWW: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2738>.
- [28]. Sandvik Coromant. *Vrtání hlubokých děr*. [Online] [Citace: 24. 2 2015.] Dostupný z WWW: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/C-1202-1.pdf>.
- [29]. *Katalog nástrojů společnosti TaeguTec*. [Online] 30. 1 2015. Dostupný z WWW: <http://www.taegutec.cz/>.
- [30]. KOVOSVIT MAS. *Produkty technologie frézování*. [Online] Dostupný z WWW: <http://www.kovosvit.cz/>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr.1.1	Optimální úhel záběru $\varphi_e$ v průběhu procesu obrábění. [6].....	10
Obr.1.2	Frézovací strategie odebrání materiálu z místa řezu [8].....	10
Obr.1.3	Schéma a vzorec efektivního průměru kulové frézy $d_{eff}$ při dokončovacím frézování [8]	11
Obr.1.4	Dráhy nástroje .....	12
Obr.1.5	Radiální frézovací strategie po hladinách.....	14
Obr.1.6	Frézovací strategie rampování - lineární a s kruhovou interpolací [9].....	14
Obr.1.7	Schematické možnosti trochoidních pohybů s ukázkou frézování otevřené drážky [10]..	15
Obr.1.8	Schéma a značení lineárních a rotačních os [11].....	15
Obr.1.9	Závislost efektivního průměru frézy na úhlu náklonu [13] .....	16
Obr.1.10	Ukázky možností naklápění nástrojů pomocí polohování v pěti osách [11].....	17
Obr.1.11	Kratší korekce nástroje díky použití 5 - ti osého polohování [11] .....	17
Obr.1.12	Druhy nástrojových materiálů [16] .....	19
Obr.1.13	Deformační zóny klasického a HSC obrábění [13] .....	20
Obr.1.14	Frézovací nástroje pro dokončovací operace od společnosti TaeguTec.....	21
Obr.1.15	Příklady grafitových elektrod pro výrobu složitějších tvarů forem [19] .....	23
Obr.1.16	Hierarchie výroby součásti pomocí CAD/CAM systémů [22].....	25
Obr.1.17	Možnosti frézovacích strategií obrábění při použití vyspělých CAD/CAM systémů [25]	28
Obr.1.18	Možnosti editací drah nástroje při použití CAD/CAM systémů [25].....	30
Obr.2.1	3D Model zadané součásti v CATIA V5R20 .....	32
Obr.2.2	Doporučené hodnoty vlastností kapalin pro použití dělového vrtáku o průměru 10mm [28] .....	36
Obr.2.3	Karbidové frézy APEXMILL společnosti TaeguTec a jejich rozměrové řady [29].....	36
Obr.2.4	Souřadnicová vrtačka WKV 100.....	37
Obr.2.5	Horizontální vyvrtávačka WHN 110 Q (vlevo) a hloubička PENTA 1060 CNC .....	37
Obr.2.6	Obráběcí centra společnosti Kovosvit MAS – tříosé obráběcí centrum MCV750 (vlevo), pětiosé obráběcí centrum MCU700V-5X (vpravo) [30] .....	38
Obr.4.1	Nastavení základních parametrů pro obrábění v Part Operation.....	42
Obr.4.2	Obrázkové schéma obráběcích strategií v software CATIA V5R20.....	43
Obr.4.3	Ukázka pracovního cyklu Z-level s popisem jednotlivých karet a možností nastavení orientace řezného nástroje .....	45
Obr.4.4	Možnosti globálních modifikací pro řízení osy řezného nástroje v aplikaci Catia V5R20	46
Obr.4.5	Ukázka čárové simulace (vlevo) a fotorealistické simulace (vpravo) v systému Catia V5R20 .....	47
Obr.4.6	3D model Desky tvárnice s barevně označenými prvky vyrobené po operaci č.20 .....	49

Obr.4.7	Fialovou barvou zvýrazněné prvky určené pro porovnání technologických variant.....	50
Obr.4.8	Kompletní 3D model desky tvárnice s barevně označenými prvky určené pro obráběcí operace .....	51
Obr.4.9	První série použitých cyklů pro výrobní variantu č.1 (vlevo cyklus Pocketing, vpravo Z-level) .....	53
Obr.4.10	První série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo a uprostřed obráběcí cyklus Z-level nastaven pro hrubování, vpravo cyklus Z-level pro dokončování zaoblení na ostrůvcích).....	54
Obr.4.11	Fotorealistická analýza varianty č. 1 po hrubování drážek pomocí cyklu Z-level .....	54
Obr.4.12	Druhá série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo a uprostřed obráběcí cykly Contour driven a Sweeping, vpravo znázorněny prostorové podmínky pro určení minimálního vyložení nástroje) .....	56
Obr.4.13	Třetí série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 1 (vlevo Contour driven, vpravo Z-level) .....	56
Obr.4.14	Analýza zbytkového materiálu po obrábění variantou č. 1 s detailním pohledem.....	57
Obr.4.15	První série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 2 (vlevo obráběcí cyklus Multi Axis Curve Machining, vpravo Copy Transformation) .....	59
Obr.4.16	Fotorealistická analýza varianty č. 2 po hrubování drážek pomocí cyklu Multi Axis Curve Machining .....	59
Obr.4.17	Druhá série použitých cyklů pro výrobní variantu č. 2 (vlevo a uprostřed obráběcí cykly Multi-Axis Curve Machining a Sweeping, vpravo prostorové podmínky vyložení nástroje).....	60
Tabulka 1	Chemické složení oceli 1.2738 [25] .....	33
Tabulka 2	Fyzikální vlastnosti oceli 1.2738 [25] .....	33
Tabulka 3	Mechanické vlastnosti oceli 1.2738 v zušlechtěném dodávaném stavu [25] .....	33
Tabulka 4	Řezné podmínky pro čelní a válcové frézování [25] .....	35

# **PŘÍLOHY**

## **k diplomové práci**

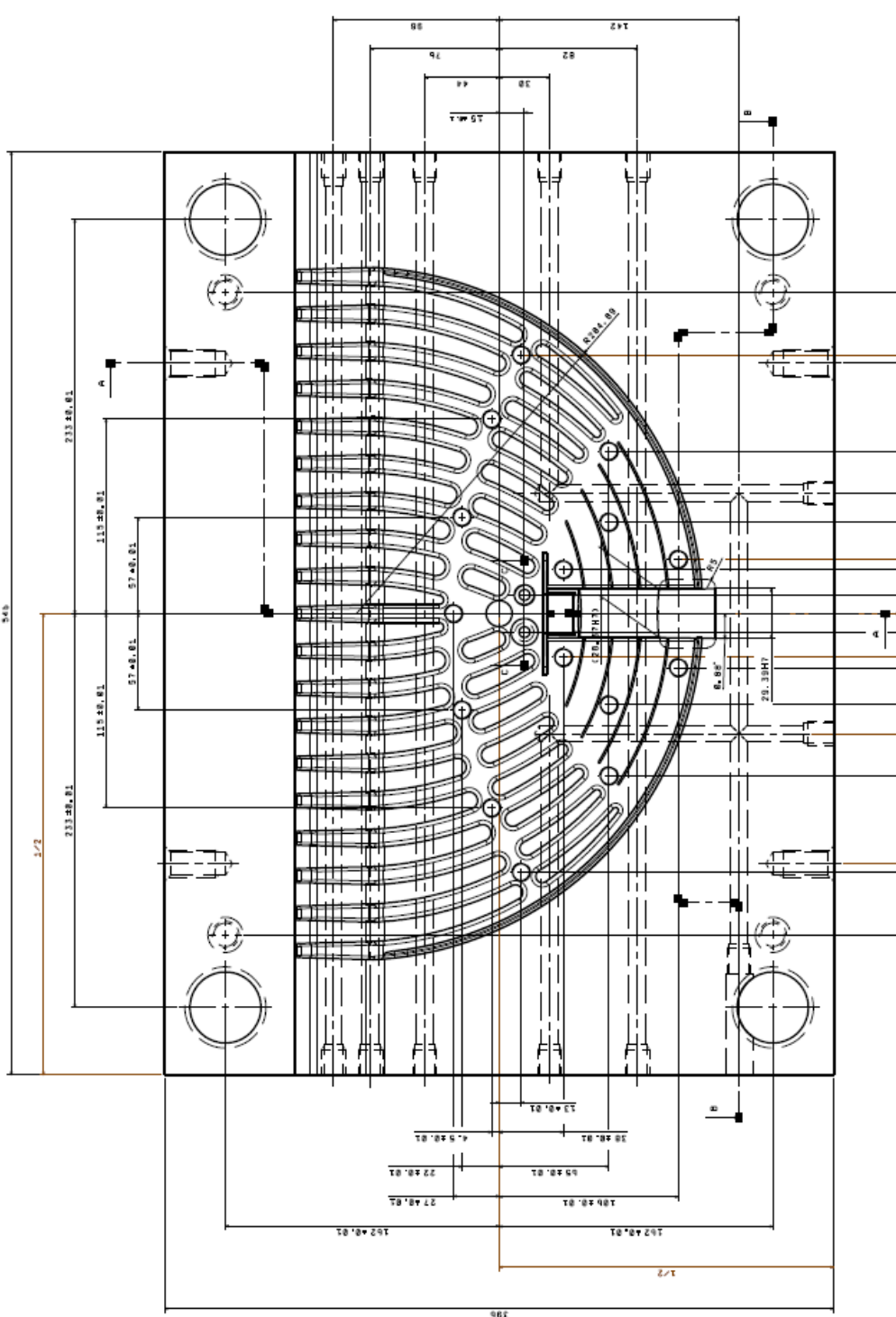
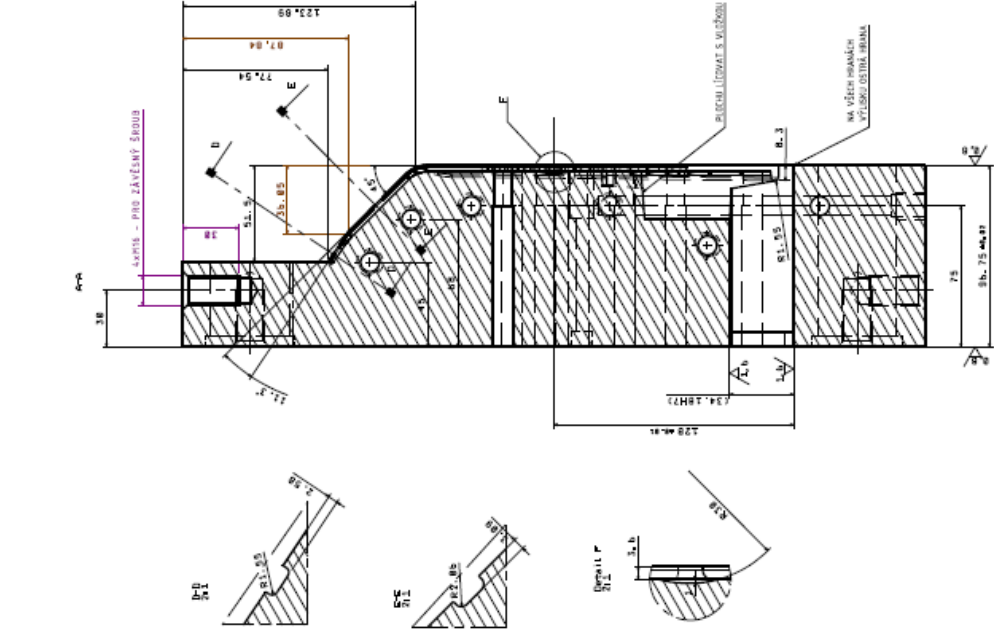
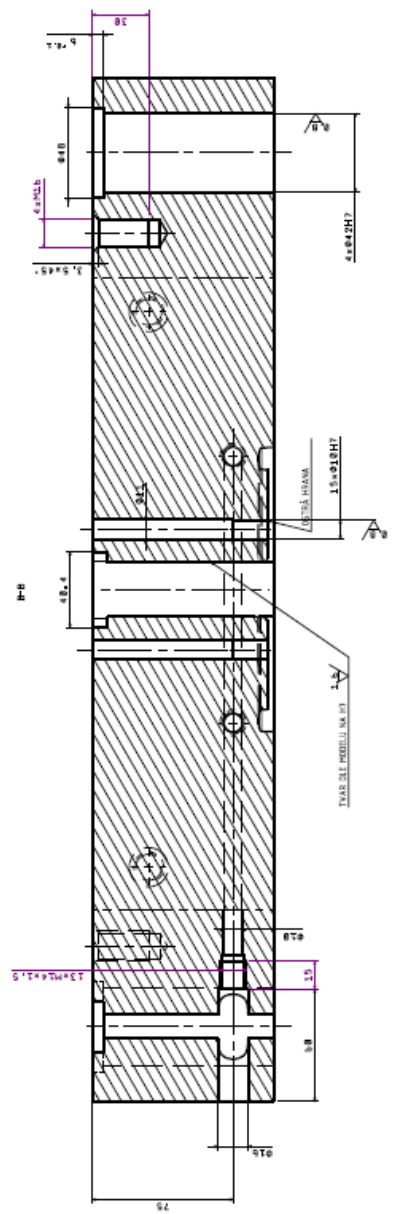
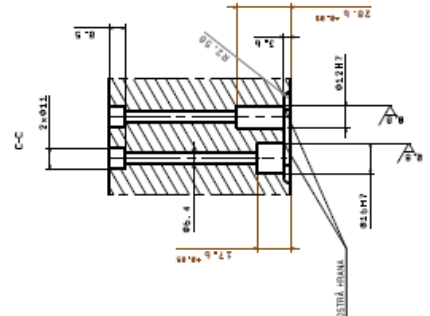
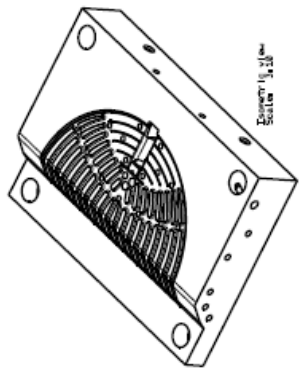
**Porovnání víceosých technologií na zadané  
součásti**

**Příloha č. 1: Výkres součásti vytvořený v softwaru CATIA V5R20**

**Příloha č. 2: Výrobní postup zadané součásti**


**Příloha č. 3: Výpočet třídy obrobitelnosti dle chemického složení**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

## Příloha č. 2: Výrobní postup

		<b>FAKULTA STROJNÍ</b> <i>Katedra technologie obrábění</i> <b>VARIANTA A 3D</b>		<b>VÝROBNÍ POSTUP</b>		Číslo výkresu:					
				Název součásti:	Materiál: 19520 + Ni	Hmotnost:		Ks/rok:			
Čís. oper.	Číslo pracoviště	Typ stroje	Popis operace	DESKA TVÁRNICE		čistá :	hrubá :	Ks/dávka:			
				Polotovár:		Dávka/rok :					
				Spec.nástroje, měřidla, přípravky	t <sub>AS</sub> t <sub>h</sub>	t <sub>AC</sub> t <sub>k</sub>	t <sub>BC</sub> t <sub>pe</sub>	TKK			
10		horizontální vyvrtávačka WHN 110 Q	upnout na horní plochu desky na upínací uhlíník (90°) předvrtat díru 4x ø30mm (pro vedení) frézovat díru ø48mm do hloubky 6mm s tolerancí +0,1 frézovat díru ø42mm s přídávkem 1mm na konturu (4x vodící tyče) hrubovat průchozí obdelníkový tvar (34,18x29,39mm) s přídávkem 1mm na konturu frézovat obdelníkovou kapsu do hloubky 8mm s tolerancí +0,05mm vytvořit vodící díry pro dělový vrták (15xvyhazovače) vytvořit vodící díry pro dělový vrták (2xprostředek desky)ø11mm do hloubky 8,5mm vrtat díru pro budoucí závit M16 do hloubky 35mm (4x) vytvořit závit M16 do hloubky 30mm (4x) vytvořit náběh (4x pro M16)	vrták ø30mm Ce Va48 Ce Va42 Dražkovač fréza  Ce Va10  vrták ø14mm závitník M16 srážecí hran							
20		Souřadnicová vrtačka	upnout základnou vzhůru na sadu podložek výstružit díru na hodnotu ø42H7 (4x) vrtat průchozí díru ø9,5mm (15xvyhazovače) navrtat díru ø11mm do hloubky 7,5mm (15xvyhazovače) výstružit díru na hodnotu ø10H7 (15x) vrtat průchozí díru ø6,4mm (2x)	výstružník 42H7 dělový vrták ø9,5mm vrták ø11mm výstružník 10H7 dělový vrták ø6,4mm							
30		CNC obráběcí centrum	upnout na základnu pomocí upínek frézovat kapsu s max hloubkou řezu 1mm na čisto frézovat mezi žebry (Z-level) (osa nástroje kolmo k základně) frézovat zbytkový materiál mezi žebry s přídávkem 0mm frézovat mezi žebry na skloněné ploše frézovat díru ø12 s přídávkem 0,05 do hloubky 28,6mm a 0,5mm na konturu frézovat díru ø16 s přídávkem 0,05 do hloubky 17,6mm a 0,5mm na konturu výstružit díru na rozměr 12H7 výstružit díru na rozměr 16H7 frézovat mezi žebry (Z-level) hrubovat vybrání RK30 do hloubky 4,6 od původní kontury frézovat 19xdrážka frézovat 2xdrážku na poloměru 204,97mm frézovat tenké drážky poblíž kapsy	Ce Va D20 Ceva D5 Ceva D5 Ceva D5 Ceva D5 Ceva D5 výstružník 16H7 výstružník 12H7 Kul D5 Kul D3 Kul D3 Kul D3 Kul D2							
40		horizontální vyvrtávačka WHN 110 Q	upnout za boky desky (délka 546mm) základnou vzhůru vytvořit vodící díry pro dělový vrták (9xchladící kanálky) vrtat díru ø10mm (9xchladící soustava z toho 4x průchozí) vrtat odlehčení ø16mm do hloubky 60mm (1x chladící kanál) vrtat díru pro budoucí závit ve vzdálenosti 17mm (13x chladící soustava) vytvořit závit M14x1,5 do hloubky 15mm (13x) vrtat díru pro budoucí závit M16 do hloubky 35mm (4x) vytvořit závit M16 do hloubky 30mm pro závěsné šrouby (4x) vytvořit náběh do díry (4x)	vrták ø30mm dělový vrták ø10mm vrták ø16mm vrták ø12mm závitník M14x1,5 vrták ø14mm závitník M16 srážecí hran							
50		Elektroerozivní hloubička	upnout na základnu vyjiskřit zbývající materiál								
60			Nitridovat do hloubky 0,2 - 0,3mm								
		KONTROLA		posuvné měřítko							
Pokračování na listě:										List:	

### Příloha č. 3: Výpočet třídy obrobitelnosti

Při výpočtu třídy obrobitelnosti se vychází z následujících parametrů materiálu. Ty je nutné pro určení třídy obrobitelnosti znát.

- chemické složení
- mechanické vlastnosti
- výchozí stav
- druh obrábění

#### Chemické složení:

Vychází se z chemického složení materiálu, resp. na procentuálním zastoupení jednotlivých legujících prvků. Pomocí těchto prvků se zjistí z tabulky P2, hodnota materiálových konstant **Kchs1**. Součtem materiálových konstant **Kchs1** pro zadaný materiál získáme konstantu **Kchs2**. Dále je nutné si uvědomit, že výpočet třídy obrobitelnosti, pro automatové oceli, je odlišný než pro ostatní materiály. Tyto oceli jsou obohaceny o prvky S a P pro zlepšení jejich obrobitelnosti a lámavosti třísky. V tomto případě je nutné hodnoty **Kchs1** legujících prvků S a P odečítat pro jejich příznivé vlastnosti na obrobitelnost. Dalším ovlivňujícím významným prvkem je Cu, jež zlepšuje obrobitelnost, a proto je teda nutné její vliv od **Kchs2** odečíst.

#### Mechanické vlastnosti:

V materiálových normách jsou uvedeny velké rozsahy tvrdosti materiálů, proto byly pro jednotlivé stupně tvrdosti stanoveny různé třídy obrobitelnosti. V tabulce P3 jsou uvedeny hodnoty konstant **Kmh**, které zohledňují závislost mezi hodnotami meze pevnosti  $R_m$  [MPa] a hodnotami tvrdosti podle Brinella HB [-].

#### Výchozí stav:

Každý materiál má uveden ve svých výrobních podkladech pouze konečný, popř. výchozí stav materiálu. Vzhledem k výrobnímu procesu materiálu dochází ke změnám stavu materiálu, který je potřeba pro každý stav materiálu zohlednit a hodnotit tak obrobitelnost pro každý stav materiálu jinak.

**Druh obrábění:**

Normativ rozlišuje dva druhy obrábění s označením 1 a 2.

<b>Druh obrábění</b>	
<b>1</b>	Soustružení, hoblování, obrázení, hoblování a obrázení ozubení, řezání závitu noži
<b>2</b>	Frézování, frézování ozubení, frézování závitů, vrtání, vystružování, řezání závitů závitníky a závitovými čelistmi, protahování
<b>broušení</b>	

*Tab. P1 Rozdělení způsobů obrábění*

**Vysvětlení použitých konstant:**

**Kchs1** - konstanta podle obsahu jednotlivých prvků chemického složení materiálu

**Kchs2** - součet konstant Kchs1 daného materiálu

**Kmh** - konstanta vlivu fyzikálně mechanických vlastností materiálu (tvrdost, pevnost)

**Kchs2.Kmh** - součin pro určení skupiny obrobitelnosti



STROJÍKENSTVÍ Normativy		OCELI třída 10 - 19, 26 - 29							Tabulka číslo: 1 a						
OBRÁBĚNÍ		- konstanty Kchs 1													
% prvků	C	Mn	Si	Cr	V	Co	Al	% prvků	Mn	Si	Cr	V	Co	Al	
	N		Ti	Ni	W	Mo	Ta Nb Cu				Ti	Ni	W		Ta Nb Cu
Kchs 1								Kchs 1							
0,10	0,40	0,85	0,23	0,10	0,10	0,10	0,15	3,60		3,30	0,75	0,43	1,10	2,20	
0,12	0,30	0,82	0,25	0,10	0,10	0,12	0,17	3,70		3,37	0,75	0,43	1,12	2,25	
0,14	0,25	0,80	0,29	0,10	0,10	0,13	0,19	3,80		3,45	0,76	0,44	1,14	2,30	
0,16	0,18	0,78	0,32	0,10	0,10	0,14	0,21	3,90		3,52	0,77	0,45	1,17	2,35	
0,18	0,12	0,76	0,35	0,10	0,10	0,15	0,23	4,00		3,60	0,75	0,46	1,20	2,40	
0,20	0,08	0,74	0,38	0,10	0,10	0,15	0,25	4,20		3,70	0,81	0,48	1,24	2,48	
0,22	1,05	0,72	0,40	0,11	0,10	0,17	0,27	4,40		3,80	0,84	0,50	1,28	2,56	
0,24	0,02	0,74	0,43	0,11	0,10	0,19	0,29	4,60		3,90	0,87	0,51	1,32	2,64	
0,26	0,02	0,76	0,46	0,12	0,10	0,20	0,31	4,80		4,00	0,90	0,52	1,36	2,72	
0,28	0,07	0,78	0,49	0,12	0,10	0,21	0,32	5,00		4,15	0,92	0,53	1,40	2,80	
0,30	0,13	0,82	0,52	0,13	0,10	0,22	0,34	5,50		4,40	0,98	0,55	1,50	3,00	
0,35	0,26	0,88	0,57	0,14	0,11	0,24	0,38	6,00		4,80	1,04	0,58	1,65	3,20	
0,40	0,40	0,95	0,62	0,15	0,11	0,26	0,42	6,50		5,10	1,09	0,61	1,75	3,40	
0,45	0,53	1,05	0,67	0,16	0,12	0,28	0,46	7,00		5,40	1,16	0,64	1,90	3,60	
0,50	0,67	1,15	0,74	0,18	0,13	0,30	0,50	7,50		5,70	1,22	0,67	2,00	3,80	
0,55	0,75	1,22	0,80	0,19	0,14	0,31	0,53	8,00		6,00	1,28	0,70	2,12	4,00	
0,60	0,87	1,30	0,86	0,21	0,15	0,33	0,57	8,50		6,25	1,34	0,72	2,25	4,20	
0,65	1,00	1,37	0,91	0,22	0,16	0,35	0,60	9,00	9,20	6,50	1,40	0,75	2,35	4,40	
0,70	1,15	1,45	0,97	0,23	0,16	0,37	0,64	9,50	9,60	6,75	1,46	0,77	2,47	4,55	
0,75	2,25	1,52	1,02	0,24	0,17	0,39	0,67	10,00	10,00	7,00	1,52	0,79	2,60	4,70	
0,80	2,35	1,60	1,07	0,25	0,18	0,40	0,70	10,50	10,40	7,25	1,57	0,80	2,70	4,85	
0,85	2,45	1,67	1,12	0,26	0,19	0,42	0,73	11,00	10,80	7,50	1,62	0,82	2,80	5,00	
0,90	2,57	1,75	1,17	0,27	0,19	0,44	0,75	11,50	11,20	7,75	1,67	0,84	2,92	5,20	
0,95	2,68	1,82	1,22	0,28	0,20	0,46	0,80	12,00	11,50	8,00	1,72	0,86	3,05	5,40	
1,00	2,80	1,90	1,28	0,30	0,21	0,48	0,84	12,50	11,80	8,25	1,76	0,88	3,16	5,60	
1,10	3,00	2,02	1,35	0,32	0,22	0,50	0,90	13,00	12,10	8,50	1,80	0,91	3,30	5,75	
1,20	3,20	2,15	1,42	0,34	0,23	0,53	0,97	13,50	12,60	8,75	1,85	0,93	3,40	5,90	
1,30	3,40	2,30	1,50	0,36	0,24	0,56	1,03	14,00	13,00	9,00	1,90	0,96	3,50	6,05	
1,40	3,60	2,45	1,60	0,38	0,25	0,59	1,10	14,50	13,30	9,25	1,95	0,98	3,62	6,20	
1,50	3,78	2,50	1,70	0,40	0,26	0,62	1,15	15,00	13,60	9,60	2,00	1,00	3,75	6,35	
1,60	3,95	2,65	1,80	0,42	0,27	0,65	1,20	16,00	14,20	10,00	2,13	1,04	3,95		
1,70	4,13	2,77	1,88	0,44	0,28	0,68	1,25	17,00	15,00		2,28	1,08	4,20		
1,80	4,30	2,90	1,96	0,46	0,29	0,70	1,30	18,00	15,80		2,43	1,12	4,40		
1,90	4,45	3,00	2,03	0,47	0,30	0,72	1,35	19,00	16,20		2,58	1,15	4,60		
2,00	4,60	3,15	2,12	0,48	0,31	0,75	1,40	20,00	17,00		2,73	1,18	4,85		
2,10		3,25	2,20	0,50	0,31	0,77	1,45	21,00			2,88		5,05		
2,20		3,35	2,28	0,52	0,32	0,80	1,50	22,00			2,95		5,30		
2,30		3,50	2,36	0,53	0,33	0,82	1,55	23,00			3,10		5,50		
2,40		3,60	2,44	0,55	0,34	0,85	1,60	24,00			3,22		5,75		
2,50		3,68	2,50	0,56	0,35	0,87	1,65	25,00			0,35		6,00		
2,60		3,75	2,58	0,58	0,36	0,90	1,70	26,00			0,50		6,20		
2,70		3,85	2,66	0,60	0,37	0,92	1,75	27,00			0,62		6,40		
2,80		4,00	2,72	0,63	0,38	0,94	1,80	28,00			0,75		6,60		
2,90		4,10	2,80	0,62	0,39	0,96	1,85	29,00			0,87		6,80		
3,00		4,20	2,88	0,64	0,39	0,98	1,90	30,00			4,00		7,00		
3,10			2,95	0,65	0,40	1,00	1,95	32,00			4,30		7,40		
3,20			3,02	0,67	0,40	1,02	2,00	34,00			4,55				
3,30			3,10	0,68	0,41	1,04	2,05	36,00			4,80				
3,40			3,16	0,70	0,42	1,06	2,10	38,00			5,05				
3,50			3,22	0,71	0,42	1,08	2,15	40,00			5,60				

Tab. P2 Konstanty Kchs1 pro obrábění oceli

STROJÍRENSTVÍ Normativy				OCELI třída 10 - 19, 26 - 29				Tabulka číslo: 1 b							
<b>OBRÁBĚNÍ</b>				tab. A- oceli přírodní nebo žíhané - <i>K<sub>hm</sub></i> tab. B- oceli zušlechťené nebo kalené - <i>K<sub>hm</sub></i> tab. C- skupiny obrábitelnosti											
				A. Ocel přírodní nebo žíhaná				B. Ocel zušlechťená nebo kalená							
A1- soustruž., hoblování, obrážení				B1- soustružení, hoblování, vrtání, frézování, vrtačení											
Tvrdoost - pevnost				Materiál				Tvrdoost - pevnost				Materiál			
				Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>4</sub>						Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>4</sub>	
HV	HB	MPa	kp/mm <sup>2</sup>	K <sub>hm</sub>				HV	HB	MPa	kp/mm <sup>2</sup>	K <sub>hm</sub>			
121	115	400	41	0,68			195	180	600	61	0,70	0,80	0,93		
126	121	420	43	0,65			210	196	650	66	0,75	0,87	1,00		
135	127	440	45	0,64	0,64		227	212	700	71	0,80	0,95	1,06		
144	138	480	48	0,63	0,63		243	228	750	76	0,92	1,02	1,12		
153	149	520	52	0,62	0,62	0,75	259	244	800	81	1,00	1,10	1,20		
170	166	580	59	0,61	0,70	0,82	275	259	850	86	1,07	1,16	1,26		
182	178	620	63	0,64	0,75	0,87	291	275	900	92	1,15	1,23	1,36		
193	189	660	67	0,68	0,80	0,93	308	292	950	97	1,23	1,30	1,38		
204	200	700	71	0,72	0,85	0,97	325	307	1000	101	1,30	1,37	1,44		
214	212	740	75	0,77	0,90	1,02	340	323	1050	107	1,38	1,42	1,50		
226	224	780	79	0,82	0,94	1,07	355	337	1100	112	1,46	1,50	1,57		
237	235	820	84	0,87	0,98	1,11	369	350	1150	116	1,54	1,57	1,64		
248	246	860	88	0,95	1,03	1,16	383	363	1200	122	1,62	1,65	1,70		
258	259	900	92	1,00	1,08	1,20	397	378	1250	127	1,70	1,70	1,75		
271	271	940	96	1,05	1,13	1,24	413	393	1300	132	1,78	1,78	1,82		
282	282	980	100	1,10	1,18	1,28	430	409	1350	138	1,86	1,86	1,90		
293	293	1020	104	1,15	1,24	1,32	442	420	1400	143	1,95	1,95			
303	304	1060	108	1,20	1,30	1,36	417	412	1450	148	2,02	2,02			
315	315	1100	112	1,26	1,34	1,40	474	446	1500	153	2,10	2,10			
325	327	1140	116	1,32	1,38	1,45	486	457	1550	156	2,20	2,20			
339	338	1180	120	1,38	1,42	1,50	502	469	1600	161	2,30	2,30			
349	350	1220	124	1,44	1,48	1,55	529	492	1700	173	2,45	2,45			
360	363	1260	128	1,50	1,54	1,60	560	518	1800	181	2,60	2,60			
370	370	1294	132	1,55	1,60	1,65	590	539	1900	193	2,75	2,75			
380	380	1320	135	1,60	1,65	1,68	620	555	2000	203	2,90	2,90			
390	390	1360	139	1,65	1,68	1,72	647	573	2100	212	3,05	3,05			
400	400	1390	142	1,70	1,72	1,75	678	590	2200	225	3,20	3,20			
410	410	1430	146	1,75	1,76	1,77	707	606	2300	234	3,40	3,40			
420	420	1470	150	1,80	1,80	1,80	737	622	2400	245	3,60	3,60			
A <sub>2</sub> - Frézování, vrtání				C. Skupiny obrábitelnosti											
Pevnost - tvrdoost				Materiál				K <sub>cha</sub> , K <sub>hm</sub>	Skup. obrob.	K <sub>cha2</sub> , K <sub>hm</sub>	Skup. obrob.				
				Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>4</sub>									
Hv	HB	MPa	kp/mm <sup>2</sup>	K <sub>hm</sub>											
121	115	400	41	0,90	0,90			nad -47,70	1b	6,01 - 7,50	10b				
126	121	420	43	0,84	0,84			37,01-47,00	2b	4,81 - 6,00	11b				
135	127	440	45	0,80	0,80			30,01-37,00	3b	3,86 - 4,80	12b				
144	138	480	48	0,75	0,75			23,81-30,00	4b	3,08 - 3,85	13b				
153	149	520	52	0,70	0,73	0,75		18,91-23,80	5b	2,46 - 3,07	14b				
170	166	580	59	0,64	0,70	0,82		15,01-18,90	6b	1,96 - 2,45	15b				
								11,98-15,00	7b	1,58 - 1,95	16b				
								9,51-11,97	8b	1,26 - 1,57	17b				
								7,51-9,50	9b	1,00 - 1,25	18b				
nad 116 HB podle tab. A1 nebo B1															
Druh materiálu: Z <sub>1</sub> - oceli konstrukční a nástrojové <u>tvářené a lité</u> Z <sub>2</sub> - oceli austenitické, korozivzdorné, nerezavějící - <u>tvářené</u> Z <sub>4</sub> - oceli jako Z <sub>2</sub> , ale <u>lité</u>															

Tab. P3 Konstanty *K<sub>hm</sub>* pro obrábění oceli

Rozdílné materiály jsou rozděleny do skupin Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>4</sub>, přičemž skupina Z<sub>1</sub> je určena pro konstrukční a nástrojové oceli.

**Chemické složení a vlastnosti materiálu:**

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
min. %	0,35	1,3	0,2	1,8	0,9	0,15	0	0
max. %	0,45	1,6	0,4	2,1	1,2	0,25	0,035	0,035

$R_{p0,2}$ [MPa]	850
$R_m$ [MPa]	900 - 1200
HB inf [-]	290 - 340

Zadaný materiál může mít dle normy proměnlivé chemické složení, kdy je obsah chemických prvků zastoupen hodnotami v intervalu od minima do maxima. Zvýšením obsahu legujících prvků dochází ke zhoršení celkové obrobiteľnosti materiálu. Pro stanovení intervalu obrobiteľnosti se provede nejprve výpočet při nejvyšším možném obsahu legujících prvků a poté při nejnižším možném obsahu legujících prvků.

**a) horší varianta** (maximální hodnoty obsahu legujících prvků)

vliv chemického složení (viz Tab.)

prvek		obsah [%]		Kchs1
C	=>	0,45	=>	1,53
Mn	=>	1,6	=>	2,9
Si	=>	0,4	=>	0,62
Cr	=>	2,1	=>	0,5
Ni	=>	1,2	=>	0,34
Mo	=>	0,25	=>	0,2
		$\sum$ Kchs1 =		6,09

$$Kchs2 = \sum Kchs1 = 6,09$$

vliv obrábění (viz Tab.)

$R_m$ [Mpa]	900 - 1200
HB inf [-]	290 - 340

$$Kmh = 1,2$$

$$Kchs2 \cdot Kmh = 6,09 \cdot 1,2 = 7,3 \Rightarrow \text{skupina obrobiteľnosti } \mathbf{10b}$$

**b) lepší varianta** (minimální hodnoty obsahu legujících prvků)

vliv chemického složení (viz Tab.)

prvek		obsah [%]		Kchs1
C	=>	0,35	=>	1,26
Mn	=>	1,3	=>	2,3
Si	=>	0,2	=>	0,38
Cr	=>	1,8	=>	0,46
Ni	=>	0,9	=>	0,27
Mo	=>	0,15	=>	0,14
		$\sum$ Kchs1 =		4,81

$$Kchs2 = \sum Kchs1 = 4,81$$

$$Kmh = 1,2$$

$$Kchs2 \cdot Kmh = 4,81 \cdot 1,2 = 5,77 \Rightarrow \text{skupina obrobitelnosti } \mathbf{11b}$$

<b>C. Skupiny obrobitelnosti</b>			
<b>Kchs2 . Kmh</b>	<b>Skup. obrob.</b>	<b>Kchs2 . Kmh</b>	<b>Skup. obrob.</b>
Nad 47,70	1b	6,01 - 7,5	10b
37,01 - 47,60	2b	4,81 - 6,00	11b
30,01 - 37,00	3b	3,86 - 4,80	12b
23,81 - 30,00	4b	3,08 - 3,85	13b
18,91 - 23,80	5b	2,46 - 3,07	14b
15,01 - 18,90	6b	1,96 - 2,45	15b
11,98 - 15,00	7b	1,58 - 1,95	16b
9,51 - 11,97	8b	1,26 - 1,57	17b
7,51 - 9,50	9b	1,00 - 1,25	18b

Tab. P4. Detail části C tabulky P3 - skupiny obrobitelnosti

Výpočet obrobitelnosti materiálu z chemického složení byl vyčíslen pro minimální a maximální hodnoty legujících prvků. Dle detailní části tabulky se aritmetický průměr obou vyčíslených hodnot přibližuje do oblasti skupiny obrobitelnosti **10b**.