



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

IMPLEMENTACE CAM SOFTWARE SOLIDCAM DO STROJÍRENSKÉ FIRMY

IMPLEMENTATION OF SOLIDCAM SOFTWARE IN AN ENGINEERING COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Olejníček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Petr Olejníček
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Implementace CAM softwaru SolidCAM do strojírenské firmy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S ohledem na rozvoj strojírenského podniku je nutno neustále zavádět do výroby moderní prvky TPV. Tato závěrečná práce se soustřeďuje na zvýšení konkurenceschopnosti nahrazením softwaru SurfCAM produktem SolidCAM. Pozornost bude věnována srovnání stávající výroby s nově navrhovanou sadou progresivních řezných nástrojů. Návrh obrábění bude s moderními obráběcími strategiemi a nová výroba bude plánována i s implementací měření nástrojovými a obrobkovými sondami mezi obráběcími strategiemi. Plánováno je i vybudování kontrolního měřicího pracoviště u CNC stroje, pro automatizaci nastavení tabulky korekcí dokončovacích řezných nástrojů v řídicím systému frézovacího centra.

Cíle diplomové práce:

- Rozbor stávající výroby vybrané součástky z produkce firmy ALFA – PROJ spol. s r.o.
- Analýza moderních trendů v třískovém obrábění.
- Návrh nové technologie.
- Zpracování nezbytné technické dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

GUPTA, Kapil, ed. Advanced manufacturing technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56-98-4.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-444-63711-6.

DAVIM, J. Paulo, ed. Surface integrity in machining. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978--84882-873-5.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

DAVIM, J. Paulo, ed. Machining: fundamentals and recent advances. London: Springer, c2008, xiii, 361 s. ISBN 978-1-84800-212-8.

SREE HARSHA, K. Principles of physical vapor deposition of thin films. Amsterdam: Elsevier, 2006, 1160 s. ISBN 00-804-4699-X.

MAREK, Tomáš a Jiří MAREK. RENISHAW, S. R. O. Mít sondu nestačí. Brno: Renishaw, 2017, 121 s. ISBN 978-80-87017-20-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o výrobě rámu revolveru a implementaci nového CAM systému do výrobního procesu. První část práce je zaměřena na rozbor stávající obráběcí operace. Druhá část práce se zabývá návrhem progresivních nástrojů pro obrábění a možností automatizované kontroly obrobků pomocí kontrolního systému Equator. V třetí části práce je uveden návrh nových obráběcích strategií. V závěru práce jsou porovnány teoretické strojní časy nové technologie s technologií původní.

Klíčová slova

rám revolveru, CNC stroj, frézování, navrtávání, kontrolní systém Equator, technologický postup

ABSTRACT

This Masters thesis examines the production of a revolver frame and the implementation of a new CAM system for the manufacturing process. This thesis contain four parts. The first part is focused on the current manufacturing process. The second part of the thesis consists of a new proposal to use progressive rotary tools and elements of automation for inspection by the Equator Gauging System. The third part proposes a new manufacturing strategy for the revolver frame. At the end of the thesis, the production times of proposed and current technologies are compared.

Key words

revolver frame, CNC machine, milling, spot drilling, Equator gauging system, technological process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OLEJNÍČEK, Petr. *Implementace CAM softwaru SolidCAM do strojírenské firmy* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-24].
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124096>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Polzer.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Implementace CAM softwaru SolidCAM do strojírenské firmy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24.6.2020

Datum

Bc. Petr Olejníček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za hodnotné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě ALFA – PROJ spol. s r.o. za možnost dlouhodobé spolupráce, cenné rady z praxe a téma poskytnuté k řešení.

Závěrečné poděkování patří mé rodině za podporu nejen při tvorbě této práce, ale i během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT.....	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 OBECNÉ POŽADAVKY NA SOUČÁST ZBROJÍHO PRŮMYSLU	9
1.1 Rám revolveru.....	10
2 VÝROBA RÁMU REVOLVERU.....	11
2.1 Polotovary	11
2.2 Výrobní zařízení	13
2.2.1 Přípravek	14
2.3 Operace – Dutina	16
2.3.1 Analýza obráběcích strategií	17
2.3.2 Nástroje	22
2.3.3 Trvanlivost nástrojů	24
3 ANALÝZA MODERNÍCH TRENDŮ V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ	26
3.1 Využití sondy pro nulové body/měření	26
3.2 Kontrolní systémy Equator	27
3.2.1 Výhody kontrolních systémů Equator	29
3.3 Návrh progresivních nástrojů pro operaci Dutina	29
3.3.1 Frézy s VBD	30
3.3.2 Vyměnitelné frézovací hlavice	32
3.3.3 Rozbor nástrojů pro čelní frézování.....	34
3.3.4 Materiálová charakteristika	35
3.3.5 Navrtávání	36
4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE.....	37
4.1 Seznámení se SolidCAM	37
4.1.1 Nulový bod obrobku.....	39
4.1.2 Nástrojová tabulka	39
4.1.3 Strategie obrábění	41
4.1.4 Transformace	46
4.2 Volba nástrojů pro operaci Dutina	47
4.2.1 Návrh nástrojového vybavení	47
4.3 Návrh nových obráběcích strategií.....	49
4.3.1 Úprava nulového bodu	49
4.3.2 Čelní frézování	49

4.3.3 Frézování stěn.....	51
4.3.4 Vrtání děr.....	52
4.3.5 Obrábění korunkovými frézami.....	53
4.4 Porovnání technologií výroby.....	54
4.5 Ukázka CNC programu.....	55
5 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE.....	57
ZÁVĚR.....	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

V dnešní době nastupující automatizace je nutné si neustále udržovat konkurenceschopnost. Vedle inovace strojového parku je zde také možnost inovace jednotlivých částí systému řízení životního cyklu výrobku tzv. PLM (z angl. Product Lifecycle management).

Vedení firmy ALFA – PROJ spol. s r.o. (dále jen firma) se rozhodlo pro inovaci systému správy výrobních dat tzv. PDM (z angl. Product Data management). Konkrétně se jedná o nahrazení softwaru počítačové podpory obrábění SurfCAM v5.2 systémem SolidCAM 2019. Důvodem změny systému počítačové podpory obrábění je možnost integrace softwaru SolidCAM s plnou asociativitou do CAD systému SOLIDWORKS, který firma používá pro parametrické 3D modelování. Aplikace nového softwaru je demonstrována na konkrétní výrobní operaci – Dutina (frézování rámu revolveru) – pro ráži .357 Magnum. Revolver ráže .357 Magnum produkce firmy je zachycen na obr. 1 při střelbě a na obr. 2 s rozlišením hlavních částí revolveru. Výstupem této práce je CNC program pro stroj Doosan DNM 4500 s řídicím systémem Fanuc.

Dále firma plánuje do roku 2022 přidat do výroby několik automatizačních prvků. Tyto prvky budou mít za úkol usnadnit tok materiálu a částečně zastoupit rozměrovou kontrolu, kterou standardně vykonávají výrobní operátoři.

V této práci je zpracován návrh využití kontrolního systému Equator společnosti Renishaw umožňující opakovatelnou rozměrovou kontrolu dílců v dílenském prostředí.



Obr. 1 Revolver ráže .357 Magnum při střelbě.

1 OBECNÉ POŽADAVKY NA SOUČÁST ZBROJNÍHO PRŮMYSLU

Zbrojní výroba ručních palných zbraní se v dnešní době zabývá snížením užitné hmotnosti každé zbraně se zachováním životnosti a přesnosti. Těchto vlastností se dosahuje užitím alternativních materiálů. Například Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod u své produkce samonabíjecích pistolí nahrazuje ocelové rámy, rámy z hliníkových slitin, nebo rámy z vysoce odolného polymeru [1].

Firma ALFA – PROJ spol. s r.o. u své produkce signálních a malorážových revolverů využívá rámy ze zinkových slitin. U výkonnějších ráží jsou využívány ocelové rámy, které si musí zachovat dostatečnou houževnatost společně s lokální tvrdostí. Revolverové rámy obecně nejsou, oproti ráům pistolovým, primárně předmětem snižování hmotnosti, spíše se jedná o vylepšování mechanických vlastností za účelem využití výkonnějších ráží. Firma pro tento případ nově zavádí k odlitkům také rámy kované [2].



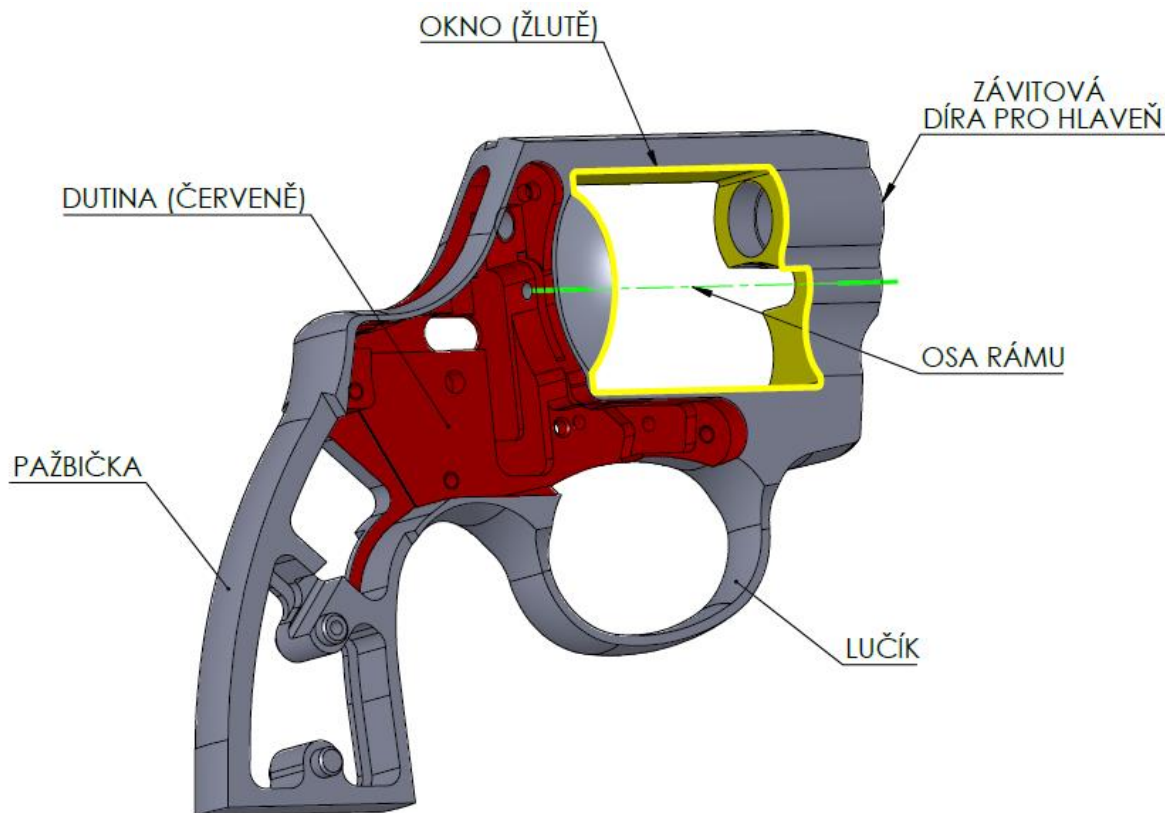
Obr. 2 Revolver s rozlišením hlavních částí [3].

1.1 Rám revolveru

Dle českého zákona o střelných zbraních a střelivu spadá rám revolveru do kategorie – hlavní části zbraně viz obr. 2. S tím jsou spojeny podmínky nakládání s hlavní částí zbraně viz 119/2002 Sb. Zákon o střelných zbraních a střelivu [4].

Rám revolveru (interní firemní označení: tělo) se skládá z několika komplexních funkčních prvků viz obr. 3. Z hlediska třískového obrábění se jedná o různé rovinné i tvarové plochy, kapsy, drážky, díry apod. Seznámení s prvky je orientováno na výrobní operaci Dutina, která je předmětem dalších kapitol.

Největším otvorem rámu je tzv. okno a tímto oknem prochází tzv. osa rámu. Tato osa je rovněž osou válce. Na okno navazuje závitová díra pro uložení hlavně. Dalším prvkem je tzv. dutina sloužící pro uložení bicího mechanismu revolveru. Na dutinu navazuje lučik a nosná část rámu určená k uchycení střenek tzv. pažbička (firemní označení). Lučik plní ochranou funkci spouště.

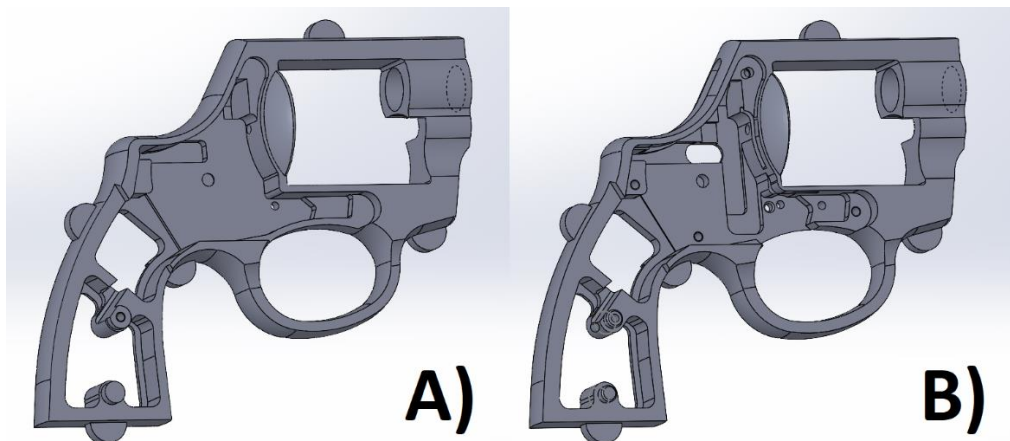


Obr. 3 Rám revolveru s popisem prvků.

2 VÝROBA RÁMU REVOLVERU

Stávající výroba rámu revolveru je rozložena do několika výrobních operací, výrobou odlitku v kooperaci počínaje a výstupní kontrolou kvality konče. Mezi tyto operace je umístěna operace třískového obrábění – Dutina (firemní označení) viz obr. 4. Během této operace dochází k frézování vnitřních/vnějších tvarových ploch, kapes a drážek. Dále je vrtáno a dokončováno několik druhů děr.

Tato operace je realizována pomocí řídicího systému Heidenhain na tříosé CNC frézce Doosan DNM 500 II. Jako doplňkové vybavení je použita dělička pro rotační osu A [5].

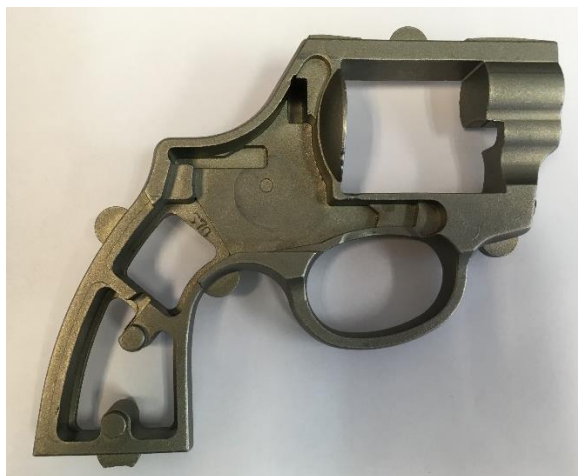


Obr. 4 Odlitek A) před operací Dutina, B) po operaci Dutina.

2.1 Polotovary

Vzhledem k duševnímu vlastnictví firmy ALFA – PROJ spol. s r.o. jsou zveřejněny pouze materiály s obdobným chemickým složením a tepelným zpracováním.

Vstupní polotovary jsou dva. Jedená se o ocelové odlitky z materiálu ČSN 42 2670 (tab. 1) a 1.4057 (tab. 2). Tyto odlitky se rozměrově liší pouze o hodnotu smrštění při odlévání. Jelikož materiál ČSN 42 2670 není korozivzdorný, finální povrchová úprava rámu je tzv. černění (zvýšení korozní odolnosti). Pro korozivzdorný rám z materiálu 1.4057 je finální úprava leštění. Dále užívané pojmenování polotovarů vychází z firemního označení, tzn. polotovar z materiálu ČSN 42 2670 je označován jako „ocel“ a materiál 1.4057 je označován jako „nerez“ (obr. 5).



Obr. 5 Odlitek rámu z materiálu 1.4057 „nerez“.

Tabulka 1 Ocel na odlitky uhlíková ČSN 42 2670 [6].

ČSN 42 2670	Chemické složení [hm. %]					
Ocel na odlitky uhlíková	C	Mn	Si	P	S	P+S
	0,50	0,40	0,20	max 0,050	max 0,050	max 0,090
	– 0,60	– 0,80	– 0,50	max 0,060	max 0,060	max 0,060
Charakteristika						
Perliticko-feritická uhlíková ocel na odlitky, určená pro vyšší tlaky a namáhání.						
Mechanické a fyzikální vlastnosti						
Stav	.1			.5		
Mez kluzu $R_e/R_{P0,2}$ [MPa] min	380					
Mez pevnosti R_m [MPa]	690–840					
Tažnost A_5 [%] min	10					
Tvrdość HB	200–240					
Modul pružnosti E [GPa]	209,5					
Hustota ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	7 810					
Lineární smrštění při tuhnutí [%]	2,10–2,20					

Tabulka 2 Cr–Ni martenzitická korozi vzdorná ocel [7].

1.4057 (X17CrNi16-2)	Chemické složení [hm. %]						
Cr – Ni martenzitická korozi vzdorná ocel	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
	0,12	max	max	max	max	15,0	1,50
	– 0,22	1,50	1,00	0,040	0,015	– 17,0	– 2,50
Charakteristika							
Konstrukční části s vyšší pevností v průmyslu vyrábějícím potraviny, mýdla a kyselinu octovou.							
Mechanické a fyzikální vlastnosti							
Stav	Žíhaný			Zuštěněný (QT800)			
Mez kluzu R_e nebo $R_P 0,2$ [MPa] min	–			600			
Mez pevnosti R_m [MPa]	max 950			800–950			
Tažnost A_5 [%] min	–			14			
Tvrdość HB max	295			–			
Modul pružnosti E [GPa]	215						
Hustota ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	7 700						

2.2 Výrobní zařízení

Aktuálně je výroba realizována na stroji Doosan DNM 500 II, jedná se o tříosou CNC frézku vybavenou dělicím zařízením. Stroj ovládá řídicí systém iTNC 530 společnosti Heidenhain [8]. Stroj je dále vybaven měřicí sondou MP12 společnosti Renishaw (ilustrační foto viz obr. 6). Tato sonda umožňuje užití různých délek a průměrů doteků. Při obráběcí operaci Dutina je využit dotek $\varnothing 1$.



Obr. 6 Měřicí sonda Renishaw MP12 [9].

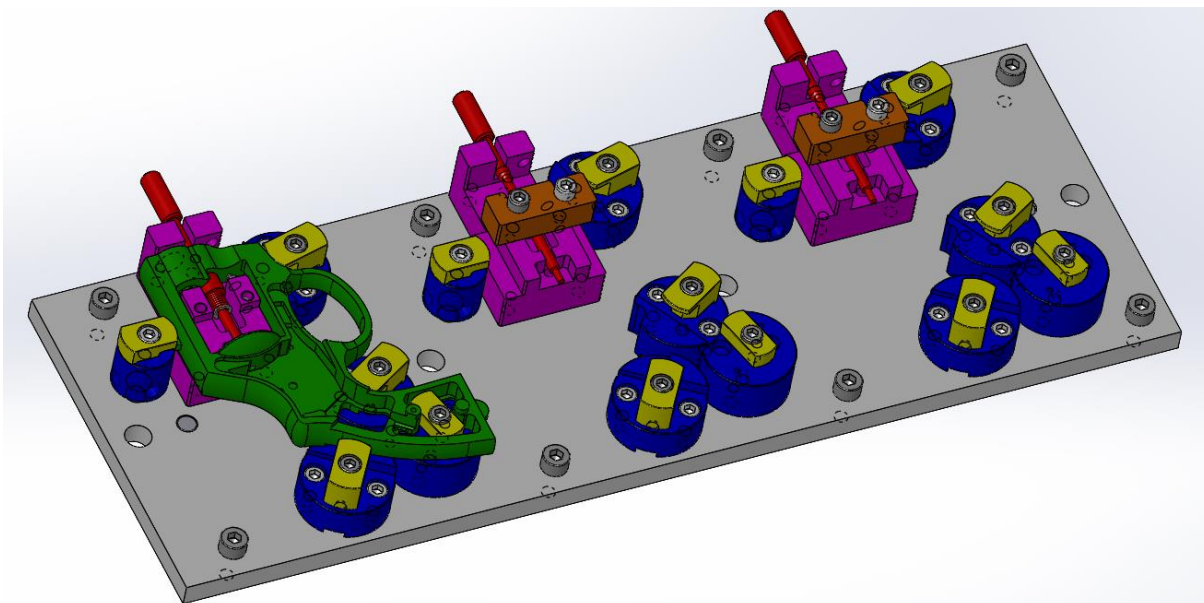
Tabulka 3 Technická data CNC frézky Doosan DNM 500 II [8].

Technická data		
Rozměry upínací plochy stolu	1200 x 540	[mm]
Délka drah stolu a vřetena (X; Y; Z)	1020; 540; 510	[mm]
Rychloposuv (X; Y; Z)	36; 36; 30	[m.min ⁻¹]
Max. rychlost pracovního posuvu	15	[m.min ⁻¹]
Výkon vřetena	15	[kW]
Maximální otáčky	8 000	[min ⁻¹]
Kapacita zásobníku	30	[ks]
Čas výměny nástroje	1,3	[s]
Upínací systém	ISO 40	[-]

2.2.1 Přípravek

Upnutí a ustavení rámu je provedeno pomocí trojnásobného speciálního přípravku. Tento přípravek je ustaven a upnut na pracovním stole děličky, kdy z druhé strany pracovního stolu je umístěn dle potřeby přípravek pro předešlou/následující operaci. Stykové ustavovací plochy a body jsou na již obrobených prvcích rámu. Ustavení rámu je řešeno ustavovacím trnem, ustavovací kostkou, pružným dorazem a opěrkami. Ustavovací trn vystředí rám do osy (viz osa rámu), ustavovací kostka a opěrky tvoří společně ustavovací polohu viz obr. 7.

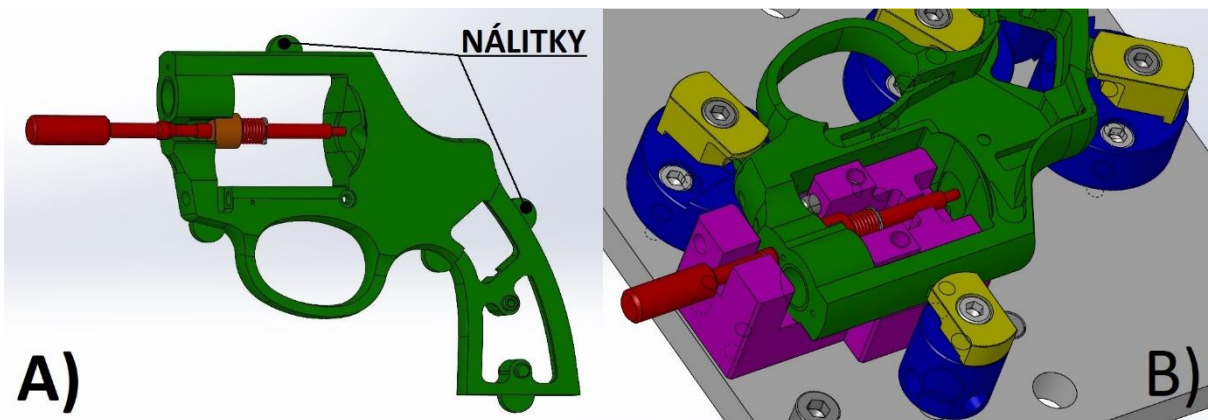
Upnutí zajišťují speciální upínky, které upínají celý rám proti pohybu v ose Z pomocí náلتků rámu (označeno na obr. 8 pozice A).



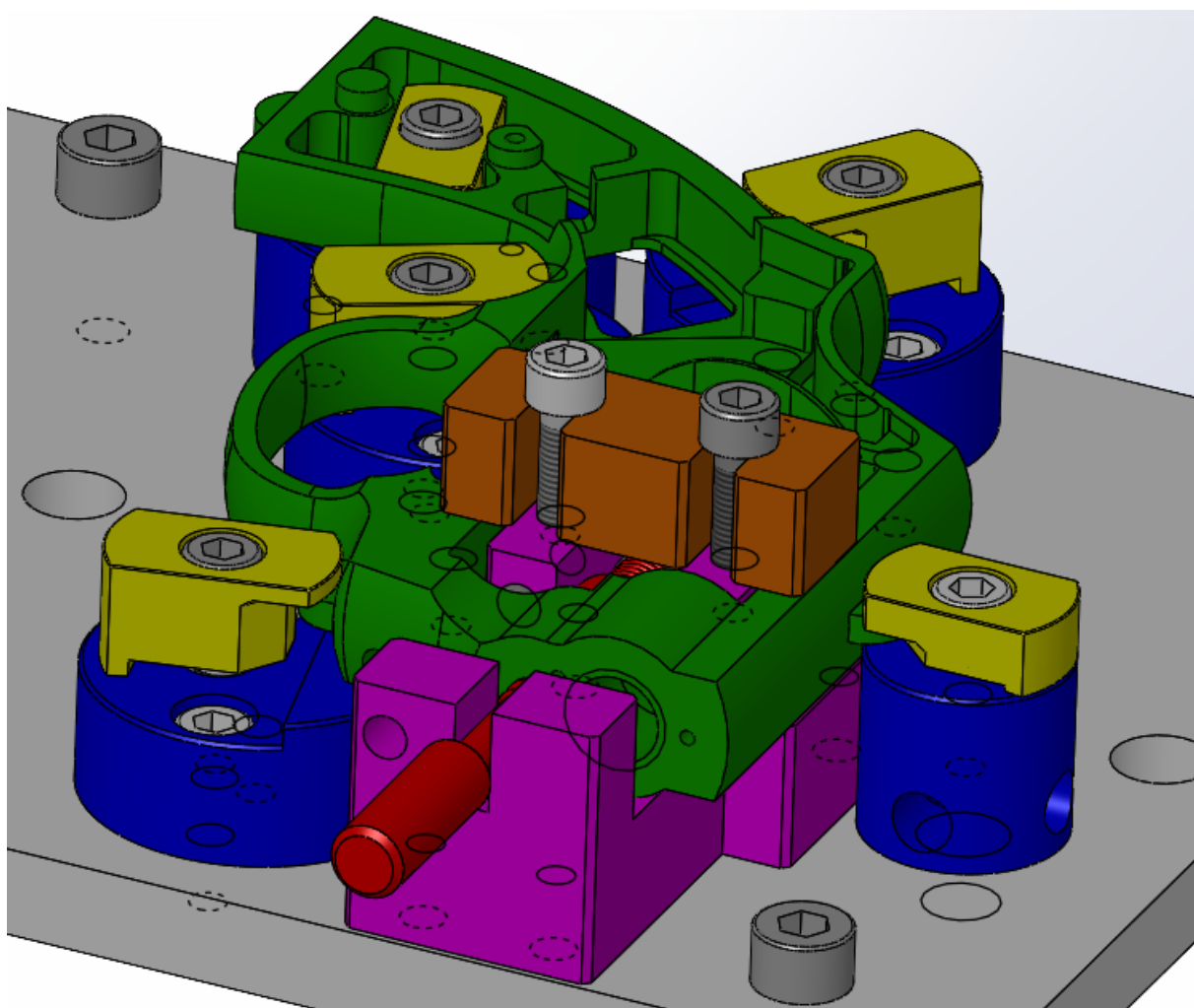
Obr. 7 Trojnásobný speciální přípravek.

Popis pracovního postupu při upínání [5]:

- 1) Do osy rámu vsadíme ustavovací trn viz obr. 8-A (červeně zvýrazněn).
- 2) Rám společně s ustavovacím trnem osadíme do upínače. Konkrétně do ustavovací kostky viz obr. 8-B (fialové zvýraznění).
- 3) Přiložíme přes okno ustavovací upínku a utáhnutím šroubů ustavíme rám do požadované polohy viz obr. 9 (oranžové zvýraznění).
- 4) Zkontrolujeme správnost ustavení.
- 5) Všechny ostatní upínky (žluté zvýraznění) otočíme do polohy nad náلتky rámu, následně tyto upínky utáhneme pomocí jejich šroubů k opěrkám ve správném pořadí (obr. 9).
- 6) Zkontrolujeme tuhost upnutí.
- 7) Povolíme šrouby ustavovací upínky a upínku spolu se šrouby odstraníme viz obr. 7 vlevo.
- 8) Zkontrolujeme tuhost a polohu upnutí.



Obr. 8 A) Ustavení trnu, B) osazení do upínače.

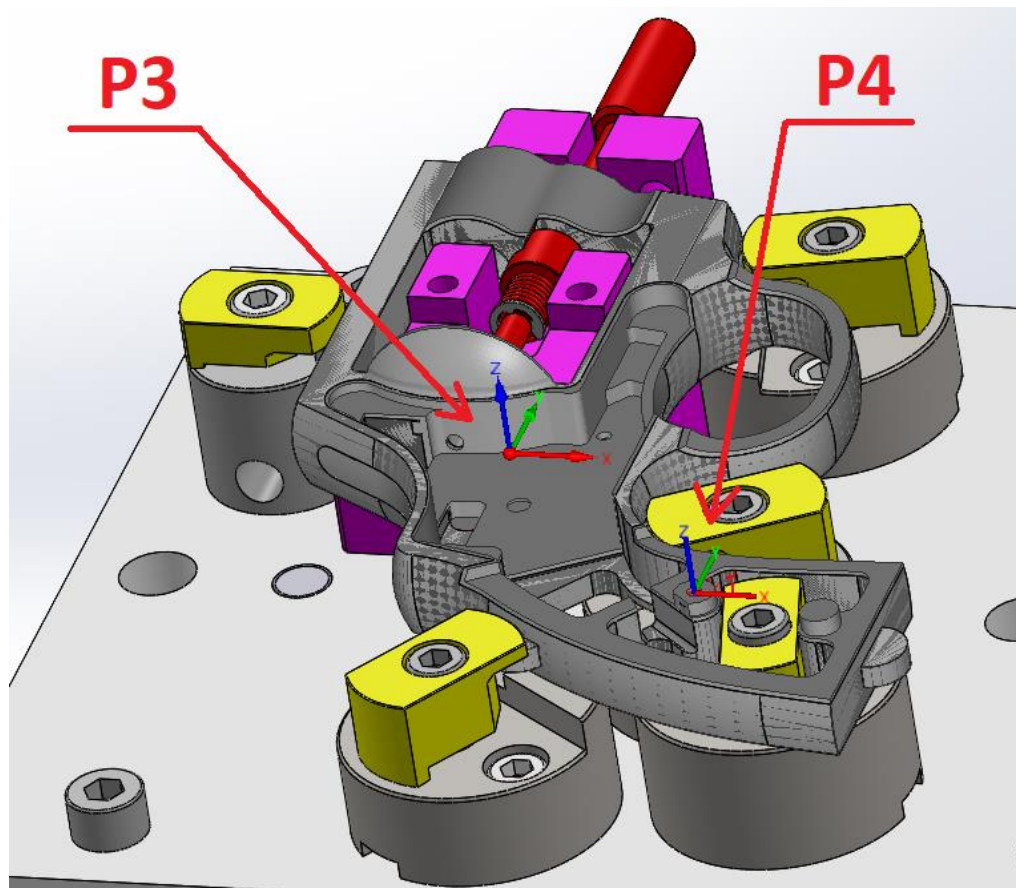


Obr. 9 Ustavení rámu kostkou.

2.3 Operace – Dutina

Operace Dutina je soubor dílčích operací, kdy dochází k frézování vnějších i vnitřních ploch, vrtání a vystružování děr a tváření závitů. Frézování je realizováno stopkovými monolitními frézami ze slinutého karbidu, tvarovými frézami z rychlořezné oceli, dále se na operaci podílí jedna stopková fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami (dále jen VBD). Polotovár rámu je zhotoven s plošnými přídávky materiálu pro třískové obrábění v rozmezí 0,8–2 mm v oblasti dna dutiny a stěny v rozmezí 0,8–4 mm [10].

Pro generování drah a CNC programu byl použit technologem program SurfCAM v5.2. Program Dutina nebyl tvořen jako ucelený projekt, ale jako jednotlivé části. Program byl po částech generován a editován do roku 2014. Vzhledem k tomu, že program byl složen z několika dílčích programů, které se nezachovaly, není možná efektivní zpětná editace celého programu Dutina, ani jednotlivých částí pomocí původního CAM softwaru. Většina posledních editací byla provedena pouze jako přidání dalších drah, nebo přepsání hodnot posuvů a otáček, kdy část nekorektních drah byla v programu zachována. To zapříčinilo, že některé dráhy nástrojů operují při pracovním posuvu mimo záběr obrobku. Takto editovaný program Dutina má celkem 8 872 řádků (řádkování programu po 2, tj. N0, N2 atd.). Poslední editací programu bylo vložení měřicího cyklu sondy pro korekci nulového bodu P4 [11].



Obr. 10 Poloha nulových bodů obrobku.

CNC program vychází ze dvou nulových bodů pro každý rám revolveru na trojnásobném upínací. Prvnímu obrobku odpovídají nulové body P3 a P4 viz obr. 10.

2.3.1 Analýza obráběcích strategií

Analýza vychází z programu Dutina, kdy jsou vybrány a popsány charakteristické části programu. Celková doba obrábění tří ráků je 145 minut pro „nerez“ a 106 minut pro „ocel“ [10].

A. Korekce nulového bodu P4

Prvním úkonem v programu je korekce nulového bodu P4, kdy měřicí sonda upraví pozici nulového bodu v tabulce TNC pomocí funkce G412 – vztažný bod kruhu zevnitř [12]. Automatické přepsání tohoto nulového bodu umožňuje lepší návaznost oblasti pažbičky na zbytek ráku. Důvodem zavedení této korekce byly rozdílně deformované ráky v oblasti pažbičky od různých dodavatelů [11].

Ukázka použití funkce G412

```

%:TAB: "TNC:\LAS.D" T*

```

```

G53 P01 4*

```

```

G51 T1*

```

```

G00 G90 X+999 Y+999 Z+999 A+999*

```

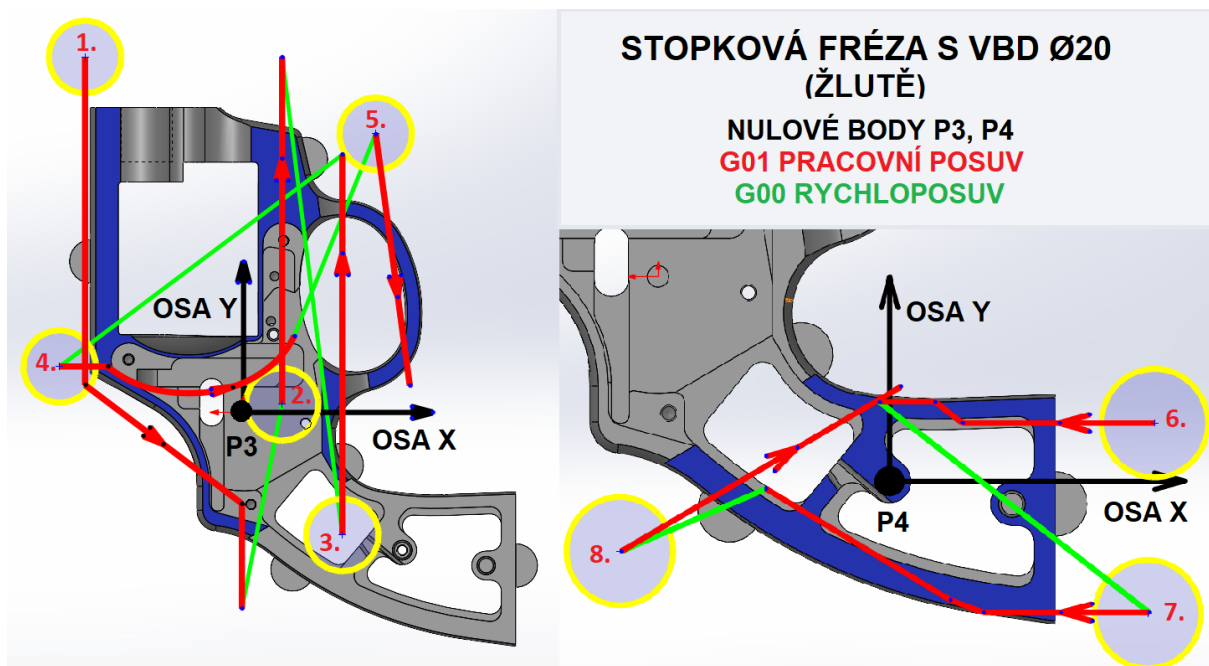
```

G412 Q321=+0 Q322=+0 Q262=+2.8 Q325=+0 Q247=+90 Q261=-1 Q320=+0.7
Q260=+40 Q301=+1 Q305=+4 Q331=+0 Q332=+0 Q303=+0 Q381=+0 Q382=+0

```

B. Frézování frézou s VBD Ø20

Fréza je vybavena destičkami EDPT10T304PDERHD s úhlem nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 90^\circ$, tj. do rohu. Na obr. 11 jsou zobrazeny a chronologicky seřazeny dráhy pracovního posuvu a přejezdů mezi jednotlivými drahami (rychluposuv), dále jsou modře zvýrazněny obráběné plochy.



Obr. 11 Dráhy frézy s VBD Ø20.

Axiální hloubka řezu je $a_p = 0,8$ mm. Frézování je realizováno sousledně i nesousledně, kdy oblast radiálního záběru frézy se často skokově mění v rozmezí 9-80 %. Řezné podmínky viz tab. 4.

Tabulka 4 Řezné podmínky stopkové frézy Ø20 s VBD [10].

	Ocel (ČSN 42 2670)	Nerez (1.4057)
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	180	150
Otáčky n [min ⁻¹]	2 870	2 385
Posuv na zub f_z [mm]	0,1	0,08
Posuvová rychlost v_f [mm.min ⁻¹]	860	570

Ukázka programu pro frézu Ø20 s VBD

N160 T1 G17 S2385 ; STOP.FR.PR.20 (PLATEK EDPT10T3)

N162 M6*

N164 %:TAB: "TNC:\LAS.D"*

N166 G53 P01 3*

N168 G51 T2*

N170 G00 G90 A+0 X-44.13 Y+94 Z+100 G40 M3*

N172 M28*

N174 M10*

N176 G00 Z+2*

N178 G01 Z+0 F1000*

N180 G42 X-43.7 F570*

N182 G01 Y+11.3*

N184 G40 X-44.13*

N186 G00 Z+20*

N188 ; [...] !

N190 ;***STOP.FR.TVR.PR.20 ***

N192 X-41.657 Y+32.3*

N194 Z+2*

N196 G01 Z+0 F1000*

N198 G42 X-41.526 F570*

...

Z ukázky programu (viz výše), lze usoudit, že původně byla v programu monolitní stopková fréza Ø20 ze slinutého karbidu (řádek N190), která byla následně nahrazena frézou totožného průměru s VBD. Při změně nástroje byly dráhy zachovány. Změna proběhla pouze u řezných podmínek [11].

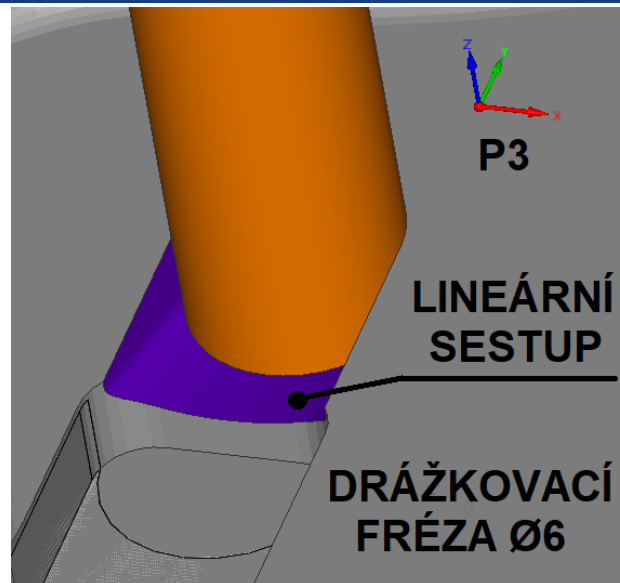
Výše zvýrazněné modré plochy jsou dokončovací operací z hlediska třískového obrábění. Jakost povrchu odpovídá $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ a $R_z = 3,6\text{--}4,5 \mu\text{m}$. Celkové dokončení povrchu je realizováno kartáčováním.

C. Frézování průchozí drážky pro tlačítko válce

Průchozí drážka pro tlačítko má velikost 6,3 mm. Hrubování této drážky provádí drážkovací fréza Ø6, kdy sestup skrz je programován jako postupné zahlubování po lineární dráze viz obr. 12. Hodnota pracovního posuvu v ose Z je konstantně nastavena na 0,5 mm na jednu dráhu.

Stěna průchozí drážky pro tlačítko je dokončována válcovou čelní monolitní frézou Ø6 se čtyřmi zuby za pomoci lineárních posuvů a kruhové interpolace.

Ukázka programu pro oba nástroje níže.



Obr. 12 Postupné zahlubování po lineární dráze.

Ukázka programu pro drážkovací frézu Ø6

```
N1176 T9 G17 S3700 ; DR.FR.PR.6 TVR.;HRUB. DRAZKA PRO TLACITKO
N1178 M6*
N1180 G51 T7*
N1182 %:TAB: "TNC:\LAS.D"*
N1184 G53 P01 3*
N1186 G00 G90 X-8.75 Y+6.05 Z+100 G40 M3*
N1188 M10*
N1190 G00 Z+20*
N1192 G01 Z-8.5 F5000 M28*
N1194 G01 Z-10.95 F40*
N1196 G01 Y-0.45 Z-11.45 F110*
N1198 G01 Y+6.05 Z-11.95*
N1200 G01 Y-0.45 Z-12.45*
N1202 G01 Y+6.05 Z-12.95*
...
```

Ukázka programu pro válcovou čelní frézu Ø6

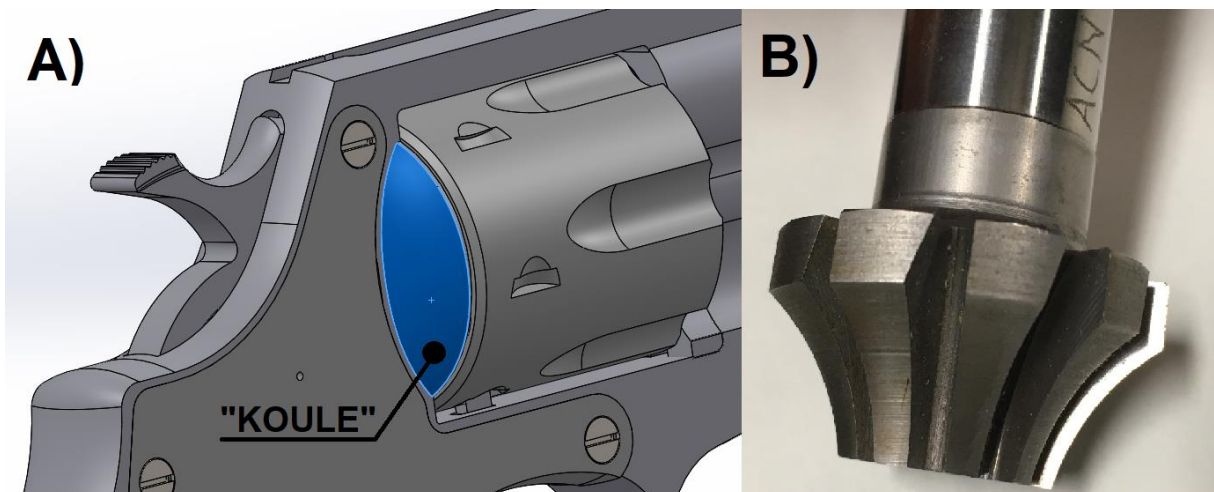
```
N5078 T13 G17 S4200 ;STOP.FR.PR.6 TVR.SLICHT
N5080 M6*
N5082 G51 T11*
N5084 %:TAB: "TNC:\LAS.D"*
N5086 G53 P01 3*
...
N5496 ; SLICHT DRAZKA PRO TLACITKO
N5498 G00 X-8.75 Y+6.05*
N5500 G01 Z-16.2 F5000*
N5502 G01 G42 X-9 Y+6.06 F330*
N5504 G02 X-8.5 Y+6.05 I-8.75 J+6.05*
N5506 G01 X-8.5 Y-0.45*
N5508 G02 X-9 Y-0.45 I-8.75 J-0.45*
N5510 G01 Y+6.05*
...
```

D. Dokončování koule

„Koule“ je firemní označení pro tvarový kulový prvek rámu, který brání vysunutí náboje z válce, zajišťuje náběh ovladače válce do uzamčené polohy a zároveň je z druhé strany designovým prvkem (obr. 13 pozice A).

Koule je dokončována speciální tvarovou čtvrtkruhovou vydutou frézou s 10 zuby o pracovní části nástroje R17,5 viz obr. 13 pozice B.

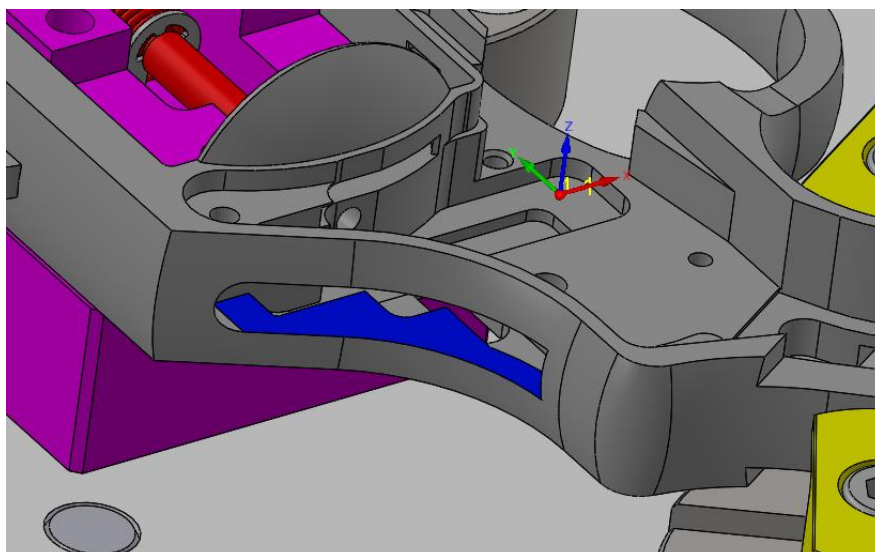
Fréza v tomto případě po najetí na korekci dokončuje kulovou plochu nesousledně kruhovou interpolací G03 při otáčkách $n = 200 \text{ min}^{-1}$ a posuvové rychlosti $v_f = 40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, to přibližně odpovídá posuvu na zub $f_z = 0,01 \text{ mm}$. Odstraňovaný přírůstek materiálu je maximálně 0,85 mm na plochu koule.



Obr. 13 A) Detail koule, B) speciální fréza.

E. Obrábění drážky pro kohout

Drážka (obr. 14 modře zvýrazněná plocha) pro kohout je obráběna korunkovou frézou z rychlořezné oceli o totožné šířce jako je drážka. Vzhledem k tvarovému provedení drážky a poloze ostatních prvků je nutné provést frézování zevnitř i z venku rámu. Korunková fréza obrábí při otáčkách $n = 160 \text{ min}^{-1}$ a posuvové rychlosti $v_f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. To odpovídá vzhledem k počtu 8 zubů posuvu na zub $f_z = 0,012 \text{ mm}$.



Obr. 14 Drážka pro kohout.

F. Výroba děr pro uložení mechanismu

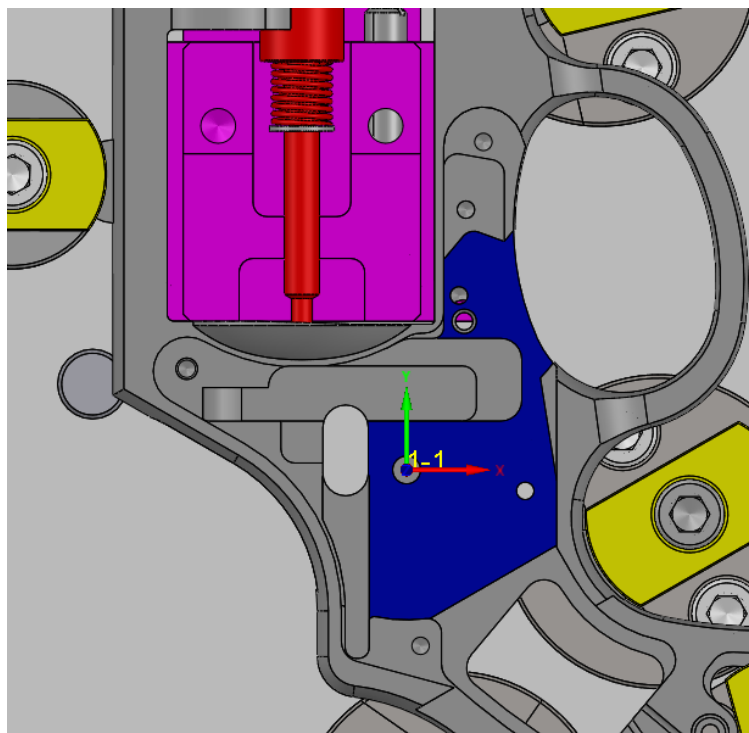
Jedná se o neprůchozí díry, které lze rozměrově rozdělit na 2x Ø2,5 a 1x Ø4, kdy díra Ø4 je částečně předlita již v polotovaru, tj. Ø4 do hloubky 1,5 mm. Tyto díry slouží k uložení kolíků mechanismu s vůlí. Výrobní tolerance obou druhů děr je E8. Nástroje pro výrobu díry Ø4 viz tabulka 8. Navrtávák vytvoří v již předlité díře pilotní otvor pro vrták Ø3,8. Vrták následně hrubuje díru do hloubky 3,4 mm (na špičku). Dokončení provádí válcová fréza Ø3, která kruhovou interpolací v hloubce 3,5 mm dokončí dno i stěnu díry na požadovaný rozměr Ø4E8 s rovným dnem. Ostatní díry na kolíky jsou vyrobeny totožným způsobem.

Tabulka 5 Nástroje pro výrobu díry Ø4E8.

Pořadí nástroje	Nástroj	Materiál	Průměr [mm]	Úhel špičky [°]
1	navrtávák	SK	3	90
2	vrták	SK	3,8	118
3	válcová čelní fréza	SK	3	-

G. Dokončování vnitřních ploch dutiny

Obrábění vnitřní části dutiny, jako jsou dna drážek a jejich stěny, nelze charakterizovat jako obrábění dle strategie vytvořené pouze CAM softwarem, protože většina těchto drah byla po vzniku v programu SurfCAM manuálně upravena v textovém editoru. Konkrétně stěny jsou dokončovány podél křivek obrobku, kdy použitý nástroj odpovídá nejmenšímu rádiusu dané křivky s následným výjezdem v ose Z. Největší plocha dutiny (viz obr. 15 zvýrazněno modře) je dokončována prodlouženou válcovou čelní frézou Ø4 se čtyřmi zuby s nájezdem a výjezdem z řezu pouze v ose Z.



Obr. 15 Detail dokončování Dutiny.

2.3.2 Nástroje

Stávající technologie obrábí oba druhy polotovaru (ocelový i nerezový rám) totožnými nástroji (tab. 6–9). Řezné podmínky se liší u monolitních fréz ze slinutého karbidu a fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami (dále jen VBD). Speciální nástroje typu tvarová fréza nebo korunková fréza z rychlořezné oceli mají totožné řezné podmínky pro oba druhy polotovaru [10]. Většina níže zmíněných nástrojů jsou upínány v kleštinových upínačích ISO 40.

Použité nástroje ve frézovací operaci Dutina:

Tabulka 6 Konvenční monolitní frézy [13].

Způsob upnutí	Umístění zubů	Materiál / povlak	Typ frézy (úhel nastavení)	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
stopka	válcová čelní	SK / AlTiN	do rohu (90°)	Ø10	4
				Ø8	4
				Ø6L	6
				Ø6L	4
				Ø4L	4
				Ø3	2
			kulová	Ø20	2
drážkovací	Ø6	2			

*SK = slinutý karbid, 6L a 4L = prodloužená verze frézy.


Tabulka 7 Stopková fréza s VBD [14].

Držák	Způsob upnutí			Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
20A03R028B20ED10	stopka – WELDON			do rohu (90°)	Ø20	3
Destička	Tvar	Úhel hřbetu [°]	Velikost destičky [mm]	Povlak	Rádus špičky [mm]	Počet ostří
EDPT10T304PDERHD	E (75°)	15	12	TiN	0,4	2



Tabulka 8 Speciální frézy (tvarové).

Způsob upnutí	Umístění zubů	Materiál	Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
stopka	válcová čelní	HSS	speciální korunková	Ø27	8
				Ø22	8
				Ø12	8
				Ø10	6
		čtvrtkruhová vydutá	R20	10	
		SK	speciální čtvrtkruhová vydutá	R10,75	10
				R17,5	10
drážkovací	Ø2,5	2			



Speciální frézy byly vyrobeny buď úpravou z konvenčních nástrojů, nebo byly vyrobeny na zakázku jako nástroje nové.

Tabulka 9 Vrtáky, výstružníky a jiné.

Způsob upnutí	Nástroj	Materiál/povlak	Velikost [mm]	Úhel špičky [°]
stopka	vrták	HSS Co5	Ø3,8	118
			Ø2,6	118
		navrtávák	SK	Ø2,4
	Ø2,2			90
	záhlubník	HSS	Ø12,0	90
	výstružník		Ø2,5 E8	-
	tvářecí závitník	HSS PM/TiN	M3	-

HSS Co5 – rychlořezná ocel obsahující 5 % kobaltu.

HSS PM – rychlořezná ocel zhotovená práškovou metalurgií.

Celkový počet nástrojů společně s měřicí sondou je 25 kusů, kdy kapacita zásobníku je 30 nástrojů.

2.3.3 Trvanlivost nástrojů

Trvanlivost nástrojů charakterizují tab. 10 pro ocelové rámy a tab. 11 pro rámy z nerez. Jedná se o nástroje nové, u nástrojů použitých (přeostřených) nelze relevantně porovnávat trvanlivost. Důvodem je odlišný počet přeostření, kdy čelní válcová fréza Ø6 po opakovaném přeostření může dosahovat pouze řezného Ø5,2. Počet obrobených kusů do výměny viz tab. 10 a tab. 11 odpovídá průměrným hodnotám za měsíce duben a květen 2020 [15].

Tabulka 10 Trvanlivost nástrojů při obrábění ocelového rámu [15].

Nástroj			Řezné podmínky		Počet obrobených kusů [ks]
Druh	Velikost [mm]	Počet zubů [-]	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]	Ocel
Fréza s VBD	Ø20	3	2 870	860	45
Fréza válcová čelní SK	Ø10	4	4 400	1400	75
	Ø8	4	6 000	1680	84
	Ø6L	4	7 900	1200	72
	Ø6L	6	8 000	720	66
	Ø4L	4	2 000	120	84
	Ø3	4	3 000	60	87
Fréza kulová SK	Ø20	2	300	60	93
Fréza drážkovací SK	Ø6	2	4 700	140	72
Speciální tvarová fréza HSS	R17,5	10	200	60	150+
	R20	10	300	60	150+
	R10,75	10	200	50	150+
Speciální korunková fréza HSS	Ø27	8	120	5	63
	Ø22	8	200	60	63
	Ø12	8	160	30	93
	Ø10	6	230	30	84
Speciální navrtávák HSS	Ø2,2	2	1 600	160	150+
Vrták SK	Ø2,6	2	2 500	160	105
Vrták HSS Co5	Ø3,8	2	2 600	80	84
Vrták HSS Co5	Ø2,4	2	1 600	40	60
Speciální drážkovací fréza HSS	Ø2,5	2	2 600	30	84
Výstružník SK	Ø2,5E8	5	2 530	177	123
Záhlubník SK	Ø12/90°	4	1 200	300	102
Tvářecí závitník	M3	3	1 000	-	84

Počty obrobených kusů odpovídají násobku tří (trojnásobný upínač). Kdy počet obrobených 84 kusů odpovídá trvanlivosti dvě směny. Porovnáme-li počty obrobených kusů mezi ocelovými a nerezovými rámy, vychází cca 2/3 trvanlivost nástrojů při obrábění nerezových rámu vůči rámu ocelovému.

Nejnižší trvanlivost zde dosahují vyměnitelné břitové destičky frézy Ø20 s třemi zuby. Tyto VBD disponují dvěma břity, tudíž lze teoreticky hodnotu násobit dvěma, prakticky se jedná o zastavení stroje a výměnu (otočení) VBD.

Tabulka 11 Trvanlivost nástrojů při obrábění nerezového rámu [15].

Nástroj			Řezné podmínky		Počet obrobeneých kusů [ks]
Druh	Velikost [mm]	Počet zubů [-]	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]	Nerez
Fréza s VBD	Ø20	3	2385	570	36
Fréza válcová čelní SK	Ø10	4	1600	250	51
	Ø8	4	2000	240	57
	Ø6L	4	2600	260	51
	Ø6L	6	4200	330	48
	Ø4L	4	4000	120	60
	Ø3	4	2000	60	87
Fréza kulová SK	Ø20	2	300	40	66
Fréza drážkovací SK	Ø6	2	3700	140	42
Speciální tvarová fréza HSS	R17,5	10	200	60	100+
	R20	10	200	40	100+
	R10,75	10	200	50	100+
Speciální korunková fréza HSS	Ø27	8	160	5	42
	Ø22	8	150	20	42
	Ø12	8	120	30	69
	Ø10	6	200	60	54
Speciální navrtávák HSS	Ø2,2	2	1600	160	100+
Vrták SK	Ø2,6	2	2000	40	63
Vrták HSS Co5	Ø3,8	2	1600	40	54
Vrták HSS Co5	Ø2,4	2	2600	100	54
Speciální drážkovací fréza HSS	Ø2,5	2	2600	30	57
Výstružník SK	Ø2,5E8	5	1800	60	81
Záhlubník SK	Ø12/90°	4	1200	300	93
Tvárečí závitník	M3	3	800	-	57



Obr. 16 Zlomená korunková fréza Ø10.

Ke zlomení nástrojů viz obr. 16 dochází ve většině případů kvůli vysokému opotřebení nástroje, který hrubuje součást v předešlém úkonu, nebo kvůli nečistotám vyskytujících se v odlitcích rámu.

Cena jednotlivých nástrojů je na přání dodavatelů neveřejná. Celková cena nového nástrojového vybavení pro operaci Dutina je 35 890 Kč (bez držáku VBD, pouze 3x VBD) [11].

3 ANALÝZA MODERNÍCH TRENDŮ V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ

Průmysl 4.0, robotizace, kvalifikovaný operátor, progresivní řezné nástroje a mnoho dalších jsou v dnešní době hybateli v oblasti třískového obrábění.

Strojírenství se již několik let potýká s nedostatkem kvalifikovaných pracovníků. Část uchazečů o pozici operátor výroby nemá zájem pracovat ve vícesměnném provozu, část uchazečů ve zkušební době nevyhovuje vysoké pracovnímu nasazení. Firmy v podobných oborech si tzv. přepládají pracovníky. Výsledkem těchto jevů je vysoká fluktuace a výrazný podstat zaměstnanců [16].

Tyto okolnosti pravděpodobně urychlí nástup automatizace, robotizace, Home office, aj. Pro firmu to v blízké budoucnosti znamená přenesení mezioperační kontroly z operátora výroby na obrobkovou sondu stroje viz kapitola 3.1, nebo na samostatný kontrolní systém viz kapitola 3.2.

V neposlední řadě je potřeba neustále optimalizovat výrobní náklady v kombinaci s kvalitou výrobků. Jednou z možností optimalizace je změna obráběcích strategií s návrhem použití progresivních nástrojů.

3.1 Využití sondy pro nulové body/měření

Cílem využití obrobkových sond je automatická úprava nulového bodu a případné měření různé škály prvků na obráběné součásti bez asistence operátora výroby, popř. seřizovače.

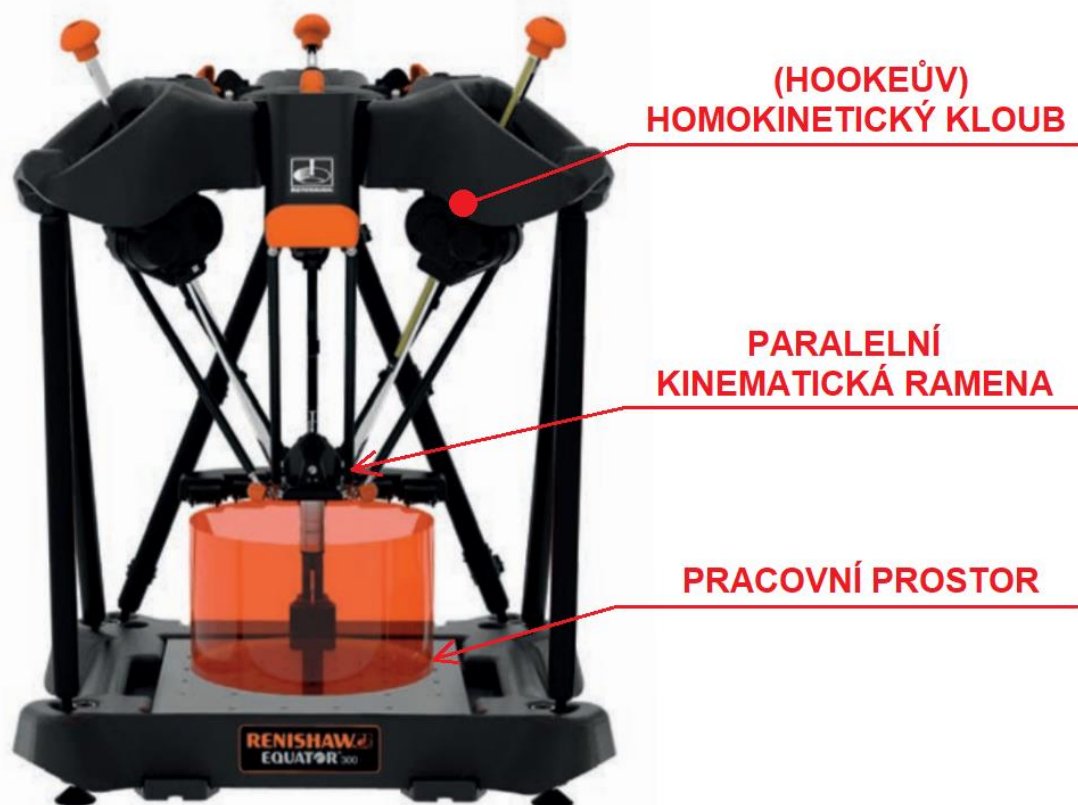
Výhody využití automatické editace nulových bodů spočívají v částečném odstranění lidského faktoru při ustavování obrobků. Jako příklad lze uvést obrábění členitých odlitků, kdy není efektivně možné obrobek součást pomocí jednoho nulového bodu obrobku. Důvodem je mírná odlišnost jednotlivých výrobních dávek odlitků viz kap. 2.3.2. Dále je výhodou celkové urychlení ustavení na vícenásobných upínačích.

Měření obrobkovou sondou je dalším automatizačním prvkem, kdy kontrolní měření obrobku nevykonává operátor. Mezi výhody lze zařadit možnost využití sofistikovaných měřicích cyklů, které operátor není schopen jednoduše realizovat bez patřičných pomůcek a přípravků. Mezi nevýhody se řadí riziko naměření neadekvátních hodnot důvodem znečištění např. u neprůchozích otvorů může měření znemožnit směs řezné emulze/kapaliny s příměsí třísek. Dále je nutno zhodnotit nutnost měření, kdy obráběcí stroj nesmí nahradit funkci OTK (odbor technické kontroly) např. vzhledem k nejistotě měření. Dalším aspektem je prodloužení výrobního času – obrobkové sondy využívají kvůli bezpečnosti redukovanou rychlost posuvu. Výsledné měření pomocí obrobkové sondy musí být vhodným kompromisem rozdělení práce mezi operátorem výroby, CNC strojem a pracovištěm OTK [17, 18].

3.2 Kontrolní systémy Equator

Samostatný kontrolní systém Equator společnosti Renishaw je flexibilní měřidlo zajišťující rychlou, opakovatelnou a snadnou kontrolu rozměrů. Kdy samotný systém Equator může být článkem automatizované linky, nebo samostatným kontrolním prvkem v ručním režimu.

Vestavěný software, který lze propojit přímo s CNC řídicím systémem stroje, umožňuje řadu efektivních možností, jak aktivně zavádět zpětnou vazbu do stroje. Aktivní správou procesu lze dosáhnout automatického přepsání korekcí nástroje a následné výměny nástroje dřív, než dojde k výrobě neshodného dílu. Samozřejmostí je kompenzace více nástrojového vybavení u více strojů, čímž lze dosáhnout výhodnějšího nastavení výrobního cyklu několika strojů. [19].



Obr. 17 Kontrolní systém Equator 300 [19].

Pro firemní potřebu by měl dostačovat rozsahem měření Equator 300 viz obr. 17, kde oranžový válec znázorňuje pracovní prostor o $\varnothing 300$ a výšce $z = 150$ mm. Typ systému doporučil produktový manažer Ing. Michal Tvardek na základě rozměrů rámu revolveru. Dále by bylo na doporučení vhodné doplnit kontrolní systém o kryt a sadu doteků pro měření širokého spektra vyráběných součástí, konkrétně pro měření průchozích děr ve válci revolveru [20].

Vhodné umístění kontrolního systému může snížit prostoje operátorů, kdy nyní musí každý první (zaváděcí) kus projít kontrolou na pracovišti OTK (kontrola kvality). Přesunem části kontrol na systém Equator lze zároveň snížit vytížení pracovníku kontroly. Další nespornou výhodou je možnost nastavení pravidelné kontroly (kalibrace) oproti vzorovému (master) dílu, buď periodicky např. po 20 kusech, nebo při změně teploty o stanovenou hodnotu. Kdy nejistota porovnávání dílů se pohybuje v rozmezí ± 2 μm .

Klíčovými vlastnostmi z pohledu operátora jsou jednoduchá obsluha a spolehlivost, kdy po stisknutí jednoho tlačítka kontrolní systém zkontroluje předem naprogramované rozměry, přepíše korekce nástrojů ve stroji, upozorní operátora za jak dlouho bude nutná výměna nástroje a zobrazí graf pro sledování celého procesu.

Plné automatizace lze dosáhnout manipulačním robotem, který je schopen zakládat obrobky jak do stroje, tak do kontrolního systému Equator s opakovatelnou přesností např. pomocí pneumatického upínání zakládací podložky, na které je upnut obrobek. Vizualizace viz obr. 18.



Obr. 18 Možné využití manipulačního robotu a systému Equator [19].

Příklad automatizovaného výrobního cyklu:

Manipulační robot umístí vzorový kus do kontrolního systému, Equator načítá data pro kalibrační soubor, mezitím robot umístí první kus do obráběcího centra.

Po plném načtení kalibračních dat je vzorový kus uložen do police a po obrobení je robotem umístěn první kus do měřicího systému pro porovnání s kalibračním souborem.

Následně robot již jen vyměňuje podložky s upnutými kusy a dle potřeby (nastavení počtu/změna teploty) překontroluje vzorový kus pro úpravu kalibračního souboru.

3.2.1 Výhody kontrolních systémů Equator

Řízení výrobního procesu:

- Automatická aktualizace korekcí nástroje – konkrétní nástroj spojen s konkrétním obráběným prvkem.
- Výsledky měření jsou ihned zobrazovány v grafu pro sledování celého procesu.
- Statistické vyhodnocení umožňuje detailní náhled na jednotlivé procesy.

Udržení přesnosti:

- Přesné měření i v prostředí výrobní haly.
- Operační použití mezi 5 °C až 50 °C a do vlhkosti max. 80 %.
- Nejistota porovnávání $\pm 2 \mu\text{m}$.

Obsluha:

- Minimální školení pro výrobní operátory.
- Spouštění složitých kontrolních postupů stisknutím jediného tlačítka.
- Možná automatická volba programu pomocí čtečky čárkových kódů.

Snížení nákladů na kontrolu:

- Jedno měřidlo pro více operací a výrobků.
- Nízké náklady na kalibraci.

3.3 Návrh progresivních nástrojů pro operaci Dutina

Návrh nástrojového vybavení je koncipován na míru dle přídavek na obrábění pro odlitek rámu revolveru viz tab. 12. Materiál obrobku ČSN 42 2670 odpovídá materiálové skupině ISO P1.5 a materiál 1.4057 lze zařadit do skupiny ISO P5.0 dle materiálové specifikace společnosti Sandvik Coromant.

Tabulka 12 Přídávky na obrábění [5].

Typ přídávku	Velikost [mm]
Na plochy	0,8–2,0 (většina 0,8)
Na stěny	0,8–4,0 (většina 0,8)

Aktuální počet nástrojů pro operaci Dutina čítá 24 nástrojů v zásobníku o kapacitě 30 nástrojů.

Úkolem je přehodnotit využití stávajících nástrojů a navrhnout, buď změnu obráběcí strategie např. optimalizovat šířku záběru hlavního ostří ve vztahu k radiální hloubce řezu, nebo stávající nástroj/nástroje vyměnit za jiný progresivnější nástroj.

Výsledný návrh rozděluje operaci Dutina na dva druhy frézování.

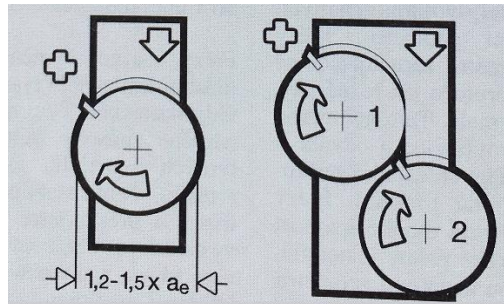
Rozdělení:

- Rovinné plochy – čelní fréza s VBD, nebo vyměnitelnou frézovací hlavici.
- Stěny – válcová čelní monolitní fréza ze SK.

3.3.1 Frézy s VBD

Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) není nutno představovat, protože vývoj mechanicky upínaných VBD ze slinutého karbidu začal již v 50. letech 20. století. Dnes jsou tyto nástroje rozšířeny ve většině odvětví obrábění [20].

Aplikací fréz s VBD pro operaci Dutina je cíleno na čelní frézování. Velikost čelní frézy $\varnothing 12-16$ je zvolena na základě velikosti čelních ploch na rámu revolveru a obecného využití radiálního záběru frézy viz obr. 19.



Obr. 19 Doporučená velikost čelní frézy [29].

Na základě poptávky, společnosti Sandvik Coromant, KENNAMETAL navrhly tyto nástroje (držáky frézovacích těles nejsou předmětem rozboru):

A. Nabídka společnosti Sandvik Coromant [22]:

Tabulka 13 Sandvik Coromant – válcová čelní fréza do rohu $\varnothing 12$ [23, 24].

Držák	Způsob upnutí			Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
R390-012EH12-07M	závit E12			do rohu (90°)	$\varnothing 12$	3
Destička	Tvar	Úhel hřbetu [°]	Velikost destičky [mm]	Povlak	Rádus špičky [mm]	Počet ostří
390R-070204M-PM 4340	L	18	6,35	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN	0,4	2



B. Nabídka společnosti KENNAMETAL [25]:

Tabulka 14 KENNAMETAL – čelní fréza Ø16 pro vysoké posuvy [26, 27].

Držák	Způsob upnutí			Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
7792VXP06SA016 Z2R25	závit M8			Čelní (10°)	Ø16	2
Destička	Tvar	Úhel hřbetu [°]	Velikost destičky [mm]	Povlak	Rádus špičky [mm]	Počet ostří
XPLT060308ERD 41	X	11	7	TiN+TiCN+ Al ₂ O ₃	0,8	4

C. Řezné podmínky:

Doporučené řezné podmínky (tab. 15) vychází z katalogů jednotlivých výrobců. Materiálová charakteristika viz kap. 3.3.4. Standartní trvanlivost VBD od obou dodavatelů je cca $T = 15-20$ min při dodržení doporučených řezných podmínek [22, 25]. Výhodou u frézy Ø16 spol. KENNAMETAL je počet ostří na destičku, tj. čtyři ostří oproti variantě spol. Sandvik Coromant, kdy vyměnitelná břitová destička má pouze dvě ostří. Obě tyto čelní frézy jsou koncipovány pro hrubování čelních ploch.

Tabulka 15 Doporučené řezné podmínky fréz s VBD [24, 27].

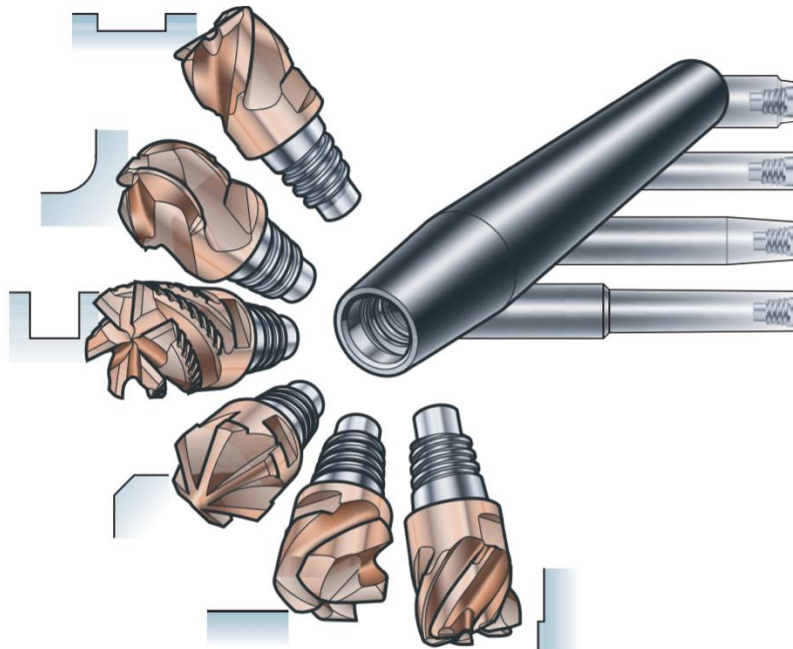
Nástroj	Řezné podmínky pro „Ocel“		Řezné podmínky pro „Nerez“	
	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]
Sandvik Coromant Ø12 3Z	280–290	0,03–0,10	105–140	0,03–0,10
KENNAMETAL Ø16 2Z	125–350	0,35–0,94	70–170	0,35–0,94

3.3.2 Vyměnitelné frézovací hlavice

Frézovací hlavice jsou již plnohodnotným zástupcem mezi frézovacími nástroji, které nabízí již většina renomovaných společností zabývajících se výrobou řezných nástrojů (WNT, SECO, Sandvik Coromant, ISCAR). Základním prvkem výměnných hlavic je samostředící závit, který zaručuje spolehlivé upnutí a zajišťuje maximální tuhost vzhledem k délce upínače.

Výhodou směrem k obsluze stroje je možnost vyměnit frézovací hlavici přímo ve stroji, kdy není třeba upínač s nástrojem vyjmout z vřeten. Tudíž např. u hrubování není třeba upravovat korekci nástroje. Společnosti zaručují opakovatelnost upnutí výměnné hlavic po dodržení postupu upínání, kdy hlavní roli hraje čistota upínacího závitu jak na upínači, tak na frézovací hlavici [28].

Švédská společnost Sandvik Coromant nabízí řešení CoroMill 316 obr. 20. Tato řada zahrnuje nejrůznější typy frézovacích hlavic optimalizovaných pro specifické aplikace a obráběné materiály.



Obr. 20 Systém frézovacích nástrojů s výměnnými hlavicemi CoroMill 316 [28].

Druhy aplikací frézovacích hlavic (viz obr. 20):


- Frézování drážek.
- Tvarové frézování.
- Hrubovací frézování.
- Frézování zkosených hran, navrtávání přesných děr.
- Čelní frézování s vysokými rychlostmi posuvu.
- Všeobecné frézování.

Standartní prodejní sortiment optimalizovaných hlavic je v rozpětí $\varnothing 10-25$. Dále Sandvik Coromant nabízí výrobu výměnných hlavic na míru, kdy šíře využití fréz je od materiálové skupiny obrobku ISO P až po skupinu ISO S. Jako příklad lze uvést hrubování niklových slitin ISO S frézovacími hlavicemi s pájenými keramickými břity.

Na základě výše uvedených výhod byly vybrány vyměnitelné frézovací hlavice společností Sandvik Coromant a KENNAMETAL:

Tabulka 16 Sandvik Coromant – vyměnitelná frézovací hlavice Ø12 [29].

Vyměnitelná frézovací hlavice	Způsob upnutí		Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
		závit E12		do rohu (90°)	Ø12
CoroMill 316	Maximální hloubka řezu a_{pmax} [mm]	Sražení rohu [°]	Povlak	Počet přestřehů [-]	
316-12SL442-12000P 1730				14,4	45



Tabulka 17 KENNAMETAL – vyměnitelná frézovací hlavice Ø12 [30].

Vyměnitelná frézovací hlavice	Způsob upnutí		Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
		závit DL12		do rohu (90°)	Ø12
DUO-LOCK HARVI	Maximální hloubka řezu a_{pmax} [mm]	Sražení rohu [°]	Povlak	Počet přestřehů [-]	
UKDV1200X4CV				18	45



D. Řezné podmínky:

Doporučené řezné (tab. 18) podmínky vychází z katalogů jednotlivých výrobců. Materiálová charakteristika viz kap. 3.3.4. Standardní trvanlivost vyměnitelných frézovacích hlavice odpovídá trvanlivosti konvenčních monolitních nástrojů ze slinutého karbidu [29, 30]. Tyto nástroje jsou koncipovány pro dokončovací frézování čelních ploch obrobku.

Tabulka 18 Doporučené řezné podmínky vyměnitelných hlavice [29, 30].

Nástroj	Řezné podmínky pro „Ocel“		Řezné podmínky pro „Nerez“	
	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]
Sandvik Coromant výměnná hlavice Ø12 4Z	150–180	0,022–0,057	70–85	0,018–0,047
KENNAMETAL výměnná hlavice Ø12 4Z	135–180	0,015–0,070	50–75	0,040

3.3.3 Rozbor nástrojů pro čelní frézování

Cílem rozboru je stanovit startovací řezné podmínky pro další optimalizaci při testování. Šířka záběru a_e (radiální záběr) čelního frézování u operace Dutina není konstantní. Nabývá hodnot v rozmezí 3–8 mm. Tyto čelní plochy budou hrubovány a následně dokončeny.

Aplikace nástrojů spol. Sandvik Coromant:

- Fréza do rohu s VBD Ø12 3Z pro hrubování.
 - Držák: R390-012EH12-07M.
 - VBD: 390R-070204M-PM 4340.
- Výměnná frézovací hlavice do rohu Ø12 4Z pro dokončování.
 - Hlavice: 316-12SL442-12000P 1730.

Tato aplikace fréz do rohu je univerzálním řešením pro čelní frézování, přídatky jsou zvoleny: $a_p = 0,7$ mm pro hrubování; $a_p = 0,1$ mm pro dokončování. Cílem hrubování je odebrat co nejvíce materiálu za co nejkratší čas. Naopak při dokončování je brán zřetel na jakost povrchu vzhledem k další operaci Kartáčování.

Aplikace nástrojů spol. KENNAMETAL:

- Fréza pro vysoké posuvy s VBD Ø16 2Z pro hrubování.
 - Držák: 7792VXP06SA016Z2R25.
 - VBD: XPLT060308ERD41.
- Výměnná frézovací hlavice do rohu Ø12 4Z pro dokončování.
 - Hlavice: UKDV1200X4CV.

Aplikace nástrojů společnosti KENNAMETAL vychází z totožných záběrů hlavního ostří. Rozdílem je zde hrubování čelní frézou Ø16 pro vysoké posuvy. Tato fréza má úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 10^\circ$. Obecně frézy s tímto úhlem nastavení umožňují využití velkých hodnot posuvové rychlosti v_f .

Výhodou jsou nízký sklon k vibracím a stabilita řezu, která je způsobena působením řezné síly převážně v axiálním směru (do vřetena). Na základě znalosti materiálu odlitku, umístění vad odlitku a strojního parku byly zvoleny startovací řezné podmínky (tab. 19). Radiální záběr a_e nástrojů je optimalizován mimo nebezpečný úhel záběru do materiálu $\varphi = 85\text{--}95^\circ$ [21]. Potřebný výkon stroje je oproti tabulkovým hodnotám výrobce ponížěn o 30 %. Důvodem je možnost zaměnit cílový stroj Doosan DNM 4500 za stroj starší Doosan DNM 500 II s totožným řídicím systémem Fanuc.

Tabulka 19 Startovací řezné podmínky nástrojů – ocelový rám [22, 25].

Druh nástroje	Řezné podmínky			Potřebný výkon stroje P_c [kW]	Objem odebraného materiálu Q [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]
	Radiální záběr a_e [mm]	Otáčky n [min^{-1}]	Posuvová rychlost v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]		
Fréza s VBD Ø 12 Sandvik Coromant	8	4 770	1 290	0,77	7,22
Fréza s VBD Ø16 KENNAMETAL	7	5 000	3 000	1,76	14,91
Výměnná hlavice Ø12 Sandvik Coromant	8	4 030	980	0,09	0,79
Výměnná hlavice Ø12 KENNAMETAL	7	4 200	900	0,08	0,63

*Použité vzorce jsou součástí přílohy č.3.

3.3.4 Materiálová charakteristika

Hodnocení materiálu z hlediska obrábělnosti bylo zvoleno pomocí tabulek MC kódového označení materiálů švédské společnosti Sandvik Coromant (tab. 20). Kdy hodnoty jsou využity pro kontrolní výpočet potřebného výkonu stroje a krouticího momentu při obrábění viz příloha č. 3.

Tabulka 20 Obrábělnost materiálů Sandvik Coromant [31].

Materiál	Skupina materiálu dle ISO	Jednotková řezná síla k_{c1} [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	Koeficient m_c
ČSN 42 2670	P1.5.C.AN	2 400*	0,25
1.4057	P5.0.Z.PH	2 800	0,21

*Jednotková řezná síla k_{c1} pro skupinu materiálu P1.5C.AN (ČSN 42 2670) je upravena vzhledem k známému tepelnému zpracování polotovarů a výsledné tvrdosti.

I když je materiál 1.4057 korozivzdorný (standardně označen ISO M – žlutá barva), spadá svými vlastnostmi do kategorie P5 pro korozivzdornou martenzitickou ocel. Toto označení materiálu odpovídá rovněž u společnosti KENNAMETAL. Výrobci nástrojů WNT a Mastercut Tools korozivzdorný materiál 1.4057 řadí do skupiny M2.3, která má obdobné řezné podmínky jako skupina P5.

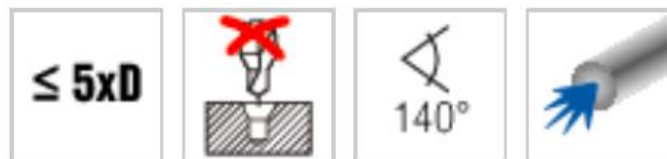
3.3.5 Navrtávání

Navrtávání je důležitým prvkem pro vedení přesné díry. Kdy broušený NC navrtávák nebo středící vrták vytváří přesný důlek pro navedení vrtáku.

V operaci Dutina však navrtávák s úhlem špičky $\epsilon_r = 90^\circ$ neplní správnou funkci ze dvou důvodů.

Použitím vrtáků z rychlořezné oceli i slinutého karbidu, které mají z pravidla rozdílný úhel špičky, dochází k nadměrnému opotřebení a vylamování hlavního ostří vrtáku (obr. 21). Konkrétně HSS vrták má úhel špičky $\epsilon_r = 118^\circ$ a SK vrták $\epsilon_r = 140^\circ$. Tudíž nevhodným úhlem špičky navrtáváku výrazně snižujeme trvanlivost vrtáků ze slinutého karbidu. Úhel špičky by měl být pro SK vrták $\epsilon_r = 145^\circ$ jak doporučuje výrobce nástrojů STIMZET. Tento úhel nastavení zaručí, že se dna předvrtané díry dotkne první příčné ostří vrtáku, a nikoliv hlavní ostří. Použitím středícího vrtáku s obvyklým úhlem špičky $\epsilon_r = 60^\circ$ dochází ještě k výraznějšímu otupení SK vrtáků [32].

Další otázkou je, zdali je navrtání nutné, výrobci u vrtáků s úhlem špičky nad $\epsilon_r = 130^\circ$ nedoporučují navrtání do vrtané hloubky odpovídající 5D. Konkrétně společnost WNT to nedoporučuje u vrtáků ze slinutého karbidu, ani u HSS vrtáků s větším úhlem špičky, než je standart [33]. Dále společnost HARVEY TOOL nedoporučuje u vrtáků ze slinutého karbidu navrtání vůbec. Důvodem je dostatečná tuhost SK vrtáku [34]. Dalším aspektem je přesnost polohy vrtaných děr na výrobním výkrese. Tato přesnost je předepsána v rozmezí $\pm 0,05$ až $\pm 0,1$. Vzhledem k tomu, že plochy určené k vrtání jsou již před obrobena, nevzniká zde riziko sklouznutí vrtáku např. po nedostatečně odstraněném vtoku.



Obr. 21 Specifikace vrtáků ze slinutého karbidu WNT [33].

Společnost VKV Tools z Brna, která firmě dodává sady nástrojů pro výrobu válců revolveru a zná problematiku vstupních polotvarů rámu doporučuje předvrtání. Hlavním důvodem je průhyb vrtáků ze slinutého karbidu, který lze považovat za zanedbatelný nad $\varnothing 8$. U vrtáků $\varnothing 2,4$ až $\varnothing 3,8$, které se vyskytují v operaci Dutina, společnost doporučuje navrtávák se stejným úhlem špičky jako vrták $\epsilon_r = 140^\circ$.

Společnost VKV Tools na základě tohoto podnětu dodá sadu navrtáváků $\varnothing 4$ s výše uvedeným úhlem špičky pro testování. V případě úspěšného testování bude tato geometrie použita u všech navrtávaných děr produkce firmy [35].

4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

Cílem návrhu nové výrobní technologie je vytvoření nového CNC programu pro CNC obráběcí centra s řídicím systémem Fanuc pomocí systému SolidCAM (logo obr. 22) a zpracování technické dokumentace – výrobní návodky.

Důvodem je zaručení zastupitelnosti mezi CNC stroji s různými řídicími systémy, kdy aktuálně neexistuje CNC program pro řídicí systém Fanuc, který využívá cca polovina CNC strojů firmy. A optimalizace obráběcí operace Dutina směrem k efektivnějšímu využití řezných nástrojů.



Obr. 22 Logo SolidCAM [36].

První částí je seznámení s prostředím CAM softwaru SolidCAM, který je integrován do parametrického 3D modeláře SOLIDWORKS.

Na základě poznatků z praxe a doporučení dodavatelů nástrojů jsou zvoleny progresivní řezné nástroje pro frézovací operaci Dutina. Součástí je hodnocení materiálů z hlediska obrobitelnosti. Dále jsou představeny použité obráběcí strategie a podrobný návod pracovního postupu pro operátora výroby.

4.1 Seznámení se SolidCAM

Nový CAM software SolidCAM 2019 byl vybrán vedením firmy během návštěvy MSV 2019 na základě možnosti přímé integrace do již firmou používaného 3D modeláře SOLIDWORKS. Hlavní výhodou programu je plná asociativita s CAD softwarem zaručující využití modelů (vytvořených v prostředí SOLIDWORKS) bez jakékoliv potřeby importu či exportu dat. Tudíž odpadá náročná editace a správa výrobních dat dílců.

CAM software se zaměřuje na třískové obrábění, konkrétně na frézování, soustružení a jejich možnou kombinaci. SolidCAM lze použít dle zakoupených modulů (funkcí) na 2 až 5 osé indexované souvisle řízené frézování, nebo na pokročilejší soustružení pro více vřetenové CNC soustruhy. CAM je také doplněn o modul sondy pro měření, korekci nulových bodů a také pro kontrolní měření nástroje, kdy po změření obrobeného rozměru řídicí program stroje upraví tabulku korekcí [36].

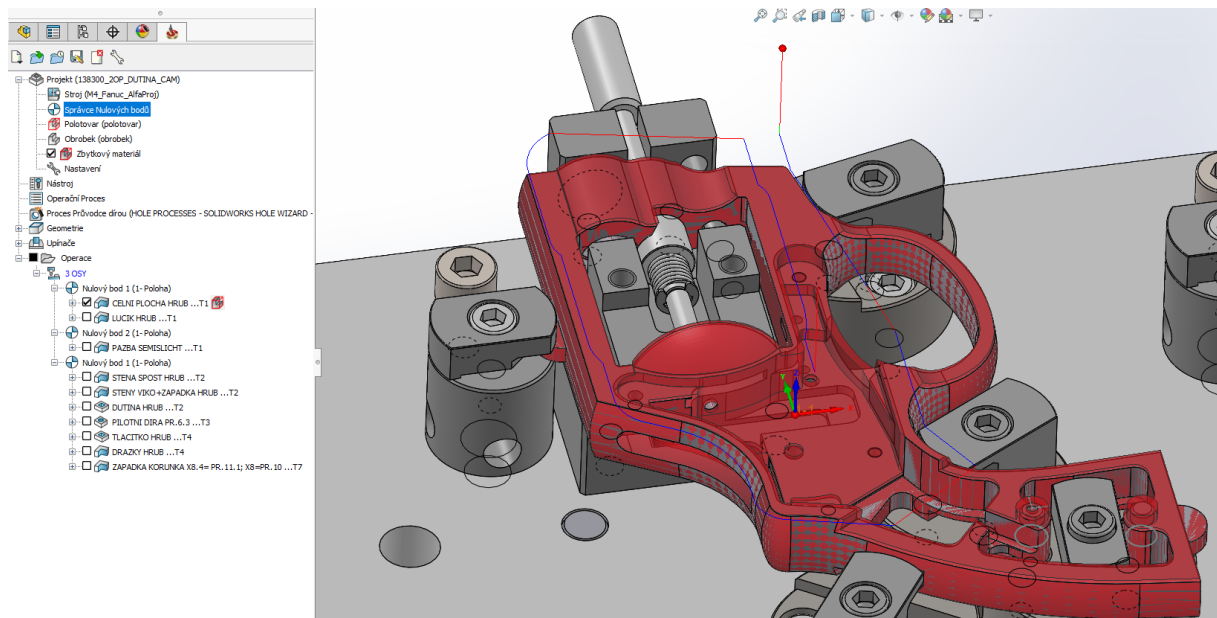
Správa CAD a CAM souborů:

- Externí správa (samostatné soubory): *.sldprt/*.sldasm pro CAD; *.prz pro CAM
- Interní správa (uvnitř dílu): *.sldprt/*.sldasm pro CAD i CAM

Interní správa zjednodušuje správu dat, avšak nedoporučuje se, pokud firma používá více verzí SOLIDWORKS (zde 2016 a 2020). Důvodem je, že pracovní stanice se starší verzí nemohou nakládat s verzí novou, i když tam byl přidán pouze CAM.

Distributorem pro SOLIDWORKS a SolidCAM je v České republice společnost SolidVision s.r.o., která se zabývá i tvorbou postprocesorů na míru.

Níže na obr. 23 lze rozeznat standartní rozhraní 3D CAD SOLIDWORKS (verze 2020) ze kterého SolidCAM vychází. Tudíž lze nastavit ve výrobních sestavách různé vlastnosti a vazby. Např. nastavení částečné průhlednosti u polotovaru, který je vazbami umístěn na totožném místě jako obrobek, umožňuje pár kliknutími myši efektivně nastavit hranice výšek pro obrábění, zadávání nulových bodů apod.



Obr. 23 Rozhraní SOLIDWORKS s modulem SolidCAM.

Na levé straně obrázku je zobrazena stromová struktura specifická pro SolidCAM, která se skládá z nastavení projektu, postprocesoru, nulových bodů obrobku, specifikaci obrobku a polotovaru, nástrojové tabulky atd.

Na pravé straně je již částečně hrubovaný model rámu revolveru, kdy červená barva náleží aktualizovaným přídávкам 3D polotovaru (tzv. zbytkový materiál). Červené, modré a zelené čáry odpovídají dráze čelní válcové frézy, kdy modrá = pracovní posuv, červená = rychloposuv v osách XY a zelená = sestup nástroje v ose Z nastavitelnou rychlostí posuvu.

Přibližně vprostřed obrobku lze rozeznat tříosý souřadnicový systém XYZ, podle kterého je hrubovací dráha řízena.

Pod další položkou stromu „Geometrie“ jsou uschovány všechny použité geometrie, jako kontury, kapsy, T-drážky pro frézovací operace a středy děr pro vrtání, zahlubování, řezání závitů apod.

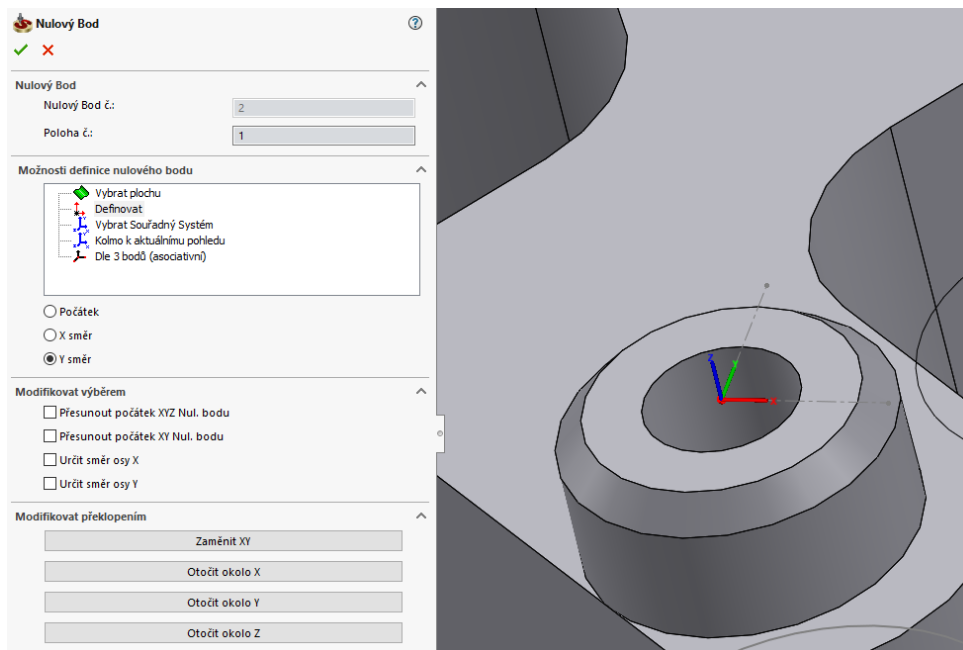
Ustavovací kostka spolu s upínkami je pomocí funkce „Upínače“ kontrolována vůči kolizím nástroje i držáku dle uživatelem definované přesnosti. Velikost ochranné obálky pro tyto prvky je standartně nastavena na 0,1 mm.

Posledními prvky stromové struktury jsou již samotné obráběcí operace. Tyto operace lze řadit podle počtu použitých os stroje (3/4 osy), dle použitých nástrojů, dle nulových bodů obrobku, nebo zde dle návaznosti jednotlivých operací.

Samozřejmostí je možnost vstoupit zpět do výrobní sestavy a upravit např. vstupní polotovar, vytvořit pomocnou skicu pro definici dráhy apod.

4.1.1 Nulový bod obrobku

Prvním úkonem nově založeného projektu je definice nulového bodu, aneb absolutní nuly výsledného programu. Tento úkon lze provést pomocí prvků přímo na polotovaru/obrobku a následně upravit polohu posunem nebo překlopením. Alternativou je definovat nulový bod pomocí náčrtu v již správné výškové rovině Z viz obr. 24.



Obr. 24 Definice nulového bodu obrobku.

Dalším bodem definice nulového bodu obrobku je nastavení výchozí roviny nástroje, základní roviny rychloposuvu, maximální a minimální nastavení výšky v ose Z. Výškové nastavení upozorňuje programátora při překročení nastavených hodnot. Což může zabránit nabourání do upínače např. při otáčení pracovního stolu děličkou.

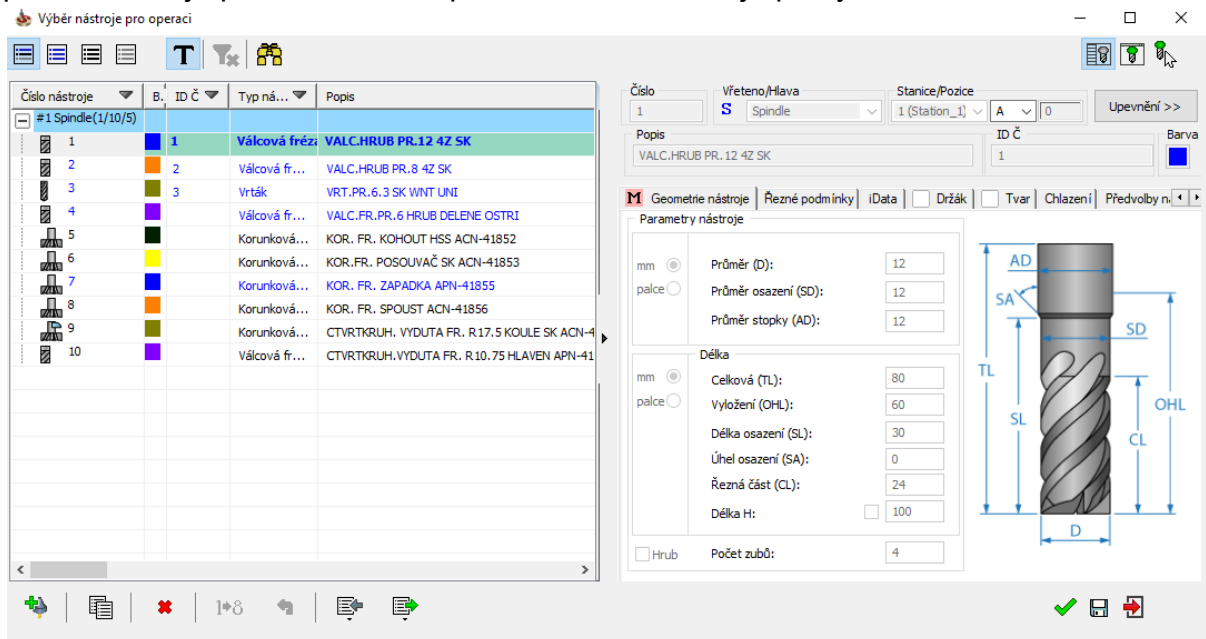
4.1.2 Nástrojová tabulka

V produktu SolidCAM lze předdefinovat nástroje ještě před definicí obráběcí strategie. Při tvorbě nástroje lze zvolit již předdefinovaný nástroj typu čelní válcová fréza, korunková fréza, vrták, výstružník, závitník a mnoho dalších.

U speciálních nástrojů lze řeznou geometrii částečně modelovat v záložce „Tvar“. Tvarová definice nástroje umožňuje vytvoření speciálního nástroje jako je čtvrtkruhová vydutá fréza s válcovou stopkou. V dalších záložkách nástrojové tabulky (obr. 25) nalezneme nastavení řezných podmínek, řezné kapaliny a definici nástrojového držáku. Nástrojovou tabulku je možné exportovat i importovat pro případné použití u jiné součásti se všemi hodnotami, jako jsou řezné podmínky, nastavení řezné kapaliny v různých formátech jako jsou *.csv, *.xls a další.

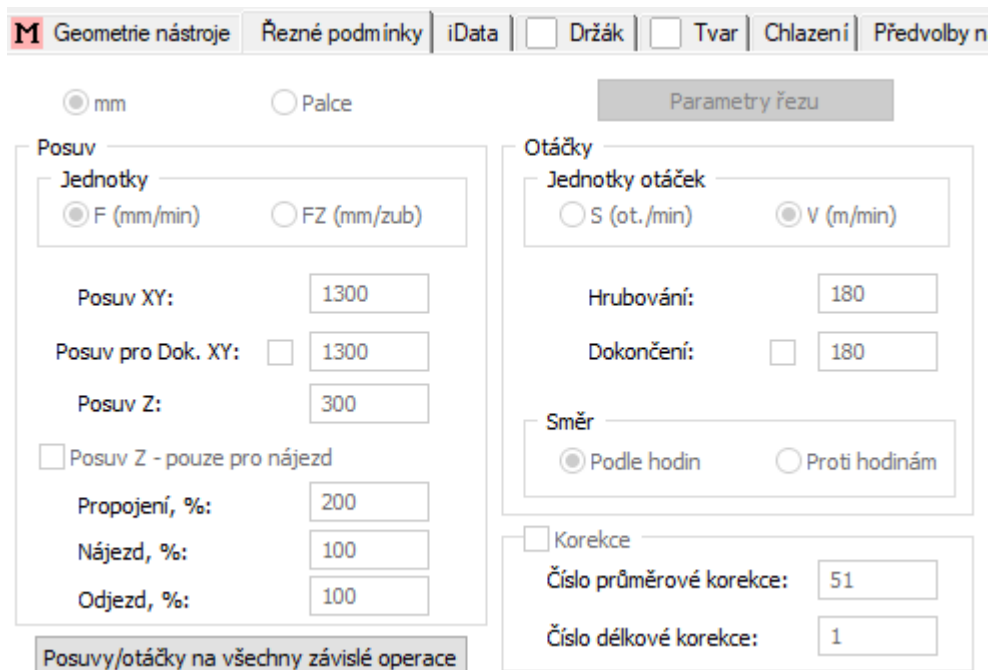
Na pravé straně obr. 25 lze definovat přesně geometrii válcové čelní frézy do rohu (90°). Důležitým prvkem kromě samotné geometrie a počtu zubů je vyložení nástroje z držáku. Tato hodnota umožňuje výšku kontrolu proti kolizím při nedostatečném vyložení.

Důležitou součástí je popis neboli název nástroje, který se objevuje ve výsledném CNC programu. Označení nástroje a jeho ID (identifikační číslo) pak usnadňuje práci seřizovači při identifikaci nástroje při výměně.



Obr. 25 Nástrojová tabulka.

Záložka řezné podmínky (obr. 26) umožňuje optimalizaci pracovních posuvů, nastavení otáček a nástrojových korekcí. Důležitým prvkem je zde optimalizace propojení, nájezdů a výjezdů, kdy redukovaný nájezd do řezu zvyšuje trvanlivost nástroje. Tato úprava rychlostí mezi dráhami umožňuje výrazně zkrátit výrobní časy bez potřeby ručního zásahu do již generovaného CNC programu postprocesorem. Samozřejmostí je přepínání mezi řeznou rychlostí/otáčkami a posuvovou rychlostí/posuvem na zub.



Obr. 26 Řezné podmínky.

4.1.3 Strategie obrábění

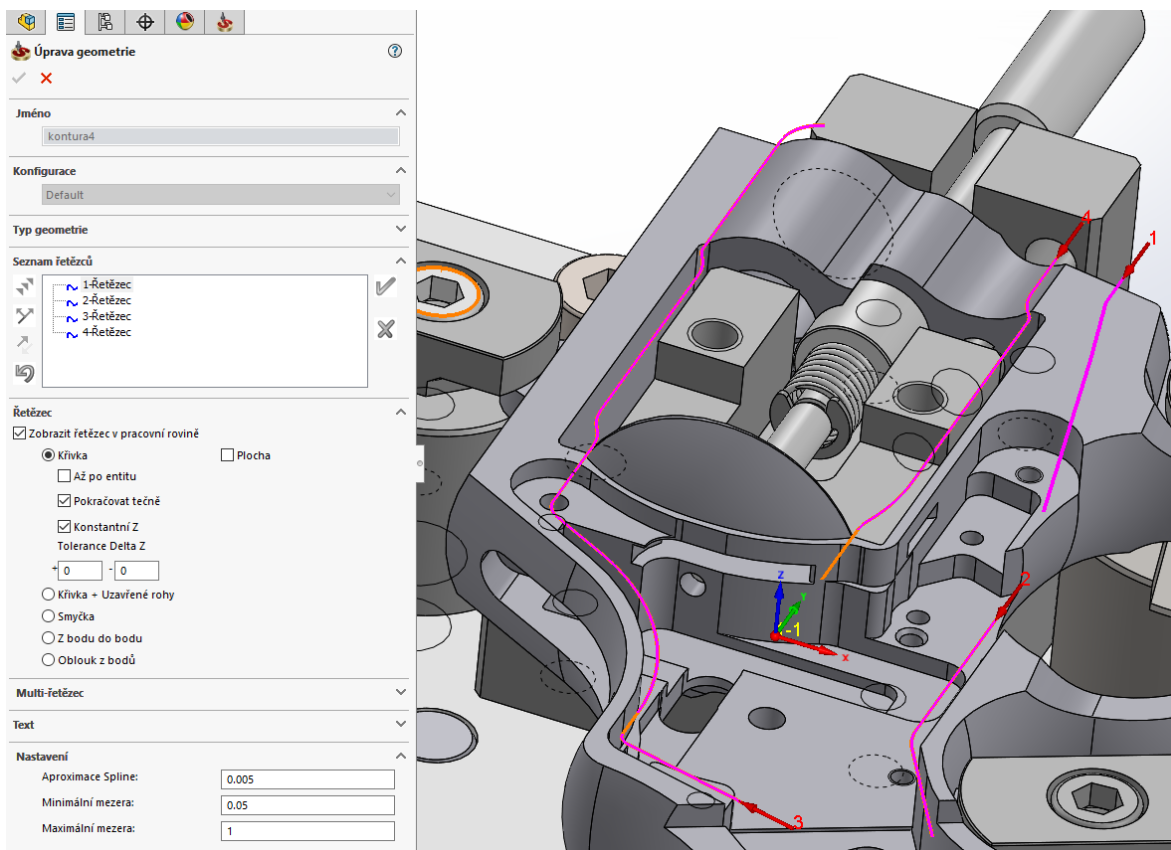
Nová CAM operace vzniká zvolením strategie. Tyto strategie se liší svými specifikacemi. V nabídce lze nalézt dle zakoupených modulů standardní 2D až 2,5D výrobní strategie a dále 3D strategie.

Druhy strategií:

- Čelní frézování,
- frézování kontury,
- frézování 3D kontury,
- frézování kapsy,
- vrtání,
- hluboké vrtání,
- závitování/tváření závitů,
- frézování drážky,
- frézování T – drážky,
- frézování tažené plochy,
- frézování cykly sady nástrojů,
- gravírování,
- rozpoznání kapsování,
- rozpoznání vrtání,
- rozpoznání sražení,
- HSC frézování.

A. Geometrie

Po zvolení strategie frézování kontury je nutné vytvořit obráběnou geometrii viz obr. 27. Tvorba drah pro frézování probíhá několika možnými způsoby. Prvním je označení hran obrobku, které mají být obráběny, z různých tvarů, jako jsou křivky, rádiusy, úsečky apod., které lze následně např. odsadit o definovaný rozměr. Druhou možností je načrtnout samotné dráhy a ty poté označit. Volbu kontur ulehčují výběrové filtry tzv. řetězce (vlevo dole). Konkrétně volba „Konstantní Z“ automaticky hledá v požadovaném směru návaznost kontury zvolené stěny, nebo zde načrtnuté dráhy. Další funkcí je kontrola minimální a maximální mezery mezi prvky.

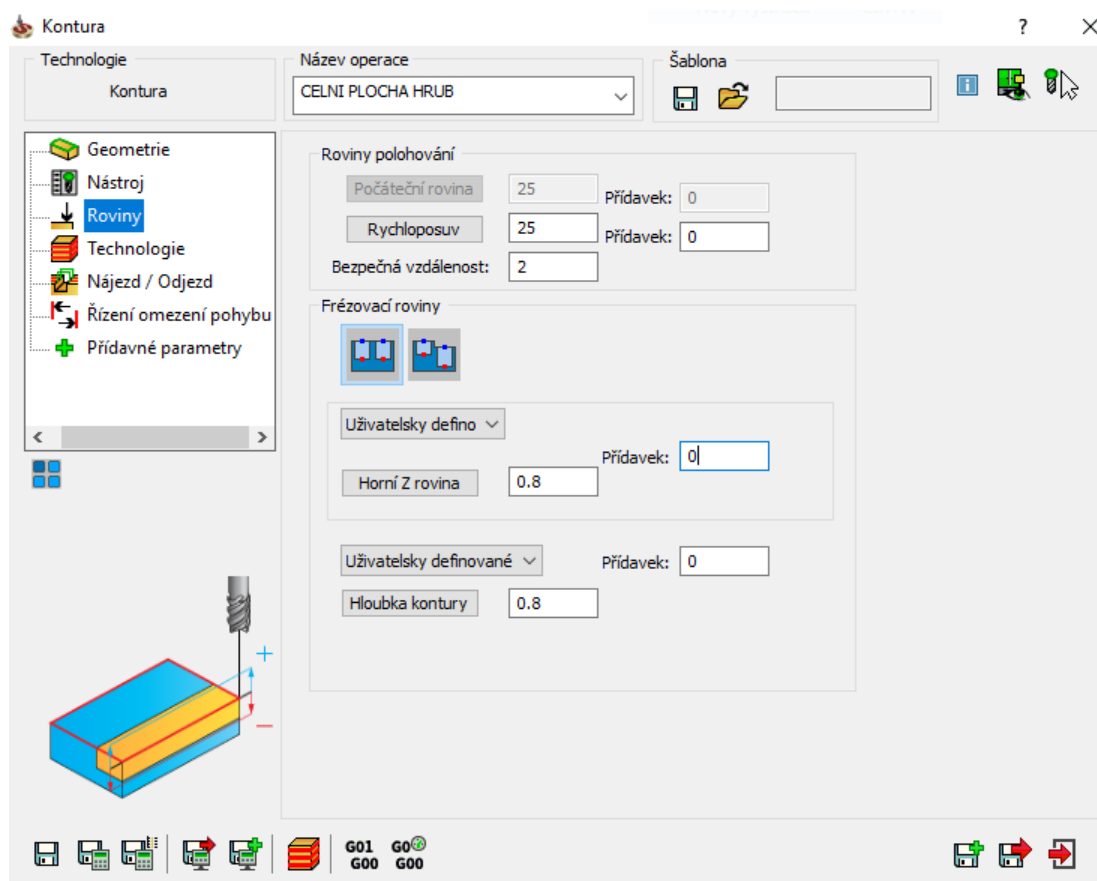


Obr. 27 Volba kontury.

Načrtnuté dráhy se označením a potvrzením stávají řetězcem se svojí orientací viz číslo korespondující se směrovou šipkou. Tato šipka definuje směr potřebný pro nastavení frézování. Možnosti jsou, frézovat středem nástroje po kontuře, nebo levou či pravou stranou nástroje po kontuře. Stranové zarovnání je nutné také pro nástrojovou boční korekci, u válcové čelní frézy se jedná o průměrovou korekci.

B. Roviny

Po zvolení nástroje a potřebné geometrie (řetězce) k obrábění, je nutné v záložce „Roviny“ (obr. 28) zvolit výškové nastavení strategie v ose Z. Nastavit zde lze výška rychloposuvu, bezpečná vzdálenost odjezdu s možností přídavek. Vzdálenost počáteční roviny vychází z definice nulového bodu. Následně lze dle zvoleného piktogramu zvolit totožné výškové nastavení pro všechny řetězce, nebo nastavení výšek pro každý jednotlivý řetězec zvlášť. Nastavení výšek se skládá z „Horní Z roviny“ a „Hloubky kontury“. Tyto roviny určují u frézování celkovou šířku záběru hlavního ostří a_p (axiální záběr ostří). Definovat lze tyto roviny automaticky na základě vloženého obrobku s polotovarem, nebo ručně kliknutím na daný prvek. Tzv. přídavek lze u obou výškových rovin využít pro posun výšky Z např. do středu tolerančního pole dle výkresu součásti.

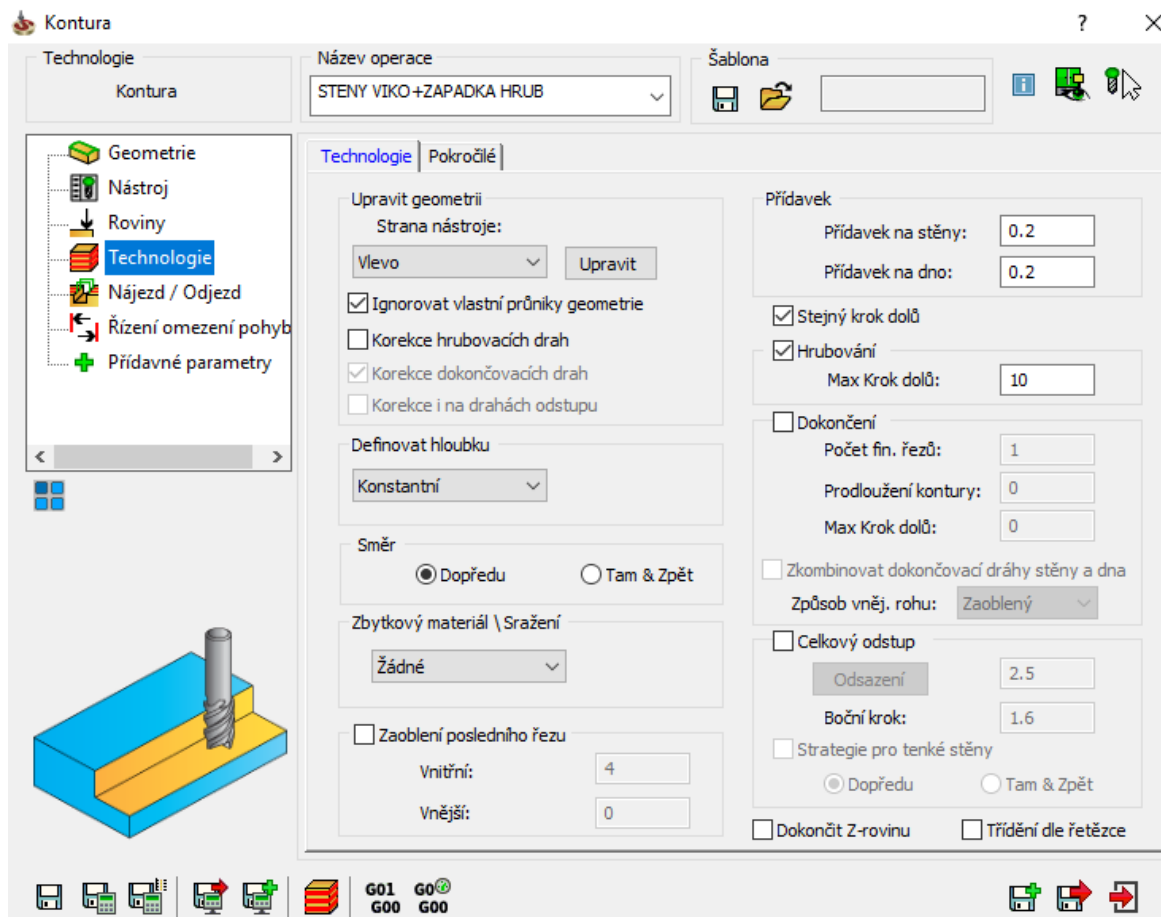


Obr. 28 Karta roviny.

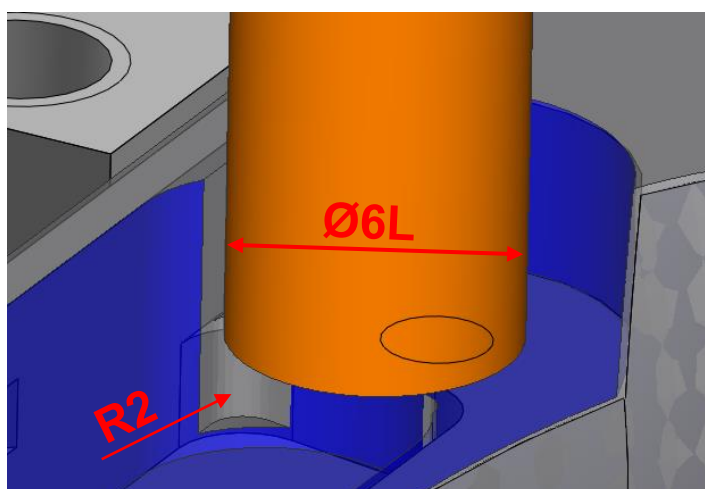
V levém dolním rohu obr. 28 je nápověda pro přídávky. Tudiž kladná hodnota přídávku zvedá nástroj v ose +Z a záporná hodnota naopak polohu snižuje pro -Z.

C. Technologie

Záložka technologie (obr. 29) pracuje již se zadanou konturou (řetězcem). Upravuje dle orientace řetězce stranové nastavení nástroje, jeho korekce a přídavky na obrábění. U strategie kontura lze nastavit pomocí kroku pro hrubování a dokončení šířku záběru hlavního ostří a_p s možností optimalizace pro stejnou velikost kroku. Funkcí „Celkový odstup“ po nastavení odsazení lze optimalizovat dle potřeby boční (radiální) krok nástroje a_e (zde válcové čelní frézy) dle potřeby.



Obr. 29 Nastavení technologie kontura.



Obr. 30 Detail simulace hrubování kontury.

Detail simulace hrubování kontury (obr. 30) zobrazuje oranžovou barvou nástroj (válcová čelní fréza) a barvou modrou hranici odebraného materiálu. Šedá barva zde charakterizuje výše zmíněné přídavky na obrábění a neobrobený materiál. Neobrobení zde vzniklo menším rádiusem v rohu (R2) oproti průměru frézy ($\varnothing 6L$). Tento rádius je následně obroben frézou menšího průměru.

D. Nájezdy a odjezdy

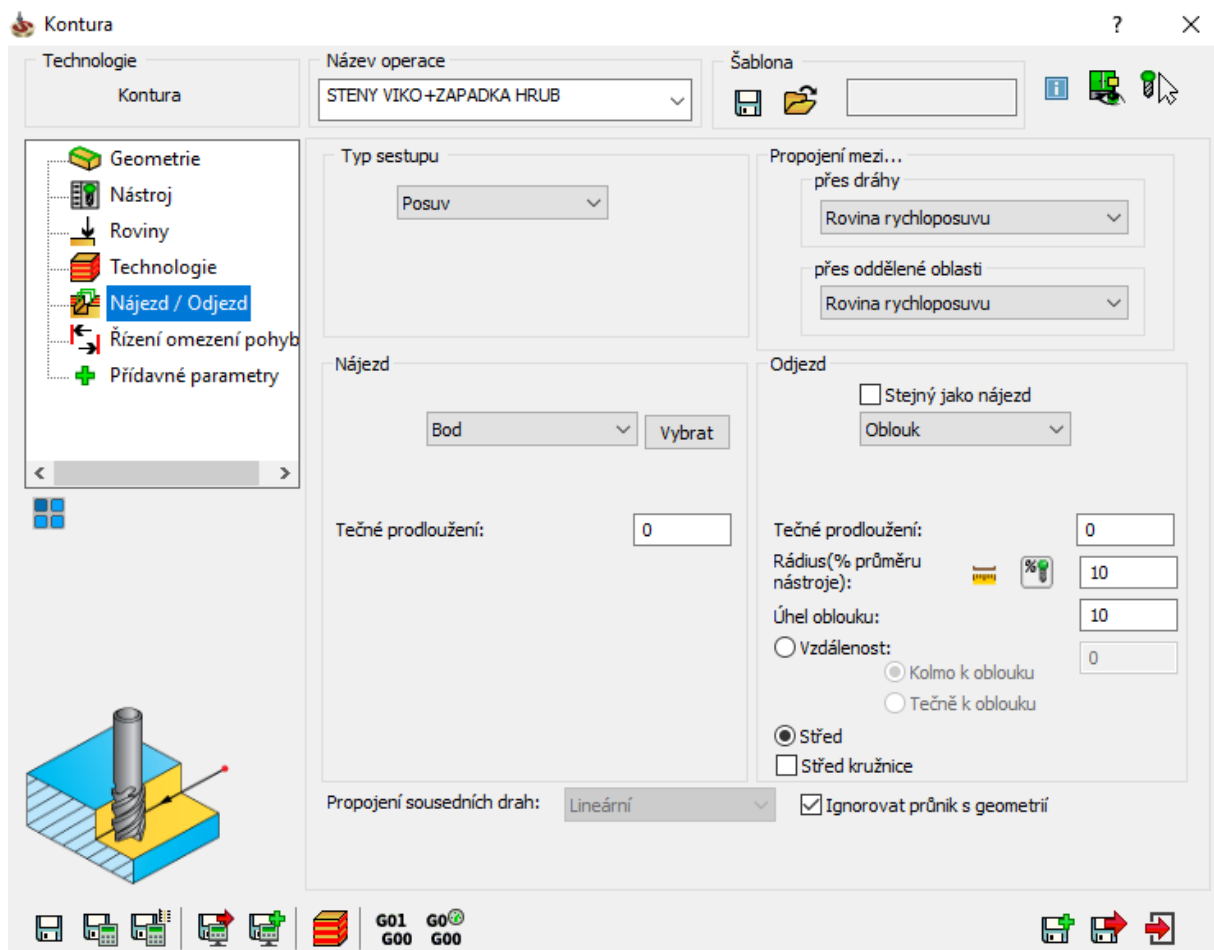
Záložka nájezdy a odjezdy (obr. 31) ovlivňuje veškerý pohyb nástroje mimo oblast řezu. Typy sestupu ovlivňují pohyb do řezu v ose Z (částečně i X a Y pro vertikální oblouk). Nájezdy a odjezdy definují pohyby v osách X a Y. Na obr. 23 v kap.4.1 nájezdům a výjezdům, odpovídá červená dráha a sestupu barva zelená. Důležitým pomocníkem je nájezd a výjezd z bodu. Tato funkce umožňuje ve stísněných místech přesně definovat oblasti nájezdů bez bourání.

Typy sestupu:

- Posuv,
- rychloposuv,
- úhlopříčka,
- šroubovice,
- vertikální oblouk.

Typy nájezdu/výjezdu:

- Žádný,
- kolmo,
- oblouk,
- tečna,
- bod.



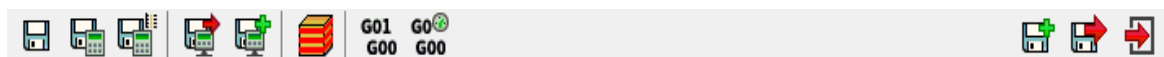
Obr. 31 Záložka nájezdy a odjezdy.

E. Výpočet strategie a kontrola kolizních stavů

Výpočet strategie má více možností viz obr. 32. Jedná se o možnosti uložení, výpočtu, kopírování strategie a generování CNC programu.

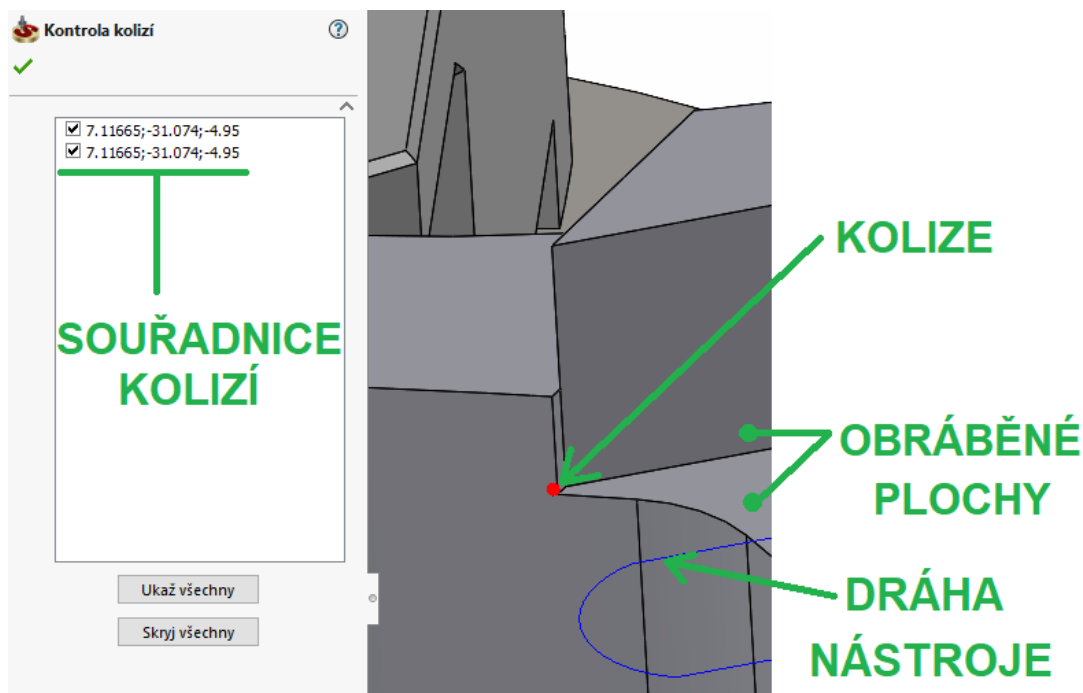
Možnosti výpočtu (zleva):

- Uložit.
- Uložit a přepočítat.
- Uložit a vypočítat se všemi souvisejícími operacemi.
- Uložit, paralelně vypočítat a ukončit.
- Uložit, paralelně vypočítat a zkopírovat.
- Simulace.
- Generování CNC programu.
- Generování CNC programu s výpočtem času.
- Uložit a kopie.
- Uložit a ukončit.
- Ukončit.



Obr. 32 Výpočet strategie.

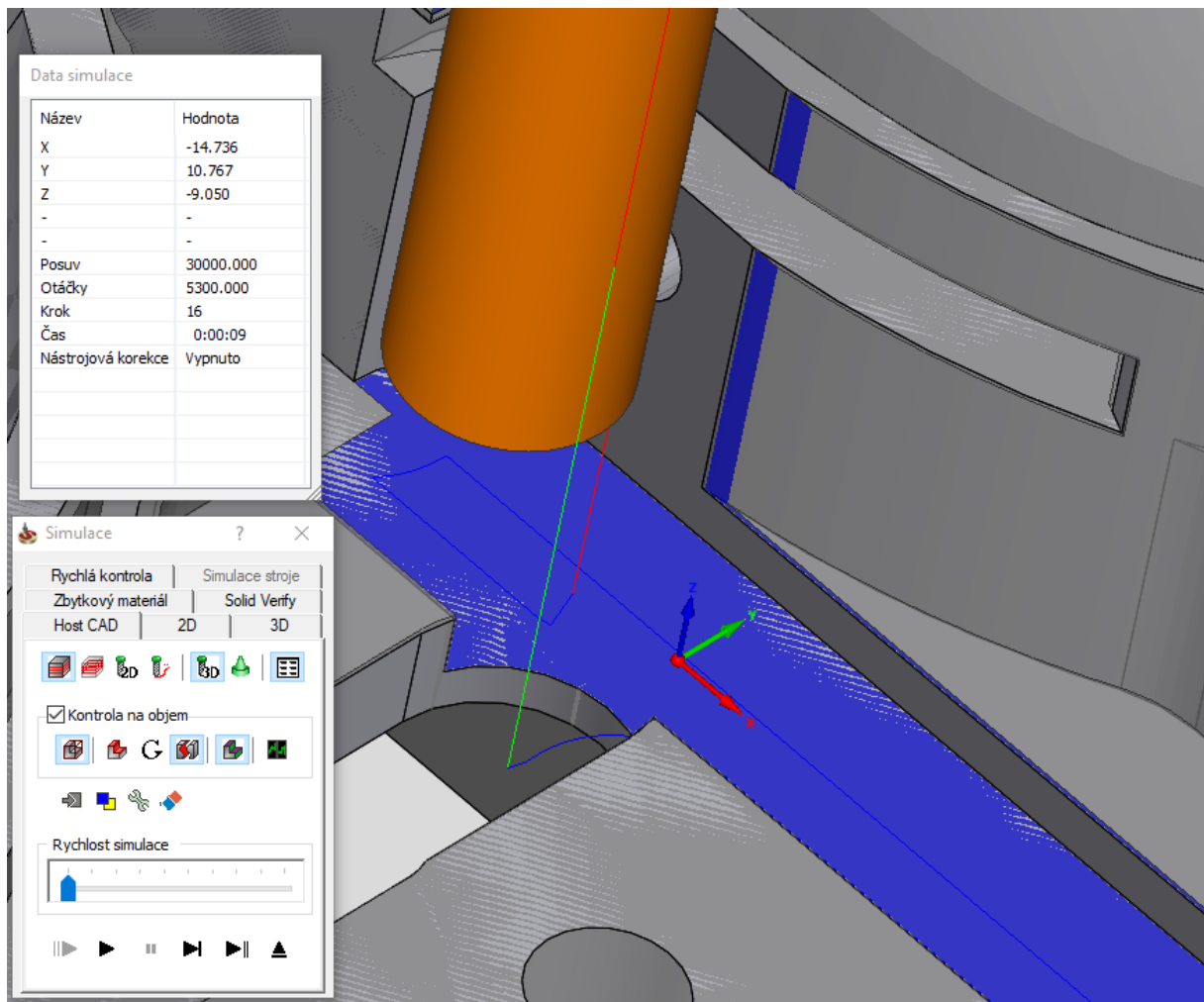
Kontrola kolizí závisí na správné definici upínače, polotovaru, obrobku a nástroje s držákem. Definice vychází z 3D modelu. Jednotlivé tolerance lze nastavit zvlášť pro každou výše zmíněnou položku. Vzhledem k náročnosti na výpočet je doporučováno volit přesnou toleranci pro obrobek dle výkresové dokumentace např. 0,01 mm a nižší přesnost pro polotovar např. v řádech desetin mm. Kolize je zobrazena červeným bodem na obr. 33.



Obr. 33 Kontrola kolizí.

F. Simulace

SolidCAM umožňuje různé druhy simulace dle zakoupených modulů. Konkrétně modul Host CAD (obr. 34) umožňuje zobrazení 3D nástroje, držáku a jeho dráhy, aktualizovaný úběr materiálu polotovaru s barevným tónováním. Dále umožňuje detailní sledování dráhy pomocí pozastavení simulace po jednotlivých krocích CNC programu, po změně polohy v ose Z, do výměny nástroje a změny rychlosti posuvu. Dialogové okno „Data simulace“ udává přesnou polohu nástroje, řezné podmínky, strojní čas a nástrojovou korekci v daný okamžik simulace.



Obr. 34 Simulace Host CAD.

4.1.4 Transformace

SolidCAM umožňuje kopírovat a transformovat operace. Konkrétně při vytvoření obráběcích strategií pro jednu součást, lze tyto strategie následně transformovat do dalších nulových bodů obrobku, nebo je různě posunout, zrcadlit nebo rotovat.

Tato funkce je hojně využívána u vícenásobných upínačů pro efektivnější využití a méně výměn nástroje. Tzn. nástroj obrobí před výměnou všechny zadané prvky na polotovarech.

4.2 Volba nástrojů pro operaci Dutina

Nástrojové vybavení je zvoleno s ohledem na ekonomicko-technologickou rozvahu, která zohledňuje materiálové charakteristiky obrobků a potenciální výkonnost nástrojů vzhledem k pořizovací ceně sady nových nástrojů.

Cílovým strojem pro obráběcí operaci Dutina je primárně tříosá CNC frézka Doosan DNM 4500 taktéž vybavená děličkou. Specifikace stroje viz tab. 21 níže.

Tabulka 21 Technická data CNC frézky Doosan DNM 4500 [37].

Technická data		
Rozměry upínací plochy stolu	1000 x 450	[mm]
Délka drah stolu a vřetena (X; Y; Z)	800; 450; 510	[mm]
Rychloposuv (X; Y; Z)	36; 36; 30	[m.min ⁻¹]
Max. rychlost pracovního posuvu	15	[m.min ⁻¹]
Výkon vřetena	11	[kW]
Maximální otáčky	8 000	[min ⁻¹]
Kapacita zásobníku	40	[ks]
Čas výměny nástroje	1,2	[s]
Upínací systém	ISO 40	[-]

4.2.1 Návrh nástrojového vybavení

Nový návrh vychází částečně z původního nástrojového vybavení. Změny nastaly u frézy s VBD, kdy válcová čelní fréza Ø20 bude nahrazena jednou z variant na základě testování viz kap. 4.3.2 jehož realizace proběhne v blízké době. Varianty obsahují vždy nastavení s hrubováním a dokončováním.

Počet konvenčních monolitních válcových čelních fréz ze SK byl redukován z osmi kusů na šest kusů (tab. 22). Vyřazena byla drážkovací fréza Ø6, která je nahrazena vrtákem Ø6,3, který vytvoří pilotní díru a již použitou válcovou čelní frézou Ø6 se čtyřmi zuby. Dále došlo k vyřazení frézy Ø10, která postupně odebírala nálietek rámu v místě spouště. Nyní toto místo hrubuje fréza Ø8.

Tabulka 22 Konvenční monolitní frézy [13].

Způsob upnutí	Umístění zubů	Materiál / povlak	Typ frézy (úhel nastavení)	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
stopka	válcová čelní	SK / AlTiN	do rohu (90°)	Ø8	4
				Ø6L	6
				Ø6L	4
				Ø4L	4
				Ø3	4
			kulová	Ø20	2

U speciálních tvarových nástrojů došlo rovněž k redukcí počtu. Důvodem je přesun obrobení některých prvků do operace Osa, která předchází operaci Dutina. V operaci Osa je možnost tyto tvarové prvky snadno obrobít bokem konvenční válcové čelní frézy. Tento přesun umožnil odebrání dvou speciálních nástrojů, vyráběných na zakázku, s vysokou pořizovací cenou.

Speciální korunkové frézy z HSS byly na základě jejich trvanlivosti částečně nahrazeny korunkovými frézami ze slinutého karbidu (tab. 23). Jedině u korunkové frézy Ø12 byl zachován materiál z HSS. Důvodem je dostačující trvanlivost a nízká pořizovací cena, protože tento nástroj je upravován z konvenčního nástroje přímo ve firmě jednoduchou úpravou stopky.

Posledním speciálním nástrojem, který byl odstraněn z návrhu je drážkovací fréza Ø2,5, která měla za úkol zarovnat dno neprůchozí díry s následným vystružováním pro kolík. Na základě rozboru výšek v CNC programu a výkresu součásti lze usoudit, že drážkovací fréza dno díry jednoznačně nezarovnává, a tudíž byla odstraněna.

Tabulka 23 Speciální frézy.

Způsob upnutí	Materiál	Typ frézy	Velikost [mm]	Počet zubů [-]
stopka	SK	speciální korunková	Ø27	8
	HSS		Ø22	8
	SK		Ø12	8
	HSS		Ø10	6
		speciální čtvrtkruhová vydutá	R17,5	10

Technologie vrtání děr byla přehodnocena na základě kap. 3.3.5, kdy byl vybrán NC navrtávák Ø4 s dostatečným úhlem špičky, který nenamáhá hlavní ostří vrtáku nevhodným úhlem navrtání.

Změnou materiálu prošly i vrtáky, které jsou nyní všechny ze slinutého karbidu. Záhlubník Ø12/90° byl nahrazen záhlubníkem Ø4/90°, který nyní díky své velikosti dokáže srazit hrany na dírách pro tváření závitů i na vnějších tvarech nálitků na pažbičce. Doposud bylo srážení hran děr prováděno vrtákem Ø3,8.

Tabulka 24 Vrtáky, výstružníky a jiné.

Způsob upnutí	Nástroj	Materiál/povlak	Velikost	Úhel špičky [°]
stopka	vrták	SK	Ø3,8	140
			Ø2,6	140
			Ø2,4	140
			Ø4,0	140
			Ø4,0	90
	výstružník		Ø2,5E8	-
	tvářecí závitník	HSS PM/TiN	M3	-

Celková cena navrhovaného vybavení je cca 28 000 Kč. Cena přibližně odpovídá oběma variantám (Sandvik Coromant, KENNAMETAL). Oproti stávajícímu nástrojovému vybavení cena klesla díky vyřazení několika nákladných speciálních nástrojů, a naopak byla navýšena změnou materiálu u některých nástrojů z HSS na SK.

4.3 Návrh nových obráběcích strategií

V níže uvedeném návrhu obrábění operace Dutina je vždy uveden stávající nevyhovující stav a návrh řešení. Součástí návrhu jsou hodnoty rezných podmínek a další charakteristiky obrábění obou polotovarů. Podrobné tabulky hodnot pro rám revolveru jsou součástí přílohy č. 2. Všechny uvedené strojní časy odpovídají jednotkovým strojním časům, tudíž se jedná vždy pouze o pracovní posuv, časy při rychloposuvu nejsou započítány. Vypočteny jsou obě uvažované varianty (Sandvik Coromant i KENNAMETAL). Tváření závitů není na přání dodavatele technologie součástí zveřejněného návrhu. Taktéž zde není uveden detail cyklu sondy pro úpravu polohy nulových bodů obrobku, jako duševní vlastnictví firmy ALFA – PROJ spol. s r.o.

4.3.1 Úprava nulového bodu

Již v původním CNC programu byla zavedena úprava nulového bodu. Tato úprava revidovala nulový bod pažbičky z důvodu pokrivení rámu při tuhnutí a vyjmutí z formy.

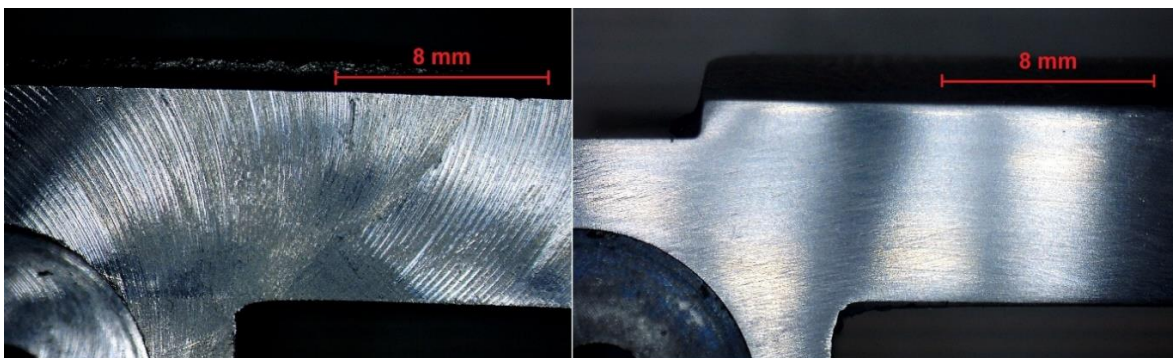
Nyní na základě diverzifikace dodavatelů rámu revolveru vzniká problém s touto úpravou nulového bodu, který je upraven pomocí tří doteků sondy s $\varnothing 1$ uvnitř díry $\varnothing 2,5$. Na základě testování rámu od různých dodavatelů byla úspěšnost přepsání nulového bodu automatickým cyklem sondy pouze 60 %.

Možná řešení jsou dvě. Změna cyklu měření sondy z vnitřního průměru na průměr vnější neobrobený. Nebo vytvoření kopie CNC programu s upravenými souřadnicemi cyklu sondy pro každého dodavatele.

První varianta zaručuje univerzálnost, avšak je kvůli stavu litého vnějšího průměru značně nepřesná. Druhá varianta byla již testována a jediné její úskalí je dodržet rozdělení polotovarů od různých dodavatelů právě po operaci Dutina, dále již následující CNC operace vychází od jiných nulových bodů a polotovary mohou být obráběny jediným CNC programem.

4.3.2 Čelní frézování

Výsledkem stávající frézovací strategie pro čelní plochy je povrch o jakosti $R_a = 0,4\text{--}0,8 \mu\text{m}$ a $R_z = 3,6\text{--}4,5 \mu\text{m}$. Tento povrch je následně na vnějších vzhledových plochách kartáčován do vysokého lesku. Tato operace je kvůli vysoké hodnotě R_z časově náročná. Proto je cílem navrhnout pro některé čelní plochy vhodnou strategii, která zaručí jakost výsledného povrchu v nižším rozsahu R_z než stávající technologie a tím má dojít ke snížení strojního času při operaci Kartáčování. Na obr. 35 je názorně zobrazen povrch před a po kartáčování.

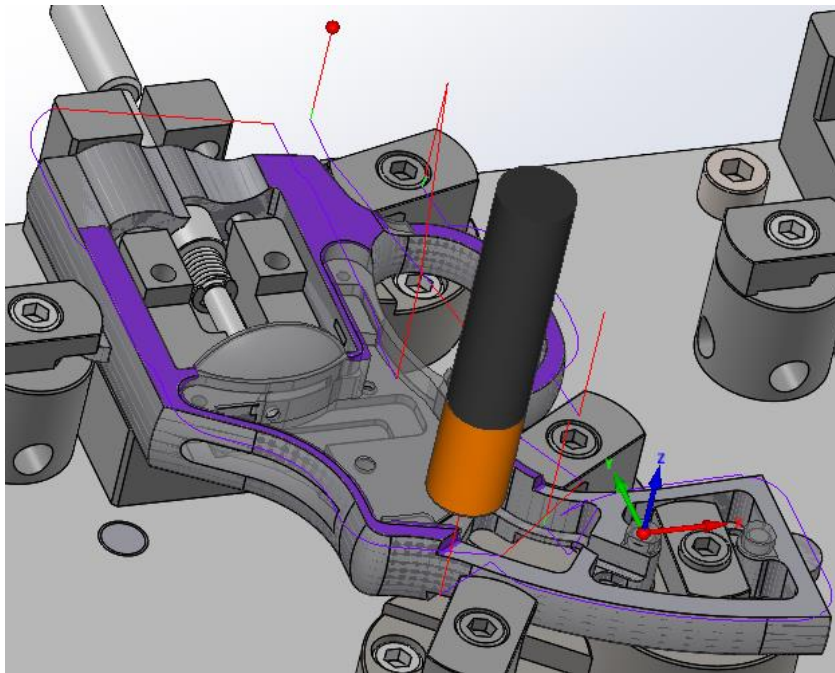


Obr. 35 Detail obrobeného povrchu (vlevo) a po kartáčování (vpravo).

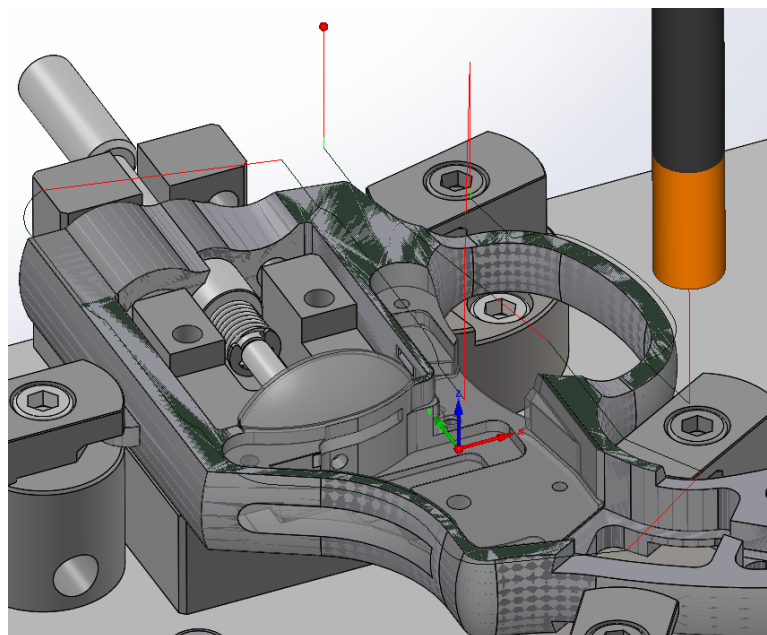
Návrh počítá s nahrazením stávající frézy s VBD $\text{Ø}20$, na základě testování variant společností Sandvik Coromant (varianta č. 1) a KENNAMETAL (varianta č. 2).

Konečný výběr, popř. kombinace výběru nástrojů pro čelní frézování bude zvolena na základě trvanlivosti VBD a výměnných hlavice, objemu odebraného materiálu a kvality obrobeného povrchu. Pomocí geometrie frézy obou návrhů pro dokončování lze teoreticky dosáhnout povrchu s jakostí $R_{z\max} = 2 \mu\text{m}$ [22, 25]. Přidávky na obrábění viz kap. 3.3.3.

Strategie pro čelní obrábění jsou zobrazeny na obr. 36 pro hrubování a na obr. 37 pro dokončování. Cílem je zachovat požadovaný radiální záběr frézy jak při hrubování, tak při dokončování. Dále je aplikován posun středu obráběcího nástroje mimo osu pro vhodný úhel nájezdu zubu do řezu.



Obr. 36 Hrubování čelní frézou s VBD $\text{Ø}16$ pro vysoké posuvy.



Obr. 37 Dokončování výměnitelnou hlavici $\text{Ø}12$.

Porovnání stávající technologie se dvěma návrhy je předmětem tab. 25. Stávající technologie obrábí tzv. na jeden průjezd celý přídavek $a_p = 0,8$ mm. Oba návrhy vychází z nastavení přídaveků $a_p = 0,7$ mm pro hrubování a $a_p = 0,1$ mm pro dokončování.

Tabulka 25 Porovnání strategií čelního frézování [10].

Strategie	Strojní čas [min]	
	Hrubování	Dokončování
Návrh Sandvik Coromant	0,586	0,638
Návrh KENNAMETAL	0,252	0,694
Stávající technologie	0,762	

4.3.3 Frézování stěn

Cílem návrhu nové technologie je eliminovat nevhodné použití válcových čelních fréz ze slinutého karbidu. Stávající nastavení záběru 3–5D fréz při hrubování odpovídá $a_p = (0,08–0,25) \times D$ a $a_e = (0,35–0,70) \times D$. Toto nastavení si vynutilo během optimalizace výrazné snižování posuvu na zub f_z a řezné rychlosti v_c . V programu pro nerezový rám došlo u některých nástrojů dokonce k redukci posuvu o cca 80 % [10, 11].

Na základě geometrie válcové čelní frézy a doporučení výrobců nástrojů má mít válcová čelní fréza záběr cca $a_p = 1,5 \times D$ a $a_e = 0,1 \times D$ pro zachování 100 % posuvu na zub. Dále dle obráběného materiálu se mění ve většině případů řezná rychlost v_c a nikoliv posuv na zub f_z viz katalogová doporučení [13, 38].

Výsledné nastavení:

- Hrubování stěn.
 - Ø8 4Z – nastavení: $a_{pmax} = 11$ mm; $a_e = 0,4–0,6$ mm.
 - Ø6L 4Z – nastavení: $a_{pmax} = 8$ mm; $a_e = 0,6$ mm.
- Dokončování stěn.
 - Ø6L 6Z – nastavení: $a_{pmax} = 15$ mm; $a_e = 0,2$ mm.
 - Ø4L 4Z – nastavení: $a_{pmax} = 5$ mm; $a_e = 0,2–0,6$ mm.

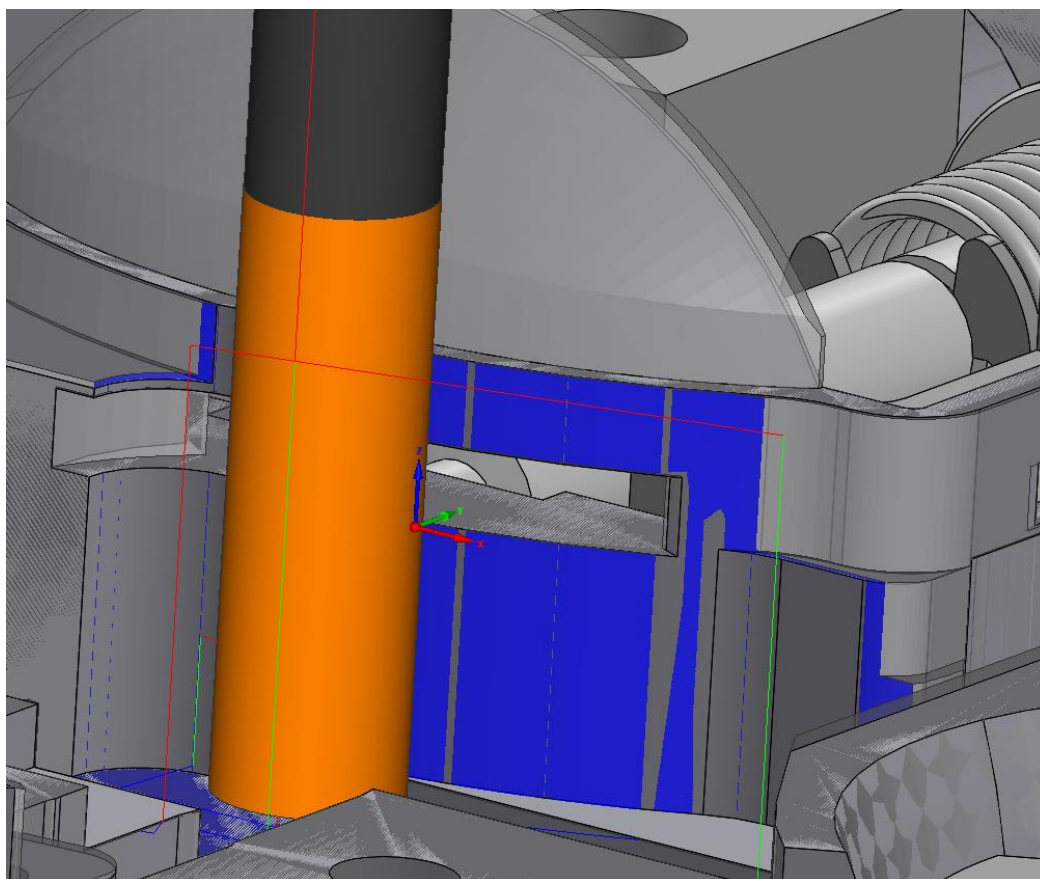
Cílem této změny je zvýšení produktivity a trvanlivosti monolitních nástrojů. Teoretické navýšení produktivity vychází z nastavení užití fréz [39], jejich dráhy a času. Tab. 26 demonstruje porovnání původní technologie s technologií novou (návrh). Byly vybrány nástroje, které v původní technologii i návrhu nové technologie obrábí totožné prvky. Stávající technologie užívá pěti monolitních fréz. Frézy v původním CNC programu v několika případech „obrábí“ pracovním posuvem mimo obrobek. Tento problém byl již výše zmíněn, vznikl ponecháním vadné dráhy v CNC programu a došlo pouze na přidání dráhy další. Dále vyšší čas způsobuje nevhodné požití válcových čelních fréz, kdy fréza obrábí poměrem cca $a_e/a_p = 2/1$. Nejvíce je tato chyba poznat u dokončování prodlouženou frézou Ø6L se šesti zuby.

Návrh nové technologie operuje již se zapracovanými úpravami nastavení záběru válcových čelních fréz viz obr. 38, na kterém obrábí fréza téměř celou funkční délkou, zde $a_p = 13,35$ mm. Počet potřebných fréz pro návrh je čtyři. Válcová čelní fréza $\varnothing 8$ v novém návrhu technologie obrábí prvky, které původně obrábí fréza $\varnothing 10$.

Tabulka 26 Porovnání monolitních fréz pro Operaci Dutina [10].

Stávající technologie				Návrh nové technologie			
Fréza	Počet zubů	Dráha [mm]	Strojní čas [min]	Fréza	Počet zubů	Dráha [mm]	Strojní čas [min]
$\varnothing 10$	4	784	0,54	$\varnothing 8$	4	508	0,54
$\varnothing 8$	4	880	0,56	$\varnothing 6L$	4	146	0,58
$\varnothing 6L$	4	949	1,20	$\varnothing 6L$	6	557	0,66
$\varnothing 6L$	6	2 327	3,08	$\varnothing 4L$	4	166	0,55
$\varnothing 4L$	4	135	1,59				

Startovací řezné podmínky monolitních válcových čelních fréz vychází z katalogových doporučení a jsou předmětem přílohy č.2.



Obr. 38 Frézování bokem válcové čelní frézy.

4.3.4 Vrtání děr

Stávající technologie vrtání děr používala strojní navrtávky s úhlem špičky $\epsilon_r = 90^\circ$. Což se ukázalo jako nevhodný úhel jak pro vrtáky ze slinutého karbidu, tak pro vrtáky z rychlořezné oceli. Nový návrh využívá navrtání strojním navrtávákem $\text{Ø}4/140^\circ$. Více o navrtávání viz kap. 3.3.5.

Stávající technologie využívá pro oba druhy odlitků jeden vrták ze slinutého karbidu a vrtáky z HSS Co5. Kdy vrták $\text{Ø}3,8$ je použit pro zahlužení děr před tvářením závitů. Nově jsou všechny vrtáky ze slinutého karbidu, který umožňuje dosažení vyšších výkonů a díry jsou zahlubovány záhlubníkem $\text{Ø}4/90^\circ$ z SK. Dále byla odstraněna speciální válcová čelní fréza $\text{Ø}2,5$, která obráběla díry pro kolíky před výstružníkem. Po důkladném rozboru CNC programu byla fréza vyřazena pro bezpředmětnost.

Tabulka 27 Návrh nástrojů pro vrtání děr.

Nástroj	Materiál	Průměr [mm]	Úhel špičky [°]
vrták	SK	$\text{Ø}3,8$	140
		$\text{Ø}2,6$	140
		$\text{Ø}2,4$	140
navrtávák		$\text{Ø}4,0$	140
záhlubník		$\text{Ø}12,0$	90
výstružník	HSS	$\text{Ø}2,5\text{E}8$	-

Porovnání vrtáků je předmětem tab. 28. Vrtáky ze slinutého karbidu zde dosahují výrazně lepších časů na totožné dráze i s vrtacím cyklem doplněným o výjezd z díry po 6 mm vrtání pro $\text{Ø}2,6$, po 4 mm pro $\text{Ø}2,4$ a prodlevou 1 s. Cyklus s výjezdem a prodlevou zajišťuje odstranění třísek u vrtáků malých průměrů bez středového chlazení.

Tabulka 28 Porovnání vrtáků pro operaci Dutina [10].

Stávající technologie			Návrh nové technologie		
Vrták	Materiál	Strojní čas [min]	Vrták	Materiál	Strojní čas [min]
$\text{Ø}3,8$	HSS	0,128	$\text{Ø}3,8$	SK	0,013
$\text{Ø}2,6$	Co5	0,223	$\text{Ø}2,6$		0,055
$\text{Ø}2,4$	SK	0,187	$\text{Ø}2,4$		0,050

4.3.5 Obrábění korunkovými frézami

Speciální korunkové frézy prošly inovací podobně jako vrtáky. U tří korunkových fréz došlo ke změně materiálu na slinutý karbid. Jediná fréza, která zůstala z rychlořezné oceli je fréza pro západku válce, tzn. fréza s nejnižším úběrem materiálu a již nyní je její trvanlivost vyhovující.

Výraznou změnou proběhla strategie obrábění, kdy většina stávajících korunkových fréz zajížděla do řezu pouze v jedné ose a po stejné dráze opět opustila řez. Tato metoda si vyžádala díky proměnlivé šířce záběru výrazné zpomalení posuvové rychlosti. U největší korunkové frézy $\text{Ø}27$ pro obrábění průchozí drážky pro kohout došlo k poklesu posuvové rychlosti až na hodnotu $v_f = 5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Návrh nové technologie využívá obrábění podél křivky s radiálním záběrem $a_{e\max} = 0,07 \times D$, kdy korunkové frézy obrábí drážku na víc průjezdů s vyšší posuvovou rychlostí. Toto nastavení umožňuje udržet konstantní hodnotu záběru frézy. Konkrétně u korunkové frézy $\varnothing 27$ ze SK se při testování podařilo navýšit posuvovou rychlost na $v_f = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tabulka 29 Porovnání speciálních korunkových fréz [10].

Stávající technologie			Návrh nové technologie		
Speciální korunková fréza	Materiál	Strojní čas [min]	Speciální korunková fréza	Materiál	Strojní čas [min]
$\varnothing 27$	HSS	7,330	$\varnothing 27$	SK	1,440
$\varnothing 22$		6,867	$\varnothing 22$		2,500
$\varnothing 12$		0,367	$\varnothing 12$	HSS	0,367
$\varnothing 10$		0,554	$\varnothing 10$	SK	0,117

4.4 Porovnání technologií výroby

Porovnání stávající technologie na jeden obrobený kus s novými návrhy je předmětem tab. 31. Kdy návrh č. 1 využívá čelní frézy společnosti Sandvik Coromant a návrh č. 2 čelní frézy spol. KENNAMETAL, ostatní použité nástroje jsou totožné pro oba návrhy.

Tabulka 30 Porovnání technologií (jeden obrobený kus) [10].

Technologie	Dráha strojního posuvu [mm]	Strojní čas „ocel“ [min]	Strojní čas „nerez“ [min]
Stávající technologie	7 394	35,26	48,19
Návrh č.1 (Sandvik Coromant)	4 213	14,37	17,47
Návrh č.2 (KENNAMETAL)		14,09	16,90

Celková dráha strojního posuvu výrazně klesla díky eliminaci nespočtu vadných drah, kdy frézy „obráběly“ mimo obrobek a přehodnocení nastavení válcových čelních fréz. Strojní čas, který je zde charakterizován pouze časem pracovního posuvu, klesl o 59 % pro rám z oceli na odlitky ČSN 42 2670 u obou uvažovaných návrhů. U koroziivzdorného materiálu (1.4057) byl snížen strojní čas o 63 % pro návrh č. 1. Návrh č. 2 dosahuje úspory strojního času 65 %. Celkový počet výměn nástroje ve vřetenu stroje byl snížen na 21 výměn z původních 26. Ke zkrácení času obrábění přispěla také změna materiálu několika rezných nástrojů z HSS na SK. Tato změna umožnila u těchto nástrojů využít progresivnější rezné podmínky.

Jelikož se jedná o návrhy technologie, nebyly všechny strategie návrhů dostatečně otestovány. Konkrétně navrtání děr správným strojním navrtávkem bylo již s úspěchem aplikováno. Trvanlivost vrtáků ze SK stoupla díky změně na 171 vrtaných obrobků pro materiál ČSN 42 2670 (týdenní statistika) [41].

Celková cena nástrojů pro návrhy nové technologie se pohybuje kolem 28 000 Kč u dražší varianty. Nástroje stávající technologie stojí jako celek 35 890 Kč.

4.5 Ukázka CNC programu

Celý CNC program [40] je duševním vlastnictvím firmy ALFA – PROJ spol. s r.o., proto jsou níže zveřejněny pouze jednotlivé ukázky. Je vynecháno nastavení nulových bodů, cyklus sondy a tváření závitů.

Záhlaví programu je tvořeno názvem charakteristickým pro řídicí systém Fanuc, nástrojovou tabulkou a základním nastavením programu. V závorkách je níže uveden název součásti, stroje, datum a čas vygenerování CNC programu a verze postprocesoru (GPP).

Označení/název programu:

```
%  
O6300(138300_DUTINA_OCEL)  
(STROJ: FANUC)  
(DATUM A CAS: 18-JUN-2020 07:42:26)  
(VERZE GPP: 29.1.2020)  
...
```

Nástrojová tabulka:

```
(=== TABULKA NASTROJU ===)  
(SONDA PR.1)  
(FR. PR.16 2Z VBD XPLT060308ERD41)  
(VALC.HRUB PR.8 4Z SK)  
(VRTAK PR.6.3 SK)  
(VALC. FR. PR.6 HRUB)  
(KOR. FR. PR.12 ZAPADKA APN-XXXXX)  
...  
(NAVRTAVAK PR.4/140°)  
(VRTAK PR.2.6 SK)  
...
```

Nástrojová tabulka je tvořena postprocesorem na základě názvu nástroje v prostředí SolidCAM. Následně jsou názvy nástrojů přiřazeny ke každé výměně nástroje.

Záhlaví prvního úseku je tvořeno G kódy pro volbu roviny (G17), zrušení nástrojových korekcí průměrových (G40) a délkových (G49), zrušení pevných cyklů (G80) a nastavení absolutního programování (G90).

Základní nastvení programu:

```
...  
N90 G17 G40 G49 G80 G90  
...
```

Ukázka frézování se skládá z názvu úseku (řádek N210), výměny nástroje se zrušením korekcí (řádek N230), načtení nástrojových korekcí (řádky N240 a N250). Příkazem T3 bude v zásobníku nástrojů na výměnné pozici připraven nástroj č.3 pro urychlení výměny. Následuje nastavení otáček a zapnutí pohonu vřetena stroje (ř. N270).

Řádky N280–N300 pomocí odkazů (např. #701=3000) určují posuvovou rychlost, která je rozdělena pro hrubování, dokončování a sestup nástroje v ose Z viz řádky N360 a N701. Tato funkce umožňuje přepsat hodnotu posuvu na začátku úseku bez potřeby hledání všech nastavení posuvové rychlosti v rozsáhlém CNC programu.

První frézovací úsek:

...
N200 (=====
N210 (CELNI PLOCHA HRUB)
N220 (=====
N230 T2 M6 G49 G40 (FR. PR.16 2Z VBD XPLT060308ERD41)
N240 D2
N250 H2
N260 T3
N270 S5000 M3
N280 #701=3000. (HRUBOVACI)
N290 #702=0. (DOKONCOVACI)
N300 #703=300. (POSUV V Z)
N310 G54.1 P1
N320 G0 X16.907 Y86.
N330 M8
N340 G0 G43 Z25.
N350 G0 Z2.8
N360 G1 Z0.1 F#703
N370 G1 Y74.811 F#701

...
Celkový počet řádků CNC programu návrhu technologie je 7 950 řádků

5 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE

Na základě technologického postupu [5] a poznatků výrobního ředitele [11] byla vypracována výrobní návodka na operaci Dutina viz příloha č.1. Cílem vypracování této návodky je urychlení zaučení nové obsluhy stroje. Kdy každý nový operátor výroby může kdykoliv nahlédnout do výrobní návodky umístěné na pultu pracovního stolu vedle stroje.

Návodka obsahuje mimo základních informací o dané operaci podrobný návod ustavení a upnutí součásti a seznam pomůcek. Nedílnou součástí výrobní návodky je seznam nástrojů s nastavením minimálního vyložení a minimálního průměru přebroušeného nástroje. Názvy a pořadí nástrojů vychází přesně z CNC programu. Tudíž názvy neobsahují diakritiku, kterou řídicí systémy strojů často označují za chybu programu.

Minimální vyložení nástroje je pomůckou pro seřizovače, který díky rozměru minimálního vyložení chrání nástroje před vibracemi při nadměrném vyložení, nebo před bouráním držáku nástroje do součásti vlivem nedostatečného vyložení. Minimální průměr přebroušeného nástroje znemožní použití nástrojů o neadekvátním průměru, které ztrácí svou tuhost a zadáním průměrové korekce do stroje se zvyšuje jejich radiální záběr a_e viz tab. 30. Sloupec „pozice“ výrobní návodky umožňuje seřizovači si zapsat aktuální pozici nástroje v zásobníku.

Tabulka 31 Ukázka nástrojové tabulky pro výrobní návodku.

Pořadí	Pozice	Nástroj	Min. délka vyložení [mm]	Min. řezný Ø [mm]
1		SONDA RENISHAW PR.1	-	-
2		FR. PR.16 2Z VBD (7792VXP06SA016Z2R25) VBD XPLT060308ERD41 SC6525	-	-
3		VALC. FR. PR.8 4Z SK HRUB	12	7,4
5		VALC. FR. PR.6L 4Z SK HRUB	20	5,5
6		KOR. FR. PR.12 HSS ZAPADKA APN-XXXXX	20	11,5
7		KULOVA FR. PR.20 SK	30	-
8		HLAVICE PR.12 (UKDV1200X4CV KCPM15)	-	11,5
13		VALC. FR. PR.6L 6Z SK	30	5,5
14		VALC. FR. PR.4L 4Z SK	30	3,7
15		NAVRTAVAK PR.4/140° SK	30	-
16		VRTAK PR.2.6 3D SK	30	-
17		VRTAK PR.2.4 3D SK	25	-

ZÁVĚR

Hlavními cíli této diplomové práce jsou rozbor stávající výrobní operace Dutina pro rám revolveru z dvou materiálů rozdílných polotovarů. Analýza moderních trendů v třískovém obrábění aplikovatelných pro operaci Dutina a návrh nové výrobní technologie s využitím nově zavedeného programu SolidCAM. Následně na základě podnětu vedení firmy byla vytvořena technická dokumentace k výrobní operaci Dutina tzv. výrobní návodka.

Rozbor stávající technologie poukazuje na použití některých nástrojů jako jsou válcové čelní frézy, čelní fréza s VBD a nástroje pro vrtání děr. Dále se rozbor zabývá trvanlivostí jednotlivých nástrojů při obrábění polotovarů rámu revolveru z materiálu ČSN 42 2670 (ocel na odlitky) a korozivzdorného materiálu 1.4057.

Analýza moderních trendů v obrábění seznamuje s využitím obrobkové sondy k měření a úpravu polohy nulových bodů obrobku. Dalším moderním prvkem je zde návrh využití kontrolního systému Equator společnosti Renishaw pro komparační kontrolu obrobků s možností plné automatizace pomocí manipulačního robota.

Návrh progresivních nástrojů se zabývá využitím čelních fréz s VBD a vyměnitelných frézovacích hlavíc na základě materiálové charakteristiky. Dále je proveden rozbor navrtávání děr za účelem zvýšení trvanlivosti vrtáků a přesnosti polohy vrtaných děr.

Návrh nové výrobní technologie se skládá ze seznámení se softwarem SolidCAM, konkrétní volby nástrojů a návrhu nových obráběcích strategií s porovnáním vůči původní technologii. Z porovnání návrhů vychází nejlépe návrh č. 2, který využívá čelní frézy spol. KENNAMETAL, ostatní nástroje jsou totožné u obou návrhů.

Výsledky návrhu č. 2 vůči stávající technologii:

Celková dráha pracovního posuvu nástrojů klesla o 43 %. Strojní čas byl zkrácen o 59 % pro rám z materiálu ČSN 42 2670 (ocel na odlitky) a o 65 % pro rám z korozivzdorného materiálu 1.4057. Počet výměn nástroje byl snížen o 5 výměn. Navrtání děr správným strojním navrtávákem zvýšilo trvanlivost vrtáků ze SK o 63 % pro materiál ČSN 42 2670. Celková cena sady nástrojů pro operaci Dutina klesla u návrhu č.2 o 7 890 Kč oproti stávající technologii. Pokles ceny byl způsoben vyřazením dvou nákladných speciálních fréz. Celková cena sady nástrojů je složena z cen nástrojů nutných k obrobení minimálně jednoho rámu revolveru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Hlavní vlastnosti série CZ P-10. Česká zbrojovka a.s.: *Hlavní vlastnosti série CZ P-10* [online]. 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.czub.cz/firearms-and-products-family/p-10>
- [2] *Téma: Produkce revolverů.: Interview s Rudolfem VEPŘEKEM, jednatel ALFA – Proj spol. s r.o.* 2019.
- [3] *REVOLVER ALFA STEEL 3561.* 2019. Brno: ALFA – Proj spol. s r.o., 2019.
- [4] *Zákon o střelných zbraních a střelivu: 119/2002 Sb.* 2002.
- [5] *Technologický postup výroby součástí – Ocelové tělo: Neveřejný interní dokument.* Brno.
- [6] *Ocel na odlitky uhlíková ČSN 42 2670: Materiálový list.* Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] *Cr–Ni martenzitická korozivzdorná ocel 1.4057 (X17CrNi16-2): Materiálový list.* Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [8] Doosan DNM 500 II: Vertikální frézovací centrum. *Doosan Machine Tools* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.doosanmachinetools.com/en/product/series/D210_71/view.do
- [9] *Obrobková sonda MP12: Renishaw* [online]. In: . [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://resources.renishaw.com/download.aspx?lang=en&data=6103&btn=1>
- [10] *CNC program Dutina – řídicí systém Heidenhain: Neveřejný interní dokument.* 2014. Brno.
- [11] *Téma: Obrábění rámu revolveru.: Interview s Václavem KARÁSKEM, ředitel výroby ALFA – Proj spol. s r.o.* 2020.
- [12] *Příručka uživatele iTNC 530: Programování cyklů.* HEIDENHAIN, 2009.
- [13] *Dokončovací frézy. MasterCut Tools* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://mastercuttool.com/parts-v4-sq/>
- [14] *Čelní fréza do rohu. KENNAMETAL* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/us/en/products/p.mill-1-10-end-mills-weldon-shank-metric.3744635.html>
- [15] *Hodnocení trvanlivosti nástrojů – operace Dutina: Neveřejný interní dokument.* Brno: ALFA – Proj spol. s r.o., 2020.
- [16] *Téma: Průmysl 4.0, robotizace, automatizace: Interview s Tomášem VEPŘEKEM, výkonný ředitel ALFA – Proj spol. s r.o.*
- [17] *Téma: Obrobková sonda vs Equator: Interview s Markem ŠKODOU, aplikační technik Renishaw.* Mezinárodní strojírenský veletrh Brno, 2019.
- [18] MAREK, T.; MAREK, J. *Mít sondu nestačí.* Olomoucká 1164/85, Brno: Renishaw s.r.o., 2017. 121 p. ISBN: 978-80-87017-20-3.
- [19] *Kontrolní systémy Equator: Brožura* [online]. Renishaw, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/kontrolni-system-equator-500--43237>

-
- [20] *Téma: Výběr kontrolního systému Equator.: Emailová korespondence s Michalem TVARDKEM, MAPD produktový manažer Renishaw.* 2020.
- [21] *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přeložil: M. Kudela. AB Sandvik Coromant. Praha. Scientia, s.r.o. 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.*
Přeloženo z: *Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook.*
- [22] *Téma: Čelní obrábění: Interview s Štěpánkou Nemravovou, distributor Sandvik Coromant.* Brno, 2020.
- [23] *Čelní fréza pro frézování do rohu CoroMill 390: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=R390-012EH12-07M>
- [24] *Břítové destičky CoroMill 390 pro frézování: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=390R-070204M-PM%20%20%20%20%204340>
- [25] *Téma: Čelní frézování: Interview s Antonínem KREJČÍM, distributor KENNAMETAL.* Brno, 2020.
- [26] *Frézy pro vysoké posuvy: KENNAMETAL* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/products/p.modulrn-hlavy-7792vxp06-se-zvitovou-stopkou.5681105.html>
- [27] *Břítové destičky pro frézování: KENNAMETAL* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/products/p.xplt06-d41-inserts-first-choice-for-machining-stainless-steel-and-high-temp-alloys.5655265.html>
- [28] *Vyměnitelné frézovací hlavice CoroMill 316: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_316/Pages/optimized.aspx
- [29] *Monolitní karbidová hlavice CoroMill 316: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=316-12SL442-12000P%20%201730>
- [30] *Vysoce výkonné modulární stopkové frézy DUO-LOCK: KENNAMETAL* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/products/p.6072161.html>
- [31] *Obráběné materiály – Klasifikace obráběných materiálů s využitím MC kódů: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [32] *NC navrtávky – proč a kdy je používat: Stim Zet* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/tech_navrtavaky_cz.html
-

- [33] *Vrtáky ve šroubovici, DIN 1897, extra krátké: WNT* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/N%C3%A1stroje/Vrt%C3%A1n%C3%AD/HSS%20vrt%C3%A1ky/V%C3%A1lcov%C3%A1%20stopka/do%203xD/Typ%20UNI/UNI-PM-92-660-9R-93D-9DIN1897%20TIN%20HSSE-PM%20VRT%C3%81K%20VE%20%C5%A0ROUBOVICI%2010113026>
- [34] *Spotting the right angle (přel.: Správný úhel navrtání): HARVEY TOOL* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: http://www.harveytool.com/secure/Content/Documents/Chart_SpottingTheRightAngle.pdf
- [35] *Téma: Navrtávání: Interview s Vladimírem VAŇKEM, jednatel VKV Tools s.r.o.* Brno, 2020.
- [36] *SolidCAM – integrovaný CAM pro SOLIDWORKS: SolidVision* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidcam/>
- [37] *Doosan DNM 4 500: Vertikální centra TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/vertikalni-centra/vertikalni-centra-znacky-doosan/dnm-4500-5700-6700/>
- [38] *High-performance milling tools: Fraisa (katalog)* [online]. 2020 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.fraisa.com/en/assets/media/pdf/kataloge/en/FRAISA_KATALOG_FRAESER_2020_WEB_EN.pdf
- [39] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [40] *CNC program Dutina – řídicí systém Fanuc: Neveřejný interní dokument*. Brno: ALFA – Proj spol. s r.o., 2020.
- [41] *Hodnocení trvanlivosti vrtáků – operace Dutina: Neveřejný interní dokument*. Brno: ALFA – Proj spol. s r.o., 2020.
- [42] *Výpočtové vztahy a definice pro frézování: Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_e	[mm]	Radiální záběr hlavního ostří
a_p	[mm]	Šířka záběru hlavního ostří (axiální záběr ostří)
CAD	[-]	Computer Aided Design (počítačem podporované projektování)
CAM	[-]	Computer Aided Design (počítačová podpora obrábění)
CNC	[-]	Computer Numerical Control (číslicové řízení pomocí počítače)
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition (chemické napařování z plynné fáze)
f_z	[mm]	Posuv na zub
h_m	[mm]	Průměrná tloušťka třísky
HSC	[-]	Vysokorychlostní obrábění
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
HSS Co5	[-]	Rychlořezná ocel s přídavkem kobaltu (5 %)
HSS PM	[-]	Rychlořezná ocel vyrobené práškovou metalurgií
ID	[-]	Identifikační číslo nástroje
k_c	[N.mm ⁻¹]	Měrná řezná síla
k_{c1}	[N.mm ⁻¹]	Jednotková řezná síla
MC (CMC)	[-]	Coromant Material Classification (klasifikace materiálů spol. Sandvik Coromant)
n	[min ⁻¹]	Otáčky vřetena
Ø6L 4Z	[-]	Písmeno L značí prodlouženou verzi nástroje, před písmenem Z najdeme počet zubů
OTK	[-]	Pracoviště kontroly (odbor technické kontroly)
P_c	[kW]	Řezný výkon stroje
PDM	[-]	Product Data Management (řízení produktových dat)
PLM	[-]	Product Lifecycle Management (řízení životního cyklu produktu)
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition (fyzikální napařování)
Q	[cm ³ .min ⁻¹]	Objem odebraného materiálu.
R_a	[µm]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_z	[µm]	Výška nerovností profilu z deseti bodů
SK	[-]	Slinutý karbid
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
ϵ_r	[°]	Úhel špičky nástroje
K_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
φ	[°]	Úhel záběru frézy

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výrobní návodka – Rám ocel 32/357/38
Příloha 2 Řezné podmínky a strojní časy.
Příloha 3 Použité vzorce



RÁM OCEL 32/357/38

138 300

List
1/7

VÝROBNÍ NÁVODKA

OPERACE:

030 – DUTINA

STROJ:

Doosan DNM 500 II

Doosan DNM 4 500

ŘÍDICÍ SYSTÉM:

HEIDENHAIN

FANUC

VYBAVENÍ STROJE:

OTOČNÝ STŮL

OTOČNÝ STŮL

PŘÍPRAVEK:

APU-00198

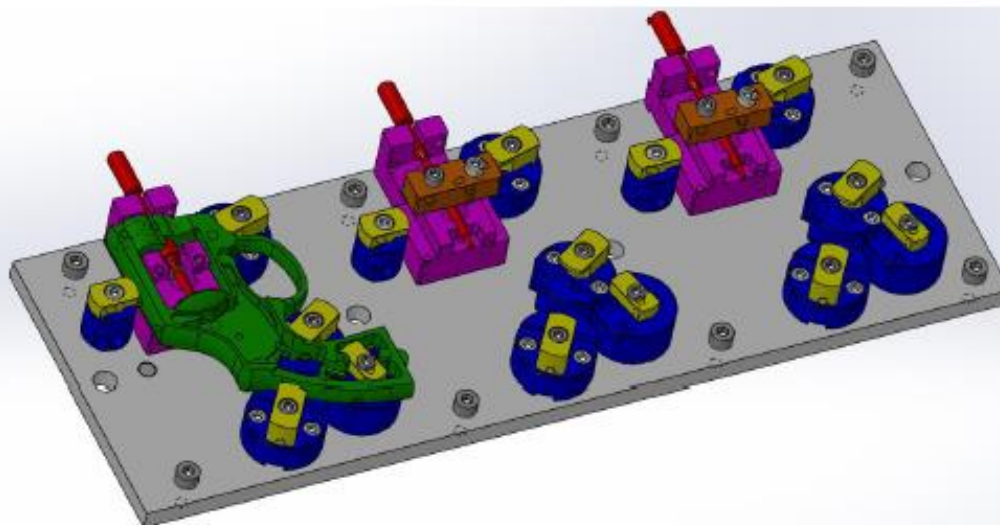
APU-00198

CNC PROGRAM:

IIOPERACE_SONDA

O6300 – DUTINA_OCEL

TROJNÁSObNÝ UPÍNAČ APU-00198



INDEX/VERZE:

0

DATUM VYDÁNÍ:

14.6.2020

VYPRACOVAL:

OLEJNÍČEK



RÁM OCEL 32/357/38

138 300

List
2/7**SEZNAM NÁSTROJŮ PRO OPERACI DUTINA**

Pořadí	Pozice	Nástroj	Min. délka vyložení [mm]	Min. řezný Ø [mm]
1		SONDA RENISHAW PR.1	-	-
2		FR. PR.16 Z2 VBD (7792VXP06SA016Z2R25) VBD XPLT060308ERD41 SC6525	-	-
3		VALC. FR. PR.8 4Z SK HRUB	12	7,4
4		VRTAK PR.6.3 3D SK	30	-
5		VALC. FR. PR.6L SK HRUB	20	5,5
6		KOR. FR. PR.12 ZAPADKA HSS APN-XXXXX	20	11,5
7		KULOVA FR. PR.20 SK	30	-
8		HLAVICE PR.12 (UKDV1200X4CV KCPM15)	-	11,5
9		KOR. FR. PR.27 KOHOUT SK ACN-XXXXX	30	26,0
10		CTVRTKRUH. VYDUTA FR. R17.5 KOULE SK ACN-XXXXX	30	11,6
11		KOR. FR. PR.10.1 SPOUST SK ACN-XXXXX	30	9,0
12		KOR.FR. PR.22 POSOUVAC SK ACN-XXXXX	20	21,5
13		VALC. FR. PR.6L 6Z SK	30	5,5
14		VALC. FR. PR.4L 4Z SK	30	3,7
15		NAVRTAVAK PR.4/140° SK	30	-
16		VRTAK PR.2.6 3D SK	30	-
17		VRTAK PR.2.4 3D SK	25	-
18		VRTAK PR.3.8 3D SK	25	-
19		VALC. FR. PR.3 4Z SK	30	2,8
20		ZAHLUBNIK PR.4/90° SK	30	-
21		VYSTRUZNIK PR.2.5E8 SK	25	-
22		ZAVITNIK TVARECI M3	30	-

*Pořadí nástrojů totožné s CNC programem.

INDEX/VERZE:

0

DATUM VYDÁNÍ:

14.6.2020

VYPRACOVAL:

OLEJNÍČEK

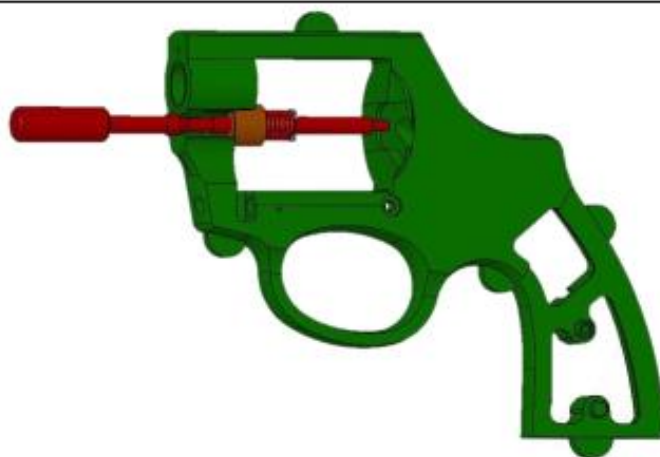


RÁM OCEL 32/357/38

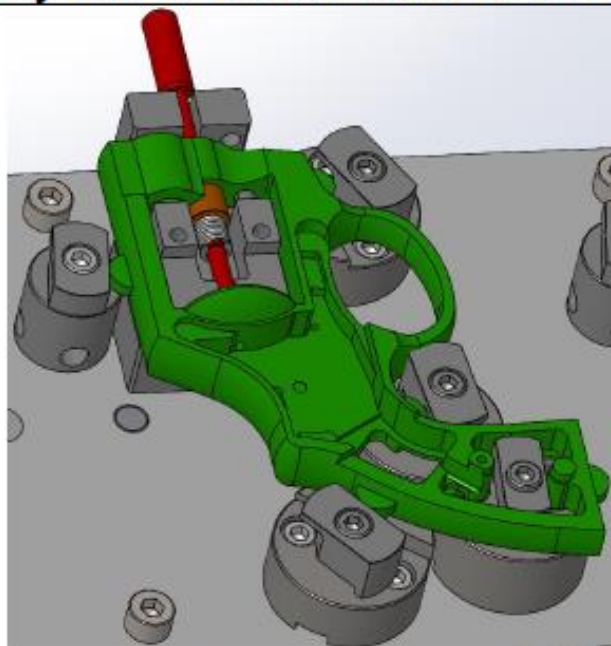
138 300

List
3/7

USTAVENÍ A UPNUTÍ



1) Do osy rámu vsadit ustavovací trn.



2) Rám společně s ustavovacím trnem osadit do dolní ustavovací kostky.

INDEX/VERZE:

DATUM VYDÁNÍ:

VYPRACOVAL:

0

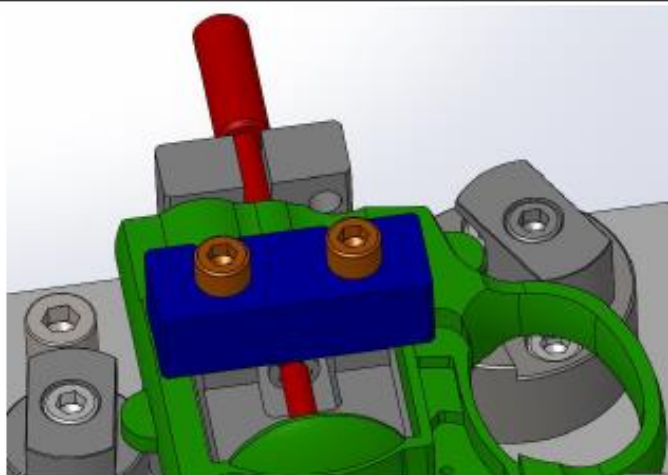
14.6.2020

OLEJNÍČEK

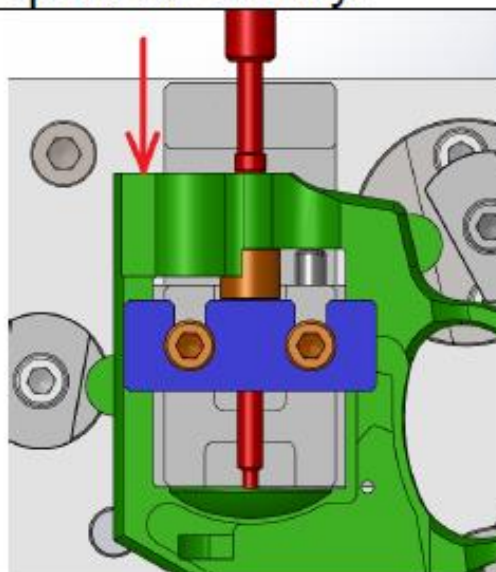


RÁM OCEL 32/357/38

138 300

List
4/7

- 3) Přes okno rámu přiložit horní ustavovací kostku spolu se šrouby.



- 4) Tlakem ve směru šipky dorazit rám na dolní ustavovací kostku a utáhnout šrouby kostky horní.

INDEX/VERZE:

0

DATUM VYDÁNÍ:

14.6.2020

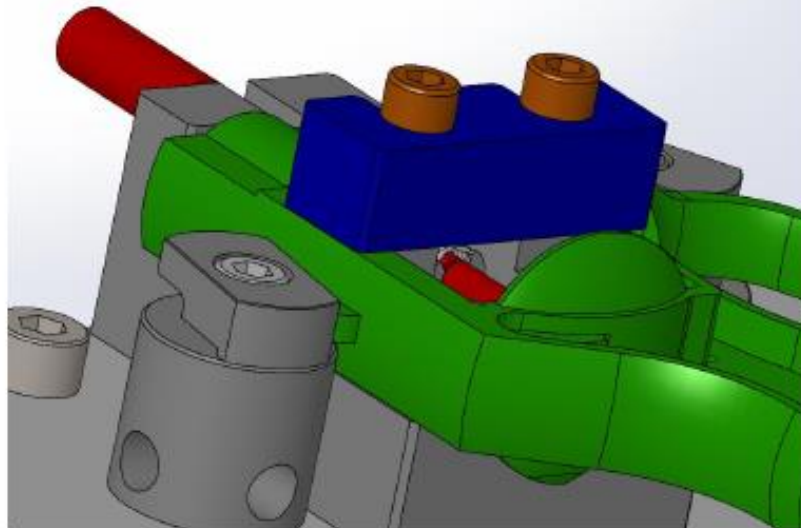
VYPRACOVAL:

OLEJNÍČEK

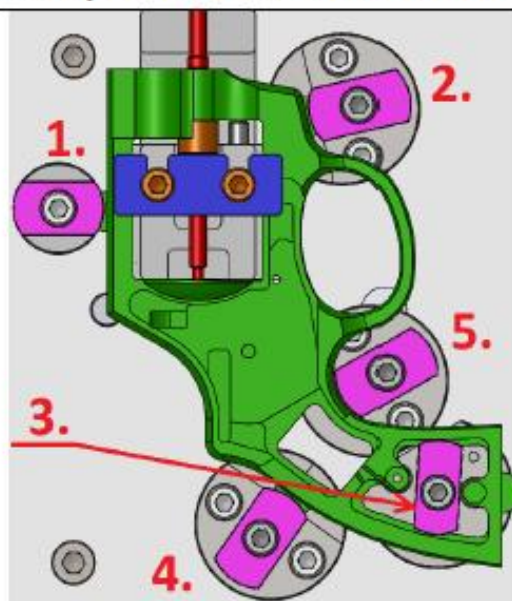


RÁM OCEL 32/357/38

138 300

List
5/7

5) Kontrola správnosti ustavení.



6) Ve stanoveném pořadí utáhnout šrouby všech upínek.

INDEX/VERZE:

0

DATUM VYDÁNÍ:

14.6.2020

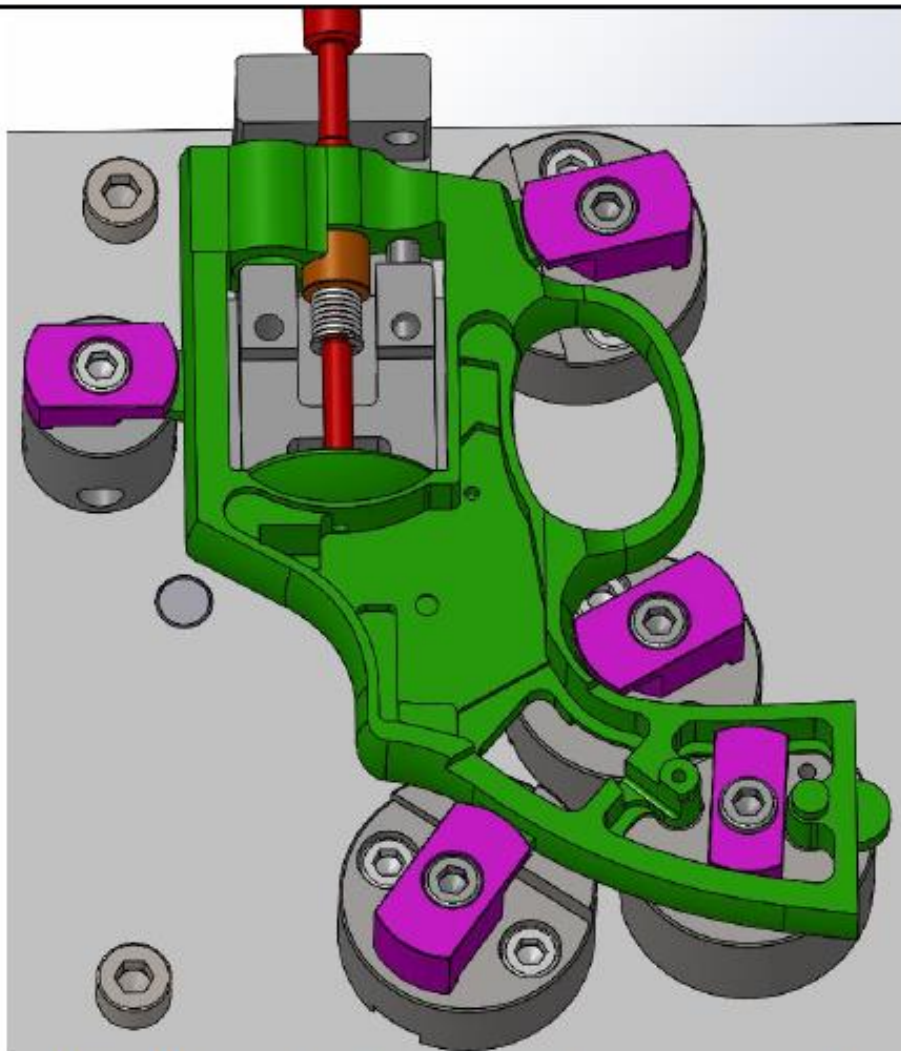
VYPRACOVAL:

OLEJNÍČEK



RÁM OCEL 32/357/38

138 300

List
6/7

7) Povolit šrouby horní nastavovací kostky a odstranit ji i se šrouby.

8) Kontrola pevného upnutí.
Kontrola odejmutí všech horních nastavovacích kostek.

INDEX/VERZE:

0

DATUM VYDÁNÍ:

14.6.2020

VYPRACOVAL:

OLEJNÍČEK

	RÁM OCEL 32/357/38	138 300	List 7/7
POMŮCKY:			
<ul style="list-style-type: none">• Posuvné měřidlo• Sada klíčů pro vnitřní šestihran (IMBUS)• Pilník čtyřhranný 300 12x12			
POZNÁMKY:			
INDEX/VERZE:	DATUM VYDÁNÍ:	VYPRACOVAL:	
0	14.6.2020	OLEJNÍČEK	

Příloha 2 (1/2)

Návrh č.1 (frézy Sandvik Coromant) [40].	Řezné podmínky OCEL		Řezné podmínky NEREZ		Dráha [mm]	Strojní čas [min]	
	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]		OCEL	NEREZ
FR. PR.12 4Z VBD (R390-012EH12-07M) VBD 390R-070204M-PM 4340	4 770	1 290	3710	950	756	0,586	0,796
VALC.HRUB PR.8 4Z SK	6 700	940	5900	940	508	0,540	0,540
VRTAK PR.6.3 3D SK	4 700	270	3650	270	9	0,033	0,033
VALC. FR. PR.6L HRUB	6 300	250	5400	250	146	0,584	0,584
KOR. FR. PR.12 ZAPADKA HSS APN-XXXXX	630	30	470	30	11	0,367	0,367
KULOVA FR. PR.20 SK	3 550	400	2800	330	66	0,165	0,200
HLAVICE PR.12 (316-12SL442-12000P 1730)	4 030	980	2250	430	625	0,638	1,453
KOR. FR. PR.27 KOHOUT SK ACN-XXXXX	1 400	100	1100	100	144	1,440	1,440
CTVRTKRUH. VYDUTA FR. R17.5 KOULE SK ACN-XXXXX	200	60	200	60	84	1,400	1,400
KOR. FR. PR.10.1 SPOUST SK ACN-XXXXX	3 700	120	3300	120	14	0,117	0,117
KOR.FR. PR.22 POSOUVAC SK ACN-XXXXX	1 700	100	1400	100	250	2,500	2,500
VALC. PR.6L 6Z SK	7 000	840	6300	600	557	0,663	0,928
VALC. PR.4L 4Z SK	7 000	300	6300	300	166	0,553	0,553
NAVRTAVAK PR.4/140° SK	2 000	150	2000	150	44	0,293	0,293
VRTAK PR.2.6 3D SK	7 200	650	6600	400	36	0,055	0,090
VRTAK PR.2.4 3D SK	7 500	300	7000	240	15	0,050	0,063
VRTAK PR.3.8 3D SK	7 000	450	6500	300	6	0,013	0,020
VALC. FR. PR.3 4Z SK	7 500	300	6300	300	71	0,237	0,237
ZAHLUBNIK PR.4/90° SK	3 100	200	1600	150	14	0,070	0,093
VYSTRUZNIK PR.2.5E8 SK	1 200	170	900	120	691	4,065	5,758
ZAVITNIK TVARECI M3	1 800	–	1400	–	–	–	–
				Σ	4 213	14,370	17,466

Příloha 2 (2/2)

Návrh č.2 (frézy KENNAMETAL) [40].	Řezné podmínky OCEL		Řezné podmínky NEREZ		Dráha [mm]	Strojní čas [min]	
	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	v _f [mm.min ⁻¹]		OCEL	NEREZ
FR. PR.16 2Z VBD (7792VXP06SA016Z2R25) VBD XPLT060308ERD41 SC6525	5 000	3 000	3300	2000	756	0,252	0,378
VALC.HRUB PR.8 4Z SK	6 700	940	5900	940	508	0,540	0,540
VRTAK PR.6.3 3D SK	4 700	270	3650	270	9	0,033	0,033
VALC. FR. PR.6L HRUB	6 300	250	5400	250	146	0,584	0,584
KOR. FR. PR.12 ZAPADKA HSS APN-XXXXX	630	30	470	30	11	0,367	0,367
KULOVA FR. PR.20 SK	3 550	400	2800	330	66	0,165	0,200
HLAVICE PR.12 (UKDV1200X4CV KCPM15)	4 200	900	2380	480	625	0,694	1,302
KOR. FR. PR.27 KOHOUT SK ACN-XXXXX	1 400	100	1100	100	144	1,440	1,440
CTVRTKRUH. VYDUTA FR. R17.5 KOULE SK ACN-XXXXX	200	60	200	60	84	1,400	1,400
KOR. FR. PR.10.1 SPOUST SK ACN-XXXXX	3 700	120	3300	120	14	0,117	0,117
KOR.FR. PR.22 POSOUVAC SK ACN-XXXXX	1 700	100	1400	100	250	2,500	2,500
VALC. PR.6L 6Z SK	7 000	840	6300	600	557	0,663	0,928
VALC. PR.4L 4Z SK	7 000	300	6300	300	166	0,553	0,553
NAVRTAVAK PR.4/140° SK	2 000	150	2000	150	44	0,293	0,293
VRTAK PR.2.6 3D SK	7 200	650	6600	400	36	0,055	0,090
VRTAK PR.2.4 3D SK	7 500	300	7000	240	15	0,050	0,063
VRTAK PR.3.8 3D SK	7 000	450	6500	300	6	0,013	0,020
VALC. FR. PR.3 4Z SK	7 500	300	6300	300	71	0,237	0,237
ZAHLUBNIK PR.4/90° SK	3 100	200	1600	150	14	0,070	0,093
VYSTRUZNIK PR.2.5E8 SK	1 200	170	900	120	691	4,065	5,758
ZAVITNIK TVARECI M3	1 800	–	1400	–	–	–	–
				Σ	4 213	14,092	16,897

Použité vzorce [31], [42]:

Řezná rychlost $v_C = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1\,000} [m \cdot min^{-1}]$

Posuv na zub $f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} [mm]$

Požadovaný užitečný výkon stroje $P_C = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6 \cdot \eta} [kW]$

Krouticí moment $M_C = \frac{P_C \cdot 30 \cdot 10^6}{\pi \cdot n} [Nm]$

Průměrná tloušťka třísky – frézování bokem $h_m = \frac{360 \cdot \sin \kappa_r \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D \cdot \arccos(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D})} [mm]$

Průměrná tloušťka třísky – čelní frézování $h_m = \frac{180 \cdot \sin \kappa_r \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D \cdot \arcsin \frac{a_e}{D}} [mm]$

Měrná řezná síla $k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-mc} \cdot (1 - \frac{\gamma_o}{100}) [N \cdot mm^2]$

$$k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-mc} \text{ (pro neznámou hodnotu } \gamma_o)$$

Objem odebraného materiálu $Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{1\,000} [cm^3 \cdot min^{-1}]$

* Výše uvedené vzorce vycházejí z návodu frézování a klasifikace obráběných materiálů s využitím MC kódů (Sandvik Coromant).