

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Programování NC strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aplikace nadstavbových funkcí soustružnického centra na výrobu
součásti „hlavní hřídel“

Autor: **Martin FRNOCH**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří VYŠATA, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin FRNOCH**

Osobní číslo: **S12B0031P**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Studijní obor: **Programování NC strojů**

Název tématu: **Aplikace nadstavbových funkcí soustružnického centra na výrobu součástí "hlavní hřídel"**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Analýza požadavků na součást
3. Rozbor výrobních možností vybraného stroje
4. Návrh způsobu výroby s využitím funkcí stroje
5. Navrh ověření použitelnosti nadstavbových funkcí na vzorcích
6. Kontrola rozměrů a jakosti vyrobených ploch vzorků
7. Celkové hodnocení a závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **JANDEČKA, K., ČESÁNEK, J., KOŽMÍN, P.: Programování NC strojů. Plzeň: ZČU,2000. ISBN 80-7082-694-4**
- **VRABEC, M., MÁDL,J.: NC programování v obrábění. Praha: ČVUT,2004. ISBN 80-01-03045-8**
- **ŠTULPA, M.: CNC obráběcí stroje a jejich programování 1. vyd.Praha: 2006. ISBN 80-7300-207-8**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**

Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Luboš Kroft**

Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2015

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D., za velmi cenné rady při zpracovávání a celkové vedení této práce. Dále bych chtěl velmi poděkovat panu Ing. Luboši Kroftovi, za praktické rady a pomoc s praktickou částí práce. Dále také děkuji paní RNDr. Světlaně Tomiczkové, Ph.D. a panu Doc. RNDr. Františkovi Ježkovi, Csc., za objasnění problematiky geometrické charakteristiky trigonu. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Frnoch	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Programování NC strojů“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata Ph.D.	Jméno Jiří	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Aplikace nadstavbových funkcí soustružnického centra na výrobu součástí „hlavní hřídel“		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	63	TEXTOVÁ ČÁST	41	GRAFICKÁ ČÁST	22
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato práce spočívá především v otestování nadstandardních funkcí stroje CTX beta 1250 TC 4A na experimentálních vzorcích a případného určení možnosti využití stroje a jeho nasazení do výroby na předem určené součásti „hlavní hřídel“. Dále porovnává dosavadní výrobní postup s dvěma navrženými výrobními postupy. Jeden z postupů je při dosavadním vybavení stroje a druhý při jeho možném teoretickém dovybavení.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Mimoosé soustružení, frézování ozubení, odvalování, technologie obrábění, ozubení, polygon, trigon

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Frnoch	Name Martin	
FIELD OF STUDY	B2341 „Programming of NC Machines“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Application of additional functions of turning center for the production of component „main shaft“		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	63	TEXT PART	41	GRAPHICAL PART	22
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused mainly on testing special features of CTX beta 1250 TC 4A on experimental samples and possible determination of the possibilities using the machine on a predetermined component which is the "main shaft". This thesis further compares the current manufacturing proces with two designed production processes. One of the processes is with current equipment of the machine and otherone is with theoretical retrofitting of the machine.
KEY WORDS	Eccentric turning, milling of gear, machining technology, polygon, trine

Obsah

1. Úvod	8
2. Analýza požadavků na součást	9
2.1. Hlavní funkční prvky součásti	9
3. Rozbor výrobních možností stroje	13
3.1. Možnosti dovybavení stroje	20
4. Návrh a ověření použitelnosti stroje	21
4.1. Návrh zkoušky výroby trigonu	21
4.2. Ověření výroby trigonu	23
4.3. Kontrola rozměrů trigonu	30
4.4. Návrh zkoušky výroby ozubení	31
4.5. Ověření výroby ozubení	33
4.6. Kontrola rozměrů ozubení	35
5. Návrh způsobu výroby	37
6. Závěr	38
Seznam použité literatury	40
Seznam obrázků	41
Seznam tabulek a příloh	42

Seznam použitých zkratek a symbolů

VBD – vyměnitelná břitová destička

CNC – číslicově řízný počítačem

CAD – počítačem podporované navrhování

CAM – počítačová podpora obrábění

PC – Osobní počítač

\varnothing – průměr [mm]

R – poloměr [mm]

Ra – drsnost povrchu (střední aritmetické úchylka profilu)

α, β – úhel [°]

F – posuv [mm/ot.]

V – řezná rychlost [m/min]

° – stupeň

mm – milimetr

μm – mikrometr

Nm – newtonmetr

1. Úvod

Ve výrobě má smysl zavádět automatizační prvky, především u velkosériové výroby, a to z několika důvodů. Jedná se o důvody ekonomické, kvalitativní a v neposlední řadě i důvody zlepšení pracovních podmínek obsluhy. Díky automatizaci je možné dosáhnout větší přesnosti výroby a tím lze zmírnit zmetkovitost, což má za následek z ekonomického hlediska zvýšení zisku. Z kvalitativního pohledu jde především o dodržení kvality povrchů a stálosti rozměrů požadovaných výkresovou dokumentací. Zlepšení pracovních podmínek obsluhy poukazuje na samostatnost výrobních procesů, například přeupínání obrobku, které dříve musel vykonávat člověk. V případě plně automatizovaného procesu stroj tyto procesy zvládá sám. Tím pádem obsluha se strojem operuje pouze párkrát za směnu a může tak věnovat svou pozornost kontrole, začišťování hotových výrobků případně obsluhovat další stroj. Právě proto je zapotřebí průběžně inovovat jak výrobní postupy, výrobní prostředky, tak eventuálně i výrobní systémy.

Právě o inovaci výrobních postupů se jedná v případě tvarově složité, rotační součásti „hlavní hřídel“. Tato součást obsahuje prvky, které se momentálně vyrábí na více strojích. Současná technologie výroby této součásti je tedy poměrně členitá. S progresí nových technologií se ovšem naskýtá nová možnost. Má-li se využít možností moderního multiprofesního soustružnicko-frézovacího centra, které je schopné tyto technologické prvky obrobit, je zapotřebí výrobní postup náležitě přepracovat. Jedná se kromě výroby standardních rotačních ploch také o mimoosé soustružení, frézování a dále o výrobu ozubení odvalováním a dokončovací broušení. Na pravém čele součásti mají být navíc vyvrtány díry v ose i mimo osu.

Stroj, který umožňuje takovou multiprofesní výrobu součásti a který je pro podobné inovativní způsoby obrábění k dispozici na halové laboratoři RTI¹, je CTX beta 1250 TC 4A od společnosti DMG MORI. Tento stroj má velmi všestranné využití. Jedná se o vysoce moderní soustružnicko-frézovací centrum s možností mimoosého soustružení a frézování. Mnoho funkcí toho stroje je zatím nevyzkoušených, a proto je hlavním cílem této práce, ověření možnosti využití některých nadstandardních funkcí zvoleného stroje. Speciální funkce tohoto stroje se otestují na experimentálních vzorcích. Doplňkovým cílem práce je návrh nové technologie pro součást „hlavní hřídel“ ve dvou verzích. Při dosavadním vybavení stroje a poté při možném teoretickém dovybavení stroje o další zařízení, která zvýší jeho produktivitu. K navržení technologií pro tuto součást přispějí právě poznatky získané při vytváření technologie pro jednotlivé experimentální vzorky.

¹ Regionální technologický institut – strojírenské a technologické výzkumné centrum fakulty strojní ZČU

2. Analýza požadavků na součást

Pro účely této práce byla vytvořena součást, která se inspirovala skutečnou součástí s názvem „hlavní hřídel“. Vytvořená součást se liší v několika prvcích a rozměrech z důvodu zachování podnikového „know-how“. Jedná se ovšem o změny, které nijak neovlivní návrh technologie.

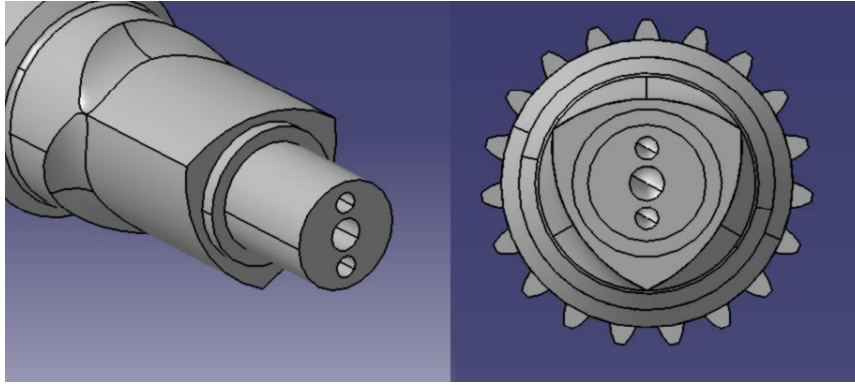
Součást „hlavní hřídel“ je složitá rotační součást ze středně legované ušlechtilé cementační oceli s označením ČSN 16 326.0. V rámci této práce byla provedena rešerše materiálových norem ČSN, ale materiál s označením ČSN 16 326.0 se v dané databázi nepodařilo najít. Pro případ, že by zákazník nedodal materiál pro výrobu, byl nalezen materiál s blízkým označením 16 420, jehož obrobitelnost je 13b. Lze tedy uvažovat, že pravděpodobná obrobitelnost materiálu ČSN 16 326.0 pro účely této práce je 13b. Při porovnání s etalonem 12 051 pro oceli, který má obrobitelnost 14b se ukazuje, že obrobitelnost specifikovaného materiálu je s vysokou pravděpodobností poměrně dobrá. Zhoršuje se pouze o jeden jediný stupeň, což má dopad především na řeznou rychlost, která je v poměru o $\frac{1}{1,26}$ menší².

Z výkresové dokumentace kromě materiálu lze zjistit že, polotovarem součásti je kruhová tyč o průměru Ø90 mm a délce 440 mm. Celková délka součásti je 435 mm, největší průměr je Ø84 mm a neoznačené plochy součásti mají předepsanou drsnost povrchu $R_a 3,2$. Tato součást je hlavní hřídelí v tiskárně, jejíž bližší funkce nebyla specifikována. Pravděpodobně slouží k přenesení otáček a krouticího momentu z ozubení na trigon, který patrně slouží jako vačka. Z hlediska funkčnosti lze součást rozdělit na 3 nejdůležitější prvky. Trigon jako výstupní člen přenosu otáček a krouticího momentu, na další části mechanismu spolu s ozubením, které slouží naopak jako vstupní člen pro otáčky a krouticí moment a v neposlední řadě průměr Ø65 m6 na kterém je nasazeno kluzné ložisko k usnadnění otáčivého pohybu a přenesení zatížení na jiné části stroje.

2.1. Hlavní funkční prvky součásti

Jedním z důležitých prvků hlavní hřídele je trigon, který je možné vidět na obrázku (*Obr. 1*). Obrázek ukazuje model součásti se zaměřením především na trigon v izometrickém pohledu a také v pohledu zprava na pravé čelo součásti. Tento prvek lze geometricky charakterizovat, jako kolmou taženou plochu, jejíž řídicí křivkou je křivočarý trojúhelník. Slouží pravděpodobně, jak již bylo zmíněno, jako výstupní element při přenášení otáček a krouticího momentu a svou funkcí připomíná vačku, která transformuje otáčivý pohyb na posuvný. Z výkresu lze zjistit, že délka trigonu až k rádiusu R15 (bez rádiusu) je 45 mm a poloměr zakřivení (rádiusů) jednotlivých stran je 40,17 mm. Tyto rádiusy jsou části excentrických kruhových ploch s excentricitou 18,6 v toleranci $\pm 0,02$. Taková tolerance excentricity je ovšem značně vysoký požadavek na přesnost. Jeho hodnota je vlastně na úrovni přesnosti opakovaného najetí běžných obráběcích strojů s CNC řízením. Pro výrobu toho prvku v dané přesnosti je nutné použít stroj, který se při každém nájezdu nevychýlí z tolerančního pole rozměru o velikosti 40 μm . Definovaná drsnost povrchu pro trigon je $R_a 0,4$, k jejímu dosažení je nutné obrobený a tepelně zpracovaný povrch dokončit broušením.

² Řezná rychlost dvou sousedních materiálu se liší v poměru o $\frac{1}{\sqrt[10]{10}}$



Obr. 1 - Trigon

Trigon se doposud vyrábí na klasickém soustruhu mezi hroty s využitím excentrických důlků, kdy obrobek rotuje excentricky a dochází k přerušovanému řezu. To má za následek cyklické zatížení břitu nástroje mechanickými a teplotními rázy, je tedy potřeba zvolit vhodný nástroj s VBD. Pozitivním faktem je, že hloubka řezu je proměnlivá, při vstupu do materiálu je nepatrná a postupně narůstá, což pomáhá eliminovat vliv rázů při přerušovaném řezu. K tomuto faktu také přispívají poměrně nízké otáčky při výrobě obrobku, které se pohybují okolo 100 ot./min. Toto omezení otáček obroku je z důvodu velkých odstředivých sil, ty by dosáhly takových hodnot, které by dokázali narušit stabilitu stroje. V případě soustružnického centra je také důvodem, že řízení stroje by nezvládlo korigovat kinematiku stroje při vyšších otáčkách, což ovšem nevádí, protože prvotním důvodem omezení otáček obroku je velikost vznikajících odstředivých sil. Díky tomuto faktu je ovšem možné použít méně tvrdé nástroje. Nejdůležitějším krokem dosavadní technologie je přesné vyrobení excentrických důlků.[6]

Na trigon je tečně napojen rádius R15 s předepsanou drsností $R_a 0,2$, který vybíhá do průměru $\varnothing 55 f7$. Tento průměr je tolerován také geometricky, a to proti obvodovému házení s přesností tolerančního pole 0,01. K dosažení předepsané drsnosti povrchu se přechodový rádius po obrobení ještě leští. Tento úsek má ještě předepsanou kontrolu na vznik trhlin a vrubů.

Pro obrobení trigonu včetně rádiusu R15 je zapotřebí, kromě klasického soustružení pro úpravu obroku, využít excentrického soustružení a později pro dokončení i excentrického broušení.

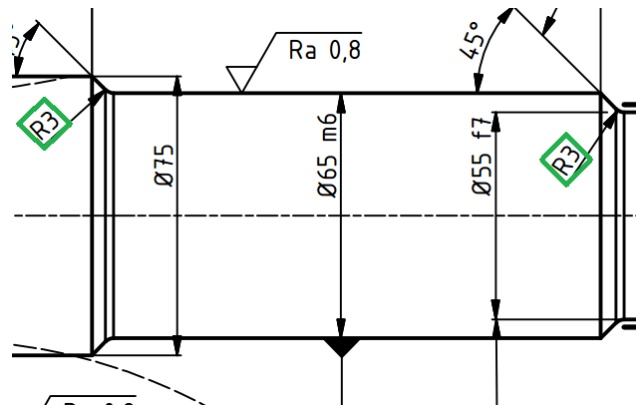
Při postupu od pravého čela hřídele je možné vidět, že trigonu předchází osazení o průměru $\varnothing 38^{+0,0}_{+0,1}$ s drsností $R_a 0,8$, které slouží pravděpodobně jako doraz pro valivé ložisko a osazení o průměru $\varnothing 30^{-0,015}_{-0,025}$ s $R_a 0,4$ na kterém je zřejmě valivé ložisko nasazeno. Pro dosažení předepsaných drsností se obě osazení brousí.

Na pravém čele součásti jsou definované dvě díry situované mimo osu o průměru $\varnothing 6$ mm a vzdálené od osy otáčení součásti 9 mm. Boky těchto děr mají předepsanou drsnost povrchu $R_a 6,3$. Pro dosažení jejich předepsané drsnosti je potřeba dbát na kvalitu nástroje, tedy vrtáku. Výroba těchto ustavovacích důlků vyžaduje funkci mimoosého vrátní, kdy řezný pohyb a posuv vykonává pouze nástroj. Tyto díry slouží pravděpodobně jako ustavovací důlky přesnější uložení součásti. Jejich další možnou funkcí by mohlo být přenášení krouticího momentu pro zařízení, které počítá otáčky. V ose součásti se nachází díra se závitem M10. Její přepokládaný účel je k našroubování víčka se závitem.

Trigon, a jemu výše zmíněné přidružené prvky mají z výkresové dokumentace předepsané tepelné zpracování cementací s následným povrchovým kalením a hloubkou zakalené

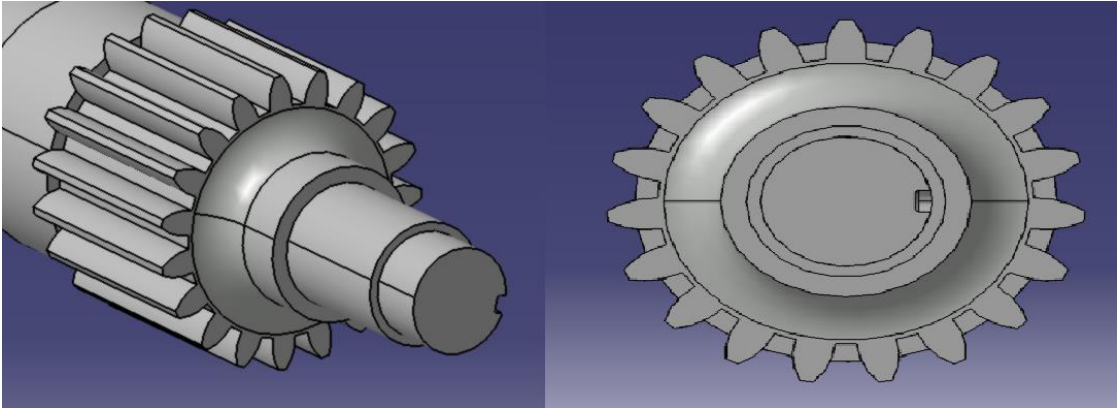
vrstvy 0,6-0,7 mm při tvrdosti 60-62 HRC. Pro tento úsek je tedy potřeba provést kontrolu deformací a rozměrů po tepelném zpracování.

Dalším důležitým prvkem z hlediska funkčnosti je také průměr $\text{Ø}65 \text{ m}6$ (Obr. 2), jak již bylo uvedeno. Ten má dle výkresu definovanou délku 135 mm a drsnost povrchu $R_a 0,8$. Tento průměr je spojen s přilehlými prvky, tedy průměrem $\text{Ø}75$ mm a průměrem $\text{Ø}55 \text{ f}7$ přechodovými sraženými $5 \times 45^\circ$. Oběma přechodovým sražením předchází rádius $R3$ označený na obrázku (Obr. 2) v zeleném rámečku, vždy při přechodu z menšího průměru na větší. Sražení, které je spojovacím prvkem průměru $\text{Ø}65 \text{ m}6$ a $\text{Ø}57 \text{ f}7$, má předepsanou drsnost povrchu $R_a 0,4$. Pro získání předepsaných drsností povrchu se sražení i průměr $\text{Ø}65 \text{ m}6$ po obrobení brousí. Průměr $\text{Ø}65 \text{ m}6$ je také základnou A pro geometrickou toleranci obvodového házení. Na tomto průměru je pravděpodobně nasazeno kluzné ložisko, zřejmě proto má přechodové sražení z pravé strany definovanou drsnost povrchu $R_a 0,4$ k snadnějšímu nasazení ložiska a povrch toho průměru má definovanou drsnost $R_a 0,8$. Tento prvek má vcelku přísnou toleranci $\text{m}6$ v rozsahu $_{-0,015}^{0,000}$, pro její dosažení je nutné dbát na řezné podmínky. Při výrobě průměru $\text{Ø}65 \text{ m}6$ je dobré použít soustružení, kdy nástroje nejezdí po podélných drahách vůči ose otáčení obrobku, ale po kuželových drahách, tím se vyhrubuje nepatrná kuželová plocha a při dokončování nástroj jede po inverzní kuželové dráze, než byla u hrubování, čímž se zaručí přesnější plocha v případě přísné tolerance $\text{m}6$ toho rozměru. Také se zamezí nepřesnosti vlivem průhybu součásti působením gravitace.



Obr. 2 - Průměr $\text{Ø}65 \text{ m}6$

Posledním významným funkčním prvkem je čelní nekorigované ozubení s přímými zuby evolventním profilem, modulem 4, počtem zubů 19 a šířkou 65 mm. Ozubení je možné vidět na obrázku (Obr. 3), a to stejně jako trigon v izometrickém pohledu na součást se zaměřením na ozubení a v pohledu zleva na levé čelo součásti. Ozubení má definovanou toleranci proti obvodovému házení s přesností tolerančního pole 0,01 mm a tolerovanou drsnost povrchu $R_a 0,8$ na plochu zubu. Jeho funkcí je pravděpodobně přenášení otáček a kroticího momentu z hnacího členu na trigon. Ozubení má také jako trigon předepsané tepelné zpracování cementací a povrchovým kalením s hloubkou zakalení 0,6-0,7 při tvrdosti 60-62 HRC. Po obrobení a tepelném zpracování se ozubení ještě brousí, aby bylo dosaženo předepsané drsnosti povrchu $R_a 0,8$. Pro výrobu ozubení jsou zásadě dva způsoby, odvalovací a dělicí, a to v rámci technologii frézování nebo obrábění. Je třeba pamatovat také na dokočení, které je typicky broušení, a to oběma možnými způsoby odvalovacím a dělicím. Výběr vhodného způsobu výroby ozubení bude proveden a podrobněji popsán v kapitole 4.[5]



Obr. 3 - Ozubení

Přechodový rádius R10 je spojícím prvkem mezi ozubením a osazením o průměru $\varnothing 44$ mm. Radius R10 a průměr $\varnothing 44$ mm mají definovanou drsnost povrchu Ra 6,3. Tyto prvky není nutné po obrobení brousit, neboť požadované drsnosti povrchu lze dosáhnout při běžném obrábění při stupni přesnosti až IT12. Tento průměr nemá žádnou významnou funkci, pravděpodobně slouží jako doraz pro valivé ložisko.[4]

Dalším navazujícím prvkem je osazení s průměrem $\varnothing 35$ h5 tolerované proti obvodovému házení, s drsností povrchu $R_a 0,8$ a zapichem G2 \times 0,2. Na tomto průměru je pravděpodobně nasazeno valivé ložisko zajištěné proti axiálnímu posuvu KM maticí s MB podložkou. Pro tyto zajišťovací prvky valivého ložiska je určen závit M30 \times 1,5 a drážka 5P9 s výběhem. Na levém čele součásti je definován středící důlek tvaru A o vnitřím průměru 2 a větším průměru 4,25 dle normy ČSN 01 4915, který bude použit i na pravém čele při výrobě.

Trigon s rádiusem včetně osazení pro valivé ložisko a ozubení, mají předepsané tepelné zpracování cementací s následným povrchovým kalením. Je proto nezbytné aby prvky, které nemají předepsané toto tepelné zpracování, byly náležitě ochráněny před nasycením povrchu uhlíkem. Možnosti ochrany povrchu jsou dvě, a to využití cementačního přídatku na obrábění nebo cementační pasty. V dosavadním výrobním postupu pro součást je využito cementačního přídatku, neboť uhlík použitý pro nauhličení je vyvíjen z organických kapalin, které mají značnou agresivitu vůči materiálu cementační pasty. To vede k jejímu rozrušení při nauhličování za vysokých teplot a k průniku uhlíku do povrchu chráněného materiálu. Ovšem pokud by technologie nauhličování byla jiná, bylo by možné využít cementační pasty, s výhodou možnosti okamžitého povrchového kalení po cementaci a zkrácení výrobního postupu o operaci odebrání cementačního přídatku.

U všech ploch v toleranci H7 nebo IT8 případě lepší, je zapotřebí počítat s broušením po teplém zpracování cementací a následným povrchovým kalením, což je i běžným postupem dosavadní technologie.

Součást „hlavní hřídel“ má z hlediska technologičnosti konstrukce poměrně vysoké požadavky na tvarovou složitost prvků, tak i na kvalitu povrchu. Výrobu dané součásti je možné realizovat tak jako dosud, řadou klasických strojů tedy soustruhem, frézkou, souřadnicovou vrtačkou a bruskou. Ovšem s výhodou by mohl být použit stroj, který by některé nebo v lepším případě všechny tyto funkce mohl realizovat pomocí vlastního nastavbového vybavení. Jde především o excentrické soustružení, frézování odvalovacím způsobem, broušení, a to i excentrické. Tyto funkce nejsou na běžném soustruhu či frézce možné. Z hlediska automatizace se nabízí otázka, zda by bylo možné výrobní proces součásti co nejvíce koncentrovat na jeden stroj. Tedy racionalizovat její výrobu tak, aby

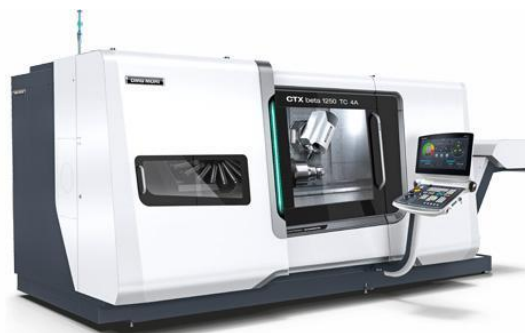
probíhala na jediném obráběcím stroji, který by byl schopen vytvořit všechny prvky požadované výkresovou dokumentací.

3. Rozbor výrobních možností stroje

Z předchozí kapitoly je možné vidět, že zadaná součást představuje určitou výzvu pro otestování stroje, který alespoň některé ze zmíněných nadstavbových funkcí má. Při klasickém návrhu technologie pro výrobu součásti s požadavky danými zákazníkem či výkresovou dokumentací, by bylo nutné vybrat z dostupných strojů v halové laboratoři FST sadu nejvhodnějších výrobních prostředků pro sestavení výrobního postupu. Tomu tak v případě součásti „hlavní hřídel“ není. Tedy výběr vhodného stroje pro výrobu součásti, nebude součástí této práce. Zde jde především o otestování výrobních možností, již zvoleného stroje na vybrané součásti s názvem „hlavní hřídel“, což je specifickým cílem této práce. Otestování je koncipováno formou zkoušení výroby dvou z pohledu obrábění poměrně složitějších a pro součást z hlediska funkčnosti důležitých prvků, a to trigonu a ozubení.

Testovaným strojem má být CTX Beta 1250 TC 4A od společnosti DMG MORI. Je to vysoce moderní soustružnicko-frézovací centrum, které se nachází v prostorách RTI. Stroj lze vidět na obrázku (Obr. 4), který naskýtá pohled částečně do pracovního prostoru stroje, kde je vidět kromě hlavního vřetena i soustružnicko-frézovací vřeteno mírně skloněno pod úhlem. Kromě těchto dvou viditelných prvků disponuje také protivřetenem a revolverovou hlavou. Pro ovládání stroje slouží ovládací panel na polohovatelném rameni. Vlevo je možné vidět okénko se zásobníkem nástrojů, které slouží jednak pro možnou optickou kontrolu stavu zásobníku a nástrojů, ale také pro přímé vkládání, popřípadě vyjmutí nástrojů za chodu stroje.

Je možno si povšimnout, že se jedná o stroj poměrně větších rozměrů. Pozoruhodností je i velký důraz na designovou stránku stroje. Toto obráběcí centrum je schopné klasického obrábění tedy soustružení a frézování, ale především disponuje nadstavbovými funkcemi, které odpovídají principům kompletního obrábění. Díky tomu je možné vyrábět tvarově složité prvky, provádět mimoosé soustružení, případně vyrábět ozubení a řadu dalších možných způsobů obrábění.



Obr. 4 - CTX Beta 1250 TC 4A[1]

Z předchozí kapitoly lze stanovit kritéria, která jsou kladená na výrobní zařízení pro výrobu součásti. Stroj musí být schopen vyrábět v přesnosti 0,02 mm a zvládat kromě klasického soustružení, vrtání a frézování další výrobní funkce.

Na stroj jsou kladeny z hlediska obráběcích funkcí tyto požadavky. V závorkách jsou uvedeny prvky, pro jejichž zhotovení se daná funkce použije. Jedná se o požadavky, které přesahují možnosti běžných soustruhů:

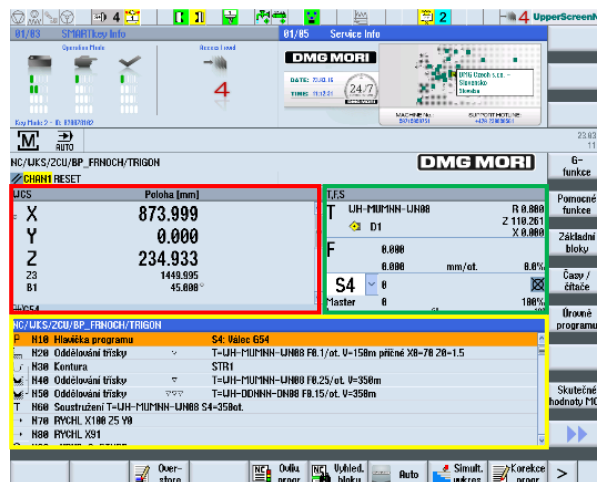
- Frézování poháněným nástrojem (drážka s výběhem 5P9)
- Excentrické soustružení (trigon)
- Odvalovací frézování (ozubení)
- Mimoosé čelní vrtání (ustavovací důlky)
- Broušení (drsnost povrchu Ra 0,2 - 0,8)

Stroj je možné dovybavit zařízeními, která by dále zvýšila jeho výrobní možnosti, a tudíž u některých součástí včetně součásti zadané, umožnila výrobu na jediném stroji toho typu.

Jde o následující zařízení:

- Laser - pro povrchové kalení (při změně materiálu)
 - gravírování
 - LST³
- Podavač tyče
- Podavač hotových výrobků

Základní prostředí řídicího systému stroje „SINUMERIK 840D sl“ je k vidění na obrázku (Obr. 5). Tento obrázek je možné rozdělit na tři tabulky. Červená tabulka vlevo uprostřed obrázku udává momentální polohu nástroje v osách X, Y, Z. Zelená tabulka vpravo uprostřed ukazuje právě zvolený nástroj, jeho posuv a případně otáčky jde-li o rotační nástroj. Spodní žlutá tabulka ukazuje aktuálně aktivní řádek programu. Horizontální a vertikální postranní lišta slouží k orientaci v systému a zpřístupňuje další funkce. Je patrné že, „SINUMERIK 840D sl“ je velmi výkonný a všestranný software, kde je možné vytvářet programy jak ručním zadáváním G-kódu, tak pomocí cyklů, kdy se do tabulky vyplní pouze důležité parametry zvolené funkce a řídicí systém vytvoří část programu sám. Tento systém je schopen velké škály technologických operací od broušení, obrábění laserem přes výrobu ozubených kol až po vykonávání více operací současně. Pokud by stroj byl dovybaven zařízeními, které zvýší jeho produktivitu a umožní tak kompletní výrobu součástí, řídicí systém je na takovéto rozšíření již připraven a tyto nadstavbové funkce podporuje.[3]



Obr. 5 - Sinumerik 840D sl

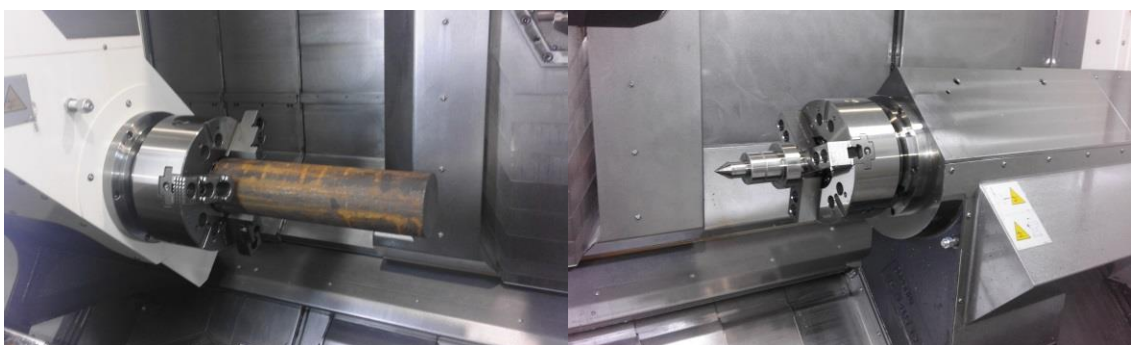
³ Laser supported turning – laserem podporované obrábění (dále v textu bude vysvětleno)

Programovat lze buď přímo u stroje na ovládacím panelu k vidění na obrázku (Obr. 6) nebo lze do stroje také vkládat programy vytvořené na odděleném pracovišti vybaveném počítačem. Na obrázku (Obr. 6) je vidět ovládací panel se základním prostředím řídicího systému „SINUMERIK 840D sl“ a klávesnicí pro navigaci v tomto řídicím systému a ovládání stroje. Pro oddělená technologická pracoviště je navržen software SinuTrain, který simuluje prostředí stroje a řídicí systém „Sinumerik 840D sl“. Jeho nespornou nevýhodou je nedostupnost některých funkcí, které v ovládacím panelu běžně fungují, například excentrické soustružení. To poukazuje na další problém, a to na nemožnost danou funkcí odsimulovat přímo na technologickém pracovišti. Bohužel ani na stroji simulace této funkce není úplně jasná. Nezbyvá pak jiná možnost než data přenést do stroje a po posunutí počátku obrábění stroj pustit a nechat obrábět ve vzduchu naprázdno.



Obr. 6 - Ovládací panel stroje

Pro upínání je stroj vybaven kromě hlavního vřetene také protivřetenem, které lze vidět na obrázku (Obr. 7). Zde je vidět hlavní vřeteno s upnutým polotovarem ve tříčelistovém sklíčidle a protivřeteno s upnutým koníkem ve tříčelistovém sklíčidle. Stroj je navíc vybaven lunetou na revolverové hlavě. Tím že stroj disponuje dvěma upínacími vřeteny je schopen kompletního obrábění, to znamená sloučení různých operací do jediné operace. Tedy sloučení operací frézování, vrtání, soustružení, řezání laserem, kalení, broušení do jediné operace soustružnického multiprofesního centra. Stroj dokáže také přeupnout součást z hlavního vřetena do protivřetena, bez nutnosti pozastavení operace či případnému zásahu obsluhy, což přispívá k zmenšení chyby vzniklé upnutím. Při upínání delších součástí je možné součást po vyvrtání důlku podepřít hrotem, umístěným v protivřetenu. Na obrázku (Obr. 7) lze vidět, že hrot je upnutý přímo ve sklíčidle protivřetena, pokud tedy je potřeba protivřeteno využít jinak musí se hrot vyjmout a součást tak nebude možné podepřít pomocí hrotu. Dále má stroj k dispozici pro upínání i CNC lunetu umístěnou v revolverové hlavě. Pro její použití je ovšem nutné mít předem připravený povrch součásti, jinak by mohlo dojít k poškození lunety, vyosení součásti, vibračním vlivem nerovnosti povrchu a dalším nepříznivým jevům.



Obr. 7 - Hlavní vřeteno a protivřeteno s koníkem

Dalším možným využitím dvou upínacích vřeten je upnutí dlouhé rotační součásti, což zamezí jejímu průhybu při obrábění, nicméně je nutné (ale i možné) otáčky obou vřeten synchronizovat, aby bylo možné dodávat krouticí moment z obou upínacích zařízení. Synchronizace je nutná i v případě, kdy se součást přeupíná a to z důvodu eliminace prověšení součásti vlivem gravitace, přesnosti výroby a zajištění bezproblémového chodu programů. Součást „hlavní hřídel“ má požadavek na obrobení obou čel, možnost přeupnutí je tedy velmi přínosná pro návrh technologie, neboť součást není možné obrobit na jediné upnutí. Obě upínací vřetena disponují osou C, tedy možnostmi polohování a natáčení do určité polohy. Tuto funkci lze využít při vytváření zkušebního vzorku trigonu, pro pootáčení obrobku. Další možnost využití pootáčení vřetena je při frézování drážek. Protivřeteno je navíc ještě možné posouvat v ose Z.

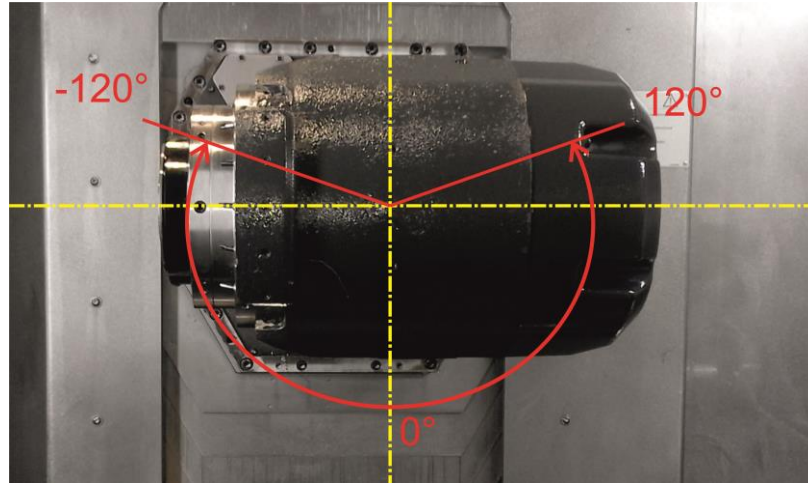
Standardním vybavením pro obrábění na soustruhu bývá revolverová hlava k vidění na obrázku (*Obr. 8*), kde je také vidět kromě nástrojů i CNC luneta. Také v případě tohoto soustružnického centra se jedná o standardní výbavu. Revolverová hlava se může pohybovat ve třech osách, zpravidla se u soustruhu pohybuje v osách X a Z. Toto obráběcí zařízení má k dispozici dvanáct pozic pro poháněné nástroje, a možnost posuvu v osách X, Y, Z v rozsahu 195, 40 a 1200 mm. Díky tomu je možné používat kromě nerotačních nástrojů, jako jsou soustružnické nože, nástroje rotační, tedy vrtáky a frézy. Při používání rotačních nástrojů s použitím funkce frézování či mimoosé vrtání zastaví stroj rotaci vřetena s obrobkem a roztočí nástroj což umožňuje výrobu děr, drážek, závitů a podobně. Vrtat a frézovat je možné pouze v horizontální či vertikální poloze podle upevnění nástroje. Tato možnost obrábění je opět velmi užitečná pro zadanou součást, neboť ta má požadavek na vrtání mimoosých děr na čele. Revolver lze také použít při podepírání delších součástí, a to díky možnosti vybavit revolver CNC lunetou poháněnou hydraulickým zařízením, která je vidět na obrázku (*Obr. 8*). Jak již bylo zmíněno, je potřeba předem opracovat povrch součásti, aby nedošlo k jejímu vyosení. Velmi podstatnou nevýhodou je, že luneta zabírá na revolveru tři pozice místo jedné. Jedná se o nepříliš dobrou koncepci provedení, která neumožňuje využít všechny pozice nástrojů pokud je revolverová hlava vybavena lunetou.



Obr. 8 - Revolverová hlava s lunetou

Dalším nadstandardním zařízením je soustružnicko-frézovací vřeteno (*Obr. 9*). Z názvu je patrné, že tento obráběcí prvek je schopen provádět jak soustružnické, tak frézovací operace. Na obrázku (*Obr. 9*) je vidět v poloze, kdy je skloněno do úhlu -90° vůči své nulové poloze, takže osa vřetena je rovnoběžná s osou obrobku. Obráběcí vřeteno má posuv v osách X, Y, Z 450, 100 a 1200 mm. Disponuje také osou B, je tedy schopné se natáčet v rozsahu $(+120; -120^\circ)$ jak je možné vidět na obrázku (*Obr. 9*) a díky tomu je schopné například vrtat díry pod úhlem, či frézovat prvky které nejsou kolmo nebo

rovnoběžně umístěné vůči ose otáčení součásti. Jde tedy o poměrně významnou funkci. Synchronizace otáček vřeten a pohybu supportu dále umožňují vyrábět excentrické rotační prvky na soustruhu. Tato funkce bude využita především pro ozkoušení výrobních možností stroje a také pro návrh technologií výroby součástí. Vřeteno má k dispozici zásobník nástrojů se čtyřiadvaceti pozicemi



Obr. 9 - Soustružnicko-frézovací vřeteno

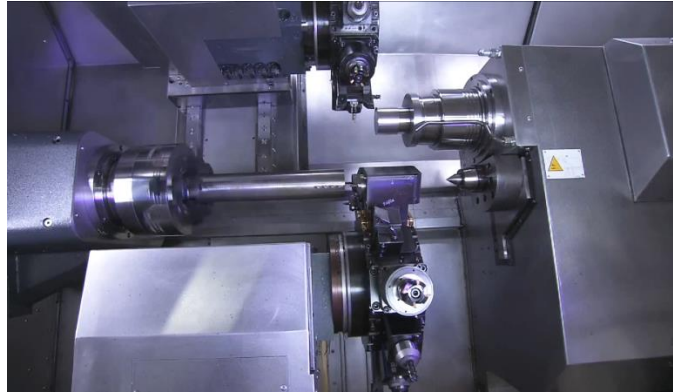
Toto zařízení má možnost pracovat jak s nástroji rotačními jako je fréza nebo vrták, tak ale také s nástroji nerotačními jako je soustružnický nůž, kdy zaaretuje nástroj v určité poloze vlastní rotace soustružnicko-frézovacího vřetena. Danou polohu je tedy možné vybírat, což umožňuje používání speciálních vícepolohových držáků pro více soustružnických nožů. K vidění je na obrázku (Obr. 10). Zde je možné vidět, že držák má tři pozice pro soustružnické nože. Výměna konkrétního nástroje na tomto držáku je poté pouze otázkou aretovaného natáčení do různých pozic. Toto možné rozšíření si najde uplatnění především ve výrobě, kde je potřeba využít velké množství soustružnických nožů, zejména ve smyslu zkrácení doby výměny nástroje a celkového výrobního času, avšak pro ověření použitelnosti není tato funkce zdaleka nutná, neboť není použito většího množství nástrojů. V případě výroby kompletní součásti by se daný element mohl využít ke zkrácení výrobního času hlavní hřídele.



Obr. 10 - Vícepolohový držák pro HSK

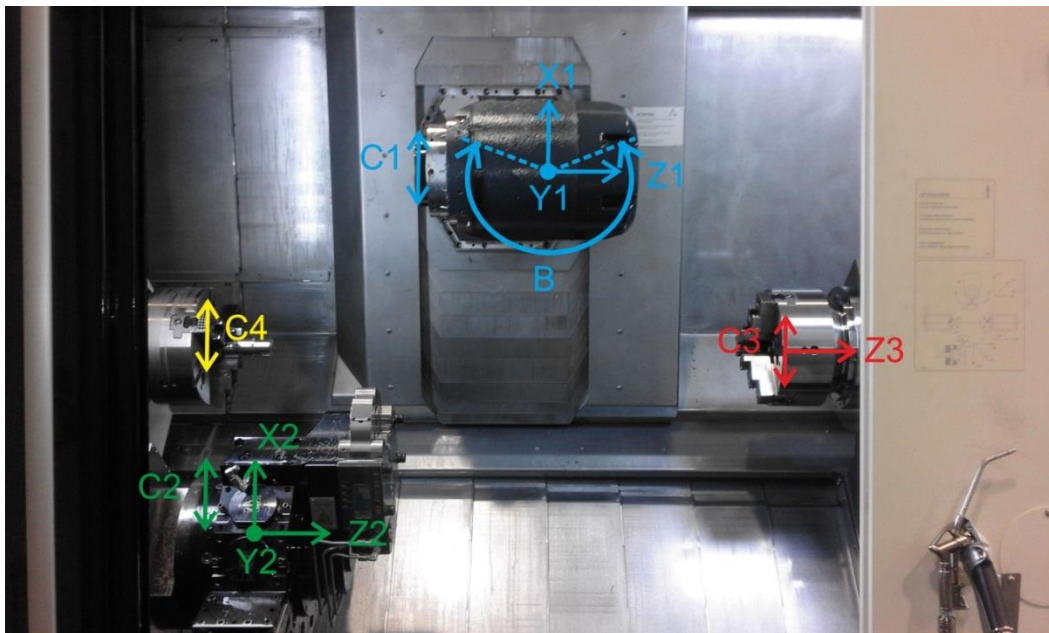
Stroj má tedy k dispozici čtyři výše zmíněné pohybové členy. Díky této vlastnosti je schopen vykonávat obrábění ve dvou kanálech, jak lze vidět na obrázku (Obr. 11), kde je vidět dvou kanálové obrábění na stroji podobného typu, s tím rozdílem že místo soustružnicko-frézovacího vřetena disponuje dvěma revolverovými hlavami. Dvou kanálové obrábění je velmi přínosný automatizační prvek, který umožňuje stroji například

pracovat na dvou obrobcích současně popřípadě obrábět jeden obrobek z obou stran. Oboustranné obrábění přispívá ke zmenšení otlacení a zajišťuje, že deformace působící od řezných sil se vzájemně vyruší. To má za následek zkrácení výrobních časů, zlepšení produktivity a jakosti povrchu. V případě hlavní hřídele nebude bohužel možné využít možnost stroje obrábět dva obrobky současně, neboť vrtání hlavní hřídele má $\varnothing 70$ mm a polotovar součásti má průměr $\varnothing 90$ mm. To znamená, že nebude možné využít případného podavače tyče, pokud by stroj byl tímto zařízením dovybaven. Nicméně stále je zde možnost použití obrábění z obou stran.



Obr. 11 - Dvukanálové obrábění [7]

Stroj je schopný operovat ve dvanácti osách, jak lze vidět na obrázku (Obr. 12). Osy X1, Y1, Z1 udávají souřadnice posuvu soustružnicko-frézovacího vřetená, osa B určuje natočení soustružnicko-frézovacího vřetená v rozsahu ($\pm 120^\circ$), jak již bylo zmíněno a osa C1 udává pootočení soustružnicko-frézovacího vřetená. Osy X2, Y2, Z2 ukazují posuv revolverové hlavy, kterou lze vybavit poháněnými hlavičkami a ty ještě polohovat v ose C2. Osa C4 ukazuje polohování hlavního vřetená a stejně tak osa C3 polohování protivřetená, které lze ještě posouvat ve směru osy Z, což ukazuje osa Z3.



Obr. 12 - Osy stroje

Velice významnou funkcí, a to dokončování povrchu broušením, je stroj chopen díky dobrému zakrytí pohybových částí a dokonce vodící plochy lože jsou prachotěsně

chráněny. Do lože stroje se tedy nemůže dostat brusný prach, a proto je na stroji možné brousit. V případě „hlavní hřídele“ si tato vlastnost své využití najde, zejména při navrhování a realizaci kompletní technologie, avšak při otestování výrobních možností stroje tato funkce nemá smysl, neboť jde především o vyzkoušení, zda stroj zvládne podobnou součást vyrobit. Ta má poměrně dost požadavků na drsnost povrchu, kterých lze dosáhnout pomocí broušení. V případě návrhu technologie kompletní výroby součásti bude tato funkce využita a zahrnuta v této práci alespoň teoreticky, neboť v nekompletním obrobění nemá smysl součást na tento stroj vracet po tepelné úpravě povrchu, a to z důvodu jeho poměrně velké hodinové sazby a využít tak stroje, které zvládnou odebrat cementační přídavek a brousit povrch součásti s výrazně nižší hodinovou sazbou.

Základní vlastnosti stroje			
Vlastnost		Hodnota	Jednotky
Pracovní prostor	Maximální průměr obrobku	Ø340	mm
	Maximální délka obrobku	1250	mm
	Průměr vrtání hlavní hřídele	Ø70	mm
Počet pozic pro nástroje	Zásobník pro soustružnicko-frézovací vřeteno	24	-
	Revolverová hlava	12	-
Posuv (X/Y/Z)	Soustružnicko-frézovací vřeteno	450/100/1200	mm
	Revolverová hlava	195/40/1200	mm
Otáčky	Hlavní vřeteno	5000	ot./min
	Protivřeteno	5000	ot./min
	Soustružnicko-frézovací vřeteno	12000	ot./min
	Revolverová hlava	1000	ot./min
Krouticí moment	Hlavní vřeteno	360	Nm
	Protivřeteno	360	Nm
	Soustružnicko-frézovací vřeteno	79	Nm
	Poháněná hlavička revolveru	28	Nm
Přesnost výroby	-	0,01	mm

Tab.1 - Vlastnosti stroje [2]

V tabulce (*Tab. 1*), lze vidět souhrn základních důležitých vlastností stroje. Je patrné, že má dostatečný pracovní prostor pro obrobek součásti o rozměrech $\text{Ø}90 \times 440$. Otáčky stroje a krouticí moment jsou více než dostačující pro dosažení požadavků kladených na součást. Důležitou vlastností je přesnost výroby dosahující až 0,01 mm při opakovaném najetí, což potenciálně umožňuje výrobu součásti načisto včetně přísných tolerancí.

3.1. Možnosti dovybavení stroje

Stroj je dále možné vybavit dalšími zařízeními, která ještě rozšíří jeho výrobní možnosti a umožní tak kompletní výrobu součásti „hlavní hřídel“, jak již bylo zmíněno.

Jedním z těchto zařízení je laser, který může sloužit pro LST, tedy laserem podporované obrábění. Při tomto procesu se laserem předejde třísce těsně před břitkem, což má za následek zvýšení plasticity materiálu a snížení měrného řezného odporu. Další možné využití laseru je pro gravírování nebo také pro povrchové kalení. Vystává však otázka, zda by všechny tyto operace zvládlo jedno zařízení, neboť pro každou z těchto operací je nutné jiné zaostření laserového paprsku. V rámci této práce však není potřeba tuto otázku řešit. Možností laserového obrábění stroj totiž momentálně nedisponuje a vybavit ho tímto rozšířením by byla poměrně velká investice, která by měla smysl až při velkosériové výrobě. V případě použití laseru pro povrchové kalení hlavní hřídele by bylo nutné po dohodě s konstruktérem, změnit materiál z cementační oceli na ocel samokalitelnou, která by měla podobně mechanické a materiálové vlastnosti.

Další možné zařízení, kterým lze stroj dovybavit je podavač tyče zobrazený na obrázku (*Obr. 13*). Toto zařízení by dále zlepšilo produktivitu stroje. Stroj by dokončený obrobek upichoval a dále přeupínal do protivřetena, což by zamezilo nutnosti neustále měnit polotovary. Nicméně v případě hlavní hřídele by toto zařízení své využití nenašlo, neboť obrobek má průměr $\text{Ø}90$ mm a vrtání hlavního vřetena pro podavač tyče má průměr $\text{Ø}70$ mm. Polotovar součásti je tedy příliš velký na možnost využití toho zařízení.



Obr. 13 - Podavač tyče [8]

Robotický podavač na hotové výrobky je další možnost dovybavení stroje ke zvýšení produktivity, která by přispěla k dalšímu zefektivnění výroby velkosériových zakázek. Tento prvek by své využití našel při velkosériové výrobě, ovšem v případě, že by byl využit současně s podavačem tyče a proces se stal plně automatizovaným. To v případě součásti „hlavní hřídel“ není možné, neboť nelze využít podavače tyče a navíc se tato součást vyrábí pouze kusově až malosériově.

Pokud by došlo k dovybavení současného stroje o výše zmíněné zařízení a také o nástroje pro broušení, bylo by pravděpodobně možné součást vyrobit kompletně na jediném stroji, a to i včetně povrchového kalení v případě změny materiálu z cementačního na samozakalitelný a dokončení povrchu broušením. Celý proces by se tak mohl stát plně automatizovaný a nebylo by nutné zásahu obsluhy.

4. Návrh a ověření použitelnosti stroje

Hlavním cílem této práce je ověření použitelnosti stroje CTX beta 1250 TC 4A na výrobu součásti „hlavní hřídel“. Jde především o otestování možnosti výroby složitějších prvků a vedle toho zjištění případné možnosti nasazení pro kompletní výrobu součásti „hlavní hřídel“. Těmito prvky jsou trigon a evolventní nekorigované ozubení s přímými zuby, jejichž návrhem výroby a samotnou výrobou se tato kapitola zabývá.

Pro otestování výrobních možností stroje se otestuje excentrické soustružení a frézování odvalovacím způsobem. Cílem je především otestování kinematických vazeb stroje při těchto funkcích. Možnosti broušení pro účely této práce využity nejsou, neboť stroj není na vykonávání této funkce v současné době dostatečně vybaven. V návrhu technologie pro výrobu součásti na plně vybaveném stroji na tuto funkci však také bude brán zřetel v jedné variantě postupu.

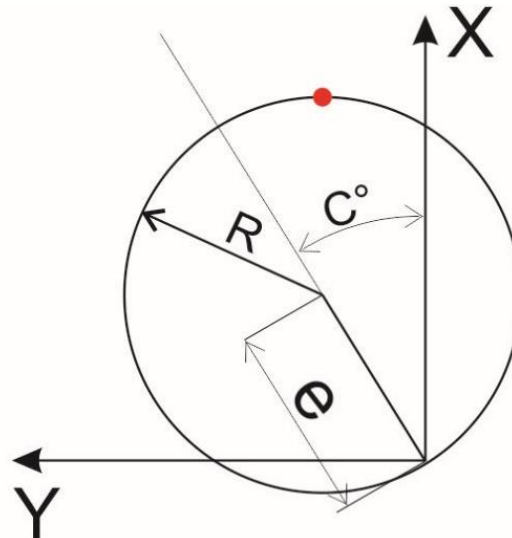
Pro součást „hlavní hřídel“ po ověření použitelnosti formou testovací výroby trigonu a ozubení, budou navrženy dva technologické postupy oba s využitím stroje CTX beta 1250 TC 4A. Jeden z postupů bude při dosavadním vybavení stroje při nedokončené součásti, kde výrobní proces na tomto stroji bude ukončen před tepelnou úpravou součásti, vyhrubováním s přídavky pro cementaci a broušení, neboť by nebylo výhodné ani produktivní součást po tepelné úpravě znovu vracet na stroj a místo toho využít stroje s nižší hodinovou sazbou. Druhý návrh výrobního postupu bude při teoretickém dovybavení stroje o již výše zmíněné zařízení, díky kterým bude stroj pravděpodobně schopen součást vyrobit kompletně a to dokonce v jednom automatizovaném procesu.

4.1. Návrh zkoušky výroby trigonu

Pro výrobu toho prvku je možné využít jak frézování tak soustružení. Pokud by se tento prvek vyráběl na součásti „hlavní hřídel“, bylo by pravděpodobně přínosnější použít frézování, z důvodu vyšší produktivity. Může se zdát, že soustružení má větší přínos z hlediska přesnosti, ovšem součást má definované ještě dokončování povrchu broušením, je tedy patrné že frézování z tohoto hlediska má jistou výhodu i když nedosahuje takové přesnosti jako soustružení. U excentrického soustružení je obecně problém s omezením řezné rychlosti, z důvodu vznikání velkých odstředivých sil kvůli vyosenému upnutí obrobku, což je pravděpodobné i v tomto případě. Zde se však obrobek upíná klasicky a stroj simuluje excentrické upnutí krouživým pohybem supportu. Kdy se support nástroje pohybuje v osách X a Y a jeho polohu je možné určit pomocí rovnic (4.1.1) pro osu X a (4.2.2) pro osu Y. Tyto rovnice vycházejí z obrázku (Obr. 14), který nabízí schématický čelní pohled na hlavní vřeteno, kde hodnota e značí excentricitu, parametr R značí poloměr rádiusu trigonu, C uhel natočení hlavního vřetena a červený bod určuje momentální polohu špičky nástroje.

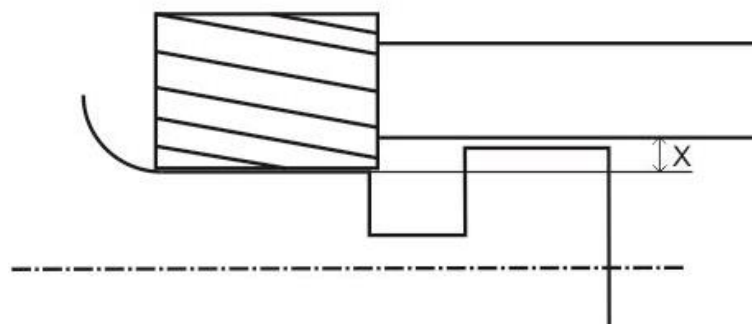
$$x = e \cdot \cos(C) + R \quad (4.1.1)$$

$$y = e \cdot \sin(C) \quad (4.1.2)$$



Obr. 14 - Schéma pohybu supportu

V případě frézování trigonu není nutné řešit otázku excentrického upnutí, je zde ovšem problém s výrobou rádiusu trigonu, kdy je nutné stroj vybavit dostatečně tuhou a dlouhou válcovou frézou, který by byla nasazena na trnu, jak je vidět na obrázku (Obr. 15). Zde by bylo nutné zmenšit průměr pomocného průměru $\varnothing 60$ mm na průměr podmíněný rozměrem X aby nedošlo ke kolizi nástroje a obrobku. Pokud by trigon byl frézován na polotovaru součásti, bylo by dobré využít možnosti lunety a polotovar podepřít co nejblíže řezu a tím zamezit průhybu součásti vlivem gravitace a působením nástroje.



Obr. 15 - Schéma frézování trigonu

Frézování se může zdát jako výhodnější metoda, ovšem smyslem této práce není co nejproduktivnější výroba součásti, nýbrž otestování možností stroje a v tomto případě excentrické soustružení nabízí zajímavou možnost otestování kinematické vazby mezi hlavním vřetenem a pohybem supportu nástroje. Frézování trigonu z organizačních důvodů na straně vytížení stroje nebylo možné vyzkoušet.

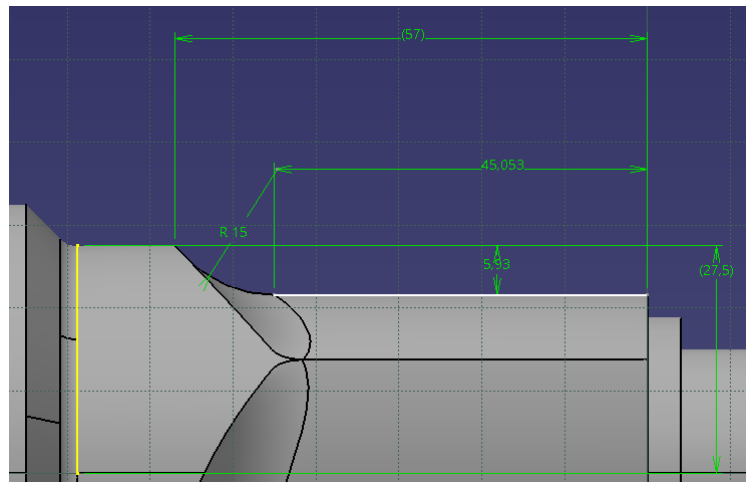
Pro excentrické soustružení by bylo dobré součást upnout pomocí hrotu, upnutém v protivřetenu, aby nedošlo k jejímu průhybu vlivem gravitace a působením nástroje. V případě této zkoušky, kdy je obrobek podstatně menší než součást, není tento postup nutný. Součást je možné upnout jak do hlavního vřetena, tak protivřetena, kde je pak pouze otázkou nastavení polohy nástrojů v soustružnicko-frézovacím vřetení. V případě nástrojů zde možnost volby není, těmi je nutné vybavit soustružnicko-frézovací vřeteno, protože revolverová hlava má maximální posuv v ose Y 40mm, což není dostačující pro výrobu trigonu. Pro obrobení je též vhodné zvolit patričné nástroje ideálně ty, které na stoji již jsou k dispozici. Na hrubovací proces by bylo dobré zvolit destičky tvaru W a na dokončování s tvarem D, které se běžně používají pro tyto operace na tomto stroji.

Při samotném obrábění by bylo vhodné si polotovar přesoustružit na průměr $\varnothing 55$ mm a následně použít excentrické soustružení na obrobení excentrické rotační plochy včetně rádiusu R15.

4.2. Ověření výroby trigonu

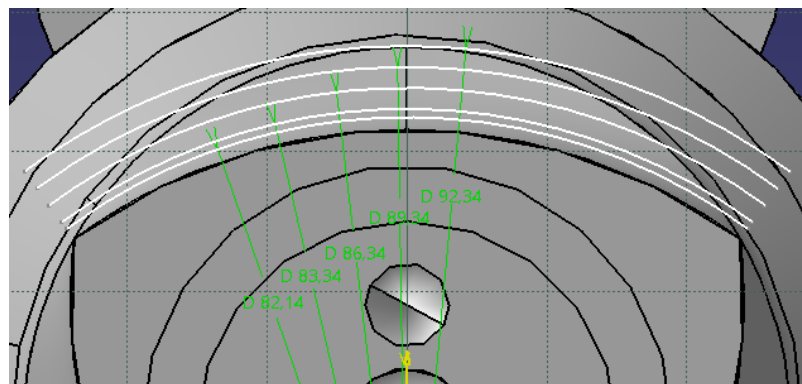
Výše navržená zkouška excentrického soustružení byla realizována v halové laboratoři FST ve spolupráci s konzultantem práce panem Ing. Lubošem Kroftem.

Pro vytváření programu byl použit software SitnuTrain 4.5 který simuloval prostředí stroje CTX beta 1250 TC 4A s řídicím systémem „Sinumerik 840D sl“. Program byl vytvářen na PC a před jeho samotnou realizací bylo s výhodou možné použít model součásti vytvořený v CAD/CAM systému CATIA V5R20. To pomohlo k snadnějšímu zjištění souřadnic nezbytných pro obrobení trigonu, jak je vidět na obrázku (Obr. 16). Tím odpadla nutnost tyto souřadnice dopočítávat, přitom šlo především o střed rádiusu R15 a jeho koncový a počáteční bod.



Obr. 16 - Model trigonu pro určení souřadnic

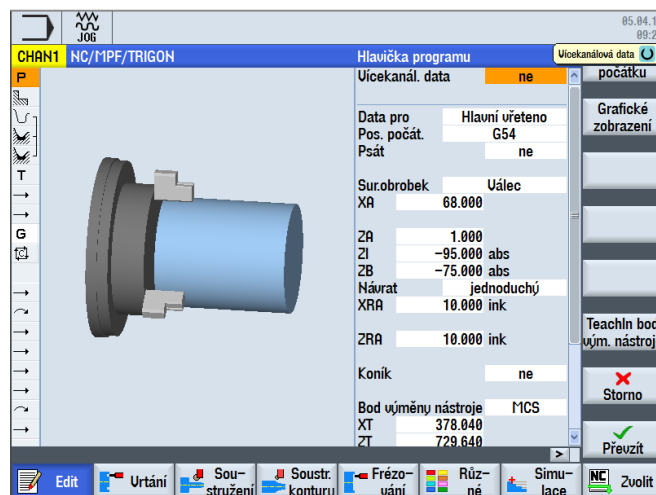
Model byl také využit pro určení hloubky řezu při excentrickém soustružení, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 17). Pro určení hloubky řezu se využilo ekvidistantních křivek rovnoběžných s hranou jednoho z rádiusu R40,17 trigonu. Na obrázku lze vidět čtyři stejně vzdálené ekvidistanty určené pro hrubování a poslední pátá, která nechává přídavek načisto 2,6 mm



Obr. 17 - Model trigonu - hloubka řezu

Než bylo možné nadefinovat dráhy nástroje, bylo nutné určit polotovary z dostupných materiálů v halové laboratoři FST, které by bylo možné pro tento pokus použít. Byla vybrána slitina hliníku typu dural z důvodu momentální dostupnosti své nízké tvrdosti a především aby v případě kolize nedošlo k poškození stroje a nástroje.

Při programování byl nejprve definován předem určený polotovar v hlavičce programu, jak lze vidět na obrázku (Obr. 18), kde se nastaví jeho základní rozměry a definují počáteční podmínky pro program. Nejprve se určilo, zda se jedná o vícekanalová data pro obrábění při využití obou vřeten, což v případě toho experimentu není nutné. Dále se určilo, jestli programovaná data jsou pro hlavní vřeteno nebo protivřeteno, případně pro obě vřetena současně. Po určení vřetena následuje posunutí počátku, v tomto případě funkcí G54, která posouvá nulový bod obrobku vůči nulovému bodu stroje, nebo-li absolutní nule. Následuje definice tvaru obrobku, který může mít válcový, trubkový, kvádrový nebo n-úhelníkový průřez. V tomto případě jde o polotovar válcového průřezu. Následuje určení rozměrů obrobku. Hodnota XA určuje průměr obrobku, což je v případě trigonu průměr $\varnothing 68$ mm. Hodnota ZA a ZI určuje celkovou délku obrobku, který je pro polotovar 96 mm. ZB určuje vysunutí obrobku nebo také rozměr obrábění, který je 75 mm. Obrobek je tedy upnut za 20 mm. Hodnoty XRA a ZRA určují souřadnice návratové roviny, kde musí být zajištěn bezkolizní pohyb os. V hlavičce programu je ještě dále možné určit bod výměny nástroje v souřadném systému stroje (MCS), případně v souřadném systému nástroje (WCS). Na obrázku je vidět že byl zvolen MCS. Další funkce, které je možné v hlavičce definovat, jsou omezení maximálních otáček vřetena a aktivace koníka. [9]

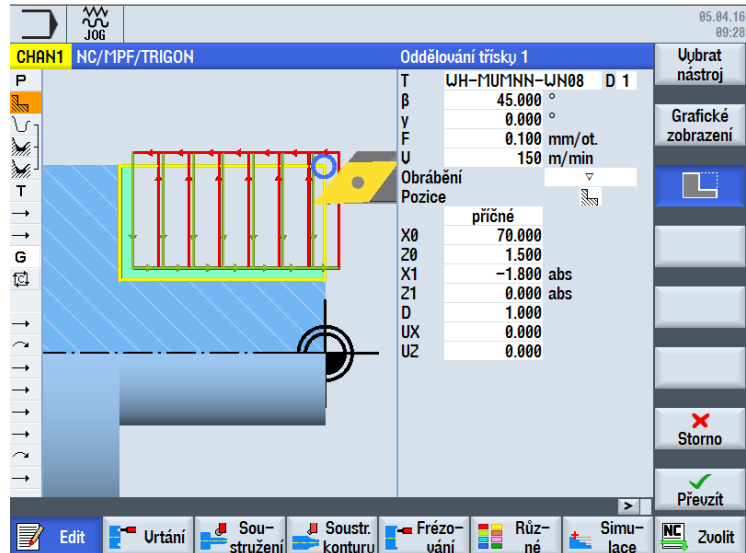


Obr. 18 - Hlavička programu pro trigon

Po nastavení základních parametrů programu se přešlo k obrábění čela, jak je u soustružení rotačních součástí běžné. K obrobění byl použit cyklus oddělování třísky, jak lze vidět na obrázku (Obr. 19). Nejprve bylo nutné specifikovat nástroj, jehož specifikace jsou v tabulce (Tab. 2). Jde o držák s VBD tvaru W s poloměrem špičky 0,8 mm. Po specifikaci nástroje se nastavil úhel břitu nástroje β , v tomto případě 45° , který definuje naklopení ostří nástroje do řezu. Dále byly definovány řezné podmínky a to posuv F (0,100 mm/ot.) a řezná rychlost V (150m/min). Poté se určil typ soustružení hrubováním a pozice nástroje vůči obrobku, která je před obrobkem a nad jeho osou rotace. Dále bylo třeba určit směr oddělování třísky, který je příčný pro obrábění čela, kdy nástroj jede po vertikální dráze a jeho dráhy jsou kolmé na osu rotace obrobku, což lze vidět na obrázku (Obr. 19). Hodnoty X0, Z0 určují počáteční body obrábění pro osy X, Z a ve stejném smyslu hodnoty X1, Z1 koncové body obrábění. Důležitý je také parametr D, která udává hodnotu maximálního přísuvu do hloubky řezu, která je v tomto případě 1 mm.

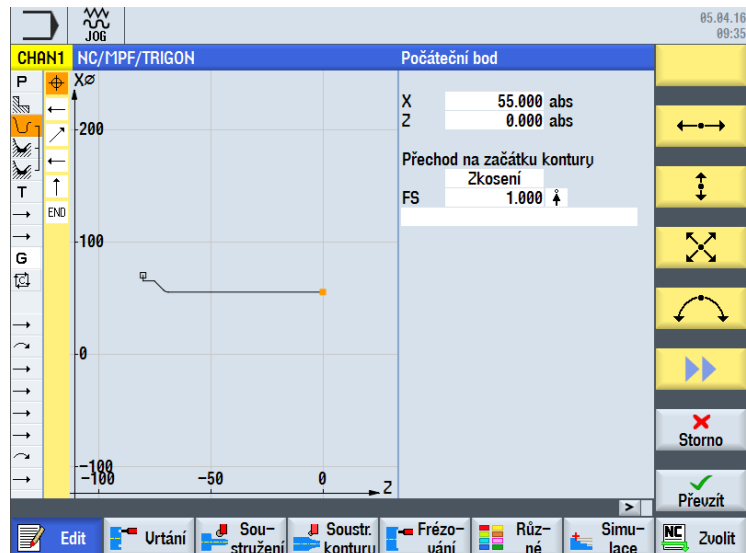
Nástroj pro hrubování	
Držák	HSK A63WH-MUMNN-MW
Destička	WNMG 060408 GN

Tab. 2 - Nástroj pro hrubování [10,11]



Obr. 19 - Hrubování čela

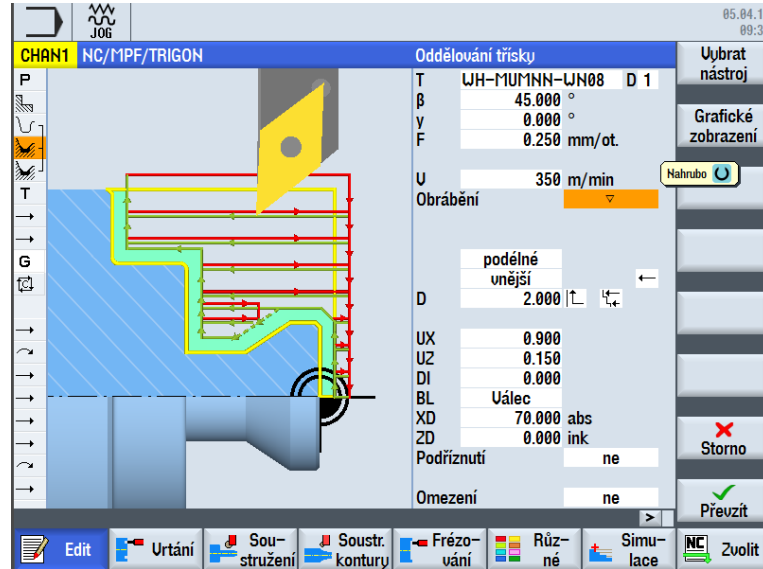
Po obrobení čela bylo nutné nejprve nastavit konturu pro cykly podélného soustružení, která je jednotná pro hrubovací i dokončovací cyklus. Na obrázku (Obr. 20) je vidět, že dráha vytvoří válcovou plochu s průměrem $\varnothing 55$ mm včetně přechodového rádiu R3 a přechodového sražení $5 \times 45^\circ$.



Obr. 20 - Kontura

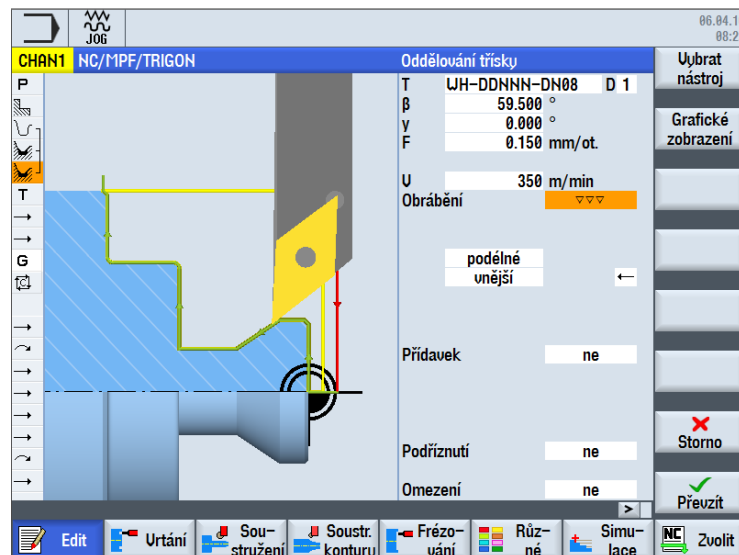
Po vytvoření kontury bylo možné realizovat její vyhrubování pomocí cyklu oddělování třísky (Obr. 21). Nástroj zůstal stejný jako u hrubování čela. Změna je patrná v režných podmínkách, tedy posuvu F (0,250 mm/ot.) a řezné rychlosti V (350m/min). Typ soustružení je v tomto případě opět hrubování s tím rozdílem, že dráhy nástroje jsou

podélné a rovnoběžné s osou otáčení obrobku. Maximální úběr je nastaven na 2 mm hodnotou D, kde je nastaveno ještě hrubování podél kontury. Přídavek na dokončení v osách X, Z je nastaven pomocí hodnot UX a UZ na 0,9 a 0,15 mm. Poslední důležitým krokem je definice válcového obrobku s průměrem $\varnothing 70$ mm, a to kvůli tomu, aby byl přesoustružen vnější průměr polotovaru, tedy průměr $\varnothing 68$ z důvodu možného házení.



Obr. 21 - Hrubování kontury

Po vyhrubování byla kontura dokončena načisto opět pomocí cyklu oddělování třísky (Obr. 22), ovšem v tomto případě šlo o obrábění načisto. Zde bylo potřeba změnit nástroj, jehož specifikace je možné vidět v tabulce (Tab. 3), opět jde o držák s VBD v tomto případě tvaru D, která má poloměr špičky 0,4 mm. Ke změně došlo také u úhlu natočení nástroje do řezu, který je $59,5^\circ$, a to kvůli destičce tvaru D. Změna je také u posuvu F (0,150 mm/ot.) avšak řezná rychlost V zůstala stejná jako u hrubování.



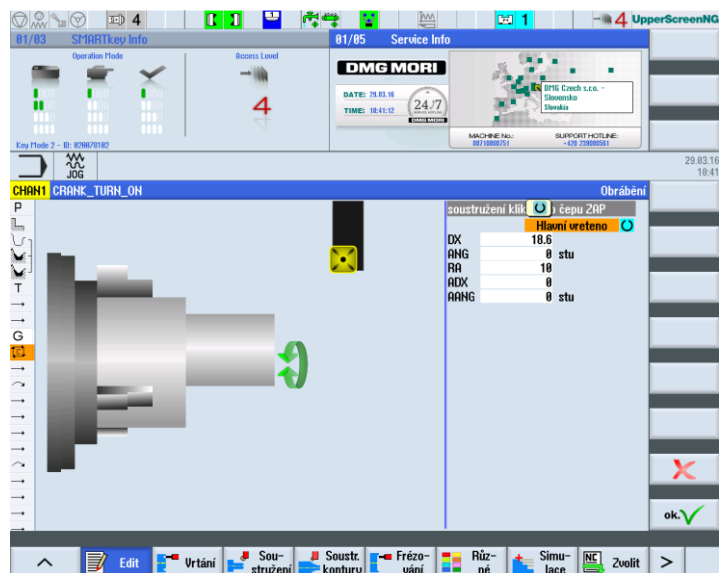
Obr. 22 – Dokončování kontury

Nástroj pro dokončování	
Držák	HSK A63WH-DDNNN
Destička	DNMG 150404-NF

Tab. 3 - Nástroj pro dokončování [12,13]

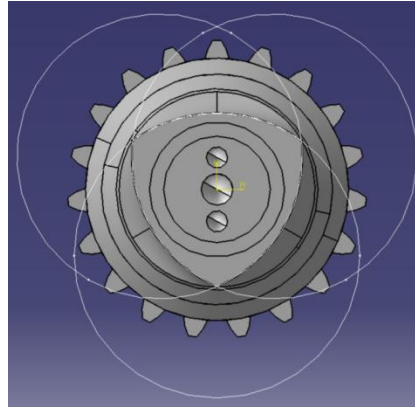
Po přesoustružení obrobku na požadovaný průměr $\varnothing 55$ mm bylo možné přejít k excentrickému soustružení trigonu. Excentrické soustružení je speciální druh obrábění, kdy v případě toho soustružnického centra je obrobek klasicky upnut a rotuje kolem své osy a nástroj se kromě klasického posuvu v ose Z pohybuje současně i v osách X a Y krouživým pohybem, jak již bylo vysvětleno. Mezi obrobkem a nástrojem je programově vytvořena kinematická vazba, a to díky synchronizaci otáček vřeten a pohybu supportu. Tím dochází ke kruhovému pohybu supportu. Stroj si koriguje otáčky obrobku, aby došlo k odebrání požadované části kruhového polotovaru. Dráhy pro excentrické soustružení byly napsány ručně G-kódem s využitím modelu v CAD/CAM systému CATIA V5 R20 pro snazší určování souřadnic, jak již bylo zmíněno. Při excentrickém soustružení na klasickém soustruhu je obrobek upnut excentricky a nástroj vykonává pouze posuv.

Samotný program byl vytvářen bez aktivované funkce excentrického soustružení s názvem „CRANK_TURN“. Tuto funkci bylo možné aktivovat až na stroji. Její nastavení je možné vidět na obrázku (Obr. 23), kde se nejprve určí pro které z upínacích vřeten je funkce myšlena. Důležitým parametrem je hodnota DX, která definuje velikost excentricity v ose X, tedy vzdálenost osy rotace standardního obrobku a osy rotace excentricky upnutého obrobku, v tomto případě jde o rozměr 18,6 mm.



Obr. 23 - Funkce excentrického soustružení

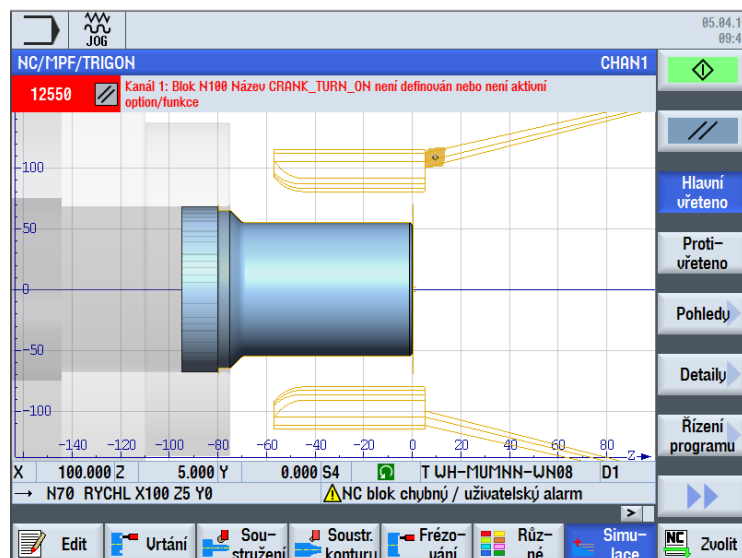
Úhel natočení osy C4 je dán hodnou ANG která je v případě trigonu $0^\circ, 120^\circ$ a 240° pro vytvoření křivočarého trojúhelníku ze tří protínajících se kružnic, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 24). Vzdálenost středů těchto kružnic od osy rotace obrobku je pak hodnotou excentricity a středy těchto kružnic svírají mezi sebou úhel 120° .



Obr. 24 - Kružnice trigonu

V případě výroby prvku mimo předepsané tolerance, umožňuje tato funkce korekce korekce excentricity a potočení hlavního vřetena pomocí parametrů ADX a AANG.

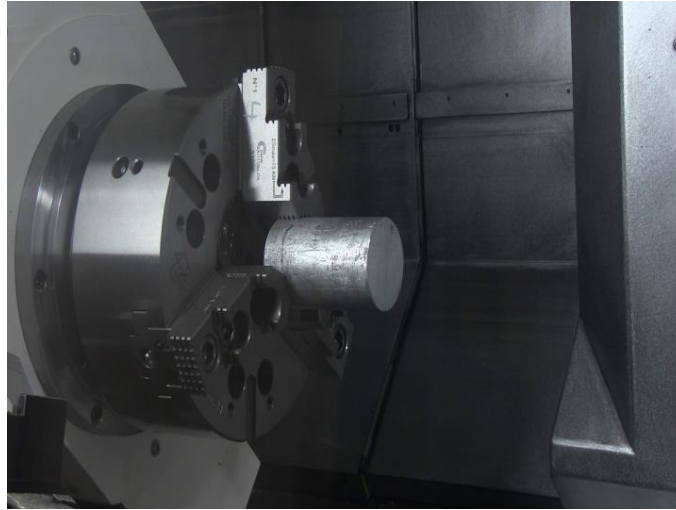
Na PC se odsimulovalo pouze klasické soustružení, a to z důvodu kontroly drah jak je vidět na obrázku (Obr. 25). Software hlásí chybovou hlášku, protože funkci excentrického soustružení „CRANK_TURN“ nemá definovanou. Nelze jí tedy v softwaru Sinutrain odsimulovat.



Obr. 25 - Chybová hláška Sinutrainu

Ověření excentrického soustružení bylo možné až na stoji, kde se posunul nulový bod obrobku a místo simulace se proces rovnou spustil. Nástroj tedy obráběl naprázdno pouze vzduch. Po úspěšném ověření pohybu supportu se přešlo k samotné výrobě.

Prvním krokem testovací výroby bylo upnutí polotovaru o rozměrech $\text{Ø}68 \times 96$ mm za 20 mm, tedy s vyložením 76 mm, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 26). Po přesoustružení na průměr $\text{Ø}55$ mm se přešlo k excentrickému soustružení trigonu.



Obr. 26 - Upnutí obrobku

Podstatným zjištěným bylo, že stroj si kompenzoval otáčky hlavního vřetena na 98 ot./min a to z důvodu, že pohony a regulace stroje by nezvládaly při vyšších otáčkách vřetena uřídit support nástroje, ale především setrvačné síly vznikající v důsledku hmoty supportu by při vyšších otáčkách byly příliš vysoké, způsobovaly by vibrace celého stroje a mohly by narušit i jeho lokální stabilitu. Vlivem toho byla řezná rychlost omezena, což vedlo k pýchování třísky, jak ukazuje obrázek (Obr. 27), kde je vlevo vidět stuhovitá tříška přímo při výrobě a v pravé části obrázku je již zlomená tříška. K této skutečnosti přispívá také fakt, že obráběným materiálem byla slitina hliníku typu dural, pro kterou řezné podmínky nebyly ideální a to především řezná rychlost.



Obr. 27 - Pýchování třísky

Na obrázku (Obr. 28) je vidět hotový výrobek po odjehlení. V porovnání s dosavadní metodou je výsledek obdobný. Při dosavadní výrobě jsou také otáčky obrobku při excentrickém soustružení sníženy na 100 ot./min kvůli odstředivým silám. Celková doba výroby trigonu na tomto stroji byla 35 minut, při bezproblémovém chodu stroje, bez viditelné známky narušení jeho stability vlivem odstředivých sil.



Obr. 28 - Vyrobený trigon

4.3. Kontrola rozměrů trigonu

Trigon byl po výrobě předán na metrologické pracoviště FST a měřen panem Ing. Janem Kutlwaserem na 3D souřadnicovém měřícím stroji. Celkem byly na trigonu měřeny 4 kružnice, jejich poloha v osách X, Y a průměr. Označení těchto ploch je možné vidět na obrázku (Obr. 29), kde jsou dvě vyobrazení a měřené plochy jsou zde označené modrou čarou. Jde o kružnice tří excentrických ploch a základní kružnici o průměru Ø55 mm. V tabulce (Tab. 4) jsou vidět výsledky z měření, kde hodnoty X, Y jsou souřadnice středu kružnice v případě k1-k3, e je hodnota excentricity, ϕ udává uhel potočení hlavního vřetena a D průměr zvoleného prvku. K4 je tedy základní kružnice a k1 až k3 jsou excentrické kružnice. Hodnoty označené [*] jsou jmenovité hodnoty daných prvků a hodnoty Δ ukazují odchylky naměřených rozměrů od jmenovitých.

	X	Y	e	ϕ	D
k4					53,997
k1	18,38	0,014	18,38001	0,043642	79,66
k2	-9,28	-16,019	18,51288	239,9158	79,692
k3	-9,322	15,969	18,49077	120,2745	79,68
	X*	Y*	e*	ϕ^*	D*
k4					55
k1	18,6	0	18,6	0	80,34
k2	-9,3	-16,1081	18,6	240	80,34
k3	-9,3	16,10807	18,6	120	80,34
	ΔX	ΔY	Δe	$\Delta \phi$	ΔD
k4					-1,003
k1	-0,22	0,014	-0,21999	0,043642	-0,68
k2	0,02	0,089073	-0,08712	-0,08423	-0,648
k3	-0,022	-0,13907	-0,10923	0,274504	-0,66

Tab. 4 - Shrnutí měření trigonu

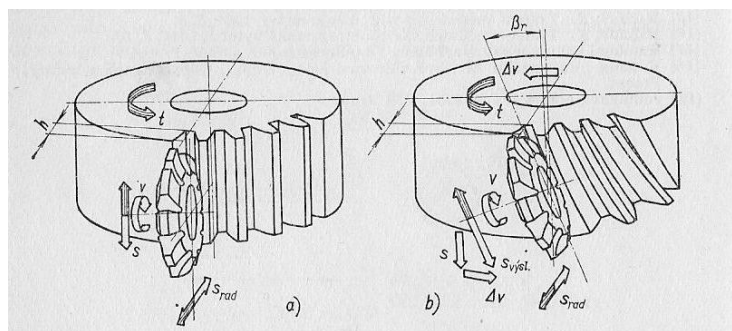
Výsledky měření ukazují, že trigon je vyroben mimo požadovanou toleranci. Především u excentricity, která má toleranci $\pm 0,02$. Ostatní prvky nejsou v případě této součásti tolerované, ovšem neprošly by ani zvolenou dílenskou tolerancí, která může být například 0,1 mm. V reálné výrobě je tyto odchylky možné odstranit pomocí korekcí a to jednak nástrojových, tak i programových v případě excentrických ploch, již zmíněnými parametry ADX a AANG. V případě výroby na součásti je zde předepsané ještě dokončování povrchu broušením, které v tomto testu nebylo zahrnuto, neboť podstatou práce bylo především otestování kinematické vazby mezi otáčkami hlavního vřetena pohybu supportu soustružnicko-frézovacího vřetena při výrobě trigonu. Kompletní zpráva z měření je v příloze (Příloha č. 3).



Obr. 29 - Trigon po měření

4.4. Návrh zkoušky výroby ozubení

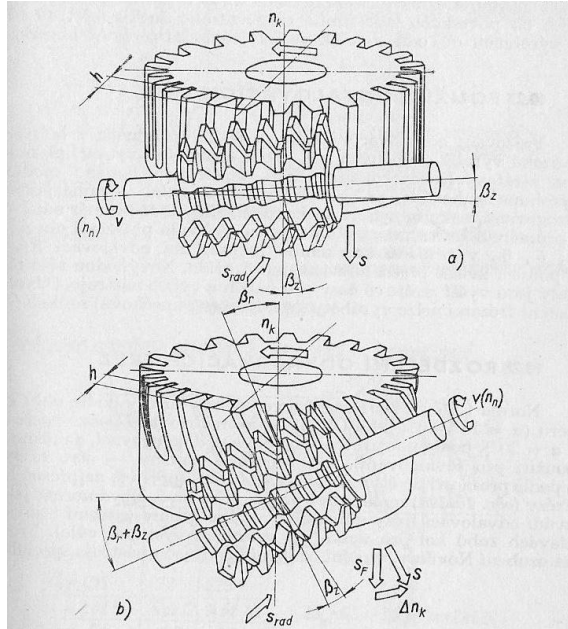
Výrobu ozubení stroj umožňuje díky své koncepci jak dělicím, tak odvalovacím způsobem. V případě frézování dělicím způsobem by bylo využito kotoučových tvarových fréz, jejichž profil zubů odpovídá vždy požadované zubové mezery obrobku. Na obrázku (Obr. 30) je vidět princip této metody. Nástroj vykována hlavní řezný pohyb, tedy rotaci a také přísvuv do řezu a obrobek se po vytvoření zubové mezery pootočí. Podstatnou nevýhodou této metody je výroba jedné zubové mezery, což jí dělá poměrně neefektivní a neekonomickou. Této metodě nepřispívá ani fakt že není příliš přesná a u výsledného vyrobeného ozubení touto metodou dochází k nepřesnému odvalu.[14]



Obr. 30 - Princip dělicího způsobu [14]

Frézování odvalovacím způsobem je nejvýhodnějším způsobem pro výrobu ozubených kol. Na obrázku (Obr. 31) je opět vidět princip této metody. Nástroj se odvaluje po

obrobku, který se také současně pomalu otáčí a dochází k obrobení více zubů najednou. Podstatnou výhodou této metody je možnost výroby libovolného počtu zubů s nástrojem daného modulu. Odvalovací metoda je nejproduktivnější a také nejpoužívanější metodou a navíc umožňuje otestování kinematické vazby stroje mezi otáčkami hlavního vřetena a soustružnicko-frézovacího vřetena. [15]



Obr. 31 - Princip odvalovacího způsobu [15]

Před volbou nástroje a polotovaru je nutné zjistit parametry vyráběného ozubení. Ze zadaných parametrů ozubení lze zjistit rozměry ozubení.

Jde o tyto parametry:

- modul: $m = 4$
- počet zubů: $z = 19$
- úhel záběru: $\alpha = 20^\circ$
- výška hlavy zubu: $h_a = 1$
- výška paty zubu: $c_a = 0,25$

Nejprve lze vypočítat roztečnou kružnici podle rovnice (4.4.1)

$$d = z \cdot m = 19 \cdot 4 = 76 \text{ mm} \quad (4.4.1)$$

Díky roztečné kružnici pak lze vypočítat jak hlavovou (4.4.2), tak patní kružnici (4.4.3)

$$d_a = d_1 + 2 \cdot m \cdot h_a = 76 + 2 \cdot 4 \cdot 1 = 84 \text{ mm} \quad (4.4.2)$$

$$d_f = d_1 - 2 \cdot m \cdot (h_a + c_a) = 76 - 2 \cdot 4 \cdot (1 + 0,25) = 66 \text{ mm} \quad (4.4.3)$$

Z výsledků hlavové a patní kružnice vyplývá, že výška zubu je 9 mm, neboť $\frac{84-66}{2}$.

Pro výrobu ozubení odvalováním je nutné specifikovat nástroj. Zde bude nutné využít odvalovací frézy s modulem 4 k vytvoření požadovaného ozubení. Jako materiál je možné použít opět hliníkovou slitinu typu dural, která bude mít průměr větší ale přibližný hlavové kružnici ozubení.

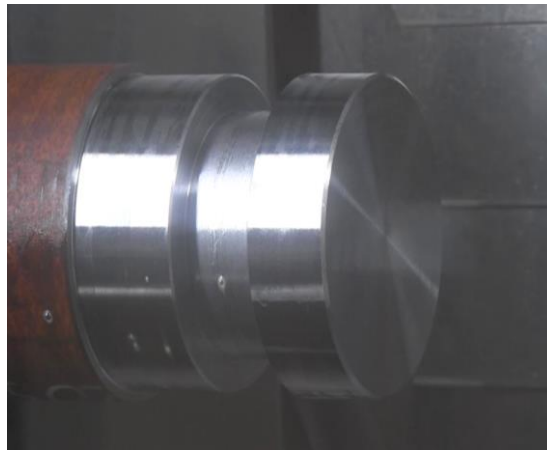
Před odvalovacím frézováním je vhodné polotovar přesoustružit na průměr hlavové kružnice, tedy $\varnothing 84$ mm a vytvořit drážku pro výjezd odvalovací frézy pomocí

zapichovacího nože. Poté je možné přejít k samotnému frézování. Není nezbytně nutné vyrábět ozubení ve stejné délce jako je na součásti hlavní hřídel.

4.5. Ověření výroby ozubení

Výše navržená zkouška frézování ozubení odvalovacím způsobem byla opět realizována v halové laboratoři FST ve spolupráci s konzultantem práce panem Ing. Lubošem Kroftem.

Pro testovací výrobu ozubení bylo využito výše navrženého frézování odvalovacím způsobem. Jako materiál pro ozubení byla zvolena ocel 12 050 po dohodě s konzultantem práce. Navržená slitina hliníku by byla příliš měkká a mohlo by tak dojít k deformaci ozubení při odvalování frézy. Z dostupných materiálů byl vybrán polotovar kruhová tyč o průměru $\varnothing 91$ mm a délce 130 mm. Polotovar byl posléze přesoustružen na průměr $\varnothing 84$ mm s drážkou pro výjezd nástroje, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 32).



Obr. 32 - Obrobek ozubení

Takto byl obrobek připraven pro frézování ozubení. Nástrojem byla levořezná odvalovací fréza, k vidění na obrázku (Obr. 33) s modulem 4 a počtem zubů 12. Její největší průměr je $\varnothing 88,54$ mm, délka šroubovice 4800 mm a úhel sklonu šroubovice $2^{\circ}55'$.



Obr. 33 - Odvalovací fréza

Nástroj byl vypůjčen od firmy Pilsen Tools a před jeho instalací do stroje byl nejprve přeměřen na stroji Zoller Genius 3, který je vidět na obrázku (Obr. 34). Jde o univerzální měřicí přístroj, jenž je schopen automatické kontroly geometrie nástrojů. Disponuje 3D

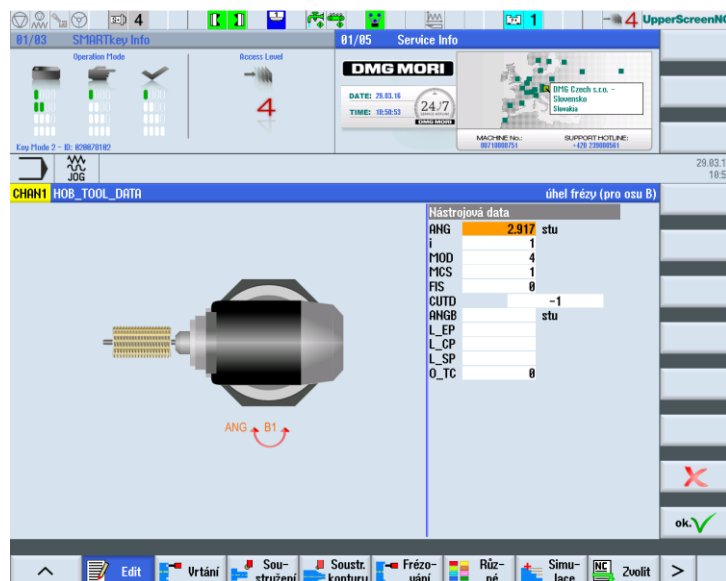
násvitovou a 2D průsvitovou kamerou, díky kterým dokáže rychle, jednoduše a plně automaticky měřit s přesností na mikrometry.[16]



Obr. 34 - Zoller Genius 3

Ještě před vytvářením programu pro výrobu ozubení bylo nutné vytvořit podprogram pro dráhy nástroje. Ten slouží jako reference pro maximální zasetí nástroje do řezu v ose Y pomocí poloměru patní kružnice požadovaného ozubení, tedy 66/2 a také posuvu nástroje v ose Z.

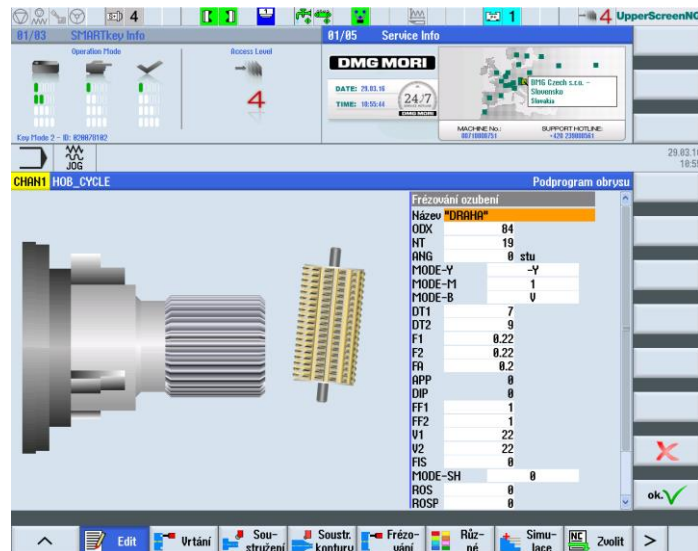
Prvním důležitým krokem při tvorbě programu bylo vyvolání a definice nástroje. Stroj nemá možnost vybrání specifické odvalové frézy z katalogu nástrojů, proto je nutné mít takovýto nástroj zdefinovaný jako úhlovou tvarovou frézu a následně využít funkci s názvem „HOB_TOOL_DATA“ pro specifikaci nástrojových dat. Zdefinování této funkce je možné vidět na obrázku (Obr. 35). Zde je velmi důležitým parametrem ANG. Jde o úhel, který koriguje naklopení šroubovice frézy do řezu. Dále jde nutné zdefinovat modul parametrem MOD a směr obrábění parametrem CUTD, který udává nástroj. Fréza bylo v tomto případě levořezná a směr obrábění je tedy levotočivý.



Obr. 35 - Funkce nástrojová data

Po specifikaci nástrojových dat bylo nutné dále využít funkci frézování ozubení s názvem „HOB_CYCLE“, její specifikace je možné vidět na obrázku (Obr. 36). Jedním z jejich

parametrů je vyvolání podprogramu pro dráhu nástroje. Dále jsou pak definovány základní parametry ozubení, jako hlavová kružnice parametrem ODX, počet zubů ozubení NT a případně úhel sklonu zubu ANG, který je v případě ozubení s přímými zuby nulový. Po určení parametrů ozubení následovala specifikace řezných podmínek tedy, řezné rychlosti V (22 m/min), posuvu F (0,22 mm/ot.) a hloubky řezu DT, která byla při prvním řezu 7 mm a při dokončovacím řezu 9 mm.



Obr. 36 - Funkce frézování ozubení

Vyrobené ozubení je možné vidět na obrázku (Obr. 37). Celková doba výroby ozubení je 38 minut, ovšem ozubení má šířku 25 mm místo definovaných 65 mm. Odhadovaný čas výroby toho ozubení na součásti je 82 minut. Tento čas byl odvozen z poměru vzdáleností počátečního a koncového bodu obrábění nástroje při výrobě ozubení o velikosti 25 a 65 mm a vynásoben dosavadním časem. Tedy $38 \cdot \frac{75}{35}$.



Obr. 37 - Vyrobené ozubení

4.6. Kontrola rozměrů ozubení

Vyrobené ozubení bylo měřeno přes zuby pomocí talířkového mikrometru. Nejprve bylo nutné určit počet měřených zubů z' , který se určil pomocí rovnice (4.6.1).

$$z' = \frac{\alpha}{180} \cdot z + 0,5 = \frac{20}{180} \cdot 19 + 0,5 = 2,6\bar{1} \doteq 3 \text{ zuby} \quad (4.6.1)$$

Následoval výpočet teoretické hodnoty rozměru přes zuby M_t (4.6.2), ovšem před tímto výpočtem bylo nutné určit evolutu α pro úhel 20° , jejíž výpočet ukazuje rovnice (4.6.3).

$$M_t = m \cdot [\pi \cdot \cos\alpha \cdot (z' - 0,5) + z \cdot \cos\alpha \cdot \text{ev}\alpha] \quad (4.6.2)$$

$$\text{ev}\alpha = \text{tg}\alpha - \frac{\pi \cdot \alpha}{180} = \text{tg}20 - \frac{\pi \cdot 20}{180} = 0,014904 \quad (4.6.3)$$

$$M_t = 4 \cdot [\pi \cdot \cos 20 \cdot (3 - 0,5) + 19 \cdot \cos 20 \cdot 0,014904] = 30,586 \quad (4.6.4)$$

Po určení požadovaných parametrů bylo možné přejít k samotnému měření ozubení. To bylo měřeno celkem pětkrát přes 3 zuby, jak je vidět na obrázku (Obr. 38).



Obr. 38 – Měření ozubení talířkovým mikrometrem

Výsledky měření byly zaznamenány do tabulky (Tab. 5) a poté byl vytvořen aritmetický průměr hodnoty přes zuby \bar{M} z těchto hodnot.

Měření	M_i [mm]	\bar{M} [mm]
1	30,71	30,7064
2	30,701	
3	30,719	
4	30,712	
5	30,69	

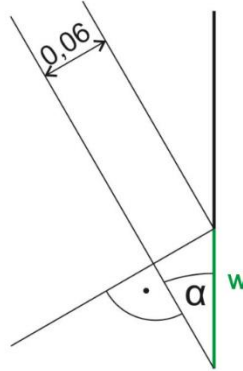
Tab. 5 Měření ozubení

Posledním krokem měření byl rozdíl teoretické hodnoty rozměru přes zuby a aritmetického průměru hodnoty přes zuby, neboli boční vůle jak ukazuje rovnice (4.6.5).

Boční vůle:

$$V_m = M_t - \bar{M} = 30,586 - 30,7064 = -0,1204 \text{ mm} \quad (4.6.5)$$

Výsledná odchylka 0,06 mm na plochu zubu není v případě této práce zásadní, neboť ozubení by se mělo vyrábět s přídavky na tepelné zpracování a broušení, které v tomto testu nebyly zahrnuty. Smyslem této zkoušky bylo otestovat kinematickou vazbu otáček hlavního vřetena a soustružnicko-frézovací hlavy při výrobě tvaru ozubení. Odstranění takovéto chyby ve výrobě je v zásadě věcí korekce nástroje. Stačí tedy upravit výslednou odchylku na rozměr w , jak je vidět na obrázku (Obr. 39), jehož hodnota odpovídá $\frac{0,06}{\sin\alpha}$, což je tedy v tomto případě 0,175 mm pro uhel α 20°.



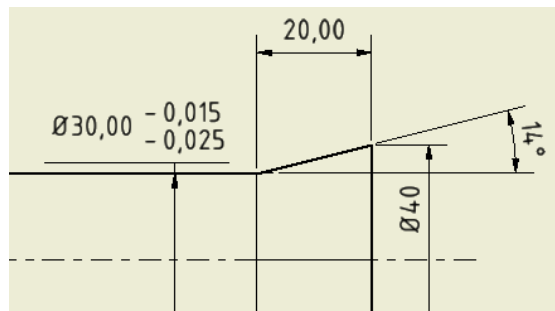
Obr. 39 - Korekce nástroje při výrobě ozubení

5. Návrh způsobu výroby

Z předchozí kapitoly vyplývá, že stroj je schopen zvolené prvky vyrobit. Požadovaných tolerancí je možné docílit pomocí korekcí a dokončovacích metod obrábění a ostatní plochy na zvolené součásti jsou na klasickém soustruhu běžně vyrobitelné, proto nebylo zapotřebí zkoušet jejich výrobu. Je tedy pravděpodobné, že je schopen výroby celé součásti, případně jí podobné. Dosavadní výrobní postup součásti obsahuje celkem 25 operací s definovaným materiálem ČSN 16 326. Jedná se o přepsaný a upravený postup, takovým způsobem, aby bylo ochráněno podnikové „know-how“. K dispozici je ve volně vložené příloze (Příloha č. 4). Postup je poměrně členitý a je vykonáván na velkém množství strojů. Tepelné zpracování je řešené cementací a následným povrchovým kalením. Prvky, u kterých není požadované zvýšení tvrdosti povrchu, jsou ochráněny cementačním přídatkem, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1. V tomto postupu jsou využity navíc ještě technologické přídatky v podobě kotoučů o rozměrech Ø60×20 pro navrtání excentrických děr, aby bylo možné obrobek upnout excentricky. Tyto díry musí být vyrobeny velmi přesně a také být souosé. Je to z důvodu excentrického upnutí obroku při soustružení trigonu a později jeho broušení.

První z nově navržených postupů byl vytvářen s ohledem na dosavadní vybavení a možnosti stroje. K dispozici je ve volně vložené příloze (Příloha č. 5). Zde bylo celkem 6 operací sloučeno do jedné operace na stroji CTX beta 1250 TC 4A a odpadla tak nutnost broušení pomocných technologických přídatků Ø60×20 mm, které bylo nutné brousit kvůli přesnému navrtání excentrických důlků u dosavadního postupu součásti. Tyto technologické přídatky mají zde také na rozdíl od standardního postupu rozměry Ø40×20 mm a liší se také tvarem, který je kuželovitý a to z důvodu lepšího přístupu nástroje pro obrábění průměru Ø30 $\begin{matrix} -0,015 \\ -0,025 \end{matrix}$, jak lze vidět na obrázku (Obr. 40). Excentrické středící důlky jsou v tomto případě navrtány přímo na stroji, ovšem středící důlky v ose součásti se vrtají ještě před obráběním na tomto stroji, na klasickém soustruhu stejně jako u standardního postupu a to z důvodu větší přesnosti. Výrobní postup je tak zkrácen na

celkem 20 operací, kdy 6 operací je vykonáno na stroji CTX beta až do vyhrubování součásti s přídavky pro tepelné zpracování povrchu a pro broušení. Poté je postupováno podle dosavadního postupu a to i v případě tepelného zpracování povrchu a dokončování povrchu broušením. V této variantě postupu, pro případ že si zákazník nedodá materiál, byl změněn materiál z ČSN 16 326 na ČSN 16 420, jak již bylo uvedeno a zdůvodněno v 2. kapitole. Tento postup nepřináší výrazné zlepšení produktivity v porovnání s dosavadním výrobním postupem, neboť je stále poměrně členitý. Ovšem dojde ke zvýšení přesnosti výroby a to díky automatickým přeupínáním. Dalším přínosem je zkrácení mezioperační logistiky mezi jednotlivými stanovišti a to díky snížení jejich počtu a také dojde ke zmenšení času nutného pro přípravu nářadí a přípravků, který se s vyšším počtem strojů zvětšuje.



Obr. 40 - Technologický přídavek

Druhý z navržených postupů je při možném teoretickém dovybavení stroje a to především o laserovou hlavu jak bylo zmíněno v kapitole 3.1. K dispozici je ve volně vložené příloze (Příloha č. 6). Při této variantě postupu by bylo pravděpodobně možné součást vyrobít v jednom automatizovaném procesu a odpadla by tak nutnost cementačních a technologických přídávků, neboť by se operace broušení trigonu, pro kterou jsou důlky v postupu VP1 ponechány, prováděla na tomto stroji a stejně tak kalení povrchu, laserovou hlavou. Nicméně by bylo nutné po dohodě s konstruktérem změnit dosavadní materiál, tedy cementační ocel na materiál, který lze povrchově kalit. Je zde několik možností ČSN 16240, 15 142 nebo i případně 12050. Výrobní postup by tak obsahoval teoreticky jen dvě operace a to kompletní automatizovanou výrobu součásti a výstupní kontrolu, což by vedlo k razantnímu zvýšení produktivity, ovšem bylo by nutné investovat do vybavení stroje, a to především pro laserovou hlavu. Jedná se o poměrně velkou investici, která by měla smysl při velkosériové výrobě součásti, která se vyrábí momentálně pouze kusově. Další využití laserové hlavy by mohlo být pro gravírování nebo LST, jak již bylo zmíněno. Pokud by se tento postup měl realizovat, bylo by nutné provést další zkoušky, zda by bylo možné výrobu této součásti takto provést, neboť se jedná pouze o teoretický návrh.

6. Závěr

Byl proveden výrobní experiment dvou prvků, jejichž realizováním se ověřily výrobní možnosti stroje. Z toho experimentu bylo dále možné vycházet při vytváření výrobních postupů.

Prvním krokem byla analýza požadavků kladených na součást výkresem. Kde byly podrobně prozkoumány jednotlivé prvky součásti. Bylo zjištěno, že součást obsahuje běžné prvky, které je možné na klasickém soustruhu vyrobit, ovšem některé z těchto prvků mají poměrně vysoké požadavky z hlediska přesnosti rozměrů a jakosti povrchu. Kromě toho součást také obsahuje prvky, které není snadné, případně možné na klasickém soustruhu vyrobit. Těmito prvky jsou trigon a ozubení. Ty byly hlavním předmětem zájmu této práce.

Dále bylo zjištěno, že na součást jsou kladeny požadavky z hlediska tepelného zpracování povrchu, a to cementací a následným povrchovým kalením.

Po analyzování požadavků kladených na součást, bylo možné přejít k rozboru výrobních možností a vlastností stroje CTX beta 1250 TC 4A. Výrobce deklaruje, že soustružnicko-frézovací centrum s řídicím systémem „Sinumerik 840D sl“ má celkem 12 os, z nichž 10 zároveň, může být řízených. Výrobce rovněž uvádí takové parametry stroje (výkon, otáčky, přesnost), které se jeví jako více než dostačující pro možnou výrobu součástí.

Následujícím krokem byl návrh a realizace výroby vzorků trigonu a ozubení na zvoleném stroji. Prvním z navržených a vyrobených vzorků byl trigon z hliníkové slitiny typu dural. Při jeho výrobě bylo podstatným zjištěním, že stroj omezuje otáčky hlavního vřetena při excentrickém soustružení. Toto omezení je z důvodu velkých odstředivých sil při větších otáčkách a také, že by regulátory stroje neovládaly uříditi support stroje při větší rychlosti. Nejde tedy o příliš produktivní metodu výroby a stálo by za zvážení, vyzkoušet výrobu trigonu frézováním. Ta bohužel nebyla z organizačních důvodů na straně vytížení stroje provedena. Prvek byl vyroben mimo předepsané tolerance, ovšem v reálné výrobě je možné tyto odchylky odstranit pomocí korekcí.

Druhým vyráběným prvkem bylo čelní ozubení s přímými zuby a evolventním profilem, které nebylo korigované, což se v provozu běžně nepoužívá. Materiálem byla ocel ČSN 12 050 a ozubení bylo vyráběno frézováním odvalovacím způsobem. U výrobku vznikla odchylka 0,06 mm na plochu zubu, která byla pravděpodobně způsobena odtlačováním nástroje v řezu, což bylo zapříčiněno jeho upnutím letmo v soustružnicko-frézovacím vřetenu. Tuto odchylku je však možné stejně jako u trigonu, odstranit pomocí korekcí.

V případě výroby kompletní součásti mají oba vyráběné prvky definované dokončování povrchu broušením a bylo by je tak třeba obrobit s přídatky pro tuto operaci. Ovšem v tomto případě šlo především o otestování kinematických vazeb při výrobě takovýchto složitých ploch.

Posledním bodem práce byl návrh dvou výrobních postupů. Kdy první z těchto postupů byl při dosavadním vybavení stroje a druhý při jeho možném teoretickém dovybavení. První z navržených postupů s označením VP1, zkrátil výrobní postupu celkem o 5 operací a obsahuje tedy 20 operací. Využitelnost toho postupu je diskutabilní, neboť je stále poměrně členitý a bylo by pravděpodobně výhodnější přistoupit k dosavadní výrobě. Druhý z navržených postupů s označením VP2, je výrazně kratší než ten původní a to na pouhé 2 operace. Je zde ovšem nutné přistoupit k poměrně značné investici dovybavení stroje o laserovou hlavu. Ta by měla smysl při velkosériové výrobě, což není případ hlavní hřídele, která se vyrábí kusově. Dalším možným využitím laserové hlavy je gravírování či LST. Pokud by bylo přistoupeno ke kompletnímu obrábění součásti, bylo by nutné provést další zkoušky po přesnější specifikace výrobního postupu a také, aby bylo možné s jistotou říci, že jde o produktivnější způsob výroby.

Závěrem lze říci, že stroj CTX beta 1250 TC 4A je schopen danou součást vyrobit. Toto ověření bylo klíčovým cílem práce. Ovšem s momentálním stavem jeho vybavení, by se výrobou na tomto stroji pravděpodobně nedosáhlo výrazného zlepšení produktivity v porovnání s dosavadním výrobním postupem. Pokud by byl stroj dovybaven a bylo možné přistoupit k automatizované výrobě, došlo by k razantnímu zvýšení efektivity výroby, avšak jde o značnou investici, která by přicházela v úvahu ve velkosériové výrobě. Navržené výrobní postupy by zasluhovaly další zkoumání, v podobě testu výroby celé součásti a také ekonomické zhodnocení, ovšem tyto úkony by již byly nad rámec této kvalifikační práce.

Seznam použité literatury

- [1] DMG MORI. CTX BETA 1250 TC 4A [online]. 2016 [cit. 26.1.2016].
Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/products/lathes/turn-mill-complete-machining-centres/ctx-tc/ctx-beta-1250-tc-4a>
- [2] DMG MORI. CTX BETA 1250 TC 4A-Technical Data [online]. 2016 [cit. 27.1.2016].
Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/products/lathes/turn-mill-complete-machining-centres/ctx-tc/ctx-beta-1250-tc-4a#Technic>
- [3]Siemens. Sinumerik 840 D sl [online]. 2016 [cit. 3.2.2016].
Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-840/sinumerik-840d-sl/pages/sinumerik-840d-sl.aspx>
- [4] Tumlikovo. Drsnost obrobeného povrchu [online]. 2010 [cit. 29.2.2016].
Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [5] Wikipedia. Výroba ozubených kol [online]. 2016 [cit. 29.2.2016].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDroba_ozuben%C3%BDch_kol
- [6] MM Průmyslové spektrum. Hrubovací soustružení nástroji s VBD [online]. 2016 [cit. 8.3.2016]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/hrubovaci-soustruzeni-nastroji-s-vbd.html>
- [7] Youtube. CTX beta 1250 4A [online]. 2011 [cit. 8.3.2016].
Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=sKGS1pVHL1c>
- [8] Grumant. Podavače tyčí Spacesaver [online]. 2013 [cit. 10.3.2016].
Dostupné z: <http://www.grumant.cz/produkty/obrabeci-stroje/podavace-tyci-spacesaver>
- [9] SPŠSE a VOŠ Liberec. Komplex CNC a CAM [online]. 2011 [cit. 10.3.2016].
Dostupné z: https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Ry_03.pdf
- [10] Iscar. Catalog HSK [online]. 2016 [cit. 10.4.2016].
Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=2176&mapp=IS&app=44&pageType=4&rel=I>
- [11] Iscar. Catalog ISOTURN [online]. 2016 [cit. 10.4.2016].
Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=489&mapp=IS&app=44&GFSTYP=M>
- [12] Iscar. Catalog HSK [online]. 2016 [cit. 10.4.2016].
Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=2214&mapp=IT&app=90&GFSTYP=M>
- [13] Iscar. Catalog ISOTURN [online]. 2016 [cit. 10.4.2016].
Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5550321&fnum=81&mapp=IT&app=0&GFSTYP=M>
- [14] Tumlíkovo. Princip výroby ozubených kol dělicím způsobem [online]. 2010 [cit. 13.4.2016] Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/princip-vyroby-ozubenych-kol-delicim-zpusobem/>
- [15]Tumlíkovo. Výroba ozubení odvalováním [online]. 2010 [cit. 13.4.2016].
Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vyroba-ozubeni-odvalovaci-frezou/#more-2101>

[16] Carbide. Zoller Genius 3 [online]. 2011 [cit. 21.4.2016].
Dostupné z: <http://www.carbide.cz/strojni-vybaveni/zoller-genius-3/>

Seznam obrázků

Obr. 1 - Trigon	10
Obr. 2 - Průměr Ø65 m6	11
Obr. 3 - Ozubení	12
Obr. 4 - CTX Beta 1250 TC 4A[1]	13
Obr. 5 - Sinumerik 840D sl.....	14
Obr. 6 - Ovládací panel stroje	15
Obr. 7 - Hlavní vřeteno a protivřeteno s koníkem	15
Obr. 8 - Revolverová hlava s lunetou	16
Obr. 9 - Soustružnicko-frézovací vřeteno	17
Obr. 10 - Vícepolohový držák pro HSK	17
Obr. 11 - Dvoukanálové obrábění [7]	18
Obr. 12 - Osy stroje.....	18
Obr. 13 - Podavač tyče [8]	20
Obr. 14 - Schéma pohybu supportu	22
Obr. 15 - Schéma frézování trigonu.....	22
Obr. 16 - Model trigonu pro určení souřadnic	23
Obr. 17 - Model trigonu - hloubka řezu.....	23
Obr. 18 - Hlavička programu pro trigon	24
Obr. 19 - Hrubování čela	25
Obr. 20 - Kontura.....	25
Obr. 21 - Hrubování kontury	26
Obr. 22 – Dokončování kontury	26
Obr. 23 - Funkce excentrického soustružení	27
Obr. 24 - Kružnice trigonu.....	28
Obr. 25 - Chybová hláška Sinutrainu.....	28
Obr. 26 - Upnutí obrobku	29
Obr. 27 - Pěchování třísky	29
Obr. 28 - Vyrobený trigon	30
Obr. 29 - Trigon po měření.....	31
Obr. 30 - Princip dělicího způsobu [14]	31
Obr. 31 - Princip odvalovacího způsobu [15].....	32
Obr. 32 - Obrobek ozubení	33

Obr. 33 - Odvalovací fréza	33
Obr. 34 - Zoller Genius 3.....	34
Obr. 35 - Funkce nástrojová data.....	34
Obr. 36 - Funkce frézování ozubení	35
Obr. 37 - Vyrobené ozubení	35
Obr. 38 – Měření ozubení talířkovým mikrometrem.....	36
Obr. 39 - Korekce nástroje při výrobě ozubení	37
Obr. 40 - Technologický přídavek.....	38

Seznam tabulek a příloh

Tabulky

- Tab. 1 – Vlastnosti stroje [2]
- Tab. 2 – Nástroj pro hrubování [10,11]
- Tab. 3 – Nástroj pro dokončování [12,13]
- Tab. 4 – Shrnutí měření trigonu
- Tab. 5 – Měření ozubení

Přílohy vřité do vazby

- Příloha č. 1 – Ukázka NC programu trigonu
- Příloha č. 2 – NC program ozubení a podprogram dráhy nástroje
- Příloha č. 3 – Zpráva z měření trigonu

Přílohy volně vložené

- Příloha č. 4 – Dosavadní výrobní postup součásti „hlavní hřidel“
- Příloha č. 5 – Navržený výrobní postup součásti „hlavní hřidel“ s momentálním vybavením stroje
- Příloha č. 6 – Navržený výrobní postup součásti „hlavní hřidel“ s možným teoretickým dovybavením stroje
- Příloha č. 7 – Výrobní výkres součásti „hlavní hřidel“

PŘÍLOHA č. 1

Ukázka NC programu trigonu
(Kompletní NC kód k dispozici na přiloženém CD)

```
N10 F_HEAD(344981503,68,1,, -95,10,10,2,-
63.1,378.0404,729.64033,3,2500,2000,71,0,39839,, -
75,,20,6,6,27,0,0,1,340.064,,8650751,2699,0,0,6,0,0,,0,0,0,0,0,0,10,0
,0,0,,200,0,1450,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);*RO*
N20 F_ROUGH("WH-MUMNN-WN08","WH-DDNNN-
DN08",1,0.1,3,150,2,0,54273,5,70,90,1.5,90,-1.8,90,0,90,-
1.8,90,0,90,0,0,0,1,0,0,0,90,90,45,1,0);*RO*
N30 F_CON("STR1",4,"E_LAB_A_STR1","E_LAB_E_STR1");*RO*
N40 F_ROU_Z("WH-MUMNN-
WN08","","1,0.25,3,350,2,0,0,,,,,"201512010812160",,,,,,"201512010812161"
,321111,0,0.1,0.1,2,6,0.9,0.15,0.1,0,0,0,1,70,90,0,91,126,,,,,,2,2,,
,,,0,,,,45,1,0,1,1,0,0.1);*RO*
N50 F_ROU_Z("WH-DDNNN-DN08","WH-MUMNN-
WN08",1,0.15,3,350,2,0,0,,,,,"201512010812232",,,,,,"201512010812233",32
1211,0,0.1,0.1,2,6,0.9,0.15,0.1,0,0,0,1,70,91,0,91,126,,,,,,2,2,,,,
0,,,,59.5,1,0,1,1,0,0.1);*RO*
N60 F_TS("WH-MUMNN-WN08","WH-DDNNN-DN08",1,350,1,1,4,,,0,45,1,0);*RO*
N70 G0 G90 X100 Y0 Z5 ;#SM;*RO*
N80 G0 G90 X91 ;#SM;*RO*
N90 ;HRUB-0-STUP
;NCG#crank_turn_on#dmg_crank_turn_sl.com#CRANK_TURN_ON#*NCG;*RO*;*HD*
;#"soustružení klikového čepu
ZAP"#1##4#1#0#2#1#1#0#870904#36#231#1#"1#"N"*NCG;*RO*;*HD*
N100 CRANK_TURN_ON(4,18.6,0,10,0,0) ;soustružení klikového čepu on
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
N110 G1 G952 F0.18 G90 Z-45.053 ;#SM;*RO*
N120 G2 G90 X105.86 Z-57 CR=15 G952 F0.18 ;#SM;*RO*
N130 G1 G952 F0.3 G90 X115 ;#SM;*RO*
N140 G0 G90 Z5 ;#SM;*RO*
N150 G0 G90 X87 ;#SM;*RO*
N160 G1 G952 F0.18 G90 Z-45.053 ;#SM;*RO*
N170 G2 G90 X95.36 Z-57 CR=15 G952 F0.18 ;#SM;*RO*
N180 G1 G952 F0.3 G90 X105 ;#SM;*RO*
N190 G0 G90 Z5 ;#SM;*RO*
N200 G0 G90 X83 ;#SM;*RO*
N210 G1 G952 F0.18 G90 Z-45.053 ;#SM;*RO*
N220 G2 G90 X94 Z-57 CR=15 G952 F0.18 ;#SM;*RO*
N230 G1 G952 F0.3 G90 X105 ;#SM;*RO*
N240 G0 G90 Z5 ;#SM;*RO*
;NCG#crank_turn_off#dmg_crank_turn_sl.com#CRANK_TURN_OFF#*NCG;*RO*;*H
D*
;#"soustružení klikového čepu
VYP"#1##871105#37#39#1#"1#"N"*NCG;*RO*;*HD*
N250 CRANK_TURN_OFF(4) ;soustružení klikového čepu off
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
.
.
.

N670 ;NA-CISTO-0-STUP
N680 F_TS("WH-DDNNN-DN08",,1,400,1,1,4,,,0,59.5,1,0);*RO*
N690 G0 G90 X100 Y0 Z5 ;#SM;*RO*
N700 G0 G90 X80.34 ;#SM;*RO*
;NCG#crank_turn_on#dmg_crank_turn_sl.com#CRANK_TURN_ON#*NCG;*RO*;*HD*
;#"soustružení klikového čepu
ZAP"#1##4#1#0#2#1#1#0#870904#36#231#1#"1#"N"*NCG;*RO*;*HD*
N710 CRANK_TURN_ON(4,18.6,0,10,0,0) ;soustružení klikového čepu on
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
```

```
N720 G1 G952 F0.1 G90 Z-45.053 ;#SM;*RO*
N730 G2 G90 X92.2 Z-57 CR=15 G952 F0.1 ;#SM;*RO*
N740 G1 G952 F0.3 G90 X112 ;#SM;*RO*
N750 G0 G90 Z5 ;#SM;*RO*
;NCG#crank_turn_off#dmg_crank_turn_sl.com#CRANK_TURN_OFF#*NCG;*RO*;*H
D*
;#"soustružení klikového čepu
VYP"#1##871105#37#39#1#"1#"#N"*NCG;*RO*;*HD*
N760 CRANK_TURN_OFF(4) ;soustružení klikového čepu off
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
N770
.
.
.
;#"soustružení klikového čepu
VYP"#1##871105#37#39#1#"1#"#N"*NCG;*RO*;*HD*
N980 CRANK_TURN_OFF(4) ;soustružení klikového čepu off
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
N990 G0 G90 X200 Z200 ;#SM;*RO*
F_END(0,1,0);*RO*
M30 ;#SM;*RO*
E_LAB_A_STR1: ;#SM Z:5
;#7__DlGK contour definition begin - Don't change!;*GP*;*RO*;*HD*
G18 G90 DIAM90;*GP*
G0 Z0 X53 ;*GP*
G1 X55 CHR=1 ;*GP*
Z-70 RND=3 ;*GP*
Z-75 X65 ;*GP*
Z-80 ;*GP*
X70 ;*GP*
;CON,V64,2,0.0000,0,0,MST:3,2,AX:Z,X,K,I,TRANS:0;*GP*;*RO*;*HD*
;S,EX:0,EY:55,ASE:90;*GP*;*RO*;*HD*
;F,LFASE:1;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-70;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:3;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EX:-75,EY:65;*GP*;*RO*;*HD*
;LL,EX:-80;*GP*;*RO*;*HD*
;LU,EY:70;*GP*;*RO*;*HD*
;#End contour definition end - Don't change!;*GP*;*RO*;*HD*
E_LAB_E_STR1:
```

PŘÍLOHA č. 2

NC program ozubení a podprogram dráhy nástroje

Podprogram „Draha“

N10 G01 Y=66/2 Z0
N20 G01 Y=66/2 Z-5
N30 G01 Y=66/2 Z-25
N40 G01 Y=66/2 Z-30
N50 M17

Program výroby ozubení


N10 G19 M440 M814
N20 DIAMOF
N30 G54
N31 HOB_MILL_OFF
N40 T="ODVAL"
;NCG#tc#dmg_eqiment_uc_turn_sl.com#TC#*NCG;*RO*;*HD*
;#"Výmena
nástroje"#1##1##1##1##2##1##1##2#14#870904##""#""#""#""#71#5#24#24#12#
0##1#0#0#"1"##"1"##*NCG;*RO*;*HD*
N50 TC(1,0,,1,90,0) ;Tool change
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
N60 L707(0)
N70 SETMS(4)
N80 G0 Z0 B1=90
N81 M107
N90










;NCG#hob_tool_data#dmg_hob_worm_sl.com#HOB_TOOL_DATA#*NCG;*RO*;*HD*
;#"Nástrojová
data"#5#0#1#1#1#1#2##0####1#870904#20#231#1#"1"#"N"##*NCG;*RO*;*HD*
N110 HOB_TOOL_DATA(2.917,1,4,1,0,-1,,,,,0) ;Nástrojová data
;#END#*NCG;*RO*;*HD*



N120 stopre
;NCG#hob_cycle#dmg_hob_worm_sl.com#HOB_CYCLE#*NCG;*RO*;*HD*
;#"Frézování
ozubení"#7#2#2#1#0#2##1##1##1##1#4#4#3#1#1#1#1#2#2#1#1##1#1#1#1##1#1##
870904#36#231#1#"1"#"N"##*NCG;*RO*;*HD*
N130 HOB_CYCLE("DRAHA",84,19,0,-
1,1,0,7,9,0.22,0.22,0.2,0,0,1,1,22,22,0,0,0,0,1,0,0,0) ;
Ozubení odvalovací frézování
;#END#*NCG;*RO*;*HD*
N140 L708
N150 L710
N160 M17

PŘÍLOHA č. 3

Zpráva z měření trigonu

ZEISS Calypso			
Plán měření Frnoch	Datum 26 April 2016		
Číslo výkresu * drawingno *	Čas 15:28:16	Zakázka	
Operátor Master	Stroj C32Bit	Č.dílu inkrementálně 1	

	Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka
 Celkový výsledek					
Všechny charakteristiky:		10			
...v toleranci:		10			
...Mimo toleranci:		0			
...Nad výstražnou mezí:		0			
...Nevypočteno:		0			
Souř.systémů celkem:		0			
...Nevypočteno:		0			
Text.elementů celkem:		0			
 Hodn-X_Kružnice1	18.380	18.600			-0.220
 Hodn-Y_Kružnice1	0.014	0.000			0.014
 Průměr_Kružnice1	79.660	80.340			-0.680
 Hodn-X_Kružnice2	-9.280	-9.300			-0.020
 Hodn-Y_Kružnice2	-16.019	-16.100			-0.081
 Průměr_Kružnice2	79.692	80.340			-0.648
 Hodn-X_Kružnice3	-9.322	-9.300			0.022
 Hodn-Y_Kružnice3	15.969	16.100			-0.131

Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka
 Průměr_Kružnice3 79.680	80.340			-0.660
 Průměr_Kružnice4 53.997	55.000			-1.003

PŘÍLOHA č. 4

Dosavadní výrobní postup součásti „hlavní hřídel“

ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VPO-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	1/4
Materiál	16 326	Polotovar	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

10	Soustruh Zarovnat na $L = 485 \pm 0,1$; navrtat důlky A2/60°.	t_{AC} = 20 t_{BC} = 25
20	NC soustruh Dle programu: S příd. pro brouš.: průměry 30 / -0,015, -0,025 /, 84, 55 f7 s R3 i hranu s příd. 0,3 na plochu, prům. 38 - 0,1 s příd. 0,15 na pl. ; ponechat cementační příd 4. přes závit a prům. 35 h5 na prům. 44, a prům. 65m6 na prům. 75; regulovat důlky, ponechat pomoc. příd. prům. 60,4 x 25 - dle značení, ostatní hot.	t_{AC} = 35 t_{BC} = 240
30	Bruska Prům. 60 na shodný průměr $\pm 0,005$.	t_{AC} = 20 t_{BC} = 20
40	Soustruh Oboustranně navrtat 3 x důlek.	t_{AC} = 40 t_{BC} = 20
50	NC soustruh K - profil i R15 s příd. 0,25 na plochu pro brouš.	t_{AC} = 50 t_{BC} = 160
60	Odvalovací frézka Ozubení s příd. 0,3 na b.z. pro broušení	t_{AC} = 70 t_{BC} = 90

ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VPO-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	2/4
Materiál	16 326	Polotovar	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

70	Zámečnická přídávka – řezné a upínací Srazit hrany 0,5 x 45° i podél	t_{AC} = 20 t_{BC} = 5
80	Cementační pec Cement. do hl. 0,9 - 1,1	t_{AC} = 15 t_{BC} = 10
90	Technická kontrola Kontrola deformací a rozměrů po tepelném zpracování. Vystavit protokol o tepelném zpracování.	t_{AC} = 1 t_{BC} = 1
100	NC Soustruh Odebrat cement. příd. - prům. 65 m6 na prům. 65,5 a čelo na horní mez. tol. ; průměr pro závit s příd. 0,15 napl. pro brouš., neřezat závit, u pomoc. příd. vnitřní stranu na L = 20; prům. 35 h55 a čelo na horní mez tol. s příd.0,2 na pl. pro brouš.	t_{AC} = 55 t_{BC} = 40
110	Technická kontrola Kontrola rozměrů	t_{AC} = 1 t_{BC} = 1
120	Kalení po cementování Kalit na HRC = 60 ÷ 62 ; 2x	t_{AC} = 25 t_{BC} = 19

ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VPO-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	3/4
Materiál	16 326	Polotovár	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

130	Technická kontrola Kontrola deformací a rozměrů po tepelném zpracování. Vystavit protokol o tepel. zpracování.	t_{AC} = 1 t_{BC} = 1
140	NC soustruh Průměry 35 h5, 84, 55 f7 s R3 i hranu , 65 m6, 30 / -0,015, -0,025 / 38 - 0,1 - vše zhruba, prům. přes závit a K - profil s R15 hot.	t_{AC} = 65 t_{BC} = 45
150	Zámečnick Označenou část leštit.	t_{AC} = 5 t_{BC} = 20
160	Soustruh Pom. příd. ubrat, řezat závity, reg. hr. a důl. navrtat.	t_{AC} = 40 t_{BC} = 20
170	Frézka Drážku hot.	t_{AC} = 4 t_{BC} = 20
180	Bruska na díry-upínací Regulovat důlek a hranu	t_{AC} = 20 t_{BC} = 35

ZČU FST KTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VPO-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	4/4
Materiál	16 326	Polotovár	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

190	<p>Bruska na kulato</p> <p>Průměry 35 h5, 84, 55 f7 s R3 i hranu, 65 m6, 30 / -0,015, 0,025 / 38 - 0,1 ; čela - vše hotově</p>	<p>t_{AC} = 80 t_{BC} = 50</p>
200	<p>Soustruh</p> <p>Vrtat 2 x prům. 6 ; srazit hrany</p>	<p>t_{AC} = 15 t_{BC} = 25</p>
210	<p>Zámečník přídávky – řezné a upínací</p> <p>Označenou část leštit</p>	<p>t_{AC} = 50 t_{BC} = 10</p>
220	<p>Technická kontrola</p> <p>Kontrola před kooperací</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>
230	<p>Externí kooperace</p> <p>Brousit zuby hot. Ostří podélné po broušení. Vystavit protokol. Odeslat.</p>	<p>t_{AC} = 0 t_{BC} = 0</p>
240	<p>Technická kontrola</p> <p>Kontrola po kooperaci</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>
250	<p>Celková kontrola - vystavit měřící protokoly.</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>

PŘÍLOHA č. 5

Návrh výrobního postupu součásti „hlavní hřídel“ s momentálním vybavením stroje

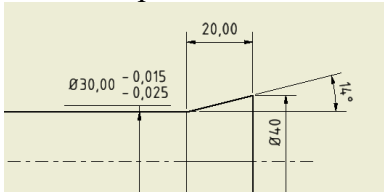
ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VP1-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	1/4
Materiál	16 420	Polotovár	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

10	Soustruh Zarovnat na $L = 485 \pm 0,1$; navrtat důlky A2/60°	$t_{AC} = 20$ $t_{BC} = 25$
----	--	-----------------------------

20	<p>CTX beta 1250 TC 4A</p> <p><i>UPN do hl. vřetena – tvrd. čel. za vněj. PR v délce 60</i> Navrtat excentrické důlky 3x</p> <p><i>Podepřít špičkou v revolverové hlavě</i> Celková délka je větší o dva technologické přídatky na koncích v podobě $\varnothing 40 \times 20$</p>  <p>Soustružit průměry (zprava dle výkresu) $\varnothing 30[-0,015; -0,025]$ a $\varnothing 38[+0,1]$ a $\varnothing 55f7$ s příd. na broušení 0,25/PLO, dále $\varnothing 65m6$ a $\varnothing 75$ s cementačním přídatkem 4/PLO. Excentricky soustr. trigon s přídatkem na broušení 0,25 na plochu</p> <p><i>Přeupnout do protivřetena – měkké čelisti za $\varnothing 65,5$ v délce 220</i> Navrtat excentrické důlky 3x Soustružit průměr $\varnothing 84$ hot., 60 hot. Závit M30x1,5 a prům $\varnothing 35h5$ s cementačním přídatkem na $\varnothing 44$, průměr $\varnothing 44$ a napojený rádius a přilehlé čelo hot (oba $\varnothing 44$ na sebe navazují a tvoří společnou plochu). Frézovat ozubení s přídatkem na broušení 0,25 na pl.</p>	<p>$t_{AC} = 210$ $t_{BC} = 120$</p> <p>Odvalovací fréza (z-12, m-4, $\beta -2^\circ 55'$)</p>
----	---	---

30	Cementační pec Cement. do hl. 0,9 - 1,1	$t_{AC} = 15$ $t_{BC} = 10$
----	--	-----------------------------

ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VP1-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	2/4
Materiál	16 420	Polotovár	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

40	<p>Technická kontrola</p> <p>Kontrola deformací a rozměrů po tepelném zpracování. Vystavit protokol o tepelném zpracování.</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>
50	<p>NC soustruh</p> <p>Odebrat cement. příd. - prům. 65 m6 na prům. 65,5 a čelo na horní mez. tol. ; průměr pro závit s příd. 0,15 napl. pro brouš., neřezat závit, u pomoc. příd. vnitřní stranu na L = 20; prům. 35 h55 a čelo na horní mez tol. s příd.0,2 na pl. pro brouš.</p>	<p>t_{AC} = 55 t_{BC} = 40</p>
60	<p>Technická kontrola</p> <p>Kontrola rozměrů</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>
70	<p>Kalení po cementování</p> <p>Kalit na HRC = 60 ÷ 62 ; 2x</p>	<p>t_{AC} = 25 t_{BC} = 19</p>
80	<p>Technická kontrola</p> <p>Kontrola deformací a rozměrů po tepelném zpracování. Vystavit protokol o tepel. zpracování.</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>
90	<p>NC soustruh</p> <p>Průměry 35 h5, 84, 55 f7 s R3 i hranu , 65 m6, 30 / -0,015, -0,025 / 38 - 0,1 - vše zhruba, prům. přes závit a K - profil s R15 hot.</p>	<p>t_{AC} = 65 t_{BC} = 45</p>

ZČUFSTKTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VP1-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	3/4
Materiál	16 420	Polotovár	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

100	Zámečnick Označenou část leštit.	t_{AC} = 5	t_{BC} = 20
110	Soustruh Pom. příd. ubrat, řezat závity, reg. hr. a důl. navrtat.	t_{AC} = 40	t_{BC} = 20
120	Frézka Drážku hot.	t_{AC} = 4	t_{BC} = 20
130	Bruska na díry upínací Regulovat důlek a hranu	t_{AC} = 20	t_{BC} = 35
140	Hrotová bruska Průměry 35 h5, 84, 55 f7 s R3 i hranu, 65 m6, 30 / -0,015, -0,025 / 38 - 0,1 ; čela - vše hotově	t_{AC} = 80	t_{BC} = 50
150	Soustruh Vrtat 2 x prům. 6 ; srazit hrany	t_{AC} = 15	t_{BC} = 25
160	Zámečnick přídávky – řezné a upínací Označenou část leštit	t_{AC} = 50	t_{BC} = 10
170	Technická kontrola Kontrola před kooperací	t_{AC} = 1	t_{BC} = 1

ZČU FST KTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VP1-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	4/4
Materiál	16 420	Polotovary	Tyč KR 90x490	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

180	Externí kooperace Brousit zuby hot. Ostří podélné po broušení. Vystavit protokol. Odeslat.	t_{AC} = 0 t_{BC} = 0
190	Technická kontrola Kontrola po kooperaci	t_{AC} = 1 t_{BC} = 1
200	Technická kontrola Celková kontrola - vystavit měřící protokoly.	t_{AC} = 1 t_{BC} = 1

PŘÍLOHA č. 6

Návrh výrobního postupu součásti „hlavní hřídel“ s možným teoretickým dovybavením stroje

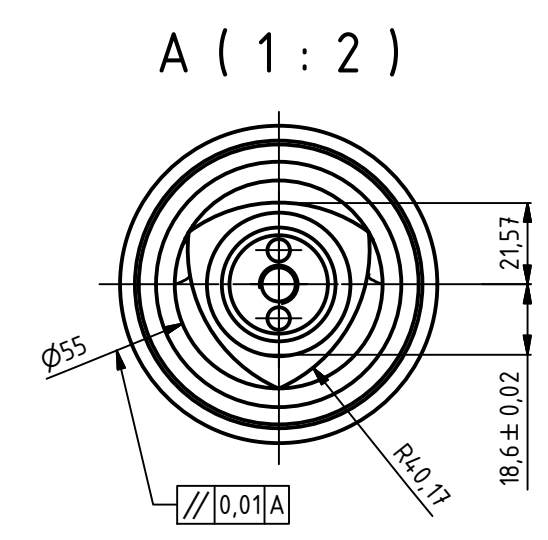
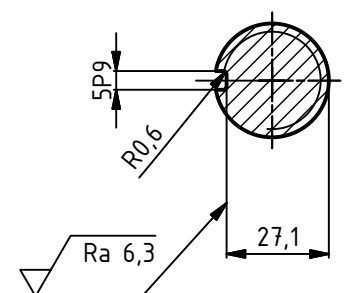
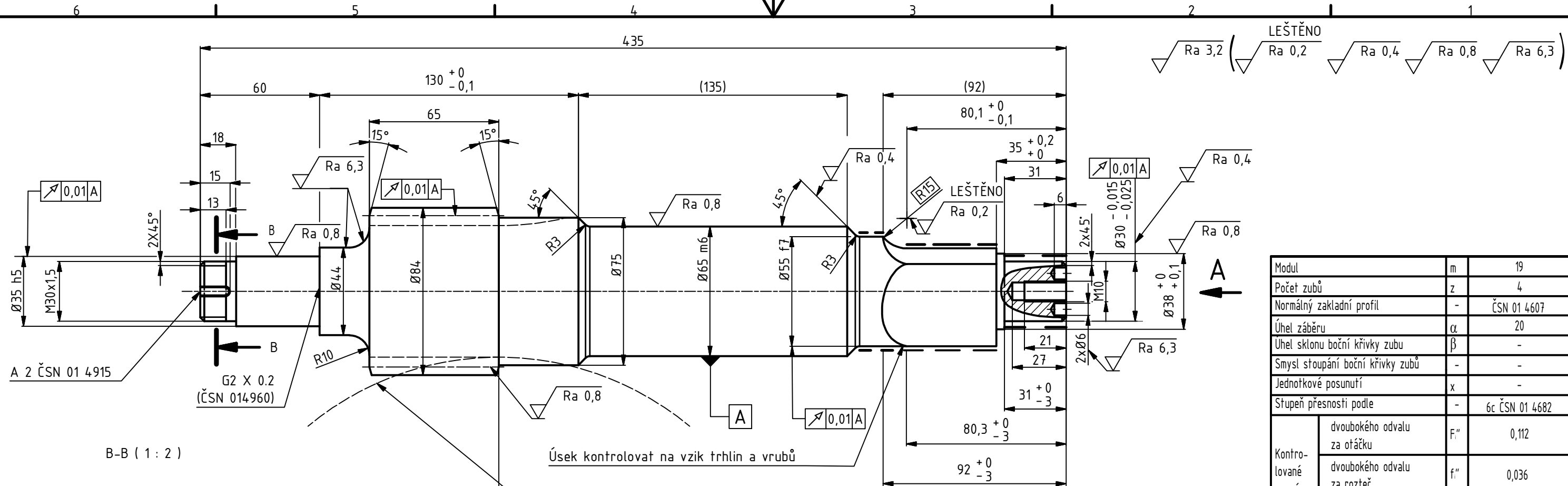
ZČUFST KTO

PRŮVODKA

Zakázka					
Název		VP2-Hlavní hřídel		Vypracoval	Frnoch
Číslo výkresu		BP-KTO-2016		List	1/1
Materiál	16 240	Polotovar	Tyč KR 90x440	Kusů	1

č.op. Pracoviště / Popis operace

10	<p>CTX beta 1250 TC 4A</p> <p><i>UPN do hl. vřetena – tvrd. čel. za vněj. PR v délce 60</i></p> <p>Soustružit čelo</p> <p>Soustružit průměry (zprava dle výkresu) $\varnothing 30[-0,015; -0,025]$ a $\varnothing 38[+0,1]$ a $\varnothing 55f7 (55,5)$ a $\varnothing 65m6 (65,5)$ s příd. na broušení 0,25/PLO, dále $\varnothing 75$ hotově.</p> <p>Srazit hrany $5 \times 45^\circ$</p> <p>Excentricky soustr. trigon s přídavkem na broušení 0,25 na plochu</p> <p>Vrtat ustavovací důlky $2 \times \varnothing 6$</p> <p>Vrtat díru pro $\varnothing 9$ závit M10</p> <p>Soustružit M10</p> <p>Kalit plochy laserem Trigon včetně $\varnothing 55f7, \varnothing 38, \varnothing 30$</p> <p>Brousit průměry $\varnothing 30[-0,015; -0,025]$ a $\varnothing 38[+0,1]$ a Trigon a $\varnothing 55f7, 65m6$; vše na hot.</p> <p>Leštit R15</p> <p><i>Přeupnout do protivřetena – měkké čelisti za $\varnothing 65,5$ v délce 220</i></p> <p>Soustružit čelo</p> <p>Soustružit průměr $\varnothing 84$ hot.,</p> <p>Prům $\varnothing 35h5$ s přídavkem broušení, průměr $\varnothing 44$ a napojený rádius R10 a přílehlé čelo hot.</p> <p>Soustružit průměr $\varnothing 30$ pro M30x1,5</p> <p>Frézovat ozubení s přídavkem na broušení 0,25 na pl.</p> <p>Řezat závit M30x1,5</p> <p>Srazit hrany $2 \times 45^\circ$</p> <p>Frézovat 5P9</p> <p>Kalit ozubení laserem</p> <p>Brousit a ozubení a 35h5; vše na hot.</p>	<p>t_{AC} = 370 t_{BC} = 160</p> <p>Laserová hlava</p> <p>Odvalovací fréza (z-12, m-4, $\beta -2^\circ 55'$)</p> <p>Laserová hlava</p>
20	<p>Technická kontrola</p> <p>Celková kontrola - vystavit měřící protokoly.</p>	<p>t_{AC} = 1 t_{BC} = 1</p>



Úsek kontrolovat na vzik trhlin a vrubů
 Drážka brusným kotoučem max. Ø300

Ozubení kaleno a broušeno
 Hloubka zakalení 0,6-0,7 mm
 Tvrdost 60-62 HRC
 Pevnost jádra 1100 N/mm²

— — — Úsek povrchově kalit
 Hloubka zakalení 0,6-0,7 mm
 Tvrdost 60-62 HRC

Modul	m	19	
Počet zubů	z	4	
Normální základní profil	-	ČSN 01 4607	
Úhel záběru	α	20	
Úhel sklonu boční křivky zubu	β	-	
Smysl stoupání boční křivky zubů	-	-	
Jednotkové posunutí	x	-	
Stupeň přesnosti podle	-	6c ČSN 01 4682	
Kontrolované mezní úchytky	dvoubokého odvalu za otáčku	F _r ''	0,112
	dvoubokého odvalu za rozteč	f _r ''	0,036
	sklonu zubů	F _β	0,018
	vzdálenosti os	f _s	±0,035
Kontrolní rozměr	jmenovité vzdálenosti os přes	horní E _s '''	0,036
		dolní E _s '''	-0,180
Spolu-zabírající kolo	číslo výkresu	-	-
	Počet zubů vzdálenost os	z	4
Modul	m _r	-	
Počet zubů hřebenu, segmentu	z	-	
Průměr základní kružnice	d _b	71,417	
Průměr roztečné kružnice	d	76	
Průměr patní kružnice	d _r	66	
Úhel sklonu boční křivky zubů na základním válci	β _s	-	
Úhel os	Σ	-	

Textura povrchu		Hrany ISO 13715	Měřítka	1:2	Přesnost	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár	16 326	KR 90 - 440	Hmotnost (kg)	9,78	Tolerování	ISO 8015
Formát	A3		Promítání			
Kreslil	Frnoch	Datum	22.3.2016	Název	Hlavní hřídel	
Schválil		Datum		Číslo dokumentu	BP-KTO-2016	
Druh dokumentu	VÝROBNÍ VÝKRES					