VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ ROZVÁDĚCÍHO KOLA Z TURBODMYCHADLA
MACHINING OF A GUIDE WHEEL FROM TURBOCHARGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Dominik Hibš

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Dominik Hibš**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok:	2020/21

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

Obrábění rozváděcího kola z turbodmychadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro součást z turbodmychadla je proveden návrh výroby na strojích v aktuálních podmínkách firmy.

Cíle bakalářské práce:

– Rozbor zadané součásti
– Návrh způsobu výroby
– Využití frézovací technologie
– Sestavení výrobního procesu včetně základní TPV dokumentace
– Naprogramování stroje se systémem Heidenhain
– Simulace a zprovoznění technologie
– Posouzení úspěšnosti akce

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8--214-3946-7.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 219 s. ISBN 978-80-214-4370-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72--4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72--4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je návrh výroby rozváděcího kola do turbodmychadla. Návrh obsahuje popis součásti, volbu materiálu, strojů, nástrojů a vypracování výrobního postupu. Výstupem této práce je vytvoření NC programu v systému HEIDENHAIN.

Klíčová slova

frézování, NC program, výrobní postup, heidenhain

ABSTRACT

The topic of the bachelor's thesis is to develop a design for the production of a distribution wheel for a turbocharger. The design includes a description of the part, the choice of material, machines, tools, and the development of the production process. The outcome of this thesis is the creation of a NC program in the HEIDENHAIN system.

Key words

milling, NC program, manufacturing process, heidenhain

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HIBŠ, Dominik. *Obrábění rozváděcího kola z turbodmychadla* [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129507. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění rozváděcího kola z turbodmychadla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-- --

Datum Dominik Hibš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji firmě PBS Turbo s.r.o. za praktické rady.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 8
1 ZÁKLADNÍ TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ 9
1.1 Strojní obrábění 9
1.1.1 Obrobek 9
1.1.2 Metody obrábění 9
1.2 Frézování 9
1.2.1 Válcové frézování 10
1.2.2 Čelní frézování 11
1.2.3 Kinematika 12
1.2.4 Průřez třísky 12
1.2.5 Řezné síly 14
1.2.6. Jednotkový strojní čas 17
1.2.7 Frézovací nástroje 19
2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI 20
2.1 Popis součásti 20
2.2 Materiál X12Cr13+A 20
3 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE 21
3.1 Volba stroje 21
3.1.1 Vertikální obráběcí centrum TAJMAC MCFV 1260 21
3.2 Volba nástroje 22
3.3 Výrobní postup 23
3.4 Výpočet otáček a posuvové rychlosti 24
4 NC PROGRAM 26
4.1 NC kód 26
4.2 Sestavení NC programu 27
5 DISKUZE 31
ZÁVĚR 32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 34
SEZNAM PŘÍLOH 36

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou rozváděcího kola z turbodmychadla metodou frézování ve firmě PBS Turbo s.r.o., která je pobočkou firmy MAN Diesel & Turbo.

Bakalářská práce je rozdělena na několik částí. První část se zabývá teorií strojního obrábění se zaměřením na technologii frézování, která je využívána pro výrobu zadaného dílu. Tato technologie je použita ve výrobním postupu součásti. Druhá část se zaobírá technologičností součásti, jejím popisem a výběrem materiálu. Ve třetí části je vypracován výrobní postup a nástrojový list, a dále se řeší volba stroje, potřebné otáčky a rychlosti posuvů. Poslední část je věnována sestavení NC programu.

1 ZÁKLADNÍ TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ

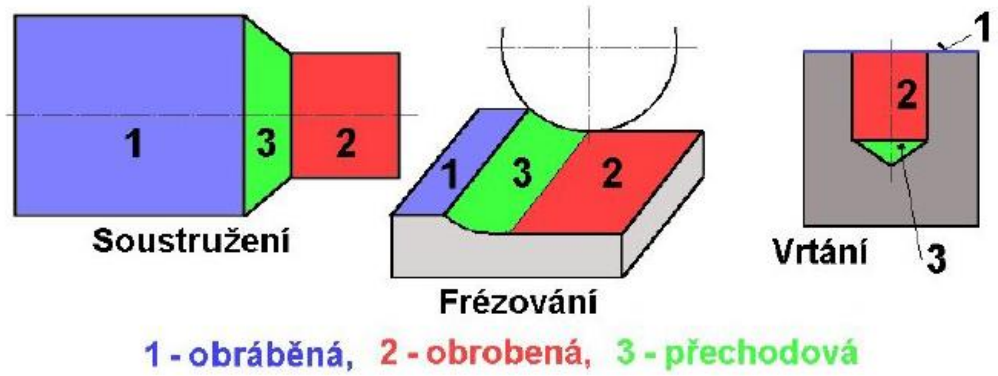
Technologie obrábění je vědní disciplína, která studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces je prováděn v obráběcím systému, který lze dále rozsegmentovat do několika subsystémů. Základní vstupním objektem obráběcího procesu je obrobek a poté výstupním objektem je zcela obrobená součást [1].

1.1 Strojní obrábění

Strojní obrábění je technologický proces, kterým se vytváří povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebíráním části materiálu účinky mechanickými, chemickými, elektrickými, případně jejich kombinací [2].

1.1.1 Obrobek

Obrobek je označen jako objekt obráběcího procesu, který je charakterizován třemi základními plochami – obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou (obr. 1.1). Obráběná plocha je plocha, která je odstraněna obráběním. Přechodová plocha je taková plocha, která vznikne působením ostří řezného nástroje v průběhu zdvihu nebo otáčky. Obrobená plocha je taková plocha, která vznikne jako výsledek obrábění [1].



Obr. 1.1 Plochy obrobku [2].

1.1.2 Metody obrábění

Je mnoho metod třískového obrábění, které můžeme využívat ve strojírenství, například soustružení, frézování, vrtání, broušení, řezání atd. Vzhledem k tvaru obráběné součástky je nejvhodnější využít metodu frézování.

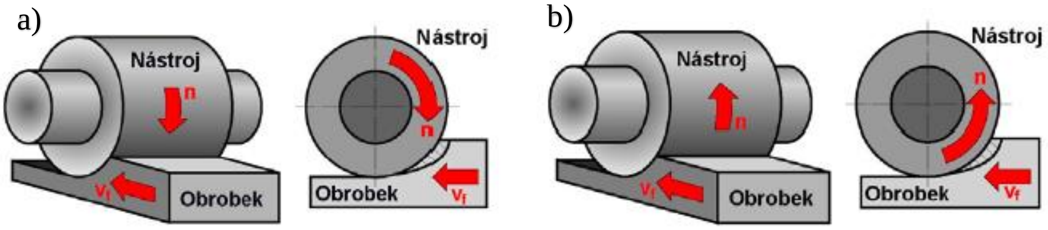
1.2 Frézování

Frézováni je obráběcí metoda, při které dochází k odběru materiálu pomocí rotujícího nástroje. Posuv převážně koná obrobek v směru kolmém na osu nástroje. U dnešních moderních stojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se pohybovat ve všech směrech (víceosé CNC frézky, obráběcí centra). Frézováni je přerušovaný řezný proces, kde každý zub frézy odebírá krátkou třísku proměnné tloušťky. Z technologického

hlediska se rozlišují dle použitého nástroje dva způsoby, a to frézování čelní (frézování čelem) a frézování válcové (frézování obvodem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako frézování okružní anebo frézování planetové [1].

1.2.1 Válcové frézování

Válcové frézování je převážně využíváno pro obrábění s válcovými nebo tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vyrobeny jen na obvodu nástroje, hloubka úběru materiálu se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování sousledné (souměrné) a nesousledné (nesouměrné) (obr. 1.2) [1].



Obr. 1.2 Válcové frézování: a) sousledné, b) nesousledné [2].

Pří sousledném frézování je smysl otáčení nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání nástroje zubu do obrobku. Obrobená plocha vzniká, když zub frézy vychází ze záběru. Řezné síly obvykle působí směrem dolů, a tyto síly přitlačují obrobek ke stolu. Sousledné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji, který má vymezenou vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě vůle způsobuje nestejnosměrný posuv, při kterém může dojít k poruše nástroje, popř. i stroje [1].

Výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost břitu, proto můžeme využít vyšší řezné rychlosti,
- menší řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, lze tedy použít jednodušší upínací přípravky,
- menší sklon ke chvění,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,
- lepší drsnost obrobku.

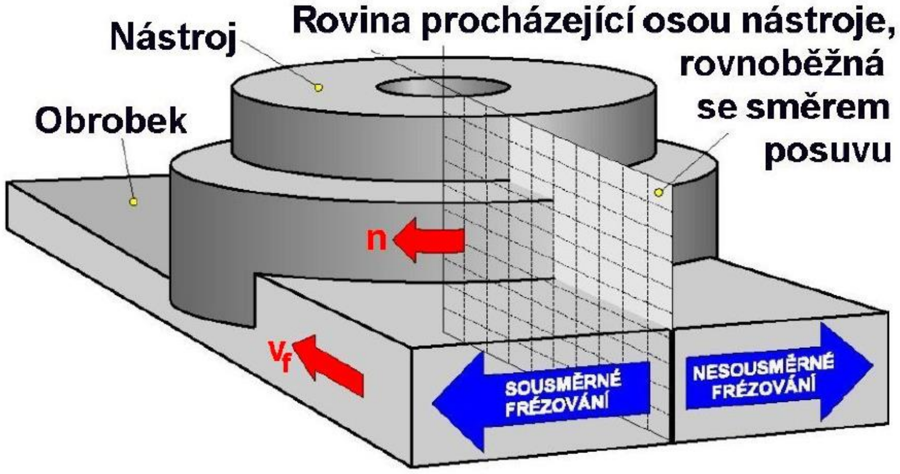
Pří nesousledném frézování je smysl otáčení nástroje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na maximální hodnotu. Obrobená plocha vzniká, když nástroj vniká do obrobku. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující větší opotřebení břitu. Pří nesousledném frézování působí řezná síla směrem vzhůru a odtahuje obrobek od stolu stroje [1].

Výhody nesousledného frézování:

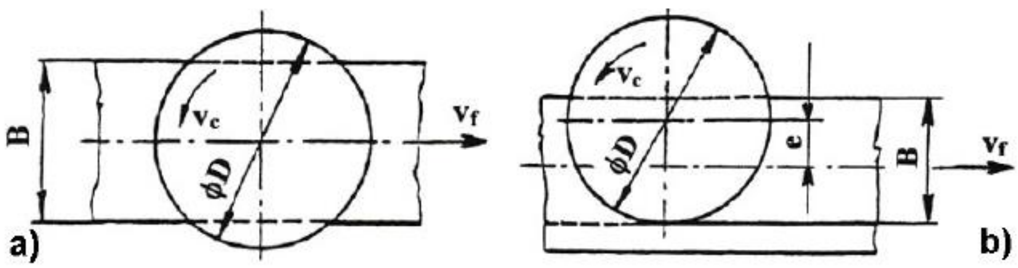
- menší opotřebení šroubu a matice,
- není potřeba vymezování vůle mezi posuvným šroubem a maticí stolu stroje,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu,
- trvanlivost nástroje není závislá na okujích nebo písčitém povrchu obrobku.

1.2.2 Čelní frézování

Čelní frézování se využívá při práci s čelními frézami, kdy břity jsou vyrobeny na obvodu a čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišují dva druhy čelního frézování, a to symetrické (osa nástroje prochází středem obrobku) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy) (obr. 1.4). U čelního frézování fréza koná jak sousledný, tak nesousledný pohyb (obr. 1.3) [1,2].



Obr. 1.3 Čelní frézování [2].



Obr. 1.4 Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické [2].

1.2.3 Kinematika

Hlavní pohyb u všech druhů frézování je vždy rotační a koná ho nástroj (fréza), vedlejší pohyb je posuvný, většinou přímočarý vykonává ho obrobek. Planetové a okružní frézování muže mít posuvný pohyb rotační a muže ho konat nástroj nebo obrobek. Základní veličinou při frézování je řezná rychlost, která se vypočítá podle vztahu [2]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

kde: D [mm] – průměr nástroje,

n [mm^{-1}] – otáčky stroje.

Základní jednotkou posuvného pohybu je posuv na zub f_z [mm], což je délka dráhy, kterou obrobek urazí po dobu záběru zubu. Posuv na otáčku f_n je délka dráhy, kterou obrobek urazí po dobu jedné otáčky nástroje. Lze ho vypočítat pomocí posuvu na zub (1.2) [2].

$$f_n = f_z \cdot z \quad (1.2)$$

kde: z [-] – počet zubů nástroje,

f_z [mm] – posuv na zub.

Posuvovou rychlost lze vypočítat podle vztahu (1.3):

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad (1.3)$$

kde: n [mm^{-1}] – otáčky nástroje,

f_z [mm] – posuv na zub,

z [-] – počet zubů nástroje.

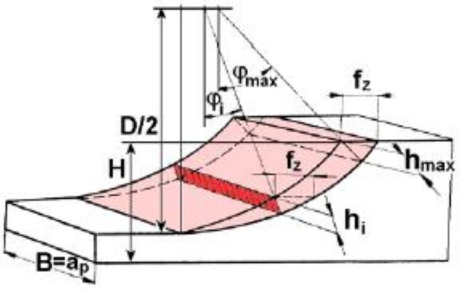
1.2.4 Průřez třísky

Tloušťka odebírané třísky h_i se při válcovém sousledném frézování mění od maximální hodnoty do nulové hodnoty a od nulové po maximální při nesousledném frézování (obr. 1.2). Tloušťka třísky h_i se v libovolné fázi vypočítá ze vztahu (1.4) [2]:

$$h_i = \mathrm{f}(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.4)$$

kde: φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub.



Obr. 1.5 Průřez třísky při válcovém frézování [2].

A_{Di} je jmenovitý průřez třísky pro polohu zubu frézy, který lze vyjádřit pomocí poměrů naznačených na obr. 1.5 [2].

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.5)$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub.

Maximální jmenovitý průřez třísky A_{Dmax} nastává, když $\varphi_i = \varphi_{max}$

$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{max} \quad (1.6)$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

φ_{max} [°] – maximální úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub.

$$sin\varphi_{max} = \frac{2}{D}\sqrt{D \cdot H - H^2} \quad (1.7)$$

kde: D [mm] – průměr nástroje,

H [mm] – hloubka odebírané vrstvy.

Tloušťka odebírané třísky h_i u čelního frézování se taktéž mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu φ_i a je kromě toho ovlivněna i úhlem nastavení hlavního ostří κ_r (na obrázku č. 1.8 je hodnota $\kappa_r = 90°$), proto se její okamžitá hodnota vypočítá podle vztahu [2]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin\ \kappa_r \quad (1.8)$$

kde: κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu.

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i konstantní a vypočítá se podle vztahu:

$$b_i = \frac{a_p}{\sin\ \kappa_r} \tag{1.9}$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro $\kappa_r = 90°$:

$$A_{Di} = \mathrm{b} \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i \tag{1.10}$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub.

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při $\varphi_i = 90°$:

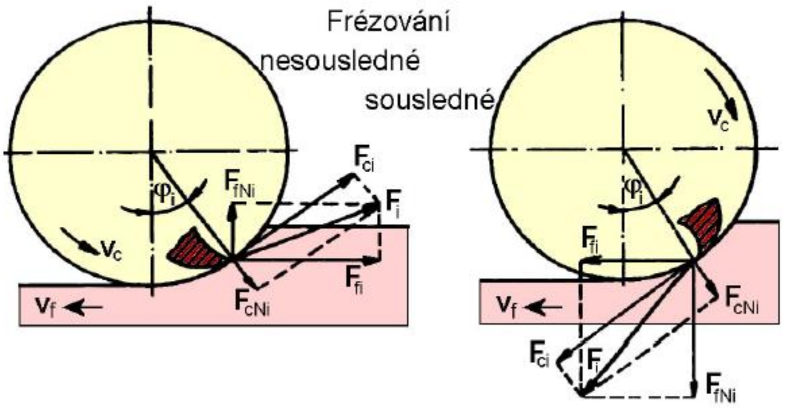
$$A_{Dmax} = a_p \cdot f_z \tag{1.11}$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

f_z [mm] – posuv na zub.

1.2.5 Řezné síly

Při určení řezných sil při frézování se vychází ze silových poměrů na jednom břitu, který je v poloze určené úhlem φ_i. Pro nástroj s přímými zuby u válcového frézování se celková řezná síla působící na břitu F_i rozkládá na složky F_{ci} a F_{cNi}, respektive na složky F_{fi} a F_{fNi} (obr. 1.7) [2].



F_i – celková řezná síla, F_{ci} – řezná síla, F_{cNi} – kolmá řezná síla, F_{fi} – posuvová řezná síla, F_{fNi} – kolmá řezná síla

Obr. 1.7 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině P_{fe} [2].

Řezná síla F_{ci} se vyjádří na základě měrné řezné síly k_{ci} a průřezu třísky A_{Di}:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i \tag{1.12}$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub,

k_{ci} [MPa] – měrná řezná síla.

Měrná řezná síla k_{ci} se vypočítá pomocí vztahu:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin\varphi_i)^{1-x}} \tag{1.13}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f_z [mm] – posuv na zub,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

Po dosazení vztahu (1.13) do vztahu (1.12) a úpravě se získá vztah:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \tag{1.14}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f_z [mm] – posuv na zub,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

a_p [mm] – šířka záběru ostří,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

Řezná síla F_{ci} se pro čelní frézování se vyjadřuje podobně jak pro válcové frézování, a to tímto způsobem:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i \tag{1.12}$$

kde: a_p [mm] – šířka záběru ostří,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

f_z [mm] – posuv na zub,

k_{ci} [MPa] – měrná řezná síla.

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin\ \kappa_r \cdot \sin\varphi_i)^{1-x}} \tag{1.16}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f_z [mm] – posuv na zub,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin^x \varphi_i \tag{1.17}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f_z [mm] – posuv na zub,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,

a_p [mm] – šířka záběru ostří,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

Protože frézování zpravidla probíhá vícebřitým nástrojem, je vždy v záběru více než jeden zub současně. Výsledná řezná síla pak závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze zubu vzhledem k obrobku. Celková řezná síla F_c je potřebná z hlediska krouticího momentu a výkonu na vřetenu [2].

Celková řezná síla F_c se vypočítá pomocí vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \tag{1.18}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f [mm] – posuv,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

a_p [mm] – šířka záběru ostří,

n_z [-] – počet zubů v záběru,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

Pro čelní frézování podle vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \tag{1.19}$$

kde: C_{Fc} [-] – konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

f [mm] – posuv,

φ_i [°] – úhel posuvového pohybu,

κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,

n_z [-] – počet zubů v záběru,

a_p [mm] – šířka záběru ostří,

x [-] – exponent vlivu tloušťky třísky.

Počet zubů v záběru pro válcové frézování se vypočítá podle vztahu:

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \tag{1.20}$$

kde: φ_{max} [°] – maximální úhel posuvového pohybu,

z [-] – počet zubů frézy.

Počet zubů v záběru pro čelní frézování se vypočítá podle vztahu:

$$n_z = \frac{\Psi}{360} \cdot z \tag{1.21}$$

kde: Ψ [°] – úhel záběru frézy,

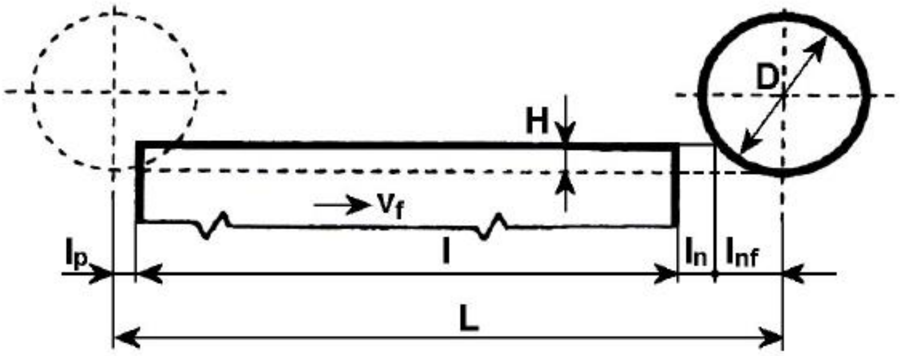
z [-] – počet zubů frézy.

Při výpočtu počtu zubů v záběru podle vztahů (1.20) nebo (1.21) je potřeba vždy hodnotu zaokrouhlovat nahoru na celé číslo [2].

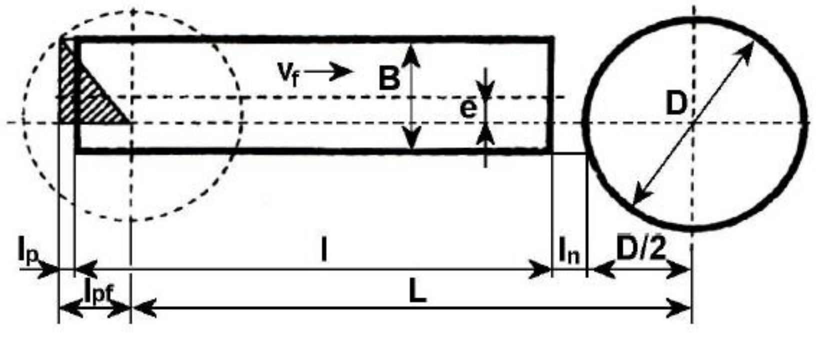
1.2.6. Jednotkový strojní čas

Pro základní typy frézování se hodnoty jednotkového strojního času vyjádří pomocí vztahů znázorněných na obr. 1.8 [1, 2].

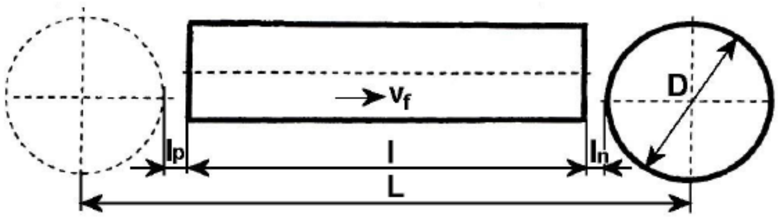
a)



b)



c)



a) válcové frézování, b) hrubé čelní frézování asymetrické, c) čelní frézování na čisto asymetrické.

Obr. 1.8 Znázornění dráhy frézy ve směru posuvového pohybu [2]:

Obecný vztah pro jednotkový strojní čas je [2]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \tag{1.22}$$

kde: L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,

v_f [mm·min^{-1}] – posuvová rychlost.

Hodnota L pro válcově frézování (obr. 1.8 a)) se vyjádří pomocí vztahu:

$$\mathrm{L} = \mathrm{l} + l_n + l_p + l_{nf} \tag{1.23}$$

kde: l [mm] – délka obrobku,

l_n [mm] – délka náběhu,

l_p [mm] – délka přeběhu,

l_{nf} [mm] – délka náběhu frézy.

Odvozený vztah pro l_{nf} [2]:

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \tag{1.24}$$

kde: H [mm] – hloubka odebírané vrstvy,

D [mm] – průměr nástroje.

Hrubé čelní frézování asymetrické se využívá právě proto, aby se pravidelně nestřídalo sousledné frézování a nesousledné frézování, čímž by došlo k rozkmitání soustavy. Hodnota L pro hrubé čelní frézování asymetrické (obr.1.8 b)) se vyjádří pomocí vztahu:

$$\mathrm{L} = \mathrm{l} + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \tag{1.25}$$

kde: l_{pf} [mm] – pomocná hodnota pro výpočet dráhy L,

D [mm] – průměr nástroje,

l [mm] – délka obrobku,

l_n [mm] – délka náběhu,

l_p [mm] – délka přeběhu.

Hodnota l_{pf} je dána [2]:

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad (1.26)$$

kde: B [mm] – šířka obrobku,

D [mm] – průměr nástroje,

e [mm] – vyosení.

Hodnota L pro čelní frézování načisto asymetrické (obr. 1.8 c)) se vyjádří pomocí vztahu:

$$\mathrm{L} = \mathrm{l} + l_n + l_p + D \quad (1.27)$$

kde: l [mm] – délka obrobku,

l_n [mm] – délka náběhu,

l_p [mm] – délka přeběhu,

D [mm] – průměr nástroje.

Pro hrubé čelní frézování symetrické je ve vztahu (1.26) hodnota e=0.

1.2.7 Frézovací nástroje

Frézy jako vícebřité nástroje mají břity vyrobeny na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše, u čelních fréz jsou vyrobeny břity na čelní ploše. Vzhledem k širokému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému množství technologií frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Proto lze frézy rozdělit do jednotlivých skupin podle různých hledisek [1]:

- podle nástrojového materiálu břitu – rychlořezná ocel, slinuté karbidy,
- podle tvaru zubu – frézované, podsoustružené,
- podle směru zubu vzhledem k ose rotace – přímé, pravé nebo levé šroubovice,
- podle počtu zubů – jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé,
- podle konstrukčního uspořádání – celistvé, s vkládanými řeznými destičkami, dělené, sdružené a s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- podle geometrickému tvaru – válcové nástrčné nebo stopkové frézy, čelní válcové nástrčné nebo stopkové frézy, kotoučové frézy s přímými zuby nebo se zuby ve šroubovici pravé nebo levé, úhlové frézy jednostranné nebo dvoustranné, tvarové,
- podle způsobu upnutí – nástrčné frézy, frézy s nástrčnou nebo kuželovou stopkou,
- podle smyslu otáčení – levořezné a pravořezné.

Z technologického hlediska je možné rozdělit frézy pro frézování rovinných ploch a tvarových ploch [1].

2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI

Technologičnost konstrukce je souhrn vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky nejen z hlediska funkce, spolehlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých součástí, ale je nezbytně nutné brát ohled i na efektivnost výroby. Technologičnost je relativní vlastnost výrobku, která je ovlivněna několika konkrétními faktory výrobního procesu. Správně pojatá konstrukce musí brát ohled na konstrukční, technologické a provozní zásady [3].

2.1 Popis součásti

Součást je prstencového tvaru s vnějším průměrem 409,6 mm a vnitřním průměrem 315,2 mm. Na součásti se nachází 24 lopatek s kvalitou obrobeného povrchu Ra 3,2, které jsou rozmístěny po 15° na kružnici s průměrem 329 mm a natočeny o 18,75°. Průřez lopatky má lichoběžníkový tvar. Dále se na součásti nachází čtyři průchozí díry o průměru 12 mm s předepsanou přesností H7, které jsou symetricky umístěny na roztečné kružnici průměru 390 mm.

2.2 Materiál X12Cr13+A

Na výrobu součásti je ve firmě používána chromová martenzitická korozivzdorná ocel žíhaná. Tato ocel je vhodná pro výrobu zařízení pracujících s parami nebo kapalinami. Odolává korozi vzduchem, parou i vodou. Odolnost vůči korozi se zvyšuje leštěním. Ve stavu žíhaném poměrně dobře odolává žáru do 800 °C. Svařitelnost zaručená podmíněná. Před svařováním se doporučuje předehřev na teplotu 200–300 °C. Vyznačuje se dobrou odolností vůči kyselinám. Vysoká pevnost materiálu Rm až 730 MPa. Tvrdost materiálu byla měřena podle Brinella, její hodnota dosahuje HBW 220. Chemické složeni v tab. 2.1 [4].

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu X12Cr13+A [11].

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]
0,080-0,150	1,000	1,500	0,000-0,040	0,000-0,030	11,500-13,500	0,750

3 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE

Pro výrobu rozváděcího kola do turbodmychadla je využívána technologie frézování na CNC stroji.

3.1 Volba stroje

V prostředí firmy je pro tuto výrobu stroj TAJMAC-ZPS MCFV 1260, který je řízen NC programem HEIDENHAIN, pro který byl dle výkresové dokumentace vytvořen program.

3.1.1 Vertikální obráběcí centrum TAJMAC MCFV 1260

Toto obráběcí centrum je pro komplexní třískové obrábění v osách X, Y, Z. Vřeteno se pohybuje ve vertikálním směru (osa Z) po vedení na stojanu [5].

Přehled technických parametrů stroje je uveden v tab. 3.1

Obr. 3.1 Vertikální obráběcí centrum TAJMAC-ZPS MCFV 1260 [5].

Tab. 3.1 Technické parametry stroje [5].

Technické parametry	
Rozměr stolu	1500 x 620 mm
Zatížení stolu	1350 kg
Pojezd v ose X	1300 mm
Pojezd v ose Y	640 mm
Pojezd v ose Z (vřeteno)	800 mm
Maximální otáčky	8000 min^{-1}
Maximální výkon	20/30 kW
Maximální kroutící moment	306/458 Nm
Řídicí systém	HEIDENHAIN

3.2 Volba nástroje

Nástroje jsou dodávány firmou Gühring, Hoffmann Group a Rotana. Použité nástroje jsou znázorněny v seznamu nástrojů (tab. 3.2).

Tab. 3.2 Seznam nástrojů [6, 7].

VUT v Brně, FSI, ÚST	**Seznam nástrojů**						
Zařazení dle druhu obrábění		**Frézování**					
číslo nástroje	Znázornění	Název	Výrobce	Označení	Držáku	Destičky	Materiál
T1		Stopková fréza ø20	Gühring	3803	Weldon	–	SK
T2		Stopková fréza ø14	Gühring	3803	Weldon	–	SK
T3		Stopková fréza ø20/R2,5	Hoffmann Group	192860	Weldon	–	HSS PM
T4		Stopková fréza ø14/R2,5	Hoffmann Group	192860	Weldon	–	HSS PM
T5	–	Stopková fréza ø15/R2,5/3°	Rotana	B4-182-55575	Weldon	–	SK

3.3 Výrobní postup

Na zadanou součást byly stanoveny jednotlivé operace, které jsou potřebné k výrobě a jsou zapsány v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Výrobní postup.

VUT v Brně, FSI, ÚST	VÝROBNÍ POSTUP			
Číslo op. pořadové: / Orientační:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště: / Třídicí číslo:	Dílna:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
1/1	**Vertikální obráběcí centrum TAJMAC MCFV 1260**		**Upnout do 4 čelisťového sklíčidla Ø409,6, seřídit nulový bod**	**–**
			Hrubovat vnější konturu s přídavkem 0,2 na stěnu	**T1**
			Hrubovat vnitřní konturu s přídavkem 0,2 na stěnu	**T1**
			Hrubovat prostor mezi lopatkami s přídavkem 0,2 na stěnu	**T2**
			Hrubovat vnější konturu s přídavkem 0,2 na stěnu	**T3**
			Hrubovat vnitřní konturu s přídavkem 0,2 na stěnu	**T3**
			Hrubovat prostor mezi lopatkami s přídavkem 0,2 na stěnu	**T4**
			Dokončení tvaru lopatky	**T5**
2/2	**OTK**		**Kontrola rozměru (δ_m -0,05)**	**Kolík D16,75 -0,05**

3.4 Výpočet otáček a posuvové rychlosti

Pro zvolené nástroje byly vypočítány otáčky, které byly zjištěny ze vztahu (1.1), a posuvové rychlosti, ty byly zjištěny ze vztahu (1.3). Veškeré potřebné hodnoty a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Vypočet otáček a posuvové rychlosti.

Číslo nástroje	Název	Označení	Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	Posuv na zub f_z [mm]	Počet zubů	Otáčky n [min^{-1}]	Rychlost posuvu V_f [$mm \cdot min^{-1}$]
T1	Stopková fréza Ø20	3803	120	0,09	4	1910	688
T2	Stopková fréza Ø14	3803	120	0,05	4	2728	546
T3	Stopková fréza Ø20/R2,5	192860	64	0,048	5	1019	245
T4	Stopková fréza Ø14/R2,5	192860	64	0,033	5	1455	240
T5	Stopková fréza Ø15/R2,5/3°	B4-182-55575	170	0,03	4	3608	433

Příklad výpočtu otáček pro T1:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \; [min^{-1}] \tag{3.1}$$

kde: D [mm] – průměr nástroje,

n [mm^{-1}] – otáčky stroje.

$$n = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 20} = 1910 \; min^{-1}$$

Příklad výpočtu posuvové rychlosti pro T1:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \tag{3.2}$$

kde: n [mm^{-1}] – otáčky nástroje,

z [-] – počet zubů nástroje,

f_z [mm] – posuv na zub.

$$v_f = 0{,}09 \cdot 4 \cdot 1910 = 688\ mm \cdot min^{-1}$$

4 NC PROGRAM

NC program byl sestaven v programu HEIDENHAIN TNC 640, kde proběhlo ověření pomocí simulace. V sestaveném programu jsou použity podprogramy, které jsou následně vyvolány v hlavním programu. Dráhy v těchto podprogramech byly vygenerovány z CAD modelu přímo v programu TNC 640. Celý program je obsažen v příloze 2.

4.1 NC kód

Příklad NC kódu [8, 9, 10]

0 BEGIN PGM ROZVADECI_KOLO MM	
1 BLK FORM CYLINDER Z D409.6 L50 DI315.2	Osa vřetena Z, vnější průměr 409.6, délka válce 50, vnitřní průměr 315,2
2 ;HRUBOVANI VNEJSI VLNKY	Poznámka
3 TOOL CALL 1 Z S1910	Vyvolání nástroje 1, osa vřetena Z, otáčky 1910
4 ;FREZA D20	
5 CYCL DEF 14.0 OBRYS	
6 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU1	Vyvolání podprogramu 1
7 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~	
Q390=+3 ;ZPUSOB NAJETI ~	Kolmý nájezd na obrys
Q391=+1 ;KOREKCE RADIUSU ~	Levá korekce rádiusu nástroje
Q392=+15 ;RADIUS ~	Účinný pouze při zvolení tangenciálního nájezdu po oblouku(Q390=1)
Q393=+90 ;UHEL STREDU ~	Účinný pouze při zvolení tangenciálního nájezdu po oblouku(Q390=1)
Q394=+15 ;VZDALENOST	Vzdálenost pomocného bodu, z něhož má TNC najíždět na obrys
8 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~	Obrábění otevřených a uzavřených obrysů
Q1=-34.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~	Hloubka frézování 34,5 mm
Q3=+0.2 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~	Přídavek na dokončení +0,2 na stranu
Q5=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~	
Q7=+36.5 ;BEZPECNA VYSKA ~	Výška ve které nemůže dojít ke kolizi
Q10=-9 ;HLOUBKA PRISUVU ~	Rozměr, o který se nástroj přisune
Q11=+688 ;POSUV NA HLOUBKU ~	
Q12=+688 ;POSUV PRO FREZOVANI ~	
Q15=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~	Sousledné frézování
Q18=+0 ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~	Číslo nebo název nástroje, který právě předhruboval. 0 - předhrubování neproběhlo
Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~	Zbytkový materiál na obrysu v mm
Q447=+0 ;VZDALENOST SPOJENI ~	Maximální vzdálenost mezi dvěma dohrubovávanými oblastmi.
Q448=+2 ;ROZSAH CESTY	Prodloužení dráhy nástroje na začátku a na konci obrysu.
9 CYCL CALL M13	Vyvolání programu s otáčkami ve směru hod. ručiček, zapnutí chlazení
16 L Z+100 F5000 M0	Přímka do Z+100, posuv 5000 $mm \cdot min^{-1}$, M0 - stop chodu programu

53 LBL 5	Začátek podprogramu 5
59 CYCL DEF 10.0 OTACENI	Natočení kolem osy Z
60 CYCL DEF 10.1 IROT-15	Natočení inkrementálně o -15°
61 CALL LBL 5 REP23	Vyvolání podprogramu 5 opakovat 23x
62 LBL 0	Konec podprogramu 5
65 STOP M30	Stop prováděného programu, návrat na řádek 1

Příklad podprogramu [9, 10]

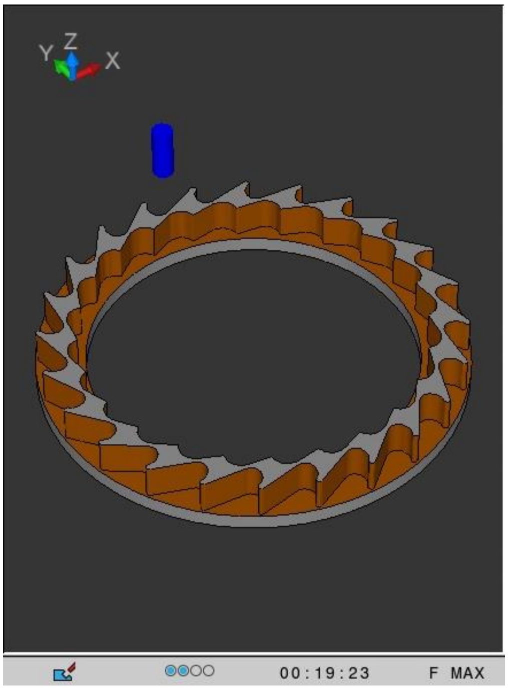
66 ;VLNKY VNEJSI	Poznámka
67 LBL 1	Začátek podprogramu
68 L X+62.6542 Y+191.6749	Přímka na souřadnice X a Y
69 CC X+63.737 Y+189.0927	Středové souřadnice X a Y
70 C X+64.8583 Y+186.527 DR-	Koncové souřadnice oblouku X a Y, smysl otáčení po směru hod. ručiček
71 CC X+69.6637 Y+175.5312	
72 C X+71.2819 Y+163.6408 DR+	
73 L X+110.1284 Y+168.9276	
74 CYCL DEF 10.0 OTACENI	Natočení v ose Z
75 CYCL DEF 10.1 IROT-15	Natočení inkrementálně o -15°
76 CALL LBL 1 REP23	Vyvolání podprogramu 1, který opakovat 23x
77 L Z+2 F5000	Přímka na souřadnice Z, posuv 5000 $mm \cdot min^{-1}$
78 LBL 0	Konec podprogramu

4.2 Sestavení NC programu

NC program se skládá z těchto částí:

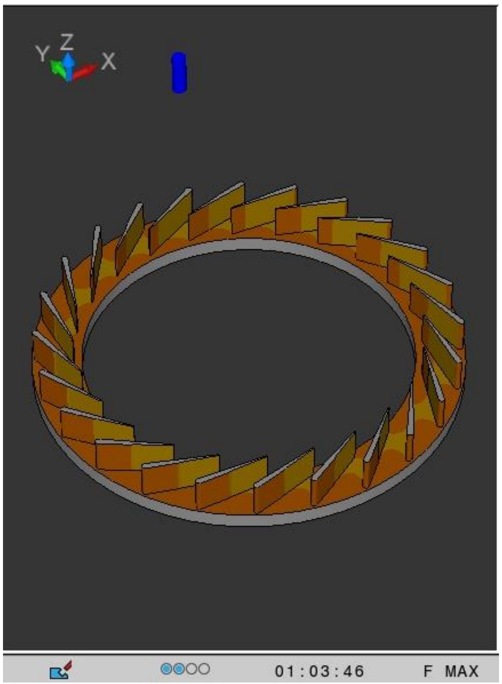
- hrubování vnější a vnitřní kontury do hloubky 34,5 mm,
- hrubování průjezdu mezi lopatkami do hloubky 34,5 mm,
- hrubování vnější a vnitřní kontury do hloubky 36,5 mm,
- hrubování průjezdu mezi lopatkami do hloubky 36,5 mm,
- dokončení tvaru lopatky ve hloubce 36,5 mm.

První část programu s názvem „HRUBOVANI VNEJSI VLNKY“ a „HRUBOVANI VNITRNI VLKY“ je vyhrubování součásti z její vnější a vnitřní strany frézou průměru 20 mm do hloubky 34,5 mm. Pro tuto operaci jsou použity cykly 14, 270, 25, ve kterých jsou využívány podprogramy LBL 1 a LBL 2. Výsledek první části je zobrazen na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Hrubování vnější a vnitřní kontury do hloubky 34,5 mm.

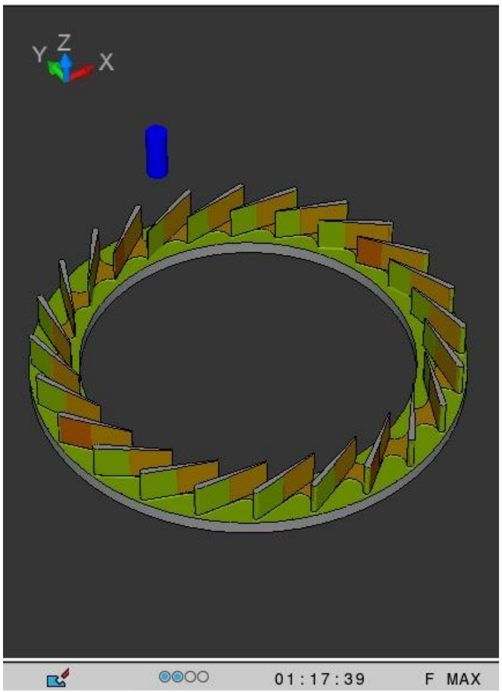
Druhá část programu s názvem „PRUJEZD MEZI LOPATKAMI“ je hrubování součásti mezi lopatkami frézou průměru 14 mm do hloubky 34,5 mm. V této části jsou použity cykly 14, 270, 25, ve kterých je používán podprogram LBL 3. Výsledek této části programu je znázorněn na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Hrubování prostoru mezi lopatkami do hloubky 34,5 mm.

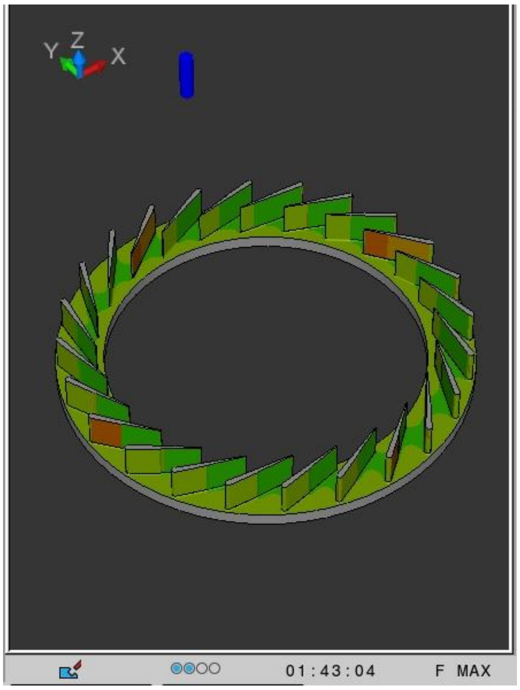
Třetí část programu má název „HRUBOVANI VNEJSI VLNKY S R2.5“ a „HRUBOVANI VNITRNI VLKY S R2.5“. Jedná se o vyhrubování součásti z její

vnější a vnitřní strany frézou průměru 20 mm/ R2.5 do hloubky 36,5 mm s použitím cyklu 14, 270, 25 s využitím LBL 1 a LBL 2. Výsledek třetí části je vyobrazen na obr. 4.3.



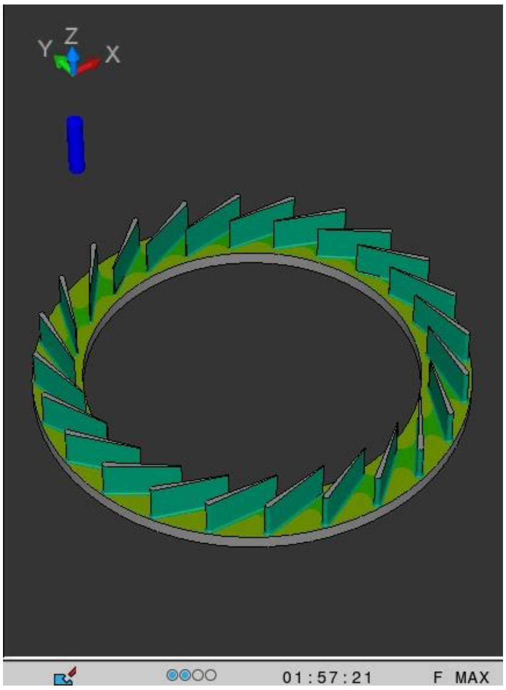
Obr. 4.3 Hrubování vnější a vnitřní kontury do hloubky 36,5 mm.

Čtvrtá část programu s názvem „PRUJEZD MEZI LOPATKAMI S R2.5“ je hrubování součásti mezi lopatkami frézou průměru 14 mm/ R2.5 do hloubky 36,5 mm s použitím cyklu 14, 270, 25 s využitím LBL 3. Výsledek čtvrté části programu znázorňuje obr. 4.4.



Obr. 4.4 Hrubování vnější a vnitřní kontury do hloubky 36,5 mm.

Poslední část s názvem „DOKONCENI LOPATEK“ je dokončení finálního tvaru lopatek frézou průměru 15 mm/ R2.5/ 3°. Také zde byly použity cykly 14, 270, 25 a 10 s využitím LBL 4 a LBL 5. Výsledek poslední části je zobrazen na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Dokončení lopatky v hloubce 36,5 mm.

5 DISKUZE

V rámci bakalářské práce byl vytvořen program na výrobu rozváděcího kola do turbodmychadla. Byla úspěšně provedena simulace programu, ale ve srovnání s programem používaným ve firmě by tento program neobstál. Hlavním rozdílem ve srovnávaných programech je, že program vytvořený v této práci využívá cykly a není pružný v případě možné závady. Pokud by například na 15. lopatce byla otupěna fréza a byla by potřebná její výměna, bylo by nutné, aby byl program spuštěn znovu, než by stroj dojel na 15. lopatku a začal znovu obrábět. Naopak program, který je používán ve firmě, využívá Q-parametry, takže je schopný po jednom přepsání čísla začínat na 15. lopatce.

Hlavním důvodem popsaného problému je malá zkušenost s programem HEINDENHAIN TNC 640.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření NC programu rozváděcího kola do turbodmychadla podle výkresu, který se nachází v příloze 1. Pro výrobu součásti byl zvolen materiál X12Cr13+A a stroj TAJMAC MCFV 1260. Poté byl vypracován výrobní postup a k němu zvoleny nástroje. Použity byly stopkové frézy průměru 20 mm a 14 mm od firmy Gühring, dále stopkové frézy průměru 20 mm a 14 mm s rohovým rádiusem 2,5 mm od firmy Hoffmann Group, a jako poslední byla použita na zakázku vyrobená kuželová fréza od firmy Rotana průměru 15 mm s rohovým rádiusem 2,5 mm, nabroušená na 3°.

Byl sestaven NC program v programu HEIDENHAIN TNC 640, který se nachází v příloze 2. Program je složen z pěti částí. První čtyři části se zabývají hrubováním tvaru lopatky, poslední část programu je dokončení tvaru lopatky. Celkový čas obrábění byl stanoven pomocí simulace na 117,35 minut.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2. Dostupné také z: http://kramerius-vs.nkp.cz/view/uuid:fae229c0-1e7c-11e2-a61d-005056827e52?page=uuid:1472f5b0050ecd2260a27da43e51cf6a
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/
3. ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy: část obrábění: učební texty kombinovaného bakalářského studia* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 54 s. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf
4. *Ferona online* [online]. Praha: Ferona, 2017 [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/materialove-normy/
5. *TAJMAC-ZPS: vertikální obráběcí centrum MCFV 1260* [online]. [cit. 2020-08-17]. Dostupné z: https://www.tajmac-zps.cz/mcfv-1260
6. *Katalog firmy Hoffmann Group* [online]. [cit. 2020-08-28]. Dostupné z: https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=eng_WW_XXX/catalogs/&catalog=90000001#page_362
7. *Katalog firmy Gühring* [online]. [cit. 2020-08-28]. Dostupné z: https://www.guhring.com/Catalogs/CatalogSelected/188
8. *Uživatelská příručka seřizování, testování a zpracování NC-programů* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-09/einrichten/1261174-C0.pdf
9. *Příručka uživatele pro programovaní cyklů* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-09/einrichten/1261174-C0.pdf
10. *Příručka pro uživatele programování s popisným dialogem* [online]. [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/TNC640/34059x-08/bhb/892903-C5.pdf
11. Man Energy Solutions, Augsburg: Interní materiály společnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované kreslení)
CNC	Computer Numerical control (počítačem číslicové řízení)
HBW	tvrdost dle Brinella
HSS PM	High speed steel powder metalurgy
LBL	Label (návěští)
NC	Numerical control
SK	slinutý karbid

Symbol	Jednotka	Popis
A_{Di}	[mm^{-2}]	jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	[mm^{-2}]	maximální průřez třísky
B	[min]	šířka obráběné plochy
C_{Fc}	[-]	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
D	[mm]	velký průměr
F_i	[N]	celková řezná síla
F_{ci}	[N]	řezná síla
F_{cNi}	[N]	kolmá řezná síla
F_{fi}	[N]	posuvová řezná síla
F_{fNi}	[N]	kolmá posuvová řezná síla
H	[mm]	výška záběru ostří
L	[mm]	dráha nástroje při frézování
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
b_i	[mm]	jmenovitá šířka třísky
e	[mm]	vzdálenost osy nástroje od osy obráběné plochy
f	[mm]	posuv
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
h_i	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky

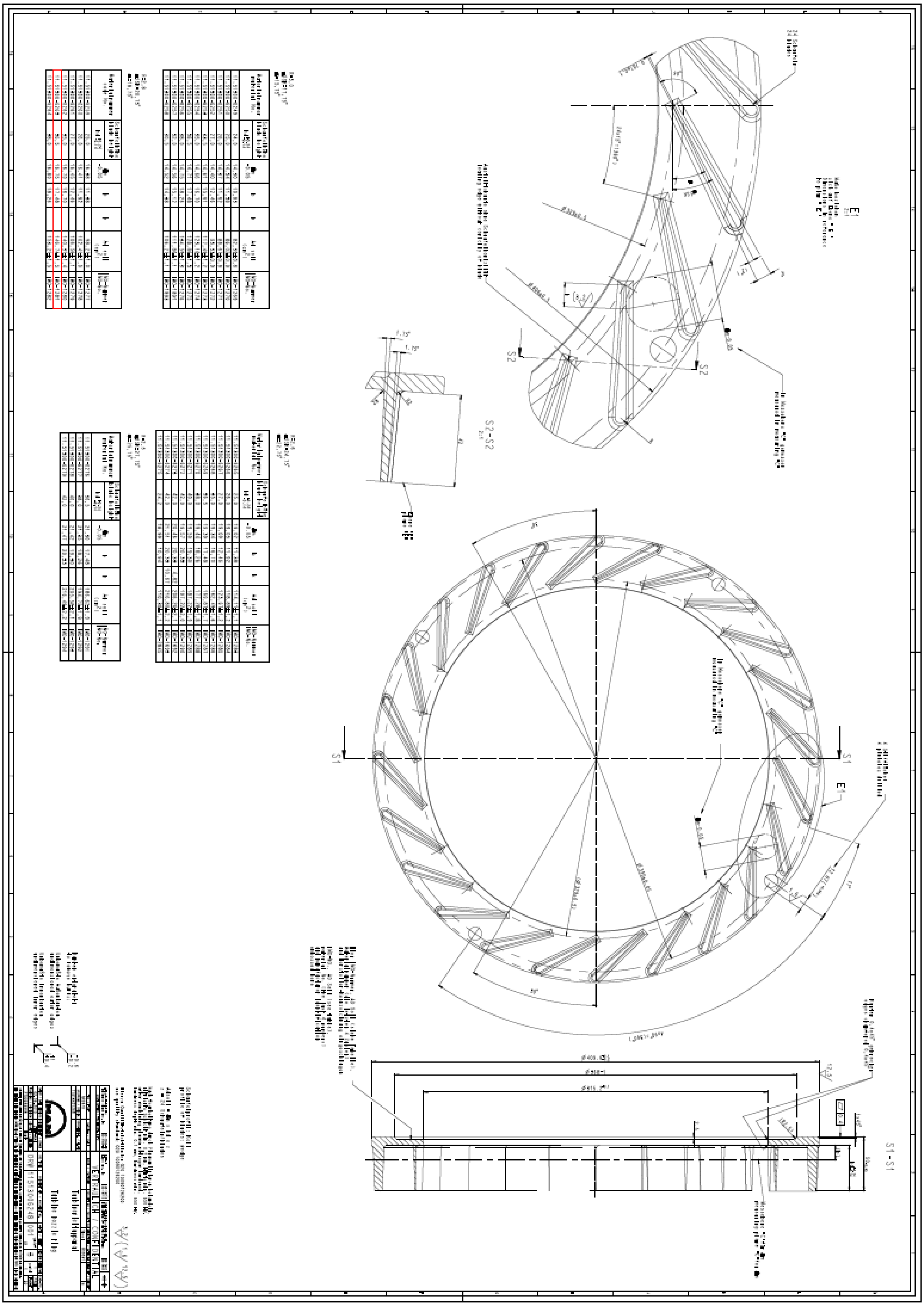
k_{ci}	[MPa]	měrná řezná síla
l	[mm]	délka obráběné plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_{nf}	[mm]	délka náběhu frézy
l_p	[mm]	délka přeběhu
l_{pf}	[mm]	pomocná hodnota pro výpočet dráhy L
n	[mm^{-1}]	otáčky
n_z	[-]	počet zubů v záběru
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[$m \cdot min^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$mm \cdot min^{-1}$]	posuvová rychlost
x	[-]	exponent vlivu tloušťky třísky
z	[-]	počet zubů
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří nástroje
φ_i	[°]	úhel posuvového pohybu
φ_{max}	[°]	maximální úhel posuvového pohybu válcového frézování
Ψ	[°]	úhel záběru frézy

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Technický výkres součásti rozváděcí kolo
Příloha 2	Detail obrysu lopatky, tabulka použitých rozměrů
Příloha 3	NC program

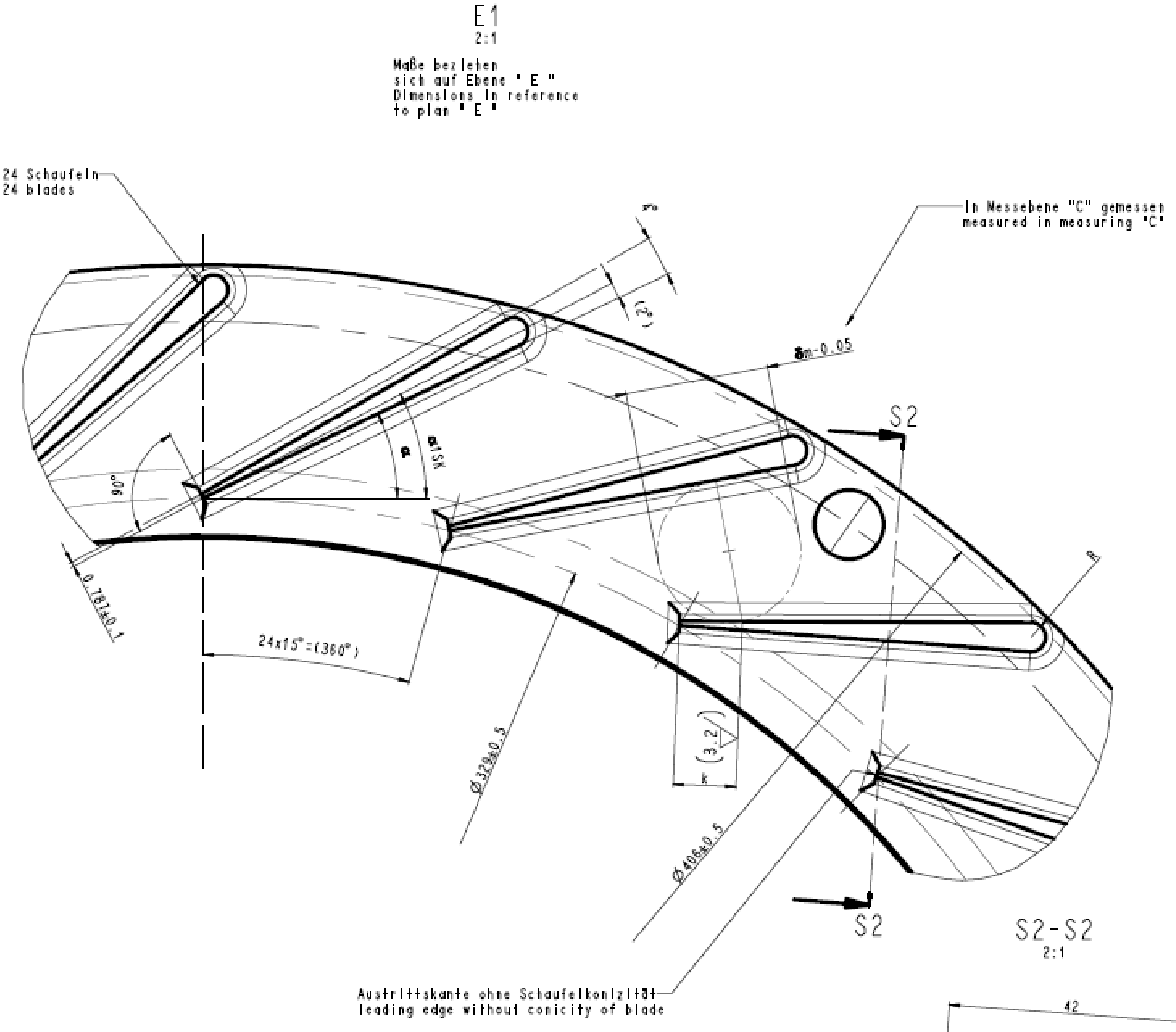
PŘÍLOHA 1

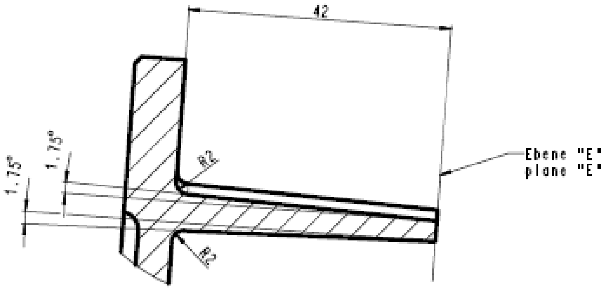
Technický výkres součásti rozváděcí kolo



PŘÍLOHA 2

Detail obrysu lopatky, tabulka použitých rozměrů





R=2,8
α1SK=20,75°
α=18,75°

Materialnummer code No.	Schaufelhöhe blade height	δm -0.05	b	k	Ad soll (cm^2)	IMO-Nummer IMO-No.
	hd $^{+0.24}_{-0.14}$					
11.51300-6259	25,0	16,38	11,38		98,27±1,0	IMO-1277
11.51300-6260	26,0	16,41	11,92		102,41±1,0	IMO-1278
11.51300-6261	27,0	16,45	12,46		106,56±1,1	IMO-1279
11.51300-6262	35,0	16,70	16,70		140,31±1,4	IMO-1280
11.51300-6263	36,5	16,75	17,48		146,74±1,5	IMO-1281
11.51300-6264	38,0	16,80	18,26		153,21±1,5	IMO-1282

PŘÍLOHA 3 (1/6)

NC program

```
0  BEGIN PGM ROZVADECI_KOLO MM
1  BLK FORM CYLINDER Z D409.6 L50 DI315.2
2  ;HRUBOVANI VNEJSI VLNKY
3  TOOL CALL 1 Z S1910
4  ;FREZA D20
5  CYCL DEF 14.0 OBRYS
6  CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU1
7  CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+3     ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+1     ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15    ;RADIUS ~
    Q393=+90    ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15    ;VZDALENOST
8  CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-34.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+36.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-9    ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+688  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+688  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
9  CYCL CALL M13
10 ;HRUBOVANI VNITRNI VLNKY
11 CYCL DEF 14.0 OBRYS
12 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU2
13 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+1     ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+2     ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15    ;RADIUS ~
    Q393=+90    ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15    ;VZDALENOST
14 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-34.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+36.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-9    ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+688  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+688  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
```

PŘÍLOHA 3 (2/6)

NC program

```
  Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
15 CYCL CALL M13
16 L  Z+100 F5000 M0
17 ;PRUJEZD MEZI LOPATKAMI
18 TOOL CALL 2 Z S2728
19 ;FREZA D14
20 CYCL DEF 14.0 OBRYS
21 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU3
22 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+2    ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+1    ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15   ;RADIUS ~
    Q393=+90   ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15   ;VZDALENOST
23 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-34.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+36.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-9    ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+546  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+546  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
24 CYCL CALL M13
25 L  Z+100 F5000 M0
26 ;HRUBOVANI VNEJSI VLNKY S R2.5
27 TOOL CALL 3 Z S1019
28 ;FREZA D20 R2.5
29 CYCL DEF 14.0 OBRYS
30 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU1
31 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+3    ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+1    ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15   ;RADIUS ~
    Q393=+90   ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15   ;VZDALENOST
32 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-36.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
```

NC program

```
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+38.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-36.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+245  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+245  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
33 CYCL CALL M13
34 ;HRUBOVANI VNITRNI VLNKY S R2.5
35 CYCL DEF 14.0 OBRYS
36 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU2
37 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+1    ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+2    ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15   ;RADIUS ~
    Q393=+90   ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15   ;VZDALENOST
38 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-36.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+38.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-36.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+245  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+245  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
39 CYCL CALL M13
40 L  Z+100 F5000 M0
41 ;PRUJEZD MEZI LOPATKAMI S R2.5
42 TOOL CALL 4 Z S1455
43 ;FREZA D14 R2.5
44 CYCL DEF 14.0 OBRYS
45 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU3
46 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+2    ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+1    ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+15   ;RADIUS ~
    Q393=+90   ;UHEL STREDU ~
```

NC program

```
 Q394=+15   ;VZDALENOST
47 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-36.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0.2  ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+38.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-36.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+240  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+240  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
48 CYCL CALL M13
49 L  Z+100 F5000 M0
50 ;DOKONCENI LOPATEK
51 TOOL CALL 5 Z S3608
52 ;FREZA D15 R2.5 3ST.
53 LBL 5
54 CYCL DEF 14.0 OBRYS
55 CYCL DEF 14.1 LBL OBRYSU4
56 CYCL DEF 270 DATA TAHU KONTUROU ~
    Q390=+2    ;ZPUSOB NAJETI ~
    Q391=+2    ;KOREKCE RADIUSU ~
    Q392=+5    ;RADIUS ~
    Q393=+90   ;UHEL STREDU ~
    Q394=+15   ;VZDALENOST
57 CYCL DEF 25 LINIE OBRYSU ~
    Q1=-36.5 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
    Q3=+0    ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
    Q5=+0    ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q7=+38.5 ;BEZPECNA VYSKA ~
    Q10=-36.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q11=+433  ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q12=+433  ;POSUV PRO FREZOVANI ~
    Q15=+1    ;ZPUSOB FREZOVANI ~
    Q18=+0    ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
    Q446=+0.001 ;ZBYTKOVY MATERIAL ~
    Q447=+0   ;VZDALENOST SPOJENI ~
    Q448=+2    ;ROZSAH CESTY
58 CYCL CALL M13
59 CYCL DEF 10.0 OTACENI
60 CYCL DEF 10.1 IROT-15
61 CALL LBL 5 REP23
```

NC program

```
62 LBL 0
63 L  Z+100 F5000
64 L  Y+200 F5000
65 STOP M30
66 ;VLNKY VNEJSI
67 LBL 1
68 L  X+62.6542  Y+191.6749
69 CC  X+63.737  Y+189.0927
70 C  X+64.8583  Y+186.527 DR-
71 CC  X+69.6637  Y+175.5312
72 C  X+71.2819  Y+163.6408 DR+
73 L  X+110.1284  Y+168.9276
74 CYCL DEF 10.0 OTACENI
75 CYCL DEF 10.1 IROT-15
76 CALL LBL 1 REP23
77 L  Z+2 F5000
78 LBL 0
79 ;VLNKY VNITRNI
80 LBL 2
81 L  X+0  Y+164.5
82 L  X+23.1304  Y+172.3517
83 CC  X+27.2724  Y+157.5097
84 C  X+42.5212  Y+159.7267 DR-
85 L  X+42.5757  Y+158.8948
86 CYCL DEF 10.0 OTACENI
87 CYCL DEF 10.1 IROT-15
88 CALL LBL 2 REP23
89 L  Z+2 F5000
90 LBL 0
91 ;PRUJEZD MEZI LOPATKAMI
92 LBL 3
93 L  X+97.8442  Y+193.585
94 L  X+64.637  Y+186.4413
95 L  X+7.6735  Y+167.1048
96 L  X+13.4731  Y+150.0195
97 L  X+42.5212  Y+159.7267
98 L  X+79.016  Y+164.6934
99 L  X+120.4804  Y+181.7275
100 CYCL DEF 10.0 OTACENI
101 CYCL DEF 10.1 IROT-15
102 CALL LBL 3 REP23
103 L  Z+2 F5000
104 LBL 0
105 ;DOKONCENI
106 LBL 4
```

NC program

```
107 L  X+0  Y+164.5 RR
108 L  X+64.637  Y+186.4413
109 CC  X+63.737  Y+189.0927
110 C  X+62.6542  Y+191.6749 DR+
111 L  X-0.268  Y+165.2894
112 L  X+0  Y+164.5
113 L  Z+2 F5000
114 LBL 0
115 END PGM ROZVADECI_KOLO MM
```