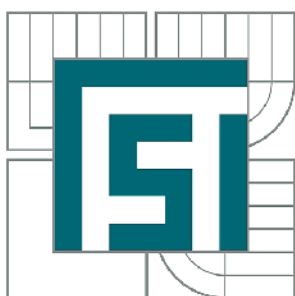




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ROTAČNÍ SOUČÁSTI NA CNC MULTIFUNKČNÍM CENTRU

PRODUCTION OF ROTATING PARTS ON A CNC MULTIFUNCTIONAL CENTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ TURČÍN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Turčín

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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:

Výroba rotační součásti na CNC multifunkčním centru

v anglickém jazyce:

Production of Rotating Parts on a CNC Multifunctional Center

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Rozbor vytipované součásti.
3. Návrh technologického procesu.
4. Vyrobení vzorku.
5. Kontrola vyrobeného vzorku.
6. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Technologický projekt předkládající v daných firemních podmínkách návrhy a možnosti výroby sortimentu rotačních součástí na CNC strojích.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.
4. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
5. FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
6. 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.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologického řešení pro výrobu rotační součásti „pulzní kolo“ na CNC multifunkčním centru. Navrhovaná technologie obsahuje technologický postup, volbu nástrojů a metrologických pomůcek. Výroba rotační součásti je ověřena v praxi včetně kontroly vyrobeného vzorku. Tato technologie je porovnána s technologickými variantami, které se liší svým polotovarem a volbou strojů. Porovnání je rozvedeno v technicko-ekonomickém zhodnocení.

Klíčová slova

CNC multifunkční centrum, CNC soustruh, CNC obráběcí centrum, technologický postup, rotační součást

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a design of technological solution for the production of a part named “Pulsation wheel” suited for a CNC machining center. Proposed technology consist of technological process and the choice of tools and measuring equipment. The production and necessary measurements are verified and carried out hands-on in a metalworking shop. This technology is compared with different options and variations used in this shop, whether machining on a different machine or different metal semi-finished work piece. This comparison is also described in technical-economic assessment.

Key words

multi-purpose CNC machining center, CNC lathe, CNC machining center, technological process, rotary part

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TURČÍN, Jiří. *Výroba rotační součásti na CNC multifunkčním centru*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 67 s. 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba rotační součásti na CNC multifunkčním centru** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jiří Turčín

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto mému vedoucímu práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto technologovi Bronislavu Václavíkovi za cenné připomínky a praktické rady, které mi poskytl při návrhu technologického procesu.

Děkuji tímto obráběči Pavlu Zacharovi za cenné technické připomínky, které mi poskytl při volbě posloupnosti výroby.

Děkuji tímto mému otci, Jiřímu Turčínovi, za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při výpočtech výrobních nákladů.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ROZBOR VYTIPOVANÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Představení rotační součásti	10
1.2 Konstrukční rozbor	11
1.3 Materiálový rozbor	12
1.4 Technologičnost součásti	15
1.4.1 Výrobní úchytky rozměrů	15
1.4.2 Jakost povrchu	16
1.4.3 Hlavní ukazatelé technologičnosti	16
2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	18
2.1 Použité metody obrábění	18
2.1.1 Soustružení	18
2.1.2 Vrtání	18
2.1.3 Frézování	18
2.2 Představení výrobního podniku ZAKO Turčín s.r.o.	19
2.3 Strojní park podniku	19
2.3.1 Stroje pro 1. a 2. výrobní variantu	19
2.3.2 Stroj pro 3. výrobní variantu – CNC multifunkční centrum	24
2.4 Technologický postup pro CNC multifunkční centrum	26
2.5 Pomůcky pro výrobu na CNC multifunkčním centru	27
2.5.1 Nástroje	27
2.5.2 Metrologické pomůcky	29
3 VYROBENÍ VZORKU	30
3.1 Posloupnost obrábění	30
3.3 NC program	33
3.4 Práce na stroji	34
3.5 Zhodnocení výroby	36
4 KONTROLA VYROBENÉHO VZORKU	38
4.1 Měření na souřadnicovém centru	38
4.2 Kontrola jakosti obrobené plochy	39
4.2.1 Zásady vyhodnocování	39
4.3 Kontrola drážky	40
4.4 Vyhodnocení kontroly	41
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	42
5.1 Návrh polotovarů	42
5.1.1 Polotovar – přířez	42
5.1.2 Polotovar – odlitek	45
5.1.3 Ekonomické srovnání polotovarů	46
5.2 Výpočet výrobních nákladů obráběného úseku	47
5.2.1 Polotovar – přířez	49
5.2.2 Polotovar – odlitek	50
5.2.3 Porovnání výrobních nákladů obráběné plochy	51

5.3 Celkové výrobní náklady	51
5.3.1 První varianta výroby	52
5.3.2 Druhá varianta výroby	54
5.3.3 Třetí varianta výroby	55
5.3.4 Porovnání výrobních variant	57
6 DISKUZE	60
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
SEZNAM PŘÍLOH	67

ÚVOD

Úlohou bakalářské práce je zpracování technologického procesu pro výrobu rotační součásti na CNC multifunkčním centru v podmínkách výrobního podniku.

Prvním krokem je správná volba rotační součástky. Součást bude podrobena konstrukčnímu a materiálovému rozboru.

Návrh technologického procesu bude založen na základních technologických úkonech, seznámením se s dosavadními technologickými variantami a strojním parkem podniku. Cílem nové technologické varianty bude urychlení výroby součásti oproti současnému stavu výroby. V případě, že se podaří docílit požadavků předepsaných zákazníkem a urychlení výroby při stejných výrobních nákladech, navrhovaná technologická varianta splní v plné míře svůj cíl.

Za účelem zjištění, zda byl cíl dosažen, proběhne porovnání výrobních variant a to i s ohledem na volbu polotovaru.

1 ROZBOR VYTIPOVANÉ SOUČÁSTI

Tato kapitola obsahuje obecné představení rotační součásti, konstrukční rozbor, materiálový rozbor a jeho vlastnosti, technologičnost součásti a to včetně hlavních ukazatelů.

1.1 Představení rotační součásti

Jde o rotační součást s názvem „pulzní kolo“ (obr. 1.1, obr. 1.2). Tato součástka je částí celku, který slouží ke snímání otáček v trakčních motorech. Tomuto faktu je přizpůsoben tvar součástky, jakost obrobené plochy, geometrické a rozměrové tolerance.

Základní informace o součásti jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Informace o rotační součástce.

Název součásti	Pulzní kolo
Číslo výkresu	ZA150403
Materiál součásti	EN GJS-400-18LT / DIN EN 1563
Hmotnost součásti	5,7 kg
Hmotnost polotovaru - odlitek	8,3 kg
Hmotnost polotovaru - přířez	38,8 kg



Obr. 1.1 Model pulzního kola – pohled 1.



Obr. 1.2 Model pulzního kola – pohled 2.

1.2 Konstrukční rozbor

Součást „pulzní kolo“ má předepsány tři konstrukční základny a jednu základnu výrobní BA, která je stanovena na čelo průměru $\varnothing 220 \pm 0,1$ ve vzdálenosti 95 od rovnoběžné základny A. Konstrukční základna A je předepsána na čelo o $\varnothing 109$. Konstrukční základna B je předepsána na plochu vnitřního otvoru o $\varnothing 79$ H7 a délce $69 \pm 0,1$. Konstrukční základna C je předepsána na průchozí díru o $\varnothing 11$ nacházející se na roztečné kružnici o $\varnothing 54$.

Maximální průměr součásti je $\varnothing 220 \pm 0,1$ na délce 16, průměr je spjatý geometrickou tolerancí souososti $\varnothing 0,05$ k základním rovinám A a B. Na tomto průměru se nachází sto deset průchozích drážek o rozměrech $3 \pm 0,05 \times 4$. Drážky slouží jako prvky pro snímání otáček.

Na roztečné kružnici o $\varnothing 185$ je vyfrézována díra o $\varnothing 17$ do hloubky 11, na stejné roztečné kružnici je vysoustružena souměrná drážka o šířce $11 + 0,1/1$ následně 10 do hloubky pod úhlem $11,3^\circ$ a vnitřním rádiem R2. Tento otvor a drážka slouží k vyvážení součásti pomocí vyvažovacích tělísek, které se do této drážky umístí ve vhodné poloze.

Dále je předepsán otvor o $\varnothing 79$ H7 a hloubce $69 \pm 0,1$ od základní roviny A. Na konci tohoto otvoru bude vyhotoven zápich E $2,5 \times 0,4$ dle normy DIN 509. Tolerance H7, zápich E $2,5 \times 0,4$ a náběhové zkosení šířky 5 a úhlu 30° slouží k bezproblémovému ustavení na příslušnou hřídel.

Od $\varnothing 90$ po $\varnothing 15,4$ se bude soustružit vybrání do hloubky 3. Na $\varnothing 90$ je rádius R3, na $\varnothing 15$ je rádius R5, který navazuje na „ustavující kolík“. Ve vybrání je vyvrtáno šest průchozích otvorů o $\varnothing 11$ na roztečné kružnici $\varnothing 54$. Dále se ve vybrání na roztečné kružnici $\varnothing 60$ nachází dva průchozí otvory se závitem M8. Vybrání, díry a otvory se závitem slouží k propojení součásti s příslušnými komponenty v sestavě.

Součást má ještě předepsány obrobené plochy na průměr Ø210 do vzdálenosti 79 od základny A a Ø109-0,15 do vzdálenosti 45 od základny A.

„Pulzní kolo“ disponuje také odlehčeními, které nejsou klasifikovány jako funkční plochy.

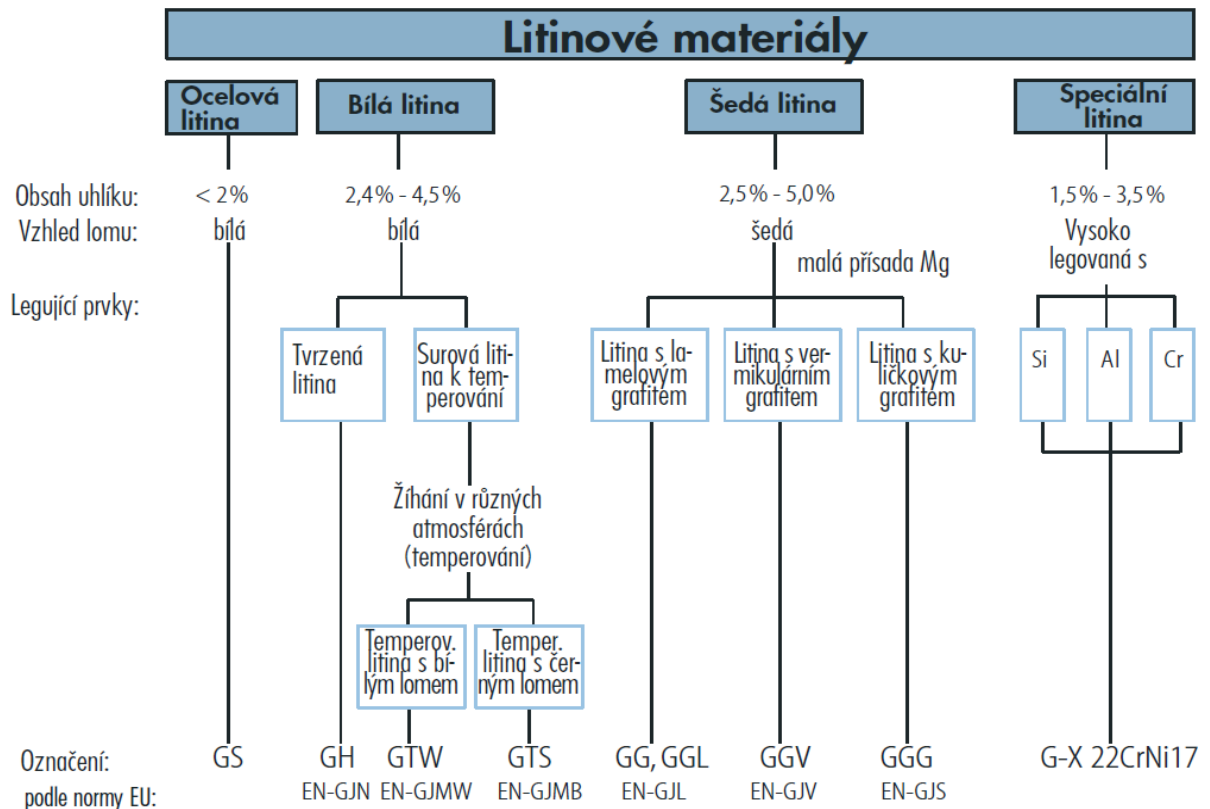
1.3 Materiálový rozbor

Polotovar součásti je zhotoven z materiálu EN-GJS-400-18-LT (systém značení je zobrazen na obrázku 1.3). Tento materiál se řadí pod litinové materiály, což jsou slitiny železa a uhlíku s obsahem uhlíku $C > 2 \%$. Legující prvky litinových materiálů jsou většinou křemík, mangan, fosfor a síra.

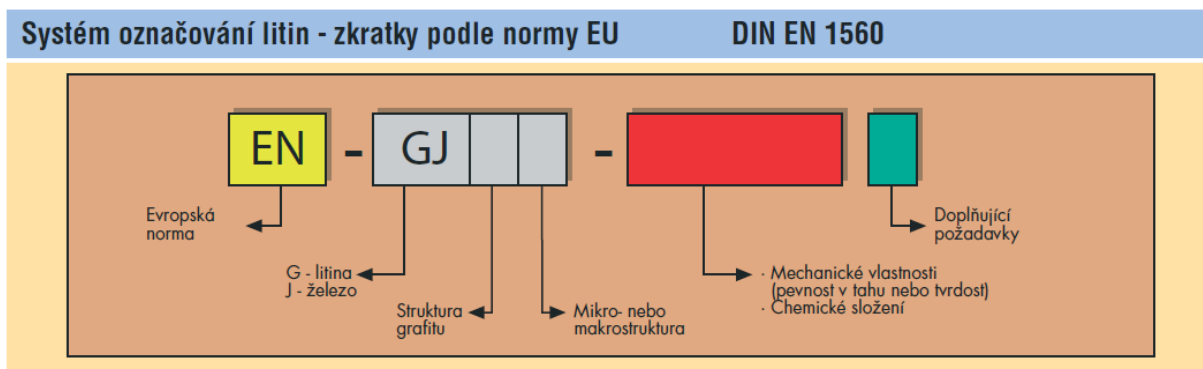
Na obrázku 1.2 je znázorněno principiální dělení litinových materiálů. Materiál součásti spadá do podskupiny šedá litina. Materiály v této podskupině jsou dále rozděleny dle geometrického tvaru přítomného grafitu na litiny s lamelovým grafitem (EN-GJL), litiny s vertikulárním grafitem (EN-GJV) a litiny s kuličkovým grafitem (EN-GJS). Množství a forma uloženého grafitu silně ovlivňuje vlastnosti obrobitelnosti litinových materiálů. Ve srovnání s ocelí se litinové materiály vyznačují lepší obrobitelností. Při obrábění se tvoří krátké třísky. To se projevuje nižšími silami obrábění a tak i delší životností nástrojů.

V litině s kuličkovým grafitem (EN-GJS) se grafit vyskytuje v globulární formě. Základní struktura s nízkou pevností a dobrou hoževnatostí se skládá z dobře obrobitelného ferritu. Při obrábění vznikají šroubovitě třísky, které jsou díky strukturnímu uložení grafitu lehce lámavé. Problémem při obrábění s vyššími reznými rychlostmi může být větší opotřebení hřbetní plochy nástroje.

Okrajová vrstva odlitků vykazuje, kvůli přítomnosti okují, zhoršenou obrobitelnost oproti středové části. [1]



Obr. 1.2 Rozdělení litinových materiálů. [1]



Obr. 1.3 Systém značení litin. [1]

Vlastnosti materiálu EN-GJS-400-18-LT vyplývají ze systému značení - litina s kuličkovým grafitem, minimální pevnost v tahu $R_m = 400 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, prodloužení $A = 18 \%$, rázová tuhost je měřena při nízké teplotě vzorku. Podrobnější informace jsou znázorněny v tabulce 1.4, která vychází ze stanovené normy ČSN EN 1563, která má stejný status jako oficiální verze. [1]

Tab. 1.4 Vlastnosti materiálu EN-GJS-400-18-LT. [2]

Označení materiálu		Mechanické vlastnosti změřené na zkušebních tělesech obrobených z litých vzorků z feritických až perlitických značek				
Značkou	Číselným označením	Směrodatná tloušťka stěny t mm	0,2 % smluvní mez kluzu R _{p0,2} Mpa min	Mez pevnosti R _m Mpa min	Tažnost A % min	
EN-GJS-400-18-LT	5.3103	t ≤ 30	240	400	18	
		POZNÁMKA: Mechanické vlastnosti zkušebních těles obrobených z litých vzorků nemusí vyjadřovat přesně vlastnosti samotného odlitku				
		Minimální hodnoty nárazové práce změřené na zkušebních tělesech s V-vrubem obrobených z odlitých vzorků pro feritické značky feritické až perlitické skupiny				
		Směrodatná tloušťka stěny t mm	Minimální hodnoty nárazové práce J			
			Nízká teplota (-20 ± 2)°C			
		t ≤ 30	Střední hodnota (3 zkoušek)		Jednotlivá hodnota	
			12		9	
		POZNÁMKA: Mechanické vlastnosti zkušebních těles obrobených z litých vzorků nemusí vyjadřovat přesně vlastnosti samotného odlitku				
		Rozsah tvrdosti podle Brinella HBW				
		Směrodatná tloušťka stěny t ≤ 60				
		170 až 200				
		POZNÁMKA 1: Nejnižší tvrdost je dosažena feritickou maticí a nízkým obsahem křemíku. Tvrdost se zvyšuje s množstvím perlitu nebo zvýšením obsahu křemíku.				
		POZNÁMKA 2: Eutektické karbidy zvyšují tvrdost, ale jsou zpravidla nežádoucí a jejich výskyt je pravděpodobný v nepatrném množství.				
		Typické vlastnosti				
		Pevnost ve střihu	Pevnost v krutu	Pevnost v tahu	Hustota	Rezistivita
		MPa	MPa	MPa	kg · dm ⁻³	μΩ · m
		360	360	700	7,1	0,5

1.4 Technologičnost součásti

Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky nejen z hlediska spolehlivosti a životnosti výrobku, ale musí také v plné míře respektovat hledisko efektivnosti výroby.

Technologičnost je relativní vlastností výrobku, protože je vždy ovlivněna konkrétními podmínkami výrobního procesu. [3]

1.4.1 Výrobní úchyly rozměrů

Úchyly netolerovaných rozměrů součásti „pulzní kolo“ se řídí normou ISO 2768-mK.

Netolerované délkové (tab. 1.3) a úhlové rozměry (tab. 1.4) této součásti se řídí normou ČSN ISO 2768-1 a spadají do střední třídy přesnosti m. Tolerance zkosení a zaoblení (tab. 1.5) jsou určeny totožnou normou a spadají také do třídy přesnosti m.

Nepředepsané geometrické tolerance jsou určeny dle normy ČSN ISO 2768-2. Součást spadá do třídy přesnosti K.

Soustava tolerancí a uložení je dle ISO 286.

Tab. 1.3 Nepředepsané mezní úchyly délkových rozměrů. [4]

Třída přesnosti		Mezní úchyly pro základní rozsah rozměrů				
Označení	Název	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400
m	střední	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

Tab. 1.4 Nepředepsané mezní úchyly rozměrů. [4]

Třída přesnosti		Mezní úchyly úhlu pro rozsah délek jeho kratšího ramene				
Označení	Název	Do 10	přes 10 do 50	přes 50 do 120	přes 120 do 400	přes 400
m	střední	$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 5'$

Tab. 1.5 Nepředepsané mezní úchyly zkosení a zaoblení hran. [4]

Třída přesnosti		Mezní úchyly úhlu pro rozsah délek jeho kratšího ramene		
Označení	Název	0,5 do 30	přes 3 do 6	přes 6
m	střední	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1

1.4.2 Jakost povrchu

Značení jakosti povrchu dané součásti odpovídá normě DIN ISO 1302. Zákazník využívá pro značení jakosti povrchu standardu, který je zaznačen v převodové tabulce 1.6.

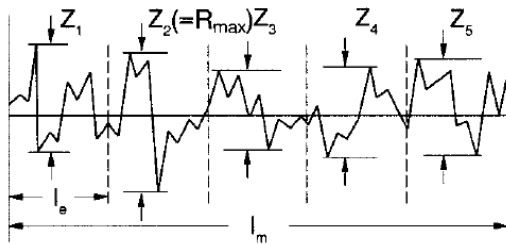
Tab. 1.6 Převodová tabulka drsnosti povrchu. [5]

Zákaznický standard	s	t	u	v	w	x	y	z
Třída jakosti povrchu	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4
Střední prohlubeň drsnosti R_z [μm]	100	63	40	25	10	6,3	2,5	1,6
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a [μm]	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2

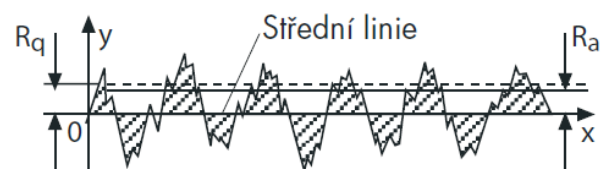
Střední prohlubeň drsnosti R_z (obr 1.4) je střední hodnota z pěti hodnot Z_i po sobě jdoucích vyhodnocovaných úseků l_e v rámci celkového vyhodnoceného úseku l_n .

Aritmetická hloubka profilu Z_i je aritmetický průměr nejvyšších výšek v jednotlivých základních úsecích l_e z celkového vyhodnoceného úseku l_n .

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a (obr 1.5) je aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic y (x) v rozsahu základní délky. [1], [6]



Obr. 1.4 Střední prohlubeň drsnosti R_z . [1]



Obr. 1.5 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a . [1]

1.4.3 Hlavní ukazatelé technologičnosti

Ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy se spočte dle vztahu (1.1). [7]

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n_c} \quad (1.1)$$

$$U_h = \frac{(12,5 \cdot 9) + (6,3 \cdot 1) + (3,2 \cdot 2) + (1,6 \cdot 3)}{15} = 8,67 \mu\text{m}$$

Kde:

U_h	[μm]	ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy
H_i	[μm]	jakost povrchu R_a
n_i	[-]	četnost výskytu
n_c	[-]	četnost výskytu všech uvažovaných veličin R_a

Ukazatel průměrné přesnosti se spočte dle vztahu (1.2). [7]

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^P P_i \cdot n_i}{n_c} \quad (1.2)$$

$$U_p = \frac{(7 \cdot 1) + (11 \cdot 4) + (12 \cdot 1)}{6} = 10,5 \mu\text{m}$$

Kde:

U_p	$[\mu\text{m}]$	ukazatel průměrné přesnosti
P_i	$[\mu\text{m}]$	IT číslo dané operace
n_i	$[-]$	četnost výskytu
n_c	$[-]$	četnost výskytu všech uvažovaných veličin Ra

Základní úchyłka H7 odpovídá toleranci IT7. Ostatní rozměrové tolerance, zahrnuté ve výpočtu, jsou zjištěny na základě podobnosti s tolerancemi IT ($\varnothing 220 \pm 0,1 = \text{IT}11$).

Ukazatel využití materiálu pro variantu 1 se spočte dle vztahu (1.3). [7]

$$U_{m1} = \frac{Q_s}{Q_{p1}} \quad (1.3)$$

$$U_{m1} = \frac{6,29}{38,82} = 0,16$$

Kde:

U_{m1}	$[-]$	ukazatel využití materiálu pro variantu 1
Q_s	$[\text{kg}]$	hmotnost výrobku
Q_{p1}	$[\text{kg}]$	hmotnost polotovaru - přířezu

Ukazatel využití materiálu pro variantu 2 se spočte dle vztahu (1.4). [7]

$$U_{m2} = \frac{Q_s}{Q_{p2}} \quad (1.4)$$

$$U_{m2} = \frac{6,29}{9,41} = 0,67$$

Kde:

U_{m2}	$[-]$	ukazatel využití materiálu pro variantu 2
Q_s	$[\text{kg}]$	hmotnost výrobku
Q_{p2}	$[\text{kg}]$	hmotnost polotovaru - odlitku

Výpočet hmotností byl vygenerován v programu Autodesk Inventor Professional 2015.

2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Kapitola se zabývá základními metodami obrábění, které jsou využity pro výrobu součástky, představením firmy, strojního zařízení podniku, strojů potřebných pro výrobu podle dosavadního technologického řešení a strojů pro novou, navrhovanou technologii výroby součástky.

Technologický proces je přizpůsoben podmínkám a požadavkům firmy ZAKO Turčín s.r.o.

2.1 Použité metody obrábění

2.1.1 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů převážně za pomoci jednobřitého nástroje s definovanou geometrií. Představuje nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Další základní operace, které je možno provádět pomocí obrábění na soustruzích, jsou vrtání, vyvrtávání, vystružování, řezání závitu, vroubkování, válečkování a leštění. Obrobek vykonává rotační pohyb - tento pohyb je pohybem hlavním. Nástroj vykonává posuvný pohyb přímočarý - tento pohyb se nazývá vedlejší. Při soustružení válcových ploch je řezný pohyb vykonáván po šroubovici a při soustružení čelní plochy je řez realizován po Archimedově spirále. [8]

2.1.2 Vrtání

Vrtání je obráběcí metoda, kterou se zhotovují díry do plného materiálu, nebo zvětšují již existující díry, které jsou předvrtané, předlité, předkované apod. Vrták vykonává rotační a posuvný pohyb. Rotační pohyb je pohybem hlavním a posuvný pohyb vrtáku je pohybem vedlejším. Tento pohyb je sunut do záběru ve směru osy vrtáku, která je z pravidla kolmá na povrch vrtané součásti. Operace vyhrubování, vystružování

a zahlubování operují s totožnými pohyby nástroje za účelem dosažení vyšší kvality parametrů obráběných děr. Hlavní vlastností všech nástrojů na zhotovení děr je, že řezná rychlost se podél hlavního ostří (ve směru od obvodu ke středu nástroje) zmenšuje, až dosáhne nulové hodnoty. Na jmenovitém průměru nástroje je při rotaci obvodová rychlost, která je považována za řeznou rychlost. [9]

2.1.3 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebírán břity rotujícího nástroje, který může být v řadě provedení a s různým počtem ostří. Ve směru kolmém k ose nástroje je většinou posuv vykonáván obrobkem. Moderní frézovací stroje mohou mít výhodu víceosého plynulého obrábění. Každý zub frézy odebírá krátké třísky proměnné tloušťky, z čehož plyne, že řezný proces je přerušovaný.

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikaci nástrojů rozlišují technologie na frézování válcové (frézování obvodem nástroje) a frézování čelní (frézování čelem nástroje). Z těchto technologií se dále odvozují další způsoby. [8]

2.2 Představení výrobního podniku ZAKO Turčín s.r.o.

Firma ZAKO Turčín s.r.o. (obr. 2.1) byla založena roku 1996 a jedná se o moderní strojírenský rodinný podnik sídlící v regionu jihovýchodní Moravy nedaleko města Zlína. Firma se zabývá zakázkovou výrobou **obráběných** a zámečnických dílů s možností následné montáže.

Od roku 2008 byl zaveden systém řízení jakosti dle normy ISO 9001-2009, dále pak v květnu roku 2008 byl získán na základě odborných zkoušek mezinárodní svařovací certifikát dle DIN18800-7. Podnik také splňuje požadavky certifikátu „výroba, montáž lehkých a středních strojních celků a zařízení“, řídící se normou EN ISO 3834-2:2005 podle systému FPC. Systém řízení výroby tedy splňuje všechny požadavky uvedené v tomto certifikátu. [10], [11]



Obr. 2.1 Firma ZAKO Turčín. [5]

2.3 Strojní park podniku

Firma ZAKO Turčín s.r.o. průběžně rozšiřuje a aktivně renovuje svůj strojní park tak, aby i nadále mohla vyrábět dle nejmodernějších technologií a udržovat si tak náskok od ostatních konkurenčních firem. V posledních letech se také snaží intenzivně využívat dotací a prostředků z Evropské Unie, určených na rozvoj a inovace. [12]

- *CNC vertikální stroje MCFV* - rozjezdy v osách $X_{\max} = 2000$, $Y_{\max} = 800$, $Z_{\max} = 720$
- *CNC pětiosé stroje* - rozjezdy v osách $X_{\max} = 1000$, $Y_{\max} = 1800$, $Z_{\max} = 600$, průměr otočného stolu $D_{os} = 800$
- *CNC soustruhy* - průměr až $D_s = 650$ a točná délka $L_t = 2000$
- *Horizontální obrábění CNC* - rozjezdy v osách $X_{\max} = 5000$, $Y_{\max} = 2500$, $Z_{\max} = 2200$
- *Frézky klasické* - rozjezdy v osách $X_{\max} = 400$, $Y_{\max} = 500$, $Z_{\max} = 1250$
- *Soustruhy konvenční* - průměr až $D_s = 500$ a točná délka $L_t = 2500$
- *Brusky na plocho* - maximální rozměr dílce 650×2000

2.3.1 Stroje pro 1. a 2. výrobní variantu

V kapitole budou představeny stroje, pomocí kterých byla součástka vyráběna dle dosavadních technologií.

- 1. výrobní varianta – polotovary přířez, využití stroje: PI, SPR, SL, MCFV
- 2. výrobní varianta – polotovary odlitek, využití stroje: SPR, SL, MCFV

Poloautomatická pásová pila na kov Mod 370 SA 60° (PI)

Poloautomatická pásová pila je využita pouze pro první technologickou variantu. Stroj má hydraulický pohon (obr. 2.2), který přidává k základním vlastnostem této pily výhody automatického řezacího cyklu. Pila je určena jak k řezání dílců a profilů středních rozměrů s úhly do 60°, tak i profilů velkého průřezu. Stroj je konstruován tak, aby bylo dosaženo vysoké přesnosti a velké provozní spolehlivosti v průmyslové výrobě. Technické specifikace této pily jsou uvedeny v tabulce 2.1. [13]

Tab. 2.1 Technické specifikace pásové pily Mod 370 SA 60°. [13]

Rozměry pil. pásu (D x Š x V)	3120 x 27 x 0.9
Rychlost pilového pásu	35 – 70 [mm·min ⁻¹]
Rychloposuv do řezu	3500 [mm·min ⁻¹]
Pracovní posuv	0 – 200 [mm·min ⁻¹]
Řezný přítlak	5 – 20 [bar]
Výška pracovní plochy	830
Rozměry stroje (D x Š x V)	1650 x 1490 x 1900
Váha stroje	500 [kg]



Obr. 2.2 Poloautomatická pásová pila na kov Mod 370 SA 60°. [14]

Soustružnický stroj SPR 100 CNC (SPR)

Stroj SPR 100 CNC je charakterizován jako soustružnický revolverový poloautomat, který je určen k rotačnímu obrábění pro kusovou či sériovou výrobu. Lze obrábět tyčový materiál do průměru 100. Na stroji SPR 100 CNC lze provádět operace

běžného charakteru jako obrábění vnějších i vnitřních ploch válcového, kuželového i kulového charakteru, vrtání, vystružování a řezání závitů v ose vřetena. Stroj je osazen 12-ti polohovou nástrojovou hlavou. Do firmy ZAKO Turčín s.r.o. byl nově zakoupen repasovaný stroj (obr. 2.3) se systémem MITSUBISHI. Technické specifikace tohoto stroje jsou uvedeny v tabulce 2.2. [15]

Tab. 2.2 Technické specifikace stroje SPR 100 CNC. [15]

Řídicí systém	MITSUBISHI
Nástrojové hlavy	Baruffaldi, elektro-pneumatic 12 pozic
Vrtání vřetene	114
Max. průchod tyče vřetenem	100
Největší oběžný průměr nad podélným suportem	550
Největší délka obrábění	250
Největší průměr obrábění	430
Max. otáčky vřetene (dle sklíčidla)	1800 [min ⁻¹]
Výkon hlavního motoru vřetene	32 [kW]
Rychloposuv v osách X, Z (max)	20 [m·min ⁻¹]
Výška stroje (pracovní)	2600
Hmotnost stroje	6500 [kg]



Obr. 2.3 SPR 100 CNC. [16]

CNC soustružnický stroj SL 403 BMC / 800 (SL)

Jedná se o CNC soustruh (obr. 2.4) s operačním systémem MAPPS IV, od společnosti Mori Seiki. Tento stroj byl zakoupen ještě před sloučením společnosti Mori Seiki se společností DMG. Stroj je vhodný pro obrábění rotačních součástí s průměrem D_s až 650. Tento stroj je vybaven stabilizačním systémem procesní kapaliny, pomocí kterého je možno udržovat procesní kapalinu bez změny teploty a zamezit tak „pohybu“ rozměrů vlivem měnící se teploty. Díky tomuto vybavení a poměrně vysokému výkonu motoru vřetena (30 kW), je tento stroj také vhodný pro větší úběr materiálu. Technické parametry tohoto stroje jsou uvedeny v tabulce 2.3. [14], [17]

Tab. 2.3 Technické parametry stroje SL 403 BMC / 800. [14], [17]

Pracovní oblast	Oběžný průměr nad ložem	710
	Oběžný průměr nad suportem	738
	Max. obráběný průměr	650
	Max. točná délka	863
Pojezdy	Osa X	345
	Osa Z	900
Vřeteno	Maximální otáčky vřetena	2400 [min ⁻¹]
Nástrojová hlava	Počet poloh (nástrojů)	12
	Čas změny polohy	0,4 [s]
	Max. otáčky rotačních nástrojů	3000 [min ⁻¹]
Rychloposuv	V ose X	20 [m·min ⁻¹]
	V ose Z	24 [m·min ⁻¹]
	V ose C – polohování vřetena	56 [m·min ⁻¹]
Výkony motorů	Výkon motoru vřetena	30 [kW]
	Výkon motoru rot. nástrojů	9 [kW]
	Posuvové motory osy X	6 [kW]
	Posuvové motory osy Z	4,5 [kW]
	Výkon čerpadla	0,52 [kW]
Spotřeba energií	Příkon	51,4 [kVA]
Rozměry stroje	Výška stroje	2450
	Půdorysná plocha stroje (šířka × hloubka)	4049 × 2861
	Hmotnost stroje	12000 [kg]



Obr. 2.4 SL 403 BMC / 800. [14]

Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060 (MCFV)

Stroj (obr. 2.5) je možno využít jak k silovému, tak i k vysokorychlostnímu obrábění. Konstrukce je postavena na dvou stacionárních odlitcích. Pohyby stroje jsou realizovány pomocí lineárního vedení s valivými elementy. Tato konstrukce umožňuje vysoké zatížení stolu, vřeteníku a supportu. Stroj je možno doplnit různým příslušenstvím. Pro tuto technologickou variantu bude zapotřebí využití dělicího zařízení pro vyfrézování drážek po obvodu součástky. Podrobnější technické parametry jsou uvedeny v tabulce 2.5. [14], [18]

Tab. 2.4 Technické parametry stroje MCFV 1060. [14], [18]

Stůl	Pracovní plocha	1270 × 590
Pojezdy	Osa X (pracovní stůl)	1016
	Osa Y (křížový suport)	610
	Osa Z (vřeteník)	760
	Vzdálenost čela vřeteníku od stolu	150 – 910
	Maximální pracovní posuv	15 [m·min ⁻¹]
Vřetení	Rychloposuv	40 [m·min ⁻¹]
	Upínací kužel	ISO 40
	Maximální otáčky vřeteníku	12000 [min ⁻¹]
Zásobník nástrojů	Počet míst v zásobníku	30
	Čas výměny nástroje	3,5 [s]

Rychloposuv	V ose X	20 [m·min ⁻¹]
	V ose Z	24 [m·min ⁻¹]
	V ose C – polohování vřetena	56 [m·min ⁻¹]
Spotřeba energií	Příkon	35 [kVA]
Rozměry stroje	Výška stroje	3150
	Půdorysná stroje	2750 x 2120
	Hmotnost stroje	7700 [kg]



Obr. 2.5 MCFV 1060. [14]

2.3.2 Stroj pro 3. výrobní variantu – CNC multifunkční centrum

V rámci zavedení nové technologické varianty (v podmínkách daného výrobního podniku) dojde ke snížení počtu potřebných strojů pro vyrobení součástky „pulzní kolo“ ze třech na jeden. Díky této optimalizaci jsou předpokládány časové úspory. Nová technologická varianta je navržena za účelem snížení času výroby a celkové optimalizaci výrobního procesu součástky.

S tímto výhledem se výrobní proces zavádí na multifunkční centrum g (společnost vznikla sloučením Německé společnosti DMG a Japonské společnosti Mori Seiki).

- 3. výrobní varianta – polotovary odlitek, využitý stroj: SF

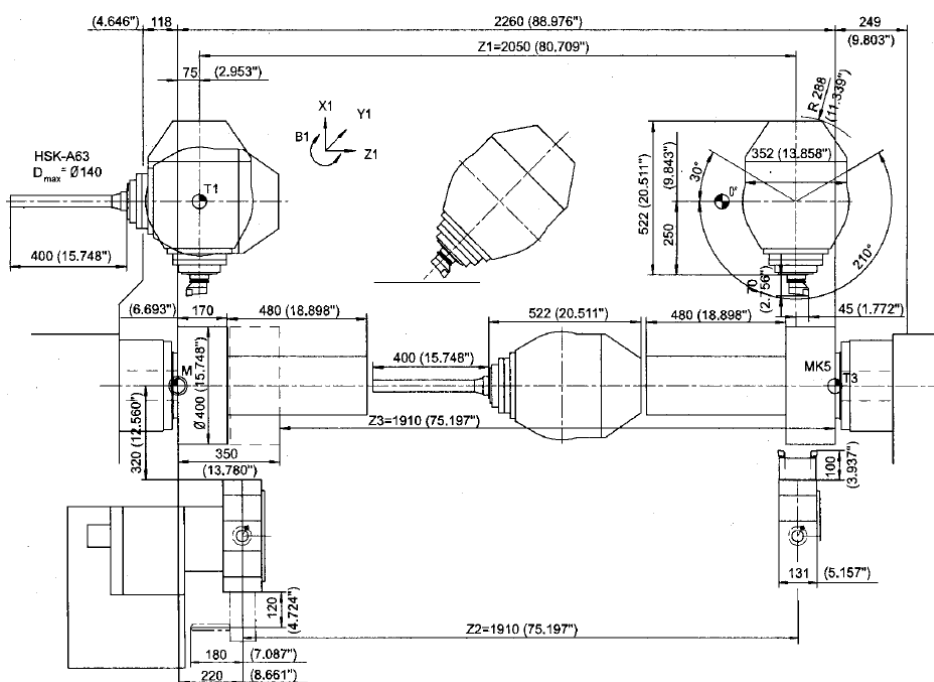
CNC multifunkční centrum CTX gamma 2000 TC / liner (SF)

Jedná se o stroj (obr. 2.7), který je schopen kombinovat různé technologie a metody obrábění, což je bezpochyby trendem dnešní výroby. Díky rozložení pracovního prostoru (obr. 2.6) je možné vyrábět hřídele o délce až 2100 mm, nebo například obrábět dvě součásti zároveň a to pomocí hlavního vřetena a proti-vřetena.

Pracovní prostor je rozdělen na dva kanály. Toto konkrétní rozdělení je s výhodou využito pro výrobu součásti „pulzní kolo“ (viz kap. 3 Vyrobení vzorku).

Na tomto stroji lze provádět operace jako například frézování zubů, drážek a ostatních ploch nerotačního charakteru o vysoké přesnosti, což je umožněno pomocí polohovacího soustružnicko-frézovacího vřeten. Za pomoci tohoto vybavení by mělo dojít k urychlení výroby dané součásti a zpřesnění rozměrů. Z výrobního procesu tak odpadá nutnost upínat součást na jiné stroje.

Technické parametry multifunkčního centra jsou díky svému rozsahu uvedeny v příloze 3.



Obr. 2.6 Příklad rozložení pracovního prostoru stroje. [19]



Obr. 2.7 CTX gamma 2000 TC / liner. [14]

2.4 Technologický postup pro CNC multifunkční centrum

Technologický postup slouží jako podklad pro výrobu součásti (tab. 2.5). Obráběné plochy součásti jednotlivými nástroji jsou dále popsány v kapitole 3 výroba rotační součásti. Technologický postup byl tvořen dle výkresové dokumentace dodané zákazníkem (příloha 1, příloha 2).

Pozn. V operaci číslo 02/02 je přepnutí součásti do měkkých čelistí, které se provádí v rámci jednoho spuštění stroje a je řízeno programem. Z tohoto důvodu není operace dělena na dvě samostatné operace.

Tab. 2.5. Technologický postup pro CNC multifunkční centrum.

VUT FSI Brno	Technologický postup			Datum vydání: 26.4.2015
Č. v.: ZA150403	Název součásti: Pulzní kolo			Materiál: EN GJS-400-18LT
Vyhotovil: Jiří Turčín	Polotovary: Odlitek Ø230/119			Stroj: SF
Číslo operace:	Název, označení stroje:	Dílňa	Popis práce v operaci:	Pomůcky:
00/00	Příprava polotovaru	KOOP-PÍS	Pískování Pískovat jen v případě koroze nebo zbytku nátěru odlitku	
01/01	Vstupní kontrola	KON	Kontrolovat polotvar Ø230/119 s četností 15 % Vyzuální kontrola polotovaru s četností 15 %	P1 P2
02/02	CNC Multifunkční centrum CTX gamma 2000 TC / liner DMG Mori 44443	OBR	Upnout za pomocně přetočený Ø220 do měkkých čelistí Soustružit čelo na L = 109±0,3 na střed tolerance pro nikl Soustružit Ø210 / R1 na Ø210±0,2 pro nikl / R1 Soustružit Ø109 na Ø108,9±0,05 pro nikl Soustružit otvor Ø79H7 na Ø79,05 H7 pro nikl Soustružit zápich DIN 509 – E 205 × 0,4 Soustružit čelní zápich Ø185 / 11 / 10 / 1 / 11,3° / R2 na Ø185 / 11,1 ±0,05 / 10 / 1 / 11,3° / R2 pro nikl Soustružit 2× hranu 0,5 × 45° Soustružit hranu 1,5 × 45° Soustružit hranu 5 × 30° Frézovat 2 x otvor Ø17 Přepnout do m. č. Soustružit čelo k rozměru 109 s ohledem na rozměr 95 Soustružit Ø220–0,1 pro nikl Soustružit Ø15,4 / R5 na Ø15,4±0,1 / R2 pro nikl Soustružit čelní zápich Ø90 / 15 (95 – 11 – 69) / R3 / Ø15,4 / R5 Soustružit hranu 0,5 × 45° Soustružit hranu 1,5 × 25° Vrtat 6 × otvor Ø11 Vrtat 2 × otvor Ø6,8 pro závit M8 Frézovat 110 × zuby 3 / 4 na 3,05±0,05 / 4 pro nikl	T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8.4 T9.4 T10.4 T11.4 T12.4 T13.4 T14.4 P1 P2 P4

Číslo operace:	Název, označení stroje:	Dílna	Popis práce v operaci:	Pomůcky:
03/03	Kontrola Souřadnicový měřicí stroj 3D Dea Global Perfomance	KON	Kontrolovat s četností 100 % Ø79 H7 ⊥ Ø79 / 69 v toleranci 0,05 k zákl. A Ø109-0,15 Ø220±0,1 ◎ Ø109-0,15 / Ø79 H7 69±0,1 k zákl. A	P1 P2 P4
04/04	Mechanická	ME	Ojehlít a řezat 2 × závit M8 Značit ZA150403 na ploše čelního zápichu Ø90 / 15 (95 – 11 – 69) / R3 / Ø15,4 / R5 POZOR! Nejehlít ostré hrany	T15 P3
05/05	Povrchová úprava	KOOP-NIK	Niklovat dle ISO 4527 – Fe<EN-GJS-400-18-LT>//NIP(10)25//	
06/06	Mechanická	ME	Pročistit závity po niklování	T15
07/07	Kontrola	KON	Kontrolovat s četnost 10% M8 x 1, ČSN 01 4013 Vizuální kontrola	P1 P2 P3

2.5 Pomůcky pro výrobu na CNC multifunkčním centru

Pomůcky jsou voleny s ohledem na jejich dostupnost v provozu firmy a k sortimentu smluvních dodavatelů.

2.5.1 Nástroje

Nástroje využívané pro výrobu jsou uvedeny v nástrojovém listu (tab. 2.6), kde jsou uspořádány postupně dle jejich využití pro obrábění. Na stroji CTX gamma 2000 TC je možnost nezávislého obrábění, proto jsou nástroje rozděleny do dvou kanálů. V příloze 4 jsou zdokumentovány upnuté nástroje.

Tab. 2.6 Nástrojový list. [20], [21], [22], [23], [24]

VUT FSI Brno	Nástrojový list			Datum vydání: 26.4.2015
Č. v.: ZA150403	Název součásti: Pulzní kolo			Materiál: EN GJS-400-18LT
Vyhotovil: Jiří Turčín	Stroj: CTX Gamma 2000 TC			Zkratka SF
Pořadí nástroje	Název nástroje	Výrobce	Značení výrobce (držák/nožová hlava VBD)	
T1 Kanál 1	Vnější hrubovací nůž VBD	Sandvik Pramet	PCLNR 2525M 12 CNMM 12 04 12E-R 9235	
T2 Kanál 1	Vrták s VBD Ø25 VBD	Ceratizit	EC 25R-2.25D 13 XCNT 130408EN	
T3 Kanál 1	Vnější dokončovací nůž VBD	Sandvik TaeguTec	A25TSDUCL 11 DCMT 11T308 FG CT3000	
T4 Kanál 1	Čelní zapichovací nůž VBD	Iscar	HFPAD 3L-115-T18 HFPL 4004 IC808	
T5 Kanál 1	Vnější dokončovací nůž VBD	Iscar	SDJCR 2525 M 11 DCMT 11T304 FG CT3000	
T6 Kanál 1	Přímý nůž VBD	Sandvik	STFCR 2020K TCMT 11 03 04	
T7 Kanál 1	Stopková fréza	Mc-Mill	10429-100	
T8.4 Kanál 2	Vnější hrubovací nožová hlava VBD	Iscar	C5 MULNR 35060-12MW WNMG 080408E-M; T9315	
T9.4 Kanál 2	Čelní zapichovací nůž VBD	Iscar	HRHR-25-140-4T25 HFPL 4004 IC808	
T10.4 Kanál 2	Vnější dokončovací nožová hlava VBD	Sandvik	C5-SDJCR-35060-11 DCMT 11T308 FG CT3000	
T11.4 Kanál 2	Vrták Ø6,8	Titex	A3999XPL-6,8	
T12.4 Kanál 2	Vrták Ø11	Titex	A3285 TFL-11	
T13.4 Kanál 2	Drážková fréza Ø22	Dümmel	ZH22 2016.45.A.HM	

Pořadí nástroje	Název nástroje	Výrobce	Značení výrobce (držák/nožová hlava VBD)
T14.4 Kanál 2	Čelní fréza Ø2,8	Titex	VHM FR. 2,8 TIALN W 57/7
T15	Strojní závitník M8 x 1	Garant	13 1300 – M8, ČSN 01 4013

2.5.2 Metrologické pomůcky

Metrologické pomůcky jsou uvedeny v tabulce 2.7.

Tab. 2.7 Metrologické pomůcky

VUT FSI Brno	Metrologické pomůcky		Datum vydání: 26.4.2015
Č. v.: ZA150403	Název součásti: „Pulzní kolo“		Materiál: EN GJS-400-18LT
Vyhotovil: Jiří Turčín	Stroj: CTX Gamma 2000 TC		Zkratka SF
Číslo měřidla / systému	Název měřidla	Výrobce	Značení výrobce
P1	Posuvné měřidlo	Mitutoyo	Digimatic, S 500 – 166
P2	Digitální hloubkoměr	Mitutoyo	571 – 211 – 20
P3	Mezní závitový trn	Kinex	M8-6H, 90714, ČSN 01 4013
P4	Souřadnicový měřicí stroj Dea Global Silver Adventage	Dea Global Performance	Dea Global Performance
P5	Drsnoměr	Mitutoyo	Surttest SJ-210

3 VYROBENÍ VZORKU

Součást se vyrábí dle třetí výrobní varianty (navrhovaná technologie - polotovary odlitek, využitý stroj: SF) z litého polotovaru na CNC multifunkčním centru CTX Gamma 2000 TC dle NC kódu, zhotoveného v programu EdgeCAM 2015 R1 10.2. Podle technologického postupu pro CNC multifunkční centrum a dalších náležitostí spojených s celkovou technologií výroby uvedených v tomto dokumentu (kapitola 2.4 a kapitola 2.5).

Za účelem snížení výrobního času a zlepšení produktivity stroje je součástí „pulzní kolo“ obráběna v hlavním vřetenu i proti-vřetenu současně. Ideální stav nastává při vyvážení práce ve vřetenech.

3.1 Posloupnost obrábění

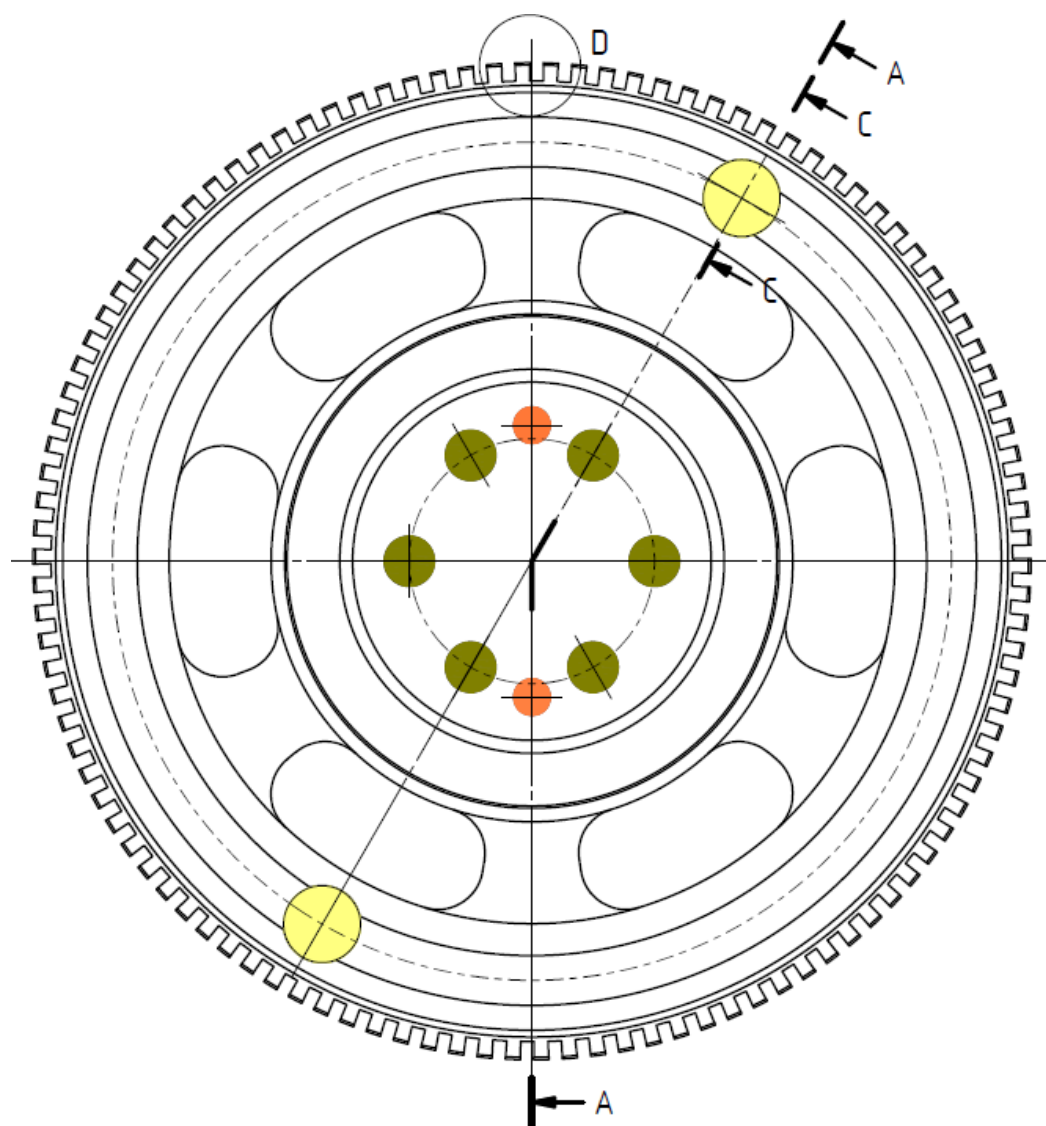
K obráběným plochám jsou přiřazeny nástroje, které jsou řazeny dle posloupného systému (T1, T2 až Tx). Ty z nástrojů, které mají ve značení „4“ slouží pro obrábění součásti, která je upnuta v proti-vřeteni č.4 (obr. 2.6). Zvýrazněné plochy jsou obráběny se stejnou posloupností jako řazení nástrojů (úsek 1 = Us. 1, Us. 2 až Us. X). K jednotlivým obráběným plochám je vždy přiřazen daný úsek s příslušnými nástroji, které tento úsek obrábí (obr. 3.1, obr. 3.2, obr. 3.3 a obr. 3.4).

Součást je upnuta do měkkých čelistí za pomocně přetočený Ø230.

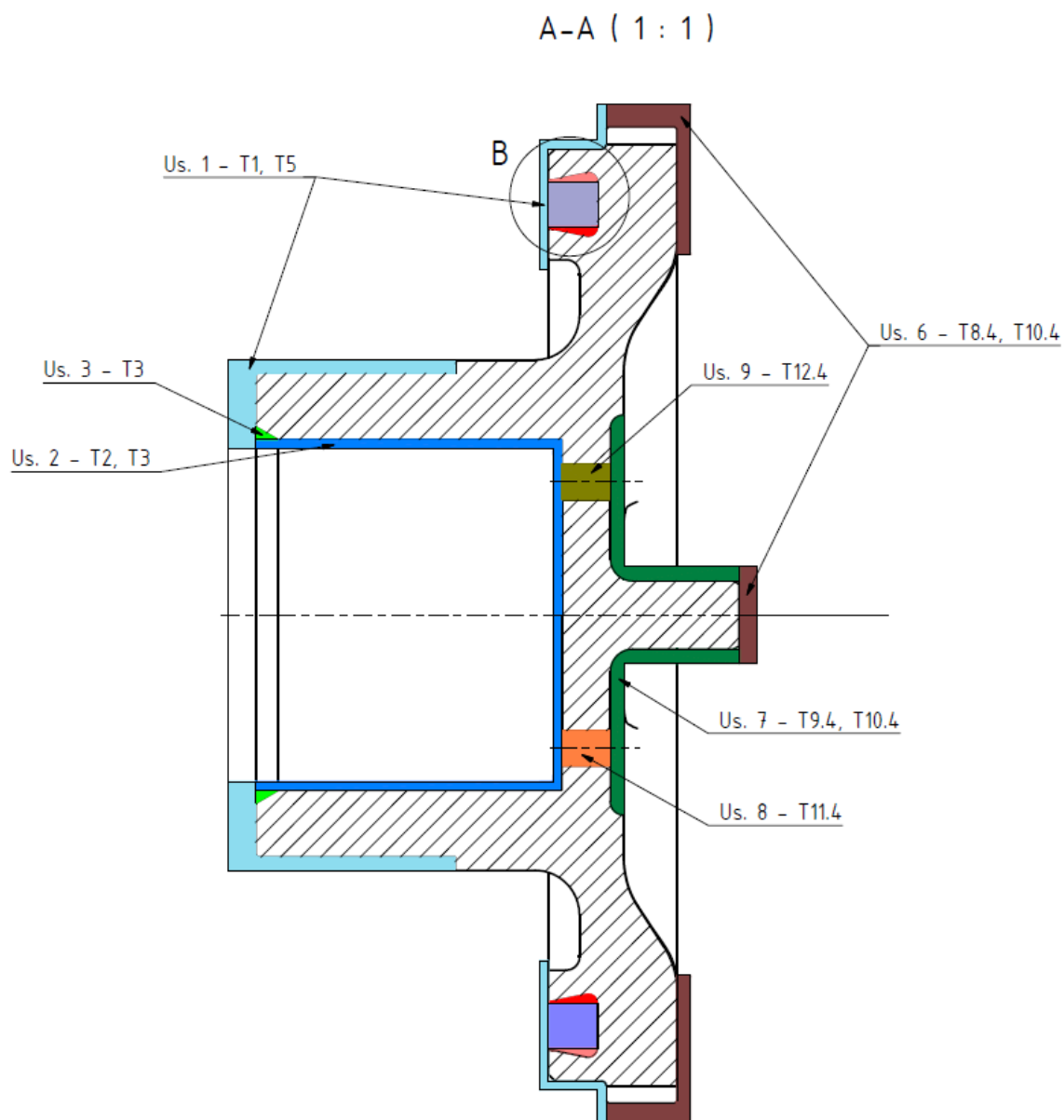
- úsek 1 je hrubován vnějším hrubovacím nožem T1 (příloha 4.1)
- úsek 2 je hrubován pomocí vrtáku s VBD o Ø25 T2 (příloha 4.1) a následně soustružen vnějším dokončovacím nožem T3 (příloha 4.2)
- úsek 3 sražení hrany vnějším dokončovacím nožem T3
- úsek 4 je hrubován čelním zapichovacím nožem T4 (příloha 4.2)
- úsek 1 je soustružen vnějším dokončovacím nožem T5 (příloha 4.3)
- úsek 4.1 je soustružen přímým nožem T6 (příloha 4.3)
- úsek 4.2 je soustružen přímým nožem T6
- úsek 5 je frézován stopkovou frézou T7 (příloha 4.4)

Součást je přepnuta, v rámci programu, do měkkých čelistí za Ø109.

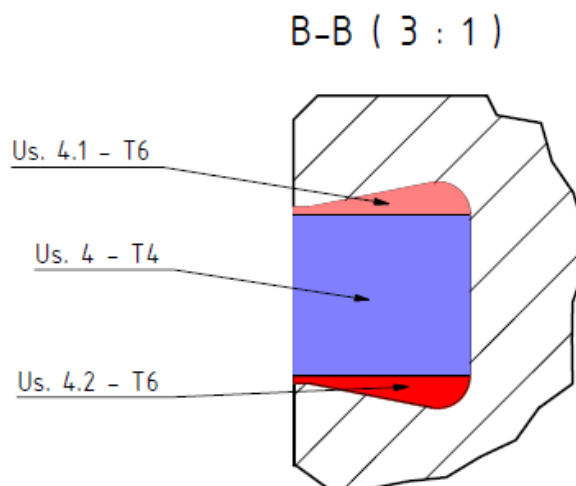
- úsek 6 je hrubován vnější hrubovací nožovou hlavou T8.4 (příloha 4.4)
- úsek 7 je hrubován čelním zapichovacím nožem T9.4 (příloha 4.5)
- úseky 6 a 7 jsou soustruženy vnější dokončovací nožovou hlavou T10.4 (příloha 4.5)
- úsek 8 je vrtán vrtákem Ø6,8 T11.4 (příloha 4.6)
- úsek 9 je vrtán vrtákem Ø11 T12.4 (příloha 4.6)
- úsek 10 je frézován drážkovou frézou Ø22 T13.4 (příloha 4.7) a následně dokončován čelní frézou Ø2,8 T14.4 (příloha 4.7)



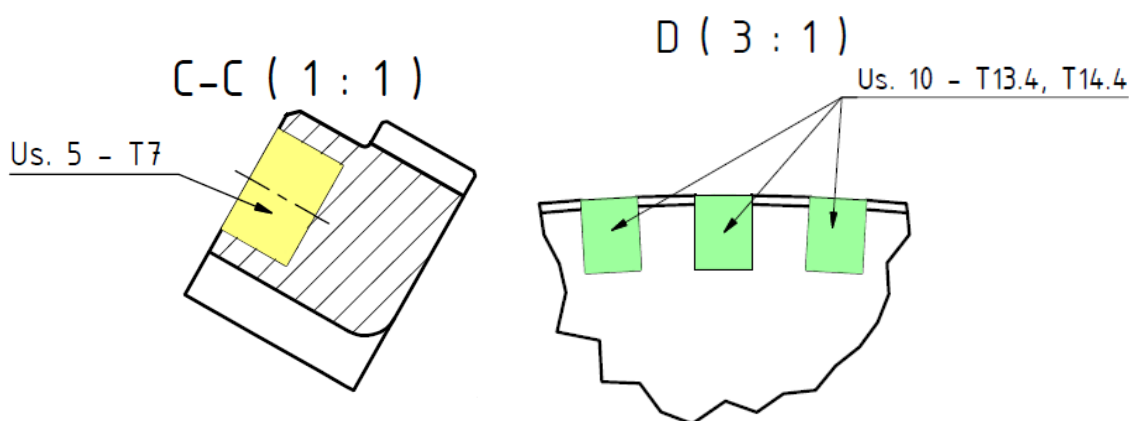
Obr. 3.1 Nárys součástí.



Obr. 3.2 Řez A – A s vyznačenými úseky obrábění.



Obr. 3.3. Detail drážky B – B s vyznačenými úseky obrábění.



Obr. 3.4. Pomocný pohled C - C pro zahloubení a detail ozubení D s vyznačenými úseky

3.3 NC program

Pomocí NC programu je popisována činnost numericky řízeného stroje. Je to soubor geometrických, technologických a pomocných informací.

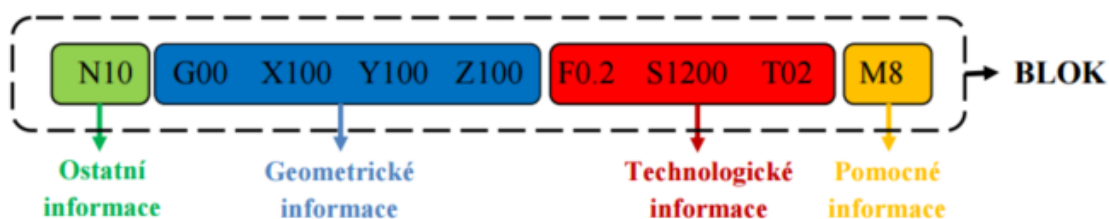
Geometrické informace – popisují dráhy nástrojů, které jsou dány rozměrem (tvarem) obráběné součástky.

Technologické informace – stanovují technologii obrábění s ohledem na optimální řezné podmínky (hodnota řezné rychlosti, posuvu, hloubky řezu).

Pomocné informace – jsou zde další informace potřebné k výrobě součástky (ovládání procesní kapaliny, otáček, zastavení programu, ...).

Ostatní – usnadňují orientaci v programu (čísla bloků, poznámky, ...). [25], [26]

Programy se skládají z bloků, příklad jednoho takového bloku je uveden na obr. 3.5.



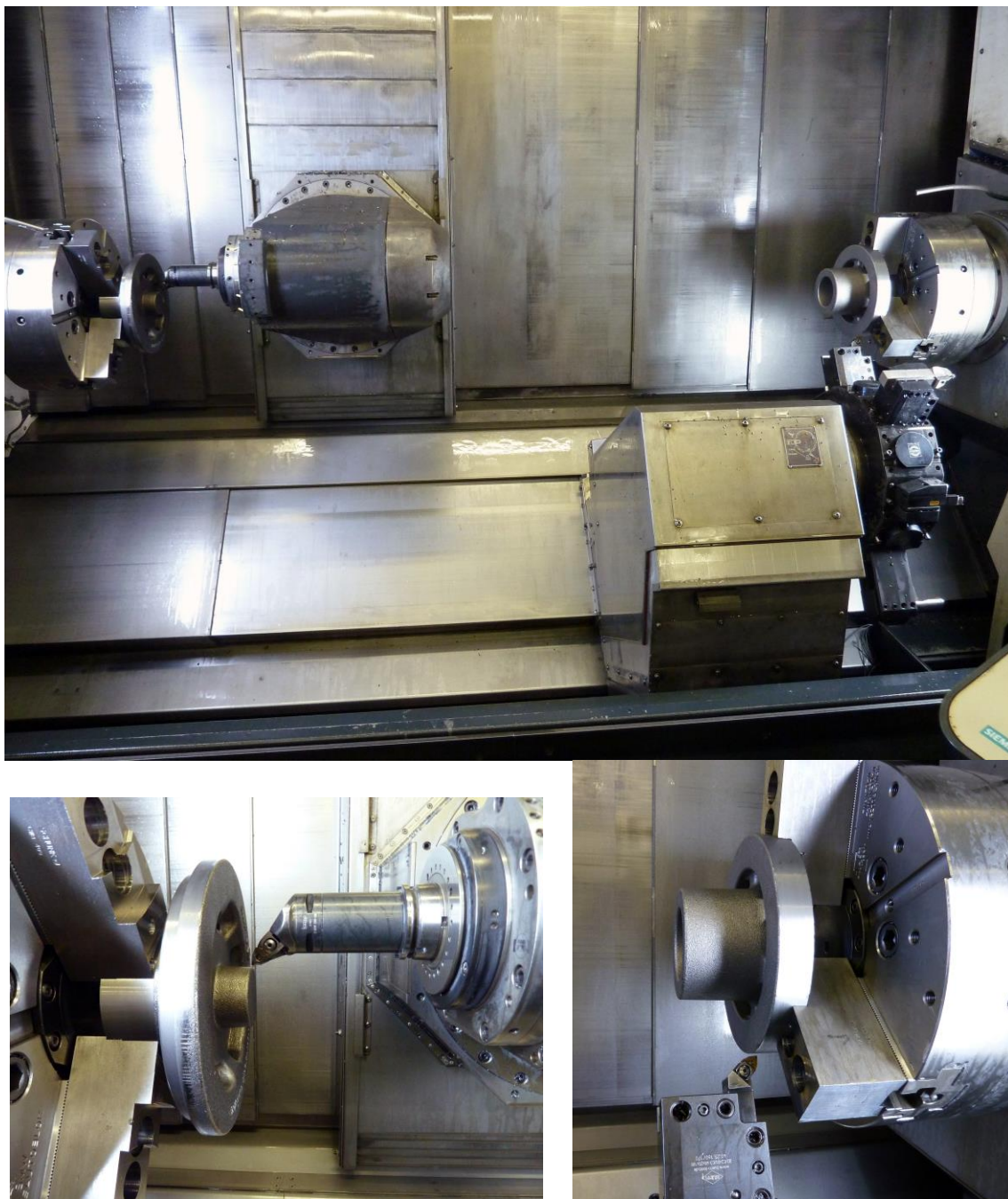
Obr. 3.5 Příklad bloku s vyznačením informací. [26]

- N – číslo bloku,
- G – přídatné funkce,
- X, Y, Z – souřadnice,
- F – rychlost posuvu,
- S – otáčky vřetena,
- T – volba nástroje,
- M – pomocné funkce. [26]

V tomto dokumentu je uvedena pouze jeho NC ukázka programu (příloha 6). Kompletní NC program byl kvůli své náročnosti programování a nezbytnosti zkušeností tvorby programů pro multifunkční centrum vyhodnocen jako neodpovídající rozsahu této bakalářské práce.

3.4 Práce na stroji

Obsluha seřizuje stroj, nahrává příslušný NC program a případně v něm provádí mírné korekce. Posloupnost obráběných ploch na stroji je kvůli přehlednosti shrnuta v podkapitole 3.1 Posloupnost obrábění. Na obrázku 3.6 je znázorněno ustavení součástí ve stroji a zahájení pracovního cyklu. V bližším detailu je možné vidět nástroje T1 a T8.4, které začínají obrábění na úseku 1 a úseku 6 současně. Hrubování zubů (úsek 10) je prováděno drážkovou frézou T13.4, což je znázorněno na obrázku 3.7 vlevo. Na témže obrázku vpravo je zachyceno dokončování zubové mezery pomocí čelní frézy T14.4.



Obr. 3.6 Ustavení součásti ve stroji a zahájení pracovního cyklu.



Obr. 3.7. Výroba zubů.

3.5 Zhodnocení výroby

Práce na stroji proběhla dle předepsaného výrobního postupu, nástrojového listu a posloupnosti obrábění. Čas seřízení stroje t_p je stanoven na 480 minut. Výroba součásti na stroji t_v trvala 75 minut. S těmito časy je dále počítáno v kapitole technicko-ekonomické zhodnocení třetí výrobní varianty. Jako výhoda se v praxi prokázalo rozdělení na kanály. Díky tomuto rozdělení bylo výrobu možno urychlit a optimalizovat. Cílem vícekanálového obrábění je dosáhnout rovnoměrného rozložení obrábění, ideálně tedy 50 % práce v hlavním vřetení a 50 % práce v proti-vřetení. V této výrobní variantě se podařilo dosáhnout vyvážení 70 % v hlavním vřetení a 30% v proti-vřetení. Obrábění v hlavním vřetení je časově náročnější především kvůli výrobě ozubení. Procentuální vyvážení bylo určeno z reálných výrobních časů na stroji. Obsluha multifunkčního centra během výrobního cyklu provedla kontrolu součásti (kontrola je popsána v kapitole 4 Kontrola vyrobeného vzorku) a mechanickou operaci dle předepsaného výrobního postupu.

Výhodou této výrobní varianty je výroba na jednom stroji, což má za následek, kromě jiného, usnadnění manipulace mezi jednotlivými stroji, což se v praxi také podařilo ověřit. Na obrázku 3.8 je vyobrazen polotovar součásti, obrobená součást (před povrchovou úpravou) je na obrázku 3.9.



Obr. 3.8 Vstupní polotovár.



Obr. 3.9 Obrobená součást.

4 KONTROLA VYROBENÉHO VZORKU

Kontrola rozměrů součásti „pulzní kolo“ je prováděna se 100% četností na souřadnicově řízeném měřicím centru DEA GLOBAL Perfomance. Četnost kontroly součásti je ovlivněna požadavkem zákazníka, který si přeje ke každému kusu série dodat měřicí protokol. Jednotlivé kusy v sérii mají své vlastní číselné označení, ke kterému se následně vztahuje příslušný měřicí protokol s konkrétními hodnotami. Tímto způsobem je zajištěna dokumentace jednotlivých součástí, která v případě poruchy montážní sestavy může sehrát významnou roli.

Kontrola jakosti obrobené plochy probíhá pomocí drsnoměru od společnosti Mitutoyo.

Kontrola drážky pro vyvažovací tělíska se provede praktickou zkouškou.

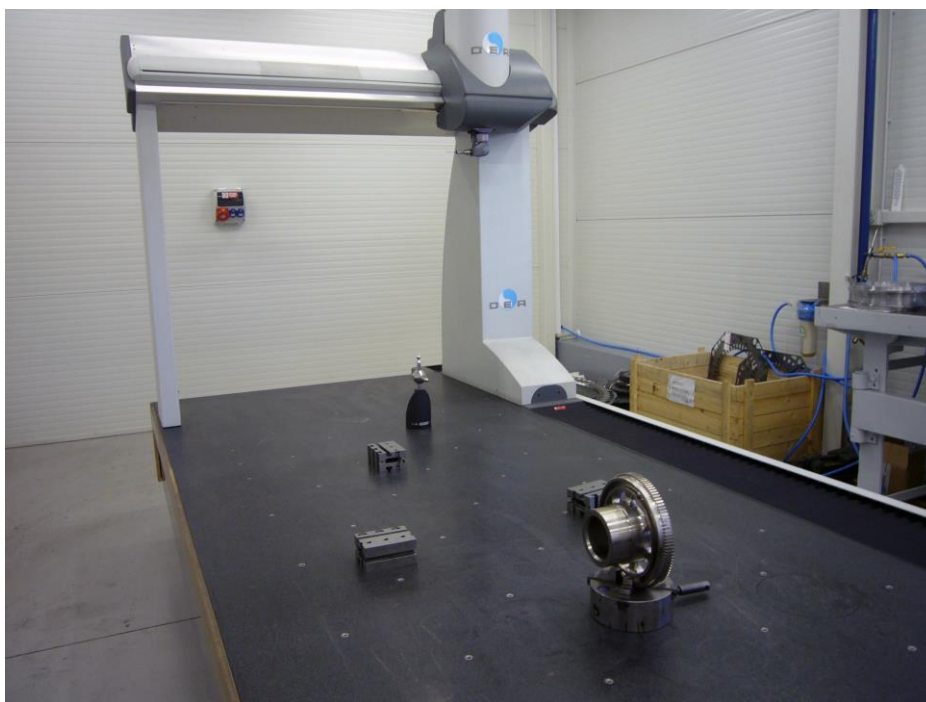
4.1 Měření na souřadnicovém centru

Portálový tříosouřadnicový měřicí stroj DEA GLOBAL Perfomance (obr. 4.1) se systémem HexMet a pojezdy $X_{\max} = 1200$, $Y_{\max} = 2200$ a $Z_{\max} = 1000$ byl pro toto měření zvolen vzhledem k jeho vysoké přesnosti, digitalizaci měřicího protokolu a výhodnému umístění stroje v blízkosti multifunkčního centra. Stroj má teplotní kompenzaci CLIMA (15 – 26 °C). [27]

Měřené rozměry:

- otvor o $\varnothing 79$ H7
- kolmost $\varnothing 79$ H7 / 69 v toleranci 0,05 k zákl. A
- průměr $\varnothing 109-0,15$
- vnější rozměr zubů $\varnothing 220 \pm 0,1$
- soustřednost a souosost průměru $\varnothing 109-0,15$ k průměru $\varnothing 79$ H7
- rozměr $69 \pm 0,1$ k základně A

Měřicí protokol s konkrétními hodnotami je umístěn v příloze 5.



Obr. 4.1 DEA GLOBAL Perfomance 12.22.10.

4.2 Kontrola jakosti obrobené plochy

Jakost povrchu odpovídá normě DIN ISO 1302. S využitím převodové tabulky 1.6 jsou zjištěny dané hodnoty. Změřená jakost povrchu musí být v předepsané toleranci.

Samotné měření se provádí pomocí přístroje Surttest SJ-210 od společnosti Mitutoyo (obr 4.2). Snímací systém se před zahájením měření nedotýká povrchu součásti, což se s výhodou používá pro měřené plochy, které nejsou lehce viditelné a mohlo by tak dojít k poškození snímacího hrotu. Snímací hrot je uveden do pohybu po zahájení měření, posuvová jednotka se pohybuje ve směru osy X k povrchu obrobku. Před dosažením výchozí pozice se systém zvedne od kontrolované plochy. [6]

4.2.1 Zásady vyhodnocování

Z vyhodnocení měření (ČSN EN ISO 4288:1999) vyplývá, že charakteristiky veličin R_a a R_z , se pohybují v rozmezí od -20 % do +30 %. Jedna naměřená hodnota tedy nevypovídá o respektování tolerovaných parametrů. [6]

Pravidlo maxima

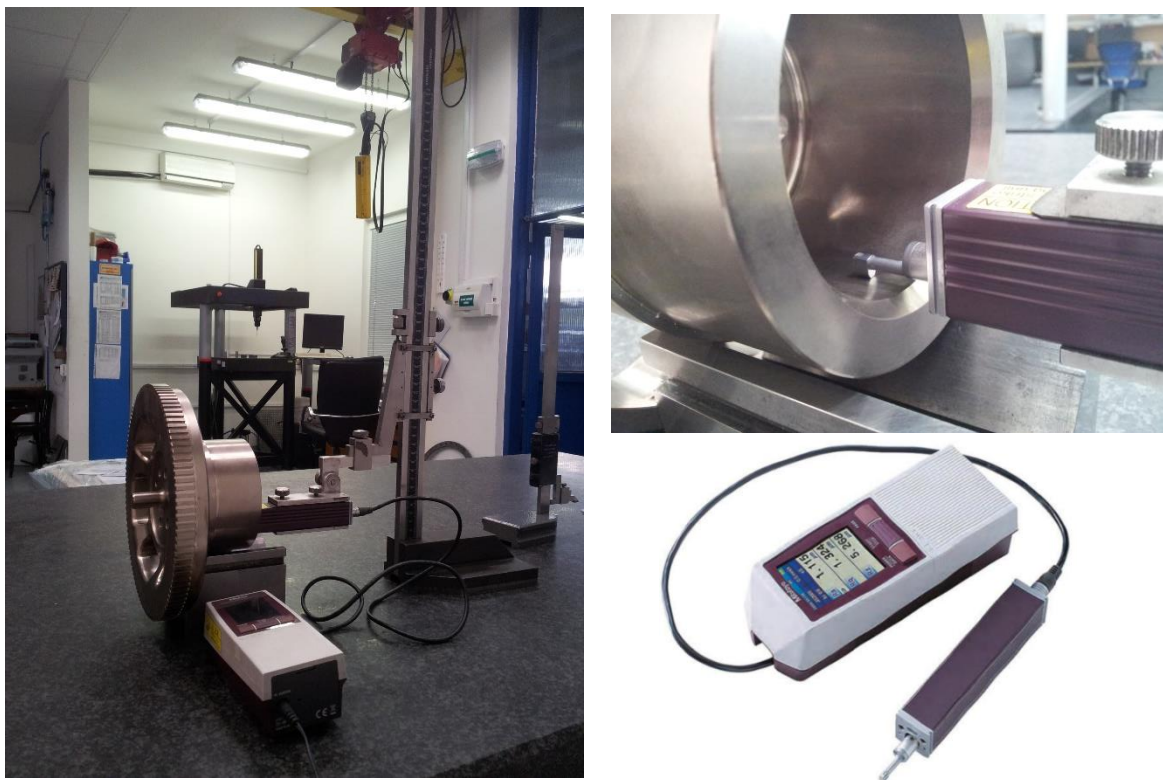
Jestliže žádná z naměřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu nepřesáhne ani v jednom bodě předepsanou hodnotu horní meze, povrch odpovídá požadavku maxima. [6]

Pravidlo 16 %

V případě, že méně jak 16 % všech naměřených hodnot parametru na vyhodnocované délce přesahuje předepsanou hodnotu dané horní meze, povrch je brán jako přijatelný. Mezní hodnotu smí tedy překročit maximálně 16 % naměřených hodnot. [6]

Mezní hodnoty

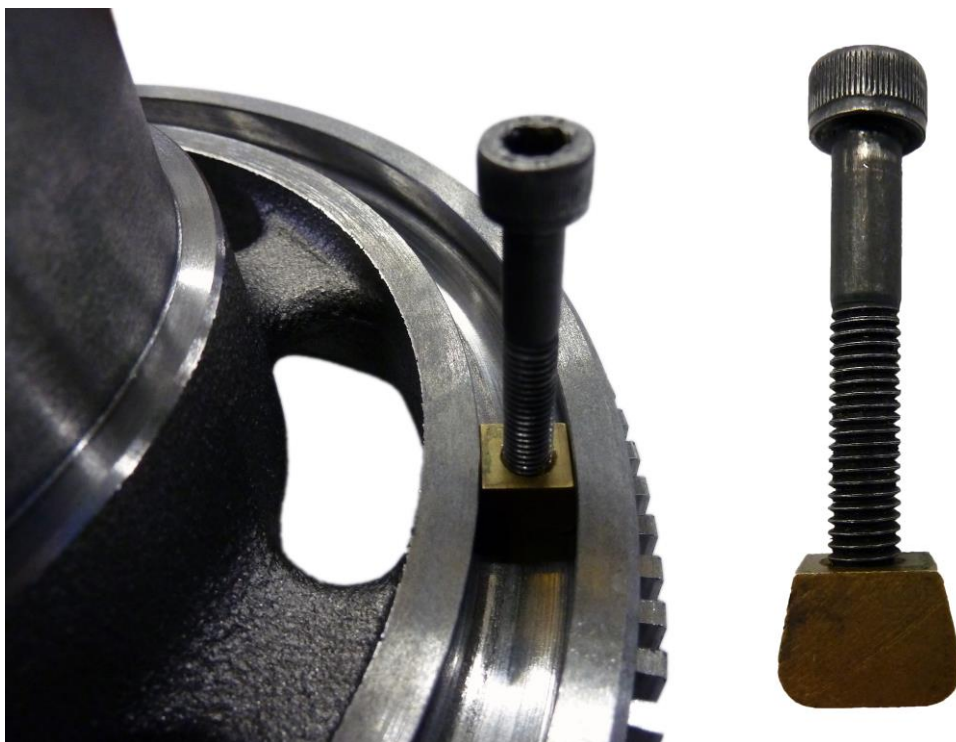
- $R_a = 1,6 \mu\text{m}$, $R_z = 10 \mu\text{m}$ v otvoru o $\varnothing 79 \text{ H7}$ na délce $69 \pm 0,1$
- $R_a = 1,6 \mu\text{m}$, $R_z = 10 \mu\text{m}$ na $\varnothing 15,4$



Obr. 4.2 Kontrola jakosti povrchu - Surttest SJ-210. [6]

4.3 Kontrola drážky

Kontrola drážky je prováděna pomocí vyvažovacích tělísek, které slouží pro vyvážení součástí. Součást s vyvažovacím tělískem je na obrázku 4.3.



Obr. 4.3. Kontrola drážky vyvažovacím tělískem.

4.4 Vyhodnocení kontroly

Kontrola na měřeném vzorku proběhla bez zjištění neodpovídajících parametrů. Jak je možné vidět v měřicím protokolu (příloha 5), všechny měřené rozměry vyhovují předepsaným tolerancím, a dokonce není nutné provádět ani minimální korekce rozměrů na multifunkčním centru pro výrobu dalšího kusu v sérii.

Součást také vyhověla při kontrole jakosti povrchu, když byla naměřena průměrná aritmetická úchylka v otvoru Ø79 H7 $R_a = 1,054 \mu\text{m}$ a na povrchu Ø15,4 bylo naměřeno $R_a = 1,152 \mu\text{m}$. Ani 16 % naměřených hodnot tedy nepřesahovalo předepsanou hodnotu $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. V otvoru Ø79 H7 byla dále naměřena hodnota parametru $R_z = 6,231 \mu\text{m}$ a na Ø15,4 hodnota parametru $R_z = 5,576 \mu\text{m}$. Součást tedy nepřesáhla ani v jednom případě hodnotu $R_z = 10 \mu\text{m}$.

Praktická zkouška vyvažovacím tělískem proběhla bez jakýchkoli problémů. Drážka je tedy odpovídající požadavkům.

Všechny kontrolované hodnoty vyhovují požadavkům zákazníka.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

5.1 Návrh polotovarů

V této podkapitole je srovnání polotovaru přířezu a odlitku. Srovnání je především po stránce spotřeby materiálu.

5.1.1 Polotovar – přířez

Rozměr polotovaru:

Přídavek na průměr se spočte dle vztahu (5.1). [7]

$$p = 0,05 \cdot D + 2$$

$$p = 0,05 \cdot 220 + 2 = 13 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Kde:

D	[mm]	maximální průměr součásti
p	[mm]	přídavek na průměr

Průměr přířezu se spočte dle vztahu (5.2). [7]

$$d = D + p$$

$$d_0 = 220 + 13 = 233 \text{ mm} \rightarrow \text{Průměr polotovaru } d = 240 \text{ mm} \quad (5.2)$$

Kde:

D	[mm]	maximální průměr součásti
d	[mm]	průměr polotovaru
p	[mm]	přídavek na průměr

Délka přířezu se spočte dle vztahu (5.3). [7]

$$l_0 = l_s + (2 \text{ až } 4)$$

$$l_0 = 109 + 4 = 113 \text{ mm} \quad (5.3)$$

Kde:

l_0	[mm]	délka polotovaru
l_s	[mm]	maximální délka součásti

Na základě těchto hodnot je zvolena tyč ocelová kruhová s jakostí S355J2+N, která se vyznačuje obdobnými vlastnostmi jako materiál EN-GJS-400-18-LT.

Výpočet normy spotřeby materiálu:

Při zpracování tyčí vznikají ztráty dělením, obráběním přídavek a z konce tyče, který není rozměrově využitelný.

Norma spotřeby materiálu – přířez se spočte dle vztahu (5.4). [3]

$$N_m = Q_s + Z_m \quad (5.4)$$

Kde:

N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu
Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti
Z_m	[kg]	celkové ztráty materiálu na jednici

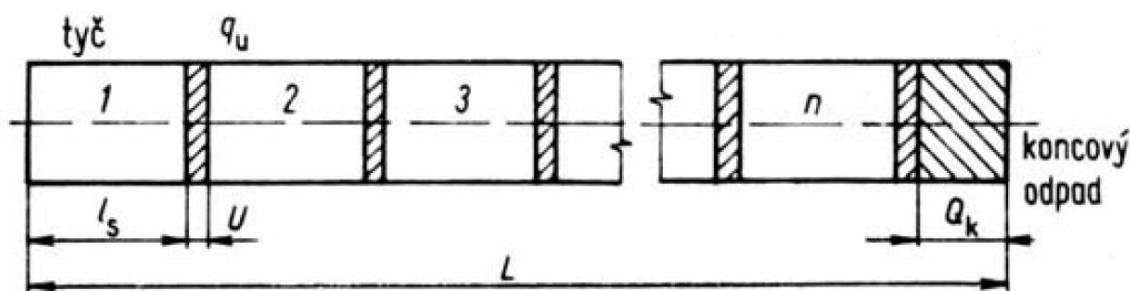
Celková ztráta materiálu na jednici – přířez se spočte dle vztahu (5.5). [3]

$$Z_m = q_k + q_u + q_o \quad (5.5)$$

Kde:

Z_m	[kg]	celkové ztráty materiálu na jednici
q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici
q_u	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením, připadající na jednici
q_o	[kg]	ztráta vzniklá obráběním přídatku přířezu

Značení je uvedeno na obrázku 5.1.



Obr. 5.1. Ztráta materiálu z tyče. [3]

Ztráta materiálu vzniklá dělením připadající na jednici se spočte dle vztahu (5.6). [3]

$$q_u = u \cdot S \cdot \rho$$

$$q_u = 1,3 \cdot \frac{\pi \cdot 140^2}{4} \cdot 7,15 \cdot 10^{-6} = 0,14 \text{ kg} \quad (5.6)$$

Kde:

q_u	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením, připadající na jednici
u	[kg]	tloušťka řezu
S	[mm ²]	plocha průřezu
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota materiálu

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici se spočte dle vztahu (5.7). [3]

$$q_k = \frac{Q_k}{n} \quad (5.7)$$

Kde:

q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici
Q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče
n	[ks]	počet přířezů z tyče

Počet přířezů z tyče se spočte dle vztahu (5.8). [3]

$$n = \frac{L_t}{l_0 + u}$$

$$n = \frac{3000}{113 + 1,3} = 26,25 \rightarrow 26 \text{ ks} \quad (5.8)$$

Kde:

n	[ks]	počet přířezů z tyče
L_t	[m]	délka tyče
l_0	[mm]	délka polotovaru - přířezu
u	[kg]	tloušťka řezu

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče se spočte dle vztahu (5.9). [3]

$$Q_k = V_{vz} \cdot \rho$$

$$Q_k = \frac{\pi \cdot 240^2}{4} \cdot [3000 - (113 + 1,3) \cdot 26] \cdot 7,15 \cdot 10^{-6} = 9,12 \text{ kg} \quad (5.9)$$

Kde:

Q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče
V_{vz}	[m ³]	objem nevyužitého konce materiálu
ρ	[kg · m ⁻³]	hustota materiálu

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici se spočte dle vztahu (5.7). [3]

$$q_k = \frac{Q_k}{n}$$

$$q_k = \frac{9,12}{26} = 0,35 \text{ kg}$$

Ztráta materiálu vzniklá obráběním polotovaru - přířezu se spočte dle vztahu (5.10). [3]

$$q_o = Q_p - Q_s$$

$$q_{op} = 38,82 - 6,29 = 32,53 \text{ kg} \quad (5.10)$$

Kde:

q_{op}	[kg]	hmotnost polotovaru - odlitku
Q_{pp}	[kg]	hmotnost polotovaru - přířezu
Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti

Hmotnosti byly vygenerovány v programu Autodesk INVENTOR Professional 2015.

Celková ztráta materiálu na jednici – přířez se spočte dle vztahu (5.5). [3]

$$Z_m = q_k + q_u + q_o$$

$$Z_m = 0,35 + 0,14 + 32,53 = 33,02 \text{ kg}$$

Norma spotřeby materiálu - přířez se spočte dle vztahu (5.4). [3]

$$N_m = Q_s + Z_m$$

$$N_m = 6,29 + 33,02 = 39,31 \text{ kg}$$

Celková norma spotřeby materiálu - přířez se spočte dle vztahu (5.11). [3]

$$N_{mc} = N_m \cdot X_{ks}$$

$$N_{mc} = 39,31 \cdot 40 = 1572,4 \text{ kg} \quad (5.11)$$

Kde:

N_{mc}	[kg]	celková norma spotřeby materiálu - přířez
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu - přířez
X_{ks}	[ks]	počet součástí

Stupeň využití materiálu - přířez se spočte dle vztahu (5.12). [3]

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m}$$

$$k_m = \frac{6,29}{39,31} = 0,16 \quad (5.12)$$

Kde:

k_m	[-]	stupeň využití materiálu
Q_s	[kg]	hmotnost součásti
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu - přířez

Ve strojírenství bývá při obrábění obvykle stupeň využití materiálu v rozmezí $k_m = 0,4$ až $0,8$.

Stupeň využití materiálu slouží k celkovému posouzení pracnosti součásti a pokrokovosti použitých technologií. V praxi je snaha dosáhnout stavu, kdy se stupeň využití materiálu $k_m = 1$. Zvětšením stupně využití materiálu tak zmenšujeme množství odebraných třísek, čímž se šetří čas obrábění, řezné nástroje a s těmito fakty spojené výrobní náklady. [7]

Stupeň využití materiálu přířezu $k_{mp} = 0,16$ tedy není příliš hospodárná varianta.

5.1.2 Polotovár – odlitek

Odlitek (příloha 2) je dodávám zákazníkem. Rozměry tohoto odlitku tedy budou brány jako zadané hodnoty.

Výpočet normy spotřeby materiálu odlitku:

Při zpracování odlitků vznikají ztráty při obrábění přídavků.

Norma spotřeby materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.4). [3]

$$N_m = Q_s + Z_m \quad (5.4)$$

Kde:

N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu
Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti
Z_m	[kg]	celkové ztráty materiálu na jednici

Celková ztráta materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.13). [3]

$$Z_m = q_o \quad (5.13)$$

Kde:

Z_m	[kg]	celkové ztráty materiálu na jednici
q_o	[kg]	ztráta vzniklá obráběním přídavku

Ztráta materiálu vzniklá obráběním polotovaru – odlitek se spočte dle vztahu (5.14). [3]

$$q_o = Q_{p2} - Q_s$$

$$q_o = 9,41 - 6,29 = 3,12 \text{ kg} \quad (5.14)$$

Kde:

Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti
q_o	[kg]	ztráta vzniklá obráběním přídavku přířezu
Q_{p2}	[kg]	hmotnost polotovaru

Hmotnosti byly vygenerovány v programu Autodesk INVENTOR Professional 2015.

Celková ztráta materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.13). [3]

$$Z_m = q_o$$

$$Z_m = 3,12 \text{ kg}$$

Norma spotřeby materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.4). [3]

$$N_m = Q_s + Z_m$$

$$N_m = 6,29 + 3,12 = 9,41 \text{ kg}$$

Celková norma spotřeby materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.11) [3]

$$N_{mc} = N_m \cdot X_{ks}$$

$$N_{mc} = 9,41 \cdot 40 = 376,4 \text{ kg}$$

Kde:

N_{mc}	[kg]	celková norma spotřeby materiálu
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu
X_{ks}	[ks]	výrobní dávka

Stupeň využití materiálu - odlitek se spočte dle vztahu (5.12). [3]

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m}$$

$$k_m = \frac{6,29}{9,41} = 0,67 \text{ kg}$$

Kde:

k_m	[-]	stupeň využití materiálu
Q_s	[kg]	hmotnost součásti
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu

Stupeň využití materiálu odlitku $k_m = 0,67$ je větší než stupeň využití materiálu přířezu $k_m = 0,16$ a odpovídá zvyklostem obrábění ve strojírenství. Jde tedy o jeden z parametrů, kvůli kterým zákazník upřednostnil výrobu součásti z litého polotovaru a to i v takto malé sérii 40 kusů.

5.1.3 Ekonomické srovnání polotovarů

Pro menší výrobní série by bylo obecně výhodnější zvolit jako polotovar přířez. Zakázka čtyřiceti kusů této součástky je však jednorázově zadána a frekvence

zakázek záleží na odbytu celků, v nichž je tento komponent umístěn. Je tedy logickým krokem, vzhledem k hospodárnosti výroby, zvolit jako polotovar odlitek, který z porovnání (tab. 5.1) odpovídá zvyklostem obrábění.

Vyhodnocení výrobních nákladů pro polotovar přířezu a odlitku je v tomto případě nemožné a to z důvodu utajení ceny odlitku.

Tab. 5.1 Srovnání vypočtených hodnot.

	Značka	Přířez	Odlitek
Výrobní dávka	X_{ks} [ks]	40	
Ztráta materiálu na jednotici	Z_m [kg]	33,02	3,12
Norma spotřeby materiálu	N_m [kg]	39,31	9,41
Celková spotřeba materiálu	N_{mc} [kg]	1572,4	376,4
Stupeň využití materiálu	k_m [-]	0,16	0,67

5.2 Výpočet výrobních nákladů obráběného úseku

Hrubování plochy Ø111/45 (a Ø117/66 pro polotovar – přířez), za stejných parametrů obrábění, z polotovaru přířezu (obr. 5.2) a odlitku (obr. 5.3) nástrojem T1 (příloha 4.1).

Otáčky obrobku se spočtou dle vztahu (5.15). [8]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (5.15)$$

Kde:

v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
D	[mm]	průměr obrobku
n	[min ⁻¹]	otáčky obrobku

Jednotkový čas podélného soustružení se spočte dle vztahu (5.16). [8]

$$t_{AS} = \frac{L_S \cdot i}{v_f} = \frac{L_S \cdot i}{n \cdot f} = \frac{\pi \cdot D_x \cdot \left(l_n + l + l_p - \frac{l_r}{i} \right) \cdot i}{1000 \cdot v_c \cdot f} \quad (5.16)$$

Kde:

t_{AS}	[min]	jednotkový čas podélného soustružení
L_S	[mm]	délka soustružené plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
l_r	[mm]	délka rozdílů
l	[mm]	délka soustružení
v_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost
D_x	[mm]	průměr obráběné plochy
f	[mm]	posuv na otáčku
i	[-]	počet záběrů

Počet záběrů se spočte dle vztahu (5.17).

$$i = \frac{(d - D_1)}{2 \cdot a_p} \quad (5.17)$$

Kde:

i	[-]	počet záběrů
d	[mm]	průměr polotovaru - přířezu
D ₁	[mm]	průměr obráběné plochy - přířezu
a _p	[mm]	hloubka záběru

Celkový čas výroby jedné plochy na celou sérii se spočte dle vztahu (5.18).

$$t_{cs} = \frac{X_{ks} \cdot (t_{AS} + t_{AV})}{60} \quad (5.18)$$

Kde:

t _{cs}	[h]	celkový čas výroby jedné plochy na celou sérii
t _{AS}	[min]	jednotkový čas podélného soustružení
t _{AV}	[min]	jednotkový vedlejší
X _{ks}	[ks]	výrobní dávka

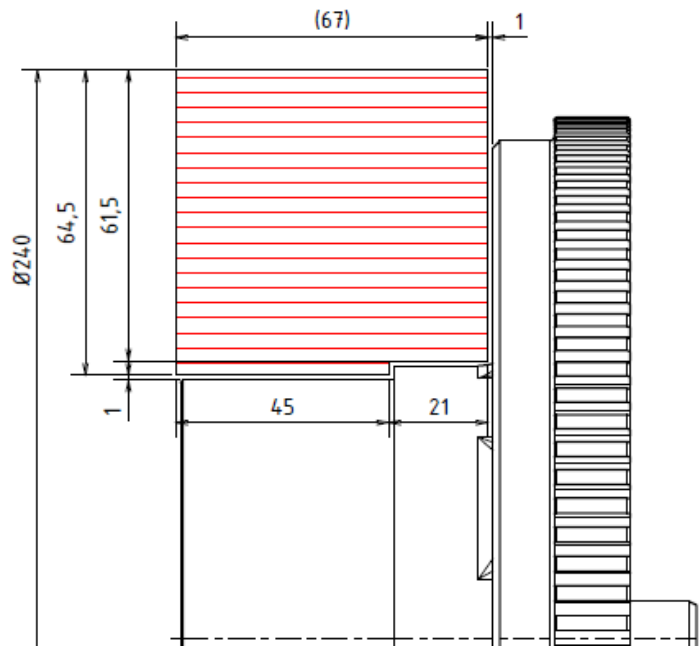
Celkové výrobní náklady soustružené plochy pro sérii se spočtou dle vztahu (5.19).

$$C_{ps} = t_{cs} \cdot B \quad (5.19)$$

Kde:

C _{ps}	[Kč]	celkové výrobní náklady soustružené plochy pro sérii
t _{cs}	[h]	celkový čas výroby jedné plochy na celou sérii
B	[Kč]	cena normohodiny SF

5.2.1 Polotovár – přířez



Obr. 5.2 Obrábění vybrané plochy polotovaru - přířez.

Počet záběrů se spočte dle vztahu (5.17).

$$i = \frac{(d - D_1)}{2 \cdot a_p}$$

$$i = \frac{(240 - 111)}{2 \cdot 3} = 21,5 \div 22 [-]$$

Jednotkový čas podélného soustružení - přířezu se spočte dle vztahu (5.16).

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D_x \cdot \left(l_n + l + l_p - \frac{l_r}{i} \right) \cdot i}{1000 \cdot v_c \cdot f}$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot 111 \cdot \left(1 + 66 + 0 - \frac{21}{22} \right) \cdot 22}{1000 \cdot 300 \cdot 0,3} = 5,63 \text{ min}$$

Celkový čas soustružení plochy na celou sérii se spočte dle vztahu (5.18).

$$t_{cs} = \frac{X_{ks} \cdot (t_{AS} + t_{AV})}{60}$$

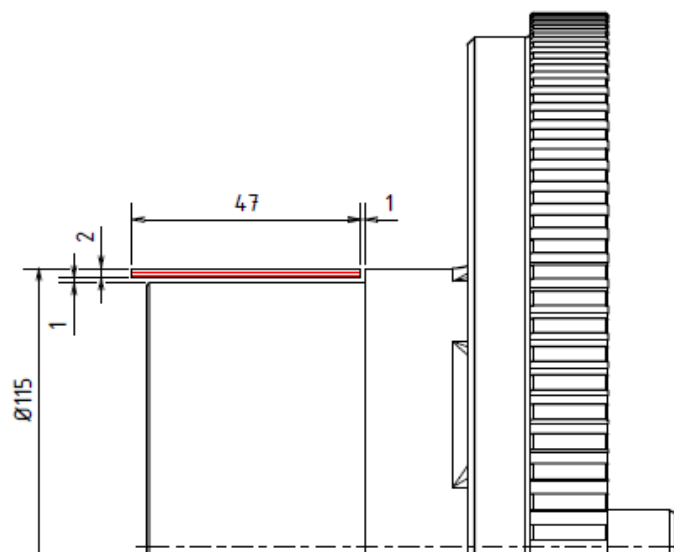
$$t_{cs} = \frac{40 \cdot (5,63 + 0,02)}{60} = 3,77 \text{ h}$$

Celkové výrobní náklady soustružené plochy pro sérii se spočtou dle vztahu (5.19).

$$C_{ps} = t_{cs} \cdot B$$

$$C_{ps} = 3,77 \cdot 1500 = 5655 \text{ Kč}$$

5.2.2 Polotovár – odlitek



Obr. 5.3. Obrábění vybrané plochy polotovaru - odlitek.

Počet záběrů se spočte dle vztahu (5.17).

$$i = \frac{(d - D_1)}{2 \cdot a_p}$$

$$i = \frac{(115 - 111)}{2 \cdot 2} = 1 [-]$$

Jednotkový čas podélného soustružení - odlitku se spočte dle vztahu (5.16).

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D_x \cdot (l_n + l + l_p - \frac{l_r}{i}) \cdot i}{1000 \cdot v_c \cdot f}$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot 111 \cdot (3 + 44 + 0 - 0) \cdot 1}{1000 \cdot 300 \cdot 0,3} = 0,18 \text{ min}$$

Celkový čas soustružení plochy na celou sérii se spočte dle vztahu (5.18).

$$t_{cs} = \frac{X_{ks} \cdot (t_{AS} + t_{AV})}{60}$$

$$t_{cs} = \frac{40 \cdot (0,18 + 0,02)}{60} = 0,13 \text{ h}$$

Celkové výrobní náklady soustružené plochy pro sérii se spočtou dle vztahu (5.19).

$$C_{ps} = t_{cs} \cdot B$$

$$C_{ps} = 0,13 \cdot 1500 = 195 \text{ Kč}$$

5.2.3 Porovnání výrobních nákladů obráběné plochy

Čas a výrobní náklady jsou porovnány v souhrnné tabulce (tab. 5.2). Z tohoto porovnání vyplývá, že náklady na obrábění odlitku jsou nižší, než náklady na obrábění součásti z polotovaru přířezu.

Tab. 5.2 Souhrnná tabulka výrobních nákladů pro vybraný úsek.

	Značka	Přířez	Odlitek
Výrobní dávka	X_{ks} [ks]	40	
Počet záběrů	i [-]	22	1
Jednotkový čas podélného soustružení	t_{AS} [min]	5,63	0,18
Celkový čas výroby jedné plochy na celou sérii	t_{cs} [h]	3,77	0,13
Celkové výrobní náklady soustružené plochy pro sérii	C_{ps} [Kč]	5655	195

5.3 Celkové výrobní náklady

Výrobní náklady jsou určeny dle zvyklostí firmy ZAKO Turčín s.r.o. Náklady na hodinu práce pro jednotlivé pracoviště jsou tedy převzaty (tab. 5.3). Náklady na hodinu práce se skládají z manažerského odpisu stroje, přímých výrobních nákladů, nepřímých výrobních nákladů a nepřímých správních nákladů.

Manažerský odpis stroje je cena stroje rozpočítaná na jeho hodinové využití. Tento odpis může být měněn vrcholným vedením firmy dle stanovených strategií.

Přímé výrobní náklady jsou stanoveny z mezd pracovníků na stroji, spotřeby nástrojů, energie, náradí a také z údržby daného stroje.

Do nepřímých výrobních nákladů spadá například plat vedoucího pracovníka a kontrolorů, cena manipulace s materiálem, odpisy na vybavení a renovaci kontroly, odpisy budov, cena spotřebovaného tepla, údržby budov a podobně.

Nepřímé správní náklady jsou sestaveny z platů zaměstnanců managementu (technologie přípravy výroby, ekonomické oddělení, IT, atd.) a z platů zaměstnanců logistického střediska, které má na starosti nákup materiálu, polotovarů, zajištění povrchových úprav, kooperací, dopravy a obdobných činností. [28]

Výrobní náklady jsou stanoveny pro tři různé varianty výroby. Časy jednotlivých operací první a druhé výrobní varianty jsou odpozorovány z výrobního procesu. Ve třetí variantě (nová technologická varianta) je čas výroby na multifunkčním CNC centru stanoven z programu EdgeCAM 2015 R1 10.2.

Časy jednotlivých výrobních variant jsou stanoveny pro výrobu jednoho a čtyřiceti kusů součástí.

Tab. 5.3. Hodinové sazby pracovišť. [28]

Pracoviště	Značka	H.s. přípravy (seřízení) [Kč]	H.s. výroby [Kč]
Pásová pila Mod 370 SA	PI	300	350
CNC soustruh SPR 100 CNC	SPR	450	500
CNC soustruh SL 403 BMC / 800	SL	700	750
Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060	MCFV	800	850
Soustružnicko-frézovací centrum CTX gamma 2000 TC / liner	SF	600	1500
Mechanik	ME	400	400

Celkový čas výrobní varianty se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60} \quad (5.20)$$

Kde:

t_c	h	celkový čas výrobní varianty
t_{vc}	min	čas výroby celkový
t_{pc}	min	čas přípravy celkový
X_{ks}	ks	výrobní dávka

Výrobní náklady se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot H_{sp}}{60} + \frac{(t_v \cdot H_{sv}) \cdot X_{ks}}{60} \quad (5.21)$$

Kde:

N	Kč	výrobní náklady
t_p	min	čas přípravy
t_v	min	čas výroby
X_{ks}	ks	výrobní dávka
H_{sp}	Kč	hodinová sazba přípravy
H_{sv}	Kč	hodinová sazba výroby

5.3.1 První varianta výroby

V této výrobní variantě je polotovár dělen z tyčového materiálu Ø240 na poloautomatické pásové pile Mod 370 SA 60°. Polotovár je hrubován a soustružen na stroji SPR 100 CNC, který je pro tuto operaci vhodný kvůli svému výkonu a nižším nákladům na hodinu výroby oproti stroji SL 403 BMC / 800, na kterém jsou prováděny dokončovací soustružnické operace. Frézovací operace jsou zhotoveny na stroji MCFV 1060.

Pro jednotlivé stroje jsou tyto časy operací sečteny a uvedeny v tabulce 5.4.

Tab. 5.4 Časy - první varianta.

Název pracoviště	Zkratka	Čas přípravy t_p [min]	Čas výroby t_v [min]
Pásová pila Mod 370 SA 60°	PI	15	16,5
Soustruh SPR 100 CNC	SPR	120	80
Soustruh SL 403 BMC / 800	SL	120	33,5
Frézka MCFV 1060	MCFV	300	306,5
Mechanik	ME	25	61
Celkem [min]		580	497,5
Celkový čas první výrobní varianty pro 1 ks [h]		18	
Celkový čas první výrobní varianty pro 40 ks [h]		341	
Výrobní náklady na 1 ks [Kč]		12472	
Výrobní náklady na 40 ks [Kč]		243758	

Celkový čas první výrobní varianty – 1 kus se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60}$$

$$t_{1c1} = \frac{1 \cdot 497,5 + 580}{60} = 18 \text{ h}$$

Kde:

t_{1c1}

h

celkový čas první výrobní varianty jednoho kusu

Celkový čas první výrobní varianty – 40 kusů se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60}$$

$$t_{1c40} = \frac{40 \cdot 497,5 + 580}{60} = 341 \text{ h}$$

Kde:

t_{1c40}

h

celkový čas první výrobní varianty čtyřiceti kusů

Výrobní náklady první výrobní varianty – 1 kus se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{1,1} = \frac{15 \cdot 300 + 120 \cdot 450 + 120 \cdot 700 + 300 \cdot 800 + 25 \cdot 400}{60} + \frac{(16,5 \cdot 350 + 80 \cdot 500 + 33,5 \cdot 750 + 306,5 \cdot 650 + 61 \cdot 400) \cdot 1}{60}$$

$$= 12472 \text{ Kč}$$

Výrobní náklady první výrobní varianty – 40 kusů se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{1,40} = \frac{15 \cdot 300 + 120 \cdot 450 + 120 \cdot 700 + 300 \cdot 800 + 25 \cdot 400}{60} + \frac{(16,5 \cdot 350 + 80 \cdot 500 + 33,5 \cdot 750 + 306,5 \cdot 650 + 61 \cdot 400) \cdot 40}{60}$$

$$= 243758 \text{ Kč}$$

5.3.2 Druhá varianta výroby

Součást je vyráběna z polotovaru odlitku (příloha 2), tudíž odpadá dělení materiálu na pásové pile. Obráběcí stroje využitě pro výrobu, jsou totožné jako v první výrobní variantě. Vzhledem k tomu, že se zmenšilo množství odebíraného materiálu (viz 5.2.3 porovnání výrobních nákladů obráběné plochy), tak se také zmenšily výrobní časy na obráběcích strojích, čas přípravy u frézky MCFV 1060 a výrobní čas mechanika, který nedokončuje některé lité plochy (tab. 5.5).

Tab. 5.5. Časy - druhá varianta.

Název pracoviště	Zkratka	Čas přípravy t_p [min]	Čas výroby t_v [min]
Soustruh SPR 100 CNC	SPR	120	24
Soustruh SL 403 BMC / 800	SL	120	43
Frézka MCFV 1060	MCFV	240	77,9
Mechanik	ME	20	36
Celkem [min]		500	180,9
Celkový čas druhé výrobní varianty pro 1 ks [h]		11,3	
Celkový čas druhé výrobní varianty pro 40ks [h]		128,9	
Výrobní náklady na 1 ks [Kč]		7714	
Výrobní náklady na 40 ks [Kč]		88877	

Celkový čas druhé výrobní varianty – 1 kus se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60}$$

$$t_{2c1} = \frac{1 \cdot 180,9 + 500}{60} = 11,3 \text{ h}$$

Kde:

t_{2c1}

h

celkový čas druhé výrobní varianty jednoho kusu

Celkový čas druhé výrobní varianty – 40 kusů se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60}$$

$$t_{2c40} = \frac{40 \cdot 180,9 + 500}{60} = 128,9 \text{ h}$$

Kde:

t_{2c40} h celkový čas druhé výrobní varianty čtyřiceti kusů

Výrobní náklady druhé výrobní varianty – 1 kus se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{2,1} = \frac{120 \cdot 450 + 120 \cdot 700 + 240 \cdot 800 + 20 \cdot 400}{60} + \frac{(24 \cdot 500 + 43 \cdot 750 + 77,9 \cdot 850 + 36 \cdot 400) \cdot 1}{60} = 7714 \text{ Kč}$$

Výrobní náklady druhé výrobní varianty – 40 kusů se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{2,40} = \frac{120 \cdot 450 + 120 \cdot 700 + 240 \cdot 800 + 20 \cdot 400}{60} + \frac{(24 \cdot 500 + 43 \cdot 750 + 77,9 \cdot 850 + 36 \cdot 400) \cdot 40}{60} = 88877 \text{ Kč}$$

5.3.3 Třetí varianta výroby

Součást „pulzní kolo“ je vyráběna z polotovaru odlitku (příloha 2) na CNC multifunkčním centru gamma CTX 2000 TC. V této výrobní variantě vznikne úspora času vzhledem optimálnější volbě polotovaru (jako ve druhé výrobní variantě). Úspora času také vznikne „odbouráním“ příprav strojů. Čas přípravy na SF bude však nabývat větších hodnot než na běžných konvenčních strojích z důvodu seřízení více nástrojů, instalace dvou vřeten a celkově vyšší náročnosti na odladění stroje. Z času přípravy však odpadá nutnost instalace přídatného dělicího zařízení. Nejvýraznější časová úspora je v samotném čase výroby, který je zkrácen díky současnému obrábění v hlavním vřetení a proti-vřetení. Součást se přepíná mezi vřeteny automaticky, což také šetří čas výroby. Stroj je celkově výkonnější a rychlejší. Příslušné časy jsou uvedeny v tabulce 5.6.

Tab. 5.6. Časy - třetí varianta.

Název pracoviště	Zkratka	Čas přípravy t_p [min]	Čas výroby t_v [min]
CNC multifunkčním centru gamma CTX 2000 TC	SF	480	75
Mechanik	ME	20	36
Celkem [min]		500	111
Celkový čas třetí výrobní varianty pro 1 ks [h]		10,2	
Celkový čas třetí výrobní varianty pro 40 ks [h]		82,3	
Výrobní náklady na 1 ks [Kč]		6808	
Výrobní náklady na 40 ks [Kč]		79933	

Celkový čas třetí výrobní varianty – 1 kus se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60} \quad (5.22)$$

$$t_{3c1} = \frac{1 \cdot 111 + 500}{60} = 10,2 \text{ h}$$

Kde:

t_{3c1} h celkový čas třetí výrobní varianty jednoho kusu

Celkový čas třetí výrobní varianty – 40 kusů se spočte dle vztahu (5.20).

$$t_c = \frac{X_{ks} \cdot t_{vc} + t_{pc}}{60}$$

$$t_{3c40} = \frac{40 \cdot 111 + 500}{60} = 82,3 \text{ h}$$

Kde:

t_{3c40} h celkový čas třetí výrobní varianty čtyřiceti kusů

Výrobní náklady třetí výrobní varianty – 1 kus se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{3,1} = \frac{480 \cdot 600 + 20 \cdot 400}{60} + \frac{(75 \cdot 1500) \cdot 1}{60} = 6808 \text{ Kč}$$

Výrobní náklady třetí výrobní varianty – 40 kusů se spočtou dle vztahu (5.21).

$$N = \frac{t_p \cdot Hs_p}{60} + \frac{(t_v \cdot Hs_v) \cdot X_{ks}}{60}$$

$$N_{3,1} = \frac{480 \cdot 600 + 20 \cdot 400}{60} + \frac{(75 \cdot 1500) \cdot 40}{60} = 79933 \text{ Kč}$$

5.3.4 Porovnání výrobních variant

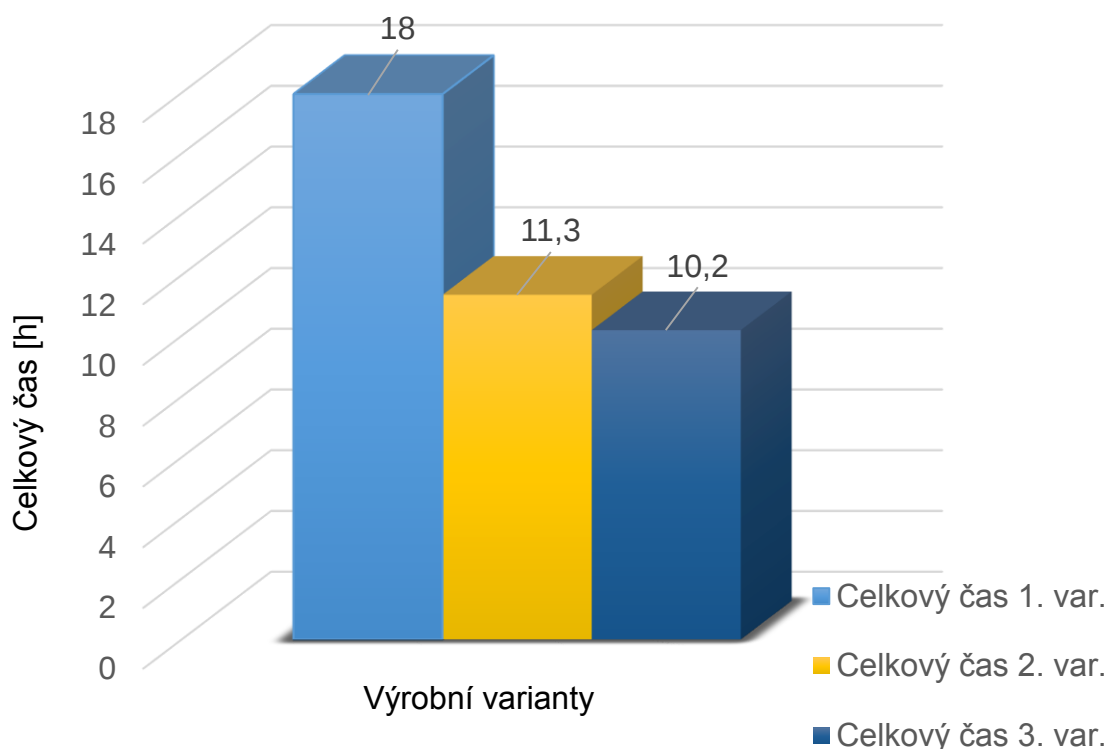
Největší rozdíl v čase (při výrobě jednoho kusu) je možné pozorovat mezi první a třetí výrobní variantou. Tento rozdíl je způsoben především volbou polotovaru, kdy třetí výrobní varianta obrábí součást z odlitku a první varianta z přířezu. Dalším důležitým rozdílem je volba výkonnějšího multifunkčního stroje ve třetí variantě. Rozdíl mezi druhou a třetí výrobní variantou jednoho kusu (obr. 5.4) není na první pohled nijak markantní. To je způsobeno především stanovením stejně velkého přípravného času. Markantní posun v produktivitě je však možné pozorovat u výrobního času, který je pro třetí výrobní variantu o 38,6 % nižší než pro druhou variantu. Tento rozdíl se tedy projeví především při větší výrobní dávce (obr. 5.5). Zadaná výrobní dávka je 40 ks.

Cenové srovnání výroby jednoho a čtyřiceti kusů je znázorněno na obrázku 5.6 a obrázku 5.7. Z těchto grafů vyplývá, že výrobní varianta jedna je nevhodná pro sériovou či hromadnou výrobu, ale nebyl by problém využít tuto variantu pro výrobu vzorku před zahájením hromadné, či sériové výroby. Pomocí třetí výrobní varianty lze uspořit 10% z ceny oproti druhé výrobní variantě.

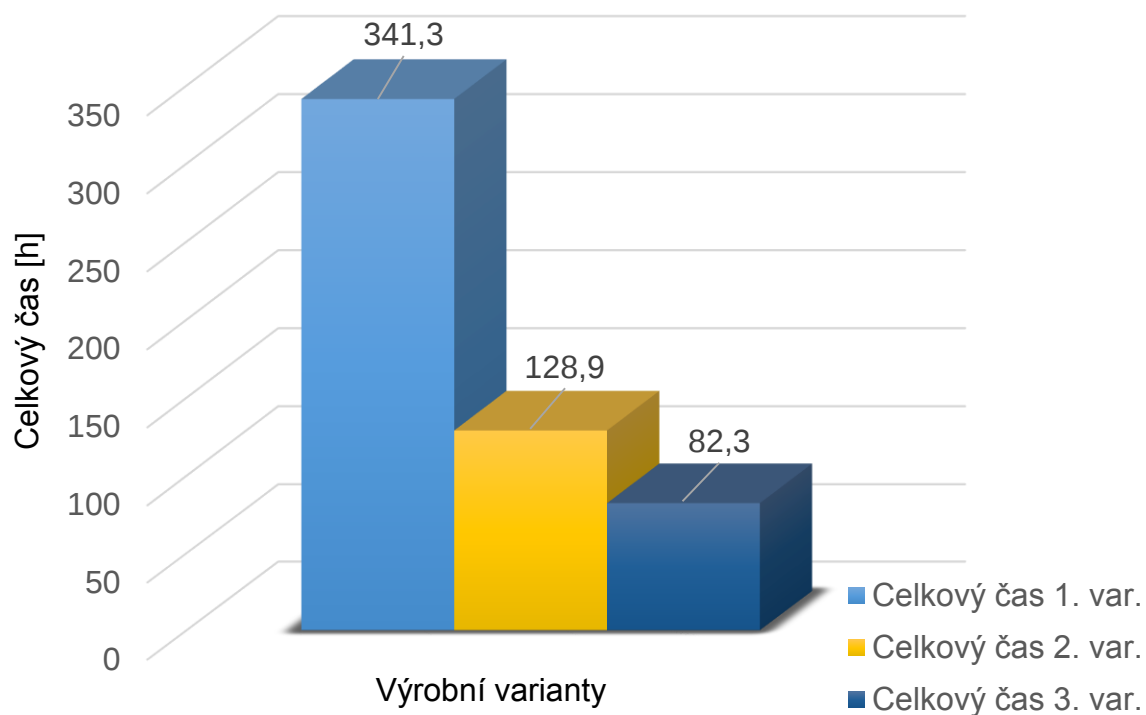
Srovnání výrobních variant je ukázáno také v tabulce 5.7.

Tab. 5.7 Srovnání výrobních variant.

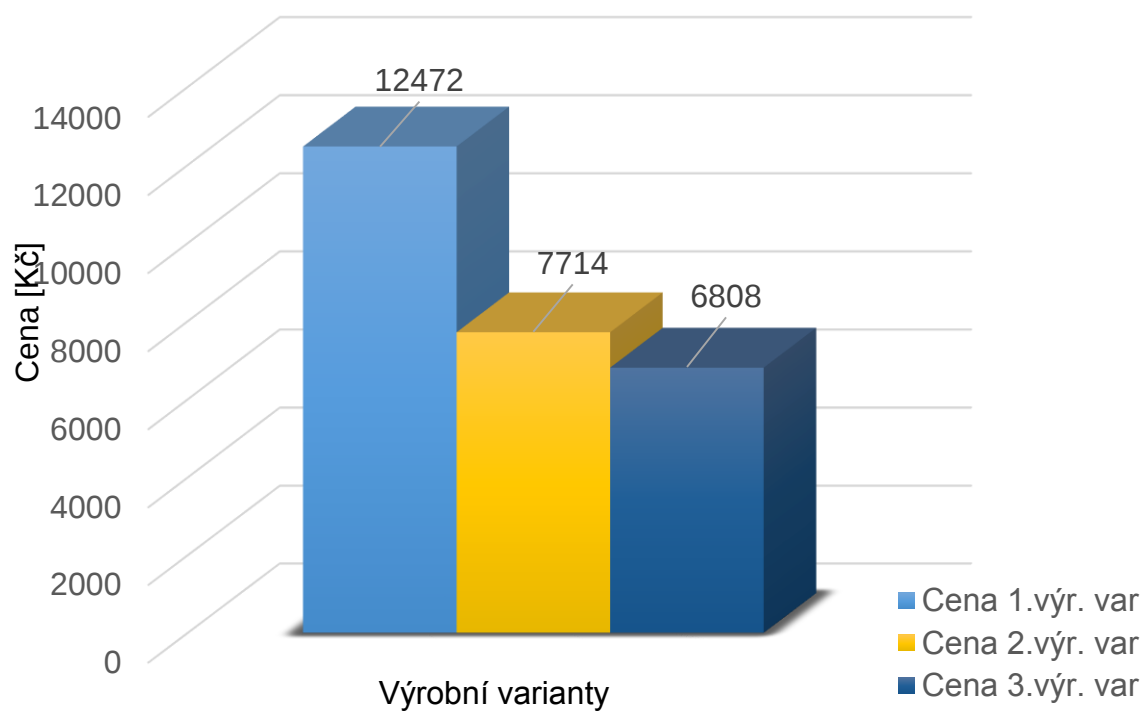
	První výrobní varianta	Druhá výrobní varianta	Třetí výrobní varianta
Celkový čas výroby pro 1 ks [h]	18	11,3	10,2
Celkový čas výroby pro 40 ks [h]	341	128,9	82,3
Výrobní náklady na 1 ks [Kč]	12472	7714	6808
Výrobní náklady na 40 ks [Kč]	243758	88877	79933



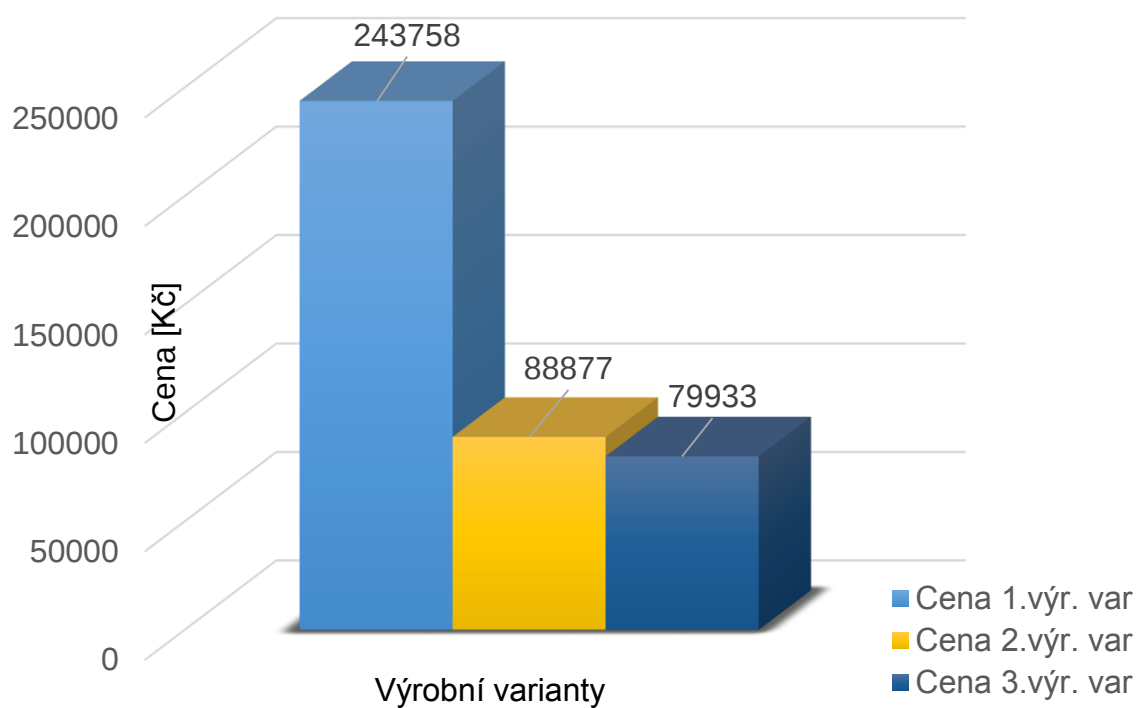
Obr. 5.4. Porovnání výrobních variant pro 1 ks.



Obr. 5.5. Porovnání výrobních variant pro 40 ks.



Obr. 5.6. Cenové porovnání výrobních variant pro 1 ks.



Obr. 5.7. Cenové porovnání výrobních variant pro 40 ks.

6 DISKUZE

Bakalářská práce začíná vytipováním vhodné rotační součásti. Toto vytipování bylo ovlivněno požadavkem na urychlení výrobního procesu. Potencionální urychlení procesu je největší pro součást, která obsahuje kombinaci rotačních, frézovaných a vrtaných ploch.

Pro vytipovanou součást „pulzní kolo“ byl vyhotoven konstrukční a materiálový rozbor. Konstrukce i materiál součásti jsou pevně zadány zákazníkem. V technologičnosti součásti je bližší rozbor výrobních úchylek rozměrů, jakosti povrchu a hlavních ukazatelů technologičnosti, které naznačují výhodnost využití polotovaru odlitku vzhledem k využití materiálu.

Značení jakosti povrchu dané součásti odpovídá normě DIN ISO 1302. Toto značení není ve výrobních podmínkách daného podniku běžné, proto je výkres součásti doplněn převodovou tabulkou 1.6.

Návrh technologického procesu je přizpůsoben podmínkám a možnostem firmy ZAKO Turčín. s.r.o. Dále jsou vytipovány a popsány stroje pro jednotlivé varianty výroby.

Pásovou pilu Mod 370 SA využívá pouze první výrobní varianta, zbytek strojů pro první a druhou výrobní variantu je totožný (soustružnický stroj SPR 100 CNC, soustružnický stroj Mori Seiki SL 403 BMC / 800 a obráběcí CNC centrum MCFV 1060). Soustružnický stroj SPR 100 CNC je volen pro hrubování součásti kvůli nižší hodinové sazbě než má stroj Mori Seiki SL 403 BMC / 800, který je využit pro dokončovací soustružnické operace.

Pro třetí výrobní variantu je zvoleno multifunkční CNC centrum CTX gamma 2000 TC. Jde o nový stroj, a tak je zapotřebí převést na něj výrobu vytipovaných součástí, u kterých jde využít jeho multifunkčnost a zkrátit tak výrobní čas a náklady s výrobou spojené.

Technologický postup je stanoven na základě rozboru vytipované součásti, výkresové dokumentace a výrobních možnostem multifunkčního CNC stroje. V postupu jsou přiřazeny nástroje, které jsou blíže specifikovány v nástrojovém listu.

Práce na stroji proběhla dle předepsaného výrobního postupu, nástrojového listu a posloupnosti obrábění. Jako výhoda se také potvrdilo současné obrábění v hlavním vřetení a protivřetení. Díky tomuto rozdělení bylo výrobu možno urychlit a optimalizovat.

Firma využívá systém řízení jakosti dle normy ISO 9001-2009. Četnost rozměrové kontroly součásti je 100%, tato četnost je dána nutností tvorby měřicího protokolu.

Technicko-ekonomické vyhodnocení srovnává materiálové využití navržených polotovarů, teoretické výrobní náklady na zhotovení jednoho úseku dle volby polotovaru a celkové výrobní náklady pro zvolené výrobní varianty.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout technologické řešení pro výrobu rotační součásti „pulzní kolo“ na CNC multifunkční centrum. Návrh technologického řešení obsahuje technologický postup, nástrojový list a metrologické pomůcky. Technologický postup byl vytvořen pro současné obrábění v hlavním vřetení a protivřetení. V této výrobní variantě se podařilo dosáhnout vyvážení 70 % v hlavním vřetení a 30% v protivřetení. Obrábění v hlavním vřetení je časově náročnější především kvůli výrobě ozubení. Procentuální vyvážení bylo určeno z reálných výrobních časů na stroji. Stroj pomocí řízeného programu automaticky přepne součást mezi čelistmi. Nástrojový list a metrologické pomůcky byly voleny s ohledem na jejich dostupnost v provozu firmy a k sortimentu smluvních dodavatelů.

Součást „pulzní kolo“ bylo úspěšně vyrobeno a zkontrolováno na základě tohoto technologického řešení. Vyrobená součást vyhovuje požadavkům zákazníka.

Navrhnutá technologie výroby je porovnána s technologickými variantami, které se liší svým polotovarem a volbou strojů. Určením polotovaru odlitku bylo dosaženo stupně využití materiálu $k_m = 0,67$. Stupeň využití materiálu z polotovaru přířezu byl vypočten $k_m = 0,16$. Výroba součásti „pulzní kolo“ z polotovaru odlitku tedy svědčí o menší pracnosti výroby a větší pokrokovosti využitých technologií. Vyhodnocení výrobních nákladů pro polotovar přířezu a odlitku je v tomto případě nemožné a to z důvodu utajení ceny odlitku.

Pro porovnání byly provedeny teoretické výpočty výrobních nákladů obráběného úseku Ø111/45 (pro polotovar – přířez navíc Ø117/66), za stejných parametrů obrábění nástrojem T1. Výrobní náklady soustružené plochy pro sérii $X_{ks} = 40$ ks činí pro přířez 5655 Kč a pro odlitek 195 Kč. Tento rozdíl vyplývá z výrobního času, který je pro obrábění přířezu delší. Rozdíl v hodnotě výrobních nákladů je také ovlivněn výběrem obráběného úseku.

Celkové výrobní náklady byly porovnány mezi třemi výrobními variantami a pro výrobu jednoho a čtyřiceti kusů. První výrobní varianta (polotovar – přířez, stroje, pracoviště – PI, SPR, SL, MCFV, ME). Druhá výrobní varianta (polotovar – odlitek; stroje, pracoviště – SPR, SL, MCFV, ME). Třetí výrobní varianta (polotovar – odlitek; stroje, pracoviště – SF, ME). Srovnání výrobních variant je uvedeno v tabulce 5.7.

Tab. 5.7 Srovnání výrobních variant.

	První výrobní varianta	Druhá výrobní varianta	Třetí výrobní varianta
Celkový čas výroby pro 1 ks [h]	18	11,3	10,2
Celkový čas výroby pro 40 ks [h]	341	128,9	82,3
Výrobní náklady na 1 ks [Kč]	12472	7714	6808
Výrobní náklady na 40 ks [Kč]	243758	88877	79933

Úspora času třetí výrobní variantou, oproti první výrobní variantě je 258,7 hodin na výrobní sérii 40 ks, což je úspora 75,9 % času.

Úspora výrobních nákladů třetí variantou oproti první výrobní variantě je 163825 Kč na výrobní sérii 40 ks což je úspora 67,2 %.

Úspora času třetí výrobní variantou, oproti druhé výrobní variantě je 46,6 hodin na výrobní sérii 40 ks, což je úspora 38,6 % času.

Úspora výrobních nákladů třetí variantou, oproti druhé výrobní variantě činí 8944 Kč na výrobní sérii 40 ks, což je úspora 10 %.

Pomocí navrhnuté technologické varianty byl v plné míře splněn cíl, který byl stanoven v samotném úvodu. Díky navrhnuté technologické variantě byly také uspořeny výrobní náklady, což je nad očekávání vzhledem k vyšší ceně normohodiny multifunkčního stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GARANT příručka obrábění. s.l.: s.n., 2006, 641 s.
- [2] Slévárenství: Litina s kuličkovým grafitem. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: CERM, 2002, 158 s. ISBN 802142219x.
- [4] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. 2. uprav. a dopl.vyd. Praha: Scientia, 1999, 911 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [5] ZÁKAZNÍK. *Značky drsnosti povrchu: DIN ISO 1302*. 2015 [vid. 23.5.2015].
- [6] Mitutoyo: Katalog měřicích přístrojů 2014/2015. *Mitutoyo: Česká republika* [online]. 2014 [vid. 2015-05-23]. Dostupné také z: <http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/CZ/index.html?page=318>
- [7] KOČMAN, Karel a Jiří PERNÍKÁŘ. Ročníkový projekt II - obrábění: Studijní opory pro kombinovanou formu bakalářského studia v oboru strojírenská technologie. *Odbor technologie obrábění: Ústav strojírenské technologie* [online]. VUT v Brně, 2002, s. 27 [vid. 2015-05-23]. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
- [8] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Vysoké učení technické v Brně: Ústav strojírenské technologie, 2003, s. 138 [vid. 2015-05-23]. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [9] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. Vysoké učení technické v Brně: Ústav strojírenské technologie, 2004 [vid. 2015-05-23]. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [10] O firmě ZAKO Turčín: O firmě. *ZAKO Turčín* [online]. 2013 [vid. 2015-04-07]. Dostupné také z: <http://www.zakoturcin.cz/O-firme/>
- [11] Certifikáty ZAKO Turčín: Certifikáty. *Zako Turčín* [online]. 2013 [vid. 2015-04-07]. Dostupné také z: <http://www.zakoturcin.cz/Certifikaty/>
- [12] Kovoobrábění ZAKO Turčín: Kovoobrábění. *ZAKO Turčín* [online]. 2013 [vid. 2015-04-07]. Dostupné také z: <http://www.zakoturcin.cz/Kovoobrabeni/>
- [13] Poloautomatická pásová pila na kov Mod. 370 SA 60°: V.I.P. s.r.o.: BIANCO - BTM. *Pásové pily na kov, pilovrtací centra, stroje na zpracování kovů: V.I.P. s.r.o.: BIANCO - BTM* [online]. 2010 [vid. 2015-04-08]. Dostupné také z: [http://www.pily-bianco.cz/pasove-pily-na-kov-bianco/poloautomaticke-pasove-pily/poloautomaticka-pasova-pila-na-kov-mod-370-sa-60-/](http://www.pily-bianco.cz/pasove-pily-na-kov-bianco/poloautomaticke-pasove-pily/poloautomaticka-pasova-pila-na-kov-mod-370-sa-60/)
- [14] Strojní park ZAKO Turčín: Strojní park. *ZAKO Turčín* [online]. 2013 [vid. 2015-04-09]. Dostupné také z: <http://www.zakoturcin.cz/Strojni-park/>
- [15] CNC-INTERSERVICE ZLÍN spol. s r.o.: Soustružnický stroj SPR 63 CNC a SPR 100 CNC. *CNC-INTERSERVICE ZLÍN spol. s r.o.: Generální opravy a modernizace CNC strojů* [online]. © 2009 [vid. 2015-04-09]. Dostupné také z: <http://www.cnczlin.cz/index.php?top=stroje&page=soustruh-spr-63-100>
- [16] KOVO.net: Soustružnický stroj - SPR 100 CNC. *KOVO.net* [online]. © 20 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: <http://www.kovonet.cz/index.php?kategorie=684&type=detail&sub=z&ID=158205>

-
- [17] SL-403: CNC Lathe. *DMG MORI CZ: Machine Tools: CNC Milling Machines: Lathes and Turning Centers* [online]. Japan, 2008 [vid. 2015-04-13]. Dostupné také z: <https://us.dmgmori.com/blob/166112/4c6baaa2b4380da817abdd9a7a7bedeb/pt0uk1408-sl403-pdf-data.pdf>
- [18] Vertikální obráběcí centrum: MCFV 1060. *TAJMAC-ZPS, a.s.* [online] © 2012 [vid. 2015-04-13]. Dostupné také z: http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv1060_cz.pdf
- [19] Technická data: Rozměř pracovního prostoru: Gamma CTX 2000 b.r..
- [20] Sandvik Coromant: Produkty. *Sandvik Coromant: Produkty* [online]. 2015 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products>
- [21] ECatalog Pramet Tools s.r.o.: Vyměnitelné břitové destičky. *ECatalog Pramet Tools s.r.o* [online]. 2015 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: <http://ecat.pramet.com/default.aspx>
- [22] Sanimex. *Ceratizit: EcoCut* [online]. 2015 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: http://www.sanimex.ro/catalog/pdf/EcoCut_EN.pdf
- [23] ISCAR Cutting Tools: Metal Working Tools. *ISCAR Cutting Tools* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: <http://www.iscar.com/eCatalog/>
- [24] HANÁK NÁŘADÍ s.r.o.: VHM Frézy. *HANÁK NÁŘADÍ s.r.o.: McMill* [online]. 2014 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: http://www.hanak.cz/obrakce/vhm_frezy_mcmill.pdf
- [25] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- [26] Střední odborná škola Jana Tiraye Velká Bíteš, příspěvková organizace. *Programování - základní pojmy* [online]. 2013 [vid. 2015-05-27]. Dostupné také z: http://www.sosbites.cz/images/stories/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [27] GLOBAL Performance. *Hexagon Metrology* [online]. © 2015 [vid. 2015-05-24]. Dostupné také z: http://www.hexagonmetrology.cz/GLOBAL-Performance_120.htm#.VWEhFE_tIBd
- [28] TURČÍN, Jiří. *Konzultace ohledně výrobních nákladů*. ZAKO Turčín s.r.o., Březnice 363, Zlín, 2015 [vid. 2015-05-08].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

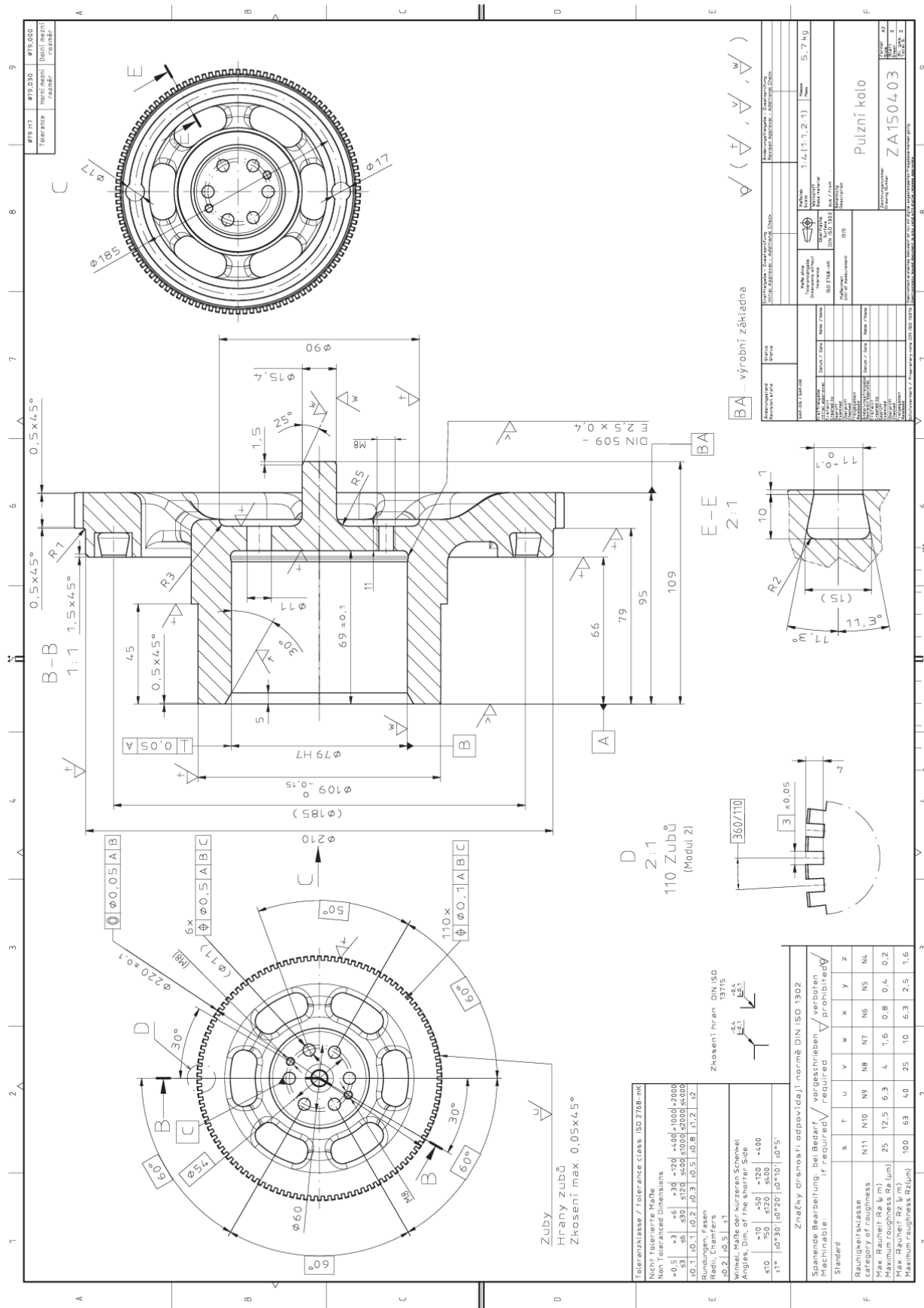
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	%	tažnost
ap	mm	hloubka záběru
B	Kč	cena normohodiny SF
Cps	Kč	celkové výrobní náklady soustružené plochy pro serii
D	mm	maximální průměr součásti
d	mm	průměr polotovaru - přířezu
D ₁	mm	průměr obráběné plochy - přířezu
D _{os}	mm	průměr otočného stolu
D _x	mm	průměr obráběné plochy
f	mm	posuv na otáčku
HBW	-	rozsah tvrdosti podle Brinella
Hi	μm	jakost povrchu Ra
Hsp	Kč	hodinová sazba přípravy
Hsv	Kč	hodinová sazba výroby
i	-	počet záběrů
k _m	-	stupeň využití materiálu
L	m	délka tyče
l	mm	délka soustružení
l ₀	mm	délka polotovaru - přířezu
l _e	mm	délka základních úseků
l _n	mm	délka celkového vyhodnoceného úseku
l _n	mm	délka náběhu
l _p	mm	délka přeběhu
l _r	mm	délka rozdílu
l _s	mm	maximální délka součásti
Ls	mm	délka soustružené plochy
MCFV	-	Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060
ME	-	Mechanik
n	-	počet přířezů z tyče
N	Kč	výrobní náklady
n _c	-	četnost výskytu všech uvažovaných veličin Ra
n _i	-	četnost výskytu
N _m	kg	norma spotřeby materiálu
N _{mc}	kg	celková norma spotřeby materiálu
n _o	min ⁻¹	otáčky obrobku
p	mm	přídavek na průměr
P _i	μm	IT číslo dané operace
PI	-	Pásová pila Mod 370 SA
q _k	kg	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici
Q _k	kg	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče
q _o	kg	ztráta vzniklá obráběním přídavku přířezu
Q _p	kg	hmotnost polotovaru
Q _{p1}	kg	hmotnost polotovaru - přířezu

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Q_{p2}	kg	hmotnost polotovaru - odlitku
Q_s	kg	hmotnost hotové součásti
q_u	kg	ztráta materiálu vzniklá dělením, připadající na jednici
ρ	$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	hustota
R_a	μm	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_m	MPa	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu
R_z	μm	střední prohlubeň drsnosti
S	mm^2	plocha průřezu
SF	-	Soustružnicko-frézovací centrum CTX gamma 2000 TC / liner
SL	-	CNC soustruh SL 403 BMC / 800
SPR	-	CNC soustruh SPR 100 CNC
t	mm	směrodatná tloušťka stěny
t_{1c1}	h	celkový čas první výrobní varianty jednoho kusu
t_{1c40}	h	celkový čas první výrobní varianty čtyřiceti kusů
t_{2c1}	h	celkový čas druhé výrobní varianty jednoho kusu
t_{2c40}	h	celkový čas druhé výrobní varianty čtyřiceti kusů
t_{3c1}	h	celkový čas třetí výrobní varianty jednoho kusu
t_{3c40}	h	celkový čas třetí výrobní varianty čtyřiceti kusů
t_{AS}	min	jednotkový čas podélného soustružení
t_{AV}	min	jednotkový vedlejší
t_c	h	celkový čas výroby ...
t_{cs}	h	celkový čas výroby jedné plochy na celou sérii
t_p	min	čas přípravy
t_{pc}	min	čas přípravy celkový
t_v	min	čas výroby
t_{vc}	min	čas výroby celkový
u	kg	tloušťka řezu
U_h	μm	ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy
U_m	-	ukazatel využití materiálu pro variantu
U_p	μm	ukazatel průměrné přesnosti
v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost
v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	posuvová rychlost
V_{vz}	m^3	objem nevyužitého konce materiálu
X_{ks}	ks	počet součástí
X_{max}	mm	maximální rozjezdy v ose X
Y_{max}	mm	maximální rozjezdy v ose Y
Z_i	mm	aritmetická hloubka profilu
Z_m	kg	celkové ztráty materiálu na jednici
Z_{max}	mm	maximální rozjezdy v ose Z

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti Pulzní kolo, č. v. ZA150403
Příloha 2	Výkres polotovaru - odlitku, č. v. ZA150403_O
Příloha 3	Technická data multifunkčního stroje gamma CTX 2000
Příloha 4	Nástroje pro navrhovanou technologickou variantu
Příloha 5	Měřicí protokol
Příloha 6	Ukázka NC programu pro obrábění úseku 4.1 (obr. 3.3)





Varianty vybavení

Protivřetenno (vpravo), pojízdné, vč. upínacího zařízení (opce B-E7358)

Protivřetenno je za účelem přebírání obrobků provedené jako pojízdné. Pohyb pomocí střídavého servopohonu a kuličkového šroubu. Předepjatá lineární vedení saní vřeteníku zaručují vysokou přesnost a tuhost.

Hydraulický upínač jednotlakový, neprůchozí upínací válec s bezpečnostním zařízením a kontrolou zdvihu, tažná trubka (neprůchozí $\varnothing$ 104 mm, hloubka 848 mm), nožní spínač a elektrické/hydraulické ovládání, kompletně smontovaný.

Konzola motoru a motor vřetení jsou chlazeny kapalinou.

Křížový suport spodní s 12místným hvězdicovým revolverem (opce B-C7350)

Dvouosý suport – osy X2, Z2 – s předepjatými lineárními válivými vodicími prvky s nízkým třením.

12místný hvězdicový revolver řízený směrovou logikou.

Upínání nástrojů DIN 69 880 (VDI 3425) – stopka $\varnothing$ 40 mm, radiální

Technické změny vyhrazeny.

Technická data

Lože

Provedení

polymerní beton s vysokou tuhostí proti zkrutu

se 4 vedeními

Pracovní rozsah

Oběžný průměr	700	mm
Točný průměr max. s kotoučovým zásobníkem	630	mm
Točný průměr max. s řetězovým zásobníkem *	700	mm
Vzdálenost vřeten u stroje s protivřetenem	2260	mm
Vzdálenost hrotů u stroje s koníkem	2260	mm

Vřetenno 1, hlavní vřetenno vlevo

Průměr sklíčidla	315/400/500	mm
Průměr tyče max.	102	mm
Průměr hlavy vřetení (plochá příruba)	220h5	mm
Průměr otvoru vřetení	118	mm
Vnitřní průměr tažné trubky	104	mm
Průměr v předním ložisku	160	mm
Výkon pohonu max., 100 / 40% zatížení.	35/45	kW
Rozsah otáček	4000	ot/min
Zlomové otáčky	550	ot/min
Krouticí moment max., 100 / 40% zatížení.	600/770	Nm
Druh pohonu, počet rozsahů	AC/1	
Provedení	ISM102	
Otáčky osy C	4000	ot/min
Krouticí moment osy C	600	Nm
Přesnost dělení	0,001	stupňů

Sáň 1, horní

Pojezd saní X1 (pod středem)	650 (-20)	mm
Pojezd saní Y1	±200	mm
Pojezd saní Z1	2050	mm
Rychloposuv X / Y / Z	40/40/30	m/min
Posuvová síla X / Y / Z	16,5/7,5/9,5	kN
Rozlišení X / Y / Z	0,001	mm
Kuličkový šroub X, d x h	$\varnothing$ 50x10	mm

Kuličkový šroub Y, d x h	ø 50x10	mm
Kuličkový šroub Z, d x h	ø 50x15	mm
Soustružnicko-frézovací vřeteno		
Upínání nástrojů	HSK63-A	
Otáčky vřetena max.	12000	ot/min
Výkon pohonu max., 100 / 40% zatíž.	13,2/22	kW
Krouticí moment max., 100 / 40% zatíž.	60/100	Nm
Druh pohonu, počet rozsahů	AC/1	
Provedení	ISM	
Dělení	0,001	stupňů
Blokační moment, v aretovaném stavu	1000	Nm
Osa B CNC		
Rozsah naklápění B1	±120	stupňů
Rychlost naklápění	36000	st/min
Krouticí moment osy B, 100 / 40% zatíž.	2100/2800	Nm
Rozlišení	0,001	stupňů
Hydraulické zpevnění	4000	Nm
Zásobník nástrojů		
Počet míst celkem	36	
Průměr/délka nástroje max.	ø80x230/ ø50x500	
Hmotnost nástroje max.	12	kg
NC koník, mechatronický		
Pojezd	1910	mm
Přítlačná síla	3.5 - 18	kN
Uchycení otočného hrotu	6	MK
Druh pohonu	NC mechatronický	
Rychloposuv Z	20	m/min
Chladicí agregát		
Chlazení	soustružnicko-frézovací vřeteno, motor hlavního vřetena, konzola hlavního vřetena, torque motor osy B	
Objem	70	l
Chladicí výkon	10	kW
Počet chladicích okruhů	1	
Zařízení pro přívod chladicí kapaliny		
Objem	370(600, 980)*	l
Tlak čerpadla 1/2/3 (opce)	6(8, 20 80)*	bar
Výkon čerpadla 1/2/3	20(40/11)*	l/min
Typ filtru (opce)	výměnné síto (pásový filtr)*	
Jemnost filtru (opce)	100 (40)	µm
Chladicí výkon pro opci 80 bar	4,9	kW
Dopravník třísek		
Množství chladicí kapaliny	370	l
Výkon	250	kg/h
Hydraulika		
Objem	40	l
Příkon čerpadla	5,5	kW



Tlak čerpadla	80	bar
Výkon čerpadla	38	l/min
Pneumatika		
Tlak	6	bar
Spotřeba	40	m ³ /h
* volitelně		
Spotřeba elektrické energie (5-vodičový systém, L1, L2, L3, N, PE)		
Příkon	110	kVA
Provozní napětí	400 (L1, L2, L3) ±10%, N, PE	V
Kmitočet	50	Hz
Jištění (pomalé) dle VDE 0100	160	A
Podmínky prostředí		
Přípustná teplota okolí	od +15 do + 35 °C	
Relativní vlhkost vzduchu max.	75	%
Výška instalace max.	1000	m n.m.
Přesnost dle VDI / DGQ 3441 (při T=20 ± 2° C)		
Tolerance polohy TP X1/Y1/Z1	10/10/16	µm
Tolerance polohy TP C3/C4	25/25	mst
Maximální rozptyl Ps X1/Y1/Z1	3/3/4	µm
Maximální rozptyl Ps Z3	4	µm
Rozměry a hmotnosti		
Ustavovací rozměry D/Š/V (bez ext. zás. chladicí kapaliny)	7601/4215/2530	mm
Hmotnost stroje vč. rozvaděče	24000	kg
Emise hluku		
Trvalá hlučnost v pracovním místě měřená jako obráběcí proces (DIN45635, ISO 3740-1980)	78	dB(A)
NC sání lunety Z (opce B-D7312)		
Druh pohonu	NC	
Rychloposuv Z	30	m/min
Počet lunet	1	
Upínací rozsahy lunet	ø 8-350	mm
Protivřetenno vpravo (opce B-E7358)		
Průměr sklíčidla	315/400/500	mm
Průměr tyče max.	102	mm
Průměr hlavy vřetena (plochá příruba)	220h5	mm
Průměr otvoru vřetena	118	mm
Vnitřní průměr tažné trubky	104	mm
Průměr v předním ložisku	160	mm
Výkon pohonu max., 100 / 40% zatíž.	35/45	kW
Rozsah otáček	4000	ot/min
Zlomové otáčky	550	ot/min
Krouticí moment max., 100 / 40% zatíž.	600/770	Nm
Druh pohonu, počet rozsahů	AC/1	
Provedení	ISM102	

Příloha 3.4

Otáčky osy C	4000	ot/min
Krouticí moment osy C	600	Nm
Přesnost dělení	0,001	stupňů
Pojezd saní Z3	1910	mm
Rychloposuv Z	30	m/min
Posuvová síla Z	9	kN
Rozlišení Z	0,001	mm
Protivřetení Z, dxh	ø 50x15	mm

Sáně 2 - spodní (opce B-C7350)

Pojezd saní X2	210	mm
Pojezd saní Z2	1910	mm
Rychloposuv X / Z	30/30	m/min
Posuvová síla X / Z	6,5/9	kN
Rozlišení X / Z	0,001	mm
Kuličkový šroub X, d x h	ø 40 x 10	mm
Kuličkový šroub Z, d x h	ø 50 x 15	mm

Hvězdicový revolver (opce B-C7350)

Počet nástrojů	12	
Průměr stopky dle DIN 69880	40	mm
Počet poháněných nástrojů	12	
Výkon max., 40% zatížení	10	kW
Krouticí moment, 40% zatížení	28	Nm
Rozsah otáček	4000	ot/min
Čas polohování 30 / 180 stupňů	0,44/0,74	s
Přípustná hmotnost všech nástrojů	180	kg
Přípustná nevyváženost způsobená nástroji	63	Nm



T1 - Vnější hrubovací nůž



T2 - Vrták s VBD Ø25 „Tizit“



T3 - Vnější dokončovací nůž



T4 - Čelní zapichovací nůž



T5 - Vnější dokončovací nůž



T6 - Přímý nůž



T7 - Stopková fréza



T8.4 - Vnější hrubovací nožová hlava



T9.4 - Čelní zapichovací nůž



T10.4 - Vnější dokončovací nožová hlava



T11.4 - Vrták Ø6,8



T12.4 - Vrták Ø11



T13.4 - Drážková fréza Ø22



T14.4 - Čelní fréza Ø2,8

Měřicí protokol

⌀	MM	LOC1 - 79H 7 H					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
D	79.000	0.030	0.000	79.019	0.019	0.000	
RN	0.000	0.050	0.000	0.012	0.012	0.000	
⌀	MM	LOC2 - 79H7 S					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
D	79.000	0.030	0.000	79.012	0.012	0.000	
RN	0.000	0.050	0.000	0.014	0.014	0.000	
⊥	MM	PERP1 - CYL1 TO ZÁKLADNA A					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	0	0.010	0	0.001	0.001	0.000	
⌀	MM	LOC3 - 109-0,15 H					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
D	109.000	-0.150	0.000	108.966	-0.034	0.000	
⌀	MM	LOC4 - 109-0,15 S					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
D	109.000	-0.150	0.000	108.964	-0.036	0.000	
⌀	MM	LOC5 - 220±0,1					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
D	220.000	0.100	-0.100	220.004	0.004	0.000	
◎	MM	CONCEN1 - 109-0,15 H TO 79H 7 H					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.050	0.000	0.003	0.003	0.000	
◎	MM	CONCEN2 - 109-0,15 S TO 79H7 S					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.050	0.000	0.004	0.004	0.000	
↔	MM	DIST1 - 69±0,1 S TO ZÁKLADNA A					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	69.000	0.100	-0.100	68.998	-0.002	0.000	

Ukázka NC programu pro obrábění úseku 4.1 (obr. 3.3) přímým nožem s trojúhelníkovou VBD – T6 (příloha 4.3).

```
...  
G18 M813  
DIAMON  
G55  
G59 X0 Z=RG723  
T1 ;; VNITRNI TROJUHELNIK R0.4 T SPODNI  
...  
G90 G00 G96 S3=160 M3=4 ;M350  
G00 Z-10.0  
G00 X300.0 G153  
X199.047 Z64.986 M254  
G01 X196.05 Z66.484 F0.1  
Z67.44  
X199.109 Z75.086  
G02 X195.971 Z77.0 CR=1.6  
G01 X194.971  
Z76.8  
G00 Z65.0  
Z-10.0  
...
```