

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNIZACE VÝROBY VAČKOVÝCH HŘÍDELŮ **AUTOMATION OF CAM SHAFT PRODUCTION**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Petr Matějka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Osička

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Matějka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Modernizace výroby vačkových hřídelů

v anglickém jazyce:

Automation of cam shaft production

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Modernizace výroby vačkových hřídelů, ve firmě Motorpal a.s. Jihlava se zaměřením na stěžejní výrobní uzly a respektování ekologie.

Cíle diplomové práce:

Rozbor stávajícího stavu technologie.

Rámcový návrh nového technologického řešení.

Rozpracování stěžejních úseků nové technologie včetně nářadí(broušení, tepelné zpracování, měření)

Návrh reorganizace provozu v souvislosti se zavedením nového strojního zařízení a respektováním ekologického hlediska.

Technicko - ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook.
ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998.
4. SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd.H.Brod: FRAGMENT, 1998.
5. MASLOV, J. N. Teorie broušení kovů, přeložil J.Klůna., 1.vyd. Praha: SNTL, 1979.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 19.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na modernizaci brousicích operací při výrobě vačkových hřídelů vstřikovacího čerpadla. Stávající technologie, převážně jednoúčelových strojů, bude nahrazena moderním CNC strojem. Další modernizace proběhne v oblasti měření, kde stávajícími měřidly není možné změřit profil vačky. Zde se počítá s novým měřicím strojem, který bude zvládat měřit potřebné rozměry a tolerance.

Klíčová slova

Vačkový hřídel, speciální bruska, brousicí kotouč, multisenzorový měřicí stroj.

ABSTRACT

This thesis is intended on modernizing of grinding operations in production cam shafts of injection pump. Existing technology, mainly special-purpose machines, will be replaced by modern CNC grinding machine. Further modernization will take place in the area of measurement, where existing measuring instruments cannot measure profile of cams. There will be used the new measuring machine, which will manage to measure necessary dimensions and tolerances.

Key words

Cam shaft, special grinding machine, grinding wheel, multisensor measuring machine.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATĚJKA, Petr. *Modernizace výroby vačkových hřídelů: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 65 stran, 3 přílohy. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Modernizace výroby vačkových hřídelů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 26. 5. 2009

.....
Petr Matějka

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji vedoucímu oddělení technologie Ing. Jaroslavu Brázdovi za umožnění vypracování diplomové práce v tomto oddělení a také Ing. Jiřímu Nevrklovi za odbornou pomoc.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	9
1 POPIS DÍLCE	11
1.1 Materiál pro výrobu vačkového hřídele	13
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE.....	15
2.1 Operace technologického postupu.....	15
2.2 Broušení vačkových hřídelů	17
2.2.1 Op. 115 – Brousit tvar konce	17
2.2.2 Op. 120 – Brousit tvar konce	19
2.2.3 Op. 122 – Brousit ložisko	20
2.2.4 Op. 123 – Brousit výstředník	21
2.2.5 Op. 125 – Brousit vačky	22
2.2.6 Op. 132 – Brousit ložisko	23
2.3 Modernizované části.....	24
3 RÁMCOVÝ NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ	25
3.1 Broušící kotouče.....	25
3.1.1 Značení broušících nástrojů	26
3.1.2 Zkoušky broušících kotoučů	27
3.2 Obráběcí centra.....	29
3.2.1 Současná obráběcí centra	29
3.2.2 Princip a řízení CNC obráběcích strojů	30
3.2.3 Souřadnicový systém CNC obráběcích strojů	31
3.3 Broušící stroje	32
3.4 Výběr speciální CNC brusky	35
3.5 Finanční hodnocení nabídky	37
3.5.1 Plán výroby.....	37
3.5.2 Navrhované řešení.....	37
3.5.3 Očekávané přínosy	38
3.5.4 Doporučení realizace	38
4 ROZPRACOVÁNÍ ÚSEKŮ NOVÉ TECHNOLOGIE	39
4.1 Bruska CamGrind L650 U12/OEL	39
4.2 Řídicí systém Sinumerik 840D.....	42
4.2.1 Složení systému Sinumerik 840D.....	42
4.2.2 Základní pojmy	43
4.2.3 Tvorba NC programu	44
4.2.4 Systém WOP- S	44
4.3 Volba umístění brusky.....	46
4.3.1 Dispoziční řešení.....	46
4.3.2 Stavební úpravy.....	47
4.3.3 Zajištění energie	47
4.3.4 Manipulace s materiálem	47
4.3.5 Péče o životní prostředí a péče o bezpečnost práce a tech. zařízení.....	48

5	MODERNIZACE MĚŘENÍ.....	50
5.1	Výběr měřícího zařízení.....	50
5.2	Hommel – Etamic CCM 2020	52
5.2.1	<i>Rozsah měření</i>	53
6	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	56
6.1	Návratnost strojů	58
6.2	Porovnání se stávajícím stavem.....	59
	Závěr	61
	Seznam použitých zdrojů	62
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	65
	Seznam příloh	66

ÚVOD

V současné době je nutné neustále zdokonalovat strojní vybavení a zvyšovat kvalitu technologie, kvůli neustále se zvyšujícím nárokům na výrobu ve strojírenství, kde je snaha o co nejnižší náklady při vysoké kvalitě konečných výrobků.

Ve strojírenství se nyní můžeme stále více setkávat s používáním automatizovaných jednotek a CNC obráběcích strojů, které nahrazují skupiny jednoúčelových strojů. Pro toto nahrazování jsou nutné vysoké investiční náklady, ale tyto stroje mají většinou rychlou návratnost financí, díky využití pro hromadnou a sériovou výrobu. Tyto číslicově řízené stroje zjednodušují práci obsluhy, seřizování strojů, údržbu a eliminují zásahy obsluhy do výrobního procesu stroje. Tím vzrůstá kvalita a rychlost výroby a celková produktivita práce. Také se výrazně sníží vedlejší časy, které byly nutné na manipulaci mezi mnoha operacemi jednoúčelových strojů.

Dále následuje zmínka o historii firmy Motorpal, a.s. Základy tohoto strojírenského podniku byly položeny roku 1946, byl to pobočný závod podniku PAL Jihlava, který měl další závody v Praze a v Českých Budějovicích. Jihlavský závod se v roce 1949 osamostatnil a změnil název na Motorpal Jihlava. Jednalo se o národní podnik s pevným výrobním programem: "Výroba vstřikovacího zařízení pro vznětové motory." V počátcích šlo o naprosto nový výrobní program, v naší republice prakticky do té doby nevyráběný. Výrobní úspěchy se staly podnětem k rozšíření výrobní kapacity a přičlenění dalších závodů. To bylo realizováno postupným připojováním závodů v Praze, Liberci, Telči, Kraslicích, Havlíčkově Brodě, Znojmě, Světlé nad Sázavou, Batelově, Velkém Meziříčí a v Jemnici. Jednotlivé závody byly postupem času vyčleňovány a nyní jsou už pouze v Jihlavě, Batelově, Velkém Meziříčí a Jemnici. Nyní je Motorpal akciovou společností, tou se stal v roce 1991.¹

V dnešní době, kdy se klade velký důraz na kvalitu, je i u produkce této firmy právě kvalita a přesnost hlavní ovlivňující vlastností konečného produktu. V tomto případě jde o vstřikovací čerpadla dieselových motorů. U tohoto produktu mohou být ovlivněny emise, které vznikají nedokonalým dodáváním paliva vstřikovacím čerpadlem do vznětového motoru, tak i vlastní seřízení.



Obr. 1 Vačkový hřídel²

Tato práce je zaměřena na jednu část vstřikovacího čerpadla, což je vačkový hřídel. Zde je velice důležitá geometrie tvaru jednotlivých vaček, které se dokončují broušením, a průběh křivky zrychlení na nich. Velké a příliš rychle rostoucí kladné zrychlení způsobuje nadměrný hluk a opotřebení dílů, v případě velkých záporných zrychlení překonávají při vyšších otáčkách sílu přitlačné pružiny, čímž dochází k přerušení vazby, k rázům a vibracím.³

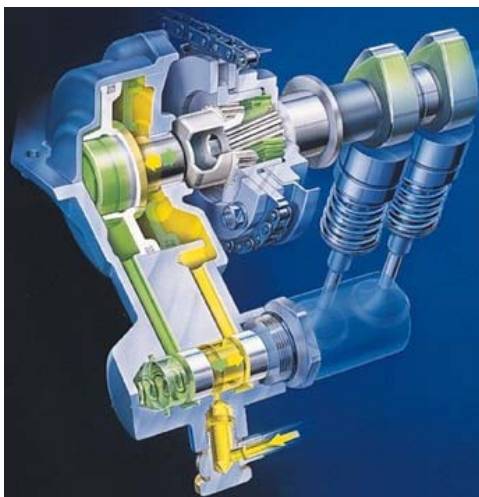
1 POPIS DÍLCE

Výroba této firmy je zaměřena na zařízení pro dieselové motory, její zákazníci jsou z automobilového průmyslu z celého světa. Hlavní výroba je zaměřena na vstřikovací čerpadla v různých provedeních a vstřikovače. Dále se zde vyrábí vstřikovací jednotky a elementy, které se dodávají jako náhradní díly nebo součásti pro montáž do čerpadel a poté do motorů u zákazníka. Tato práce bude zaměřena na součást vyráběnou v hlavním závodě v Jihlavě a jedná se o vačkový hřídel.



Obr. 1.1 Čerpadlo PP.M.i⁴

Tento dílec je základní součástí vstřikovacích čerpadel. V případě menších čerpadel je hřídel umístěn vně čerpadla. Vačkový hřídel je spojen s klikovým hřídelem v poměru 1:2, takže vačky zdvihají ventily s poloviční frekvencí proti otáčkám motoru. Vačky jsou využívány i v mnoha dalších strojích.

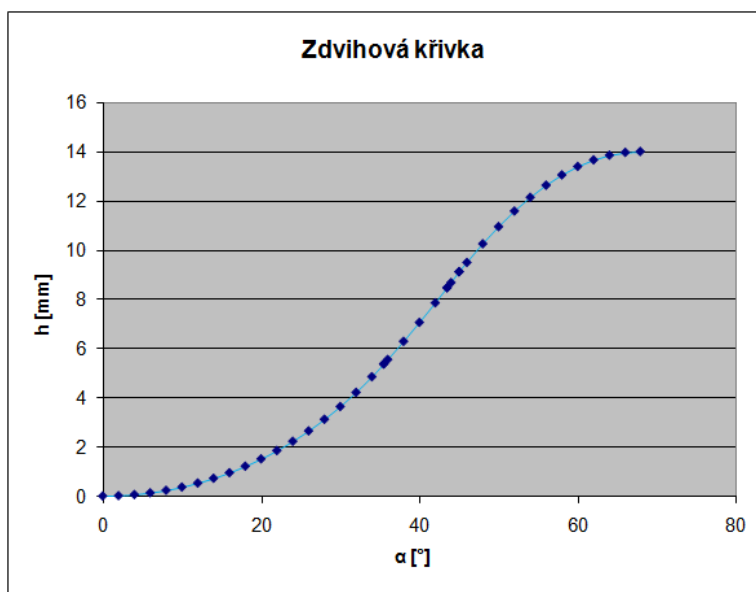


Obr. 1.2 Funkce vačkového hřídele⁵

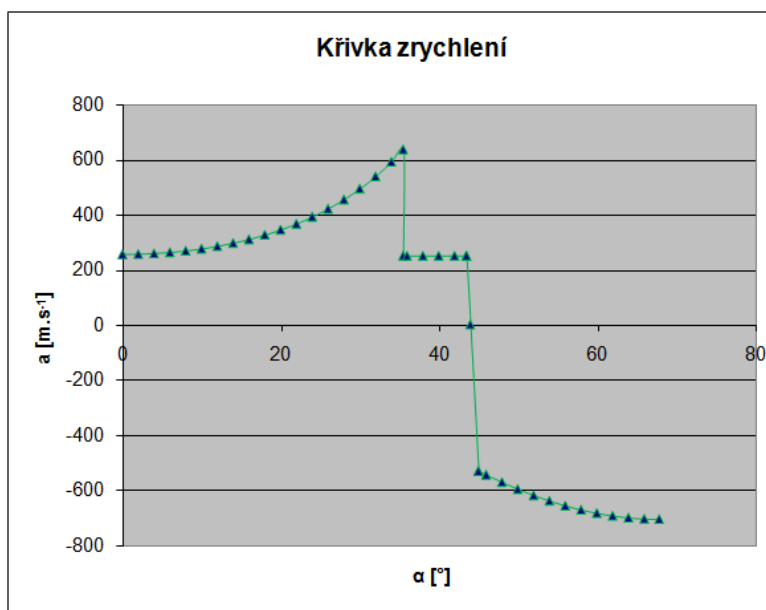
Pro dosažení dostatečně velké rychlosti zdvihátka ventilu, která je vždy žádoucí, mají být boky vačky štíhlejší. Mohou být vytvořeny spojením samotných kruhových oblouků nebo až s vloženou tečnou, nejlépe však

plynulým spojením několika obecných a charakteristických křivek, z nichž každá splňuje funkční podmínky na svém úseku působení.

V praxi je tvar vačky odvozován výpočtem z předem stanovené zdvihové křivky zdvihátka (obr. 1.3). Její tvar bývá vyladěn tak, aby měla alespoň dvě první derivace v celém průběhu spojitě. Mimořádný význam má při tom průběh křivky zrychlení (obr. 1.4). Důsledky příliš velkého a malého zrychlení jsem již zmínil v úvodu. Velká záporná zrychlení na vrcholu činí vačku ostrou až podříznutou (kinematicky nereálnou). Zdvihová křivka bývá konstruována spojitým složením až z 8 charakteristických úsekových křivek na jednom boku a navíc ještě z úseku náběhového. Vačky vstřikovacích čerpadel bývají až tangenciální s obecnou křivkou, spojující tečnu s velkým obloukem na vrcholu.³



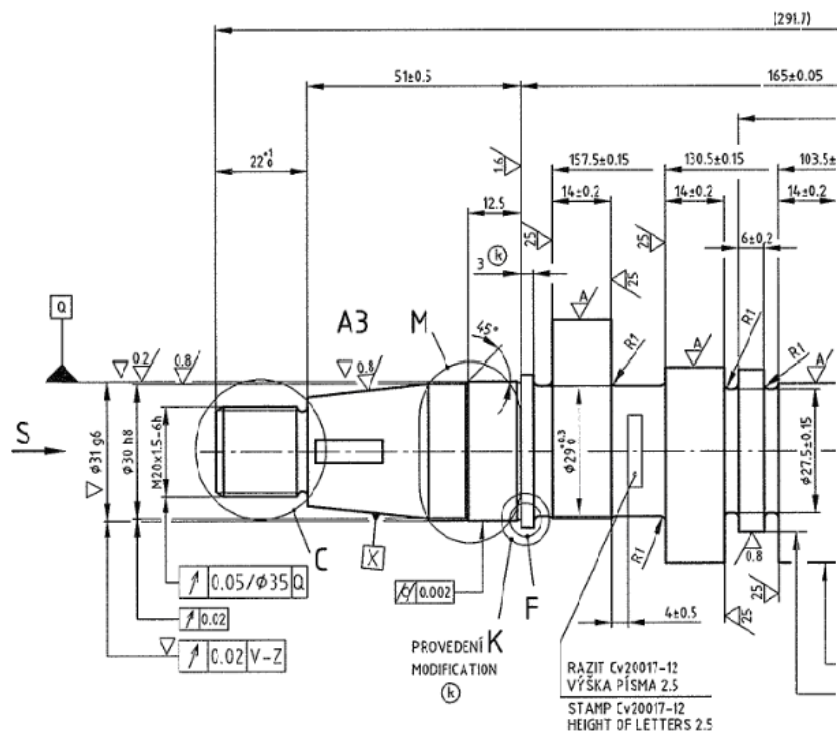
Obr. 1.3 Zdvihová křivka vačkového hřídele 2Cv20017-12⁶



Obr. 1.4 Křivka zrychlení vačkového hřídele 2Cv20017-12⁶

Dílec je do firmy dodávám v podobě výkovku, který je z materiálu označeného dle ČSN 416 420 (dle EN 15NiCr13), a protože je typů vačkových hřídelů, které se zde vyrábí, několik a liší se ve většině případů pouze délkou a počtem vaček, byl vybrán jeden zástupce označený ve firmě jako 2Cv20017-12, který bude dále brán jako vzorový. Tento díl má šest vaček.

Výtah z výkresové dokumentace (obr. 1.5) zobrazuje pouze část výkresu. Veškeré rozměry, které je nutno při výrobě dodržet, jsou na celkovém výkresu součásti (příloha 1). Tyto rozměry je třeba dodržet nejen z hlediska správné funkce součásti, ale i pro montáž do tělesa vstřikovacího čerpadla.



Obr 1.5 Část výkresu součásti – vačkový hřídel⁶

1.1 Materiál pro výrobu vačkového hřídele

Pro výrobu hřídelů je použit materiál označen dle ČSN 41 6420. Tato ocel je určena k cementování. Je tvárná za tepla a v žíhaném stavu dobře obrobitelná. Je vhodná na velmi namáhané strojní součásti, určené k cementování s vysokou pevností a houževnatostí v jádře, např. hřídele, vačkové hřídele, drážkové hřídele, ozubená kola atd.⁷

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti materiálu ČSN 41 6420 po tep. zprac.⁸

Mez pevnosti v tahu	Mez kluzu v tahu	Tažnost	Kontrakce	Tvrdost
R _m [N.mm ⁻²]	R _e nebo R _{p0,2} [N.mm ⁻²]	A5 [%] min. podél	Z [%] min.	HB max. - min.
932	735	11	40	211 - 285

Tab. 1.2 Chemické složení materiálu ČSN 41 6420⁸

Prvek	Min.	Max.
C	0,1	0,17
Mn	0,3	0,6
Si	0,17	0,37
Cr	0,6	0,9
Ni	3,2	3,7
P		0,035
S		0,035

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE

Tato kapitola se bude zabývat technologickým postupem pro výrobu vačkových hřídelů ještě před samotnou modernizací, kde bude nejvíce věnována pozornost operacím týkajících se broušení, jelikož právě broušení je stěžejním bodem modernizace.

2.1 Operace technologického postupu

Při současném stavu je dílec převážně vyráběn na jednoúčelových strojích v mnoha operacích.

Tab. 2.1 Přehled jednotlivých operací⁹

Č. op.	Stroj	Název operace	t _{AC} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
5	Zarovnávačka FXLZD 160	Frézovat, navrtat	0,877
	04787		
10	Soustruh SP12P	Soustružit konec	0,88
	04531		
15	Soustruh SP12P	Soustružit konec	0,88
	04531		
20	Frézka RFN 300/800 CNC	Frézovat vačky a výpichy	4,853
	35328		
40	Ruční	Označit	0,378
	09421		
50	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 492	3,088
	34512		
60	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 427	1,86
	34512		
65	Ruční	Chránit konce	0,407
	09421		
70	Pec HOA 20/15	Cementovat	0,307
	21634		
71	Lis CDM 80	Vyrovnat	0,3
	03334		
72	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 268	1,613
	34512		
75	Soustruh SV18R 750	Soustružit konec	0,456
	04124		

Č. op.	Stroj	Název operace	t _{AC} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
77	Frézka RC 671	Frézovat drážky	0,691
	65913		
80	Ruční	Připravit ke kalení	0,09
	09171		
85	Pec Aichelin	Kalit, zmrazit, popustit	0,61
	21814		
90	Tryskač TMSO 2,4/6	Pískovat	0,788
	26111		
95	Kalicí generátor GV32	Žíhat slabý konec	0,532
	61821		
98	Kalicí generátor GV21	Žíhat silný konec	0,218
	61821		
100	Vrtačka VS20	Vyčistit důlky	0,212
	04623		
105	Lis CDM 80	Vyrovnat	0,644
	03334		
115	Bruska BAC 25/630	Brousit tvar konce	1,209
	05522		
120	Bruska BAC 25/630	Brousit tvar konce	1,168
	05522		
122	Bruska 2UC 500	Brousit ložisko	1,58
	05525		
123	Bruska BEK 15	Brousit výstředník	1,31
	05741		
125	Bruska BEK 15	Brousit vačky	15,478
	05741		
130	Bruska BL25	Kartáčovat	0,915
	05681		
132	Bruska 2UC 500	Brousit ložisko	1,213
	05525		
144	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr 454	1,401
	34512		

Č. op.	Stroj	Název operace	t _{AC} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
145	Válcovačka závitů UPW 125x70	Válcovat	0,449
	03914		
155	Inkar	Inkarovat, kontrolovat	0
	28682		
840	Ruční	Konzervovat	0,18
	06391		
Σ t _{AC}			44,615

Zvýrazněné operace (zelená barva) budou modernizovány, a proto jim bude ještě dále věnována pozornost. Znázornění toku materiálu je v příloze 2.

2.2 Broušení vačkových hřídelů

Na stávajících strojích se v této firmě doposud používají brousicí kotouče T1 600 x 17 x 305 - 97A802J6AV237 od firmy Tyrolit (jedná se o kotouče z polokřehkého korundu s keramickým pojivem), a to od roku 2006 jako neplnohodnotná náhrada dříve používaných sírovaných kotoučů, u kterých byla v roce 2000 od Evropské unie zakázána ruční výroba z ekologického hlediska. Testy možných náhrad za sírované brousicí kotouče jsou uvedeny v kapitole 3.1.

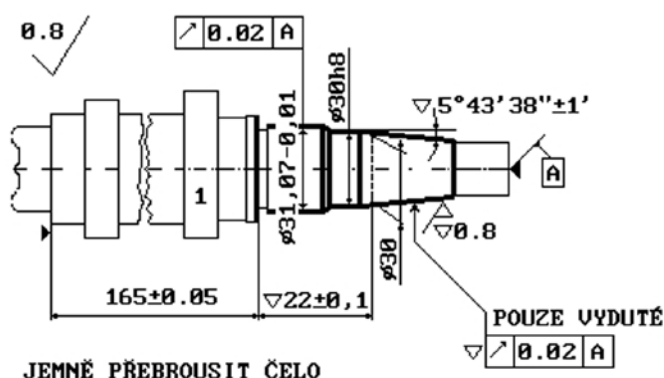
Tato nucená změna zapříčinila výměnu do té doby používaných brusek CHŠ-3 (jednalo se o 4 kusy brusek), jejichž stáří bylo 35 let, za ještě starší brusky BEK 15, které již nedosahovaly dostatečných kvalit.



Obr. 2.1 Brousicí kotouč od firmy Tyrolit¹⁰

2.2.1 Op. 115 – Brousit tvar konce

U této operace je broušen konec první vačky a čelo, jak je patrné na obr. 2.2, obrázky pro jednotlivé operace jsou získány z firemní dokumentace programu Sysklass. Broušení je prováděno na stroji BAC 25/630 (obr. 2.3). Stáří této brusky je 45 let a byla vyráběna v národním podniku TOS Hostivař.

Obr. 2.2 Broušení tvarového konce⁹

Po této operaci je důležitá kontrola významných rozměrů (tab. 2.2) a též jejich zaznamenání do rozměrového protokolu na dílně. Významné rozměry jsou i s doposud používanými měřidly v následující tabulce.

Tab. 2.2⁹

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
úhel	$5^{\circ} 43' 38'' \pm 1'$	příměrná žulová deska 600x450; měřicí stojánek pro úchylkoměr; páčkový úchylkoměr Mitutoyo; nastavná měrka k sinusovému pravítku; sinusové pravítko
rozměr	$22 \pm 0,1$	nástinový trn; hodinová měrka; kuželový kalibr $\varnothing 30$; digit. posuvné měřítko Mitutoyo 150/0,02
drsnost	Ra 0,8	digit. drsnoměr Mitutoyo
házení	0,02/A	měřicí stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísel. úchylkoměr; kontrolní přístroj
$\varnothing$	30 h8	kalibr 30 h8
$\varnothing$	$31,07_{-0,01}$	kalibr $31,07_{-0,01}$; pasometr 25-50; sada měrek

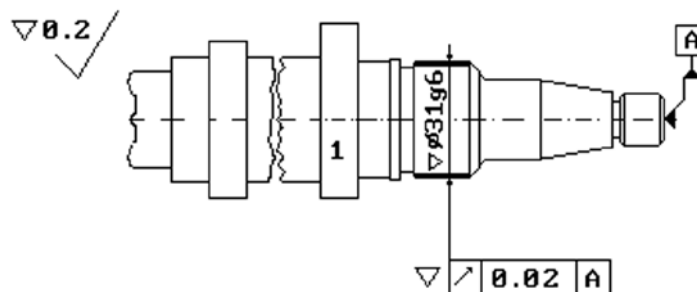


Obr. 2.3 Bruska BAC 25/630

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
úhel	$5^{\circ} 43' 38'' \pm 1'$	příměrná žulová deska 600x450; měřicí stojánek pro úchylkoměr; páčkový úchylkoměr Mitutoyo; nastavná měrka k sinusovému pravítku; sinusové pravítko
rozměr	$22,7 \pm 0,1$	nástavný trn; hodinová měrka; kuželový kalibr $\varnothing 30$; digit. posuvné měřítko Mitutoyo 150/0,02
drsnost	Ra 0,8	digit. drsnoměr Mitutoyo
házení	0,02/B	měřicí stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísel. úchylkoměr; kontrolní přístroj
$\varnothing$	25 b11	Kalibr 25 b11
$\varnothing$	$17,05_{-0,11}$	Kalibr $17,05_{-0,11}$; mikrometr 0-25
$\varnothing$	11 h8	Kalibr 11h8; mikrometr 0-25
$\varnothing$	25 p6	Kalibr 25p6; pasametr 25-50; sada měrek
délka	$165 \pm 0,05$	Měrka na rozměr $165 \pm 0,05$
délka	$17,2^{+0,1}$	Měrka na rozměr $17,2^{+0,1}$

2.2.3 Op. 122 – Brousit ložisko

V této operaci je broušen $\varnothing 31\text{ g6}$ pro uložení ložiska (obr. 2.5). Operace se provádí na brusce 2UC 500 (obr. 2.6). Tato bruska byla vyrobena před 43 lety v národním podniku TOS Hostivař.



Obr. 2.5 Broušení ložiska⁹

Po této operaci je důležitá kontrola významných rozměrů (tab. 2.4) a též jejich zaznamenání do rozměrového protokolu na dílně. Významné rozměry jsou i s doposud používanými měřidly v následující tabulce.

Tab. 2.4⁹

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
$\varnothing$	31 g6	kalibr 31 g6; pasometr 25-50; sada měrek
drsnost	Ra 0,8	digit. drsnoměr Mitutoyo
házení	0,02/A	měřicí stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísl. úchylkoměr; kontrolní přístroj

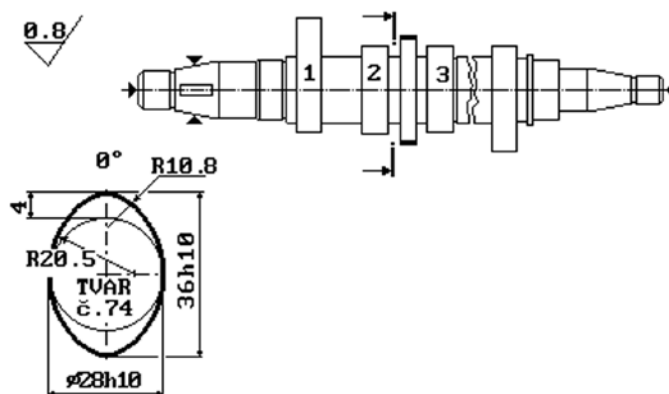


Obr. 2.6 Bruska 2UC 500

2.2.4 Op. 123 – Brousit výstředník

V této operaci je broušen výstředník, a to následujícím způsobem. Nejprve je hrubován s přídkem 0,05 mm, a poté broušen načisto (obr. 2.7). Tyto úkony jsou prováděny na brusce BEK 15 (obr. 2.8).

Tato bruska je již technicky zastaralá, v jihlavském závodě je 5 kusů těchto brusek, jejich stáří je 50 let. Tehdejší výrobce ČZ Strakonice dávno ukončil jejich výrobu.



Obr. 2.7 Broušení výstředníku⁹

Po této operaci je důležitá kontrola významných rozměrů (tab. 2.5) a též jejich zaznamenání do rozměrového protokolu na dílně. Významné rozměry jsou i s doposud používanými měřidly v následující tabulce.

Tab. 2.5⁹

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
rozměr	36 _{0,1}	kalibr 36 h10; mikrometr 25-50
drsnost	Ra 0,8	digit. drsnoměr Mitutoyo
Poloha výstředníku	90° ± 30'	měřicí stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísel. úchylkoměr; unašeč; unašecí srdce; optická dělicí hlava Somet



Obr. 2.8 Bruska BEK 15

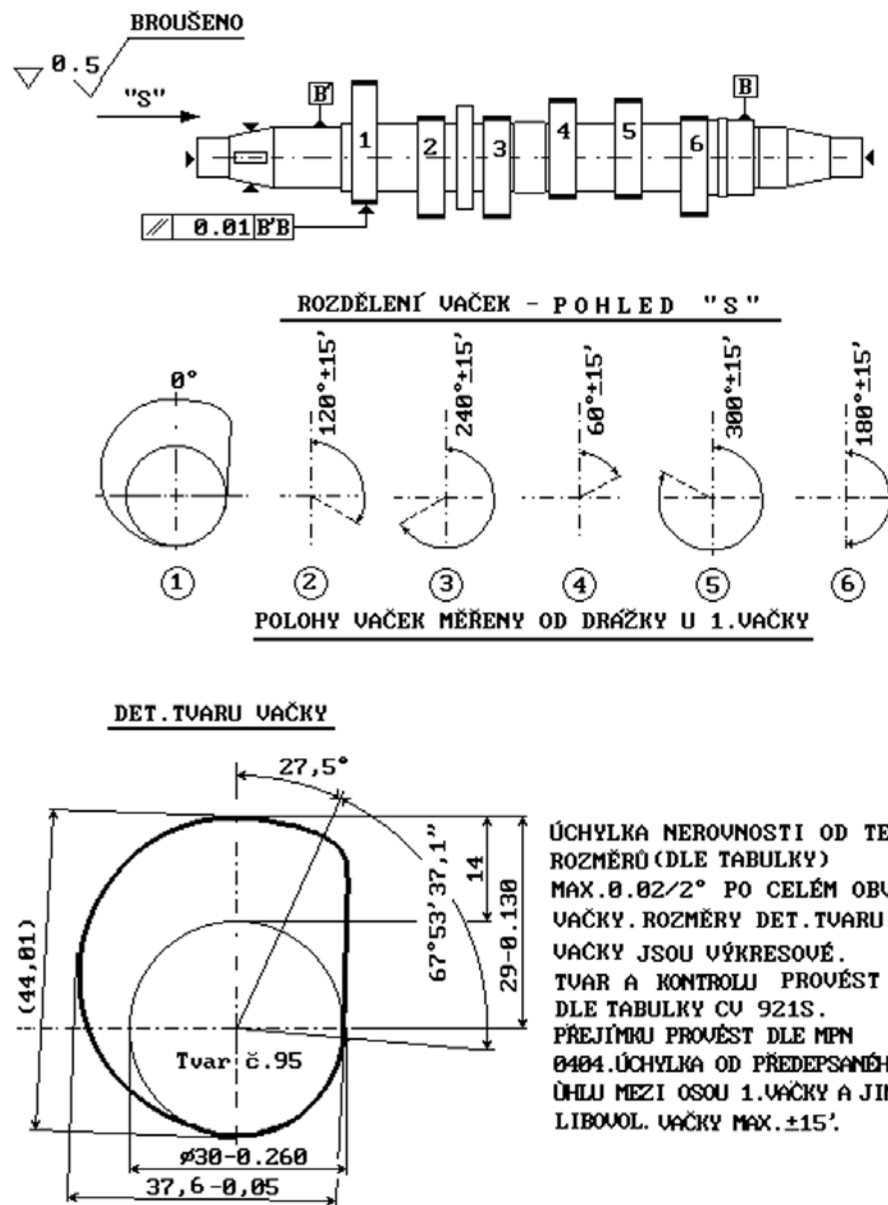
2.2.5 Op. 125 – Brousit vačky

V této operaci jsou broušeny postupně všechny vačky (obr. 2.9). Začíná se s hrubováním u první vačky s přídávkem 0,05 mm, poté dojde k přestavení stroje a následuje hrubování zbylých vaček až po poslední šestou. Po hrubování se brousí načisto a ve stejném pořadí, jak tomu bylo u hrubování (začíná se od první vačky). Musí zde také dojít k vyjiskření každé vačky, kde je stanoven čas na vyjiskření jedné vačky 0,15 s. Tyto úkony jsou prováděny na brusce BEK 15 (obr. 2.8).

Po této operaci je důležitá kontrola významných rozměrů (tab. 2.6) a též jejich zaznamenání do rozměrového protokolu na dílně. Významné rozměry jsou i s doposud používanými měřidly v následující tabulce.

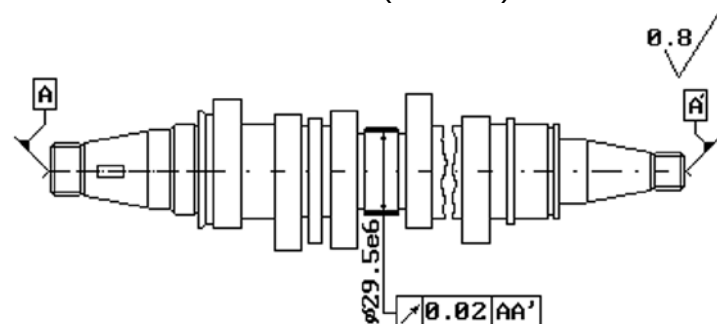
Tab. 2.6⁹

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
rozměr	37,6 _{-0,05}	kalibr 37,6 _{-0,05} ; mikrometr 25-50
drsnost	Ra 0,5	digit. drsnoměr Mitutoyo
tvar	0,02/2°	unašecí srdce; unašeč; optická dělicí hlava Somet
poloha první vačky	90° ± 30'	unašecí srdce; unašeč; optická dělicí hlava Somet; stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísel. úchylkoměr; sada měrek

Obr. 2.9 Broušení vaček⁹

2.2.6 Op. 132 – Brousit ložisko

V této operaci je broušen $\varnothing 29,5$ e6 pro uložení druhého ložiska (obr. 1.9). Operace se provádí na brusce 2UC 500 (obr. 2.6).

Obr. 2.10 Broušení druhého ložiska⁹

Po této operaci je důležitá kontrola významných rozměrů (tab. 2.7) a též jejich zaznamenání do rozměrového protokolu na dílně. Významné rozměry jsou i s doposud používanými měřidly pro ně v následující tabulce.

Tab. 2.7⁹

Název procesu	Rozměr	Měřidlo
Ø	29,5 e6	kalibr 29,5 e6; pasametr 25-50; sada měrek
drsnost	Ra 0,8	digit. drsnoměr Mitutoyo
házení	0,02/A-A'	měřicí stojánek pro čísl. úchylkoměr; čísl. úchylkoměr; kontrolní přístroj

2.3 Modernizované části

Modernizace se bude převážně věnovat operacím týkajících se broušení, kde dojde k nahrazení skupiny strojů moderní CNC bruskou. U tohoto zařízení se předpokládá vyšší pořizovací cena, ale také rychlá návratnost nákladů.

Díky tomuto novému stroji by mělo dojít ke zrychlení celého procesu a zpřesnění rozměrů, a proto bude též zapotřebí nového měřicího zařízení.

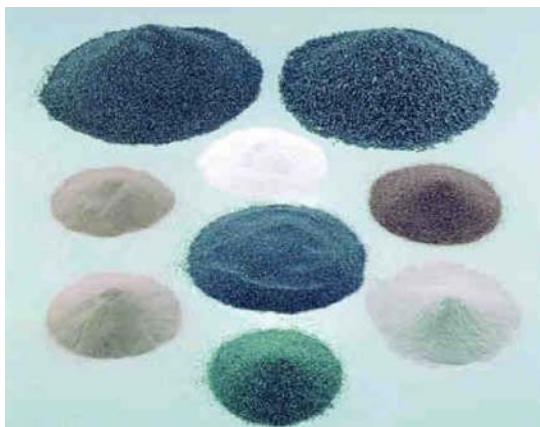
3 RÁMCOVÝ NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ

Operace, týkající se broušení, byly doposud realizovány v šesti operacích na jednoúčelových strojích. Už z toho je vidět, že tyto operace by bylo možné udělat např. na jedné modernější brusce, a tím by nastala možnost, jak zpřesnění některých rozměrů a zjednodušení měření, tak i značná časová úspora.

Hlavním důvodem modernizace byl již výše zmíněný zákaz ruční výroby sírovaných kotoučů. Firma Tyrolit, nyní již jediný výrobce sírovaných kotoučů, má totiž technologii na sírování ve vakuu jen pro kotouče do $\varnothing$ 450 mm a zde používané kotouče mají $\varnothing$ 600 mm.

3.1 Brousicí kotouče

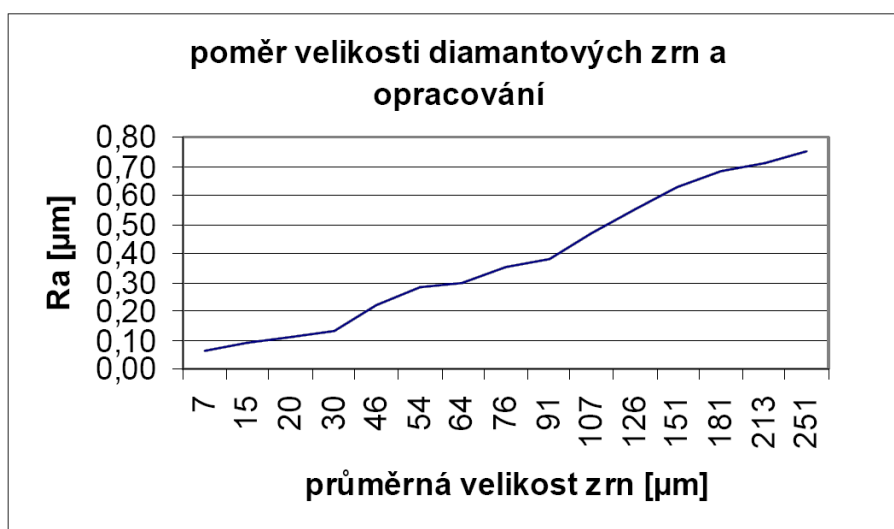
Brousicí nástroje jsou složeny ze zrn tvrdých materiálů, jako může být Al_2O_3 , SiC , polykrystalický kubický nitrid bóru nebo diamant. Zrna jsou pevně vázána díky pojivu, a to v tuhých nebo pružných tělesech o různých velikostech a tvarech. Mezi nejběžnější materiály, ze kterých se vyrábí brousicí kotouče, patří oxid hlinitý a karbid křemíku s keramickým pojivem.¹¹



Obr. 3.1 Brousicí zrna z karbidů křemíku a umělých korundů¹¹

V této době nabízí výrobci brousicích kotoučů širokou škálu různých druhů kotoučů pro vnitřní i pro vnější broušení. Tyto kotouče se liší velikostí, tvarem, velikostí brousicích zrn, strukturou, tvrdostí, druhem materiálu brousicích zrn a druhem pojiva kotouče. Tyto parametry jsou v nabídkách jednotlivých firem, zabývajících se výrobou nebo prodejem, nebo jsou dodávány přesně podle potřeb zákazníka. Jako největší dodavatelé na českém trhu se řadí firmy Carborundum Electrite a Tyrolit.

V běžné výrobě je stále častěji možné se setkat s brousicími kotouči ze supertvrdých materiálů, v případě ocelí se jedná převážně o PKNB. Tyto kotouče jsou používány při vysokých řezných rychlostech a jsou ve většině případů specifikovány pro určitý rozměr broušené plochy. Jejich nejvýhodnější použití je pro broušení nástrojů, dále potom různých druhů zápchů a drážek do kalených a zušlechtěných materiálů.¹¹



Obr. 3.2 Závislost velikosti diamantových brousicích zrn na Ra povrchu¹²

3.1.1 Značení brousicích nástrojů

Brousicí kotouče se označují dle ČSN ISO 0525 (22 4503) z hlediska tvaru, rozměrů, specifikace složení a maximální obvodové rychlosti.

Označení tvaru brousicích kotoučů je dáno typem kotouče, doplněným u plochých kotoučů dle potřeby také označením profilu obvodu.¹²

Na každém kotouči je štítek, z něhož vyčteme tyto údaje:¹³

- druh brusiva – např. A 99 je umělý korund, C 49 je karbid křemíku,
- zrnitost brusiva (velikost zrn) je značeno čísly – např. 8 (nejhrubší) až 320 (nejjemnější),
- tvrdost (soudržnost) kotouče – je přímo závislá na tom, jaký odpor klade pojivo proti vylomení zrněk z nástroje,

Tab. 3.1 Označení tvrdosti brousicích kotoučů¹⁴

Označení	Kotouč	Označení	Kotouč
E, F, G, H	velmi měkký	P, Q, R, S	tvrdý
I, J, K	měkký	T, U	velmi tvrdý
L, M, A, O	střední	V, Z	zvláště tvrdý

- pojivo – je označeno velkými písmeny.

Tab. 3.2 Označení pojiva brousicích kotoučů¹⁴

Označení	Pojivo	Použití
V	keramické	90% všech kotoučů na kovy
S	silikátové	na velké kotouče
O	magneziové	na kotouče k broušení seker
E	šelak	tenké kotouče k řezání a drážkování kovů
R	pryž	
B	umělá pryskyřice	

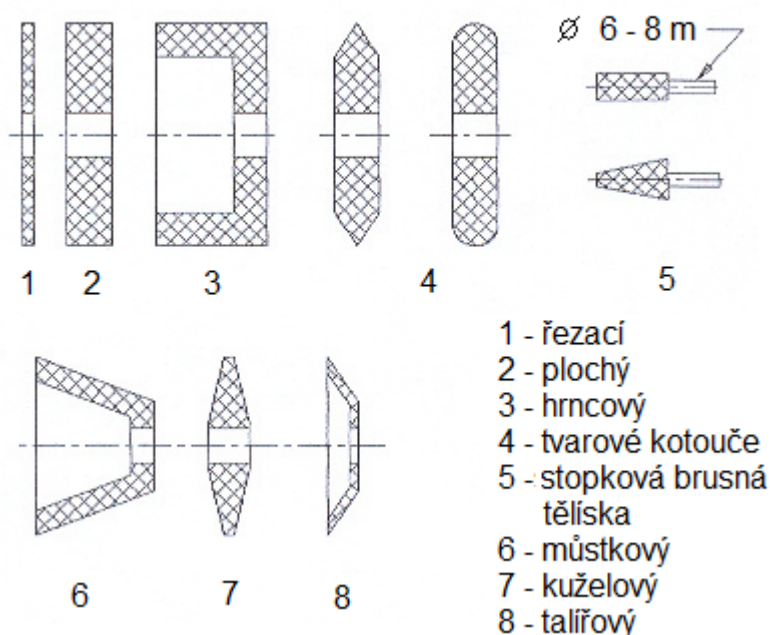
Měkkým kotoučem se brousí tvrdá kalená ocel. Měkký kotouč má měkké pojivo, proto se otupená zrnka snadno vylomí.

Tvrdým kotoučem se brousí měkká ocel. Tvrdé pojivo pevněji drží brousicí zrnka. Příklad značení brousicího kotouče je v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Příklad značení brousicího kotouče¹⁴

Typ tvar	Hlavní rozměr v mm	Technická charakteristika					Maximální povolená pracovní rychlost	
							obvodová	otáčky
T5	300x25x32 – 90x12	49C	80	K	9	V	35 m/s	2220 min ⁻¹

Tvary brousicích kotoučů



Obr. 3.3 Tvary brousicích kotoučů¹⁵

3.1.2 Zkoušky brousicích kotoučů

Jako možnou náhradu za sírované brousicí kotouče byly osloveny firmy Tyrolit, Carborundum Electrite, Norton a Turbin.

Všechny tyto firmy dodaly postupně několik druhů kotoučů typu T1 a Ø 600 (výroba brousicího kotouče trvá 3 až 4 měsíce), které se porovnávaly se sírovaným kotoučem.

Při zkouškách se vyhodnocovaly tyto parametry:

- kvalita povrchu – praskání povrchu a dosažená drsnost,
- čas na broušení,
- počet obroušených kusů na jedno orvnání.

Tyto zkoušky probíhaly na bruskách BEK 15 (obr. 2.8) a CHŠ-3 (obr. 3.4), kde byl v té době kratší čas dosažen na brusce CHŠ-3.

Tab. 3.4 Průběhy zkoušek¹⁶

datum zkoušky	kotouč	BEK 15	CHŠ-3
duben 2000	Tyrolit 97A802J6AV237	povrch dobrý, čas broušení delší o 10%, orovnění o 50% častější	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
květen 2000	Norton 89A320H4B10L	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
listopad 2001	Carborundum Electrite 90MA/99BA a 100I/J 9V	povrch spálený a rozpraskaný	povrch spálený a rozpraskaný
červen 2002	Carborundum Electrite 90MA/99BA a 90I/J 9V	nelze dosáhnout požadované opravy, čas broušení o 100% delší	povrch spálený a rozpraskaný
leden 2003	Tyrolit 89A1002K6AV227	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
duben 2003	Tyrolit 97A702L7AAV237	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
březen 2005	Turbin 3LA80J7VL	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
březen 2005	Turbin 3SA80J7VL	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování	povrch spálený a rozpraskaný, nelze dosáhnout požadované opracování
červenec 2005	Turbin 3LA80J7VWL	povrch dobrý, čas broušení o 100% delší, orovnění o 100% častější, vydroluje se	povrch spálený a rozpraskaný
prosinec 2005	Turbin 3LA80/3I5VWLJ7V WL	zkouška předčasně ukončena z důvodu nekvalitního parafinování kotouče, horší než sírovaný	nebylo co zkoušet

Závěrem z těchto zkoušek lze konstatovat, že na strojích CHŠ-3 se nedá použít ani jeden ze zkoušených kotoučů. U všech kotoučů byl povrch spálený a rozpraskaný.

Bylo to z těchto důvodů:

- náhrada za síru nezajistí dostatečný odvod tepla při broušení,
- stroje neumožňují regulovat řezné podmínky tak, aby nedošlo ke spálení povrchu,
- špatný technický stav strojů.



Obr. 3.4 Bruska CHŠ-3

Zásoby sírovaných kotoučů vydržely do konce dubna 2006, poté se na strojích BEK 15 začaly používat kotouče Tyrolit z polokřehkého korundu, ty však v čase broušení a počtu orovnění za sírovanými zaostávají. Tyto kotouče se používají až doposud.

Díky této změně se (počítáno za rok 2006 při objemu výroby 11 911 ks) zvýšila pracnost o 1004 Nh a náklady o 596 489 Kč.

Dalším problémem bylo to, že výrobce stávajících brusek zkrachoval, a proto byl velký problém s náhradními díly, které se musely nechat vyrábět na zakázku, což bylo značně nákladné. Jen na náklady na opravy bylo potřeba v tomto období 154 hodin práce, což při hodinové mzdě 160,- Kč/hod. činí 24 640,- Kč jen na mzdách.

Dále výměnou jedné nové brusky za 4 stávající dojde i k úspoře místa na pracovišti.

Jako další úspory, s novou bruskou spojené, je nutno zmínit také náklady na nářadí v případě zavádění nového tvaru vačkového hřídele. K tomuto byla zapotřebí jedna vzorová vačková hřídel a dvě kopírovací, nyní je to pouze práce programátora. Úspora v tomto případě bude přibližně činit kolem 17 000,- Kč/ks.¹⁶

3.2 Obráběcí centra

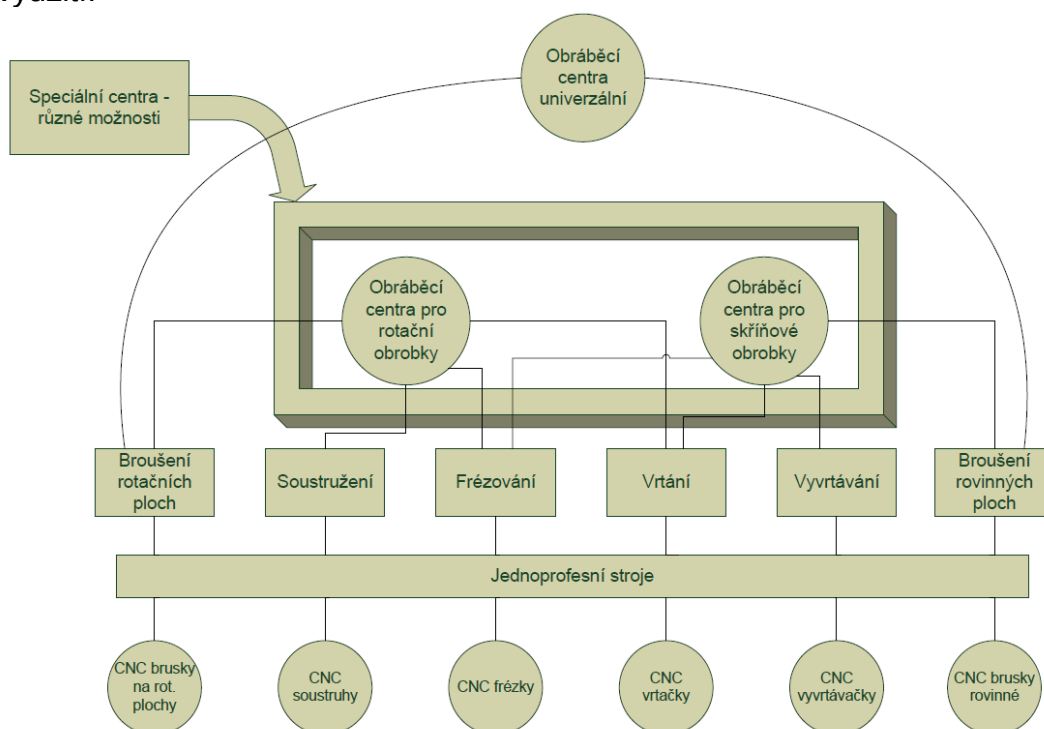
3.2.1 Současná obráběcí centra

U těchto strojů se v dnešní době ve většině případů využívá vysokorychlostního obrábění, díky tomu je, v porovnání s konvenčním způsobem, několikrát vyšší řezná rychlost a posuv. To má za následek kratší hlavní strojní čas, lepší kvalitu obráběných ploch a s tím související minimalizaci dokončovacích operací. Velmi důležitá je tuhost těchto strojů a odolnost proti chvění.

Pomocí rychloposuvů tyto stroje dokážou snížit i vedlejší časy a jako dalším faktorem, který tyto časy ovlivňuje, je i doba výměny nástrojů a obrobků. U obrobků se nemusí jednat pouze o upínání, ale i různé přepínání, pootočení atd.

Do základních požadavků na vysokorychlostní obrábění lze zahrnout vysoké posuvové rychlosti, předem propočtené a načtené obrysy a s tím související komunikace mezi moduly CAD a CAM. Tyto stroje mají svůj řídicí systém. Mezi nejznámější je možné zařadit Siemens, Heidenhain, či Fanuc. Každý takovýto stroj má v dnešní době ve vybavení zapojené zařízení pro automatickou výměnu nástroje a dále může mít např. zařízení pro zapojení manipulátoru, či robotů. Také mohou být ve výbavě měřicí sondy, které umožňují změření obrobku přímo v soustavě výrobního stroje.¹⁷

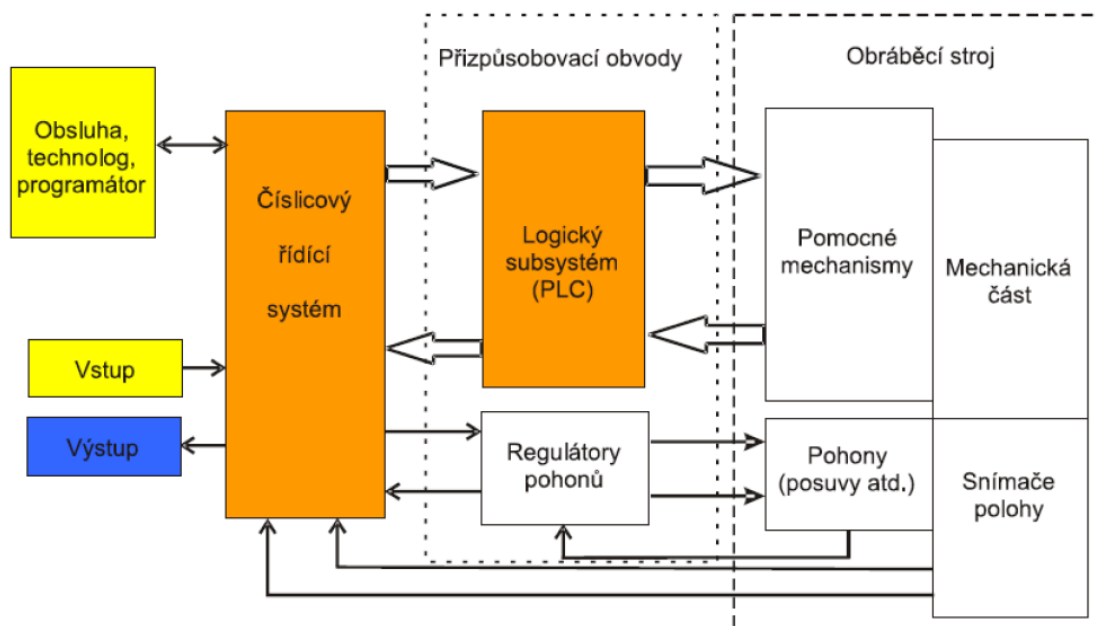
Nedílnou součástí moderních center jsou modulární nástroje. Díky tomu je možné rychle vyměnit nástroje a snahou je dosáhnout co možná největšího využití.¹⁸



Obr. 3.5 Vývoj od jednoprofesionálních strojů po obráběcí centra¹⁷

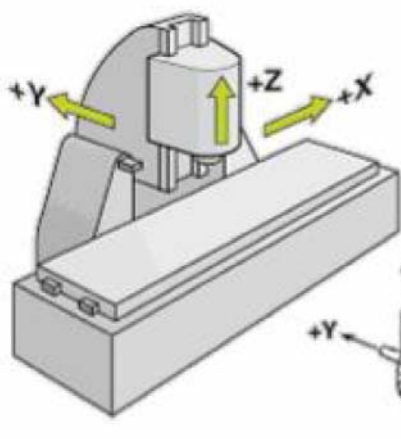
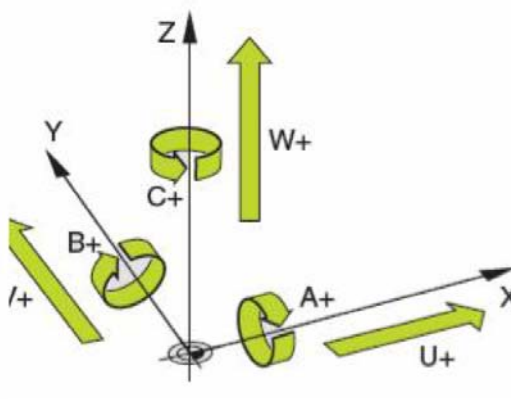
3.2.2 Princip a řízení CNC obráběcích strojů

Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, CNC (Computer Numerical Control) výrobní stroje jsou charakteristické řídicím systémem. Ovládání funkcí v tomto systému je pomocí sestaveného programu, do kterého se zapisují alfanumerické znaky. Sám program je určen posloupností oddělených skupin znaků, ty se nazývají bloky nebo věty. Tento program řídí silové prvky stroje a je zárukou, že proběhne požadovaná výroba součásti. Díky „pružnosti“ těchto strojů je možné rychle změnit nebo přizpůsobit výrobu dle potřeby. Tyto stroje pracují v automatizovaných cyklech, které jsou zajišťovány číslicovým řízením a mají široké uplatnění ve strojírenství, ať už se jedná o obrábění, tváření, montáž, či měření.¹⁷

Obr. 3.6 Schéma CNC systému¹⁹

3.2.3 Souřadnicový systém CNC obráběcích strojů

Pomocí souřadnicového systému, v případě výrobních strojů se jedná o kartézský systém, můžeme určit polohy v rovině nebo prostoru jednoznačným způsobem. Určení přesné polohy je vždy popsáno souřadnicemi a vztaženo k jednomu definovanému bodu. Kartézský systém je pravotočivý a pravoúhlý s osami X, Y, Z. V tomto systému je použito označení A, B, C jako otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z. Přitom osa Z a osa pracovního vřetene jsou rovnoběžné a kladná část je definována od obrobku k nástroji.^{17,20}

Obr. 3.7 Souřadný systém²⁰Obr. 3.8 Směry os²⁰

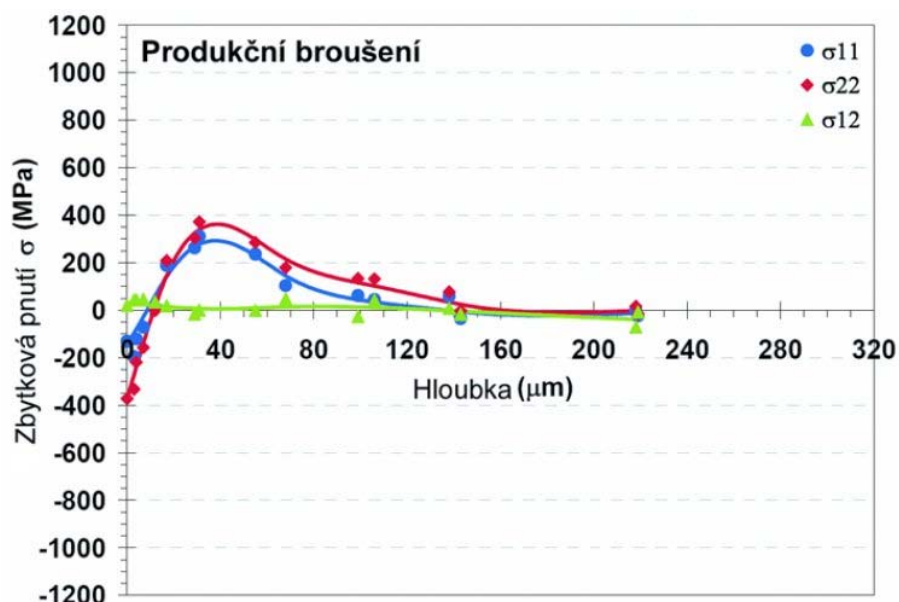
V kartézském systému je pohyb nástroje dle příkazů ve vytvořeném a spuštěném NC programu nebo pomocí příkazů zadanych na ovládacím panelu. Bez tohoto systému by nebylo možné provádět měření nástrojů a tento systém je možné v případě potřeby posunout či otáčet. Pro případ, že bude potřeba

měření nástrojů (zjišťování korekcí), je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů.¹⁷

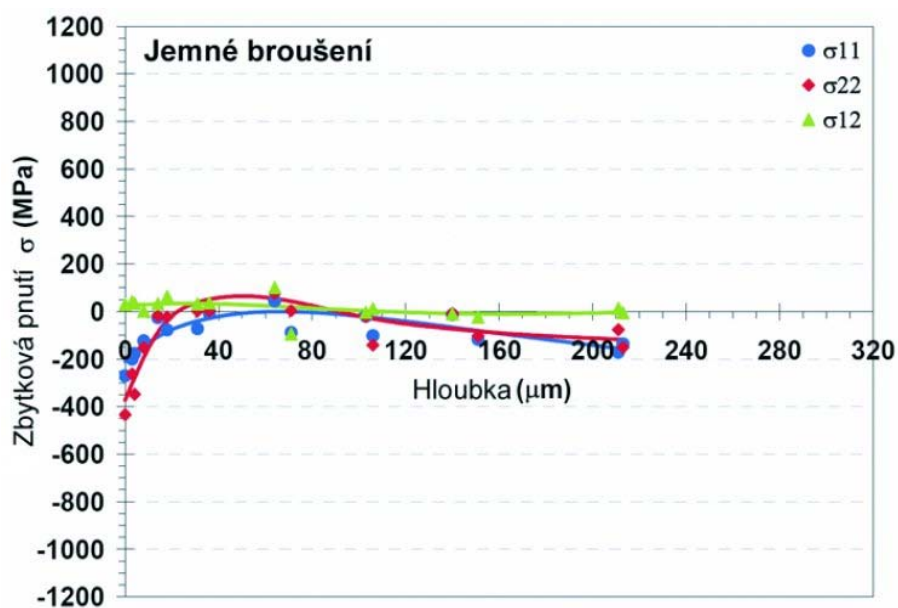
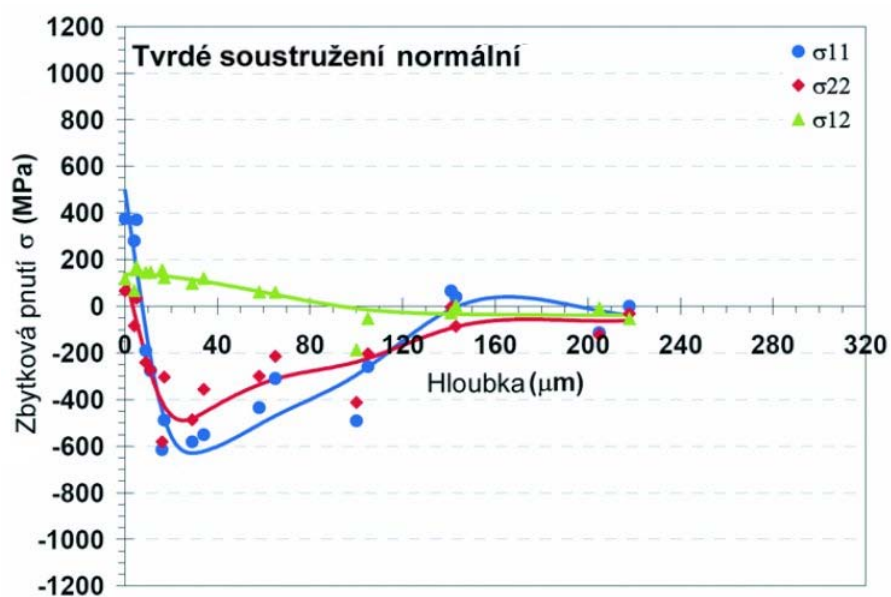
3.3 Brousicí stroje

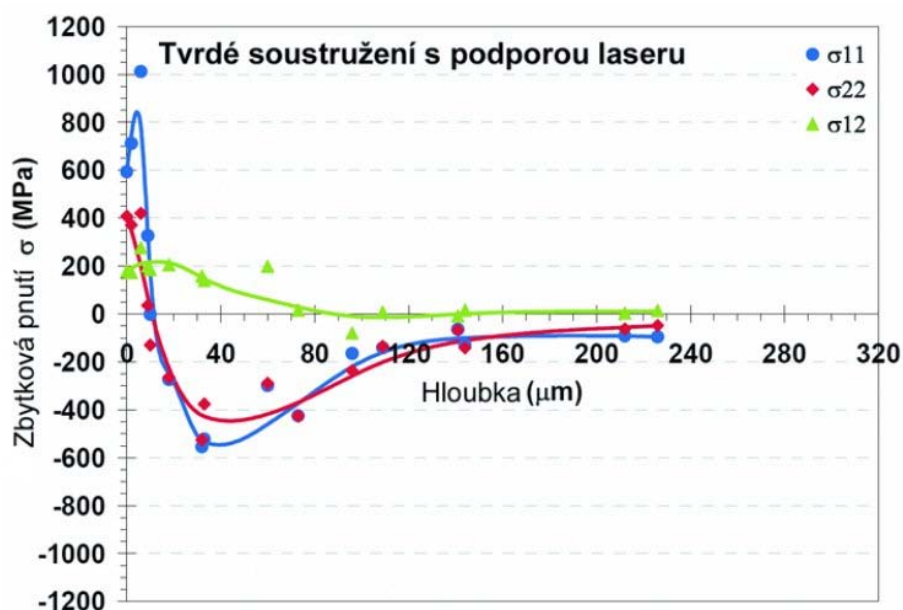
V euforii koncem minulého století, která plynula ze zjištěných výborných vlastností nových řezných materiálů, bylo umožněno velké rozšiřování nových technologií a zdálo se, že klasické broušení je v útlumu a jeho podíl na celkovém objemu třískových operací se bude dále snižovat k prospěchu těchto technologických novinek. Právě proto výrobci brousicích strojů museli rychle reagovat na tento stav se zdůrazněním tradičních předností brousicí technologie a dále pak zavedením nových možností brousicích strojů a nástrojů. Jako hlavní přednosti broušení se dá považovat stabilní přesná výroba dílů s malými tolerancemi a dobrá integrita obrobeneho povrchu.

Pod pojmem integrita povrchu si můžeme představit souhrn faktorů, které popisují vlastnosti obrobené plochy. To může být například drsnost, mikrotvrдость nebo průběh napětí v povrchové vrstvě. S tím, jak jde technika stále kupředu v technicky náročných oborech (letecký a kosmický průmysl, energetické stroje), je sledování integrity povrchu věnována velká pozornost. Z toho vyplývá, že není důležitá pouze dosažená drsnost povrchu, ale také pnutí, které v materiálu vzniká v důsledku výrobní technologie. Toto vzniklé vnitřní napětí se v případě zatížení součásti v provozu sčítá s napětím provozním. Proto mohou vzniknout mikrotrhliny na povrchu dílu jako důsledek překročení limitních hodnot napjatosti, poté může dojít k poškození součástky nebo i k havárii celého zařízení.²¹



Obr. 3.9 Průběh napjatosti po broušení povrchu běžnými řeznými parametry²¹

Obr. 3.10 Průběh napjatosti po opracování jemným broušením²¹Obr. 3.11 Průběh napjatosti po tvrdém soustružení²¹



Obr. 3.12 Průběh napjatosti po tvrdém soustružení s podporou laseru²¹

Právě broušení má mezi třískovými technologiemi výhodu z hlediska integrity povrchu. Na předcházejících grafech jsou porovnávány výsledné charakteristiky obrobeného kaleného povrchu po opracování různými třískovými technologiemi. „Na obr. 3.9 je vidět průběh napjatosti po broušení povrchu běžnými reznými parametry, na obr. 3.10 je po opracování jemným broušením. V obou případech je ve vrchní vrstvě tlakové pnutí, které přechází do mírného tahového napětí ve větší hloubce. Tento průběh je z hlediska funkce dílu velmi výhodný. Naproti tomu na obr. 3.11 vidíme po tvrdém soustružení tahové napětí v horních vrstvách obrobeného povrchu. To je nevýhodné právě z hlediska vzniku povrchových mikrotrhlin. Ještě horší charakteristiky bylo dosaženo při tvrdém soustružení s podporou laseru – viz obr. 3.12. Tahové napětí v povrchové vrstvě je ještě větší v důsledku ohřevu materiálu. Ačkoliv je laserový paprsek schopen pracovat v malé oblasti, je jeho vliv na kvalitu výsledného povrchu značně negativní.“²¹

Technologické výhody broušení jsou podporovány i aktivním přístupem výrobců brusek k zákazníkovi, jeho potřebám a cílové výrobě. Toto vedlo v konstrukci strojů ke dvěma vylepšením. Jednak ke specializaci strojů z důvodu zvýšení produktivity a také ke zvětšení univerzálnosti v použití těchto strojů pomocí rozšíření jejich technologických možností. Dnes je možné na trhu s brousicími stroji najít tyto skupiny strojů:²¹

- univerzální brousicí stroje,
- speciální brousicí stroje,
- pěti-osé brousicí stroje a brousicí centra,
- brousicí stroje a centra pro kombinované technologie.

Co se týče používaných materiálů, komponent a jejich konstrukce, je možné u brousicích strojů rozlišit dva rozdílné trendy.²¹

- orientace na speciální řešení zajišťující maximální přesnost a stabilitu výroby – zdůraznění prvků, které bruskám zaručují lepší vlastnosti než strojům pro technologie s definovanou geometrií bříty,
- orientace na univerzalitu, která snižuje cenu stroje – sbližování konstrukce s provedením soustružnických a frézovacích strojů.

3.4 Výběr speciální CNC brusky

V této době je mnoho firem, které se zabývají výrobou různých CNC strojů. Tyto stroje mají mnoho výhod, mezi které lze s určitostí zařadit možnost provádění několika operací při jednom upnutí nebo po obrobení jedné strany upnout obrobek do proti-vřeten a při minimálním rozdílu polohy obou vřeten. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, základem těchto strojů je řídicí systém, na jehož výkonu, rychlosti zpracování dat a spolehlivosti obrábění závisí kvalita konečného produktu.²²

Při výběru stroje a jeho řídicího systému je nutné se zaměřit na:²⁴

- typ výroby, pro který bude použito CNC obráběcí centrum,
- spolehlivost řídicího systému,
- komfort ovládání řídicího systému a náročnost přípravy NC programů,
- dostupnost a kvalitu servisu a technologickou pomoc od dodavatele,
- kvalitu a cenu servisní organizace dodavatele CNC řídicího systému,
- programátorské možnosti, simulační programy.

Při výběru nové brusky bylo osloveno několik firem (Erwin Junker, Schaudt, Emag Kopp, TOS Praha, Tripet, Fermat-Zevo) s jednotným zadáním. Pro seřízení a převídku byla předložena vačková hřídel 2Cv20017-12 (příloha 1).

Požadovaná dodací lhůta u všech nabídek byla stanovena na 10 měsíců od podpisu kontraktu.

Termín pro vypracování časové studie byl stanoven do konce května 2006 i s uskutečněním zkoušek za cenu 157 000 Kč.

Hodnocení předložených nabídek bylo prováděno z těchto hledisek:

- cena,
- výkon,
- provedení – reference,
- servis.

V následující tabulce (tab. 3.5) je hodnocení uskutečněno pomocí číslic, které značí pořadí, na kterém se tento stroj umístil z jednotlivých hledisek. Kurz Eura byl v datu vypracování 1 EUR = 28,36 Kč.

Tab. 3.5 Nabídky jednotlivých firem²³

Firma	Nabídková cena	Čas broušení	Hodnocení (cena + výkon + prov. - ref. + servis)	Poznámka
Erwin Junker	23 704 936 Kč - olej	339,5 s	3 + 3 + 1 + 1 = 8	ŘS Fanuc
	21 104 511 Kč - bez chlazení, emulze			
Schaudt	679 173 EUR = 19 261 346 Kč - olej	279 s	2 + 1 + 1 + 2 = 6	ŘS Sinumerik 840D, Fanuc
	644 343 EUR = 18 273 567 Kč - emulze			
Emag Kopp	627 710 EUR = 17 801 856 Kč - emulze	329 s	1 + 2 + 2 + 2 = 7	ŘS Sinumerik 840D, Fanuc
TOS Praha				Vyřazení z výběrového řízení z důvodu nepředložené srovnatelné nabídky.
Tripet				Odstoupili z výběrového řízení.
Fermat - Zevo				Nepředložili nabídku.

Stroji používané technologie broušení se v jednotlivých nabídkách neliší – 3 brousící kotouče z PKNB a při vlastním broušení dojde nejprve k předpracování jednoho kužele (pro upínání), ostatní broušení bude následně načisto.

Technické provedení strojů je naprosto srovnatelné, pouze u nabídky Erwin Junker je nevýhodou, že brusky jsou vybavovány pouze řídicím systémem Fanuc. Základní informace o strojích firem, které se účastnily výběrového řízení, jsou v následující tabulce (tab. 3.6). Ceny strojů jsou v této tabulce uvedeny i se započtením nákladů na jejich instalaci, zaškolení pracovníků apod.

Tab. 3.6 Základní informace o nabídnutých strojích²³

Výrobce	EMAG - KOPP	Erwin Junker		Schaudt	
Typ	SN 204	JUCAM 3000		ZEUS M01-U12	
za výrobce	Karl Gentner	Hans-Klaus Brauchle		Bernd Stiebitz	
Dodavatel	Imtos - Zdeňek Novotný	Junker- Roman Jareš		Galika-František Pán	
Cena Kč	17 801 856	21 104 936	23 704 936	18 273 567	19 261 346
Cena €	589 730			644 343	679 173
Termín dodání	10 měsíců od podpisu smlouvy	10 měsíců od podpisu smlouvy		10 měsíců od podpisu smlouvy	
Cyklus stroje	329s = 5,48 min.	339s = 5,65min.		279s = 4,65 min.	
Max. délka vačkové hřídl.	540 mm	500 mm		600mm	
Kotouče	3 x PKNB	3 x PKNB		3 x PKNB	
Uložení vřeteníků	B osa po 120°	B osa po 120°		B osa po 120°	
Chlazení	emulze (doporučuje emulzi)	emulze	olej (doporučuje olej)	emulze	olej (dle výběru)
Upínání	unašeč	unašeč / čelisti		unašeč	
Software	Siemens 840D, Fanuc	Fanuc		Siemens 840D, Fanuc	
lunety	ano	ano		ano	
aut. Zavírání dveří	ne	ne		ne	
Měření tvaru vačky	ne	ano		ano	



SN 204

JUCAM 3000

ZEUS M01-U12

Obr. 3.13 Brusky ve výběrovém řízení^{2,25,26}

V tomto výběrovém řízení vyhrála firma Schaudt s bruskou ZEUS M01-U12, která předčila v celkovém srovnání, ve výše zmíněných hlediscích, ostatní konkurenty. Nabídka této firmy byla doporučena k realizaci.

3.5 Finanční hodnocení nabídky

Předmětem tohoto hodnocení je koupě brusky od firmy Schaudt. Technologie broušení na stávajících kopírovacích strojích představuje následující:

- náročnou výrobu vzorových a kopírovacích vačkových hřídelů,
- není zajištěna požadovaná rovnoměrnost povrchu,
- byla ukončena výroba brousicích kotoučů, kde se jako pojivo používá síra – důsledkem byl spálený a popraskaný broušený povrch,
- není možné brousit konkávní profily, což je nezbytné pro vývoj vstřikovacího zařízení.

3.5.1 Plán výroby

Za období leden – listopad 2007 bylo vyrobeno 36 550 ks vačkových hřídelů, pro rok 2008 se předpokládalo navýšení výroby na cca 42 000 ks + 1000 ks vývojových.²⁷

3.5.2 Navrhované řešení

Ve výběrovém řízení, které bylo uvedeno výše, bylo osloveným firmám předloženo jednotné zadání, pro seřízení a převýmku stroje byl předložen vačkový hřídel 2Cv20017-12.

Výběrové řízení bylo uzavřeno v únoru 2006 a na základě podrobného technického, výkonového a cenového posouzení nabídek byla doporučena realizace nabídky firmy Schaudt.

V říjnu 2007 byla předložena firmou Schaudt aktualizovaná nabídka, jednalo se o novou typovou řadu – stroj CamGrind L650 U12/OEL. Tento stroj se od svého předchůdce ZEUS M01-U12 téměř neliší a i cena samotného stroje je přibližně stejná. Cena stroje ZEUS M01-U12 byla 439 000 EUR a nové typové řady 453 000 EUR. Celková cena nově nabídnuté brusky byla 784 670 EUR, ta je i s náklady na instalaci, zaškolení pracovníků atd.

Nově učiněná nabídka je proti původní o cca 100 000 EUR vyšší. To je zapříčiněno lepší výbavou, konkrétně se jedná o lepší druh filtrace a lunety, které v předchozí nabídce nebyly zahrnuty a slouží pro podepření delších hřídelů. Původní filtrace byla pomocí magnetického zachytávače třísek, nová využívá odstředivých sil v rotujícím bubnu.²⁸

Jako s následnou investicí je třeba počítat s těmito věcmi:

- 1) zajištění měřidla pro měření profilu vačkových hřídelů, případně dokoupení softwaru pro stávající tří-souřadnicové měřicí přístroje. Cena by se měla pohybovat kolem 1,5 milionu Kč,
- 2) pračka (cena cca 0,2 milionu Kč), kdy vlastní praní bude prováděno obsluhou stroje v překrytém čase.

Celkem by se tedy jednalo o 784 670 EUR = 22 253 241 Kč + 1 700 000 Kč, kdy 1 EUR = 28,36 Kč.

3.5.3 Očekávané přínosy

Bez investice do této výroby nelze pokračovat ve vývoji vstřikovacích zařízení, kdy zejména od možnosti vyrábět konkávní tvary vaček lze očekávat zvýšení vstřikovacích tlaků a tím zvýšit konkurenceschopnost výroby vstřikovacího zařízení.

Proti stávající technologii dojde rozhodně k úspoře, počítaná úspora se bude vztahovat ke kusu 2Cv20017-12.

Dále likvidací 4 ks stávajících brusek CHŠ-3 dojde k úspoře výrobních ploch (cca 36 m²). Jelikož dojde ke zrušení nutnosti výroby vzorových a kopírovacích vačkových hřídelů, dojde k úspoře 119 000 Kč/rok.¹⁶

3.5.4 Doporučení realizace

Závěrem těchto zjištění a výsledků je potřeba zajištění konkurenceschopnosti firmy. Tato investice byla doporučena k realizaci.

4 ROZPRACOVÁNÍ ÚSEKŮ NOVÉ TECHNOLOGIE

Po tepelném zpracování se přichází k brousicím operacím povrchu. Broušení je především využíváno k obrábění součástí, které mají vyšší požadavky na přesnost rozměrů, tvarů a jakosti povrchu. Především můžeme zařadit mezi výhody broušení dobrou stabilitu, přesnou výrobu dílů s malými tolerancemi a dobrou integritu obrobeného povrchu. Broušení je v této době využíváno jako hlavní metoda ve strojírenské výrobě. Díky vývoji vysoce výkonných nástrojů a strojů začíná být broušení využíváno, kromě dokončování, i v oblasti hrubovacích operací.

4.1 Bruska CamGrind L650 U12/OEL

Tato bruska je řazena mezi speciální brousicí stroje, byla vyvinuta pro opracování specifických obrobků, v tomto případě se jedná o vačkové hřídele. U těchto strojů se využívají podobné prvky konstrukce jako u univerzálních strojů, kde právě kinematika a možnosti konfigurace vřeten v brousicím vřeteníku vycházejí z těchto strojů. Největším rozdílem, proti univerzálním strojům, je orientace stroje na jeden typ obrobku. Ale snížení univerzality umožňuje zvýšení výrobního výkonu.²⁹



Obr. 4.1 Bruska CamGrind L650²⁹

Stroje CamGrind jsou nabízeny se širokou paletou uspořádání brousicích vřeten s korundovými nebo PKNB kotouči. Kotouče jsou instalovány přesně podle konkrétních potřeb zákaznickovy výroby. Pro rozšíření možností obrábění je kromě provedení L ještě možné provedení Synchro. Tento stroj může mít dále ještě provedení s jednou brousicí hlavou nebo se dvěma brousicími hlavami. V případě dvou brousicích hlav má tedy dva pracovní prostory a může být ještě ve dvou provedeních. Buď pro zvýšený výrobní výkon (pokud jsou v obou prostorech stejné vřeteníky) nebo v provedení pro větší univerzalitu operací (pokud jsou instalovány odlišné vřeteníky). Stroj se dvěma brousicími

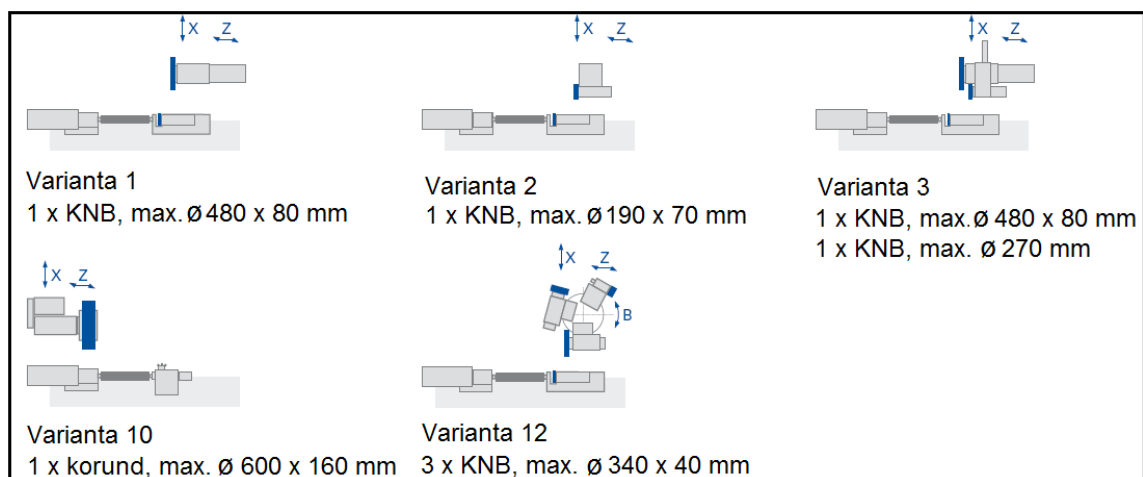
hlavami je prodloužený a umožňuje rychlejší broušení. Každá broušící hlava může být vybavena otočným vřetenem. Bruska může mít 1 – 6 vřeten, která jsou na sobě nezávislá a lze je používat najednou.

Otočné vřeteno, s vysoko-rychlostním balancováním systému od 200 do 370 mm, je patentované. Druhé vřeteno s natáčením kolem prvního vřetena nabízí unikátní služby při broušení konkávního profilu. Vnější průměry prvního vřetena tím formují ložisko pro druhé, natáčecí vřeteno. Tento patent poskytuje nejvyšší přesnost v nejkratších časově možných intervalech. Velký broušící kotouč je upevněn na otočném vřetenu s průměrem od 70 do 370 mm a garantovanou dlouhou životností. Při výměně broušícího kotouče je systém znovu provozuschopný za méně jak 2 s.

Tento stroj má velkou výhodu při broušení velkých součástí ve svojí flexibilitě a vysoké přesnosti a to díky procesu měření, jelikož sám stroj si změří délku a průměr obrobku. Tímto strojem je umožněno broušení válcových a nerotačních součástí (konvexní, konkávní) na jedno upnutí. I z minima dodaných dat lze docílit plynulého průběhu rychlosti a konstantních řezných podmínek pomocí dodávaného programu WOP-S (Workpiece – Orientated – Programing – System). Tento program je dodáván přímo ke stroji a programují se v něm veškeré náležitosti nutné k obráběcímu procesu.

Každá takto instalovaná bruska má konkrétní nastavení požadavků dle potřeb zákazníka. Nevadí, jestli se na stroji bude vyrábět několik let tatáž součástka nebo široké spektrum různých tvarů hřídelů, protože systém s modulárním nastavením nabízí různorodá řešení.

Tato bruska může být také snadno vybavena dalšími potřebnými komponenty nebo celkově vylepšena.²⁹



Obr. 4.2 Typické varianty uspořádání broušících kotoučů²⁹

V případě nabízené brusky CamGrind L650 je to varianta 12 (obr. 4.2) s jednou broušící hlavou a se třemi broušícími kotouči z PKNB s keramickým pojivem.

Tab. 4.1 Používané brousicí kotouče²⁸

Rozměry brousicího kotouče	Cena brousicího kotouče v EUR
Ø 340 x 18 x Ø 100 H4	4 490,-
Ø 250 x 15 x Ø 100 H4	3 210,-
Ø 100 x 12 x Ø 50 H4	2 060,-

Kotouče, které se používaly na bruskách BEK 15 od firmy Tyrolit, byly levnější (4154 Kč), ale nebylo s nimi možné brousit tolik kusů. Tyto kotouče vydržely pro broušení přibližně 2500 kusů vačkových hřídelů, kdežto kotouče dodávané k nové brusce vydrží přibližně 40 000 kusů broušených hřídelů.

Tyto kotouče jsou dodávané od firmy Saint Gobain Winter na doporučení výrobce brusky.

Tab. 4.2 Základní technická data brusky²⁸

CNC řídicí systém	Sinumerik 840D
Vzdálenost mezi hroty [mm]	650
Výška hrotů se stolem [mm]	220
Rozměry stroje (Š x V x D) [mm]	3832 x 3642 x 5850
Hmotnost stroje bez rozvodové skříně [kg]	11000
Hmotnost rozvodové skříně [kg]	1500
Potřebný přívod napětí [kW]	99
<i>Podélný posuv – osa Z</i>	
Maximální posuv [mm]	1300
Rychlost příčného pohybu [mm.min ⁻¹]	0,001 – 15000
Citlivost [μm]	0,1
<i>Posuv kotouče – osa X</i>	
Maximální posuv [mm]	380
Rychlost příčného pohybu [mm.min ⁻¹]	0,001 – 15000
Citlivost [μm]	0,1
3 brousicí kotouče z PKNB	
<i>Brousicí kotouče Ø 340 x 18 x Ø 100 H4 a Ø 250 x 15 x Ø 100 H4</i>	
Příkon motoru [kW]	30
Max. obvodová rychlost kotouče [m.s ⁻¹]	150
Max. šířka kotouče [mm]	70
<i>Brousicí kotouč Ø 100 x 12 x Ø 50 H4</i>	
Příkon motoru [kW]	8
Max. obvodová rychlost kotouče [m.s ⁻¹]	125
Max. šířka kotouče [mm]	130
<i>Pracovní vřeteno</i>	
Otáčky [min ⁻¹]	1 – 500
Max. krouticí moment vřetena [N.m]	48
Vnitřní kužel koníku	MK4

Obr. 4.3 Broušení vačkového hřídele²⁹

4.2 Řídicí systém Sinumerik 840D

Pod názvem Sinumerik můžeme objevit skupinu řídicích systémů CNC. Produkty, které lze zařadit do této skupiny, komunikují s uživatelem mnoha jazyky, do kterých patří i česká verze. Jako D base line a D jsou značeny řídicí systémy pro digitální pohony. Systém, který má označení D, řídí pět os (digitální lineární osy a jedno digitální/analogové vřeteno) a s označením D base line řídí tři osy (dvě digitální lineární osy a jedno digitální/analogové vřeteno). Řídicí systém Sinumerik 840D je kompaktním digitálním systémem CNC.³⁰

4.2.1 Složení systému Sinumerik 840D

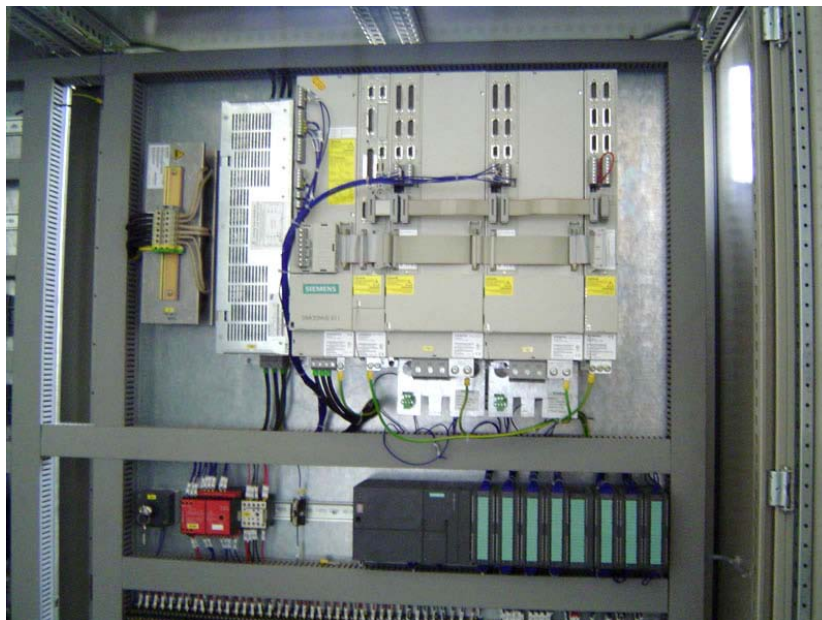
Sinumerik 840D je řídicí systém od firmy Siemens, který umožňuje splnit požadavky zařízení díky svojí modularitě. Sinumerik 840D představuje základnu pro téměř všechny technologie. Jedná se o kompletní digitální systém s pohony Simodrive 611D a moduly programovatelného automatu Simatic S7-300. Uživateli je i umožněno integrovat do systému svoje „know how“ a to díky otevřenosti systému v oblasti HMI, CNC a PLC. Tento systém je využíván v následujících technologiích: soustružení, vrtání, frézování, broušení, dále potom u laserových, dřevoobráběcích a skloobráběcích strojů, i v oblasti robotů a obráběcích linek pro velkosériovou výrobu, ale i v malých sériích a kusové výrobě.³¹

Jednotlivé funkce CNC, PLC a komunikace jsou sjednoceny v centrální jednotce NCU. Tato víceprocesorová jednotka je integrována do pohonového systému Simodrive 611D poté, co se vloží do nosného NCU boxu. Sinumerik 840D umožňuje vysokou ochranu osob i strojů díky integrovaným certifikovaným bezpečnostním funkcím. Sestavu tohoto systému tvoří následující části:³¹

- jednotka NCU,
- ovládací panel s jednotkou MMC nebo PCU a strojní panel,
- IN/OUT jednotky PLC z řady S7-300,
- motory 1FT6, 1FK6 a 1PH,
- moduly Simodrive 611D.

Další možné prvky, kterými může být sestava doplněna:³¹

- 2 ruční kolečka,
- jiné ovládací panely (z řady OP-Simatic),
- ruční pomocné ovládací panely,
- další periferní moduly PLC (inteligentní periferie).



Obr. 4.4 Skříň řídicího systému Sinumerik 840D³²

4.2.2 Základní pojmy

- absolutní programování - při takovémto zadávání polohy nástroje jsou souřadnice vztaheny k aktivnímu nulovému bodu,
- inkrementální programování - při takovémto zadávání polohy nejsou údaje o pozici vztahovány k nulovému bodu, ale k předcházejícímu bodu,
- slovo - je složeno z části povelové (písmeno) a z části významové (číslice nebo skupina číslic),
- blok (věta) - jedná se o jeden řádek programu, blok se skládá ze slov a měl by obsahovat všechny potřebné informace (geometrické a technologické), které jsou vykonány v jednom kroku,
- cyklus - jde o pevně naprogramované pořadí jednotlivých kroků v řízení,
- interpolace - mezi známými koncovými body křivky jde o určování mezilehlých bodů,
- parametr - je to proměnná hodnota v NC programu a její hodnota je přiřazena pro konkrétní případ,
- part program - řídicí program, který obsahuje informace o veškerých činnostech vedoucích ke zhotovení součásti,
- podprogram - jedná se o část programu a může být opakovaně volána různými řídicími programy,
- simulace - počítačový program, který umožňuje zobrazení skutečné polohy nástroje vůči obrobku, která je zapsána v NC programu.³³

4.2.3 Tvorba NC programu

Směrnice pro tvoření programů je DIN 66025. NC program součástí je složen z posloupnosti NC bloků (tab. 4.3). Tyto bloky představují jednotlivé kroky programu. Každý blok obsahuje příkazy ve formě slov a poslední blok obsahuje speciální slovo jako je M30 nebo M2 (konec programu).³⁴

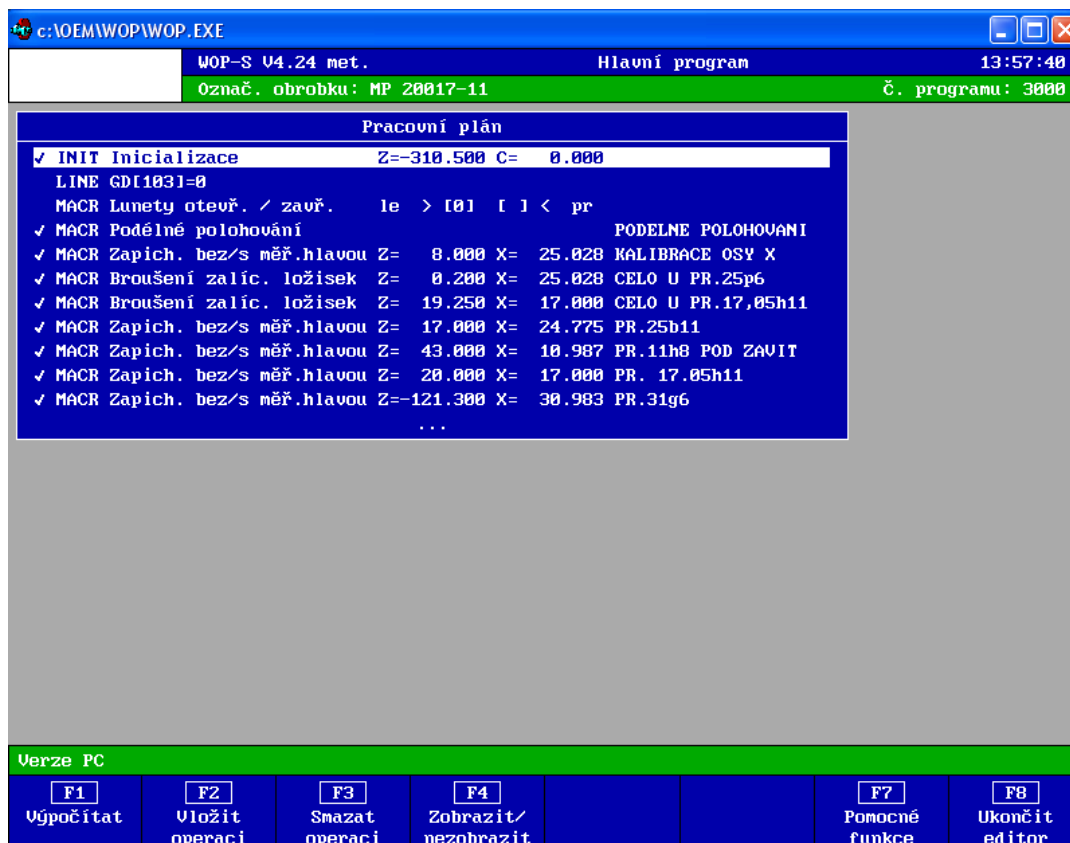
Tab. 4.3 Příklad NC programu³⁴

Blok	Slovo	Slovo	Slovo	Slovo	; Komentář
Blok	N10	G0	X30	...	; 1. blok
Blok	N20	G2	Z85	...	; 2. blok
Blok	N30	G91	...	...	; 3. blok
Blok	N40	G1	X70	Z-12	...
Blok	N50	M30	...	...	; Konec programu (poslední krok)

Každý z programů má vlastní název, ten lze při vytváření programu volně zvolit.³⁴

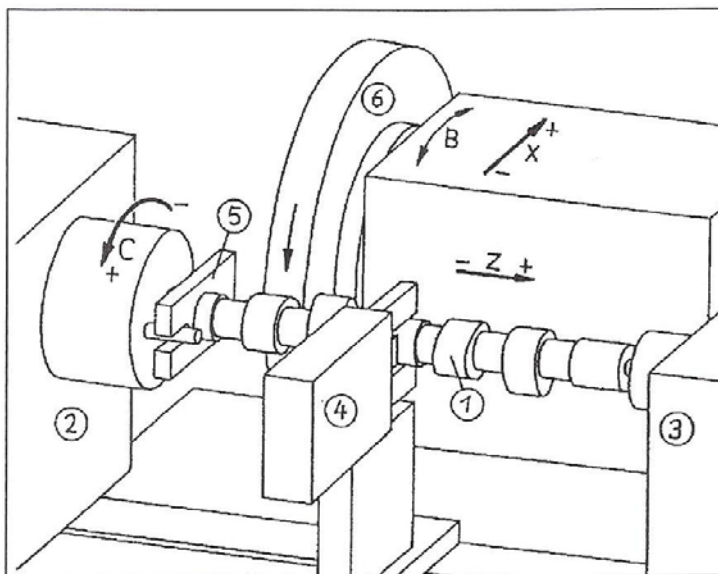
4.2.4 Systém WOP-S

Tento programovací systém není „trošku jiným způsobem“ vytváření a ukládání NC programů. Je to systém, který umožňuje strukturované zadávání a spravování dat relevantních pro broušení nekruhových tvarů. Až v případě potřeby, tedy když určitý obrobek má být vyroben strojem, generují postprocesory z těchto dat proveditelné NC programy.



Obr. 4.5 Ukázka programu ze systému WOP – S

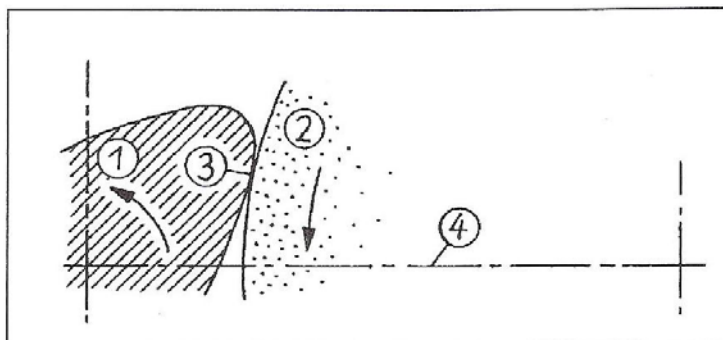
Broušení nekruhových tvarů je v zásadě zvláštní formou broušení dokulata. Uspořádání na obr. 4.6 odpovídá proto uspořádání známého z broušení dokulata. Obrobek se upíná axiálně mezi hroty pracovního vřeteníku a koníku nebo do sklíčidla pracovního vřeteníku. Aby v případě dlouhého, štíhlého obrobku nedošlo k jeho prohnutí následkem sil vyskytujících se při broušení, je možno ho podporovat na vhodných sedlech (uložení ložiska) pomocí lunet. Rotační pohyb osy C stroje je bezvúlovým unašečem přenášen na obrobek. Podle provedení stroje pohybuje osa Z brousicím kotoučem, resp. pracovním stolem podél osy obrobku, osa X je příčně k tomu. Pomocí dodatečné osy B se brousicí kotouč může natočit do šikmé polohy vůči obrobku.³⁵



Obr. 4.6 Uspořádání při broušení nekruhových tvarů³⁵

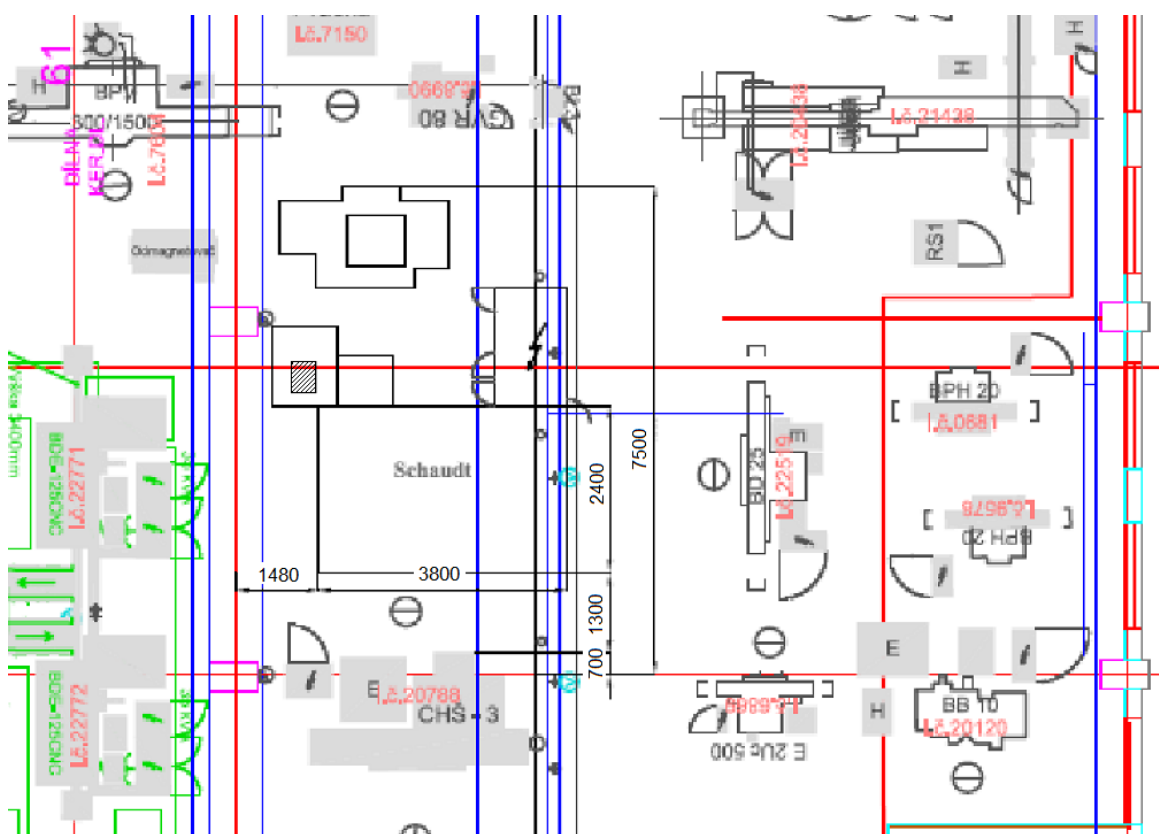
1 – obrobek, 2 – vřeteník, 3 – koník, 4 – luneta, 5 – unašeč, 6 – brousicí kotouč

Obr. 4.7 ukazuje boční pohled nekruhového obrobku a brousicího kotouče při obrábění. Je vidět, že bod dotyku mezi konturou obrobku neleží jako u broušení dokulata na spojovací čáře obou středů, ale vychyluje se nahoru nebo dolů. Toto vychýlení je typické pro obrábění nekruhových tvarů a je závislé na kontuře, na úhlové poloze a na průměru brousicího kotouče.³⁵



Obr. 4.7 Vychýlení bodu dotyku při broušení nekruhových tvarů³⁵

1 – nekruhový obrobek, 2 – brousicí kotouč, 3 – bod dotyku, 4 – spojovací čára středů



Obr. 4.9 Plánované umístění brusky CamGrind L650

4.3.2 Stavební úpravy

Prostor, kam se bruska bude umisťovat, se nachází v přízemí a oblast není podsklepena. Proto nebudou žádné komplikace s možným překročením nosnosti podlahy (váha brusky činí 11 t). Jedinou stavební úpravou bylo vybetonování prostoru, kde bruska bude stát.

4.3.3 Zajištění energie

Příkon stroje je uváděn 99 kW a stávající el. instalace je pro tento stroj nedostačující, bude třeba ji posílit. To se bude provádět posílením přívodních kabelů a přípojníc.

U stlačeného vzduchu bude využit stávající rozvod o tlaku min. 0,6 MPa.

4.3.4 Manipulace s materiálem

Manipulace se zpracovanými dílci bude ruční a bude se provádět stávajícími ručními vozíky.

4.3.5 Péče o životní prostředí a péče o bezpečnost práce a tech. zařízeníZdroje ohrožení zdraví a bezpečnosti pracovníků:³⁷

Z titulu provozu vznikají tyto možnosti ohrožení:

- při technologických operacích,
- při manipulaci s ukládacími prostředky,
- při manipulaci s technickými prostředky,
- nebezpečí z titulu využívání zařízení energetických (elektroinstalace, stlačený vzduch).

Opatření k zajištění hygieny práce:³⁷

Všechna pracoviště budou intenzivně větrána a vytápěna tak, aby byly rozdíly teplot v hale minimální a byla zabezpečena pohoda prostředí.

Opatření ke snížení ohrožení bezpečnosti pracovníků:³⁷

Dispoziční uspořádání pracovního prostředí bude v souladu s vyhláškou č. 48/1982 Sb., kterou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení.

Pracoviště bude řešeno tak, aby byla splněna hygiena práce a byla v souladu zejména s Nařízením vlády č. 361/2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci a Nařízením vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Pro potřeby obsluhy a údržby strojního zařízení bude vypracován provozní řád. Zde musí být pro bezpečnost obsluhy a údržby stanoveny pokyny, kterými se budou řídit pracovníci kvalifikovaní pro tyto činnosti. Zaměstnanci budou před zahájením provozu prokazatelně proškoleni. Na pracovišti budou mít k dispozici ochranné pomůcky předepsané v návodu pro obsluhu zařízení (rukavice, vhodný oděv a obuv, ochranné brýle, chrániče sluchu).

Na novém pracovišti bude umístěno:³⁷

- návod na poskytnutí první pomoci při možných úrazech a označení nejbližšího místa první pomoci,
- návody k obsluze zařízení, včetně pracovně bezpečnostních podmínek a termínu čištění,
- provozní řád,
- požární řád a poplachové směrnice,
- bezpečnostní tabulky,
- hlavní vypínač elektrické energie,
- všechny elektrické rozvaděče tabulkou „Nehasit vodou, ani pěnovými hasicími přístroji“,
- hlavní uzávěr vody,
- hlavní uzávěry technických plynů,
- únikové směry a únikové východy.

Výchozími podklady pro zpracování provozních předpisů u strojů, zařízení a používaných materiálů, je dodavatelská dokumentace a dále stávající provozní předpisy.



Obr. 4.10 Umístění brusky v hale

5 MODERNIZACE MĚŘENÍ

Jedna z hlavních otázek ve strojírenské výrobě je ta, jak získat požadovanou přesnost jednotlivých strojních součástí. Tyto požadavky jsou z praktického hlediska jednoznačně definovány v konstrukční dokumentaci, která vychází z požadavků kladených na výslednou přesnost konstruovaného zařízení (jedná se o obráběcí stroj, přípravky pro technologické operace, strojní zařízení ke zpracování materiálu atd.).

Konstrukční a technologické požadavky musí samozřejmě vycházet z norem, to mohou být mezinárodní ISO normy nebo národní ČSN normy a dále z podnikových normativů.

Pro běžná měření ve strojírenské výrobě je používáno klasických měřidel, to mohou být posuvky, mikrometry, měřidla na otvory, úhlooměry, elektronické digitální váhy a další. Pokud se požadavky na přesnost zvyšují, nastává velmi důležitá otázka, jaké zařízení bude nejlepší použít a jakým způsobem dokladovat protokolem naměřenou přesnost. V dnešní době můžeme nalézt spoustu zařízení např. od jednoduchých výškoměrů, které měří v jedné ose, až po výškoměry s vyhodnocením polohy souřadnic prvků softwarem ve dvou osách a s výstupem naměřených hodnot, buď do počítače, nebo do protokolu naměřených hodnot, možných k dalšímu zpracování.³⁸

Hlavním důvodem pro modernizaci měřicího zařízení v této firmě bylo to, že stávajícími měřidly nebylo možné změřit profil vačky, možné bylo pouze měření základních rozměrů, jak je patrné z obr. 2.9.

5.1 Výběr měřicího zařízení

Vzhledem k vyšší přesnosti výroby, kterou umožňuje nová bruska, a vzhledem k přizpůsobivosti se nepříznivým dílenským podmínkám, je vhodné uplatnit souřadnicový měřicí stroj. Jedná se o zařízení, která umožňují řešení složitých metrologických úkolů, vyznačují se velkou flexibilitou a univerzálností.³⁹

První typy těchto strojů měly využití především v metrologických střediscích, v této době se stále více souřadnicové stroje začleňují přímo do výrobního procesu. U některých firem je možné se setkat s případem, kdy je souřadnicový měřicí přístroj přímo integrovaný do výrobní linky, aniž by tím byla výrazně snížena jeho přesnost. Vezmeme-li v úvahu kolísání teploty a chvění, které způsobuje dílenský provoz, jedná se o náročné řešení.⁴⁰

Základní požadavky po měřicím stroji byly následující:

- možnost měření a vyhodnocení tvaru profilu vačky, včetně vaček konkávních,
- možnost měření úhlového rozdělení vaček od drážky pro klínek nebo osy první vačky,
- jaká je možnost dalšího měření rozměrů a geometrických odchylek na vačce, které tento stroj umožňuje a s jakou přesností.

Při výběru tohoto zařízení bylo osloveno několik firem (Hommel-Etamic, Werth, Adcole) a jako představitel byl zvolen opět vačkový hřídel 2Cv20017-12 (příloha 1).

V následující tabulce (tab. 5.1) je srovnání jednotlivých nabízených strojů. Kurz Eura byl v datu vypracování 1 EUR = 28,36 Kč.

Tab. 5.1 Základní parametry nabízených zařízení⁴¹

Výrobce	Werth	Hommel-Etamic	Adcole
Typ	Scope-Check V800	CCM 2020	Model 1100-48''
Dodavatel	KB a.s.	Hommel CS s.r.o.	Adcole GmbH
Cena Kč	5 360 040	4 920 460	5 526 513
Cena €	189 000	173 500	194 870
Rozměry Š x V x D	1000x2300x1000	3500x2000x3000	870x1140x2500
Koncepce	vertikální	horizontální	vertikální
Max. délka hřídele [mm]	800	1100	1200
Max. průměr hřídele [mm]	250	118	256
Max. hmotnost hřídele [kg]	15	50	200
Rozmezí teplot [°C]	10 - 40	10 - 35	5 - 40
Doba měření [s]	-	2	-
Rozlišení pravítek [μm]	0,1	0,1	0,1
Operační systém	Windows XP	Windows 2000/XP	Windows XP
Software	WinWerth	Turbo Shaft	Adcole Standart
Dodací lhůta	3 měsíce	4 – 5 měsíců	6 měsíců

Technické provedení jednotlivých zařízení je podobné, jedná se o multisenzorové měřicí stroje s vertikální nebo horizontální koncepcí, v případě produktu Hommel-Etamic. Multisenzorovou koncepcí je možné kombinované měření více senzory. Horizontální provedení umožňuje jednodušší manipulaci u větších hřídelů, u vertikální koncepce je zase eliminován možný průhyb hřídele. Základní výše uvedené požadavky po strojích splňují všichni zástupci. Stroj firmy Werth změří vačkový hřídel pouze o max. délce 800 mm, ale i to je vyhovující vzhledem k tomu, že nejdelší doposud vyráběný hřídel v závodě má 750 mm.

Jednotlivé nabídky firem jsou z pohledu technologie měření srovnatelné, jen produkt firmy Adcole umožňuje upnutí většího (průměr i délka) a těžšího hřídele, rozhodujícím faktorem bude tedy cena. Nabídka firmy Hommel-Etamic je z hlediska rozměrového i technického dostačující a koupě tohoto přístroje vyjde levněji více jak o 600 000 Kč proti nabídce firmy Adcole a o téměř 440 000 proti nabídce firmy Werth. Do cen uvedených v tab. 5.1 jsou již započteny veškeré potřebné náležitosti (doplňková výbava, instalace, zaškolení pracovníků atd.).

Z výše uvedených důvodů byla upřednostněna nabídka firmy Hommel-Etamic se strojem CCM 2020 a byla předána dále ke zpracování na měrové oddělení.



CCM 2020

Scope-Check V800

Model 1100

Obr. 5.1 Nabízená měřicí zařízení^{42,43,44}

5.2 Hommel – Etamic CCM 2020

Dlouholeté zkušenosti v oblasti měření, spojené s kontinuální výměnou know-how mezi uživatelem a výrobcem, mohou nabídnout tento produkt, který bude udávat měřítka v zajištění kvality. Tento měřicí systém je konstruován tak, aby poskytoval velmi rychlé a přesné měření rotačních součástí v dílenském prostředí. Pomocí tohoto přístroje je možné měřit obrobky s délkou až 1100 mm, průměrem 118 mm a váhou 50 kg. Úpravou prošly měřicí hlavy, tento přístroj má hlavy dvě (typ CCM 2010 má jen jednu), jedna byla upravena na měření průměrů a druhá na délkové rozměry.⁴³

Zvláštní vlastnosti:⁴³

- vodorovné provedení, které umožňuje jednodušší manipulaci u větších hřídelů,
- vysoká vlastní bezpečnost stroje, která je zajištěna kontinuální kontrolou inkrementálních měřicích systémů,
- optimalizovaná přesnost čelního házení užitím vybraných ložiskových těl válce (cca 0,5 μm),
- snížení hmotnosti snímací hlavičky z důvodu optimalizace pružinového systému hmoty (měřicí hlavičky obrobku) minimalizováním kontaktních sil,
- nově koncipovaný pohon snímací hlavičky lanem ve směru X (radiální) garantuje průběh měření bez kmitání,
- odborná znalost softwaru není nutná,
- rozsáhlé spektrum speciálních modulů zpracované ve spolupráci s různými uživateli z automobilového průmyslu.

Obr. 5.2 Hommel – Etamic CCM 2020⁴³

5.2.1 Rozsah měření

Obsah programu a průběh měření je možno volně programovat. Smluvně vázána jsou pouze následující měření:⁴³

- kruhovitost - vyhodnocení úchylky kruhovitosti prováděné dle ISO 4291, jako rozdíl mezi největším a nejmenším poloměrem sejmutého profilu podle metody kolokace nejmenších čtverců (LSC),
- tvar válce - tvar válce z několika zvolených rovin řezu, kruhovitost řezu se zjišťuje podle ISO 4291, společná základní osa se určuje regresí, všechny kruhové profily se zcela posouvají translačně na tuto základní osu, k základní ose se vypočítá nejmenší možný vnější a největší možný vnitřní válec, vzdálenost mezi oběma válci se vykazuje jako tvarová úchylka,
- obvodové házení - obvodové házení z každé měřicí stopy na ložiscích na jeden volitelný příjem podle ISO 1101, základní osa se tvoří středovými body zvolených ložisek, vyhodnocení jako rozdíl mezi min. a max.,
- celkové obvodové házení - spojení z volitelného počtu jednotlivých otáček podle ISO 1101, základní osa se tvoří středovými body zvolených ložisek, vyhodnocení rozdílu mezi min. a max.,
- souosost - souosost z jednoho měření pro ložisko na volitelný vztah dle ISO 1101, základní osa se tvoří středy zvolených ložisek, souosost se vykazuje jako dvojnásobná číselná hodnota úchylky soustřednosti,
- kuželovitost - kuželovitost z vnějších zaoblovacích stop měření předvolitelných ložisek, stanovení rozdílů zaoblení vnějších stop měření,
- úhlová pozice - úhlová pozice, vztahující se na jednu referenci, stanovení pomocí ISO 1101, rozšířeno o úhlovou pozici k volitelnému vztahu,
- průměr - vnější průměr na volně volitelných pozicích ložiska nebo čela, měření zaoblení, vyhodnoceno jako středová hodnota, pro vysoce přesná

měření je nutná kalibrace nastavovacím kusem na seřizování specifickým pro daný obrobek,

- povrchové přímky - přímost, sklon, paralelnost a vypouklost čepu hlavního ložiska a ojnicního ložiska s volitelnými vzdálenostmi měřicích bodů podle normy ISO 1101, vyhodnocení přímosti jako rozdílu mezi pozitivní a negativní hodnotou k rovinám (přímčkám) LSS, vyhodnocení sklonu přímky se vztahem na osu ložiska plus předepsaný sklon, vyhodnocení paralelnosti jako přímky, avšak se vztahem na osy ložiska,

- tvar vačky s profilem nad 360 - pro symetrické, asymetrické vačky a vačky čerpadel, vztahující se na základní kružnici, na osy ložisek (koncová nebo sousedící ložiska), na osu stroje (referenční svazky hrotů), vzdálenost měřených bodů 0,1°; 0,2°; 0,5°; 1°,

- úchylka profilu tvaru vačky - v oblasti přechodové části vačky, hlavní části vačky, základní kružnice, ve všech oblastech se úchylka vykazuje jako max. kladná hodnota, max. záporná hodnota, jakož i příslušné místo,

- úhel vačky - všechny vačky na základní prvek (otvor, drážka, plocha), na referenční vačku, referenční vačky na základní prvky a ostatní vačky na referenční vačku,

- maximální zdvih vačky a úchylka - rozdíl mezi základní kružnicí a maximálním výstupkem, úchylka předepsaného zdvihu vačky a stávajícího zdvihu vačky, nastavovací kus na seřizování není v případě měření zdvihu vačky zapotřebí,

- maximální nárůst tvarových úchylek (tvarových trhlín) - v oblasti přechodových částí vačky, hlavní části vačky, v předvolitelných částech cyklu,

- kolmost - kolmost svazku lícovaných ložisek k referenčním ložiskům,

- délky - měření délek, šířek a obvodového házení, celkové obvodové házení, rovnost a plochost,

- vyhodnocení stop po chvění – Rattermarken - vyhodnocení stop po chvění se zakládá na tzv. Fourierově analýze (FFT – Rychlá Fourierova transformace), pro stopy po chvění je nutný odpovídající kruhový dotek, případně kulová plocha,

- vyhodnocení opotřebení pro vačkové hřídele - úbytek na materiálu se stanoví mezi dvěma měřeními, nový hřídel se zaměří před zabudováním do motoru a po chodu motoru (měření při montáži, měření při demontáži), rozdíl tvarové úchyly se zjišťuje jako hodnota a místo úhlu maximálního opotřebení, porovnávat se mohou libovolná měření.

Tab. 5.2 Základní technická data měřicího zařízení⁴³

<i>Kapacita obrobku</i>	
Max. vzdálenost hrotů [mm]	1100
Max. průměr obrobku [mm]	118
Tíhová síla měřeného objektu [kg]	cca 50
<i>Radiální měřicí systém (osa X)</i>	
Měřený zdvih [mm]	60
Rozlišení [μm]	0,1
Přesnost [μm]	$\pm 0,5$
Oblast nastavení měřené síly [N]	1,2,3 a 4
<i>Měřicí saně pro podélné nastavování polohy (osa Z)</i>	
Vzdálenost osazení [mm]	1000
Rozlišení měřítka Z [μm]	0,1
Přesnost [μm]	± 3
Rychlost osazení [mm.s^{-1}]	5 - 200
<i>Úhlový měřicí systém (osa C)</i>	
Rozlišení [$^{\circ}$]	0,0001
Přesnost [$^{\circ}$]	$\pm 0,00139$
Hodnota zobrazení v	desetiny stupně
<i>Koník</i>	
Vzdálenost přestavení [mm]	1150
Nastavitelná axiální síla [N]	50 – 200
Uložení hrotů DIN 228	MK3
Výška [mm]	160
Založení obrobků	manuální
Hmotnost [kg]	2500
<i>Zásobování energie</i>	
Provozní napětí [V]	230
Síťová frekvence [Hz]	50/60
Připojené vedení [kVA]	cca 0,8
Spotřeba vzduchu	min. 5 bar, cca 15 l.min^{-1}

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Vybraná bruska je navržena pro výrobu cca 43 000 ks za rok. Ceny strojů jsou stanoveny dle dohody podle přesných požadavků, přídavných zařízení a přesnosti, v níž chceme vyrábět (pro brusku). Ceny strojů, zde uvedené, jsou přímo z nabídky výrobce, či dodavatele. Toto hodnocení je vytvořeno pouze pro jeden dílec. Možnosti strojů jsou i pro další dílce podobných rozměrů a tvarů, z toho vyplývá, že ekonomické využití bude daleko lepší, zvláště při provozu na tři směny.

Stanovené stroje jsou již umístěny v prostorech areálu firmy a další případné nedostatky vyjdou najevo až při začlenění do provozu.

Tab. 6.1 Přehled operací s použitím nové brusky

Č. op.	Stroj	Název operace	t _{AC} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
5	Zarovnávačka FXLZD 160	Frézovat, navrtat	0,877
	04787		
10	Soustruh SP12P	Soustružit konec	0,88
	04531		
15	Soustruh SP12P	Soustružit konec	0,88
	04531		
20	Frézka RFN 300/800 CNC	Frézovat vačky a výpichy	4,853
	35328		
40	Ruční	Označit	0,378
	09421		
50	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 492	3,088
	34512		
60	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 427	1,86
	34512		
65	Ruční	Chránit konce	0,407
	09421		
70	Pec HOA 20/15	Cementovat	0,307
	21634		
71	Lis CDM 80	Vyrovnat	0,3
	03334		
72	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr. 268	1,613
	34512		
75	Soustruh SV18R 750	Soustružit konec	0,456
	04124		

Č. op.	Stroj	Název operace	t _{AC} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
77	Frézka RC 671	Frézovat drážky	0,691
	65913		
80	Ruční	Připravit ke kalení	0,09
	09171		
85	Pec Aichelin	Kalit, zmrazit, popustit	0,61
	21814		
90	Tryskač TMSO 2,4/6	Pískovat	0,788
	26111		
95	Kalicí generátor GV32	Žíhat slabý konec	0,532
	61821		
98	Kalicí generátor GV21	Žíhat silný konec	0,218
	61821		
100	Vrtačka VS20	Vyčistit důlky	0,212
	04623		
105	Lis CDM 80	Vyrovnat	0,644
	03334		
115	Bruska BAC 25/630	Brousit tvar konce	1,209
	05522		
124	Bruska CamGrind L650 U12/OEL	Brousit vačky	6,13
	35741		
130	Bruska BL25	Kartáčovat	0,915
	05681		
144	Soustruh SPT16 CNC	Soustružit NC – č. progr 454	1,401
	34512		
145	Válcovačka závitů UPW 125x70	Válcovat	0,449
	03914		
155	Inkar	Inkarovat, kontrolovat	0
	28682		
840	Ruční	Konzervovat	0,18
	06391		
Σ t _{AC}			29,978

Díky tomuto novému technologickému postupu je zredukován počet operací z 33 na 28 a čas t_{AC} z 44,615 min.ks⁻¹ na 29,978 min.ks⁻¹. Tím, že se sníží počet operací, dojde nejen k zefektivnění výroby, ale i ke zpřesnění, jelikož s novou bruskou je možné provádět více úkonů na jedno upnutí obrobku. Vyčleněním pěti operací bude potřeba méně pracovníků, ale bude potřeba lepší kvalifikace. Nové stroje jsou vysoce flexibilní, ale je nutné počítat s větší náročností na obsluhu.

6.1 Návratnost strojů

Dnešní moderní stroje mají díky stále výkonnějším řídicím systémům a kvalitnějším nástrojům stále vyšší možnosti. Volbou nové brusky bude nahrazeno pět stávajících operací jedinou operací na této nové brusce. Díky novému měřicímu zařízení bude možné přesnější měření a měření nerotačních profilů vaček, což stávající měřidla neumožňovala.

Předpokládaný roční plán byl stanoven na 43 000 ks za rok. Návratnost strojů bude počítána pouze pro výrobu dílce 2Cv20017-12, a to ve dvousměnném provozu.

Návratnost nákladů byla vypočtena dle vzorce stanoveného vnitřní směrnici podniku.

$$Na = \left(\frac{C}{N \cdot (C_{SO} - C_{NO})} \right) [\text{rok}] \quad (6.1)$$

kde:

Na – návratnost [rok]

C – cena stroje [Kč]

C_{SO} – nákladová cena stávající operace [Kč.ks⁻¹]

C_{NO} – nákladová cena nové operace [Kč.ks⁻¹]

N – počet vyráběných dílců za rok [ks]

Tab. 6.2 Porovnání staré a nové technologie u brousicích operacích⁴⁵

Č. op.	Popis	t_{AC} [min.ks ⁻¹]		Nákladová cena stávající operace [Kč.ks ⁻¹]	Nákladová cena nové operace [Kč.ks ⁻¹]
		Stávající tech.	Nová bruska		
120	BROUSIT TVAR KONCE	1,168		11,3642	
122	BROUSIT LOŽISKO	1,58		15,3654	
123	BROUSIT VÝSTŘEDNÍK	1,31		12,7437	
124	BROUSIT CNC		6,13		39,7127
125	BROUSIT VAČKY	15,478		150,5719	
130	KARTÁČOVAT	0,915	0,915		
132	BROUSIT LOŽISKO	1,231		11,9771	
Σ cena operací				202,02	39,7127

Tab. 6.3 Návratnost nákladů strojů

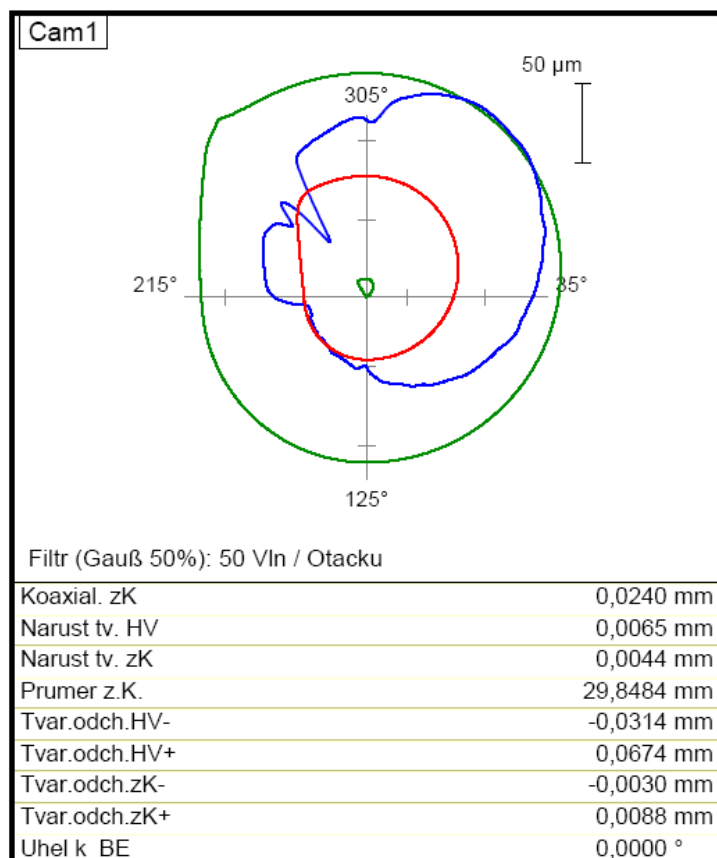
Stroje	C [Kč]	C _{SO} [Kč.ks ⁻¹]	C _{NO} [Kč.ks ⁻¹]	Úspora C _{SO} - C _{NO}	Na [rok]
Bruska Schaudt U12/OEL + měřicí zařízení Hommel-Etamic CCM 2020	22 253 241 + 4 920 460 = 27 173 701	202,02	39,71	162,31	3,89

Návratnost strojů je vyhovující a lze ji ještě snížit využitím stroje ve více směnech.

6.2 Porovnání se stávajícím stavem

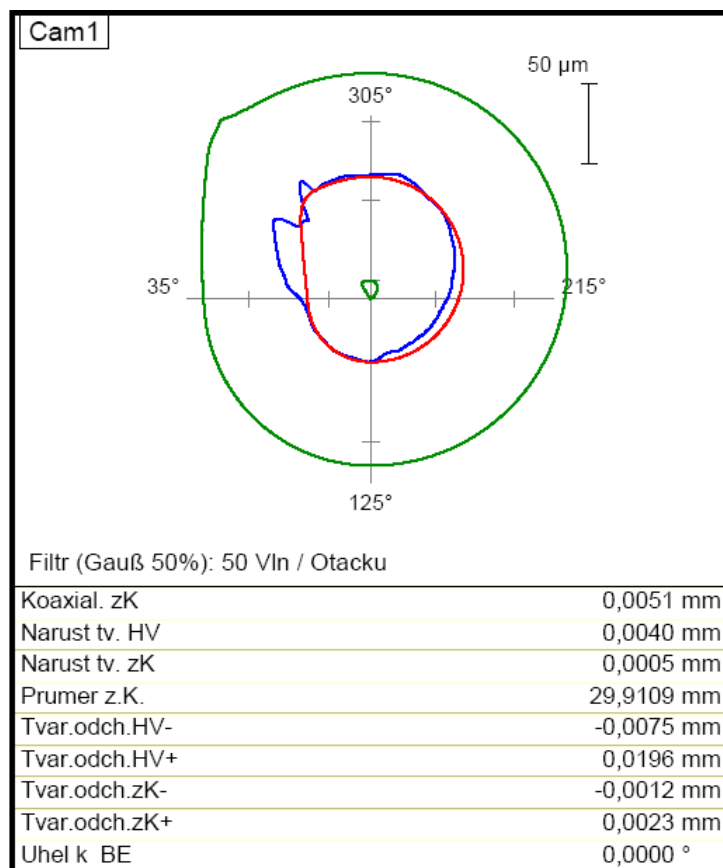
Byly porovnávány kusy vačkových hřídelů broušených na původní brusce BEK 15 a nové brusce CamGrind L650 U12/OEL. Toto porovnání bylo provedeno na novém měřicím stroji Hommel-Etamic CCM 2020.

Jako ukázka zlepšení kvality povrchu po broušení byla měřena odchylka tvaru první vačky na dílci 2Cv20017-12 a výsledek byl vyneseno do polárních souřadnic. Na obr. 6.1 je zobrazena odchylka tvaru po broušení na stroji BEK 15. Na tomto výstupu z měřicího zařízení jsou znázorněny zelenou barvou horní mez a dolní mez tolerance, šířka tolerančního pole je stanovena na výkrese a v případě tohoto hřídele činí 0,13 mm. Červená barva zobrazuje střed tolerančního pole a tedy ideální stav, modrou barvou jsou vykresleny odchylky měřeného hřídele.



Obr. 6.1 Odchylka tvaru vačky ze stroje BEK 15

Na obr. 6.2 je zobrazena odchylka tvaru po broušení na nové brusce CamGrind L650. Jak je patrné z obrázků, tak hřídel broušený na brusce BEK 15 v některých místech překračuje horní mez tolerance, kdežto hřídel broušený na nové brusce má odchyly blízké ideálnímu stavu.



Obr. 6.2 Odchylka tvaru vačky ze stroje CamGrind L650

ZÁVĚR

Výroba ve strojírenském průmyslu stále častěji nahrazuje jednoduché a jednoúčelové stroje stroji CNC programově řízenými, které jsou především zastupovány obráběcími centry pro různé druhy technologií. Tento děj je způsoben jejich velkou flexibilitou v různých oblastech obrábění, nižšími náklady na provoz, na rozdíl od mnoha jednoúčelových strojů, a většinou s velmi rychlou návratností pořizovacích nákladů. Aby bylo možné dosáhnout co nejrychlejší návratnosti, je nutno tyto stroje využívat v nejvyšším možném čase za rok. V dnešní době je u obráběcích strojů požadována vysoká flexibilita, jelikož není možné spoléhat na výrobu velkého množství stejných dílců.

Stále se zvyšující požadavky kladené na kvalitu výroby, a poté její kontrolu, současně zvyšují nároky na vybavení měřicí technikou. Rychlé a přesné měření, flexibilita, univerzálnost, rychlé vyhodnocení a snadná obsluha patří mezi požadované vlastnosti od nových měřicích systémů.³⁸

V této práci byla provedena modernizace výrobního procesu vačkového hřídele vstřikovacího čerpadla se zaměřením na operace zahrnující broušení.

V úvodní části byla navržena a posléze i pořízena náhrada stávajících brusek. Ve výběrovém řízení zvítězila nad svými konkurenty firma Schaudt s CNC brusku CamGrind L650 U12/OEL. Tato náhrada je velice efektivní s ohledem na rychlou návratnost tohoto stroje. Návratnost je ještě možné zrychlit zavedením třisměnného provozu. V původním plánu bylo zakoupit i s brusku nové měřicí zařízení nebo nový software pro stávající měřicí zařízení a pračku za přibližnou cenu 1,7 mil. Kč.

Jelikož stávající měřidla neumožňovala měření profilu jednotlivých vaček, byla nutná investice do nového zařízení. Jak se ukázalo, tak původní nástin ceny byl značně podceněný, nutná investice do stroje vítězné firmy Hommel-Etamic CCM 2020 byla 4,92 mil. Kč. Koupě pračky již nebyla nutná, jelikož v důsledku finanční krize poklesla výroba a uvolnila se pračka ADS 200 z jiného střediska.

I s vyšší investicí do měřicího zařízení byla návratnost stanovena na 3,89 roky a ta je vyhovující.

V poslední části práce došlo k porovnání vačkových hřídelů na výše zmíněném, již zakoupeném, měřicím stroji. Porovnávaly se vačkové hřídele broušené na stávající brusce BEK 15 a brusce CamGrind L650 U12/OEL, nově zakoupené. Z porovnání je patrné, že po broušení na nové brusce je odchylka tvaru vačky daleko menší a blíží se ideálnímu stavu, kdežto na brusce BEK 15 je dokonce překročena horní mez tolerance. Z toho je jasně vidět rozdíl v kvalitě broušení ve prospěch nové brusky, což bylo v počátku základním předpokladem.

Díky nově zakoupené brusce byl také zkrácen čas t_{AC} o více jak 30%, zlepšila se celková kvalita výroby a snížil se počet výrobních dělníků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MOTORPAL, a.s. *Histrorie*. [on-line]. [cit. 10.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.motorpal.cz/cz/spolecnost/historie.aspx>>.
2. EMAG L.L.C. *Camshaft grinders: The SN-series*. [on-line]. [cit. 11.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.emag.com/SN-Series.153.0.html?&L=1>>.
3. WIKIPEDIA. *Vačka*. [on-line]. [cit. 1.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Va%C4%8Dka>>.
4. MOTORPAL, a.s. *Produkty*. [on-line]. [cit. 9.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.motorpal.cz/cz/produkty/vstrikovaci-cerpadla-radova/ppmi.aspx>>.
5. KATALOG-AUTOMOBILŮ.CZ. *Vačková hřídel*. [on-line]. [cit. 11.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://clanky.katalog-automobilu.cz/slovník-pojmu-automobily/1338-vackova-hridel/>>.
6. MOTORPAL, a.s. *Dokumentace vačkového hřídele*. Jihlava, 2009.
7. MIROSLAVSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. *Materiály dle ČSN*. [on-line]. [cit. 11.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mstrojirny.cz/cz/materialyf.html>>.
8. ČESKÉ-NORMY.CZ. *ČSN 416420*. [on-line]. [cit. 15.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceske-normy.cz/csn-416420-13121977>>.
9. MOTORPAL, a.s. *Technologický postup*. Sysklass. Jihlava, 2009.
10. GLOZA SHOP. *Informace o zboží*. [on-line]. [cit. 12.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.glozashop.cz/zbozi/4880/Brusny-kotouc-Tyrolit-115x6x22-23--A30-BF---222858.htm>>.
11. TYROLIT CEE K.S. *Výrobní program*. [on-line]. [cit. 7.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.carborundum.cz/editor/genhtml.pl?loc=carborundum&table=program_cz>.
12. HAVEL, M. *Návrh technologie pro součást „Válec elementu vstříkovacího čerpadla“ ve firmě Motorpal Jihlava*. Brno, 2008. 51 s. , VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Milan Kalivoda.
13. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.
14. PAVLŮ, J. a KIESLOVÁ, A. *Výrobní program CARBORUNDUM ELECTRITE*, a.s. Perk Š. 3. vyd. Benátky nad Jizerou, 2000. 43 s.
15. DIAMOND CONTACT, s.r.o. *Brousící kotouče z diamantu a CNB 2008/09*. [on-line]. [cit. 22. 4. 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.diamondcontact.cz/Katalogy/DC-Kat-A-2008-CZ.pdf>>.
16. MOTORPAL, a.s. *Zkoušky brusiva na bruskách BEK 15 a CHŠ-3*. NEVRKLA, J. Jihlava, 2006.

17. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. dotisk 1.vydání. Praha: BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
18. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
19. KELLER, Petr. *Programování a řízení CNC strojů*. [on-line]. [cit 16. 3. 2009]. Studijní materiály pro podporu studia na Technické univerzitě v Liberci, Katedra výrobních systémů, 2005. 100 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.kvs.tul.cz/download/obor/pnc_2.pdf>.
20. HEIDENHAIN, s.r.o. *Průvodce pro smarT.NC iTNC 530*. [on-line]. [cit. 23. 2. 2009]. 1.vyd. Traunreut: Heidenhain, 2005. 151 s. Dostupné na World Wide Web: <http://filebase.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/iTNC53/340420-xx/bhb/360_994-81.pdf>.
21. KOLÁŘ, P. *Brousicí stroje*. MM Průmyslové spektrum. [on-line]. 2007, roč. 12. [cit 17. 3. 2009]. str. 16. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-potreتي-brousici-stroje>>.
22. CARBORUNDUM ELECTRITE, a.s. *Výrobní program*. [on-line]. c1998-2001, [cit. 19. 4. 2009]. Dostupné z: <http://www.carborundum.cz/editor/genhtml.pl?loc=carborundum&table=program_cz>.
23. MOTORPAL, a.s. *Nabídka CNC brusek*. Jihlava, 2006.
24. T-SUPPORT. *Výběr vhodného CNC obráběcího stroje*. [on-line]. [cit. 20. 4. 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.t-support.cz/?rubrika=116>>.
25. ERWIN JUNKER MASCHINENFABRIK GmbH. *CNB Camshaft grinding*. [on-line]. [cit. 11.2.2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.junker-group.com/csy/data/JUCAM_E_1004.pdf>.
26. WMMT.NET. *Schaudt Mikrosa ZEUS M External and non-round cylindrical grinding machina*. [on-line]. [cit. 13.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://wmmt.net/eng/catalogue/metall_cutting/grinders_machine/schaudt_mikrosa_zeus_212.html>.
27. MOTORPAL, a.s. *Počty vyrobených kusů*. Baan. Jihlava, 2008.
28. STRUDER SCHAUDT GmbH. *Nabídka CNC brusky CamGrind L650 U12/OEL*. 2008.
29. STRUDER SCHAUDT GmbH. *CamGrind-Production solutions for camshaft grinding*. [on-line]. [cit. 13.3.2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.schaudt.com/redwork/mediapool/2141805058_Programm_e.pdf>.

30. KURKA, Jiří. *Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje společnosti Siemens*. [on-line]. [cit. 8. 3. 2009]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=984>>.
31. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Řídicí systémy pro každou technologii*. [on-line]. 2002, roč. 2. [cit. 17. 3. 2009]. str. 50. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pro-kazdou-technologie>>.
32. LEMAKOR CZ, s.r.o. *Obráběcí stroje-řídicí systémy*. [on-line]. [cit. 8. 3. 2009]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.lemakor.cz/images/produkty/obrabeci-stroje-ridici-systemy/sinumerik-840d.jpg>>.
33. PÍŠKA, M. a POLZER A. *Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D*. [on-line]. [cit. 20. 4. 2009]. Dostupné z World Wide Web: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC_Sinumerik810D.pdf>.
34. SIEMENS, a.s. *Návody k programování: Základy*. 4. vyd. Erlangen: SIEMENS, 2000. 456 s.
35. STRUDER SCHAUDT GmbH. *Programmieranleitung*. 2008. 353 s.
36. MOTORPAL, a.s. *Půdorys budovy B17*. ŽILÁK, P. Jihlava, 2008.
37. MOTORPAL, a.s. *Projekt umístění brusky*. RYŠAVÝ, J. Jihlava, 2008.
38. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Měření ve strojírenství*. [on-line]. 2003, roč. 6. [cit. 18. 3. 2009]. str. 24. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-ve-strojirenstvi>>.
39. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Strojírenská měřicí technika*. [on-line]. [cit. 17. 3. 2009]. MM 2005/06. rubrika Trendy/Měření str. 18. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/strojirenska-merici-technika>>.
40. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Souřadnicová měření ve strojírenské výrobě*. [on-line]. 2005, roč. 6. [cit. 17. 3. 2009]. str. 12. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-mereni-ve-strojirenske-vyrobe>>.
41. MOTORPAL, a.s. *Nabídka měřících zařízení*. Jihlava, 2009.
42. PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. *Souřadnicové stroje*. [online]. [cit. 5. 3. 2009]. Dostupné z World Wide Web: <<http://merici-pristroje.cz/souradnicove.php?txt=84&lg=CZ>>.
43. HOMMEL-ETAMIC GmbH. *Nabídka stroje CFM 2020*. 2009.
44. ADCOLE GmbH. *Adcole MODEL 1100*. [on-line]. [cit. 8. 4. 2009]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.adcole.com/en/model-1100/>>.
45. MOTORPAL, a.s. *Nákladová cena*. Baan. Jihlava, 2009.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A5	[%]	Tažnost
C	[Kč]	Cena stroje
CAD	[-]	Computer-aided design
CAM	[-]	Computer-aided manufacturing
CNC	[-]	Počítačem číslicově řízený (computer numeric control)
C_{NO}	$[Kč.ks^{-1}]$	Nákladová cena nové operace
C_{SO}	$[Kč.ks^{-1}]$	Nákladová cena stávající operace
FFT	[-]	Rychlá Fourierova transformace (fast Fourier's transform)
HMI	[-]	Rozhraní člověka a stroje (Human machine interface)
LSS	[-]	Lokální souřadné soustavy
LSC	[-]	Metoda nejmenších čtverců (least squares collocation)
MMC	[-]	Systém komunikace obsluhy se strojem (man machine communication)
Na	[rok]	Návratnost
NC	[-]	Číslicově řízený (numeric control)
NCU	[-]	Číslicově řízená jednotka (numerical control unit)
PCU	[-]	Řídící energetická jednotka (power control unit)
PKNB	[-]	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PLC	[-]	Přenos zpráv po el. síti (power line communication)
Ra	$[\mu m]$	Střední aritmetická úchylka profilu
R_e	$[N.mm^{-2}]$	Mez kluzu
R_m	$[N.mm^{-2}]$	Mez pevnosti v tahu
R_{p02}	$[N.mm^{-2}]$	Smluvní mez kluzu
Z	[%]	Kontrakce
t_{AC}	$[min.ks^{-1}]$	Jednotkový čas s podílem směnového
σ	[MPa]	Zbytkové pnutí

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti 2Cv20017-12
Příloha 2 Znázornění toku materiálu
Příloha 3 Výkres dispozičního řešení