

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY **APLIKACE CNC OBRÁBĚCÍCH CENTER**

TECHNOLOGICAL AND ECONIMICAL ASPECTS APLICATION CNC MACHINING CENTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MAREK MARTIŇÁK

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC.ING.JAROSLAV PROKOP, CSC.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Marek Martiňák

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:

Technologické a ekonomické aspekty aplikace CNC obráběcích center

v anglickém jazyce:

Technological and economical aspects application CNC machining centers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technologicko ekonomická analýza nasazení CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě

Cíle diplomové práce:

1. Uplatnění CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě
2. Technologičnost konstrukce strojírenských součástí obráběných na CNC obráběcích centrech
3. Přesnost obráběcího procesu při aplikaci CNC obráběcího centra
4. Ekonomické parametry provozního nasazení CNC obráběcího centra

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s.
Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
2. FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing, s.r.o., Praha. 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. KOČMAN, K. a NĚMEČEK, P. Aktuální příručka pro technický úsek. 16. aktualizované vyd. Praha: Verlag Dashöfer 2001. 4250 s. ISBN 80-902247-2-5.
5. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
6. KRŮŽ, R. a VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
9. PERNIKÁŘ, J.-TYKAL, M.-VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie. Část metrologie. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
10. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
11. VIGNER, M.-ZELENKA, A. a KRÁL, M. Metodika projektování výrobních procesů. 1.vyd. Praha: SNTL-Státní nakladatelství technické literatury, 1984. 592 s.
12. VLACH, B. Technologie obrábění a montáží. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
13. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 160 s. ISBN 80-214-2219-X.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 21.10.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce bylo analyzovat nasazení CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě se zaměřením na technologičnost konstrukce obráběných součástí, přesnost a ekonomické aspekty obráběcího procesu. Po prostudování odborné literatury a praktickém seznámení s výrobou na CNC obráběcí stroji typu dlouhotočný automat Deco Sigma 20 od firmy Tornos byla posouzena technologičnost konstrukce zvoleného výrobku, změřena přesnost jeho obrábění a zjištěny ekonomické parametry provozního nasazení tohoto zařízení pro zadanou výrobní součást jako nezbytný předpoklad pro zajištění správné výroby v souladu s požadavky zadavatele výroby. Popsaný postup technologické a ekonomické přípravy výroby, jakož i její kontroly, lze tak v budoucnu využít při návrhu dalších obdobných výrobků.

Klíčová slova

CNC obráběcí centrum, technologičnost konstrukce, kontrola přesnosti, technologické parametry, ekonomické parametry.

ABSTRACT

The Aim of this diploma thesis has been to analyse the application of the CNC machining centers for the production especially with concentration on accuracy and economical aspect of the machining process. After the study of the literature and making familiar with the production on the CNC machine tool of the type Deco Sigma 20 (manufacturer, the firm Tornos) it has been evaluated the technology of the design of the chosen part, its machining accuracy and found out the economical parameters of this machinery for this chosen part as a necessary supposition for securing the correct production in accordance with the requirements of the client. The described process of the technological and economical preparation for the production as well as its checking can be used in future for the proposals of the further similar parts.

Key words

CNC machining centre, technological design, accuracy checking, technological parameters, economical parameters.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARTIŇÁK, Marek. *TECHNOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY APLIKACE CNC OBRÁBĚCÍCH CENTER*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57 s., 8 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologické a ekonomické aspekty aplikace CNC obráběcích center vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 18.5.2010

.....
Marek Martiňák

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji řediteli firmy StarTechnik, s.r.o panu Jiřímu Stárkovi a vedoucímu střediska CNC strojů Miroslavu Schöfrovi za spolupráci a umožnění získání potřebných dat, informací a poznatků pro moji diplomovou práci.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	9
1 UPLATNĚNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH CENTER VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ.....	10
1.1 Definice CNC obráběcích strojů.....	10
1.2 Charakteristika CNC obráběcích center.....	10
1.3 Dělení CNC obráběcích center.....	11
1.4 Charakteristické znaky CNC obráběcích center.....	13
1.5 Uplatnění CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě.....	14
1.6 Parametry obráběcího stroje Deco – Sigma 20 , TORNOS.....	15
1.7 Popis spolupracující firmy STARTECHNIK s.r.o.....	19
1.7.1 Vzorky součástí vyráběných firmou STARTECHNIK s.r.o.....	20
1.7.2 Ukázky součástí možných vyrábět na DECO SIGMA 20 – TORNOS.....	20
2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE STROJÍRENSKÝCH SOUČÁSTÍ OBRÁBĚNÝCH NA CNC OBRÁBĚCÍCH CENTRECH.....	21
2.1 Obecné pojetí technologičnosti konstrukce.....	21
2.1.1 <i>Technologičnost konstrukce součástí z hlediska výroby na CNC strojích.....</i>	<i>22</i>
2.2 Volba materiálu.....	24
2.2.1 <i>Obrobitelnost materiálu.....</i>	<i>24</i>
2.3 Volba polotovaru.....	25
2.3.1 <i>Technologičnost odlitků.....</i>	<i>25</i>
2.3.2 <i>Technologičnost tvářených polotovarů.....</i>	<i>26</i>
2.3.3 <i>Technologičnost konstrukce z hlediska obrábění.....</i>	<i>26</i>
3 PŘESNOST OBRÁBĚCÍHO PROCESU PŘI APLIKACI CNC OBRÁBĚCÍHO CENTRA.....	27
3.1 Přesnost obráběcích center.....	27
3.1.1 <i>Geometrická přesnost obráběcích strojů.....</i>	<i>27</i>
3.1.2 <i>Přesnost polohování pracovních orgánů CNC obráběcích strojů.....</i>	<i>28</i>
3.1.3 <i>Pracovní přesnost obráběcích strojů.....</i>	<i>28</i>
3.2 Konkretizovaná aplikace.....	29
3.2.1 <i>Identifikace a využití součásti spojka - 05-0088.....</i>	<i>29</i>
3.2.2 <i>Technologická příprava výroby součásti.....</i>	<i>30</i>
3.2.3 <i>Kontrola přesnosti a spolehlivosti výroby.....</i>	<i>32</i>
3.2.4 <i>Nástrojové vybavení pro výrobu dané součásti.....</i>	<i>35</i>
3.2.5 <i>Identifikace a parametry obráběcího stroje Deco-Sigma 20.....</i>	<i>39</i>
3.2.6 <i>Parametry přesnosti obrobené plochy zkušebních součástí.....</i>	<i>39</i>
4 EKONOMICKÉ PARAMETRY PROVOZNIHO NASAZENÍ CNC OBRÁBĚCÍHO CENTRA.....	46
4.1 Ekonomika provozu CNC strojů.....	46
4.2 Náklady na provoz CNC stroje.....	47
4.2.1 <i>Nákladové položky provozu CNC stroje.....</i>	<i>47</i>
4.2.2 <i>Náklady na hodinu provozu N_{hS}.....</i>	<i>48</i>

4.3 Spotřeba času CNC stroje	48
4.3.1 Jednotkový čas CNC stroje t_{mA}	48
4.3.2 Dávkový čas CNC stroje t_{mB}	49
4.4 Operační náklady vztažené k CNC stroji	49
4.4.1 Nákladové položky	49
4.4.2 Operační náklady	50
4.5 Konkretizovaná aplikace na výrobní součást spojka a výrobní stroj Deco-Sigma 20	50
4.5.1 Náklady na provoz	50
4.5.2 Spotřeba času CNC stroje	51
4.5.3 Operační náklady vztažené k CNC stroji	52
Závěr	54
Seznam použitých zdrojů	55
Seznam použitých zkratk a symbolů	55
Seznam příloh	57

ÚVOD

I v dnešní době poznamenané krizí patří strojírenství mezi nejnáročnější odvětví průmyslové výroby, které zahrnuje v sobě velké množství oborů s širokou škálou výrobků. Moderní výroba je čím dál více poznamenaná velkou snahou o snížení nákladovosti, zejména v oblasti spotřeby surovin, a naopak zvýšením podílu přidané hodnoty v oblasti především duševní práce. Vzhledem k tomuto trendu není náhodou, že výsadní postavení zde zaujímá automobilový průmysl, kde sledujeme uplatnění těch nejšpičkovějších výrobních technologií, umožňujících stále větší „odlidsnění“ namáhavé fyzické práce a naopak přesunutí duševní práce člověka do oblasti výzkumu, technologické přípravy a řízení výroby, včetně její kontroly. Automobilový průmysl je rovněž příkladem odvětví z velké části závislého na subdodavatelích celé řady dílčích součástí nutných k celkové kompletaci konečného výrobku, v tomto případě automobilu. Výrobou řady součástí se zabývají malé a střední firmy, které musí být velice často schopny pružně reagovat na požadavky zadavatele, automobilky. Majitelé a management těchto malých a středních firem stojí často před rozhodnutím, jestli si pořídit CNC obráběcí centrum anebo zachovat klasickou technologii výroby. Je to většinou problém investic a jejich návratnosti. Do rozhodování rovněž vstupuje faktor stále většího požadavku na včasné, kvalitní a přesné opracování často velice složitých součástí, což klasické technologie obtížně naplňují, i s ohledem na nedostatek vysoce kvalifikovaných pracovníků. Diplomová práce se i z tohoto důvodu zabývá technologicko-ekonomickou analýzou nasazení CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě. Po dohodě s vedoucím diplomové práce doc. Ing. Jaroslavem Prokopem, CSc byla zadaná výroba spojky vysokotlakého rozvodu aplikována na CNC obráběcí stroj typu dlouhotočný automat Deco Sigma 20 od firmy Tornos. Jedním z důvodů této aplikace při zpracování diplomové práce bylo oslovení firmy Startechnik, která se zrovna zabývala výrobou této součásti (spojka vysokotlakého rozvodu). Práce by svými výsledky měla prokázat, že vhodně zvolená technologičnost konstrukce zadaného výrobku přispěje k ekonomičnosti výroby a pomůže managementu malých i středních firem v rozhodování o věci aplikace CNC obráběcích center.

1 UPLATNĚNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH CENTER VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ

1.1 Definice CNC obráběcích strojů

Číslicově řízené obráběcí stroje (CNC – Computer Numerical Control) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí. Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby.⁷

1.2 Charakteristika CNC obráběcích center

Obráběcí centrum představuje další vývojový stupeň rozvoje obráběcích strojů, který začal v 60. letech 20. století, ale byl podmíněn tím, že se začaly používat kuličkové šrouby. Použitím těchto prvků se zvýšila přesnost strojů, také i tuhost a bylo možné začít pracovat s vyššími reznými rychlostmi. Zvýšil se i posuv, a tím i výkon obrábění. Následujícím vývojovým stupněm bylo sdružování obráběcích operací do jednoho stroje a využívání automatizačních prvků.

Obráběcí centra byla vyvíjena s cílem zefektivnit malou a středně sériovou výrobu. Důvodem byly také rostoucí požadavky na sortiment výrobků, který se hodně měnil, snižování výrobních dávek, stupňující nároky na jakost výrobků a snižování výrobních nákladů.

Obráběcí centra jsou schopna pokrýt prakticky celý sortiment obráběných součástí, a to z hlediska jejich rozměru a hmotnosti. Je celkem pochopitelné, že každý typ obráběcího centra má své náležitosti, které předurčují jeho uplatnění a využití. Větší uplatnění mají centra, která mají více pracovních pohybů nástrojů.

Všechny funkce obráběcího centra jsou řízeny číslicově. Tím je vyloučena přítomnost obsluhy pro ovládání jak pracovních, tak i pomocných cyklů stroje. Číslicové řízení ovládá automatickou manipulaci s nástroji i obrobkem. CNC řízení těchto strojů umožňuje zavádění pružné automatizace nejen jednotlivých center, ale i celých výrobních soustav.³

1.3 Dělení CNC obráběcích center

Obráběcí centra se dělí do dvou skupin: centra se svislou osou vřetena a s vodorovnou osou vřetena. Centra se svislou osou vřetena se objevují na trhu častěji, protože nabízejí širší technologické možnosti. Jsou vybavena obvykle otočným stolem s příslušným polohováním, takže umožňují opracovat součásti z několika stran při jednom upnutí. Pracovní stůl se může také naklápět. Oba tyto pohyby jsou řízeny číslicově. Obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena jsou konstruována hlavně pro obrábění skříňového tvaru ze všech stran.⁸

Rozdělení podle počtu vřeten dělíme obráběcí centra na:

- jednovřetenová pro rotační součásti,
 - s vodorovnou osou vřetena,
 - se svislou osou vřetena,
- jednovřetenová pro nerotační součásti
 - s vodorovnou osou vřetena (horizontální), viz obr. 1.1, 1.2,
 - se svislou osou vřetena (vertikální), viz obr. 1.3, 1.4 .

Vícevřetenová obráběcí centra – konstruují se pro opracování nerotačních součástí výměnnými hlavami. Na těchto centrech je možné při jednom upnutí provést velký počet operací, a to ze všech stran součásti.³



Obr. 1.1 Horizontální obráběcí centrum H63 STANDARD, výrobce TAJMAC-ZPS.²¹

Horizontální obráběcí centrum v provedení TREND a CONTOUR je vysoce produktivní stroj pro komplexní třískové obrábění součástí z oceli, šedé litiny a slitin lehkých kovů upnutých na otočném stole. Umožňuje provádět frézovací operace ve třech na sebe kolmých souřadnicových osách X, Y, Z a ve dvou rotačních osách A, B. Dále umožňuje provádět vrtací, vyvrtávací, vystružovací a závitovací operace, viz obr. 1.2.²¹



Obr. 1.2 Horizontální obráběcí centrum H40A, výrobce TAJMAC-ZPS. ²¹

MCV 2316 je vysoce produktivní stroj se širokým uplatněním při obrábění složitých prostorových tvarů. Vertikální frézovací centrum je určeno zejména do oblasti nástrojařství s těžištěm uplatnění při obrábění součástí plochého nebo skříňového tvaru z oceli, šedé litiny, slitin lehkých kovů a titanu. Vzhledem k vysoké dynamice, velmi vysoké tuhosti a tlumícím vlastnostem konstrukce stroj umožňuje využití výhod HSC technologie, viz obr.1.3. ²¹



Obr. 1.3 Vertikální obráběcí centrum MCV 2316, výrobce TAJMAC-ZPS. ²¹

Vertikální obráběcí centrum je vysoce produktivní stroj pro komplexní třískové obrábění. Funkce stroje jsou řízeny CNC řídicím systémem, který umožňuje obrábění i prostorově složitých tvarů, kdy nástroj sleduje dráhu vzniklou jako výstup z 3D CAD programu. Modely Standard, Trend a Contour pokrývají celou škálu technologií od silového po vysokorychlostní obrábění. Základem modelové flexibility je shodné konstrukční řešení skeletů a stavebních uzlů dvou typových velikostí MCFV 1680 a MCFV 2080, viz obr.1.4. ²¹



Obr. 1.4 Vertikální obráběcí centrum MCV 2080, výrobce TAJMAC-ZPS. ²¹

1.4 Charakteristické znaky CNC obráběcích center

Na obráběcích centrech se dají provádět operace vrtání, vyvrtávání, frézování, řezání závitů. Některá obráběcí centra mohou mít dvě vřetena. Jedno se používá pro běžné obrábění a druhé pro obrábění jemné, dokončovací. Vřetena těchto strojů mají velký rozsah otáček, a to buď ve stupních, nebo plynulý. Příkon těchto strojů se pohybuje v rozmezí 8-20 kW.

Dalším charakteristickým znakem CNC obráběcích center je automatické mazání a chlazení, velice přesné odměřovací zařízení polohy, plynulá regulace otáček, posuvů, zpětné hlášení o případných chybách, automatický odvod třísek z pracovního prostoru a mezi jednu z nejdůležitějších výhod patří automatická výměna nástrojů ze zásobníku. Tento zásobník se liší jednak množstvím nástrojů, které jsou v zásobníku umístěny a jednak jeho umístěním v sestavě stroje.

Podle tvaru zásobníku jsou zásobníky děleny na: revolverové, bubnové, deskové, řetězové a další. Zásobníky jsou umístěny na pracovním vřeteníku, stojanu nebo stole stroje, případně mimo stroj. Výměna nástrojů ze zásobníku probíhá automaticky po správném naprogramování, kdy nástroj ve vřetení dokončí danou operaci, vřeteno přejede do polohy výměny nástroje a speciální podávací mechanismus vyjme z vřetene již nepotřebný nástroj a nahradí ho jiným. Nepotřebný nástroj odloží do připraveného zásobníku na určité místo. Obráběcí centra mají velkokapacitní zásobníky na 20 až 100 nástrojů, ovšem každý výrobce má zásobníky pro určitý počet nástrojů.⁸

V současné době probíhá u obráběcích center rozsáhlá proměna, která se dá charakterizovat zaváděním strojů pro obrábění vysokými reznými rychlostmi. Toto řešení umožňuje nové nástrojové materiály, které mohou pracovat za vyšších pracovních podmínek. Výsledkem těchto změn jsou nové požadavky především na konstrukci strojů, které se promítají do snížení hmotnosti pohybujících se částí, do zvýšení celkové tuhosti, používání vysokorychlostních kuličkových šroubů nebo jiných lineárních pohonů.

Z hlediska dalšího vývoje obráběcích center se to projevuje v následujících trendech:

- zavádění pěti a víceosých obráběcích center,
- zlepšování vlastností uložení a zvyšování rozsahu posuvů a otáček vřetena,
- zvyšování tuhosti celé soustavy a zlepšování pracovního prostředí centra,
- rychlé zavádění nových CNC řídicích systémů,
- zavádění nových nástrojových materiálů a nových konstrukcí nástroje.³

1.5 Uplatnění CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě

V dnešní době existuje velice málo součástek, které jsou vyrobeny pouze jednou technologií. Ekonomika provozu vede k integraci několika způsobů technologie obrábění do jednoho obráběcího stroje (centra). Důvody jsou ve snížení (odstranění) vedlejších časů, např. upínání na dalším stroji, čekání na další operaci apod. Také se zvyšuje přesnost výroby. Toto tedy znamená pro ekonomiku:

- zkrácení průběžné doby,
- zvýšení přesnosti práce,
- snížení nákladů na výrobu,
- snížení nároků na velikost plochy pracovních prostor,
- možnost snadněji automatizovat výrobu (stavba pružných výrobních linek).⁷

➤ **Uplatnění CNC soustružnických center**

Soustružnické stroje v dnešní době zaujímají ve strojírenské výrobě stále většinový podíl. Dělíme je na svislé, podélné (dlouhotočné), hrotové, revolverové a speciální. Podle automatizace dále na konvenční, poloautomatické, automatické. Soustruhy mají široké využití ať už ve výrobě kusové, malosériové či sériové. Na soustruzích můžeme obrábět vnější i vnitřní rozměry, upichovat, zapichovat, vrtat, soustružit kuželové plochy a řezat závity.¹³

1.6 Parametry obráběcího stroje Deco – Sigma 20 , TORNOS

➤ Hlavní vřeteno – posuvný vřeteník – osa Z1:

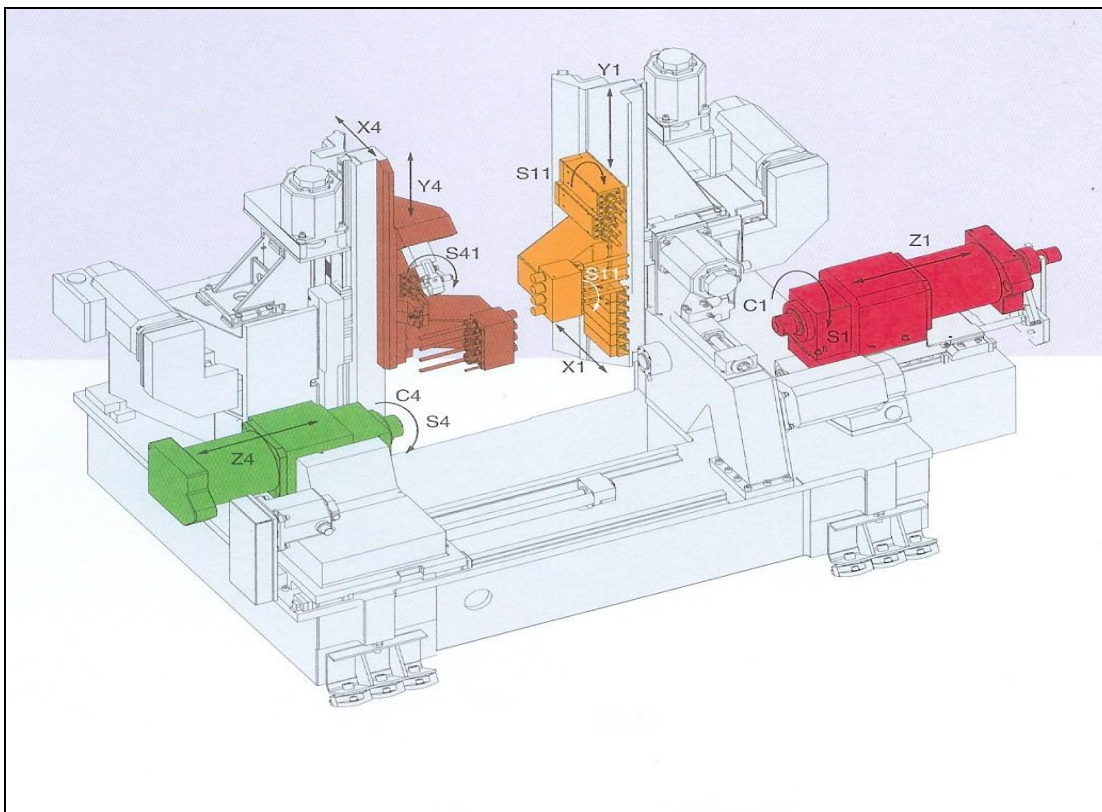
- integrované motorové vřeteno, výkon 3,7/5,5 kW,
- max. otáčky $n=10\ 000$ /min,
- zdvih osy Z1 – 230 mm,
- kleštinové upínání pro kleštiny – typ Schaublin F30,
- orientovaný stop vřetene S1 ($0,001^\circ$).

➤ Nástrojový příčný suport X1-Y1:

- lineární nástrojový systém pro obrábění na hlavním vřetenu,
- hřebenový systém upínání nástrojů – radiální a axiální orientace vůči ose vřetene,
- upínací polohy pro nástroje 14,
- rozměr upínání pro nože 16x16,
- počet poháněných nástrojů - radiální směr 4,
- počet poháněných nástrojů – axiální směr 4,
- pohon nástrojů S11 ($n=10000$ / min).

➤ Nástrojový příčný suport X4-Y4:

- lineární nástrojový systém pro obrábění na protivřetenu,
- hřebenový systém upínání nástrojů – radiální a axiální orientace vůči ose vřetene,
- upínací polohy pro nástroje 8,
- rozměr upínání pro nože 16x16,
- počet poháněných nástrojů - radiální směr 4,
- počet poháněných nástrojů – axiální směr 4,
- pohon pro rotační nástroje (opce).



Obr. 1.6 Schéma multifunkčního obráběcího stroje, dlouhotočného automatu Deco – Sigma 20, Tornos. ¹⁰

- Nezávislé proti vřeteno na suportu – osa Z4:
 - integrované motorové vřeteno, výkon 3,7/5,5 kW,
 - max. otáčky $n=10\ 000$ /min,
 - kleštinové upínání pro kleštiny – typ Schaublin F30.

- Odebírání dílců:
 - pneumatický manipulátor pro odebírání z dílu na suportu X4–Y4,
 - odkládací zásobník hotových dílů.

- Protivřeteno:
 - orientovaný stop protivřetene S4, inkrement $0,001^\circ$,
 - dopravník třísek článkový pro dlouhé třísky,
 - elektrické rozhraní pro dopravník třísek,
 - pásový dopravník obrobků,
 - kontrola zlomení nástroje – systém Mini Detektor,
 - odsávání olejové mlhy včetně brzdy motoru.

- Ostatní příslušenství, opce a doplnění předchozí specifikace:
- nastavitelný nástrojový držák pro nože 16x16 (pravý, nízký, dlouhý),
 - nastavitelný nástrojový držák pro nože 16x16 (pravý, nízký, krátký),
 - dlouhý dvojitý poháněný nástrojový držák kleštinový držák pro vrtání / frézování pro kleštiny ESX 20 nebo systém pro rychlou výměnu ECR 20,
 - nástrojový držák v pozici 1, zpětný, pro osové operace,
 - vrtání – upínací otvor ϕ 25 mm s mechanickým nastavením hloubky obrábění,
 - vnitřní chlazení pro nástrojový systém.

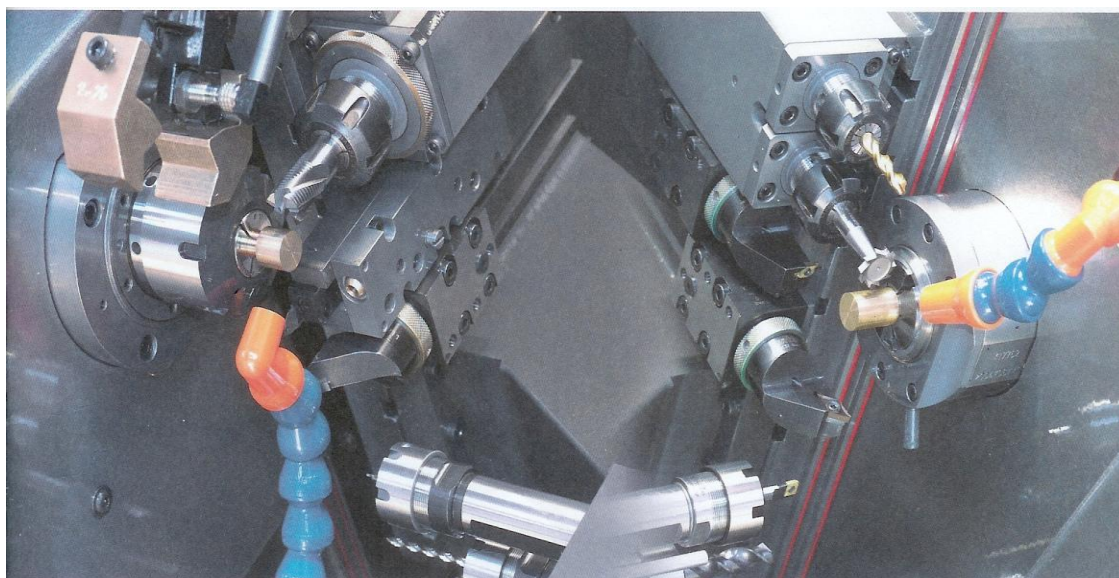


Obr. 1.5 Multifunkční obráběcí stroj Deco – Sigma 20, Tornos. ¹⁰

- Různé:
- kompletní zakrytování stroje a jeho pracovního prostoru,
 - příprava tlakového vzduchu,
 - čerpadlo chladící kapaliny,
 - světelné alarmové hlášení stroje,
 - speciální nástroje pro servis,
 - stroj je konformní s CE a CEM – normami.

- Podavač tyčí se zásobníkem:
 - automatický podavač tyčí se zásobníkem ROBOBAR SBF 532,
 - průchod tyčí max. 32 mm,
 - uzavřený vodící kanál s olejovou lázní pro tlumení vibrací tyče,
 - automatické zavádění tyče a odebrání zbytku tyče,
 - pro tyče max. délky 3200 mm,
 - vodící luneta,
 - regulační systém se servomotorem,
 - tlačná tyč 10, 16, 20, 25 mm.

- Numerické řízení FANUC 31i:
 - 2 programovací kanály,
 - 6 CNC os, 4 vřetena,
 - barevný monitor 10,4“,
 - elektronické ruční kolečko,
 - rozhraní pro Flash paměťovou kartu,
 - programování v ISO kódu,
 - kapacita paměti 64 kB,
 - AC motory s absolutním odměřovacím systémem,
 - 32 nástrojových geometrií a 32 nástrojových korekcí,
 - kompenzace rádius nástroje,
 - cyklus pro závitování nožem,
 - konstantní řezná rychlost.¹⁰



Obr. 1.7 Pohled do pracovního prostoru stroje.¹⁰

1.7 Popis spolupracující firmy STARTECHNIK s.r.o

STAR TECHNIK, s.r.o. :

- je strojírenská firma orientovaná na kovoobrábění. Použití moderních technologií zaručuje rychlou, flexibilní a vysoce kvalitní realizaci zakázek,
- od počátku se specializuje na třískové obrábění do průměru 40mm a montáž jednoduchých celků se zaměřením na náročné výrobky především pro automobilový průmysl (palivové systémy, brzdové systémy, aj.),
- provádí soustružení, frézování, broušení, vrtání a montáž. Obrábí různé druhy oceli, nerez oceli, hliník a mosaz. Komplexnost zakázek doplňuje i možnost povrchových úprav (včetně solné komory), tvrdého pájení či tepelného zpracování kovů,
- je schopen realizovat velkosériové, středněsériové i malosériové zakázky. Cílem firmy je nabídnout komplexní servis technologických služeb s nejvyšší precizností za příznivou cenu. Firma vlastní i pracoviště určené ke zlepšování procesu výroby.⁹

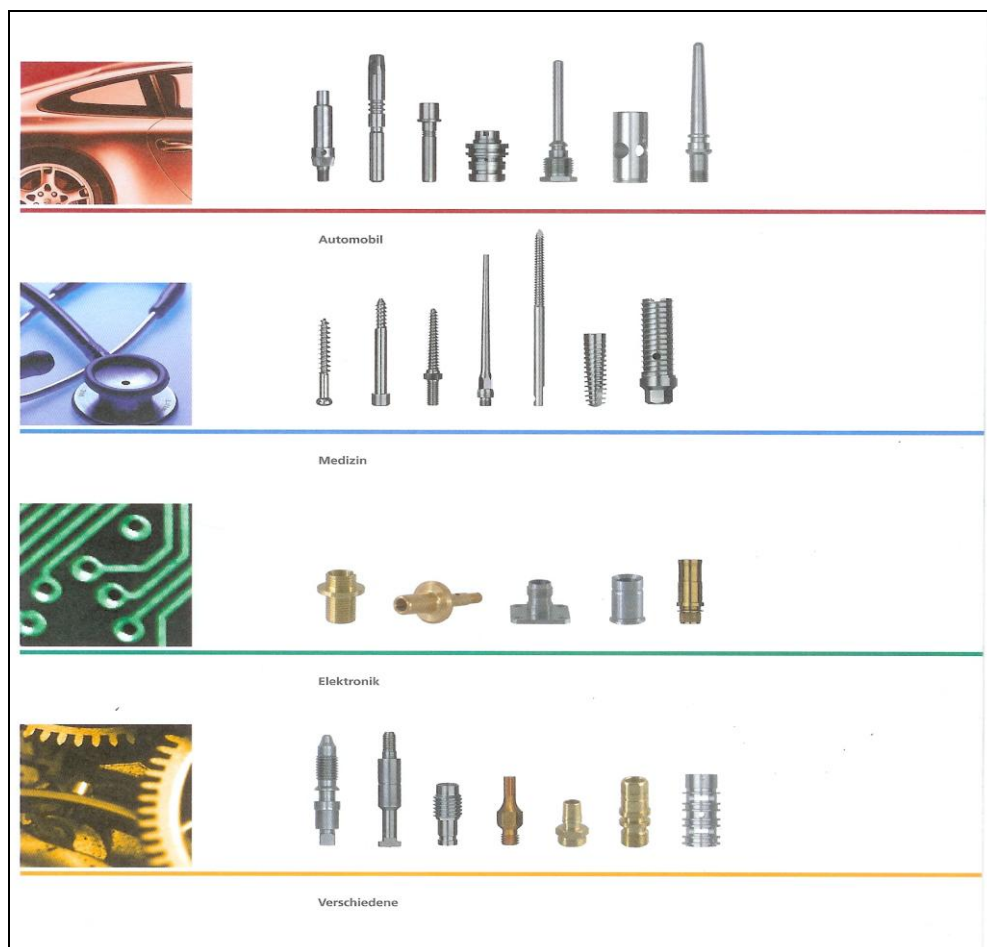
Produkty jsou vyráběny v nejvyšší kvalitě a přesných termínech pod kontrolou managementu jakosti dle [ISO 9001:2000](#) a životního prostředí [BS EN ISO 14001:2004](#).

STAR TECHNIK, s.r.o vznikl v r. 1997 ve Žďánicích (okres Hodonín) nedaleko Brna.

Firma využívá pro svou činnost výhradně vlastní výrobní a skladové prostory o celkové ploše 14033 m².⁹



Obr. 1.8 a,b Dílenské vybavení firmy STARTECHNIK.⁹

1.7.1 Vzorky součástí vyráběných firmou STARTECHNIK s.r.oObr. 1.9 Vzorky vyráběných součástí. ⁹**1.7.2 Ukázky součástí možných vyrábět na DECO SIGMA 20 – TORNOS**Obr. 1.9.1 Ukázka sortimentu součástí vyrobiteľných na Deco - Sigma 20. ¹⁰

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE STROJÍRENSKÝCH SOUČÁSTÍ OBRÁBĚNÝCH NA CNC OBRÁBĚCÍCH CENTRECH

2.1 Obecné pojetí technologičnosti konstrukce

Na vytvoření strojírenského výrobku se podílí řada činností, od průzkumu společenské potřeby výrobku, jeho konstrukčního návrhu, zabezpečení potřebného výrobního zařízení a materiálu až po expedici hotových výrobků.

Nejvýrazněji však ovlivňuje konečný efekt výroby konstrukce výrobku, jeho součástí a jeho výroba a montáž.

Konstrukce výrobku je předepsána konstrukční dokumentací, způsob a postup výroby a montáže technologickou dokumentací.

Vztah a soulad mezi oběma těmito činnostmi se posuzuje hodnocením tzv. technologičnosti konstrukce. Ta je definovaná jako soubor vlastností materiálu a výrobku, která za daných výrobních možností a daném objemu výroby umožní jeho nejekonomičtější výrobu.

Technologičnost konstrukce představuje snahu řešit konstrukci výrobku z hlediska tvaru a materiálu tak, aby se při správné funkci zabezpečila jeho nejefektivnější výroba.

Technologičnost konstrukce nelze posuzovat podle absolutně platných a jednoznačných ukazatelů, ale že bude záviset např. na druhu a stavu výrobního zařízení na konkrétním pracovišti, na počtu vyráběných kusů atd.

Technologičnost konstrukce lze posuzovat relativním porovnáním ukazatelů, mezi které patří např.:

- spotřeba materiálu,
- cena výrobku,
- celková pracnost výroby a montáže výrobku,
- délka výrobního cyklu,
- nároky na údržbu, opravy a výměnu součástí,
- nároky na nové výrobní zařízení.

Největší vliv v případě omezení se na nejdůležitější faktory má na stupeň technologičnosti konstrukce:

- volba materiálu součásti,
- volba polotovaru a jeho rozměru (přídavku na obrábění),
- požadovaná přesnost rozměru a tvaru obrobených ploch a jejich drsnost,
- druh a poloha jednotlivých konstrukčně technologických prvků na součásti.⁸

2.1.1 Technologičnost konstrukce součástí z hlediska výroby na CNC strojích

CNC stroje umožňují realizovat složitý pohybový cyklus nástrojů, což ovlivňuje koncepci tvarového pojetí konstrukce. Lze na nich obrábět bez finančně a časově náročných šablon a přípravků i tvarově složité rotační a rovinné plochy.

Technologičnost konstrukce ovlivňuje nepřímo také možnost rychlé a jednoduché změny seřízení programu. Konstrukční změny se proto dají provádět s malými náklady a v krátkých časových cyklech. Naproti tomu jsou v dnešní době na obrábění na CNC strojích kladeny vysoké požadavky na kvalitu a přesnost vyrobených součástí, které se ovšem na přání zákazníků stále zvyšují.⁸

Zlepšování technologičnosti konstrukce součástí a celých výrobků z hlediska obrábění je vysoce výhodný způsob zvyšování efektivnosti výroby, protože zpravidla nevyžaduje žádné rozsáhlé investiční náklady.⁶

Technologičnost konstrukce lze definovat jako vlastnost součástí, skupin i celých výrobků, které při zachování nebo překročení svých technických a provozních parametrů, umožňují svou konstrukcí použití výrobních technologií podniku s cílem co nejrychleji a nejchopodárněji zavést a provozovat výrobu.

Výrobek – jeho technologičnost pro obrábění posuzujeme z hlediska minimálních výrobních nákladů na zhotovení dílů a montáž výrobku.

Tyto vlastnosti výrobku lze zajistit při konstruování, prohloubit při technologickém zpracování. Požadované cíle lze docílit ekonomickými vědomostmi aplikovanými v oblastech:

- volby materiálu,
- možnosti výroby a montáž v podniku, případně i mimo podnik,
- profesní efektivní práce v podniku.⁷

Kritéria práce konstruktéra, technologa jsou definovány z hlediska technologičnosti porovnáním výrobku řešeného vůči výrobku předchozímu – jsou dány použitou vyšší úrovní výrobní technologie a spočívají ve stylu práce, který posuzujeme z hlediska ekonomiky výroby:

- zajištění jakosti výroby a snižování procenta zmetků nasazením vhodné technologie výroby (ekonomicky zdůvodnitelné) zaručující požadovanou produktivitu,
- čitelnost výkresů a správné kótování tak, aby nedocházelo k dodatečným výpočtům, při kterých je možné dopustit se chyby.
- použitý druh materiálu vhodných (požadovaných) vlastností na výrobku,

- zkrácení výrobních časů je ovlivněno konstrukcí součástí výrobku – je třeba konstruovat tak, aby bylo zajištěno:
 - pevné upnutí,
 - tvar součásti (možnosti výrobního stroje a náradí),
 - obrábění funkčních ploch a nutného tvaru součásti za účelem minimalizace odpadu a nákladů výroby,
 - tvar ploch, tolerance, drsnosti ploch,
 - obrobitelnost materiálu a vhodně volená výrobní technologie,
- použití vhodných strojů (a jejich výkony), nástrojů, přípravků.

Některé příklady pro zlepšení technologičnosti v oblasti CNC obráběcích center, které mohou zavést nebo ovlivnit konstruktér a technolog. Nasazením automatizace a zejména CNC strojů do výroby konstruktéři mění tvar součástí dle výrobních možností stroje – přizpůsobují se výrobním požadavkům: automatického nebo montážního stroje, ale také robotům a manipulátorům, a to nejen při uchopení a paletizaci výrobků.

- Nasazením CNC obráběcího centra a vhodným překonstruováním součástí (je možné na stroji soustružit, mimoose vrtat, frézovat atd.), vzniká také možnost otáčet, naklápět součást – ušetří se vedlejší časy (upínání, měření), manipulaci a čekací fronty na další operaci na jiném stroji. Tím, že nemusíme součást znovu upínat a přepínat, zajistíme vyšší kvalitu výroby součástky. Při novém upnutí bychom nezajistili přesnost upnutí.
- Nasazení CNC obráběcího centra zvládajícího technologii HSC (High Speed Cutting) dochází nejen k úspoře časů strojních a vedlejších, ale také velikosti výrobní plochy dílny (z toho plynoucí náklady v korunách, daně, údržba atd.) – jeden stroj je schopen svou produktivitou nahradit až pět běžných CNC strojů.
- Vybudování linky z CNC strojů, robotů snižuje pracnost – dělník vykonává práce, které mají charakter údržby např. výměna nástrojů a manipulaci s polotovary a finálními dílci. Platí pro vyspělé ekonomiky, kde je výhodnější nasadit automatizaci, neboť pracovní síla je příliš drahá.
- Nasazení automatizace omezuje, případně vylučuje vliv lidského faktoru na kvalitu výroby.
- Navržením správných tolerancí a drsností na součásti dosáhneme odpovídající pracnosti výrobku a požadované kvality. Nesprávnou volbou užších tolerancí a nízkých drsností dochází až k několikanásobnému zvýšení pracnosti.
- Nutno konstruovat z hlediska správné volby složitosti jednotlivých dílců finálního výrobku. Pro CNC stroje je výhodné obrábět složitější přesnou součástku bez častého přepínání. Programové vybavení a konstrukce stroje to umožňují a stroj to zvládne. CNC stroje produkují výrobu takových dílců, které by při použití univerzálního stroje bylo nutné konstruovat dílce (z více součástí) s následnou montáží v jeden celek. ⁷

2.2 Volba materiálu

Z hlediska technologičnosti konstrukce nestačí určit pouze tvar a materiál součásti tak, aby odolala předpokládanému namáhání, ale měla by být co nejlehčí a výrobně nejlevnější. Základním ukazatelem pro volbu materiálu je jeho cena. Ekonomicky však tato volba nemusí vyjít vždy výhodně, musíme zahrnout také hmotnost součásti, její životnost apod. Důležitou technologickou charakteristikou materiálu je jeho obrobiteľnosť.⁸

2.2.1 Obrobiteľnosť materiálu

Pod pojmem obrobiteľnosť materiálu se rozumí souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Pojem obrobiteľnosť však není jednoznačně definovatelný z důvodu různorodosti operací obrábění, kontinuálního vývoje a zlepšování řezných nástrojů.

Často však existují nadřazené priority jako například náklady na jeden obrobek, požadavky na produktivitu práce, ale také kalkulovaná trvanlivost břitů, zaručující specifickou jakost obrobeného povrchu a spolehlivost obrábění.

To jsou zásady pro vyhodnocení obrobiteľnosti u individuálních koncepcí obrábění, v závislosti na výrobě. Obrobiteľnosť je možné zlepšit například zlepšením jakosti odlitků, případně použitím automatových ocelí, nebo také změnou řezných nástrojových materiálů, geometrie břitů, způsobu upnutí, řezné kapaliny apod.

V širším smyslu je obrobiteľnosť funkční veličinou vztahu nástroj/obrobek, pro kterou jsou důležitá následující kritéria:

- trvanlivost břitů,
- utváření třísky,
- stav povrchové vrstvy,
- výkon obrábění,
- řezná síla / příkon,
- sklon k vytváření nárustku.

Kombinace znalosti vlastností materiálů a testů obrábění poskytuje dobrý základ hodnocení obrobiteľnosti, vztažený buď na jednotlivé speciální případy, nebo celou výrobu. Obrobiteľnosť lze označit za „dobrou“, je-li nějakým typem nástroje a řezného nástrojového materiálu možno obrobiteľ určitý materiál obrobku.¹²

2.3 Volba polotovaru

Volba polotovaru závisí na požadavcích na vlastnosti materiálu součástí, na velikosti, tvaru a členitosti konstrukce součástí, na velikosti série, na požadované kvalitě součástí a ekonomii její výroby, na výrobním zařízení (stroje, nástroje, přípravky), jež je k dispozici nebo které je nutno pořídit. Současná technologie poskytuje následující možnosti výroby polotovaru:

- odlitek,
- válcovaný tyčový, pásový nebo deskový materiál,
- výkovek,
- výlisek,
- svarek.

Druh polotovaru lze jednoznačně zvolit pouze pro některé typy součástí, vyznačující se velmi jednoduchým nebo naopak členitým tvarem.

V řadě případů je však pro výrobu určité součásti možno použít více typů polotovarů. Potom je nutno provést ekonomický výpočet a zvolit ten polotovar, pro nějž celkové náklady na výrobu budou nejnižší.

2.3.1 Technologičnost odlitků

Odlitky strojních částí lze zhotovovat z různých materiálů a různými způsoby odlévání. Na použitém způsobu závisí jakost povrchu odlitku i dosažitelná přesnost jejich rozměrů. Vysoké požadavky na přesnost zvyšují náklady na výrobu odlitků, a proto jsou oprávněny pouze u odlitků ve velkosériové a hromadné výrobě.⁸

Odlitky do pískových forem se vyznačují špatnou kvalitou povrchu, a proto také velkými přírůsky na obrábění. Povrchová kůra odlitku s množstvím nekovových příměsí způsobuje značné abrazivní opotřebení břitu rezného nástroje při obrábění nebo dokonce jeho zničení lomem v důsledku extrémního zvýšení rezného odporu při kontaktu břitu s tvrdými částicemi zatavených formovacích směsí. Proto jsou odlitky vhodnější odlévané do kovových a keramických forem.⁶

Procento zmetků závisí nejen na připuštěné toleranci rozměrů, ale i na složitosti tvaru odlitku a jeho velikosti. Požadavky na технологиčnost konstrukce odlévaných polotovarů lze stručně shrnout takto:

- tloušťka stěn musí být taková, aby kov dobře vyplnil formu. U tenkých stěn může dojít ke vzniku trhlin v důsledku rychlého a nerovnoměrného ochlazení hmoty stěny. U příliš velkých tloušťek stěn může nastat zhoršení struktury materiálu a snížení pevnosti odlitku,
- přechody mezi jednotlivými stěnami a žebry odlitku musí být plynulé a pozvolné. Nevhodné poměry mezi průřezy a tvary jednotlivých částí mohou být zdrojem vnitřních pnutí.

2.3.2 Technologičnost tvářených polotovarů

Konstrukční tvary výkovků mají být co nejjednodušší, dosažitelné pokud možno bez předkování. Nemají mít vysoká žebra, nákovky a výstupky, které vyžadují větší počet úderů při kování. Při zápustkovém kování je třeba vytvořit úkosy stěn v zápustce, které umožňují snadné vyjímání výkovku ze zápustky. Životnost zápustky se rovněž snižuje u výkovků, které mají příliš malé poloměry zaoblení. Při návrhu výkovku je třeba uvažovat o poloze ustavovací základny pro obrábění, o umístění nákovků pro upínání a pro středící dülky pro soustružení.⁸

Polotovary kované a lisované, přesné zápustkové výkovky a výlisky s kalibrací rozměrů jsou pro obrábění velmi vhodné vzhledem k optimálnější velikosti přídavek na obrábění. Nevýhodou může být zhoršena obrobiteľnosť materiálu způsobená jeho zpevněním při tváření za studena nebo zvýšením tvrdosti v důsledku strukturálních změn při tváření za tepla.⁶

2.3.3 Technologičnost konstrukce z hlediska obrábění

Zlepšení technologičnosti polotovarů a součástí z hlediska obrábění lze dosáhnout snížením pracnosti výroby ve dvou hlavních oblastech:

- zkracování strojního času obrábění,
- zkracování vedlejšího a dávkového času.

Strojní čas je možno zkrátit:

- zvětšením tuhosti součástí a jejího upnutí,
- zjednodušením tvaru součástí z hlediska obrábění, montáže a kontroly,
- snížením počtu a velikosti obráběných ploch,
- vhodným uspořádáním obráběných ploch,
- zlepšením obrobiteľnosti materiálu,
- stanovením optimální přesnosti tvarů a rozměrů,
- stanovením optimální drsnosti povrchu.

Zvýšení tuhosti polotovaru dovolí zvýšení intenzity řezných podmínek nástroje při dodržení předepsané přesnosti tvaru, rozměrů a drsností povrchu. U součástí s malou tuhostí je třeba polotovar opatřit technologickým nálitkem, který kromě zvýšení tuhosti slouží i jako technologická základna.

Je výhodné zvolit technologii výroby polotovaru tak, aby se nemusely obrábět plochy, které nejsou funkční. Zjednodušení tvaru součástí a tvaru obráběných ploch znamená co nejširší uplatnění válcových a rovinných ploch a jejich uspořádání tak, aby je bylo možno obrábět na co nejmenší počet upnutí.⁸

3 PŘESNOST OBRÁBĚCÍHO PROCESU PŘI APLIKACI CNC OBRÁBĚCÍHO CENTRA

3.1 Přesnost obráběcích center

Pracovní přesnost výrobního zařízení lze chápat jako souhrnnou charakteristiku, která vyjadřuje vlivy geometrické přesnosti, přesnosti polohování, teplotní dilatace a deformace technologického systému při vlastním procesu obrábění. Pracovní přesnost je zjišťována kontrolou rozměrové přesnosti a přesnosti geometrické plochy zkušební vzorku při zadaných pracovních podmínkách.

Zkoušky obráběcích center podle norem ISO 10791 určují podmínky pracovní přesnosti obráběcích center se 4 číslicově řízenými osami, z nichž 3 jsou lineární a jedna je otočná. U každé zkoušky je v normě popsán předmět měření, roviny měření, dovolené úchytky a tolerance měřených hodnot a použité měřicí zařízení, popis zkoušky uvádí i její schematické znázornění. Tolerance měřených hodnot se pohybuje v setinách a tisícinách milimetru. V současné době jsou kladeny stále vyšší požadavky na přesnost obráběcích strojů, protože tato přesnost se promítá v přesnosti obroběných součástí.

Výrobci obráběcích strojů dosáhli toho, že dokážou eliminovat změny pracovních podmínek nástroje, změny pracovní teploty v určitém časovém intervalu, a tím zabezpečovat požadavky zákazníka na zvýšenou jakost výrobků. K tomu přispívá nejen konstrukce obráběcích center, ale i metody měření a kontroly jejich rozměrové, geometrické, tvarové a pracovní přesnosti.³

Z hlediska přesnosti obroběné plochy má v obráběcím procesu významné postavení obráběcí stroj. Přesnost obráběcího stroje se kvantifikuje ve formě ukazatelů vztažených k jeho geometrické a pracovní přesnosti. U CNC strojů k tomu ještě přistupuje přesnost polohování jeho pracovních orgánů.

3.1.1 Geometrická přesnost obráběcích strojů

Geometrická přesnost obráběcího stroje je charakterizována úchytkami tvaru a polohy jednotlivých funkčních prvků – lože, stojany, stoly, suporty, sáně. Patří sem úchytky rovnoběžnosti, úchytky kolmosti, úchytky rovinnosti, úchytky přímosti a úchytky kruhovitosti vodících, přestavitelných a odměřovacích prvků obráběcích strojů. Parametry geometrické přesnosti obráběcího stroje tvoří významnou část přejímacích podmínek. Specifikace příslušné zkoušky, doporučené měřicí přístroje a mezní úchytky kontrolovaných veličin jsou řešeny v různých normách – např.:

- ISO – International Organization for Standardization,
- ČSN ISO – České státní normy,
- DIN – Deutsches Institut für Normung. ⁷

3.1.2 Přesnost polohování pracovních orgánů CNC obráběcích strojů

Skutečná poloha pracovního orgánu CNC stroje (suport, vřeteník apod.) se v důsledku různých chyb liší od polohy zadané (programované). Měření úchylek polohy u obráběcích strojů vyžaduje přesné, spolehlivé a snadno ovladatelné měřicí zařízení s automatickým zpracováním naměřených hodnot. Tyto požadavky v současné době splňují např. laserové měřicí systémy.

3.1.3 Pracovní přesnost obráběcích strojů

Parametry pracovní přesnosti obráběcího stroje se kvantifikují na základě přesnosti obrobků, které byly na tomto stroji obrobene. Avšak přesnost obrobene plochy na určité součásti obecně závisí na systému technologických podmínek, vztažených k obráběcímu stroji, vlastnímu obrobku, nástroji, upínači, kvantifikaci obsluhy, pracovním prostředí atd. Při kvantifikaci parametrů pracovní přesnosti obráběcího stroje je třeba výrazně omezit vliv těch technologických faktorů, které přímo na stroji nezávisí, případně takové faktory normativně vymežit.

Parametry pracovní přesnosti stroje se kvantifikují na základě obrobení vhodných zkušebních obrobků. Na obrobených plochách zkušebních obrobků se v závislosti na záměrech zkoušky měří a vyhodnocují úchytky rozměrů, úchytky tvarů, úchytky polohy a drsnost povrchu. Uvedené parametry obrobených ploch zkušebního obrobku se vyšetří obvykle na základě obrobení jednoho kusu a porovnají se s příslušnými mezními hodnotami stanovenými pro řešený případ přijímacími nebo provozními podmínkami. ⁷



Obr. 3.1 Multifunkční obráběcí stroj, dlouhotočný automat Deco – Sigm 20, Tornos.

3.2 Konkretizovaná aplikace

Aplikace výroby a kontroly je provedena na součást s názvem spojka vysokotlakého rozvodu do automobilového systému s označením 05-0088 a výrobní stroj Deco Sigma 20 od firmy Tornos.

3.2.1 Identifikace a využití součásti spojka - 05-0088

Daná součást je vyráběna z automatové oceli 11SMnPb30+C, DIN EN 10277, používá se v automobilovém průmyslu pro rozvodový systém provozních kapalin. Výrobní rozměry uvedené ve výrobním výkrese v příloze č.1 jsou kótovány včetně povrchové úpravy – zinkování, která činí 0,02 mm na průměru. Tudíž s tím musí být počítáno při sestavení celkové technologie výroby a výrobního programu. Tvar součásti a způsob využití je zobrazen na obr. 3.2 a obr. 3.3.



Obr. 3.2 Fotovizualizace vyráběné součásti.



Obr. 3.3 Ukázka způsobu využití součásti.



Obr. 3.4 Detail sestavy.

3.2.2 Technologická příprava výroby součásti

Pro zajištění správné výroby a její kontroly jsou podstatné tři dokumenty. Výkresová dokumentace, výrobní návodka a kontrolní plán. Výkresová dokumentace od požadované součásti včetně specifikace materiálu je dodána zákazníkem, který výrobu poptává. Technologické oddělení navrhne optimální postup výroby, volbu nástrojů, řezné podmínky apod. Přehled použitých nástrojů v jednotlivých operacích se uvádí do výrobní návodky.

Návodka obsahuje název obráběného prvku, použitý nástroj včetně jeho pozice v nástrojovém držáku, korekci, otáčky a posuv, označení držáku nástroje a označení nástroje spolu s výrobcem. Dále návodka obsahuje označení a název dílu, číslo programu, použitý obráběcí stroj, jména osob zodpovědných za danou technologii a datum vypracování. Výrobní návodka nemá pevně stanovenou podobu a každý podnik si jí může upravit dle svých potřeb. Konkrétní výrobní návodka pro aplikaci na danou součást je uvedena na obr. 3.5 a detailně zobrazena v příloze č.2.¹³

Výrobní návodka		Číslo dílu:	Název dílu:	Č. programu:	operace č.1						
PRO CNC STROJE		05-0088	VERBINDUNG S STUECK	050088A 050088B							
P. Č.	Technologie	Nástroje	Otáčky Posuv	Držáky	Nástroje	Výrobce					
VŘETENO 1											
1	Upíchnout - zarovnat čelo	T0101	Dle programu	DGTR-16B-3D35	VBD DGN 3102C IC908	ISCAR					
2	Soustružit ø 13, 15,5 a 20 mm	T0303	Dle programu	SDACR 16x16	VBD DCMT 11T304 SM IS520	ISCAR					
3	Soustružit zápich 3,4 mm a ø 12,85	T0404	Dle programu	LTN05-0088	Tvarový nůž 05-0088						
4	Navrtat + srazit hr. ø 8,7 mm	T0707	Dle programu	Klešтина ER25	TK Vrták ø 12	WNT					
5	Vrtat otvor ø 8,7 mm	T0808	Dle programu	Klešтина ER25	TK Vrták ø 8,7 SPC0087-0435 TiAlN	ARNO					
6	Vrtat otvor ø 4 mm	T0909	Dle programu	Klešтина ER25	TK Vrták ø 4 SPC0040-0200 TiAlN	ARNO					
7	Vrtat otvor ø 4,7 mm	T1010	Dle programu	Klešтина ER25	Vrták ø 4,7 B707A04763FBG	KENNAMETAL					
8	Frézovat plošku L 17	T1313	Dle programu	Klešтина ER20	TK fréza ø 8 RF40, PMHSS-E	GUHRING					
VŘETENO 2											
1	Vrtat otvor ø 4 mm	T0303	Dle programu	Klešтина ER25	TK Vrták ø 4 SPC0040-0200 TiAlN	ARNO					
2	Navrtat pro otvor ø 4 mm	T0404	Dle programu	Klešтина ER25	TK Navrtávk ø 6-8						
3	Soustružit povrch	T0505	Dle programu	SDACR 16x16	VBD DCMT 11T304 SM IC520	ISCAR					
4	Soustružit tvarový zápich	T0606	Dle programu	Držák pro tvar. nůž	Tvarový nůž 05-0088						
5	Vřeteno 2	T1010	Dle programu	Klešтина ø 15,5 hladká							
Celisti pro odb. kleště 8-15											
Změnové řízení:											
Popis operace		Název stroje		Typ stroje		Strojní čas (čas 1 kusu)					
Soustružení		Soustružnický CNC automat		TORNOS DECO SIGMA20		70*					
Vyhotovil	Datum	Podpis	Doplnil	Datum	Podpis	Kontroloval	Datum	Podpis	Schválil	Datum	Podpis
MARTINAK M	22.1.2010										

Obr. 3.5 Výrobní návodka – náhled.

Kontrolní plán stanovuje a popisuje metody kontroly správnosti jednotlivých rozměrů, místo kontroly, měřidlo, četnost kontroly, způsob záznamu o kontrole a nápravná opatření v případě neshody. Dále jména zodpovědných pracovníků a potřebná data. Kontrolní plán nemá taktéž pevně stanovenou podobu a každý podnik si ji může upravit podle svých specifických potřeb. Konkrétní kontrolní plán pro aplikaci na danou součást je uveden na obr. 3.6 a detailně zobrazen v příloze č.3.

KONTROLNÍ PLÁN										List 1-2	
Plán kontrol č. 05-0088		Vydal Martíňák Marek		Datum schválení 15.2.2010		Datum tisku 15.2.2010					
Číslo dílu 05-0088		Tým Martíňák M., Schofr M.		Schválení							
Název dílu Verbindungsstueck		Tvorba KP - útvár		Kód							
		Star Technik, s.r.o.									
Číslo operace	Název procesu	Stroj	Kontrolu provádí	Klasifikace speciálních znaků	Rozměr	Způsob kontroly		Vyběr		Záznam	Opatření
						měření		Rozsah	Četnost		
1	1.1 seřízení	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		díle výkresu	metodika QMP-08-02				Kniha "Kontrola 1. kusu"	Seřízení stroje
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		por. údajů na štítku s výkr.	vizuálně, posuvka	dávka mat	zah. výroby, nový mat.		Bez záznamu	zastavení výroby, reklamacie ve skladu
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		12,98 ±0,10 mm	Posuvné měřidlo	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		15,48 ±0,10 mm	Mikrometr	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha	SPC	12,83 ±0,05 mm	třmen, kalibr	3ks	1 hodina		SPC-první a posl. 1ks/1m. Kontrolní list-zázn. 1hod.	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		6,98 ±0,10 mm	Posuvné měřidlo	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		6,08 ±0,10 mm	Posuvné měřidlo	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		4,00 ±0,10 mm	Kalibr	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		vnitřní průměr	Kalibr	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		8,70 ±0,10 mm	Kalibr	3ks	1 hodina		Kontrolní list-záznam 1x za hodinu	Izolace neshodných dílů, seřízení, kontrola předchozí produkce
1	1.2 výroba	Polygim 32 CSL TORNOS	Obsluha		vnitřní průměr						

Obr. 3.6 Kontrolní plán – náhled.

Ale v případě řízení jakosti podle ISO norem jsou definovány přesné požadavky na obsah výrobní návodky a kontrolního plánu. Také zákazník může mít speciální požadavky na obsah výrobní návodky nebo kontrolního plánu. Technolog při přípravě výroby musí uvážit mnoho aspektů obrábění. Volí řezné nástroje, mazací nebo chladicí kapalinu, rychlost posuvů a otáček apod. Soustružnický nůž z rychlořezné má i dnes, v době používání slinutých karbidů své využití.

Jeho výhodou je nízká pořizovací cena a pro nenáročné tvary a materiály součástí dostatečná životnost a možnost přebroušení. Vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů jsou schopny vyrábět při vysokých řezných rychlostech a mají dlouhou životnost. Většinou mají více břitů, a proto je možné jejich otočením dosáhnout dlouhé životnosti. Utvářeče třísek zajišťují vhodnou velikost a tvar třísek. Výměnné břitové destičky se různými způsoby uchycení upínají do držáků.¹³

Technolog volí podle specifikací výrobce nožů a destiček vhodné řezné rychlosti. Parametry řezného procesu se nastaví na hodnoty, které jsou odvozeny z údajů od výrobců nástrojů a ze zkušeností technologa. Výrobce udává na VBD rozsahy možných velikostí odebírané třísky, rozpětí použitelných otáček a rychlosti doporučených posuvů. Konkrétní hodnoty se volí podle obráběného materiálu, potřebné drsnosti povrchu, požadované doby obrábění a dalších parametrů řezných procesů. Průběžně se sledují výsledky výroby a provádí se dodatečné úpravy parametrů obrábění.

Obráběcí centra obecně umožňují provádět široké spektrum obráběcích soustružnických, frézovacích a vrtacích operací. Často se můžeme setkat s problémovým vrtáním hlubokých děr. Ve velké většině případů musíme navrtávkem díru nejdříve navrtat a až následně vrtat a to nejlépe na větší počet cyklů a s výplachem. Bez navrtání by mohlo dojít k ohnutí dlouhého vrtáku a tím k nedodržení polohy a přesnosti díry nebo dokonce k jeho zlomení.

3.2.3 *Kontrola přesnosti a spolehlivosti výroby*

Pro požadavek přesné a spolehlivé výroby je vhodné aplikovat na výrobní proces. Statistické regulace procesu (SPC), metody způsobilosti stroje a procesu (VDA), nebo analýza možných vad a jejich následků (FMEA). Samozřejmostí je také tvorba měrných protokolů, viz. příloha č.8. Výroba klíčových součástí pro automobilový průmysl dnes vyžaduje i dodržování norem ISO. ¹³

➤ *FMEA a její aplikace na danou výrobu*

FMEA (Failure Mode & Effects Analysis) je strukturovaná metoda, která umožňuje odhadovat a prioritizovat možné problémy a jejich následky u nově vznikajícího výrobku, služby, procesu nebo projektu. Následně pak vyhodnocovat vhodnost opatření, sloužící k eliminaci těchto problémů. Princip této metody je založen na kvantifikaci četnosti poruch, jejich závažnosti a snadnosti jejich detekce. ¹

1. Do tabulky se provede soupis všech možných problémů, které mohou nastat. Optimální je využít nějakého nástroje, např. FMEA formuláře, kdy na každý řádek se napíše jeden problém (tzv. Failure Mode).
2. Nyní se ke každému problému napíše následky tohoto problému – opět co jeden následek, to jeden problém.
3. Pak se u každého problému napíše možné příčiny tohoto problému – opět, co jedna příčina, to jeden řádek.
4. Následně se pro každý problém, jeho následek a příčinu přepíše způsob, jak ošetříme, abychom takovýto problém odhalili, případně zajistili, aby vůbec nenastal.

5. Jakmile máme vše vypsáno v přehledné tabulce, začneme přidávat koeficienty.

- Nejprve začneme s následky poruch a podle závažnosti přidělíme koeficient od 1 do 10-ti, kde 10 je nejhorší možný.
- Následně procházíme jednotlivé příčiny poruch a podle předpokládaného výskytu opět přidělíme koeficient od 1 do 10-ti, kde 10 je nejhorší možný
- Pak procházíme tzv. kontrolní mechanismy, které mají možné problémy odhalit nebo jim předejít a těmto opět přidělíme koeficient od 1 do 10-ti, kdy 10 nejhorší možný stav.

6. Následně všechny koeficienty v daném řádku vynásobíme a dostaneme tzv. RPN číslo, jenž opět zapíšeme na daném řádku. Toto RPN číslo nám udává míru rizika daného problému.

7. Jakmile projdeme všechny řádky, nastává čas všechny RPN čísla vyhodnotit a nalézt ta, na která zaměříme naši pozornost. U těchto čísel doplníme opatření, která podnikneme pro minimalizaci možnosti jejich výskytu, přidáme termín a odpovědnou osobu.

8. Provedeme opatření, která jsme si stanovili v předchozím bodu.

9. Nyní je možné pokračovat dalším krokem a znovu ohodnotit jednotlivé problémy, jejich následky, příčiny a zjistit, jak jsou zvolená opatření vhodná.

Pokud je FMEA dobře zdokumentována, lze ji využít při návrhu dalších obdobných výrobků či služeb v budoucnu. ¹

FMEA (analýza možných vad a jejich následků) a její vyhodnocení pro aplikaci na zadanou součást je uvedena na obr. 3.7 a detailněji v příloze č.4.

FMEA		OZNACENÍ VÝROBKU							CISLO FMEA				List číslo: 1		Počet listů: 3			
A KONSTRUKCE		Název: Verbindungstueck - 05-0088 C. VYKRESU: 05-0088							05-0088				Datum přepracování a číslo změn:					
B PROCESU		INDEX ZMENY: 1- interní 2-výkres zák.							Plánovaný termín zahájení sér. výroby:				VYPRACOVAL: MARTINAK Datum: 22.3.2010					
Potvrzení přísuš. oddělením nebo dodavatelem		MATERIAL: ø 20 - 11 SM nPb 30+C, DIN EN 10277							Schválil:				Datum:					
Vad ooc:		ZPRACOVAL: MARTINAK M.							ZAKAZNIK:									
A) Název dílů/funkce B) Popis procesu a jeho účelu		Možné následky vad		Klasif. Spec. Znak	Možné příčiny vad		Stávající stav				Opatření k nápravě		Odpovídá termín	Výsledný stav				
							Kontrolní opatření	V y s	V y z	O d h	Míra rizika		Provedení opatření	V y s	V y z	O d h	Míra rizika	
Přejímka materiálu		Dle postupu - Přejímka materiálu			Dle FMEA „Přejímka materiálu“													
Soustružení		Délka 21,5 ± 0,2 mimo tol.		Malá vada			Vadné rast. KO 1. ks	4	5	1	20	Žádná opatření						
		Tvar nátrubku ø7/ø6 mimo zažání		Pošle při normě			Výřeba Posuvka 3 ks/hod	4	5	3	60	Žádná opatření						
ø 6,98 ± 0,1 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	3	6	2	36	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje KO 1. ks	3	6	3	54	Žádná opatření						
ø 6,08 ± 0,1 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	5	6	1	30	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje 3 ks/hod	5	6	3	90	Žádná opatření						
ø 20 ± 0,2 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	2	5	1	10	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje 3 ks/hod	2	5	3	30	Žádná opatření						
Øver ø 4 ± 0,1 mimo tol.		Pošle při normě					Střad KO 1. ks	4	4	1	16	Žádná opatření						
							Výřeba KO 1. ks	4	4	3	48	Žádná opatření						
Øver ø 4,7 ± 0,5 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	4	6	1	24	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje Kalibr 3 ks/hod	4	6	3	72	Žádná opatření						
Øver ø 8,7 ± 0,1 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	4	6	1	24	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje Kalibr 3 ks/hod	4	6	3	72	Žádná opatření						
ø 15,48 ± 0,1 mimo tol.		Pošle při normě					Vadné rast. KO 1. ks	4	7	1	28	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje Kalibr 3 ks/hod	4	7	3	84	Žádná opatření						
							Vadné rast. KO 1. ks	4	7	1	28	Žádná opatření						
							Opoř. nástroje Mikrometr 3 ks/hod	4	7	3	84	Žádná opatření						

Obr. 3.7 FMEA – náhled vyhodnocení.

➤ **SPC a jeho aplikace na zadanou výrobu**

SPC (Statistical Process Control), statistické řízení procesů - je využíváno v kontrolních procesech při sériové výrobě, přejímce atd. SPC je metoda, kdy sledováním trendu vývoje tolerované veličiny (rozměr, teplota, atribut, atd.) technik přijímá opatření k zamezení vzniku vad. SPC je založeno na matematickém zpracování dat z kontrolního pracoviště. Výsledky jsou použity pro přijímání nápravných/preventivních opatření. Pomocí SPC dokážete zasáhnout včas, kdy sledovaná veličina je ještě v toleranci nicméně trend vývoje ukazuje na budoucí problém. ²

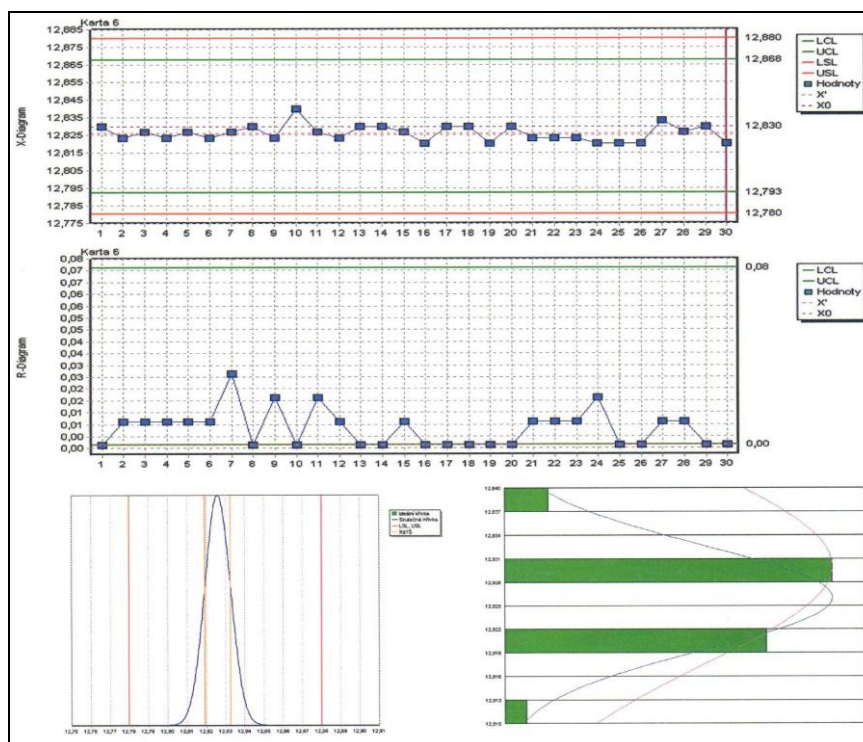
Výroba:

- regulace výrobního procesu a sledování jeho způsobilosti C_p , C_{pk} ,
- hodnocení spolehlivosti stroje C_m , C_{mk} - před prvním použitím, po GO, po střední opravě (ve spolupráci s technologií a řízením jakosti),
- hodnocení spolehlivosti nástrojů a technologií P_p , P_{pk} - při první aplikaci a po opětovném nasazení do výroby.

Výrobní kontrola:

- regulace výrobního procesu, hodnocení spolehlivosti procesu, výkazy z historie výrobního procesu. ¹⁴

SPC (statistické řízení procesů) a jeho vyhodnocení pro aplikaci na zadanou součást je uvedena na obr. 3.8 a detailněji v příloze č.5 .

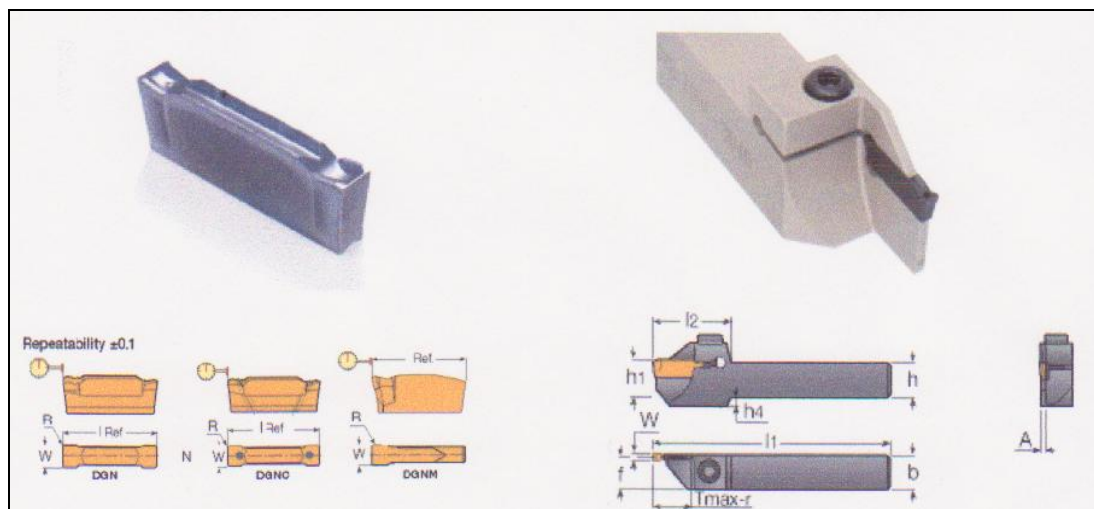


Obr. 3.8 Příklad grafického výstupu SPC.

3.2.4 Nástrojové vybavení pro výrobu dané součásti

VŘETENO 1 (Upínací kleština $\text{Ø}20 \text{ mm}$)

- **Nástroj T0101 - zarovnání čela, upichnutí**



VBD: DGN 3102C IC908

Cena: 350 Kč

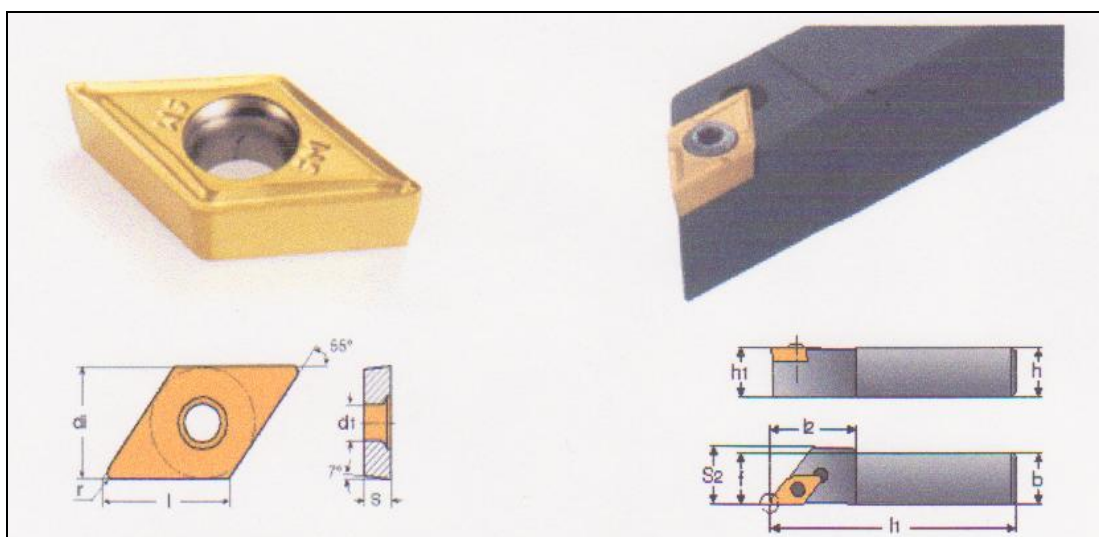
$V_c = 130-260 \text{ m/min}$

Držák: DGTR-16B-3D35

Cena: 2500 Kč

Výrobce: ISCAR^{13, 15}

- **Nástroj T0303 - soustružení $\text{Ø} 13 \text{ mm}$, $\text{Ø} 15.5 \text{ mm}$, $\text{Ø} 20 \text{ mm}$**



VBD: DCMT 11T304 SM IC520

Cena: 150 Kč

$V_c = 200-300 \text{ m/min}$

Držák: SDCAR-1616

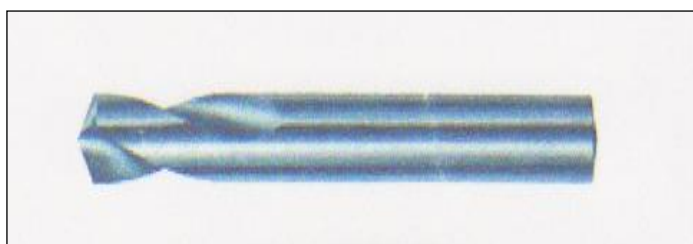
Cena: 2000 Kč

Výrobce: ISCAR^{13, 15}

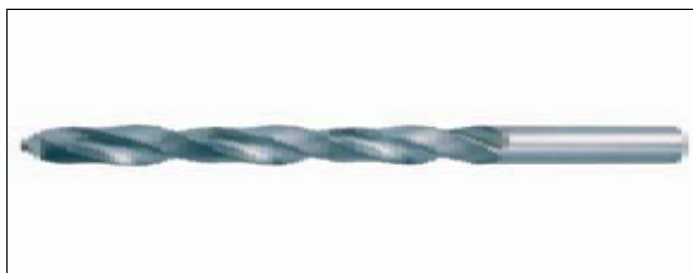
- Nástroj T0404 - soustružení zápichu 3.4 mm na \varnothing 12,85 mm

Tvarový nůž LTN 05-0088
Výroba na zakázku

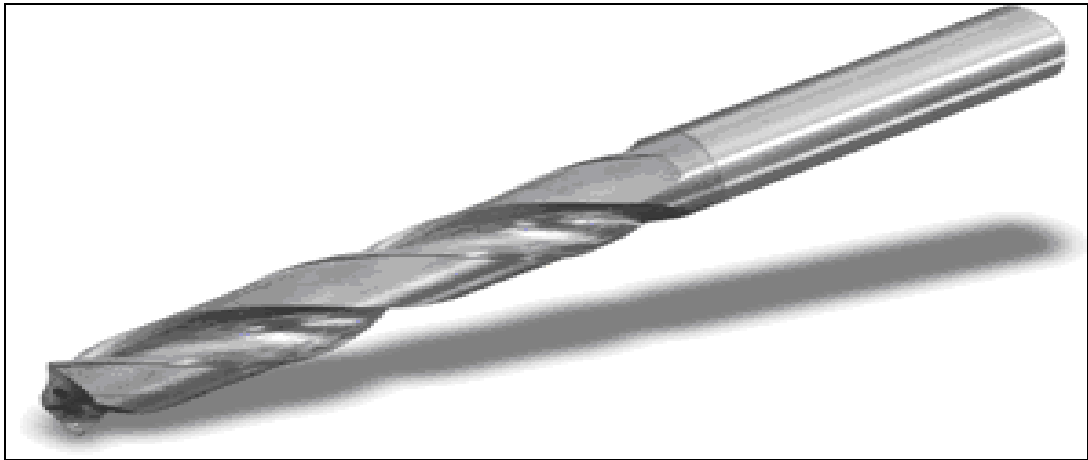
Cena: 1500 Kč včetně držáku
Vc = 50–60 m/min

- Nástroj T0707 – navrtání, sražení hrany \varnothing 8.7 mm

Navrtávák – sl.kar. \varnothing 12 mm
Vc = 40-90 m/min
Výrobce: WNT
Cena: 1250 Kč¹⁷

- Nástroj T0909 – vrtání otvoru \varnothing 4 mm

Vrták \varnothing 4,0 mm s vn. chl.
SPC0040-0200 VHM/TiAlN
Vc = 30-60 m/min
Výrobce: ARNO
Cena: 1780 Kč¹³

- Nástroj T0808 – vrtání otvoru Ø 8.7 mm

Vrták Ø 8,7 mm s vnitřním chlazením
SPC0087-0435 VHM/TiAlN (VHM-Velhartmetall)
Vc = 30-60 m/min ¹⁶

Výrobce: ARNO
Cena: 1780 Kč

- Nástroj T1010 – vrtání otvoru Ø 4,7 mm

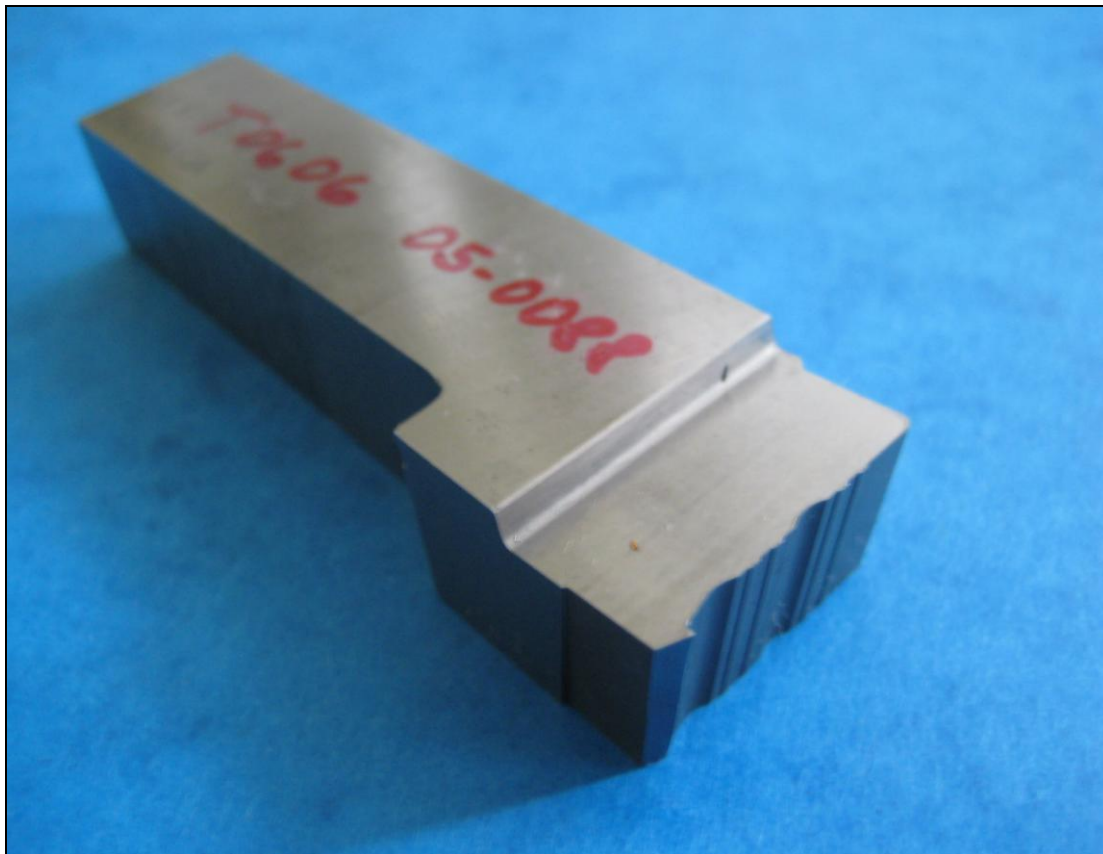
Vrták Ø 4,65 mm pro plochá dna s vn. chlazením
Vc = 20-60 m/min
Označení: B707A04763FBG
Výrobce: KENNAMETAL
Cena: 1780 Kč ¹⁸

**- Nástroj T1313 – frézování plošky L17 mm**

Fréza 4-břítá Ø 8 mm
Vc = 40-50 m/min
Označení: RF40, PM HSS-E
Výrobce: GUHRING ¹⁹
Cena: 675 Kč

VŘETENO 2 (Upínací kleština Ø 15,5mm)

- Nástroj T0606 – tvarový zápich



Tvarový nůž LTN 05-0088
Výroba na zakázku

Cena: 2300 Kč
Vc = 50–60 m/min

- Upínací kleštiny – ER25, ER 20

Kleština DIN6499 typ ER25/6

Výrobce: BISOU-BIAL s.a.

Cena : 310 Kč²⁰



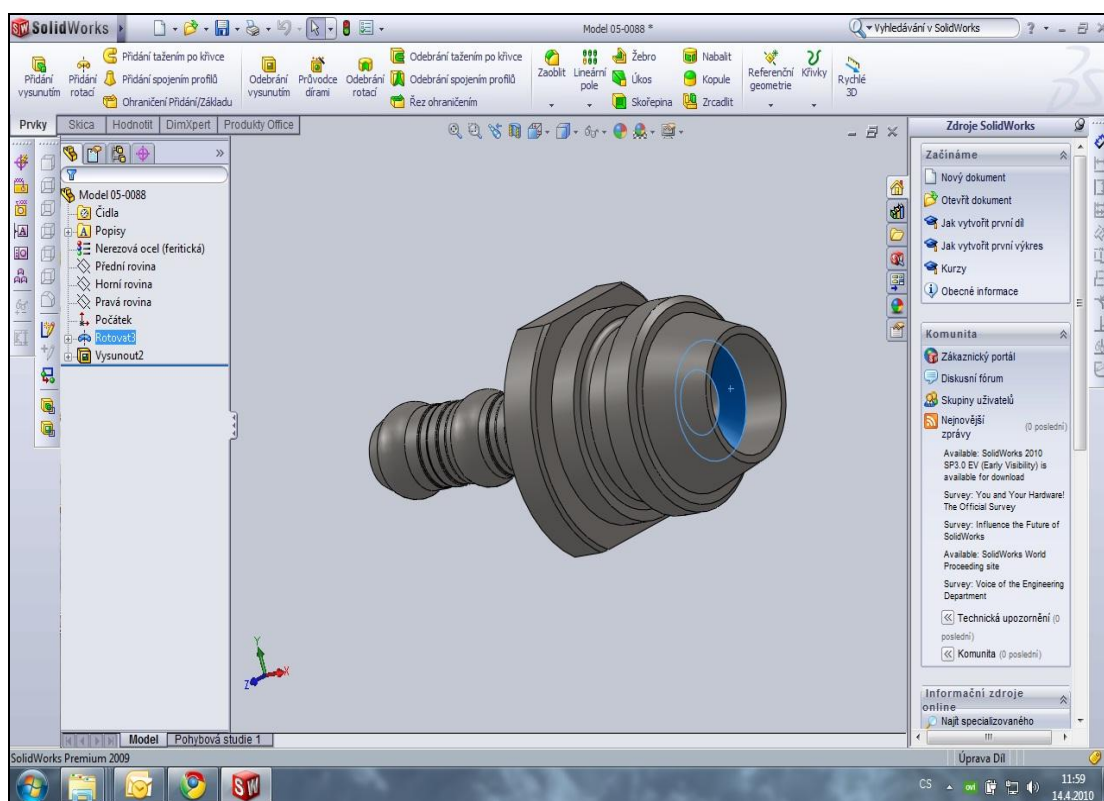
3.2.5 Identifikace a parametry obráběcího stroje Deco-Sigma 20

Obráběcí stroj Deco-Sigma 20 od firmy Tornos řadíme mezi soustružnické dlouhotočné automaty, ale zároveň ho můžeme vzhledem k jeho širokým schopnostem obrábění pokládat za multifunkčně obráběcí stroj. Na stroji můžeme provádět jak soustružení, které je pro daný typ stroje specifické, tak i frézování, vrtání, které je zajištěno díky několika poháněným nástrojovým držákům. Nástrojový systém stroje je vybaven vnitřním chlazením. Parametry obráběcího stroje Deco-Sigma 20 jsou uvedeny v kapitole 1.6.

3.2.6 Parametry přesnosti obrobené plochy zkušebních součástí

➤ Příprava a popis měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti je prováděno na místě určeným zákazníkem. Jelikož požadovaná plocha pro měření se nachází na vnitřní straně součásti, označená modrá plocha viz. obr. 3.9, tak na zkušebních výrobcích bylo zapotřebí obrobit vnější osazení a tím celou součást znehodnotit, viz obr. 3.9.1. Z tohoto důvodu bylo měření provedeno pouze na pěti výrobcích.



Obr. 3.9 3D model součásti v prostředí softwaru SolidWorks.

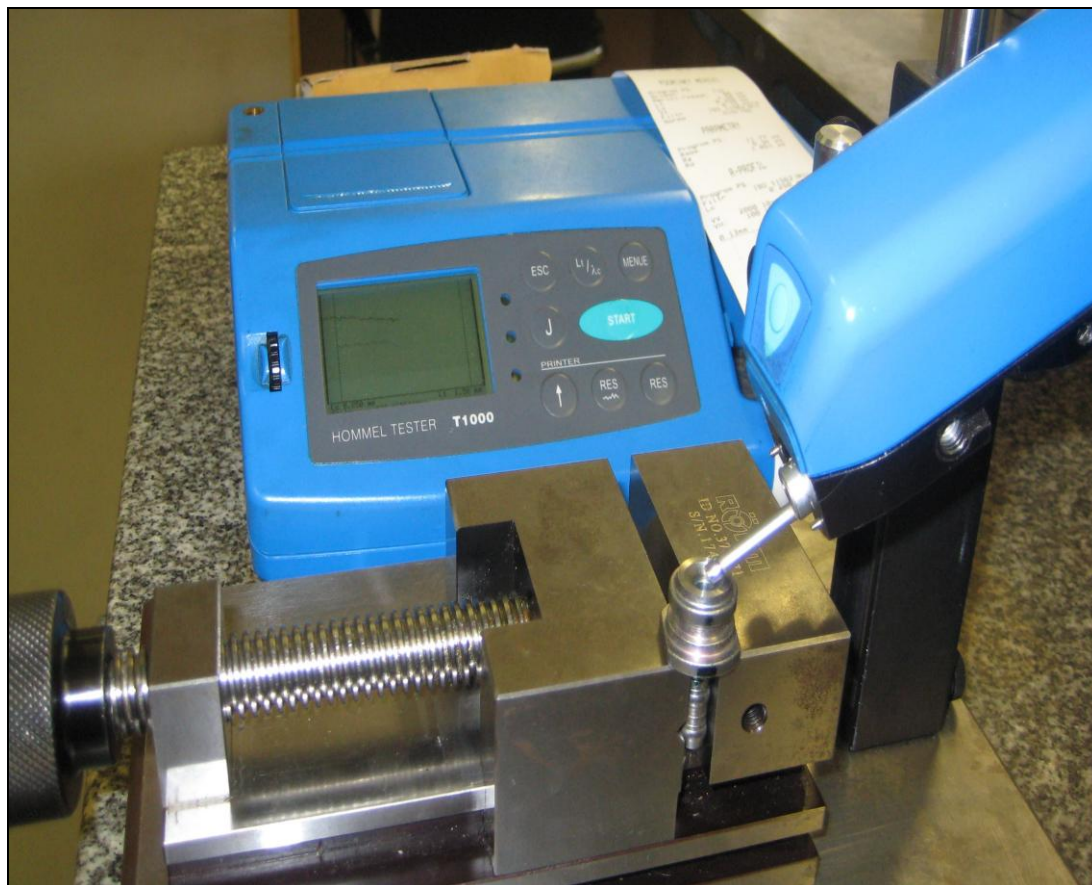


Obr. 3.9.1 Ukázka potřebné úpravy pro měření drsnosti – porovnání.

K měření drsnosti byl použit měřicí přístroj typu HOMMEL TESTER T1000, kdy měřená součást byla upnuta do upínacího zařízení a měřicí hlavice se snímačem přiložena k dané ploše. Při měření musel být brán zřetel na to, aby v blízkosti měřicího zařízení nedocházelo k žádným vibracím, jinak by bylo měření zkreslené a nepřesné. Princip měření je uveden na obr. 3.9.3.



Obr. 3.9.2 Detail upravené součásti.



Obr. 3.9.3 Princip měření drsnosti.

Všechny naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky, viz. tab.3.1.,3.2 kde mohou být mezi sebou porovnány.

Vyhodnocení aritmetické úchylky profilu Ra:

Tab. 3.1 Tabulka naměřených hodnot drsnosti Ra

Vzorek	1.	2.	3.	4.	5.
Ra [μm]	0,89	0,806	0,95	0,974	1,051

Ra – průměrná aritmetická úchylka profilu

Konfidenční úroveň $1-\alpha = 0,95$, podílový soubor $p = 0,95$, $n = 5$, počet stupňů volnosti $\nu = 4$, $k_1 = 4,21$, $t_1 = 2,776$.

➤ Odhad střední hodnoty

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_i X_i = \frac{1}{5} \cdot (0,89 + 0,806 + 0,95 + 0,974 + 1,051) = 0,9342 \text{ [}\mu\text{m]} \quad 3.1$$

➤ **Odhad směrodatné odchylky**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_i (X_i - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 0,04918152} = 0,11088 \text{ [}\mu\text{m]} \quad 3.2$$

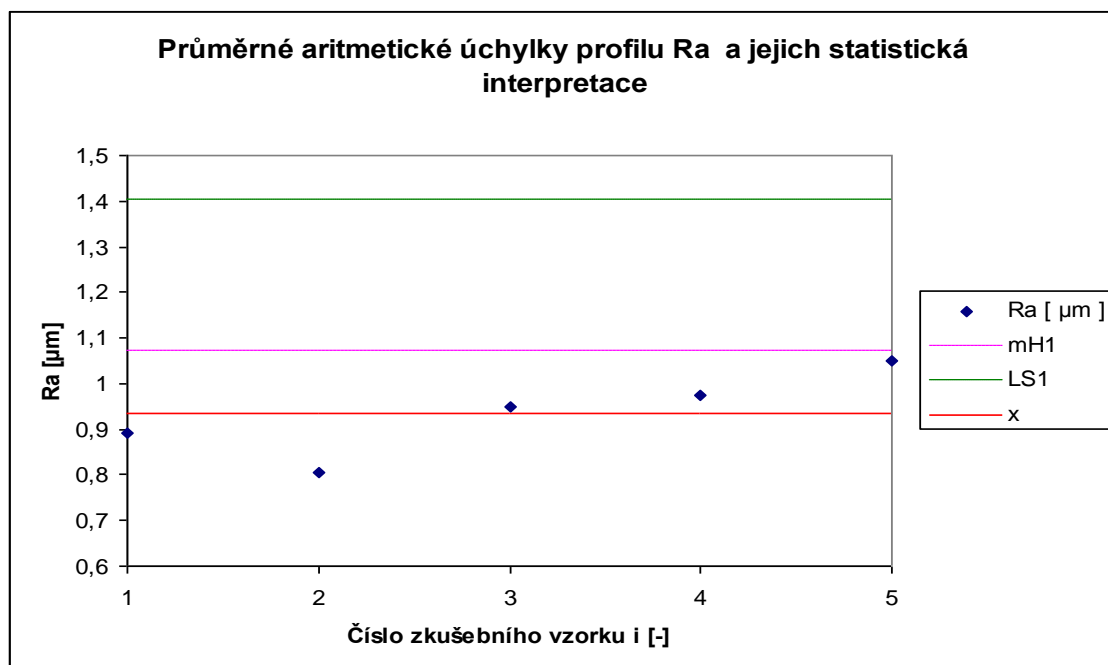
➤ **Horní mez jednostranného konfidenčního intervalu**

$$m_{H1} = \bar{X} + t_1 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,9342 + 2,776 \cdot \frac{0,11088}{\sqrt{5}} = 1,0718 \text{ [}\mu\text{m]} \quad 3.3$$

➤ **Horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu**

$$L_{S1} = \bar{X} + k_1 \cdot s = 0,9342 + 4,21 \cdot 0,11088 = 1,40102 \text{ [}\mu\text{m]} \quad 3.4$$

➤ **Grafické vyhodnocení**



Obr. 3.9.4 Statistická interpretace drsnosti povrchu Ra.

Ra	- průměrná aritmetická úchylna profilu [μm],
m_{H1}	- horní jednostranný konfidenční interval [μm],
L_{S1}	- horní jednostranný statistický toleranční interval [μm],
\bar{X}	- odhad střední hodnoty [μm].

Vyhodnocení největší výšky profilu Rz:

Tab. 3.2 Tabulka naměřených hodnot drsnosti Rz

Vzorek	1.	2.	3.	4.	5.
Rz [μm]	4,68	5,01	5,96	5,94	6,34

Rz – největší výška profilu

Konfidenční úroveň $1-\alpha = 0,95$, podílový soubor $p = 0,95$, $n = 5$,
počet stupňů volnosti $\nu = 4$, $k_1 = 4,21$, $t_1 = 2,776$.

➤ **Odhad střední hodnoty**

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_i X_i = \frac{1}{5} \cdot (4,68 + 5,01 + 5,96 + 5,94 + 6,34) = 5,586 \text{ } [\mu\text{m}] \quad 3.5$$

➤ **Odhad směrodatné odchylky**

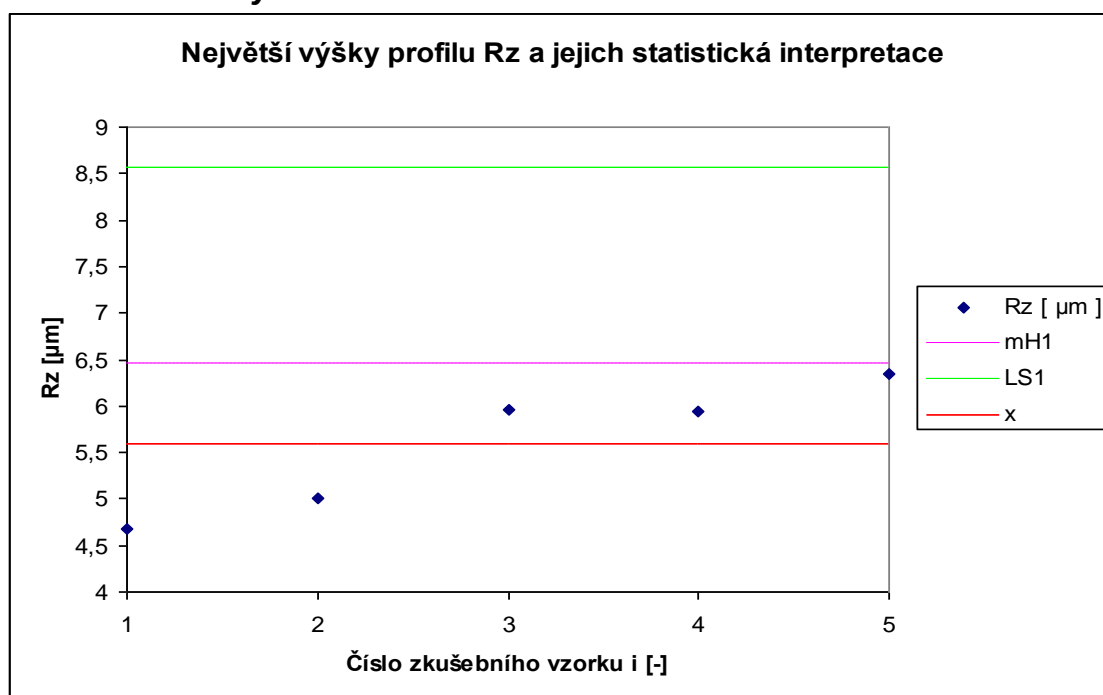
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_i (X_i - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 1,98632} = 0,704684 \text{ } [\mu\text{m}] \quad 3.6$$

➤ **Horní mez jednostranného konfidenčního intervalu**

$$m_{H1} = \bar{X} + t_1 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = 5,586 + 2,776 \cdot \frac{0,704684}{\sqrt{5}} = 6,4608 \text{ } [\mu\text{m}] \quad 3.7$$

➤ **Horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu**

$$L_{S1} = \bar{X} + k_1 \cdot s = 5,586 + 4,21 \cdot 0,70684 = 8,5527 \text{ } [\mu\text{m}] \quad 3.8$$

➤ **Grafické vyhodnocení**

Obr. 3.9.5 Statistická interpretace drsnosti povrchu Rz.

Rz	- největší výška profilu [μm],
m_{H1}	- horní jednostranný konfidenční interval [μm],
L_{S1}	- horní jednostranný statistický toleranční interval [μm],
\bar{X}	- odhad střední hodnoty [μm].

Po každém měření je vytvořen měřícím zařízením vyhodnocovací záznam na papírovou pásku, na kterou jsou zaznamenány všechny údaje včetně průběhového grafu. Tyto záznamy jsou uvedeny v příloze č. 7.

Jak je vidět, všechny naměřené hodnoty splňují požadavek daný výrobcem a tudíž může být pokračováno ve výrobě.

➤ Příprava a popis měření rozměrů součásti

Součást, která má být s co nejvyšší přesností změřena musí být důkladně očištěna od nečistot, musí mít sraženy všechny ostré hrany a ořepy, které by měření znehodnotily a zkreslily, případně by měla být odmaštěna. K nejhlavnějšímu měření dochází na úvod směny, kdy jsou po obrobení prvních tří součástí vzorky odneseny na kontrolní středisko. Tam jsou důkladně proměřeny veškeré rozměry měřicím přístrojem Hommel Opticline Contour 305, kde je vyhodnocení provedeno automaticky, viz obr. 3.9.6 a,b,c a přístrojem Corema na obr. 3.9.7 a,b,c, kde je vyhodnocení prováděno pracovníkem kontroly, viz obr. 3.9.9.

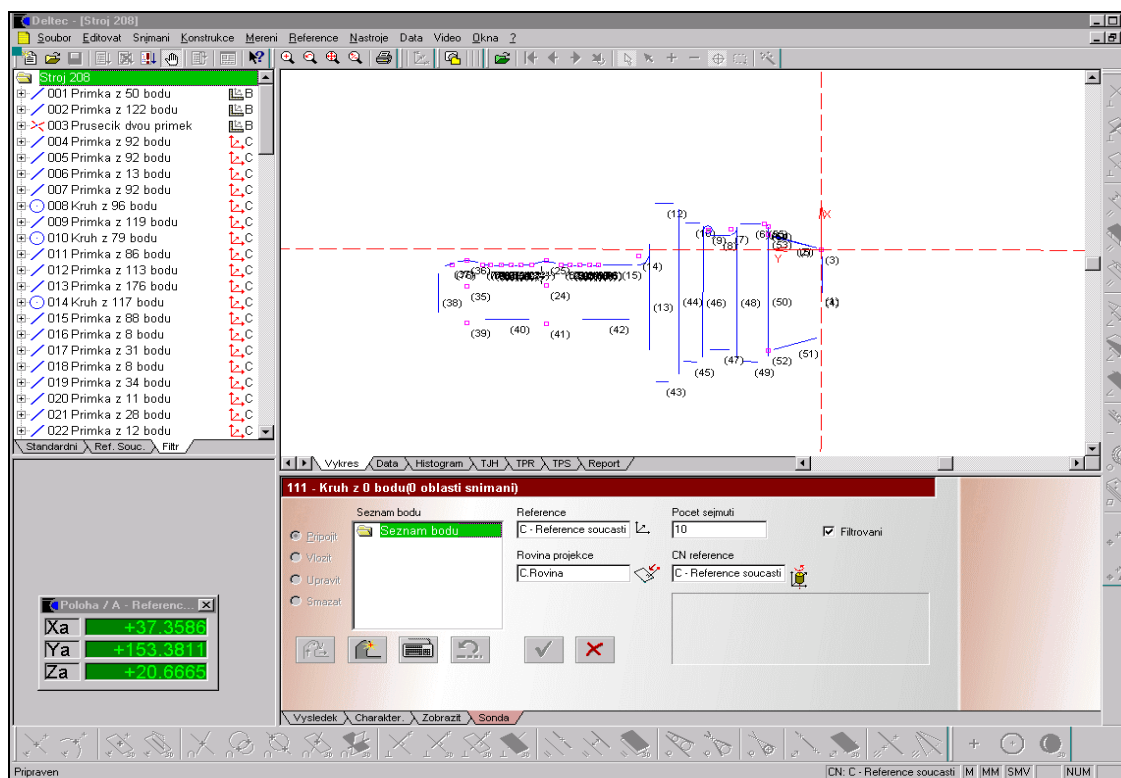


Obr. 3.9.6 a,b,c Měřicí zařízení Hommel Opticline Contour 305.



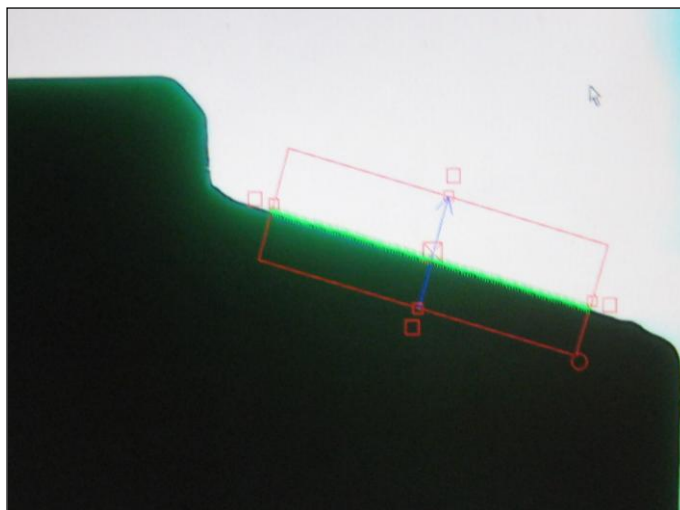
Obr. 3.9.7 a,b,c Měřicí zařízení Corema.

Měřená součást je automaticky snímána optoelektronicky principem stínového obrazu. Při vysokém rozlišení je kompletní kontura součásti, viz obr. 3.9.8 rychle a přesně vyhodnocena. Při rotačním měření jsou snímána data vnější kontury měřeného dílu v průběhu rotačního pohybu. Podle měřicího programu mohou být kombinovány libovolné standardní měřicí funkce a následně pak využíván automatický měřicí cyklus. ²²



Obr. 3.9.8 Prostředí softwaru Deltec – kontura součásti.

Pokud jsou všechny měřené rozměry v pořádku, tak obsluha stroje může pokračovat ve výrobě. V případě, kdyby došlo k nesouhlasu hodnot, tak musí dojít k okamžitému seřízení stroje obsluhou, případně seřizovačem stroje. To záleží na šikovnosti a odborném proškolení obsluhy. Za výstup těchto měření je pokládán měrný protokol uveden v příloze č.8 nebo výstup z SPC vytvořený pro daný rozměr, uveden v příloze č.5.



Obr. 3.9.9 Vyhodnocení měření.

4 EKONOMICKÉ PARAMETRY PROVOZNÍHO NASAZENÍ CNC OBRÁBĚCÍHO CENTRA

4.1 Ekonomika provozu CNC strojů

Ekonomika provozu spočívá v maximálním využívání časového fondu stroje v rámci pracovní doby pro vlastní produkci. V praxi se často vyskytují zejména neoprávněné časy prostojů, vysoké časy přípravné a vedlejší. Snížení nebo vyloučení takových ztrát vede k získání maximální produkce, k vyšším výnosům podniku. Některé podniky sledují využívání svých strojů (po odstranění ztrát) dálkově (po síti, na níž jsou napojeny stroje) nebo i písemně ve výkazech o činnosti stroje. Prostoje stroje je nutné zdůvodnit. Nezdůvodnitelné prostoje z hlediska nutné činnosti následně vyvolají technicko organizační opatření k odstranění udaných ztrát.

Ekonomický úspěch charakterizují přínosy, k nimž po zavedení moderní produktivní techniky dochází. Zisk lze získat z prodeje produkce, při dané tržní ceně je třeba snižovat úplné vlastní náklady výroby, což vede k maximalizování zisku. Pokud se podíváme do kalkulačního vzorce a analyzujeme jeho jednotlivé položky, je možné často nalézt určité rezervy a využít je. Každý technik by měl tedy zvládat zásady tvorby cen.

- Kalkulace (tvorba ceny) na základě nákladů provozu stroje

Kalkulace rozvrhovou základnou jednicové mzdy mají výhodu v jednoduchosti výpočtů, ale v praxi často nezobrazí realitu výkonů na konkrétní zakázce vyráběné na určitém stroji.

Výpočet na základě nákladů provozu stroje je výhodné použít tam, kde se jedná o výrobu na stroji s vysokými náklady provozu (např. CNC stroj a jeho vysoká cena). Z uvedených důvodů vznikl v praxi požadavek výpočtu položek do kalkulačního vzorce z hlediska skutečně vynaložených nákladů. Cílem je maximálně adresně vypočítat náklady, které vzniknou při výrobě a zjistit efektivitu výroby. Tento druh kalkulace umožňuje přesné stanovení ceny z hlediska posouzení konkurenceschopnosti vůči ostatním výrobcům v porovnání s jejich tržními cenami.

- **Výhody:**

- výrobek je přesně kalkulován,
- nedochází k podhodnocení ceny (ke ztrátám podniku),
- nadhodnocení ceny (s problémy umístit se na trhu s danou výrobou),
- odstraní se neznalost skutečné výše zisku při použití daného stroje.⁷

➤ Nevýhody:

- pracnost výpočtu,
- obtížnost získat skutečné ekonomické údaje nákladů provozu stroje,
- nutné správné roztřídění a pojmenování nákladů.

Tyto nevýhody se násobí počtem strojů, jejich různorodostí a životností. Zvýšená náročnost výpočtu se projevuje ve vyšších nárocích na pracovníky příslušných útvarů a tím také na zvýšení nákladů na kalkulační výpočty. Řešení je v organizaci podniku, v nutnosti zavést dostatečnou a přehlednou evidenci strukturovaných nákladů s podporou výpočetní techniky. V praxi se určitá část režijních nákladů dílny vyjme a adresně přiřadí k danému stroji – část, která (nelze ji specifikovat a přiřadit na daný stroj) zůstává v režijních nákladech, a ty se tak snižují a jejich výše již nemůže podstatně zkreslovat celkové náklady výroby. To platí u všech typů režii. Některé firmy své režie plně rozpočítávají do hodinových nákladů stroje.⁷

4.2 Náklady na provoz CNC stroje

- náklady na provoz obráběcího stroje obecně patří do režijních nákladů, s ohledem na relativně vysoké pořizovací náklady CNC obráběcího stroje je výhodné náklady na jejich provoz z celkových režijních nákladů vyčlenit a adresně přiřadit k danému CNC stroji,
- náklady na provoz CNC obráběcího stroje se konkretizují na jednu hodinu jeho provozu.

4.2.1 Nákladové položky provozu CNC stroje

- Cena stroje C_s [Kč]
(Cena u dodavatele nebo výrobce, náklady na případný úvěr)
- Náklady na instalace stroje N_i [Kč]
(Dovoz, montáž, základy, přívod elektřiny apod.)
- Náklady na demontáž N_d [Kč]
(Po skončení životnosti stroje)
- Likvidační hodnota L [Kč]
(Odprodej, případně cena kovového odpadu)
- Doba životnosti Z [r]
(Souvisí s dobou odepisování stroje)
- Efektivní časový fond stroje za rok E_{ef} [hod]
(Daná směnnost, údržba, opravy, absence obsluhy apod..)
- Fixní hodinová sazba S_f [Kč/hod]
(Mzda obsluhy, identifikovatelné položky- spotřeba nářadí, energie)¹¹

4.2.2 Náklady na hodinu provozu N_{hs}

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s + N_i + N_d - L}{Z \cdot E_{ef}} [Kč / hod] \quad 4.1$$

- C_s - Cena stroje [Kč]
- N_i - Náklady na instalace stroje [Kč]
- N_d - Náklady na demontáž [Kč]
- L - Likvidační hodnota [Kč]
- Z - Doba životnosti Z [r]
- E_{ef} - Efektivní časový fond stroje za rok [hod]
- S_f - Fixní hodinová sazba S_f [Kč/hod]¹¹

4.3 Spotřeba času CNC stroje

Spotřeba času CNC stroje se stanoví z hlediska následné kalkulace nákladů řešené operace.

4.3.1 Jednotkový čas CNC stroje t_{mA}

Vztahuje se k jednotce výroby, zpravidla k jednomu kusu obráběné součásti a k dané operaci.

Jednotkový čas – (t_{mA}) CNC stroje se dále člení:

$$t_{mA} = t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6} [\text{min}] \quad 4.2$$

- t_{mA4} - jednotkový čas chodu CNC stroje (přestavování řízených částí, obráběcí proces, odebrání třísek),
- t_{mA5} - jednotkový čas klidu CNC stroje (upínání a odepínání obrobku, výměna „ručního nástroje“, ruční měření apod..),
- t_{mA6} - jednotkový čas interference CNC stroje (uplatní se při vícestrojové obsluze, kdy daný stroj „čeká“ na příchod pracovníka).¹¹

Při obsluze jednoho stroje je $t_{mA6} = 0 \Rightarrow t_{mA} = t_{mA5} + t_{mA4}$.

4.3.2 Dávkový čas CNC stroje t_{mB}

Dávkový čas CNC stroje t_{mB} se vztahuje k jedné výrobní dávce „ d_v “ obráběné součásti a k dané operaci. Výrobní dávka je zpravidla vyjádřena v kusech:

$$t_{mB} = t_{mB5} + t_{mB4} \quad [\text{min}] \quad 4.3$$

- t_{mB4} – dávkový čas chodu CNC stroje (seřízení, odladění programu),
- t_{mB5} – dávkový čas klidu CNC stroje (prostudování výrobní dokumentace apod.)¹¹

4.4 Operační náklady vztahované k CNC stroji

Operační náklady se vyjádří pro operaci realizovanou na daném CNC stroji. Vychází se z hodnot jednicového a dávkového času a korespondujících nákladů na provoz CNC stroje.¹¹

4.4.1 Nákladové položky

➤ Jednicové náklady provozu stroje N_{Aps}

Vztahují se k jednotkovému času stroje a vyjádří se na základě závislosti:

$$N_{Aps} = \frac{N_{hs}}{60} \cdot t_{mA} \quad [K\check{c} / ks] \quad 4.4$$

- N_{hs} – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/hod],
- t_{mA} – jednotkový čas stroje [min].¹¹

➤ Dávkové náklady provozu stroje N_{Bps}

Vztahují se k výrobní dávce a korespondují s dávkovým časem stroje a vyjádří se:

$$N_{Bps} = \frac{N_{hs}}{60} \cdot \frac{t_{mB}}{d_v} \quad [K\check{c} / ks] \quad 4.5$$

- N_{hs} – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/hod],
- t_{mB} – dávkový čas stroje [min],
- d_v - výrobní dávka [ks].

Náklady na hodinu provozu stroje nemusí být stejné při realizaci jednotkového a dávkového času. Z hlediska řešené problematiky jsou však rozdíly zanedbatelné.¹¹

➤ **Režijní náklady na provoz stroje N_{Rps}**

Představují režijní náklady, které bezprostředně souvisí s provozem stroje. Patří sem náklady na pracovní místo, spotřebované teplo (topení), provozní úklid apod.. Vztahují se k příslušným časům a obecně se vyjádří:

$$N_{Rps} = (N_{Aps} + N_{Bps}) \cdot \frac{R}{100} [Kč / ks] \quad 4.6$$

- N_{Aps} – jednicové náklady $[Kč / ks]$,
- N_{Bps} – dávkové náklady $[Kč / ks]$,
- R – provozní režie. ¹¹

4.4.2 Operační náklady

Operační náklady se vyjádří jako součet dílčích položek, jednotlivé položky se vztahují na jeden kus.

$$N_{OP} = N_{Aps} + N_{Bps} + N_{Rps} [Kč / ks] \quad 4.7$$

- N_{Aps} – jednicové náklady $[Kč / ks]$,
- N_{Bps} – dávkové náklady $[Kč / ks]$,
- N_{Rps} – režijní náklady $[Kč / ks]$. ¹¹

4.5 Konkretizovaná aplikace na výrobní součást spojka a výrobní stroj Deco-Sigma 20

4.5.1 Náklady na provoz

➤ **Nákladové položky provozu CNC stroje**

- Cena stroje $C_s = 4\,200\,000$ [Kč]
(Cena u dodavatele nebo výrobce, náklady na případný úvěr)
- Náklady na instalace stroje $N_i = 100\,000$ [Kč]
(Dovoz, montáž, základy, přívod elektřiny apod.)
- Náklady na demontáž $N_d = 10\,000$ [Kč]
(Po skončení životnosti stroje)
- Likvidační hodnota $L = 9\,000$ [Kč]
(Při ceně kovového odpadu 3 Kč/Kg a hmotnosti 3 000 Kg)

- Doba životnosti $Z = 5$ [r]
(Souvisí s dobou odepisování stroje)
- Efektivní časový fond stroje za rok $E_{ef} = 1740$ [hod]
(Daná směnnost, údržba, opravy, absence obsluhy apod..)
- Fixní hodinová sazba $S_f = 100$ [Kč/hod]
(Mzda obsluhy 150 Kč/hod pro 3 strojovou obsluhu) ¹¹

➤ **Náklady na hodinu provozu N_{hs}**

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s + N_i + N_d - L}{Z \cdot E_{ef}} \quad 4.5.1$$

$$N_{hs} = 100 + \frac{4200000 + 100000 + 10000 - 9000}{5 \cdot 1740} \cong 595 [\text{Kč} / \text{hod}]$$

- C_s - Cena stroje [Kč]
- N_i - Náklady na instalace stroje [Kč]
- N_d - Náklady na demontáž [Kč]
- L - Likvidační hodnota [Kč]
- Z - Doba životnosti Z [r]
- E_{ef} - Efektivní časový fond stroje za rok [hod]
- S_f - Fixní hodinová sazba S_f [Kč/hod] ¹¹

4.5.2 Spotřeba času CNC stroje

➤ **Jednotkový čas CNC stroje**

Vztahuje se k jednotce výroby, zpravidla k jednomu kusu obráběné součásti a k dané operaci.

Jednotkový čas – (t_{mA}) CNC stroje se dále člení:

$$t_{mA} = t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6} = 65 + 5 + 0 = 70 \text{ [s]} = 1,166 \text{ [min]} \quad 4.5.2$$

- t_{mA4} - jednotkový čas chodu CNC stroje (přestavování řízených částí, obráběcí proces, odebírání třísek),
- t_{mA5} - jednotkový čas klidu CNC stroje (upínání a odepínání obrobku, výměna „ručního nástroje“, ruční měření apod..),
- t_{mA6} - jednotkový čas interference CNC stroje (uplatní se při vícestrojové obsluze, kdy daný stroj „čeká“ na příchod pracovníka). ¹¹

➤ **Dávkový čas CNC stroje**

Dávkový čas CNC stroje t_{mB} se vztahuje k jedné výrobní dávce „ d_v “ obráběné součásti a k dané operaci. Výrobní dávka je zpravidla vyjádřena v kusech:

$$t_{mB} = t_{mB5} + t_{mB4} = 480 + 360 = 840 \quad [\text{min}] \quad 4.5.3$$

- t_{mB4} – dávkový čas chodu CNC stroje (seřízení, odladění programu),
- t_{mB5} – dávkový čas klidu CNC stroje (prostudování výrobní dokumentace apod.)¹¹

4.5.3 Operační náklady vztažené k CNC stroji

Operační náklady se vyjádří pro operaci realizovanou na daném CNC stroji. Vychází se z hodnot jednorázového a dávkového času a korespondujících nákladů na provoz CNC stroje.¹¹

➤ **Nákladové položky**

▪ **Jednicové náklady provozu stroje N_{Aps}**

Vztahují se k jednotkovému času stroje a vyjádří se na základě závislosti:

$$N_{Aps} = \frac{N_{hs}}{60} \cdot t_{mA} = \frac{595}{60} \cdot 1,166 \cong 11,50 [\text{Kč} / \text{ks}] \quad 4.5.4$$

- N_{hs} – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/hod],
- t_{mA} – jednotkový čas stroje [min].¹¹

▪ **Dávkové náklady provozu stroje N_{Bps}**

Vztahují se k výrobní dávce a korespondují s dávkovým časem stroje a vyjádří se:

$$N_{Bps} = \frac{N_{hs}}{60} \cdot \frac{t_{mB}}{d_v} = \frac{595}{60} \cdot \frac{840}{200000} \cong 0,05 [\text{Kč} / \text{ks}] \quad 4.5.5$$

- N_{hs} – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/hod],
- t_{mB} – dávkový čas stroje [min],
- d_v - výrobní dávka [ks].

Náklady na hodinu provozu stroje nemusí být stejné při realizaci jednotkového a dávkového času. Z hlediska řešené problematiky jsou však rozdíly zanedbatelné.¹¹

▪ **Režijní náklady na provoz stroje N_{Rps}**

Představují režijní náklady, které bezprostředně souvisí s provozem stroje. Patří sem náklady na pracovní místo, spotřebované teplo (topení), provozní úklid apod.. Vztahují se k příslušným časům a obecně se vyjádří:

$$N_{Rps} = (N_{Aps} + N_{Bps}) \cdot \frac{R}{100} = (11,50 + 0,05) \cdot \frac{13}{100} \cong 1,50 [Kč / ks] \quad 4.5.6$$

- N_{Aps} – jednicové náklady [$Kč / ks$],
- N_{Bps} – dávkové náklady [$Kč / ks$],
- R – provozní režie [%].¹¹

➤ **Operační náklady**

Operační náklady se vyjádří jako součet dílčích položek, jednotlivé položky se vztahují na jeden kus.

$$N_{OP} = N_{Aps} + N_{Bps} + N_{Rps} = 11,50 + 0,05 + 1,50 = 13,05 [Kč / ks] \quad 4.5.7$$

- N_{Aps} – jednicové náklady [$Kč / ks$],
- N_{Bps} – dávkové náklady [$Kč / ks$],
- N_{Rps} – režijní náklady [$Kč / ks$].¹

ZÁVĚR

Diplomová práce v souladu se zadáním řeší problematiku nasazení CNC obráběcích center ve strojírenské výrobě a zejména jednoho konkrétního typu dlouhotočného automatu Deco Sigma 20. Zabývá se posouzením technologičnosti konstrukce zvoleného výrobku, měřením přesnosti jeho obrábění s využitím moderních metod a dále zjištěním nezbytných ekonomických parametrů výroby dané součásti.

Výsledkem práce je vytvoření ucelené výrobní dokumentace výrobku, provedení měření přesnosti jednotlivých rozměrů a drsností včetně jejich vyhodnocení a dále provedení výpočtu jednotlivých ekonomických aspektů pro zadanou výrobu na daném stroji. Všechna prováděná měření prokázala dostatečnou přesnost a součásti jsou vyráběny v předepsané toleranci.

Přínos práce lze tedy spatřovat v určitém metodickém návodu, jak řešit problematiku technologické přípravy výroby, jaké zvolit metody měření kontroly přesnosti a jak zjišťovat ekonomickou náročnost výroby pro konkrétní zvolený výrobek.

Z teoretického studia podkladů i praktických měření a výpočtů vyplynulo, že nezbytným předpokladem efektivního nasazení CNC obráběcích center je dokonalá a promyšlená technologická příprava již ve fázi zpracování zadávací a prováděcí dokumentace, následně tvorby programu a výrobní návody. Práce rovněž ukazuje, jak je z hlediska kvality obrábění pro dnešní strojírenské firmy nezbytné umět použít moderní metody analýzy možných vad (FMEA), statistického řízení procesů (SPC), jakou důležitou úlohu sehrává stálá a pečlivě připravená kontrola přesnosti a spolehlivosti jednotlivých rozměrů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FMEA.[online]. [cit. 2010-03-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.vlastnicesta.cz/akademie/kvalita-system-kvality>>.
2. SPC.[online]. [cit. 2010-03-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.promg.cz/?q=cs/node/119>>.
3. KOČMAN, K., NĚMEČEK, P. Aktuální příručka pro technický úsek.16. aktualizované vyd. Praha: Verlag Dashöfer 2001. 4250 s. ISBN 80-902247-2-
4. KOČMAN, K. Speciální technologie. Obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 228 s. ISBN 80-214-2562-8.
5. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
6. KRÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o. 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
7. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
8. VLACH, B. Technologie obrábění a montáží. 1.vyd. Praha: SNTL – NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1990. 472 S. ISBN 80-03-00143-9.
9. STARTECHNIK .[online].Dostupné na World Wide Web: <<http://www.starttechnik.cz>>.
10. Multifunkční obráběcí stroj, dlouhotočný automat. Deco Sigma 20 – Tornos, manuál, příručka výrobce.
11. PROKOP, J. Přednáška 11.2.2010 Vybrané statě z obrábění, VUT-FSI.
12. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook.ISBN 91-972299-4-6.
13. ŠMÍD, D. Technologie obrábění na soustružnických dlouhotočných automatech. Brno, 2007. 42 s. Bakalářská práce na VUT FSI. Vedoucí bakalářské práce Jaroslav Prokop.
14. SPC .[online]. [cit. 2010-03-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.palstat.cz/p.php?p=software&prod=16> >.
15. ISCAR. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.iscar.cz>>.
16. ARNO. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.tmccr.cz/cs/nastroje/arno-nastroje-pro-obrabeni>>.
17. WNT .[online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.wnt.com/servis_ke_stazeni_CSY_HTML.htm >.
18. KENNAMETAL. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kennametal.cz>>.
19. GUHRING .[online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.guehring.cz>>.
20. BISON-BIAL.[online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/13-1-Upinace-a-redukce>>.
21. TAJMAC-ZPS.[online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zps.cz>>.
22. HOMMEL. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.hommel-etamic.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC		Computer Numerical Control
FMEA		Failure Mode & Effects Analysis
SPC		Statistical Process Control
ISO		International Organization for Standardization
VDA		Verband der Automobilindustrie
v_c	m/min	Řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výrobní výkres
Příloha 2	Výrobní návodka
Příloha 3	Kontrolní plán
Příloha 4	FMEA – analýza možných vad a jejich následků
Příloha 5	SPC – statistické řízení procesů
Příloha 6	Výrobní program
Příloha 7	Vyhodnocovací záznam měření drsnosti
Příloha 8	Měrný protokol

