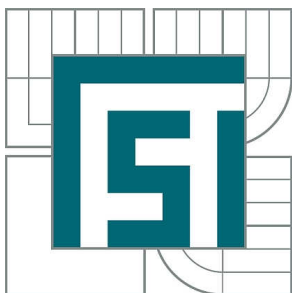


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

INTEGRACE MĚŘENÍ DO CNC OBRÁBĚNÍ

INTEGRATION OF MEASUREMENT IN CNC MACHINING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL VLČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Vlček

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

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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:

Integrace měření do CNC obrábění

v anglickém jazyce:

Integration of measurement in CNC machining

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proces třískového obrábění je doprovázen neustálou snahou dosáhnout vyšší výrobní přesnosti. Zavedením měření přímo do průběhu obrábění je možno výslednou výrobní přesnost automaticky ovlivňovat.

Cíle diplomové práce:

- stručný přehled metod měření používaných při třískovém obrábění
- návrh testovacího obrobku včetně vytvoření technické dokumentace
- návrh implementace měření do procesu třískového obrábění na pětiosém frézovacím stroji MCV1210
- NC programování a praktická realizace obrábění s inprocesním měřením
- ekonomické zhodnocení implementace sond do procesu obrábění

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

POLZER, A.; DVOŘÁK, J. Internetový portál pro CNC a CAD/CAM technologie. [online]. 2006. Dostupné na WWW: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/>

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

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

V Brně, dne 10.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na integraci měření do procesu obrábění. Cílem je vytvořit přehled používaných měřících sond, popsat principy jakými sondy fungují a rozdělit je dle konstrukce a použití. Praktická část je zaměřena na vytváření měřících cyklů v softwaru Produktivity+ a jejich implementaci do obráběcích cyklů na stroji MCV 1210. Součástí řešení je i návrh dvou testovacích obrobků a ekonomické zhodnocení zavedení obrobkových sond do procesu obrábění.

Klíčová slova

Měřící sondy, měřící dotykové sondy, nástrojové sondy, bezkontaktní nástrojové sondy, měřící cykly.

ABSTRACT

This master thesis deals with integration of measuring into process of machining. The object of this work is making summary of using measuring probes, description of the probes working principles and their division by construction and usage. The practical part of this work deals with creation of measuring cycles in softwaru Produktivity+ and their implementation to machining cycles in MCV 1210. In the last part, two testing workpieces were created and the economic evaluation of introduction of the probes into machining process was performed.

Key words

Measuring probes, touch trigger probes, tool probes, non-contact tool probes, measuring cycles.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VLČEK, M. *Integrace měření do CNC obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Integrace měření do CNC obrábění vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

.....
Michal Vlček

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. a Martinu Dlouhému (Renishaw) za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
ABSTRACT	3
Bibliografická citace	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
Úvod	8
1 Metody měření používané při třískovém obrábění.....	9
1.1 Ruční měření	9
1.1.1 Posuvná měřítka.....	10
1.1.2 Mikrometrická měřidla	10
1.1.3 Kalibry	11
1.1.4 Koncové měřky	11
1.1.5 Úchylkoměry	12
1.2 Měřicí systémy pro CNC obráběcí stroje	13
1.3 Měřicí systémy pro souřadnicové měřicí stroje.....	15
1.4 Kalibrace CNC a CMM strojů	18
2 Měřicí sondy	23
2.1 Historie měřicích sond.....	23
2.2 Princip měření sondami – generování spínacího signálu.....	24
2.2.1 Kinematický princip	24
2.2.2 Tenzometrický princip.....	25
2.2.3 Laserový princip	25
2.2.4 Piezoelektrický princip	26
2.3 Konstrukce dotykových měřicích sond	26
2.4 Měřicí doteky	27
2.5 Nástrojové sondy – princip a konstrukce	29
2.5.1 Kontaktní nástrojové sondy	29
2.5.2 Bezkontaktní (laserové) nástrojové sondy	30
2.6 Přenos měřicího signálu ze sond	31
2.6.1 Komunikace po kabelu	31
2.6.2 Optická komunikace.....	32
2.6.3 Rádiová komunikace	33
2.6.4 Induktivní komunikace	34
2.7 Instalace sond a jejich seřízení.....	35
2.8 Přesnost sond, opakovatelnost měření a chyby vznikající při měření sondami	35
2.9 Výhody použití měřicích systémů	37
2.9.1 Ustavení obrobku	37
2.9.2 Rozměrová kontrola obrobku	37
2.9.3 Seřízení a detekce zlomení nástroje.....	37
2.9.4 PC softwaru pro vytváření měřicích programů	38
2.10 Nevýhody použití měřicích systémů	38
3 Návrh implementace měření do procesu obrábění na pětiosém frézovacím stroji MCV 1210	39
3.1 Obráběcí stroj MCV 1210	39

3.2 Použité sondy	40
3.2.1 Obrobková sonda OMP400	40
3.2.2 Nástrojová sonda NC4	41
3.3 Implementace měření.....	43
3.3.1 Pracovní prostředí softwaru Productivity+	44
4 Návrh testovacích obrobků a zpracování technické dokumentace	45
4.1 Příklad 1	45
4.1.1 Volba nástrojů a řezných podmínek.....	47
4.2 Příklad 2	47
4.2.1 Volba nástrojů a řezných podmínek.....	48
5 Praktická realizace obrábění a měření.....	50
5.1 Testovací obrobek 1	50
5.1.1 Hrubování	50
5.1.2 Dokončování	52
5.1.3 Měření	58
5.1.4 Realizace To1 na stroji MCV 1210.....	61
5.2 Testovací obrobek 2	62
5.2.1 ShopMill	63
5.2.2 Productivity+.....	64
5.2.3 Realizace To2 na stroji MCV 1210.....	67
6 Ekonomické zhodnocení implementace sond do procesu obrábění.....	68
7 Zdokonalení výrobního procesu	72
7.1 Kalibrace a geometrie stroje	73
7.2 Upnutí součásti a seřízení nástroje.....	74
7.3 Adaptivní strojní obrábění a řízení procesů.....	75
7.4 Ověření na stroji podle standardu sledovatelnosti.....	75
7.5 Zvládnutí skrytých změn	76
Závěr	77
Seznam použitých zdrojů	78
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	80
Seznam příloh	81

ÚVOD

V dnešní moderní době se firma, pokud chce uspět, musí řídit třemi základními principy a to: vyrobit rychle, vyrobit přesně a vyrobit levně. Obecně je proto snahou výrobní procesy co nejvíce zjednodušit a zautomatizovat. Vyrobit rychle znamená co nejefektivněji využít daného času pro výrobu a hledat možné úspory v již zavedených postupech. Nejčastěji je to zaváděním speciálních softwarů a modernizací strojního parku.

Dalším krokem je hledání úspor času v samotném výrobním procesu. Největší část nákladů finálního výrobku tvoří chod stroje, proto se snažíme tento čas co nejvíce zkrátit. K tomu se využívají moderní povlakované nástroje, které jsou schopny pracovat velkými řeznými rychlostmi s možností velkého úběru materiálu. Tím dojde ke zkrácení výrobního času a tedy i ke snížení nákladů.

Další možnost bude představena v této diplomové práci. Jde o zařazení měřicích systémů do procesu obrábění. Zejména se zaměříme na měřicí sondy, které nám hned v několika částech výrobního procesu umožní zpřesnit, zrychlit a tím i zlevnit výrobu součástí. Sondy umožňují snadné ustavení obrobku pro obráběcí centra, přesné změření obrobku po obrábění, detekci poškození nástroje a rychlé měření délky a průměru (korekce) při běžné rychlosti obrábění. Tím se doba strávená ručním ustavováním polohy obrobku, ustavováním nástrojů a kontrolou hotových dílců může investovat do obrábění. Pro názornost budou uvedeny metodické příklady, na kterých bude ukázáno použití sond a jejich začlenění do výrobního procesu.

1 METODY MĚŘENÍ POUŽÍVANÉ PŘI TRÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ

Poslední třetina minulého století podstatně změnila pohled na vybavení strojírenských procesů měřicí technikou i měřicí techniku samu o sobě. Na začátku tohoto období bylo v mnoha strojírenských podnicích běžné, že technická kontrola mohla pouze s mimořádnými obtížemi kontrolovat, zda jsou plněny požadavky konstruktérů na jakost produkce. Nástupem číslicové měřicí techniky a optoelektronických prvků umožnilo podstatně navýšit účinnost, přesnost a provozní charakteristiky nových měřicích zařízení. Jednalo se zejména o následující vývojové trendy: Množství zpracovávaných informací pro stanovení měřených hodnot a vyhodnocování výsledků měření se v tomto období zvýšilo téměř desettisíckrát; produktivita měřicích operací, jejich přesnost a rychlost měření se zvýšily až stokrát; měřicí rozsahy kontrolních zařízení se zvětšily až desetinásobně, rovněž tak se zvýšila spolehlivost měřicích zařízení.

Vývojové tendence v měřicí technice kladou zvýšené nároky na produktivitu měřicích operací. Snaha identifikovat neshodný produkt co nejdříve po jeho vzniku, vedly k tomu, že se měřicí přístroje začaly nasazovat přímo do výrobních hal a výrobních linek. Zvyšování přesnosti měřicích operací vede k zájmu pracovníků výrobního procesu o kalibraci a metrologickou kontrolu měřicích zařízení.

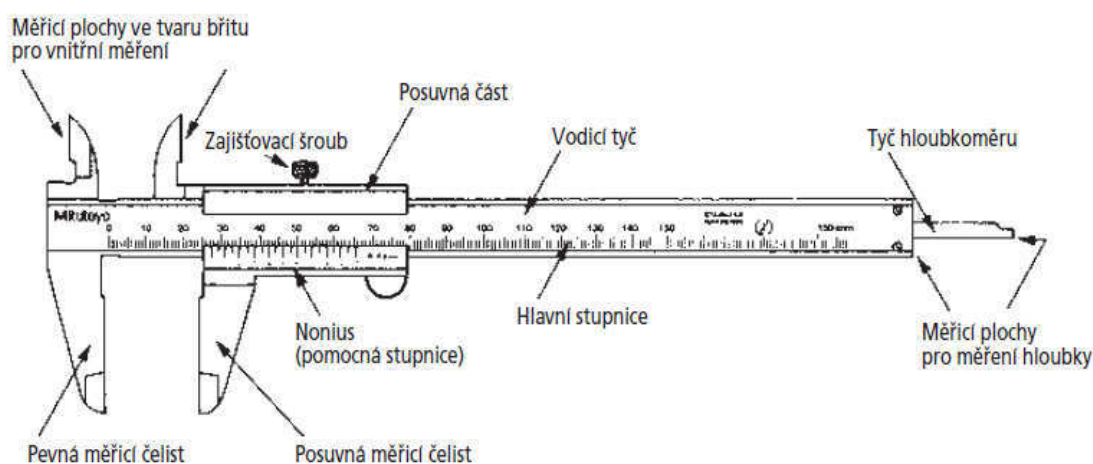
Měřicí technika se v tomto sledovaném období vyvíjí od konvenčních měřidel k digitální měřicí technice a ke komplexním měřicím systémům. Tyto vývojové směry jsou zřetelné zejména v automobilovém průmyslu, resp. v obdobných vyšších druzích výrob. Objem výrobků, které se dosud měří ručními měřidly nebo více-rozměrovými měřicími přípravky orientovanými na určitý produkt, neustále klesá a převážná většina měření se přesunuje na souřadnicové měřicí stroje a optické měřicí systémy, které jsou flexibilnější a podstatně přesnější.¹⁵

1.1 Ruční měření

Velké nároky vyvíjené na kvalitu a přesnost výrobků vyžadují zdokonalení měřidel používaných pro dílenská měření. Požadavek průmyslu je používat digitální měřidla, která jsou nejen přesnější, ale umožňují propojit měřidlo s mikroprocesorem, který umožňuje záznam a statistické vyhodnocování výsledků měření v reálném čase. Dokumentování výsledků kontroly také napomáhá centrálnímu zpracování výsledků na externím počítači nebo případné kontrole.

1.1.1 Posuvná měřítka

Patří mezi přestavitelná měřidla, používají se k absolutnímu měření délek, hloubek a průměrů. Posuvné měřítko je opatřeno pomocným měřítkem, tzv. noniem umožňující měřit s přesností na 0,1 mm nebo 0,05 mm. Posuvná měřítka se vyrábějí v různých délkách, u speciálních typů může být měřicí rozsah až $1000 \div 3000$ mm. Někteří výrobci nahrazují nonius a vyrábějí posuvná měřítka s jemným ozubeným hřebenem a převodem na ručičkový ukazatel. Nejmodernější provedení posuvných měřitek používají speciální vyhodnocovací mikroelektroniku a pětimístný displej z tekutých krystalů pro údaj změřeného rozměru. Digitální posuvná měřítka lze propojit s mikroprocesory, které napomáhají zpracování naměřených dat.⁴

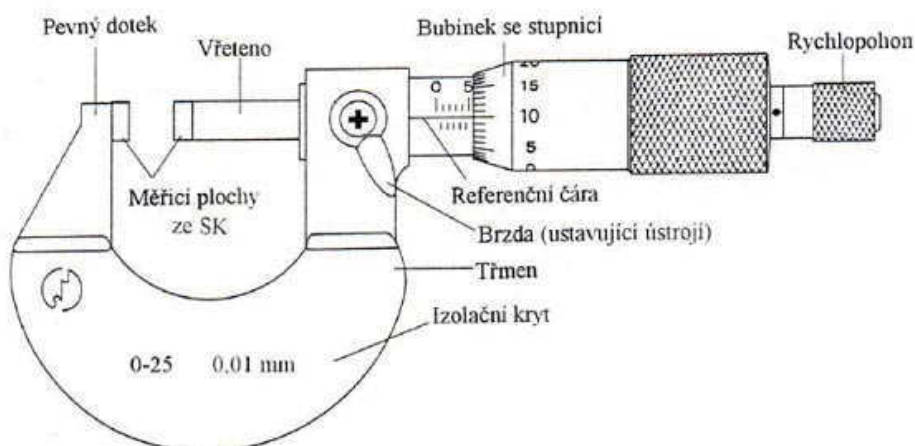


Obr. 1.1 Posuvné měřítko.⁸

1.1.2 Mikrometrická měřidla

Patří také mezi přestavitelná měřidla. Jsou o řád přesnější než posuvná měřítka. Velikost měřené součástky se určuje z délky jeho vyšroubování a úhlu jeho natočení. Mikrometr má tvar třmenu na jehož jedno konci je nehybný (pevný) dotyk. Druhým koncem prochází pohyblivý dotyk s přesným závitem o stoupání 0,5 mm. Pohyblivý dotyk se otáčením bubínku, na jehož okraji je stupnice s 50 dílky, přibližuje k pevnému dotyku. Otočením bubínku o 1 dílek se posune pohyblivý dotek o 0,01 mm. Aby byl při měření dodržen stálý tlak mezi dotyky, je na konci bubínku řehtačka, která při překročení určité síly utahování začne přeskokovat. Na rozdíl od posuvných měřidel je měřicí rozsah mikrometru omezen délkou mikrometrického šroubu.

Mimo klasické konstrukce s mikrometrickým šroubem, může být mikrometr vybaven posuvným vřetenem. Výhodou takového řešení je značná posuvná rychlost vřetena (10 mm za otáčku) a zlepšení rovnoběžnosti měřících ploch během měření. Pro větší přesnost se používají mikrometry digitální, které mají rozlišitelnost 0,001 mm. Stejně jako posuvná měřítka, lze digitální mikrometry připojit k mikroprocesoru.⁴

Obr. 1.2 Mikrometr.⁵

1.1.3 Kalibry

Kalibry jsou pevná měřidla používaná zejména v sériové výrobě pro kontrolu rozměrů vnějších a vnitřních ploch. Při použití kalibrů se nestanovuje skutečný rozměr kontrolované součásti ani úchylka tohoto rozměru, ale zjistí se, zda kontrolovaný rozměr se nachází v předepsané toleranci. Nejčastěji se využívají mezní kalibry, které mají dobrou a zmetkovou část. Kontrolovaný rozměr je dobrý, jestliže leží uvnitř daného tolerančního pole vymezeného příslušnými stranami mezního kalibru. Při kontrole musí dobrá strana válečkového kalibru lehce projít kontrolovanou částí, špatná strana může pouze zachytit.⁴

Obr. 1.3 Kalibry.⁵

1.1.4 Koncové měrky

Koncové měrky se v dílenských podmínkách používají zejména při seřizování komparačních měřidel a v omezeném rozsahu také pro měření rozměrů přesných strojírenských součástí. Koncová měrka je ztělesněná míra pravouhlého průřezu s jedním párem rovinných, navzájem rovnoběžných ploch, které mají schopnost přilnout k měřicím plochám jiných měrek nebo k pomocným rovinným destičkám. Koncové měrky se dodávají ve čtyřech třídách přesnosti. Měření pomocí koncových měrek probíhá tak, že podle nich

nastaví na některém z porovnávacích měřicích přístrojů předepsaný rozměr součástky. Poté zjistíme oč je měřený rozměr větší či menší.⁵



Obr. 1.4 Sada koncových měrek.⁸

1.1.5 Úchylkoměry

Číselníkové úchylkoměry pracují s mechanickým převodem mezi pohybem měřicího dotyku a ukazatelem měřené hodnoty na kruhovém číselníku. Vyrábí se s rozlišitelností 0,01 až 0,001 mm. Měřicí doteky vykonávají při měření obvykle svislý pohyb, u páčkových úchylkoměrů je dotyková hlavička otočná. Pro usnadnění měření je možné na kotouči měřidla nastavit pomocí zvláštních ukazatelů požadované meze. Číselníkové úchylkoměry páčkové, které mají dotykovou hlavičku otočnou, jsou výhodné např. pro kontrolu obvodového a čelního házení rotačních součástí.⁵

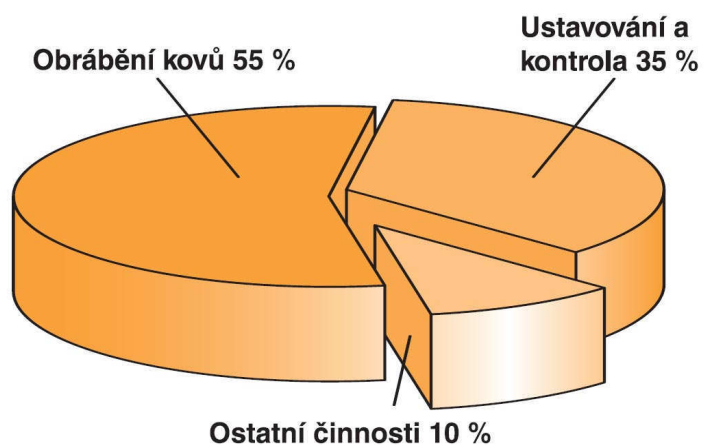
Digitální úchylkoměry jsou elektronická měřidla a poskytují proti ručkovým přístrojům řadu výhod: přepočítání mm/inch, předvolbu hodnot, uchování a ukládání měřených hodnot do paměti atd. Některé druhy úchylkoměrů se vyznačují abnormálně velkým měřicím rozsahem (až 150 mm). Displej je obvykle šesti místný, rozlišitelnost běžně 0,001 mm.

Obr. 1.5 Digitální úchylkoměr.⁸

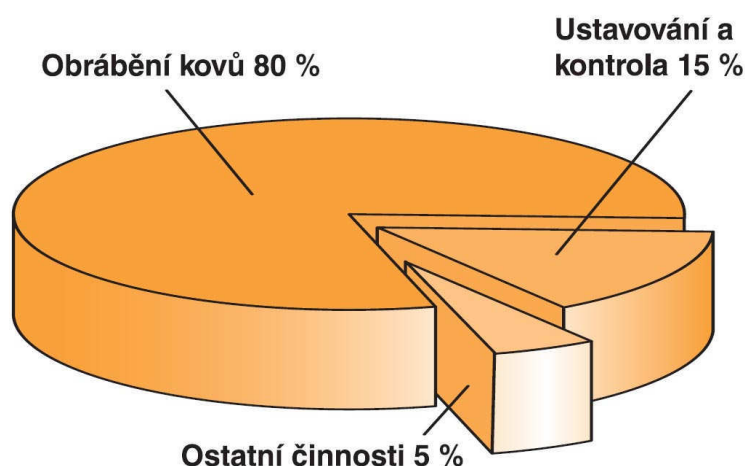
1.2 Měřicí systémy pro CNC obráběcí stroje

Obráběcí stroj představuje velkou investici, a je proto snahou maximálně využít jeho možnosti. Jednoduše řečeno, obráběcí stroj by měl obrábět. Statistiky ovšem ukazují na mnoho hodin prostojů, kdy stroj nepracuje. Většina prostojů jde na vrub ztrátových časů při ustavování obrobku, seřizování nástrojů a kontrole prvního kusu.

Podle měření zabírá vlastní obrábění pouze 55 % z celkového výrobního času. 35 % času obsluha stojí věnuje právě ustavování nástrojů, obrobků či kontrole a zbylých 10 % tvoří ostatní obslužné činnosti. Těchto 45 % může být pro řadu firem noční můrou.¹¹

Obr. 1.6 Poměr časů nutných k ručnímu seřízení CNC.¹¹

Řešením prostojů může být použití dotykových a laserových měřicích sond. Měřicí sondy eliminují potřebu náročných seřizovacích přístrojů, drahých upínačů a časově náročného ustavování pomocí např. číselníkového úchylkoměru. Softwarové měřicí cykly automaticky kompenzují aktuální délku a průměr nástroje, vypočítávají polohu a úhel natočení obrobku, velikost a rozdělení přídávku na obrábění, rozměrové nepřesnosti apod. Manuální kontrola vyžaduje velkou zkušenost obsluhy a její kvalita závisí na zkušenosti pracovníka. Kontrola na souřadnicovém měřicím stroji je rychlá a přesná, vyžaduje ovšem vyjmutí obrobku ze stroje. Tím je znemožněna eventuální pozdější úprava tohoto obrobku. Kontrola prvního kusu pomocí měřicí sondy výrazně zkracuje čas nutný k seřízení stroje pro novou výrobní dávku. Mnoho předních domácích i světových výrobců obráběcích strojů nabízí měřicí sondy jako standardní vybavení stroje. Sondy lze snadno nainstalovat i na již provozované CNC stroje. Inteligentní měřicí cykly lze zařadit do technologického procesu a tím dosáhnout výrazného zpřesnění výroby a snížení množství zásahů obsluhy do technologického procesu. S pomocí sondy může řídicí systém stroje automaticky rozhodnout o změnách korekce nástrojů, může kontrolovat úplnost provedení předchozích operací a podle výsledku rozhodnout o provedení následující operace. Všechny tyto vlastnosti sond vedou ke konečnému snížení prostojů na 20%.¹¹



Obr. 1.7 Poměr časů pro seřízení CNC při použití sond.¹¹

Požadavky trhu na měřicí sondy se silně liší v závislosti na charakteru a přesnosti výroby a sériovosti dávek. U kusové výroby jsou sondy nasazovány zejména ke zvýšení přesnosti, uživatelského komfortu a ke zkrácení seřizovacích časů. Směrem k vyšší sériovosti je již ustavení kusu a seřízení nástrojů většinou vyřešeno mimo stroj a je vytvářen vyšší tlak na bezobslužnost provozu a kontrolu výrobní technologie (kontrola kritických rozměrů, kontrola lomu nástrojů, vylomení břitů apod.).^{11,13}

Dle konstrukce a použití rozlišujeme:

- obrobkové sondy
- nástrojové sondy – dále dělíme na kontaktní a bezkontaktní

1.3 Měřicí systémy pro souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje (CMM) slouží ke komplexnímu měření součástí v nejrůznějších průmyslových oborech. Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřeba měření u NC a CNC strojů ve strojírenské výrobě. Souřadnicové měřicí stroje mohou být manuální, je nutná obsluha stroje nebo plně CNC řízené měřicí stroje, u kterých není přítomnost pracovníka nezbytně nutná.



Obr. 1.8 Souřadnicový měřicí stroj Contura G2 direkt.¹⁴

Měření na CMM vyžaduje přípravu měřicího programu. Měřicí program můžeme vytvořit pomocí různých softwarů na PC mimo stroj nebo uživatel může vytvořit program přímo na stroji. Přitom využívá údajů dílenského výkresu, může opravovat nebo měnit existující cykly měření, případně vytvářet dílčí měřicí programy z celkového CNC programu. Software zajišťuje měření jednotlivých bodů, snímání a optické měření i porovnávací měření součástí, kontrolu tvaru a digitalizaci měřených modelů. Skenování lze využít k ověřování rozměrové shody, tvaru a polohy, případně částí povrchu. Výsledky se podle přání obsluhy zobrazují nebo uspořádají do protokolu.¹⁴

Oproti tradičním metodám je měření a odečítání hodnot na CMM mnohem příjemnější a rychlejší. Obslužný program umožňuje automatizované

ukládání výsledků měření, vyhledávání a třídění dat a tisk protokolů měření. Součástí programu je také statistický modul, který počítá nejdůležitější parametry pro sledování procesu. Vhodnou pomůckou je i simulace, která pomáhá uživateli s orientací a případnými korekcemi měření. Výstupní protokoly měření mohou být v elektronické nebo papírové podobě.^{3,14}

Důležitou součástí CMM jsou snímací hlavice. Snímací hlavice nám umožňují upnutí měřicích a skenovacích sond, kterými je realizováno měření. Hlavní vlastností hlavice je možnost natáčení sond v různých osách a aretace v různých polohách, čímž zrychlují, zpřesňují a usnadňují měření. Rozeznáváme:

a) Manuální hlavice

Používají se u ručně obsluhovaných souřadnicových měřicích strojů, umožňují využít další možnosti změny orientace sondy. Díky tomu lze snadno snímat bod pod optimálním úhlem a získat tak mnohem přesnější výsledek.

b) Motorizované hlavice

Maximalizují účinnost používání sond a souřadnicovým měřicím strojům se třemi osami poskytují možnost měření v pěti osách.³

Sondy používané na CMM jsou zařízení, které vyrábí několik specializovaných firem. Podle funkce sond rozeznáváme tři základní typy měření:

a) Měření spínacími dotekovými sondami

Spínací dotekové sondy měří nespojitě body a jsou ideální pro kontrolu trojrozměrných geometrických dílů a známých geometrických tvarů. Jsou vhodné pro širokou škálu aplikací, materiálů a povrchů. Využívají se kinematické odporové sondy nebo sondy tenzometrické. Kinematické sondy jsou robustní a vhodné pro manuální CMM. Tenzometrické sondy jsou přesnější a mají delší životnost.³



Obr. 1.9 Spínací doteková sonda TP20 firmy Renishaw.³

b) Skenování

Skenování nabízí rychlý způsob snímání dat o tvaru a profilu prizmatických nebo složitých dílců. Spínací dotekové sondy snímají nespojitě body na povrchu, kdežto skenovací systémy shromažďují ohromné množství dat z povrchu dílce a poskytují jasnější obraz o tvaru a profilu obrobku. Skenování se tedy ideálně hodí k měření takových dílců, u kterých je tvar důležitým prvkem pro kvantifikaci celkové chyby. Jsou vhodné i tam, kde je třeba měřit složité povrchy. Skenování vyžaduje zásadně odlišný přístup ke konstrukci snímače, řízení stroje a analýze dat.³



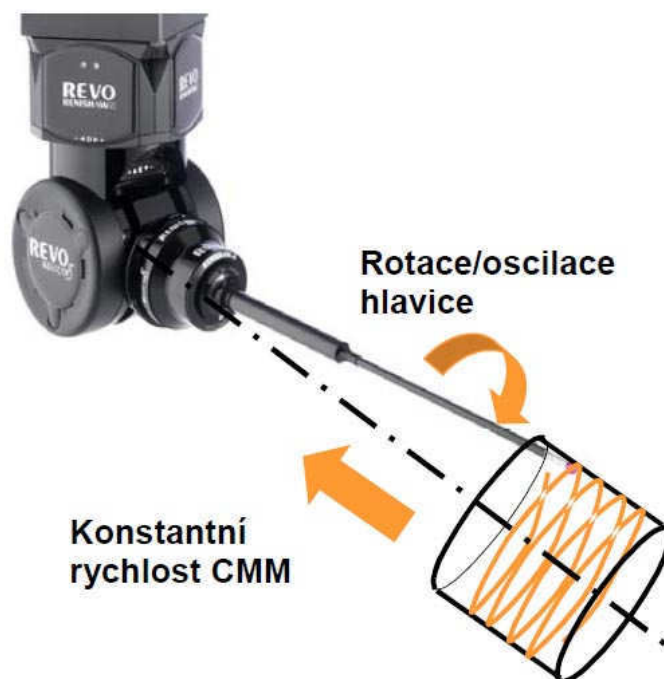
Obr. 1.10 Skenovací sonda firmy Renishaw SP25M.³

Při skenování je sonda přesouvána tak, aby dotek byl neustále v kontaktu s povrchem dílce. V průběhu měření je nezbytné udržet velikost výchylky doteku sondy v měřicím rozsahu sondy. K získání nejlepších výsledků je zapotřebí těsné integrace snímače a řídicího systému stroje a také důmyslných filtračních algoritmů ke konverzi výsledných dat na použitelné informace o rovině. Skenovací řídicí algoritmy upraví kontury dílce a změní rychlost skenování tak, aby odpovídala stupni zakřivení a upraví tempo snímání dat.³

c) Pětiosé skenování

U konvenčních metod měření provádí souřadnicový měřicí stroj všechny pohyby potřebné pro získání údajů povrchu. Zrychlení způsobuje v konstrukci stroje setrvačné deformace, které zase způsobují chyby měření. Snahou je tyto dynamické chyby redukovat, ale existuje horní hranice rychlosti daná tuhostí stroje a servopohonu, za kterou nelze provést spolehlivé měření.

Zlomem bylo zavedení pětiosého skenovacího systému Renscan5™ firmou Renishaw. Na rozdíl od konvenčních metod skenování využívá pětiosé skenování synchronizovaný pohyb os souřadnicových měřicích strojů a hlavičky k minimalizaci dynamických chyb pohybu stroje za mimořádně vysokých rychlostí skenování. Lze dosáhnout rychlosti až 500 mm/s, aniž by docházelo ke snížení přesnosti.³



Obr. 1.11 Pětiosá skenovací hlavička Revo™ od firmy Renishaw.³

Systém Renscan5™ používá indexovatelnou hlavičku, která se během měření pohybuje po dvou rotačních osách. Souřadnicový měřicí stroj tak může provádět úlohy, k nimž byl zkonstruován – pohybovat se během měření konstantní rychlostí v jednom vektoru. Protože je hlavička mnohem lehčí a dynamičtější než souřadnicový měřicí stroj a má výrazně lepší šířku pásma, dokáže rychle reagovat na změny tvaru dílce, aniž by docházelo ke vzniku škodlivých dynamických chyb, což má za výsledek daleko vyšší rychlost skenování ploch a tedy i kratší cykly měření. Technologie pětiosého skenování umožňuje uživateli dosáhnout nebývalých úrovní výkonu při zachování současných úrovní metrologie.³

1.4 Kalibrace CNC a CMM strojů

Požadavky moderního průmyslu na minimální odchylky v přesnosti a na splnění mezinárodních norem kvality kladou stále větší důraz na parametry výrobního zařízení. Proto jsou firmy nuceny používat moderní měřicí prostředky, které umožňují stroj při výrobě přesně zkalibrovat. S kalibrací souvisí i plánování preventivní údržby strojů. Pravidelná kontrola statické a

dynamické přesnosti CNC a CMM strojů vede ke zvýšení přesnosti a ke snížení zmetkovitosti.^{3,17}

Tyto systémy v sobě slučují nejlepší dostupné mechanické, elektronické a optické technologie. Snahou je tyto systémy, které byly dosud určeny pro výzkumné a testovací laboratoře, používat přímo v dílnách. Pro názornost si uvedeme několik měřicích zařízení, které nám umožňují rychlou kalibraci a testování strojů přímo na dílně:

1) Mřížkový snímač KGM 182 – firma Heidenhain

Mřížkový snímač KGM 182 dynamicky testuje polohovou přesnost CNC řízeného obráběcího stroje. Snímač je schopný vykonat test kruhové interpolace na radiusech od 115 mm až po 0,1 mm při rychlostech pohybu až 80 m/min. KGM 182 může také provést test volného tvaru ve dvou osách. Výhodou KGM 182 je na jedné straně bezkontaktní měření, které vylučuje vlivy vůlí kuličkových spojení. Na druhé straně chyba, způsobená geometrií stroje nemá vliv na výsledky měření kruhové interpolace na velmi malých poloměrech. KGM 182 se skládá z měřicí desky s křížovou mřížkou a snímací hlavy. Během měření se snímací hlava pohybuje nad křížovou mřížkou bez vzájemného mechanického kontaktu. Při pohybu hlavy se generují sinusové signály, které jsou odesílány ke zpracování na PC.¹⁷



Obr. 1.12 Mřížkový snímač KGM 182.¹⁷

2) Laserový systém XL-80 – firma Renishaw

Jde o velmi přesný laserový měřicí systém, který lze použít pro velmi výkonnou kalibraci CMM, CNC a dalších pohybových systémů. Základem systému je kompaktní laserová hlavice XL-80 a samostatný kompenzátor podmínek prostředí XC-80.



Obr. 1.13 Schéma laserového systému XL-80.¹⁶

Laser XL-80 vytváří stabilní svazek laserového záření s vlnovou délkou odpovídající národním a mezinárodním normám. Zaručená přesnost lineárního měření je $\pm 0,5 \mu\text{m/m}$ v celém rozsahu podmínek prostředí, tj. při teplotě $0 \text{ }^{\circ}\text{C} - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($32 \text{ }^{\circ}\text{F} - 104 \text{ }^{\circ}\text{F}$) a tlaku $650 \text{ mbar} - 1150 \text{ mbar}$. Systém čte hodnoty s frekvencí 50 kHz při maximální rychlosti lineárního měření 4 m/s . Dosahované lineární rozlišení 1 nm je zachováno v celém rozsahu rychlostí měření.¹⁶

Kompensátor XC-80 je klíčovým prvkem pro zaručení přesnosti měření se systémem XL. Kompensátor pomocí snímačů, které umí zpracovat naměřenou hodnotu, měří velmi přesně teplotu vzduchu, tlak vzduchu a relativní vlhkost. Na základě zjištěných údajů upravuje vlnovou délku laseru tak, aby do výpočtů stále vstupovala její správná hodnota, čímž prakticky eliminuje jakékoliv chyby měření vyplývající ze změn podmínek prostředí. Kompensace je prováděna automaticky každých 7 vteřin .¹⁶

K systému je dodáván také stativ, stůl (pro snadné upnutí laseru a měření v dílenských podmínkách) a výkonný softwaru (umožňuje vyhodnocení naměřených hodnot a tisk analyzovaných dat podle mnoha mezinárodních norem pro kontrolu).¹⁶

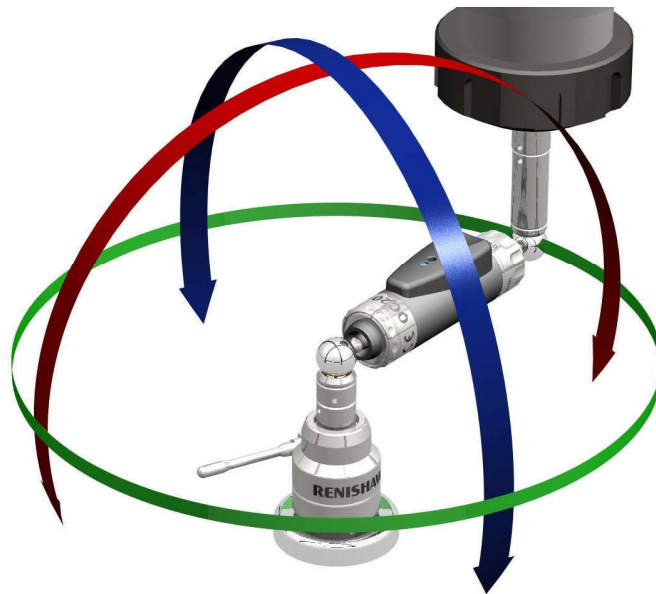


Obr. 1.14 Kalibrace vřetena pomocí systému XL-80.³

3) Systém ballbar QC20-W – firma Renishaw

Systém ballbar zajišťuje jednoduchou a rychlou kontrolu CNC obráběcích strojů. Ballbar QC20-W je složen ze samotného ballbaru (v podstatě velmi přesného lineárního snímače a dvojice koulí na obou koncích) a z magnetických držáků, z nichž jeden (nastavitelný) je připevněn ke stolu stroje a druhý k držáku nástrojů, který je vsazen do vřetene stroje. Za provozu jsou koule snímače kinematicky vedeny v magnetických miskách. Díky tomuto uspořádání je ballbar schopen měřit i drobné změny poloměru naprogramované kruhové dráhy kolem držáku umístěného na stole stroje.

Přístroj při testu provádí kruhovou interpolaci o 360° ve směru a proti směru hodinových ručiček. Celá operace sběru a vyhodnocení dat trvá cca 20 minut. Test umožňuje testování ve 3 navzájem kolmých rovinách pomocí jediného referenčního bodu. Systém s výhodou využívá technologie Bluetooth, která zvyšuje spolehlivost snímačů a umožňuje pracovat se zavřenými dveřmi stroje, což zvyšuje bezpečnost pro obsluhu.³



Obr. 1.15 Systém QC20-W – test ve 3 rovinách.³

Velkým zjednodušením je schopnost softwaru ihned provést pomocí matematického modelu analýzu a stanovit zdroje chyb. Tyto údaje jsou neocenitelnou pomocí pro pracovníky údržby, kteří mohou přímo řešit skutečné příčiny nepřesnosti. Na základě analýzy lze často zvýšit přesnost stroje pouhou změnou nastavení v řídicím systému namísto jeho rozebrání a opravy.³

2 MĚŘICÍ SONDY

Nahlédneme-li na historii číslicově řízených obráběcích strojů, docházelo v jednotlivých vývojových generacích k významným změnám. Např. první generace (kolem roku 1950) se vyznačovala vývojem a aplikací strojů s NC řízením, které vznikaly modifikací strojů konvečních. V druhé vývojové generaci jsme se mohli setkat se speciálně konstruovanými stroji pro číslicové řízení, které již měly automatickou výměnu nástrojů. Ve třetí generaci se již hovořilo o plně automatických CNC strojích a čtvrtá generace pak už byla typická tvorbou plně automatických výrobních pracovišť propojených s automatickou výměnou opotřebovaných řezných nástrojů atd. V páté generaci jsou měřicí činnosti interaktivně zapojeny do procesu třískového obrábění (využívají se právě různé druhy měřicích systémů). Vývoj jde však kupředu velice rychle a tak bychom již dnes mohli hovořit i o možnostech strojů šesté vývojové generace (snímají se fyzikální podmínky obrábění, ty se pak vyhodnocují a následně pak dochází k úpravě řezných podmínek dle měření).⁶

2.1 Historie měřicích sond

Historie měřicích sond sahá do 60. let minulého století, kdy došlo k prvním americkým a ruským pokusům použít dotekové sondy, pro měření dílců na obráběcích strojích. Tehdy šlo o analogové sondy, které měřily velikost vychýlení doteku sondy v osách X a Y. Žádní z nich nedosáhla obchodního úspěchu, protože jim chyběla dostatečná přesnost a neměly schopnost přejezdu koncové polohy, takže se snadno poškodily. Prvního úspěchu se měřicí sondy dočkaly v roce 1973, kdy společnost Renishaw vyrobila svoji první spínací dotekovou sondu, aby vyřešila specifický požadavek na kontrolu dílů motoru Olympus používaných na letadlech Concord. Dalšího úspěchu dosáhla firma Renishaw v roce 1976 na výstavě obráběcích strojů v USA, kde bylo dohodnuto s firmou Kearney and Trecker vyzkoušení sond na automatické obráběcí lince. Společnost vyrobila robustní sondu, která byla schopna vydržet nepříznivé podmínky pracovního prostředí obráběcího stroje s chladicí kapalinou a horkými kovovými třískami. Tuto sondu, onačenou jako Renishaw MP3 firma Kearney and Trecker předvedla na svém frézovacím stroji na výstavě EMO v německém Hannoveru v roce 1977. Velikost zájmu o nový produkt ilustruje skutečnost, že o pouhé čtyři roky později, kdy byla výstava EMO opět v Hannoveru, byly měřicí sondy nainstalované na obráběcích strojích již 32 výrobců. Společnost Renishaw se od té doby stala předním hráčem v dalších odvětvích metrologie od souřadnicových měřicích strojů a obráběcích strojů včetně jejich laserové kalibraci, přes lineární, rotační a laserové odměřovací systémy, spektroskopické systémy pro materiálovou analýzu až po technologie pro stomatologii a biomedicínu.³

Samozřejmě firma Renishaw není jedinou firmou, která se zabývá měřicími systémy, další firmy jako Blum, Heidenhain, Faro, Zeiss, Mitutoyo, Leica, Fidia, atd. jí konkurují a navzájem se snaží vyvíjet a zlepšovat vlastní měřicí systémy.

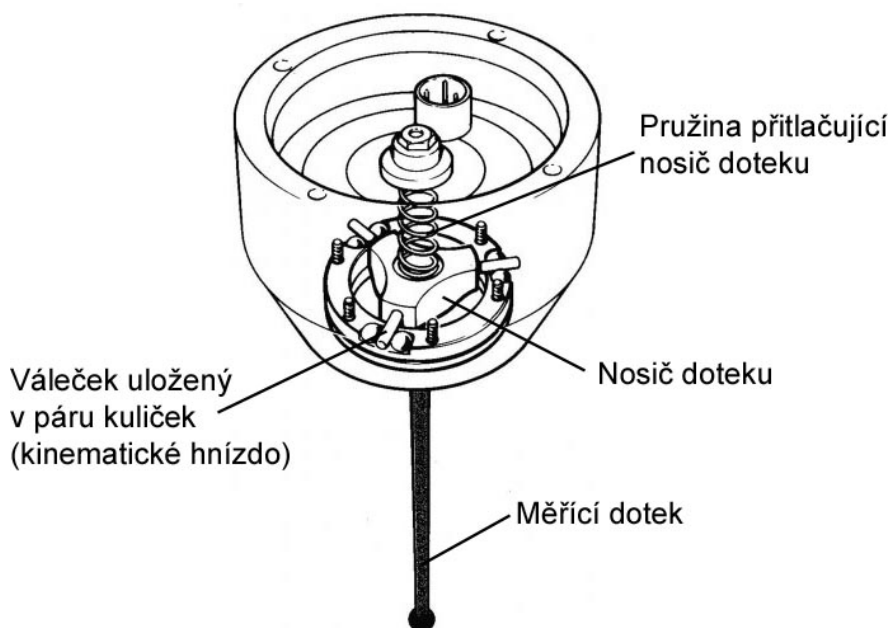
2.2 Princip měření sondami – generování spínacího signálu

Při měření dochází ke kontaktu měřicího doteku s obrobkem. Pohyb sondy po kontaktu pokračuje dál a síla působící mezi dotekem a obrobkem roste až k hranici nastavení. Spínací signál je generován, když fyzikální veličina překročí hranici v senzorem systému. V zásadě existují čtyři různé principy používané k vytváření spínacího signálu: kinematický kontakt (elektrický), tenzometrický, laserový (světelná interferometrie) a piezoelektrický efekt.⁹

2.2.1 Kinematický princip

Kontaktní spínací mechanismus je založen na kinematickém uspořádání trojice kinematických hnízd složených vždy z jedné válcové a dvou kulových ploch, které jsou k sobě přitlačovány tlakem pružiny. Každé kinematické hnízdo má kontakt ve dvou stykových bodech. Celý kinematický mechanismus je tedy definován celkem šesti body dotyku, které zajišťují, že snímací dotek je po vychýlení vrácen na původní místo s vynikající opakovatelností. Mechanismus umožňuje vychýlení doteku sondy při kolizi s povrchem dílce. Po vymizení působící síly, tedy poté, kdy se sonda oddálí od měřeného povrchu, způsobí tlačná pružina návrat mechanismu do původní kinematicky definované polohy. Tento mechanismus tvořil základ spínacích dotekových sond Renishaw po mnoho let a dlouhá historie je potvrzena skutečností, že i ostatní výrobci nazývají tento mechanismus „tradičními“ sondami.

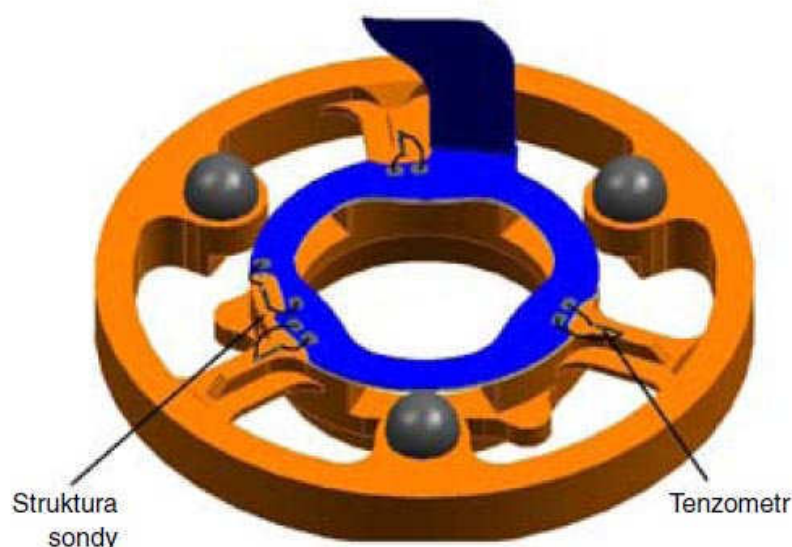
Kontaktní mechanismus je spojen do elektrického obvodu. Po najetí sondy dojde k vychýlení kontaktů, což způsobí vzrůst elektrického odporu. Změna odporu (při dosažení určité úrovně velikosti) je pak vyhodnocena jako kolize doteku s měřeným dílcem a z odměřovacího systému stroje jsou odečteny a zaznamenány souřadnice v osách.^{19, 10}



Obr. 2.1 Schéma kinematické sondy.¹⁹

2.2.2 Tenzometrický princip

Se zvyšujícími se nároky na přesnost výroby byl vyvinut nový systém Strain gauge, fungující na principu tenzometrů. Tenzometrické sondy využívají částečně kinematický mechanismus. Nejedná se však o prostředek snímání, ale pouze bezpečnostní prvek, který zabraňuje poškození doteku při kolizi doteku s povrchem měřeného dílce. Snímací signál generuje sada tenzometrů (čidel citlivých na mechanickou změnu povrchového napětí) umístěných na pečlivě navržená žebra ve struktuře sondy mimo kinematiku. Tato čidla měří kontaktní sílu vyvinutou na dotek sondy a generují spínací signál v okamžiku, kdy povrchové napětí překročí definovanou hodnotu.¹⁹

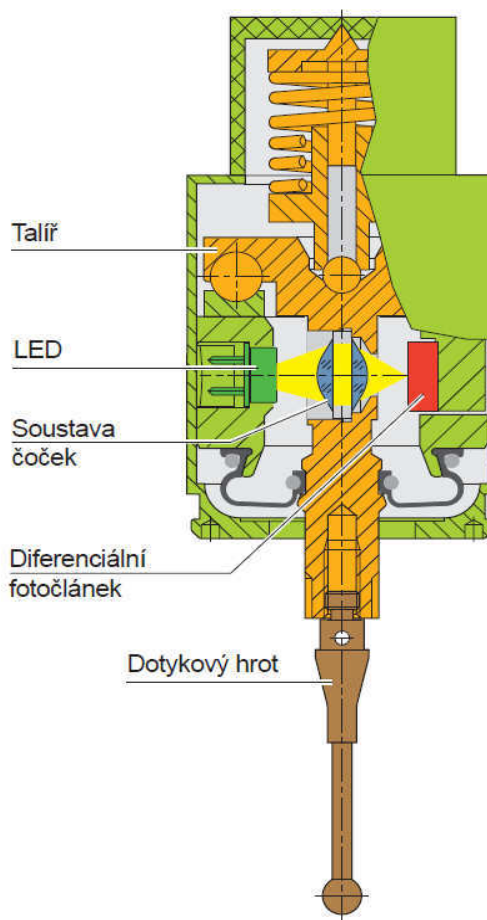


Obr. 2.2 Princip tenzometrické sondy.¹⁹

Při nízkých kontaktních silách zůstane kinematika v klidu a kontaktní síly se přenáší do struktury sondy. Tenzometrická čidla jsou umístěna na velmi přesně vyrobených žebrech navržených tak, aby maximalizovala citlivost sondy bez zhoršení její odolnosti proti poškození. Snímače detekují síly ve struktuře sondy. Údaje ze snímačů vyhodnocuje elektronický obvod, který generuje spínací signál v okamžiku, kdy je překročena stanovená mez. Tato mez je stanovena standardně na několik gramů a je tedy mnohem nižší než spínací síla srovnatelné kinematické sondy.¹⁹

2.2.3 Laserový princip

Tyto sondy pracují s optickými snímači jako se senzory. Systém čoček usměrňuje světelný paprsek vytvořený z LED diod a zaměřuje ho na diferenciální fotočlánek. Při vychýlení dotykového hrotu vygeneruje diferenciální fotočlánek spínací signál. Princip bezdotykového optického snímače zaručuje dlouhodobou stabilitu a spolehlivý provoz.⁹



Obr. 2.3 Schéma laserového principu snímání.²⁰

2.2.4 Piezoelektrický princip

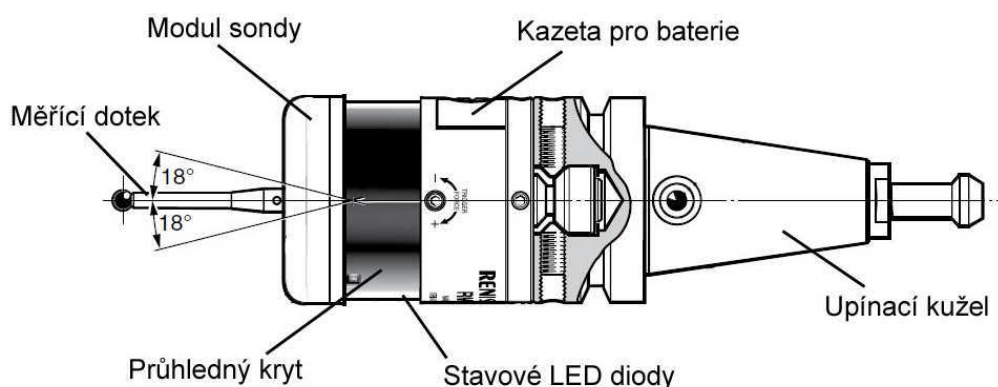
Piezoelektrické sondy jsou založeny na principu vytváření rozdílného elektrického potenciálu mezi dvěma plochami piezoelektrického krystalu, při jeho stlačování. Použitím tohoto fyzikálního principu se generuje spouštěcí signál, který vzniká při kontaktu sondy se součásti. Tyto sondy jsou velmi přesné a mají výbornou opakovatelnost. Stejně jako u tenzometrických sond je „přejezd pozice“ (pre-travel) mnohem menší než u kinematických sond. Piezoelektrické sondy je možné kalibrovat na spínací sílu od 0,2 N. Nevýhodou sond je jejich citlivost na některé nízkofrekvenční zvuky (například start motoru, vysoké otáčky vřetene, vibrace stroje, ...).^{9, 10}

2.3 Konstrukce dotykových měřicích sond

Dotykové měřicí sondy se skládají ze tří hlavních částí a to z upínacího kuželu, modulu (těla) sondy a z měřicího doteku. Měřicí dotek je akční prvek, který vykonává dotyk s měřeným obrobkem. Upínací kužel je shodný s klasickými upínači nástrojů pro CNC obrábění. Musí zajistit správné upnutí

sondy do vřetena stroje a uložení sondy do zásobníku nástrojů při výměně. Modul moderní sondy obsahuje:

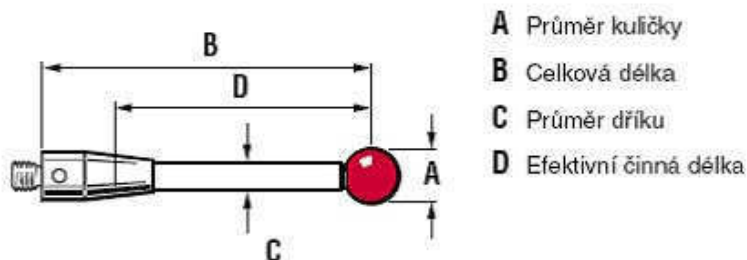
- kazetu pro umístění baterií – baterie napájí sondu
- stavové LED diody – pomocí různých barev a blikání informují uživatele o provozním režimu, ve kterém se sonda právě nachází
- vysilač optického nebo rádiového signálu – naměřené hodnoty jsou pomocí datového signálu přenášeny do interface, kde se signál ze sondy přemění do tvaru srozumitelného pro řídicí systém stroje.



Obr. 2.4 Příklad konstrukce sondy RMP60 firmy Renishaw.¹²

2.4 Měřicí doteky

Dotek je součástí měřicího systému, který zprostředkovává kontakt mezi součástmi a sondou a způsobuje sepnutí v mechanismu sondy. Signál, který je přitom generován, umožňuje zaznamenání souřadnic sejmutého bodu. Typ a rozměr použitého doteku závisí na snímaném prvku. Nejdůležitějšími vlastnostmi však zůstávají maximální tuhost doteku a dokonalá kulovitost hrotu. Při použití doteku s nepřesnou kulovitostí hrotu, nesprávným umístěním kuličky, nepřesným závitem nebo slabou konstrukcí podléhající během měření přílišnému ohybu, může být přesnost prováděného měření ohrožena.



Obr. 2.5 Měřicí dotek.²⁴

Pro zajištění maximální přesnosti sejmутí bodu kontaktu se doporučuje několik zásad:

- použít co nejkratší dobu dotyku - čím více se dotek ohýbá nebo vychyluje, tím je přesnost měření nižší
- počet spojů snížit na minimum - každý spoj doteku a prodlužovacího nástavce se stává zdrojem možných deformací a bodů ohybu
- použít co největší průměr kuličky - jsou pro to dva důvody. Prvním je maximalizace mezery mezi kuličkou a stopkou doteku. Čím je tato mezera větší, tím menší je možnost chybných sepnutí způsobených kolizí stopky s hranou měřeného dílce. Druhým důvodem je, že větší kulička snižuje vliv jakosti povrchu snímané součásti.

Dalším důležitým faktorem je volba materiálu kuličky. Průmyslovým standardům i požadavkům na optimální materiál kuličky vyhovuje u převážné většiny měřicích aplikací rubín – jeden z nejtvrdších materiálů. Syntetický rubín je oxid hlinitý s čistotou 99 %, který použitím Verneuilovy metody vytváří při teplotě 2 000 °C krystaly. Krystaly jsou pak na řezány a postupně obrobeny do přesného kulovitého tvaru. Rubínové kuličky mají výjimečně hladký povrch, vynikající pevnost v tlaku a vysokou odolnost proti mechanickému poškození.²⁴

Je jen málo aplikací, u nichž rubín není upřednostňovaným materiálem kuličky. Existují však dva případy, kdy se doporučují kuličky vyrobené z jiných materiálů. Prvním je použití výkonných skenovacích aplikací na hliníkové materiály. Zde může docházet k fenoménu známému pod názvem adhezni otěr, kdy se na povrchu kuličky usazuje hliník. V takových případech je lepším materiálem nitrid křemíku. Druhým jsou náročné aplikace při skenování litinových povrchů. Vzájemné působení obou materiálů může u rubínové kuličky způsobit opotřebení povrchu otěrem. U takových aplikací se doporučují kuličky z oxidu zirkoničitého.²⁴

Pokud jde o materiál dřívku, většinou se využívají nemagnetické nerezové ocele a keramika. V případě vyšších nároku (delší stopka, menší kulička) se využívá karbidu wolframu. Pro nejnáročnější podmínky se využívá kombinace uhlíkových vláken se speciálními pryskyřicovými maticemi (vynikající ochrana při mimořádně nízké hmotnosti a vysoké tuhosti).²⁴

Na trhu nalezneme množství různých konstrukčních řešení měřicích dotyků a to jak pro souřadnicové měřicí stroje, tak pro obráběcí stroje. Sortiment doteků se sestává z několika typů: hvězdicové, diskové, přímé, krátké, dlouhé, prodloužené, atd. V případě, že nám běžně vyráběné dotyky nevyhovují, některé firmy pro nás nabízí možnost individuálního řešení, při kterém navrhnu dotek vhodný pro naši aplikaci.



Obr. 2.6 Sortiment doteků firmy Renishaw.²⁴

2.5 Nástrojové sondy – princip a konstrukce

Seřizování nástrojů pomocí koncových měrek a ruční korekce údajů v tabulce nástrojů zabírá čas a znamená riziko vzniku chyb. Sondy pro nastavování nástrojů na obráběcích centrech a CNC soustružnických centrech umožňují automatizovaný provoz, bez nutnosti zásahu obsluhy. Dle konstrukce a principu funkce dělíme nástrojové sondy na kontaktní a bezkontaktní (laserové).

2.5.1 Kontaktní nástrojové sondy

Princip funkce kontaktní nástrojové sondy je shodný s principem obrobkových sond. Sonda se umístí v bezpečném místě na stůl stroje, tak aby byla v dosahu vřetena. V okamžiku kontaktu nástroje se snímacím dotekem sondy, se zaznamenají hodnoty na odměřovacích pravítkách stroje a využijí se k výpočtu aktuálního rozměru nástroje - délky a průměru. Tyto hodnoty se automaticky uloží k měřenému nástroji. Kromě měření korekcí nástrojů lze kontaktní nástrojové sondy využít i pro detekci poškození nástrojů.³



Obr. 2.7 Kontaktní nástrojová sonda TS27R firmy Renishaw.³

2.5.2 Bezkontaktní (laserové) nástrojové sondy

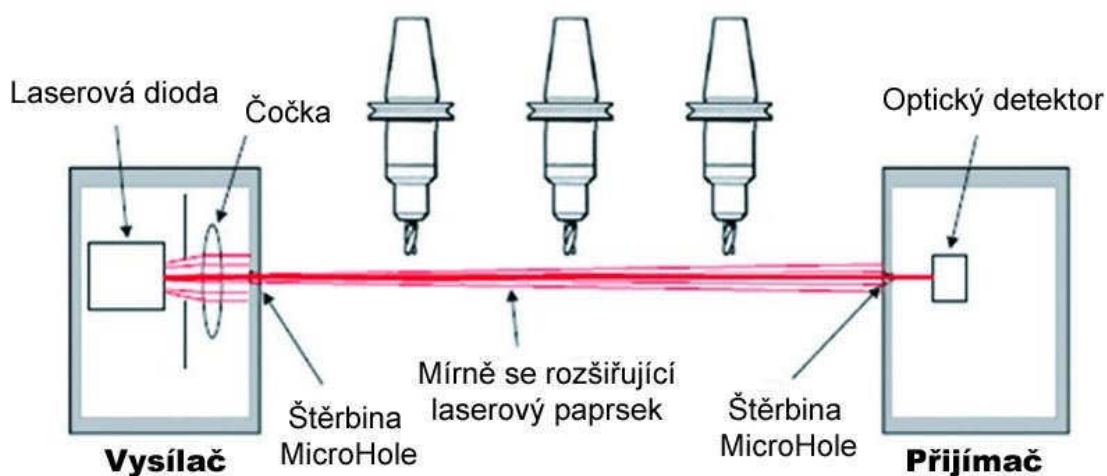
Bezkontaktní nástrojové sondy využívají laserový paprsek procházející mezi vysílačem a přijímačem paprsku. Obě části systému jsou umístěny na stole stroje (tvoří jeden celek) nebo po jeho stranách tak, aby byl zajištěn vzájemný relativní pohyb nástroje k laseru nejméně ve dvou osách a aby současně všechny nástroje mohly dojet až k paprsku. Při průchodu nástroje laserovým paprskem dojde k jeho přerušení. V okamžiku přerušení paprsku jsou zaznamenány hodnoty na odměřovacích pravítkách stroje a z těchto údajů je vypočten aktuální rozměr nástroje.

Bezkontaktní systémy lze rovněž využít k detekci poškozených nástrojů. Jedná se o měřicí rutinu, během níž je nástroj rychloposuvem napolohován do místa, ve kterém by špička nepoškozeného nástroje měla způsobit přerušení laserového paprsku. Jestliže do přijímače dopadne světlo, břit nástroje určitě chybí.¹⁸



Obr. 2.8 Laserová nástrojová sonda NC4 firmy Renishaw.³

Nová generace bezkontaktních sond firmy Renishaw využívá optické schéma s paralelním paprskem procházejícím miniaturními štěrbinami na jednotkách vysílače a přijímače. Štěrba MicroHole na vysílači definuje tvar a velikost paprsku, který se jako každé světlo se zvětšující se vzdáleností rozšiřuje. Druhá štěrba MicroHole na jednotce přijímače omezuje světlo, které dopadá na detektor přijímače. Jedná se o efektivní způsob jak maximálně zúžit laserový paprsek a dosáhnout tak přesného změření rozměru. Pomocí štěrbin MicroHole je z celkového množství dopadajícího světla eliminována jen ta část, která skutečně tvoří jádro paprsku; toto jádro se označuje jako efektivní měřicí paprsek.¹⁸



Obr. 2.9 Systém firmy Renishaw využívající technologii MicroHole.¹⁸

Seřízení sondy s takto definovaným paprskem je rychlé a snadné, zejména proto, že jednotky vysílače a přijímače díky technologii MicroHole nevyžadují složité ustavování. Díky tomu lze jednotky umístit do vzdálenosti až 5 m.¹⁸

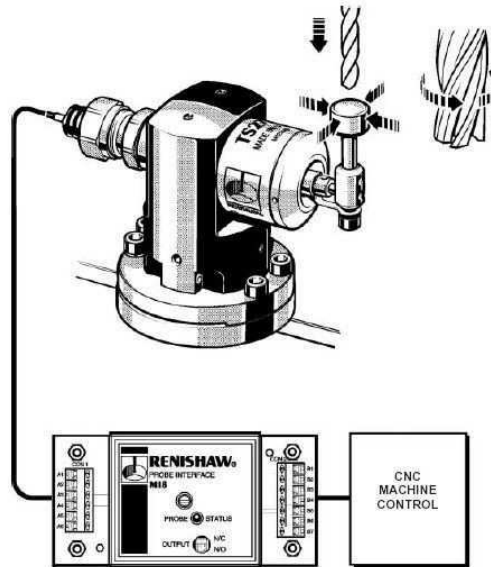
2.6 Přenos měřicího signálu ze sond

Důležitým kritériem pro rozlišení obrobkových sond je způsob přenosu měřicího signálu ze sondy do řídicího systému stroje. V zásadě se v praxi uplatňují čtyři typy přenosu signálu ze sondy do CNC řídicího systému: kabelem, opticky, induktivně nebo rádiiem.

2.6.1 Komunikace po kabelu

Nejjednodušší přenos měřicího signálu, ze sondy do obráběcího stroje, je pomocí kabelu. Kabel propojuje sondu s řídicím systémem stroje. Tato komunikace je vhodná pouze pro nástrojové sondy pevně spojené se stolem stroje. Pro obrobkové sondy vkládané do vřetene stroje je kabelové propojení nevhodné, protože dochází ke snížení přesnosti měření a k omezení pohybu

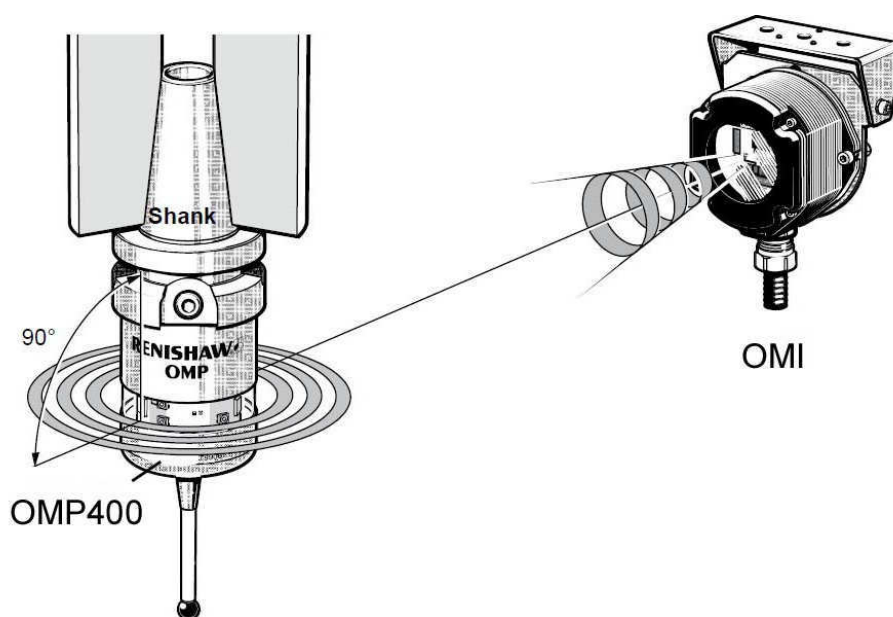
sondy v pracovním prostoru stroje. Také nelze využít automatické cykly pro kontrolu výrobního procesu. Výhodou této komunikace jsou nižší pořizovací náklady, než u modernějších metod.³



Obr. 2.10 Komunikace po kabelu³

2.6.2 Optická komunikace

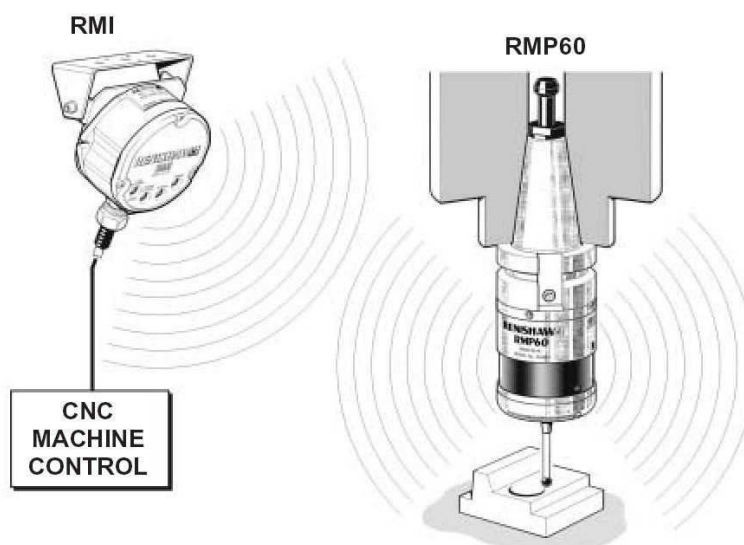
Optická komunikace probíhá v infračerveném spektru světelného záření. Průběh signálu není lidským okem viditelný. Infra přenos je spolehlivý, zdravotně nezávadný a je minimálně náchylný na rušení. Sondy zpravidla komunikují prostřednictvím komunikačního modulu (OMI) umístěného v pracovním prostoru stroje. S výhodou lze využít kombinaci optické obrobkové a nástrojové sondy umístěné na stejném stroji. Komunikační modul přijímá optický signál od obou druhů sond, dosah signálů je cca 4 m. Obrobková sonda může být trvale umístěna v zásobníku nástrojů, zatím co nástrojová sonda může být bez problému použita pro více-ose CNC stroje, které využívají například otočné stoly. Systém lze snadno nainstalovat na jakémkoliv CNC obráběcím stroji.³

Obr. 2.11 Optická komunikace.³

2.6.3 Rádiová komunikace

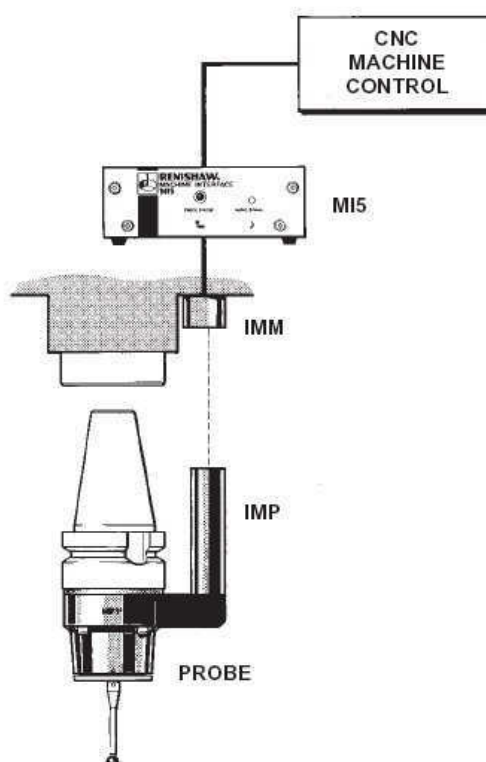
Sondy využívající rádiové komunikace jsou ideálním řešením pro čtyř a více-osé stroje. Jejich hlavní výhodou je schopnost zajistit přenos signálu ze sondy do stroje i v případě, že je sonda ukryta za součást a nemá přímou viditelnost na komunikační modul (interface). Dosah signálu je cca 15 m.

Průkopníkem rádiové komunikace je firma Renishaw, která pro své sondy využívá technologii FHSS (frequency hopping spread spektrum – rozšířené spektrum s přepínáním kmitočtu). Sonda spolupracuje se standardním modulem (interface) rádiového systému pro obráběcí stroje (RMI) a používá volné frekvenční pásmo 2,4 GHz. Díky technologii FHSS se v případě, že dochází k rušení signálu, dokáže sonda sama přeladit na nejbližší volný kanál a úspěšně dokončit komunikaci. Tím se eliminují pásma necitlivosti v pracovním prostředí a systém se může vyhnout rádiovému rušení (obojí jsou běžné problémy u měřících sond s rádiovým přenosem s pevně nastaveným kanálem).³

Obr. 2.12 Rádiová komunikace.³

2.6.4 Induktivní komunikace

Kromě tří základních typů přenosů existuje ještě indukivní přenos signálu. Komunikace probíhá na velmi krátkou vzdálenost (cca 2 mm) mezi modulem umístěným na sondě a modulem umístěným na vřeteníku stroje. Jde o spolehlivý způsob přenosu signálu, ale je vyžadována konstrukční úprava stroje od výrobce. Tato metoda se v praxi prakticky nepoužívá.³

Obr. 2.13 Induktivní komunikace.³

2.7 Instalace sond a jejich seřízení

Pro správnou funkci je důležité sondy správně nainstalovat a seřídit. Sondy mají od výrobců zaručenou přesnost, mnohdy lepší než $1\ \mu\text{m}$. To ale neznamená, že po upnutí sondy do vřetena stroje, budeme měřit právě s takovou přesností. V tomto případě zaručená přesnost $1\ \mu\text{m}$ znamená, že spínací mechanismus sondy byl testován a splnil podmínku předepsané přesnosti (při opakovaném najíždění na známý rozměr, nebyla průměrná odchylka větší než $1\ \mu\text{m}$). Proto musíme sondu po zakoupení zkalibrovat přímo na stroji.

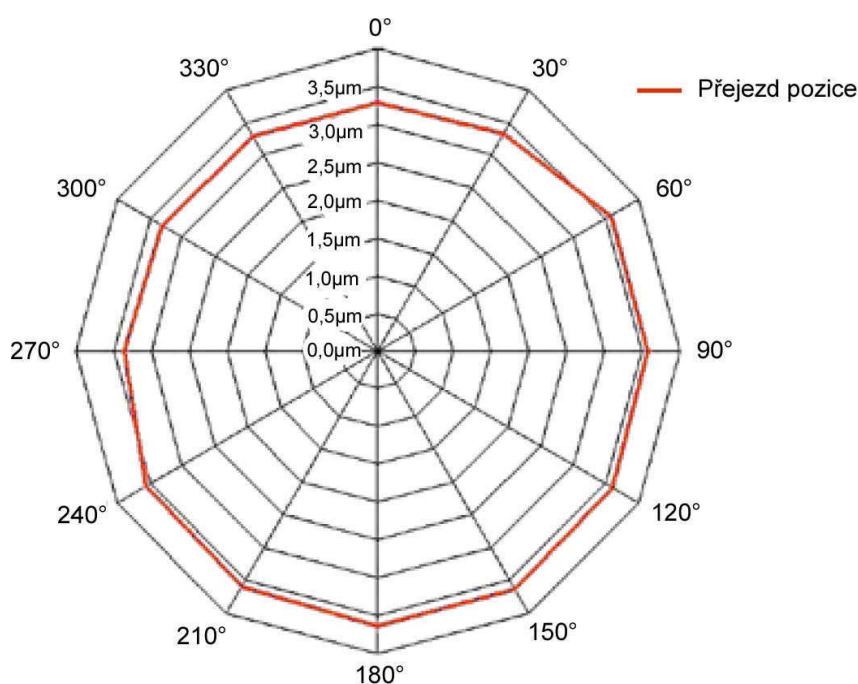
Seřízení sondy se nejčastěji provádí pomocí kalibračního kroužku, který musí mít zaručený vnitřní průměr. Tento kroužek se upne na stůl, pak se ručně sondou přeměří vnitřní průměr (jde o určení pozice kroužku) a poté se spustí automatická kalibrace sondy. Kromě této kalibrace můžeme ještě v případě potřeby pomocí šroubů centrovat dotek nebo upravovat velikost spínací síly.¹⁰

2.8 Přesnost sond, opakovatelnost měření a chyby vznikající při měření sondami

V souvislosti s chybami měření u sond často mluvíme o tzv. přejezdu pozice (pre-travel – PT). Tento jev nastává, když se rubínová kulička dotkne povrchu měřeného obrobku. Nejprve dochází k elastické deformaci dřívku snímacího doteku, teprve potom dojde ke změně v mechanismu sondy a vygenerování spínacího signálu.⁷

Přejezd pozice závisí na délce a tuhosti dřívku snímacího doteku (tab. 2.1) a na principu generování spínacího signálu uvnitř sondy. Odchylka přejezdu pozice (pre-travel variation - PTV), někdy označovaná i jako „lobing“ nebo „kruhová charakteristika sondy“ ovlivňuje měřicí výkon sondy. Většina výrobců se snaží tuto odchylku co nejvíce eliminovat. Snižováním PT se dosahuje větší přesnosti, zvláště při snímání ve třech osách, kde se vlivy PT zvětšují. Například u sond s velkým PT (kinematické sondy) může dojít při měření šikmé plochy ke smýkání kuličky po povrchu a tím ke snížení přesnosti, proto se využívají tenzometrické, laserové a piezoelektrické sondy, které vykazují nižší PT.^{7, 10}

Samotný přejezd pozice není formou chyby, protože jej lze kompenzovat kalibrací sondy. Ke stanovení průměrného přejezdu pozice sondy je třeba přeměřit kalibrační prvek o známém rozměru a poloze. Po dokončení kalibrace je klíčovým faktorem, který ovlivňuje přesnost měření, opakovatelnost sondy. Opakovatelnost vyjadřuje, s jakou přesností dokáže sonda opakovaně najíždět do stejného bodu v celém rozsahu měření (obr. 2.14) přesnější sondy dosahují standardně hodnot PTV v prostoru XYZ lepších než $1\ \mu\text{m}$.^{19, 10}

Obr. 2.14 Opakovatelnost sondy OMP400.¹⁹

Na obrázku je zobrazeno měření kruhu, provedené na zkušební stolici s rozlišením 10 nm, firmou Renishaw s využitím sondy OMP400 (tato sonda bude využita v praktické ukázce měření v pozdější kapitole). Měření probíhá 10x v každém směru. Směry se mění po 30° krocích. Graf ukazuje nízký a téměř zanedbatelný přejezd pozice ve všech směrech. S použitím doteku o délce 50 mm je hodnota PTV v rovině XY pouze 0,34 μm .^{19, 10}

Tab. 2.1 Opakovatelnost a PTV sondy OMP400.¹⁹

Sonda OMP400	Délka doteku			
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Opakovatelnost Max. 2 Sigma v kterémkoli směru z 12	0,25 μm	0,35 μm	0,50 μm	0,70 μm
2D (XY) chyba Max. odchylka od referenčního kroužku	$\pm 0,25 \mu\text{m}$	$\pm 0,25 \mu\text{m}$	$\pm 0,40 \mu\text{m}$	$\pm 0,50 \mu\text{m}$
3D (XYZ) chyba Max. odchylka od známé koule	$\pm 1,00 \mu\text{m}$	$\pm 1,75 \mu\text{m}$	$\pm 2,50 \mu\text{m}$	$\pm 3,50 \mu\text{m}$

2.9 Výhody použití měřicích systémů

2.9.1 Ustavení obrobku

Použití sond snižuje náklady na drahé upínače a na ruční ustavení obrobku číselníkovými úchylkoměry. Sondy vkládané do vřeten obráběcích center a revolverů soustruhů přináší následující výhody:

- Snižování doby prostojů stroje
- Automatické ustavení obrobku, natočení souřadného systému nebo polohování rotační osy
- Snižování vlivu chybné obsluhy stroje
- Snižování počtu zmetků
- Zvýšení produktivity a flexibility výroby.¹¹

2.9.2 Rozměrová kontrola obrobku

Obrobové sondy lze používat také pro měření během obráběcího cyklu a pro kontrolu prvního kusu výrobní dávky. Ruční měření příliš závisí na dovednosti obsluhy a měření mimo stroj je spojeno s obtížnou manipulací. Měření obrobku na stroji přináší tyto výhody:

- Automatická korekce chyb během obráběcího cyklu
- Zvýšená jistota v bezobslužných provozech
- Automatická korekce nastavení po proměření prvního kusu
- Snižování prostoje stroje čekajícího na výsledek kontroly prvního kusu.¹¹

2.9.3 Seřízení a detekce zlomení nástroje

Seřizování nástrojů pomocí koncových měrek a ruční korekce údajů v tabulce nástrojů zabírá čas a znamená riziko vzniku chyb. Nástrojové sondy nabízejí následující výhody:

- Významná úspora času a snížení prostojů stroje
- Přesné měření délky a průměru nástroje
- Automatická detekce opotřebení nástroje a korekce hodnot v tabulce nástrojů
- Snižování vlivu chybné obsluhy stroje
- Detekce zlomení nástroje v průběhu obráběcího cyklu.¹¹

2.9.4 PC softwaru pro vytváření měřících programů

Díky grafickému programování dílů systémem CAM je programování rychlejší a jeho kvalita je vyšší. Počítačový softwaru pro měření funguje na stejném principu. Umožňuje jednoduché grafické programování měřících cyklů. Měřicí cyklus může být také spuštěn jako simulace, tím se dá předejít možným chybám ještě před zavedením cyklu do řídicího systému stroje.¹¹

2.10 Nevýhody použití měřících systémů

- Při měření se ke stanovení naměřených hodnot využívá odměřovací systém obráběcího stroje
- Při měření může být kontrolovaná plocha znečištěna třískami
- Měření se většinou provádí na tepelně neustáleném obrobku.

3 NÁVRH IMPLEMENTACE MĚŘENÍ DO PROCESU OBRÁBĚNÍ NA PĚTIOSÉM FRÉZOVAČÍM STROJI MCV 1210

3.1 Obráběcí stroj MCV 1210

Metodika implementace měřících sond do procesu obrábění bude realizována na pěti-osém frézovacím stroji MCV 1210. Toto vertikální obráběcí centrum firmy Tajmac - ZPS je vysoce produktivní stroj určený především pro výrobu forem v lisařském, automobilovém a leteckém průmyslu. Umožňuje přesnou výrobu prostorových tvarů jak v tříosém, tak i v pěti-osém obrábění. Stroj je vybaven řídicím systémem SINUMERIK 840D. Mezi volitelné vybavení stroje právě patří i nástrojové a obrobkové sondy.



Obr. 3.1 MCV 1210.²¹

Tab. 3.1 Základní parametry stroje MCV 1210.²¹

Pracovní pojezd	
osa X – křížový suport	1 000 mm
osa Y – příčnick	800 mm
osa Z – smykadlo	600 mm

Posuvy v osách X, Y, Z	
Maximální pracovní posuv	20 m/min
Rychloposuv	40 m/min
Maximální zrychlení os	5 m/s ²
Přesnost	
Odměřovací systém v ose X, Y, Z	přímý
Přesnost polohování v ose X,Y, Z	0,008 mm
Opakovaná přesnost v ose X, Y, Z	0,006 mm
Automatický zásobník nástrojů	
Maximální počet nástrojů v zásobníku	30
Čas výměny nástroje	3,5 s

3.2 Použité sondy

Výběr sond je důležitý krok, který je nutné dobře promyslet. Důležité je si uvědomit pro jakou aplikaci budou sondy použity a co od nich očekáváme. Jako první musíme zvolit správného výrobce sond, který bude nejlépe vyhovovat našim požadavkům. Poté si po konzultaci s výrobcem zvolíme sondy, které jsou vhodné pro náš stroj a pro naši aplikaci.

V praxi se výrobcí předloží pouze „problém“ a ten nám posléze předloží řešení s využitím vhodných sond. V případě nutnosti je možné i zakázkové řešení problému, tzn. úprava sondy či dotyku tak, aby vyhovoval přesně zákazníkovi.

Pro měření na stroji MCV 1210 bude použita obrobková sonda OMP400 (obr. 3.2) s keramickým, 100 mm dlouhým, dotekem. Pro měření nástrojů bude použita laserová nástrojová sonda NC4 (obr. 3.3). Optický přenos naměřených dat bude realizován pomocí modulu OMI-2. Tyto sondy jsou součástí nástrojového vybavení VUT Brno a dodala je firma Renishaw.

3.2.1 Obrobková sonda OMP400

Sonda OMP400 je kompaktní optickou sondou firmy Renishaw určenou pro malé a střední obráběcí stroje. Využívá novou generaci vysoce přesné tenzometrické technologie. Sonda OMP400 nabízí vylepšený algoritmus v elektronice sondy, který zajišťuje nižší změnu přejezdu pozice. Výhodou této sondy je jednoduchá kalibrace, která umožňuje měření v jakémkoliv směru ve 3D prostoru. Tenzometrická technologie navíc přináší výhodu, až desetinásobného prodloužení provozní životnosti oproti tradičním kinematickým sondám. Zlepšená tenzometrická struktura zvyšuje odolnost

sondy v nepříznivých pracovních podmínkách uvnitř pracovního prostoru obráběcího stroje.¹⁹



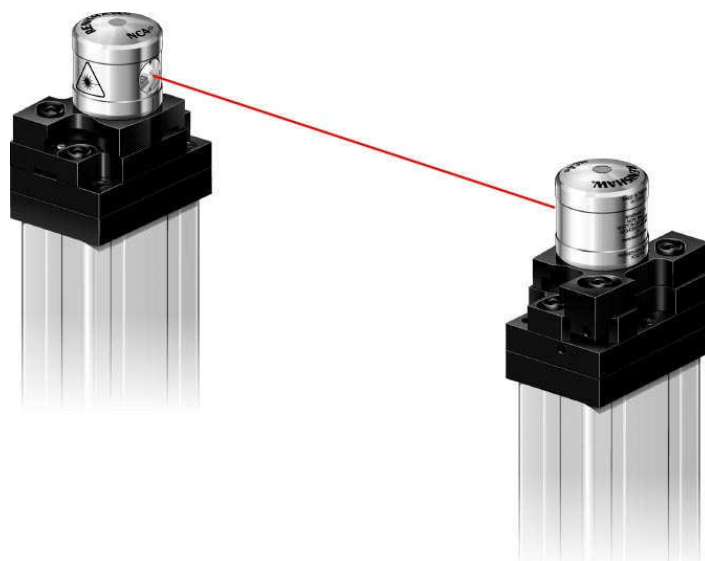
Obr. 3.2 OMP400.³

Tab. 3.2 Technické parametry OMP400.¹⁹

Primární použití	Sonda pro středně velká obráběcí centra
Provozní rozsah	do 5 m
Směry snímání	Vícesměrové: $\pm X$, $\pm Y$, $+Z$
Hmotnost (bez stopky) S bateriemi Bez baterií	262 g 242 g
Jednosměrná opakovatelnost	0,35 μm – pro dotek délky 100 mm
2D deformace v ose X, Y	$\pm 0,25 \mu\text{m}$ – pro dotek délky 100 mm
3D deformace v osách X, Y, Z	$\pm 1,75 \mu\text{m}$ – pro dotek délky 100 mm
Spínací síla X, Y směr $+Z$ směr	0,06 N 2,55 N
Vychýlení dotyku X, Y směr $+Z$ směr	$\pm 11^\circ$ 6 mm

3.2.2 Nástrojová sonda NC4

Systém NC4 je laserový bezkontaktní systém nastavování nástrojů umožňující vysokorychlostní a velmi přesné měření řezných nástrojů v obráběcích centrech za normálních provozních podmínek. Při pohybu nástroje přes laserový paprsek systém detekuje jeho přerušování. Výstupní signály odeslané do řídicího systému umožňují určit přítomnost nástroje a polohu břitů (detekce poškozených nástrojů).²²

Obr. 3.3 Nástrojová sonda NC4.²²Tab. 3.3 Technické parametry NC4.²²

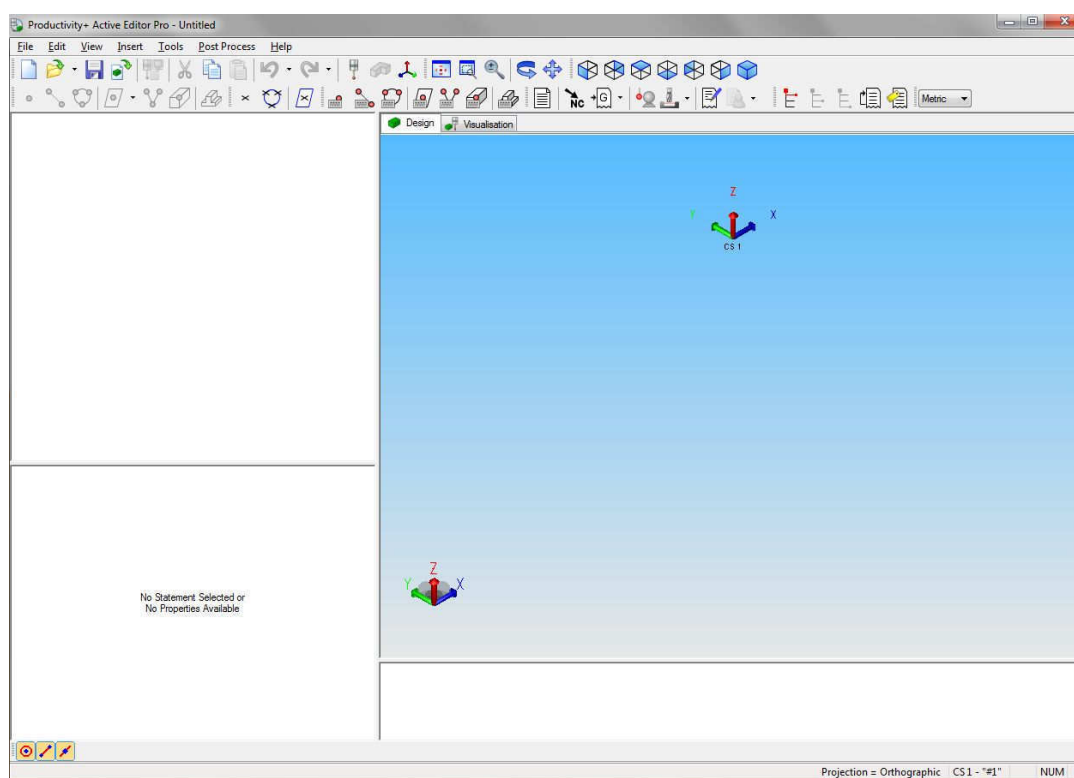
Hlavní využití	Velmi přesné vysokorychlostní bezkontaktní měření nástrojů a detekce poškození nástrojů u vertikálních a horizontálních obráběcích center
Typ laseru	Červený viditelný paprsek < 1 mW, 670 nm
Rozměry	Oddělený systém: 30 mm (průměr) x 35 mm (délka)
Typická opakovatelnost	$\pm 0,25 \mu\text{m}$, 2σ při rozestupu 0,2 m
Min. průměr při ustavování nástrojů	0,2 mm nebo větší, podle rozestupu a nastavení
Min. průměr nástrojů při detekci poškození	0,1 mm nebo větší, podle rozestupu a nastavení
Systém zabezpečení parametrů vzduchu	Tlak vzduchu vyšší než 2 bary, spotřeba vzduchu 8litrů/min
Napájení	120 mA při 12 V, 70 mA při 24 V
Teplotní meze	
- Provozní	+ 5 °C až + 50 °C
- Skladovací	- 10 °C až + 70 °C

3.3 Implementace měření

Po zvolení sond následuje tvorba měřících cyklů. Měřící cykly můžeme vytvořit třemi způsoby:

- pomocí dialogových oken dílensky orientovaného programování
- pomocí příkazů v tzv. ISO formátu
- pomocí specializovaného softwaru

Pro zvolené příklady bude použito vytváření měřících cyklů pomocí specializovaného softwaru Productivity+ Active Editor Pro, firmy RENISWAW. Productivity+ je produkt zcela nezávislý na řídicím systému stroje, umožňuje tak dálkové vytváření měřících cyklů.



Obr. 3.4 Pracovní prostředí Productivity+ Active Editor Pro

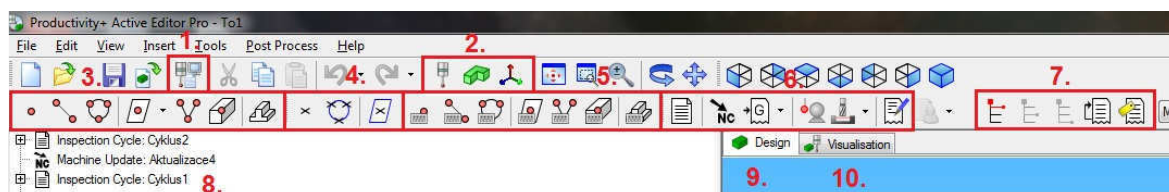
Softwaru využívá pro tvorbu cyklů grafické uživatelské rozhraní (GUI). Po načtení modelu z některého z CAD programů může začít programování cyklů. Na importovaný model jsou postupně vkládány měřící body, které se využijí k ustavení obrobku nebo k samotnému měření již vyrobených konstrukčních prvků. Měřící body se jednoduše vkládají na měřený model kliknutím myši. Všechna měření mohou být zaznamenána do protokolu (textový soubor). Protokol může obsahovat kontrolu tolerance (shoda/chyba). Kromě měření obrobku je možné realizovat i automatické měření nástrojů. Celou měřící sekvenční lze i s pohybem sondy simulovat pomocí funkce Visualisation. To nám umožní odhalit chyby a zamezit tak případné kolizi sondy s obrobkem.

Naprogramovaná měření se na obrazovce skládají do stromové struktury. Výhodou Productivity+ je možnost vkládání nebo úprava jakékoliv ISO funkce vložené do stromové struktury. Snadno pak lze vkládat programové skoky, pracovat s výpočetními R-parametry nebo vkládat logické větvení (If...then, Elseif a Else). Výsledné NC programy pak provádějí nejen ustavování obrobků a transformaci souřadného systému, ale i obrábění a následnou kontrolu obrobků ploch. Doplníme-li k tomu logiku, pak můžeme vytvořit NC programy, které budou nejen obrábět, ale i samy si kontrolovat proces obrábění a samy rozhodovat o dalším dokončovacím obrábění.

3.3.1 Pracovní prostředí softwaru Productivity+

Přehled skupin funkcí používaných pro vytváření měřicích cyklů:

1. Postprocessor – generuje měřicí cykly a vložené G-kódy zpět do NC formátu
2. Skupina ikon umožňujících nadefinování měřicí sondy, práci s importovaným modelem a práci se souřadnými systémy
3. Skupina ikon umožňující vytváření měřicích prvků na modelu
4. Skupina ikon umožňující vytváření konstruovaných prvků (např. změřit se díry a pomocí ikony konstruovaná kružnice se určí (vypočte) roztečná kružnice
5. Skupina ikon umožňující měření prvků modelu pomocí ručně definovaných bodů a nájezdů
6. Skupina ikon umožňující (popis zleva do prava): vytvoření nového měřicího cyklu, aktualizaci strojních dat, vložení G-kódu, kalibraci sondy, měření nástrojů a vytvoření protokolu o měření
7. Skupina ikon umožňuje vkládání logických operací a programové skoky
8. Vytvářená stromová struktura se všemi vloženými prvky a cykly
9. V záložce Design (návrh) probíhá veškerá práce s modelem a vkládáním měřicích cyklů
10. Záložka Visualisation (vizualizace) slouží pro spuštění simulace měření, v případě kolize sondy a obrobku dojde k zastavení a zobrazí se protokol o kolizi



Obr. 3.5 Přehled ikonového menu

4 NÁVRH TESTOVACÍCH OBROBKŮ A ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE

Popis principů a možností využití dnešních měřicích sond bude aplikován na dvou vzorových příkladech. Tyto příklady mají za úkol představit práci se sondami, tzn. vytváření měřicích cyklů, měření a ustavování obrobků, měření a kontrolu nástrojů, vytváření logických úloh a představit vzájemnou provázanost softwarů.

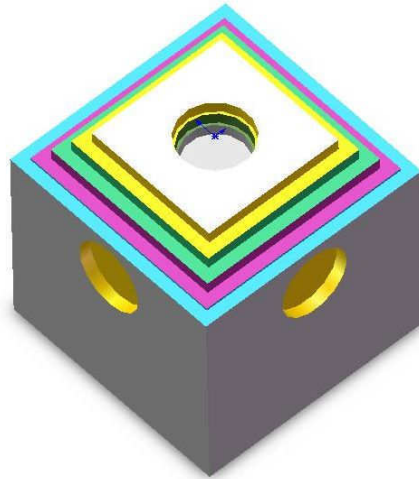
Jako první se začalo namodelováním 3D modelů jednotlivých součástí. Kromě toho, že nám 3D modely dávají jasnou představu o tom, jak daná součást vypadá, budou i jednotlivé modely použity při tvorbě měřicích cyklů v softwaru Productivity+. Po tvorbě 3D modelů následovalo vytvoření technických výkresů.

4.1 Příklad 1

Testovací obrobek 1 (dále jen To1, Obr. 4.2) použitý v prvním příkladu je navržen dle modelu testovacího dílce (Obr. 4.1), vytvořeného spoluprací firem TAJMAC–ZPS (firma zabývající se komplexním vývojem a výrobou obráběcích strojů) a RENISHAW (firma zabývající se vývojem a výrobou metrologických systémů). Tato součást má za úkol otestovat přesnost obrábění stroje MCV 1210.

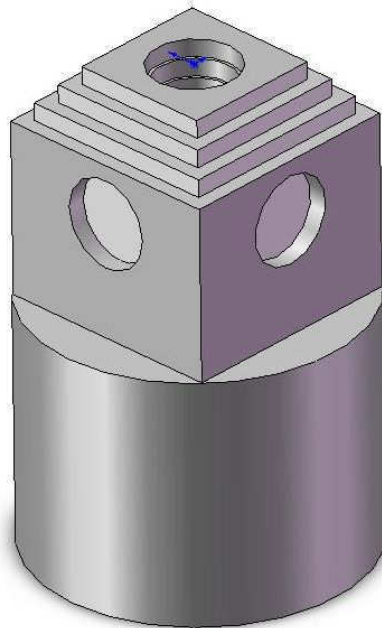
Cílem testu je ověřit stav seřízení stroje a porovnat informace o stavu stroje získané měřením (měření stroje pomocí QC20-W, viz kapitola 1.4) se skutečností získanou obrobením testovacího dílce. Po obrobení se součást bude měřit a vyhodnocovat na CMM ve firmě Renishaw. Z důvodů časové náročnosti bude v diplomové práci realizováno pouze obrábění součásti.

Pro ukázkou metodiky měření součásti v pěti-osách bude využit softwaru Produktivity+.



Obr. 4.1 Testovací dílec.

To1 je upraven tak, aby šel vyrobit na stroji MCV 1210 patřící pod Ústav strojírenské technologie, fakulty FSI VUT v Brně a zároveň, tak aby nedošlo k ovlivnění obráběcích a měřících cyklů.



Obr. 4.2 Testovací obrobek 1.

Některé hrubovací a dokončovací operace probíhají v pěti osách, proto bylo nutné upravit vyložení obrobku, aby nedošlo při natočení stolu ke kontaktu s vřetenem stroje. Ostatní rozměry To1 (viz. Příloha 1) jsou upraveny tak, aby odpovídaly zvolenému polotovaru. Kritériem výběru materiálu byla snadná obrobitelnost, proto byla pro To1 zvolena, jako materiál, slitina hliníku.

4.1.1 Volba nástrojů a řezných podmínek

Pro frézování bude použit nástroj z rychlořezné oceli. Řezná rychlost, posuv a šířka záběru byly zvoleny dle doporučených řezných podmínek a možností stroje.

Řezné podmínky pro frézu průměru 20 mm:

Řezná rychlost:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_C = 250$ m/min
- řezná rychlost pro dokončování: $v_C = 300$ m/min

Posuv:

- posuv pro hrubování: $f = 1500$ mm/min
- posuv pro dokončování: $f = 500$ mm/min

Hloubka řezu:

- hloubka řezu pro hrubování: $a_p = 5$ mm
- hloubka řezu pro dokončování: $a_p = 0,2$ mm

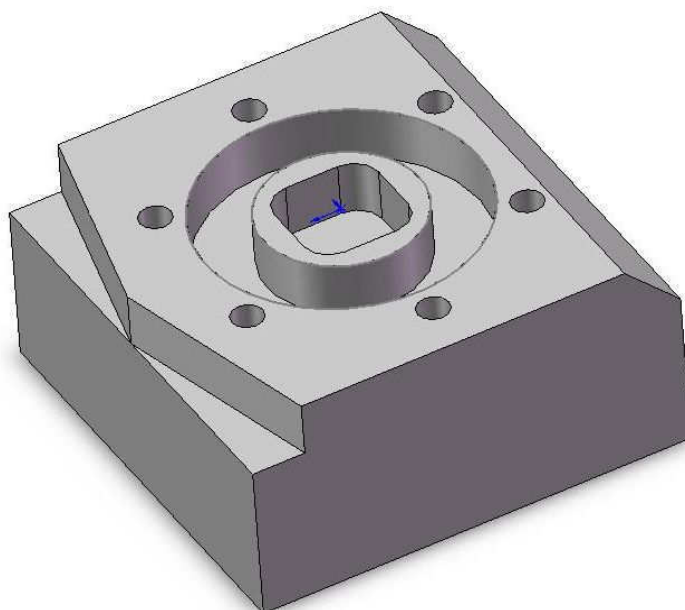
Výpočet otáček frézy:

$$\text{Hrubování} \quad n_H = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{250 \cdot 1000}{20 \cdot \pi} = 3978 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

$$\text{Dokončování} \quad n_D = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{300 \cdot 1000}{20 \cdot \pi} = 4774 \text{ min}^{-1} \quad (4.2)$$

4.2 Příklad 2

Testovací obrobek 2 (dále jen To2, obr. 4.3) použitý v druhém příkladu má čistě cvičný charakter. Úkolem je vytvořit NC program, který bude umět ustavit obrobek, změřit korekce používaných nástrojů, obrábět, korigovat nepřesnosti obrobených prvků, provést kontrolu zlomení nástroje a nakonec proměřit požadované rozměry. Vše výše uvedené bude realizováno jedním programem, který nebude vyžadovat zásah obsluhy stroje.



Obr. 4.3 Testovací obrobek 2.

4.2.1 Volba nástrojů a řezných podmínek

To2 se bude vyrábět ze slitiny hliníku. Pro frézování a vrtání budou použity nástroje z rychlořezné oceli. Řezná rychlost, posuv a šířka záběru byly zvoleny dle doporučených řezných podmínek a možností stroje.

Řezné podmínky pro frézu průměru 10 mm:

Řezná rychlost:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_c = 250$ m/min
- řezná rychlost pro dokončování: $v_c = 300$ m/min

Posuv:

- posuv pro hrubování: $f = 795$ mm/min
- posuv pro dokončování: $f = 477$ mm/min

Hloubka řezu:

- hloubka řezu pro hrubování: $a_p = 5$ mm
- hloubka řezu pro dokončování: $a_p = 0,5$ mm

Výpočet otáček frézy:

$$\text{Hrubování} \quad n_H = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{250 \cdot 1000}{10 \cdot \pi} = 7957 \text{ min}^{-1} \quad (4.3)$$

$$\text{Dokončování} \quad n_D = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{300 \cdot 1000}{10 \cdot \pi} = 9549 \text{ min}^{-1} \quad (4.4)$$

Řezné podmínky pro frézu průměru 80 mm:

Řezná rychlost:

- řezná rychlost pro hrubování: $v_C = 200$ m/min
- řezná rychlost pro dokončování: $v_C = 250$ m/min

Posuv:

- posuv pro hrubování: $f = 1500$ mm/min
- posuv pro dokončování: $f = 1200$ mm/min

Hloubka řezu:

- hloubka řezu pro hrubování: $a_p = 4$ mm
- hloubka řezu pro dokončování: $a_p = 0,5$ mm

Výpočet otáček frézy:

$$\text{Hrubování} \quad n_H = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{200 \cdot 1000}{80 \cdot \pi} = 795 \text{ min}^{-1} \quad (4.5)$$

$$\text{Dokončování} \quad n_D = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{250 \cdot 1000}{80 \cdot \pi} = 995 \text{ min}^{-1} \quad (4.6)$$

Řezné podmínky pro vrták průměru 6 mm:

- řezná rychlost: $v_C = 80$ m/min
- posuv: $f = 530$ mm/min

Výpočet otáček frézy:

$$n_H = \frac{v \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{80 \cdot 1000}{6 \cdot \pi} = 4245 \text{ min}^{-1} \quad (4.7)$$

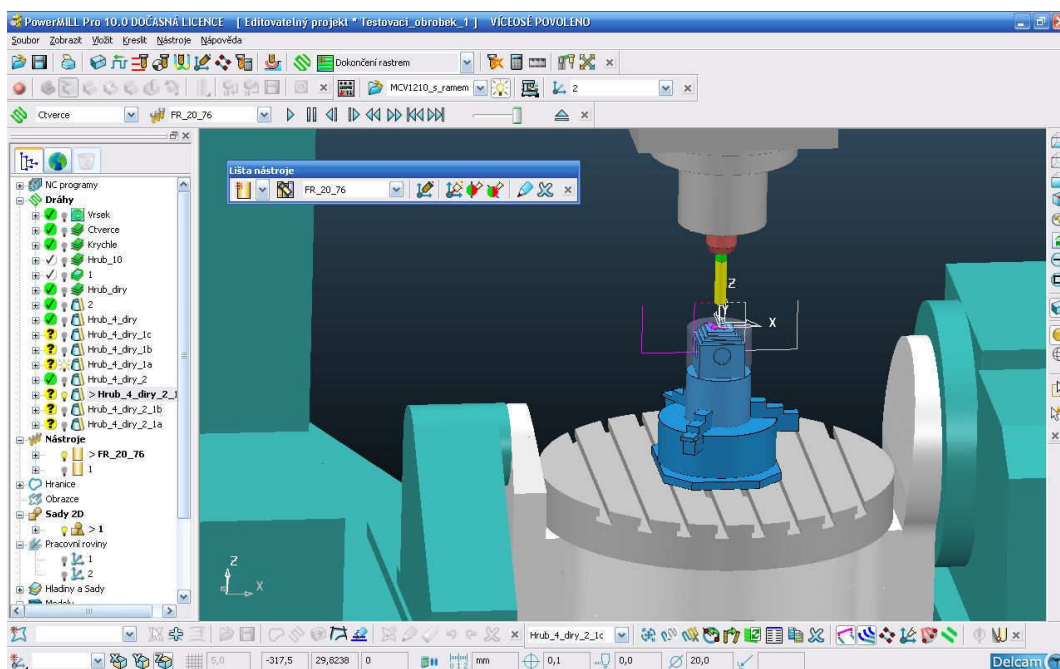
5 PRAKTICKÁ REALIZACE OBRÁBĚNÍ A MĚŘENÍ

5.1 Testovací obrobek 1

Při tvorbě NC programu To1 (Obr. 4.2), se vycházelo z NC programu testovacího dílce (Obr. 4.1) firmy TAJMAC-ZPS. Tento program je tvořen třemi hlavními programy a čtrnácti podprogramy. Po prostudování tohoto NC programu bylo rozhodnuto, že hrubování polotovaru bude provedeno pomocí softwaru PowerMill. Dokončování bude realizováno dle metodiky výchozího hlavního programu. Měření bude vytvořeno pomocí softwaru Produktivity+.

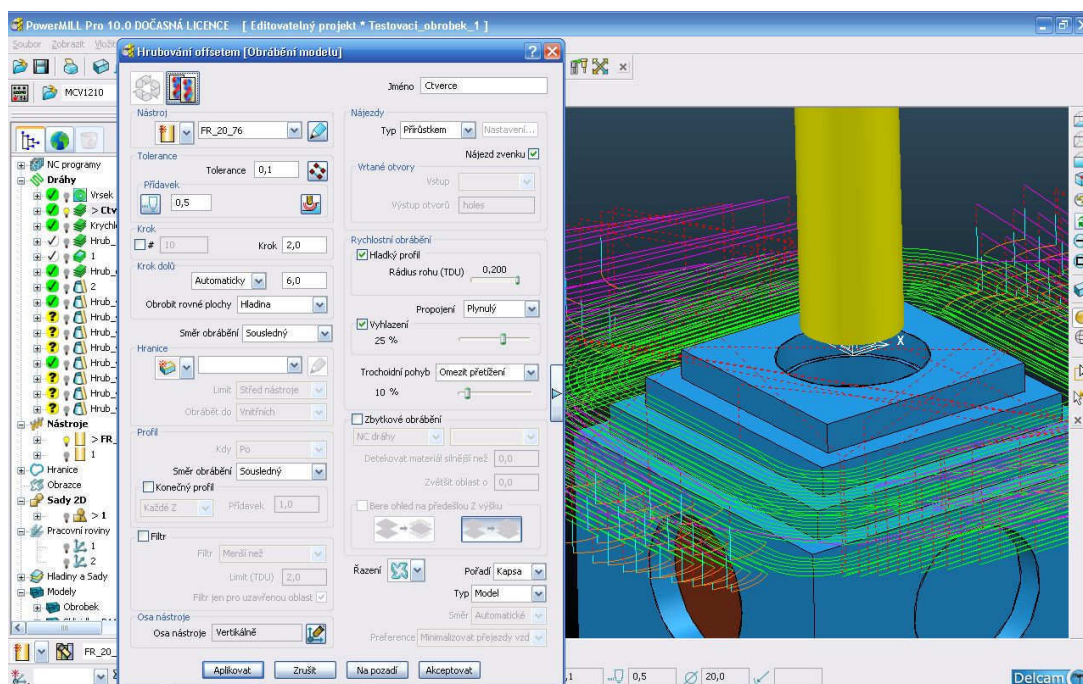
5.1.1 Hrubování

Základem pro vytvoření správného hrubovacího NC programu v softwaru PowerMill, bylo vymodelování přesného modelu. Po vytvoření se model importoval do PowerMill, kde se provedla analýza, tzn. kontrola nejmenšího rádiusu, umístění, modelu, úhlů a další prvků. Analýza je důležitá pro volbu správné strategie obrábění. Polotovaz byl definován na základě geometrie modelu (válec průměru 110 mm).



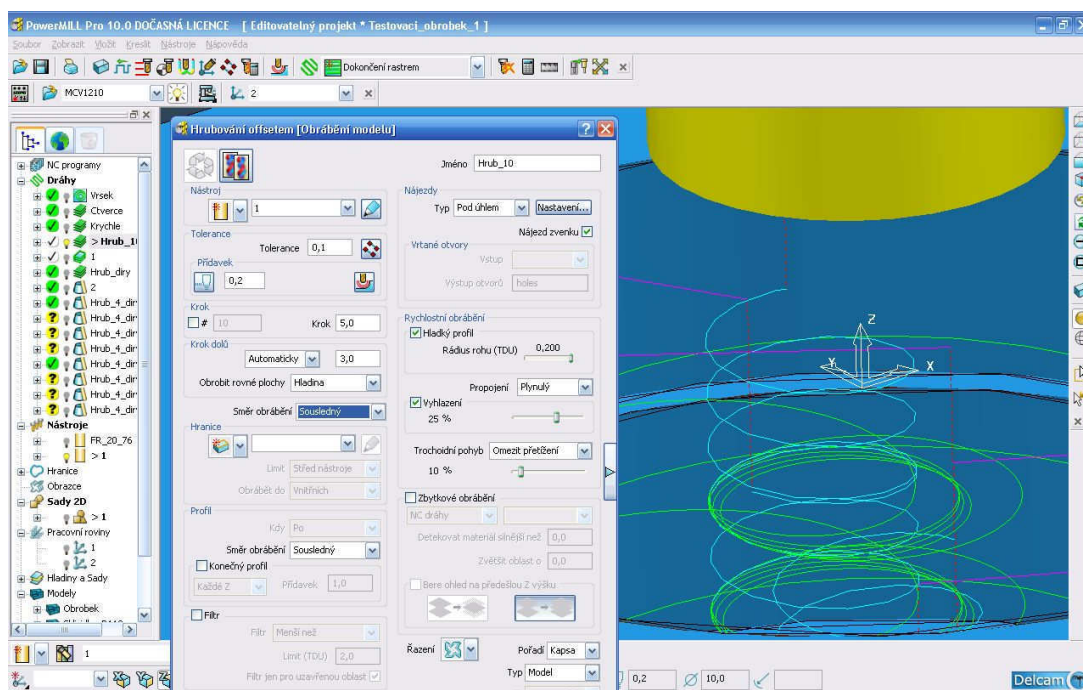
Obr. 5.1 Zobrazení umístění To1 na stroji.

Jako hrubovací strategie byla zvolena tzv. offset conture, jejímž cílem je odebrání co největšího množství materiálu. Řezné podmínky odpovídají zvolenému nástroji (viz. kapitola 4.1.1) a způsobu upnutí. Obrábění bude probíhat sousledně s krokem 2 mm. Nájezdy jsou voleny přírůstkově z venku. Přídavek na dokončení je volen 0,5 mm. Ostatní nastavení viz. Obr. 5.2.



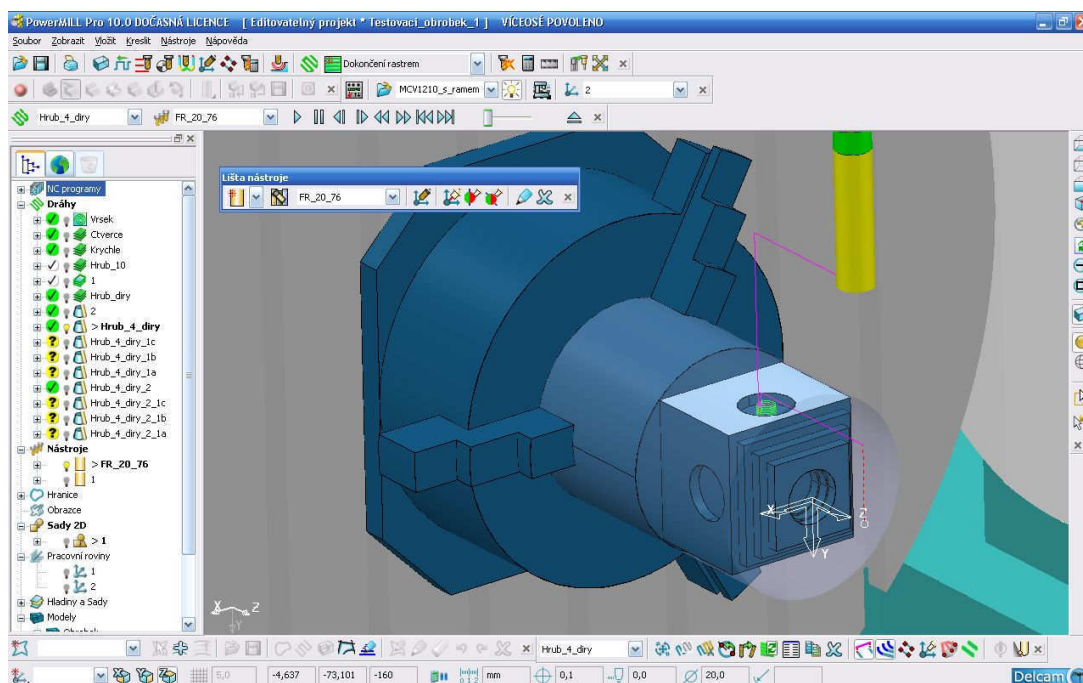
Obr. 5.2 Nastavení hrubování offsetem.

Kruhává kapsa je hrubována po spirálové dráze, po najetí do finální hloubky je kapsa projeta po kruhové dráze. Tímto způsobem jsou obráběny i zbylé dvě kruhové kapsy. Najíždění nástroje do díry je pod úhlem, s krokem 3 mm. Přídavek na dokončení je volen 0,2 mm. Popsané dráhy a ostatní nastavení viz. Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Zobrazení drah a nastavení offsetu při hrubování děr.

Pro hrubování bočních děr byla použita stejná strategie jako u horních děr, pouze došlo k natočení stolu tak, aby bylo možné provést obrábění.



Obr. 5.4 Hrubování boční díry.

5.1.2 Dokončování

Hlavní program pro dokončování (celý program viz. Příloha 3) a s ním související podprogramy byly odsimulovány a přeprogramovány pomocí řídicího softwaru Sinumerik 840D a jeho výukové verze Sinutrain. Dokončování je stěžejní operace, kterou je testován stroj.

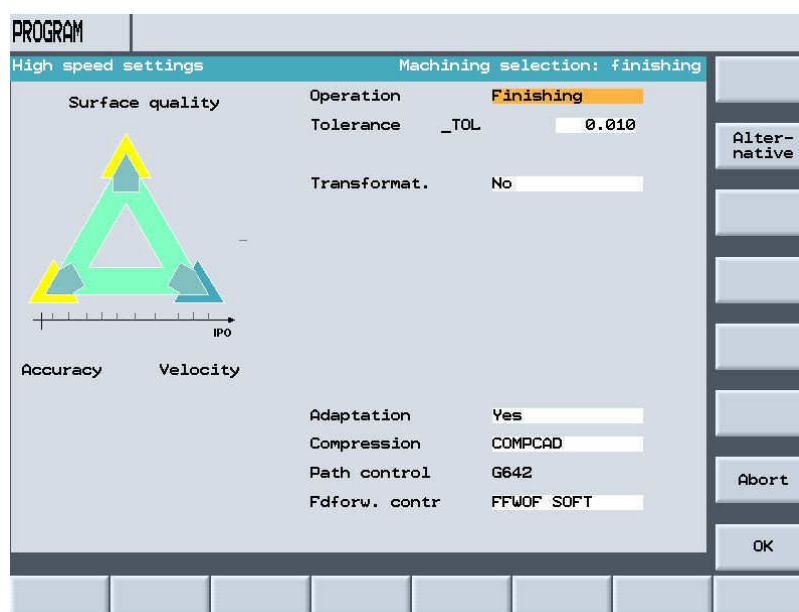
Testování a simulace programu:

Na začátku se provede základní nastavení programu a přerovnání polotovaru. Pro řízení podprogramu PREROVNANI se využije cyklus 832, který automaticky optimalizuje nastavení parametrů pro výkon, kvalitu povrchu a přesnost.

G17	- rovina XY,
G90 G40	- absolutní programování, vypnutí korekcí
M11	- odbrzdění otočného stolu – 4. osa
M21	- odbrzdění otočného stolu – 5. osa
G54	- nastavení nulového bodu
T="FR_20_76"	- číslo nástroje
M6	- výměna nástroje
S5000 M3	- nastavení otáček, zapnutí vřetena
CYCLE832(0.01,2001)	- optimalizace nastavení
G1 A0 C0 F3000	- nulování pozice stolu
G0 X0 Y0	- najetí do pozice

Při simulaci vznikl problém s cyklem 832, systém zobrazil chybové hlášení: 12 550 – Kanál1 Blok: název CYCLE832 není definován, není k dispozici opce.

Pro odhalení chyby byl podrobněji prostudován cyklus 832. Dle výrobce je cyklus 832 standardní technologický cyklus, který se využívá k podpoře při obrábění volných kontur (ploch) ve 3, eventuálně 5 osách v režimu HSC. Cyklus zajišťuje rychlou adaptaci nastavení na strategii obrábění. Při hrubování leží těžiště obrábění v rychlosti opracování, při dokončování je v maximální míře zohledňována dosažená přesnost. V obou případech je zadanou tolerancí dodržována opracovávaná kontura tak, aby bylo dosaženo požadované kvality povrchu.²³

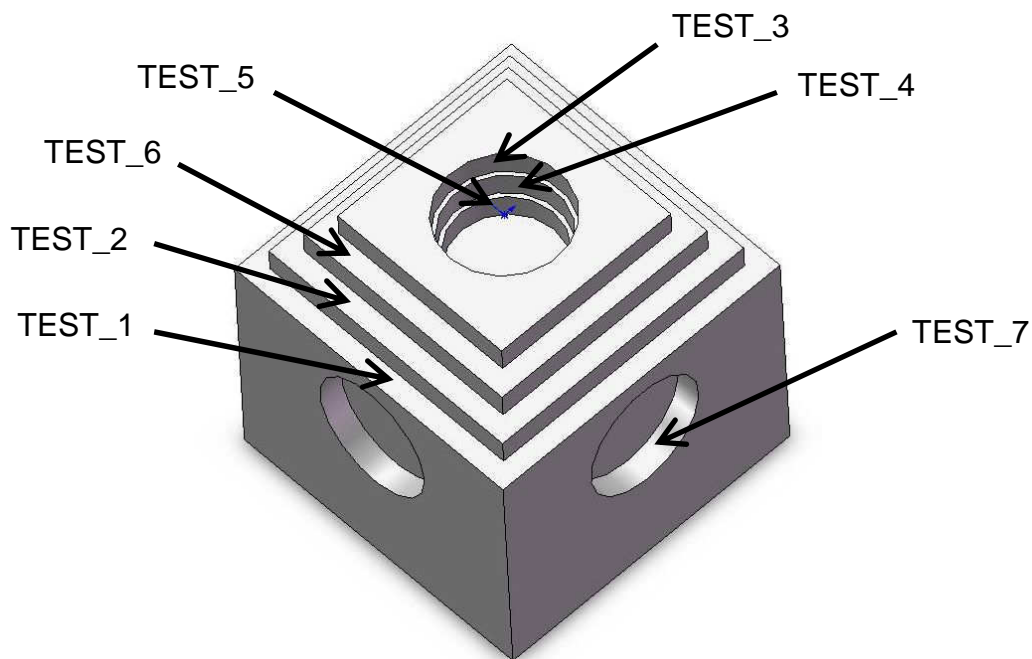


Obr. 5.5 Zobrazení cyklu 832.

Po konzultaci s firmou Siemens byl cyklus 832 nahrazen těmito příkazy:

FFWOF	- zapnutí dopředné regulace
SOFT	- omezení trhavých pohybů
COMPCAD	- zapnutí kompresoru, zvyšuje přesnost
G642	- zaoblení s tolerancemi pro jednotlivé osy

Po aplikování těchto čtyř příkazů, simulace proběhla bez problémů, cyklus 832 byl z programu vyblokován.



Obr. 5.6 Zobrazení podprogramů na modelu.

Podprogram TEST_1 je programován tak, aby nástroj objel největší osazení (viz. Obr. 5.1).

Hlavní program:

TEST_1 - volání podprogramu
G0 Z200 - odjezd do bezpečné pozice

Podprogram TEST_1:

G0 X-41.000 Y49.000 Z50.000 - najetí nad polotovar rychloposuvem
Z-15.000
G1 Z-18.000 F600. - najetí pracovním posuvem
G41 X-41.000 Y33.500 - zapnutí korekcí a obrábění
X33.500
Y-33.500
X-33.500
Y39.000
G40 X-45.000 Y45.000 - vypnutí korekcí
G0 Z100.000 - odjezd do bezpečné vzdálenosti
M17 - konec podprogramu

V podprogram TEST_2 (viz Obr. 5.1) se k obrábění využívá otočného stolu. Nástroj obrobí jednu hranu, poté dojde k otočení stolu pomocí cyklu 800 a projetí další hrany. Takto se obrobí všechny čtyři hrany. Cyklus 800 otáčí stolem tak, že se zachovává poloha nulového bodu (stroj neustále ví, kde nulový bod leží), tím je zajištěna správná poloha pro následné obrábění.

Hlavní program:

TEST_2 - volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",0,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
- otočení stolu

TEST_2 - volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
- otočení stolu

TEST_2 - volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
- otočení stolu

TEST_2 - volání podprogramu
G0 Z200 - odjezd do bezpečné vzdálenosti

Podprogram TEST_2:

G0 X44 Y-41 Z50 - najetí rychloposuvem
Z-9
G1 Z-12 F600 - najetí pracovním posuvem
G41 X44 Y-28.5 - zapnutí korekcí a obrábění
X-44
G40 X-44 Y-44 - vypnutí korekcí, odjezd od polotovaru
G0 Z100 - odjezd do bezpečné vzdálenosti
M17

V podprogramu TEST_3 se provádí dokončování první horní díry (viz Obr. 5.1). K tomu se využívá cyklu kruhová kapsa (pocket4). Obrábění probíhá při vypnutých transformacích a korekcích.

Hlavní program:

CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
- znulování cyklu 800

TEST_3 - volání podprogramu
G0 Z200 - odjezd do bezpečné vzdálenosti

Podprogram TEST_3:

G17 G90 G40
G54
G1 A0 C0 F3000 - znulování 4. a 5. osy
G0 X0 Y0 - najetí rychloposuvem
POCKET4(50,0,3,-6,15,0,0,100,0,0.1,500,500,3,12,,,,,)
- nadefinovaná kruhová kapsa

G0 Z100 - odjezd do bezpečné vzdálenosti
M17

V podprogramu TEST_4 se provádí dokončování druhé horní díry (viz Obr. 5.1). K tomu se využívá cyklu kruhová kapsa (pocket4). Obrábění probíhá při zapnutých transformacích, využívá se funkce TRANSMIT.

Hlavní program:

G1 A0 C0 F3000 - znulování 4. a 5. osy
 G0 X0 Y0 - najetí rychloposuvem
 TEST_4 - volání podprogramu
 G0 Z200 - odjezd do bezpečné vzdálenosti

Podprogram TEST_4:

G17 G90 G40
 G0 X0 Y0
 CYCLE800(0,"STUL",0,39,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
 - natočení stolu
 TRANSMIT - aktivování transformací
 POCKET4(50,0,3,-12,14,0,0,100,0,0,1,150,100,3,1012,,,,)
 - nadefinovaná kruhová kapsa
 CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
 - znulování cyklu 800
 TRAFOOF - deaktivování pěti-osé transformace
 G0 Z100 - odjezd do bezpečné vzdálenosti
 G54
 M17

V podprogramu TEST_5 se provádí dokončování třetí horní díry (viz Obr. 5.1). Nástroj najíždí pracovním posuvem na dno kruhové kapsy. Následně najede do pozice uložené v parametru R1 (parametr R1 se vypočítá z hodnot uložených v paměti korekcí řezných nástrojů). Po najetí se přepne absolutní programování do inkrementálního a provede se otočení stolu o 360° (stůl se otočí kolem nehybného nástroje), tím dojde k dokončení díry.

Hlavní program:

G1 A0 C0 F3000 - znulování 4. a 5. osy
 G0 X0 Y0 - najetí rychloposuvem
 TEST_5 - volání podprogramu
 G0 Z200 - odjezd do bezpečné vzdálenosti

Podprogram TEST_5:

G17 G90 G40
 CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
 - znulování cyklu 800
 G54
 R1=13 - uložení hodnoty do parametru
 R1=R1-
 ((\$TC_DP6[\$TC_MPP6[9998,1],1])+(\$TC_DP15[\$TC_MPP6[9998,1],1]))
 - uložení do parametru hodnoty z paměti korekcí řezného nástroje
 G1 A0 C0 F3000 - znulování 4. a 5. osy
 G0 X0 Y0
 G0 Z5
 G1 Z-13 F1000 - najetí pracovním posuvem
 G1 Z-18 F100

G1 X=R1 F100	- najetí do pozice uložené v parametru R1
G1 G91 C360 F300	- zapnutí inkrementálního programování, otočení stolu o 360°s posuvem F
G1 G90 X0 F2000	- zapnutí absolutního programování a odjetí z místa řezu
G0 Z200 C0	- odjezd do bezpečné vzdálenosti, otočení stolu do nulové polohy
M17	

V podprogramu TEST_6 (viz. Obr. 5.1) se k obrábění využívá otočného stolu. Stůl se pomocí cyklu 800 naklopí o 90°, poté se zavolá podprogram, který obrobí první hranu. Po obrobení dojde k otočení stolu do další pozice (stůl zůstává stále naklopen) a obrábí se další hrana, postup se opakuje, dokud není obrobeno celé osazení.

Hlavní program:

CYCLE800(1,"STUL",0,39,0,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)	- otočení a naklopení stolu
TEST_6	- volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)	- otočení stolu
TEST_6	- volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)	- otočení stolu
TEST_6	- volání podprogramu
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)	- otočení stolu
TEST_6	- volání podprogramu
G0 Z200	
CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)	- znulování cyklu 800
G1 A0 C0 F3000	- znulování 4. a 5. osy

Podprogram TEST_6:

G17 G90 G40	- vypnutí korekcí
G0 Y0	- najetí rychloposuvem
G0 X-54 Y10 Z100	
Z27	
G1 Z23.5 F600	
G41 X-54 Y-6	- zapnutí korekcí a obrábění
X54	
G40 X54 Y10	- vypnutí korekcí, odjezd od polotovaru
G0 Z100	- odjezd do bezpečné vzdálenosti
M17	

V podprogramu TEST_7 (viz. Obr.5.1) se dokončují boční díry. Stůl se pomocí cyklu 800 naklopí o 90°, poté dojde k posunu tí nulového bodu do středu boční díry, kde dojde k obrábění. K posunutí nulového bodu se využije funkce TRANS. Obrábění děr je realizováno pomocí cyklu kruhová kapsa.

Hlavní program:

CYCLE800(1,"STUL",0,39,0,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
- otočení a naklopení stolu
TRANS Y-38 Z38.5
- absolutní posunutí počátku aktivního nulového bodu do středu boční díry
TEST_7
- volání podprogramu
TRANS
- návrat nulového bodu do výchozí pozice
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)
- otočení stolu
TRANS Y-38 Z38.5
TEST_7
TRANS
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)
TRANS Y-38 Z38.5
TEST_7
TRANS
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)
TRANS Y-38 Z38.5
TEST_7
TRANS
CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
- znulování cyklu 800
G0 Z200
- odjezd do bezpečné vzdálenosti
M30
- konec hlavního programu

Podprogram TEST_7:

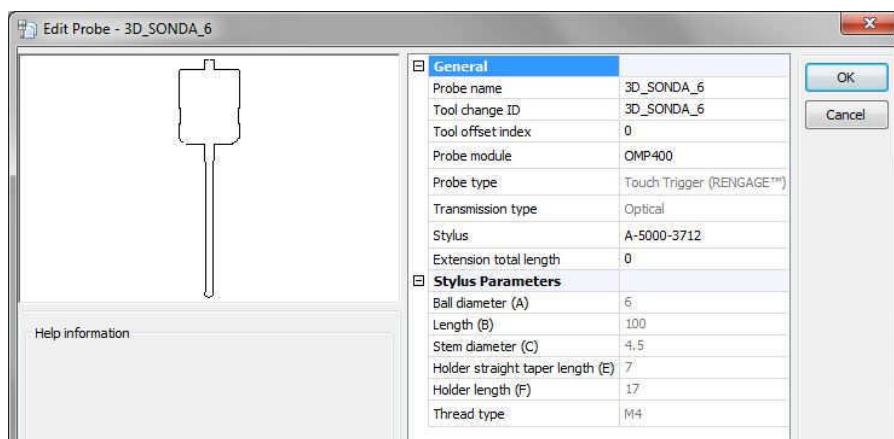
G17 G90 G40
- nastavení podprogramu
G0 X0 Y0
- nájezd rychloposuvem
POCKET4(50,0,3,-6,15,0,0,100,0,0,1,500,100,3,12,,,,,)
- nadefinovaná kruhová kapsa
g0 z100
M17

5.1.3 Měření

Pro vytvoření měřicích cyklů bylo použito softwaru Productivity+. Úkolem bylo ukázat metodiku měření součásti v pěti-osách. Na To1 bylo naprogramováno měření všech obráběných prvků. Na závěr byly postprocesorem vygenerovány jednotlivé NC programy.

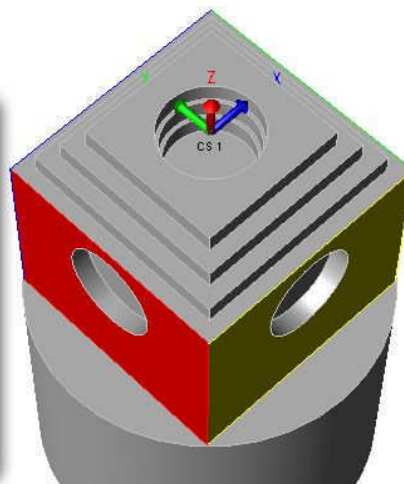
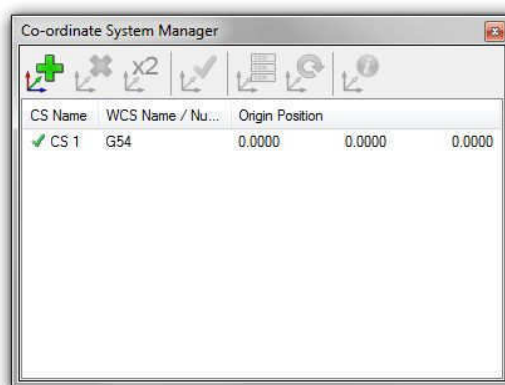
Postup:

- Načtení modelu To1.
- Nadefinování sondy, kterou budeme realizovat měření.



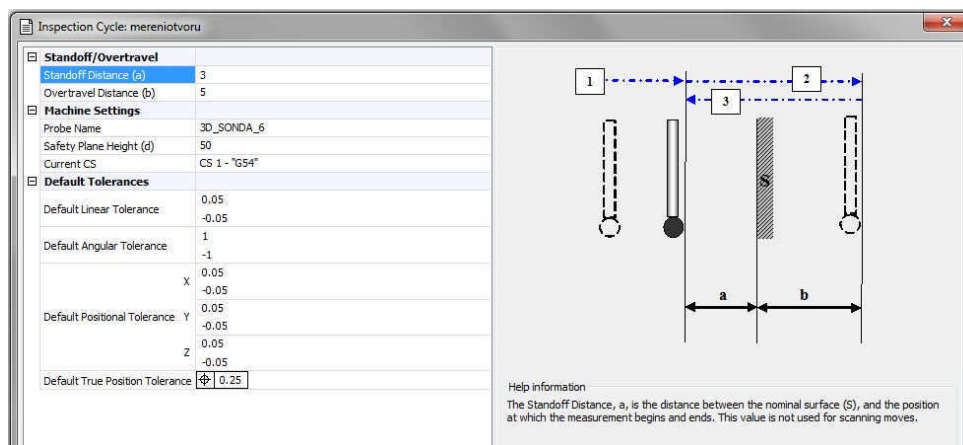
Obr. 5.7 Parametry měřicí sondy.

- Výchozí nulový bod je shodný s nulovým bodem použitým při obrábění.



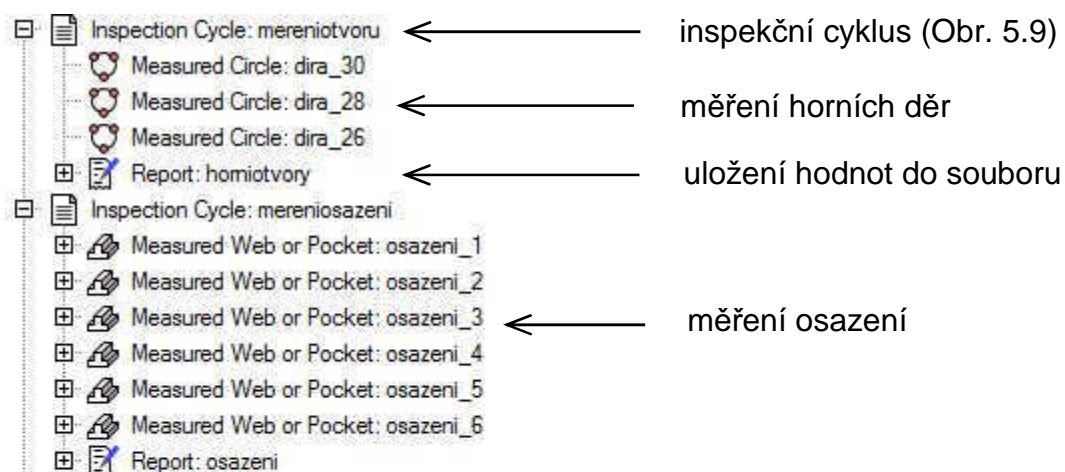
Obr. 5.8 Nulový bod To1.

- Vytvoření a nadefinování inspekčních cyklů, které řídí měřicí cykly.

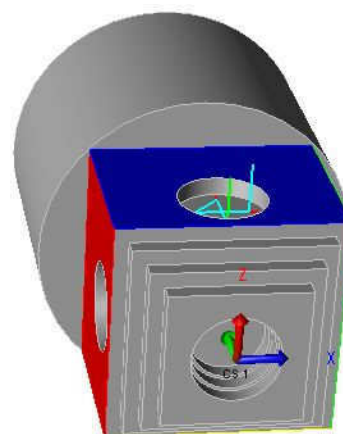
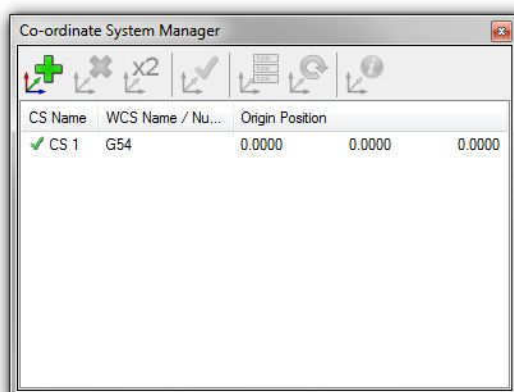


Obr. 5.9 Inspekční cyklus.

- Vytvoření měřicích cyklů pro měření horních děr a osazení.

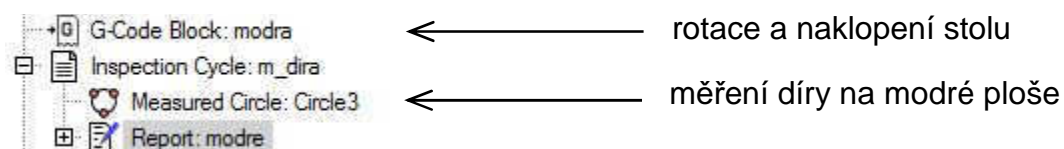


- Pro měření bočních děr musí dojít k vytvoření nových dokumentů, kde bude pro každou díru jinak nadefinován nulový bod, celkem tak bude vytvořeno pět měřicích programů s pěti různými nulovými body.

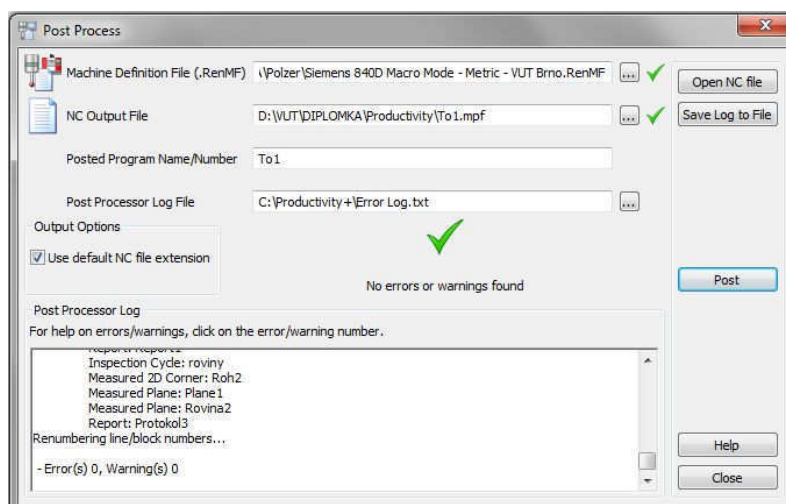


Obr. 5.10 Nulový bod pro měření boční díry na modré ploše.

- Vytvoření měřicího cyklu pro měření boční díry na modré ploše.



- Postup pro ostatní boční díry je totožný, vždy se vytvoří nulový bod tak, aby odpovídal měřené boční díře.
- Posledním krokem je vygenerování NC kódu postprocesorem pro všechny měřicí programy.



Obr. 5.11 Postprocesor

5.1.4 Realizace To1 na stroji MCV 1210

Po provedení simulací bylo možno přejít k praktické realizaci obrábění a měření. Přenos dat byl realizován USB zařízením. Po upnutí polotovaru do sklíčidla a nastavení nulového bodu, bylo spuštěno hrubování. Hrubování To1 proběhlo bez komplikací.



Obr. 5.12 To1 po hrubování.

Dokončování probíhalo bez problémů až po realizaci podprogramu TEST_6. Při naklopení stolu došlo k chybnému nájezdu nástroje. Nástroj najel do jiné pozice, než bylo definováno hlavním programem. Po podrobném zkoumání bylo zjištěno, že při naklopení stolu cyklem 800, dojde k chybné transformaci nulového bodu. Chyba je nejspíše způsobena chybným

nadefinováním otočného stolu v systému. Pro odstranění této závady, byla použita obrobková sonda, kterou došlo k přeměření rozdílu pozice skutečného a předpokládaného nulového bodu. Zadáním tohoto rozdílu do transformace v cyklu 800 by mělo dojít k nápravě. Po úpravě cyklu 800, bylo testováním zjištěno, že pořad dochází k chybné transformaci. Proto bylo dokončování zastaveno, dokud nedojde k opravě stroje. Oprava stroje nebyla realizována, před odevzdáním této diplomové práce, proto TEST_6 a TEST_7 (viz. Obr. 5.6) nebyly dokončeny.

Nefunkčností transformací bylo ovlivněno i následné měření, ve kterém bylo také použito cyklu 800 pro naklopení a natočení stolu. Narozdíl od obrábění mohlo být měření dokončeno, protože rozdíl, který bránil v dokončení u obrábění, byl sondou kompenzován (sonda kompenzuje špatné ustavení až v rámci několika milimetrů). Proto byla provedena oprava, do cyklu 800 byl zapsán rozdíl transformací nulového bodu a znovu bylo provedeno vygenerování NC kódů postprocesorem. Měření poté proběhlo bez problému, pouze se musel brát zřetel na nedokončené plochy.



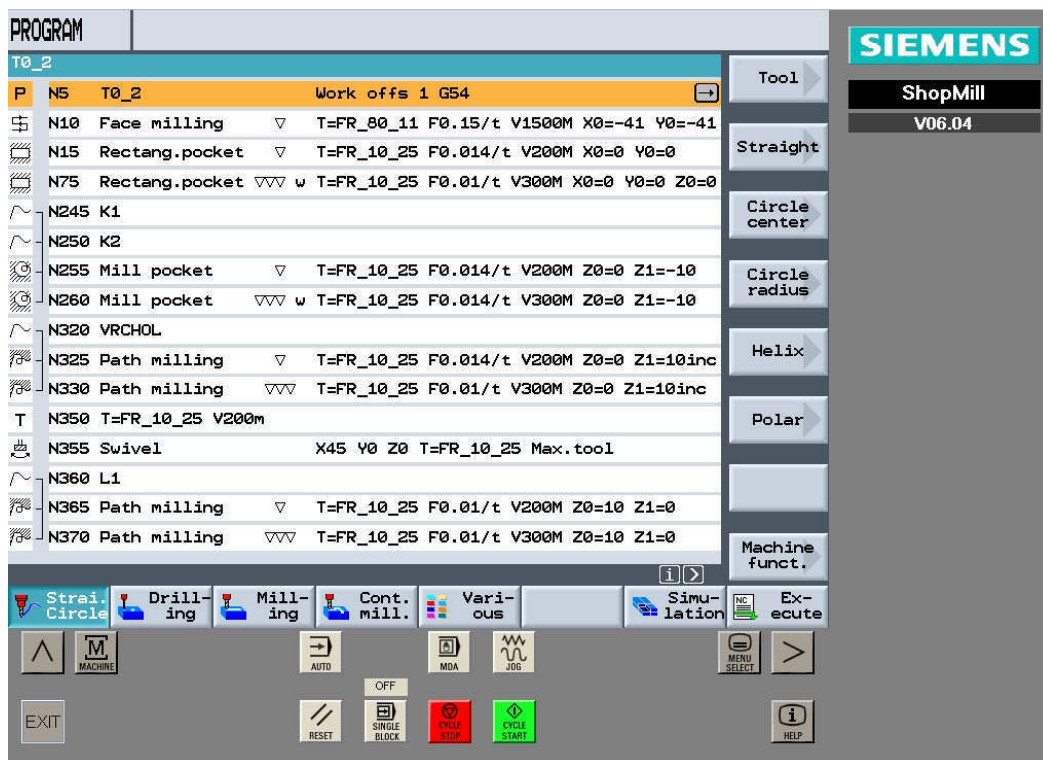
Obr. 5.13 Měření boční díry.

5.2 Testovací obrobek 2

Cílem bylo vytvořit NC program, který sám provede ustavení polotovaru, měření nástrojů, kontrolu správnosti rozměrů, obrábění a finální měření. Obrábění bylo zpracováno v modulu ShopMill, systému Sinumerik. Měření a finální vygenerování NC programu bylo naprogramováno pomocí specializovaného softwaru Productivity+.

5.2.1 ShopMill

Program pro obrábění To2, byl naprogramován v dílensky orientované nadstavbě ShopMill. Výchozím podkladem byl výkres To2 (viz. Příloha 2). Program byl vytvořen s ohledem na zvolené řezné podmínky použitých nástrojů (viz. kapitola 4.2.1).



Obr. 5.14 Ukázka hlavního programu v ShopMill.

Pro pozdější použití v softwaru Productivity+, byl program rozdělen do šesti částí. Každá tato část je samostatný celek, který obsahuje nadefinování polotovaru a samotné obrábění. Všechny tyto části byly odsimulovány a odladěny.

Name	Type	Loaded	Size	Date/time
VLCEK3.WPD\..				
K_DOKONCOVANI	MPF	X	264	19.05.2010 20:20
K_HRUBOVANI	MPF	X	265	19.05.2010 20:19
KD_VRCHOL_SRZENI	MPF	X	2768	24.05.2010 23:50
VRTANI_P_3	MPF	X	257	19.05.2010 20:18
VRTANI_Z_3	MPF	X	260	19.05.2010 20:18
ZAROVNANI	MPF	X	225	19.05.2010 20:18

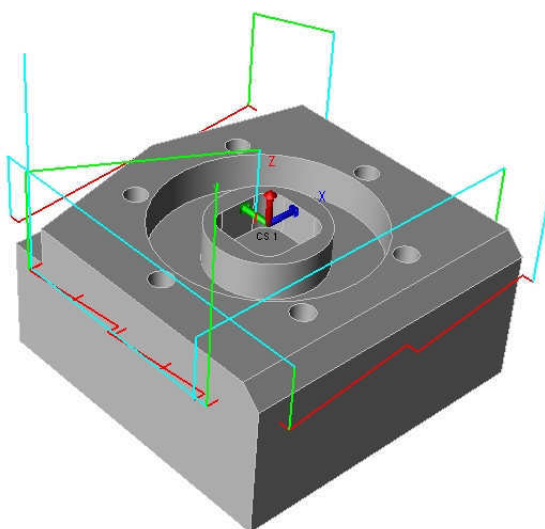
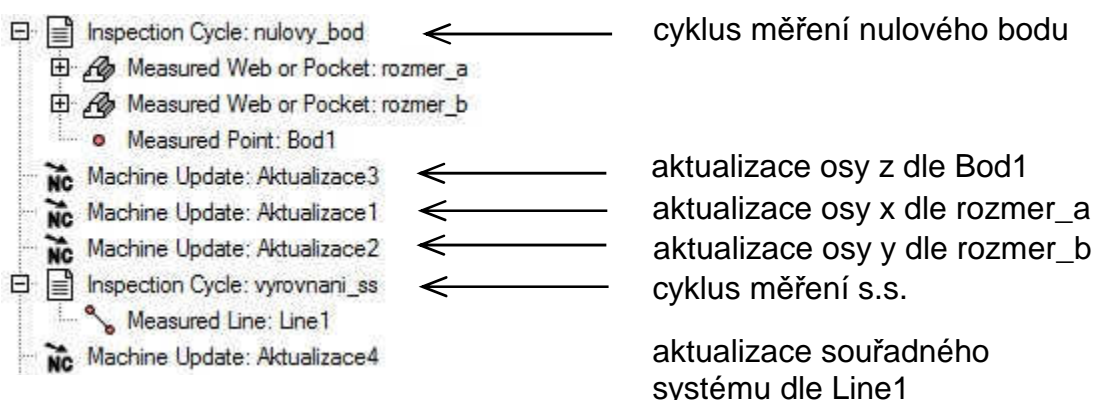
Obr. 5.15 Nově vytvořené programy.

5.2.2 Productivity+

Softwaru Productivity+ byl použit k vytvoření měřicích cyklů pro sondu OMP400 a pro měření nástrojovou laserovou sondou NC4. Do programu bylo importováno obrábění ze softwaru ShopMill. Výsledný NC program pak zahrnoval ustavení obrobku, měření nástrojů, obrábění, kontrolu zlomení nástroje a finální měření.

Operace provedené před zahájením obrábění:

Stroj provede zavolání sondy ze zásobníku nástrojů. Poté dojde k určení nulového bodu a k vyrovnání souřadného systému stroje se souřadným systémem obrobku. Naměřená data se pomocí funkce Machine Update přepíší v nastavení stroje.



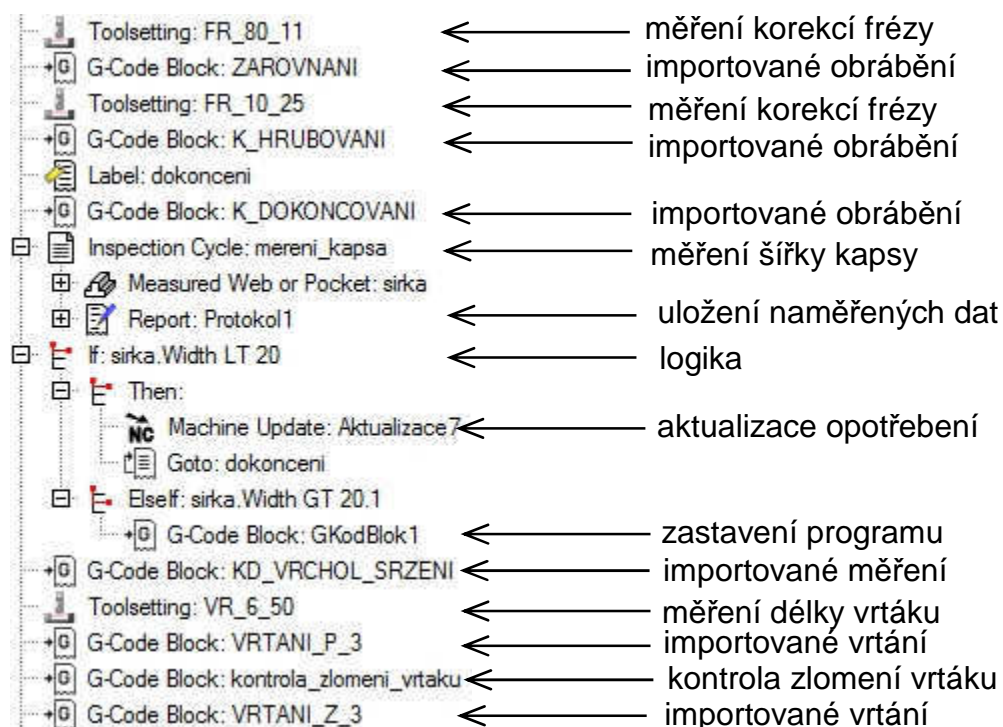
Obr. 5.16 Pohyb sondy před zahájením obrábění.

Zelené čáry v Obr. 5.16 znázorňují pohyb dotyku sondy rychloposuvem. Modrou barvou jsou znázorněny nájezdy dotyku do pozice pro zahájení měření a červená barva zobrazuje měření plochy.

Operace provedené během obrábění:

Stroj vymění sondu za frézu FR_80_11 a změří její korekce nástrojovou sondou NC4. Poté se provede zarovnání. Stroj zavolá druhou frézu FR_10_25, provede se změření na NC4 a nástroj obrobí pravouhlou kapsu. Následuje změření šířky kapsy a pomocí logiky se rozhodne zda je kapsa vyrobena v dané toleranci. Pokud je kapsa vyrobena správně, program pokračuje dále, pokud není vyrobena správně (kapsa je menší), dojde ke znovu změření frézy (zaktualizování opotřebení) a provede se znovu dokončování kapsy. Pokud je vyrobená kapsa moc velká dojde k zastavení programu.

Pokud program pokračuje, dojde k obrobení dalších prvků frézou FR_10_25. Poslední operací je vrtání. Vrták je změřen sondou NC4 a poté vyvrtá tři díry, následuje kontrola zlomení vrtáku a dokončení zbylých děr.



Funkci kontrolu zlomení vrtáku softwaru Productivity+ nenabízí, proto byla kontrola naprogramována pomocí G-kódu.

```

G-Code Editor
G0 X0 Y0 Z200
S1000 M3

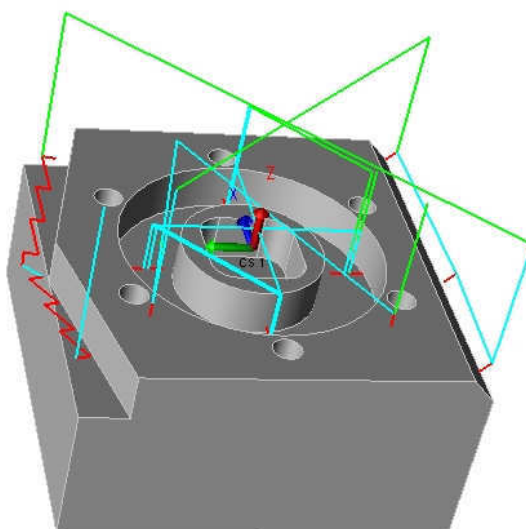
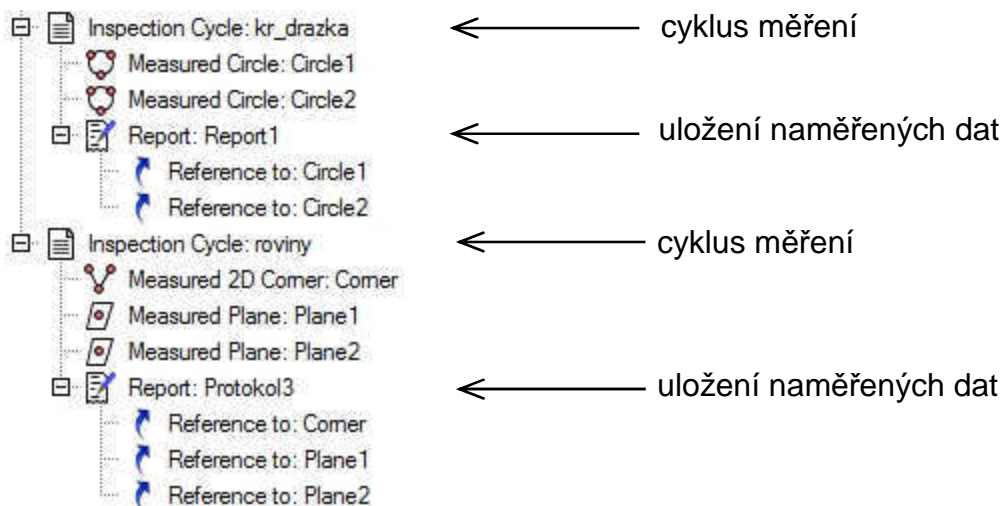
L9800 ; nulovani parametru
R26=100 ; odjeti na bezpecnou vysku
R11=1 ; hloubka v paprsku
L9866 ; kontrola zlomeni

```

Obr. 5.17 Kontrola zlomení vrtáku.

Operace provedené po dokončení obrábění:

Stroj zavolá sondu, změří obrobené rozměry a zaznamená naměřené hodnoty. Postprocesorem vygenerujeme kompletní NC program.



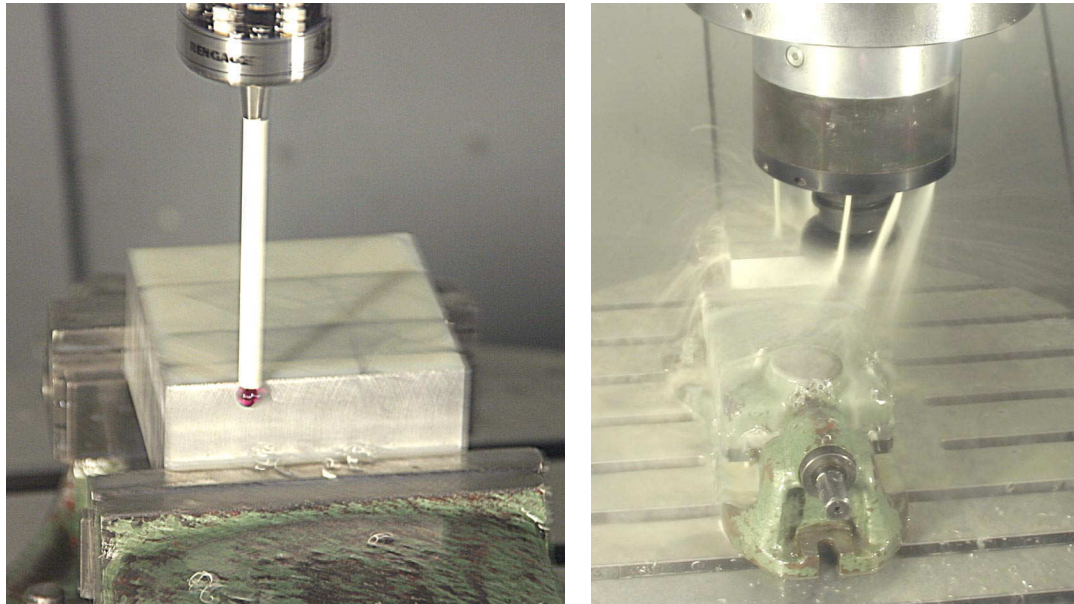
Obr. 5.18 Znáznornění finálního měření

Funkce Report uloží naměřená data do zvoleného adresáře. Naměřené hodnoty pak lze snadno zobrazit nebo vytisknout.

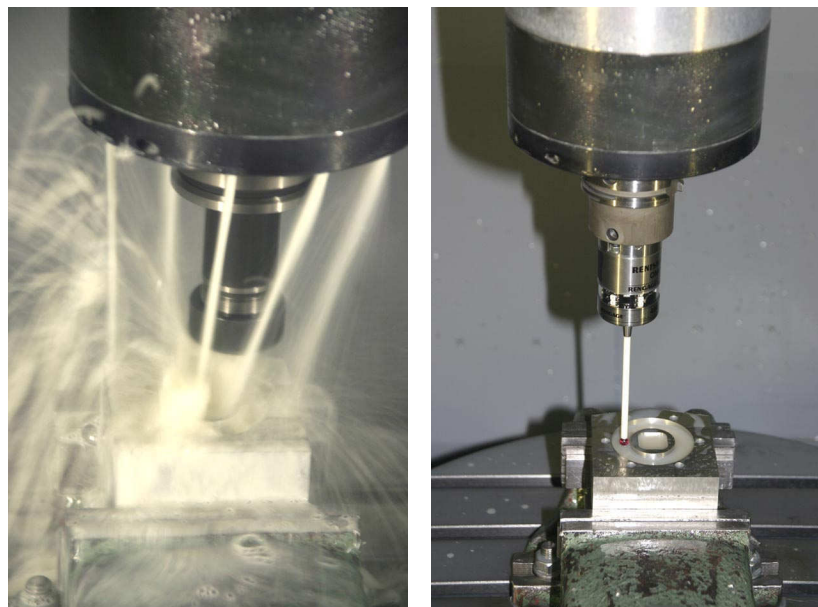
Z důvodu nefunkčnosti cyklu 800 bylo před spuštěním postprocesoru odstraněno obrábění sražení a s ním související měření roviny (Plane1).

5.2.3 Realizace To2 na stroji MCV 1210

Program přeneseme na stroj. Před spuštěním programu je nutné provést přibližné určení nulového bodu. Přesné určení nulového bodu již program provede automaticky.



Obr. 5.19 Ustavení a frézování horní plochy.



Obr. 5.20 Frézování dutin a finální měření.

Výsledky měření viz. Příloha 4.

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ IMPLEMENTACE SOND DO PROCESU OBRÁBĚNÍ

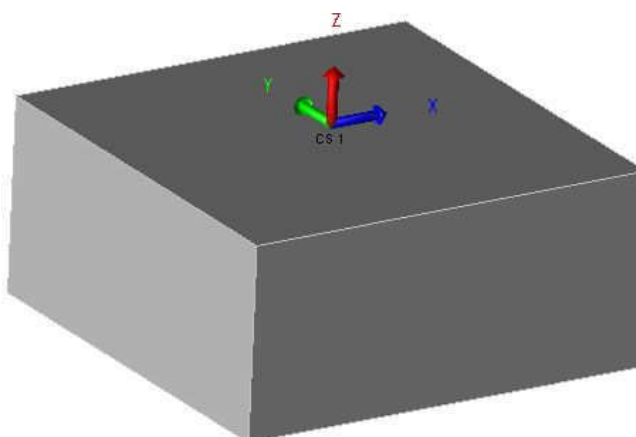
Volba správného náradí, použitého při výrobě, má zásadní vliv na ekonomiku obrábění. Zvolené náradí musí být voleno adekvátně, tzn. že jeho používáním se musí vrátit náklady, které vznikly při jeho pořízení. Volba se nejčastěji odvíjí od počtu výrobků. Podle tohoto pravidla dělíme výrobu na kusovou a sériovou. Kusová výroba je založena na univerzálnosti, používají se univerzální stroje a náradí. Sériová výroba, je výroba velkého množství výrobků, využívají se speciální stroje, náradí a technologie. Snahou je proces co nejvíce automatizovat.

Rozlišit zda měřicí sondy spadají do náradí vhodného pro kusovou či sériovou výroby není jednoduché. Obecně můžeme říct, že obrobkové sondy jsou spíše vhodné pro kusovou výrobu a nástrojové sondy naleznou uplatnění převážně v sériové výrobě. V praxi záleží na dané výrobě (tzn. požadované přesnosti výroby, velikosti a složitosti součástí, ...), pro kterou chceme sondy využít.

V tuto chvíli není otázkou, do které skupiny měřicí sondy zařadíme, ale zda jsou měřicí sondy vhodným náradím a zda se vyplatí jejich pořízení. Tuto otázku se pokusíme zodpovědět jednoduchým pokusem. Pokus bude založen na porovnání časů ustavení polotovaru pomocí obrobkové sondy OMP400 a ručního ustavení polotovaru pomocí tzv. naškrabávání. Pokus bude realizován na vertikálním obráběcím centru MCV 1210. Pro pokus bude využit polotovar To2.

Úkolem tedy bude:

- upnout polotovar do svěráku
- definovat nulový bod na střed polotovaru



Obr. 6.1 Nulový bod umístěný na středu polotovaru To2.

Průběh pokusu bude rozdělen do dvou částí. V první části ustavíme nulový bod ručně pomocí naškrábnutí frézou a v druhé části provedeme ustavení pomocí sondy. Pro zpřesnění výsledků bude každá část provedena třikrát. Obě části budou realizovány pomocí ovládacího panelu stroje a řídicího systému Sinumerik 840D.

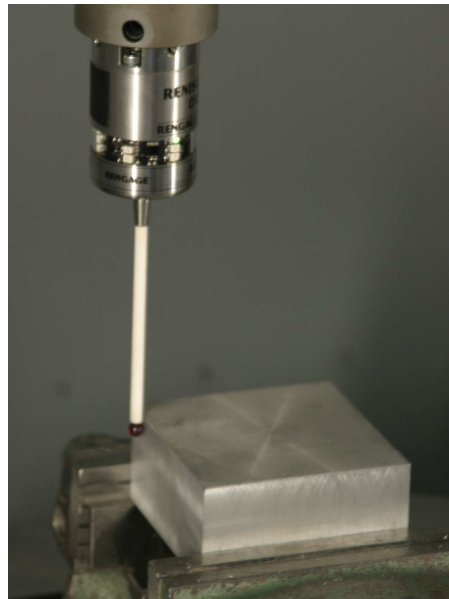
Výchozí pozice vřetene je v referenční poloze, do které vřeteno najede po odložení nástroje. Čas bude měřen od chvíle, kdy bude zavolán nástroj. Konec měření času bude ve chvíli, kdy se nástroj vrátí zpět do zásobníku nástrojů.

Přesný postup pro ruční ustavení:

- zavolání nástroje ze zásobníku
- najetí rychloposuvem k polotovaru
- naškrábnutí mikroposuvem v jednotlivých osách, přepočítání umístění nulového bodu na střed polotovaru a vynulování souřadného systému
- odeslání nástroje zpět do zásobníku
- polotovar vyjmeme ze svěráku a znovu upneme do přibližně stejné pozice jako při prvním upnutí
- postup opakujeme

Přesný postup ustavení pomocí obrobkové sondy OMP400:

- zavolání sondy ze zásobníku
- najetí rychloposuvem nad přibližný střed součásti
- pomocí dílensky orientovaného režimu spustit cyklus měření nulového bodu v ose z
- pomocí dílensky orientovaného režimu spustit cyklus měření nulového bodu v osách x a y (využije se cyklu obdélníkový čep)
- odeslání sondy zpět do zásobníku
- polotovar vyjmeme ze svěráku a znovu upneme do přibližně stejné pozice jako při prvním upnutí
- postup opakujeme



Obr. 6.2 Ustavování polotovaru To2 pomocí sondy OMP400.

Tab. 6.1 Naměřené časy upnutí polotovaru.

	Ruční ustavení polotovaru t_R [min]	Ustavení pomocí sondy t_S [min]
První měření	5,33	2,41
Druhé měření	3,93	2,12
Třetí měření	4,50	1,85
Průměrná hodnota	4,59	2,13

Výpočet ekonomického zhodnocení:

Výpočet úspory času při použití sondy:

$$t_U = t_R - t_S = 4,59 - 2,13 = 2,46 \text{ min} = 0,041 \text{ hod} \quad (6.1)$$

Výpočet nominálního časového fondu:

$$F_n = r_p - sn - s = 365 - 104 - 8 = 253 \text{ dnů/rok} \quad (6.2)$$

Výpočet efektivního časového fondu:

$$F_{ef} = F_n \cdot h \cdot \sigma \cdot g \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) = 253 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{0,95}{100}\right) = 2004 \text{ hod/rok} \quad (6.3)$$

V dalším kroku bude vypočítána úspora na nákladech, která vznikne za jeden rok používání sondy. Pro tento výpočet byly zvoleny tyto hodnoty:

- hodinová sazba stroje: $S_s = 2000$ Kč/hod
- počet upínaných kusů za hodinu: $n = 1$ ks/hod

$$U = t_U \cdot F_{ef} \cdot S_s \cdot n = 0,041 \cdot 2004 \cdot 2000 \cdot 1 = 164328 \text{ Kč} \quad (6.4)$$

Pro výpočet celkové dosažitelné úspory byly zvoleny tyto hodnoty:

- minimální životnost sondy dle výrobce: $\check{z} = 2$ roky
- celkové náklady na pořízení (sonda + OMI-2): $C_p = 173\,000$ Kč
- koeficient oprav: $k = 0,05$

$$U_c = \check{z} \cdot U - k \cdot C_p = 2 \cdot 164328 - 0,05 \cdot 173000 = 320006 \text{ Kč} \quad (6.5)$$

Výpočet hospodářské účinnosti volené sondy:

$$\eta = \frac{U_c}{C_p} = \frac{320006}{173000} = 1,85 \quad (6.6)$$

Výpočet rentability:

$$r = \eta - 1 = 1,85 - 1 = 0,85 \quad (6.7)$$

Minimální počet upnutí, kdy bude volená sonda ještě hospodárná

$$u = t_U \cdot S_s = 0,041 \cdot 2000 = 82 \text{ Kč} \quad (6.8)$$

$$x_0 = \frac{C_p + k \cdot C_p}{u} = \frac{173000 + 0,05 \cdot 173000}{82} = 2216 \text{ upnutí} \quad (6.9)$$

Návratnost investice do měřicí sondy OMP400:

$$p = \frac{x_0}{h} = \frac{2216}{8} = 277 \text{ dnů} \quad (6.10)$$

Při integraci sondy OMP400 do výrobního procesu dojde ke vzrůstu počátečních nákladů. Tyto náklady se dle výpočtů vrátí za 277 dnů. Kromě úspory vzniklé při upínání, je nutno připočítat další výhody, které v konečném důsledku ještě zkrátí návratnost. Jde především o zvýšení přesnosti a snížení zmetkovitosti při výrobě. Při využití dalších funkcí sondy (mezioperační měření, automatická korekce chyb), dojde k dalším úsporám, proto je nutné vždy ekonomické zhodnocení přizpůsobit individuálnímu použití.

7 ZDOKONALENÍ VÝROBNÍHO PROCESU

Změny v průmyslové výrobě jsou doprovázeny enormními tlaky na zachování konkurenceschopnosti podniku. Vhodná automatizace obráběcích strojů, spolu se silným zaměřením se na výkonnost a řízení procesů, může výrobcům pomoci konkurovat nízkonákladovým ekonomikám.

Zkušenosti potvrzují, že každý program zdokonalení procesů musí obsahovat:

- Automatizaci stávajících manuálních procesů pro zvýšení výkonu a odstranění chyb obsluhy.
- Systematické vyloučení proměnlivosti procesů pro zvýšení jejich výkonnosti.
- Zavedení řízení procesů, aby byla zajištěna kompenzace kolísání všech zbývajících procesů.
- Zachování konzistentního provozní prostředí pro zajištění stability procesů.²⁵

Cestou k ziskovosti by mohla být metoda Productive Process Pyramid™ (PPP), což je metoda systematického přístupu o jedenácti patrech k řešení procesů. Metoda vychází z mnohaletých praktických zkušeností firmy RENISHAW.

PPP představuje metodu systematického přístupu o jedenácti patrech k omezení plýtvání a změn ve výrobních procesech, díky čemuž jsou procesy v pořádku a nadále stabilní. I když mnoho pater lze zavést samostatně (a v různém pořadí), pro dosažení maximálního zisku a hodnocení je nutné se zabývat všemi patry. Jedenáct pater PPP je rozděleno do pěti oblastí:

- Kalibrace a geometrie strojů (patra 1 až 3)
- Nastavení procesů (patra 4 až 6)
- Adaptivní strojní obrábění a řízení procesů (patra 7 a 8)
- Ověření součástí a nejistoty měření (patra 9 a 10)
- Stabilita provozního prostředí (11 patro)²⁵

Obr. 7.1 Productive Process Pyramid.²⁵

7.1 Kalibrace a geometrie stroje

Chceme-li produkovat shodné výrobky, musí být náš stroj schopen najet přesně do cílových poloh. Při obrábění musíme být schopni přesně sledovat naprogramovanou dráhu nástroje. Tyto požadavky kladou nároky na přesnost konstrukce stroje, přesnost polohovacího systému se zpětnou vazbou a spolehlivost servořízení. Přičemž každá položka může být zatížena malými, ale potenciálně významnými chybami.

Proto je důležité tyto chyby identifikovat a je-li to možné, minimalizovat ostatní zdroje chyb na straně stroje, které by mohly ovlivnit výkonnost strojního obrábění.

Šest kroků ke zvýšení výkonnosti stroje:

- 1) Určete požadovanou přesnost – použijte empirické pravidlo, které říká, že lineární chyba polohy stroje podél dané vzdálenosti, včetně opakovatelnosti polohy, musí být menší než polovina tolerance rozměru.
- 2) Vytvořte základnu aktuální výkonnost – spusťte automatickou desetiminutovou kontrolu pomocí systému Ballbar, který měří malé odchylky poloměru, když stroj sleduje kruhový obrys.

- 3) Zjistěte a zařídíte zdroje chyb – software Ballbar izoluje a zařídí chybové faktory podle důležitosti. Vysvětlí o jakou chybu se jedná, co ji zapříčinilo a navrhne nápravná opatření. Zaměřte se na nejdůležitější chyby, které lze nejsnadněji určit.
- 4) Eliminujte nebo kalibrujte chyby – některé chyby (např. nepřizpůsobení servopohonu, zpětné impulsy a vůle) lze přímo opravit aktualizací parametrů CNC stroje na základě výsledků testu systémem Ballbar. Zbývající chyby vyžadují použití laserové kalibrace k vytvoření mapy chyb (např. chyba stupnice), přičemž některé musí být fyzicky opraveny na stroji (např. pravouhlost a podélná vůle).
- 5) Vytvořte novou základnu – znovu spusťte test Ballbar pro nastavení referenčního bodu výkonnosti stroje.
- 6) Pravidelně kontrolujte „zdravotní“ stav – spusťte jednou za měsíc systém Ballbar pro zjištění jakéhokoliv zhoršení stavu stroje. Překalibrování laserem musí být provedeno alespoň jednou ročně.²⁵

7.2 Upnutí součásti a seřízení nástroje

Součást a nástroje musíme společně nastavit do stejného referenčního rámce, aby první záběr byl tam, kde jsme ho chtěli mít. Musíme také poznat, kde je součást ve vztahu s osou rotace na stroji, abychom věděli, kam se bude pohybovat při změně orientace. Existují dvě metody upnutí součásti. První metoda zahrnuje použití přesného přípravku. Přípravek je pevně nebo pohyblivě umístěn ve stroji a drží součást v přesně definované poloze. Součást je polohově a úhlově ustavena a předpokládá se, že jsou dodrženy požadované tolerance.

Tato metoda je vhodná pro sériovou výrobu s nízkou proměnlivostí, kdy lze ospravedlnit značné investice do vývoje a údržby jednoúčelových přípravků. Tento přístup také vyžaduje, aby předem opracovaná součást odpovídala požadavkům, takže v přípravku bude upevněna bez deformace a její prvky budou před začátkem obrábění správně umístěny.

Druhá metoda upnutí součásti je založena na zjištění polohy součásti a následném nastavení referenční roviny do této skutečné polohy. Moderní obráběcí stroje nepotřebují, aby součást byla dokonale umístěna a vyrovnána s osami stroje. Použitím pracovních souřadnic a natáčením souřadnicové soustavy lze referenční obráběcí rámec slícovat se samotnou součástí. Proto lze přípravek navrhnout tak, že součást jednoduše pevně drží s dostatečnou volností, aby bylo možné změnit velikost nebo tvar předem obrobené součásti. Vše, co potřebujeme udělat, je najít polohu součásti a nastavit souřadnicovou soustavu tak, aby odpovídala součásti. Upnutí součásti je klasickým způsobem aplikace dotykových snímačů na CNC obráběcích strojích.²⁵

Druhým aspektem procesu nastavení je určení rozměrů nástroje a zanesení těchto informací do odchylek pro nástroj v řídicím systému. Běžná metoda spočívá v provedení zkušební operace a zjištění výsledku. Tento postup neodpovídá moderním snahám o automatizaci a efektivitu.

Hlavní výhodou seřízení nástrojů ve stroji oproti použití předběžného seřízení mimo stroj je to, že lze nástroj měřit přímo na místě během obrábění materiálu.

7.3 Adaptivní strojní obrábění a řízení procesů

Většina strojních operací zahrnuje řadu průchodů nástroje potřebných pro dokončení součásti. Nejvíce kritickou fází je ovšem dokončovací obrábění, protože na něm závisí jak poloha, tak stav hotového povrchu. Pro dosahování trvale dobrých výsledků je velmi důležité, aby podmínky při obrábění byly optimální. Jsou-li zablokovány CNC programy, které řídí otáčky a posuvy, hlavní proměnnou ovlivňující výkon při obrábění je hloubka záběru s dopadem na řeznou sílu, prohnutí nástroje, tvorbu třísek a povrchovou úpravu.

Stabilita procesu je podporována obráběním na čisto probíhajícím za předvídatelných podmínek. Kromě samotných parametrů dokončovacího obrábění mají na konečný tvar a povrch součásti vliv také teplota součásti a zbytková pnutí po hrubování. Proto je vhodné před jemným obráběním provést co možná největší objem hrubování. Zaplavení součásti chladivem po hrubování pomáhá normalizovat teplotu a odstranit tepelné pnutí.

Řízení procesu je víc než jen provádění oprav odchylek od jmenovitých hodnot na základě zpětné vazby. Důkladnost také předpokládá porovnání naměřených dat s řadou prahových hodnot a limitů, od kterých jsou odvozena nápravná opatření. V automatizovaném procesu je důležité, aby metoda jeho řízení umožňovala obnovení činnosti a nezastavila proces při prvním příznaku problému.

Například, jsou-li zjištěny neočekávané velké chyby, může to být proto, že snímač narazil na třísku nebo otřep. V takových případech by se měl spustit cyklus oplachování a součást znovu zkontrolovat. Další možností je znovu spustit proces dokončovacího obrábění k odstranění všech zbytků. Někdy hrubování zanechá tak velký přídavek materiálu, že dokončovací záběr je příliš velký a je nutno provést další cyklus dílčího dokončovacího obrábění. Někdy je zastavení procesu poslední, nicméně jedinou možností. Kontrolní limity upozorní na nepředpokládané změny a jsou schopny spustit kontrolu další součásti s cílem zjistit, zda je proces znovu pod kontrolou. Nadměrný počet aktualizací a opakovaná hlášení „mimo kontrolu“ mohou vyvolat zastavení operace a iniciovat vyšetřování původce problému.

7.4 Ověření na stroji podle standardu sledovatelnosti

Existují dvě hlavní strategie, které můžeme použít: úplné ověření součásti nebo ověření procesu strojního obrábění.

Ověření součásti zahrnuje kontrolu dodržení tolerancí. Jedná se o změření všech prvků specifikovaných na výkrese, včetně geometrických vztahů mezi nimi. Úplné ověření zpravidla vyžaduje přístup k mnoha čelním plochám součásti, což nemusí být možné u stroje se součástí upnutou

v přípravku. Nejlepším nástrojem pro tuto práci je souřadnicový měřicí stroj (CMM), ale tato činnost představuje neproduktivní čas.

Proto bychom měli použít metodu ověření procesu, pomocí které ověříme výkonnost obráběcích operací přímo na stroji. Nehledě na výhodu rychlosti, spočívá hodnota tohoto přístupu v tom, že zaručuje důvěru v kvalitu součásti před tím, než je přemístěna k následující operaci, což vylučuje nákladnou opravu.²⁵

7.5 Zvládnutí skrytých změn

Některé zdroje neshody jsou skryty v provozním prostředí a nelze je všechny odstranit. V těchto případech je nutné provést regulační a obnovovací činnosti. Některé příklady:

- Teplota prostředí v závodě je regulována v rozmezí $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a stroje procházejí cyklem zahřátí, aby při spouštění stroje byla zaručena stálá teplota.
- V prostředí automatizovaného strojního obrábění je rozhodující řízení životnosti rezného nástroje. Není přípustné měnit nástroj teprve až neplní funkci – je nutné jednat ještě před tímto okamžikem. Proto musí být využití nástroje monitorováno. To nám umožní přesně řídit opotřebení nástroje, čímž několikrát prodloužíme jeho provozní životnost.
- V případě neočekávaného zničení nástroje, výpadku napájení nebo havárie stroje jsou použity postupy pro karanténu a obnovu, aby byl zajištěn dohled nad opakovaným spuštěním procesu.

Dalším důležitým aspektem odstraňování závad je preventivní údržba zařízení z hlediska kritického výkonu. Pro zachování konzistentních rozměrů a tvarů součásti je nezbytně nutné, aby všechny komponenty zařízení, které mají vliv na přesnost součásti, byly neustále v dobrém stavu.²⁵

ZÁVĚR

Měřicí sondy jsou nedílnou součástí moderní výroby na celém světě. Správným použitím měřicích sond lze dosáhnout zkvalitnění výrobního procesu a zvýšení produktivity strojů. Pomocí sond se dosahuje vyššího stupně automatizace a přesnosti. Zvláště pak při použití specializovaného softwaru, který je nejen schopen vytvářet měřicí cykly, ale i tyto cykly, spolu s obráběním, začlenit do konečného NC programu.

V první části diplomové práce jsou popsány základní metody měření používané v třískovém obrábění. Jde zejména o popsání způsobů měření na CNC a CMM strojích. Součástí je naznačení metodiky měření těchto strojů.

Další část se už věnuje samotným měřicím sondám. Snahou bylo je přehledně rozdělit a popsat. Měřicí sondy můžeme rozdělit hned podle několika kritérií. Například podle generování spínacího signálu, konstrukce nebo způsobu přenosu měřicího signálu.

V praktické části byly navrženy dva testovací obrobky. První vychází z metodiky firem TAJMAC-ZPS a RENISHAW. Jeho úkolem bylo realizovat obrábění, dle dané metodiky, na stroji MCV 1210, patřící Ústavu strojírenské technologie fakulty FSI. Testování bylo založeno na dokončování obrobku pomocí různých dokončovacích strategií. Po dokončení měl být testovací obrobek proměřen na CMM ve firmě RENISHAW.

Výsledky měly sloužit pro ověření stavu seřízení stroje a porovnání informace o stavu stroje získané měřením pomocí QCW-20 ballbar (provedené dříve firmou RENISHAW) a skutečností získanou obrobením testovacího obrobku. Obrábění však nemohlo být zcela dokončeno, byla zjištěna chyba v řídicím systému stroje, která vyžadovala zásah výrobce řídicího systému (SIEMENS). Oprava nebyla dokončena před termínem odevzdání této diplomové práce. Po opravě je doporučeno dokončit obrábění.

Druhý testovací obrobek byl realizován pomocí specializovaného měřicího softwaru Productivity+, firmy RENISHAW. Tento softwaru vygeneroval finální NC kód, který provedl ustavení obrobku, měření nástrojů, kontrolu obrobených rozměrů, kontrolu zlomení nástroje, obrábění a konečné proměření obrobených prvků. Celý proces obrábění a měření byl realizován automaticky bez nutnosti zásahu obsluhy.

Součástí práce je také naznačení metodiky ekonomického zhodnocení implementace sond do procesu obrábění. Metodika je založena na pokusu, který měří čas ručního upnutí polotovaru a čas upnutí polotovaru pomocí obrobkové sondy. Ušetřený čas při upínání sondou je pak použit pro výpočet návratnosti investice do měřicího systému.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění : Kniha pro praktiky*. (Přel. z: Modern Metal Sutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] POLZER, A, DVOŘÁK, J. *Internetový portál pro CNC a CAD/CAM technologie* [online]. 2006 [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://cadcam.fme.vutbr.cz/>>.
- [3] *Renishaw* [online]. 2001-2010 [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <www.renishaw.cz>.
- [4] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáž*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. 273 s., ISBN 80-7082-823-4.
- [5] HUMÁR, Anton. *Výrobní technologie II*. [online]. 2000 [cit. 2010-02-10], s. 1-84. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>>.
- [6] POLZER, Aleš. *Integrace měření do procesu třískového obrábění. Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <http://www.techtydenik.cz/cnc_priklady/prikklad_24.pdf>.
- [7] CAUCHICK MIGUEL, Paulo ; KING, Tim ; ABACKERLI, Álvaro . *ScienceDirect* [online]. 1998 [cit. 2010-02-17]. A review on methods for probe performance verification. Dostupné z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1348448217&_sort=r&view=c&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=40894ac147af097bb904a4a000267a0f>.
- [8] *MITUTOYO Česko s.r.o : Přesnost je naší profesí* [online]. 2003-2009 [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/center.asp>>.
- [9] DEL GUERRA, Marcelo ; TEIXEIRA COELHO, Reginaldo . *ScienceDirect* [online]. 2006 [cit. 2010-02-17]. Development of a low cost Touch Trigger Probe for CNC Lathes. Dostupné z WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1348521721&_sort=r&view=c&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=ceeb519a494b75e2496e4c761e49187b>.
- [10] DOBOSZ, Marek ; WOŹNIAK, Adam . *ScienceDirect* [online]. 2005 [cit. 2010-05-26]. CMM touch trigger probes testing using a reference axis. Dostupné z WWW:<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1348517869&_sort=r&view=c&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=0bc4ba98ed4771d0c62a8a86d73e8c5e>.
- [11] *Renishaw* [online]. 2008 [cit. 2010-02-23]. Zlepšete kvalitu a přesnost součástí a zvýšte efektivnost vašeho CNC obráběcího centra. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/40e96c367d794cd0acc7f75add8f869f.pdf>>.

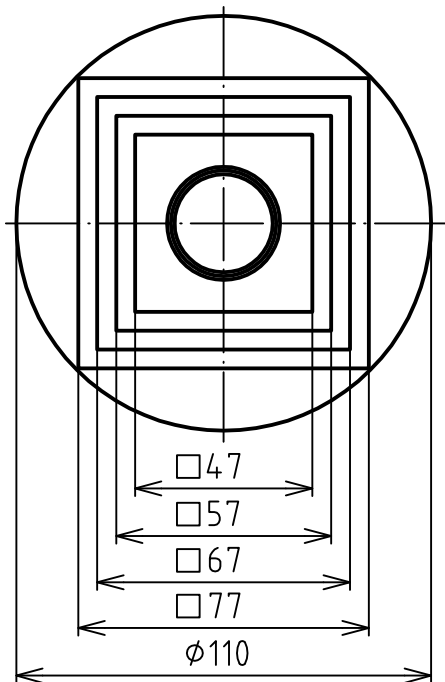
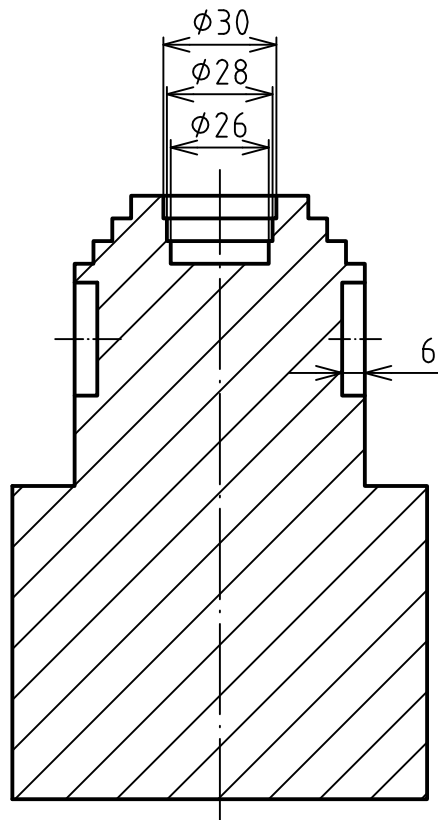
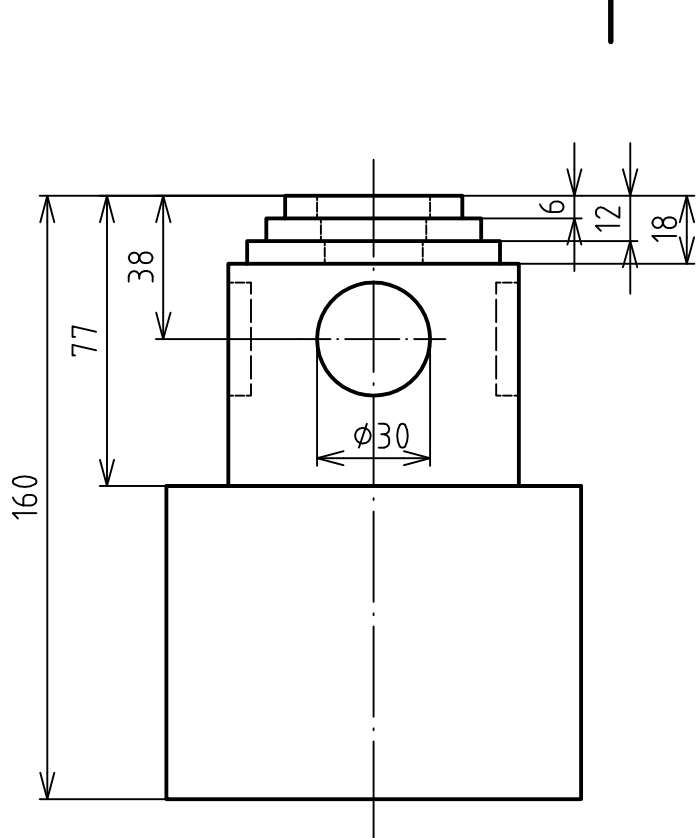
- [12] *Renishaw* [online]. 2007 [cit. 2010-03-04]. Instalační a uživatelská příručka sondy RMP60. Dostupné z WWW: <<http://resources.renishaw.com/details/RMP60+installation+and+user%27s+guide%2812308%29>>.
- [13] KATOLICKÝ, Jiří . Je čas získat čas. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 30.10.2007, 6, [cit. 2010-03-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/je-cas-ziskat-cas>>.
- [14] NOVÁK, Zdeněk . Současná měřicí a kontrolní technika. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12.11.2007, 3, [cit. 2010-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasna-merici-a-kontrolni-technika>>.
- [15] Vývoj strojírenské měřicí techniky. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, 6, [cit. 2010-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-strojirenske-merici-techniky>>.
- [16] *Renishaw* [online]. 2007 [cit. 2010-03-15]. Laserový systém XL-80. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/d45dd6569592477a8c634cf5b4deb032.pdf>>.
- [17] *Heidenhain* [online]. 2008 [cit. 2010-03-15]. Measuring Systems. Dostupné z WWW: <http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/208_871-27.pdf>.
- [18] SLÁMA, Josef. Technologie seřizování nástrojů laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 9.7.2008, 7, [cit. 2010-03-29]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-serizovani-nastroju-laserem>>.
- [19] *Renishaw* [online]. 2006 [cit. 2010-03-29]. Technický článek: OMP400 - Tenzometrická sonda. Dostupné z WWW: <<http://resources.renishaw.com/download.aspx?data=19529%20=&showForm=true&RPSUserXfer=d8c8d8d783d8431a870bbc0ce3586fac&RPSAction=logIn&RPSRem=True>>.
- [20] *Heidenhain* [online]. 2008 [cit. 2010-04-07]. Nastavit a proměřit. Dostupné z WWW: <http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/208_951-C1.pdf>.
- [21] **NÁVOD K POUŽÍVÁNÍ PRO VERTIKÁLNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCV 1210.** Zlín : Tajmac-ZPS, 9/2007. 450 s.
- [22] *Renishaw* : *Příručka k instalaci a údržbě: NC4 - bezkontaktní systém k ustavování nástrojů* [online]. 2008 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/ab23510514634541a0dab1a4a4b313f4.pdf>>.
- [23] *Plm.automation* [online]. 2010 [cit. 2010-05-23]. Siemens. Dostupné z WWW: <<http://email.seznam.cz/redirect?hashId=3883494087&to=http%3a%2f%2fwww%2eplm%2eautomation%2esiemens%2ecom%2fen%5fus%2fImages%2f14542%5ftcm1023%2d67385%2epdf>>.
- [24] *Renishaw* [online]. 2007 [cit. 2010-02-23]. Doteky a příslušenství. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/e083c1a2c6064dee96e2a2b4d98838b9.pdf>>.
- [25] SAUNDERS, Marc . *Renishaw* [online]. 2006 [cit. 2010-05-10]. Building the Productive Process PyramidTM. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.info/en/5943.aspx>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C_p	[Kč]	náklady na pořízení sondy
D	[mm]	průměr frézy
f	[mm.min ⁻¹]	posuv
F_{ef}	[hod/rok]	efektivní časový fond
F_n	[dnů/rok]	nominální časový fond
g	[-]	počet vzájemně zaměnitelných pracovišť
h	[hod/směna]	počet hodin jedné směny
k	[-]	koeficient oprav
n	[ks.hod ⁻¹]	počet upínaných kusů za hodinu
n_D	[min ⁻¹]	otáčky při dokončování
n_H	[min ⁻¹]	otáčky při hrubování
r	[-]	rentabilita
r_p	[dnů/rok]	počet dnů v roce
s	[dnů/rok]	počet státních svátků za rok
sn	[dnů/rok]	počet sobot a nedělí za rok
S_s	[Kč]	hodinová sazba stroje
t_R	[min]	čas ručního ustavení
t_s	[min]	čas ustavení sondou
t_u	[min]	úspora času při ustavení sondou
U	[Kč]	technologické úspory na výrobních nákladech
u	[Kč/ks]	úspora na jeden kus
U_C	[Kč]	celkové úspory na výrobních nákladech
v	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
x_0	[upnutí]	minimální počet upnutí
z	[%]	nevyhnutelné časové ztráty
$ž$	[roky]	minimální životnost sondy
η	[-]	hospodářská účinnost
σ	[-]	směnnost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Technický výkres To1
- Příloha 2 Technický výkres To2
- Příloha 3 Hlavní program pro dokončování To1
- Příloha 4 Výsledky měření To2



Struktura povrchu:

$\sqrt{\text{Ra } 3.2}$

Měřítko

1:2

Přesnost ISO 2768 - mK

Tolerování ISO 8015

Promítání

Materiál

Polotovar $\phi 110 - 162$

Hmotnost 3,5

kg



Druh dokumentu Výrobní výkres

Kreslil Michal Vlček

Schválil

Datum vydání 10.5.2010

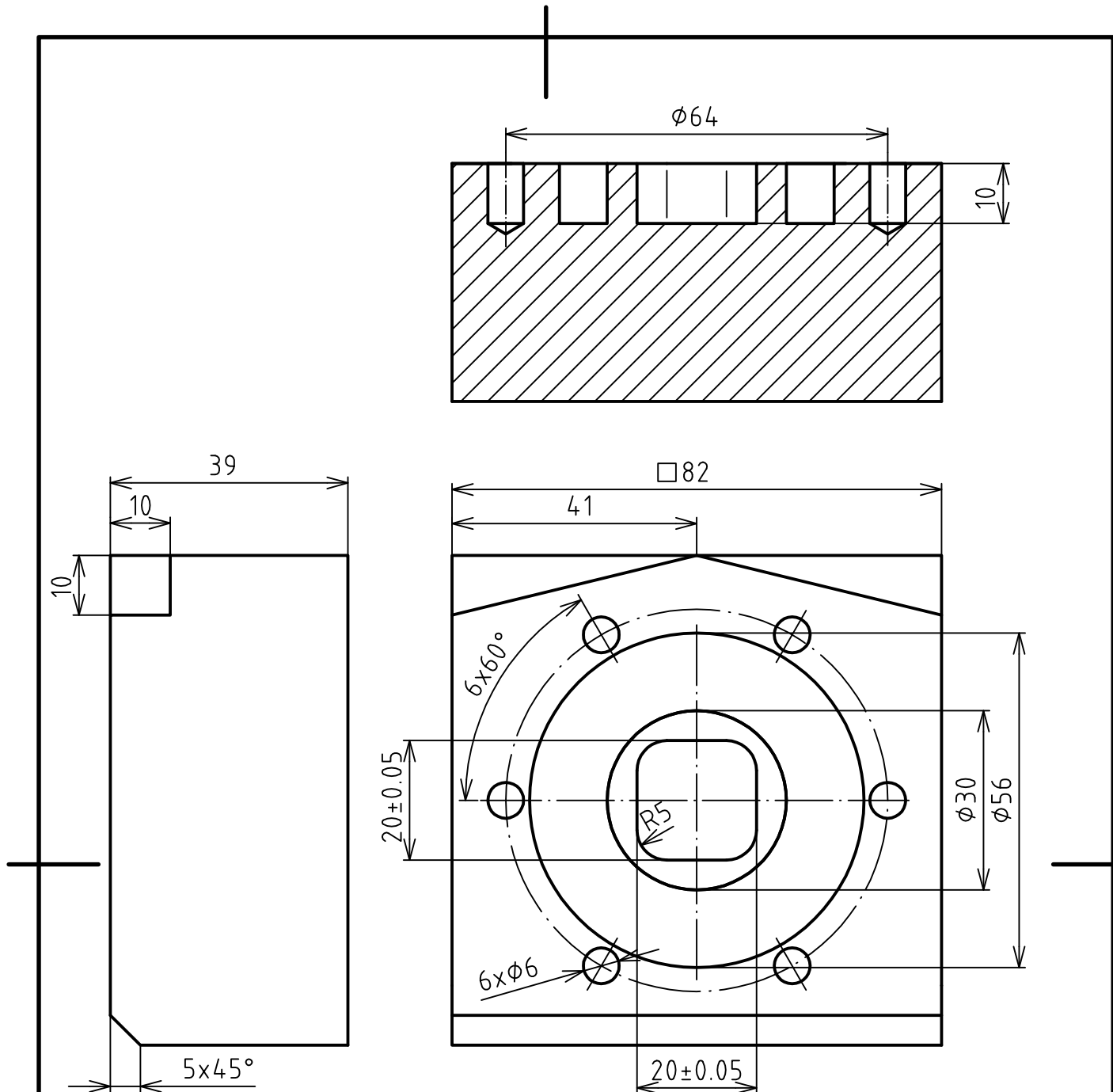
Název

To1

Číslo dokumentu

Příloha 1

List 1 / 1



Struktura povrchu: Ra 3.2	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK	Materiál
		Tolerování ISO 8015	Polotovar 82x82 - 42
		Promítání	Hmotnost 0,300 kg

	Druh dokumentu Výrobní výkres	Název
	Kreslil Michal Vlček	To2
	Schválil	Číslo dokumentu
	Datum vydání 10.5.2010	Příloha 2

Příloha 3 - Hlavní program pro dokončování To1

```
G17 G90 G40
M11 M21
G54
T="FR_20_76"
M6
S5000 M3
;CYCLE832(0.01,2001)
FFWOF
SOFT
COMPCAD
G642
G1 A0 C0 F3000
G0 X0 Y0
R2=($TC_DP12[$TC_MPP6[9998,1],1])
PREROVNANI

TEST_1
G0 Z200

CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
G1 A0 C0 F3000

G0 X0 Y0
TEST_3
CYCLE800(0,"STUL",0,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
TEST_3
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
TEST_3
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,90,0,0,0,0,-1,)
TEST_3
G0 Z200

CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)
G1 A0 C0 F3000
G0 X0 Y0
TEST_4
G0 Z200

G1 A0 C0 F3000
G0 X0 Y0
TEST_5
G0 Z200

G1 A0 C0 F3000
G0 X0 Y0
TEST_51
G0 Z200
```

Příloha 3 - Hlavní program pro dokončování To1

```
CYCLE800(1,"STUL",0,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TEST_6  
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TEST_6  
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TEST_6  
CYCLE800(0,"STUL",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TEST_6  
G0 Z200
```

```
CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)  
G1 A0 C0 F3000
```

;BOCNI OTVORY

```
CYCLE800(1,"STUL",0,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TRANS Y-38 Z38.5  
TEST_7  
TRANS
```

```
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TRANS Y-38 Z38.5  
TEST_7  
TRANS
```

```
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TRANS Y-38 Z38.5  
TEST_7  
TRANS
```

```
CYCLE800(0,"TABLE",1,39,0,0,0,0,90,0,0,0,-1,)  
TRANS Y-38 Z38.5  
TEST_7  
TRANS
```

```
CYCLE800(1,"STUL",100000,57,0,0,0,0,0,0,0,0,-1,)  
G0 Z200
```

M30

Příloha 4 - Výsledky měření To2

NOM, ACT, DEV, LOWER, UPPER, IN TOL

SIRKA

POINT1

X , 5, 5, 0

Y , 0, 0.0028, 0.0028

Z , 0, 0, 0

POINT2

X , -5, -5, 0

Y , 0, -0.006, -0.006

Z , 0, 0, 0

MIDPOINT

X , 0, 0, 0, -0.125, 0.125, YES

Y , 0, -0.0016, -0.0016, -0.125, 0.125, YES

Z , 0, 0, 0

DIMENSIONS

WIDTH , 20, 20.0074, 0.0074, -0.05, 0.1, YES

ANGLE , 0, -0.0504, -0.0504, -1, 1, YES

NOM, ACT, DEV, LOWER, UPPER, IN TOL

CIRCLE1

CENTER POSITION

X , 0, -0.0002, -0.0002, -0.125, 0.125, YES

Y , 0, -0.004, -0.004, -0.125, 0.125, YES

Z , 0, 0, 0

DIA , 30, 29.9781, -0.0219, -0.05, 0.05, YES

CIRCLE2

CENTER POSITION

X , 0, 0.0001, 0.0001, -0.125, 0.125, YES

Y , 0, -0.0069, -0.0069, -0.125, 0.125, YES

Z , 0, 0, 0

DIA , 56, 56.0045, 0.0045, -0.05, 0.05, YES

Příloha 4 - Výsledky měření To2

NOM, ACT, DEV, LOWER, UPPER, IN TOL

CORNER

POINT1

X , 0, 0.001, 0.001, -0.125, 0.125, YES

Y , 41, 40.8462, -0.1538, -0.125, 0.125, NO

Z , 0, 0, 0

ANGLES

INTERNAL , 152.5861, 152.5899, 0.0038, -1, 1, YES

EDGE , 193.707, 193.7044, -0.0026, -1, 1, YES

ROVINA2

VECTOR NORMAL TO PLANE

X , 0, 0, 0

Y , 0, -0.0001, -0.0001

Z , 1, 1, 0

POINT ON PLANE

X , -4.4922, -4.4921, 0.0001

Y , 4.2297, 4.2298, 0.0001

Z , 0, 0.0057, 0.0057

ANGLE ERROR

A AXIS , 0, 0.0035, 0.0035, -1, 1, YES

B AXIS , 0, -0.0017, -0.0017, -1, 1, YES

C AXIS , 0, 0, 0, -1, 1, YES