



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

APLIKACE MĚŘICÍCH SOND V PROCESU OBRÁBĚNÍ

APPLICATION OF A MEASURING PROBES IN MILLING PROCES

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:

Aplikace měřicích sond v procesu obrábění

v anglickém jazyce:

Application of a measuring probes in milling proces

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
- NC programování a praktická realizace obrábění s inprocesním měřením

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 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá aplikací měřících sond v procesu obrábění. Je v ní naznačen stručný přehled metod měření, které se používají při třískovém obrábění, dále je pak zaměřena na měření pomocí měřících sond s cílem ověřit zrychlení a zpřesnění výroby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřící sondy, komunikace s CNC řídicím systémem, NC program.

ABSTRACT

This master thesis deals with application of measuring probes in machining process. There is indicated a brief overview of the measurement methods used in cutting operation. It is also focused on the measurements of using probes to verify the acceleration and refinement of the production.

KEY WORDS

Measuring probes, communication with CNC machine control, NC program.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VLČEK, M. *Aplikace měřících sond v procesu obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce Ing. Alešem Polzerem, Ph.D.

V dne 12. 10. 2010

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. a Martinu Dlouhému ze společnosti Renishaw s.r.o. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Obsah

Abstrakt	4
Čestné prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	8
1 Metody měření při třískovém obrábění	9
1.1 Přehled dotykového měření při třískovém obrábění	10
1.1.1 Posuvná měřítka	10
1.1.2 Mikrometrická měřidla	10
1.1.3 Úchylkoměry	11
1.1.4 Pasametry	12
1.1.5 Koncové měrky	13
1.1.6 Kalibry	13
1.1.7 Délkoměry	14
1.1.8 Měření na souřadnicových měřicích strojích (SMS)	15
1.1.8.1 Typy konstrukcí SMS	16
1.1.8.2 Konstrukce SMS	19
1.1.8.3 Příslušenství SMS	20
1.1.8.4 Požadavky na SMS	21
1.1.9 Měření na CNC centrech pomocí měřicích sond	22
1.1.9.1 Princip měření měřicí sondy	23
1.1.9.2 Komunikace s CNC řídicím systémem	24
1.1.9.3 Popis sond pro měření obrobku	26
1.1.9.4 Typy doteků, materiál kuliček a stopek doteků	27
1.2 Přehled bezdotykového měření při třískovém obrábění	30
1.2.1 Měřicí mikroskopy	30
1.2.2 Laserové nástrojové sondy	30
2 Návrh testovacího obrobku	32
3 Návrh implementace měření do procesu třískového obrábění	35
3.1 Stroj	35
3.2 Nástroj	36
3.3 Sonda	37
3.4 Dotečky	38
3.5 Komunikace s CNC řídicím systémem	38
3.6 Implementace měření	38
4 NC programování a praktická realizace obrábění s měřením	41
4.1 NC programování	41
4.2 Měření	44
4.3 Výsledky měření	49
5 Ekonomické zhodnocení	53
Závěr	58
Seznam použité literatury	59
Použité symboly	61
Seznam příloh	62

Úvod

Tato diplomové práce, s názvem Aplikace měřících sond v procesu obrábění, se zabývá jak přehledem používaných metod, dotykových a bezdotykových měření, při třískovém obrábění, tak i samotnou realizací s inprocesním měřením na testovacím obrobku. Poukáže, že s pomocí měřících sond se zvýší přesnost a rychlost výrobního procesu, a tím pádem efektivnost CNC centra.

V dnešním světě má strojný průmysl velikou sílu. Dá se říct, že kam se kdo podívá, vidí produkty strojní výroby. Jak se všeobecně tvrdí, čas jsou peníze. Proto se podniky snaží co nejvíce výrobní procesy zautomatizovat. Jestliže se ustavování obrobku pomocí číselníkových úchylkoměrů přenechá měřícím sondám a místo ručního měření se na stroji bude měřit pomocí měřících sond, pak ušetřený čas, kterého se dosáhne, se může investovat do obrábění.

Použití sond snižuje náklady na seřizovače nástrojů a na drahé upínače. Snímání rozměrů je rychlé a spolehlivé, a odchylky stroje se mohou automaticky upravit. K tomu, aby byl podnik zaměřený na strojný průmysl úspěšný, potřebuje co nejlépe skloubit vysokou výrobní přesnost za co nejkratší čas. K tomu nám pomáhají měřící sondy.

1 Metody měření při třískovém obrábění

Pro kontrolu splnění předpisu přesnosti rozměru jsou obvykle aplikovány následující způsoby měření:

- absolutní,
- komparační,
- toleranční.

Při aplikaci absolutní metody jsou zjišťovány celkové rozměry, při aplikaci komparační metody hodnoty úchylek od jmenovitého rozměru a při aplikaci toleranční metody jen skutečnost, zda je předpisu vyhověno (zda nejsou překročeny hodnoty mezních rozměrů, případně mezních úchylek).

Klasické měření délek využívají dotykovou metodu, kdy povrch mechanického doteku je v přímém kontaktu s povrchem měřeného objektu. Pro zabezpečení přesnosti měření se obvykle žádá bodový styk, který pro daný tvar měřeného povrchu vyžaduje volbu příslušného tvaru doteku (rovinný, kulovitý, kapkovitý, nožový apod.).

Kontrola hodnot velké přesnosti rozměrů absolutním způsobem klade vysoké nároky na měřicí techniku (jedná se o nutnost zabezpečit vysoký poměr měřicího rozsahu vůči rozlišitelnosti – rozlišovací schopnosti).

Měřicí technika pro komparační měření vystačí s nepoměrně menším poměrem měřicího rozsahu vůči rozlišovací schopnosti.

Měřicími prostředky pro toleranční měření mohou být buď pevná měřidla (kalibry) nebo elektronické přístroje umožňující světelnou (nebo jinou) indikaci.

V souvislosti s prudkým vzestupem produktivity práce využíváním prostředků pružné automatizace (číslicově řízených strojů (CNC) s vysokou technologickou stabilitou a statistickým řízením jakosti) bylo nutno pro kontrolu geometrických parametrů tvarově značně složitých součástí vybudovat a aplikovat nový způsob měření délek – souřadnicové měření.

Jedná se o metodu měření, kdy jsou odměřovány prostorové souřadnice jednotlivých bodů na povrchu součásti a geometrická vazba bodů vyjádřena geometrickými prvky (bod, přímka, rovina, kružnice, válec, koule, kužel apod.) je určována výpočtem.

Aplikace souřadnicové metody měření délek vyžaduje použití příslušné měřicí techniky (souřadnicové měřicí stroje, jejich organickou částí je výpočetní systém). Výsledky měření délek souřadnicovým způsobem jsou v řadě případů zcela originální, nedosažitelné žádným jiným způsobem. [1]

Metody měření jsou různé a lze je rozdělit do dvou základních skupin, na metody:

- a) dotykové měření,
- b) bezdotykové měření.

1.1 Přehled dotykového měření při třískovém obrábění

1.1.1 Posuvná měřítka [4]

Klasické posuvné měřítko, viz obr. 1.1, umožňuje měřit délku, průměr a hloubku. Pro měření rozteče otvorů, nepřístupných drážek a podobně se vyrábí měřítka se speciálně upravenými měřicími čelistmi. Rozsah měření u běžných měřítek je $0 \div 150$ mm, $0 \div 200$ mm, $0 \div 300$ mm a více. Pro lehčí odečtení rozměrů slouží digitální posuvné měřítko.

Rozlišitelnost čtení měřeného rozměru:

stupnice s noniem	0,1 (0,05; 0,02) mm
s kruhovým číselníkem	0,05 (0,01) mm
s digitálním odměřováním	0,01 mm



Obr. 1.1 Posuvné měřítko [7]

1.1.2 Mikrometrická měřidla [4]

Mikrometrických měřidel existuje velké množství druhů. Jsou přibližně o 1 řád přesnější než posuvná měřítka. Základní část všech mikrometrických měřidel je mikrometrický šroub s maticí o stoupání 0,5, případně 1 mm a délce 25 mm. Delší šrouby se nedělají z výrobních důvodů (dodržení přesného stoupání) a z důvodů praktických (časová náročnost při měření).

Rozsah mikrometrických měřidel: $0 \div 25$, $25 \div 50$, $50 \div 75$ (mm) atd.

Klasickým případem mikrometrického měřidla je třmenový mikrometr (viz obr. 1.2).



Obr. 1.2 Třmenový mikrometr [8]

Hodnota 1 dílku stupnice je 0,01 mm. Výjimečně se dělají stupnice doplněné noniem s přesností čtení až 0,001 mm.

Mikrometry s digitálním odměřováním mají přesnost odečítání 0,001 mm. Tyto mikrometry mají též možnost napojení na síť sběru dat k dalšímu zpracování.

Třmenový mikrometr s přesným úchylkoměrem (mikropasametr) může sloužit po nastavení jmenovité hodnoty jako komparační měřidlo.

1.1.3 Úchylkoměry [4]

Axiální pohyb doteku je převáděn ozubenými kolečky na ručičku (ukazatele). Na kruhové stupnici se odečítá hodnota úchylky.

Podle přesnosti se vyrábí úchylkoměry:

- setinové
 - zdvih doteku je $0 \div 10$ mm,
 - 1 otáčka ručičky = 1 mm = 100 dílků,
 - 1 dílek = 0,01 mm.
- tisícinové
 - zdvih doteku je $0 \div 1$ mm,
 - 1 otáčka ručičky = 0,1 mm = 100 dílků,
 - 1 dílek = 0,001 mm.

Pro kontrolu v nepřístupných místech se vyrábí úchylkoměry páčkové. Zdvih doteku $\pm 0,4$ mm. 1 dílek = 0,01 mm (výjimečně 0,001 mm).

Číselníkový úchylkoměr je součástí řady měřicích přístrojů. Příkladem jsou dutinoměry, u kterých se pomocí vyměnitelných doteků nastavuje jmenovitá hodnota rozměru díry.



Obr. 1.3 Číselníkový úchylkoměr [9]

1.1.4 Pasametry

Jedná se o komparační měřidlo, měřící odchylky od nastaveného rozměru. Oba dva doteky jsou pohyblivé. První se nastavuje pomocí závitu a na druhém doteku je připojen číselníkový úchylkoměr.



Obr. 1.4 Pasametr [25]

1.1.5 Koncové měrky

Nazývají se též Johanssonovy měrky. Jsou to ocelové nebo keramické destičky s přesností až 0,001 mm. Skládáním různých měrek k sobě lze sestavit různé rozměry. Vlivem přilnavosti dojde po jejich přiložení ke spojení.



Obr. 1.5 Koncové měrky [20]

1.1.6 Kalibry

Kalibry jsou nejrozšířenější porovnávací měřidla v každé dílně. Nejčastěji se používají v provedeních dobrá a zmetková strana. Používají se zejména pro sériovou výrobu. Existují válečkové kalibry, nastavovací kroužky, kuželové trny Morse i Metrické, závitové trny i kroužky pro závity. [21]



Obr. 1.6 Válečkový kalibr [22]

1.1.7 Délkoměry [1,4]

Klasické délkoměry měří délkové rozměry do rozsahu 100, 300, 500, 1000, 3000 mm i více. Odečítání absolutní hodnoty rozměru je zpravidla optické, s hodnotou dílku rovnou $1\mu\text{m}$. Moderní přístroje jsou digitalizované.

Rozdělení:

- a) vertikální (viz obr. 1.7) – měřicí rozsah do 1000 mm, rozlišitelnost 0,01;0,001 mm,
- b) horizontální (viz obr. 1.8) – rozsah do 6 m, rozlišitelnost 0,001 mm i více.



Obr. 1.7 Vertikální délkoměr [10]



Obr. 1.8 Horizontální délkoměr [11]

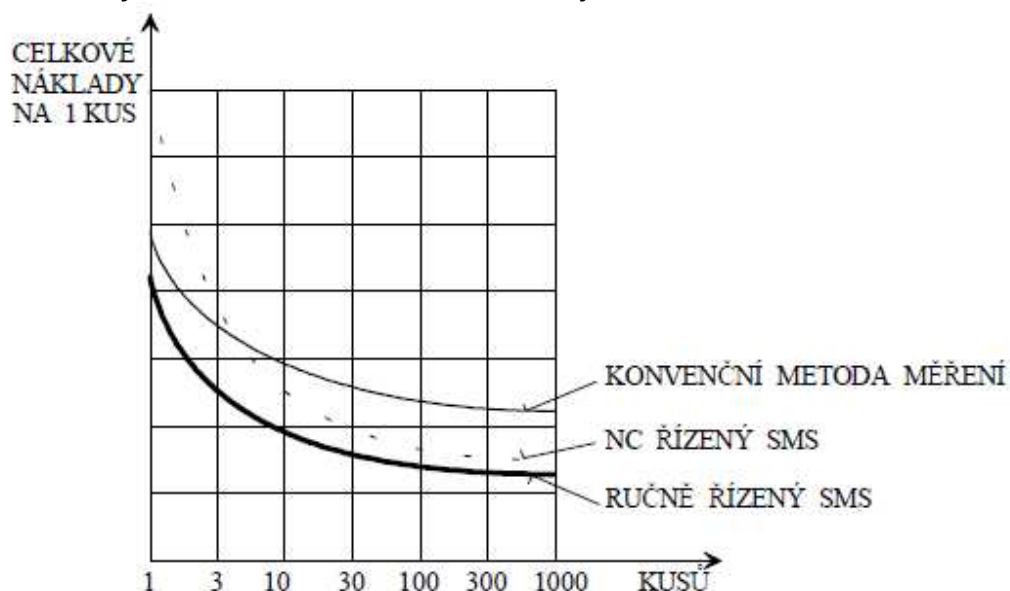
1.1.8 Měření na souřadnicových měřicích strojích (SMS) [3]

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla vynucena potřebou měření karosérií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě.

Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X , Y , Z . Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.

Ve srovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot z jemných stupnic je nejen zdlouhavé, ale i namáhavé, představuje číslicový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřicích strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslicových souřadnicových strojů (SMS) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body. Záznam výsledku slouží jako doklad o provedeném měření, ale může být též podkladem pro statistické metody vyhodnocování měření.

SMS kontroluje výrobky podobným způsobem, jako je NC stroj vyrábí. Pracuje rychle – měřicí časy redukuje asi o 80 %. SMS jsou zvláště vhodné pro rozměrovou kontrolu součástí vyrobených na frézkách, vyvrtávačkách a vrtačkách. SMS ve spojení s počítačovou technikou představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby při obrábění a tváření. Uplatnění různých měřicích metod charakterizuje obr. 1.9.



Obr. 1.9 Uplatnění různých měřicích metod [3]

Kontrola obrobku vyžaduje přípravu měřicího programu, provedení vlastního měření, vyhodnocení měření a protokolování. Měřicí program sleduje geometrické definice a návody pro pohyby, měření a vyhodnocení. Na základě uvedených definic a návodů jsou určovány body měření. Měřicí program může připravit

konstruktér obrobku na počítači CAD bez toho, že by SMS byl zatěžován přípravou programu.

Ze snahy o rozšiřování a prohlubování kontrolní činnosti pomocí SMS vyplývají tyto požadavky:

- kontrolní operace by neměla trvat déle než obráběcí operace,
- měřicí přesnost SMS by neměla být nadměrně vyšší, než plyne z přesnosti daných obrobků,
- různost obrobků a jejich geometrických prvků v pružné automatizované výrobě vyžaduje nasadit automatickou výměnu měřících sond,
- přípravu řídicích programů pro SMS je nutné zajišťovat mimo SMS, aby se nesnižovalo jejich časové využívání,
- efektivní kontrola na SMS je nesplnitelná bez výkonného počítače,
- při nízkém počtu měřících úkonů se někdy využívá přepínací a odepínací pracoviště AVS pro kontrolu průměrů děr pomocí konvenčních měřidel (kalibry, třídoteková měřidla apod.). Touto cestou se ušetří transport obrobku na SMS, ovšem snižuje se objem automatických úkonů a zvyšuje se rozsah ručních zásahů. Přitom pro kontrolu tvaru a polohy (např. rozteče otvorů) je nutno měřit na SMS, jelikož nejsou k dispozici univerzální měřicí prostředky pro tuto oblast.

Dokonalý AVS musí umožňovat různé provozní režimy SMS, které jsou závislé na vybavení SMS a lze rozlišovat tři základní druhy:

Při ručním režimu si operátor přivolá součást, která má být kontrolována. Stroj pracuje pod ručním řízením anebo operátor zařadí automatický měřicí program. Protokol o měření je zpracován automaticky a operátor odešle hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny chyb.

Při poloautomatickém režimu se obrobek dostal na SMS automaticky podle řídicího programu a operátor zařadí automatický kontrolní program s vytištěním protokolu o měření. Operátor odesílá hlášení o chybě a případně specifikuje příčinu chyb.

Při automatickém režimu se obrobek se dostal na SMS automaticky podle řídicího programu, rovněž kontrolní program je automaticky zařazen, včetně výsledků měření a hlášení o závadách.

1.1.8.1 Typy konstrukcí SMS [1,3]

SMS je zařízení, které má svoji vlastní průměrnou desku doplněnou měřícím mechanismem. Měřicí mechanismus je vždy vybaven měřícím dotekem, který „ohmatává“ kontrolovanou součást a jehož polohu je možno identifikovat buď opticky, nebo nejčastěji na číslcovém ukazateli. Souřadné osy SMS jsou navzájem kolmé a současně kolmé a rovnoběžné s průměrnou deskou.

SMS je více druhů a mohou být uspořádány podle potřeby do skupin na základě různých hledisek. Snaha o maximální přístupnost do měřícího prostoru ovlivnila řešení SMS tak, že se dnes používají v podstatě tato konstrukční uspořádání:

- mostové (viz obr. 1.10),
- konzolové (viz obr. 1.11),
- pinolové (viz obr. 1.12),
- stojanové (viz obr. 1.13),
- portálové (viz obr. 1.14).

S ohledem na hmotnost obrobků jsou vyráběny SMS:

- s pohyblivým stolem,
- s pevným stolem,
- s pevnou deskou v úrovni podlahy.

Největší uplatnění má *konstrukce mostová*. Tyto stroje vynikají tuhou konstrukcí a velkou kapacitou měřicího prostoru. Trojrozměrná kapacita SMS umožňuje měření součásti na pěti stranách při jednom ustavení na měřícím stole. Toto je velmi důležité pro většinu strojírenských výrobků (bloky motorů, karoserie automobilů, skříňe převodovek apod.).

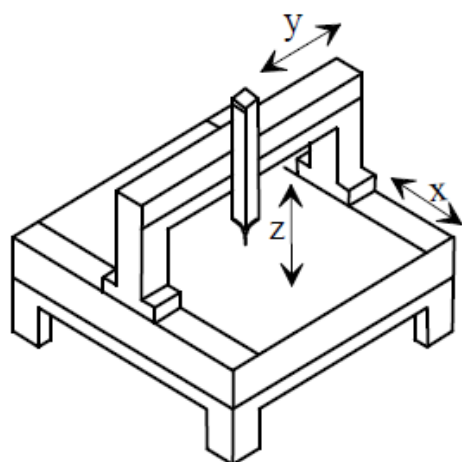
Konzolová konstrukce se nevyznačuje tak velkou kapacitou měřicího prostoru, ale je zde lepší přístup k měřené součásti. Většinou jsou tyto SMS používány pro kontrolu obrobků menších a středních rozměrů.

Konstrukce pinolová je vhodná pro kontrolu součástí s průchozími otvory, součást je dobře přístupná zraku kontrole. Osy otvorů jsou umístěny vodorovně.

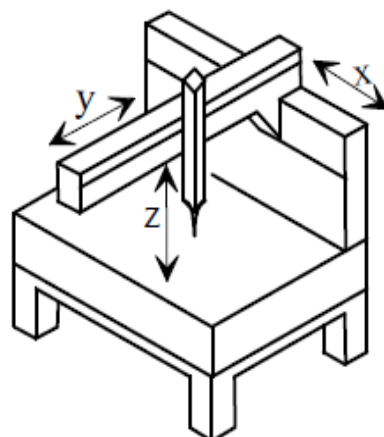
Konstrukce stojanová vyniká vysokou přesností v důsledku tuhé konstrukce. *Konstrukce portálová* patří v praxi k nejrozšířenějším pro střední a velké rozsahy měření. Má velkou tuhost, která umožňuje vysokou přesnost měření. Přístup k objektu měření je omezen konstrukcí.

Z hlediska přesnosti a způsobu použití je možno SMS rozdělit na:

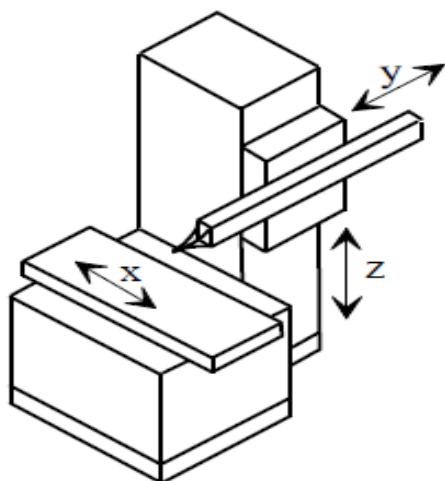
- SMS pro nejpresnější měření v měřicích laboratořích, kde je požadavek maximální přesnosti, dodržení komparačního principu, kde se vyžaduje zvýšená přesnost odměřování a měřicích hlav.
- SMS pro provozní využití se většinou používají pro měření skříňových součástí, přesnost měření je zde vždy pořád vyšší než přesnost výroby. Vyžaduje se snadná přístupnost.
- SMS pro proměřování montážních celků mívají většinou součásti umístěné v úrovni podlahy.



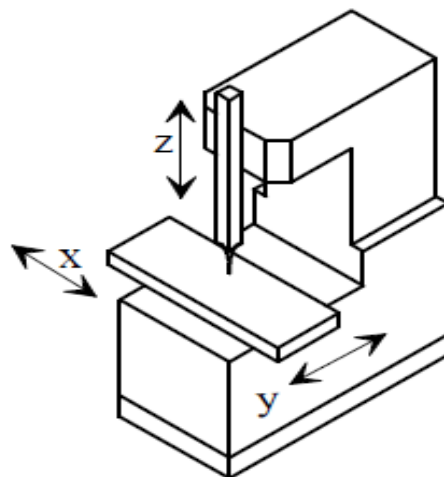
Obr. 1.10 Mostový typ SMS [3]



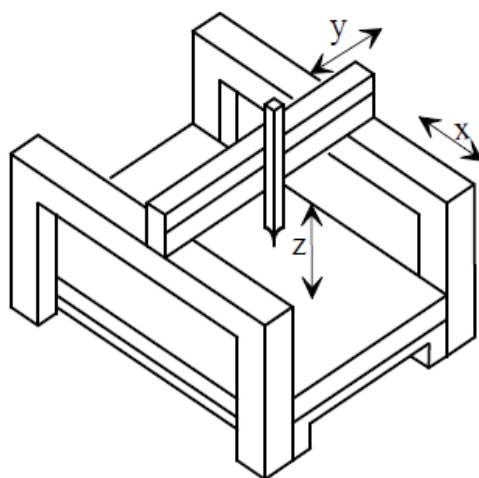
Obr. 1.11 Konzolový typ SMS [3]



Obr. 1.12 Pinolový typ SMS [3]



Obr. 1.13 Stojanový typ SMS [3]



Obr. 1.14 Portálový typ SMS [3]

1.1.8.2 Konstrukce SMS [3]

Na průměrné desky, které tvoří základ SMS i na vodící plochy jsou kladeny vysoké požadavky v dosažení rovinnosti a kolmosti. Minimální úchylka rovinnosti vodících ploch, které jsou broušeny na speciálních bruskách, bývá kolem 0,002 mm/m, lapováním je možno dosáhnout až 0,005 mm/m. Měřicí rozsah SMS je dán hodnotami jednotlivých souřadnic **X**, **Y**, **Z**. Je to prostor, který při měření obsáhne hlavice. Většinou jsou však rozměry obrobku, který se může měřit na SMS menší. Cejchováním snímací hlavice a doteků se zmenšuje také měřicí rozsah.

- *Pracovní deska*

Používá se granitová deska, alternativně litinový odlitek. Pracovní deska je ustavena na čtyřech základních podpěrách. Horní plocha pracovní desky je broušená. V pracovní ploše jsou otvory se závity. Pomocí těchto závitů, šroubů a upínek se připevňuje k pracovní ploše měřený kus. Na koncích desky je upevněno seřizovatelné vedení, po kterém pojíždí most.

- *Most*

Překlad mostu tvoří vedení příčných saní.

- *Vozík*

Deska s kalenými vodícími plochami. Uvnitř desky je vytvořen závěs pro uložení objímky pinoly nebo projektoru břitů, alternativně dotekové sondy.

- *Pinola*

Litinová nebo duralová tyč profilu H. vyvažování pinoly je mechanické, pomocí dvou souměrných závaží.

- *Vedení*

Konstrukce pohyblivých částí SMS je provedena tak, aby se pohyblivé části mohly lehce posouvat s maximální přesností a bez trhavých pohybů i při minimálních rychlostech, které se vyskytují v koncových polohách. Pohyblivé části se ukládají na vedení s co nejmenším třením, s minimálním opotřebením a maximální tuhostí celého zařízení. Z těchto důvodů se dnes téměř nepoužívá kluzných vedení. Jeho nevýhodou je větší složitost provedení, což vede k prodražování SMS. Jsou zde také problémy se svodem oleje, jeho těsněním a odvodem tepla.

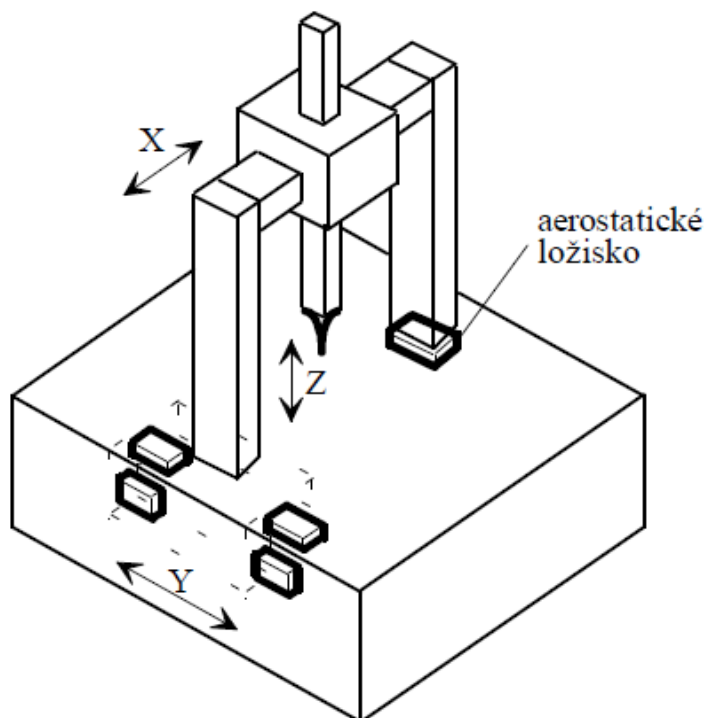
Vhodnější a také častěji používané je uložení na vedení aerostatickém s plynným třením. Přednost tohoto vedení spočívá v tom, že nejsou potíže s odváděním oleje. Výhodou je velmi nízké tření i při vyšších rychlostech. Aerostatická ložiska mají tuhost okolo 1000 MN/m. Obtíže jsou i s čištěním

vzduchu. Nedostatkem je možnost poškození vedení při porušení vrstvy vzduchu a snížená odolnost proti korozi.

Nejvhodnějším vedením a také často používaným pro SMS jsou vedení valivá, která bývají na kuličkách nebo válečkách. K jejich výhodám patří velmi malé tření, vysoká rovnoměrnost pohybů, která je u SMS jednou z podmínek pro přesná měření, vysoká tuhost při dobrém zakrytování.

Přítomnost mazání na valivých vedeních prakticky nemá vliv na přesnost pohybů a základním účelem mazání je ochrana proti korozi. K nedostatkům valivých vedení patří složitost jejich přesného zhotovení.

Přesnost lze dosáhnout uspořádáním aerostatických ložisek na všech osách. Např. Y-ová osa má pět aerostatických ložisek (viz obr. 1.15), kde každé ložisko zachytává jeden ze šesti stupňů volnosti, čili jeden stupeň zůstává nezachycen (Y-ový pohyb). Takováto kinematická struktura zajistí, že most může mít jen jednu orientaci minimalizující opakovatelné chyby.



Obr. 1.15 Uložení aerostatických ložisek [3]

- *Odměřovací systém SMS*

Odměřovací systém podstatně ovlivňuje přesnost měření SMS. Rozlišovací schopnost a periodická chyba měřítka ovlivňují výsledek měření v závislosti na měřené délce.

1.1.8.3 Příslušenství SMS

U každého stroje je základní vybavení, které je možno podle přání zákazníka rozšířit. Základním a nezbytným prvkem elektronické soustavy je pro každou měřicí

osu blok s číslicovým ukazatelem a nulovým tlačítkem pro nastavení „0“ v kterémkoliv bodě osy. K většině strojů je dodáváno toto příslušenství:

- snímací hlavice se sadou doteků, které mohou být mechanické, optické, elektronické a cejchovní normál,
- zařízení pro ustavení obrobku,
- počítače,
- zařízení pro komunikaci obsluhy s počítačem (ovládací pult, obvykle přenosný),
- zařízení pro tisk protokolu (tiskárna),
- zařízení pro grafický záznam (plotter),
- další příslušenství jako otočné stoly, případně speciální zařízení pro kontinuální snímání (pokud to koncepce stroje dovolí) apod. [3]

1.1.8.4 Požadavky na SMS [3]

Přesnost SMS je vlastnost, která charakterizuje jeho schopnost dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Vyjadřuje kvalitativně stupeň přiblížení naměřených hodnot hodnotám skutečným. Přesnost měření na SMS je ovlivněna dílčími nepřesnostmi.

Zdroje chyb při měření

- *u souřadného systému:*
 - deformace stroje,
 - chyby přímosti,
 - chyby kolmosti,
 - tření,
 - vůle.
- *u snímacího systému:*
 - linearita,
 - životnost,
 - stabilita nulového prvku.
- *u měřícího doteku:*
 - průhyb,
 - chyby tvaru.
- *u měřené součásti:*
 - povrch,
 - hmotnost.
- *u odměřovacího systému:*
 - chyby měřítka.
- *u řízení:*
 - chyby digitalizace.
- *podmínky okolí:*
 - chvění,
 - kolísání teplot.

1.1.9 Měření na CNC centrech pomocí měřicích sond

Sondy pro CNC centra se rozdělují na dva druhy:

- a) obrobkové sondy,
- b) nástrojové sondy – kontaktní - dotek,
– bezkontaktní - laserový paprsek (viz 1.2.2).

Obrobkové 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:

- automaticky se korigují chyby během obráběcího cyklu,
- zvyšuje se jistota v bezobslužných provozech,
- automaticky se koriguje nastavení po změření prvního kusu dávky,
- snižují se prostoje stroje, který čeká na výsledek kontroly prvního kusu dávky. [5]



Obr. 1.16 Obrobková sonda OMP400 [6]

Seřizování nástrojů pomocí koncových měrek a ruční korekce údajů v tabulce nástrojů zabírá čas a znamená riziko vzniku chyb.

Nástrojové sondy nabízejí následující výhody:

- velké ušetření času a zredukování prostojů stroje,
- přesné měření délek a průměru nástroje,
- automaticky se detekuje opotřebení nástroje a korigují se hodnoty v tabulce nástrojů,
- snižuje se vliv chybné obsluhy stroje,
- detekuje se zlomení nástroje v průběhu obráběcího cyklu. [5]

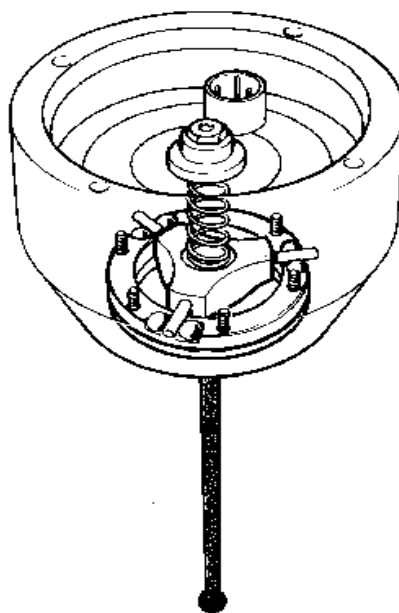
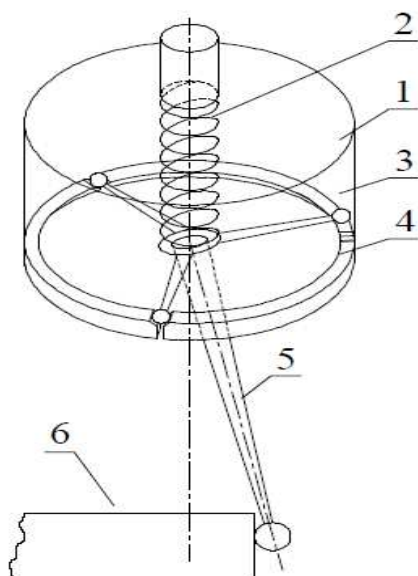


Obr. 1.17 Kontaktní nástrojová sonda TS27R [6]

1.1.9.1 Princip měření měřící sondy [3, 6]

Elektrický signál vysílaný z kontaktu je základ pro získání kvantitativní informace o velikosti souřadnic X , Y , Z bodu čteného měřícím systémem.

Na obr. 1.18 je ukázáno kinematické schéma měřící hlavy s elektrokontaktním snímačem pracujícím ve třech směrech. V tělese sondy (1) jsou na obvodu kroužku tři elektricky izolované V-drážky (4) rozmístěné po 120° . Měřicí dotek (5) je spojen se třemi rameny ukončenými kuličkami, které se následkem tlaku vyvolaného pružinou (2) drží v klidové poloze ve V-drážkách vytvářející elektrický kontakt. Když je hrot sondy vychýlen při kontaktu s měřenou součástkou (6), dojde k přerušení elektrického kontaktu na jednom rameni a k vyslání signálu. Data jsou uložena v parametrech řídicího systému a následně využita k výpočtu velikosti nebo polohy prvku. Kontaktní systém se může skládat z V-drážek a kuliček, jak je ukázáno na obr. 1.18, nebo z dvou kuliček a válečku, viz obr. 1.19.



Obr. 1.18 Sonda s V-drážkou a kuličkou [3] Obr. 1.19 Sonda s kuličkami a válečkem [6]

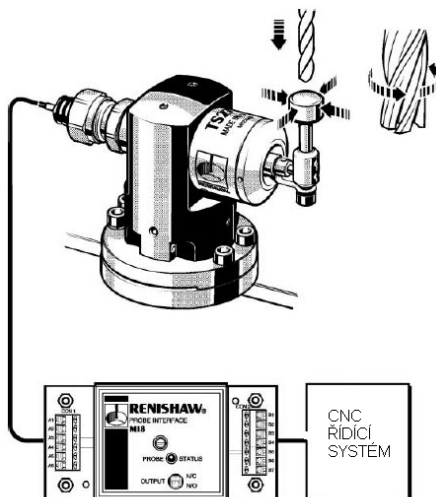
1.1.9.2 Komunikace s CNC řídicím systémem

Pro rozlišení obrobkových sond je významným aspektem druh přenosu měřicího signálu ze sondy do řídicího systému stroje. V praxi se uplatňují čtyři typy přenosu signálu:

- kabelem,
- opticky,
- induktivně,
- rádiem.

Komunikace po kabelu

- *charakteristika:*
 - nejjednodušší způsob komunikace,
 - relativně nízké pořizovací náklady,
 - vhodné pouze pro nástrojovou sondu pevně spojenou se stolem stroje,
 - pro obrobkové sondy vkládané do vřetene stroje je kabelové propojení zcela nevhodné – snižuje přínosy sondy na minimum,
 - nelze využít v automatickém cyklu pro kontrolu výrobního procesu,
 - vyžaduje ruční manipulaci. [6]



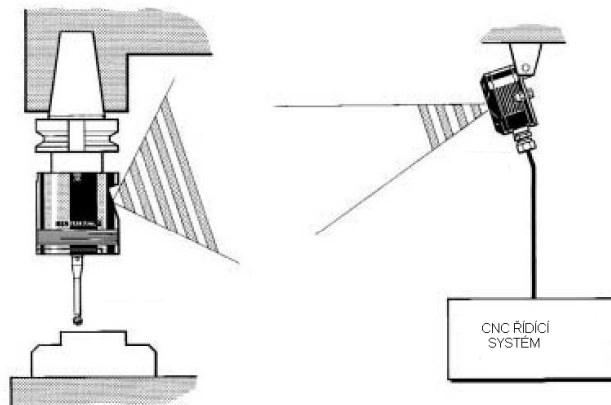
Obr. 1.20 Komunikace po kabelu [6]

Optická komunikace

Optická komunikace probíhá v infračerveném spektru světelného záření. Průběh signálu není lidským okem viditelný. Infra přenos je spolehlivý, neškodný ze zdravotního hlediska a je minimálně náchylný na rušení.

- *charakteristika:*
 - spolehlivý způsob přenosu signálu,
 - snadná instalace na již provozované stroje,
 - vhodné pro všechny typy strojů,
 - dosah signálu cca 4 m,
 - sonda je trvale umístěna v zásobníku nástrojů,

- sonda je vnímána jako kterýkoliv jiný nástroj používaný v automatickém cyklu,
- životnost baterií v sondě je cca 3 – 6 měsíců, využívá se běžných baterií typu AA nebo ½ AA. [6]



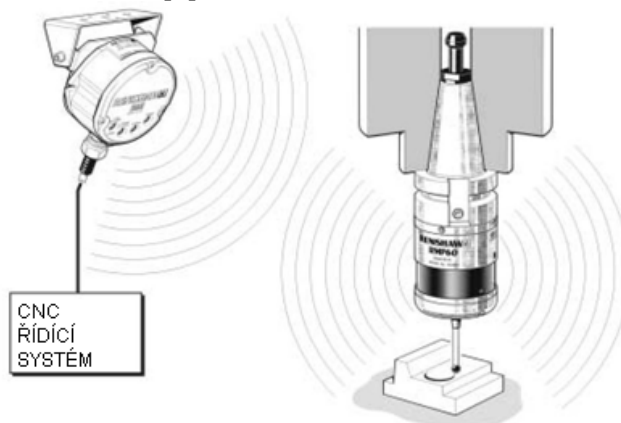
Obr. 1.21 Optická komunikace [6]

Rádiová komunikace

Rádiová komunikace využívá volné frekvence 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.

- *charakteristika:*

- ideální řešení pro čtyř- a více- osé stroje,
- velmi vhodné pro velké obráběcí stroje,
- dosah rádiového signálu cca do 15 m,
- snadná instalace na již provozované stroje,
- vhodné pro všechny typy strojů,
- sonda je trvale umístěna v zásobníku nástrojů,
- sonda je vnímána jako kterýkoliv jiný nástroj používaný v automatickém cyklu,
- životnost baterií v sondě je cca 2 – 3 měsíců, využívá se běžných baterií typu AA nebo ½ AA. [6]

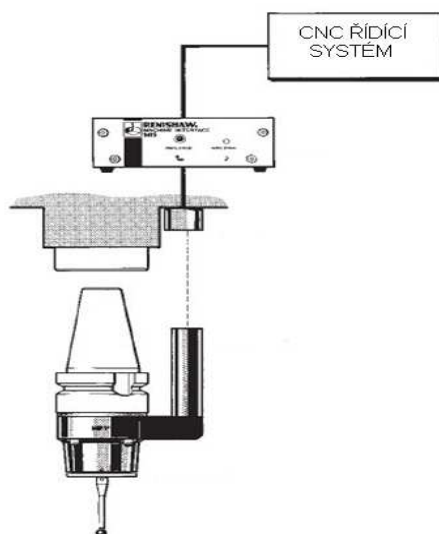


Obr. 1.22 Rádiová komunikace [6]

Induktivní komunikace

Jedná se o spolehlivý bezkontaktní způsob komunikace na velmi krátkou vzdálenost cca 2 mm.

- *charakteristika:*
 - spolehlivý způsob přenosu signálu v prostředí obráběcích strojů,
 - vyžaduje konstrukční přípravu od výrobce stroje,
 - sonda je trvale umístěna v zásobníku nástrojů,
 - sonda je vnímána jako kterýkoliv jiný nástroj používaný v automatickém cyklu,
 - již se nepoužívá. [6]



Obr. 1.23 Induktivní komunikace [6]

1.1.9.3 Popis sond pro měření obrobku [6]

- Příklad:
- OMP40 (Optical Machine Probe; sonda s optickou komunikací, těleso Ø40 mm)
 - OMP400 (Optical Machine Probe; tenzometrická sonda s optickou komunikací, těleso Ø40 mm)
 - RMP60 (Radio Machine Probe; sonda s rádiovou komunikací, těleso Ø60 mm)
 - RMP600 (Radio Machine Probe; tenzometrická sonda s rádiovou komunikací, těleso Ø60 mm)

1.1.9.4 Typy doteků, materiál kuliček a stopek doteků

Typy doteků [17]

- *přímé doteky* – nejjednodušší tvar doteku, který je tvořen kuličkou z průmyslového rubínu a stopkou z některého z více mnoha druhů materiálu,



Obr. 1.24 Přímý dotek [17]

- *hvězdicové doteky* – tyto doteky umí snímat složité prvky a otvory, a to díky více dotekům (většinou čtyři nebo pět kuliček); jejich použití snižuje dobu měření složitých tvarů a dutin,



Obr. 1.25 Hvězdicový dotek [17]

- *diskové (talířové) doteky* – slouží ke snímání zápichů a drážek v otvorech,



Obr. 1.26 Diskový (talířový) dotek [17]

- *válcové doteky* – slouží pro měření otvorů v tenkém plechu; mimo jiné se mohou použít při snímání různých prvků se závity a lokalizovat středu těchto otvorů se závity,



Obr. 1.27 Válcový dotek [17]

- *špička a dutá keramická polokoule* – doteky se špičkou slouží ke snímání tvarů závitů, bodů a rysek; doteky s dutou keramickou půlkoulí slouží pro snímání hlubokých otvorů,



Obr. 1.28 Špička a dutá keramická polokoule [17]

- *doteky k ustavení nástrojů* – spojení se sondou je zaručeno závitem nebo pojistným šroubem.



Obr. 1.29 Dotek k ustavení nástrojů [17]

Materiál kuliček [17,18]

- *rubín* – jeden z nejtvrdších materiálů vůbec,
 - je optimální materiál pro kuličky,
 - syntetický rubín je 99% oxid hlinitý,
 - při teplotě 2000 °C se vytváří krystaly, které jsou nařezány a obrobeny do kuličky,
 - kuličky z rubínu mají vysokou pevnost v tlaku, velkou odolnost proti mechanickému poškození a mimořádně hladký povrch.
- *nitrid křemíku*
 - s rubínem má hodně společných znaků (např. odolný proti opotřebení, velmi tvrdý materiál),
 - vysoce hladký povrch se docílí leštěním,
 - ideálně se používá pro hliníkové povrchy, při dotyku s ocelovými povrchy vzniká opotřebení otěrem.
- *oxid zirkoničitý*
 - tvrdostí a odolností proti opotřebení se blíží rubínu,
 - pevný keramický materiál,
 - používá se pro styk s litinovými součástmi.
- *eloxovaný hliník*
 - eloxovaný povrch dodá hliníku odolnost proti korozi,
 - eloxace je druh povrchové úpravy hliníky, kdy se vytvoří ochranná vrstva oxidu hliníku.
- *karbid wolframu*
 - velmi tvrdý materiál.
- *ocel* – kuličky se dělají z nástrojové a uhlíkové oceli,
 - používají se pro diskové doteky.

Materiál stopek doteků [17]

- *ocel* – používá se nemagnetická nerezová ocel,
 - pro doteky s kuličkou s průměrem větším jak 2 mm a délkou do 30 mm,
 - optimální poměr tuhosti a hmotnosti.
- *karbid wolframu*
 - pro doteky s kuličkou s průměrem pod 1 mm a délkou do 50 mm,
 - vyšší hmotnost doteku a nižší tuhost.
- *keramika*
 - pro doteky s kuličkou s průměrem nad 3 mm a délkou přes 30 mm,

– tuhost přibližně stejná s ocelí, lehčí než karbid wolframu.

- *uhlíková vlákna*
 - velká tuhost a malá hmotnost.

1.2 Přehled bezdotykového měření při třískovém obrábění

1.2.1 Měřicí mikroskopy [2]

Měřicí rozsah je v ose **X** od 0 do 70 mm a v ose **Y** od 0 do 50 mm. Rozlišitelnost činí 0,001 mm (0,01 mm). Měřicím mikroskopem se měří délky a úhly. Možná je práce v procházejícím nebo odraženém světle, nevýhodou je však malé zorné pole (podle zvětšení zvoleného objektivu 6 až 2 mm). Používá se jako dílenské nebo laboratorní měřidlo délek a úhlů, měří jak vnější tak vnitřní rozměry.



Obr. 1.30 Měřicí mikroskop [12]

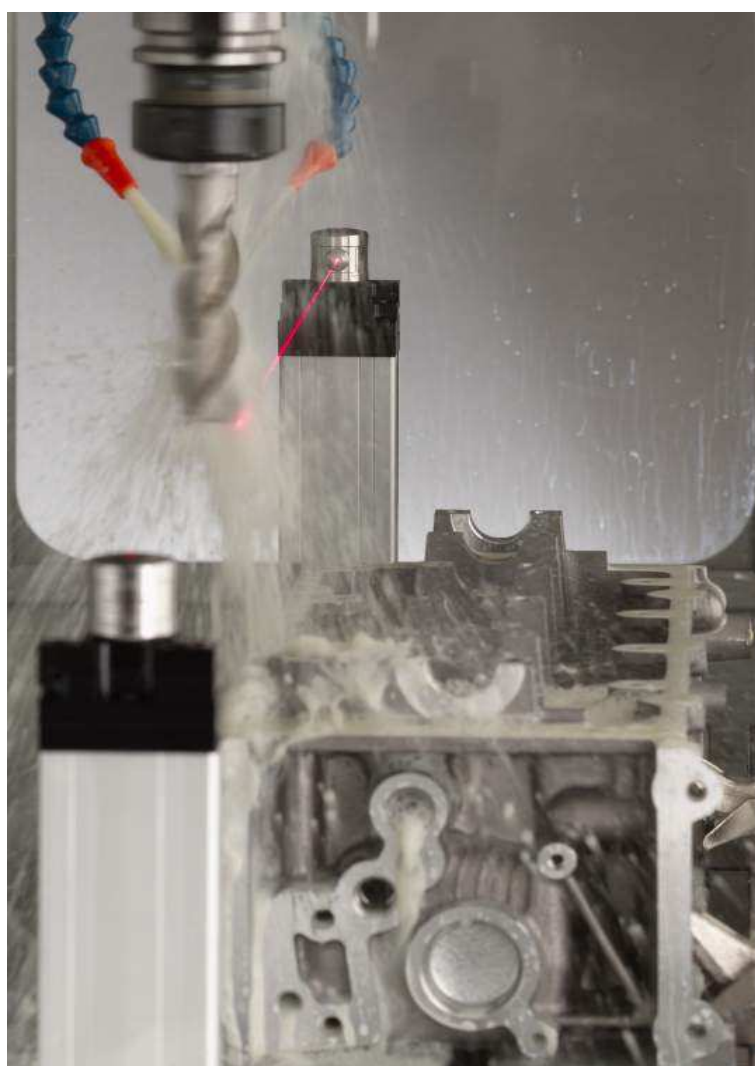
1.2.2 Laserové nástrojové sondy

Bezkontaktní (laserové) nástrojové sondy pracují s laserovým paprskem, který prochází mezi vysílačem paprsku a přijímačem paprsku. Nástroj se pohybuje vertikálním posuvem, kolmo k paprsku a při najetí do paprsku se paprsek přeruší. Při najetí nástroje do paprsku registruje přijímač změnu intenzity záření. Při přerušení záření je zaznamenána poloha a změřená data jsou použita pro výpočet rozměrů nástroje.

Umožňuje bezkontaktní ustavování nástrojů, detekci poškození nástrojů a měření jejich rozměrů. Tímto způsobem ustavování lze zkrátit seřizovací časy až o 90 % a snížit zmetkovitost způsobenou chybami ustavení. Tím, že detekují poškození nástrojů, umožňují obrábění bez přítomnosti obsluhy. [6,13]

Tab. 1.1 Minimální průměr nástroje při měření a detekci poškození [19]

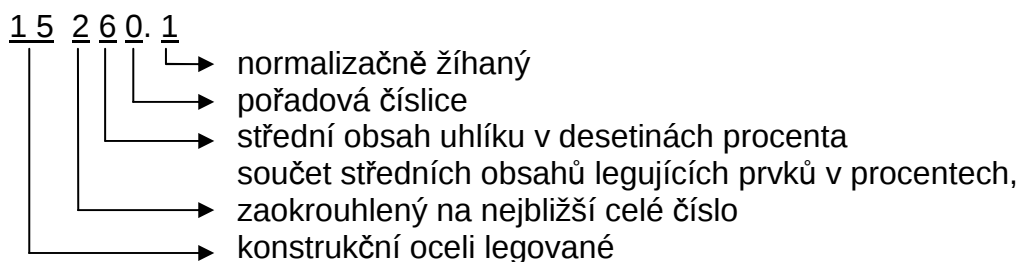
Rozestup vysílače a přijímače [m]		Min. průměr nástroje [mm] při:	
		měření	detekci
Pevný systém	0,225	0,20	0,10
Oddělený systém	0,50	0,30	0,10
	1,00	0,40	0,20
	2,00	0,50	0,20
	3,00	0,60	0,30
	4,00	1,00	0,30
	5,00	1,00	0,30



Obr. 1.31 Laserová nástrojová sonda NC4 [6]

2 Návrh testovacího obrobku

Bylo zapotřebí dvou testovacích obrobků. Z materiálu o rozměrech 300x90x37 mm byly pásovou pilou zhotoveny dva testovací obrobky o rozměrech 90x90x37 mm. Materiál testovacích obrobků je 15 260.1. Jedná se o konstrukční legovanou ocel, tepelně zpracovanou normalizačním žíháním.



Mechanické vlastnosti materiálu:

- mez kluzu $R_e = 590$ MPa,
- pevnost v tahu $R_m = 785$ až 980 MPa. [15]

Použití materiálu:

- k zušlechťování,
- vhodná pro velmi namáhané součásti, hřídele, čepy, poloosy, pístnice, šrouby. [15]

Legující prvky v materiálu:

- uhlík $\langle 0,45; 0,57 \rangle$,
- chrom $\langle 0,85; 1,25 \rangle$,
- mangan $\langle 0,66; 1,15 \rangle$,
- fosfor $< 0,030$,
- síra $< 0,040$,
- křemík $< 0,4$,
- vanad $\langle 0,08; 0,27 \rangle$. [14]

Prvním úkolem bylo namodelování 3D modelů. Prvním model byla plná kostka, druhý model byla kostka s 10 mm širokou a 6 mm hlubokou drážkou provedenou v ose obrobku a třetí 3D model byla konečná fáze kostky po veškerém obrábění a měření. Jednalo se o kostku s 34 mm širokou a 6 mm hlubokou drážkou provedenou od osy obrobku k jedné straně. Tyto modely nám dávají lepší představu, jak součást vypadá. Modely měly být prvotně použity i při tvorbě měřicích cyklů v softwaru Productivity+. Nakonec použity nebyly, protože by bylo zapotřebí vytvořit model po každém z 25 obrábění, což by bylo značně zdlouhavé. Namísto toho se měřicí cykly v softwaru Productivity+ tvořily ručním naprogramováním.

Po vytvoření 3D modelů byla vytvořena technická dokumentace. V dílenských prostorách, které patří pod Ústav strojírenské technologie, se z materiálu o rozměrech 300x90x37 mm zhotovili na pásové pile dvě kostky o rozměrech 90x90x37 mm.

Poté následovalo naprogramování obrábění v ShopMillu. Po naprogramování obrábění bylo v dílnách provedeno obrábění nanečisto na obráběcím centru typu MCV 1210 od firmy TAJMAC-ZPS. Potom již nic nebránilo tomu, zkombinovat obráběcí a měřicí cykly v softwaru Productivity+. Nakonec již zbývala jen samotná realizace.

Modely testovacího obrobku po jednotlivých krocích obrábění

1. krok

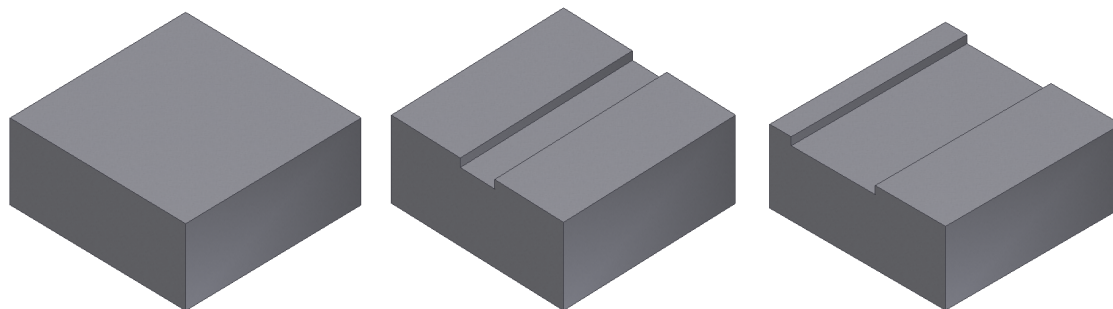
Testovací obrobek je po nařezání pásovou pilou, před frézováním a má rozměr 90x90x37 mm.

2. Krok

Testovací obrobek je po nařezání pásovou pilou a má rozměr 90x90x37 mm. Je v něm vyfrézovaná drážka, která má rozměr 90x10x6 mm a je umístěna v ose obrobku.

3. krok

Testovací obrobek je po nařezání pásovou pilou a má rozměr 90x90x37 mm. Je v něm vyfrézovaná konečná drážka, která je vyfrézovaná k jedné straně a má rozměr 90x34x6 mm.



Obr. 2.1 Modely testovacího obrobku

Na obou testovacích obrobkách se postupovalo zpočátku stejně. Nejprve byl testovací obrobek upnut a ustaven pomocí obrobkové sondy OMP 400 od firmy Renishaw, kterou se určí nulový bod. Poté v něm byla vyfrézována drážka 6 mm hluboká, 10 mm široká a 90 mm dlouhá. Po vyfrézování této drážky následovalo změření šířky zbývajících materiálu obrobkovou měřicí sondou. Pak se ubíral zbývajících materiálů o 1 mm v jednom směru a poté se vždy změřila tloušťka zbývajících materiálu obrobkovou měřicí sondou a její hodnota se zapsala do protokolu. Tento cyklus se opakoval 25 -krát. Důvod toho, proč musely být dva testovací obrobky, je ten, že u prvního obrobku se obrábělo, měřilo obrobek, zapsalo do protokolu, ale nekorigovalo se. A u druhého testovacího obrobku se

obrábělo, měřilo obrobek, zapsalo do protokolu a pomocí obrobkové sondy se korigoval průměr nástroje.

Testovací obrobek byl obráběn nesousledným frézováním. Hloubka frézování byla 6 mm a šířka poprvé 10 mm a následně už jen 1 mm.

3 Návrh implementace měření do procesu třískového obrábění

V této části se nachází popis všeho, co bylo použito ke zhotovení daného úkolu (stroj, nástroj, sonda, dotek) a dále komunikace s CNC řídicím systémem a implementace měření.

3.1 Stroj

Stroj, na kterém byly obráběny a měřeny testovací obrobky je od společnosti TAJMAC-ZPS, a.s., typ MCV 1210.

Stroj typu MCV 1210 má široké uplatnění při obrábění prostorových složitých tvarů obrobků ve třech až pěti osách. Stroj má vysokou tuhost, dobré tlumící vlastnosti, a tak umožňuje vysokorychlostní obrábění. Všechny pohyby stroje jsou provedeny prostřednictvím lineárního vedení s valivými elementy. V osách **X**, **Y**, **Z** je odměřování polohy uskutečněno absolutními odměřovacími jednotkami. [16]

Tab. 3.1 Technické parametry stroje TAJMAC typu MCV 1210 [16]

Pojezdy		
osa X (křížový suport)	1000	mm
osa Y (příčník)	1800	mm
osa Z (smykadlo)	600	mm
rozměr pracovního stolu	1200x1000	mm
Vřeteno		
typ	Weiss	
upínací kužel	HSK-A63	
maximální otáčky	18 000	min ⁻¹
maximální výkon	32	kW
Maximální krouticí moment	89,6	Nm



Obr. 3.1 Obráběcí centrum typu MCV 1210 [16]

3.2 Nástroj

- Fréza
- čtyři břity, krátká
 - označení: 10x25 HSS Co5 (Ø 10 mm; délka 25 mm; rychlořezná ocel s obsahem Co 5%),
 - od firmy ZPS – Frézovací nástroje a.s..

Tento nástroj byl použit z důvodu sledování vlivu opotřebení nástroje, proto byl volen nástroj z rychlořezné oceli. Do běžné praxe by byl pro obrábění materiálu 15 260.1 použit nástroj ze slinutého karbidu.



Obr. 3.2 Fréza 10x25 [24]

3.3 Sonda

Obrobková sonda

- od firmy Renishaw s.r.o.,
- označení: OMP400 (Optical Machine Probe; tenzometrická sonda s optickou komunikací, těleso Ø40 mm).



Obr. 3.3 Obrobková sonda OMP 400 [6]

Tab. 3.2 Technické parametry obrobkové sondy OMP 400 [23]

Použití	
Hmotnost (bez stopky) s bateriemi bez baterií	262 g 242 g
Směry snímání	Vícesměrové: $\pm X$, $\pm Y$, $+ Z$
2D deformace v ose X,Y	$\pm 0,25 \mu\text{m}$ - pro délku doteku 50 mm $\pm 0,25 \mu\text{m}$ – pro délku doteku 100 mm
3D deformace v osách X,Y,Z	$\pm 1,00 \mu\text{m}$ - pro délku doteku 50 mm $\pm 1,75 \mu\text{m}$ – pro délku doteku 100 mm
Spínací síla směr X, Y směr + Z	0,06 N 2,55 N
Vychýlení doteku směr X, Y směr + Z	$\pm 11^\circ$ 6 mm

3.4 Dotek

Přímý dotek

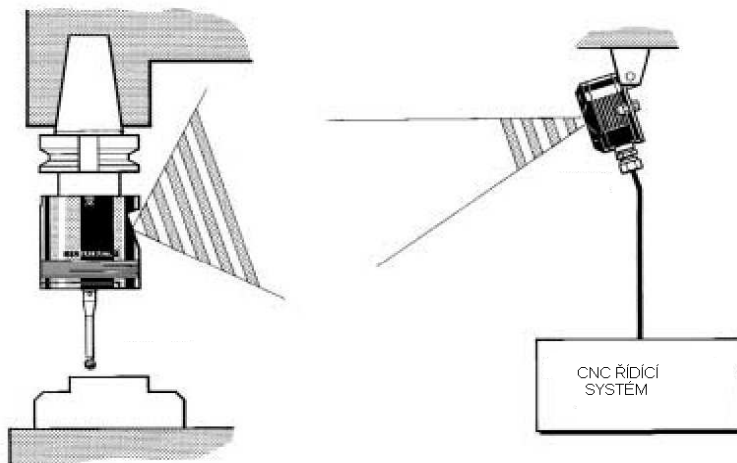
- od firmy Renishaw s.r.o.,
- dotek s rubínovou kuličkou Ø 6 mm a s keramickou stopkou



Obr. 3.4 Dotek [17]

3.5 Komunikace s CNC řídicím systémem

Jedná se o optickou komunikaci s řídicím systémem Sinumerik 840D.
Optická komunikace – viz 1.1.9.2

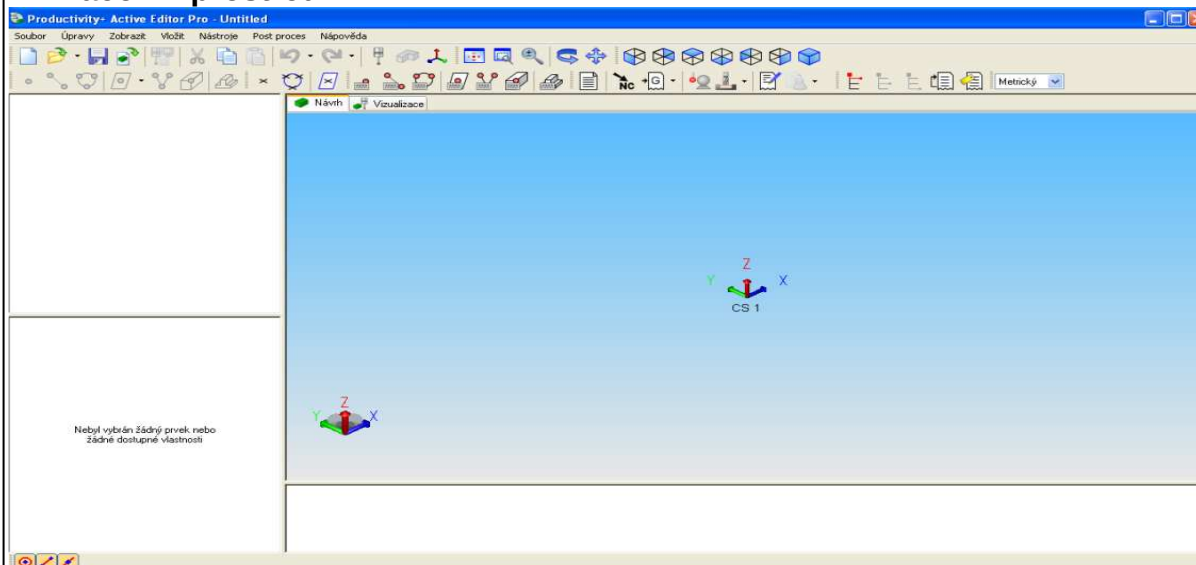


Obr. 3.5 Optická komunikace [6]

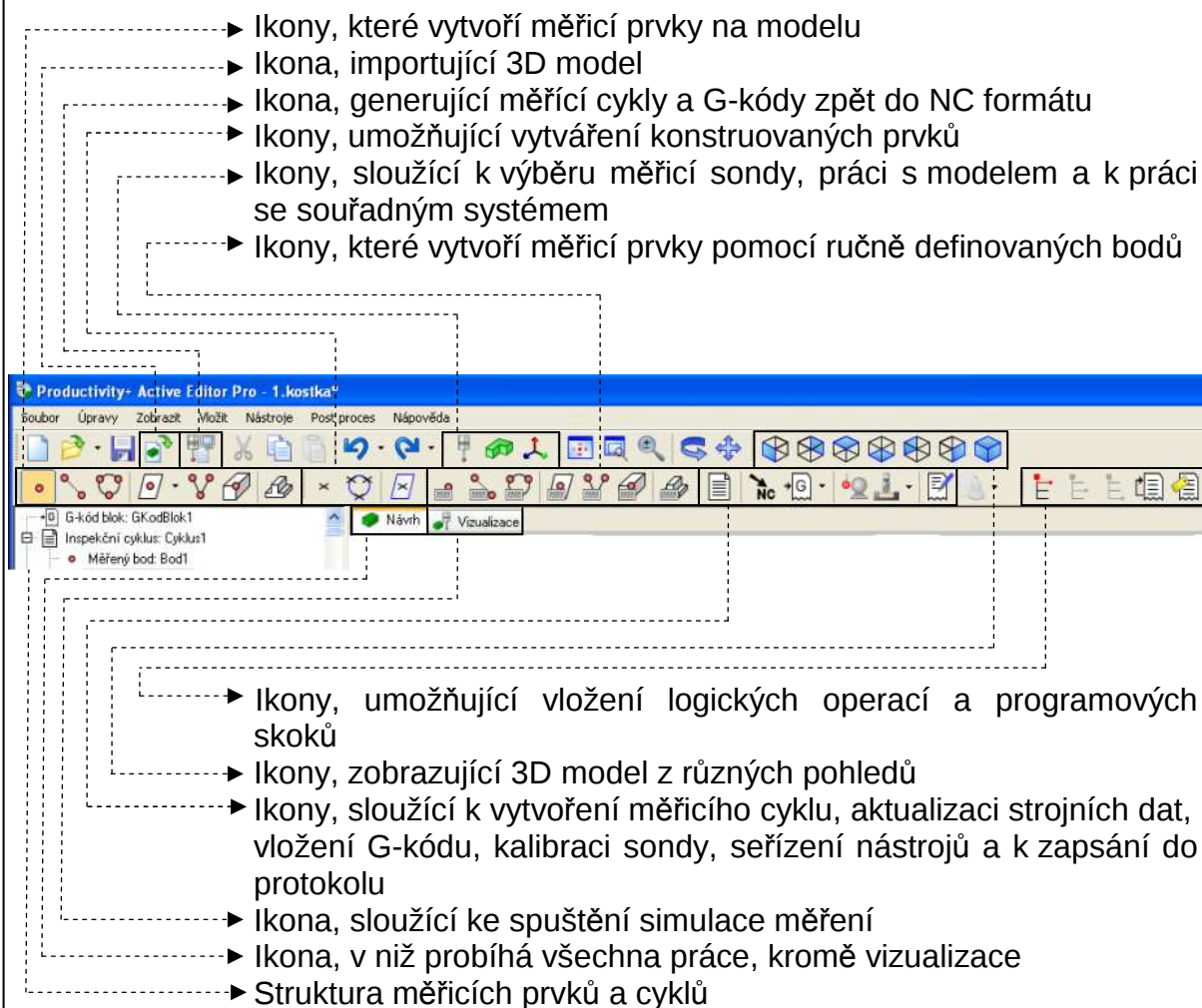
3.6 Implementace měření

Měřicí cykly byly vytvořeny pomocí softwaru Productivity+ Active Editor Pro od firmy Renishaw. Software Productivity+ zjednodušuje programování měřicích cyklů. Za pomoci tohoto softwaru odpadá nutnost ručního měření nástrojů, ustavování obrobků a jejich měření.

Pracovní prostředí



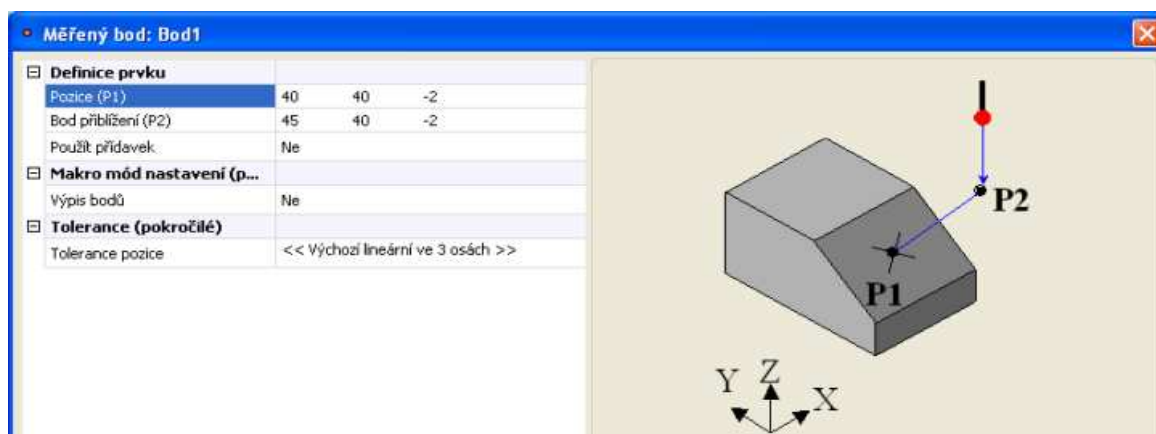
Obr. 3.6 Pracovní prostředí Productivity+ Active Editor Pro



Obr. 3.7 Ikonová nabídka

Měřicí cyklus v Productivity+ lze zhotovit dvěma způsoby:

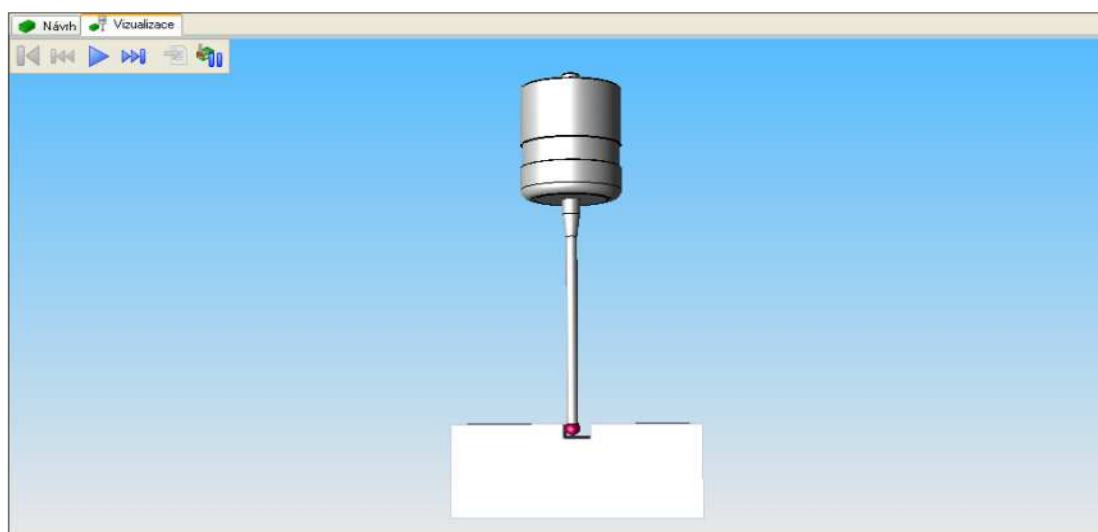
1. Po načtení CAD výkresu součásti se na součásti určí nulový bod. Poté se měřicí cyklus pro změření bodu (přímky, průměru) vyhotoví klikáním myši na modelu.
2. Po načtení CAD výkresu součásti se na součásti určí nulový bod. Poté se měřicí cyklus pro změření bodu (přímky, průměru) vyhotoví tak, že se po kliknutí myši na ikonu „Inspekční cyklus“ klikne na ikonu „Měřený bod“ (přímka, průměr) a do tabulky se napíše souřadnice bodu P1, který má být změřen a souřadnice bodu přiblížení P2.



Obr. 3.8 Měřený bod

Po vyhotovení těchto měřicích cyklů je tu možnost zaznamenat výsledky měření do textového souboru (ikona „Protokol“).

Celý měřicí proces je možné simulovat a to pomocí ikony „Vizualizace“. Při této simulaci se dají odhalit chyby a zabránit tak případné kolizi sondy se součástí. Případná kolize se ve vizualizaci projeví červeným zbarvením sondy.



Obr. 3.9 Vizualizace

4 NC programování a praktická realizace obrábění s měřením

NC programy pro obrábění byly vyhotoveny pomocí softwaru Sinumerik, jeho výukové verzi SinuTrain a v dílensky orientované nadstavbě ShopMill. Software je dodáváný společností Siemens. První obrábění bylo provedeno do plného materiálu (byl odebírán materiál 10 mm široký a 6 mm hluboký. Dalších 24 obrábění již odebíralo materiál po 1 mm šířky a 6 mm hloubky. Po jednotlivých obráběních byla šířka zbývajících materiálu změřena a zapsána do protokolu. K tomuto měření byl použit software Productivity+ od firmy Renishaw. K přenosu dat, ať již k přenosu NC programů nebo k přenosu výsledků měření, sloužilo USB zařízení.

4.1 NC programování

K programování byla použita dílensky orientovaná nadstavba ShopMill. Jako základ nám sloužila výkresová dokumentace (Příloha 1, Příloha 2, Příloha 3). V programu jsou zahrnuty také řezné podmínky.

Řezné podmínky

Řezná rychlost a posuv byly nejprve zvoleny dle doporučených řezných podmínek z tabulek. Z důvodu obav z použitého tvrdého materiálu, byly tyto hodnoty změněny.

Řezná rychlost:

$$v_c = 14 \text{ m/min}$$

Otáčky frézy:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 14}{\pi \cdot 10} = 445,63 \text{ ot/min} \quad (4.1)$$

Posuv:

- na zub: $f_z = 0,012 \text{ mm/zub}$
- za minutu: $s = f_z \cdot n \cdot z = 0,012 \cdot 445,63 \cdot 4 = 21,39 \text{ mm/min}$ (4.2)

Hloubka řezu:

$$a_p = 6 \text{ mm}$$

Čas obrábění jedné drážky:

$$t = \frac{(L_n + L + L_p) \cdot i}{n \cdot f_z \cdot z} = \frac{(10 + 90 + 10) \cdot 1}{445,63 \cdot 0,012 \cdot 4} = 5,1425 \text{ min} = 5 \text{ min } 8 \text{ s} \quad (4.3)$$

Čas obrábění jedné kostky:

$$t_c = t \cdot p_o = 5,1425 \cdot 25 = 128,5633 \text{ min} = 128 \text{ min } 34 \text{ s} \quad (4.4)$$

ShopMill

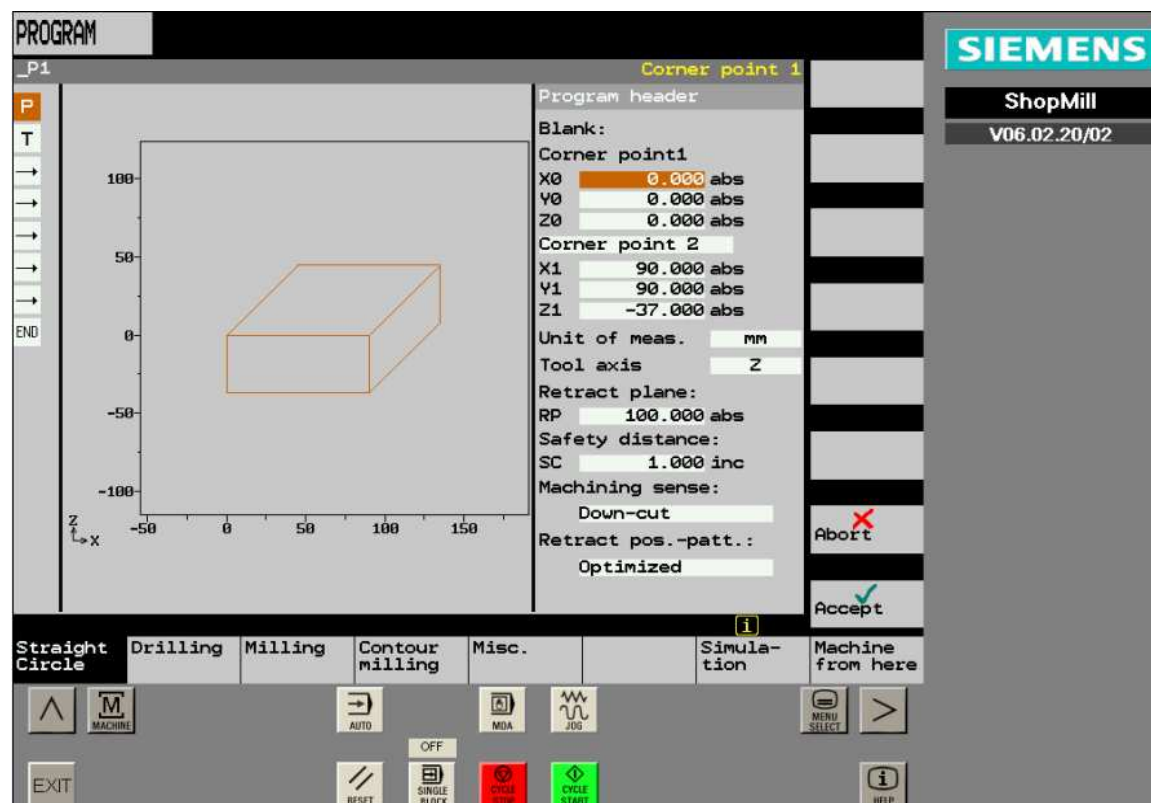
Jelikož po jednotlivých obráběních následují měření, byly zhotoveny programy pro každé z 25 obrábění zvlášť. V softwaru Productivity+ je pak před každý měřicí cyklus zařazen tzv. G-kód blok, do kterého se napíše název programu (např. _P1). Každý z 25 programů má nadefinovaný polotovar a obrábění. Všechny programy byly odsimulovány a odladěny.



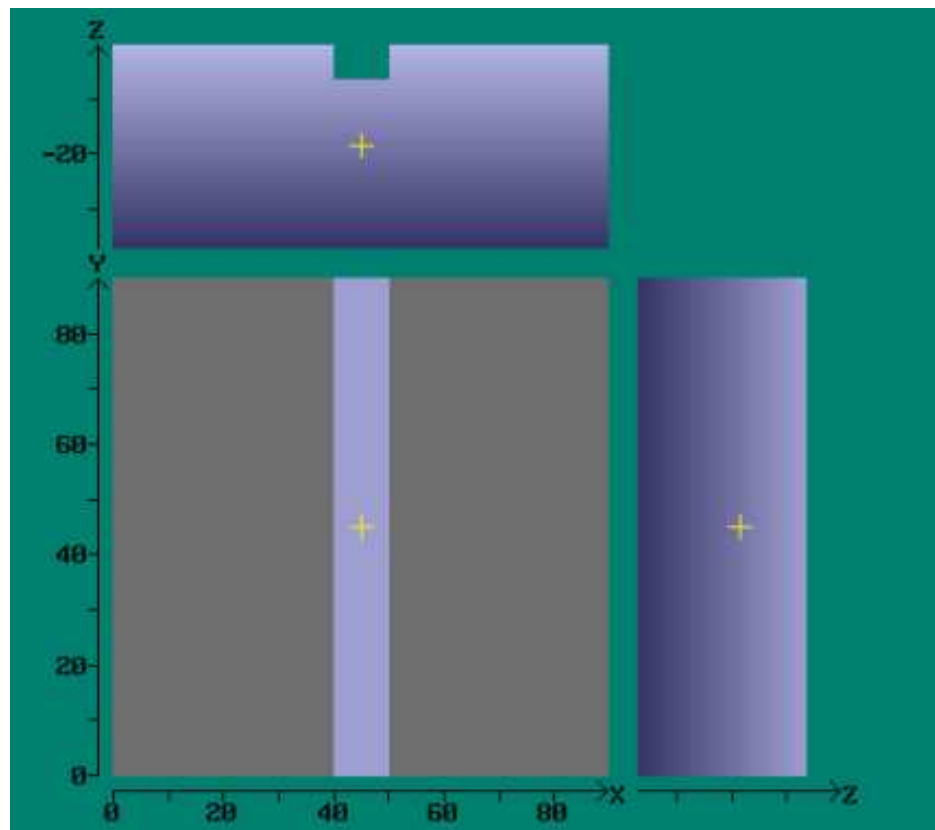
Obr. 4.1 Záložka s 25 obráběcími programy



Obr. 4.2 Ukázka programu _P1 v Shopmillu



Obr. 4.3 Nadefinování polotovaru



Obr. 4.4 Odsimulování obrábění

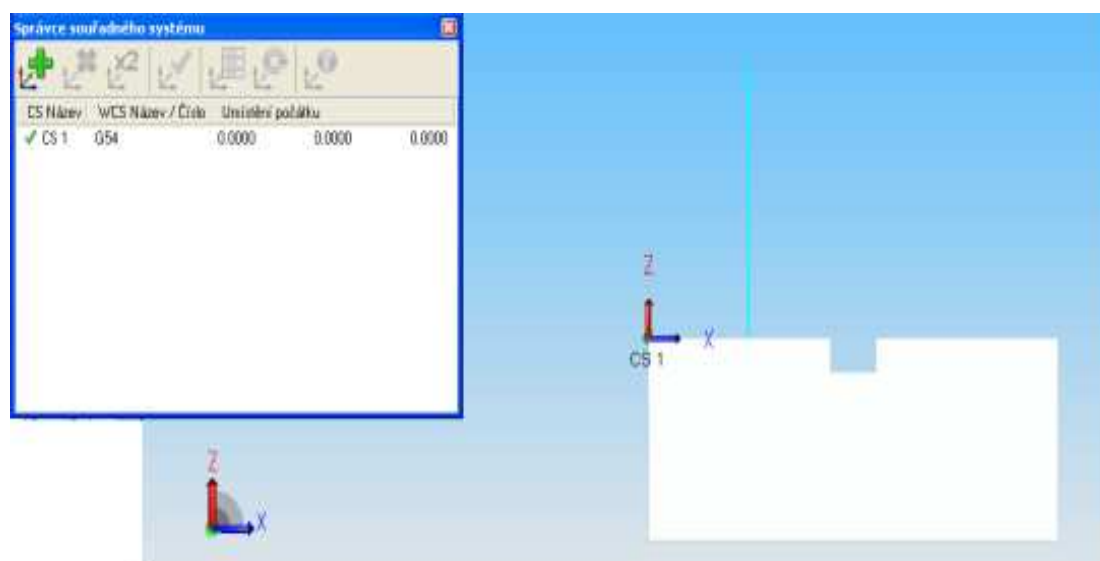
4.2 Měření

K vytvoření měřicích cyklů byl použit software Productivity+ od firmy Renishaw. Do programu tvořícím se v Productivity+ se importovaly obráběcí programy ze ShopMillu.

Productivity+

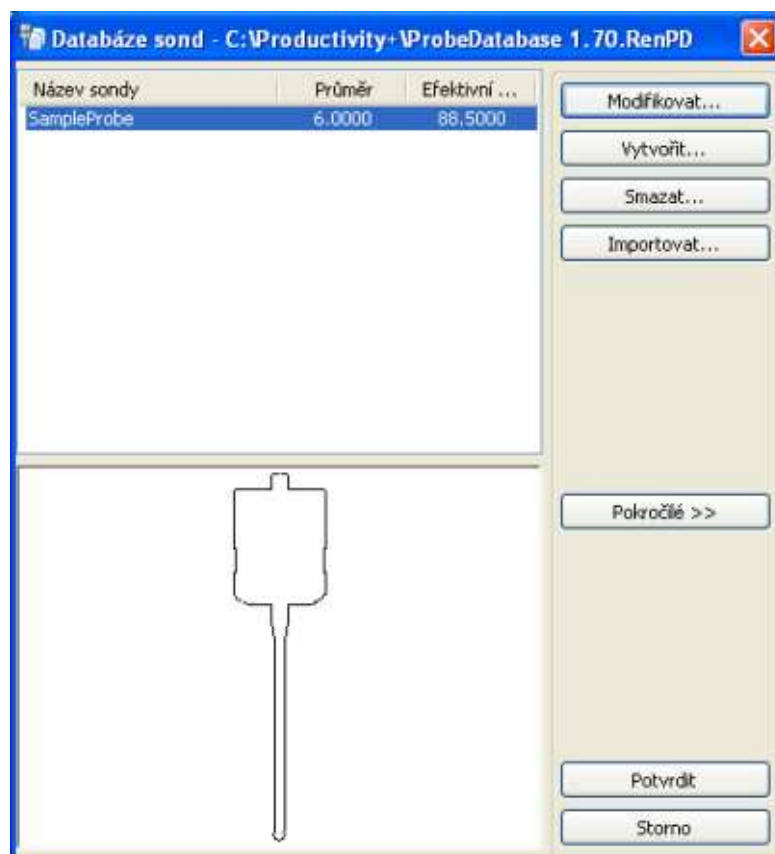
Postup při měření:

1. Importování 3D modelu (v našem případě slouží model pouze k lepší optické představivosti, protože se měřicí cykly vyhotoví pomocí ručně zadaných souřadnic a ne klikáním na modelu).
2. Zvolení nulového bodu (v našem případě je nulový bod totožný jako při obrábění).



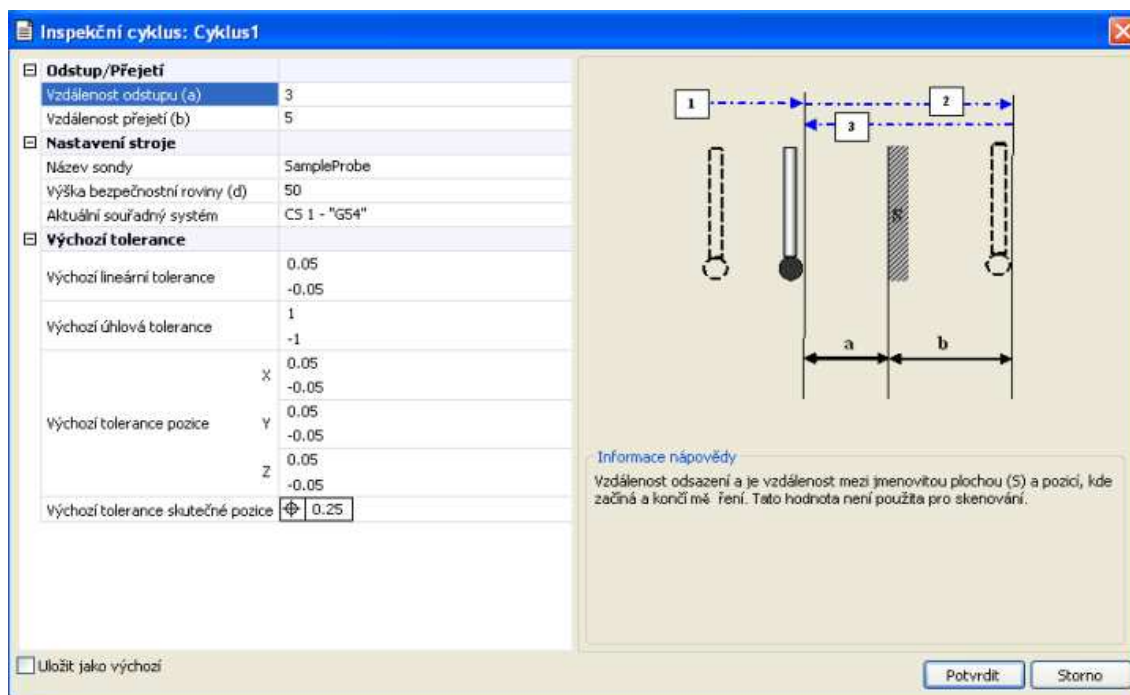
Obr. 4.5 Zvolení nulového bodu

3. Výběr sondy, kterou budeme měřit.



Obr. 4.6 Výběr z databáze sond

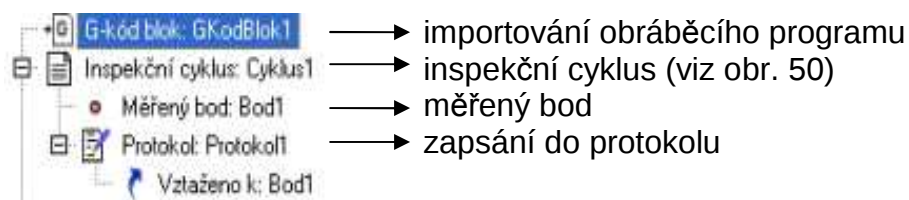
4. Vytvoření inspekčních cyklů.



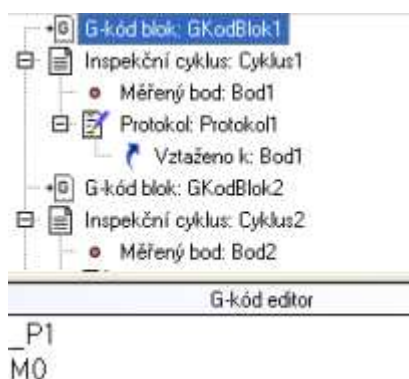
Obr. 4.7 Vytvoření inspekčních cyklů

5. Vytvoření měřicích cyklů.

KOSTKA1 - obrábění, měření obrobku, zapsání do protokolu, ale nekorigování.



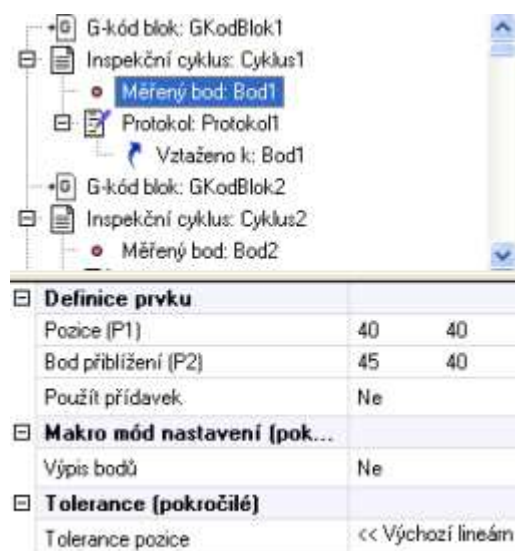
importování obráběcího programu



Obr. 4.8 Importování obráběcího programu

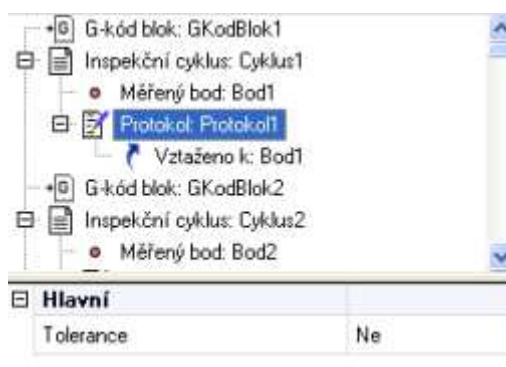
inspekční cyklus – viz obr. 4.7

měřený bod



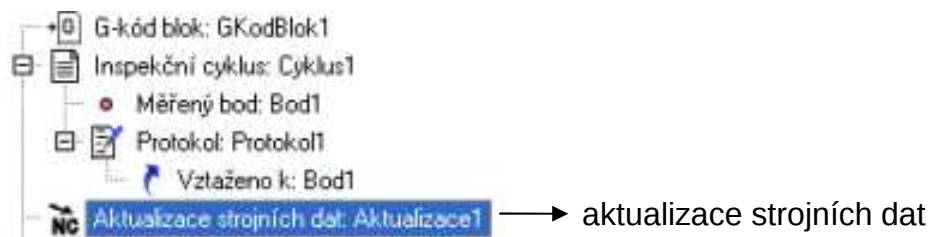
Obr. 4.9 Měřený bod

zapsání do protokolu

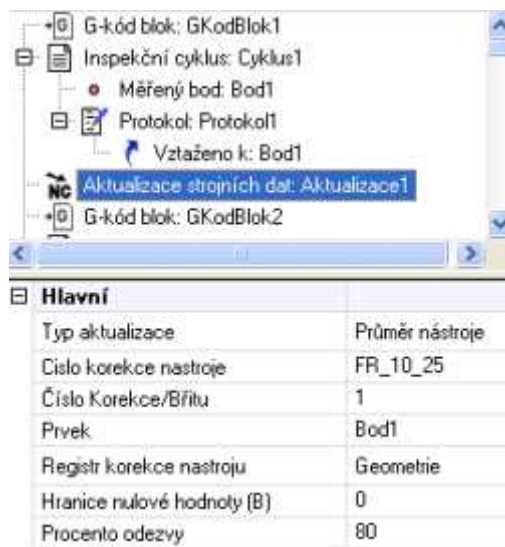


Obr. 4.10 Zapsání do protokolu

KOSTKA2 - obrábění, měření obrobku, zapsání do protokolu a pomocí obrobkové sondy korigování průměru nástroje.



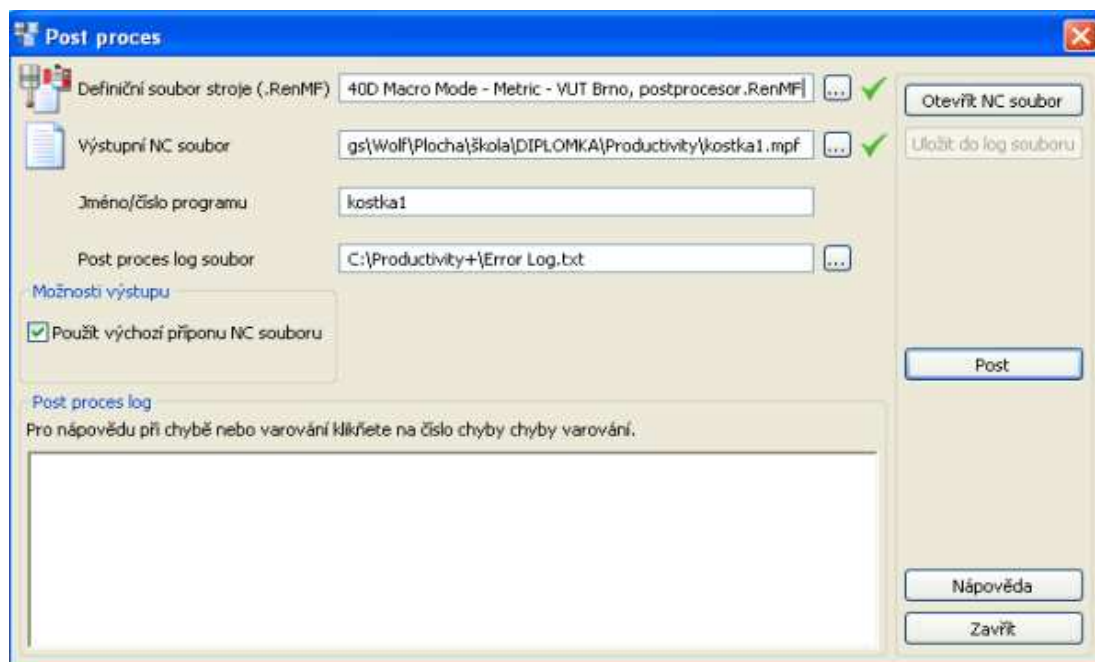
aktualizace strojních dat



Obr. 4.11 Aktualizace strojních dat

Všechno ostatní je stejné jako u KOSTKY1, navíc je pouze aktualizace strojních dat.

6. Generování NC kódu pro všechny měřicí cykly za pomoci postprocesoru.



Obr. 4.12 Postprocesor

4.3 Výsledky měření

Kostka1

U první kostky bylo provedeno obrábění, následovalo měření šířky zbývajících materiálů a zapsání do protokolu. Při tomto obrábění neprobíhala korekce.

Tab. 4.1 Výsledky měření kostky1

č. měření	odchylky	č. měření	odchylky
1	0,0360	14	0,1039
2	0,0590	15	0,1078
3	0,0609	16	0,1088
4	0,0620	17	0,1101
5	0,0649	18	0,1194
6	0,0667	19	0,1203
7	0,0682	20	0,1224
8	0,0706	21	0,1270
9	0,0738	22	0,1298
10	0,0799	23	0,1346
11	0,0901	24	0,1403
12	0,0902	25	0,1468
13	0,1019		



Obr. 4.13 Graf z naměřených hodnot u kostky1

Z grafu je patrné, že odchylky rostou v závislosti na počtu měření. Čím větší číslo měření, tím větší je odchylka.

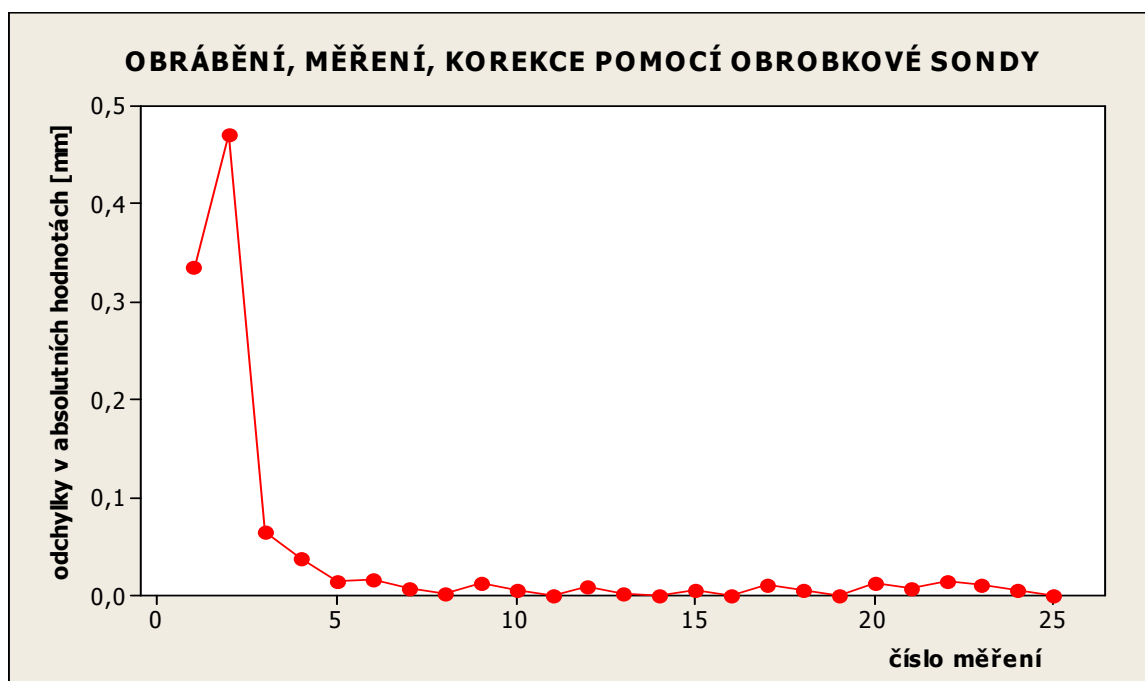
Kostka2

U druhé kostky bylo provedeno obrábění, následovalo měření šířky zbývajícího materiálu a zapsání do protokolu. Při tomto obrábění probíhala korekce průměru nástroje pomocí obrobkové sondy.

Tab. 4.2 Výsledky měření kostky2

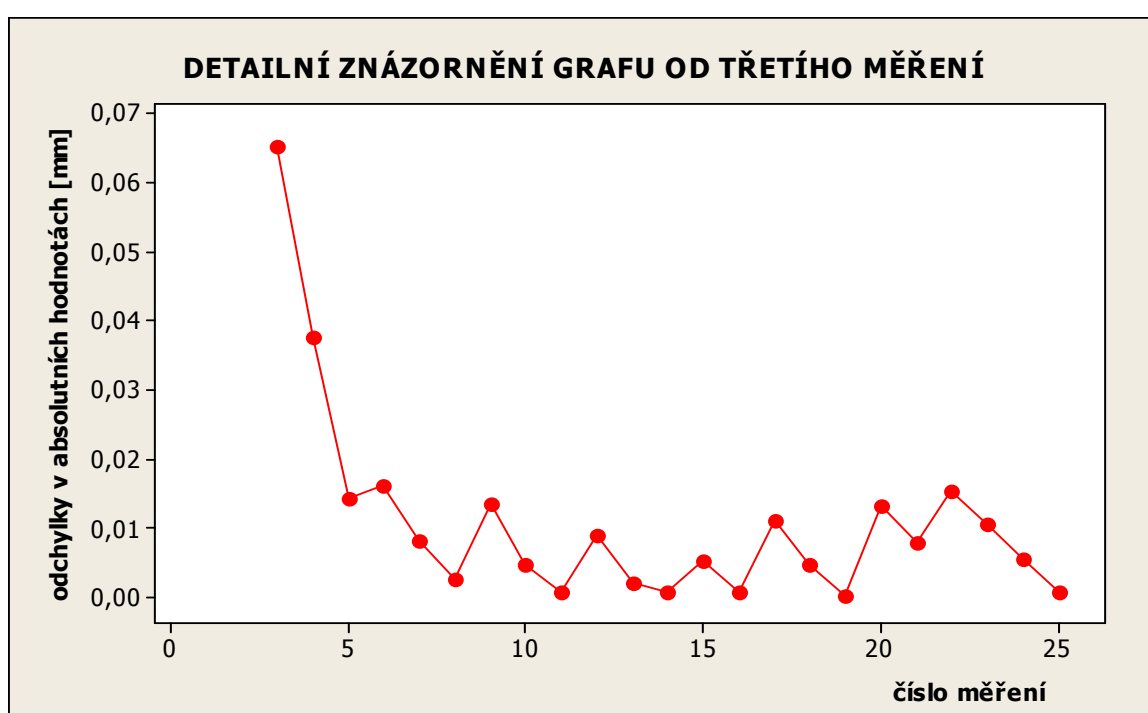
č. měření	odchylky v absolutních hodnotách
1	0,3351
2	0,4708
3	0,0651
4	0,0377
5	0,0143
6	0,0161
7	0,0081
8	0,0026
9	0,0135
10	0,0048
11	0,0006
12	0,0090
13	0,0020

č. měření	odchylky v absolutních hodnotách
14	0,0008
15	0,0053
16	0,0007
17	0,0111
18	0,0046
19	0,0001
20	0,0133
21	0,0078
22	0,0152
23	0,0105
24	0,0056
25	0,0006

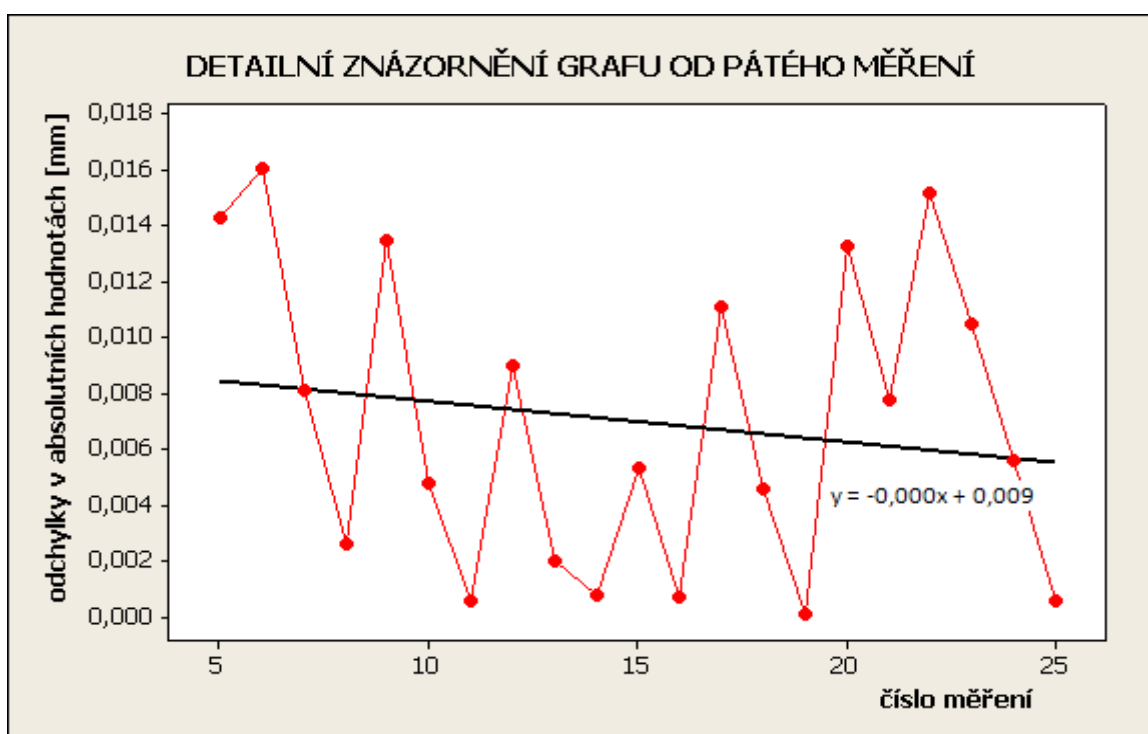


Obr. 4.14 Graf z naměřených hodnot u kostky2

Z grafu je patrné, že se odchylky postupně dostávají do určitého pásu, který se pohybuje lehce nad nulovou hodnotou.



Obr. 4.15 Detailní znázornění grafu od třetího měření u kostky2



Obr. 4.16 Detailní znázornění grafu od pátého měření u kostky2

Aby rovnice proložené přímkou měla vypovídající hodnotu, byl použit graf od pátého měření. Na prvních dvou grafech (obr. 4.14 a obr. 4.15) by byla rovnice přímkou znehodnocena výsledky prvních měření.

Z obr. 4.14 (graf z naměřených hodnot u kostky²) je vidět, že první 2-4 hodnoty odchylek jsou oproti dalším odchylkám veliké. Existují dvě možnosti vysvětlení:

1. Záměrem bylo poukázat na to, že při nezaběhnutém stroji jsou výsledky nesměrodatné. Proto je nutné dbát pokynů výrobce stroje a dle manuálu stroj každý den před prací zaběhnout.
2. Při prvním obrábění jede fréza do plného materiálu a tím si na druhé obrábění utvoří korekce takové, které odpovídají obrábění do plna (odlišné řezné síly při frézování do plného materiálu nebo frézování boku) a tím je ovlivněno první i druhé měření. Od třetího měření si korekce již „sedají“ a odchylky se dostávají do určitého pásu, který se pohybuje lehce nad nulovou hodnotou. Proto v našem případě nelze brát první a druhé měření směrodatně. Řešením by bylo frézovat od samého začátku z boku a ubírat vždy jen 1 mm.

5 Ekonomické zhodnocení

Před samotným zakoupením stroje, nástroje nebo nářadí je nutné si vypracovat analýzu, jestli se koupě vůbec vyplatí, jestli je koupě ekonomicky výhodná.

Následujícím experimentem bude zjištěno, jestli je nákup obrobkové sondy OMP400 ekonomicky výhodný nebo nevýhodný. K experimentu bude použit polotovar KOSTKA1 o rozměrech 90x90x37 mm. Pokus bude proveden na obráběcím centru typu MCV 1210 od firmy TAJMAC-ZPS. Pro přesnější výsledky budou časy jednotlivých částí pokusu naměřeny pětkrát. K pokusu budou zapotřebí stopky, jimiž se budou měřit časy.

K tomu, aby byl pokus proveden, bude zapotřebí:

1. ručně ustavit polotovar; ustavit polotovar pomocí sondy OMP400.
2. ručně měřit polotovar; měřit polotovar pomocí sondy OMP400.

Popis pro ruční ustavení polotovaru:

1. upnutí polotovaru do svěráku,
2. zavolání frézy Ø10 mm ze zásobníku nástrojů,
3. pomocí rychloposuvu najetí cca 50 mm nad polotovar,
4. pomocí mikroposuvu naškrábnutí v osách **X**, **Y** a **Z**, přepočítání umístění nulového bodu, vynulování souřadného systému,
5. odeslání frézy Ø10 mm do zásobníku nástrojů,
6. odepnutí polotovaru ze svěráku,
7. opakování bodů 1-6.

Popis pro ustavení polotovaru pomocí sondy OMP400:

1. upnutí polotovaru do svěráku,
2. zavolání sondy OMP400 ze zásobníku nástrojů,
3. pomocí rychloposuvu najetí přibližně nad zvolený nulový bod,
4. spuštění cyklu měření nulového bodu v ose **Z**,
5. spuštění cyklu měření nulového bodu v ose **X**,
6. spuštění cyklu měření nulového bodu v ose **Y**,
7. odeslání sondy OMP400 do zásobníku nástrojů,
8. odepnutí polotovaru ze svěráku,
9. opakování bodů 1-8.

Popis pro ruční měření polotovaru:

1. stopnutí vřetene a chladicí kapaliny, odjetí vřetene do referenční polohy (levý horní roh pracovního prostoru),
2. čekání cca 3-5 vteřin než se otevřou dvířka stroje (aby si výpary z chladicí kapaliny „sedly“, aby je dělník nevdechoval; pro zkvalitnění pracovního prostředí lze uvažovat o pořízení větráčku, který by výpary z chladicí kapaliny odváděl pryč z pracovního prostoru),
3. uchopení hadice se vzduchem,
4. ofouknutí obrobku od třísek a chladicí kapaliny,
5. položení hadice se vzduchem,
6. uchopení digitálního posuvného měřítka,
7. měření obrobku,
8. přečtení a zapsání naměřené hodnoty,
9. položení digitálního posuvného měřítka,
10. zavření dvířek stroje.

Popis pro měření polotovaru pomocí sondy OMP400:

1. stopnutí vřetene a chladicí kapaliny, odjetí vřetene do referenční polohy (levý horní roh pracovního prostoru),
2. výměna nástrojů (sonda OMP400 za frézu Ø10 mm),
3. stopnutí posuvu,
4. otevření dvířek stroje,
5. uchopení hadice se vzduchem,
6. ofouknutí obrobku od třísek a chladicí kapaliny,
7. položení hadice se vzduchem,
8. zavření dvířek,
9. najetí sondou OMP400 nad polotovar,
10. změření polotovaru, následuje automatické zapsání naměřené hodnoty do protokolu,
11. výměna nástrojů (fréza Ø10 mm za sondu OMP400).

Tab. 5.1 Naměřené časy ustavení polotovaru

	Čas ručního ustavení polotovaru t_{r1} [min]	Čas ustavení polotovaru pomocí sondy OMP400 t_{s1} [min]
1. měření	4,917	2,400
2. měření	4,383	2,133
3. měření	4,533	2,200
4. měření	4,133	1,967
5. měření	4,800	2,017
Průměr	4,553	2,143

Tab. 5.2 Naměřené časy měření polotovaru

	Čas ručního měření polotovaru t_{r2} [min]	Čas měření polotovaru pomocí sondy OMP400 t_{s2} [min]
1. měření	0,896	0,539
2. měření	0,855	0,533
3. měření	0,769	0,536
4. měření	0,823	0,547
5. měření	0,798	0,553
Průměr	0,828	0,542

Výpočet:

Jestliže se chtějí vypočítat úspory na nákladech, vznikajících za jeden rok pracování se sondou OMP400, je zapotřebí si zvolit tyto hodnoty:

- počet hodin ve směně: $h = 8$ hodin
- směnnost: $\sigma = 1$
- počet vzájemně zaměnitelných pracovišť: $g = 1$
- nevyhnutelné časové ztráty: $z = 2 \%$
- počet upínaných kusů za hodinu: $x = 1$ ks/hod
- hodinová sazba stroje: $S_s = 2\,200$ Kč/hod
- náklady na pořízení sondy OMP400: $N_s = 125\,000$ Kč
- náklady na pořízení přijímače OMI2: $N_p = 48\,000$ Kč
- náklady na pár baterií: $N_b = 300$ Kč/4 měsíce $\Rightarrow N_b = 900$ Kč/rok
- minimální životnost daná výrobcem: $\check{z} = 2$ roky
- koeficient oprav: $k = 0,05$

Výpočet uspořené časy při použití sondy OMP400:

$$t_u = (t_{r1} + t_{r2}) - (t_{s1} + t_{s2}) = (4,553 + 0,828) - (2,143 + 0,542) = \\ = \underline{2.696 \text{ min} = 0,045 \text{ hod}}$$

(5.1)

Výpočet pracovních dnů v roce 2010:

dní v roce $dr = 365$ dnů/rok
sobot a nedělí $sn = 104$ dnů/rok
státních svátků mimo sobot a nedělí $ss = 8$ dnů/rok

$$pd = dr - sn - ss = 365 - 104 - 8 = \underline{253 \text{ dnů/rok}}$$

(5.2)

Výpočet časového efektivního fondu pracoviště:

$$F_{ef} = p_d \cdot h \cdot \sigma \cdot g \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) = 253 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = \underline{1983 \text{ hod/rok}} \quad (5.3)$$

Výpočet úspor na stroji za jeden rok:

$$U_N = t_u \cdot F_{ef} \cdot S_s \cdot x = 0,045 \cdot 1983 \cdot 2200 \cdot 1 = \underline{196\,317 \text{ Kč/rok}} \quad (5.4)$$

Výpočet celkových úspor na stroji:

Od částky, která se ušetří za 2 roky, se odečtou náklady za opravu.

$$\begin{aligned} U_{CS} &= \check{z} \cdot U_N - k \cdot (N_s + N_p + 2 \cdot N_b) = \\ &= 2 \cdot 196317 - 0,05 \cdot (125000 + 48000 + 2 \cdot 900) = \underline{383894 \text{ Kč}} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Výpočet celkových úspor za 2 roky používání sondy OMP400:

Jestliže se od částky U_{CS} odečtou pořizovací náklady (sonda + přijímač + baterie), vznikne suma, která se ušetří za 2 roky používání sondy OMP400.

$$\begin{aligned} U_C &= U_{CS} - (N_s + N_p + 2 \cdot N_b) = 383939 - (125000 + 48000 + 2 \cdot 900) = \\ &= \underline{209139 \text{ Kč}} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Výpočet minimálního počtu upnutí za 2 roky, aby byla sonda hospodárná:

$$u = t_u \cdot S_s = 0,045 \cdot 2200 = \underline{99 \text{ Kč}} \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} x_{\min} &= \frac{(N_s + N_p + 2 \cdot N_b) + 0,05 \cdot (N_s + N_p + 2 \cdot N_b)}{u} = \\ &= \frac{(125000 + 48000 + 2 \cdot 900) + 0,05 \cdot (125000 + 48000 + 2 \cdot 900)}{99} = \\ &= \underline{1854 \text{ upnutí}} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Výpočet návratnosti investice do zakoupení sondy OMP400:

vydání za 2 roky (506 dnů)174 800 Kč (125 000+48 000+1 800)
 ušetření za 2 roky (506 dnů) U_{CS} 383 894 Kč

$$y = \frac{(N_s + N_p + 2 \cdot N_b)}{U_{CS}} \cdot 2 \cdot p_d = \frac{(125000 + 48000 + 2 \cdot 900)}{383894} \cdot 2 \cdot 253 =$$

$$= \underline{231 \text{ dnů}}$$

(5.9)

Cena sondy OMP400 činí 125 000 Kč, k tomu je zapotřebí přičíst přijímač OMI2 za 48 000 Kč a také baterie, jejichž životnost je v průměru 4 měsíce a cena za pár baterií je 300 Kč. Za 2 roky tedy vydám 174 800 Kč. Ceny jsou uvedeny bez DPH. Dle výpočtu za 2 roky se ušetří na stroji 383 894 Kč. To znamená, že zisk ze zavedení sondy OMP400 do výrobního procesu činí 209 139 Kč. Minimální počet upnutí za 2 roky, při nichž bude sonda ještě hospodárná, je 1 854 upnutí. Investice se dle výpočtů vrátí za 231 dnů.

Je ještě nutné podotknout, že v důsledku zavedení sondy OMP400 do výrobního procesu, se výrazně snižuje zmetkovitost a tudíž i náklady za materiál jsou nižší.

Závěr

V této diplomové práci bylo zpracováno téma Aplikace měřicích sond v procesu obrábění. V úvodu je uvedeno rozdělení metod při třískovém obrábění. Rozdělení bylo provedeno do dvou skupin. Dotykového a bezdotykového měření.

V další části byl navržen testovací obrobek a to jak materiál, tak i jeho rozměr. Návrh materiálu byl ovlivněn dvěma podmínkami. Za první musel být materiál dostatečně tvrdý, aby při obrábění bylo na nástroji znát opotřebení. Druhou podmínkou byl materiál na skladu. Ze skladovaného materiálu byl vybrán materiál 15 260.1, z jehož pásu o rozměru 300x90x37 mm byly pásovou pilou zhotovily dva testovací obrobky o rozměru 90x90x37 mm.

Další část obsahuje, co všechno bylo použito k vyhotovení obrábění a měření. Celý experiment byl zhotoven na obráběcím centru typu MCV 1210 od firmy TAJMAC-ZPS. Použitým nástrojem byla fréza 10x25 mm od firmy ZPS – Frézovací nástroje a.s. Ke zhotovení NC programů k obrábění bylo použito softwaru Sinumerik, jeho výukové verze SinuTrain a dílensky orientované nadstavby ShopMill. Software je dodáváný společností Siemens. Co se týká měření na tomto obráběcím centru, byla použita obrobková sonda OMP400 dodávaná firmou Renishaw s.r.o. K měření byl využit softwaru Productivity+ Active Editor Pro od firmy Renishaw.

Výsledky měření jsou zapsány v kapitole 4.3. Před samotným měřením existovaly předběžné odhady, jak by měly grafy s naměřenými hodnotami vypadat. U kostky1 byl odhad takový, že odchylky porostou v závislosti na počtu měření. Jak je patrné z grafu na obr. 4.13 (str. 49), odhady se vyplnily a naměřené odchylky mají skutečně rostoucí tendenci. U kostky2 byl odhad takový, že se absolutní hodnoty odchylek budou pohybovat lehce nad nulovou hodnotou. Z grafu na obrázku 4.14 (str. 50) je vidět, že se odhady potvrdily a graf má skutečně předpokládaný průběh.

Poslední částí této diplomové práce je zaměření na ekonomické zhodnocení. Experiment je postaven na naměřených časech ustavení obrobku a měření obrobku. Ustavení i měření se provádělo ručně a pomocí sond. Čas, který se ušetří díky používání sondy OMP400, je použit pro výpočet celkových úspor a návratnosti investice do zakoupení sondy OMP400. Z vypočtených hodnot je jasné, že se implementace sond do procesu obrábění skutečně vyplatí a ušetřené finance se mohou investovat do obrábění.

Seznam použité literatury

- [1] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav. *Strojírenská metrologie II.* první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
- [2] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav; VAČKÁŘ, Josef. *Jakost a metrologie.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [3] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové stroje.* [online]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/download/obor/rp1_skripta.pdf>.
- [4] ČECH, Jaroslav; PERNIKÁŘ, Jiří; JANÍČEK, Libor. *Strojírenská metrologie.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 189 s. ISBN 80-214-2252-1.
- [5] Renishaw s.r.o. [online]. [cit. 2010-04-29]. Dostupné z: <[http://resources.renishaw.com/download/\(40e96c367d794cd0acc7f75add8f869f\)?lang=cs&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(40e96c367d794cd0acc7f75add8f869f)?lang=cs&inline=true)>.
- [6] Prezentace s názvem: Měřicí sondy pro obráběcí stroje. Prezentaci poskytla firma Renishaw s.r.o. a je přiložená na cd.
- [7] Dostupné z: <<http://www.jobiprofi.sk/data/catalogue/product/P13425.jpg>> [cit. 2010-04-29].
- [8] Dostupné z: <http://www.whp.cz/files/soubory/merici-technika/mikrometry-a-dutinomery/analogovy_trmenovy_mikrometr_SGM_906.000.jpg> [cit. 2010-04-29].
- [9] Dostupné z: <<http://www.jobiprofi.sk/data/catalogue/product/P106106.jpg>> [cit. 2010-04-29].
- [10] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/60/6020_big.jpg> [cit. 2010-04-29].
- [11] Dostupné z: <http://metrology.noveranet.cz/pdf/katalog_3_cely_web.pdf> [cit. 2010-04-29].
- [12] Dostupné z: <<http://www.mikro.cz/leica/uhl/prehled-vyrobk-walter-uhl>> [cit. 2010-04-29].
- [13] Renishaw s.r.o. [online]. [cit. 2010-04-29]. Dostupné z: <[http://resources.renishaw.com/cs/Brožura%3a+NC4+-+bezkontaktní+system+k+ustavování+nástrojů\(29417\)](http://resources.renishaw.com/cs/Brožura%3a+NC4+-+bezkontaktní+system+k+ustavování+nástrojů(29417))>.
- [14] Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprir/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_51CrV4/> [cit. 2010-05-05].
- [15] Dostupné z: <<http://www.tprom.cz/tabulky/tabulka4.html>> [cit. 2010-05-05].
- [16] TAJMAC-ZPS, a.s. [online]. [cit. 2010-05-06]. Dostupné z: <<http://www.tajmac-zps.cz/c1210cz.html>>.
- [17] Renishaw s.r.o. [online]. [cit. 2010-05-09]. Dostupné z: <[http://resources.renishaw.com/download/\(e083c1a2c6064dee96e2a2b4d98838b9\)?lang=cs&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(e083c1a2c6064dee96e2a2b4d98838b9)?lang=cs&inline=true)>.
- [18] Dostupné z: <<http://www.knife.cz/Knifecz/Technika/tabid/57/ctl/Details/mid/384/ItemID/53/Default.aspx>> [cit. 2010-05-10].
- [19] Renishaw s.r.o. [online]. [cit. 2010-05-06]. Dostupné z: <<http://www.renishaw.cz/media/pdf/cs/ab23510514634541a0dab1a4a4b313f4.pdf>>.

- [20] Dostupné z: <<http://www.whp.cz/koncove-merky-ocelove.html>> [cit. 2010-08-24].
- [21] Dostupné z: <<http://www.whp.cz/kalibry.html>> [cit. 2010-08-24].
- [22] Dostupné z: <<http://www.whp.cz/mezni-kalibry-valeckove-ploche-a-valeckove-merky.html>> [cit. 2010-08-24].
- [23] Renishaw s.r.o. [online]. [cit. 2010-08-24]. Dostupné z: <[http://resources.renishaw.com/download/\(f0f5d66d26c44b929941564b08ab78bf\)?lang=en&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(f0f5d66d26c44b929941564b08ab78bf)?lang=en&inline=true)>.
- [24] ZPS - Frézovací nástroje a.s. [online]. [cit. 2010-09-01]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/userfiles/file/zps-fn-katalog_frez.pdf>.
- [25] Dostupné z: <<http://stavebnictvi-naradi.sbazar.cz/novy-pasametr-s-mericim-rozsahem-75-100mm-krupka-o4347002.html>> [cit. 2010-09-24].

Použité symboly

Označení	Jednotka	Název
a_p	[mm]	hloubka řezu
dr	[dnů/rok]	počet dnů v roce
F_{ef}	[hod/rok]	efektivní časový fond pracoviště
f_z	[mm/zub]	posuv na zub
g	[-]	počet vzájemně zaměnitelných pracovišť
h	[hod/směna]	počet hodin ve směně
k	[-]	koeficient oprav
n	[ot/min]	otáčky frézy
N_b	[Kč]	náklady na pár baterií
N_p	[Kč]	náklady na přijímač OMI2
N_s	[Kč]	náklady na sondu OMP400
pd	[dnů/rok]	pracovní dny
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
s	[mm/min]	posuv za minutu
sn	[dnů/rok]	počet sobot a nedělí v roce
ss	[dnů/rok]	počet státních svátků v roce
S_s	[Kč/hod]	hodinová sazba stroje
t	[min]	čas obrábění jedné drážky
t_c	[min]	čas obrábění jedné kostky
t_{r1}	[min]	čas ručního ustavení polotovaru
t_{r2}	[min]	čas ručního měření polotovaru
t_{s1}	[min]	čas ustavení polotovaru sondou OMP400
t_{s2}	[min]	čas měření polotovaru sondou OMP400
t_u	[min]	uspořený čas
u	[Kč/ks]	úspora na jeden kus
U_C	[Kč]	zisk ze zavedení sondy OMP400 do výrobního procesu
U_{CS}	[Kč]	celkové úspory na stroji za dva roky
U_N	[Kč/rok]	úspory na stroji za jeden rok
v_c	[m/min]	řezná rychlost
x	[ks/hod]	počet upnutých kusů
x_{min}	[upnutí]	minimální počet upnutí
y	[dny]	návratnost investic
z	[%]	nevyhnutelné časové ztráty
$ž$	[roky]	životnost
σ	[-]	směnnost

Seznam příloh

Příloha 1	Technický výkres KOSTKA (před obráběním)
Příloha 2	Technický výkres KOSTKA (po prvním obrábění)
Příloha 3	Technický výkres KOSTKA (po posledním obrábění)
Příloha 4	Program pro obrábění v ShopMillu KOSTKY1 a KOSTKY2
Příloha 5	Výsledky měření KOSTKY1
Příloha 6	Výsledky měření KOSTKY2