

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 SOUSTRUŽENÍ

APPLICATION OF A MEASURING PROBES IN TURNING PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN VERFL

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. Jan Verfl

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 soustružení

v anglickém jazyce:

Application of a measuring probes in turning process

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 soustružením
- 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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je implementace měřících sond do procesu třískového obrábění soustružením a popis způsobů jejich efektivního využití. Měřící sondy se používají jako korekce v průběhu obrábění nebo ke kontrole a měření po obrábění, případně k signalizaci chyb procesu. V praktické části je laserová měřící sonda použita ke kontrole funkčních rozměrů hřídele. Měření je prováděno po obrábění a nahrazuje tak částečně výstupní kontrolu. Laserová sonda byla zároveň posuzována z hlediska vhodnosti použití pro daný účel jako měřidlo a zároveň byly posuzovány její časové a nákladové rozdíly oproti alternativnímu obráběcímu postupu.

Klíčová slova

Měřící sondy, dotykové sondy, bezdotykové sondy, měřící proces.

ABSTRACT

My diploma work is focused on implementation of measuring probe to process of cutting operation by turning and description of their effective usage ways. Measuring probe are used as correction during turning process or to control measuring of turning work eventually to signal mistake in process. In practical part the laser measuring probe is used to control shaft functional dimensions. Measuring is done after tooling and it substitute exit control. Laser probe was also reviewed regarding usability for given purpose as measurement tool and in the same time were reviewed time and cost differences against alternative turning process.

Key words

Measuring probe, touch probes, non-contact probes, measuring process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VERFL, J. *Aplikace měřících sond v procesu soustružení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Aplikace měřicích sond v procesu soustružení vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26.5.2010

.....
Bc. Jan Verfl

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., Antonínu Koníčkovi ml. a Karlovi Malinovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	8
1 Rozdělení měřích sond	9
1.1 Dotykové sondy.....	9
1.2 Základní princip snímání dotykových sond.....	10
1.3 Způsoby měření pomocí dotykových sond	12
1.4 Dotyky a příslušenství	14
1.4.1 Materiály dotyků a dřívku	15
2 Bezdotykové – optické sondy	17
2.1 Základní princip bezdotykových laserových sond	17
2.2 Typy bezdotykových laserových sond	18
2.3 Konstrukce bezdotykových laserových sond.....	20
3 NÁVRH TESTOVACÍHO OBROBKU	22
3.1 Vlastní cyklus obrábění	26
4 NC PROGRAMOVÁNÍ A PRAKTICKÁ REALIZACE OBRÁBĚNÍ S INPROCESNÍM MĚŘENÍM.....	29
5 NÁVRH SYSTÉMU HODNOCENÍ JAKOSTI MĚŘIDEL	35
5.1 Obecné zásady a definice	35
5.2 Hodnocení pomocí C_g , C_{gk}	37
5.3 Vlastní řešení.....	40
6 EKONOMICKÉ ASPEKTY	42
6.1 Začlenění sond do procesu obrábění	43
6.2 Vlastní hodnocení investic.....	46
6.2.1 Pořizovací cena	46
6.2.2 Časová náročnost	47
6.2.3 Celkové zhodnocení variant	48
Závěr	50
Seznam použitých zdrojů	51
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	53
Seznam příloh	54

ÚVOD

Trend dnešní doby je věci urychlovat, zlepšovat a zpřesňovat. Trend třískového obrábění je využívat čas efektivněji, dosáhnout vyšší výrobní přesnosti, a celý průběh automatizovat. Dnes se již opouští klasické obráběcí stroje a vše se nahrazuje CNC stroji nebo obráběcími centry. Tyto stroje a centra nám umožňují dosáhnout větší produktivity a větší přesnosti, programují se pomocí programovacího jazyka, který umožní určit přesné místo kam má nástroj najet a jaký úkon provést.

Na každé třískové obrábění jsou kladeny vysoké nároky na parametry, proto musíme provádět pravidelnou kontrolu, jak hotového obrobku, tak i samotného procesu obrábění a hlavně technického stavu stroje. Výslednou kvalitu a přesnost ovlivňuje mnoho faktorů, které můžeme vždy ovlivňovat modernizací a inovací zařízení a příslušenství. Mezi moderní nástroje patří dotykové a laserové měřicí sondy, které můžou kontrolovat a upravovat průběh obrábění, upravovat souřadný systém, kontrolovat nástroje nebo měřit obrobené rozměry. Práce obsahuje právě měření obrobených ploch a jejich následné kontroly přímo na upnutých součástech ve stroji.

1 ROZDĚLENÍ MĚŘÍCH SOND

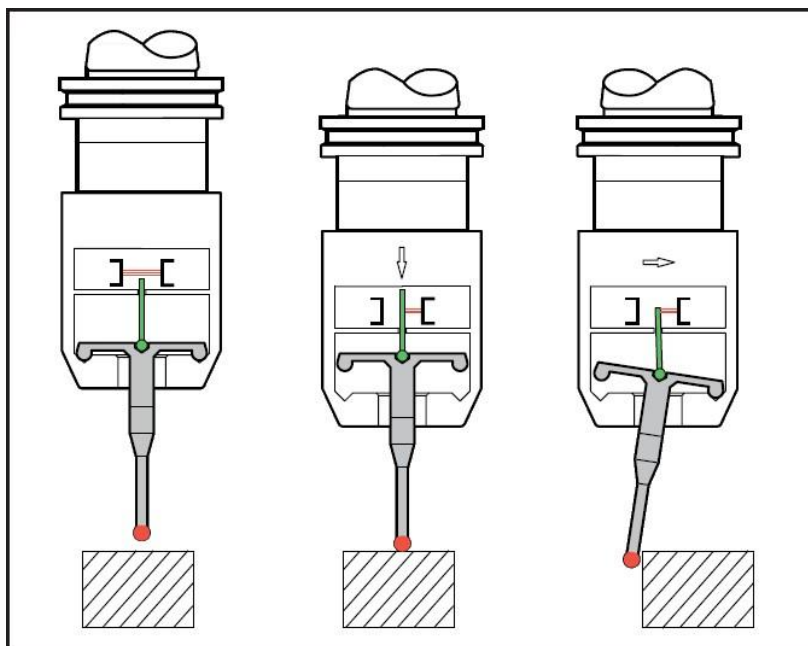
Měřicí sondy mají mnoho tvarů a podob. Některé se používají výhradně ke kontrole a měření po obrábění, jiné se zase používají právě v průběhu obrábění ke korekci rozměrů nebo ke kontrole nástrojů. Všechny sondy plní stejný úkol, ale liší se v tom, na jakém principu pracují. Základní rozdělení je na dotykové a bezdotykové měřicí sondy.

Dotykové – mechanické sondy fungují na principu vychýlení dotyku o povrch obrobku a následné zapsání souřadnic do paměti stroje.

Bezdotykové sondy - optické vysílají tenký laserový paprsek a při změně intenzity tj. přerušení paprsku dojde k zapsání souřadnic do paměti stroje.

1.1 Dotykové sondy

Při klidové poloze se sonda nachází v tzv. ustáleném stavu a nevysílá žádné podněty a impulzy do stroje. Při kontaktu doteku sondy s povrchem obrobku se dotykový hrot vychýlí z ustáleného stavu a senzory vygenerují spínací signál (Obr. 1.1). Při zpětném pohybu a odlehčení dotykového hrotu se měřicí sonda vrátí zpět do klidové polohy. [1]

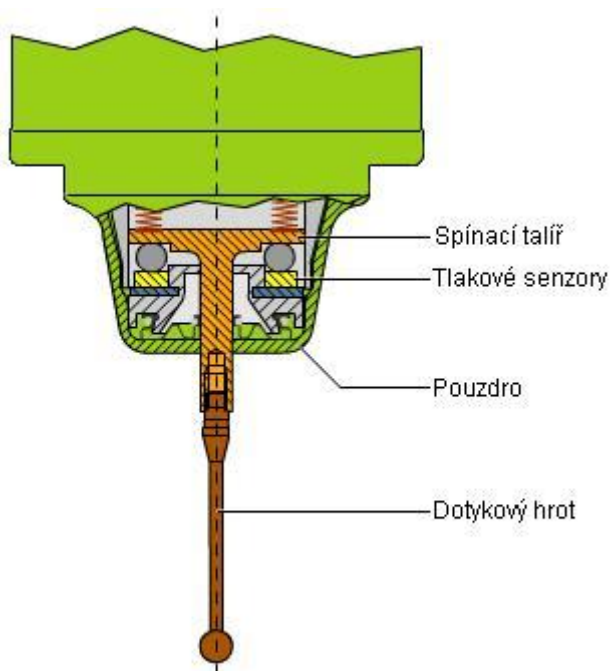


Obr. 1.1 Vychýlení dotykového hrotu [2].

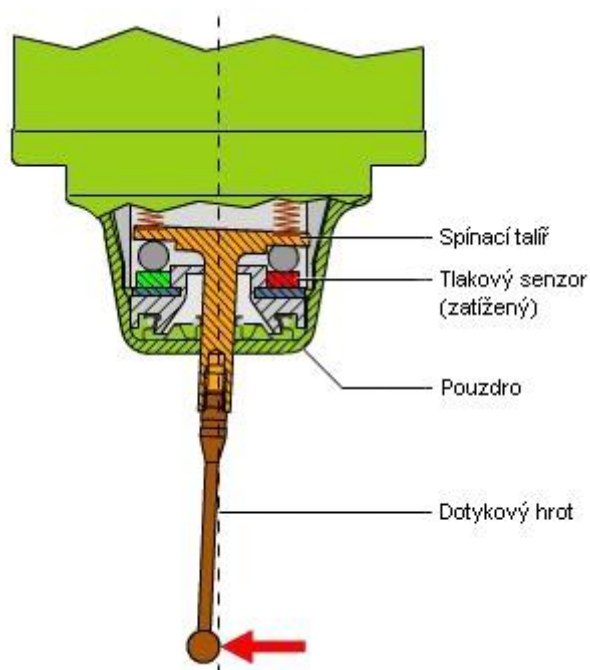
1.2 Základní princip snímání dotykových sond

Existují různé principy jak vyvodit spínací signál. Máme různé druhy senzorů, které jsou umístěny v pouzdře sondy na spínacím talíři. Spínací talíř je pevně připojen k dotykovému hrotu přes něj se přenáší na senzory i sebe menší vychylující síla (Obr. 1.2).

U tlakových senzorů se spínací signál vytváří analýzou síly, kdy jsou při snímání vychylující síly vyhodnoceny elektronicky. Mezi spínacím talířem a tělesem sondy jsou umístěné více tlakové senzory, které generují spínací signál. I při relativně malých snímacích silách lze dosáhnout vysoké snímací přesnosti a reprodukovatelnosti (Obr. 1.3).[1]

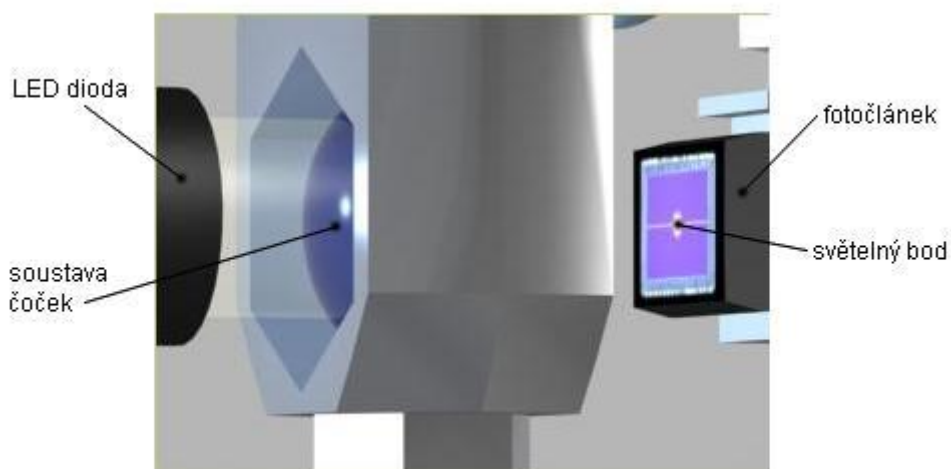


Obr. 1.2 Dotyková sonda s tlakovými senzory [1].



Obr. 1.3 Vychýlená dotyková sonda [1].

Novější dotykové sondy nemají tlakové senzory, ale místo toho pracují se senzorem jako s optickým snímačem. Světelné paprsky, které vycházejí s LED diody skrz čočky, dopadají jako světelný bod na fotočlánek (Obr. 1.4). Ten při vychýlení dotykového hrotu vygeneruje spínací signál. Snímací talíř je v tělese sondy uložen pomocí trojbodového systému uložení, toto uložení zajišťuje fyzikálně ideální klidovou polohu (Obr. 1.5). [1,2]



Obr. 1.4 Dopadající světelný paprsek na fotočlánek [1].



Obr. 1.5 Trojbodové uložení sondy [1].

1.3 Způsoby měření pomocí dotykových sond

V praxi měření na obrobech probíhá buď to pomocí přesného naplánování bodů nebo pomocí softwarových programů při složitějších 3D součástích a obecných ploch. Existuje taky podpora NC softwaru a to v podobě měřících cyklů (Obr. 1.6). Tyto cykly nám poskytuje osvědčený software, který splní i rozsáhlé měřící úkoly. Jako jsou měření díry, čepu, snímání drážky nebo výstupku, schodky nebo jednotlivé body atd. (Obr. 1.7, Obr. 1.8) Programy mají vysokou přesnost, bezpečnost a jsou přizpůsobivé pro mnohé řídicí systémy.[2]

Aby měření mělo odpovídající přesnost, kterou požadujeme, musí být dodrženy určité zásady a pokyny od výrobce. Začít bychom měli u stroje, který by měl mít pravidelnou kontrolu, překalibrování laserem, a vymezení vůlí v pohonech. Součet relativně malých geometrických nepřesností může být ve výsledku významnou chybou. [4]

Při volbě dotykové sondy si zvolit vždy co nejkratší délku doteku, s rostoucí délkou stopky roste i prohnutí a tím pádem i nepřesnost. Počet dílů na dotyku by měl být co nejmenší, protože každý spoj může vnést do měření deformaci a body ohybu. Průměr kuličky doteku volíme také co největší, jednak z důvodu

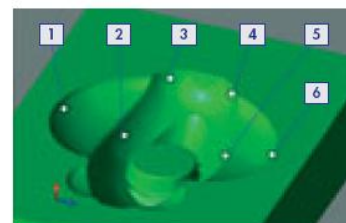
získání co možná největší mezery mezi stopkou doteku a měřeného povrchu. Čím větší máme mezeru, tím je menší pravděpodobnost, že nastane chybný dotyk tj. kontakt stopky s měřeným povrchem místo dotyku. A také z důvodu, že větší průměr dotyku nám snižuje vliv jakosti povrchu součásti na měření. [3]



Measuring protocol

BLUM

Customer: Mold & Die Ltd.
Description: Testing piece
Part number: P2000-6574
CAD: Flieger.IGS
Tester: Riedter
Date: 2004-10-28
Machine: Hermle C40
Unit: mm



Measuring point	nominal			measured				tolerances	
	X	Y	Z	dx	dy	dz	dI	max.	min.
1	-43,220	9,726	-2,866	-0,005	-0,010	-0,002	-0,011	-0,020	-0,300
2	-20,691	16,557	-13,538	0,024	-0,010	0,003	0,027	-0,020	-0,300
3	-12,815	44,128	-3,684	-0,004	-0,002	0,011	0,012	-0,020	-0,300
4	13,589	43,426	-3,808	-0,013	-0,035	0,015	0,040	-0,020	-0,300
5	21,621	15,333	-12,249	-0,019	-0,013	-0,005	-0,023	-0,020	-0,300
6	43,783	10,179	-2,291	-0,036	-0,023	0,003	0,043	-0,020	-0,300

Obr. 1.6 Příklad měřícího softwaru [2].

Snímání díry



Snímání čepu



Dotek jednotlivých bodů v XYZ



Snímání drážky nebo výstupku



Obr. 1.7 Druhy snímacích cyklů [2].

Snímání schodku v XY nebo Z



Pozice obrobku a nastavení v XY nebo Z



Obr. 1.8 Druhy snímacích cyklů [2].

1.4 Dotyky a příslušenství



Obr. 1.9 Dotky [3].

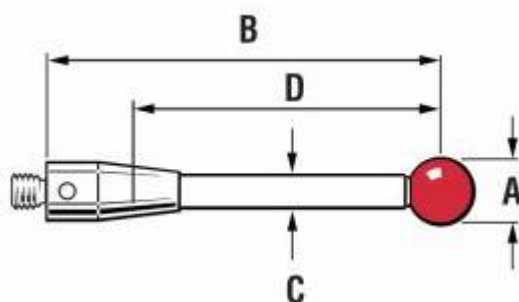
Na trhu je velká škála doteků, co se týče velikosti, tvarů nebo materiálů. Dotyky se dále liší podle použití, například pro skenování nebo kontrolu. Důležité základní rozměry na sondě a její stopce jsou tyto.

A = průměr kuličky

B = celková délka

C = průměr dřívku

D = efektivní činná délka



Obr. 1.10 Rozměry dotyku a stopky [5].

1.4.1 Materiály dotyků a dříku

Výběr materiálu pro dotyk je velice důležitý pro přístup k funkci a dále pak pro udržení přesnosti na kontaktním místě. Výběr materiálu je opravdu široký a můžeme si vybrat optimální materiál na každé měření.[5]

Materiál kuličky:

Rubín

- je jedním z nejtvrdších materiálů a hodí se na většinu aplikací měření, proto je nejčastěji využíván,
- nejčastěji je používán syntetický rubín což je 99 % čistého oxidu hlinitého, který se vyrábí při 2000°C,
- rubínové kuličky mají velkou pevnost v tlaku a vysokou odolnost proti mechanické korozi,
- pouze ve dvou případech není vhodné použít rubínový dotyk a to při aplikacích s hliníkem a litinou.

Nitrid křemíku

- velice podobné vlastnosti jako rubín, také velmi tvrdý a odolný proti opotřebení,
- používá se právě na aplikace s hliníkem.

Zirkon

- velmi tvrdý keramický materiál blížící se vlastnostmi rubínu, používá se při tvrdých podmínkách aplikací s litinou.[5]

Materiál dříku:

Ocel

- dokáže zajistit optimální poměr tuhosti a hmotnosti pro průměry dotyků 2mm a větší a délce až 30mm,
- je to nemagnetická – nerezová ocel.

Karbid wolframu

- je používán pro zajištění velké tuhosti buď u dotyků menších než 1mm a nebo pro délky dříku menší než 50mm.

Keramika

- mají srovnatelnou tuhost s ocelí, ale jsou výrazně lehčí než karbid wolframu,
- pro průměry dotyků větších než 3mm a větší délky dřívků než 30mm,
- jsou ovšem velmi křehké a hrozí zlomení při nehodě.

Uhlíková vlákna

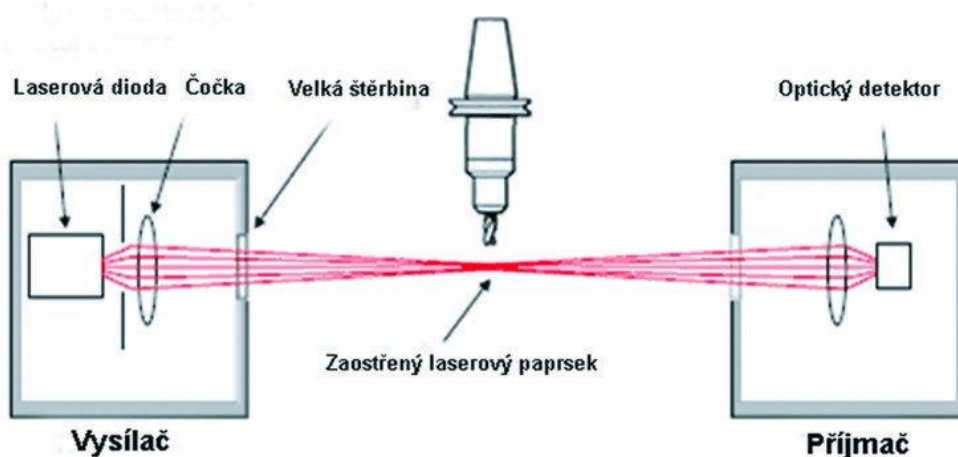
- je to kombinace extrémně nízké hmotnosti a maximální tuhost, pro délku nad 50mm,
- používá se v extrémních podmínkách a při víceramenném dotyku kvůli odolnosti v krutu.[5]

2 BEZDOTYKOVÉ – OPTICKÉ SONDY

Bezdotykové sondy jsou v současné době v praxi především využívány k seřizování nástrojů a jejich kontrole opotřebení nebo ulomení bříty. V poslední době se laserové sondy začínají stávat běžným vybavením každého CNC stroje. Laserové měřicí sondy se dají využít i k měření a korekci obrobků a to jak během obrábění, tak i po obrábění jako výstupní kontrola.

2.1 Základní princip bezdotykových laserových sond

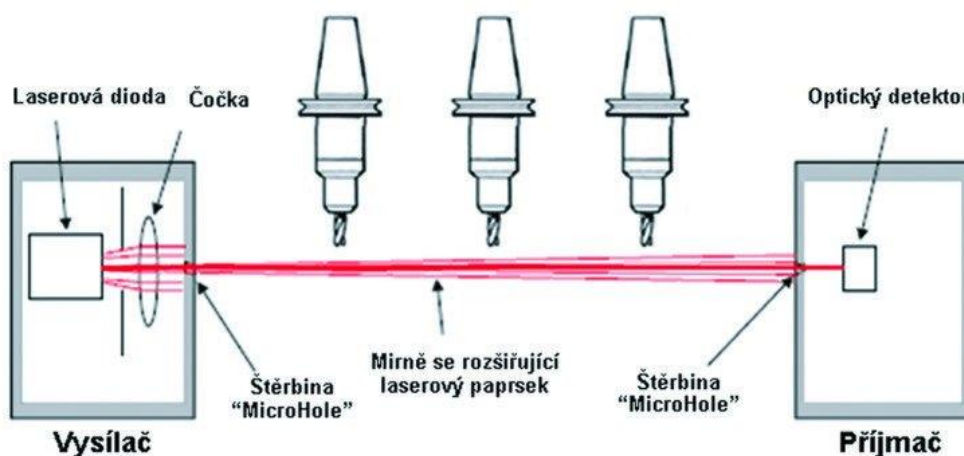
Bezdotykové měřicí sondy využívají laserový paprsek, který je vysílám mezi vysílačem a přijímačem. Obě dvě tyto části musí být na stole nainstalovány tak, aby byl zajištěn vzájemný relativní pohyb vůči nástroji nejméně ve dvou osách. Zároveň všechny nástroje musí mít možnost dojet až k paprsku. Když nástroj najede do paprsku, je intenzita paprsku přerušena a z hodnot na odměřovacích pravítkách je vypočten aktuální rozměr nástroje.[6]



Obr. 2.1 Schéma bezdotykové sondy [6].

Bezkontaktní měření nástrojů má mnoho výhod oproti kontaktnímu měření. Jedna z důležitých výhod je, že měření nástroje probíhá velmi rychle a nástroj do paprsku může najet rychloposuvem. Měření probíhá za skutečných

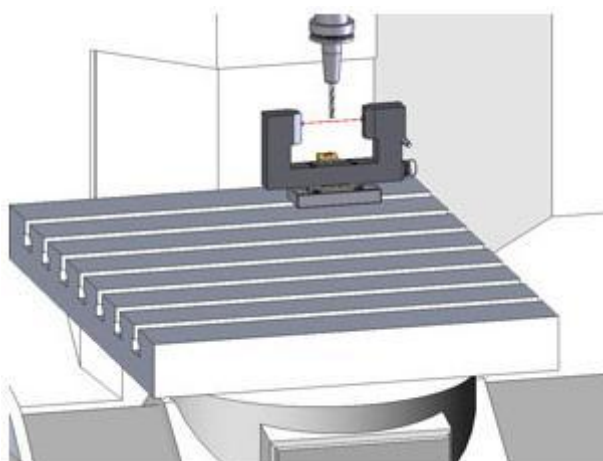
otáček vřetene a tím eliminujeme házení nástroje, můžeme měřit i vícebřité nástroje. Díky bezdotykové technologii nedojde při měření k poškození nebo zlomení velmi tenkých a choulostivých nástrojů. Stará generace laserových sond (Obr. 2.1) dokázala zaostřit paprsek pouze do jednoho místa a někdy bylo časově náročné dojet přesně do určeného místa. Tuto nevýhodu odstranila nová generace sond. Pomocí štěrbiny “MicroHole” umístěných jak na vysílači tak na přijímači eliminuje rozšiřující se paprsek a využívá jenom efektivní část paprsku (Obr 2.2). Takto zúžený paprsek může korektně měřit v celé délce a to na vzdálenost až 5m. Nová generace má jednoduché seřízení a ustavení a výrazně zkrátí čas měřicího cyklu.[6]



Obr. 2.2 Schéma sondy s technologií MicroHole [6].

2.2 Typy bezdotykových laserových sond

Laserové sondy jsou vyráběny v mnoha rozměrech a variantách. Nejpřesnější varianta má opakovanou přesnost $\pm 0,2\mu\text{m}$ a je schopna změřit frézu od $\varnothing 0,1\text{ mm}$. Dělají se dvě základní varianty a to buď dvoudílné, nebo jednodílné. Jednodílná kompaktní verze systému se namontuje přímo na otočný stůl stroje (Obr. 2.3). Přijímač i vysílač paprsku jsou umístěny v ramenech třmenu. Měřený objekt, převážně nástroj, musí být při měření mezi těmito rameny (Obr. 2.4).



Obr. 2.3 Montáž systémů [7].

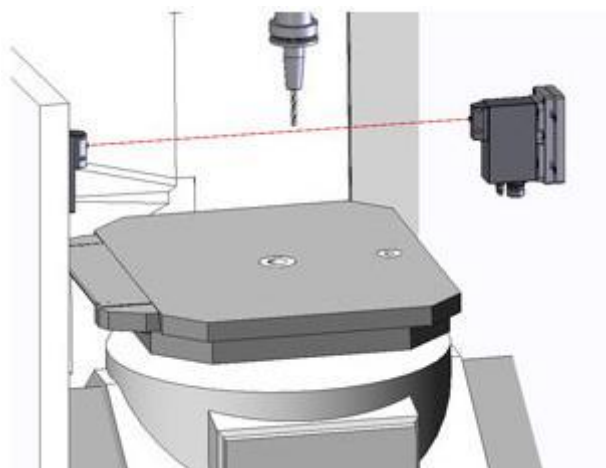


Obr. 2.4 Jednodílná laserová sonda LaserControl NT- nano[8].

Pokud bychom měli dost místa ve stroji a chtěli využívat paprsek v celé jeho délce bude pro nás zajímavější druhá varianta a to dvoudílná sonda (Obr. 2.5), kdy se přijímač a vysílač montují zvlášť a to většinou na rám stroje nebo na stůl (Obr. 2.6). Vzdálenost může být až do 5 metrů.



Obr. 2.5 Dvoudílná laserová sonda LaserControl NT-mini[8].

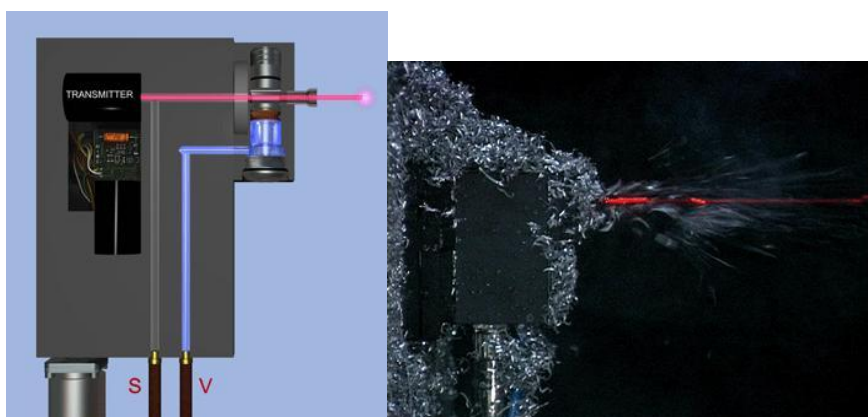


Obr. 2.6 Montáž systémů [7].

2.3 Konstrukce bezdotykových laserových sond

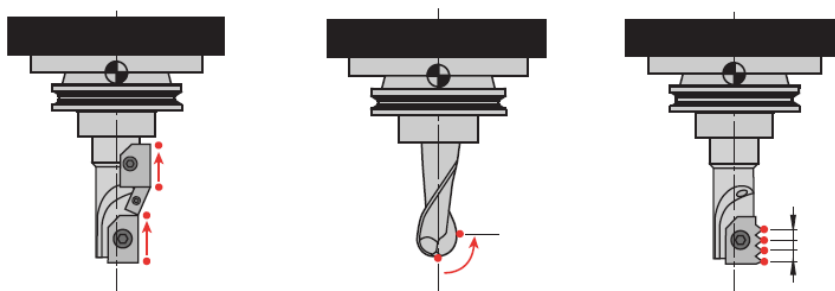
Laserové sondy pracují v extrémních podmínkách. Konstrukce proto musí být robustní a stabilní, aby ochránila náchylnou elektroniku a optiku laseru. Některé sondy bývají vybaveny ještě přídatným zařízením, které pomocí pneumatiky zajišťují ochranu a také správnou funkčnost. Při zúžení nebo zastínění paprsku by měření mohlo být nekorektní a ovlivnit nám tak proces obrábění a zvýšit zmetkovitost.

Například firma BLUM vyrábí laserové sondy s pneumatickou jednotkou, která uzavírá krytku laseru. Při použití se krytka otevře s doprovodným ofukem a zajistí tak bezpečné a korektní měření (Obr. 2.7). Aby nám sondy zefektivnily výrobu, což znamená snížili zmetkovitost a zkrátily prostoje, zvýšily produktivitu a kvalitu, musí být v podstatě bezobslužné a fungovat téměř bezchybně.[8]



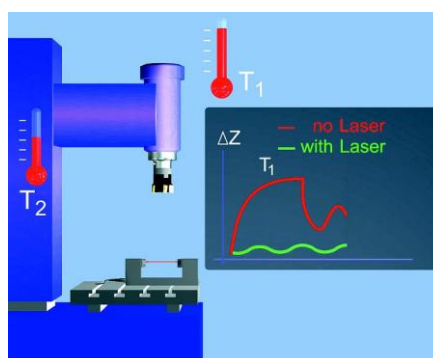
Obr. 2.7 Sonda Blum s pneumatickou jednotkou [8].

Laserové bezdotykové sondy se dodávají i s měřicími cykly, které zaručují spolehlivé a okamžité zjištění poškození nástroje. V pravidelných intervalech monitorují celý proces v bezobslužném provozu. Kontrolují geometrii speciálních nástrojů a rozpoznají otupění břitu (Obr. 2.8). Nástroje jsou včas vyměněny a předchází se tak výrobě zmetků.

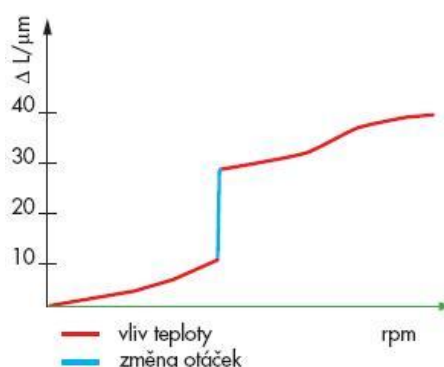


Obr. 2.8 Kontrola geometrie nástrojů [8].

Přesnost obráběcích strojů závisí do jisté míry na teplotě, na pohybu os, na opracování obrobku, na otáčkách (Obr. 2.9, Obr. 2.10). Všechny tyto faktory ovlivňují výslednou přesnost a může dojít k překročení tolerance obrobku. Laserové sondy můžeme využít ke kompenzaci strojních os a zpřesnit tak výrobu.[8]



Obr. 2.9 Kompenzace strojních os [7].



Obr. 2.10 Posunutí vřetena při HSC [8].

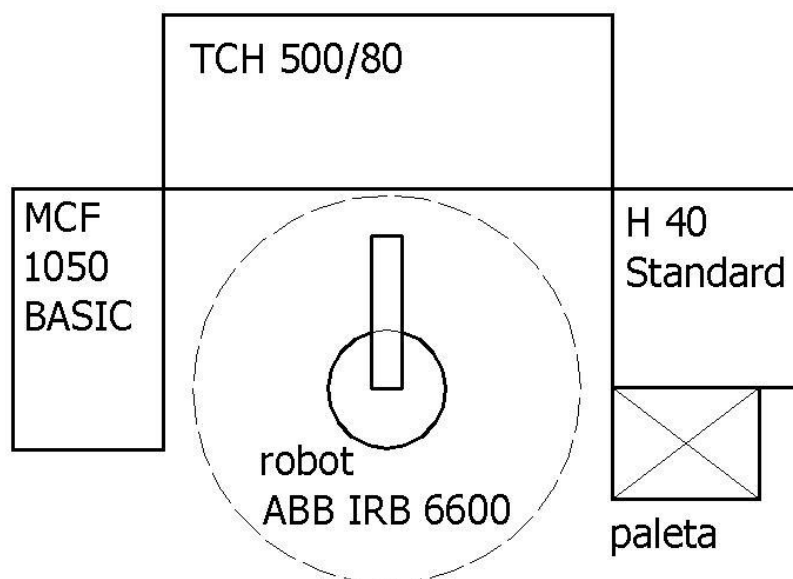
3 NÁVRH TESTOVACÍHO OBROBKU

Pro diplomovou práci byl zvolen jako testovací obrobek hřídel elektromotoru. Tyto hřídele vyrábí firma *KOVOKON Popovice s.r.o.* pro firmu *ABB*. Firma *ABB* je světoznámá firma, která se zabývá hlavně energetikou, systémy pro energetiku, výrobou generátorů a motorů, procesní automatizace a výrobky nízkého napětí.

Měření laserovou sondou se používá hlavně pro kruhové objekty a to buď pro nástroje, nebo obrobky. Použití jednodílné laserové sondy pro korekci a měření hřídelových součástí je ideální a časově velmi efektivní. Laserová sonda nebo sondy jsou namontovány na pohyblivém supportu tak, aby mohla bez problémů změřit jakékoliv místo na obrobku.

Support můžeme naprogramovat tak, aby nám automaticky najel do předem zvolené polohy a provedl měření. Hodnoty se uloží do paměti stroje, a buď jsou vyvolány jako konečné hodnoty nebo se použijí ke korekci, a potom se bude muset měření opakovat.

Hřídel je vyráběna na plně automatickém pracovišti, kde uprostřed je umístěn naprogramovaný robot *ABB IRB 6600*, který zajišťuje cyklus obrábění, což znamená vyměňování polotovarů a hotových výrobků. Pracoviště je situováno tak, jak je vidět na schématu (Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Schéma automatického pracoviště.

Horizontální obráběcí centrum Tajmac- ZPS H 40 Standard:

Obr. 3.2 Tajmac- ZPS H 40 Standard [9].

- vysoce produktivní stroj pro komplexní obrábění součástí z oceli a šedé litiny,
- masivní litinová konstrukce má vynikající tlumící schopnosti,
- přesnost zajišťují kuličkové šrouby pohonů,
- umožňuje frézovací, vrtací, vyvrtávací, vystružovací a závitové operace,
- obrábění lze provádět ve třech na sebe kolmých osách X, Y, Z ,
- maximální otáčky vřetene: 8000 min^{-1} ,
- polohovací přesnost je $0,012 \text{ mm}$, opakovací přesnost je $0,006 \text{ mm}$,
- pracovní posuv je 15000 mm/min , rychloposuv je 50 m/min .

Soustružnické centrum Tajmac- ZPS TCH 500/80:

Obr. 3.3 Tajmac- ZPS TCH 500/80 [9].

- soustružnické centrum určené pro obrábění součástí hřídelového i přírubového charakteru z kusového nebo tyčového materiálu,
- vysoká pevnost a tuhost, vysoká tepelná a dynamická stabilita,
- NC vřeteno a pohon rotačních nástrojů revolverové hlavy, umožňují provádět vrtací a frézovací operace mimo osu, obrábění v rovině kolmé na osu vřetene, i frézování prostorových tvarů interpolací rotační osy C s lineárními osami X a Z,
- maximální otáčky vřetene: 3600 min^{-1} ,
- polohovací přesnost je $0,008 \text{ mm}$, opakovací přesnost je $0,006 \text{ mm}$,
- rychloposuv je 25 m/min .

Vertikální frézovací centrum Tajmac- ZPS MCFV 1050 BASIC:

Obr. 3.4 Tajmac- ZPS MCFV 1050 BASIC [9].

- moderně řešená konstrukce, s lineárními vedeními ve všech osách a s digitálními pohony posuvů,
- vybaveno třemi na sebe kolmými, souvisle řízenými osami, které umožňují frézovací, vrtací, vystružovací a zahlubovací operace včetně řezání závitů v obrobcích z oceli, ocelolitiny, litiny a slitiny lehkých i barevných kovů,
- maximální otáčky vřetene: 10000 min^{-1} ,
- polohovací přesnost je $0,016 \text{ mm}$, opakovací přesnost je $0,008 \text{ mm}$,
- pracovní posuv je 8 m/min , rychloposuv je 25 m/min .

Robot ABB IRB 6600:

- je flexibilní robotický systém,
- má 6 os pohybu, jeho užitečná nosnost je až 225 kg , dosah 2550 mm , opakovatelnost je $\pm 0,1 \text{ mm}$, hmotnost je 1700 kg ,
- na konci zápěstí je umístěna pneumaticky řízená hlava, která vyměňuje hřídele z jednotlivých obráběcích center podle výrobního postupu.



Obr. 3.5 robot ABB IRB 6600 [10].

3.1 Vlastní cyklus obrábění

Jako testovou hřídel jsem zvolil hřídel pro elektrický motor firmy ABB a to s označením výkresu 3GZV 183 001-4 a výrobním programem s označením HRIDEL_3GZV183001_4_M3 (výkres a program je přiložen v technické dokumentaci). Pro tuto hřídel byl zvolen materiál polotovaru 11 523 o rozměrech průměru 80 mm a délkou 817 mm.

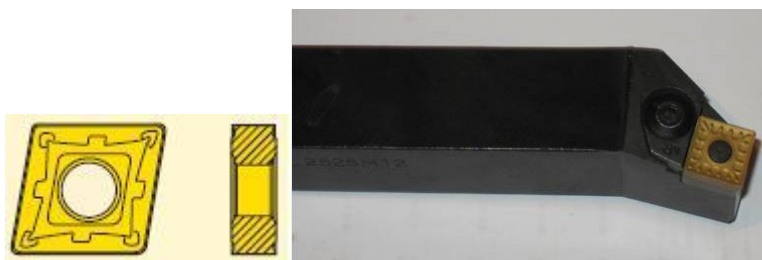
Materiál 11 523 je konstrukční ocel, mez kluzu je 284–490 MPa, mez pevnosti je 441–667 MPa, o tvrdosti 275 HB. Používá se pro ohýbané konstrukce, součásti strojů, automobilů, motocyklů, jízdních kol, tepelných zařízení a tlakových nádob. Její svařitelnost je zaručená, používá se proto na mostní a jiné svařované konstrukce.

Před startem samotného obráběcího cyklu musí obsluha stroje zkontrolovat, jestli je dostatečný počet polotovarů založen v paletě (zásobníku). V první fázi obrábění najede robot do startovací polohy a pomocí pneumatické hlavy odebere polotovar a založí je do ZPS H 40 Standard, kde je zarovnáno čelo a vyvrtána díra o $\varnothing 17,5$ mm do hloubky 53 mm a dle výkresu sražena hrana pod úhlem 60° a následně vyřezán závit M20. Po přepnutí hřídele je délka hřídele soustružena na $813,65 \pm 0,15$ mm a vyvrtána

díra o $\varnothing 6,7$ mm do hloubky 25 mm, pak díra o $\varnothing 8,4$ mm do hloubky 6 mm a je sražena hrana pod úhlem 60° , v které je vyřezán závit M8 v délce 19 mm.

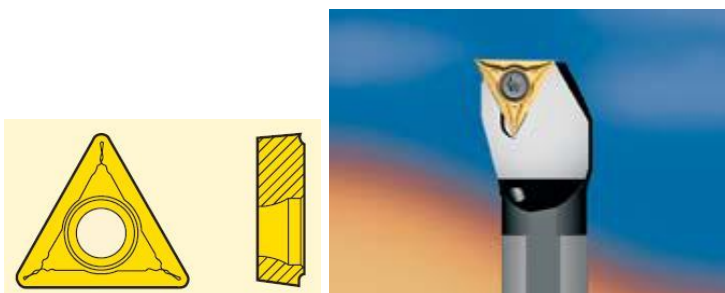
Všechny nástroje jsou uloženy v automatickém výměníku nástrojů, který má kapacitu 45 nástrojů. Nástroje jsou volané podle obráběcího programu hřídele. Při obrábění v první fázi byly použity:

- VBD: CNMG 120412-M3 TP200 a držák: DCLNL 2525 M 12



Obr. 3.6 CNMG 120412-M3 TP200 a DCLNL 2525 M 12 [11].

- VBD: TCMT 110204-SM IC 908 a držák: S12K-STF CR 11

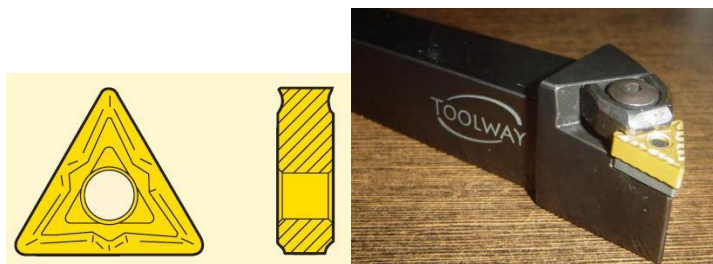


Obr. 3.7 TCMT 110204-SM IC 908 a S12K-STF CR 11 [11].

V druhé fázi najede robot opět do startovací polohy a uchopí polotovár z palety. Z obráběcího centra ZPS H 40 je vyjmut robotem již obroběný kus a upnut zatím ještě neopracovaný polotovár. Částečně obroběný kus je vložen do soustružnického centra ZPS TCH 500/80, kde jsou obroběny všechny funkční plochy hřídele. Jako první jsou hrubovány průměry 59,6; 60,6; 71,6; 75,6; 65,6; 60,5; 60,6; 65,6. Pro toto hrubování jsou použity tyto nástroje:

- VBD a držák stejný jako na obr. 3.6

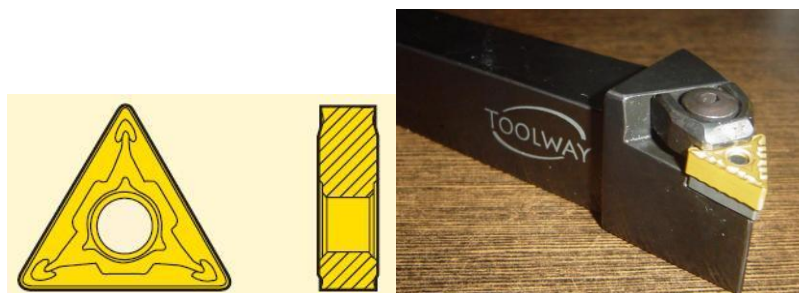
- VBD: TNMG 160412GH UC6010 a držák: MTJNL2525M16N



Obr. 3.8 TNMG 160412GH UC6010 a MTJNL2525M16N [11].

Následně jsou všechny plochy soustruženy hotově dle výkresové dokumentace. Nástroj pro soustružení na čisto:

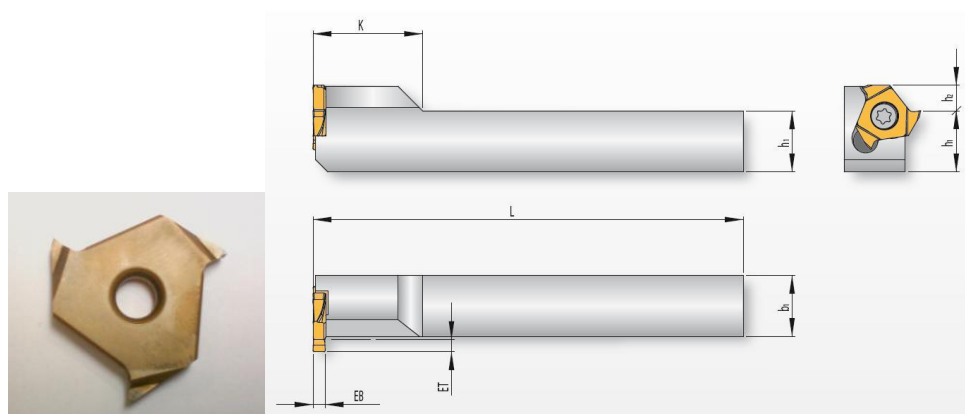
- VBD: TNMX 160408-WF 4015 a držák: MTJNL2525M16N



Obr. 3.9 TNMX 160408-WF 4015 a MTJNL2525M16N [11].

Po soustružení na čisto jsou soustruženy zápichy speciálním zápichovým nožem a držákem:

- VBD: TNMU 1718 FR-V125 AM17C a držák STGOR 2525 M17-A7



Obr. 3.10 TNMU 1718 FR-V125 AM17C a STGOR 2525 M17-A7[12].

V třetí fázi jsou ve vertikálním frézovacím centru Tajmac- ZPS MCFV 1050 BASIC vyfrézovány drážky pro pero 16H9 a 18P9.

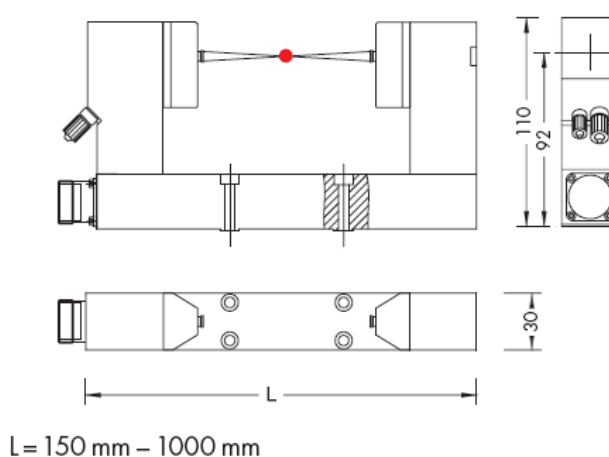
4 NC PROGRAMOVÁNÍ A PRAKTICKÁ REALIZACE OBRÁBĚNÍ S INPROCESSNÍM MĚŘENÍM

Všechny funkční plochy jsou v soustružnickém centru Tajmac- ZPS TCH 500/80 inprocesně změřeny nainstalovanou laserovou sondou ještě před přepnutím do frézovacího centra a vyfrézováním drážek pro pera. Jedná se o laserovou sondu LaserControl NT micro compact, který se používá především na kontrolu zlomení nástroje (Obr. 4.1).



Obr. 4.1 Laserová sonda LaserControl NT micro compact [8].

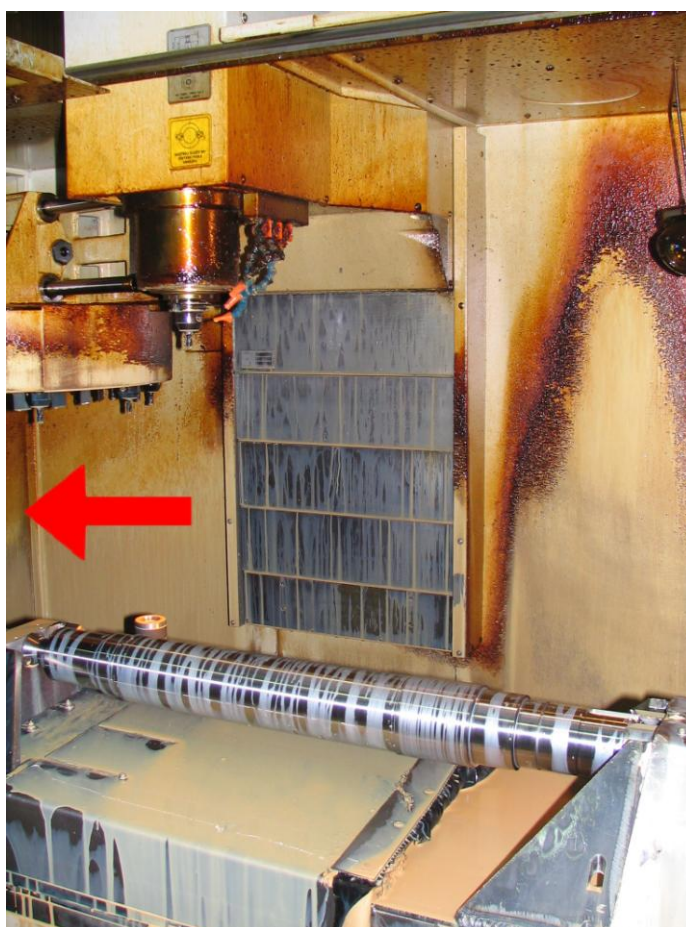
Tento typ sondy lze přizpůsobit tak, aby mohl fungovat jako laserová sonda pro měření průměrů hřídele a i délek průměrů. Sonda se vyrábí ve variabilní délce L , ale je limitována výškou paprsku od základny, která je 92 mm (Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Konstrukční řešení Laserové sondy [8].

V případě, že by byl rozměr výšky základny od paprsku nevyhovující, musí být použita laserová sonda dvoudílná (viz odstavec 2.2).

Laserová sonda je upnuta na pohyblivém supportu a v průběhu obrábění je schovaná ve stroji (Obr. 4.3). Při měření je support s laserovou sondou zavolán programem. Program obsahuje informaci o otevření krytu a přesune support do měřicí polohy (Obr. 4.4).

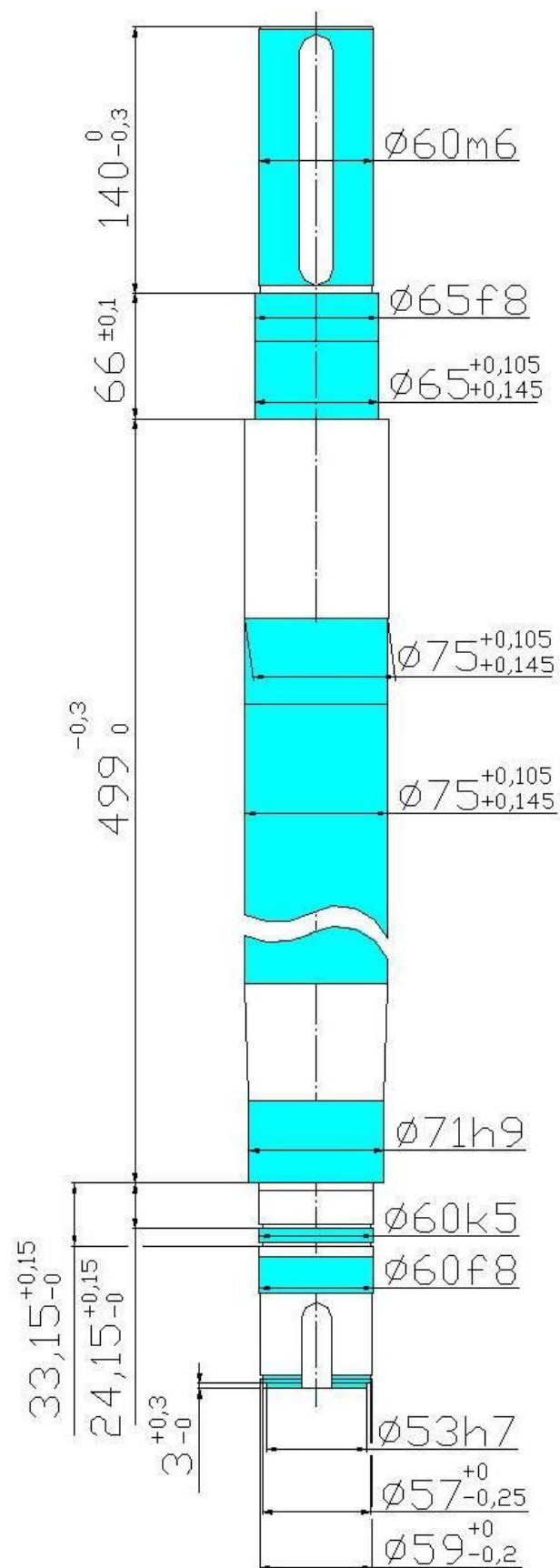


Obr. 4.3 V průběhu obrábění, šipka označuje parkovací polohu supportu s laserovou sondou.



Obr. 4.4 Support se sondou připravený k měření.

Výroba hřídele je předem dána výrobním výkresem, kde jsou přesně zadány rozměry a tolerance daných rozměrů. Části hřídele, které jsou ve styku s jinými součástmi, mají předepsané uložení. Tyto průměry a délky těchto průměrů podléhají přísné kontrole a proto jsou i kontrolovány laserovým paprskem. Při nedodržení některého rozměru je obrábění na čisto zopakováno s tím, že je korekčně upravena dráha nástroje. Korekce probíhá u „napravitelných chyb“ tedy u nepřesností větších než je jmenovitý rozměr s tolerancí a to tak, že je odchylka vynásobena koeficientem. Po ukončení nové dráhy nástroje je nepřesný rozměr znovu přeměřen, pokud opět nevyhovuje, je proveden opět korekční cyklus. V případě záporných odchylek je obráběcí cyklus přerušen s chybovým hlášením o zmetkovitosti.



Obr. 4.5 Schéma měřených rozměrů na hřídeli.

Po ukončení soustružení na čisto je spuštěn měřicí program, který obsahuje jak samotný proces měření, tak i podprogramy nutné pro korektní měření. Měřicí program obsahuje všechny důležité informace, jako jsou způsoby měření, odvolání na podprogramy, podmínky měření, zapsání měřených hodnot do proměnných, případně sčítání a odčítání proměnných hodnot. Měřicí program může být naprogramován na konkrétní tvarovou součást nebo místo konkrétních rozměrů můžou být hodnoty v programu uvedeny jako proměnné symboly. Tyto symboly se pak odkazují na paměť stroje nebo můžou být dokonce čerpány z nějakého tabulkového editoru. Pro praktičnost a lepší orientaci v programu byl zvolen měřicí program na konkrétní hřídel. Výkresová dokumentace s výrobním programem hřídele a měřicím programem je přiložena v příloze.

Po ukončení měřicího programu, jsou výsledné naměřené hodnoty, které odpovídají kótám na výrobním výkrese, zobrazeny přímo na displeji stroje nebo můžou být tzv. vytisknuty do souboru. Hodnoty však musí být vždy zobrazeny jasně a přehledně tak, aby obsluha stroje, případně kontrolor se mohli bez problému zorientovat. Vhodný editor pro práci s výsledky měření je „MS Excel“.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Typ	Číslo	Naměřená		jmenovitý	dolní	horní	odchylka		
	Stroj	Dílce	Měření	Hodnota	Datum/Čas	rozměr	toleranční	toleranční	od	neshodný	vyčerpání
				[mm]		[mm]	mez	mez	rozměru	výrobek	tolerance
									[mm]		[%]
3	H40_44	2	5	89,910	22/7/09 11:57:20	90,000	-0,100	0,100	-0,090	NEPRAVDA	-90
4	H40_44	2	1	44,890	22/7/09 11:57:20	45,000	-0,100	0,100	-0,110	PRAVDA	-110
5	H40_44	2	5	89,910	22/7/09 11:52:11	90,000	-0,100	0,100	-0,090	NEPRAVDA	-90
6	H40_44	2	1	44,890	22/7/09 11:52:11	45,000	-0,100	0,100	-0,110	PRAVDA	-110
7	H40_44	2	5	89,910	22/7/09 11:46:55	90,000	-0,100	0,100	-0,090	NEPRAVDA	-90
8	H40_44	2	1	44,890	22/7/09 11:46:55	45,000	-0,100	0,100	-0,110	PRAVDA	-110
9	H40_44	2	5	89,910	22/7/09 11:33:20	90,000	-0,100	0,100	-0,090	NEPRAVDA	-90
10	H40_44	2	1	44,890	22/7/09 11:33:20	45,000	-0,100	0,100	-0,110	PRAVDA	-110
11	H40_44	2	5	90,099	22/7/09 11:32:17	90,000	-0,100	0,100	0,099	NEPRAVDA	99
12	H40_44	2	1	45,110	22/7/09 11:32:17	45,000	-0,100	0,100	0,110	PRAVDA	110
13	H40_44	10	24	43,500	22/7/09 11:28:16	43,000	-0,100	0,100	0,500	PRAVDA	500
14	H40_44	10	3	41,000	22/7/09 11:28:16	41,000	-0,100	0,100	0,000	NEPRAVDA	0
15	H40_44	10	2	30,500	22/7/09 11:28:16	30,000	-0,100	0,100	0,500	PRAVDA	500
16	H40_44	10	1	21,020	22/7/09 11:28:16	21,000	-0,100	0,100	0,020	NEPRAVDA	20
17	H40_44	10	24	43,500	22/7/09 11:28:00	43,000	-0,100	0,100	0,500	PRAVDA	500
18	H40_44	10	3	41,000	22/7/09 11:28:00	41,000	-0,100	0,100	0,000	NEPRAVDA	0
19	H40_44	10	2	30,500	22/7/09 11:28:00	30,000	-0,100	0,100	0,500	PRAVDA	500
20	H40_44	10	1	21,020	22/7/09 11:28:00	21,000	-0,100	0,100	0,020	NEPRAVDA	20

Obr. 4.6 Ukázka měřicího programu v MS Excel

Po proměření celého obrobku jsou data přeposlána do PC a následně jsou přehledně zobrazeny (Obr 4.6). Program zapisuje kromě naměřené hodnoty, také na jakém stroji měření proběhlo, číslo měření, čas, datum a typ dílce. Dále zobrazuje jmenovitý rozměr a horní a dolní mez. V nejvýraznějším sloupci jsou přehledně shrnuty podrobné informace o měření. Při prvním pohledu je vidět, které rozměry toleranci nevyhovují a jsou označeny ve sloupci „neshodný výrobek“ jako „PRAVDA“. Dokonce můžeme zjistit, o kolik je překročen jmenovitý rozměr, případně procentuální vyčerpání tolerance.

Tato zkušební verze nebyla ještě plně rozvinuta pro všechny výrobky, které se na automatickém pracovišti vyrábí. Snaha je využít tento program pro všechny obrobky a usnadnit tak obsluhu kontrolu a přehled.

5 NÁVRH SYSTÉMU HODNOCENÍ JAKOSTI MĚŘIDEL

Jakost měřidel můžeme hodnotit z mnoha různých hledisek, ale základní hledisko je přesnost. Přesnost měřidla je jiný pojem než přesnost měření a proto je musíme rozlišovat. Přesnost měřidla je jeho schopnost dávat výstupní signály blízké pravé hodnotě měřené veličiny. Pro hodnocení měřidla musíme vyloučit všechny vlivy, které nemají přímou souvislost s hodnoceným měřidlem. [13]

5.1 Obecné zásady a definice

Hodnotící postupy neřeší jenom samotné měřidlo, ale postupy jsou založeny na sledování měřidel v čase tzn. sledované měřidlo se kontroluje v daném časovém okamžiku. V tomto okamžiku se vyhodnotí dané charakteristiky naměřených dat, porovnají se s charakteristikami z jiných okamžiků. Na základě tohoto principu můžeme potom upravovat kalibrační interval sledovaného měřidla.

Pro hodnocení měřící laserové sondy jsem si vybral postup c_g , c_{gk} podle, kterého můžeme kvantifikovat následující veličiny jakosti měřidla:

- Strannost,
- Opakovatelnost,
- Reprodukovatelnost,
- Stabilitu,
- Linearitu.

V celém systému měření existuje určitá variabilita, která ovlivňuje naměřené hodnoty a je proto třeba znát jednotlivé vlivy a jejich váhu. [13]

Strannost

Je rozdíl mezi přijatou referenční hodnotou a střední hodnotou výsledků zkoušek. Strannost je míra systematické chyby. Pro určení strannosti musíme získat konvenčně pravou hodnotu znaku, kterou získáme pomocí referenčního

etalonu. Pokud je strannost výsledků měření příliš velká, musíme prověřit možné příčiny, jako jsou:

- Chyba etalonu,
- Opotřebení měřidla,
- Měřidlo není vyrobeno pro daný rozměr,
- Nesprávná kalibrace,
- Vliv operátora,
- Vliv prostředí. [13]

Opakovatelnost

Pro opakovatelnost je zdrojem chyb většinou měřidlo a variabilita polohy měřeného objektu oproti měřidlu. Tyto skutečnosti nejvíce ovlivňují velikost rozpětí výsledků opakovaných měření, při příliš velkého rozptylu musíme najít příčiny a následně je odstranit. [13]

Reprodukovatelnost

Hodnotí jakost měřícího zařízení z hlediska variability výsledků měření způsobené operátory. Proto můžeme brát reprodukovatelnost jako strannost, která je spojena s každým operátorem. [13]

Stálost

Umožňuje odhadnout chování měřidla v budoucnosti. Měřidlo a měřící systém musí být dostatečně odolný proti vlivům, které způsobují nestabilitu jako jsou teplotní změny, opotřebení, koroze, nečistoty atd. Odstranění těchto vlivů je dost náročné a náročnější je sledovat všechny současně. [13]

Linearita

Hodnotí se na základě výběru hodnot v celém rozsahu měřidla. Získává se při porovnání hodnot průměrů výsledků měřených jednotlivých kusů s konvenčně pravou hodnotou. Za nelinearitou může být několik zdrojů příčin:

- Měřidlo není kalibrováno pro celý rozsah,
- Chyba ve vzorových kusech,

- Opotřebení měřidla,
- Konstrukční znaky měřidla. [13]

5.2 Hodnocení pomocí c_g , c_{gk}

Tento postup se používá u měřidel, kde nedochází k ovlivnění výsledků měření obsluhou, takže zejména pro měřicí automaty a absolutní měřidla. Měřidlo hodnotí z hlediska strannosti a opakovatelnosti. Opakovaně je měřen kontrolní etalon, který představuje konvenčně pravou hodnotu. Tato hodnota by měla být průměrnou hodnotou výsledků měření. Předpokládá se, že výsledky měření se řídí zákonem normálního rozdělení.

Při použití metody c_g , c_{gk} musíme dodržet tyto podmínky:

- Minimálně 30 opakování měření kontrolního etalonu,
- Měření provádí jedna osoba,
- Měření se realizuje jedním měřidlem,
- Měření se realizuje jedním postupem,
- Během měření jsou zajištěny stejné podmínky,
- Měření probíhá v relativně krátkém časovém intervalu. [13]

Měření probíhalo v soustružnickém centru Tajmac- ZPS TCH 500/80, kde byla naprogramována měřicí smyčka v relativně krátkém časovém intervalu. Měřen byl válečkový etalon 75H7 a to 30 krát za sebou. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky (tab. 5.1).

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty:

č.měření	Naměř. hodnota	č.měření	Naměř. hodnota
1.	75,00217	16.	75,00228
2.	75,00201	17.	75,00271
3.	75,00238	18.	75,00263
4.	75,00211	19.	75,00192
5.	75,00281	20.	75,00206
6.	75,00200	21.	75,00238
7.	75,00251	22.	75,00144
8.	75,00239	23.	75,00175
9.	75,00213	24.	75,00236
10.	75,00225	25.	75,00191
11.	75,00234	26.	75,00227
12.	75,00256	27.	75,00183
13.	75,00287	28.	75,00231
14.	75,00267	29.	75,00143
15.	75,00219	30.	75,00118

Opakovatelnost je dána vztahem:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g}, \quad (5.1)$$

,kde T – je tolerance měřeného rozměru,

$$T = \text{HMR} - \text{DMR}$$

,kde HMR – je horní mezní rozměr

DMR – je dolní mezní rozměr

s_g – je výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu,

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2}, \quad (5.2)$$

,kde n – je počet měření za podmínek opakovatelnosti,

x_i – je výsledek i -tého měření,

$\bar{x}_g$ – je výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu.

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.3)$$

Strannost je dána vztahem:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g}, \quad (5.4)$$

Indexy c_g , c_{gk} určují, jestli výsledek měření kontrolního etalonu leží pravděpodobností 99,73% ve zvoleném pásmu tolerance měřidla, která je stanovena na 20% šířky tolerance měřeného rozměru.

Hodnoty těchto rozměrů určují způsobilost měřidla pro daný účel. Mezní hodnoty jsou určeny v tabulce (tab.5.2). [13]

Tab. 5.2 Mezní hodnoty pro schválení [13].

Tolerance	Mezní hodnoty
$T \leq 50 \mu$	$C_g, c_{gk} \geq 1$
$T > 50$	$C_g, c_{gk} \geq 1,33$

5.3 Vlastní řešení

Tolerance měřeného rozměru:

Jako toleranci, musíme zvolit nejmenší toleranci ze všech měřených rozměrů, což je rozměr 60k5 (HMR = 0,015 mm , DMR = 0,002 mm).

$$T = \text{HMR} - \text{DMR} = 0,015 - 0,002 = \underline{0,013 \text{ mm}}$$

Výběrový průměr výsledků:

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} 2250,066 = \underline{75,0022 \text{ mm}}$$

Výběrová směrodatná odchylka výsledků:

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{30-1}\right) \cdot \sum_{i=1}^{30} 0,000000162314} = \underline{0,000403 \text{ mm}}$$

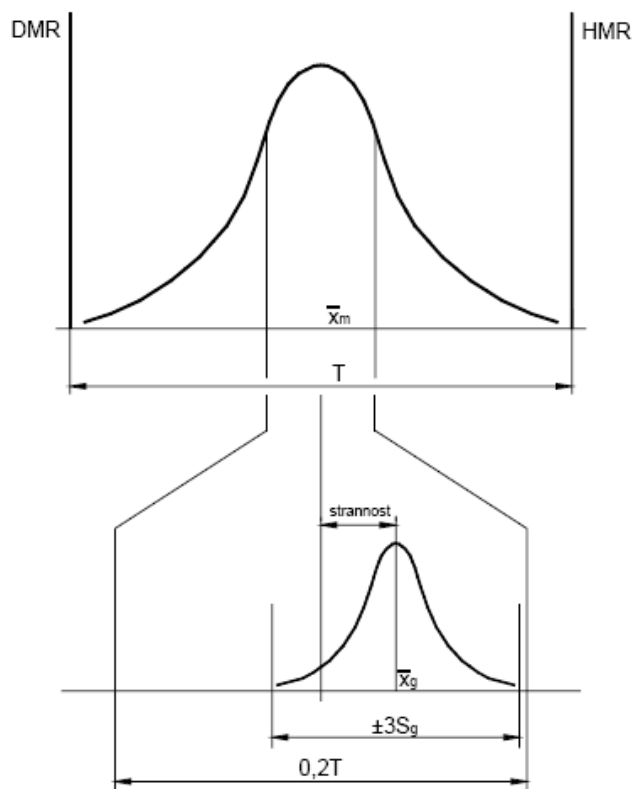
Opakovatelnost:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,013}{6 \cdot 0,000403} = \frac{0,0026}{0,002418} = \underline{1,0752688 \text{ mm}}$$

Strannost:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,013 - |75,0022 - 75,0021|}{3 \cdot 0,000403} = \underline{0,9925558 \text{ mm}}$$

Podle tabulky Tab.1.2 mají být indexy c_g a c_{gk} být větší nebo rovna 1. Opakovatelnost tedy vyšla a je vyhovující pro měřený rozměr. Strannost se přiblížila těsně k 1. Můžeme tedy říct, že měřidlo vyhovuje pro daný účel.



Obr. 5.1 Znázornění c_g , c_{gk} vzhledem k toleranci. [13]

6 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomika podniku hraje významnou roli v rozhodování a plánování budoucnosti. Pro konkurenceschopnost na trhu musíme plánovat tak, aby naše náklady na výrobu mohly konkurovat nízkonákladovým ekonomikám. Toho můžeme dosáhnout mimo jiné i investicí do nových zařízení a technologií. Vhodná technologie je automatizace obráběcích strojů spolu se silným zaměřením na výkonnost a řízení procesů.

Při výrobě čehokoli, si výrobci nemůžou nevšimnout značných změn, kterými prochází světový průmysl a které jsou vyvolány lokálními i globálními faktory. Různé výrobní sektory se snaží snížit náklady prostřednictvím zajišťováním činností a služeb externími společnostmi a konsolidací dodavatelů. Výrobci a subdodavatelé jsou přinuceni k automatizaci z hlediska tlaku na náklady, zkrácením dodacích lhůt a nedostatkem kvalifikovaných pracovníků. Rozvojové země mají výhody, kvůli nižším mzdovým nákladům, tolerantnějším pracovněprávním předpisům a pružnějším zdrojům pracovní síly, ale ziskovost výrobců lze zajistit zaměřením na komerční výhody a maximální ziskovostí z investic do výroby.

Každý podnik by měl začít benchmarkingem. Smyslem benchmarkingu je zjištění pozice vlastní společnosti na trhu a její zlepšení na základě srovnání s konkurencí, a s důrazem na využití vlastních předností a potlačení vlastních nedostatků. Součástí zlepšení by mělo být i učení se od konkurenčních společností. Ideálním nástrojem pro realistické vyhodnocení postoje podniku na trhu je analýza SWOT (z angl. Strong, weak, Opportunities, Threats), která zahrnuje silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby na trhu.

Silné stránky:

- blízkost k důležitým zákazníkům,
- zkušenosti,
- vyšší kvalita,
- inovace,
- vztahy se zákazníky.

Slabé stránky:

- vyšší mzdové náklady,
- legislativní zátěž,
- nedostatek kvalifikovaných sil,
- vyšší náklady na zajištění kvality,
- slabé využití strojního zařízení.

Příležitosti:

- rychlejší reakce vůči zákazníkům,
- pružnější nabídka služeb,
- Využití schopnosti inovovat,
- Maximalizace využití strojního zařízení.

Hrozby:

- zvýšení jakosti dosahované v rozvojových zemích,
- výrobci přesouvají výrobní podniky do zemí s nízkonákladovou ekonomikou,
- konsolidace dodavatelů ze strany výrobců,
- zvýšený přístup zemí s nízkonákladovou ekonomikou k technologiím,
- zdokonalení výukových norem v zemích s nízkonákladovou ekonomikou.

Těmto skutečnostem výrobci čelí a čelit budou i v budoucnu. Některé z nich jsou jen těžko ovlivnitelné nebo neovlivnitelné. Existují však problémy ve výrobním procesu, které při ovlivnění sníží nákladovost a zvýší flexibilitu.

6.1 Začlenění sond do procesu obrábění

Při systematickém přístupu k řešení je nutno postupovat od nejzákladnější věci procesu. Musí být uvažováno nad každým faktorem, který může proces ovlivnit nebo vnést do procesu chybu. Snaha je minimalizovat prostoje a seřizování strojů za podpory měřících sond.

Optimalizace stavu stroje

Přesnost výrobku je dána přesností stroje, pokud stroj je ve špatném technickém stavu, budou tomu odpovídat i výrobky. Stroj musí být schopen najet do požadovaného místa, případně přesně sledovat naprogramovanou dráhu nástroje. Tyto požadavky kladou nároky na konstrukci stroje, polohovací systém se zpětnou vazbou a spolehlivost servořízení. Chyby můžou vzniknout i v důsledku malých nepřesností v konstrukci stroje, jako jsou chyby ve stoupání závitů, směřování, přímosti a pravoúhlosti při pohybu stroje. Nejzákladnější chybou je linearita a opakovatelnost polohovacího systému se zpětnou vazbou ve směru všech os, v důsledku nestejnomyšerného dělení stupnice, nekonzistentního stoupání kulového šroubu a nepřesné interpolace. Všechny tyto malé chyby můžou být ve výsledku potenciálně významnou chybou. Většina CNC strojů je schopna udělat chyby v polohování os lineárního a rotačního pohybu. Je důležité tyto chyby identifikovat a minimalizovat. K tomu jsou uzpůsobeny testy, díky kterým můžeme aktualizovat parametry CNC stroje a předejít tak chybám jako jsou zpětné impulsy a vůle nebo nepřizpůsobení servopohonů. Pravidelná kontrola a spouštění testů by mělo proběhnout minimálně jednou do měsíce.

Teplota

Většina dílen není klimatizována a tak se okolní teplota může výrazně podílet na přesnosti. Důležitější roli však hraje teplo, které vzniká při obrábění, v pohonech, v kulových převodech atd. Všechno vyprodukované i okolní teplo vstupuje do rámu stroje a způsobuje, že se stroj zvětšuje a deformuje. To má vliv na polohu částí: stroj, obrobek, nástroj. U soustruhů je důležitá poloha revolverové hlavy k ose hlavního vřetena. Díky měřícím sondám, můžou být tyto měnící se vztahy monitorovány a následně minimalizovány.

Polohování součástí pro strojní obrábění

Při korektní soustružení je důležité, aby součást byla upnutá pevně a přesně. Pro sériovou výrobu je nejvhodnější použití přesného přípravku, který je pevně nebo pohyblivě upnut ve stroji. Toto upnutí však vyžaduje, aby předem obrobený polotovar odpovídal požadavkům přípravku. Toho lze

dosáhnou například sražením čel a vyvrtáním středících důlků. V opačném případě může být už na začátku vnesena chyba, která znehodnotí celý proces obrábění.

Seřízení nástroje

Nástroj ve stroji musí být upnut tak jak předpokládáme, takže známe přesnou polohou a délku jeho vysunutí. K tomuto účelu nám ideálně poslouží měřicí sondy nebo spínače, díky kterým můžeme provést korekci na každý nástroj. Výhodou seřizování přímo na stroji je, že upravujeme nástroj přesně v pozici, ve které bude obrábět. Automatické seřízení nevyžaduje manuální zásah a zamezuje tak hlavnímu zdroji kolizí.

Proces strojního obrábění

Po eliminování výše uvedených faktorů, je proces ovlivňován dalšími zdroji změn, z nichž nejvýznamnější jsou teplota a opotřebení nástroje. Vliv těchto změn, může být minimalizován měřením pomocí sond a čidel, které zajišťují díky zpětné vazbě stálost procesu. Pro dosahování trvale dobrých výsledků je důležité, aby podmínky při obrábění byly optimální. Nejnáchylnější fází je dokončovací obrábění, protože na něm závisí poloha a stav hotového povrchu. V některých případech je vyžadováno, aby po hrubování zůstal přídavek pro dva dokončovací záběry, kdy po prvním záběru je pomocí měřicí sondy provedena korekce tak, aby rozměr ve výsledku odpovídal požadavkům. Po posledním dokončovacím záběru, lze zkontrolovat a ověřit výsledek procesu.

Neočekávané okolnosti

Při každém procesu mohou vzniknout neočekávané chyby a je důležité, aby sondy nebo čidla při první náznaku problému nezastavili proces. Například chybná hodnota může být způsobena při nárazu na třísku nebo otřep, proto by měl být spuštěn režim ofukování nebo oplachování a až po naměření stejné hodnoty by měl být proces přerušen.

Měření na stroji

Měření výsledných rozměrů na stroji zahrnuje kontrolu dodržení tolerancí a změření všech specifikovaných rozměrů na výkrese. Obráběcí stroje mají však některé nekompenzované chyby, jako pravoúhlost, stoupání závitu a směřování. Měření je také vystaveno působení kolísání okolní teploty a teploty vzniklému při obrábění. Podobně ani součást nebude mít optimální teplotu 20°C. Takto ovlivněné měření může být pro daný účel nepoužitelné. Tuto nevýhodu odstraňuje metoda použití porovnávacího artefaktu, kdy do prostoru stroje umístíme kopii dané součásti, která je kalibrována při 20°C o známé přesnosti. Kopie je ze stejného materiálu jako obráběná součást a působí na ni stejné podmínky. Před měřením je změřen první artefakt a zjištěno o kolik se tepelně ovlivněné rozměry liší od kalibrovaných rozměrů. Tato odchylka pak může být očekávána i u měřených součástí. Měřicí proces s minimalizací tepelného ovlivnění může být používán místo výstupní kontroly.

6.2 Vlastní hodnocení investic

Při zahajování výroby hřídelů pro elektromotory pro firmu ABB, bylo několik aspektů, podle kterých se zvažovalo pro jakou investici se rozhodnout. Jedním z rozhodujících důvodů byla pořizovací cena a s tím i spojená časová návratnost této investice. Druhým důvodem byla časová náročnost výroby a samozřejmě s tím souvisící náklady na výrobu. V poslední řadě, počet pracovišť pro obrábění jedné součásti, protože při obrábění na více pracovištích, nám nabývá jak časová náročnost, tak i náklady spojené s přepravou.

6.2.1 Pořizovací cena

Pro dodržení výkresové dokumentace byly dvě varianty jak je dosáhnout. První varianta byla obrábění na soustruhu a následné broušení funkčních ploch na CNC brusce na kulato. Pořizovací cena CNC brusky je cca **10 mil. Kč** (Obr. 6.1). V druhé variantě by se jednalo o koupi CNC obráběcího centra

s instalovanou laserovou sondou za cca **4 mil. Kč** (3 400 000 obráběcí centrum, 600 000 laserová sonda + montáž).

Takže vzhledem k pořizovací ceně je jasné, že je výhodnější pořízení CNC obráběcího centra než CNC brusky.



Obr. 6.1 Bruska nakulato STUDER S33
CNC universal [14].

6.2.2 Časová náročnost

Při první variantě což je dokončení funkčních ploch na CNC brusce se hřídele obrábí na soustružně na čisto a pak se musí přesunout do brusírny, kde jsou následně broušeny.

Obrábění:	16 min.	- celkové soustružení
	10 min.	- manipulace obrobku, přesun na brusírnu
	7 min.	- broušení

Celkový čas = 23 min.

Minuta obrábění stojí 10 Kč.

Takže konečná cena jednoho kusu $23 \text{ min.} \times 10 \text{ Kč} = \underline{\underline{230 \text{ Kč/ks.}}}$

Do celkového času není zahrnuta manipulace a převoz na kontrolu.

U druhé varianty se všechny operace uskuteční v automatickém pracovišti, kdy z dovezeného polotovaru na konci obrábění je hotový kus. Díky laserové sondě jsou i zkontrolovány rozměry funkčních ploch.

Obrábění: 16 min. - celkové soustružení
 2 min. - dokončovací šlicht
 0,5 min. - měřicí cyklus

Celkový čas = 18,5 min.

Minuta obrábění stojí 10 Kč.

Takže konečná cena jednoho kusu $18,5 \times 10 \text{ Kč} = \underline{\underline{185 \text{ Kč/ks.}}}$

Uspoření druhé varianty oproti první je 45 Kč na kus. Jedna paleta obsahuje 100 ks a tím rozdíl mezi variantami je 4500 Kč na paletě.

6.2.3 Celkové zhodnocení variant

Z výše uvedeného hodnocení celkově vychází druhá varianta výhodněji, kdy obrábění probíhá na automatickém pracovišti. Byla příznivá jak počáteční cena, tak i nižší čas obrábění. Uskutečněním druhé varianty oproti první, ušetří podniku v okamžiku pořízení cca **6 mil.** Kč. Celý proces obrábění se provádí na jednom pracovišti, tím nám odpadá přeprava palet s kusy. Zkracuje se tak nejenom čas, ale i náklady na přepravu, případně poškození kusů během manipulace. Kontrola a případná redukce rozměrů, proběhne ve stroji bez nutnosti přesunu na kontrolní pracoviště, takže po namátkové kontrole asi 5 kusů z palety, jde paleta s obrobky přímo na expedici. Podobně asi uvažoval i management podniku při rozhodování, která z investic je více efektivní.

Rozhodování o investicích, patří k nejdůležitějšímu rozhodování každého podniku. Důsledky špatného rozhodnutí lze obtížně měnit a může vést i k bankrotu podniku.

ZÁVĚR

Proces třískového obrábění je ovlivněn tolika faktory, že je nadlidský výkon sledovat všechny najednou. Výrobní přesnost je závislá na podmínkách, které se mohou změnit během několika minut. Pro dosažení maximální možné přesnosti musíme na tyto změny pružně reagovat a nedovolit, aby obrábění pokračovalo za nepříznivých podmínek. Při zavedení měření přímo do průběhu obrábění můžeme výslednou výrobní přesnost automaticky ovlivňovat tak, že upravujeme vstupní hodnoty se změnou podmínek pro korektní obrábění. Při začátku obrábění nejsou podmínky stejné pro obrábění jako na konci druhé osmihodinové směny. Vliv na to má tepelná roztažnost všech součástí, opotřebení nástrojů a držáků, vůle v mechanických převodech. Všechny tyto změny můžou hlídat vhodně aplikované měřicí sondy a čidla, které mezi operacemi znovu a znovu hlídají předem stanovený údaj a jeho odchylky. U třískového procesu soustružením jsou převážně využívány laserové sondy, které můžou v průběhu obrábění měřit geometrii a stav bříty nástroje, nebo jsou určeny k měření funkčních rozměrů obrobků. Tyto rozměry jsou z pravidla měřeny před posledním dokončovacím obráběním a následně i po něm.

Z praxe jsem se přesvědčil o tom, že aplikace měřících sond do procesu soustružení vede nejen ke zvýšení výrobní přesnosti a snížení zmetkovitosti, ale vede i k velkým časovým i finančním úsporám. Instalací laserových sond do soustružnického centra nahradíme koupi drahých CNC brusek, bez kterých bychom jinak požadované výrobní přesnosti nedosáhli. Časová úspora je založena hlavně na myšlence, že součást nemusí být vůbec vytažena ze stroje. Kompletní proměření může proběhnout při upnutí ve stroji a při neshodě rozměrů ji dodatečně ihned opravíme. Zamezí se tak vzniku chyb při opakovaném upínání. Laserová sonda může nahradit i výstupní kontrolu, takže po vyjmutí ze stroje projdou kusy jenom náhodnou kontrolou a můžou být převezeny na expedici. Vhodně zvolené měřicí sondy v procesu soustružení nám zajistí, zvýšení výrobní přesnosti, snížení prostojů a zachování si konkurence schopnosti na trhu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Heidenhain. Web – speciál, dotykové sondy – princip funkce senzorů [online], [citováno 15.2.2010]. Dostupné na internetu: <http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty_a_pouziti/nastavit_a_promerit/dotykove_sondy/>
2. Blum-Novotest GmbH . katalog: Měřicí sonda TC 50-52 . CZ c11/2005 . [online], [citováno 16.2.2010]. Dostupné na internetu: < www.blum-novotest.com >
3. Renishaw. *Kapesní příručka o sondách pro CNC obráběcí stroje* Květen 2008.[online], [citováno 24.2.2010]. Dostupné na internetu: <[http://resources.renishaw.com/download/\(40e96c367d794cd0acc7f75add8f869f\) ?lang=cs&inline=true](http://resources.renishaw.com/download/(40e96c367d794cd0acc7f75add8f869f)?lang=cs&inline=true)>
4. Renishaw. Zdokonalení výrobního procesu. Marc Saunders [online], [citováno 9.3.2010]. Dostupné na internetu: <www.renishaw.info/pyramid>
5. Renishaw. Doteky pro dotykové sondy. Copyright © 2001-2010 Renishaw plc. [online], [citováno 15.3.2010]. Dostupné na internetu: < <http://www.renishaw.com/en/6662.aspx>>
6. MM Průmyslové spektrum. Vyšlo v MM 2008 / 7, 3. července 2008 v rubrice Výroba / Měření, strana 58. Ing. Josef Sláma, Renishaw [online], [citováno 17.3.2010]. Dostupné na internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-serizovani-nastroju-laserem>>
7. BLUM. Laser tool setting. c2007. [online], [citováno 27.3.2010]. Dostupné na internetu: <<http://www.blum-novotest.de/index.php?id=23&L=0>>
8. Blum-Novotest GmbH . katalog: Měřicí sonda Laser kontrol NT nano . 3300 V2 CZ /2005. [online], [citováno 27.3.2010]. Dostupné na internetu: < www.blum-novotest.com >
9. TAJMAC-ZPS produkty. Aktualizováno: 27.10.2009 [online], [citováno 3.4.2010]. Dostupné na internetu: <<http://www.tajmac-zps.cz/productic.html>>
10. Katalog ABB s.r.o. Copyright ABB Automation Technologies AB. June 2005. [online], [citováno 7.4.2010]. Dostupné na internetu: <www.abb.com/cz>.

11. SECO tools katalog obráběcích nástrojů Copyright SECOTOOLS c2007.
[online], [citováno 20.4.2010]. Dostupné na internetu:
<legacy.secotools.com/upload/international/Update_2007_CZ_LR.pdf>
12. ARNO Werkzeuge prospekt zapichovacích nožů
[online], [citováno 27.4.2010]. Dostupné na internetu:
<http://www.arno-rouse.com/fileadmin/pdf_documents/grooving/flyer_clip-groove_axial_en.pdf>
13. Hodnocení způsobilosti kontrolních prostředků. doc.Ing. Jiří Pernikář, Csc .
[citováno 12.5.2010]
14. Arwood Machine Corporation
[online], [citováno 22.5.2010]. Dostupné na internetu:
<www.arwoodmachine.com/facility_list.html>

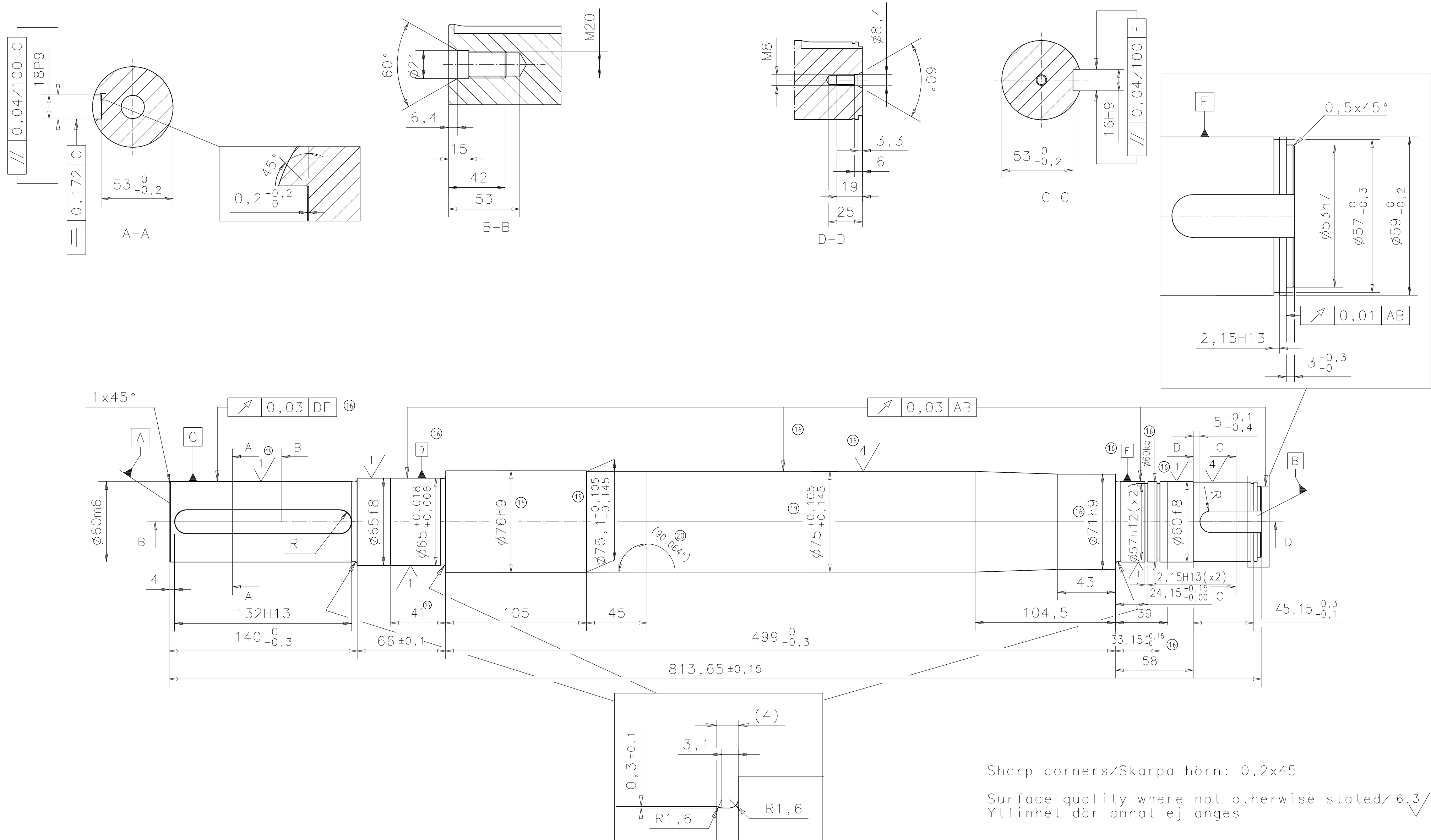
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C_g	mm	Opakovatelnost
T	mm	Tolerance
S_g	mm	Výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu
n	-	Počet měření
x_i	mm	Výsledek i-tého měření
x_g	mm	Aritmetický průměr výsledků
C_{gk}	mm	Strannost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výrobní výkres hřídele
- Příloha 2 Výrobní postup hřídele
- Příloha 3 Výrobní program hřídele
- Příloha 4 Měřicí program hřídele

General tolerances acc. to
ISO 2768-m



Sharp corners/Skarpa hörn: 0.2x45

Surface quality where not otherwise stated/ 6.3
Ytfinhet där annat ej anges

20	Angle 90,064° added for clarification.	GB	08	38
19	Tolerance: +0,145/+0,105 was +0,1405/0,1050.	HT	06	51
18	Tolerance for dim. $\phi 75,1 \pm 0,1405/+0,1050$ was +0,105/0,065.	HT	06	49
17	Tolerance for dim. $\phi 75 \pm 0,1405/+0,1050$ was +0,105/0,065.	HT	06	45
16	$\phi 60k5$ was $\phi 60(+0,018/+0,006)$ see A403, A404	JK	03	09
15	Dim. 41 was 33.	MN	00	46
14	Surface quality added.	MN	00	40
13	Cone changed form $\phi 73$ to $\phi 71$.	MN	00	36
12	Circlip groove for circlip ring added.	MN	00	22
11	See rev. A301	MN	00	18
10	See rev. A297	LN	00	14
9	See rev. A242	MT	99	07
Revind	Revision	Appd	Year	Week

-	3GZV 440 001-1	D=76; L=813.65	Shaft material machined Axelmaterial bearbetat	-
Article No.	Material, type, etc.	Dimensions	Name of item	Note
Accepted by qual control In PDM	Accepted for prod by In PDM	Description(English) SHAFT	225	
Design checked by In PDM	Drawn by MN	Description(own language) AXEL	4-8 pole	
Drawing checked by In PDM	Issued by AT	Year 99	Week 14	
ABIB	ABB Automation Technologies AB LV Motors	3GZV 183 001-4	20	
Revind	Revision	Appd	Year	Week

Příloha 2 – Výrobní postup hřídele

TECHNOLOGICKÝ POSTUP A KONTROLNÍ PLÁN v.4.0 (K)									
Součást / Verze : 3GZV183001-4					Č. výkresu : 3GZV183001-4				
Operace	Pops operace	Pracoviště	Přípravek :	Nástroje	Měřidla	Četnost měření	Způsob	Program	
Materiál, polotovár :					Rozměr 1	Rozměr 2	Množství	MJ	Kalkulační cena
1-9580817 přířez 80x817					1,00 ks 821,00				
10	Soustružení a frézování	62103	CNC H40 + 2 x Double + MCFV 1050 Univerzální unašec hřídelí "2001509"(62103) Hydraulický upínač hřídelí H40 Univerzální upínač hřídelí (10501060)			Kód operace	SOFR-001-US-7		
10	Zarovnat čelo; vrtat pr. 17,5 do hl. 53; soustružit pr.21 do hloubky 15 + záhlub 60° do hloubky 6,4 ; řezat závit M20 do hl. 42.			Držák-DCLNL 2525 M12 VBD-CNMG 120412-M3 TP 200 N			každý 10. ks		obsluha
20	Přepnout. Soustružit na L= 813,65 (±0,15) ; vrtat pr. 6,7 na L= 25; vrtat průměr 8,4 do hloubky 6 + záhlub 60° řezat závit M8 do hloubky 19.			vrták HSS válcový 221121 pr.17,50 závitník 376 M20 k č.4050 HSSE SE DR 35 VBD-TCMT 110204-SM IC908 Držák-S12K-STFCR 11			každý 10. ks		obsluha
30	Soustružit zprava d. 59,6 a d. 60,6.			vrták HSS válcový 221121 pr. 6,70 závitník 376 M8 k č.4050 HSSE SR DR 35		kalibr závitový M8/6H měřidla ostatní - měřidlo dig. vertikální	1. ks po seřízení		obsluha
40	Soustružit zprava d. 71,6 ; d. 75,6 ; d. 76,6 ; d. 65,6 ; d. 60,6.			VBD-CNMG 120412-M3 TP 200 N Držák-DCLNL 2525 M12		měřidlo posuvné digitální	1. ks po seřízení		obsluha
50	Soustružit zleva d. 60,6 a d. 65,6.			VBD-TNMG 160412 GH UC6010 Držák-MTJNL2525M16N		měřidlo posuvné digitální	1. ks po seřízení		obsluha

TECHNOLOGICKÝ POSTUP A KONTROLNÍ PLÁN v.4.0 (K)

Strana 2 / 3 .2010 10:33:43

Součást / Verze : 3GZV183001-4				Machined shaft 225 Axel				Č. výkresu : 3GZV183001-4		
Operace	Popis operace	Pracoviště	Přípravek :	Nástroje	Měřidla	Četnost měření	Způsob	Program		
				VBD-TNMG 160412 GH UC6010 Držák-MT JNR 2525M16	měřidlo posuvné digitální	každý ks	obsluha			
60	Soustružit zleva d 60,3 (+0,05) ; d 65,3 (+0,05). Náhodovo d 76h9 ; d 75,1 (+0,145/+0,105); d 75 (+0,145/+0,105); d 71 h9. Délky soustružití hotové dle výkresové dokumentace.			VBD-TNMX 160408-WF 401 S Držák-MT JNL2525M16N	měřidlo posuvné digitální mikrometr 50-75 měřidla ostatní- měřidlo dig.vertikální	každý ks	obsluha			
70	Soustružit zprava hotově d 53h7 ; d 59 (-0,2) ; d 60,3 (+0,05). Délky soustružití hotové dle výkresové dokumentace.			VBD-TNMX 160408-WF 401 S Držák-MT JNL2525M16N	mikrometr 50-75 měřidla ostatní- měřidlo dig.vertikální	každý ks	obsluha			
80	Soustružití zápichy dle výkresové dokumentace.			VBD-TNMX 1718 FR-V125 AM17C Držák-STGOR 2525 M17-A7	měřidlo posuvné digitální měřidla ostatní- měřidlo dig.vertikální	každý 20. ks	obsluha			
90	Upínat po 6 kusech. Frézovat drážku - 16H9 do hl. 53 (- 0.2) a drážku 18P9 na L= 132 H13 do hloubky 53 (-0.2).			fréza TK povlakovaná 4-břitá pr.11,75		každý ks	obsluha			
100	Drážky odlehlit.			fréza stopková Minarelli 90 st. D21 VBD-SDEW 090308SN:8026 PRAMET	vizuálně		obsluha			
110	Opracování dle výkresu.					po 2 hodinách	obsluha			
120	U KAŽDÉHO 20. ks MĚŘIT HÁZIVOSTI ZÁVITŮ !!! V PŘÍPADĚ, ŽE HÁZIVOST ZÁVITU JE MIMO PŘEDEPSANOU TOLERANCI, VYMĚNIT PŘÍSLUŠNÝ VRTÁK.					každý 20. ks	obsluha			
130	KAŽDÝ KUS ZNAČIT OSOBNÍ ZNAČKOU A NAKONZERVOVAT !!!					každý ks	obsluha			

TECHNOLOGICKÝ POSTUP A KONTROLNÍ PLÁN v.4.0 (K)

Součást / Verze : 3GZV183001-4				Machined shaf 225 Axel				Č. výkresu : 3GZV183001-4			
Operace	P opis operace	Pracoviště	Přípravek :	Nástroje	Měřidla	Četnost měření	Způsob	P rogram			
20	Kontrola výstupní	9002	Kontrola výstupní					Kód operace	KONT-001-C-1		
10 Výstupní kontrola.						5 ks z dávky		TK			

Poznámky :

Aktualizováno dne :	P opis změň :	Zař.vodnění :
Jméno :		
Vypracováno dne :	Zkontrolováno dne :	
Jméno :	Jméno :	

Příloha 3 – Výrobní program hřídele

;(NL.BOD G56 Z832.480)

PAJA:

M37

N10 M23

M10

N20 LIMS=1800

N30 G56

N40 HLAVA1

N50 _T(1);(STR.HRUB.PREDNI)

N60 ZAPIS_T(1)

N70 G96M4S240

N80 G0X100Z5M8

N90 G0X75F0.4 M7

N100 G1Z-108.75

N110 G0G91X0.5Z0.5

N120 G0G90Z5

N130 G0X70

N140 G1Z-108.75

G0 G91 X0.5Z0.5

G0G90Z5

G0X65

G1Z-108.75

G0X66Z2

G0X59.5

G1 Z-50.75

G1X60.4

G1Z-108.75

G0Z2X62

G1X53.5

G1Z-2.9

G1X60

N280 G0X300

N290 ZAPIS_ZIVOTNOST(1)

N300

N310 _T(4);(STR.HRUB.)

N320 ZAPIS_T(4)

N330 G96M4S240

G0 X79 Z-106;P

G1Z-503 F.6;P

G0X80;P

G0X77.4 Z-106

G1 Z-503 F.6 M8

X80

G0Z-105
G0X76.4 Z-106;P
G1Z-214
G0X80 Z-106;P
N340 G0X75.4 Z-106 M8
N350 G1Z-214 F0.6 M7
G0 X77Z-106
G0 X73.4;P
G1Z-151.5;P
G0 X77 Z-106;P

G0Z-105M8
G0X71.4M7
G1Z-151.5F0.35
G1Z-213X75.5
G1Z-502.5
G1X76.4
G1Z-610 F.35
G1X75Z-612F0.35
G1Z-812
G0X76Z-612
G1X75
G1X70Z-618
G1Z-812
G0X71Z-618
G1X70
G1X65.7Z-625
G1Z-812
G0X67Z-675
G1X65.4
G1X60.4Z-680
G1Z-812
G0X70Z-805
G0X82
G1Z-816.5
G1X59F0.2
G0X300
G0Z-750
N590 ZAPIS_ZIVOTNOST(4)

N600
N610 _T(7);(STR.HRUB.ZAD)
ZAPIS_T(7)
N620 G96M4S220
N630 G0Z-683M8
N640 G0X65
N650 G1X60.7F0.35
N660 G1Z-674
G1X70

G0Z-620
G1Z-608
G0X71Z-630
G1X65.7
G1Z-608
G1X77
N720 G0X300Z-400
N730 ZAPIS_ZIVOTNOST(7)

N1130 LIMS=2000
N1140 _T(8);(STR. SLICHT. PREDNI)
N1150 ZAPIS_T(8)
N1160 IF ((NOVY==0) AND (MERENI==0)) GOTOF BEZ_MER8
N1170 M4G96S350F1
N1180 G0Z2 M8
N1190 G0 X62 M7
N1210 G1X59.
N1220 G1Z-20.F0.22
N1230 G1X60
N1240 G0X300 M9
N1250 HLAVA2
N1260 MER_X(-15,59,8)
N1270 HLAVA1
N1280 BEZ_MER8:

N1290
N1300 _T(8);(STR. SLICHT. PREDNI)
N1310 ZAPIS_T(8)
N1320 M4G96S350F1
N1330 G0Z2 M8
N1340 M7
N1350 G0X62
N1360 G1G42X51.5Z0.2F0.3
G1X=52.985-0.00 Z-0.5F0.2
G1Z-3.15
G1X58.3
G1X=58.900+0.000Z-3.45
G1X=58.900+0.02 Z-50.95
G1X=59.976-0.021 ;60F8
G1X=59.976-0.021Z-69.95
G1X=60.000-0.004 ;60K5
G1X=60.000-0.002 Z-104.75
G1X59.4Z-105.85F0.15
G1Z-107.35
G2X62.6Z-108.95CR=1.8
G1X70.3
G1X=70.960+0.005 Z-109.25 ;71H9
G1X=70.960+0.005 Z-151.95F0.3
G1X=75.110+0.000 Z-213.45 ;75+0.105/+0.145

G1X=75.110+0.000 Z-457.8
G1X=75.215+0.002 ;75.1+0.105/+0.145
G1X=75.215+0.002 Z-502.8
G1X=75.960+0.00 ;76H9
G1X=75.960+0.00 Z-610
G0G40Z-790
G0X63
G1X60.36
G1Z-815.2
G1X58.5
G0X300
G0Z-750

N1740

N1750 _T(10); (STR. SLICHT. ZADNI)
N1760 ZAPIS_T(10)
N1770 IF ((NOVY==0) AND (MERENI==0)) GOTOF BEZ_MER10
N1780 M4G96S350F1
N1790 G0Z-815 M8
N1800 X63 M7
N1810 G1X60.100
N1820 G1Z-795.F0.22
N1830 G1X62
N1840 G0X300 M9
N1850 HLAVA2
N1860 MER_X(-800,60.1,10)
N1870 HLAVA1
N1880 BEZ_MER10:
N1890
N1900
N1910 _T(10); (STR. SLICHT. ZADNI)
N1920 ZAPIS_T(10)
N1930 G96M4S350
N1940 G0Z-815M8
N1950 G0X63M7
G1 G41 X=60.001+0.002 F0.3 ;60M6
G1 X=60.001-0.010 Z-677.9F0.2
G1X59.4Z-676.9F0.15
G1Z-675.4
G3X62.6Z-673.8CR=1.8
G1X64.4
G1X=64.950-0.025Z-673.4 ;65F8
G1X=64.950-0.025Z-648.8
G1X=65.000-0.009 ;65+0.006/+0.018
G1X=65.000-0.014 Z-611.9F0.2
G1X64.4Z-610.9F0.15
G1Z-609.4
G3X67.6Z-607.8CR=1.8
G1X75.4

G1X76.2 Z-607.4
G0G40X300

N750 _T(12);(ZAPICH1.85)
D2
N760 G97M4S1000
N770 G0X100
N780 G0Z-84.75M8
N790 G0X62
N800 G1X56.9F0.02
N810 G0X61
G1Z-85.05
G1X56.9
G0X63
G0Z-75.75
G1X56.9
G0X61
G1Z-76.05
G1X56.9
G0X63
G0Z-5.6
G0X60
G1X56.9
G0X59.5
G1Z-5.9
G1X56.9
G0X300
N1100 ZAPIS_ZIVOTNOST(12)
N1110

N2180 M9
N2190 M5
N2200 POCET_KUSU=POCET_KUSU+1
N2210 IF _PROT==0 GOTOF BEZ_PROT
;N2220 HLAVA2
;N2230 PROTOKOL_1_4

;N2240 BEZ_PROT:
M31
M32
M50
M11
M22
GOTOB PAJA
N2250 M30

Příloha 4 – Měřicí program hřídele

```
;PROTOKOL_1_4_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_BLUM_WPD
G56
;M17
ENDIF
```

```
PROT("",-1);Hlavicka
HLAVA2
M4 S1000
```

```
MER_Z(-813.65,58,-1)
R0=VYSLEDEK[0]
```

```
;VYSVETLIVKY
;MER_Z(Z_HODNOTA, PRUMER, STRANA)
;Z_HODNOTA - koordinata hrany kterou merim vuci nulovemu bodu
;PRUMER - prumer na kterem merim
;STRANA - 1 pokud merim z prava, -1 pokud merim z leva
```

```
MSG("MERENI DELKY 140-0.3")
;MER L1
MER_Z(-673.65,63.5,-1)
R1=VYSLEDEK[0]
```

```
MSG("MERENI DELKY 66+/-0.1")
;MER L2
MER_Z(-607.65,73,-1)
R2=VYSLEDEK[0]
```

```
MSG("MERENI DELKY 499-0.3")
;MER L3
MER_Z(-108.65,69,1)
R3=VYSLEDEK[0]
```

```
MSG("MERENI DELKY ZAPICHU 24.15+0.15")
;MER L4
MER_Z(-84.5,58.5,-1)
R4=VYSLEDEK[0]
```

```
MSG("MERENI DELKY ZAPICHU 33.15+0,15")
;MER L5
MER_Z(-75.5,58.5,-1)
R5=VYSLEDEK[0]
```

```
MSG("MERENI DELKY 3+0.3")
;MER L8
MER_Z(0,51,1)
R8=VYSLEDEK[0]
```


MSG("MERENI DELKY 3+0.3")

;MER L6

MER_Z(-3,55,1)

R6=VYSLEDEK[0]

;VYSVETLIVKY

;MER_X(Z_HODNOTA, PRUMER, C_NASTROJE)

;Z_HODNOTA - koordinata v Z na ktere prumer merim

;PRUMER - prumer ktery merim

;C_NASTROJE - pokud protokoluju = 0, jinak cislo nastroje ktery ma; m kompenzovat

GOTOF GGG

MSG("MERENI ZAPICHU pr.57-0.25")

;MER D11

MER_X(-76.5,57,0)

R21=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr. 53h7")

;MER D1

MER_X(-1,53 ,0)

R11=VYSLEDEK[0]

GGG:

MSG("MERENI pr 59-0.2 PRAVA STRANA")

;MER D2

MER_X(-25,59,0)

R12=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 60f8 PRAVA STRANA")

;MER D3

MER_X(-55,60,0)

R13=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 60k5 PRAVA STRANA")

;MER D4

MER_X(-97,60,0)

R14=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 71h9 PRAVA STRANA")

;MER D5

MER_X(-115,71,0)

R15=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 75+0.105/+0.145 STRED")

;MER D6

MER_X(-350,75.1,0)

R16=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 75.1+0.105/+0.145 STRED")

;MER D7

MER_X(-483,75.2,0)
R17=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 65+0.006/+0.018 LEVA STRANA")
;MER D8
MER_X(-628,65,0)
R18=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 65f8 LEVA STRANA")
;MER D9
MER_X(-660,65,0)
R19=VYSLEDEK[0]

MSG("MERENI pr 60m6 LEVA STRANA")
;MER D10
MER_X(-745,60,0)
R20=VYSLEDEK[0]

R8=0
PROT("L8",8);

R6=R8+R6
PROT("L6",6);

R5=R3-R5
;PROT("L5",5);

R4=R3-R4
;PROT("L4",4);

R3=R2-R3
PROT("L3",3);

R2=R1-R2
PROT("L2",2);

R1=R0-R1
PROT("L1",1);

;PROT("D1",11);
PROT("D2",12);
PROT("D3",13);
PROT("D4",14);
PROT("D5",15);
PROT("D6",16)
PROT("D7",17)
PROT("D8",18)
PROT("D9",19)
PROT("D10",20)
M17