

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POUŽITÍ MĚŘICÍCH SOND V KUSOVÉ A MALOSÉRIOVÉ VÝROBĚ.

USAGE OF PROBE MACHINE TOOLS IN SINGLE-PART AND SMALL BATCH
PRODUCTION.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL KOUDELKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Koudelka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Použití měřicích sond v kusové a malosériové výrobě

v anglickém jazyce:

Usage of probe machine tools in single-part and small batch production

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozdělení měřicích sond a principy jejich používání včetně zahrnutí základních příkladů. Návrh dotykové měřicí sestavy pro vertikální obráběcí centrum (výrobnost, pořizovací náklady, údržba, využití).

Cíle bakalářské práce:

Zvládnutí problematiky začlenění dotykové měřicí sondy do výrobního procesu (definování souvisejících podmínek, zhodnocení náročnosti). Doložení detailních údajů pro jeden řešený případ.



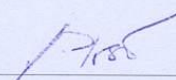
Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

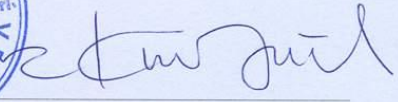
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 24.11.2010


prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu




prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na popis jednotlivých typů měřicích sond používaných při třískovém obrábění a popis standardních příkladů jejich použití. V praktické části je uveden návrh měřicích cyklů implementovaných do jednoduchého NC programu v systému Heidenhain iTNC 530 na CNC vertikálním obráběcím centru Deckel Maho DMU 100T.

Klíčová slova

Měřicí sondy, nástrojové sondy, bezkontaktní sondy, dotykové sondy, měřicí doteky, přenos signálu, měřicí cykly.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on description of individual types of measuring probes used in machining and also on description of standard examples of their usage. In the practical part, a draft of measuring cycles implemented into a simple NC program in the Heidenhain iTNC 530 system on a vertical CNC machining center Deckel Maho DMU 100T is stated.

Key words

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUDELKA, Pavel. *Použití měřicích sond v kusové a malosériové výrobě: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s., 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Použití měřicích sond v kusové a malosériové výrobě vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 25.5.2011

.....
Pavel Koudelka

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi (VUT Brno), Martinu Dlouhému (Renishaw, s.r.o.) a Václavu Závitkovskému (Nové technologie, s.r.o.) za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 MĚŘICÍ SONDY PRO KONTROLU OBROBKU A NÁSTOJE.....	9
1.1 Historie vývoje měřicích sond.....	9
2 OBROBKOVÉ SONDY.....	10
2.1 Konstrukce dotkových sond.....	10
2.1.1 Generování spínacího signálu.....	10
2.2 Měřicí dotky.....	13
2.2.1 Materiály hrotů.....	16
2.2.2 Materiály dříků.....	17
2.2.3 Střížné kolíky.....	17
2.3 Přenos měřicího signálu.....	18
2.3.1 Induktivní přenos.....	18
2.3.2 Kabelový přenos.....	19
2.3.3 Optický přenos.....	19
2.3.4 Radiový přenos.....	21
3 NÁSTROJOVÉ SONDY.....	22
3.1 Kontaktní nástrojové sondy.....	22
3.2 Bezdotkové nástrojové sondy.....	23
3.3 Generování spínacího signálu.....	25
3.4 Přenos měřicího signálu nástrojových sond.....	27
3.4.1 Kabelový přenos.....	27
3.4.2 Optický přenos.....	27
4 ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ CYKLY OBROBKOVÝCH SOND.....	28
4.1 Příklady základních měřicích cyklů.....	28
5 ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ CYKLY NÁSTROJOVÝCH SOND.....	31
5.1 Příklady základních měřicích cyklů dotkových sond.....	31
5.2 Příklady základních měřicích cyklů bezkontaktních sond.....	32
6 PŘESNOST A OPAKOVATELNOST MĚŘENÍ.....	33
6.1 Seřízení a kalibrace CNC stroje.....	33
7 NÁVRH DOTKOVÉ MĚŘICÍ SESTAVY.....	35
7.1 Postup realizace řešeného příkladu.....	35
7.2 Měřený obrobek.....	35
7.3 Výběr sondy a stroje.....	35
7.4 Použitý software.....	37
7.5 Použité měřicí cykly.....	37
7.6 Zhodnocení návrhu.....	40
Závěr.....	41
Seznam použitých zdrojů.....	42
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	44
Seznam příloh.....	45

ÚVOD

V moderní době je snaha o zvýšení produktivity práce, snížení nároků na obsluhu a tím i zvýšení konkurenceschopnosti a snížení nákladů na výrobu. Jednou z cest, jak zvýšit svoji konkurenceschopnost je použití měřicích sond v obráběcím procesu.

Měřicí sondy, ať už obrobkové, tak nástrojové nabízejí mnoho automatických cyklů které je možno efektivně implementovat do obráběcího NC kódu. Použitím sond eliminujeme potřebu náročných seřizovacích přístrojů, drahých upínačů a časově náročného manuálního ustavování pomocí např. číselníkového úchylkoměru. Softwarové měřicí cykly automaticky kompenzují aktuální délku a poloměr nástroje, vypočítávají polohu a úhel natočení obrobku. Vypočítávají velikost a rozdělení přídávku na obrábění. Po obrobení změří rozměrové nepřesnosti a provedou vyhodnocení podle nastavených kritérií, včetně vystavení protokolu o měření.

Použití obrobkových sond je výhodné zejména při obrábění rozměrných obrobků, náročných na upnutí a manipulaci, které se vyskytují zejména v kusové a malosériové výrobě. Využitím měřicích cyklů získáme rychle a přesně informaci o poloze obrobku bez nutnosti jeho složitějšího ustavování v pracovním prostoru stroje. Obrobek lze po obrobení i poměrně přesně změřit, je však nutné počítat s možnou chybou měření z důvodu tepelného ovlivnění obrobku a chybou způsobenou přesností odměřování stroje. Jelikož nedošlo k odepnutí obrobku, je možné po změření efektivně provést případné úpravy, dle potřeby.

Díky rozšířenému používání CAD a CAM softwarů pro získáváme velkou přesnost a opakovatelnost výroby a lepší optimalizaci výrobních časů a tím i nákladů. Výrobci měřicích sond nabízejí speciální softwary (Productivity+, FormControl), pomocí kterých je možné v kombinaci s CAM softwarem efektivně určovat měřené prvky, vyhodnotit měření a v reálném čase provést pomocí CAM softwaru změnu v obráběcím programu.

Využití sond vede k úspoře nákladů na pořizování nástrojů, úspoře strojního času eliminováním opakovaného ustavování obrobku a pomocí automatických kontrol (detekce poškození nástroje během obrábění) odpadá i nutnost nepřetržité kontroly procesu obsluhou.

V této bakalářské práci budou popsány základních typy měřicích sond, popsán princip jejich funkce, základních technických požadavků pro jejich vhodné použití a uvedení příkladu použití.

1 MĚŘICÍ SONDY PRO KONTROLU OBROBKU A NÁSTOJE

Nahlédneme-li do historie číslicově řízených obráběcích strojů, zjistíme, že v jednotlivých vývojových generacích docházelo k významným změnám. Např. první generace (kolem roku 1950) se vyznačovala vývojem a aplikací strojů s NC řízením, které vznikaly modifikací strojů konvečních. V druhé vývojové generaci jsme se mohli setkat se speciálně konstruovanými stroji pro číslicové řízení, které měly automatickou výměnu nástrojů. Ve třetí generaci se již hovořilo o plně automatických CNC strojích a čtvrtá generace pak už byla typická tvorbou plně automatických výrobních pracovišť, propojených s automatickou výměnou opotřebovaných řezných nástrojů. V páté generaci jsou měřicí činnosti interaktivně zapojeny do procesu třískového obrábění (využívají se právě různé druhy měřicích systémů). Vývoj v oblasti měřicích sond je velice rychlý, postupuje se zvyšováním přesnosti výroby mechanických částí sond a zvyšováním výpočtové rychlosti počítačů a rychlosti přenosu signálu. Již dnes se hovoří o šesté vývojové generaci sond, které by uměly snímat nejrůznější fyzikální podmínky obrábění, které by se pak vyhodnotily a docházelo by k případné úpravě řezných podmínek v reálném čase.³

1.1 Historie vývoje měřicích sond

Měřicí sondy od prvních pokusů o jejich funkční zkonstruování v 60. letech v Americe a Rusku doznaly ohromného vývoje a rozmachu.

Prvního úspěchu se měřicí sondy dočkaly v roce 1973, kdy společnost Renishaw vyrobila svoji první spínací dotykovou sondu, aby vyřešila specifický požadavek na kontrolu vybraných geometrických charakteristik dílů motoru Olympus, používaných na letadlech Concord. Od té doby prodělaly dotykové sondy pro souřadnicové měřicí stroje a později i pro obráběcí stroje překotný vývoj. Zvýšila se jejich přesnost a spolehlivost a rozrostly se oblasti použití. V současné době je snaha o jejich používání snad ve všech typech obráběcích strojů, jejich použití vyžaduje ale konstrukční úpravy stroje a kompatibilitu se softwarem stroje.²

Historicky bylo měření sondami přímo na obráběcích strojích odmítáno zejména z obavy o „prodloužení času obrábění“ a kvůli předsudkům, že „obráběcí stroje jsou určeny k obrábění, a ne k měření“. Oba tyto nejčastější názory byly většinou založeny na mylných představách o aplikacích a výhodách měření a také na zavedených metodách využívání obráběcích strojů. Dnes, kdy metody řízení kvality v průmyslovém prostředí zvyšují produktivitu práce, jsou měřicí systémy akceptovány jako standard prakticky ve všech oborech průmyslové výroby. Aplikace sond k ustavení obrobku na CNC stroji přináší znatelné zvýšení produktivity práce, redukci prostojů a vedlejších časů spojených s manuálním seřizováním nástrojů, upínáním obrobků, ustavováním obrobků apod., včetně rychlé a přesné kontroly obrobku.¹

2 OBROBKOVÉ SONDY

Mezi hlavní funkce obrobkových sond patří zjištění nulového bodu, skutečného rozměru obráběných ploch a tím přídatků na obrábění a zjištění rozměrů ploch po obrobení. V závislosti na použitém doteku a softwaru sondy lze měřit rozměry děr, čepů, drážek, úhlů a samozřejmě i rovinných ploch a je možné i určování roztečí a průsečíků stran (dopočítání vnitřních a vnějších rohů atd.)

2.1 Konstrukce dotkových sond

Dotkové sondy se skládají ze dvou základních částí, a to modulu (těla) sondy a měřicího doteku. Konstrukce modulu, i když se u každého výrobce liší, je obecně založena na 4 základních principech vygenerování spínacího signálu (kinematický, tenzometrický, laserový a piezoelektrický). Sonda je upnuta na upínací kužel, který je shodný s klasickými upínacími nástroji pro CNC stroje. Upínač musí umožňovat správné spojení se sondou a zároveň upnutí do vřetena stroje a uložení do zásobníku nástrojů.

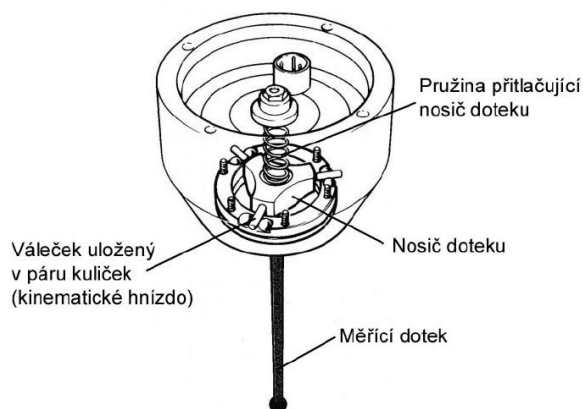
2.1.1 Generování spínacího signálu

1) Kinematický princip

Kontaktní mechanismus je spojen do elektrického obvodu. Při kontaktu dotyku sondy s měřeným kusem dojde k vychýlení hrotu, to způsobí i vychýlení nosiče vnitřních doteků a tím i změnu elektrických odporů, podle které řídicí systém vyhodnotí tzv. sepnutí sondy.

- **Princip uložení válečků ve dvojicích ocelových kuliček**

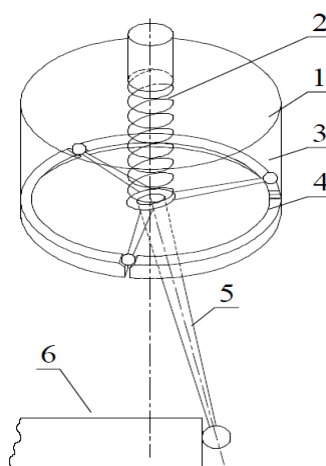
„Spínací mechanismus je založen na kinematickém uložení trojice přesných ocelových válečků ve třech dvojicích ocelových kuliček (obr. 2.1). Styk válečků s kuličkami zabezpečuje centrální tlačná pružina. Toto uložení poskytuje celkem 6 stykových bodů, které zajišťují jedinečnou polohu kuličky dotyku a vynikající opakovatelnost spínání, resp. rozpínání sondy. Mechanismus umožňuje vychýlení dotyku sondy při kontaktu s měřeným dílcem, pružina vrátí mechanismus do výchozí klidové polohy poté co příčina vychýlení pomine. Definovaná a opakovatelná poloha dotyku po návratu do klidové polohy je základem pro přesné měření.“⁵



Obr. 2.1 Schéma kinematické sondy.¹⁴

- **Princip s uložením kuliček ve V-drážkách**

Na obr. 2.2 je ukázáno kinematické schéma měřicí 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 součástí (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.“⁴



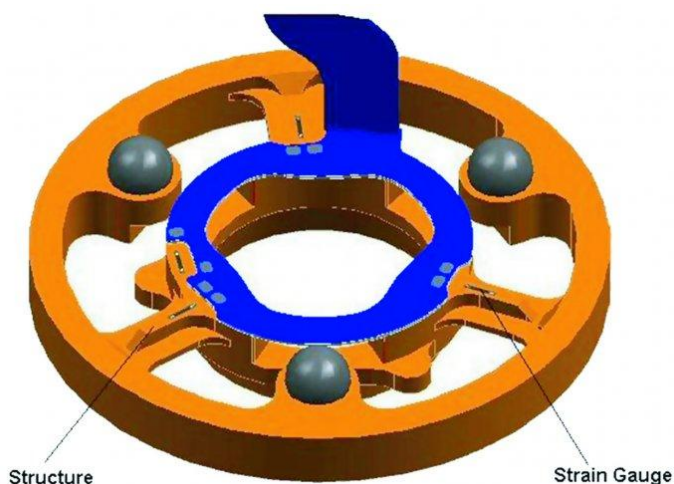
Obr. 2.1 Schéma kinematické sondy s V-drážkami.⁴

2) Tenzometrický princip

Využívá se částečně kinematického mechanismu, ale hlavním snímacím prvkem je využití tlakových senzorů - tenzometrů. Kinematické prvky mají pouze bezpečnostní funkci a mají zabránit poškození tenzometrů. Pokud dojde k překročení meze definovaného povrchového napětí, tenzometry generují spínací signál. Tenzometrické sondy jsou přesnější než sondy založené čistě na kinematickém principu, kde dochází k většímu zpoždění mezi okamžikem kolize kuličky dotyku sondy s obrobkem a okamžikem, kdy jsou zaznamenány souřadnice z odměřovacích pravítek. Pro zachování vysoké přesnosti je nutné tenzometrické sondy pravidelně kalibrovat.⁵

- **Princip tenzometrické sondy Renishaw MP 700**

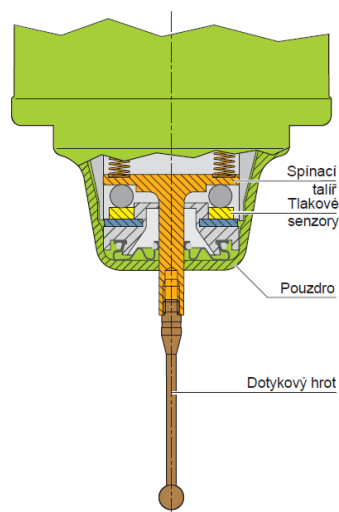
„Společnost Renishaw vyvinula v polovině 90. let snímací sondu MP700 vybavenou technologií Strain gauge (obr. 2.3) založenou na principu tenzometrů. Strain gauge sondy využívají i nadále kinematického mechanismu pro zabezpečení polohy dotyku, avšak pro detekci kolize dotyku s obrobkem se využívají tenzometrické křemíkové můstky. Můstky detekují i velmi malé mechanické síly vznikající ve spínacím mechanismu sondy a elektronicky generují spínací signál. Spínací síla tenzometrické sondy je mnohonásobně nižší než u sondy kinematické.“⁵



Obr. 2.3 Spínací mechanismus tenzometrických sond firmy Renishaw.⁵

- **Princip tenzometrické sondy Heidenhain TS 740**

„TS 740 pracuje s velmi přesným tlakovým senzorem (obr. 2.4). Spínací impuls se vytváří analýzou síly. Vychýlující síly při snímání jsou elektronicky vyhodnoceny. Tento postup umožňuje stejnoměrnou přesnost snímání celých 360°. Vychýlení dotykového hrotu u TS 740 je umožněno díky více tlakovým sensorům, které jsou zařazeny mezi spínacím talířem a tělesem sondy. Při snímání obrobku je vychýlen dotykový hrot a síla je vyhodnocena senzory. Signály přitom vytvořené jsou vyhodnoceny a je vygenerován spínací signál. Na základě relativně malých snímacích sil je možná vysoká snímací přesnost a reprodukovatelnost.“¹³

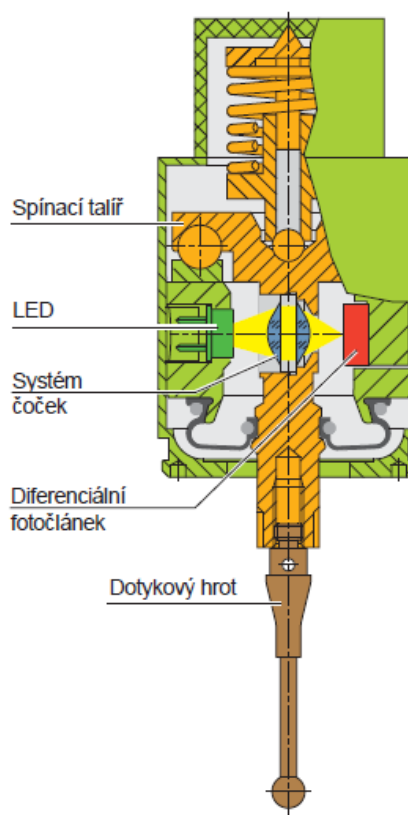


Obr. 2.4 Schéma tenzometrické sondy TS 740.¹³

3) Laserový princip

Tyto sondy pracují s optickými snímači jako se senzory. Systém čoček usměrňuje světelný paprsek vytvořený z LED diod a zaměřuje ho na diferenciální fotočlánek. Při vychýlení dotykového hrotu vygeneruje diferenciální fotočlánek spínací signál. Princip bezdotykového optického snímače zaručuje dlouhodobou stabilitu a spolehlivý provoz.¹³

Popis vnitřní konstrukce dotykové sondy s laserovým principem generování signálu je na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Mechanismus sondy s optickými snímači.¹³

4) Piezoelektrický princip

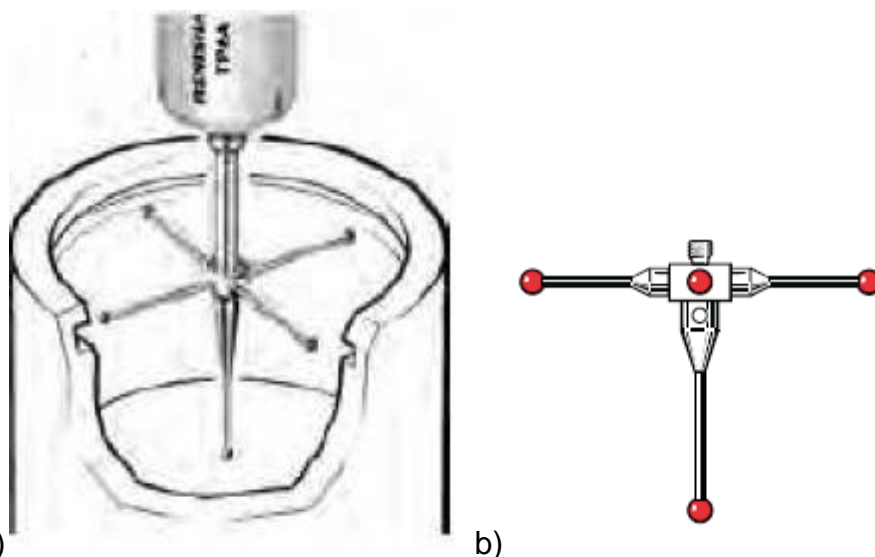
„Piezoelektrické sondy jsou založeny na principu vytváření rozdílného elektrického potenciálu mezi dvěma plochami piezoelektrického krystalu, při jeho stlačování. Použitím tohoto fyzikálního principu se generuje spouštěcí signál, který vzniká při kontaktu sondy se součástí. Tyto sondy jsou velmi přesné a mají výbornou opakovatelnost. Stejně jako u tenzometrických sond je „přejezd pozice“ (pre-travel) mnohem menší než u kinematických sond. Piezoelektrické sondy je možné kalibrovat na spínací sílu od 0,2 N. Nevýhodou sond je jejich citlivost na některé nízkofrekvenční zvuky (například start motoru, vysoké otáčky vřetene, vibrace stroje).“²⁵

2.2 Měřicí doteky

Měřicí doteky zprostředkovávají kontakt mezi měřenou součástí a sondou a způsobují sepnutí v mechanismu sondy. Doteky se standardně vyrábějí přímé (obr. 2.6), hvězdicové (obr. 2.7) a diskové (obr. 2.8), v různých provedeních – krátké, dlouhé, prodloužené. Pro speciální případy se využívají i doteky válcové (obr. 2.9), se špičatým hrotem (obr. 2.10), keramické půlkoule (obr. 2.11) a další.



a) b)
Obr. 2.6 Přímé sondy¹⁶ a) použití přímé sondy, b) katalogové schéma.



a) b)
Obr. 2.7 Hvězdicové sondy¹⁶ a) použití hvězdicové sondy b) katalogové schéma.



a) b)
Obr. 2.8 Diskový dotek¹⁶ a) montáž doteku b) katalogové schéma.



a)



b)

Obr. 2.9 Válcový dotek¹⁶ a) použití válcového doteku b) katalogové schéma.

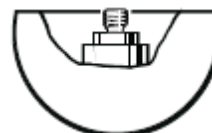
a)



b)

Obr. 2.10 Dotek s hrotem¹⁶ a) použití špičatého doteku b) katalogové schéma.

a)



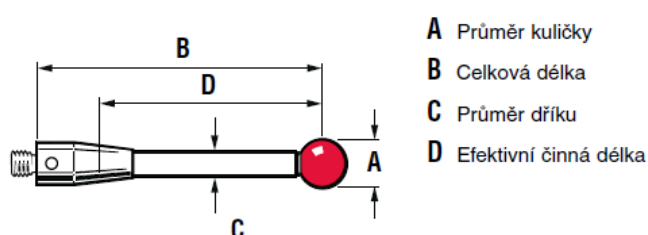
b)

Obr. 2.11 Půlkulový dotek¹⁶ a) použití půlkulového doteku b) katalogové schéma

Doteky se skládají ze závitové části, dřívku a koncové kuličky (válce, polokoule, hrotu). Nejčastěji se používají přímé sondy s rubínovou kuličkou (obr. 2.6). Volba typu a rozměru doteku závisí na snímaném prvku a typu sondy. Po výměně doteku je nutno sondu vždy kalibrovat.

Nejdůležitějšími vlastnostmi je tuhost doteku a maximální kulovitost hrotu. Na obrázku 2.12 jsou znázorněna základní terminologie důležitá pro specifikaci vybraného doteku. Při výběru měřicího doteku se doporučuje vycházet z těchto zásad:¹⁶

- **použít co nejkratší délku doteku** – čím více se dotek vyhýbá nebo vychyluje, tím je nepřesnost měření větší,
- **snížit počet spojů na minimum** – každý spoj doteku se stává zdrojem možných deformací a ohybů (např. střížné kolíky, prodlužovací nástavce),
- **použít co největší průměr kuličky nebo válcového dotyku** – větší průměr snižuje vliv jakosti povrchu snímané součásti na měření.



Obr. 2.12 Terminologie doteků.¹⁶

2.2.1 Materiály hrotů

Nejčastěji používanými materiály jsou:¹⁶

- **Rubín**
 - jeden z netvrďších materiálů vůbec,
 - syntetický rubín je 99% oxid hlinitý,
 - při teplotě 2000 °C se vytváří krystaly, které jsou nařezány a obrobeny do přesného kulovitého tvaru,
 - hroty z rubínu mají vysokou pevnost v tlaku, velkou odolnost proti mechanickému poškození a mají mimořádně hladký povrch,
 - optimální materiál pro většinu měřicích aplikací,
 - při kontaktu s hliníkem může docházet k adheznímu otěru, kdy se na povrchu hrotu usazuje hliník,
 - při kontaktu s litinovými materiály může dojít k otěru.
- **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.

2.2.2 Materiály dříků

Hlavní používané materiály:¹⁶

- **Ocel**
 - z nemagnetické nerezové oceli,
 - pro doteky s kuličkou či hrotem o průměru větším 2 mm a větším,
 - délka do 30 mm, v tomto rozmezí poskytují ideální poměr tuhosti a hmotnosti.
- **Karbid wolframu**
 - optimální řešení pro maximální tuhost a minimální průměr stopky,
 - pro doteky s kuličkou o průměru menším než 1mm a délkou do 50mm,
 - vyšší hmotnost a tím i nebezpečí nižší tuhosti ve spojích u delších doteků.
- **Keramika**
 - u průměrů kuličky nad 3 mm a délkou přes 30 mm mají tuhost porovnatelnou s ocelí,
 - výrazně lehčí než karbid wolframu,
 - zajišťují dodatečnou ochranu sondy proti havárii, neboť dotek se v případě kolize roztříští.
- **Uhlíková vlákna**
 - optimální materiál stopky pro vysoce přesné sondy založené na tenzometrickém principu,
 - mimořádně nízká hmotnost,
 - optimální kombinace pevnostních charakteristik v podélném směru i krutu (důležité při hvězdicovém uspořádání).

2.2.3 Střížné kolíky

Střížné kolíky jsou k sondám dodávány jako příslušenství k dotekům. Jejich konstrukce je navržena tak, aby v případě nárazu došlo k destrukci kolíku a nebyla poškozena sonda.



Obr. 2.13 Montáž střížného kolíku.¹⁶

2.3 Přenos měřicího signálu

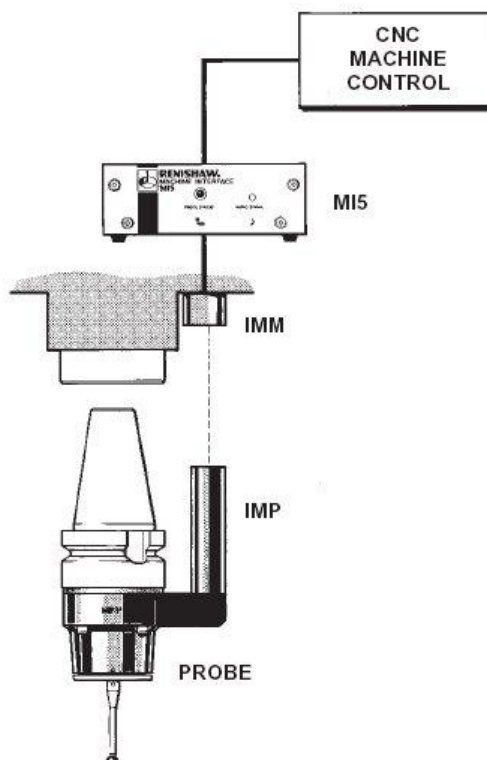
Důležitým kritériem pro rozlišení obrobkových sond je způsob přenosu měřicího signálu ze sondy do řídicího systému stroje. V zásadě se v praxi uplatňují čtyři typy přenosu signálu ze sondy do CNC řídicího systému: kabelem, opticky, induktivně nebo rádiem.¹⁴

2.3.1 Induktivní přenos

Induktivní komunikace probíhá mezi moduly IMP, umístěným na sondě a IMM umístěným na vřeteníku stroje (obr.2.14). Jedná se o spolehlivý bezkontaktní způsob komunikace na velmi krátkou vzdálenost cca 2 mm.¹⁴

Základní vlastnosti induktivního přenosu:

- induktivní komunikace probíhá mezi modulem IMP umístěným na sondě a IMM umístěným na vřeteníku stroje. Jedná se o spolehlivý bezkontaktní způsob komunikace na velmi krátkou vzdálenost cca 2 mm,
- 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.



Obr. 2.14 Induktivní komunikace.¹⁴

2.3.2 Kabelový přenos

Jedná se o nejstarší a nejjednodušší způsob přenosu signálu. Jeho použití u obrobkových sond přináší řadu komplikací s omezením manipulace. Na obrázcích 2.15 a 2.16 je zobrazen připojení kabelu na straně sondy.

Základní vlastnosti kabelového přenosu:¹⁴

- vejjednodušší 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,
- u obrobkových sond nelze využít v automatickém cyklu pro kontrolu výrobního procesu,
- vyžaduje ruční manipulaci.



Obr. 2.15 Přenos kabelem Heidenhein.¹³



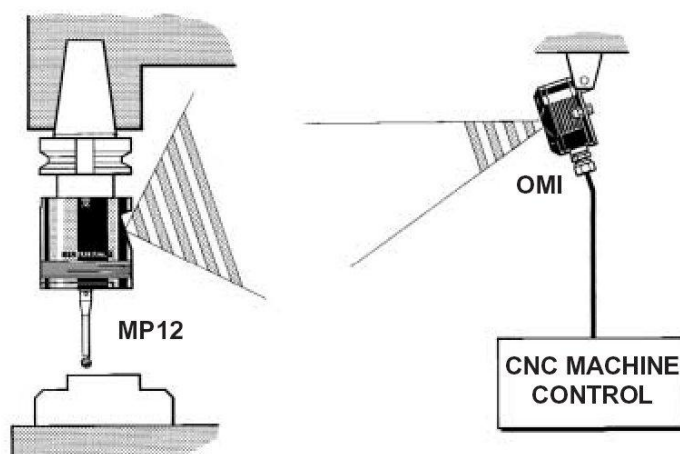
Obr. 2.16 Dotyková sonda s kabelem od firmy Mikronex.¹⁷

2.3.3 Optický přenos

Optická komunikace probíhá v infračerveném spektru světelného záření. Průběh signálu není lidským okem viditelný (obr.2.17). Infračervený přenos je spolehlivý, neškodný ze zdravotního hlediska a je minimálně náchylný na rušení. Sonda zpravidla komunikuje prostřednictvím komunikačního modulu OMI umístěného v pracovním prostoru stroje.¹⁴

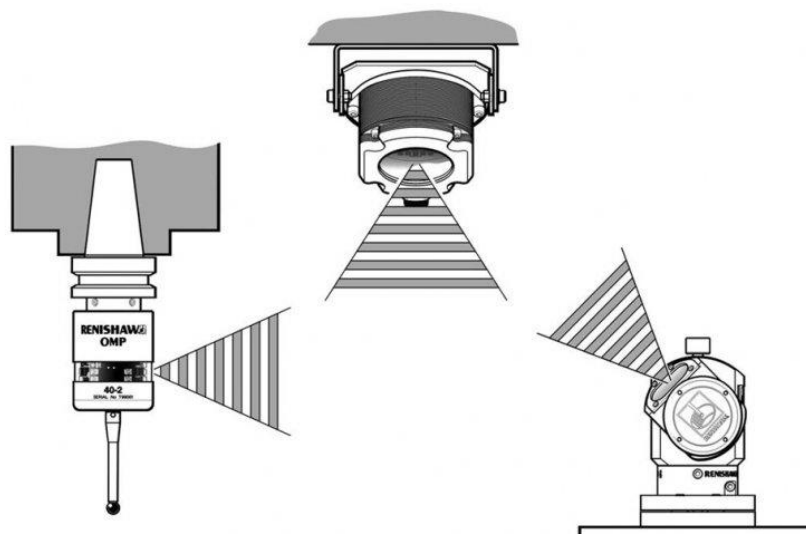
Základní vlastnosti optického přenosu signálu:

- modulovaný signál omezující rušení,
- 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.



Obr. 2.17 Optický přenos signálu.¹⁴

Firma Renishaw, s.r.o. nabízí i modul pro příjem optického signálu pod názvem OMI-2T (obr. 2.18), který umožňuje příjem jak z obrobkové sondy, tak ze sondy nástrojové (viz kap 3.4.2 Optický přenos).



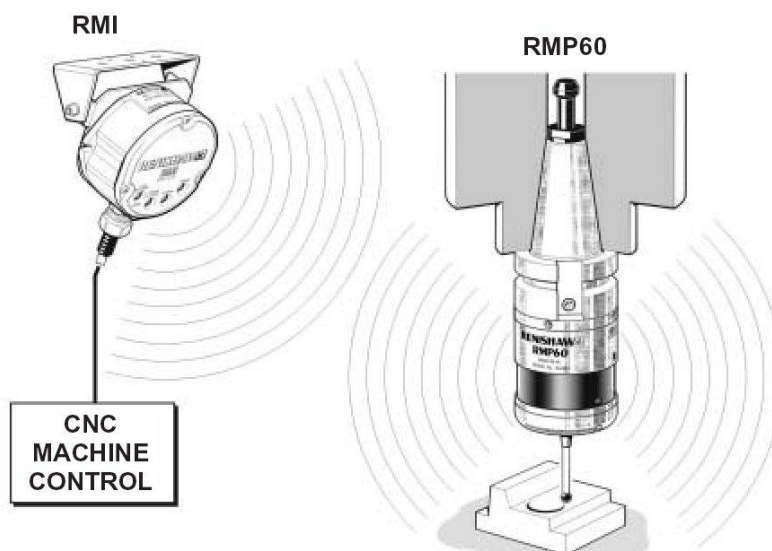
Obr. 2.18 Schéma duální přenosu optického signálu.⁶

2.3.4 Radiový přenos

Radiová komunikace využívá volné frekvence 2,4 GHz. Generální licence umožňuje provoz v celé Evropské Unii, USA, Rusku, Japonsku, Kanadě, Izraeli a Číně. Díky technologii FHSS se v případě, že dochází k rušení signálu, dokáže sonda sama přeladit na nejbližší volný kanál a úspěšně dokončit komunikaci.¹⁴

Základní vlastnosti radiového přenosu signálu:¹⁴

- ideální řešení pro čtyř a více osé stroje,
- velmi vhodné pro velké obráběcí stroje,
- dosah radiového 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.



Obr. 2.19 Radiová komunikace.¹⁴

3 NÁSTROJOVÉ SONDY

Ruční nastavování nástrojů, ustavování obrobků a kontrola dílců jsou časově velmi náročné operace, které jsou náchylné na chyby obsluhy. Použití sond snižuje náklady na seřizovače nástrojů a drahé upínače. Snímání přímo na stroji je rychlé, spolehlivé a dostatečně přesné, přičemž odchylky stroje lze automaticky upravit.⁸

3.1 Kontaktní nástrojové sondy

Kontaktní nástrojové sondy (obr. 3.1 a 3.2) mají stejný princip funkce jako sondy obrobkové. Je důležité sondu umístit v pracovním prostoru stroje tak, aby byla dosažitelná vřetenem stroje s měřeným nástrojem. Při měření je důležité aby se nástroj točil proti směru řezu, aby nedošlo k poškození jak sondy, tak nástroje. V okamžiku kontaktu nástroje se sondou dojde k sepnutí kontaktu, odměření pozice a výpočtu rozměru nástroje (délka, poloměr) a tím i detekce poškození nástroje. V rámci měřicího cyklu se mohou naměřené hodnoty uložit do tabulky nástrojů.¹⁴



Obr. 3.1 TS27R kabelová sonda pro měření nástrojů.¹⁴



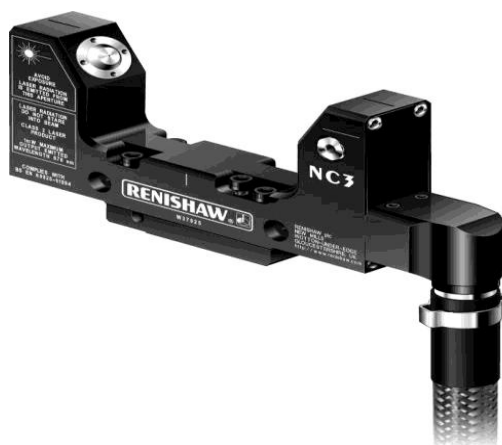
Obr. 3.2 Z-Nano nástrojová sonda od firmy Blum pro měření délek.⁷

3.2 Bezdotykové nástrojové sondy

U bezkontaktní sondy prochází laserový paprsek mezi vysílačem a přijímačem (obr. 3.3). Nástroj se pohybuje kolmo k paprsku a v určitém bodě jej přeruší. Přijímač detekuje intenzitu záření paprsku a při přerušení detekuje změnu intenzity (obr. 3.4). Při přerušení je zaznamenána poloha a data jsou využita pro výpočet rozměrů nástroje.¹⁴

System může být umístěn na stole stroje nebo po jeho stranách buď s fixní vzdáleností vysílače a přijímače nebo se vzdáleností nastavitelnou, takže paprsek lze nastavit tak, že prochází pracovním prostorem.¹⁰

Pomocí měřicích cyklů, jež jsou součástí dodávky, můžete zjišťovat délku a průměr nástroje, kontrolovat tvar jednotlivých břitů a zjišťovat opotřebení nebo ulomení nástroje. Zjištěná data o nástrojích ukládá řídicí systém do tabulek nástrojů. Měření je možné před obráběním, mezi obráběcími kroky jako mezioperační kontrola otupení a zlomení nástroje či po obrábění. Měření při jmenovitých otáčkách jsou přímo rozpoznány a korigovány chyby na nástroji, včetně upínání. Bezdotykové měření je vhodné pro moderní rezné materiály z křehkých slitin.^{9,13}

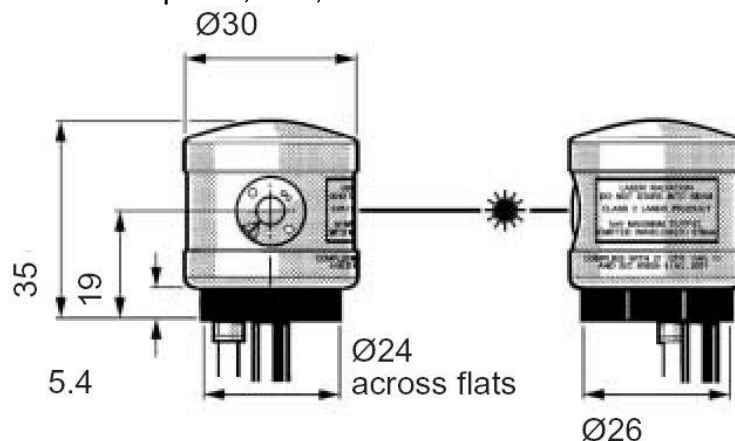


Obr. 3.3 Laserová sonda Renishaw NC3.¹⁴



Obr. 3.4 Přerušení paprsku při měření nástroje.²⁶

Příkladem separátního provedení laserové sondy je sonda NC4S, kterou lze instalovat s rozestupy 500-800, 800-1500, 1500-2000, 2000-3000, 3000-5000 mm (obr. 3.5). Tento typ sondy je k dispozici i ve fixním provedení SC4F s velikostmi rozestupů 80, 150, 250 nebo 300 mm.¹⁴



Obr. 3.5 Laserová sonda NC4S.¹⁴

Speciálním typem je sonda TRS1 (obr. 3.6) od společnosti Renishaw, která v sobě spojuje vysílač i přijímač signálu. Je určena k rychlé detekci poškození nástroje. Detekce probíhá díky zachycení odraženého světelného signálu od rotujícího nástroje v přijímači. Náhodně zachycené odražené signály od chladicí kapaliny nebo třísek, jsou softwarově ignorovány.¹⁰

TRS1 vysílá laserový paprsek do bodu, kde se bude detekce provádět. Nástroj se poté polohuje tak, aby laserový paprsek směřoval na špičku nástroje - obvykle 3 mm od konce nástroje. Nástroj se otáčí rychlostí 1000 otáček za minutu a laserový paprsek se od něj odráží do přijímače sondy TRS1. Díky otáčení nástroje se mění úroveň intenzity odraženého světla a vzniká opakovaný vzor odrazů. Tento vzor je detekován čipem v sondě. Jelikož detekovatelný vzor odrazů vytváří pouze rotující nástroj, není funkce systému TRS1 ovlivněna případnou záměnou s kovovými pilinami nebo kapkami chladicí kapaliny. Není-li nástroj identifikován v průběhu definované časové prodlevy, vygeneruje systém signál o poškození nástroje.¹⁰



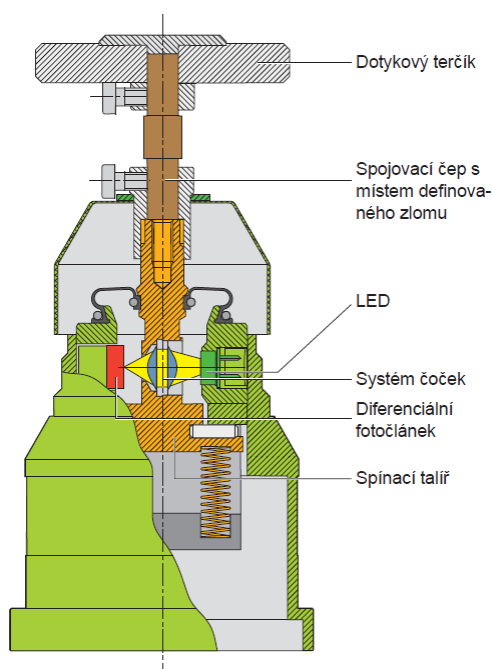
Obr. 3.6 Laserová sonda TRS1.¹⁴

Všechny měřicí systémy mohou poskytovat přesné výsledky pouze v případě, že byla provedena počáteční kalibrace systému a nástroje jsou v běžném provozu měřeny za stejných podmínek, za jakých byla provedena kalibrace (velikost posuvu, otáček, poloha nástroje vzhledem k paprsku).¹¹

3.3 Generování spínacího signálu

- Dotykové nástrojové sondy

Dotykové sondy HEIDENHAIN (obr. 3.7) pracují se senzorem jako s optickým spínačem. Světelné paprsky vycházející z diody LED jsou zaostřeny soustavou čoček a dopadají jako světelný bod na diferenciální fotočlánek. Při vychýlení dotykového terčíku vygeneruje diferenciální fotočlánek spínací signál. Dotykový terčík je u nástrojové sondy pevně spojen se spínacím talířem, který je integrován do tělesa sondy pomocí trojbodového uložení. Trojbodové uložení zajišťuje fyzikálně ideální klidovou polohu.¹³

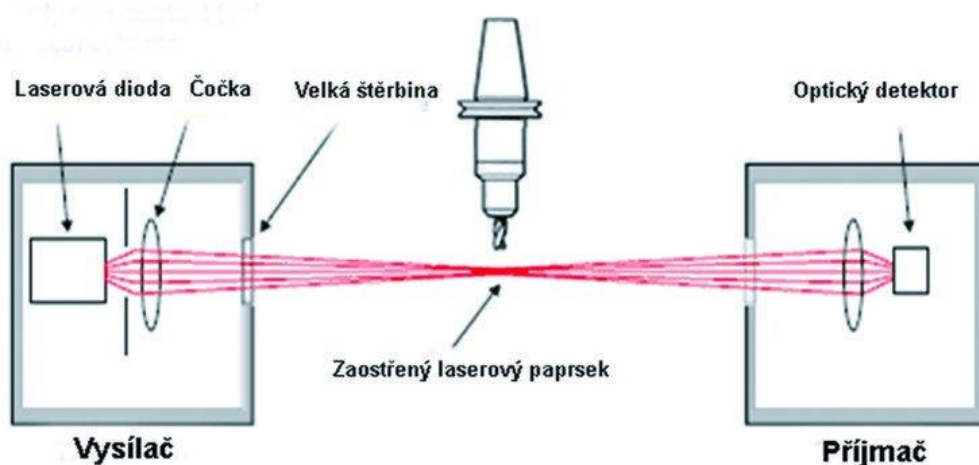


Obr. 3.7 Vnitřního uspořádání dotykové nástrojové sondy heidenhain.¹³

- Bezkontaktní nástrojové sondy

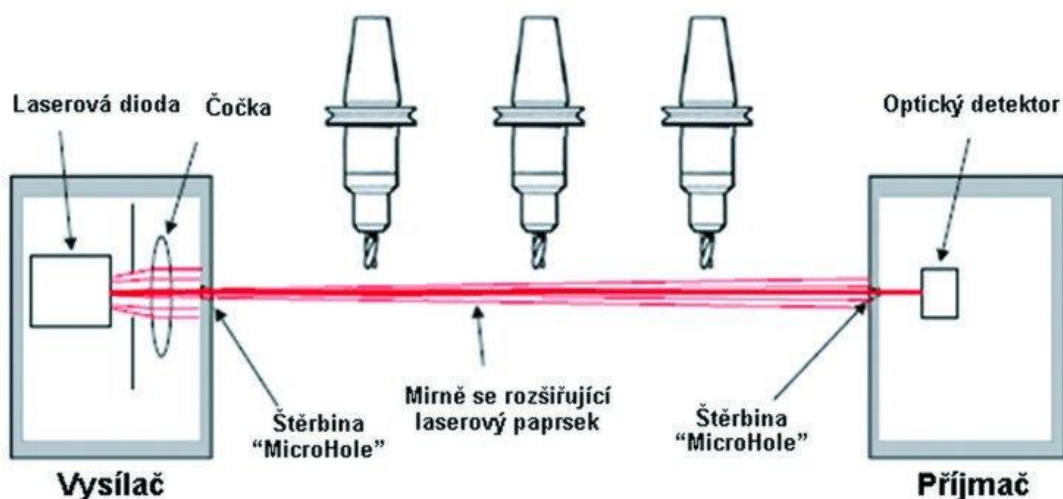
Bezkontaktní nástrojové sondy využívají laserový paprsek procházející mezi vysílačem a přijímačem paprsku. Při průchodu nástroje laserovým paprskem dojde k jeho přerušení. V okamžiku přerušení paprsku jsou zaznamenány hodnoty na odměřovacích pravítkách stroje a z těchto údajů je vypočten aktuální rozměr nástroje. Existují dva způsoby vysílání laserového paprsku - se zaostřeným paprskem (obr. 3.8) a s nezaostřeným paralelním paprskem (obr. 3.9). U sond se zaostřeným paprskem do pevně definovaného bodu mezi vysílačem a přijímačem ve skutečnosti paprsek není perfektně zaostřen do jednoho bodu. Paprsek se postupně zužuje, aby těsně v okolí definovaného bodu dosáhl velikosti, v níž lze korektně zjistit velikost nástroje. Přesnost měření se však mění se změnou vzdálenosti mezi vysílačem a při-

jímačem. Toto optické schéma je tedy velmi náročné na přesnost instalace sondy.¹¹



Obr. 3.8 Snímání se zaostřeným paprskem.¹¹

Bezkontaktní sondy s nezaostřeným paprskem využívají optické schéma s paralelním paprskem procházejícím miniaturními štěrbinami na jednotkách vysílače a přijímače. Štěrbina MicroHole na vysílači definuje tvar a velikost paprsku, který se jako každé světlo se zvětšující se vzdáleností rozšiřuje. Druhá štěrбина MicroHole na jednotce přijímače omezuje světlo, které dopadá na detektor přijímače. Jedná se o efektivní způsob, jak maximálně zúžit laserový paprsek a dosáhnout tak přesného změření rozměru. Pomocí štěrbin MicroHole je z celkového množství dopadajícího světla eliminována jen ta část, která skutečně tvoří jádro paprsku; toto jádro se označuje jako efektivní měřicí paprsek. Tento způsob šíření paprsku umožňuje přesné měření nástroje v kterémkoliv bodu mezi vysílačem a přijímačem, na rozdíl od principu se zúženým paprskem, kde je nutno nástroj polohovat na definovaný zúžený bod.¹¹



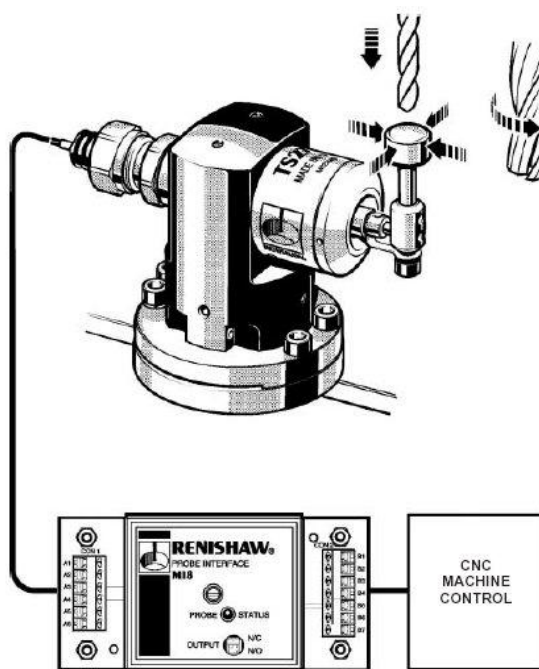
Obr. 3.9 Snímání s nezaostřeným paralelním paprskem.¹¹

3.4 Přenos měřicího signálu nástrojových sond

Stejně jako u obrobkových sond, i u nástrojových je důležitým parametrem způsob přenosu signálu ze sondy do řídicího systému. V současné době se využívají dva hlavní způsoby, a to kabelový přenos a optický přenos.

3.4.1 Kabelový přenos

Nejjednodušší přenos měřicího signálu, ze sondy do obráběcího stroje, je pomocí kabelu (obr. 3.10). Kabel propojuje sondu s řídicím systémem stroje. Je nutné zabezpečit dostatečnou délku kabelu (zejména u sond volně umístitelných na pracovním stole stroje) a jeho bezpečné vedení prostorem stroje. Pro tyto případy je výhodnější použít nástrojové sondy s optickým přenosem signálu.



Obr. 3.10 Schéma kabelového přenosu nástrojové sondy Renishaw.¹⁴

3.4.2 Optický přenos

Pro optickou komunikaci nástrojových sond se využívá stejného principu jako u optické komunikace u obrobkových sond. Sonda komunikuje prostřednictvím komunikačního modulu OMI, umístěného v pracovním prostoru stroje. Díky stejnému principu komunikace se využívá modulu OMI-2, který umožňuje současnou komunikaci (duální přenos) s nástrojovou i obrobkovou sondou přes jeden modul (viz. obr. 2.18).¹⁴

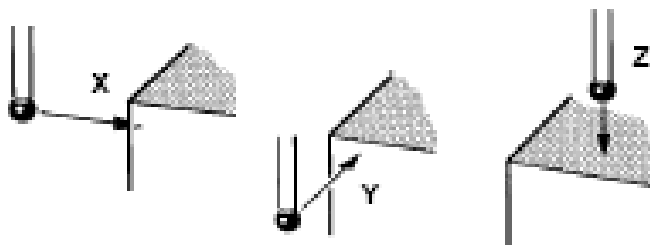
Díky tomu, že optická nástrojová sonda pracuje bez kabelů, je snadné ji nainstalovat a použít na obráběcích centrech a strojích s otočnými stoly nebo zdvojenými paletami.

4 ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ CYKLY OBROBKOVÝCH SOND

Většina řídicích systémů NC strojů je výrobcem vybavena měřicími cykly pro provádění základních měřicích rutin - nalezení středu otvoru nebo čepu, zjištění vzdálenosti mezi dvěma body, proměření velikosti prvku apod. Většina výrobců sond nabízí navíc vlastní měřicí cykly pro řešení měřicí úlohy v daném řídicím systému. Řada dalších speciálních měřicích cyklů jde vytvořit pomocí externích programů, například program Productivity+ od firmy Renishaw nebo program FormControl od firmy Blum-Novotest, které je ale nutno v případě potřeby dokoupit. Měřicí cykly jsou k dispozici pro řadu typů řídicích systémů.¹²

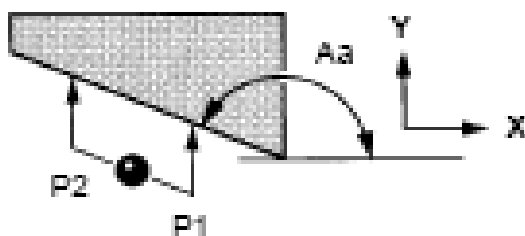
4.1 Příklady základních měřicích cyklů

- Proměření jednotlivé polohy v jedné ose (x,y,z) (obr. 4.1)



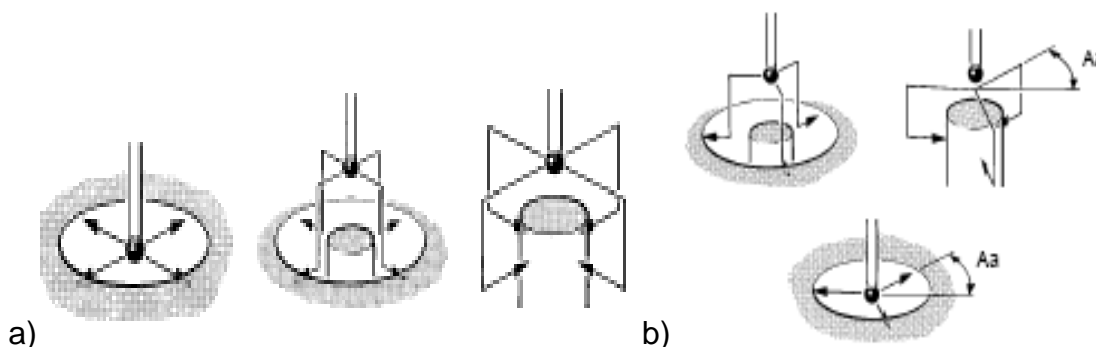
Obr.4.1 Schéma měření jednotlivých poloh.¹⁵

- Proměření úhlu na jedné přímce (obr. 4.2)



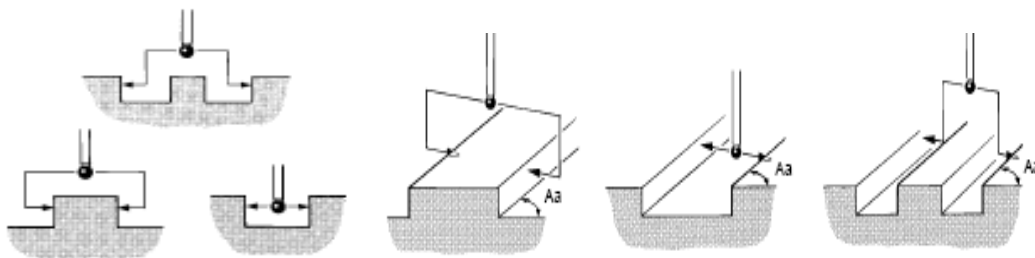
Obr. 4.2 Schéma měření úhlu na jedné přímce.¹⁵

- Proměření díry / čepu – 4 bodové (obr. 4.3a) a 3 bodové (obr. 4.3b)

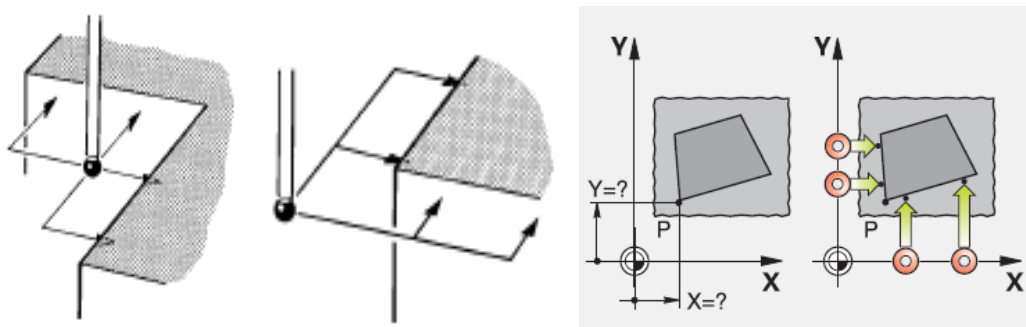


Obr.4.3 Schéma proměření díry / čepu a) 4 bodové b) 3 bodové.¹⁵

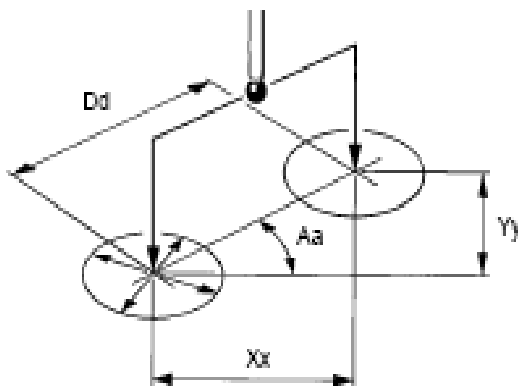
- Proměření drážky / pera – v osách x,y a pod úhlem (obr. 4.4)

Obr. 4.4 Schéma měření drážky a pera.¹⁵

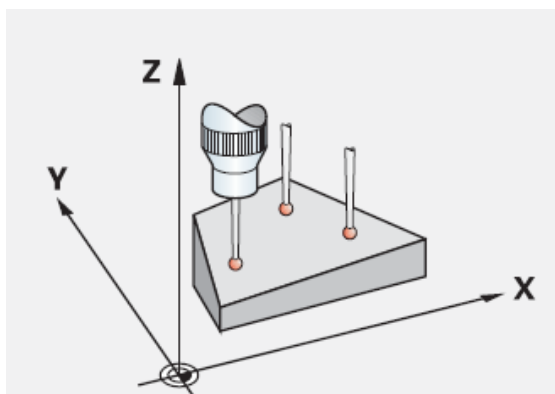
- Proměření vnitřního / vnějšího rohu dvěma body (obr. 4.5)

Obr. 4.5 Schéma měření vnitřního a vnějšího rohu.^{14,13}

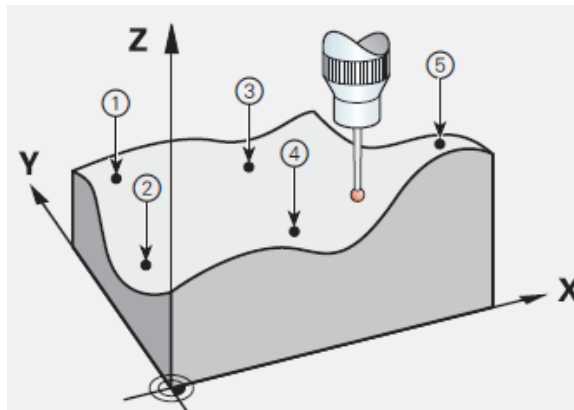
- Měření vztažných vzdáleností (obr. 4.6)

Obr. 4.6 Schéma měření vztažných vzdáleností.¹⁵

- Proměření úhlu jedné roviny (obr. 4.7)

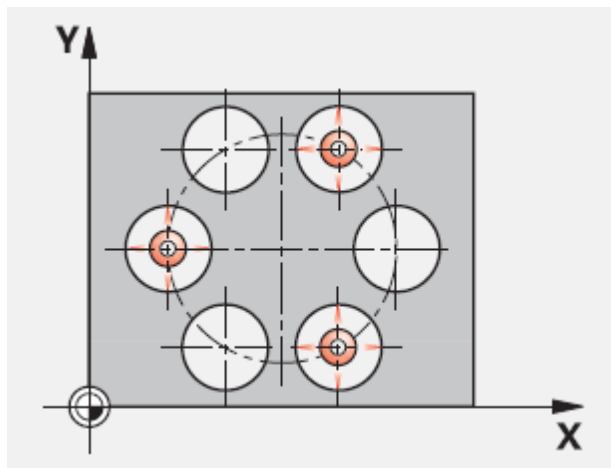
Obr. 4.7 Schéma měření úhlu jedné roviny.¹³

- Proměření obecných ploch (obr. 4.8.)



Obr. 4.8 Schéma měření obecných ploch.¹³

- Proměření děr na roztečné kružnici (obr. 4.9)



Obr. 4.9 Schéma měření děr na roztečné kružnici.¹³

5 ZÁKLADNÍ MĚŘICÍ CYKLY NÁSTROJOVÝCH SOND

Stejně jako u obrobkových sond, i u nástrojových sond jsou měřicí cykly závislé na typu sondy a jeho výrobci. V kapitole 5.1 a 5.2 jsou uvedeny základní měřicí operace pro sondy od výrobců Renishaw, Heidenhain a Blum. I přes odlišnou konstrukci sond od jednotlivých výrobců se princip měření liší jen minimálně.

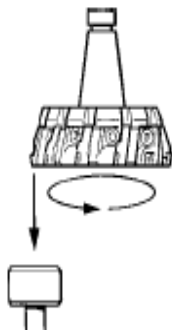
5.1 Příklady základních měřicích cyklů dotykových sond

- Měření délky statického nástroje (obr. 5.1)



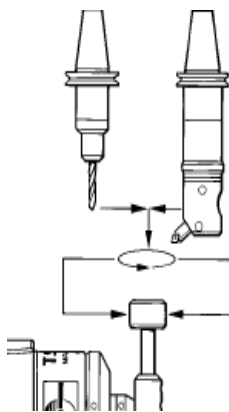
Obr. 5.1 Schéma měření délky statického nástroje.¹⁵

- Měření rotujících nástrojů (obr. 5.2)



Obr. 5.2 Schéma měření délky rotujícího nástroje.¹⁵

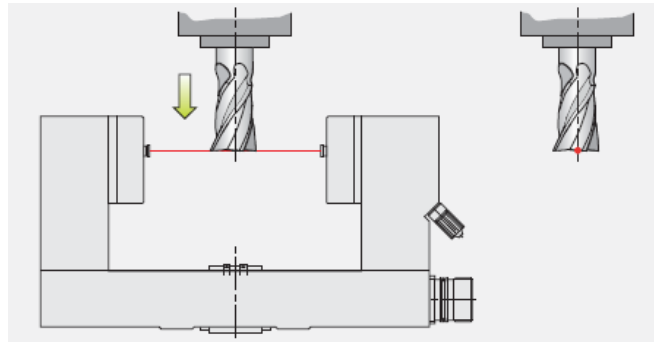
- Měření průměrů (obr. 5.3)



Obr. 5.3 Schéma měření průměru nástroje.¹⁵

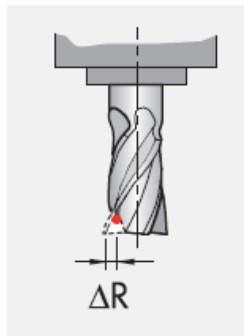
5.2 Příklady základních měřicích cyklů bezkontaktních sond

- Měření délky nástroje (obr. 5.4)



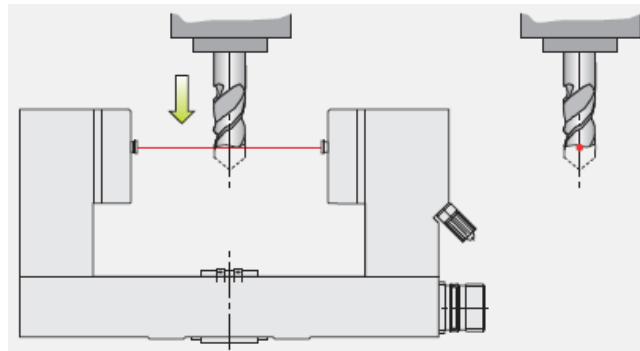
Obr. 5.4 Schéma měření délky nástroje.¹³

- Měření poloměru nástroje a rozpoznání ulomeného břitu (obr. 5.5)



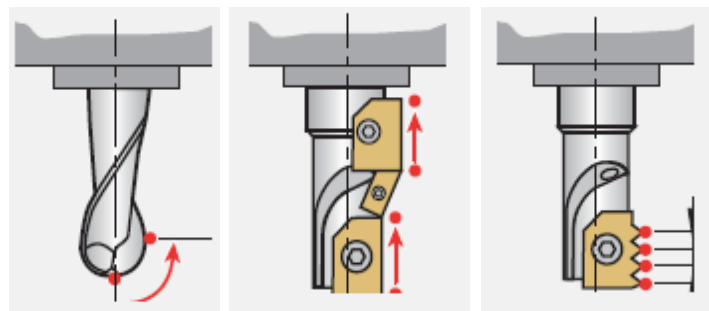
Obr. 5.5 Schéma měření poloměru nástroje s ulomeným břitem.¹³

- Rozpoznání zlomení nástroje (obr. 5.6)



Obr. 5.6 Schéma měření délky ulomeného nástroje.¹³

- Kontrola jednotlivých břitů a profilu nástroje (obr. 5.7)



Obr. 5.7 Schéma měření profilu nástroje.¹³

6 PŘESNOST A OPAKOVATELNOST MĚŘENÍ

Jedná se o nejdůležitější vlastnosti a ukazatele sondy. V moderní době všichni výrobci uvádí přesnost i opakovatelnost měření svých sond často lepší než 1 μm . Pro výrobu je však důležitá celková přesnost celé měřicí soustavy, tj. nejen přesnost sondy, ale i přesnost odměřování souřadnic pojezdů stroje, přesnost ustavení a upnutí sondy (centrování doteku pomocí šroubů, upnutí modulu sondy na nástrojový držák) a velikost odchylek měření způsobených například průhybem doteku a tím přejetí souřadnic pozice (korekce velikosti spínací síly).

Kinematické sondy jsou nejnáchylnější k nepřesnostem, například při měření šikmých ploch může dojít ke skluzu kuličky. V takových případech se doporučuje používat spíše sond s optickým, tenzometrickým a piezoelektrickým generováním signálu. Nevýhodou těchto sond je jejich cena, která je vyšší než už klasických kinematických sond.

Každá sonda se musí při jakékoliv změně doteku znovu kalibrovat. Kalibrace se provádí změřením přesného kalibračního prvku se známým rozměrem a polohou (kalibrační kroužky a trny). V případě potřeby provede obsluha seřízení sondy dle návodu výrobce a kalibrační měření se opakuje.

6.1 Seřízení a kalibrace CNC stroje

Před samotným měřením sondami je zapotřebí vědět, s jakou přesností a opakovatelností je stroj schopen v požadovaných osách pohybu. Slouží k tomu různé nástroje pro měření ve dvou, popřípadě více osách.

1. Systém ballbar QC20-W – obsahuje přesný lineární snímač podle vlastního návrhu společnosti Renishaw. Používá se k měření změn poloměru, při otáčení ballbaru kolem pevného bodu (obr. 6.1).¹⁸

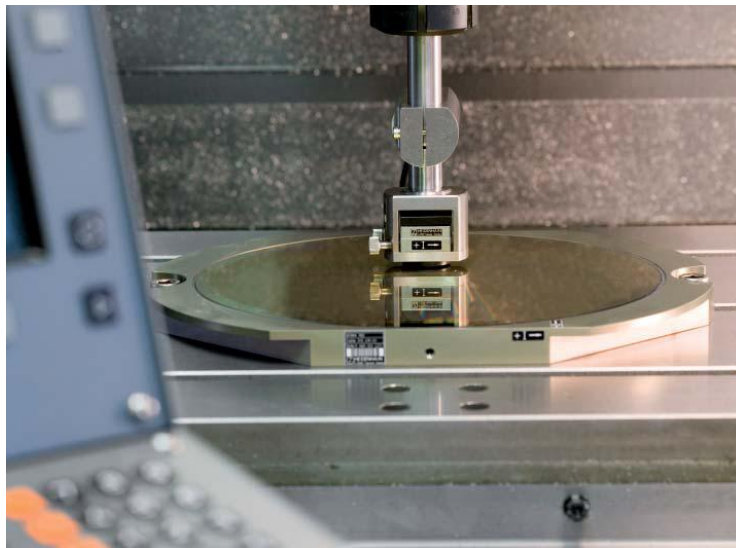


Obr. 6.1 Diagnostický systém ballbar QC20-W.¹⁸

2. Mřížkové snímače KGM 181 a KGM 182

„Mřížkové snímače KGM (obr. 6.2) dynamicky testují polohovou přesnost CNC řízeného obráběcího stroje. Jsou například schopny vykonat test kruhové interpolace na radiusech od max. 115 mm až po 1 μm při rychlostech pohybu až 80 m/min. KGM může také provést test volného tvaru ve dvou osách.

Výhodou KGM je na jedné straně bezkontaktní měření, které vylučuje vlivy vůlí kuličkových spojení, jako je tomu například u DBB. Na druhé straně chyba, způsobená geometrií stroje nemá vliv na výsledky měření kruhové interpolace na velmi malých poloměrech.²⁰



Obr. 6.2 Snímač KGM 181.¹⁹

Laserový systém XL-80

Laser XL-80 využívá principu interferometrie a generuje stabilní svazek laserového záření s vlnovou délkou odpovídající národním a mezinárodním normám (obr. 6.3). Zaručená přesnost lineárního měření je $\pm 0,5 \mu\text{m/m}$ v celém rozsahu podmínek prostředí, tj. při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C} - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 650 mbar – 1150 mbar. Systém čte hodnoty s frekvencí 50 kHz i při maximální rychlosti lineárního měření 4 m/s. Dosahované lineární rozlišení 1 nm je zachováno v celém rozsahu rychlostí měření.²¹



Obr. 6.3 Laserový systém XL-80.²¹

7 NÁVRH DOTYKOVÉ MĚŘICÍ SESTAVY

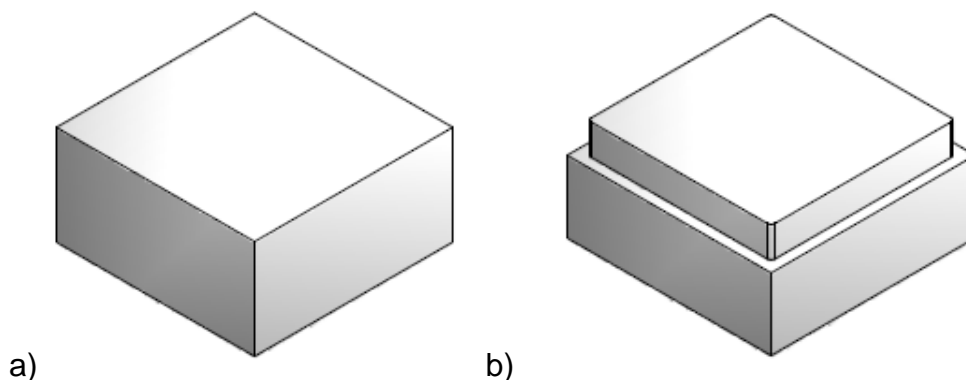
Pro názornou ukázkou implementace měřicích operací do obráběcího procesu byl zvolen modelový příklad změření délky a průměru nástroje pomocí laserové nástrojové sondy. Byla definována poloha a rozměry polotovaru před obrobením, provedeno obecné obrobení obrobku a změřeny vybrané rozměry po obrobení.

7.1 Postup realizace řešeného příkladu

Byl vybrán stroj, nástroj, obrobková a nástrojová sonda a konstrukce obrobku. Po upnutí obrobku na označený střed pracovního stolu stroje je ze zásobníku nástrojů vyvolána dotyková sonda, je změřena velikost polotovaru a definování posunutí nulového bodu na střed čela obrobku. Následně je sonda uložena zpět do zásobníku a vyvolána válcová fréza na vyhrubování obvodu obrobku. Nástroj (jeho délka a průměr) je změřen nástrojovou sondou. Poté je realizováno obrábění, nástroj uložen zpět do zásobníku a vyvolána opět dotyková sonda. Na závěr je provedeno měření vyhrubovaného profilu dotykovou sondou a automaticky vyhodnocena rozměrová přesnost, provedena korekce nástroje a uložen protokol o měření do externího textového souboru. V případě nedodržení rozměrových tolerancí je program automaticky zastaven a je umožněna oprava kusu obsluhou. V případě dodržení rozměrových tolerancí je sonda automaticky uložena zpět do zásobníku nástrojů pro eliminování jejího možného poškození a program je ukončen.

7.2 Měřený obrobek

Polotovar o rozměru 100 x 100 x 50 mm je obecným, čistě teoretickým příkladem a je z materiálu třídy 11 dle ČSN (XX XXX). Pro účely měření je provedeno hrubování obvodu na rozměr 90 x 90 mm v hloubce 15 mm od naměřeného čela polotovaru.



Obr. 7.1 Měřená součást a) polotovar b) obrobek.

7.3 Výběr sondy a stroje

Pro modelový příklad byl zvolen stroj DMU 100T od německé firmy DECKEL MAHO (obr. 7.2). Jedná se o 5-ti osou frézku s řídicím systémem Heidenhain iTNC530, 3D měřicí sondou s optickým přenosem signálu Heidenhain TS640 (obr. 7.3) a nástrojovou sondou TL Micro 200 (obr. 7.4). Stroj i s tímto příslušenstvím a nástrojovým vybavením patří firmě Nové technologie

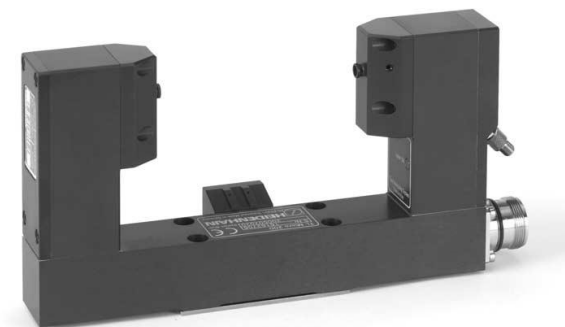
s.r.o. Technické parametry stroje jsou dostačující pro teoretické i praktické uskutečnění zvoleného příkladu. Technická specifikace pro stroj a sondy je uvedena v příloze č. 1 - 3.



Obr. 7.2 CNC frézovací centrum DMU 100T.²⁴



Obr. 7.3 Dotyková sonda Heidenhain TS640.¹³



Obr. 7.4 Nástrojová sonda TL Micro.¹³

7.4 Použitý software

Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 v softwarové verzi 340 492 – 02.

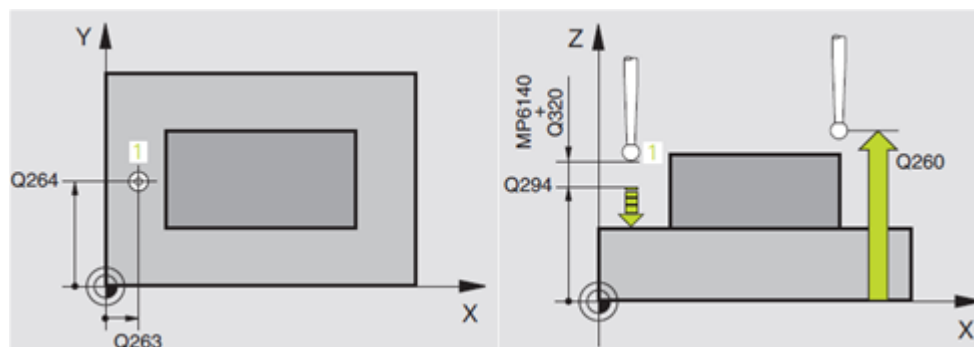
„HEIDENHAIN iTNC 530 je univerzální, dílensky orientované souvislé řízení pro frézky a vyvrtávačky i obráběcí centra. Má integrované digitální řízení pohonů s integrovaným měničem. iTNC 530 řídí až 13 os + vřeteno. Paměťovým médiem je pevný disk. Ve své dvou procesorové verzi je iTNC 530 doplněna uživatelským rozhraním s Windows XP. To uživateli umožňuje pracovat současně se standardními Windows aplikacemi.“²³

7.5 Použití měřicí cykly

Ke každému měřicímu cyklu je uvedeno vysvětlení některých důležitých parametrů a jeho základní popis včetně čísla řádku z NC programu, který je přílohou č. 4.

- **Nalezení vztažného bodu v ose dotykové sondy**

„Cyklus dotykové sondy 417 (DIN/ISO: G417) změří libovolnou souřadnici v ose dotykové sondy a nastaví tuto souřadnici jako vztažný bod. Volitelně také zapíše naměřenou souřadnici do tabulky nulových bodů nebo tabulky Preset.“²² Grafické znázornění k měřicímu cyklu 417 (Tab. 7.1) je na obrázku 7.5.



Obr. 7.5 Grafické znázornění cyklu 417.²²

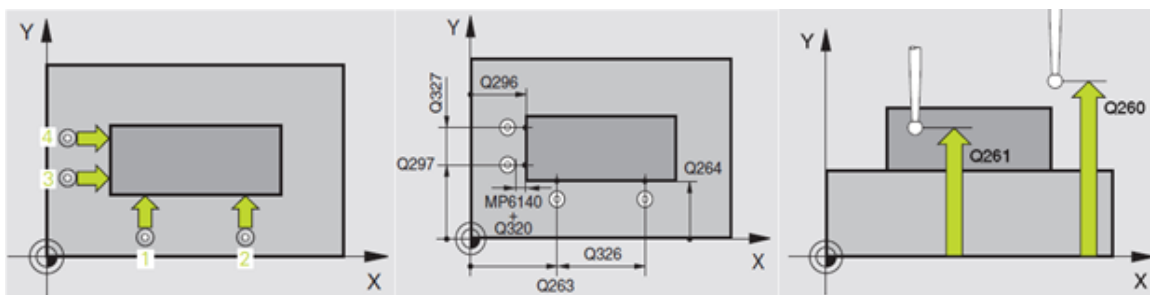
Tab 7.1 Měřicí cyklus 417 použitý v programu.

Výpis cyklu	Komentář
9 TCH PROBE 417 VZTAZ.BOD V OSE TS ~	
Q263=+0 ;1. BOD V 1. OSE ~	Souřadnice 1. snímaného bodu v X
Q264=+0 ;1. BOD VE 2. OSE ~	Souřadnice 1. snímaného bodu v Y
Q294=+10 ;1.BOD VE 3.OSE ~	Souřadnice 1. snímaného bodu v Z
Q320=+50 ;BEZPEC. VZDALENOST~	Výška od které začne měření
Q260=+100 ;BEZPECNA VYSKA ~	Výška ve které bude sonda přijíždět
Q305=+0 ;CISLO V TABULCE ~	Číslo v tabulce nulových bodů, do kterého se bude zapisovat.
Q333=+0 ;VZTAZNY BOD ~	Souřadnice v ose dotykové sondy na niž má TNC nastavit vztažný bod
Q303=-1 ;PRENOS MERENE HODN.	Zapíše vypočítaný vztažný bod do tabulky nulových bodů

- **Nalezení vztažného bodu na průsečíku dvou přímek**

„Cyklus dotykové sondy 414 (DIN/ISO: G414) zjistí průsečík dvou přímek a nastaví jej jako vztažný bod. Volitelně také zapíše naměřenou souřadnici do tabulky nulových bodů nebo tabulky Preset.“²²

Grafické znázornění k měřicímu cyklu 414 (Tab. 7.2) je na obrázku 7.6.



Obr. 7.6 Grafické znázornění cyklu G414.²²

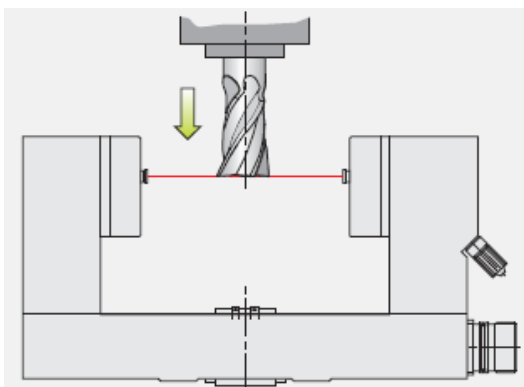
Tab. 7.2 Měřicí cyklus 414 použitý v programu.

Výpis cyklu	Komentář
10 TCH PROBE 414 VZT.BOD VNE ROHU	
Q263=-30 ;1. BOD V 1. OSE ~	Souřadnice 1. bodu v X
Q264=-55 ;1. BOD VE 2. OSE ~	Souřadnice 1. bodu v Y
Q326=+60 ;ROZTEC V 1. OSE ~	
Q296=-55 ;3. BOD 1. OSY ~	Souřadnice 3. bodu v X
Q297=-30 ;3. BOD 2. OSY ~	Souřadnice 3. bodu v Y
Q327=+60 ;ROZTEC V 2. OSE ~	
Q261=-5 ;MERENA VYSKA ~	Měřit ve výšce -5 v ose Z
Q320=+10 ;BEZPEC. VZDALENOST~	Vzdál. mezi bodem a kuličkou
Q260=+100 ;BEZPECNA VYSKA ~	Výška, ve které bude sonda přijíždět
Q301=+1 ;NAJET BEZPEC.VYSKU ~	Mezi body přejíždět v bezpečné výšce
Q304=+1 ;ZAKLADNI NATOCENI ~	Kompensace základního natočení
Q305=+1 ;CISLO V TABULCE ~	Číslo nulového bodu v tabulce.
Q331=-50 ;VZTAZNY BOD ~	Souřadnice v hlavní ose kam má být umístěn nulový bod
Q303=-1 ;PRENOS MERENE HODN. ~	Zapíše měřenou hodnotu do tabulky
Q381=+0 ;SNIMANI V OSE TS ~	Vztažný bod v ose sondy nenastavovat
Q382=+0 ;1.SOUR. PRO OSU TS ~	0 – nenastavovat
Q383=+0 ;2.SOUR. PRO OSU TS ~	0 – nenastavovat
Q384=+0 ;3.SOUR. PRO OSU TS ~	0 – nenastavovat
Q333=+1 ;VZTAZNY BOD	Souřadnice na niž má TNC nastavit vztažný bod

- **Cyklus měření délky a průměru nástroje**

Cyklus nástrojové sondy 584 (DIN/ISO: G584) změří délku nástroje a následně i jeho největší průměr. Je nutné mít nástroj zapsaný v tabulce nástrojů.²²

Grafické znázornění k měřicímu cyklu 584 (Tab. 7.3) je na obrázku 7.7.

Obr. 7.7 Měření délky nástroje.¹³

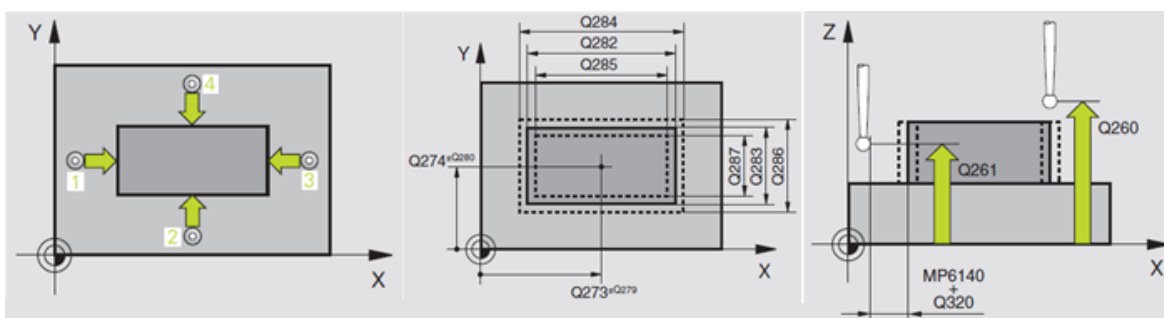
Tab. 7.3 Měřicí cyklus 584 použitý v programu.

Výpis cyklu	Komentář
16 TCH PROBE 584 TOOL SETTING L,R ~	
Q350=+0 ;MEASURING TYPE ~	Měření / kontrola, 0= měření.
Q351=+0 ;APPLICATION ~	Měřit délku+rádus=0
Q352=+0 ;CUT. EDGE CONTROL	Měření břitů nástroje, Ne=0
Q355=-1 ;SPECIAL FUNCTION ~	
Q361=+3 ;NUMBER OF MEASUREMENTS~	Počet opakování měření
Q362=+0.01 ;DISPERSION TOLERANCE ~	Přípustná hodnota rozptylu tolerance
Q359=+0 ;ADD. LENGTH CORRECT. ~	přidaná délková korekce/hodnota
Q360=+0 ;ADD. RADIUS CORRECT	přidaná poloměrová korekce/hodnota

- Měření obdélníkového čepu po obrobení**

Cyklus dotykové sondy 424 (DIN/ISO: G424) zjistí střed, délku a šířku pravoúhlého čepu (ostrůvku). Pokud jsou v cyklu nadefinovány příslušné hodnoty tolerancí, provede systém porovnání cílových a skutečných hodnot a uloží odchylky do systémových parametrů.²²

Grafické znázornění k měřicímu cyklu 424 (Tab. 7.4) je na obrázku 7.8.

Obr. 7.8 Grafické znázornění cyklu G424.²²

Tab. 7.4 Měřicí cyklus 424 použitý v programu.

Výpis cyklu	Komentář
35 TCH PROBE 424 MERENI UHLU VNEJSI	
Q273=+0 ;STRED 1. OSY ~	Střed čepu v ose X
Q274=+0 ;STRED 2. OSY ~	Střed čepu v ose Y
Q282=+90 ;1ST SIDE LENGTH ~	Délka čepu paralelně s osou X
Q283=+90 ;2ND SIDE LENGTH ~	Délka čepu paralelně s osou Y
Q261=-5 ;MERENA VYSKA ~	Měřit ve výšce -5 v ose Z
Q320=+5 ;BEZPEC. VZDALENOST ~	Vzdálenost mezi bodem a kuličkou
Q260=+50 ;BEZPECNA VYSKA ~	Výška, ve které bude sonda přijíždět
Q301=+1 ;NAJET BEZPEC.VYSKU ~	Mezi body přejíždět v bezpečné výšce
Q284=+90.1 ;MAX. DELKA 1.STRANY ~	Nastavení MAX. rozměru 1. strany
Q285=+89.9 ;MIN. DELKA 1. STRANY ~	Nastavení MIN. rozměru 1. strany
Q286=+90.1 ;MAX. DELKA 2.STRANY ~	Nastavení MAX. rozměru 2. strany
Q287=+89.9 ;MIN.DELKA 2. STRANY ~	Nastavení MIN: rozměru 2. strany
Q279=+0.1 ;TOLERANCE 1. STREDU ~	Přípustná odchylka středu čepu v X
Q280=+0.1 ;TOLERANCE 2. STREDU ~	Přípustná odchylka středu čepu v Y
Q281=+1 ;PROTOKOL MERENI ~	Vypíše protokol měření do souboru TCHPR424.txt
Q309=+0 ;PGM STOP TOLERANCE ~	Při překročení tol. zastaví program
Q330=+1 ;CISLO NASTROJE	Automaticky přepíše korekci nástroje v tabulce nástrojů

7.6 Zhodnocení návrhu

Program s implementací měřicích cyklů byl naprogramován dílenským způsobem přímo na stroji DMU 100T v systému Heidenhain iTNC 530. Při výběru cyklů byly upřednostněny cykly pokud možno s co nejmenším počtem snímaných bodů, avšak dostatečných pro změření požadovaného rozměru, čímž nedochází ke zbytečnému prodlužování obráběcího času. Implementací sond jsem získal přímou zpětnou vazbu obrábění, bez nutnosti vstupování do pracovního prostoru stroje kvůli měření dílenskými měřidly nebo vyjmutí obrobku pro měření. Tento způsob použití sond je vhodný zejména pro kusovou a malosériovou výrobu, kde je kontrolu výroby nutné provádět častěji než u zaběhnutých velkých výrob.

ZÁVĚR

V bakalářské práci bylo zpracováno téma použití měřicích sond v kusové a malosériové výrobě. V dnešní době je již nedílnou součástí výroby na CNC obráběcích strojích použití měřicích sond. Měřicí sondy jsou nejčastěji používány v kusové a malosériové výrobě, kde zvyšují míru automatizace procesů.

V první kapitole je stručně nastíněn vývoj měřicích sond. V druhé kapitole jsou popsány obrobkové sondy, ukázka příkladů jejich konstrukce a mechanismů generování spínacího signálu. Dále je popsán základní princip výběru měřicího doteku, konstrukce doteků a nejčastější materiály, které se používají k jejich výrobě. Závěr kapitoly je věnován způsobu přenosu měřicího signálu.

Třetí kapitola je věnována rozdělení nástrojových sond. Je popsána jejich konstrukce a funkce. Následně je uveden princip generování spínacího signálu a možnosti jeho přenosu do řídicího systému stroje.

Ve čtvrté a páté kapitole je zpracován stručný výpis základních měřicích cyklů a jejich grafické znázornění. V kapitole šesté je zpracována důležitá problematika seřízení obráběcích strojů, která je důležité pro správnost měření měřicích sond. K seřízení strojů se používají speciální stroje pro kalibraci.

V poslední části je uveden konkrétní teoretický příklad využití vybraných základních měřicích cyklů, jak pro obrobkové sondy, tak pro nástrojové sondy. Bylo provedeno krátké zhodnocení uvedeného příkladu.

Pro příklad aplikace sond byl vybrán stroj, nástroj, obrobková, nástrojová sonda a konstrukce obrobku. Byl využit cyklus posunutí nulového bodu na střed čela obrobku. Po změření válcové frézy pomocí nástrojové sondy a zapsání jejich parametrů do tabulky nástrojů bylo provedeno obrobení dle příkladu. Obrobek byl změřen nástrojovou sondou s využitím měřicího cyklu umožňujícího porovnání naměřených hodnot s požadovanými rozměry a výpisem měřicího protokolu do externího textového souboru. V kap. 7.5 jsou detailně rozepsány vstupní podmínky měření pro jednotlivé zvolené měřicí cykly.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Moderní metody měření na obráběcích strojích. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, 5, [cit. 2011-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-mereni-na-obrabecich-strojich>>.
2. SVOBODA, Ondřej. Kontrola geometrické přesnosti pětiosých strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 3, [cit. 2011-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/kontrola-geometricke-presnosti-petiosych-stroju>>.
3. POLZER, Aleš. Integrace měření do procesu třískového obrábění. *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2011-05-13]. Dostupný z WWW: <http://www.techtydenik.cz/cnc_priklady/priklad_24.pdf>.
4. POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. [online] [cit. 2011-05-14]. Dostupný z WWW: <http://stare.kvs.tul.cz/download/obor/rp1_skripta.pdf>.
5. SLÁMA, Josef. Snímací technologie. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 5, [cit. 2011-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/snimaci-technologie>>.
6. *Renishaw* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. Duální systém. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/cs/7387.aspx>>.
7. *Blum-novotest s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2011-05-17]. Z-nano. Dostupný z WWW: <http://www.blum-novotest.de/uploads/media/Z-Nano_CZ.pdf>.
8. *Renishaw* [online]. 2008 [cit. 2011-05-17]. Kapesní příručka o sondách pro CNC obráběcí stroje. Dostupné z WWW: <<http://resources.renishaw.com/download/%2840e96c367d794cd0acc7f75add8f869f%29?lang=cs&inline=true>>.
9. *Heidenhain* [online]. 2010 [cit. 2011-05-18]. Laserové nástrojové sondy TL. Dostupné z WWW: <<http://content.heidenhain.de/presentation/tastsysteme/cs/index/1264212617853/1264212617808/1264212617673/1242135139857/1242135139859/1242135139859.html#..%2F..%2F..%2F..%2F..%2F..%2Findex%2F1264212617853%2F1264212617808%2F1264212617693%2F1264212617693.html&1264212617693&3&a-1264212617693>>.
10. SLÁMA, Josef. Systémy pro kontrolu nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005, 12, [cit. 2011-05-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/systemy-pro-kontrolu-nastroju>>.
11. SLÁMA, Josef. Technologie seřizování nástrojů laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 7, [cit. 2011-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-serizovani-nastroju-laserem>>.
12. *Technology support* [online]. 2011 [cit. 2011-05-20]. Měření na obráběcích strojích a digitalizační systémy. Dostupné z WWW: <<http://www.t-support.cz/t-support/index.php?rubrika=57>>.
13. *Heidenhain* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. Dotykové sondy pro obráběcí stroje. Dostupné z WWW: <http://www.heidenhain.com/fileadmin/pdb/media/img/208_951-C2.pdf>.
14. *Renishaw* [CD-ROM]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Firemní prezentace: Přehled sond.

15. *Renishaw* [CD-ROM]. 2011 [cit. 2011-05-16]. Firemní prezentace: Software pro obráběcí centra.
16. *Renishaw* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. Doteky a příslušenství. Dostupné z WWW: <http://resources.renishaw.com/details/Technick%C3%A9+parametry%3a+Doteky+a+p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%2818153%29>.
17. *Mikronex* [online]. 2011 [cit. 2011-05-20]. Měřicí dotykové sondy. Dostupné z WWW: <http://www.mikronex.cz/SONDY.pdf>
18. *Renishaw* [online]. 2011 [cit. 2011-05-21]. Diagnostický systém ballbar QC20-W – popis a specifikace. Dostupné z WWW: <http://resources.renishaw.com/cs/details/Bro%C5%BEura%3a+Diagnostick%C3%BD+syst%C3%A9m+ballbar+QC20-W+%E2%80%93+popis+a+specifikace%2826355%29>.
19. *Heidenhain* [online]. 2007 [cit. 2011-05-17]. Measuring systems for machine tools inspection and acceptance testing. Dostupné z WWW: http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/208_871-27.pdf.
20. *Heidenhain* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. Mřížkové snímače KGM181 a KGM182. Dostupné z WWW: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/nastavit-a-promerit/mereni-stroju/kgm/.
21. *Renishaw* [online]. 2007 [cit. 2011-05-22]. Laserový systém XL-80. Dostupné z WWW: <http://resources.renishaw.com/details/Bro%C5%BEura%3a+Laserov%C3%BD+syst%C3%A9m+XL-80%2815088%29>.
22. *Heidenhain* [online]. 2006 [cit. 2011-05-22]. Příručka uživatele: Cykly dotykové sondy. Dostupné z WWW: http://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/iTNC530/34049x-neu/cs/tchprobe.pdf.
23. *Heidenhain* [online]. 2011 [cit. 2011-05-22]. iTNC 350. Dostupné z WWW: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/rizeni-obrabecich-stroju/frezovani/itnc-530/.
24. *DMG CZECH s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. DMU monoblok series. Dostupné z WWW: [http://cz.dmg.com/query/internet/v3/pdl.nsf/15afae0c4b0cf147c12575220053506b/\\$file/pm0uk09_dmumonoblock_series.pdf](http://cz.dmg.com/query/internet/v3/pdl.nsf/15afae0c4b0cf147c12575220053506b/$file/pm0uk09_dmumonoblock_series.pdf).
25. VLČEK, M. *Integrace měření do CNC obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
26. *Blum-novotest s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2011-05-17]. Laser Control NT. Dostupný z WWW: http://www.blum-novotest.de/uploads/media/LasCont_NT_CZ.pdf.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CAD	-	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAM	-	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CNC	-	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
ČSN	-	Česká technická norma
FHSS	-	Frequency-Hopping Spread Spectrum – skokové rozšíření frekvenčního spektra
IMM	-	Inductive Module Machine -Indukční přenosový modul na straně stroje
IMP	-	Inductive Module Probe -Indukční přenosový modul na straně sondy
LED	-	Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo
NC	-	Numeric Control – číslicové řízení
OMI	-	Optical Machine Interface – optické rozhraní stroje
RMI	-	Radio Machine Interface – radiové rozhraní stroje

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 CNC obráběcí centrum DECKEL MAHO DMU 100T
Příloha 2 Dotyková sonda TS 640
Příloha 3 Nástrojová sonda TL Micro 200
Příloha 4 NC program Sonda MM

Příloha 1

CNC obráběcí centrum DECKEL MAHO DMU 100T

Technická specifikace obráběcích center řady DMU od firmy DECKEL MAHO.²⁴

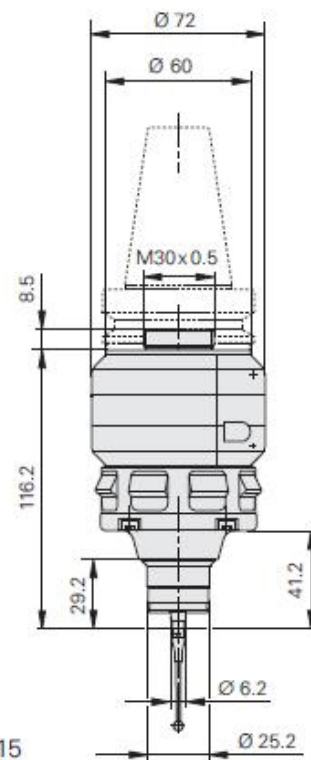
		DMU 40	DMU 60	DMU 80	DMU 100
Work area					
X / Y / Z-axis	mm	450 / 400 / 480	730 (630)* / 560 / 560	980 (880)* / 630 / 630	1,250 (1,150)* / 710 / 710
Max. rapid traverse	m/min	30	30	30	30
Max. feed rate	mm/min	30,000	30,000	30,000	30,000
Max. acceleration X / Y / Z	m/s ²	8 / 8 / 8	7 / 7 / 6.9	5 / 5 / 5	5 / 5 / 5
Machine weight	kg	4,500	6,800	9,500	10,700
Tool changer					
Tool fitting		•	•	•	•
Tool fitting		SK40	SK40	SK40	SK40
Tool magazine	type	plate magazine	plate magazine	plate magazine	plate magazine
Number of magazine pockets		16	24	32	32
Chip-to-chip time	sec	10	10	12	12
Main drive motor spindle					
Output (40 / 100% DC)	kW	•	•	•	•
Output (40 / 100% DC)	kW	15 / 10	15 / 10	15 / 10	15 / 10
Max. torque (40 / 100% DC)	Nm	130 / 87	130 / 87	130 / 87	130 / 87
Max. spindle speed	rpm	12,000	12,000	12,000	12,000
Manual swivel milling head					
Swivel range (0 = vertical / -90 = horizontal)	degrees	-	•	•	•
Swivel range (0 = vertical / -90 = horizontal)	degrees	-	+12 / -91	+12 / -91	+12 / -91
NC-controlled swivel milling head (B-axis)					
Swivel range (0 = vertical / -90 = horizontal)	degrees	•	o	o	o
Swivel range (0 = vertical / -90 = horizontal)	degrees	+30 / -95	+30 / -120	+30 / -120	+30 / -120
Swivel time	sec	1.5	1.5	1.5	1.5
Max. acceleration	%s ²	2,300	2,300	2,300	2,300
Rapid traverse	rpm	35	35	35	35
Fixed table					
Dimensions	mm	-	•	•	•
Dimensions	mm	-	1,000 x 600	1,250 x 700	1,500 x 800
Max. load	kg	-	700	900	1,100
NC rotary table (C-axis)					
Table / pallet dimensions	mm	•	-	-	-
Table / pallet dimensions	mm	ø 450	-	-	-
Max. load	kg	250	-	-	-
Max. acceleration	%s ²	3,000	-	-	-
Max. rapid traverse and feed rate	m/min	60	-	-	-
Coolant tank, standard version	litres	250	250	250	250
Scraper-belt chip conveyor		•	•	•	•
Digital drives and direct measuring systems		•	•	•	•
3D CNC Control		•	•	•	•

Příloha 2 (1/2)

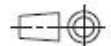
Dotyková sonda TS 640¹³



TS 640/TS 642



Rozměry v mm



Tolerancing ISO 8015
ISO 2768 - m H
< 6 mm: ±0.2 mm

Příloha 2 (2/2)

Dotyková sonda TS 640¹³

Obrobková dotyková sonda	TS 640	TS 642	TS 740
Přesnost snímání	≤ ± 5 μm při použití standardních dotykových hrotů		≤ ± 1 μm při použití standardních dotykových hrotů
Reprodukovatelnost snímání opakované snímání z jednoho směru	2 σ ≤ 1 μm při rychlosti nájezdu od 1 m/min <i>typické hodnoty:</i> 2 σ ≤ 1 μm při rychlosti nájezdu od 3 m/min 2 σ ≤ 4 μm při rychlosti nájezdu od 5 m/min		2 σ ≤ 0,25 μm při rychlosti nájezdu od 0,25 m/min
Vychýlení dotykového hrotu	≤ 5 mm ve všech směrech (při délce hrotu l = 40 mm)		
Vychylovací síly	axiálně: cca 8 N radiálně: cca 1 N		axiálně: cca 0,6 N radiálně: cca 0,2 N
Rychlost nájezdu	≤ 5 m/min		≤ 0,25 m/min
Stupeň krytí EN 60529	IP 67		
Rozsah pracovních teplot	10 °C až 40 °C		
Skladovací teplota	-20 °C až 70 °C		
Hmotnost bez nástrojového držáku	cca 1,1 kg		
Nástrojový držák*	<ul style="list-style-type: none"> • s nástrojovým držákem* (přehled str. 18) • bez nástrojového držáku (přípojný závit M30 x 0,5); nikoli u TS 642 		
Přenos signálu	infračervený přenos s obvodovým vyzářováním		
Úhel vyzářování infračerveného signálu*	0° nebo + 30°		
Vysílací/přijímací jednotka*	SE 540 nebo SE 640		
Zapnutí/vypnutí TS	infračervený signál z SE	spínač v nástrojovém držáku	Infračervený signál z SE
Elektrické napájení	2 baterie nebo akumulátory velikost C po 1 až 4 V		
Životnost baterií ¹⁾	trvalý provoz cca 800 h	trvalý provoz cca 800 h ²⁾	trvalý provoz typ. 500 h

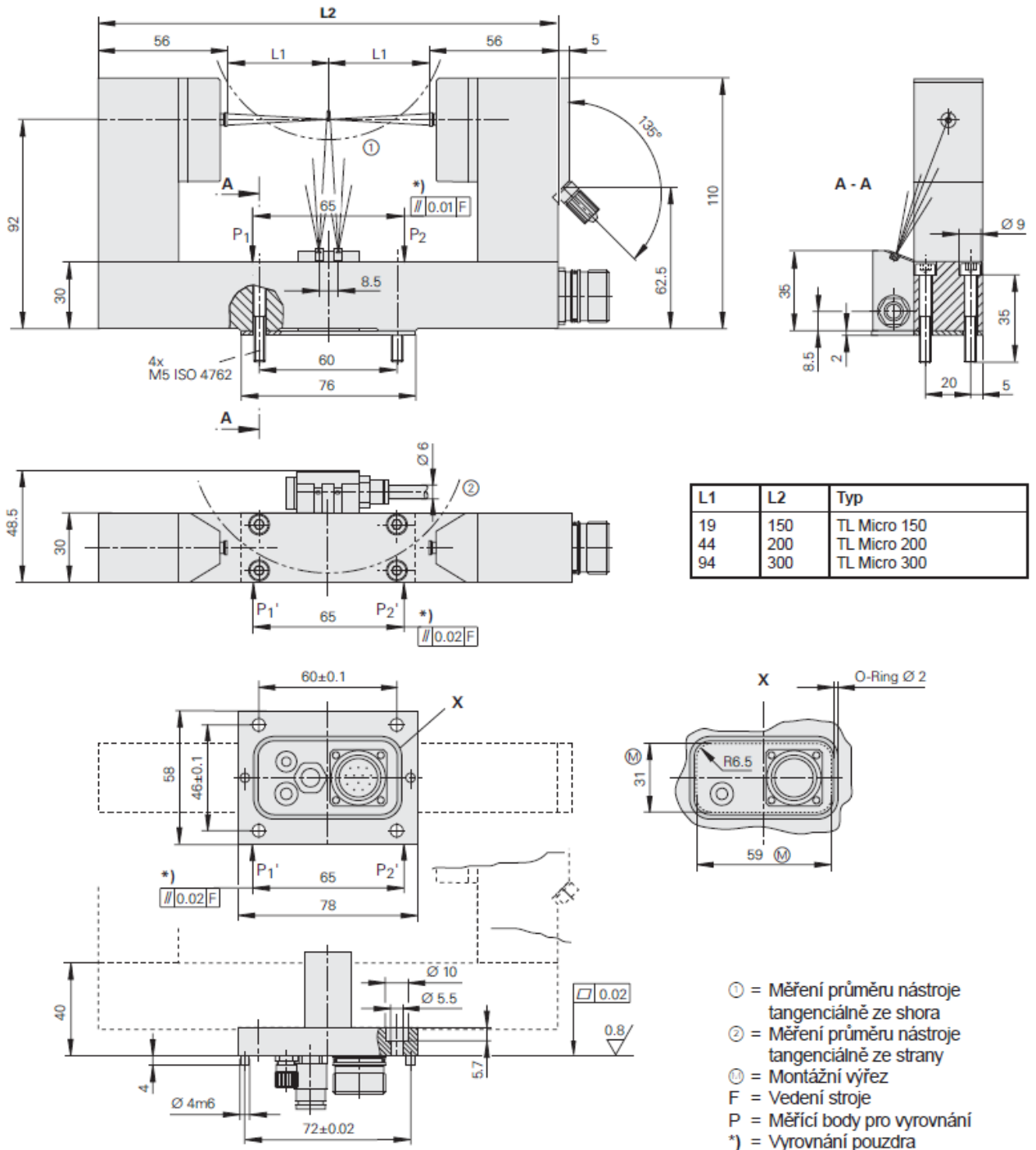
* specifikujte prosím při objednání

¹⁾ s lithiovými bateriemi 3,6 V/6000 mAh; součást dodávky

²⁾ snížená provozní doba při použití v TS 632

Příloha 3 (1/2)

Nástrojová sonda TL Micro 200.¹³



Příloha 3 (2/2)

Nástrojová sonda TL Micro 200.¹³

Technické parametry	TL Micro 150	TL Micro 200	TL Micro 300
Průměr nástroje Měřeno středově Měření tangenciálně nahoře Měření tangenciálně stranově	0.03 až 30 mm 0.03 až 30 mm 0.03 až 30 mm	0.1 až 80 mm 0.1 až 98 mm 0.1 až 122 mm	0.1 až 180 mm 0.1 až 324 mm 0.1 až 428 mm
Reprodukovatelnost	± 0,2 μm	± 1 μm	
Otáčky vřetena*	u měření jednotlivých břitů optimalizováno na standardní vřetena nebo vřetena HSC (> 30 000 min ⁻¹)		
Laser	viditelný laser s červeným světlem se středově zaostřeným paprskem		
Délka vlny/výkon	630 až 700 nm/< 1 mW		
Třída ochrany IEC 825	2		
Vstupní signály	obdélníkové signály 24 V- • uvolnění vysílače • uvolnění 1. přijímače • uvolnění 2. přijímače	ENABLE 0 ENABLE 1 ENABLE 2	
Výstupní signály	obdélníkové signály 24 V- • spínací signál dynamický • spínací signál statický • laser v pořádku	DYN STA LASER OK	
Elektrické napájení	24 V/160 mA		
Elektrické připojení*	přírubová zásuvka M23, 12pol (kolíky), volitelně po straně nebo dole		
Montáž	v pracovním prostoru stroje		
Stupeň krytí EN 60529	IP 68 (v zasunutém stavu, se závěným vzduchem)		
Čištění nástroje	zařízení na ofuk		
Rozsah pracovních teplot Skladovací teplota	10 až 40 °C 0 až 50 °C		
Hmotnost	včetně ofukovacího zařízení		
Výstup kabelu na straně	cca 0,85 kg	cca 0,95 kg	cca 1,15 kg
Výstup kabelu směrem dolů	cca 0,90 kg	cca 1,00 kg	cca 1,20 kg

* specifikujte prosím při objednání

Příloha 4

NC program

```
0 BEGIN PGM sonda MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-50 Y-50 Z-50
2 BLK FORM 0.2 X+50 Y+50 Z+1
3 ;
4 TOOL CALL 100 Z ;sonda
5 M27 ;aktivni kontrola kolize
6 ;
7 L X+0 Y+0 R0 FMAX
8 ;
9 TCH PROBE 417 VZTAZ.BOD V OSE TS ~
  Q263=+0 ;1. BOD V 1. OSE ~
  Q264=+0 ;1. BOD VE 2. OSE ~
  Q294=+10 ;1.BOD VE 3.OSE ~
  Q320=+50 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q260=+100 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q305=+0 ;CISLO V TABULCE ~
  Q333=+0 ;VZTAZNY BOD ~
  Q303=-1 ;PRENOS MERENE HODN.
10 TCH PROBE 414 VZT.BOD VNE ROHU ~
  Q263=-30 ;1. BOD V 1. OSE ~
  Q264=-55 ;1. BOD VE 2. OSE ~
  Q326=+60 ;ROZTEC V 1. OSE ~
  Q296=-55 ;3. BOD 1. OSY ~
  Q297=-30 ;3. BOD 2. OSY ~
  Q327=+60 ;ROZTEC V 2. OSE ~
  Q261=-5 ;MERENA VYSKA ~
  Q320=+10 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q260=+100 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q301=+1 ;NAJET BEZPEC.VYSKU ~
  Q304=+1 ;ZAKLADNI NATOCENI ~
  Q305=+1 ;CISLO V TABULCE ~
  Q331=-50 ;VZTAZNY BOD ~
  Q332=-50 ;VZTAZNY BOD ~
  Q303=-1 ;PRENOS MERENE HODN. ~
  Q381=+0 ;SNIMANI V OSE TS ~
  Q382=+0 ;1.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q383=+0 ;2.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q384=+0 ;3.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q333=+1 ;VZTAZNY BOD
11 ;
12 ;
13 TOOL CALL 1 Z S3000 ;pl20-iscar
14 M9 ;vypnuti chlazení
15 ;
16 TCH PROBE 584 TOOL SETTING L,R ~
  Q350=+0 ;MEASURING TYPE ~
  Q351=+0 ;APPLICATION ~
  Q352=+0 ;CUTTING EDGE CONTROL ~
  Q355=-1 ;SPECIAL FUNCTION ~
  Q361=+3 ;NUMBER OF MEASURINGS ~
  Q362=+0.01 ;DISPERSION TOLERANCE ~
  Q359=+0 ;ADD. LENGTH CORRECT. ~
  Q360=+0 ;ADD. RADIUS CORRECT.
17 ;
18 ;
19 TOOL CALL 1 Z S2387 ;pl-20-iscar
20 M7 ;vnitrni chlazení
21 ;
22 CYCL DEF 213 CEPY NA CISTO ~
  Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q201=-15 ;HLOUBKA ~
  Q206=+100 ;POSUV NA HLOUBKU ~
  Q202=+5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q207=+860 ;FREZOVACI POSUV ~
  Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
  Q216=+0 ;STRED 1. OSY ~
  Q217=+0 ;STRED 2. OSY ~
  Q218=+90 ;1. DELKA STRANY ~
  Q219=+90 ;2. DELKA STRANY ~
  Q220=+2 ;RADIUS V ROHU ~
  Q221=+0 ;PRIDAVEK V 1.OSE
23 CYCL CALL M3
24 ;
25 ;
26 M5
27 M9 ;vyp chlazení
28 ;
29 ;
30 TOOL CALL 100 Z ;sonda
31 M27 ;aktivni kontrola kolize
32 ;
33 L X+0 Y+0 R0 FMAX
34 ;
35 TCH PROBE 424 MERENI UHLU VNEJSI ~
  Q273=+0 ;STRED 1. OSY ~
  Q274=+0 ;STRED 2. OSY ~
  Q282=+90 ;1ST SIDE LENGTH ~
  Q283=+90 ;2ND SIDE LENGTH ~
  Q261=-5 ;MERENA VYSKA ~
  Q320=+5 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
  Q260=+50 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q301=+1 ;NAJET BEZPEC.VYSKU ~
  Q284=+90.1 ;MAX. DELKA 1.STRANY ~
  Q285=+89.9 ;MIN. DELKA 1. STRANY ~
  Q286=+90.1 ;MAX. DELKA 2.STRANY ~
  Q287=+89.9 ;MIN.DELKA 2. STRANY ~
  Q279=+0.1 ;TOLERANCE 1. STREDU ~
  Q280=+0.1 ;TOLERANCE 2. STREDU ~
  Q281=+1 ;PROTOKOL MERENI ~
  Q309=+0 ;PGM STOP TOLERANCE ~
  Q330=+1 ;CISLO NASTROJE
36 ;
37 L Z+200 R0 FMAX
38 TOOL CALL 0 Z
39 M2
40 ;
41 ;
42 END PGM sonda MM
```

