

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra Obrábění a montáže

Školní rok: 1992/1993

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Karla Z E L E N K U

obor (23 - 07 - 8) strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Metodika souřadnicového měření

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod - vymezení pojmů a definic
- 2) Analogie NC se SMS
- 3) Typy konstrukcí strojů a měřicích hlavic
- 4) Principy hodnocení měření rozměrových a geometrických úchylek
- 5) Základy obsluhy SMS
- 6) Metody měření a zpracování výsledků
- 7) Využití podpory PC
- 8) Příklady s návody měření typových úchylek
- 9) Zhodnocení, závěr

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ
PSČ 461 17

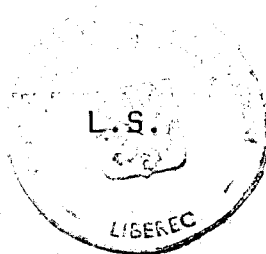
84


KOM/OM


Rozsah grafických prací:
Rozsah průvodní zprávy:
Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pěkorný, CSc.
Konzultant:

Zadání diplomové práce: 30. 10. 1992
Termín odevzdání diplomové práce: 31. 12. 1993




Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.,
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.,
Děkan

V Liberci

dne 30. 10. 19 92

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1993

Zelenka Karel

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž e

METODIKA SOUŘADNICOVÉHO MĚŘENÍ

KOM - OM - 825

Z E L E N K A K A R E L

Vedoucí práce : Ing. Přemysl Pokorný CSc.

Konzultant :

Počet stran : 61
Počet příloh : 4
Počet obrázků : 23
Počet tabulek : 0
Počet diagramů : 0
Počet modelů : 0

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075652

Datum : 28.05.1993

A N O T A C E

Označení DP : KOM - OM - 825

Řešitel : Zelenka Karel

METODIKA SOUŘADNICOVÉHO MĚŘENÍ

Práce se zabývá metodikou měření na souřadnicových měřicích strojích. Popisuje základní rozdělení, pojmy a používaná měřicí zařízení souřadnicových měřicích strojů. Jako příklad je popsán souřadnicový měřicí stroj XYZ 464 s MICRO 900. Rozebírá principy a metody vyhodnocování měření. Uvádí měření vzorového kusu a vačky s vyhodnocením na počítači.

Deset. třídění : DT 531.7

Klíčová slova : SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE, MĚŘENÍ

Zpracovatel : VŠST - Liberec - KOM

Dokončeno : 1993

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 61

Počet příloh : 4

Počet obrázků : 23

Počet tabulek : 0

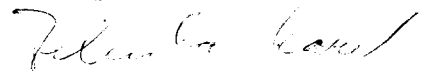
Počet diagramů : 0

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího.

V Liberci dne 28.05.1993

Zelenka Karel



O B S A H

1.	Úvod	6
2.	Rozdělení souřadnicových měřících strojů	7
3.	Základní principy měření	9
3.1	Ruční měření	9
3.2	Měření pomocí MICRO 900	10
3.3	Měření s počítačem	11
3.4	Měření na obráběcích strojích	19
4.	Měřicí zařízení	20
4.1	Měřicí doteky mechanické	20
4.2	Měřicí doteky elektronické	20
4.3	Měřicí zařízení optická	20
4.4	Odměřovací systémy	26
5.	Souřadnicový měřicí stroj XYZ 464 s MICRO 900	27
5.1	Práce v základním módu	27
5.2	Práce v procesorovém módu	28
6.	Metody vyhodnocování měření na počítači	30
6.1	Přímka	30
6.2	Rovina	31
6.3	Kružnice	32
6.4	Koule	33
6.5	Průsečík přímka-přímka, přímka-rovina, rovina-rovina	34
6.6	Vzdálenost bod-bod, bod-přímka, bod-rovina	36
6.7	Úhel dvou přímek, rovin	37
7.	Příklady měření	39
7.1	Měření vzorové součásti	39
7.2	Měření vačky	44
8.	Závěr	49
9.	Seznam literatury	50
10.	Seznam příloh	51

Kontrola složitých součástí tradičním měřením je pracná a zdlouhavá. K dosažení objektivních výsledků se měření někdy musí opakovat. To vše prodlužuje měřicí časy. Při použití číslicově řízených obráběcích strojů a tradičního měření by docházelo k velkým prostojům vlivem kontroly. Z těchto důvodů se ve výrobě začaly uplatňovat souřadnicové měřicí přístroje, které představují kvalitativně nový prvek v kontrole součástí. Jejich použitím se redukuje měřicí časy až o 90%.

Princip měření je obdobný jako výroba na číslicově řízeném obráběcím stroji. Souřadnicový měřicí stroj má svoji vlastní průměrnou desku, doplněnou měřicím mechanismem s měřicím dotekem. Souřadné osy souřadnicového měřicího stroje jsou na sebe kolmé a v osách XY rovnoběžné s rovinou průměrné desky.

Souřadnicových měřicích strojů je více druhů a mohou být uspořádány do skupin podle potřeby. Liší se v několika směrech: velikostí základny (stojanu stroje), uspořádáním upínacího stolu, uspořádáním soustavy tří saní, odměřovacím zařízením, konstrukcí měřicí hlavy, konstrukcí měřicích čidel, způsobem pohonu, rozsahem elektrického a elektronického příslušenství.

Měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru, a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách. Z toho vyplývá, že souřadnicový měřicí stroj měří složky, které mají určitou chybu v určitém bodě. Proto definujeme pojmy výkonnost, přesnost a opakovatelnost souřadnicových měřicích strojů.

Přesnost souřadnicového měřicího stroje je vlastnost, která charakterizuje jeho schopnost dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. [1]

Opakovatelnost je schopnost souřadnicového měřicího stroje dávat při opakování měření pokaždé stejné výsledky. [1]

Výkonnost je podíl času, po který stroj měří daný rozměr v rámci svých přesností. To jest: souřadnicový měřicí stroj, který měří s přesností 0,001mm je výkonnější než stroj s přesností 0,005mm, protože u stroje s menší přesností je třeba provést více měření a tím vlastně zvýšit přesnost. [1]

ROZDĚLENÍ SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJŮ

Podle pohonu:

- s pohonem ručním
 - s pohonem motorickým
- Použití v automatizované a mechanizované výrobě.

Podle počtu měřících os:

- jednosouřadnicové
- dvousouřadnicové
- třísouřadnicové
- vícesouřadnicové

Podle velikosti:

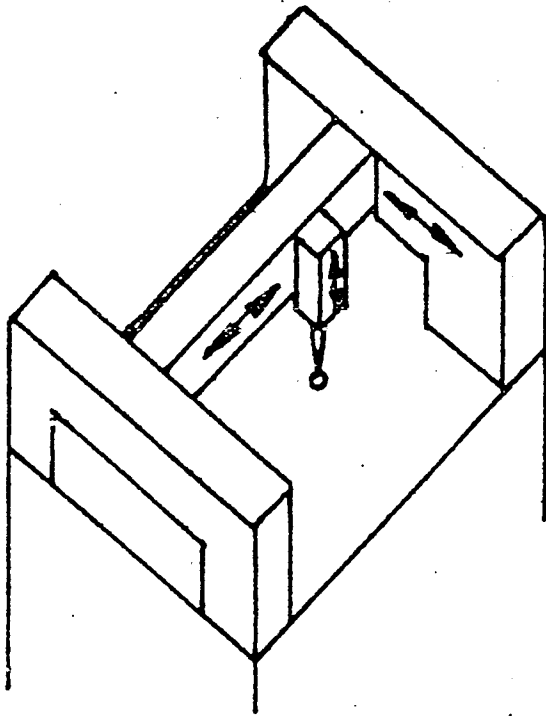
- Dané maximální hmotností (objemem) měřené součásti.
- malé (do 1000 kg)
 - střední (do 5000 kg)
 - velké

Podle přesnosti měření:

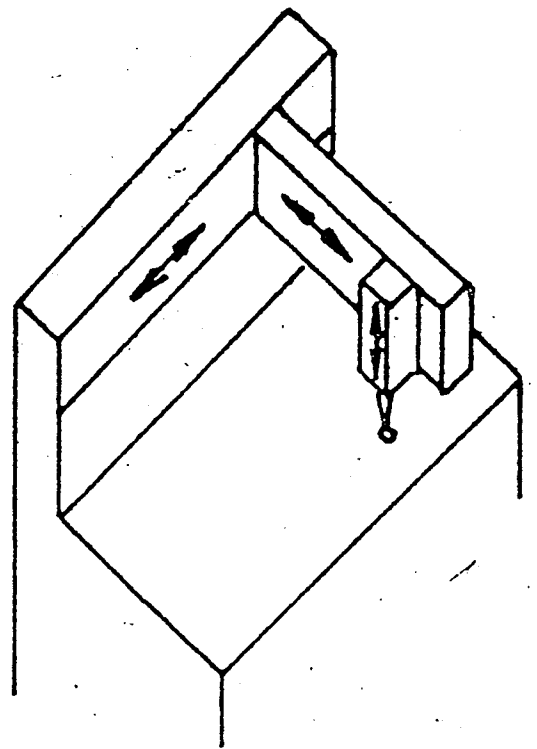
- pro nejpřesnější měření v měřících laboratořích (měření až v 0,0001mm)
- pro provozní využití (měření v 0,001 - 0,1mm)
- pro proměřování montážních celků (měření v 0,1mm)

Podle provedení (konstrukce): [1]

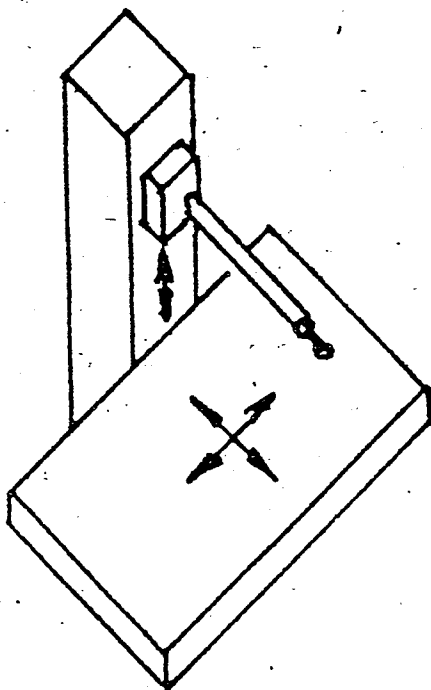
- mostové (obr. č. 1)
Z celkového počtu je zastoupena nejvíce. Vyniká tuhou konstrukcí a velkou kapacitou měřícího prostoru.
- výložníkové (obr. č. 2)
Umožňuje lepší přístup k měřené součásti.
- typu vodorovných vyvrtávaček (obr. č. 3)
- typu svislých souřadnicových vyvrtávaček (obr. č. 4)



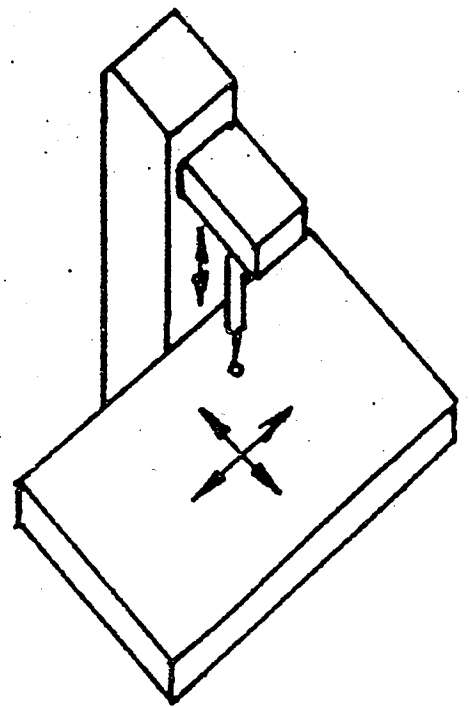
obr. č. 1



obr. č. 2



obr. č. 3



obr. č. 4

Při měření na souřadnicových měřicích strojích se měřicí hlava se svým dotekem pohybuje směrem k součásti a v okamžiku doteku se součástí v požadovaném bodě vydá signál, který způsobí zaznamenání prostorových souřadnic bodu součásti. Pohyb měřicí hlavy může být vyvozen ručně (u strojů s ručním pohybem) nebo motoricky, kde se pohyb měřicí hlavice ovládá ručně páčkami pro pohyb nebo automaticky při řízení počítačem, a je automaticky zastaven, když je bod odměřen.

Kontrola součásti se dá převést na některou úlohu z analytické geometrie v rovině nebo v prostoru. Žádaný výsledek a jeho správnost závisí na vhodné volbě a kombinaci těchto úloh.

3.1 Ruční měření:

Zde jsou ukázány základní typy měření. Princip je patrný z obrázků. Jednotlivé typy lze mezi sebou vzájemně kombinovat při měření složitých součástí.

V obrázcích je zaaretovaná souřadnice označena proškrtnutím. Prázdná souřadnice označuje pro měření nevýznamnou hodnotu.

a) vyrovnání součásti do souřadnic měřicího stroje

Vyrovnání se provádí u většiny měření a vychází z principu zvolené metody měření.

- pomocí průměrné lišty (obr. č. 5a)

Průměrná lišta L je připevněna na upínacím stole a vyrovnána do jedné z měřicích os stroje. Měřená součást se opřením o tuto lištu vyrovná a upne.

- pomocí doteku (obr. č. 5b)

Měřená součást je upnuta na stole, který je vybaven seřiditelnými mikrometrickými šrouby. Opakovaným měřením a seřizováním pomocí šroubů se součást vyrovná.

b) měření průměrů otvorů (obr. č. 6)

Změříme dva body v ose X a vypočteme střed těchto bodů daný polovičním rozdílem X-ových souřadnic. X-ovou souřadnici měřicího stroje nastavíme na tento střed a změříme dva body v Y-ové souřadnici. Hodnota rozdílu

Y-ových souřadnic po kompenzaci na průměr měřicího doteku je hledaný průměr. Součást nemusí být vyrovnána.

c) měření roztečí (obr. č. 7 a 8)

Obr. č. 7: V ose X změříme dva body v prvním otvoru a dva body v druhém otvoru. Hledaná rozteč v ose X je rozdíl X-ových souřadnic středů těchto otvorů. Pro osu Y je postup analogický. Součást musí být vyrovnána.

Obr. č. 8: Měření za použití kuželových měřících doteků. Změříme souřadnice středu prvního otvoru, vyměníme dotek a změříme souřadnice středu druhého otvoru. Rozdíl X-ových nebo Y-ových souřadnic je hledaná rozteč v ose X nebo Y. Součást musí být vyrovnána.

d) měření vzdálenosti bod, (osa) - přímka, (rovina, bod)

Obr. č. 9a: Po změření tří bodů podle obrázku je vzdálenost A dána rozdílem X-ových souřadnic po kompenzaci na průměr měřicího doteku a vzdálenost B je dána rozdílem X-ových souřadnic. Součást musí být vyrovnána.

Obr. č. 9b: Pomocí kuželového doteku změříme souřadnici středu otvoru. Po výměně doteku změříme souřadnici na boku součásti. Vzdálenost středu otvoru od boku je dána rozdílem Y-ových souřadnic po kompenzaci na poloměr měřicího doteku. Součást musí být vyrovnána.

e) měření rovnoběžnosti (obr. č. 10)

Na součásti vyrovnané podle obr. č. 10, změříme bod na horní straně úkosu a bod na dolní straně úkosu. Úchylka rovnoběžnosti je dána rozdílem X-ových souřadnic na vzdálenosti dané rozdílem Y-ových souřadnic.

f) měření kolmosti (úhlu, sklonu) (obr. č. 11)

Změříme bod na horní straně úkosu a bod na dolní straně úkosu součásti podle obr. č. 11. Kolmost je dána rozdílem X-ových souřadnic na vzdálenosti dané rozdílem Z-ových souřadnic. Součást nemusí být vyrovnána.

3.2 Měření pomocí MICRO 900:

Při měření pomocí MICRO 900 můžeme pracovat ve dvou režimech, v základním - kde jsou na displeji zobrazovány souřadnice měřicího doteku s možnou kompenzací na jeho

poloměr, a v procesorovém - kdy obsluha vybírá jednu z možných variant naprogramovaných měření.

Rozsah měřících úloh je uveden v části souřadnicový měřicí stroj XYZ 464 s MICRO 900 (kapitola 5).

3.3 Měření s počítačem:

Podobně jako přechod od ručního měření, k měření s pomocí MICRO 900, představuje měření s počítačem zjednodušení a zrychlení měření. Princip komunikace je patrný z obr. č. 12.

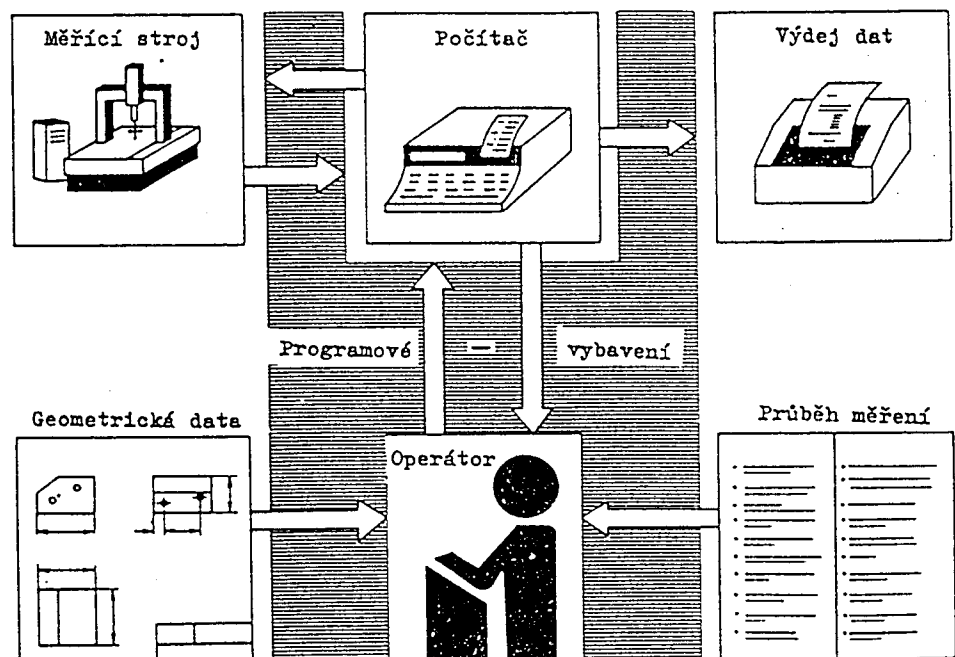
Rozsah měřících úloh je tedy určován používaným programovým vybavením. Z tuzemských výrobců se vývojem programů pro souřadnicové měřicí přístroje zabývá například firma TOPMES-Praha, ZET SERVIS-Teplice.

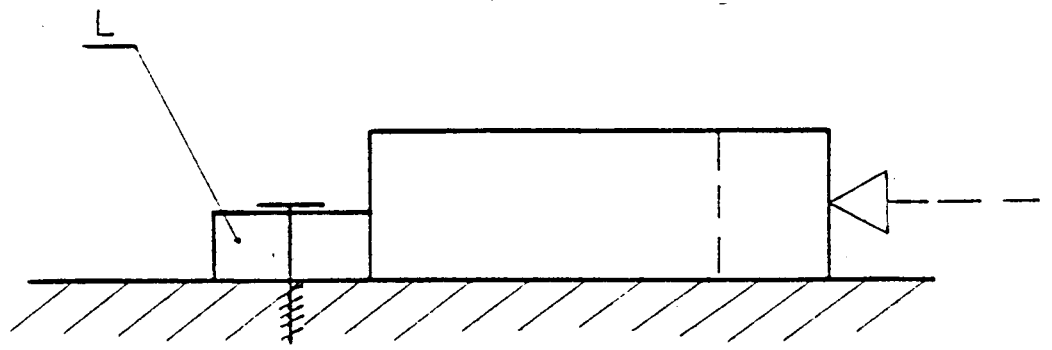
Základní charakteristiky programového vybavení:

Ovládání postupu měření pomocí jednoduchých měřících úloh nabízených v základní nabídce. Při měření možnost opakovat stejné měřicí postupy. Možnost tvorby a uschování měřících programů. Tisk a uschování výstupního protokolu měření.

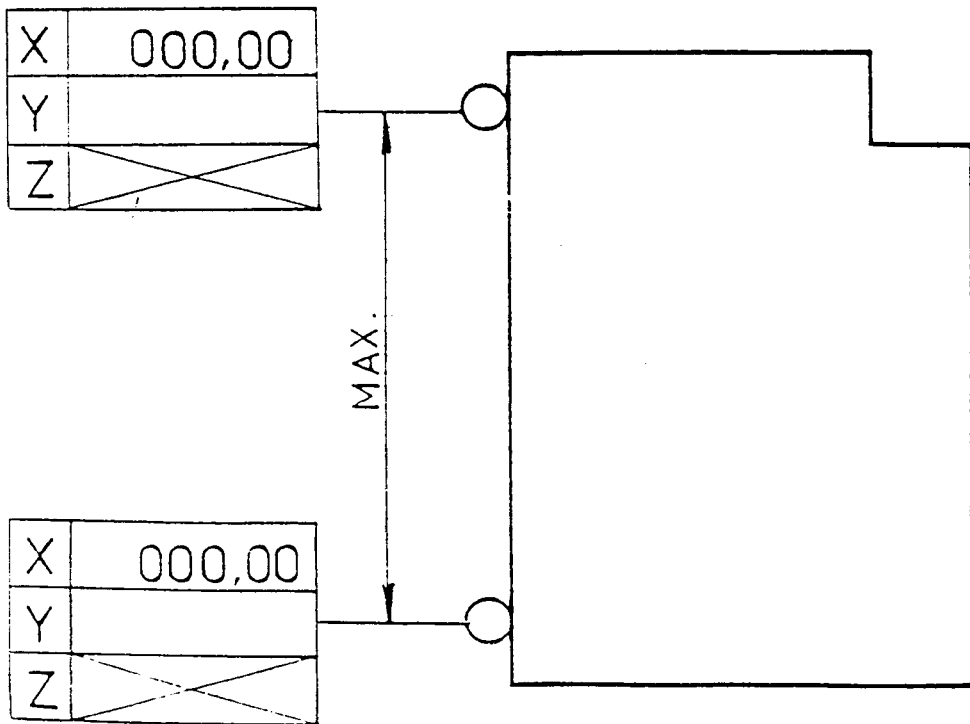
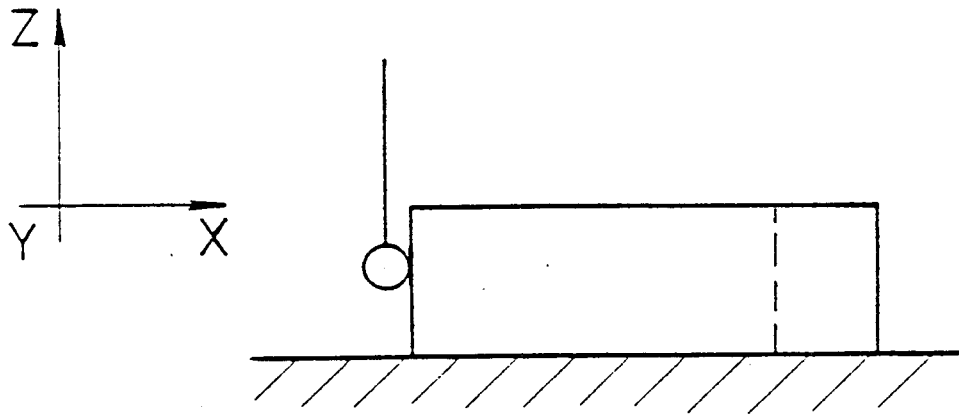
Rozsah měřících úloh v rovině a v prostoru např. měření roviny, přímky, kružnice, elipsy, koule, válce, kužele. Operace s naměřenými geometrickými elementy jako je stanovení souměrnosti, vzdálenosti, průsečíků, průsečnice, úhlovitosti, čelního a axiálního házení a podobně.

obr. č. 12

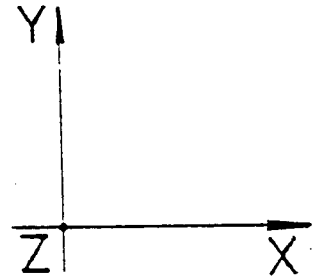
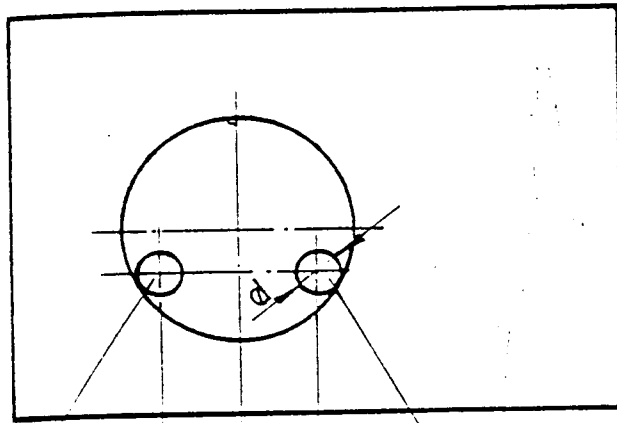




obr. č. 5a



obr. č. 5b

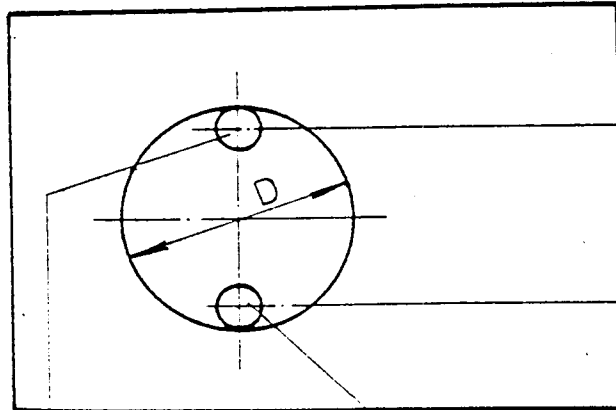


X	000,00
Y	
Z	

X	048,26
Y	
Z	

$$A = 48,26$$

$$B = A/2 = 24,13$$



X	024,13
Y	065,04
Z	

X	024,13
Y	000,00
Z	

$$C = 65,04$$

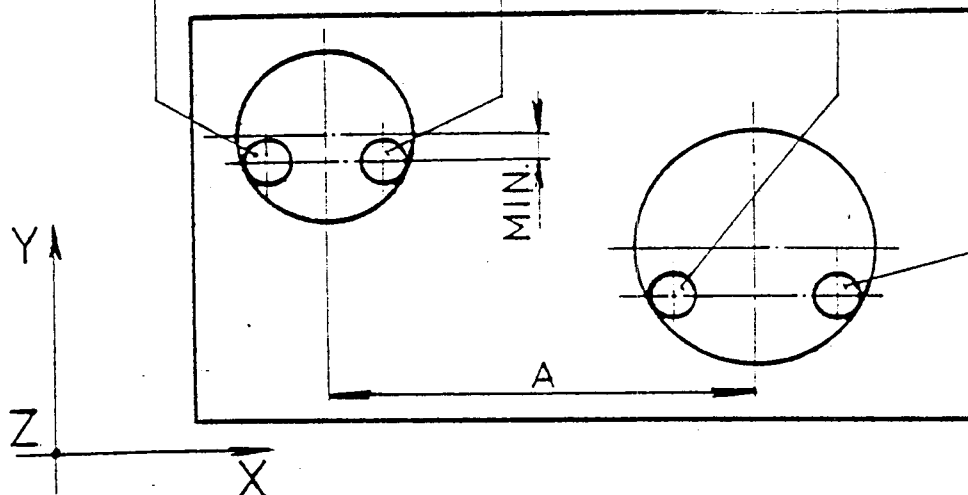
$$D = C + d = 65,04 + d$$

X	020,02
Y	
Z	

X	030,06
Y	
Z	

X	120,70
Y	
Z	

X	210,56
Y	
Z	

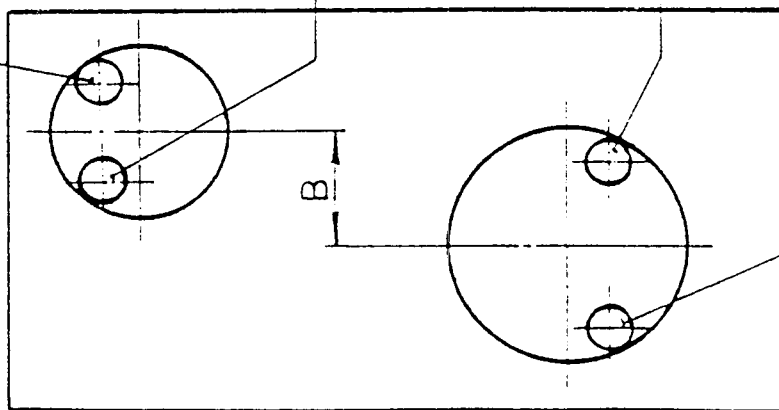


X	
Y	040,20
Z	

X	
Y	088,32
Z	

X	
Y	080,04
Z	

X	
Y	170,62
Z	



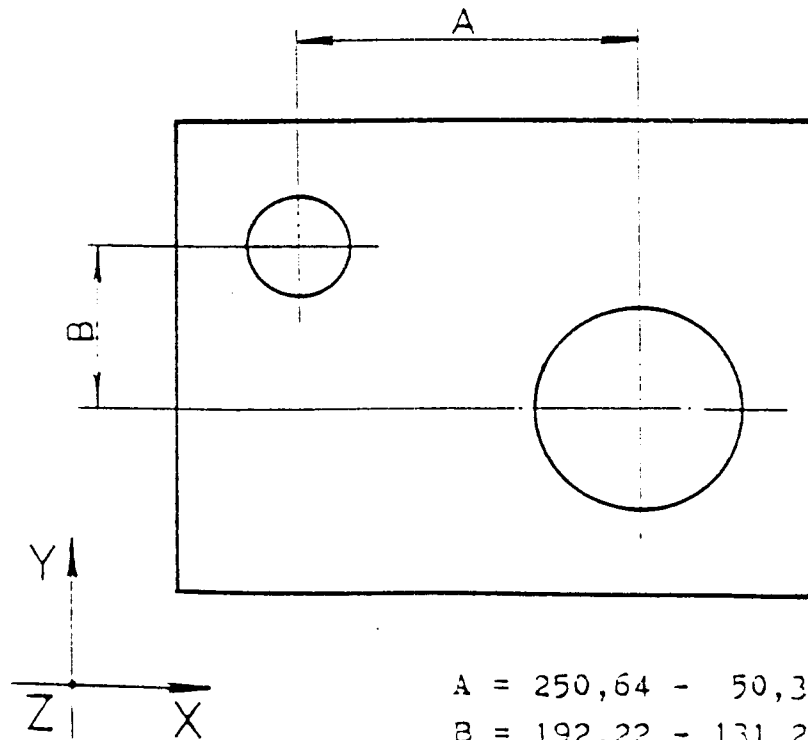
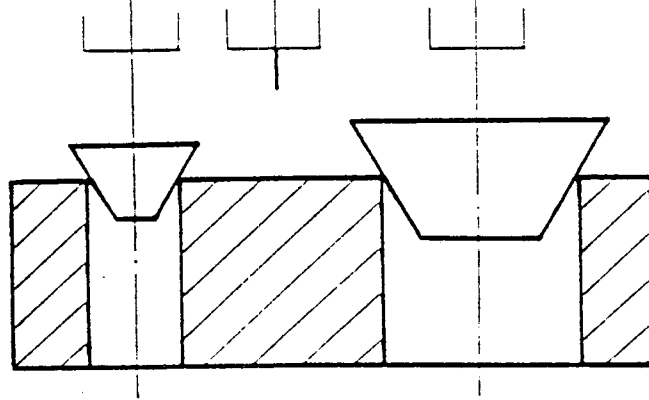
$$A = \frac{210,56 + 120,70 - 30,06 - 20,02}{2} = 140,59$$

$$B = \frac{170,62 + 80,04 - 88,32 - 40,20}{2} = 61,07$$

(výměna kužele)

X	050,30
Y	131,21
Z	

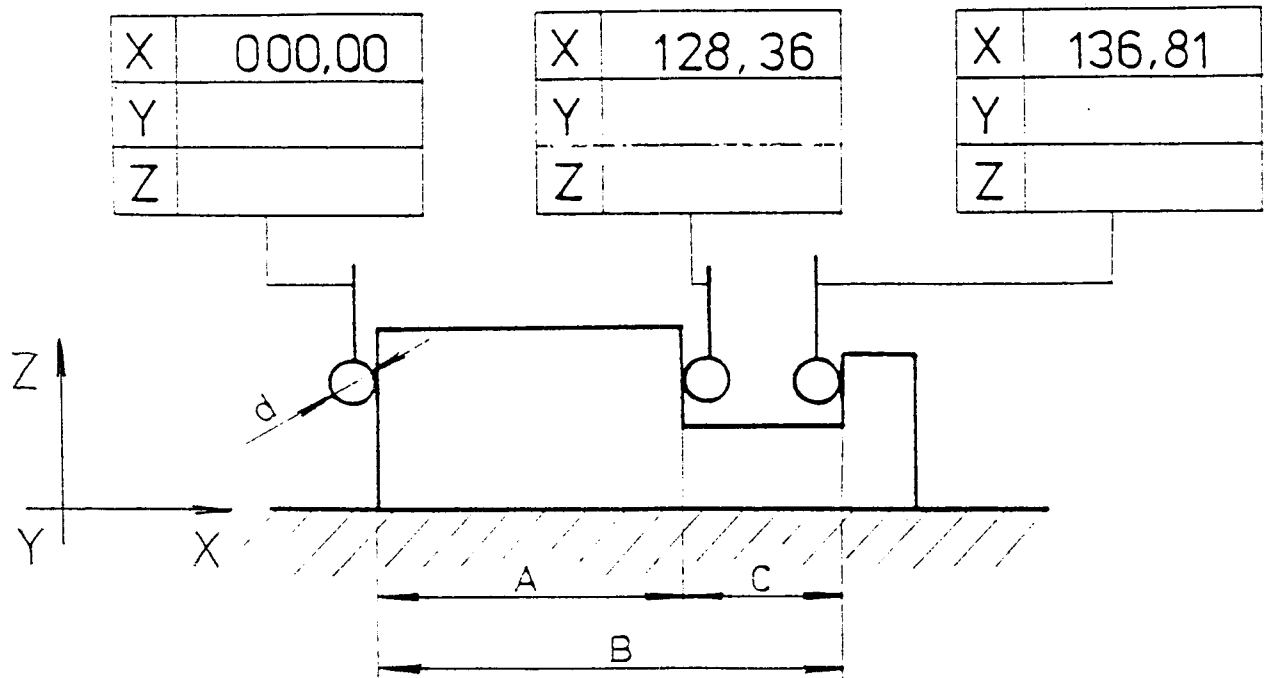
X	250,64
Y	192,22
Z	



$$A = 250,64 - 50,30 = 200,34$$

$$B = 192,22 - 131,21 = 61,01$$

obr. č. 8



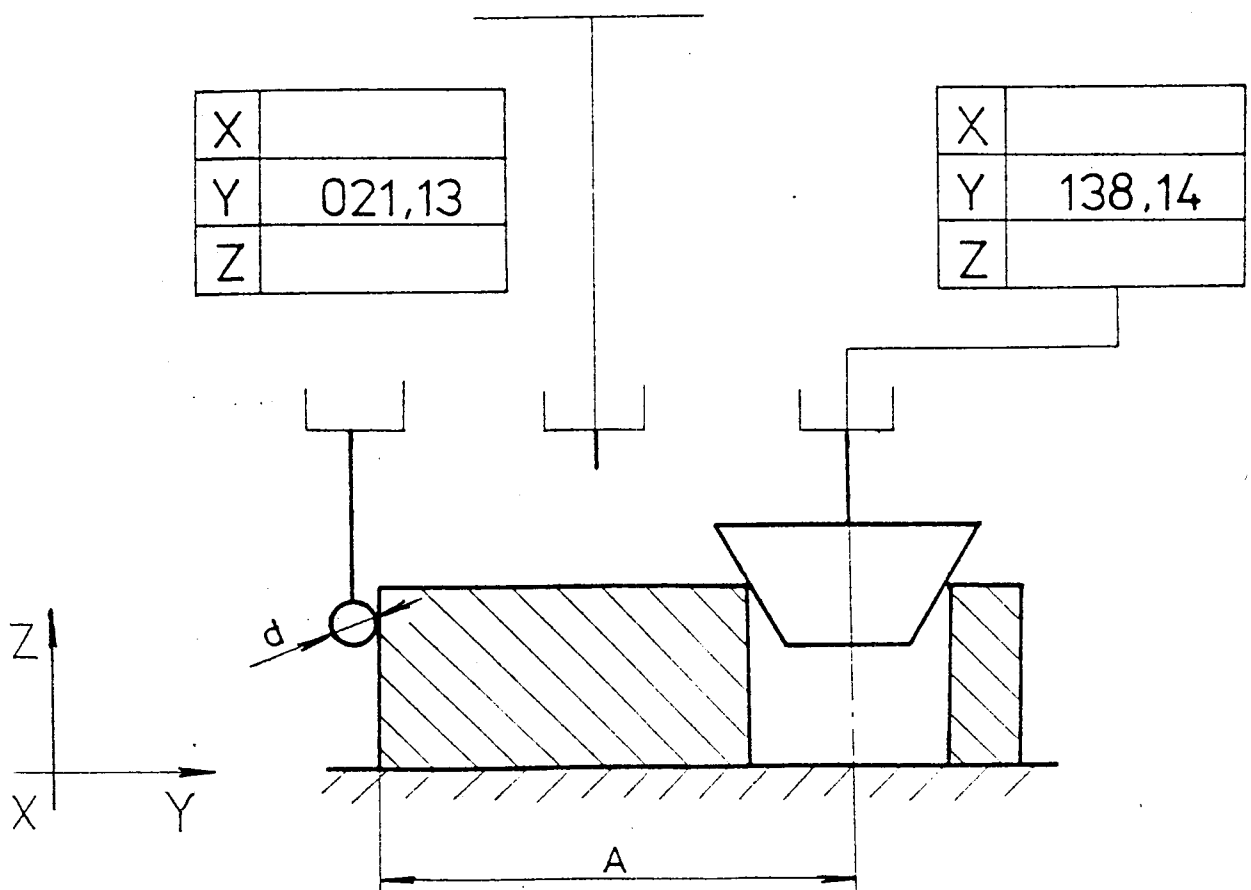
$$A = 128,36 - d$$

$$B = 136,81$$

$$C = B - A = 136,81 - 128,36 + d$$

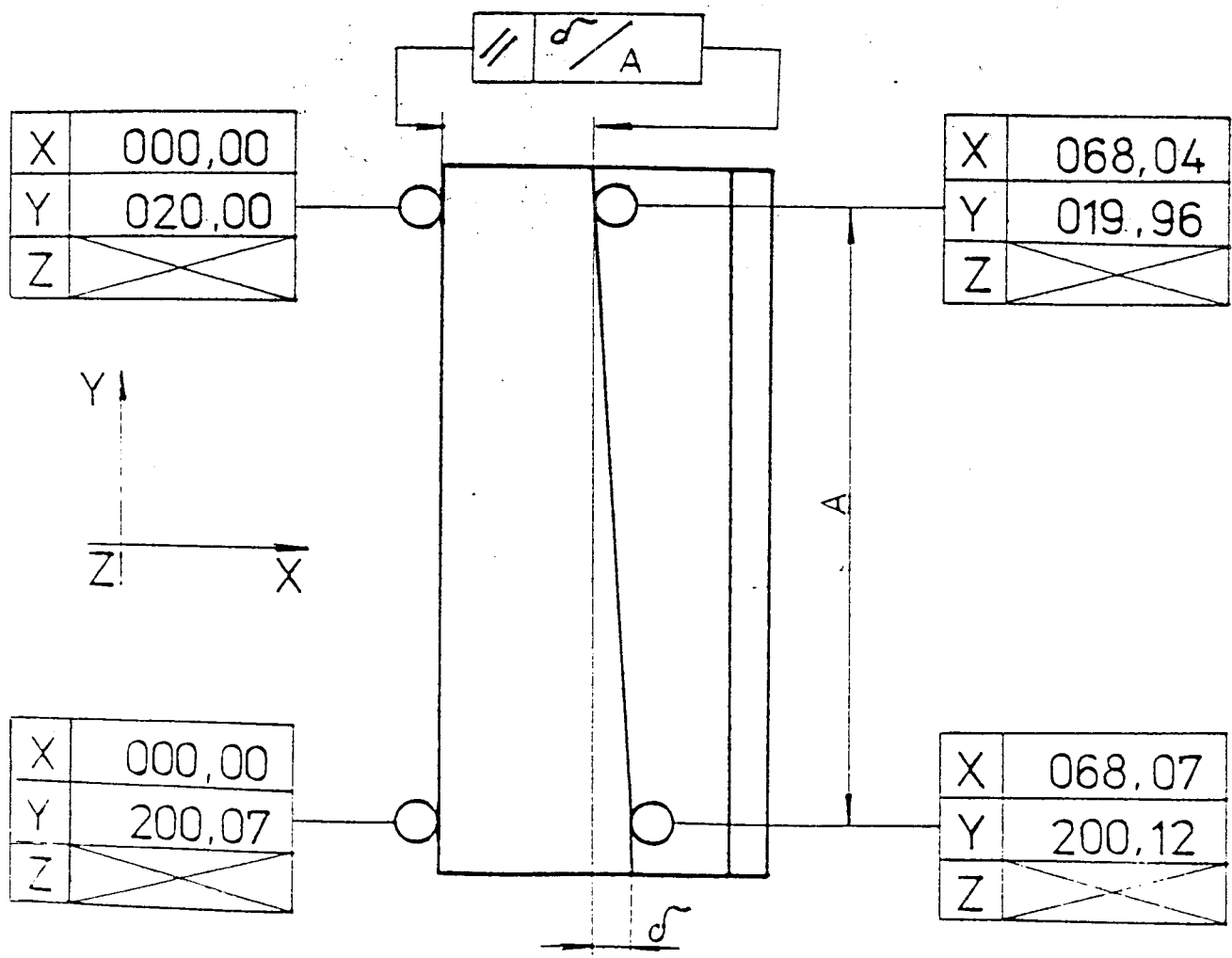
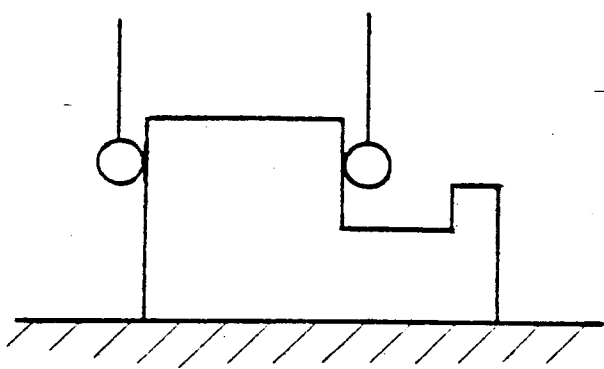
obr. č. 9a

výměna doteku



$$A = 138,14 - 21,13 - \frac{d}{2} = 117,01 - \frac{d}{2}$$

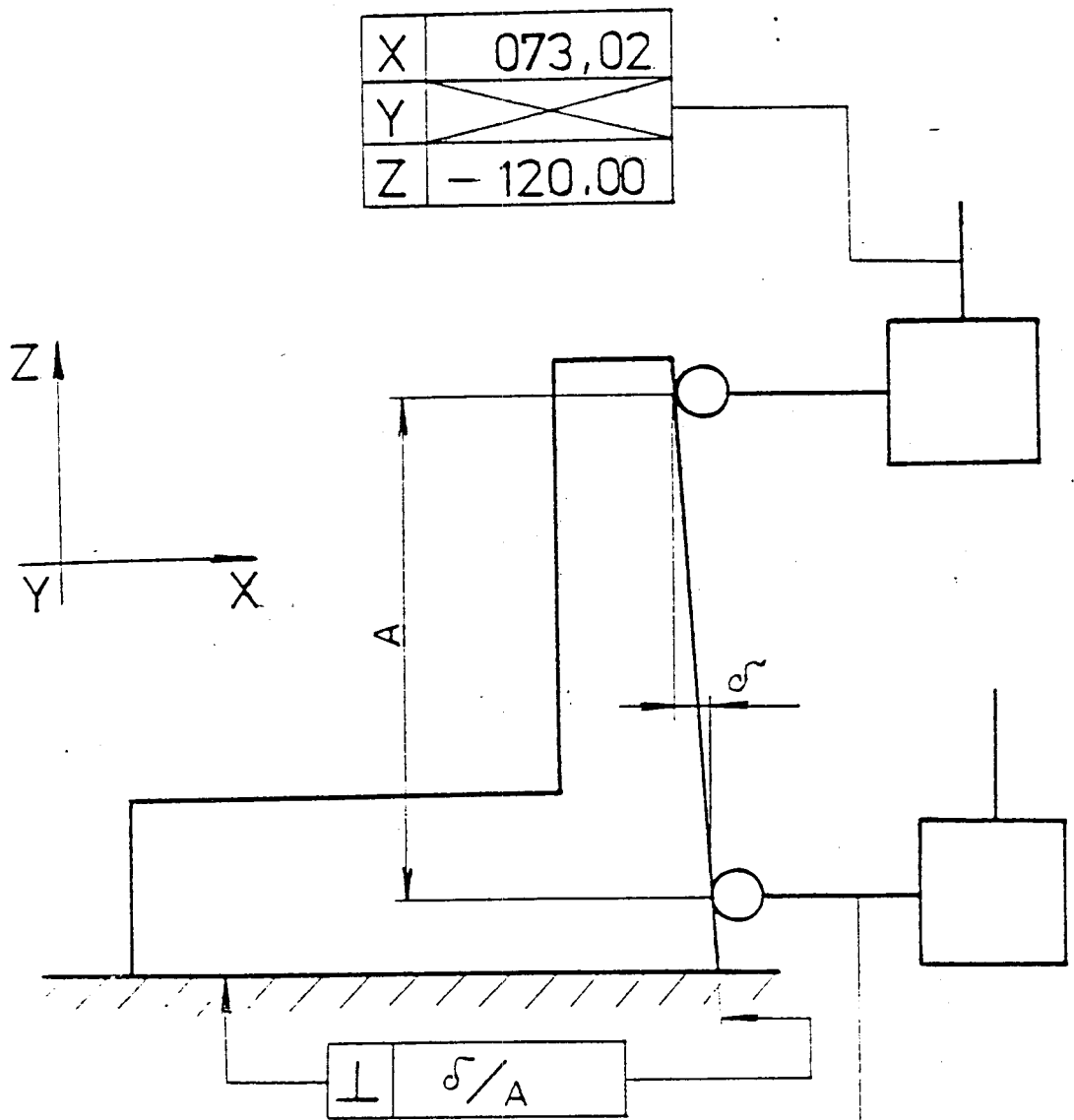
obr. č. 9b



$$A = 200,07 - 20,00 = 200,12 - 19,66$$

$$A = 180$$

$$\tilde{\sigma} = 68,07 - 68,04 = 0,03$$



$$\Delta = | -120 - (30) | = 90$$

$$\delta = 73,02 - 72,96 = 0,06$$

3.4 Měření na obráběcích strojích: [2]

- třísměrné elektrokontaktní nebo měřicí sondy

Sondy pracují na principu rozpojení vnitřního elektrického obvodu při najetí doteku sondy na měřený předmět. Sonda je umístěna v zásobníku nástrojů a při měření je s ní jako s nástrojem manipulováno. Výhodou použití sondy je získání rychlé informace o stavu obrobku. (obr. č. 13)

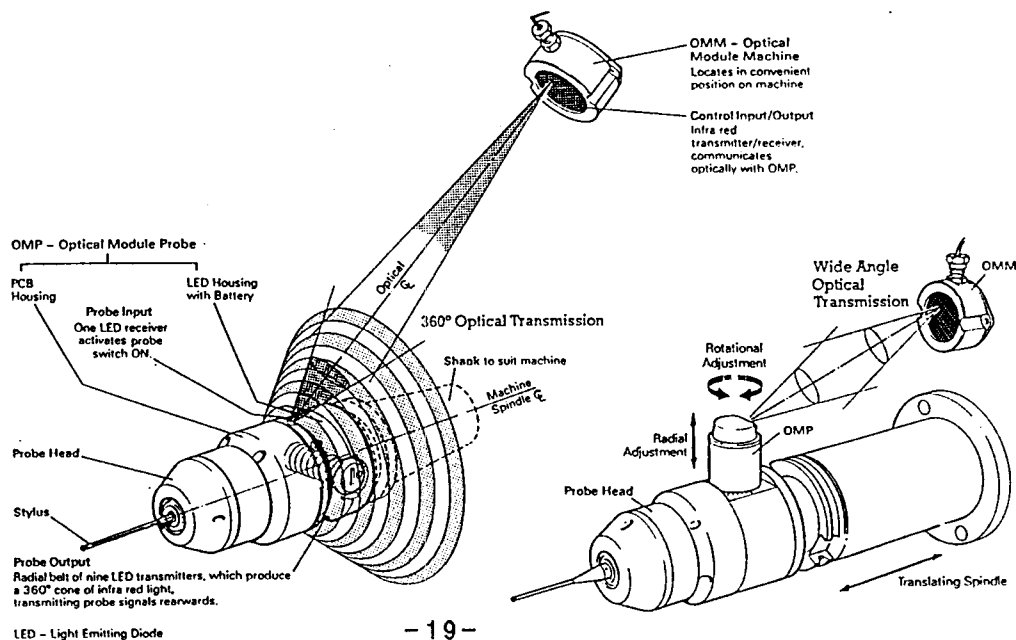
- souřadnicové měřicí stroje v automatizovaných nebo pružných výrobních systémech

Automatizované souřadnicové měřicí stroje umožňující měření obrobků v CNC režimu podle programu, získaného obvykle v samoučícím režimu při proměřování prvního kusu. Tyto stroje musí být vybaveny možností automatické výměny měřících doteků a možností napojení na transportní a řídicí systém výrobního úseku.

- měřicí roboty

V podstatě to jsou souřadnicová měřidla konstruovaná podle druhu použití v nejrůznějších koncepcích a obvykle zabudovaná přímo do výrobních linek. Vzhledem k lehčí konstrukci než mají souřadnicové měřicí stroje, mohou používat vyšší posuvové rychlosti, čímž se zkracují časy kontrolních operací. Z hlediska přesnosti jsou srovnatelné se souřadnicovými měřicími přístroji střední a nižší kvality.

obr. č. 13 Na obrázku jsou znázorněny měřicí sondy s optickým přenosem signálu. Jako další způsob přenosu se používá indukční přenos nebo propojení kabelem.



4.1 Měřicí doteky mechanické:

Mechanických doteků je velké množství. Bývají ve tvaru hrotů, válců, koulí, kuželíků a speciální. Liší se také délkou. (obr. č. 14, 15 a 16)

použití pro:

měření ve směru osy nástroje:

- 1) vyrovnání referenčního povrchu obrobku s rovinou stroje
- 2) měření vzdálenosti povrchu
- 3) měření rovnoběžnosti a rovinnosti povrchů
- 4) měření úhlu (sklonu) povrchů

měření ve směru kolmém k ose nástroje:

- 1) určení středu otvoru
- 2) vyrovnání středních otvorů s některou z os nástroje
- 3) měření průměrů
- 4) měření mezosových vzdáleností
- 5) měření vzdálenosti mezi středem otvoru a povrchem

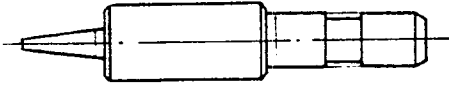
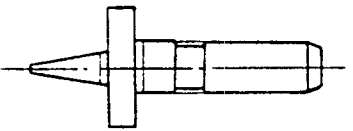
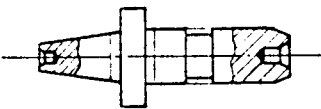
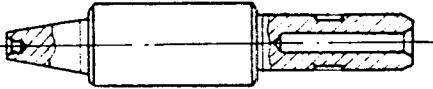
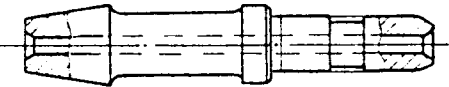
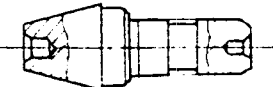
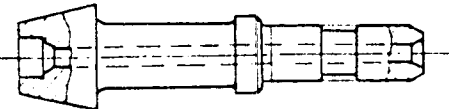
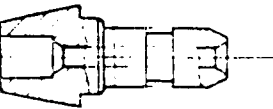
4.2 Měřicí doteky elektronické:

Jsou určeny především pro měření průměrů a mezosových vzdáleností. Měření je nenáročné, rychlé a dostatečně přesné. Tato zařízení mohou pracovat na principu rozpojení vnitřního elektrického obvodu při najetí na měřený předmět (obr. č. 17) nebo měření odchylky indukčnosti (např. diferenciálního transformátoru) nebo využívají piezoelektrického jevu.

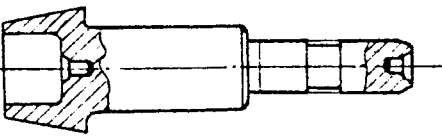
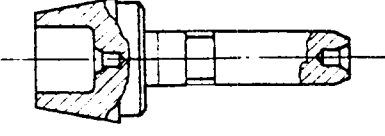
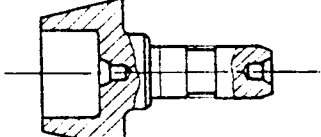
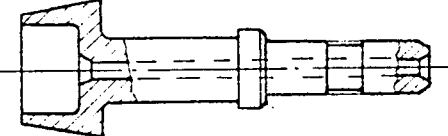
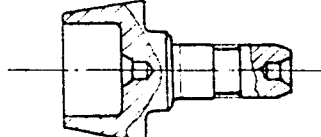
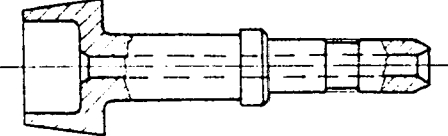
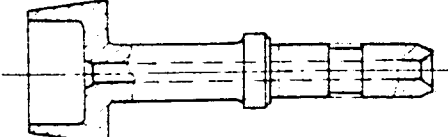
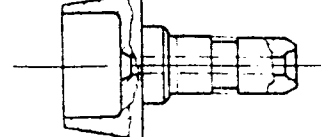
4.3 Měřicí zařízení optická:

Jde o promítací mikroskop. Používá se pro vymezení poloh bodů v rovině kolmé k ose nástroje. (obr. č. 18)

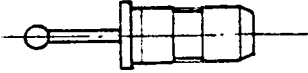
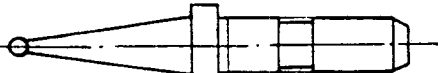




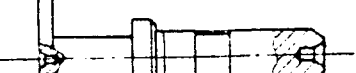
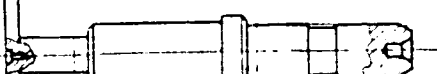
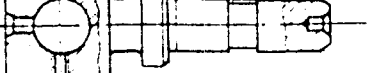
- 1) pro postupné přejíždění rozměrů nebo snímání bodů z výkresu
- 2) pro měření polohy a průměru otvorů (menších rozměrů)
- 3) pro seřizování obrobku podle orýsovaných souřadnic nitkovým křížem mikroskopu

N Á Z E V	V Y O B R A Z E N Í - M 1	P O U Ž I T Í
Dotek kuželový ø 1		Měření roztečí děr od 2 mm do 12 mm
Dotek kuželový ø 1		Měření roztečí děr od 2 mm do 12 mm
Dotek kuželový ø 10		Měření roztečí děr od 10 mm do 21 mm
Dotek kuželový ø 10		Měření roztečí děr od 10 mm do 21 mm
Dotek kuželový ø 19		Měření roztečí děr od 20 mm do 30 mm
Dotek kuželový ø 19		Měření roztečí děr od 20 mm do 30 mm
Dotek kuželový ø 28		Měření roztečí děr od 29 mm do 39 mm
Dotek kuželový ø 28		Měření roztečí děr od 29 mm do 39 mm

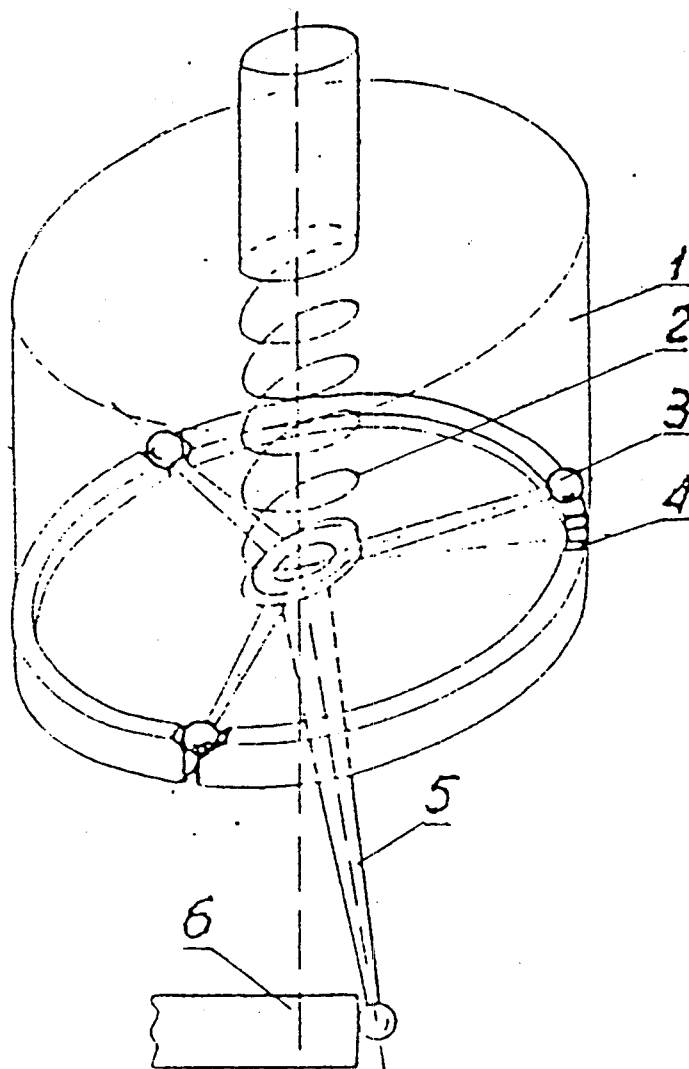
obr. č. 14

N Á Z E V	V Y O B R A Z E N Í - M 2	P O U Ž I T Í
Dotek kuželový ø 37		Měření roztečí děr od 38 mm do 48 mm
Dotek kuželový ø 37		Měření roztečí děr od 38 mm do 48 mm
Dotek kuželový ø 46		Měření roztečí děr od 47 mm do 57 mm
Dotek kuželový ø 46		Měření roztečí děr od 47 mm do 57 mm
Dotek kuželový ø 55		Měření roztečí děr od 56 mm do 66 mm
Dotek kuželový ø 55		Měření roztečí děr od 56 mm do 66 mm
Dotek kuželový ø 64		Měření roztečí děr od 65 mm do 75 mm
Dotek kuželový ø 64		Měření roztečí děr od 65 mm do 75 mm

obr. č. 15

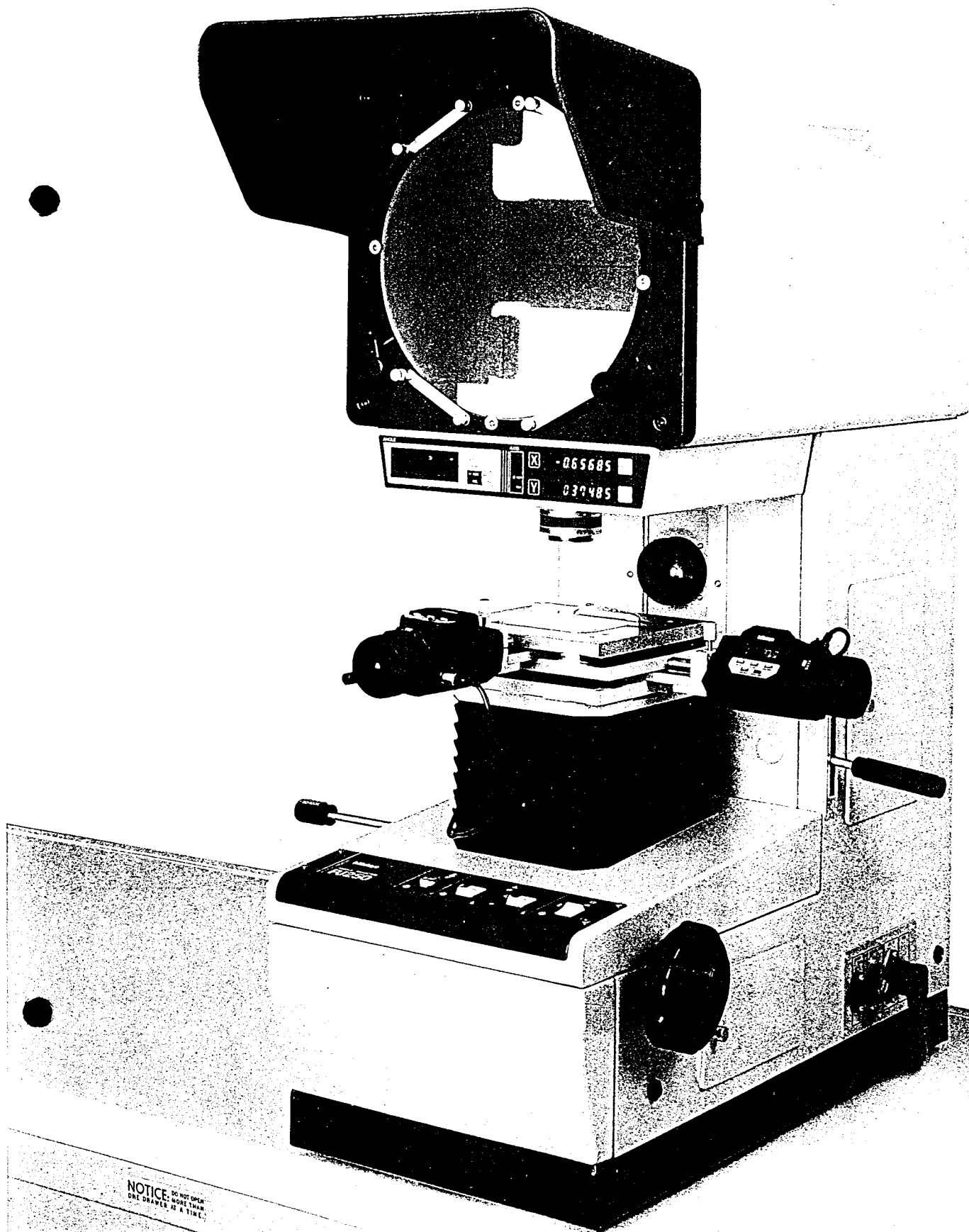
N Á Z E V	V Y O B R A Z E N Í - M 3	P O U Ž I T Í
Dotek kulový ø 10		Měření vnitřních a vnějších vzdálenos- tí roztečí otvorů, středů radiusů
Dotek kulový ø 10		Měření vnitřních a vnějších vzdálenos- tí roztečí otvorů, středů radiusů
Dotek válcový ø 10		Měření rovin a ploch
Dotek válcový ø 10		Měření rovin a ploch
Dotek válcový ø 30		Měření rovin a ploch
Dotek válcový ø 30		Měření rovin a ploch
Dotek talířový ø 50		Měření drážek
Dotek talířový ø 50		Měření drážek
Dotek Držák		Úhlový držák

obr. č. 16



1. Těleso sondy
2. Přítlačná pružina
3. Tříbodový kříž spojený s měřícím dotekem
4. Dělený kroužek
5. Měřící dotek
6. Měřená součást

Elektrický obvod je tvořen tříbodovým křížem a kroužkem umístěným ve spodu sondy. Pružina přitlačuje kříž na kroužek, a tím uzavírá elektrický obvod. V případě najetí měřícího doteku na měřenou součást dojde k rozpojení elektrického obvodu.



obr. č. 18

4.4 Odměřovací systémy:

Požadavky:

přesnost v	0,0001	0,001	0,01 mm
na rozsah délek	1	10	100 m

Přírůstkové:

Údaj o poloze vzniká sčítáním přírůstků dráhy od zvoleného počátku. Používají se lineární a rotační fotoelektrické systémy. Při odměřování je využívána "moaré interference", která je opticky snímána a dále převáděna na elektrický signál (obr. č. 19). Přesnost odměřování až v 0,0001mm.

Absolutní:

V každém místě podává úplnou informaci o poloze. Používají se resolvery a indukotosyny. Odměřování je založeno na principu snímání fázového posunutí napájecího a indukovaného napětí ve vinutí rotoru. Přesnost odměřování v 0,001mm.

Podrobnější popis odměřovacích systémů uvádí např. [5].

obr. č. 19

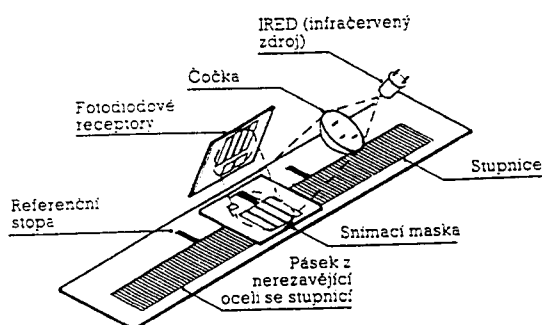
Lineární difrakční stupnice jsou po 100 μm nebo po 20 μm podle typu snímače.

Generované signály jsou zesíleny elektronickým obvodem vestavěným do čtecí hlavy.

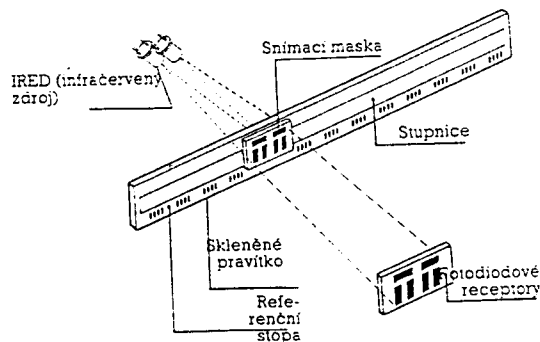
Elektrické signály se přivádějí do měřicího nebo řídicího systému vícevodičovým stíněným kabelem uloženým v ohebné kovové trubce s povlakem z plastické hmoty, která jej chrání proti poškození.

Symetrická konstrukce snímačů umožňuje jejich umístění na stroji tak, aby kabel k měřicímu nebo řídicímu systému mohl vycházet ze čtecí hlavy libovolným směrem.

Řada FS a FT



Řada MT, MC, MVT, MVC, MVO, CT, CC, CVT, CVC a CVS



5. SOUŘADNICOVÝ MĚŘÍCÍ STROJ XYZ 464 S MICRO 900

Pracovní prostředí:

teplota - $20^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$

prostředí - bezprašné, suché, bez otřesů

Parametry:

přímost osy X = 0,01/400 mm

kolmost os X a Y = 0,007/600 mm

kolmost osy Z k rovině XY = 0,008/400 mm

rovnoběžnost roviny XY s pracovní plochou = 0,015 mm

opakovatelnost měření = 0,01 mm

přesnost v ose X = $(4 + L/150) \mu\text{m}$

přesnost v ose Y = $(5 + L/150) \mu\text{m}$

přesnost v ose Z = $(3 + L/150) \mu\text{m}$

max. hmotnost obrobku = 150 kg

hmotnost stroje = 550 kg

Rozsah souřadnic:

X = 400 mm

Y = 600 mm

Z = 400 mm

Provozní módy:

I. Základní mód

- na displeji se zobrazuje informace o poloze souřadnic souřadnicového měřicího přístroje

II. Procesorový mód

- data mohou být zpracována počítačem s opravou na nevyrovnání součásti do os stroje, kompenzací poloměru doteku snímače a podobně.

5.1 Práce v základním módu:

Stiskem tlačítka RESET nastavíme referenční bod, tlačítkem PRESET nastavíme počátek systému. Na displeji se budou zobrazovat souřadnice vztažené k referenčnímu nebo počátečnímu bodu v každé ose. Hodnotu na displeji lze kompenzovat na poloměr nebo průměr doteku snímače.

5.2 Práce v procesorovém módu:

Na displeji je základní nabídka:

R - OFF	REPEAT - START, CONT
MEANS	PRINT
POSN	DATUM
DISPLAY	SET

R-OFF - stiskem tlačítka se zapíná nebo vypíná zaznamenávání sledu stisknutí tlačítek, které může být použito v opakovací smyčce programu.

MEANS - stiskem tlačítka se přejde do módu měření. Na displeji se se zobrazí měřící nabídka programu.

PNT	MID - PNT
PNT - NC	LN - LN
CIRCLE	LINE
SPHERE	PCD

PNT (PNT-NC) - BOD

Měření bodu. Bod leží na povrchu doteku snímače. U volby PNT-NC se souřadnice kompenzují na poloměr použitého doteku.

CIRCLE - KRUH

Měření průměru a středu kruhu ze 3 až 30 měřených bodů.

SPHERE - KOULE

Měření průměru a středu koule ze 4 až 30 měřených bodů.

MID-PNT - STŘEDOVÝ BOD

Vypočítává středový bod mezi dvěma posledními měřenými hodnotami. Středový bod je zaznamenán do paměti, ale body, z nichž byl vypočítán, se ztratí.

LN-LN - PŘÍMKA-PŘÍMKA

Vypočítává průsečík dvou přímek.

LINE - PŘÍMKA

Vypočítává přímku definovanou v měřící rovině z kompatibilních hodnot tj. buď změřených a posunutých o poloměr měřícího dotyku nebo z vypočtených bodů (např. kruhu, koule, průsečíku přímek).

PCD - PRŮMĚR ROZTEČNÉ KRUŽNICE

Umožňuje přiřazení dříve zvoleného počtu kruhů ke kružnici. Lze změřit až 32 kruhů a z jejich středů vypočítat roztečnou kružnici.

POSN - stiskem tlačítka se vyvolá zobrazení používaných jednotek a poloha středu používaného měřicího doteku v souřadném systému měřeného dílu a souřadnice vztažené k referenčnímu bodu os X,Y,Z.

DISPLAY - stiskem tlačítka se vyvolá zobrazení měřené hodnoty, hodnoty tolerancí a úchylek.

REPEAT-START, CONT - stiskem tlačítka zapneme provádění programové smyčky.

PRINT - stiskem tlačítka se vyvolá obsluha pro vytisknutí hodnot měření.

DATUM - stiskem tlačítka vyvoláme metody pro nastavení (přenastavení, obnovení) referenčního bodu. Další měření se budou vztahovat k nově nastavenému referenčnímu bodu.

SET - stiskem tlačítka se umožní přístup ke skupině příkazů použitých při přípravě měření (vyrovnání součásti, volba pracovní roviny, měřicího doteku, apod.).

Poznámka: MICRO 900 má tzv. zásobníkovou paměť, do které je možné zaznamenat tři naměřené hodnoty. Z toho vyplývá, že pokud změříme čtvrtou hodnotu, první hodnota se automaticky ztratí. V případě výpočtu hodnoty z předchozích dvou hodnot uložených v paměti se tyto ztratí, ukazatel zásobníku se sníží o dvě, a nově vypočtená hodnota se zapíše na tuto pozici.

6. METODY VYHODNOCOVÁNÍ MĚŘENÍ NA POČÍTAČI

Zde jsou ukázána některá analytická řešení geometrických útvarů, která jsou jednoznačně určena (přímka, kružnice, rovina, koule) a v závěru jsou naznačeny postupy řešení při skutečném měření. Pro úplnost je ukázán výpočet nejběžnějších hodnot (průsečík, vzdálenost, úhel), potřebný k dalším výpočtům.

Použité symboly:

P_i	- i-tý bod určený souřadnicemi a_{ij}
a_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého bodu
m, n, p	- souřadnice středového bodu (středu)
τ	- úhel
V_i	- i-tý polohový vektor
N_i	- i-tý normálový vektor
n_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého normálového vektoru
S_i	- i-tý směrový vektor
s_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého směrového vektoru
A_i, B_i, C_i, D_i	- i-té koeficienty roviny
I, J, K	- jednotkové vektory souřadných os
δ	- vzdálenost
x, y, z	- souřadnice bodu

6.1 PŘÍMKA

- Definována dvěma body P_1 a P_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit rovnici přímky.

Pro vektorové vyjádření přímky platí:

$$V_i = V_1 + t(V_2 - V_1) \quad (1.1)$$

$$S_1 = V_2 - V_1 \quad (1.2)$$

t - parametr

$$s_{11} = a_{21} - a_{11} ; \quad s_{12} = a_{22} - a_{12} ; \quad s_{13} = a_{23} - a_{13} \quad (1.3)$$

Přímka je tedy jednoznačně určena jedním bodem a směrovým vektorem přímky. Rovnice přímky je pak ve tvaru:

$$V_i = a_{11}I + a_{12}J + a_{13}K + t * S_1 \quad (1.4)$$

6.2 ROVINA

- Definována třemi body P_1 , P_2 a P_3 v prostoru.
- Úkolem je stanovit rovnici roviny.

Pro vektorové vyjádření platí:

$$(V_1 - V_1)(V_1 - V_2)(V_1 - V_3) = 0 \quad (2.1)$$

Tento smíšený součin vyjádříme ve tvaru determinantu:

$$\begin{vmatrix} x - a_{11} & y - a_{12} & z - a_{13} \\ x - a_{21} & y - a_{22} & z - a_{23} \\ x - a_{31} & y - a_{32} & z - a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad (2.2)$$

Z toho dostaneme determinant: [8]

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 1 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.3)$$

Dále platí, že algebraické doplňky prvků prvního řádku posledního determinantu jsou rovny koeficientům hledané roviny.

$$\begin{aligned} A_1 &= a_{12}a_{23} + a_{22}a_{33} + a_{32}a_{13} - a_{32}a_{23} - a_{12}a_{33} - a_{22}a_{13} \\ B_1 &= a_{11}a_{23} + a_{21}a_{33} + a_{31}a_{13} - a_{31}a_{23} - a_{11}a_{33} - a_{21}a_{13} \\ C_1 &= a_{11}a_{22} + a_{21}a_{32} + a_{31}a_{12} - a_{31}a_{22} - a_{11}a_{32} - a_{21}a_{12} \\ D_1 &= a_{11}a_{22}a_{33} + a_{21}a_{32}a_{13} + a_{31}a_{12}a_{23} - \\ &\quad a_{31}a_{22}a_{13} - a_{11}a_{32}a_{13} - a_{21}a_{12}a_{33} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Hledaná rovina je ve tvaru:

$$A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0 \quad (2.6)$$

6.3 KRUŽNICE

- Definována třemi body P_1 , P_2 a P_3 v některé z rovin xy , yz , xz .
- Úkolem je zjistit průměr a souřadnice středu kružnice.

Platí:

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 = r^2 \quad (3.1)$$

Obecně můžeme napsat:

$$(a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 = r^2 \quad (3.2)$$

Pak pro jednotlivé body platí:

$$\begin{aligned} (a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 &= r^2 \\ (a_{21} - m)^2 + (a_{22} - n)^2 &= r^2 \\ (a_{31} - m)^2 + (a_{32} - n)^2 &= r^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Řešením těchto rovnic získáme vztahy pro:

$$n = \frac{(a_{31}^2 + a_{32}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) * (a_{21} - a_{11}) - (a_{21}^2 + a_{22}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) * (a_{31} - a_{11})}{2 * [(a_{32} - a_{12}) * (a_{21} - a_{11}) - (a_{22} - a_{12}) * (a_{31} - a_{11})]} \quad (3.4)$$

$$m = \frac{(a_{31}^2 + a_{32}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) - 2 * n * (a_{32} - a_{12})}{2 * (a_{31} - a_{11})}$$

Poloměr kružnice vypočítáme z jedné ze tří rovnic (3.3):

$$r = \sqrt{(a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2} \quad (3.5)$$

6.4 KOULE

- Definována čtyřmi body P_1, P_2, P_3 a P_4 v prostoru.
- Úkolem je zjistit průměr a souřadnice středu koule.

Platí:

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 + (z - p)^2 = r^2 \quad (4.1)$$

Obecně můžeme napsat:

$$(a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 + (a_{13} - p)^2 = r^2 \quad (4.2)$$

Pak pro jednotlivé body platí:

$$\begin{aligned} (a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 + (a_{13} - p)^2 &= r^2 \\ (a_{21} - m)^2 + (a_{22} - n)^2 + (a_{23} - p)^2 &= r^2 \\ (a_{31} - m)^2 + (a_{32} - n)^2 + (a_{33} - p)^2 &= r^2 \\ (a_{41} - m)^2 + (a_{42} - n)^2 + (a_{43} - p)^2 &= r^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Řešením těchto rovnic získáme vztahy pro:

$$n = \frac{(K7 * K4) - (K6 * K5)}{(K8 * K7) - (K9 * K6)}$$

$$m = \frac{K4 - (n * K8)}{K6} \quad (4.4)$$

$$p = \frac{K1 - m * (a_{11} - a_{21}) - n * (a_{12} - a_{22})}{a_{13} - a_{23}}$$

$$\begin{aligned} K9 &= (a_{32} - a_{42})(a_{13} - a_{33}) - (a_{12} - a_{32})(a_{33} - a_{43}) \\ K8 &= (a_{32} - a_{42})(a_{13} - a_{23}) - (a_{12} - a_{22})(a_{33} - a_{43}) \\ K7 &= (a_{31} - a_{41})(a_{13} - a_{33}) - (a_{11} - a_{31})(a_{33} - a_{43}) \\ K6 &= (a_{31} - a_{41})(a_{13} - a_{23}) - (a_{11} - a_{21})(a_{33} - a_{43}) \\ K5 &= (a_{13} - a_{33}) * K2 - (a_{33} - a_{43}) * K1 \\ K4 &= (a_{13} - a_{23}) * K2 - (a_{33} - a_{43}) * K3 \\ K3 &= (a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 - a_{31}^2 - a_{32}^2 - a_{33}^2) / 2 \\ K2 &= (a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2 - a_{41}^2 - a_{42}^2 - a_{43}^2) / 2 \\ K1 &= (a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 - a_{21}^2 - a_{22}^2 - a_{23}^2) / 2 \end{aligned}$$

Poloměr koule vypočítáme z jedné ze čtyř rovnic (4.3):

$$r = \sqrt{[(a_{11} - m)^2 - (a_{12} - n)^2 - (a_{13} - p)^2]} \quad (4.5)$$

6.5 PRŮSEČÍK PŘÍMKA-PŘÍMKA, PŘÍMKA-ROVINA, ROVINA-ROVINA

- Průsečík přímka-přímka

- Definován dvěma různoběžnými přímkami P_1, S_1 a P_2, S_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit souřadnice průsečíku přímek.

Platí:

$$V_1 + t_1 S_1 = V_2 + t_2 S_2 \quad (5.1)$$

t_1, t_2 - parametr

Obecně můžeme napsat:

$$\begin{aligned} a_{11} + t_1 s_{11} &= a_{21} + t_2 s_{21} \\ a_{12} + t_1 s_{12} &= a_{22} + t_2 s_{22} \\ a_{13} + t_1 s_{13} &= a_{23} + t_2 s_{23} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Dále vypočítáme průsečík průmětů přímek v některé z rovin xy, yz, xz . V dané rovině nesmí být průměty přímek rovnoběžné.

$$t_1 = \frac{(a_{22} - a_{12}) * s_{21} - (a_{21} - a_{11}) * s_{22}}{s_{12} * s_{21} - s_{11} * s_{22}} \quad (5.3)$$
$$t_2 = \frac{(a_{22} - a_{12}) * s_{11} - (a_{21} - a_{11}) * s_{12}}{s_{12} * s_{21} - s_{11} * s_{22}}$$

Rozdíl z-ových souřadnic možného průsečíku:

$$\mu = (a_{13} + t_1 s_{13}) - (a_{23} + t_2 s_{23}) \quad (5.4)$$

Je-li $|\mu| > 0$, pak jsou přímky mimoběžné.

Je-li $\mu = 0$, pak hledaný průsečík je určen souřadnicemi:

$$a_{1j} = a_{1j} + t_1 s_{1j} \quad (5.5)$$

- Průsečík přímka-rovina

- Definován přímkou P_1 , S_1 a rovinou N_2 , D_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit souřadnice průsečíku.

Platí: [7]

$$\begin{aligned} N_2 * V_1 + D_2 &= 0 \\ N_2 * (a_1 + t * S_1) + D &= 0 \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$t = \frac{-D_2 - (n_{11}a_{11} + n_{12}a_{12} + n_{13}a_{13})}{n_{11}s_{11} + n_{12}s_{12} + n_{13}s_{13}} \quad (6.2)$$

Jestliže $N_i * S_i = 0$, pak je přímka rovnoběžná s rovinou.
Jinak pro souřadnice průsečíku platí:

$$a_{ij} = a_{1j} + t * s_{1j} \quad (6.3)$$

- Průsečík rovina-rovina

- Definován dvěma rovinami N_1 , D_1 a N_2 , D_2 v prostoru.
- Úkolem je určit rovnici průsečnice rovin.

$$\text{Jsou-li roviny rovnoběžné, pak platí } N_1 = k * N_2. \quad (7.1)$$

$$\text{Pro směrový vektor průsečnice platí: } S_1 = N_1 \times N_2 \quad (7.2)$$

$$\begin{aligned} s_{11} &= n_{12} * n_{23} - n_{13} * n_{22} \\ s_{12} &= n_{13} * n_{21} - n_{11} * n_{23} \\ s_{13} &= n_{11} * n_{22} - n_{12} * n_{21} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Libovolný bod průsečnice určíme řešením soustavy rovnic rovin pro $z = 0$.

$$a_{11} = \frac{B_1 * D_2 - B_2 * D_1}{A_1 * B_2 - A_2 * B_1}; \quad a_{12} = \frac{-A_1 * a_{11} - D_1}{B_1}; \quad a_{13} = 0 \quad (7.4)$$

Průsečnice je určena bodem P_1 a směrovým vektorem S_1 .

6.6 VZDÁLENOST BOD-BOD, BOD-PŘÍMKA, BOD-ROVINA

- Vzdálenost bod-bod

- Definována dvěma body P_1 a P_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit vzdálenost těchto bodů.

Platí:

$$\delta = \sqrt{[(a_{21} - a_{11})^2 + (a_{22} - a_{12})^2 + (a_{23} - a_{13})^2]} \quad (8.1)$$

- Vzdálenost bod-přímka

- Definována bodem P_1 a přímkou P_2, S_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit vzdálenost mezi nimi.

Platí:

$$\delta = \frac{|V_2 \times S_2|}{|S_2|} \quad (9.1)$$

V_2 - směrový vektor určený zadaným bodem a bodem přímky

$$\delta = \frac{\sqrt{[(V_2 S_{13} - V_3 S_{12}) + (V_3 S_{11} - V_1 S_{13}) + (V_1 S_{12} - V_2 S_{11})]}}{\sqrt{[S_{11}^2 + S_{12}^2 + S_{13}^2]}} \quad (9.2)$$

$$V_1 = a_{11} - a_{11} ; \quad V_2 = a_{12} - a_{12} ; \quad V_3 = a_{13} - a_{13} \quad (9.3)$$

- Vzdálenost bod-rovina

- Definována bodem P_1 a rovinou N_2, D_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit vzdálenost mezi nimi.

Platí:

$$\delta = \frac{A_2 a_{11} + B_2 a_{12} + C_2 a_{13} + D_2}{\sqrt{[A_2^2 + B_2^2 + C_2^2]}} \quad (10.1)$$

6.7 ÚHEL DVOU PŘÍMEK, ROVIN

- Úhel dvou přímek

- Definován dvěma přímkami P_1, S_1 a P_2, S_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit úhel mezi nimi.

Platí:

$$\cos \tau = \frac{S_1 * S_2}{|S_1| * |S_2|} \quad (11.1)$$

$$\cos \tau = \frac{s_{11} * s_{12} + s_{21} * s_{22} + s_{31} * s_{32}}{\sqrt{[s_{11}^2 + s_{12}^2 + s_{13}^2]} * \sqrt{[s_{21}^2 + s_{22}^2 + s_{23}^2]}} \quad (11.2)$$

$$\tau = \arccos \tau \quad (11.3)$$

- Úhel dvou rovin

- Definován dvěma rovinami N_1, D_1 a N_2, D_2 v prostoru.
- Úkolem je stanovit úhel mezi nimi.

Platí:

$$\cos \tau = \frac{N_1 * N_2}{|N_1| * |N_2|} \quad (12.1)$$

$$\cos \tau = \frac{n_{11} * n_{12} + n_{21} * n_{22} + n_{31} * n_{32}}{\sqrt{[n_{11}^2 + n_{12}^2 + n_{13}^2]} * \sqrt{[n_{21}^2 + n_{22}^2 + n_{23}^2]}} \quad (12.2)$$

$$\tau = \arccos \tau \quad (12.3)$$

Abychom získali objektivní informaci o rozměru nebo tvaru měřené součásti, docházíme k situaci, že dostaneme více změřených bodů, než je potřeba k jednoznačnému určení geometrického útvaru např. u kružnice to jsou tři body.

Každý si jistě umí představit, že všechny naměřené body nebudou splňovat podmínky řešení metodami analytické geometrie z důvodu nepřesné výroby nebo chyby v odměřování. Tyto metody tudíž nemůžeme použít. Úkolem tedy je, proložit změřenými body hledaný geometrický útvar tak, aby odchylka od skutečnosti byla minimální. Řešení je v použití některé z metod aproximace funkcí.

Při rozhodování, kterou metodu použijeme musíme uvážit, jakou chybu můžeme připustit ve výsledku a jak rychle můžeme řešení danou metodou vypočítat. [9]

Typy aproximací zásadní důležitosti: [9]

1. interpolační aproximace: v bodech x_i , $i=1..p$, souhlasí hodnoty aproximační funkce a jejich prvních r_i derivací s hodnotami funkce $f(x)$ a jejich příslušných derivací.
2. aproximace metodou nejmenších čtverců: účelem je minimalizovat integrál čtverce rozdílu mezi $f(x)$ a příslušnou aproximací v intervalu $\langle a, b \rangle$ nebo jen minimalizovat součet čtverců chyb na diskrétní množině bodů z $\langle a, b \rangle$.
3. Čebyševova aproximace: cílem je minimalizovat maximum absolutní hodnoty rozdílu mezi $f(x)$ a její aproximací v intervalu $\langle a, b \rangle$.

Zde jsou uvedeny příklady měření vzorové součásti ručně na souřadnicovém měřicím stroji XYZ 464 s MICRO 900 a v CNC režimu na souřadnicovém měřicím stroji DEA - IOTA, a jako příklad měření profilu, měření vačky.

7.1 Měření vzorové součásti

- Ruční měření

Zde je ukázán postup měření bez změřených hodnot. Měření je provedeno pro vzorovou sočást (obr. č. 20) v procesorovém módu MICRO 900. V postupu měření je uvedeno, jak je daný rozměr definován a volba úlohy na MICRO 900. Detailní popis měřicích úloh je v příručce uživatele MICRO 900.

Postup měření:

1. Upnutí součásti na průměrnou desku tak, aby hlavní délkové rozměry přibližně odpovídaly směrům souřadných os měřicího stroje. Za spodní základnu měřené součásti byly zvoleny rozměry A (odpovídá ose X) a C (odpovídá ose Y).
2. Volba měřicích doteků a jejich kalibrace. Zvolena měřicí sonda RENISHAW PH 6 a nastaveno 5 doteků, první v ose Z a čtyři v osách X a Y.
MICRO 900: SET - PD
3. Vyrovnání součásti do souřadných os stroje. Tj. sejmutí tří bodů na horní rovině (ploše) měřené součásti a dvou bodů na jedné z bočních rovin (stěn) měřené součásti XZ nebo YZ.
MICRO 900: SET - LEVEL
4. Nastavení referenčního bodu do jednoho z vrcholů součásti (na obr. č. 20 označen R) sejmutím po jednom bodu v každé ose.
MICRO 900: DATUM - MAS
5. Měření rozměru A.
Definován vzdáleností X-ové souřadnice od počátku.
MICRO 900: MEANS - PNT-NC
6. Měření rozměru B.
Definován vzdáleností Z-ové souřadnice od počátku.
MICRO 900: MEANS - PNT-NC

7. Měření rozměru C.
Definován vzdáleností Y-ové souřadnice od počátku.
MICRO 900: MEANS - PNT-NC
8. Měření rozměru D.
Definován jako Z-ová souřadnice průsečíku P (označen na obr. č. 20) daný dvěma přímkami.
MICRO 900: a) MEANS - LINE (1. přímka)
 b) MEANS - LINE (2. přímka)
 c) MEANS - LN-LN
9. Měření rozměru E.
Definován jako rozdíl rozměru A a X-ové souřadnice průsečíku P.
10. Měření průměru D_2 .
Definován 3-30 změřenými body.
MICRO 900: MEANS - CIRCLE
11. Měření rozměru F.
Definován jako Y-ová vzdálenost středu průměru D_2 od referenčního bodu.
12. Měření průměru D_1 .
Definován 3-30 změřenými body.
MICRO 900: MEANS - CIRCLE
13. Měření rozměru G.
Definován jako rozdíl rozměrů (A-E) a X-ové souřadnice středu průměru D_1 .
14. Měření úhlu φ .
Postupně zjistíme souřadnice průsečíků P, S, T (označeny na obr. č. 20) určené vždy dvěma přímkami. Měření provádíme se zaaretovanou Y-ovou souřadnicí měřicího stroje.
MICRO 900: a) MEANS - LINE (1. přímka)
 b) MEANS - LINE (2. přímka)
 c) MEANS - LN-LN
Úhel pak vypočítáme např. pomocí kosinové věty.
15. Měření úhlovitosti φ .
Úhlovitost φ zjistíme tak, že tangentu rozdílu předepsané hodnoty úhlu a vypočtené hodnoty vynásobíme vzdáleností danou body S a T.
16. Otočení součásti o 180° v ose X.
17. Vyrovnání součásti jako v bodě 3.

18. Měření kolmosti D₂.

Definována jako úchytky X-ové a Z-ové souřadnice středu průměru D₂ měřeného na protější straně otvoru, ve kterém je střed průměru D₂ definován jako referenční bod.

MICRO 900: a) MEANS - CIRCLE

b) DATUM - MAS

c) MEANS - CIRCLE

19. Měření kolmosti D₁.

Definována jako úchytky Y-ové a Z-ové souřadnice středu průměru D₁ měřeného na protější straně otvoru, ve kterém je střed průměru D₁ definován jako referenční bod.

MICRO 900: a) MEANS - CIRCLE

b) DATUM - MAS

c) MEANS - CIRCLE

- Měření v CNC režimu

Vzorová součást (obr. č. 20) byla měřena na souřadnicovém měřicím stroji firmy DEA v CNC režimu po vytvoření měřicího programu uvedeného v příloze č. 1 v samoučicím režimu.

Parametry měřicího stroje DEA - IOTA 1204 D:

rozsah souřadnic - X = 1830 mm

Y = 970 mm

Z = 610 mm

přesnost měření = $(4 + 4 \cdot L/1000)$ μm

teplota měření = 23°C

Postup měření:

1. Upnutí součásti na průměrnou desku tak, aby hlavní délkové rozměry přibližně odpovídaly směřům souřadných os měřicího stroje. Za spodní základnu měřené součásti byly zvoleny rozměry A (odpovídá ose Y) a C (odpovídá ose X).

2. Volba měřících doteků a jejich kalibrace. Zvolena měřící sonda RENISHAW PH 9 a nastaveno 5 doteků, první v ose Z a čtyři v osách X a Y.
3. Vyrovnání součásti do souřadných os stroje. Tj. sejmutí tří bodů na horní rovině (ploše) měřené součásti a dvou bodů na jedné z bočních rovin (stěn) měřené součásti XZ nebo YZ.
4. Nastavení referenčního bodu do jednoho z vrcholů součásti (na obr. č. 20 označen R) sejmutím po jednom bodu v každé ose.
5. Měření rozměru A.
6. Měření rozměru B.
7. Měření rozměru C.
8. Měření rozměru D.
9. Měření rozměru E.
10. Měření průměru D_2 .
11. Měření rozměru F.
11. Měření průměru D_1 .
12. Měření rozměru G.
13. Měření úhlu φ .
14. Měření úhlovitosti φ .
15. Měření kolmosti D_2 .
16. Měření kolmosti D_1 .

Protokol naměřených hodnot je příloze č. 2.

Příkazy použité v programu:

MANMOV	- ruční měření
NCMOV	- NC měření
MOVL	- posuvová rychlost stroje
MEAH	- měřící rychlost stroje
TDEF x; ROTA y ROTB z UPDATE;	- nastavení měřícího doteku
MAC	- přepnutí do souřadného systému stroje
ZX, XY, YZ	- rovina nebo osa měření (kladný smysl osy)
NX, NY, NZ	- záporný směr měření v ose
SKW3D NOR	- vyrovnání do souř. systému měřené součásti
\$XT:= ;\$YT:= ;\$ZT:= ;PICK;	- změřený bod ke zpracování
\$XP:= ;\$YP:= ;\$ZP:= ;MPOS;	- mezípoloha měř. doteku
\$DIRX:= ;\$DIRY:= ; \$DIRZ:= ;	- směr pohybu měřící hlavy
\$DT	- šířka nebo průměr

\$KT	- úhel
\$PTN	- počet snímaných bodů
ON x PRESET	- nastavení referenčního bodu
PLANE	- rovina
LINE	- přímka
HOLE	- kružnice
INTER	- průsečík
CYLIN	- válec
DIST	- vzdálenost
ANG	- úhel
ANGTY	- úhlovitost
SQRNS	- kolmost
EL x	- paměťové místo
EL x MEMO	- uložení na paměťové místo
MEMSKE	- pootočení do souřadnic stroje (vyrovnání)
SHOULD	- naměřený bod (nebude se dále zpracovávat)
OUTVAL x	- tisk zadané hodnoty
PRION	- tisk zapnut
PRIOFF	- tisk vypnut
PRINT	- tisk

7.2 Měření vačky

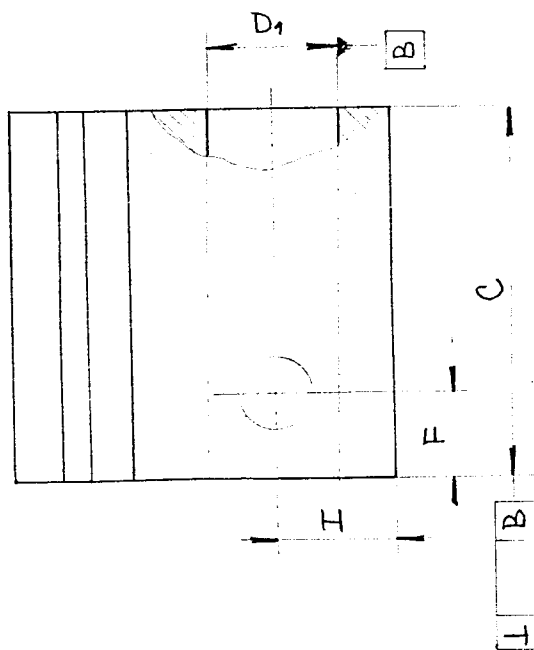
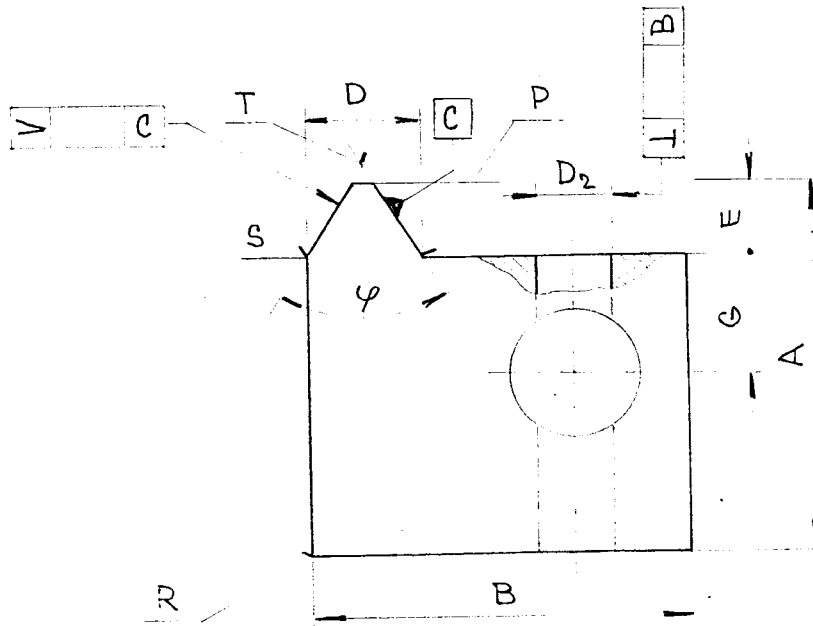
Příklad je proveden pomocí programu KIN - kinematická analýza a syntéza vačkových mechanismů firmy TMsoft Liberec. Tento program je používán ve VÚTS Liberec pro návrh vačkových mechanismů a k vyhodnocování přesnosti vyráběných vaček.

Vyráběná vačka byla pro firmu WEBA Chemnitz. Jedná se o dvojvačkový mechanismus. Příklad obsahuje vyhodnocení řídicí vačky. Dovolená tolerance je 0,03mm.

Postup řešení:

1. Programem KIN se provede syntéza vačky dle požadavku zdvihové závislosti pracovního členu. Tedy ze zadaných analytických vztahů (katalog zdvihových závislostí programu KIN) se vypočtou výrobní souřadnice libovolné ekvidistanty vačky, nejčastěji dráhy středu rolny (obr. č. 21, výpis CNC programu pro výrobu na stroji CF3 švýcarské firmy SIG, řídicí systém ATEC - příloha č. 3).

2. Vlastní měření vačky na souřadnicovém měřicím stroji INSPECTER firmy Olivetti. Tj. vycentrování upínacího otvoru vačky, vyrovnání vačky a nastavení referenčního bodu podle nulového kolíku. Výsledkem měření jsou pravoúhlé souřadnice dráhy měřicí sondy po neekvidistantním kroku (výpis naměřených hodnot převedených do polárních souřadnic - příloha č. 4).
3. Programem KIN se načte datový soubor naměřených hodnot, zadá se příslušný parametr ekvidistanty, tj. rozdíl mezi kladkou a měřicí sondou, dále hodnoty natočení a pravoúhlého posunutí středu vačky.
Program pak provádí vyhodnocení takto:
Pro daný úhel natočení vačky (hodnota z datového souboru naměřených hodnot) je na základě analytické funkce (zdvihová závislost) napočítána teoretická hodnota a ta je porovnávána s naměřenou hodnotou průvodiče po normále a zaznamenána.
4. Konečné vyhodnocení, tj. hledání parametrů natočení a posunutí. Tyto hodnoty se zadávají řízení CNC stroje ke zvýšení jakosti vyráběných vaček (vyhodnocení vačky bez korekcí obr. č. 22, vyhodnocení vačky s korekcemi obr. č. 23).



obr. č. 20

18. Měření kolmosti D₂.

Definována jako úchytky X-ové a Z-ové souřadnice středu průměru D₂ měřeného na protější straně otvoru, ve kterém je střed průměru D₂ definován jako referenční bod.

MICRO 900: a) MEANS - CIRCLE
b) DATUM - MAS
c) MEANS - CIRCLE

19. Měření kolmosti D₁.

Definována jako úchytky Y-ové a Z-ové souřadnice středu průměru D₁ měřeného na protější straně otvoru, ve kterém je střed průměru D₁ definován jako referenční bod.

MICRO 900: a) MEANS - CIRCLE
b) DATUM - MAS
c) MEANS - CIRCLE

- Měření v CNC režimu

Vzorová součást (obr. č. 20) byla měřena na souřadnicovém měřicím stroji firmy DEA v CNC režimu po vytvoření měřicího programu uvedeného v příloze č. 1 v samoučícím režimu.

Parametry měřicího stroje DEA - IOTA 1204 D:

rozsah souřadnic - X = 1830 mm

Y = 970 mm

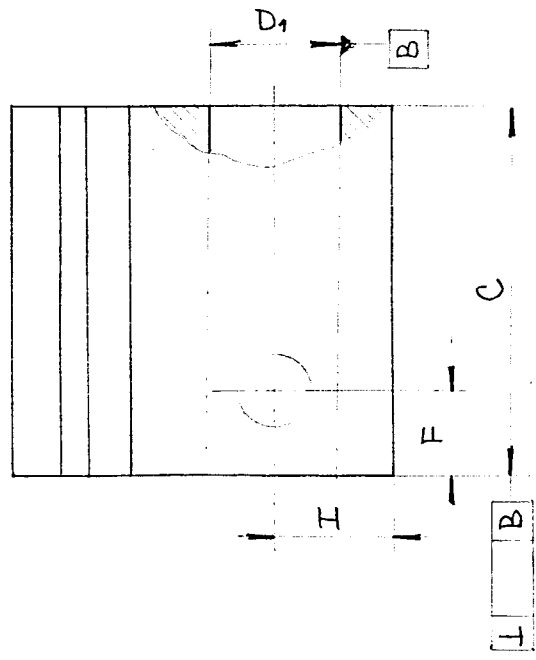
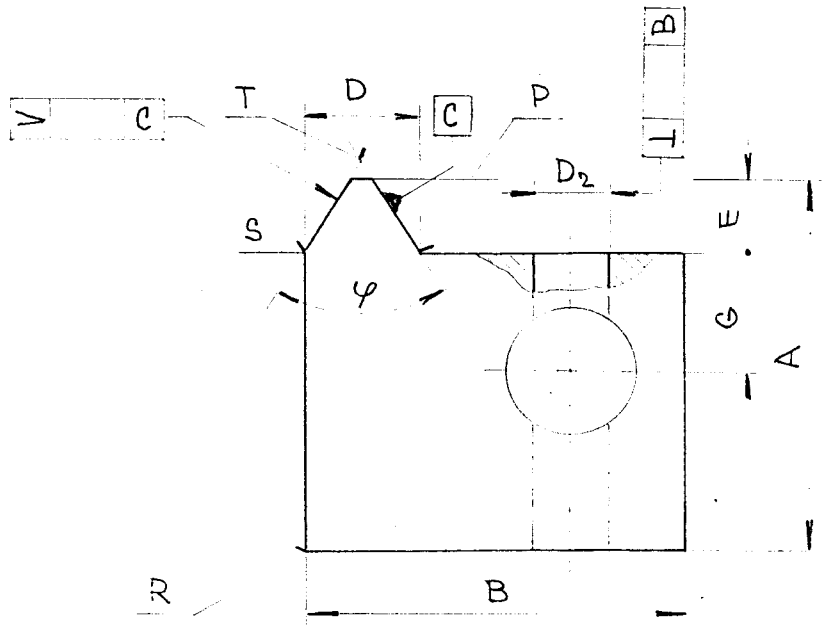
Z = 610 mm

přesnost měření = $(4 + 4 \cdot L / 1000)$ μm

teplota měření = 23°C

Postup měření:

1. Upnutí součásti na průměrnou desku tak, aby hlavní délkové rozměry přibližně odpovídaly směrům souřadných os měřicího stroje. Za spodní základnu měřené součásti byly zvoleny rozměry A (odpovídá ose Y) a C (odpovídá ose X).



obr. č. 20

2. Volba měřících doteků a jejich kalibrace. Zvolena měřicí sonda RENISHAW PH 9 a nastaveno 5 doteků, první v ose Z a čtyři v osách X a Y.
3. Vyrovnání součásti do souřadných os stroje. Tj. sejmutí tří bodů na horní rovině (ploše) měřené součásti a dvou bodů na jedné z bočních rovin (stěn) měřené součásti XZ nebo YZ.
4. Nastavení referenčního bodu do jednoho z vrcholů součásti (na obr. č. 20 označen R) sejmutím po jednom bodu v každé ose.
5. Měření rozměru A.
6. Měření rozměru B.
7. Měření rozměru C.
8. Měření rozměru D.
9. Měření rozměru E.
10. Měření průměru D_2 .
11. Měření rozměru F.
11. Měření průměru D_1 .
12. Měření rozměru G.
13. Měření úhlu φ .
14. Měření úhlovitosti φ .
15. Měření kolmosti D_2 .
16. Měření kolmosti D_1 .

Protokol naměřených hodnot je příloze č. 2.

Příkazy použité v programu:

MANMOV	- ruční měření
NCMOV	- NC měření
MOVL	- posuvová rychlost stroje
MEAH	- měřicí rychlost stroje
TDEF x; ROTA y ROTB z UPDATE;	- nastavení měřicího doteku
MAC	- přepnutí do souřadného systému stroje
ZX, XY, YZ	- rovina nebo osa měření (kladný smysl osy)
NX, NY, NZ	- záporný směr měření v ose
SKW3D NOR	- vyrovnání do souř. systému měřené součásti
\$XT:= ;\$YT:= ;\$ZT:= ;PICK;	- změřený bod ke zpracování
\$XP:= ;\$YP:= ;\$ZP:= ;MPOS;	- mezipoloha měř. doteku
\$DIRX:= ;\$DIRY:= ; \$DIRZ:= ;	- směr pohybu měřicí hlavy
\$DT	- šířka nebo průměr

\$KT	- úhel
\$PTN	- počet snímaných bodů
ON x PRESET	- nastavení referenčního bodu
PLANE	- rovina
LINE	- přímka
HOLE	- kružnice
INTER	- průsečík
CYLIN	- válec
DIST	- vzdálenost
ANG	- úhel
ANGTY	- úhlovitost
SQRNS	- kolmost
EL x	- paměťové místo
EL x MEMO	- uložení na paměťové místo
MEMSKE	- pootočení do souřadnic stroje (vyrovnání)
SHOULD	- naměřený bod (nebude se dále zpracovávat)
OUTVAL x	- tisk zadané hodnoty
PRION	- tisk zapnut
PRIOFF	- tisk vypnut
PRINT	- tisk

7.2 Měření vačky

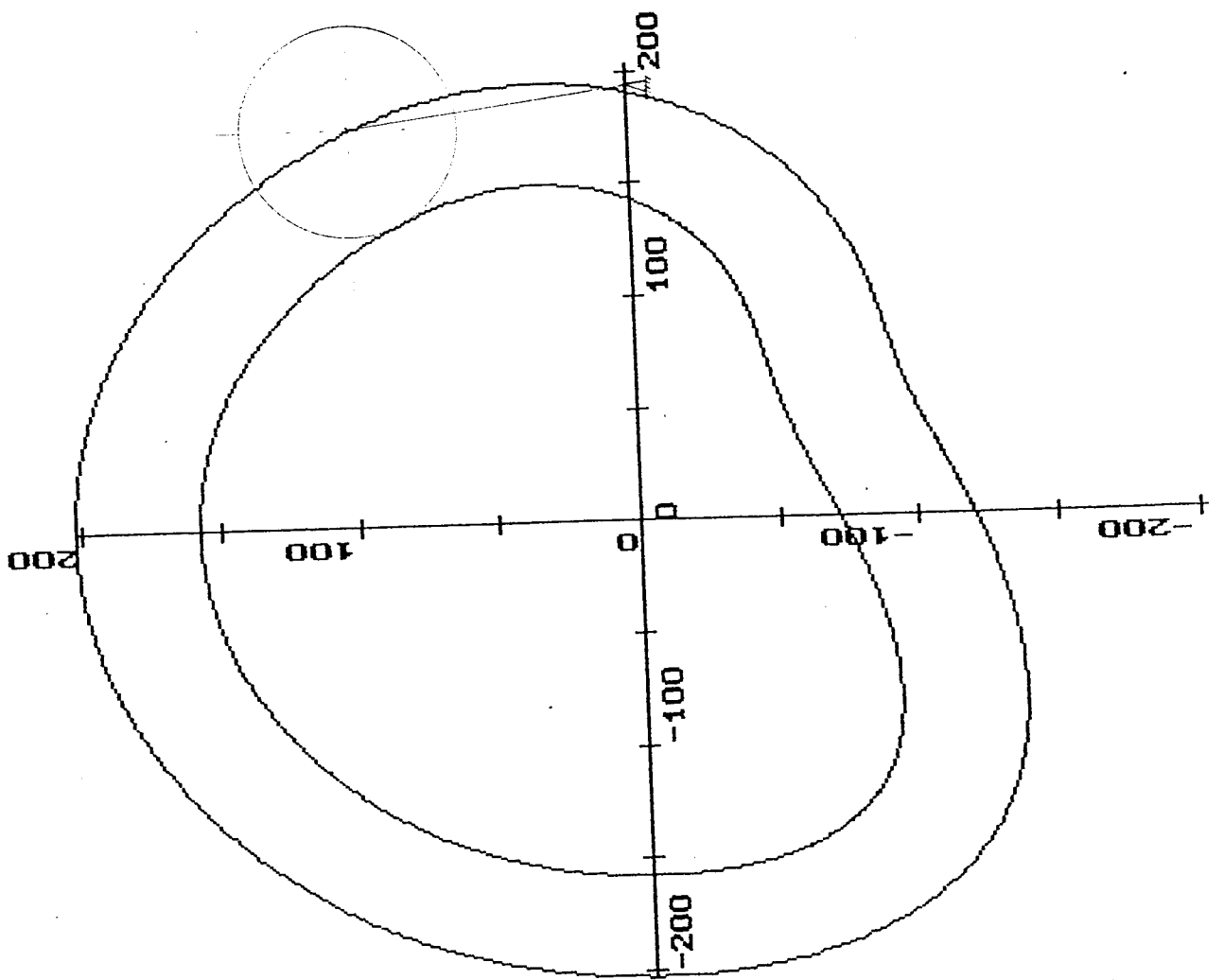
Příklad je proveden pomocí programu KIN - kinematická analýza a syntéza vačkových mechanismů firmy TMsoft Liberec. Tento program je používán ve VÚTS Liberec pro návrh vačkových mechanismů a k vyhodnocování přesnosti vyráběných vaček.

Vyráběná vačka byla pro firmu WEBA Chemnitz. Jedná se o dvojvačkový mechanismus. Příklad obsahuje vyhodnocení řídicí vačky. Dovolená tolerance je 0,03mm.

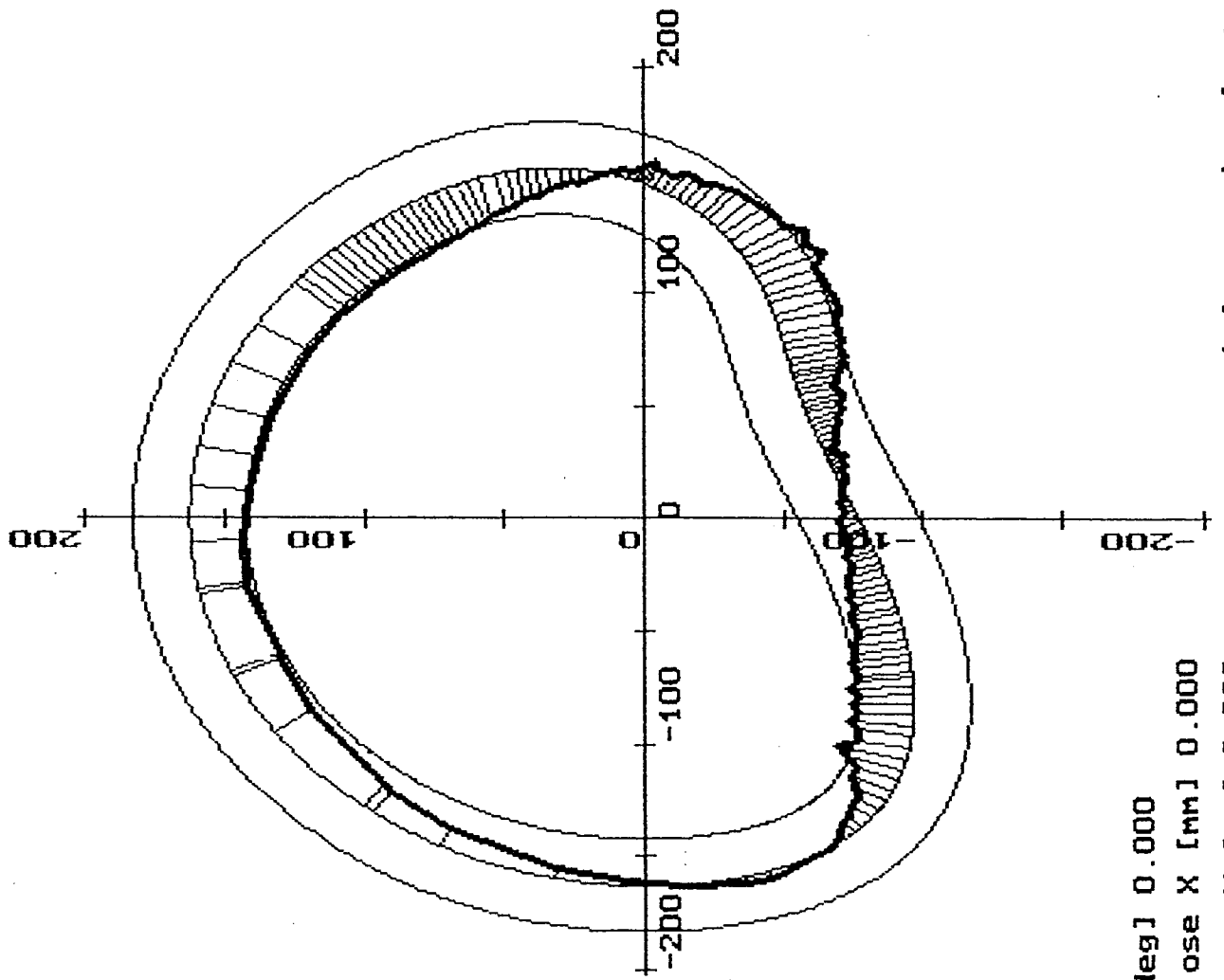
Postup řešení:

1. Programem KIN se provede syntéza vačky dle požadavku zdvihové závislosti pracovního členu. Tedy ze zadaných analytických vztahů (katalog zdvihových závislostí programu KIN) se vypočtou výrobní souřadnice libovolné ekvidistanty vačky, nejčastěji dráhy středu rolny (obr. č. 21, výpis CNC programu pro výrobu na stroji CF3 švýcarské firmy SIG, řídicí systém ATEC - příloha č. 3).

2. Vlastní měření vačky na souřadnicovém měřicím stroji INSPECTER firmy Olivetti. Tj. vycentrování upínacího otvoru vačky, vyrovnání vačky a nastavení referenčního bodu podle nulového kolíku. Výsledkem měření jsou pravoúhlé souřadnice dráhy měřicí sondy po neekvidistantním kroku (výpis naměřených hodnot převedených do polárních souřadnic - příloha č. 4).
3. Programem KIN se načte datový soubor naměřených hodnot, zadá se příslušný parametr ekvidistanty, tj. rozdíl mezi kladkou a měřicí sondou, dále hodnoty natočení a pravoúhlého posunutí středu vačky.
Program pak provádí vyhodnocení takto:
Pro daný úhel natočení vačky (hodnota z datového souboru naměřených hodnot) je na základě analytické funkce (zdvihová závislost) napočítána teoretická hodnota a ta je porovnána s naměřenou hodnotou průvodiče po normále a zaznamenána.
4. Konečné vyhodnocení, tj. hledání parametrů natočení a posunutí. Tyto hodnoty se zadávají řízení CNC stroje ke zvýšení jakosti vyráběných vaček (vyhodnocení vačky bez korekcí obr. č. 22, vyhodnocení vačky s korekcemi obr. č. 23).



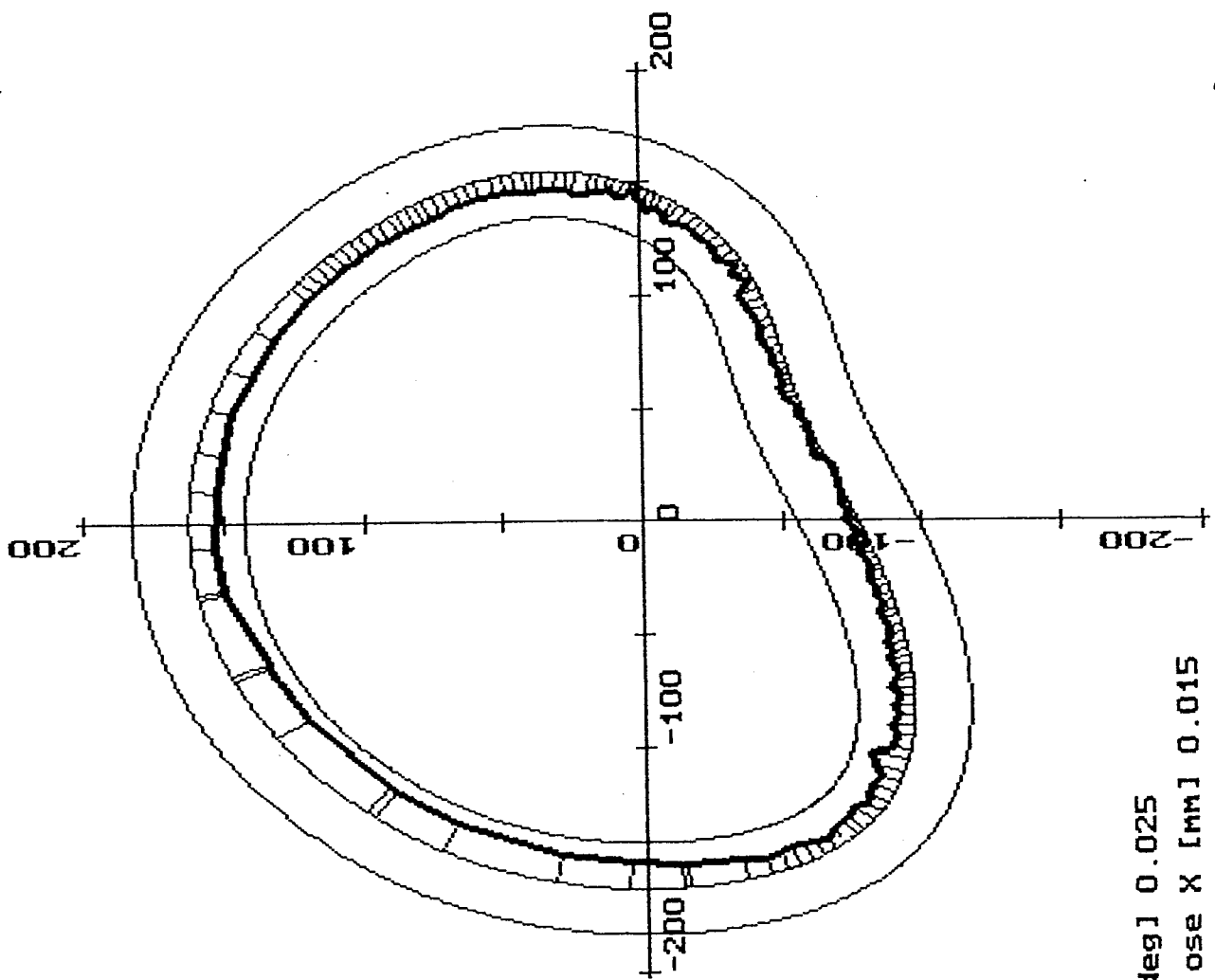
obr. č. 21



natoceni [deg] 0.000
 posunuti v ose X [mm] 0.000
 posunuti v ose Y [mm] 0.000

toleranci pole +/- [mm] 0.030

obr. č. 22



natoceni [deg] 0.025
 posunuti v ose X [mm] 0.015
 posunuti v ose Y [mm] 0.015

toleranci pole +- [mm] 0.030

obr. č. 23

Nejrozšířenější oblastí nasazení souřadnicových měřicích strojů je kontrola skříňových obrobků, u nichž konvenční měřidla nedávají dostatečně přesné výsledky. Souřadnicové měřicí stroje je možno nasadit v nejrůznějším stupni automatizace, od ručního navádění sondy až po plně automatický provoz v CNC režimu. V současné době se také většina výrobců této techniky orientuje především na výrobu zcela automatizovaných souřadnicových měřicích strojů.

Hlavní výhody, které nasazení souřadnicových měřicích strojů přináší:

- Vysoká přesnost, která u špičkových souřadnicových měřicích strojů umožňuje kontrolovat i rozměry s přesností na 0,0001mm.
- Schopnost provádět i velmi složitá měření úchylek tvaru a polohy nebo rozměru.
- Možnost plné automatizace a integrace do výrobního procesu.

Nevýhodou nasazení souřadnicových měřicích strojů jsou vysoké pořizovací náklady.

- [1] Mlčoch, L.: Měření geometrických veličin ve strojírenství, [Souřadnicové měřicí stroje a problémy s počítači].
Sborník, Dům techniky ČSVT Liberec, 1975.
- [2] Griess, V.: Souřadnicové měřicí stroje, [Měřicí technika v automatizovaných výrobních systémech].
Sborník, Dům techniky ČVTS Praha, 1987.
- [3] Budík, J.: Měření geometrických veličin ve strojírenství, [Stupně mechanizace a automatizace souřadnicových měřicích strojů].
Sborník, Dům techniky ČVTS Liberec, 1975.
- [4] TST SOMET Teplice: Návod k obsluze XYZ 643.
- [5] Chvála, B.: Automatizace.
SNTL Praha, 1985.
- [6] Ocmanová, B.: Konstruktivní geometrie, 3.vydání.
Skriptum, VŠST Liberec, 1986.
- [7] Drda, J.: Počítačová grafika, 1.vydání.
Skriptum, Univerzita Palackého Olomouc, 1991.
- [8] Bartsch, H. J.: Matematické vzorce, 2.vydání.
SNTL Praha, 1987.
- [9] Ralston, A.: Základy numerické matematiky.
Academia Praha, 1978.

1. Měřicí program pro měření vzorové součásti v CNC režimu na souřadnicovém měřicím stroji firmy DEA. (str. 52 až 57)
2. Protokol naměřených hodnot vzorové součásti na souřadnicovém měřicím stroji firmy DEA. (str. 58)
3. Výpis CNC programu pro výrobu vačky na stroji CF3 švýcarské firmy SIG, řídicí systém ATEC. (str. 59 až 60)
4. Výpis naměřených hodnot vačky převedených do pólárních souřadnic. (str. 61)

```

MANMOV;
MOVL;
MEAH;
TDEF 1; ROTA .000 ROTB .000 UPDATE;

ZX;MAC;
N 00002;SKW3D NOR;
N 00003;
$DIRX:= .000;$DIRY:= .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:= 708.436;$YT:= -117.902;$ZT:= -202.487;PICK;
$XT:= 864.717;$ZT:= -202.484;PICK;
$XT:= 787.372;$YT:= 12.347;$ZT:= -202.502;PICK;
N 00004;
$DT:= 204.011;$KT:= .000;
PLANE;
MEMSKE;
XY;
N 00005;
NX;
$XT:= 847.952;$YT:= -98.024;$ZT:= -114.987;
SHOULD;
MEMSKE;
N 00006;
$XT:= 848.350;$YT:= -34.885;$ZT:= -114.979;
SHOULD;
MEMSKE;
ZX;
N 00007;
NZ;
$XT:= 839.218;$YT:= -86.381;$ZT:= -112.788;
OUTVAL Z;
SHOULD;
ON .000 PRESET;
YZ;
N 00008;
$XT:= 839.292;$YT:= -96.645;$ZT:= -3.534;
OUTVAL Y;
SHOULD;
ON .000 PRESET;
XY;
N 00009;
NX;
$XT:= 848.555;$YT:= 6.955;$ZT:= -3.534;
OUTVAL X;
SHOULD;
ON .000 PRESET;
NCMOV;
$XP:= -1.840;$YP:= -11.751;$ZP:= 16.748;MPOS;
$XP:= -38.122;$YP:= 99.545;$ZP:= 17.233;MPOS;
PRION;

PRINT(#0,'***** SOURADNICE "A" *****');
YZ;
N 00010;
NY;
$XT:= -38.077;$YT:= 90.872;$ZT:= -14.113;
OUTVAL Y;
SHOULD;
$XP:= -38.175;$YP:= 107.730;$ZP:= -14.110;MPOS;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "B" *****');
ZX;

```

```

N 00011;
NZ;
$XT:= -38.176;$YT:= 107.739;$ZT:= -91.224;
OUTVAL Z;
SHOULD;
$XP:= -38.174;$YP:= 107.726;$ZP:= 18.959;MPOS;
$XP:= -111.289;$YP:= 43.374;$ZP:= 18.952;MPOS;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "C" *****');
XY;
N 00012;
$XT:= -91.298;$YT:= 43.494;$ZT:= -4.291;
OUTVAL X;
SHOULD;
PRIOFF;
$XP:= -106.409;$YP:= 235.207;$ZP:= -4.269;MPOS;
TDEF 5; ROTA 90.000 ROTB -90.000 UPDATE;

$XP:= -50.205;$YP:= 131.545;$ZP:= 3.553;MPOS;
$XP:= -50.206;$YP:= 131.553;$ZP:= -63.186;MPOS;
YZ;
N 00013;
$DIRX:= .000;$DIRY:=-1.000;$DIRZ:= .000;
$XT:= -49.832;$YT:= 72.178;$ZT:= -63.194;PICK;
$XT:= -49.832;$YT:= 72.237;$ZT:= -38.959;PICK;
N 00014;
$DT:= 86.607;
OUTVAL;
LINE;
EL 4 MEMO;
ZX;
N 00015;
$XT:= -49.851;$YT:= 75.259;$ZT:= -29.470;PICK;
$XT:= -49.931;$YT:= 88.153;$ZT:= -21.916;PICK;
N 00016;
$DT:= 79.363;
LINE;
EL 5 MEMO;
PRION;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "D" *****');
N 00017;
$XT:= -49.832;$YT:= .000;$ZT:= -29.516;
$DT:= .000;$KT:= .608;
OUTVAL Z;
EL 4 EL 5 INTER;
EL 6 MEMO;
$XP:= -50.019;$YP:= 101.956;$ZP:= -27.826;MPOS;
PRIOFF;
YZ;
N 00018;
NY;
$XT:= -49.957;$YT:= 90.828;$ZT:= -14.182;
OUTVAL Y;
SHOULD;
EL 7 MEMO;
PRION;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "E" *****');
N 00019;
$XT:= -49.832;$YT:= 70.801;$ZT:= -14.133;
$DT:= 20.028;$KT:= .000;
OUTVAL D;
EL 7 EL 4 DIST;

```

```

PRINT(#0,'***** PRUMER "D2" *****');
ZX;
N 00020;
$XT:= -24.706;$YT:= 69.168;$ZT:= -61.457;
$DT:= 19.997;
$PTN:= 3.000;
OUTVAL D;
HOLE;
ON .000 PRESET;
XY;
ON .000 PRESET;
$XP:= -.386;$YP:= 79.715;$ZP:= -.341;MPOS;
$XP:= 35.800;$YP:= 81.633;$ZP:= -.341;MPOS;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "F" *****');
XY;
N 00021;
NX;
$XT:= 24.785;$YT:= 66.487;$ZT:= -.343;
OUTVAL X;
SHOULD;
$XP:= 231.257;$YP:= 67.779;$ZP:= -.347;MPOS;
TDEF 4; ROTA 90.000 ROTB 180.000 UPDATE;

$XP:= 91.257;$YP:= 45.779;$ZP:= -.347;MPOS;

PRINT(#0,'***** PRUMER "D1" *****');
YZ;
N 00022;
$XT:= 22.811;$YT:= 39.175;$ZT:= .009;
$DT:= 35.075;
$PTN:= 5.000;
OUTVAL D;
HOLE;
ON .000 PRESET;
ZX;
ON .000 PRESET;
$XP:= 36.166;$YP:= -.250;$ZP:= 1.010;MPOS;
$XP:= 38.506;$YP:= 40.851;$ZP:= 1.015;MPOS;
PRINT(#0,'***** SOURADNICE "G" *****');
YZ;
N 00023;
NY;
$XT:= 21.250;$YT:= 31.694;$ZT:= 1.014;
OUTVAL Y;
SHOULD;
ZX;
PRIOFF;
N 00024;
$XT:= 21.237;$YT:= 35.478;$ZT:= 31.623;PICK;
$XT:= 21.164;$YT:= 47.029;$ZT:= 38.391;PICK;
N 00025;
$DT:= 24.077;
OUTVAL;
LINE;
EL 3 MEMO;
$XP:= 21.072;$YP:= 61.659;$ZP:= 34.732;MPOS;
$XP:= 21.072;$YP:= 61.663;$ZP:= 63.918;MPOS;
N 00026;
$DIRX:= .000;$DIRY:= .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:= 21.149;$YT:= 49.574;$ZT:= 53.369;PICK;
$XT:= 21.227;$YT:= 37.034;$ZT:= 60.435;PICK;

```

```

N 00027;
$DT:=      72.516;
LINE;
EL 4 MEMO;
YZ;
PRION;
PRINT(#0,'***** UHEL "Fi" *****');
N 00028;
$XT:=      .000;$YT:=      131.744;$ZT:=      5.356;
$DT:=      .000;$KT:=      59.760;
OUTVAL K;
EL 4 EL 5 INTER;
PRIOFF;
ZX;
N 00029;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:=      21.227;$YT:=      37.034;$ZT:=      60.435;PICK;
$XT:=      21.144;$YT:=      50.320;$ZT:=      52.948;PICK;
$XT:=      12.230;$YT:=      43.672;$ZT:=      56.663;PICK;
N 00030;
$DT:=      69.268;$KT:=      .000;
OUTVAL;
PLANE;
EL 5 MEMO;
$XP:=      16.749;$YP:=      60.795;$ZP:=      63.171;MPOS;
$XP:=      16.748;$YP:=      60.802;$ZP:=      26.944;MPOS;
N 00031;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:= 1.000;
$XT:=      16.910;$YT:=      35.309;$ZT:=      31.522;PICK;
$XT:=      16.833;$YT:=      47.546;$ZT:=      38.693;PICK;
XY;
PRION;
PRINT(#0,'***** UHLOVITOST "F1" *****');
N 00032;
$DT:=      19.938;$KT:=      60.000;
OUTVAL T;
$ANG:=      60.000; EL 5 ANGTY;
$XP:=      37.731;$YP:=      47.680;$ZP:=      27.568;MPOS;
$XP:=      37.731;$YP:=      .680;$ZP:=      .568;MPOS;
PRIOFF;
N 00033;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:=      11.426;$YT:=      .485;$ZT:=      -16.011;PICK;
$XT:=      14.559;$YT:=      .507;$ZT:=      -16.007;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:= 1.000;$DIRZ:= .000;
$XT:=      14.462;$YT:=      15.971;$ZT:=      -1.089;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:= 1.000;
$XT:=      14.563;$YT:=      .069;$ZT:=      15.997;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=-1.000;$DIRZ:= .000;
$XT:=      14.663;$YT:=      -16.000;$ZT:=      .100;PICK;
$XT:=      22.723;$YT:=      -16.036;$ZT:=      .100;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:=      22.618;$YT:=      .551;$ZT:=      -16.028;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:= 1.000;$DIRZ:= .000;
$XT:=      22.522;$YT:=      16.006;$ZT:=      1.086;PICK;
$DIRX:=    .000;$DIRY:=    .000;$DIRZ:= 1.000;
$XT:=      22.628;$YT:=      -.809;$ZT:=      16.019;PICK;
N 00034;
$DT:=      35.073;$KT:=      35.005;
OUTVAL D K;
CYLIN;

```

```

EL 6 MEMO;
$XP:= 36.843;$YP:= -.719;$ZP:= 7.719;MPOS;
$XP:= 37.081;$YP:= 47.509;$ZP:= 70.353;MPOS;
ZX;
N 00035;
$DIRX:= .000;$DIRY:= .000;$DIRZ:=-1.000;
$XT:= 22.164;$YT:= 36.828;$ZT:= 60.556;PICK;
$XT:= 22.086;$YT:= 49.067;$ZT:= 53.655;PICK;
$XT:= 13.671;$YT:= 42.715;$ZT:= 57.207;PICK;
N 00036;
$DT:= 17.877;$KT:= 90.000;
OUTVAL T;
EL 6 SQRNS;
$XP:= 12.512;$YP:= 226.501;$ZP:= 69.473;MPOS;
TDEF 5; ROTA 90.000 ROTB -90.000 UPDATE;
$XP:= .512;$YP:= 69.501;$ZP:= 2.473;MPOS;
N 00037;
$XT:= .006;$YT:= 30.598;$ZT:= -.012;
$DT:= 20.002;$KT:= .000;
$PTN:= 3.000;
OUTVAL X Z;
HOLE;
ON .000 PRESET;
XY;
ON .000 PRESET;
$XP:= .189;$YP:= 68.872;$ZP:= .034;MPOS;
$XP:= .176;$YP:= 71.603;$ZP:= 170.479;MPOS;
$XP:= 3.120;$YP:= -395.436;$ZP:= 170.419;MPOS;
TDEF 3; ROTA 90.000 ROTB 90.000 UPDATE;

$XP:= .512;$YP:= -66.501;$ZP:= 8.473;MPOS;
ZX;
PRION;
PRINT(#0,'***** KOLMOST "D2" *****');
N 00038;
$XT:= .034;$YT:= -38.002;$ZT:= .108;
$DT:= 20.014;
OUTVAL X Z;
HOLE;
PRIOFF;
$XP:= -.380;$YP:= -55.041;$ZP:= .353;MPOS;
$XP:= 258.426;$YP:= -53.410;$ZP:= .348;MPOS;
TDEF 4; ROTA 90.000 ROTB 180.000 UPDATE;

$XP:= 63.380;$YP:= -2.041;$ZP:= .353;MPOS;
YZ;
N 00039;
$XT:= 22.910;$YT:= .000;$ZT:= .009;
$DT:= 35.086;
OUTVAL Y Z;
HOLE;
ON .000 PRESET;
ZX;
ON .000 PRESET;
$XP:= 39.437;$YP:= .058;$ZP:= 2.140;MPOS;
$XP:= 43.362;$YP:= .063;$ZP:= 158.010;MPOS;
$XP:= -385.500;$YP:= -2.643;$ZP:= 173.552;MPOS;
TDEF 2; ROTA 90.000 ROTB .000 UPDATE;

```

```
$XP:=      -100.380;$YP:=      -.041;$ZP:=      .353;MPOS;  
YZ;  
PRION;  
PRINT(#0,'***** KOLMOST "D1" *****');  
N 00040;  
$XT:=      -65.122;$YT:=      -.010;$ZT:=      -.113;  
$DT:=      34.963;  
HOLE;  
$XP:=      -102.653;$YP:=      -1.721;$ZP:=      .121;MPOS;  
$XP:=      -102.657;$YP:=      -1.757;$ZP:=      287.077;MPOS;  
$XP:=      -102.657;$YP:=      -1.758;$ZP:=      289.981;MPOS;  
MANMOV;  
PRINT(#0,#0,'END OF PART PROGRAM')  
STOP
```



```

*****
*****
*****      DEA - IOTA      *****
*****      -----      *****
**          SKODA AUTOMOBILOVA AKCIOVA SPOLECNOST      **
**          MLADA BOLESLAV      **
*****      *****
*****

```

* CISLO KN [S]:

=====

* NAZEV DILU [S]: VZOROVE MERENI PRO VSST LIBEREC

* CISLO DILU [S]:

* CISLO FORMY [S]:

* MERENI [S]: TVAR

* ZAKAZNIK [S]:

* ZPUSOB [S]: CNC

* MERIL [S]: KUGLER

* DATUM [S]: 7.5.93

* TEL. [S]: 3082

```

***** SOURADNICE "A" *****
N00010 SH NO
Y          90.876

```

```

***** SOURADNICE "B" *****
N00011 SH NO
Z          -91.226

```

```

***** SOURADNICE "C" *****
N00012 SH NO
X          -91.301

```

```

***** SOURADNICE "D" *****
N00017 SL 4 SL 5 IN NO
Z          -29.351

```

```

***** SOURADNICE "E" *****
N00019 PT 7 SL 4 DI NO
D          20.030

```

```

***** PRUMER "D2" *****
N00020 HO NO
D          20.001

```

```

***** SOURADNICE "F" *****
N00021 SH NO
X          24.786

```

```

***** PRUMER "D1" *****
N00022 HO NO
D          35.080

```

```

***** SOURADNICE "G" *****
N00023 SH NO
Y          31.691

```

```

***** UHEL "F1" *****
N00028 SL 4 SL 5 IN NO
K          59.761

```

```

***** UHLOVITOST "F1" *****
N00032 SL 1 PL 5 AN NO
T          .076

```

```

***** KOLMOST "D2" *****
N00038 HO NO
Z          .110
X          .036

```

```

***** KOLMOST "D1" *****
N00040 HO NO
Y          -.007
Z          -.115

```

END OF PART PROGRAM

N100 (WEBA CHEMNITZ)
 N101 G1 C..... V..... Z100. U. T1 F2000
 N102 G71 J170 (HODNOTY OSY -Z- S BROUSICIM KOTOUCEM)
 N103 G71 J160 (REZNE PODMINKY BROUSENI - OTACKY)
 N180 F2000 G89 A1
 N181 (F70 J115) (SKOK NA POSLEDNI BROUSENI)
 N104 G71 J120 T1 (1. BROUSENI)
 N105 F2000 G89 A1
 N106 G71 J120 T2 (2. BROUSENI)
 N107 (G70 J117)
 N108 F2000 G89 A2
 N109 G71 J120 T3 (3. BROUSENI)
 N110 (G70 J117)
 N111 F2000 G89 A3
 N112 G71 J120 T4 (4. BROUSENI)
 N113 (G70 J117)
 N114 F2000 G89 A4
 N115 G71 J120 T5 (5. BROUSENI)
 N116 (F2000 G89 A5)
 N117 Z100. F2000 M29
 N118 M2
 N119 ()
 N120 M7 G78
 N121 G71 J161 (REZNE PODMINKY BROUSENI - POSUV)
 N122 G2 C..... V..... K... G41/42 (NAJEZD)
 N123 G0 G71 J1000 (SOURADNICE VACKY)
 N124 C.....
 N125 G2 C..... V..... K... M9 F1000 (VYJEZD)
 N126 G0 C..... G40 G79 (BOD ZACATKU NAJEZDU)
 N127 G72
 N128 ()
 N160 (*****) M28 S.20000 (REZNE PODMINKY BROUSENI) H500 G72
 N161 (*****) F100 (REZNE PODMINKY BROUSENI) G72
 N162 ()
 N170 (*****) Z200. (3MM PRED OBROBKEM)
 N171 (*****) Z200. (HODNOTA PRI OBRABENI) G72
 N172 ()
 N173 ()
 N174 ()
 N1000 (SOURADNICE VACKY)
 N1002 C-250. V202.677
 N1004 C-176. V202.677
 N1006 C-175.5 V202.677
 N1008 C-175. V202.677
 N1010 C-174.5 V202.676
 N1012 C-174. V202.676
 N1014 C-173.5 V202.675
 N1016 C-173. V202.674
 N1018 C-172.5 V202.671
 N1020 C-172. V202.669
 N1022 C-171.5 V202.665
 N1024 C-171. V202.66
 N1026 C-170.5 V202.653
 N1028 C-170. V202.645
 N1030 C-169.5 V202.635
 N1032 C-169. V202.622
 N1034 C-168.5 V202.608
 N1036 C-168. V202.591
 N1038 C-167.5 V202.571
 N1040 C-167. V202.547

N1762 C13.5 V199.676
N1764 C14. V199.879
N1766 C14.5 V200.074
N1768 C15. V200.26
N1770 C15.5 V200.438
N1772 C16. V200.607
N1774 C16.5 V200.767
N1776 C17. V200.919
N1778 C17.5 V201.063
N1780 C18. V201.2
N1782 C18.5 V201.328
N1784 C19. V201.449
N1786 C19.5 V201.562
N1788 C20. V201.669
N1790 C20.5 V201.768
N1792 C21. V201.86
N1794 C21.5 V201.946
N1796 C22. V202.026
N1798 C22.5 V202.099
N1800 C23. V202.167
N1802 C23.5 V202.229
N1804 C24. V202.285
N1806 C24.5 V202.337
N1808 C25. V202.383
N1810 C25.5 V202.425
N1812 C26. V202.462
N1814 C26.5 V202.496
N1816 C27. V202.525
N1818 C27.5 V202.551
N1820 C28. V202.574
N1822 C28.5 V202.593
N1824 C29. V202.61
N1826 C29.5 V202.624
N1828 C30. V202.636
N1830 C30.5 V202.646
N1832 C31. V202.654
N1834 C31.5 V202.66
N1836 C32. V202.665
N1838 C32.5 V202.669
N1840 C33. V202.672
N1842 C33.5 V202.674
N1844 C34. V202.675
N1846 C34.5 V202.676
N1848 C35. V202.676
N1850 C35.5 V202.677
N1852 C36. V202.677
N1854 C36.5 V202.677
N1856 C110. V202.677 672

úhel	průvodič	úhel	průvodič	úhel	průvodič
		201.432000	161.240000	302.902000	72.481000
0.000000	148.178000	203.282000	160.607000	305.242000	73.242000
1.053000	149.362000	204.947000	159.885000	306.918000	73.903000
2.235000	150.631000	206.552000	159.027000	309.027000	74.869000
3.429000	151.846000	208.408000	157.820000	310.700000	75.760000
4.270000	152.654000	209.810000	156.742000	312.682000	76.961000
5.462000	153.742000	211.524000	155.209000	314.689000	78.352000
6.640000	154.744000	212.940000	153.762000	316.265000	79.585000
8.297000	156.039000	214.658000	151.772000	318.064000	81.150000
9.486000	156.887000	216.294000	149.644000	319.544000	82.578000
10.930000	157.821000	217.994000	147.212000	320.897000	83.995000
12.663000	158.811000	219.624000	144.670000	322.324000	85.619000
14.000000	159.477000	221.382000	141.744000	323.928000	87.601000
15.133000	159.982000	223.060000	138.820000	325.645000	89.928000
16.453000	160.499000	225.074000	135.155000	327.353000	92.445000
17.847000	160.968000	226.564000	132.373000	329.112000	95.255000
19.353000	161.392000	228.170000	129.357000	331.124000	98.722000
21.602000	161.878000	229.637000	126.586000	332.811000	101.806000
22.980000	162.100000	231.221000	123.624000	334.835000	105.665000
24.300000	162.265000	232.547000	121.159000	336.214000	108.366000
25.847000	162.410000	233.823000	118.836000	337.829000	111.564000
27.411000	162.510000	234.824000	117.039000	339.423000	114.739000
28.804000	162.570000	236.244000	114.536000	340.931000	117.700000
29.992000	162.602000	237.662000	112.102000	342.576000	120.895000
31.155000	162.623000	239.045000	109.802000	344.098000	123.770000
32.550000	162.636000	240.463000	107.510000	345.915000	127.115000
33.766000	162.641000	242.239000	104.761000	347.295000	129.572000
35.437000	162.643000	243.609000	102.722000	348.815000	132.187000
36.890000	162.644000	245.404000	100.163000	350.300000	134.646000
38.475000	162.644000	246.867000	98.176000	351.400000	136.404000
39.871000	162.644000	248.850000	95.622000	352.902000	138.713000
41.343000	162.643000	250.261000	93.895000	354.090000	140.463000
42.690000	162.644000	252.157000	91.701000	355.230000	142.086000
44.121000	162.644000	253.757000	89.952000	356.335000	143.595000
45.672000	162.643000	255.838000	87.819000	357.432000	145.030000
47.044000	162.643000	257.396000	86.324000	358.536000	146.423000
48.717000	162.644000	259.088000	84.793000	359.623000	147.731000
50.310000	162.644000	260.565000	83.530000	360.000000	148.178000
58.129000	162.644000	262.887000	81.694000		
65.004000	162.643000	265.242000	79.997000		
71.772000	162.645000	266.844000	78.939000		
78.631000	162.645000	269.276000	77.468000		
85.026000	162.646000	271.312000	76.361000		
93.771000	162.649000	273.042000	75.512000		
101.050000	162.650000	274.792000	74.727000		
102.015000	162.651000	276.517000	74.030000		
114.705000	162.649000	278.282000	73.396000		
115.464000	162.650000	279.868000	72.890000		
125.697000	162.653000	281.521000	72.427000		
141.779000	162.659000	283.183000	72.028000		
142.962000	162.660000	284.800000	71.703000		
153.102000	162.664000	286.350000	71.449000		
168.262000	162.671000	288.063000	71.237000		
177.719000	162.674000	289.794000	71.092000		
184.600000	162.677000	291.474000	71.022000		
185.309000	162.677000	293.090000	71.016000		
192.616000	162.565000	294.748000	71.079000		
195.907000	162.317000	296.405000	71.218000		
198.181000	161.997000	298.896000	71.561000		
199.819000	161.665000	300.516000	71.877000		