Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog uređaja

Jambrović, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:232077

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 265/PS/2018

Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog uređaja

Matija Jambrović, 0077/336

Varaždin, rujan 2018. godine

Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 265/PS/2018

Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog uređaja

Student

Matija Jambrović, 0077/336

Mentor

Tomislav Veliki, doc.dr.sc.

Varaždin, rujan 2018. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

UNIVERSITY NORTH

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za proizvodno strojarstvo
PRISTUPNIK	Matija Jambrović
MATIČNI BROJ	0077/336
DATUM	11.09.2018.
KOLEGIJ	Mjerenja u proizvodnji
NASLOV RADA	Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog uređaja
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Testing of the Reproducibility and Repeatability of 3D Measuring
MENTOR	Doc.dr.sc. Tomislav Veliki
ZVANJE	Docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Mag.ing.mech. Katarina Pisačić, predavač
2. Doc.dr.sc. Tomislav veliki, docent
3. Mag.ing.mech. Marko Horvat, predavač
4. Mag.ing.mech. Veljko Kondić, predavač
5.

VŽ KC

MMI

Zadatak završnog rada

BROJ 265/PS/2018

OPIS

U završnom radu potrebno je obraditi slijedeće točke:
Povijest i konstrukcija trokoordinatnih mjernih uređaja, Mjerne sonde
Programi (Software) za upravljanje mjernim uređajem
Eksperimentalno mjeriti najmanje dva gotova proizvoda od strane dva mjeritelja, priložiti ispitne protokole
Uopisati mjernu opremu, postupak, karakteristike uređaja
Izračunati za rezultate mjerenja ponovljivosti i obnovljivost mjernog sustava
Osvrt na temu završnog rada
Zaključak

REPUBLIKA HRVATSKA 5 SVEUČILIŠTE SJEVER KOPRIVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

ZADATAK URUČEN 12.9.2018.

POTPIS MENTORA

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Tomislavu Velikom na stručnoj pomoći, podršci, savjetima i ustupljenoj literaturi tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se tvrtki Te-Pro d.o.o. što su mi omogućili korištenje trokoordinatnog mjernog uređaja, bez čega realizacija eksperimentalnog dijela završnog rada ne bi bila moguća. Također se zahvaljujem svim radnicima i kolegama iz tvrtke Te-Pro na svim savjetima, odvojenom vremenu, nesebičnoj pomoći i strpljenju.

Najveća hvala mojoj obitelji na strpljenju, razumijevanju i velikom odricanju te pruženoj moralnoj pomoći koje su mi ukazali tijekom mog studiranja i izrade ovog rada.

Matija Jambrović

SAŽETAK

Zahtjevi za preciznost u suvremenoj proizvodnoj industriji doveli su do situacije da se trokoordinatni CNC mjerni uređaji nalaze u gotovo svim velikim, a nalazimo ih već i u manjim radionicama. Međutim, većina tih strojeva koristi se kao alat za ispitivanje gotovih proizvoda, da li isti zadovoljavaju određene specifikacije, obično primjenjujući opće pravilo da nesigurnost mjerila ne smije biti veća od jedne petine (idealno desetine) izmjerene vrijednosti. U ovom se radu opisuje usporedba takvog načina generalno usvojenim načelom i izračunate ponovljivosti i obnovljivosti CNC mjernog stroja. Usporedba se provodi u stvarnom radnom okruženju sa stvarnim proizvodima.

Ključne riječi: mjerni uređaj; mjerenje; ponovljivost i obnovljivost

SUMMARY

The requirements for precision in modern manufacturing industry has led to situation where three coordinate CNC measuring machines are found in almost all but smallest workshops. However, majority of those machines are used as inspection tool for pass/fail tests, usually applying general rule that the measuring machine uncertainty should be no more than one-fifth (ideally one-tenth) of measured value. In this paper comparison between such rule of the thumb approach and calculated reproducibility and repeatability of the measuring machine will be described. Comparison is performed in real work environment with actual products.

Keywords**:** measuring machine; measuring; repeatability and reproducibility

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1
2. POVIJEST TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA ... 4
3. KONSTRUKCIJA TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA ... 6

3.1. Mostna struktura ... 8
3.1.1. Mostna struktura sa pokretnim mostom ... 8
3.1.2. Mostna struktura sa nepokretnim mostom ... 9
3.2. Konzolna struktura ... 10
3.3. Horizontalna struktura ... 10
3.4. Portalna struktura ... 11

4. PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE ... 14
5. MJERNE SONDE ... 17

5.1. Način rada kontaktne mjerne sonde ... 19
5.2. Određivanje položaja točke ... 20
5.3. Vrste mjernih senzora ... 22
5.4. Kontaktna metoda ... 23
5.4.1. Dodirno-prekidna metoda mjerenja ... 23
5.4.2. Mjerenje metodom skeniranja ... 25
5.5. Principi rada sondi ... 26
5.5.1. Otporno-kinematske sonde ... 26
5.5.2. Piezo sonde ... 27
5.5.3. Sonde sa mjernim trakama ... 28
5.6. Beskontaktna metoda ... 29
5.7. Višesenzorni mjerni uređaj ... 30

6. NAČINI PROGRAMIRANJA I UPRAVLJANJA TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA ... 34
7. PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA ... 36
8. EKSPERIMENTALNI DIO ... 42

8.1. Trokoordinatni mjerni uređaj – Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 ... 43
8.1.1. Tehnički podaci Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 ... 44
8.1.2. Mjerna sonda ... 45
8.1.3. Upravljanje Mitutoyo mjernim uređajem ... 47
8.1.4. Program MCOSMOS ... 48
8.2. Opis postupka ... 49
8.3. Rezultati mjerenja ... 54
8.4. Rezultati procjene sposobnosti mjernog sustava ... 56

9. ZAKLJUČAK ... 60
10. LITERATURA ... 62

1. UVOD

Uloga mjerenja u današnjem svijetu kao tehničke djelatnosti od velike je važnosti kako u području proizvodnje tako i u svakodnevnom životu. Mjerenje ima bitnu ulogu u proizvodnji jer se obavlja u gotovo svim fazama razvoja proizvoda, od ideje do krajnjeg proizvoda u rukama kupca. Kako industrija konstantno napreduje tako se i broj konkurencije povećava, to ujedno rezultira bržim i kvalitetnijim razvojem proizvoda i njegovim plasmanom na tržište. Time što kontrola kvalitete sudjeluje u svakom dijelu izrade proizvoda postala je jedna od najvažnijih dijelova same izrade proizvoda u procesu jer direktno utječe na proizvod. Osnovna uloga mjerenja u proizvodnji je postizanje kvalitete proizvoda koja se postiže provođenjem mjerenja.

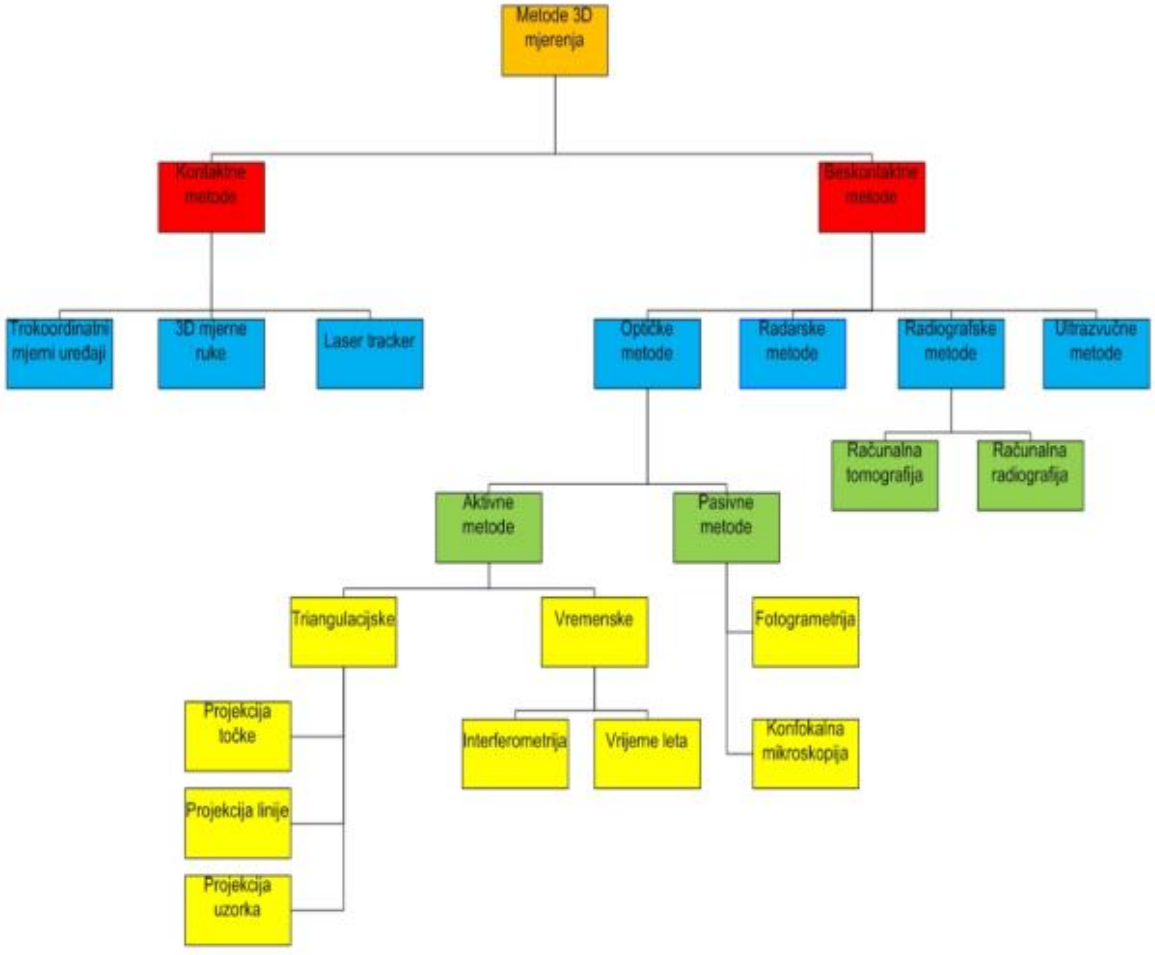
Mjerenja u proizvodnji u općem smislu postižu:

- visok stupanj automatizacije,
- smanjenje broja operacija u proizvodnji i
- povećanje zahtjeva za postizanje kvalitete.

Mjerenjem se postiže optimizacija proizvodnje, ispitivanja i konstrukcije proizvoda. Cijena proizvoda direktno je povezana sa optimizacijom proizvodnje, pa je cilj svakog proizvođača da zna ako je tehnologija dobra ili treba mijenjati postojeću jer se sve veže uz točnost rada mjernog uređaja, odnosno odgovor se dobiva korištenjem mjerenja. Prije početka svake proizvodnje prethodi faza ispitivanja i analize troškova proizvodnje. Tolerancije u kontroli kvalitete igraju veliku ulogu, odnosno svakim povećanjem tolerancije smanjuju se troškovi izrade, pojednostavljuje kontrola i u konačnici, pojeftinjuje kontrola. Bespotrebna i skupa mjerenja treba reducirati i uskladiti sa realnim potrebama ispitivanja proizvoda jer pravim izborom mjernih sredstava dodatno se smanjuju troškovi izrade proizvoda. Kod optimiziranja konstrukcije smanjuje se mogućnost mijenjanja nekog konstruktivnog rješenja da ne dođe do promjene funkcionalnosti i karakteristika proizvoda. Također, u postupku optimiziranja treba uzeti u obzir tolerancije alata, materijale proizvoda i nakon toga donositi odluke. Oko 90 % svih mjerenja obuhvaća mjerenje i kontrolu oblika, dimenzija, položaja i kvalitete površine proizvoda. Na 80-90 % proizvoda mjere se pravilna geometrija, a ostalih 10-20 % spada u mjerenja zakrivljenih odnosno složenih geometrija. Današnja proizvodnja je u velikoj mjeri automatizirana, pa su i postupci mjerenja automatizirani te se time smanjuje vrijeme izrade

proizvoda. Pošto se danas većina proizvoda u cijelosti ne izrađuju na jednom mjestu, prisutni su različiti uvjeti mjerenja i različiti mjerni instrumenti te je time mogućnost za nastanak pogreške velika.

Porastom složenosti oblika proizvoda, geometrija proizvoda postaje sve kompliciranija za mjerenje i kontrolu. Zbog zahtjeva mjerenja složene geometrije potrebno je primjenjivati takve mjerne uređaje, odnosno metode koje su preciznije i brzo izvršavaju veliki broj operacija mjerenja. Kako bi se smanjile pogreške za pojedine proizvode složenih geometrija, došlo je do razvoja 3D mjernih uređaja, kojima se omogućuje precizno mjerenje na točno određenim uvjetima u relativno brzim vremenskim ciklusima. Metode 3D mjerenja mogu se podijeliti u dvije grupe koje se dalje dijele u podgrupe kao što je vidljivo na slici 1.



Slika 1. Klasifikacija mjernih sustava [1]

Metode 3D mjerenja u općenitom smislu definiraju prostorni položaj trenutno promatrane objektne točke na površini mjernog objekta relativno u odnosu na mjerni senzor. Postižu se na nekoliko načina: fizičkim kontaktom vrhom kontaktnog ticala mjernog senzora (kao kod Trokoordinatnih Mjernih Uređaja – TMU, odnosno CMM iz eng. Coordinate Measuring Machines) i površine mjernog objekta ili preko projiciranja neke vrste energije na mjerni objekt i analizom povratnog signala (npr. projiciranjem svijetla, ultrazvuka, infracrvenih zraka ili X-zraka i sl.). [2]

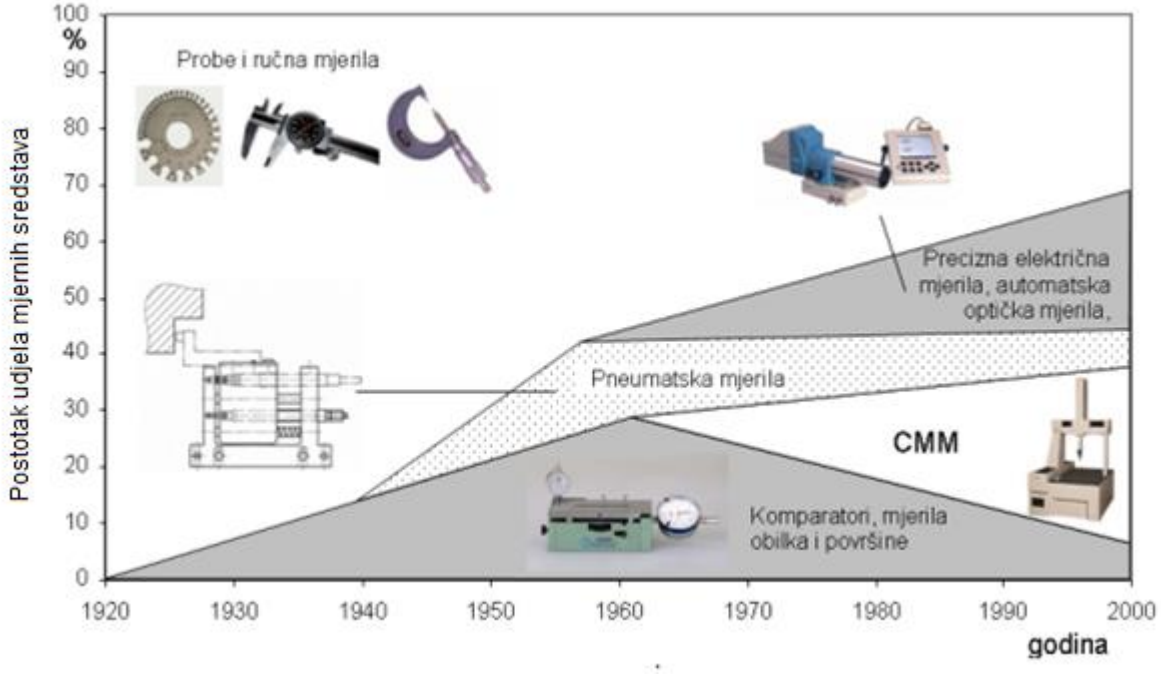
Kod kontaknih metoda, princip je vrlo jednostavan. Za raspoznavanje mjernog objekta preko računalnog programa potrebno je ticalom uzastopno doticati površinu mjernog objekta, kontakt ispravno detektirati i na temelju dostupnih podataka o smjeru i intenzitetu s mjernim objektom odrediti položaj mjerne točke. Takoreći smjer razvoja kontaktnih senzora dosegao je vrhunac uvođenjem računala i adekvatnih mjernih senzora.

Trokoordinatni mjerni uređaji se u današnje vrijeme nazivaju mjerni sustavi koji istovremeno mjere u tri koordinate. Tradicionalni trokoordinatni mjerni uređaj sa kontaktnim senzorom su fleksibilni i efikasni u kontroli geometrijskih karakteristika, ali nedostatak im je niska produktivnost s aspekta brzine mjerenja. Mjerenja se vrše pomoću ticala kojim se određuju koordinate položaja točaka, crta i površina. Pomoću tih koordinata stvara se numerička slika površina koje formiraju objekt. Precizniji rezultat mjerenja se dobiva na osnovu većeg broja mjernih točaka. Određuje se optimalni broj točaka za zadanu točnost mjerenja uz zadano vrijeme izvedbe mjerenja.

Kako beskontaktne metode nisu izravan predmet ovog rada, pojašnjene će biti samo pojedine karakteristike u nastavku. Potrebom za izbjegavanje mjerenja pomoću dodira, došlo je do razvoja beskontaktnih metoda. Takvi sustavi omogućuju istovremeno brza i precizna mjerenja složenih oblika te je također moguća i kombinacija više mjernih sustava gdje jedan sustav nadopunjava drugi. Te metode mogu se podijeliti na refleksijske (određivanje mjernih objekata frekvencijskim rasponom projiciranog zračenja od 0,01 MHZ (ultrazvuk), preko područja mikrovalova (od 10 do 100 GHz), kroz frekvencijsko područje vidljivog svjetla (od 100 do 1000 THz)) te na transmisijske metode (elektromagnetsko zračenje, odnosno X-zrake omogućuju određivanje gustoće volumena u i oko mjernog objekta) koje su štetne za ljudsko zdravlje i nisu prikladne u mjeriteljskoj primjeni. [2]

2. POVIJEST TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA

Prije industrijske ere ljudi su počeli upotrebljavati geometrijske veličine kojima su se karakterizirali različiti proizvodi. Od razdoblja prije starog i srednjeg vijeka koristile su se mjere kao osnova za mjerenja. U 17.st. i 18.st. ljudi počinju pripremati i usvajati jedinicu za dužinu, upotrebljavati pomična mjerila i mikrometre jer dolazi do masovne proizvodnje i razvoja mjernih sredstava. Prvi profil projektor razvijen je 1920. godine, a prvi pneumatski mjerni uređaj razvijen je tridesetih godina. Početkom sedamdesetih razvijaju se elektronski mjerni uređaji za proizvodna mjerenja. Kasnije se razvijaju sredstva koordinatne metrologije koja koriste elektronske i optičke komponente (Slika 2.1). [3]



Slika 2.1 Razvoj mjerila za proizvodna mjerenja [3]

Modernizacijom mjerne opreme, značajno mjesto kod mjerenja zauzela je informatička tehnologija koja je zaslužna za mogućnost registriranja i skladištenja podataka mjerenja i bez nje to bi bilo nemoguće s obzirom na količinu podataka.

Istraživanja pokazuju da je razvoj suvremenih trokoordinatnih mjernih uređaja započeo početkom 1960-ih godina, nadograđivanjem dvoosnih mjernih strojeva koji su izumljeni u 1950-ih godinama za različite vojne obrambene industrije. Jedan izvor navodi da se prvi koordinatni mjerni uređaj pojavio prvi puta na međunarodnoj strojnoj izložbi alata u Parizu 1959. godine, a izložila ga je britanska tvrtka Ferranti.

Smatra se da je prvobitni 2-osni uređaj za mjerenje razvila tvrtka Sheffield Corporation. Nazvan YZ uređaj, korišten je za mjerenje oklopa hidrogenskih bombi, no zbog tajnosti operacije malo je podataka o samom uređaju. Zatim, u 1957. godini Moore Tool Company iz Sjedinjenih Američkih Država predstavila je svoj Moore No.3, univerzalni trokoordinatni mjerni uređaj, poznatiji kao M3. Postoji još nekoliko tvrtki koje tvrde da su one prve proizvele trokoordinatni mjerni uređaj te se još dan danas ne zna tko je prvi proizveo mjerni uređaj, no uvelike je pridonio razvoju takvih strojeva. [5,8]



Slika 2.2 Moore No.3 Univerzalni TMU, M3[8]

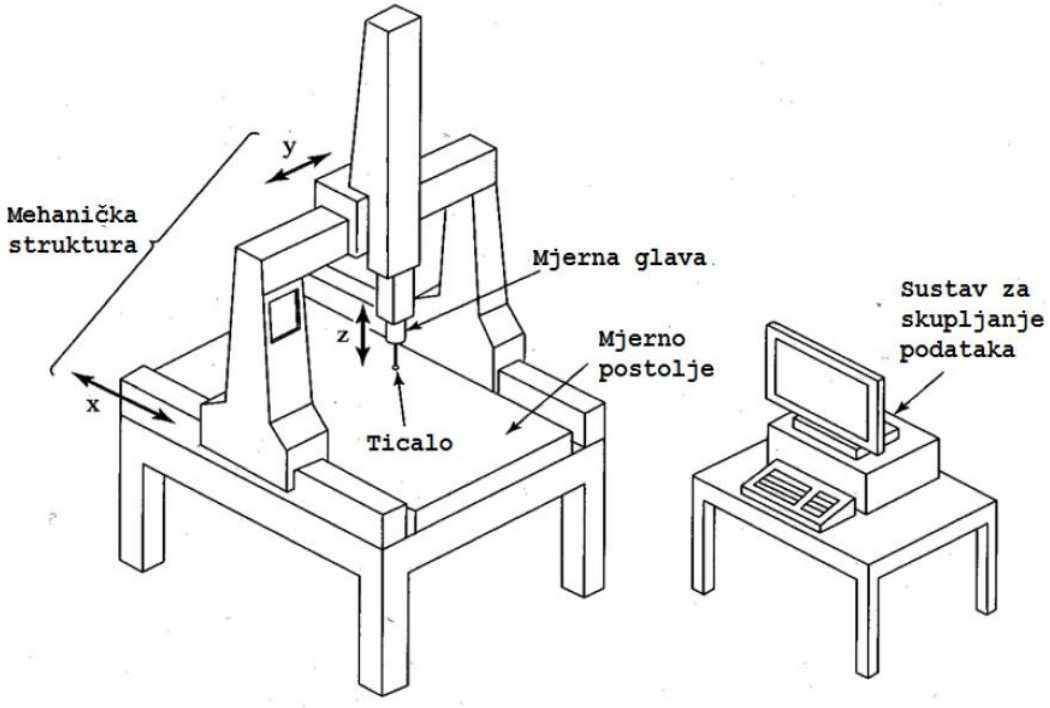
CMM se brzo razvio s mnogo proizvođača iz europskih zemalja, SAD-a i Japana, koji su počeli ulagati novce sredinom 1960-ih godina. Razvojem sonde osjetljive na dodir, koju je izumio Sir David McMurtry, suosnivač Renishaw-a, doveo je do revolucije u trodimenzionalnom koordinatnom mjerenju, omogućujući automatsko i precizno mjerenje proizvoda i sklopova. Renishaw dramatično povećava performanse sposobnosti CMM s uvođenjem raznih poboljšanja kao što su motorizirane glave sonde, automatsku promjenu sondi i dr. Današnja proizvodnja trokoordinatnih mjernih uređaja iznosi više od 6000 strojeva godišnje. Renishaw ima glavnu riječ u inovacijama i proizvodnji dijelova te u novije doba nakon dugog istraživanja uvodi 5 osnu tehniku mjerenja koja dramatično smanjuje vrijeme mjerenja i rezultira poboljšanjem produktivnosti CMM-a.

3. KONSTRUKCIJA TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA

Za ostvarivanje zahtjeva koji se stavljaju pred njih, trokoordinatni mjerni uređaji sa razvojem metoda prostornog određivanja mjernih točaka stvorili su nekoliko tipova konstrukcija TMU-a, koji se razlikuju s obzirom na veličinu predmeta mjerenja, preciznost i u konačnici prihvatljivog ekonomskog rješenja. Na tržištu danas postoji velik broj proizvođača TMU-a pa tako i velik broj dostupnih tipova konstrukcija i modela TMU-a.

Konfiguracija trokoordinatnih mjernih uređaja ovisi o zahtjevima koje moraju ostvarit:

- točnost,
- fleksibilnost,
- brzinu mjerenja i
- cijenu mjernog uređaja.



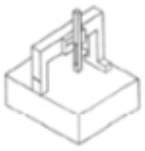
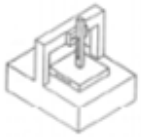
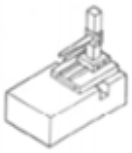
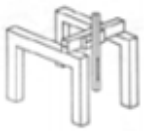
Slika 3.1 Sastavni dijelovi koordinatnih mjernih uređaja [4]

Glavni sastavni dijelovi trokoordinatnih mjernih uređaja su:

- mjerno postolje izrađeno od mramora i keramike (ili legura) zbog temperaturne postojanosti i otpornosti na trošenje,
- tri okomite konstrukcijske osi od kojih svaka ima svoj motor i senzor pozicije te se nalazi na zračnom ili magnetnom ležaju kako bi se smanjilo trenje i 'stick – slip' efekt,
- mjerna glava koja omogućuje dodatno dva stupnja slobode i na nju dolaze različita mjerna ticala,
- mjerno ticalo koje omogućuje mjerenje različitih značajki,
- kugla za umjeravanje koja služi za umjeravanje različitih mjernih ticala,
- sustav za skupljanje podataka – dio za upravljanje uređajem, računalo i software za pohranjivanje, povezivanje i usporedbu dobivenih rezultata mjerenja [4].

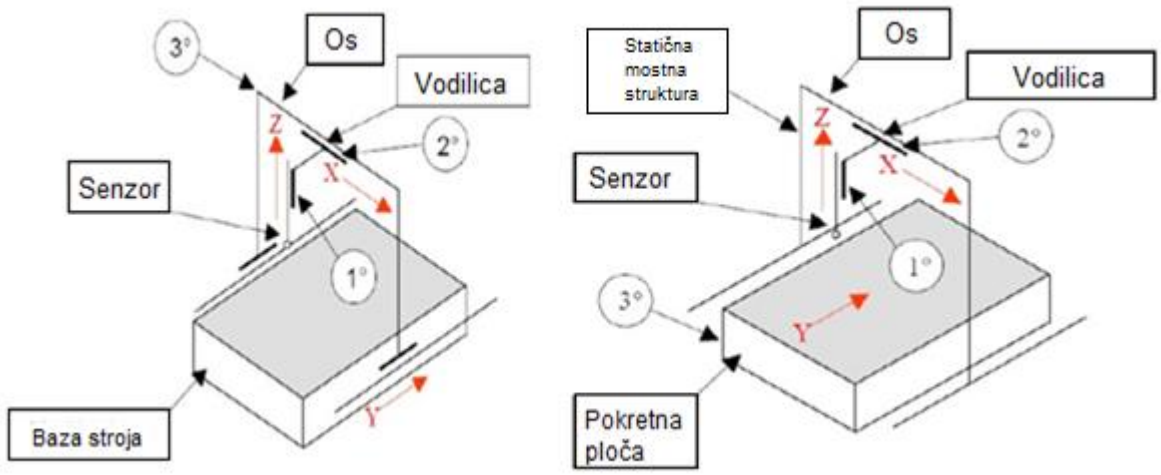
Osnovne konstrukcije trokoordinatnih mjernih uređaja prema kojima se na tržištu najviše dijele i njihova područja primjene prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Način konstrukcije trokoordinatnih mjernih uređaja [3]

Konfiguracija / Primjena	Pokretni most	Nepokretni most	Konzola	Horizontalna ruka	Portal
					
Opća namjena	X	X	X	X	
Preciznost	X	X (kalibracija mjerila)			
Veći dijelovi			X	X (karoserije automobila, blokovi dizel motora)	X (zrakoplovne i svemirske strukture, veća vozila)

3.1. Mostna struktura

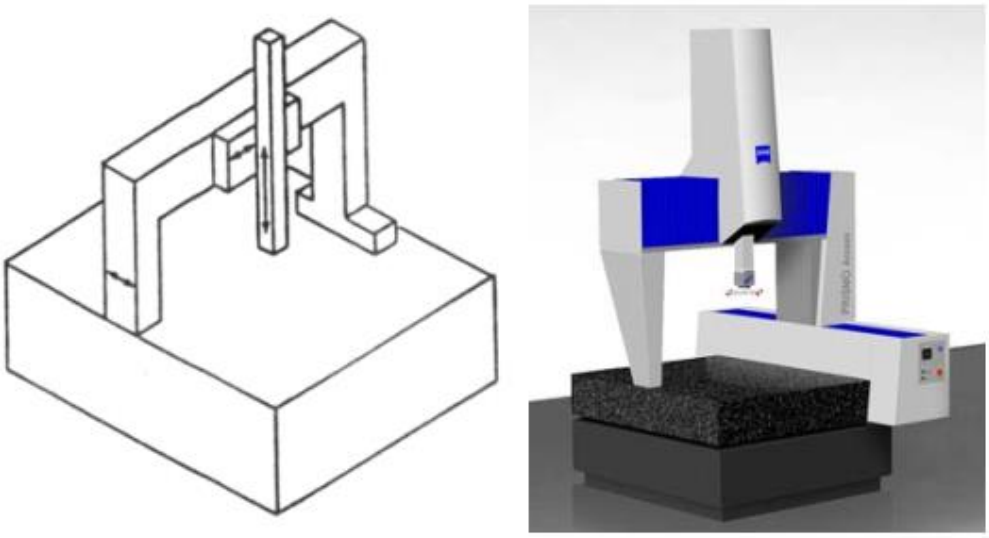
Izvedba konstrukcijske strukture TMU-a u obliku mosta je najčešće korištena struktura jer ona daje najveću preciznost mjerenja, a karakterizira je mjerenje predmeta velikih masa i dimenzija. Mostna izvedba se može podijeliti na pomičnu (pokretnu) i statičnu (nepokretnu). Slika 3.2 prikazuje dijelove uređaja i osi karakteristične za pomičnu i statičnu mostnu strukturu TMU-a.



Slika 3.2 Shematski prikaz pomične (lijevo) i statične (desno) mostne strukture [5]

3.1.1. Mostna struktura sa pokretnim mostom

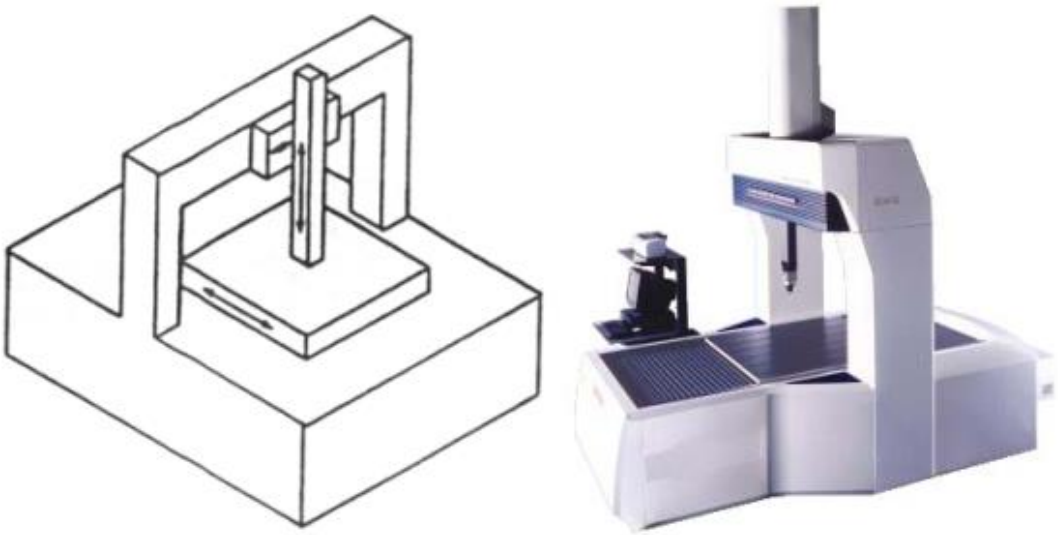
Najčešće korištena konstrukcija TMU-a je mostna struktura sa pokretnim mostom. Problem koji se javlja kod ovih tipova TMU-a su bočni nosači koji bi se trebali pomicati duž X-osi potpuno sukladno te nedostatak koji se još pojavljuje je otežano postavljanje kvalitetnih sustava za odašiljanje procesuiranih slika. Karakteristika ovog tipa je stabilnost radne površine zbog kvalitetnih materijala (granit, keramički materijali) iz kojeg je izrađeno. Prednost npr. mostne nad konzolnom je manji efekt savijanja horizontalne osi jer se horizontalna os konzolne strukture učvršćuje samo na jednoj strani, a kod mostne na dvije strane pa se time smanjuje opterećenje. Svi pokretni dijelovi lebde na zračnom jastuku na visini od nekoliko milimetara kako bi se minimaliziralo trenje. Sile koje pomiču stupove su relativno male sa ovom izvedbom konstrukcije. Slika 3.3 prikazuje mostnu strukturu sa pokretnim mostom odnosno pomičnu mostnu strukturu.



Slika 3.3 Mostna struktura sa pokretnim mostom [3]

3.1.2. Mostna struktura sa nepokretnim mostom

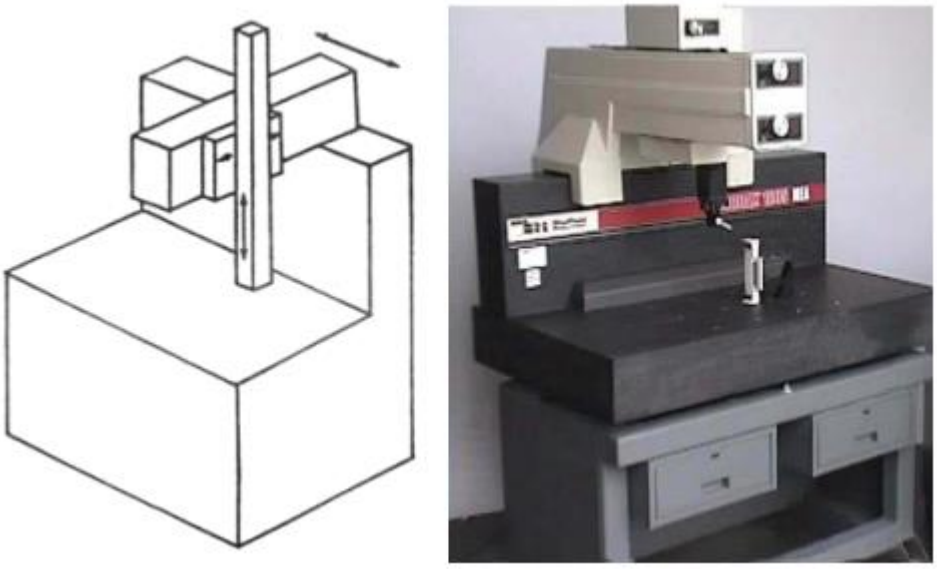
Kod ovog tipa mostne strukture, most je spojen čvrsto na postolje uređaja te se time dobiva na velikoj krutosti konstrukcije i eliminira problem neusklađenih pokreta bočnih nosača. Karakteristika ovakve strukture je da daje najpreciznija mjerenja, ali za posljedicu ovakvog dizajna ima smanjenu brzinu rada zbog potrebe pomicanja teškog radnog stola. Također, postoji i ograničenje težine radnog komada te potreba za dugim vodilicama za kretanje dugog radnog stola. Centralni pogon senzora je lociran centralno te je pojava Abbeove greške znatno reducirana.



Slika 3.4 Mostna struktura sa nepokretnim mostom [3]

3.2. Konzolna struktura

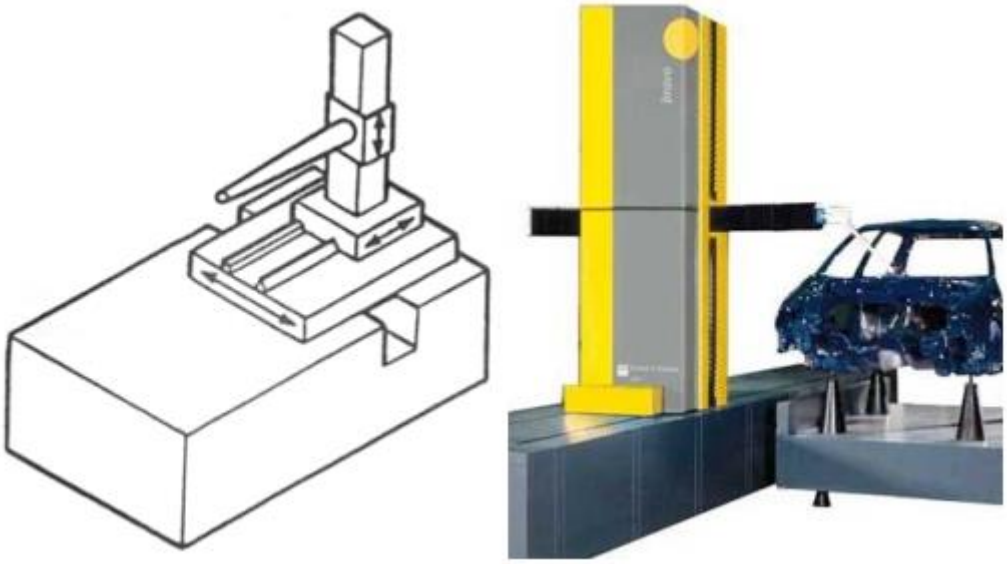
Izvedba uređaja u konzolnom obliku upotrebljava se većinom za opća mjerenja i vrlo često kao uređaje za umjeravanje. Pokretna konzola kreće se po nosaču naprijed-nazad, a sonda na stupu se nalazi na nosaču koji se kreće gore-dolje. Na ovakav tip strukture omogućeno je postavljanje relativno teških komada i ujedno sa tri otvorene strane omogućen je dobar pristup radnom komadu što u konačnici rezultira vrlo brzim vremenima mjerenja. Nedostatak je savijanje konzole koje predstavlja veliki utjecaj na rezultate mjerenja pa se korigira primjenom softwera za ispravljanje grešaka.



Slika 3.5 Konzolna struktura TMU-a [3]

3.3. Horizontalna struktura

Horizontalna struktura odnosno struktura TMU-a sa horizontalnom rukom je idealna za mjerenje automobilskih dijelova jer se ruka kreće većinom samo u horizontalnom smjeru. Ima različitih izvedbi ovakvog tipa s obzirom na pokretni stol, broj ruku i itd. Veličina radnog komada utječe na pokretni stol, mjernu brzinu i točnost mjerenja. Prednost svih vrsta TMU-a sa horizontalnom rukom je najbolji pristup svim stranama radnog komada te velika brzina mjerenja. Nedostatak je eventualno ograničena točnost koja se korigira preko softwera. Mjerni uređaji ovakve strukture imaju veliki mjerni volumen, gdje mjerni opseg jedne osi znatno veći od druge dvije. Dizajn omogućuje mjerni opseg u pravcu duže osi do 25000 mm. Horizontalna struktura TMU-a prikazana je na slici 3.6.



Slika 3.6 Horizontalna struktura TMU-a [3]

3.4. Portalna struktura

Portalna struktura koristi se za mjerenje veoma velikih dijelova (za mjerenja objekata volumena od 10 m^3 ili većih) te takva struktura dopušta djelatniku da bude u blizini područja koje se ispituje. Postolje je sastavljeno od dva fiksna nosača koja su masivna i na njima se nalazi sustav za pomicanje duž X,Y i Z osi. Horizontalna os je izrađena od lakšeg materijala od ostatka mjernog uređaja, da ne bi došlo do savijanja prilikom mjerenja. Točnost je srednja čak i za velike mjerne volumene. Međutim, ako se traži velika točnost, troškovi se penju zbog specijalnih zahtjeva kao što su specijalni temelji i pogonski sustavi.



Slika 3.7 Portalna struktura TMU-a [3]

Također, ovakvi navedeni tipovi mjernih uređaja izrađuju se različitih veličina, od malih dimenzija da ih čovjek može nositi (prijenosni mjerni uređaji) do tako velikih da im je širina mjernog područja 6 metara.

Odabir trokoordinatnog mjernog uređaja zavisi o predmetu mjerenja i okolini u kojoj se mjeri. U tablici 2. prikazani su sažeci o gore navedenim strukturama TMU.

Tablica 2. Podaci o strukturama TMU [5]

Tip TMU	Preciznost	Fleksibilnost	Najbolje za mjerenje:
Mostna struktura	Visoka	Umjerena	Predmeti srednje veličine, traži se visoka preciznost
Konzolna struktura	Najviša	Niska	Mali predmeti koji traže veliku preciznost
Horizontalna struktura	Niska	Visoka	Veliki predmeti, zahtijeva se niska preciznost
Portalna struktura	Visoka	Umjerena	Veliki predmeti, zahtijeva se visoka preciznost

Strukturni dijelovi TMU

Radni stol koji nosi mjerne objekte, stupovi uređaja, klizači i nosač sonde sa sondom su osnovni strukturni dijelovi koji predstavljaju kostur/bazu mjernog uređaja. Kako ovi elementi nose predmet mjerenja, sondu i senzore, njihove karakteristike utječu na cjelokupni mjerni uređaj. Za postizanje idealnih karakteristika strukturnih dijelova potrebno je zadovoljiti i osigurati:

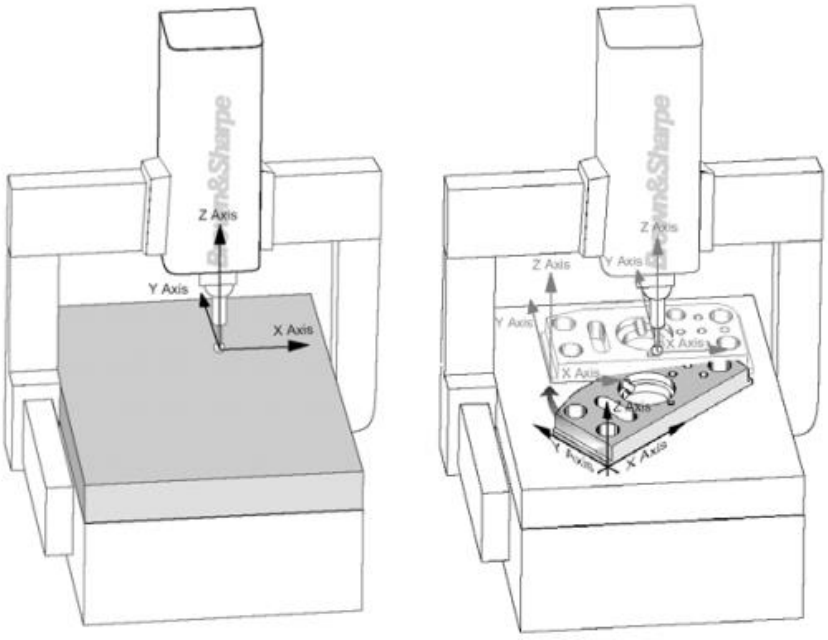
- dimenzionalnu stabilnost,
- beskonačnu krutost,
- malu težinu,

- visok kapacitet prigušenja (amortizacija),
- visoku provodljivost [3].

Ne postoji materijal koji bi zadovoljio sve navedene karakteristike, ali poznavanje traženih karakteristika i utjecaja pomaže u izboru odgovarajućeg materijala. Dimenzionalna stabilnost je jedna od bitnih karakteristika. Optimalan materijal za radni stol i druge strukturne dijelove je granit koji daje veliku točnost kad je temperatura konstantna. Kako bi se postigla velika brzina mjerenja uz dovoljnu točnost, dinamičke karakteristike su veoma važne. Odnos krutosti i težine je mjerilo za dinamičke karakteristike te se manja težina i bolja krutost dobiva određenim metodama proračuna konstrukcija. Vrlo bitna je i prigušna karakteristika mjernog uređaja jer mora prigušiti vibracije da bi se osigurala točnost mjerenja. Granit uz dobru stabilnost ima nizak koeficijent termičkog širenja i visok koeficijent provodljivosti što ga čini još više optimalnim za strukturne dijelove.

Koordinatni sustavi TMU

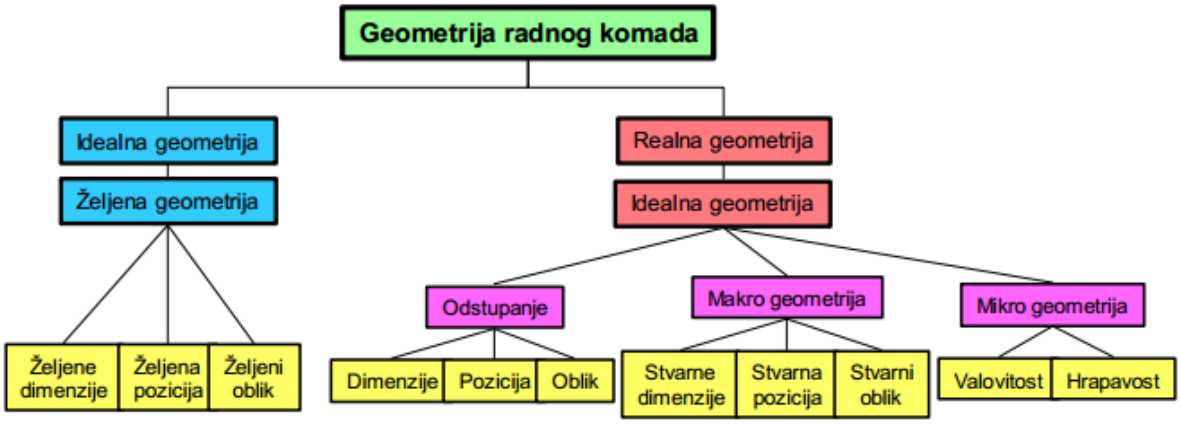
Mjerenja na koordinatnom mjernom uređaju vrši se u nekom od koordinatnih sustava: Descartes-ovom, sfernom ili cilindričnom. Korištenjem softwera jednostavno se izmjeri radni komad, uspostavi vezu koordinatnog sustava mjernog komada i matematički ga poveže u odnos sa koordinatnim sustavom stroja.



Slika 3.8 Koordinatni sustav stroja i radnog komada [3]

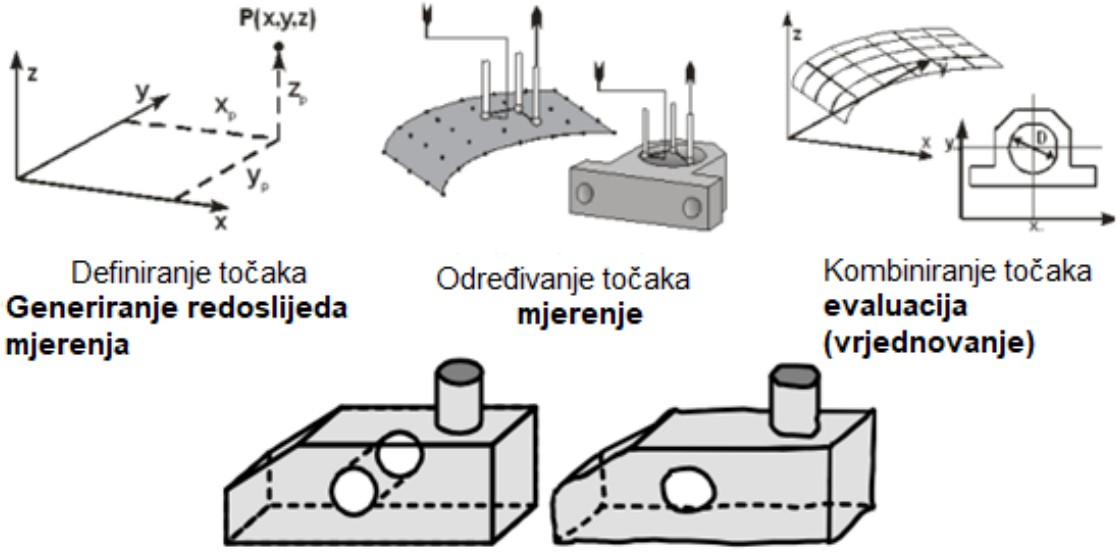
4. PRINCIPI KOORDINATNE METROLOGIJE

Zadatak koordinatne metrologije je određivanje odstupanja stvarnog izrađenog komada na odgovarajućim koordinatnim obradnim sustavima od idealnog, koji je dizajniran u dokumentaciji. Odstupanja se javljaju u pogledu dimenzijskih karakteristika, oblika i položaja. Oblik radnog komad može se opisati njegovim elementima i prostornim položajem elemenata, jednih u odnosu na druge. [3]



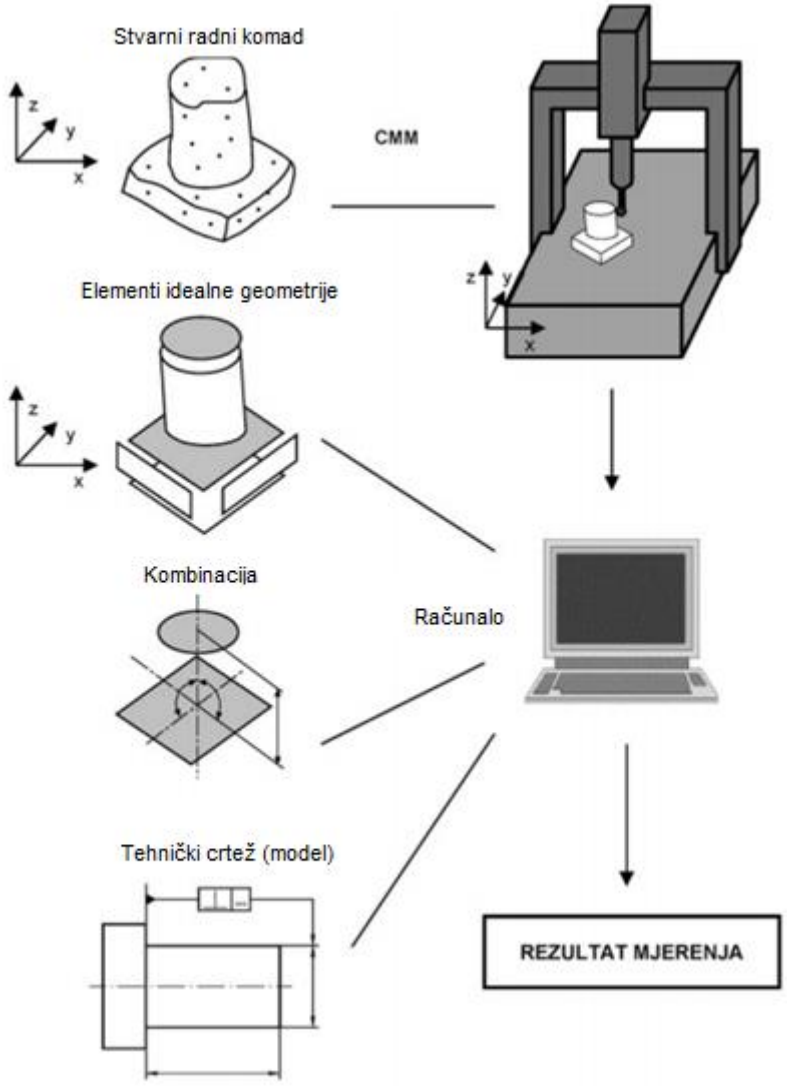
Slika 4.1 Karakteristike idealne i realne geometrije radnog komada [3]

Idealna geometrija predstavlja idealni oblik radnog komada predviđenog dokumentacijom dizajna proizvoda i izradom u procesu proizvodnje. Izradom radnog komada ne dobije se komad željenih dimenzija i oblika. Razlozi za odstupanja od ideala su brojni i različiti.



Slika 4.2 Idealna i realna geometrija [3]

Mjerenjem pojedinačnih točaka na površini radnog komada dobiva se stvarni oblik. Slika 4.2 prikazuje tri osnovna principa kako se dobivaju rezultati realne geometrije radnog komada. Prvo se definiraju točke, odnosno preko programa u računalu ili preko upravljačke palice se generira redoslijed mjerenja točaka prema već određenom koordinatnom sustavu. Zatim se mjeri prema zadanim koordinatama, odnosno određuju se točke u prostoru pomoću mjerne sonde na kojoj se nalazi ticalo. Kombiniranjem dobivenih koordinatnih točaka i određenih točaka idealnog komada u prvom koraku dobivaju se rezultati evaluacijom odnosno vrednovanjem te se u mjernom izvještaju dobiva jasnija slika odstupanja dimenzija. Trokoordinatni mjerni uređaj koristi senzor da odredi (izmjeri) položaj, odnosno locira položaj točke na radnom komadu. Izmjera određenih veličina nije moguća samo na osnovu izmjerenih koordinata. Koristi se analitički model radnog komada kako bi se odredili potrebni parametri (dužina, ugao, itd.).



Slika 4.3 Princip koordinatne metrologije [3]

Priroda koordinatne metrologije definira se kao:

- generiranje skupa izmjerenih točaka primjenom mjerenjima point-to-point (od točke do točke) na stvarnom radnom komadu pomoću koordinatnog mjernog uređaja,
- proračunavanjem relevantnih idealnih geometrijskih elemenata u smislu parametarskog definiranja veličine, oblika, lokacije i orijentacije,
- procjena potrebnih karakteristika radnog komada, tj. kombiniranje elemenata idealne geometrije i njihova usporedba sa dimenzijama i tolerancijama sa tehničkog crteža (ili 3D modela) radnog komada. [3]

Za funkcioniranje mjernog sustava i opisano mjerenje na osnovu koordinatne metrologije potrebni su sljedeći elementi:

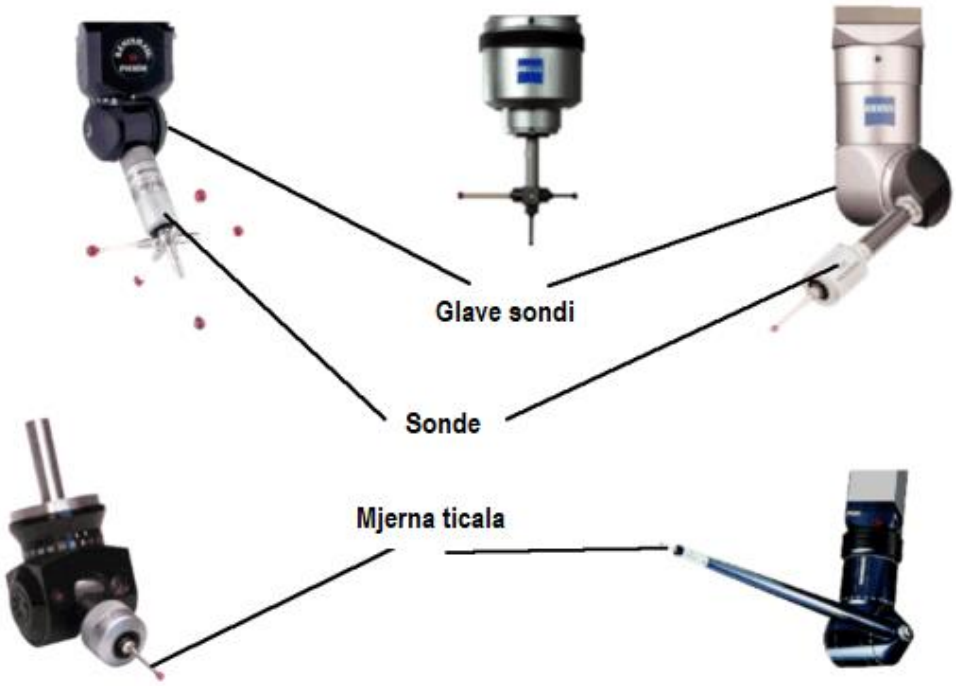
- mehanička struktura koja ima tri osi i senzore za pomicanje,
- sistem sondi za detekciju mjernog komada u svim pravcima,
- kontrolna jedinica,
- daljinsko upravljanje,
- računalo sa dodatnom opremom i softver za proračun i prikaz rezultata. [3]

5. MJERNE SONDE

Cilj mjerne sonde u geometrijskom mjeriteljstvu je detektiranje položaja točke na površini predmeta mjerenja i određivanje međusobne povezanosti pozicija. Mjerne sonde predstavljaju najvažniji dio cijelog mjernog uređaja. One su osnovni, izvršni dio, bez kojeg mjerni uređaj ne može raditi. Zadatak sondi prema definiciji glasi: „Detekcija udaljenosti površine mjernog objekta (ili jedne točke na površini) od zadate referentne točke u određenom mjernom opsegu“ [3]. Sonde se dijele na različite principe, a osnovna podjela je na kontaktne i beskontaktne. U odnosu na svoju referentnu točku mogu obavljati funkciju u jednom, dva ili tri pravca.

Većina mjernih sondi se sastoji od tri komponenata, a to su:

- glava sonde,
- sonda i
- mjerno ticalo (jedno ili više njih) [3].



Slika 5.1 Osnovni dijelovi mjernih sondi [3]

Glave sondi mogu biti fiksne i artikulacijske (koje se prilagođavaju mjernom objektu). Kod dodirno-prekidnih sondi ili kod sondi za skeniranje, sonda pomoću senzora detektira kontakt sa površinom mjernog objekta i šalje signal kontakta (informacije o pomicanju mjernog

ticala). Mjerno ticalo predstavlja vezu između sonde i mjerne površine. Vrh mjernog ticala je u obliku kugle, a izrađuje se obično od rubina (drugi najtvrđi mineral poslije dijamanta na Mohsovoj skali), jednog od najtvrđih poznatih materijala. Ostali dijelovi mjernog ticala izrađuju se od nehrđajućeg čelika, volfram karbida, keramike ili karbonskih vlakana. Moraju se osigurati karakteristike gustoće i krutosti mjernog ticala. Kalibracija se izvodi na keramičkoj kuglici svakih nekoliko dana ili ovisno o broju mjerenja. Mjerenja i kalibracije su jako ovisne o temperaturi u kojoj se nalazi mjerni uređaj zbog toga jer materijali od kojih su izrađeni se proširuju na većoj temperaturi i time znatno utječu na rezultate mjerenja. Postoji veliki broj mjernih ticala te ujedno i velik broj karakteristika i razlika između njih.

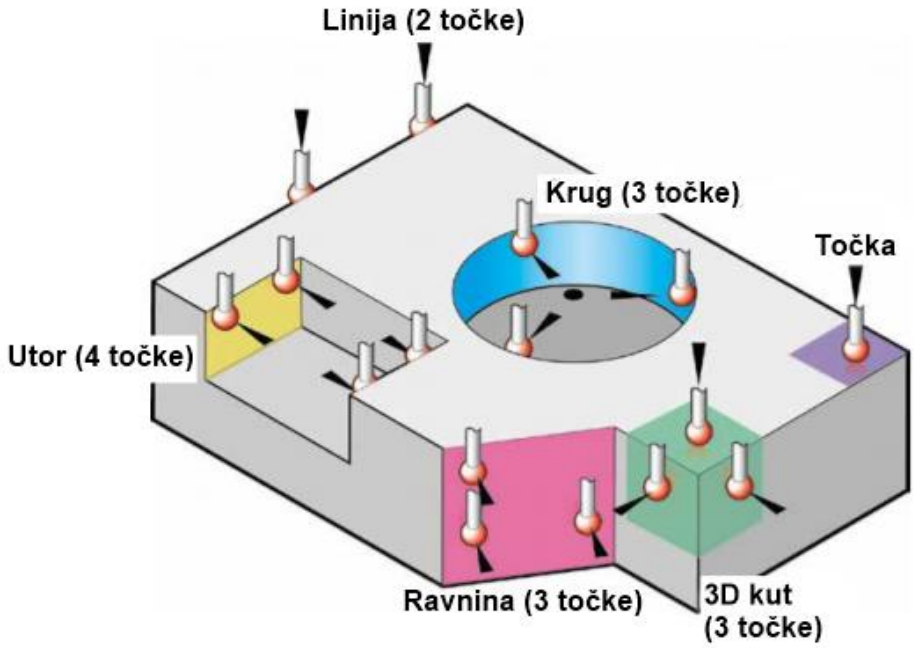
U početku su se koristila kruta ticala konusnog oblika, koja su se za potrebe mjerenja provrta spuštala dok ticalo nije zapelo za rub provrta. Problem kod takvih mjerenja je nastao pri pojavi provrta raznih veličina, što je izazvalo korištenje većeg broja konusnih ticala (te zamjene ticala prilikom mjerenja). Također moralo se paziti da se ne pojave ikakve vibracije tijekom očitanja podataka. Drugi problem pri korištenju tvrdih i krutih ticala je nemogućnosti upravljanja silom mjerenja. Zbog toga je dolazilo do skretanja mjernog ticala sa zadane putanje, što je dovelo do velikih grešaka u mjerenju. Prvo dodirno ticalo je izumio David McMurtry 1972. godine (osnivač tvrtke Renishaw). Na temelju saznanja o jednostavnosti i točnosti mjerenja dodirnih ticala, razvijeni su razni oblici mjernih ticala koja olakšavaju mjerenja nepravilnih oblika mjernih objekata. [4]



Slika 5.2 Sonda osjetljiva na dodir, 1973.g., Courtesy Renishaw [18]

5.1. Način rada kontaktne mjerne sonde

Mjerna sonda, odnosno mjerno ticalo (kod prekidno kontaktnih sonda – najčešće primjenjivanih u praksi) koja je krajnja komponenta, vrši kontakt vrhom samog ticala i komada koji se mjeri. Kad ticalo dotakne predmet mjerenja, sonda informaciju šalje računalu i preko softwera učita trenutnu poziciju mjernog ticala odnosno poziciju mjernog objekta. Softwer na računalu prema dobivenoj informaciji pozicije točke i prema slici 5.3, raspoznaje geometrijske veličine u odnosu na minimalan broj traženih točaka za specifičan oblik te pomoću određenih algoritama dobiva krajnju vrijednost.



Slika 5.3 Prikaz potrebnih točaka za dobivanje oblika [5]

Sa ovakvim navedenim načinom mjerenja mjere se jednostavniji oblici zbog potrebe manjeg broja izmjerenih pozicija točaka. Kod skeniranja, gdje se mjerno ticalo za vrijeme mjerenja održava u stalnom kontaktu sa radnim komadom, mjere se uglavnom složeniji oblici tj. složenije geometrije te se dobiva veći broj podataka o površini. Dobivenim podatcima se može vršiti detaljnija kontrola oblika, tolerancija mjernog predmeta nego kod dodirno-prekidnih sonda. Zbog većeg broja izmjerenih točaka mjerna nesigurnost je manja. Skeniranje je puno sporije nego princip dodirno prekidnim ticalom pa se skeniranje preporučuje za mjerenje složenih dijelova kao što su: zupčanici, rotori, propeleri čija je kontrola teško izvodljiva dodirno-prekidnim sondama.

5.2. Određivanje položaja točke

Određivanje položaja mjerne točke na površini radnog komada sa mjernim ticalom može se podijeliti na:

- Pozicioniranje
- Ispitivanje
- Mjerenje
- Procjenjivanje

Pozicioniranje

Zadatak namještanja površinske točke koja se želi izmjeriti je pomicanjem mjernog stola ili mjerne glave s ticalom unutar mjernog volumena uređaja. Izbjegavanje mogućnosti neplaniranih sudara je jedan od zadataka koje treba izvršiti. Potrebno je utvrditi udaljenost mjernog objekta i dijelova mjernog sustava za povoljno mjerenje. Kod optičkih mjernih ticala, tražena točka se mora nalaziti unutar vidnog polja senzora. Dodirna ticala pomiču ticalo za određenu vrijednost do detekcije kontakta sa mjernom površinom objekta.

Ispitivanje

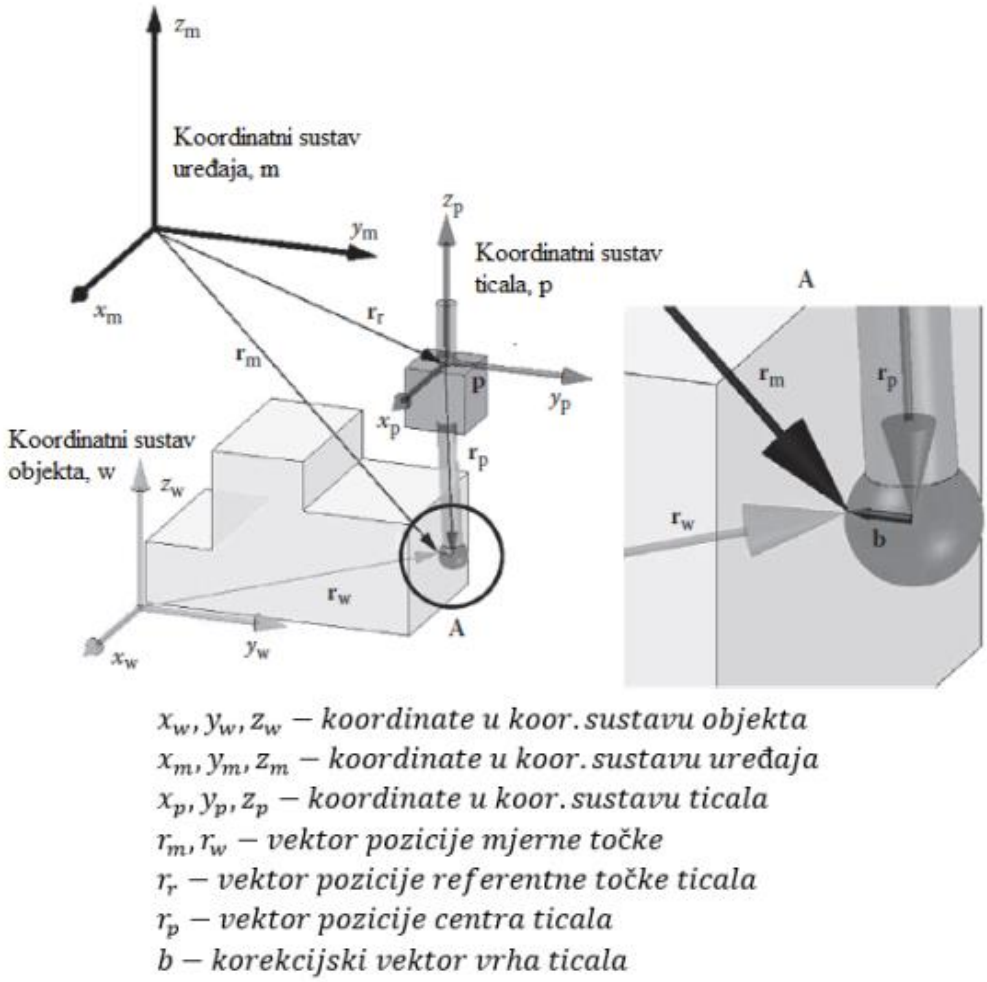
Ispitivanje započinje dovođenjem mjernog ticala u područje mjernog volumena. Izvodi se na način da se mjerno ticalo i mjerni objekt dovedu u međusobnu fizičku vezu. Veza ovisi o kojem se tipu mjernog sustava radi, a obično je mehaničke ili optičke prirode. Kod mehaničkog ispitivanja, krutim mjernim ticalom se dodiruje mjerni objekt sa određenom silom. Potrebno je tu silu ograničiti da ne bi došlo do elastičnih i plastičnih deformacija mjernog objekta i ticala. Da se spriječi bilo kakva deformacija, kod detekcije pozicija točaka, mjerni objekt se mora jednolikom dodirnom silom suprotstaviti mjernom ticalu. Optičko ispitivanje se vrši emitiranjem svjetlosti te dovođenjem u interakciju sa mjernom površinom i analizom svjetlosti koja se odbija prema natrag.

Mjerenje

Usporedba standardne veličine (npr. duljina) i mjerene veličine (npr. udaljenost). Određuje se udaljenost između referentne točke mjernog sustava i određene pozicije na mjernom komadu. Smanjenjem udaljenosti između referentne točke i mjerne točke na što je moguće manje jer se time poveća rezolucija i ponovljivost.

Procjenjivanje

Kod procjenjivanja položaja mjerne točke, vektorska udaljenost između referentne točke mjernog sustava i mjerne točke se mora dodati vektoru pozicije referentne točke u koordinatnom sustavu mjernog uređaja (slika 5.4).



Slika 5.4 Vektorski dijagram mjerenja površinske točke mjernog objekta [4]

Cjelokupni proces mjerenja trokoordinatnim mjernim uređajem može se smatrati kao transformacija realne pozicije **p** neke točke na mjernoj površini u njezinu mjernu poziciju $\mathbf{r_m}$ u koordinatnom mjernom sustavu mjernog uređaja. Postupak se može podijeliti na mjerenje točke i mjerenje mjernog ticala. Podproces mjerenja točke je transformacija vektora pozicije točke **p** u poziciju centra mjernog ticala unutar koordinatnog sustava ticala $\mathbf{r_p}$, uz dodavanje korekcijskog vektora vrha ticala **b**. Dodavanjem vektora pozicije mjernog ticala, dobivamo koordinate mjerne točke unutar koordinatnog sustava uređaja. [4]

5.3. Vrste mjernih senzora

Postoje razne vrste mjernih sondi kod mjernih uređaja koji koriste barem jednu tehnologiju sondi, tj. senzora koji „osjeti“ mjerni komad. Najjednostavnija podjela mjernih senzora je na kontaktne i beskontaktne senzore.



Slika 5.5 Vrste senzora [1]

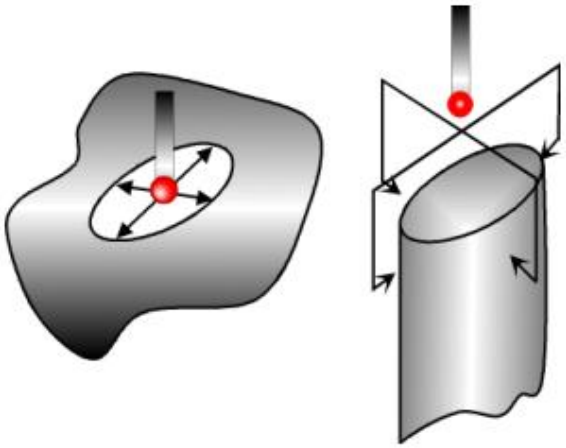
Dvije vrste najčešćih senzora prikazani su na slici 5.5. Kontaktni senzor prikazan je na lijevoj strani slike, a na desnoj prikazan je beskontaktni senzor.

Kod kontaktnih metoda ticalom postoji dodirno prekidni način mjerenja. Postupak je takav da se napravi kontakt ticala sa površinom mjernog komada, vrati se natrag i premjesti na drugu lokaciju i taj postupak ponavlja u odnosu koliko je točaka potrebno izmjeriti. Drugi način kontaktnih metoda je skenirajući način, kod kojeg se skenira površina komada tako da se ticalo dovede u fizički dodir sa mjernim objektom i nastavlja se gibati duž njegove površine čime se podaci kontinuirano prikupljaju. Za beskontaktne senzore ne postoji fizički kontakt sa mjernim komadom. Postoji veliki broj beskontaktne tehnologije u svijetu koja koristi kamere kako bi se dobile optičke slike. Laser koriste optiku i detektore za „hvatanje“ laserske zrake koja se odbija od površine komada. Neke tehnologije rade na principu rezonancije ili spektralne analize svjetlosti kojima se određuje udaljenost između sonde i površine mjernog komada. Kombinacija kontaktnih i beskontaktnih metoda na jednom mjernom uređaju čine višesenzorni mjerni uređaj na kojem se nalazi u većini slučajeva kontaktna sonda sa ticalom, laserski i video senzor.

5.4. Kontaktna metoda

5.4.1. Dodirno-prekidna metoda mjerenja

Kontaktne metode koje se najviše upotrebljavaju u praksi obično funkcioniranju na principu okidača (eng. touch-trigger) i analogne (proporcionalne) mjerne glave koje mjere otklon ticala za vrijeme kontakta, slika 5.8. Dodirno-prekidne sonde su namijenjene za mjerenje pojedinačnih točaka. Uobičajeno na vrhu kontaktnog tijela nalazi se ticalo sa vrhom u obliku sfere. Princip je takav da nakon kontakta ticala sa površinom mjernog objekta, mjerna sonda šalje signal (informacije) koordinatnom mjernom uređaju. Nakon toga mjerni uređaj pozicionira mjerni objekt u odnosu na referentni te izvrši kalkulaciju. Slika 5.6 prikazuje da se malim brojem izmjerenih točaka može dobiti dobre rezultate mjerenja.



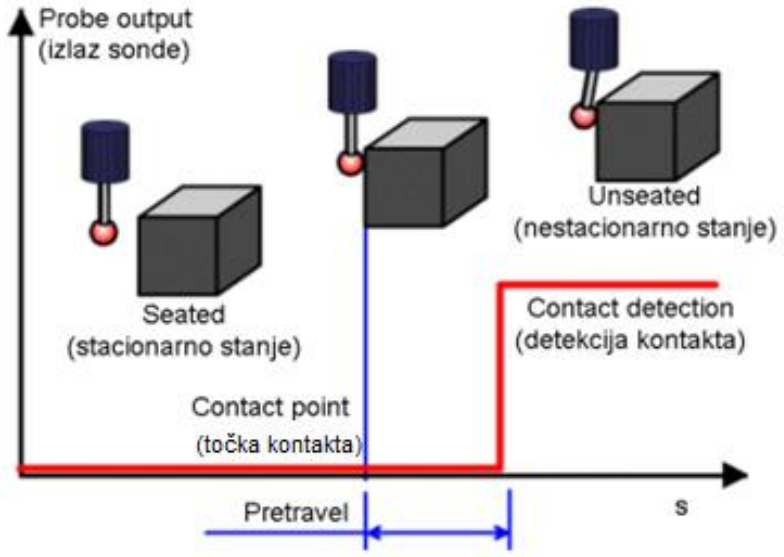
Slika 5.6 Mjerenje unutarnjeg provrta i cilindra [3]

Dodirno-prekidne sonde mogu se nalaziti u dva stanja tokom radnog ciklusa:

- stacionarno stanje (eng. seated), kada ticalo nije u kontaktu sa mjernim objektom
- nestacionarno stanje (eng. unseated), mjerno ticalo je u dodiru sa mjernim objektom i nije u ravnotežnom stanju

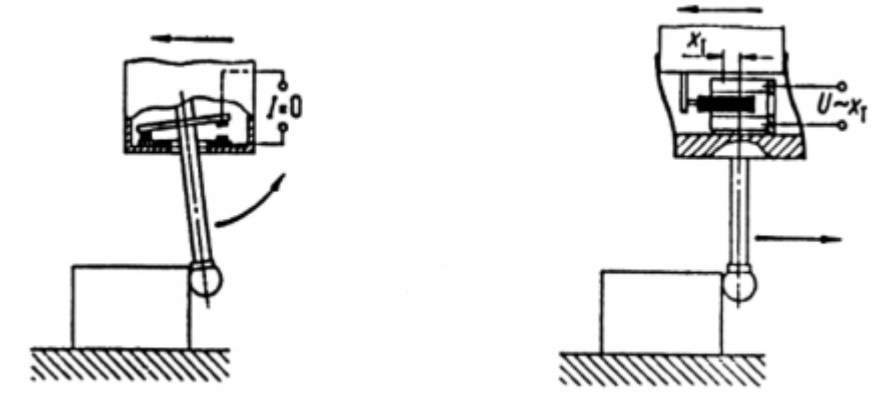
Kad ticalo dođe u neravnotežno stanje, sonda detektira kontakt i šalje signal u sustav koordinatnog mjernog uređaja da registrira točku, prikazano na slici 5.7. Problem kod kontaktnog mjerenja je određivanje trenutka dodira ticala sa površinom mjernog objekta, kao i trenutka očitanja položaja mjerne pozicije. Vrijeme ostvarivanja kontakta je iznimno kratko, već i kod malih brzina dolazi do velikih kontaktnih sila u mjernoj glavi koje mogu

prouzrokovati neprecizna mjerenja. Problem je razlučivanje pravih kontakata sa površinom mjernog objekta od ostalih efekata nastalih uslijed vibracija i dinamičkih efekata promjene smjera i brzine gibanja, rješava se praćenjem vremena trajanja kontakta i iznosa sile ostvarenog kontakta.



Slika 5.7 Radni ciklus dodirno-prekidne sonde [3]

Kod „trigger“ izvedbi mjernih glava, signal u trenutku ostvarenog kontakta ticala s površinom mjernog objekta ostvaruje se preko otklona unutrašnjih kontakta na koje je oslonjen korijen ticala. A kod analognih glava informacija o trenutku uspostave kontakta sa površinom mjernog objekta ostvaruje se induktivnim ili optičkim sustavima. [2]



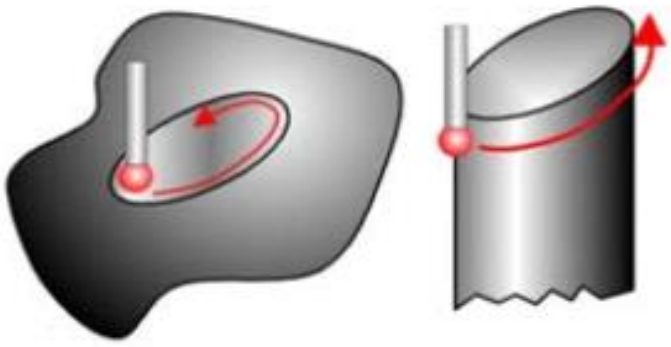
Slika 5.8 Princip djelovanja „trigger“ i analogne mjerne glave [2]

Trigger i analogna mjerna glava pripada podjeli prema načinu detektiranja kontakta ticala sa površinom. Danas postoje i izvedbe kontaktnih glava koje omogućuju rotaciju glave i ticala

preko električnih servomotora s ciljem smanjenja mjerne nesigurnosti. Za detektiranje točaka kontakta koriste se razni fizički principi kao što su: električni, piezoelektrični i otpornički prekidači.

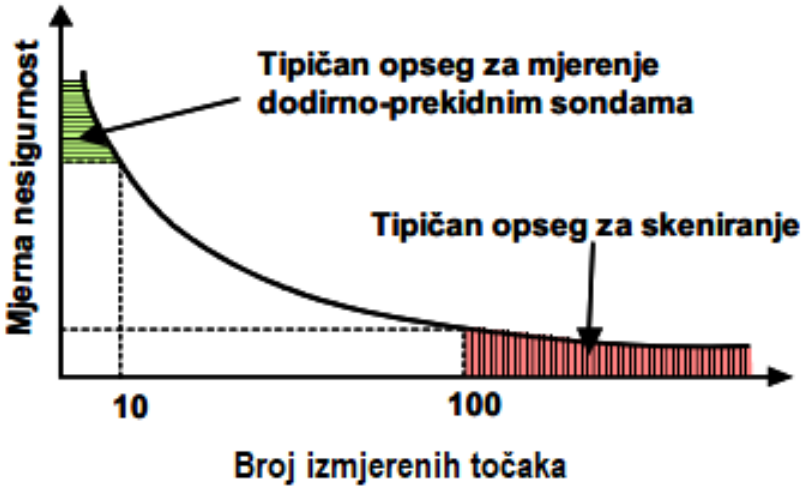
5.4.2. Mjerenje metodom skeniranja

Dovođenjem ticala u fizički dodir sa mjernim objektom i nastavljanjem gibanja duž njegove površine čime se podaci o mjerenju kontinuirano prikupljaju naziva se skeniranje. Konstantnim pomicanjem mjernog ticala u sva tri pravca prikuplja se puno više podataka nego kod metode točka po točka. Naspram dodirno-prekidne, brža je i temeljitija, ali potrebna je i složenija kontrola kako bi se održao kontakt između površine i ticala zbog raznih odstupanja oblika. Omogućena je detaljnija kontrola forme, oblika i tolerancija mjernog objekta te je time mjerna nesigurnost manja. Ovakva metoda koristi se za mjerenje složenijih oblika i mjernih objekata. Nedostatak je pojava trenja između mjernog ticala i radnog komada.



Slika 5.9 Metoda skeniranja [3]

Postoje skeniranje sa otvorenom petljom (eng. open loop) i zatvorenom petljom (eng. closed loop). Skeniranje sa otvorenom petljom je tehnika skeniranja sa velikom brzinom koja se koristi za već poznate i definirane oblike. Druge tehnika se koristi za nedefinirane geometrije površina. Tipičan broj točaka kod dodirno-prekidne metode je 10 mjernih točaka, a kod skeniranja je minimalan broj od 100 mjernih točaka. Ne samo da je skeniranjem veći opseg mjerenja u odnosu na dodirno prekidne metode nego se dobiva i manja mjerna nesigurnost, slika 5.10.

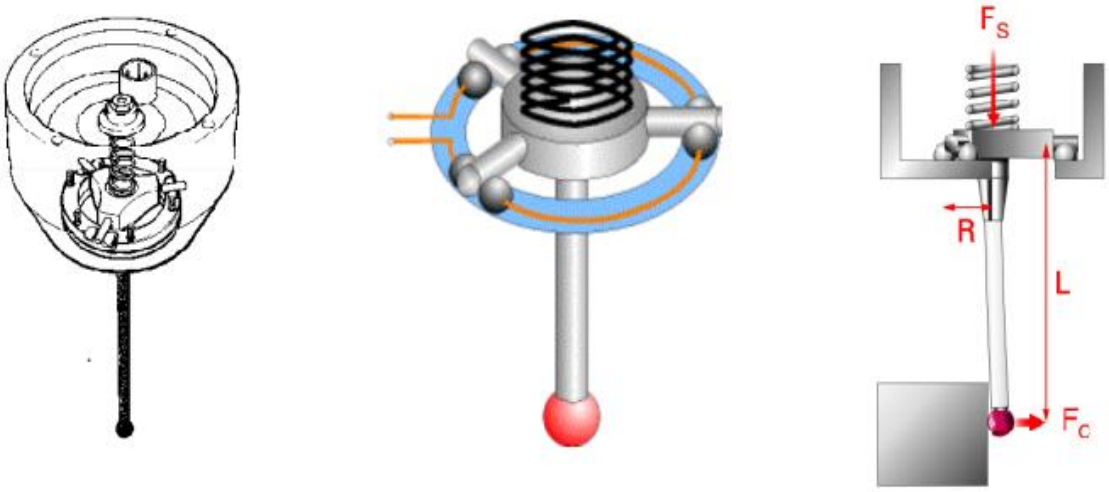


Slika 5.10 Usporedba mjerenja dodirno-prekidnom metodom i metodom skeniranja [3]

5.5. Principi rada sondi

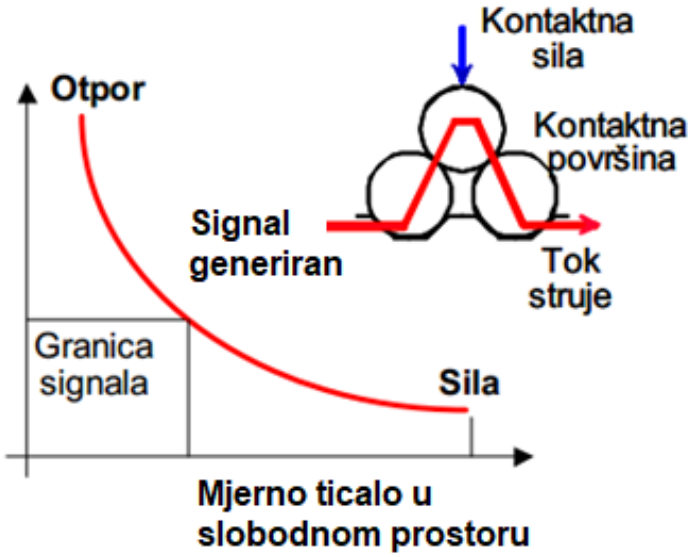
5.5.1. Otporno-kinematske sonde

Otporno-kinematske sonde (eng. kinematic resistive) rade na jednostavnom principu, kretnjom sonde prema radnom komadu dok se ne ostvari fizički kontakt. Mehanizam se sastoji od tri kontakta povezana u strujni krug koji se održavaju u ponovljivoj poziciji pomoću opruge, slika 5.11. Ovakav tip sondi je ustvari već navedeni u ovom radu, a spominju se kao „trigger“ mjerne glave.



Slika 5.11 Otporno-kinematske sonde i sile pri procesu mjerenja [3]

Uslijed ostvarenog kontakta javlja se kontaktna sila Fc koja stvara moment oko predmeta mjerenja te se mu suprotstavlja sila u opruzi Fs. Povećanjem kontakta, kontaktna sila raste i stanje ravnoteže se dostiže kada se izjednači moment Fc x L i Fs x R, slika 5.11. Dolazi do početka odvajanja kontakta (jednog ili više), time se i otpor mijenja u strujnom krugu, jer se kontaktna površina smanjuje uslijed razdvajanja. Generiranje signala dolazi kada otpor prijeđe unaprijed zadanu granicu, slika 5.12.

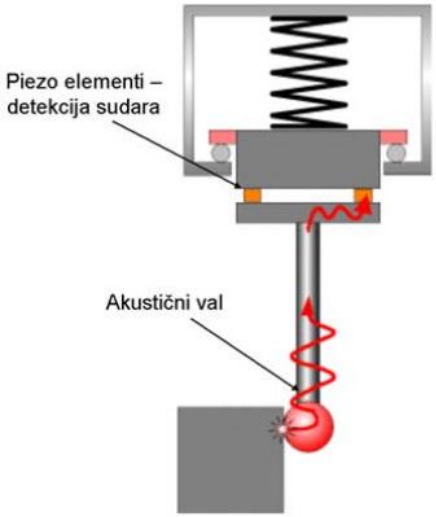


Slika 5.12 Generiranje signala kod otporno-kinematskih sondi [3]

Kod mjerenja u z pravcu (npr. mjerenje ravne površine), kontaktne sile su puno veće nego kada se mjerni u xy ravnini zbog toga jer je mjerno ticalo izloženo pritisku, a ne savijanju.

5.5.2. Piezo sonde

Piezo sonde zasnivaju svoj rad na piezo efektu, slika 5.13. Elementi za detekciju kontakta sa radnim komadom su jako osjetljivi, njihovom upotrebom moguće je detektirati akustične vibracije nastale sudarom mjernog ticala i radnog komada, prijenosom preko mjernog ticala do piezo senzora u svrhu detektiranja kontakta. Ove sonde karakterizira velika brzina zvuka signala kroz metal i keramiku mjernog ticala i sonde, a brzina se kreće oko 800 m/s. Kod ovakvih sondi kontaktne sile su vrlo niske. Nedostatak je da zbog visoke osjetljivosti elemenata moguća generacija signala zbog mehaničke vibracije u normalnom radu, čak i zbog buke iz okoliša pa je stoga potrebno imati sustav za potvrđivanje kontakta.



Slika 5.13 Piezo sonde [3]

Piezo sonde pružaju maksimalnu preciznost u području dodirno-prekidnih sondi ali ipak imaju nedostatke tako da zbog toga primjena im je ipak ograničena.

5.5.3. Sonde sa mjernim trakama

Sonda sa tri silikonske mjerne trake je sonda koja registrira kontaktnu silu u tri pravca. Izlazi ove tri trake se obrađuju i pomoću elektronike sabiru te se izračuna ukupni vektor sile. Signal kontakta se generira kada vektor sile dostigne neku zadatu vrijednost.



Slika 5.14 Sonda sa mjernim trakama (Renishaw TP7M) [3]

Mjerne trake su pozicionirane tako da registriraju silu u bilo kojem pravcu kontakta mjernog ticala. Trake su vrlo osjetljive i mogu reagirati pri tako malim silama koje čak i ne uzrokuju pomicanje mjernog ticala. Elektronika je neophodna kod ovakvih sonda zbog toga da eliminiraju lažne kontakte uzrokovane vibracijom itd. Sonde sa mjernim trakama imaju dug vijek trajanja jer su podložne trošenju čak i na više od 10 milijuna dodirnih kontakata.

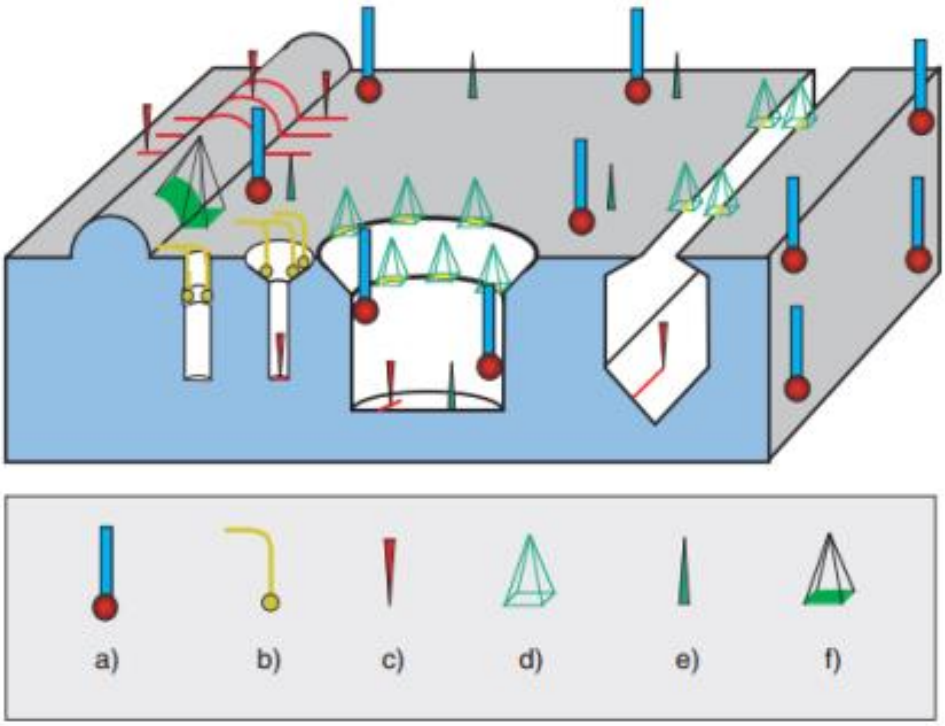
5.6. Beskontaktna metoda

Osim opisanih dodirnih metoda mjerenja postoje različiti principi u koordinatnoj metrologiji pomoću kojih se ostvaruje mjerenje bez fizičkog kontakta sa radnim komadom. Njihov rad najčešće je zasnovan na nekom optičkom principu. Prednosti optičkih sondi u odnosu na kontaktne su u samoj osnovi rada, tj. nema fizičkog kontakta sa radnim komadom te se samim tim izbjegavaju i mogućnost njegovog oštećenja. Kod optičkih sondi se kontaktnim tijelom može smatrati laserska ili svjetlosna zraka čije dimenzije omogućavaju mjerenje karakteristika koje ne bi bile moguće sa kontaktnim ticalom uslijed problema sa dimenzijama samog ticala naspram oblika koji se želi izmjerit. [3]

Današnje optičke sonde za koordinatne mjerne uređaje uglavnom rade kao skenirajuće sonde, premda postoje i dodirno-prekidne varijante. Uglavnom rade sa laserskim izvorom svijetla, imaju mogućnost znatno bržeg prikupljanja podataka o nekoj površini nego dodirne sonde. Nedostatci su velika ovisnost o karakteristikama površine, npr. reflektivnost, teksturi i površinskoj hrapavosti. Veliki utjecaj na rezultat mjerenja ima i sredina, zato jer svijetlost kroz zrak ovisi o njegovim parametrima, kao npr. pritisak, temperatura, vlažnost. [3] Pojedine metode beskontaktnog principa mjerenja biti će opisane u daljnjem sadržaju završnog rada.

5.7. Višesenzorni mjerni uređaj

Višesenzorni koordinatni mjerni uređaj je uređaj koji uz kontaktni senzor koristi i više vrsta ostalih mjernih senzora. U ovim sustavima kombiniraju se različite vrste tehnologija, kontaktne i beskontaktne. Senzori se razlikuju ovisno o veličini i tipu mjerne značajke na objektu te i mogućnosti mjerenja više mjernih točaka u kratkom vremenu. Zbog kompleksnijih dijelova koje sa jednim senzorom je nemoguće izmjeriti i željom za smanjenjem troškova proizvodnje uvedena je višesenzorna tehnologija. Smanjenje troškova se odnosi na troškove za prostor, rukovanje sa dijelovima, transport između strojeva, radnike i vrijeme. Svaki navedeni tip sonde ima neka ograničenja primjene, svoje prednosti i nedostatke te nijedna nije idealna za svako mjerenje.



Slika 5.15 Višesenzorni princip rada [1]

Slika 5.15. prikazuje mogućnost korištenja više vrsti senzora za mjerenje različitih oblika površine: a) mehaničko ticalo, b) vlaknasto ticalo, c) laser, d) fotogrametrijsko mjerenje, e) auto fokusiranje, f) projekcijski skener [1]

Mehaničko ticalo

Mehanička (dodirna) ticala su najčešće korištena ticala, a sastoje se od pet elemenata u svrhu postizanja veze sa mjernim komadom:

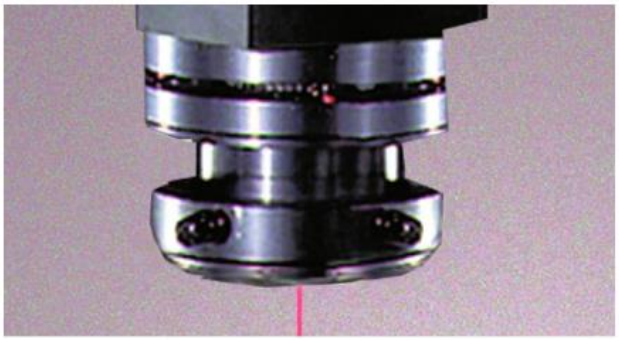
- Mjerna kugla – mehanička interakcija s mjernim komadom. Visoke krutosti, niskog trošenja i izrađena od rubina.
- Odašiljač – prijenos mjernih informacija (sile) do senzora. Visoka krutost, mala toplinska provodljivost i masa. Izrađuje se od čelika, keramike ili plastike pojačane vlaknima.
- Opruga – kontrola mjerne sile.
- Senzori za procjenu mjernih informacija – detekcija kontakta, mjerenje smjera i pomaka.
- Sučelje s mjernim uređajem – prijenos informacija upravljačkoj jedinici.

Vlaknasto ticalo

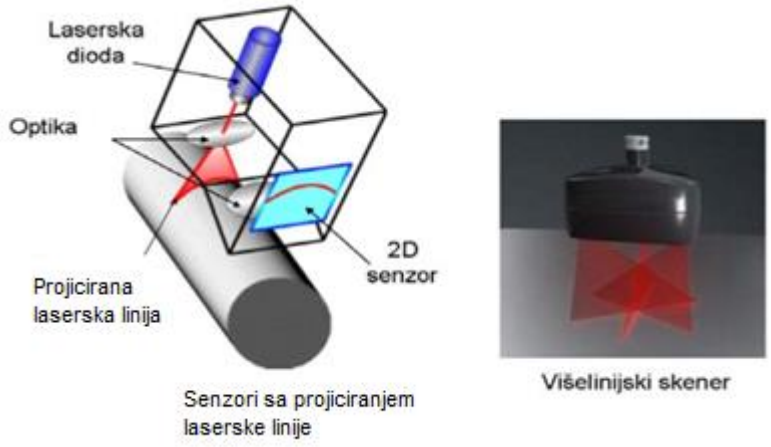
Okidni senzor za optičke mjerne projektore koji se koristi kod 2D mjerenja (treća os se može podesiti, ali se ne može mjeriti). Tanko stakleno vlakno pokupi svjetlosni signal iz snopa zraka iz projektora i usmjeri ga u fotomultiplikator. Pomicanjem objekta kroz snop zraka, rub objekta stvara prijelaz svijetlo-tamno ili obrnuto. [4]

Laser

Sonde koje rade na principu laserske triangulacije spadaju u optičke sonde i u grupu beskontaktnih senzora. Laser i mjerenje video sondom su dva najpoznatija beskontaktna mjerenja. Princip mjerenja se zasniva na usmjeravanju laserske zrake na površinu radnog komada kroz optički sustav. Reflektirana svjetlost tj. odbijena zraka očitava se pomoću senzora te se izračunava pozicija mjerne točke. Koristi se za manje zahtjevne mjerne zadatke, za skeniranje površine slobodnog oblika i radnih komada od mekših materijala. Moguće je projicirati točku, ali i liniju koja se „raširi“ i projicira obliku linije na površinu pomoću određenih senzora. Višelinijski senzori sadrže više projiciranih linija pod uglom od 120 stupnjeva kako bi se mjerni objekt mogao izmjeriti iz jednog prolaza umjesto iz više njih. Udaljenost sonde i površine može biti 50 mm sa određenim mjernim opsegom od 10 mm.



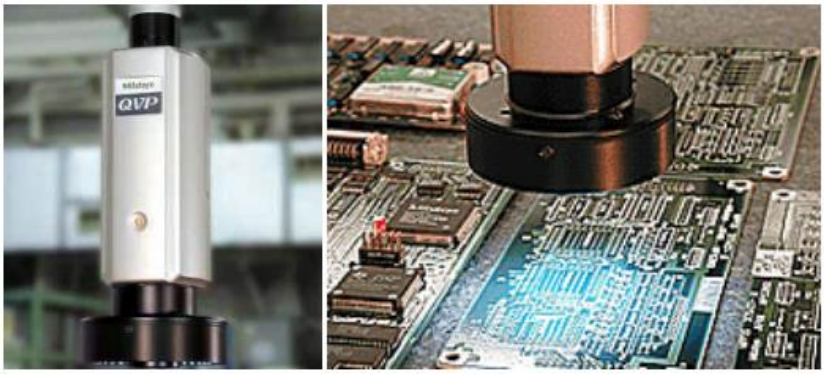
Slika 5.16 Laser [4]



Slika 5.17 Senzor sa projiciranjem laserske linije (lijevo) i višelinijski senzor (desno) [3]

Video sonde

Koriste se kao vizijski senzori koji pomoću CCD kamere prikupljaju informacije o mjernom objektu. Video ticala upotrebljavaju dva principa, detekciju bridova i autofokusiranje. U odnosu na koordinatni sustav mjernog uređaja, koordinatna točka u x-y ravnini se detektira putem bridova, a u smjeru z osi putem autofokusiranja.



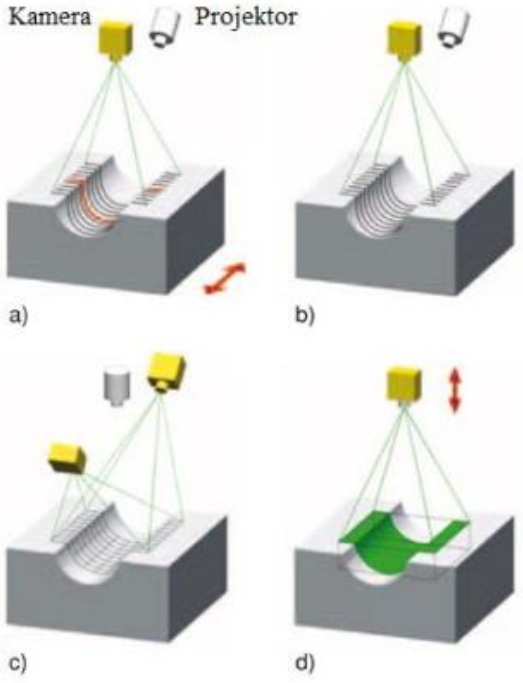
Slika 5.18 Video senzor [3]

Ticalo s autofokusom

Pripada skupini beskontaktnih senzora koje koristi komponente vrlo slične video ticalima. Duž optičke osi, slika s oštrim rubovima će se dobiti samo iz određenog položaja senzora [4]. Kontrast se koristi kao parametar za određivanje fokusa. Pomicanjem senzora duž optičke osi podešava se kontrast slike. U točki u kojoj se podudaraju fokalna površina i površina objekta postiže se najveći kontrast. Najveći nedostatak je podešavanje udaljenosti ticala i mjerne površine, što jako usporava proces mjerenja.

3D ticalo

Ovakav tip ticala može se podijeliti na više tehnika. Na lasersku tehniku proširenu sa raspršenjem laserskog snopa pomoću pokretnog zrcala (slika 5.19.a). Sljedeća je rubna tehnika (slika 5.19.b), tehnika koja se također zasniva na principu triangulacije. Princip je isti kao i kod lasera, samo se prugasti uzorak projicira na mjernu površinu. Za postizanje bolje rezolucije, projiciraju se različiti uzorci na mjernu površinu i međusobno se uspoređuju. Treća tehnika je fotogrametrijska tehnika (slika 5.19.c), a zasniva se na očitavanju površine iz dva različita smjera pomoću dva vizijska senzora. Zadnja tehnika zasniva se na pomicanju interferometra bijelog svjetla (slika 5.19.d) duž optičke osi. Zatim se različitim principima određuje broj mjernih točaka dobivenih svakim pomakom senzora.



Slika 5.19 Tehnike 3D ticala [4]

6. NAČINI PROGRAMIRANJA I UPRAVLJANJA TROKOORDINATNIH MJERNIH UREĐAJA

Program (eng. Software) za analizu i programiranje mjerenja je neophodni dio trokoordinatnih mjernih uređaja, koji ujedno osigurava efikasnost i ekonomičnost upotrebe mjernog uređaja. Moderni koordinatni mjerni uređaji moraju ispuniti široke mjerne zahtjeve i različite kompleksnosti. Zbog toga postoji i široki spektar načina rada i programiranja sa programom mjernog uređaja, koji još ovisi i o različitim kvalifikacijama operatera. Postoje različiti načini rada sa CMM programom, a može se izvoditi na računalu ili preko touch screen-a. Preko programa omogućeno je programiranje pomoću menija u kojem svaka funkcija (mjerenje geometrijskog oblika, kvalifikacija sonde, položaj koordinatnog sustava, itd.) predstavljena ikonama na ekranu, a mogu se uređivati i naknadno podešavati.

Način programiranja može se podijeliti na dva načina:

- Off-line (neizravno) programiranje
- Online (izravno) programiranje

Off-line programiranje

Kod ovakvog načina programiranja, mjerni uređaj i računalo nisu međusobno povezani. Mjerenje se izvršava na simulaciji, a ne na stvarnom mjernom uređaju. Koristi se tehnički crtež ili CAD model mjernog komada u programu koji simulira mjerenje uz prikaz mjernog objekta, mjernog postolja i mjernog ticala, te je s time off-line programiranje znatno pojednostavljeno. Naredbe kod off-line programiranja su identične kao i kod online programiranja. Programiranje započinje otvaranjem programa, zatim otvaranjem CAD modela, određivanjem pozicije modela u volumenu mjernog uređaja te simulacijom izvođenja mjerenja. Za stvarno mjerenje potrebno je povezati računalo sa mjernim uređajem odnosno prebacivanjem programa iz off-line moda u online način rada.

Online programiranje

Za razliku od off-line programiranja, u ovom načinu programiranja, mjerni uređaj i računalo su međusobno povezani. Mjerni komad postavlja se na mjerno postolje te se mjerno ticalo dovodi pomoću upravljačke palice u kontakt s predmetom mjerenja. Program zapisuje koordinate dodirnih točaka i služi za usporedbu dobivenih mjerenja i izračun nekih drugih

značajki. Željeni podatci se mogu ispisati nakon završetka mjerenja u obliku mjernog izvještaja. Program se može izvršavati na tri načina:

- Ručni način rada (eng. Manual mode) se upotrebljava kod jednokratnih mjernih ispitivanja. Operater pomoću upravljačke palice upravlja sa mjernim ticalom i uzima mjerne (dodirne) točke, u tom slučaju računalo osigurava podatke, a program služi za ispis traženih mjernih podataka.
- Automatski način rada (eng. Automatic mode) se koristi kada treba uzeti više dodirnih točaka da bi se uštedjelo na vremenu. Program prema procjeni uzima mjerne točke koje bi mogle dati najtočnije rezultate.
- Programski način rada (eng. Programming mode) se u praksi najviše koristi. U ovom načinu rada, mjerni uređaj uzima mjerne točke na istim mjestima koje je operater izabrao ručnim načinom rada i spremio kao program mjerenja. Razlika između automatskog i programskog je da kod automatskog mjerni uređaj „sam“ odabire putanju mjerenja, dok kod programskog načina rada uređaj slijedi putanju određenu u programu.

Upravljanje trokoordinatnih mjernih uređaja

- Ručno upravljanje
  - Fizičko pomicanje mjernog ticala po koordinatnim osima mjernog uređaja i uspostavljanja kontakta sa predmetom mjerenja. Zapisivanje informacija o kontaktu u digitalnom obliku koje operater izračunava dalje ručno.
- Ručno upravljanje potpomognuto računalom za obradu podataka
  - Fizički se pomiče mjerno ticalo, a računalo služi za pohranu i usporedbu podataka te izračun određenih značajki ili preračunavanja mjernih jedinica.
- Motorno upravljanje potpomognuto računalom za obradu podataka
  - Električni motori služe za pomicanje ticala duž koordinatnih osi upravljanih pomoću upravljačke palice. Računalo pohranjuje podatke i služi za daljnju obradu.
- Direktno upravljanje računalom
  - Mjerno ticalo se pomiče pomoću programa na računalu. Postavljanje mjernog komada na postolje, pokretanje programa koji automatski vrši mjerenje i izračunava određene značajke. Ovakav način je potpuno programibilan i vrlo je sličan upravljanju CNC strojeva.

7. PROCJENA SPOSOBNOSTI MJERNOG SUSTAVA

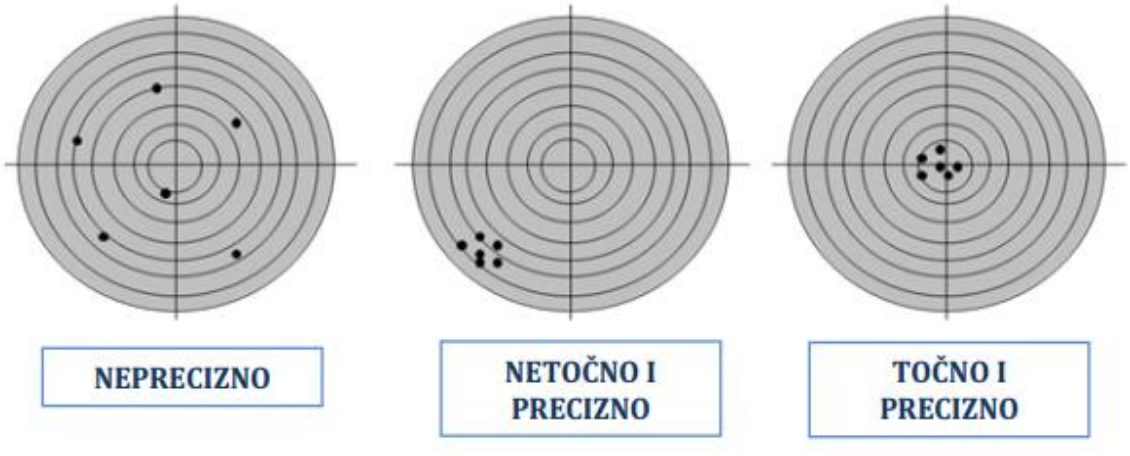
Mjerenje je danas neizostavan faktor tokom izrade novog proizvoda, zbog toga jer mjerenjem dobivamo uvid u stvarne dimenzije proizvoda. Mjerenja nisu savršena zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka, vlage, nesavršenosti uređaja ili neiskustvo mjeritelja), a tako i zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja). Mjerna nesigurnost je posljedica upravo tih djelovanja. Mjerna nesigurnost je parametar koji opisuje rasipanje vrijednosti koje se pripisuju mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost, a pridružen je rezultatu mjerenja. Riječ „nesigurnost“ znači sumnju, u najširem smislu „mjerna nesigurnost“ znači sumnju u valjanost mjernog rezultata [6]. Okolina u kojoj se provodi mjerenje može biti od velikog značaja za rezultate mjerenja. Ako dolazi do promjene temperature, vlažnosti i drugih faktora, pouzdanost i ponovljivost rezultata će biti narušena, a time i točnost mjerenja. Greške koje uzrokuju mjernu nesigurnost mogu biti okarakterizirane od strane operatera koji vrši mjerenje.

Izvori mjerne nesigurnosti su:

- nepotpuna definicija mjerene veličine,
- nesavršeno ostvarenje definicije mjerene veličine,
- uzimanje uzoraka mjerene veličine nije reprezentativno,
- neodgovarajuće poznavanje učinaka okolišnih uvjeta za mjerenje,
- osobna sustavna pogreška očitavanja mjerila,
- nedovoljno razlučivanje ili osjetljivost mjerila,
- netočne vrijednosti mjernih etalona ili referentnih tvari,
- netočne vrijednosti konstanti koje se rabe u proračunima itd. [13].

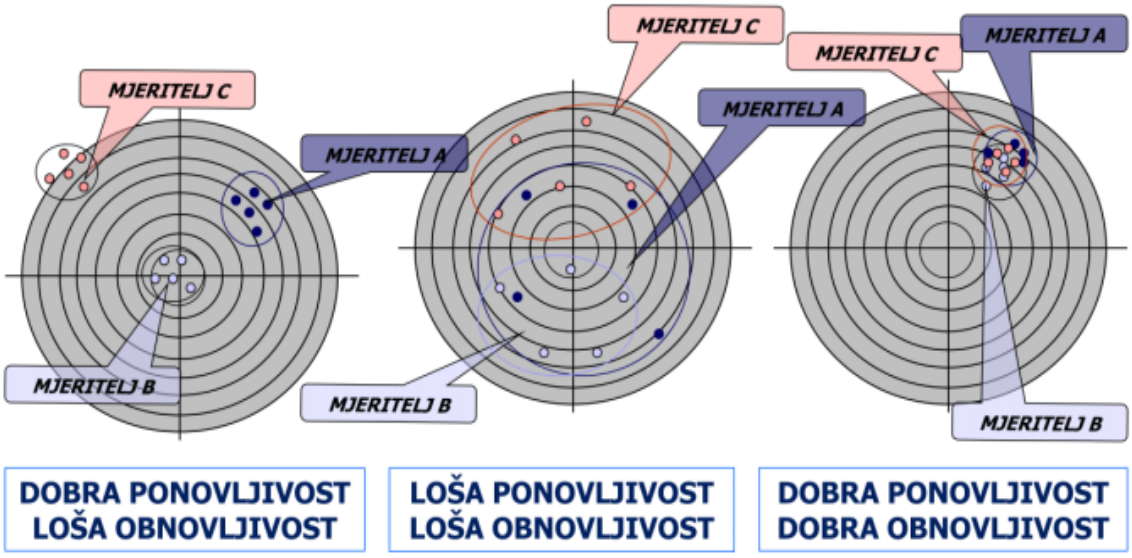
Standardni mjeriteljski uvjeti kod mjerenja sa trokoordinatnim mjernim uređajem u procesu mjerenja moraju biti kontrolirani i konstantni što se tiče okolišnih uvjeta (temperatura, tlak zraka, vlažnost zraka, vibracije, itd.). Predmet mjerenja i uređaj moraju biti ujednačeni sa tim uvjetima prije mjerenja jer utjecaj tih faktora iznimno utječe na rezultate mjerenja. Standardni mjeriteljski uvjeti glase: tlak zraka p = 101 325 Pa, temperatura T = 20 °C i relativna vlažnost zraka koja iznosi 58 %. Uz navedene uvjete potrebno je obratiti pažnju na nečistoće na predmetu mjerenja, prašinu, vibracije i nepotrebne kretnje operatera za vrijeme mjerenja kako se ne bi poremetili uvjeti.

Termin „mjerna preciznost“ se odnosi na sve što karakterizira preciznost mjernog rezultata odnosno pouzdanost mjernog rezultata. Mjerna preciznost je bliskost slaganja između izmjerenih vrijednosti veličine dobivenih ponovljenim mjerenjima na istim ili sličnim predmetima pod utvrđenim uvjetima [6]. Drugim riječima, preciznost je izraz za stupanj međusobnog podudaranja rezultata neovisnih ponovljivih mjerenja. Standardno odstupanje, varijanca ili koeficijent promjene pod utvrđenim mjernim uvjetima su načini izražavanja mjerne nepreciznosti.



Slika 7.1 Točnost i preciznost [6]

Bliskost pravoj mjeri ili nekoj prihvaćenoj vrijednosti naziva se točnost. Slika 7.1 nam prikazuje da izjava „rezultati su precizni“ u praksi ne znače da su automatski rezultati točni.



Slika 7.2 Preciznost u uvjetima ponovljivosti i obnovljivosti [6]

Ponovljivost je rasipanje rezultata mjerenja pri višestrukom mjerenju iste mjerene karakteristike u istim mjernim uvjetima koji uključuju:

- isti mjerni postupak,
- istog mjeritelja,
- isto mjerilo upotrebljavano u istim uvjetima,
- isto mjerno mjesto,
- ponavljanje u kratkom vremenu [6].

$$EV = 5{,}15 \times \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} \qquad (1)$$

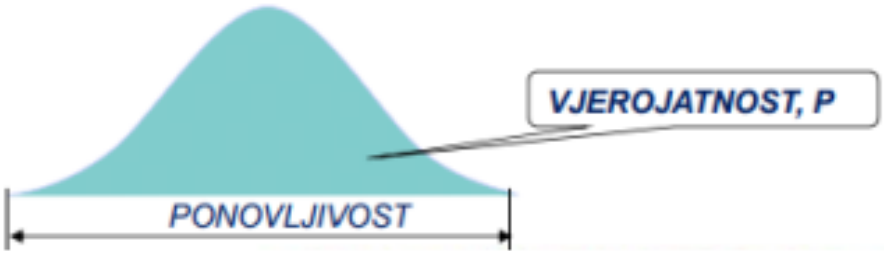
Ponovljivost (eng. Repeatability) se označava sa oznakom EV (eng. Equipment Variation), a predstavlja varijaciju opreme.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum R}{g} \qquad (2)$$

d_2 – empirijski faktor koji povezuje procijenjeno standardno odstupanje i raspon rezultata mjerenja, u funkciji je broja ponovljenih mjerenja m i broja raspona g (tablica 3.) [11].

g = broj dijelova (uzoraka) · broj mjeritelja

$\sum R$ – suma svih odstupanja



Slika 7.3 Ponovljivost [6]

Ponovljivost u najvećoj mjeri određuje utjecaj mjerila u varijaciji mjernog sustava. Mjerna vrijednost ponovljivosti r je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži razlika između dvaju pojedinačnih rezultata mjerenja dobivena uz uvjete ponovljivosti, uz vjerojatnost od 95 % [11].

Obnovljivost je rasipanje rezultata mjerenja dobiveno od strane većeg broja mjeritelja pri višestrukom mjerenju iste karakteristike na istim dijelovima uz korištenje istog ili različitog mjernog instrumenta i mjernih postupaka [6].

$$AV = \sqrt{(5{,}15 \times \frac{R_0}{d_{\dot{2}}})^2 - (5{,}15 \times \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2})^2 \times (\frac{1}{n \times r})} \qquad (3)$$

Obnovljivost (eng. Reproducibility) se označava sa oznakom AV (eng. Appraiser Variation), a predstavlja varijaciju mjeritelja.

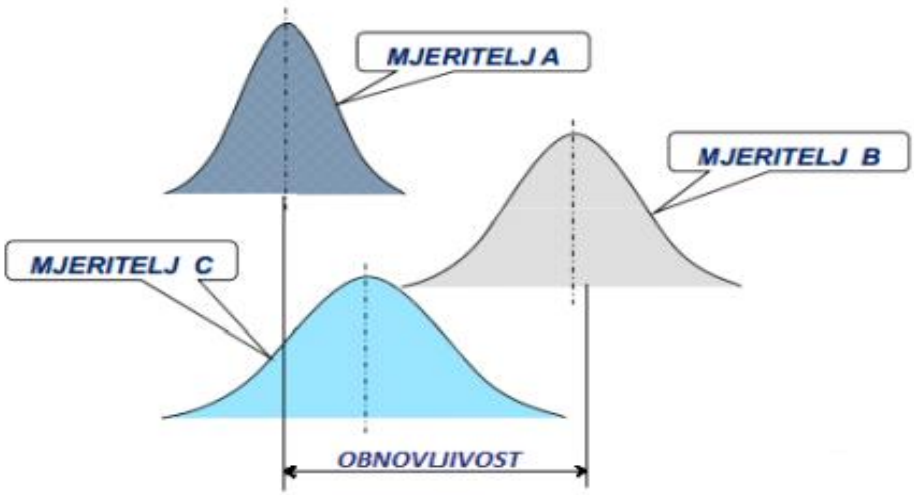
$$R_0 = \overline{X_{max}} - \overline{X_{mın}} \qquad (4)$$

$d_{\dot{2}}$ – faktor u funkciji broja mjeritelja m i broja raspona g (tablica 3.). Broj raspona g u ovom slučaju je jednak 1 [11].

R_0 – razlika najveće i najmanje aritmetičke sredine svih rezultata svih mjeritelja

n – broj dijelova

r – broj ponovljenih mjerenja



Slika 7.4 Obnovljivost [6]

Obnovljivost u najvećoj mjeri određuje utjecaj mjeritelja u varijaciji mjernog sustava. Mjerna vrijednost obnovljivosti R je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži apsolutna razlika između dvaju rezultata mjerenja, dobivena uz uvjete obnovljivosti, uz vjerojatnost od 95 % [11]. Kod određivanja obnovljivosti važno je točno navesti promijenjene uvjete (mjerna metoda, mjeritelj, mjerno načelo, mjerni instrument, vrijeme).

Varijacija dijelova PV (eng. Part Variation) određuje utjecaj predmeta mjerenja u ukupnoj varijaciji mjernog sustava TV.

$$PV = 5{,}15 \times \frac{R_p}{d_{\hat{2}}} \tag{5}$$

$$R_{p=\bar{X}_{p_{max}} - \bar{X}_{p_{min}}} \tag{6}$$

R_p – razlika između najveće i najmanje vrijednosti $\bar{X}_p$

$\bar{X}_p$ je srednja vrijednost svih mjerenja jednog dijela

$d_{\hat{2}}$ – faktor u funkciji broja dijelova m i broja raspona g (tablica 3.). Broj raspona g u ovom slučaju je jednak 1 [11].

Tablica 3. Vrijednosti faktora d_2 [6]

		m													
		2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
g	**1**	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18	3,27	3,35	3,42	3,49	3,55
	2	1,28	1,81	2,15	2,40	2,60	2,77	2,91	3,02	3,13	3,22	3,30	3,38	3,45	3,51
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75	2,89	3,01	3,11	3,21	3,29	3,37	3,43	3,50
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74	2,88	3,00	3,10	3,20	3,28	3,36	3,43	3,49
	5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10	3,19	3,28	3,35	3,42	3,49
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10	3,19	3,27	3,35	3,42	3,49
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72	2,87	2,99	3,10	3,19	3,27	3,35	3,42	3,48
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72	2,87	2,98	3,09	3,19	3,27	3,35	3,42	3,48
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,35	3,42	3,48
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,42	3,48
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72	2,85	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71	2,85	2,98	3,09	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08	3,18	3,27	3,34	3,41	3,48
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08	3,18	3,26	3,34	3,41	3,48
>15		1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	3,173	3,258	3,336	3,407	3,472

Ponovljivost i obnovljivost

Označava se sa R&R (eng. Repeatability&Reproducibility), a predstavlja ukupno rasipanje rezultata mjerenja uslijed zajedničkog učinka ponovljivosti i obnovljivosti. Varijacija mjernog sustava R&R još se naziva i preciznost mjernog sustava.

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \tag{7}$$

Ukupna varijacija (eng. Total Variation) ovisi o varijaciji mjernog sustava R&R i o varijaciji dijelova (uzoraka) PV.

$$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + PV^2} \tag{8}$$

Područje dopuštenog odstupanja ili tolerancijsko polje, označava se oznakom T i računa se kao razlika gornje granice tolerancije (USL) i donje granice tolerancije (LSL).

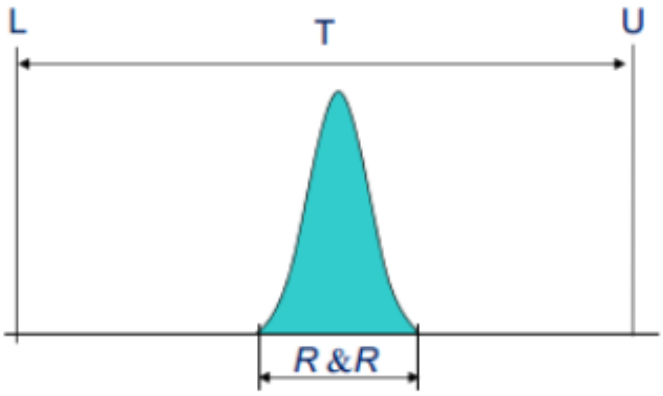
$$T = USL - LSL \tag{9}$$

Sposobnost mjernog sustava

Ocjenjuje se omjerom varijabilnosti mjernog sustava R&R i tolerancijskog polja T ili omjerom varijabilnosti mjernog sustava R&R i ukupne varijacije TV.

$$Sposobnost\ mjernog\ sustava = \frac{R\&R}{T} \times 100\% \tag{10}$$

$$Sposobnost\ mjernog\ sustava = \frac{R\&R}{TV} \times 100\% \tag{11}$$



Slika 7.5 Sposobnost mjernog sustava [6]

Kriteriji za ocjenu kvalitete mjernog sustava R&R u tolerancijskom polju T ili ukupnoj varijaciji TV dani su u tablici 4. Ako mjerni sustav nije zadovoljavajući, potrebna su poboljšanja u mjernom sustavu.

Tablica 4. Kriteriji za ocjenu kvalitete mjernog sustava R&R [6]

% T, % TV	Mjerni sustav je
< 10	Zadovoljavajući
od 10 do 30	Granični
> 30	Ne prihvatljiv

8. EKSPERIMENTALNI DIO

Mjerenje trokoordinatnim mjernim uređajem na nekoliko različitih predmeta izvodilo se u tvrtki Te-Pro. U nastavku ovog rada prikazat će se rezultati mjerenja i analiza ispitivanja ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog sustava. Tvrtka Te-Pro d.o.o. nalazi se u Vrhovljanu (Sveti Martin na Muri), zapošljava oko 300 radnika i bavi se strojnom obradom metala, tokarenjem, glodanjem, autogenim i laserskim rezanjem, varenjem visokozahtjevnih pozicija te ostalom strojnom obradom. Matično poduzeće tvrtke Te-Pro je austrijski Ferrotechnik GmbH iz Graza. Proizvode se komponente za brze i moderne vlakove, rudarsku opremu te dijelove energetskih strojeva i postrojenja. Tvrtka je opremljena najnovijom generacijom strojeva, od strojeva za obradu tokarenjem, glodanjem, laserskog rezanja, savijanja pozicija, varenja do kontrole kvalitete, odnosno mjerenja trokoordinatnim mjernim uređajem, 3D mjernom rukom, laser trackerom, skenerom i ostalo. Tvrtka je orijentirana na inozemno tržište i izvozi 95 % svojih proizvoda.

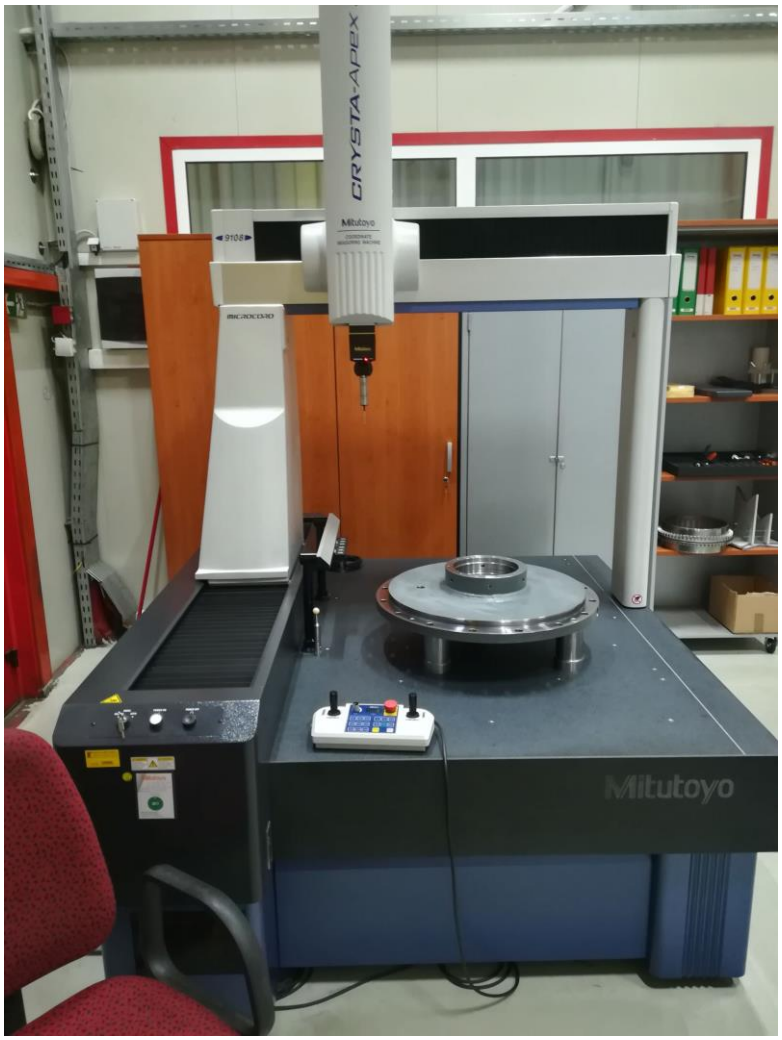


Slika 8.1 Tvrtka Te-Pro [14]

Mjerenja trookoordinatnim mjernim uređajem provedena su na proizvodima visoke kvalitete, koji imaju velike zahtjeve na točnost određenih veličina. Kako su predmeti mjerenja ovog rada izrađeni na visoko zahtijevane tolerancije, do nekoliko mikrona (mikron = tisućiti dio milimetra), mogućnost pogreškama mora biti sveden na minimum. Npr. standardna debljina papira ima debljinu od 70 do 180 μm, a veličina čestice dima i vodene kapljice oko 10 μm. Čelik duljine 100 mm se razlikuje za 11 μm u odnosu na temperaturu od 20 °C i od 30 °C. Predmet mjerenja i ispitivanja na ponovljivost i obnovljivost je brtveni prsten koji se koristi u strojevima, a mora osigurati otpornost na udare, prašinu, koroziju i spriječiti izlazak fluida iz jednog prostora u drugi pa se stoga mora osigurati velika preciznost izrade.

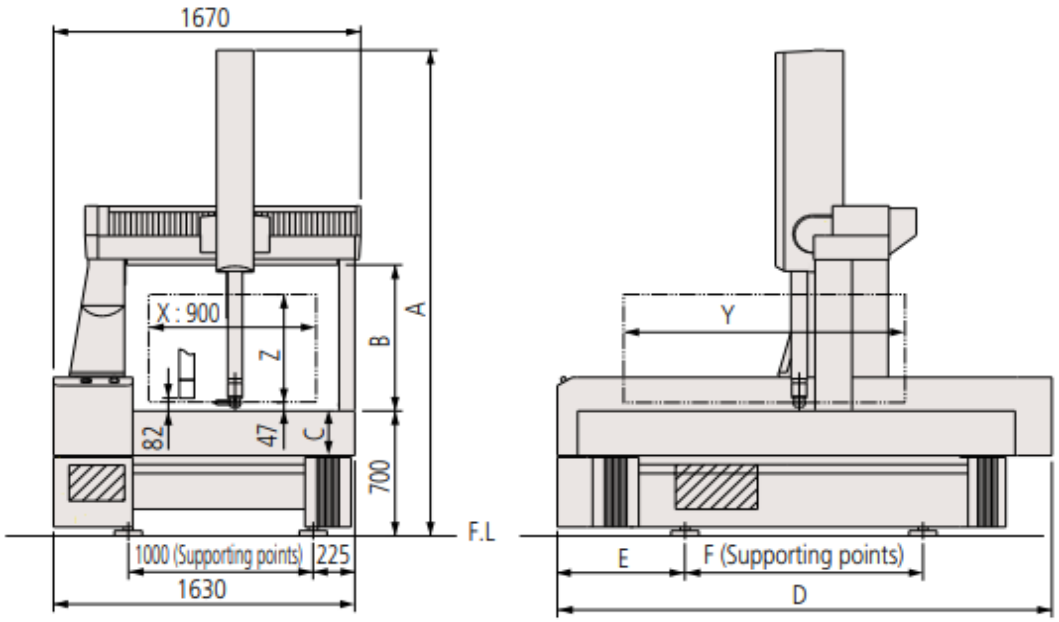
8.1. Trokoordinatni mjerni uređaj – Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108

Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 je trokoordinatni mjerni uređaj japanskog proizvođača Mitutoyo. Mitutoyo je jedan od vodećih svjetskih proizvođača precizne mjerne opreme. Slika 8.2 prikazuje mjerni uređaj koji se nalazi u tvrtki Te-Pro u termički izoliranoj mjernoj sobi u kojoj se održavaju standardni mjeriteljski uvjeti tlak zraka p=101 325 Pa, temperatura T=20°C i relativna vlažnost zraka koja iznosi 58 %. Za precizno mjerenje moraju biti osigurani specifični uvjeti jer pri maloj razlici u porastu temperature dolazi do širenja materijala ili do suženja pri padu temperature. Konstrukcija ovog mjernog uređaja je mostna struktura sa pokretnim mostom. Karakteristika uređaja je visoka preciznost u klasi od 1,7 μm, sustav za kompenzaciju temperature koji garantira točnost mjerenja pri temperaturi od 16 °C do 26 °C, velika brzina i veliko ubrzanje mjerenja te dizajn za visoku krutost koji garantira dugotrajnu točnost, smanjenje vibracija unatoč velikim brzinama i ubrzanjima.



Slika 8.2 Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108

8.1.1. Tehnički podaci Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108



Slika 8.3 Shema Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 [15]

Tablica 5. Dimenzije uređaja Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108

	A	B	C	D	E	F	Y	Z
Dimenzije oznaka (mm)	2730	800	250	1950	470	1000	1005	605

Tablica 6. Karakteristike uređaja Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108

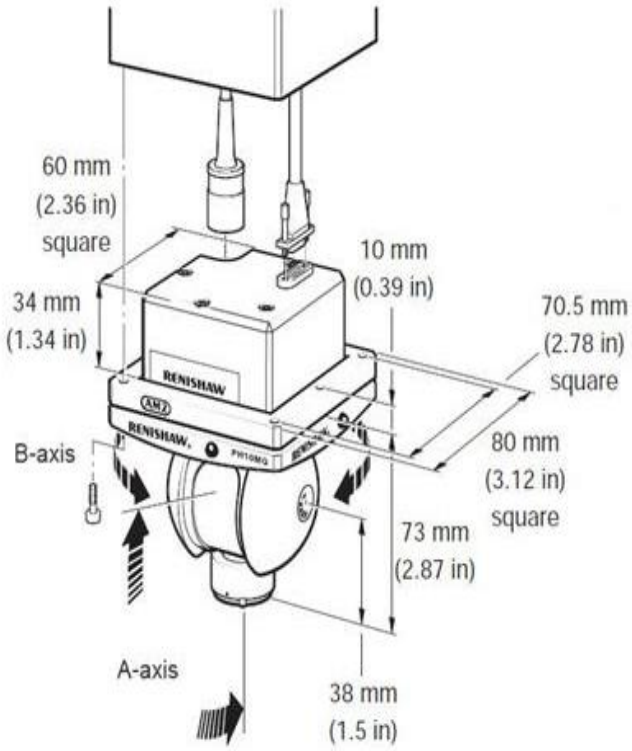
Veličina radne ploče	1080 mm x 1720 mm
Pomak po X osi	900 mm
Pomak po Y osi	1000 mm
Pomak po Z osi	600 mm
Maksimalna brzina mjerenja	8 mm/s
Maksimalna brzina	520 mm/s
Najveća dopuštena pogreška sondiranja	1,7 – 2,2 μm (ovisno o sondi)
Maksimalna težina predmeta mjerenja	1200 kg
Maksimalna visina predmeta	800 mm - 1000 mm

8.1.2. Mjerna sonda

Za potrebe mjerenja koristila se mjerna glava Renishaw PH10MQ te mjerna sonda SP25M, prikazane na slici 8.4. Mjerna sonda Renishaw SP25M spada u grupu jako brzih sondi za skeniranje. Sonda tipa SP25M je najsloženiji, najsvestraniji i jedan od najtočnijih sustava za skeniranje u svijetu koji omogućuje brzo i ponovljivu automatsku izmjenu modularnih elemenata.



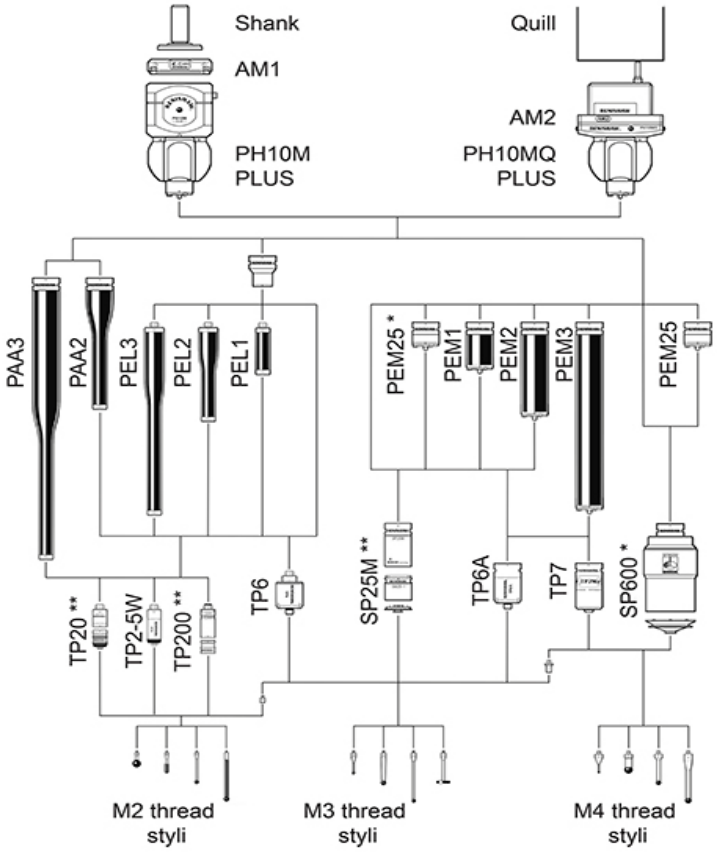
Slika 8.4 Renishaw PH10MQ mjerna sonda



Slika 8.5 Dimenzije Renishaw mjerne glave [16]

Karakteristike mjernih glava Renishaw:

- Motorizirane indeksne glave
- Mogućnost pozicioniranja u 720 pozicija (A-os od 0° do 105°, B-os od -180° do +180°)
- Višenamjenska brza auto zamjena mjernih ticala
- Korak indeksiranja 7,5° u obje osi
- Ponovljivost indeksiranja 0,4 μm
- Mogućnost produžetka šipke sonde do 300 mm.



Slika 8.6 Ekstenderi, sonde, moduli i držači za glave PH10M i PH10MQ [17]

Slika 8.6 prikazuje mogućnost prilagodbe mjerne glave/sonde ovisno o težini geometrije, odnosno da li se određenim mjernim ticalom može pristupiti predmetu mjerenja bez kolizije. Keramička kugla (bijele boje) za umjeravanje mjernog ticala sa koordinatnim uređajem i mjerna ticala (roze boje) od Ø1 mm, Ø2 mm, Ø3 mm, Ø4 mm, Ø5 mm i Ø8 mm na stalku za brzu izmjenu ticala prikazani su na slici 8.7.



Slika 8.7 Kugla za umjeravanje i stalak sa mjernim ticalima

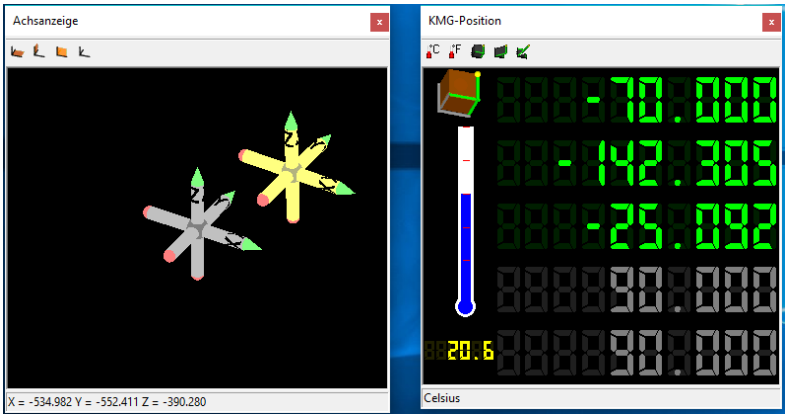
8.1.3. Upravljanje Mitutoyo mjernim uređajem

Upravljanje mjernim uređajem odnosno pomicanje mjernog ticala može se vršiti pomoću računala ili komandne palice (slika 8.8). Prvo je potrebno ručno odrediti položaj predmeta u prostoru mjernog uređaja pomoću komandne palice tako da se izmjeri ploha u prostoru, točka u prostoru i os za smjer kako bi softwer mogao usporediti koordinatni sustav predmeta i koordinatni sustav mjernog uređaja za daljnje mjerenje.



Slika 8.8 Komanda palica („Joystick box“)

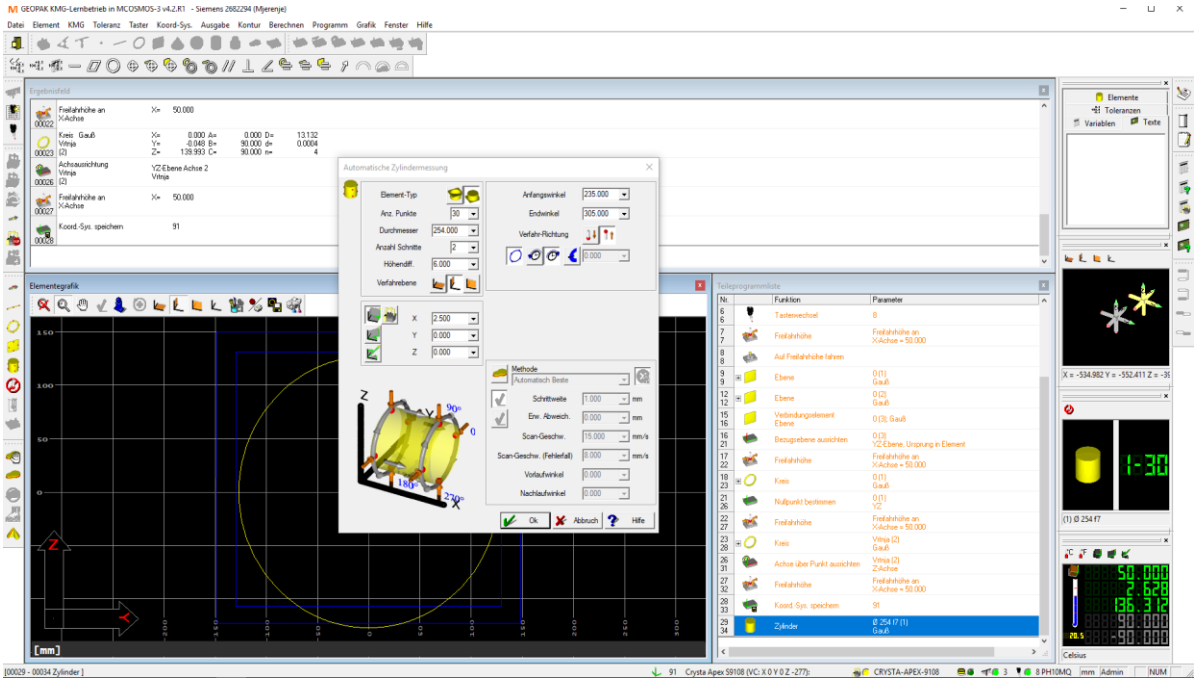
Kako se komandnom palicom upravlja mjernim ticalom tako se preko računalnog softwer-a prikazuje položaj (x,y,z osi) mjernog ticala te odnos koordinatnog sustava uređaja i predmeta mjerenja u smislu smjera vektora osi. Ručno uzimanje koordinatnih točaka te konfiguriranje značajki i spremanje sa softwer-om je važno kod programiranja komada koji se mjeri prvi puta, da bi se kasnije program samo pokrenuo ako je riječ o više komada i ako je određen mehanizam stezanja.



Slika 8.9 Koordinatni sustav u softwer-u

8.1.4. Program MCOSMOS

Softwer koji se koristi za programiranje/mjerenje na trokoordinatnom mjernom uređaju svjetski je standard u mjeriteljskom softwer-u, a naziva se Mitutoyo Controlled Open Systems for Modular Operation Support (MCOSMOS). Program omogućuje integraciju čitavog niza aplikacija, poboljšava učinkovitost CMM-a i produktivnost funkcija kontrole kvalitete.

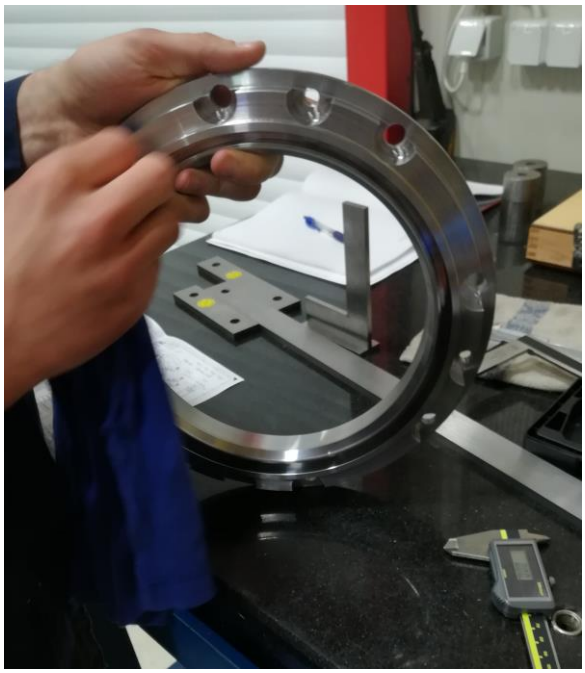


Slika 8.10 Izgled programa u tijeku mjerenja

Programiranje i mjerenje se može izvesti najčešće u geometrijskom online/offline modulima GEOPAK koji uključuju podršku za brzo skeniranje (poznati put), korisničko definiranje dijaloga i značajki te programiranje varijabilne supstitucije. U drugim modulima moguće je mjeriti preko 3D grafičkog prikaza koji omogućuju automatsko generiranje puta mjerenja, provjeru sudara i površinsku analizu. Preko programa pozicionira se mjerno ticalo pod određenim kutom, mijenja ticalo ovisno o predmetu, generira mjerni izvještaj, uspoređuju veličine, izabire način izračuna itd. Elemente i značajke koje je potrebno izmjeriti mogu se izračunati i procjenjivati vlastitim izborom strategije mjerenja. Program kompenzira geometriju i temperaturu te time jamči najbolje rezultate mjerenja. Moguće je podesiti nekoliko načina aproksimacije točaka: najmanja upisana kružnica, najmanja opisana kružnica, Gauss-ova aproksimacija, tangencijalna itd.

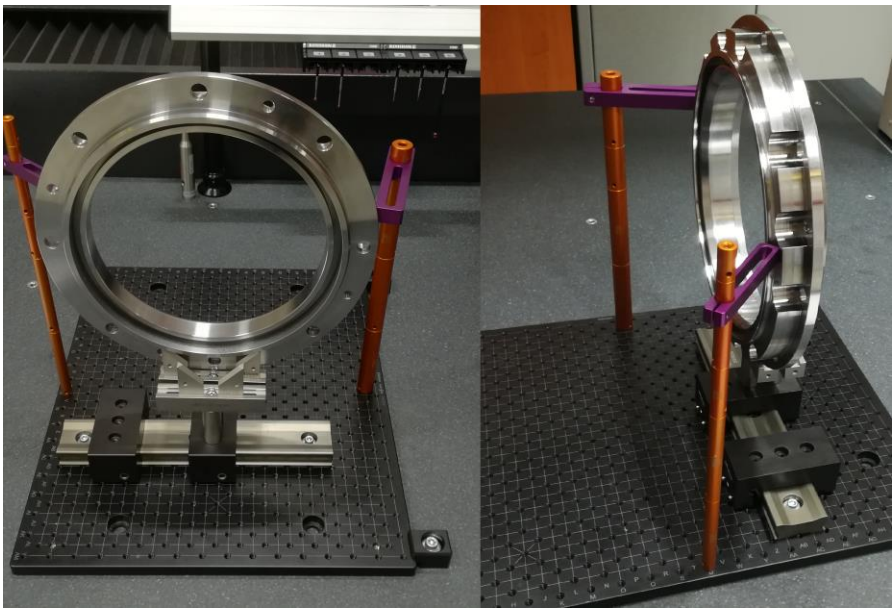
8.2. Opis postupka mjerenja brtvenog prstena

Za potrebe ovog Završnog rada izmjeren je određen broj istih proizvoda brtvenih prstena za ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti mjernog sustava te još nekoliko drugih proizvoda koji se primjenjuju kao prirubnice, brtveni prsteni, prototipi motora i slično. Brtveni prsteni moraju osigurati vijek trajanja, toplinsku vodljivost, otpornost na eroziju i nepropusnost tj. sprječavanje izlaska fluida (maziva) iz jednog prostora u drugi. Kako je tvrtka Te-Pro orijentirana na proizvode vezane za eksploataciju u energetskim postrojenjima kao što su vjetroelektrane i druga energetska postrojenja, te u modernim vlakovima i rudarskoj opremi, težnja za čim manjim pogreškama je jako bitna. Mali dijelovi imaju veliko djelovanje na velike strojeve pa treba osigurati maksimalnu preciznost i točnost sa ciljem da strojni dijelovi ispune svoje zahtjeve i dug vijek trajanja. Zamjena dijelova u velikim postrojenjima kao što su npr. vjetroelektrane ima enormne posljedice, zato jer elektrana ne proizvodi energiju, zamjena košta i normalno da je stariji, netočan dio utjecao na ostale komponente.



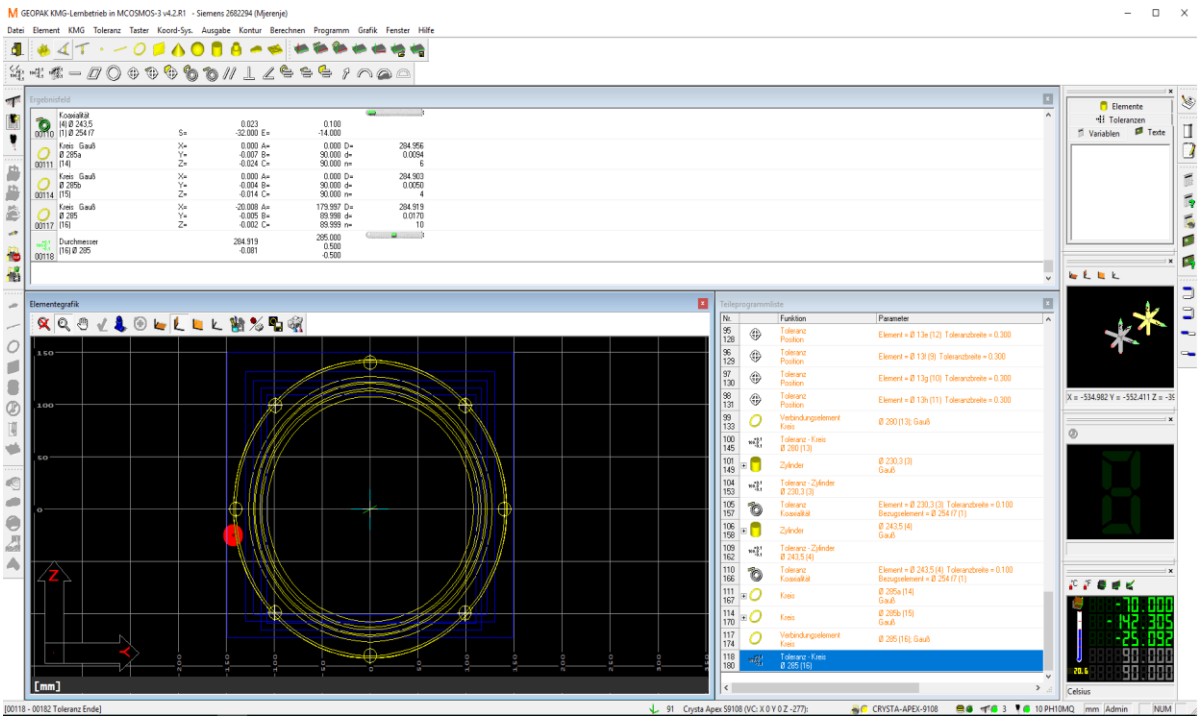
Slika 8.11 Čišćenje predmeta mjerenja prije mjerenja

Predmeti mjerenja stajali su u mjernoj sobi 24 sata prije mjerenja na standardnim mjeriteljskim uvjetima da bi se poštivale norme i da se materijal „stegne“ jer prilikom obrade zbog unosa topline se materijali šire. Slika 8.11 prikazuje čišćenje predmeta mjerenja kako bi se smanjila mogućnost pojave pogreške prilikom mjerenja zbog nečistoća (prašina, emulzija, ostatak metala nakon obrade) u utorima (tolerancije) i na površini.



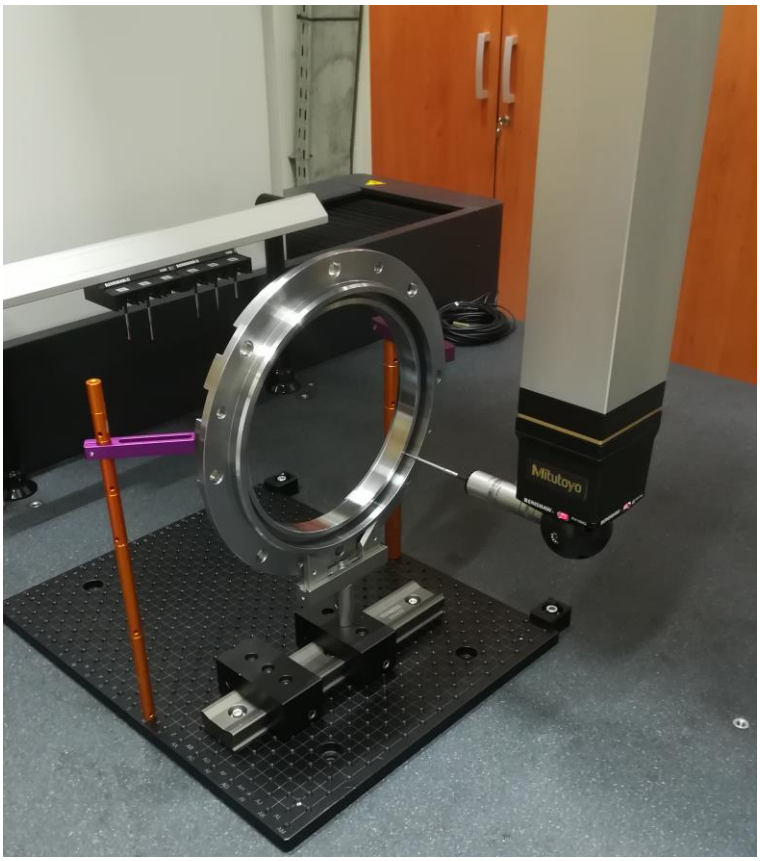
Slika 8.12 Pozicioniranje brtvenog prstena

Vrlo je bitno predmet postaviti i mjeriti bez skidanja, odnosno da se koristi mehanizam stezanja (slika 8.12) za predmet mjerenja ukoliko ima više istih predmeta za mjerenje. Ukoliko nije moguće predmet mjerenja izmjeriti u jednom stezanju dolazi do mogućnosti da se pojedine veličine ne mogu usporediti (ploha sa drugom plohom u smislu paralelnosti) ako su definirane prema crtežu. Kod pozicioniranja potrebno je čvrsto pričvrstiti predmet mjerenja da prilikom dodira mjernog ticala ne bi došlo do pomaka predmeta mjerenja i daljnjim mjerenjem ne bi dobivali lažne podatke određenih veličina.



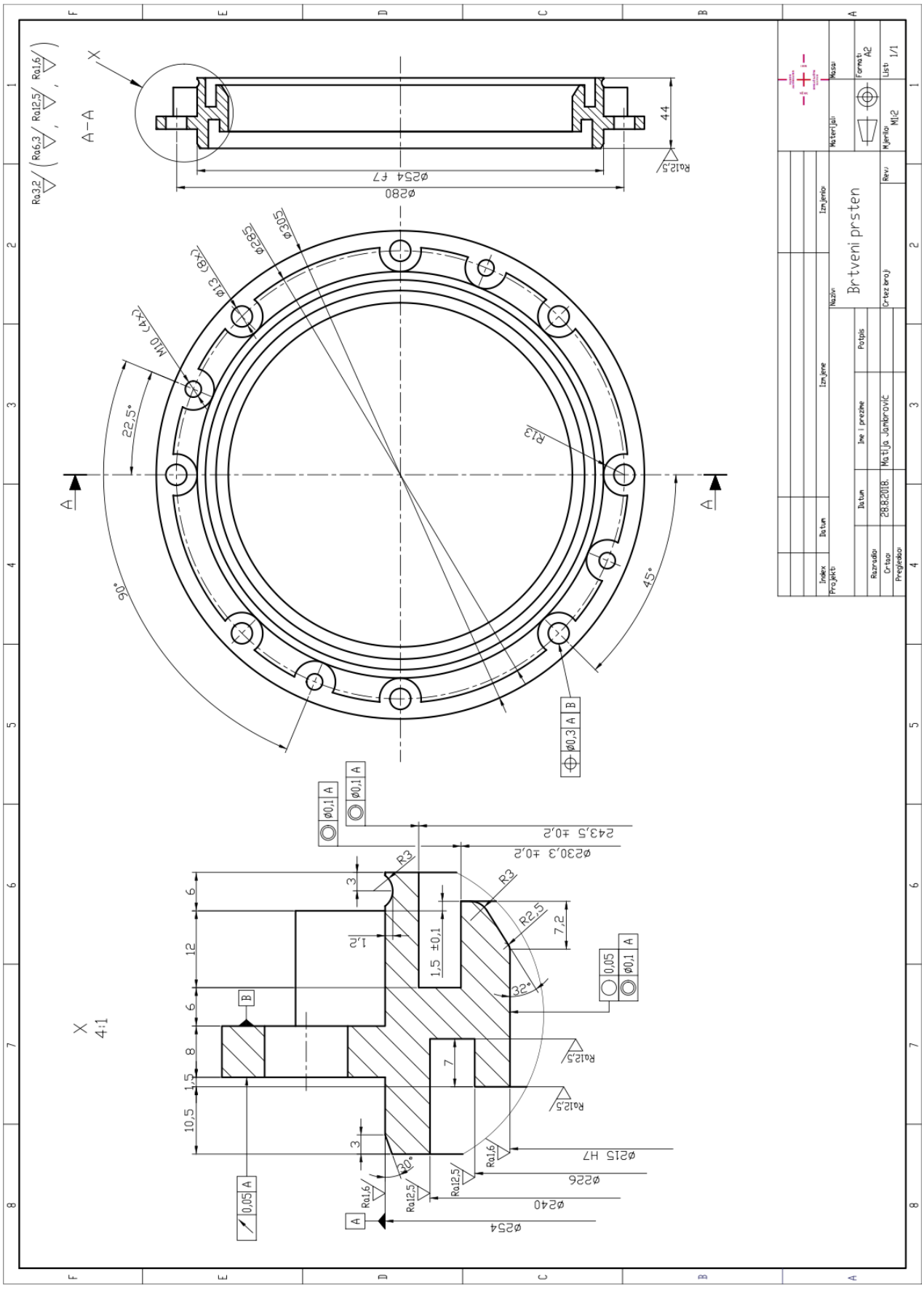
Slika 8.13 Prikaz položaja ticala u toku mjerenja i definiranja parametara u softwer-u

Prvo je potrebno izraditi program mjerenja u online ručnom modu kako bi se kasnije za ostale iste predmete mogao koristiti programski način rada na izrađenom programu koji u ovom slučaju uštedi puno vremena. Mjerenje počinje određivanjem koordinatnog sustava predmeta, a određuje se već navedenim u ovom radu, odnosno pomoću komandne palice u ručnom online modu se izmjeri ploha u prostoru, točka u prostoru i os za smjer te se takav postupak određuje za svaki isti komad, kako bi program znao gdje se predmet nalazi i mogao mjeriti iste veličine zadane programom. Mjerenjem prema tehničkom crtežu (slika 8.15) i dobivenim podatcima položaja točaka mjerenja, u programu na računalo se mijenjaju, uspoređuju i definiraju veličine (slika 8.13) s ciljem da se dobije rezultat veličine.



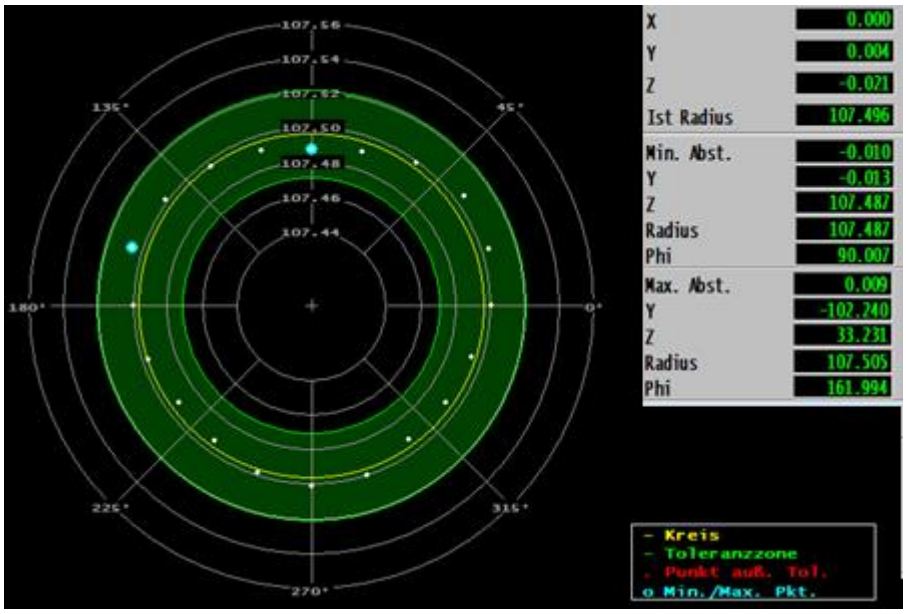
Slika 8.14 Prikaz mjerenja brtvenog prstena

Mjerno ticalo (veličina od Ø1 do Ø8 mm) se mijenja ovisno o geometriji predmeta, a mjerna sonda/glava mijenja položaj kako bi se izmjerila druga strana predmeta ili ovisno o nepristupačnosti. Prema tehničkom crtežu (slika 8.15) potrebno je izmjeriti 40-ak veličina, definirati tolerancije određene crtežom ili normom ako nije navedeno na crtežu. Prije mjerenje treba kalibrirati (umjeriti) mjernu sondu pomoću keramičke kuglice. Komandnom palicom tokom mjerenje se regulira brzina kojom se želi mjeriti.



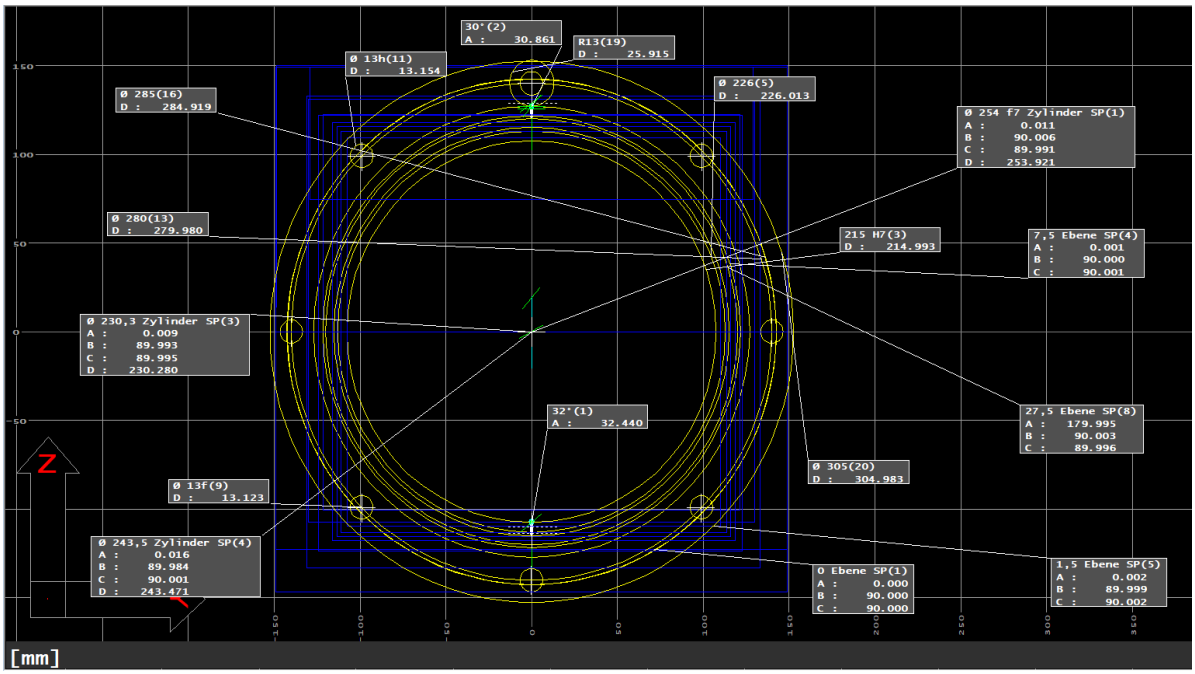
Slika 8.15 Tehnički crtež brtvenog prstena

Grafički prikaz ovalnosti veličine Ø215 H7 (tolerancija +0,046, 0,000) na predmetu mjerenja u softwer-u prikazan je na slici 8.16. Zeleno područje prikazuje dopušteno odstupanje, žuto prikazuje kružnicu prema Gauss-ovoj aproksimaciji točaka, a svjetloplavo označava minimalnu i maksimalnu izmjerenu točku.



Slika 8.16 Ovalnost brtvenog prstena (veličina Ø215 H7)

Preko softwer-a na razne grafičke načine moguće je prikazati definirane veličine, dobivene geometrijske oblike i koordinate pozicija izmjerenih točaka, slika 8.17.



Slika 8.17 Prikaz izmjerenih veličina u softwer-u

8.3. Rezultati mjerenja

Rezultate mjerenja iz softwer-a dobiva se u obliku mjernog izvještaja (tablica 7.), a izvještaj prikazuje traženu vrijednost, tolerancijsku vrijednost i dobivenu vrijednost veličine. Grafički prikaz određene veličine crvenom bojom označava nezadovoljenu vrijednost, a zelenom bojom zadovoljenu vrijednost.

Tablica 7. Mjerni izvještaj (Protokol)

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:34	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	:	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
∅		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser	254.000	-0.056 -0.108	253.918	-0.082	
∅		32 3	215 H7 Durchmesser	215.000	0.046 0.000	215.015	0.015	
↗		33 1	0 Planlauf		0.050		0.044	
∅		40 4	Ø 240 Durchmesser	240.000	0.500 -0.500	239.928	-0.072	
∅		44 5	Ø 226 Durchmesser	226.000	0.500 -0.500	226.100	0.100	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität		0.100		0.044	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit		0.050		0.016	
X		55 1	7,5 Abstand X	7.500	0.200 -0.200	7.531	0.031	
X		56 5	1,5 X-Position	1.500	0.100 -0.100	1.598	0.098	
X		60 6	12 X-Position	12.000	0.200 -0.200	12.043	0.043	
⌖		87 2	Vrtnja Y Position Z	0.000 140.000	0.300	0.000 139.986	0.028	

Prijevod značajki: Teil – Dio (broj crteža); Element Name – Naziv elementa; Merkmalname – Naziv značajke; Nennmaß - Nominalna dimenzija; Obere Tol. - Gornja tolerancija; Untere Tol. - Donja tolerancija; Istmaß - Stvarna dimenzija; Abweichung. Übermaß – Odstupanje. Višak; Tol-Graphik – Grafički prikaz.

Postupak za procjenu mjernog sustava temelji se na slučajnom odabiru 5 proizvoda iz grupe od 50 proizvoda te se isti mjere dva puta sa dva mjeritelja zasebno. Tablice od 8. do 12. prikazuju rezultate mjerenja 5 izabranih veličina iz grupe od 40 izmjerenih veličina prema mjernim izvještajima koji su priloženi na kraju završnog rada.

Tablica 8. Rezultati mjerenja veličine Ø254 f7

Predmet mjerenja		Brtveni prsten (Dichtring)				
Mjerno sredstvo		Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo				
Gornja granica tolerancije U		253,944 mm				
Donja granica tolerancije L		253,892 mm				
		UZORAK BROJ				
MJERITELJ	BR. MJERENJA	1	2	3	4	5
MJERITELJ A	1	253,928	253,918	253,926	253,918	253,931
	2	253,927	253,917	253,924	253,918	253,932
MJERITELJ B	1	253,926	253,917	253,925	253,917	253,931
	2	253,926	253,918	253,925	253,916	253,932

Tablica 9. Rezultati mjerenja veličine Ø215 H7

Predmet mjerenja		Brtveni prsten (Dichtring)				
Mjerno sredstvo		Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo				
Gornja granica tolerancije U		215,046 mm				
Donja granica tolerancije L		215,000 mm				
		UZORAK BROJ				
MJERITELJ	BR. MJERENJA	1	2	3	4	5
MJERITELJ A	1	215,014	215,034	215,021	215,015	215,023
	2	215,013	215,033	215,022	215,013	215,022
MJERITELJ B	1	215,012	215,033	215,022	215,014	215,022
	2	215,013	215,032	215,022	215,013	215,023

Tablica 10. Rezultati mjerenja veličine Ø240

Predmet mjerenja		Brtveni prsten (Dichtring)				
Mjerno sredstvo		Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo				
Gornja granica tolerancije U		240,5 mm				
Donja granica tolerancije L		239,5 mm				
		UZORAK BROJ				
MJERITELJ	BR. MJERENJA	1	2	3	4	5
MJERITELJ A	1	240,025	240,016	240,044	239,928	240,041
	2	240,026	240,015	240,043	239,929	240,040
MJERITELJ B	1	240,024	240,015	240,044	239,927	240,040
	2	240,024	240,015	240,045	239,929	240,042

Tablica 11. Rezultati mjerenja veličine Ø226

Predmet mjerenja		Brtveni prsten (Dichtring)				
Mjerno sredstvo		Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo				
Gornja granica tolerancije U		226,5 mm				
Donja granica tolerancije L		225,5 mm				
		UZORAK BROJ				
MJERITELJ	BR. MJERENJA	1	2	3	4	5
MJERITELJ A	1	226,060	226,056	226,044	226,100	226,056
	2	226,058	226,055	226,044	226,099	226,055
MJERITELJ B	1	226,058	226,055	226,044	226,098	226,055
	2	226,057	226,054	226,043	226,099	226,054

Tablica 12. Rezultati mjerenja veličine Ø215 koaksijalnost

Predmet mjerenja		Brtveni prsten (Dichtring)				
Mjerno sredstvo		Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo				
Gornja granica tolerancije U		215,1 mm				
Donja granica tolerancije L		215,0 mm				
		UZORAK BROJ				
MJERITELJ	BR. MJERENJA	1	2	3	4	5
MJERITELJ A	1	0,044	0,041	0,028	0,044	0,029
	2	0,045	0,041	0,028	0,040	0,029
MJERITELJ B	1	0,046	0,040	0,028	0,040	0,029
	2	0,045	0,040	0,028	0,041	0,029

8.4. Rezultati procjene sposobnosti mjernog sustava

Rezultati procjene sposobnosti mjernog sustava metodom aritmetičkih sredina i raspona prikazani su u tablici 13. Procjena se temelji na izračunu prema formulama (1-11) navedenim u poglavlju 7. i rezultatima mjerenja navedenim u poglavlju 8.3.

Tablica 13. Rezultati procjene sposobnosti mjernog sustava

Udio u tol. polju T, %	EV - Ponovljivost	AV - Obnovljivost	R&R - Preciznost
	EV/T · 100 %	AV/T · 100%	R&R/T · 100%
Udio u uk. varijaciji TV, %	EV	AV	R&R
	EV/TV · 100 %	AV/TV · 100%	R&R/TV · 100%
Ø254 f7	6,83 %	4,21%	8,03 %
	11,88 %	7,33 %	13,96 %
Ø215 H7	9,65 %	3,17 %	10,16 %
	10,62 %	3,49 %	11,18 %
Ø240	0,44 %	0,07 %	0,44 %
	1,85 %	0,3 %	1,87 %
Ø226	0,44 %	0,36%	0,57 %
	3,86 %	3,17 %	5,00 %
Ø215 H7 koaksijalnost	3,10 %	1,09 %	3,29 %
	8,76 %	3,09 %	9,29 %

Prema izračunatim rezultatima u gornjoj tablici i u odnosu na tablicu 4. (Kriteriji za ocjenu kvalitete mjernog sustava) zaključuje se da su veličine Ø240, Ø226, Ø215 H7 koaksijalnost u zadovoljavajućoj granici, a veličine Ø254 f7 i Ø215 H7 u zadovoljavajućoj/prihvatljivoj granici s obzirom na zahtijevane tolerancije tih dviju veličina. Mjerni sustav je u granicama zadovoljavajućeg i prihvatljivog, odnosno može se reći da je mjerni sustav precizan.

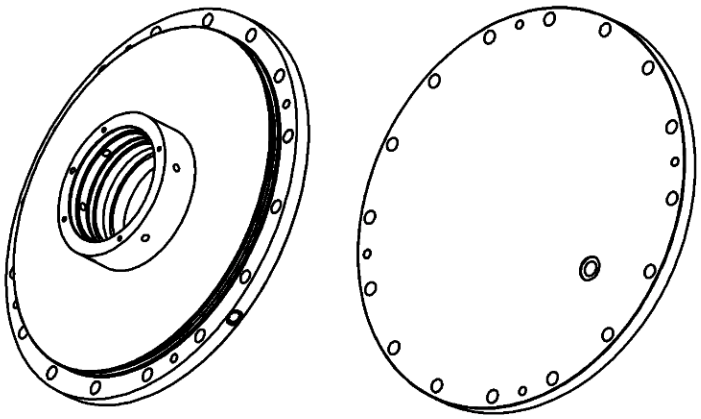
8.5. Mjerenje ostalih predmeta

Nakon mjerenja komada za potrebe procjene sposobnosti mjernog sustava, vršila su se mjerenja različitih proizvoda. Slika 8.18 prikazuje drugi predmet mjerenja odnosno kućište za ležaj (Lagerschild). Dobiveni mjerni izvještaji predmeta sa slike 8.18 dati su u prilogu. Izmjereno je 14 veličina na 4 predmeta mjerenja.



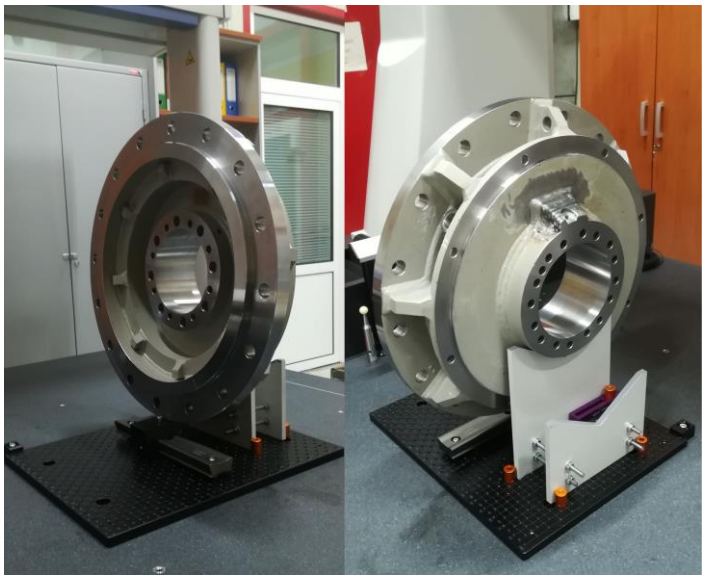
Slika 8.18 Drugi mjerni predmet – kućište za ležaj

Kod ovog predmeta mjerena je veličina unutarnjeg promjera Ø180 K6 (tol. 0,012, -0,028) koja u tri slučaja od četiri nije zadovoljena. Cilindričnost, koaksijalnost i okomitost te veličine je zadovoljena. Ostali mjereni unutarnji promjeri Ø190 K6 (tol. 0,005, -0,024), Ø190, Ø200 H8 (tol. 0,072, 0,000) i Ø168 su unutar dopuštenih tolerancija.



Slika 8.19 3D prikaz drugog mjernog predmeta

Treći mjerni predmet naziva se prirubnica, a prikazan je na slici 8.20. Mjerni izvještaji prirubnice dati su u prilogu. Izmjereno je 14 veličina na 2 mjerna predmeta, nakon obrade i sljedećeg dana. Nakon obrade komad se širi zbog topline, a stajanjem 24 sata na standardnim mjeriteljskim uvjetima postižu se realne vrijednosti veličina.



Slika 8.20 Treći mjerni predmet - prirubnica

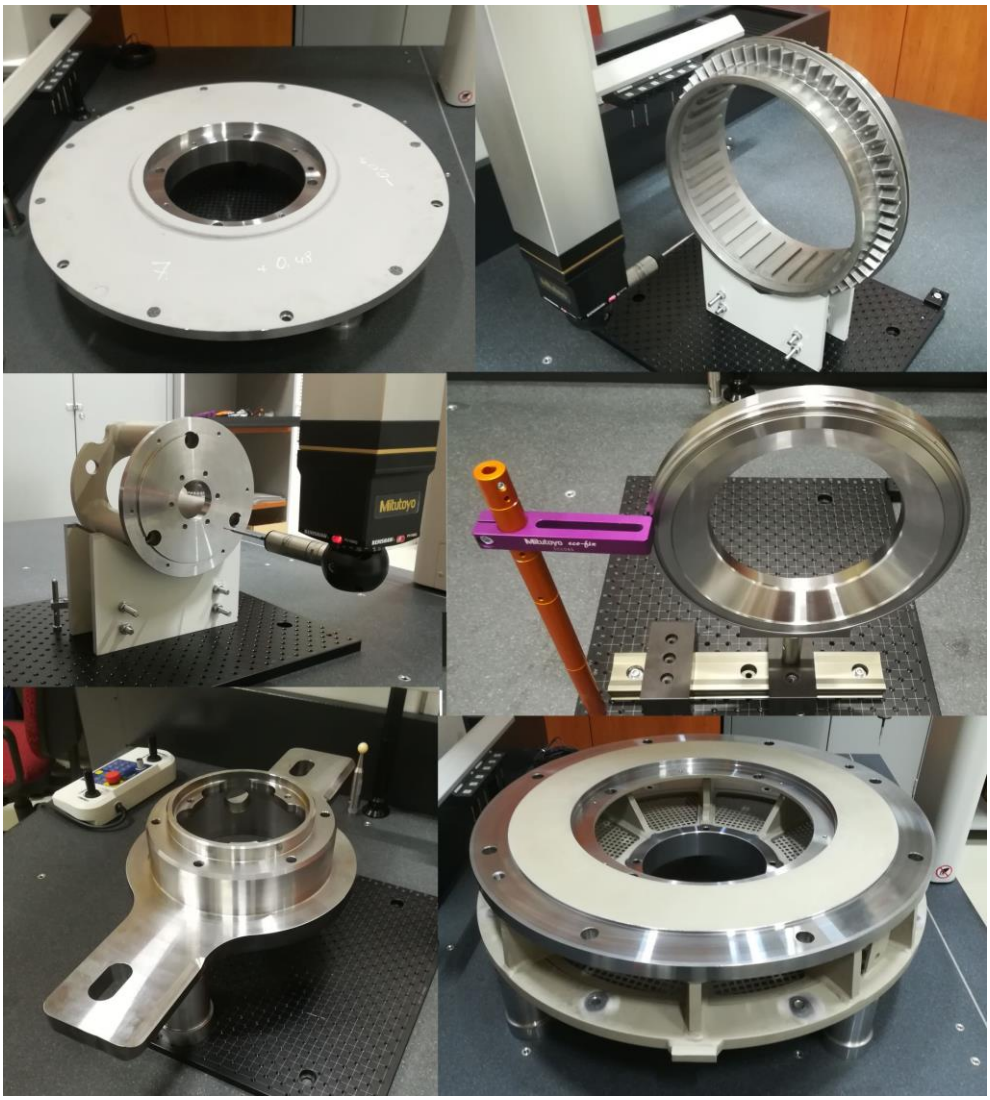
Iz mjernih izvještaja izabrano je 5 veličina te su uspoređene u odnosu na mjerenja predmeta nakon obrade i mjerenja sljedećeg dana. Tablica 14. prikazuje usporedbu izabranih veličina, te se iz tablice zaključuje da sve veličine osim Ø160 K7 koaksijalnost pod standardnim uvjetima mjerenja padaju u vrijednosti koje su prihvatljive.

Tablica 14. Usporedba izmjerenih veličina prirubnice nakon obrade i sljedećeg dana

Veličina	1 predmet		2 predmet	
Ø412 h6 (-0,040, 0,000)	412,009	411,979	412,013	411,984
Ø457,2 (-0,040, 0,000)	457,216	457,182	457,209	457,177
Ø160 K7 (-0,028, 0,012)	159,985	159,973	159,995	159,983
Ø160 K7 Koaksijalnost 0,030	0,132 0,102	0,063 0,033	0,087 0,057	0,088 0,058
Dužina 103 (-0,300, -0,200)	102,808	102,793	102,791	102,775

**sve veličine su u izražene u milimetrima*

Osim tri navedena predmeta mjerenja (brtveni prsten, kućište za ležaj i prirubnice) za koje su dati potpuni mjerni izvještaji u prilogu, izvodilo se i mjerenje predmeta prikazanih na slici 8.21. Pojedini predmeti na slici 8.21 izmjereni su u ručnom modu jer se količinski izrađuju u malom broju, a kod određenih predmeta mjerenje se izvelo samo za bitne značajke određene tehničkim crtežom. Neki proizvodi zbog složenosti geometrije izmjereni su uz upotrebu 3D modela preko kojeg se programiraju koraci mjerenja proizvoda.



Slika 8.21 Ostali predmeti mjerenja

9. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada je opisati izvedbe, karakteristike i definirati područje primjene za trokoordinatne mjerne uređaje te analizirati navedeni uređaj s aspekta mjerne nesigurnosti.

Prikazani su različiti primjeri konstrukcija trokoordinatnih mjernih uređaja i njihova primjena za različite vrste proizvoda. Od prvih koraka upotrebe kao dvoosnih sustava pa do novih trokoordinatnih mjernih uređaja sa prikupljanjem enormnih brojeva podataka mjerenja u jako kratkom vremenu i mjerenjem vrlo složenih oblika geometrije. Velika prednost trokoordinatnog mjernog uređaja je lagana automatska izmjena mjernih ticala i umjeravanja (kalibriranja) u relativnom kratkom roku. Programom na računalu omogućava se jednostavno zakretanje mjernih sondi/ticala u puno pozicija te se time ostvaruju mjerenja na slabo dostupnim geometrijskim značajkama mjernog predmeta. U odnosu na beskontaktne, nedostatak kontaktnih metoda je sporije vrijeme mjerenja i nemogućnost mjerenja na nepristupačnim dijelovima predmeta gdje su geometrije neprikladne za kontaktno mjerno ticalo zbog mogućeg dolaska u koliziju sa predmetom. Kako bi se nedostatci umanjili, u praksi se još koriste i višesenzorni mjerni uređaji koji u sebi posjeduju kontaktni i beskontaktni mjerni senzor.

Upotreba online ručnog moda najbolja je za prvobitno određivanje koordinatnog sustava predmeta i stroja i jednokratna mjerenja, dok za više predmeta mjerenja se koristi programski način mjerenja koji uvelike ušteđuje vrijeme i minimalizira pogreške. Upotreba 3D modela predmeta sa automatskim načinom mjerenja, u kojem računalo samo određuje putanju mjerenja daje najpouzdanije rezultate mjerenja.

U eksperimentalnom dijelu završnog rada opisano je mjerenje nekoliko različitih vrsta proizvoda u tvrtki Te-Pro na trokoordinatnom mjernom uređaju Mitutoyo Crysta Apex. Navedene su karakteristike mjerne sonde, standardni mjeriteljski uvjeti u mjernoj sobi koji moraju biti osigurani za točnost mjerenja te pozicioniranje predmeta mjerenja. S obzirom da brtveni prsteni moraju osigurati dug vijek trajanja, nepropusnost i otpornost na eroziju jer se nalaze u velikim sklopovima, mora se osigurati i velika preciznost. Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti odnosno procjene sposobnosti mjernog sustava metodom aritmetičkih sredina i raspona provelo se na proizvodima brtvenih prstena. Došlo se do rezultata da je sustav u granicama zadovoljavajućeg/prihvatljivog to jest da je sustav precizan.

Matija Jambrović

U Varaždinu, _____ _____

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Matija Jambrović pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog sustava te da u navedenom nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:
Matija Jambrović

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnika ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Matija Jambrović neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Ispitivanje ponovljivosti i obnovljivosti 3D mjernog sustava čiji sam autor.

Student:
Matija Jambrović

(vlastoručni potpis)

10. LITERATURA

[1] A. Grdić: Moderni trokoordinatni mjerni sustavi, Završni rad, FSB, Zagreb, 2015.

[2] N. Drvar: Usporedba metoda za određivanje oblika i deformacija mehaničkih konstrukcija, Magistarski rad, FSB, Zagreb, 2004.

[3] N. Zaimović-Uzunović, S. Lemeš, D. Denjo, A. Softić: Proizvodna mjerenja, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2009.

[4] A. Kunšt: Off-line programiranje mjernog robota, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.

[5] M. Roš: Mjerenje dimenzija gotovog proizvoda pomoću trokoordinatnog mjernog uređaja, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2018.

[6] B. Runje: Predavanja iz kolegija TEORIJA I TEHNIKA MJERENJA, Katedra za mjerenje i kontrolu, Zagreb, 2014. Preuzeto: https://bib.irb.hr/datoteka/764412.Predavanja_TTM.pdf (28.05.2018.)

[7] http://www.cmm-solutions.co.uk/contact-us/cmm-history/, dostupno 28.05.2018.

[8] http://www.wenzelamerica.com/what-everybody-ought-to-know-about-the-history-of-cmm-coordinate-measuring-machines/, dostupno 28.05.2018.

[9] http://uk.ims-cmm.co.kr/company_01.php, dostupno 28.05.2018.

[10] https://archive.is/TqFxk, dostupno 28.05.2018.

[11] F. Bednjanec: Procjena kvalitete mjernog sustava, Završni rad, FSB, Zagreb, 2014.

[12] M. Jakšić: Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2011.

[13] D. Ivšac: Usporedba 3D mjernih postupaka u kontroli kvalitete, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2014.

[14] http://te-pro.net, dostupno 15.08.2018.

[15] https://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2013/01/2097_CRYSTA_ApexS.pdf, dostupno 15.08.2018.

[16] http://www.renishaw.com/cmmsupport/knowledgebase/en/specification--19234, dostupno 16.08.2018.

[17] http://www.renishaw.com/cmmsupport/knowledgebase/en/ph10m-plus-ph10mq-plus-product-tree--22102, dostupno 16.08.2018.

[18] https://books.google.hr/books?id=YUz5XpLUH9gC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=david+mccurty+measuring++1972&source=bl&ots=yRA3ByZe_l&sig=E6WcN_QSbx9fR-0tBN3Czn0_nSw&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwi6hJWBoLfcAhXhF5oKHVTsABUQ6AEwDHoECAcQAQ#v=onepage&q=david%20mccurty%20measuring%20%201972&f=false, dostupno 16.08.2018.

[19] Mitutoyo: Grundschulung GEOPAK Ubungen, tvrtka Te-Pro, 2018.

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija mjernih sustava [1] 2
Slika 2.1 Razvoj mjerila za proizvodna mjerenja [3] 4
Slika 2.2 Moore No.3 Univerzalni TMU, M3[8] 5
Slika 3.1 Sastavni dijelovi koordinatnih mjernih uređaja [4] 6
Slika 3.2 Shematski prikaz pomične (lijevo) i statične (desno) mostne strukture [5] 8
Slika 3.3 Mostna struktura sa pokretnim mostom [3] 9
Slika 3.4 Mostna struktura sa nepokretnim mostom [3] 9
Slika 3.5 Konzolna struktura TMU-a [3] 10
Slika 3.6 Horizontalna struktura TMU-a [3] 11
Slika 3.7 Portalna struktura TMU-a [3] 11
Slika 3.8 Koordinatni sustav stroja i radnog komada [3] 13
Slika 4.1 Karakteristike idealne i realne geometrije radnog komada [3] 14
Slika 4.2 Idealna i realna geometrija [3] 14
Slika 4.3 Princip koordinatne metrologije [3] 15
Slika 5.1 Osnovni dijelovi mjernih sondi [3] 17
Slika 5.2 Sonda osjetljiva na dodir, 1973.g., Courtesy Renishaw [18] 18
Slika 5.3 Prikaz potrebnih točaka za dobivanje oblika [5] 19
Slika 5.4 Vektorski dijagram mjerenja površinske točke mjernog objekta [4] 21
Slika 5.5 Vrste senzora [1] 22
Slika 5.6 Mjerenje unutarnjeg provrta i cilindra [3] 23
Slika 5.7 Radni ciklus dodirno-prekidne sonde [3] 24
Slika 5.8 Princip djelovanja „trigger“ i analogne mjerne glave [2] 24
Slika 5.9 Metoda skeniranja [3] 25
Slika 5.10 Usporedba mjerenja dodirno-prekidnom metodom i metodom skeniranja [3] 26
Slika 5.11 Otporno-kinematske sonde i sile pri procesu mjerenja [3] 26
Slika 5.12 Generiranje signala kod otporno-kinematskih sondi [3] 27
Slika 5.13 Piezo sonde [3] 28
Slika 5.14 Sonda sa mjernim trakama (Renishaw TP7M) [3] 28
Slika 5.15 Višesenzorni princip rada [1] 30
Slika 5.16 Laser [4] 32
Slika 5.17 Senzor sa projiciranjem laserske linije (lijevo) i višelinijski senzor (desno) [3] 32
Slika 5.18 Video senzor [3] 32
Slika 5.19 Tehnike 3D ticala [4] 33
Slika 7.1 Točnost i preciznost [6] 37
Slika 7.2 Preciznost u uvjetima ponovljivosti i obnovljivosti [6] 37
Slika 7.3 Ponovljivost [6] 38
Slika 7.4 Obnovljivost [6] 39
Slika 7.5 Sposobnost mjernog sustava [6] 41
Slika 8.1 Tvrtka Te-Pro [14] 42
Slika 8.2 Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 43
Slika 8.3 Shema Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 [15] 44
Slika 8.4 Renishaw PH10MQ mjerna sonda 45

Slika 8.5 Dimenzije Renishaw mjerne glave [16] 45
Slika 8.6 Ekstenderi, sonde, moduli i držači za glave PH10M i PH10MQ [17] 46
Slika 8.7 Kugla za umjeravanje i stalak sa mjernim ticalima 46
Slika 8.8 Komanda palica („Joystick box“) 47
Slika 8.9 Koordinatni sustav u softwer-u 47
Slika 8.10 Izgled programa u tijeku mjerenja 48
Slika 8.11 Čišćenje predmeta mjerenja prije mjerenja 49
Slika 8.12 Pozicioniranje brtvenog prstena 50
Slika 8.13 Prikaz položaja ticala u toku mjerenja i definiranja parametara u softwer-u 50
Slika 8.14 Prikaz mjerenja brtvenog prstena 51
Slika 8.15 Tehnički crtež brtvenog prstena 52
Slika 8.16 Ovalnost brtvenog prstena (veličina Ø215 H7) 53
Slika 8.17 Prikaz izmjerenih veličina u softwer-u 53
Slika 8.18 Drugi mjerni predmet – kućište za ležaj 57
Slika 8.19 3D prikaz drugog mjernog predmeta 57
Slika 8.20 Treći mjerni predmet - prirubnica 58
Slika 8.21 Ostali predmeti mjerenja 59

POPIS TABLICA

Tablica 1. Način konstrukcije trokoordinatnih mjernih uređaja [3] 7
Tablica 2. Podaci o strukturama TMU [5] 12
Tablica 3. Vrijednosti faktora d_2 [6] 40
Tablica 4. Kriteriji za ocjenu kvalitete mjernog sustava R&R [6] 41
Tablica 5. Dimenzije uređaja Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 44
Tablica 6. Karakteristike uređaja Mitutoyo CRYSTA-Apex S 9108 44
Tablica 7. Mjerni izvještaj (Protokol) 54
Tablica 8. Rezultati mjerenja veličine Ø254 f7 55
Tablica 9. Rezultati mjerenja veličine Ø215 H7 55
Tablica 10. Rezultati mjerenja veličine Ø240 55
Tablica 11. Rezultati mjerenja veličine Ø226 55
Tablica 12. Rezultati mjerenja veličine Ø215 koaksijalnost 55
Tablica 13. Rezultati procjene sposobnosti mjernog sustava 56
Tablica 14. Usporedba izmjerenih veličina prirubnice nakon obrade i sljedećeg dana 58

PRILOZI

Mjerni izvještaji prvog predmeta mjerenja - brtveni prsten

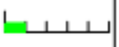
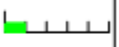
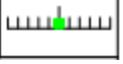
Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:28	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294 - 01	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: Mjerenje 1	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.928	-0.072	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.014	0.014	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.098 0.048	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.025	0.025	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.060	0.060	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.044	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.019	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.548	0.048	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.572	0.072	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.048	0.048	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 140.021	0.042	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	140.004 45.009	0.047	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.930 0.004	0.140	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.983 44.995	0.040	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.959 89.988	0.099	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.899 45.003	0.203	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.995 0.001	0.010	

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:28	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 1	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	140.015 45.001	0.030	
		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.952	-0.048	
		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.336	0.036	
		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.021	
		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.435	-0.065	
		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.027	
		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.990	-0.010	
		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.004	0.004	
		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.524	0.024	
		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.061	0.061	
		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.092	0.092	
		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.538	0.538 0.038	
		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.205	0.005	
		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.019	0.019	
		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.874	0.374 0.274	
		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.110	0.110	
		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.070	0.070	
		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.975	-0.025	
		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.040	0.040	

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:28	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 1	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.848	0.848 0.348	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.035	0.035	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.940	-0.060	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	2.990	-0.010	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.266	0.066	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:51	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294 - 01	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: Mjerenje 2	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.927	-0.073	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.013	0.013	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.084 0.034	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.026	0.026	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.058	0.058	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.045	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.019	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.548	0.048	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.572	0.072	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.049	0.049	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 140.021	0.041	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	140.002 45.009	0.044	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.931 0.003	0.138	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.982 44.997	0.038	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.960 89.990	0.094	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.900 45.003	0.200	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.996 0.000	0.009	

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:51	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 2	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌖		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	140.009 45.003	0.024	
⌀		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.950	-0.050	
⌀		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.337	0.037	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.021	
⌀		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.431	-0.069	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.024	
⌀		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.989	-0.011	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.004	0.004	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.524	0.024	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.061	0.061	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.092	0.092	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.537	0.537 0.037	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.205	0.005	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.016	0.016	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.863	0.363 0.263	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.110	0.110	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.071	0.071	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.971	-0.029	
⌀		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.039	0.039	

Date / Time	: 24.04.2018 / 08:51	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 2	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.854	0.854 0.354	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.037	0.037	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.938	-0.062	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	2.992	-0.008	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.268	0.068	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:16	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294 - 01	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: Mjerenje 3	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.926	-0.074	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.012	0.012	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.107 0.057	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.024	0.024	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.058	0.058	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.046	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.018	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.548	0.048	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.571	0.071	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.047	0.047	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 140.020	0.040	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.994 45.008	0.041	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.929 0.005	0.144	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.982 44.997	0.039	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.958 89.991	0.096	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.902 45.001	0.197	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.993 0.002	0.016	

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:16	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 3	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊕		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	140.015 45.001	0.031	
∅		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.948	-0.052	
∅		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.337	0.037	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.032	
∅		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.430	-0.070	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.042	
∅		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.988	-0.012	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.005	0.005	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.524	0.024	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.062	0.062	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.093	0.093	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.537	0.537 0.037	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.205	0.005	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.016	0.016	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.781	0.281 0.181	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.109	0.109	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.071	0.071	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.977	-0.023	
∅		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.038	0.038	

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:16	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 3	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.842	0.842 0.342	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.034	0.034	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.940	-0.060	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	2.992	-0.008	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.268	0.068	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:39	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294 - 01	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: Mjerenje 4	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.926	-0.074	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.013	0.013	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.087 0.037	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.024	0.024	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.057	0.057	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.045	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.019	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.548	0.048	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.572	0.072	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.048	0.048	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 140.019	0.038	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.994 45.008	0.042	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.929 0.005	0.145	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.982 44.997	0.038	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.959 89.990	0.096	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.903 45.002	0.195	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.996 0.000	0.009	

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:39	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 4	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊕		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	140.014 45.001	0.027	
∅		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.949	-0.051	
∅		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.332	0.032	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.019	
∅		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.432	-0.068	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.027	
∅		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.987	-0.013	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.004	0.004	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.524	0.024	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.061	0.061	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.093	0.093	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.541	0.541 0.041	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.204	0.004	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.021	0.021	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.902	0.402 0.302	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.110	0.110	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.071	0.071	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.976	-0.024	
∅		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.038	0.038	

Date / Time	: 24.04.2018 / 09:39	**4**	:
1	: 2682294 - 01	**5**	:
2	: Mjerenje 4	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.848	0.848 0.348	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.035	0.035	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.939	-0.061	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	2.992	-0.008	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.266	0.066	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:59	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	:	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.918	-0.082	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.034	0.034	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.138 0.088	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.016	0.016	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.056	0.056	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.041	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.021	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.519	0.019	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.551	0.051	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.040	0.040	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 139.970	0.060	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	140.003 45.006	0.030	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.999 0.012	0.057	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.996 44.969	0.150	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.944 89.975	0.167	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.962 45.007	0.085	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.932 0.009	0.144	

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:59	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌖		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	139.944 44.994	0.117	
⌀		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.937	-0.063	
⌀		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.300	0.000	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.030	
⌀		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.463	-0.037	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.034	
⌀		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.988	-0.012	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.017	0.017	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.547	0.047	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.090	0.090	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.124	0.124	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.409	0.409	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.164	-0.036	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.005	0.005	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.842	0.342 0.242	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.130	0.130	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.100	0.100	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.952	-0.048	
⌀		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.002	0.002	

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:59	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.831	0.831 0.331	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.017	0.017	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.947	-0.053	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.019	0.019	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.220	0.020	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:14	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	:	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.926	-0.074	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.021	0.021	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.065 0.015	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.044	0.044	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.044	0.044	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.028	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.023	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.543	0.043	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.572	0.072	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.045	0.045	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 139.976	0.048	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.992 45.001	0.017	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	140.003 0.002	0.013	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.987 44.988	0.062	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.983 89.990	0.059	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.996 45.009	0.043	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.991 0.022	0.110	

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:14	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌖		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	139.997 44.992	0.039	
⌀		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.981	-0.019	
⌀		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.292	-0.008	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.029	
⌀		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.460	-0.040	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.026	
⌀		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.953	-0.047	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	13.976	-0.024	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.474	-0.026	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.060	0.060	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.094	0.094	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.537	0.537 0.037	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.120	-0.080	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.849	-0.151 -0.051	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.489	-0.011	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.105	0.105	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.072	0.072	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.944	-0.056	
⌀		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.030	0.030	

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:14	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30* ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.851	0.851 0.351	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.025	0.025	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.959	-0.041	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.007	0.007	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.232	0.032	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:34	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	:	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.918	-0.082	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.015	0.015	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.044	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	239.928	-0.072	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.100	0.100	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.044	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.016	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.531	0.031	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.598	0.098	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.043	0.043	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 139.986	0.028	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	140.005 44.994	0.031	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.941 0.002	0.118	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.974 44.998	0.053	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.937 89.980	0.159	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	140.010 44.993	0.040	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	140.008 0.022	0.109	

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:34	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌖		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	140.002 45.009	0.044	
⌀		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.966	-0.034	
⌀		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.298	-0.002	
◎		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.024	
⌀		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.464	-0.036	
◎		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.020	
⌀		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.985	-0.015	
X		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	14.014	0.014	
X		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.539	0.039	
X		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.080	0.080	
X		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.109	0.109	
ZX		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.350	0.350	
X		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.150	-0.050	
↗		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.920	-0.080	
↗		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.559	0.059	
X		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.122	0.122	
X		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.091	0.091	
↗		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.946	-0.054	
⌀		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.066	0.066	

Date / Time	: 23.04.2018 / 08:34	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.845	0.845 0.345	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.010	0.010	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.923	-0.077	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.007	0.007	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.264	0.064	

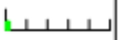
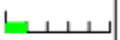
Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:06	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 2682294	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	:	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	: Vuri Nino

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname		Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		28 1	Ø 254 f7 Durchmesser		254.000	-0.056 -0.108	253.931	-0.069	
⌀		32 3	215 H7 Durchmesser		215.000	0.046 0.000	215.023	0.023	
↗		33 1	0 Planlauf			0.050		0.116 0.066	
⌀		40 4	Ø 240 Durchmesser		240.000	0.500 -0.500	240.041	0.041	
⌀		44 5	Ø 226 Durchmesser		226.000	0.500 -0.500	226.056	0.056	
◎		45 2	Ø 215 H7 Koaxialität			0.100		0.029	
○		46 2	Ø 215 H7 Rundheit			0.050		0.023	
X		55 1	7,5 Abstand X		7.500	0.200 -0.200	7.545	0.045	
X		56 5	1,5 X-Position		1.500	0.100 -0.100	1.578	0.078	
X		60 6	12 X-Position		12.000	0.200 -0.200	12.053	0.053	
⌖		87 2	Vrtnja Position	Y Z	0.000 140.000	0.300	0.000 139.983	0.034	
⌖		88 6	Ø 13b Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.999 45.017	0.081	
⌖		89 7	Ø 13c Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.999 0.012	0.059	
⌖		90 8	Ø 13d Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.959 45.002	0.082	
⌖		91 12	Ø 13e Position	Ryz PH	140.000 90.000	0.300	139.961 89.988	0.097	
⌖		92 9	Ø 13f Position	Ryz PH	140.000 45.000	0.300	139.989 44.995	0.034	
⌖		93 10	Ø 13g Position	Ryz PH	140.000 0.000	0.300	139.995 0.006	0.029	

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:06	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		94 11	Ø 13h Ryz Position PH	140.000 45.000	0.300	139.994 44.995	0.026	
		96 13	Ø 280 Durchmesser	280.000	0.500 -0.500	279.970	-0.030	
		100 3	Ø 230,3 Durchmesser	230.300	0.200 -0.200	230.302	0.002	
		101 3	Ø 230,3 Koaxialität		0.100		0.027	
		105 4	Ø 243,5 Durchmesser	243.500	0.200 -0.200	243.469	-0.031	
		106 4	Ø 243,5 Koaxialität		0.100		0.026	
		114 16	Ø 285 Durchmesser	285.000	0.500 -0.500	284.969	-0.031	
		118 7	14 X-Position	14.000	0.200 -0.200	13.975	-0.025	
		122 8	27,5 X-Position	27.500	0.100 -0.100	27.474	-0.026	
		126 9	32 X-Position	32.000	0.300 -0.300	32.013	0.013	
		134 12	8 X-Position	8.000	0.200 -0.200	8.043	0.043	
		141 1	32° ZX-Winkel	32.000	0.500 -0.500	32.524	0.524 0.024	
		144 2	7,2 Abstand X	7.200	0.200 -0.200	7.141	-0.059	
		146 17	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	2.991	-0.009	
		148 18	R2,5 Radius	2.500	0.100 -0.100	2.879	0.379 0.279	
		150 3	44 Abstand X	44.000	0.300 -0.300	44.065	0.065	
		154 13	26 X-Position	26.000	0.200 -0.200	26.019	0.019	
		158 19	R13 Radius	13.000	0.200 -0.200	12.996	-0.004	
		165 20	Ø 305 Durchmesser	305.000	0.500 -0.500	305.030	0.030	

Date / Time	: 23.04.2018 / 10:06	**4**	:
1	: 2682294	**5**	:
2	:	**6**	: Vuri Nino
3	:	**7**	: Protokollnummer (1)

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
		172 2	30° ZX-Winkel	30.000	0.500 -0.500	30.833	0.833 0.333	
		175 4	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	3.036	0.036	
		184 21	R3 Radius	3.000	0.100 -0.100	3.015	0.015	
		186 5	44 Abstand X	3.000	0.100 -0.100	2.968	-0.032	
		189 6	44 Abstand Z	1.200	0.100 -0.100	1.200	0.000	

Mjerni izvještaji drugog predmeta – kućište za ležaj (Lagerschild)

Protokollnummer (0)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 27.04.2018 / 11:51	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 5901423	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36286 040 01	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊥		30 1	Ø 602 h6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.001	
▱		31 1	A Ebenheit		0.050	0.020	0.020	
//		36 2	90 Parallelität		0.030		0.004	
Z		38 1	90 Abstand Z	90.000	0.100 0.000	90.021	0.021	
Z		46 2	7 Abstand Z	7.000	0.000 -0.100	7.068	0.068 0.068	
∅		50 2	Ø 180 K6 Durchmesser	180.000	0.012 -0.028	179.950	-0.050 -0.022	
⌭		50 2	Ø 180 K6 Zylindrizität		0.015		0.008	
◎		51 2	Ø 180 K6 Koaxialität		0.015		0.006	
⊥		52 2	Ø 180 K6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.001	
∅		56 4	Ø 190 K6 Durchmesser	190.000	0.005 -0.024	189.984	-0.016	
∅		60 5	Ø 190 Durchmesser	190.000	0.400 0.200	190.284	0.284	
∅		64 6	Ø 200 H8 Durchmesser	200.000	0.072 0.000	200.001	0.001	
∅		68 7	Ø 168 Durchmesser	168.000	0.500 -0.500	167.970	-0.030	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 27.04.2018 / 12:48	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 5901423	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36286 040 02	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊥		30 1	Ø 602 h6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.001	
▱		31 1	A Ebenheit		0.050	0.045	0.045	
//		36 2	90 Parallelität		0.030		0.012	
Z		38 1	90 Abstand Z	90.000	0.100 0.000	90.024	0.024	
Z		46 2	7 Abstand Z	7.000	0.000 -0.100	7.062	0.062 0.062	
∅		50 2	Ø 180 K6 Durchmesser	180.000	0.012 -0.028	179.974	-0.026	
⌭		50 2	Ø 180 K6 Zylindrizität		0.015		0.017 0.002	
◎		51 2	Ø 180 K6 Koaxialität		0.015		0.015	
⊥		52 2	Ø 180 K6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.002	
∅		56 4	Ø 190 K6 Durchmesser	190.000	0.005 -0.024	189.993	-0.007	
∅		60 5	Ø 190 Durchmesser	190.000	0.400 0.200	190.298	0.298	
∅		64 6	Ø 200 H8 Durchmesser	200.000	0.072 0.000	200.013	0.013	
∅		68 7	Ø 168 Durchmesser	168.000	0.500 -0.500	167.964	-0.036	
∅		72 1	Ø 602 h6 Durchmesser	602.000	0.000 -0.044	601.997	-0.003	

Protokollnummer (0)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 27.04.2018 / 12:24	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 5901423	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36286 040 03	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊥		30 1	Ø 602 h6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.001	
▱		31 1	A Ebenheit		0.050	0.011	0.011	
//		36 2	90 Parallelität		0.030		0.009	
Z		38 1	90 Abstand Z	90.000	0.100 0.000	90.032	0.032	
Z		46 2	7 Abstand Z	7.000	0.000 -0.100	7.050	0.050 0.050	
⌀		50 2	Ø 180 K6 Durchmesser	180.000	0.012 -0.028	179.962	-0.038 -0.010	
⌭		50 2	Ø 180 K6 Zylindrizität		0.015		0.008	
◎		51 2	Ø 180 K6 Koaxialität		0.015		0.012	
⊥		52 2	Ø 180 K6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.002	
⌀		56 4	Ø 190 K6 Durchmesser	190.000	0.005 -0.024	189.981	-0.019	
⌀		60 5	Ø 190 Durchmesser	190.000	0.400 0.200	190.285	0.285	
⌀		64 6	Ø 200 H8 Durchmesser	200.000	0.072 0.000	200.017	0.017	
⌀		68 7	Ø 168 Durchmesser	168.000	0.500 -0.500	167.930	-0.070	
⌀		73 1	Ø 602 h6 Durchmesser	602.000	0.000 -0.044	602.008	0.008 0.008	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 27.04.2018 / 13:19	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 5901423	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36286 040 04	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⊥		30 1	Ø 602 h6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.005	
▱		31 1	A Ebenheit		0.050	0.041	0.041	
//		36 2	90 Parallelität		0.030		0.007	
Z		38 1	90 Abstand Z	90.000	0.100 0.000	90.031	0.031	
Z		46 2	7 Abstand Z	7.000	0.000 -0.100	7.058	0.058 0.058	
⌀		50 2	Ø 180 K6 Durchmesser	180.000	0.012 -0.028	179.970	-0.030 -0.002	
⌭		50 2	Ø 180 K6 Zylindrizität		0.015		0.004	
◎		51 2	Ø 180 K6 Koaxialität		0.015		0.012	
⊥		52 2	Ø 180 K6 Rechtwinkligkeit		0.010		0.000	
⌀		56 4	Ø 190 K6 Durchmesser	190.000	0.005 -0.024	190.002	0.002	
⌀		60 5	Ø 190 Durchmesser	190.000	0.400 0.200	190.302	0.302	
⌀		64 6	Ø 200 H8 Durchmesser	200.000	0.072 0.000	200.017	0.017	
⌀		68 7	Ø 168 Durchmesser	168.000	0.500 -0.500	168.002	0.002	
⌀		72 1	Ø 602 h6 Durchmesser	602.000	0.000 -0.044	601.992	-0.008	

Mjerni izvještaji trećeg predmeta mjerenja - prirubnice

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 14:53	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 6186206	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36053 030 03	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		29 1	Ø 412 h6 Durchmesser	412.000	0.000 -0.040	412.009	0.009 0.009	
⊥		30 1	Ø 412 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.003	
▱		31 1	A Ebenheit		0.010	0.019	0.019 0.009	
⌀		45 2	Ø 457,2 Durchmesser	457.200	0.000 -0.040	457.216	0.016 0.016	
⊥		46 2	Ø 457,2 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.001	
⌀		57 3	Ø 160 K7 Durchmesser	160.000	0.012 -0.028	159.985	-0.015	
⌭		57 3	Ø 160 K7 Zylindrizität		0.010		0.006	
◎		58 3	Ø 160 K7 Koaxialität		0.030		0.132 0.102	
⊥		59 3	Ø 160 K7 Rechtwinkligkeit		0.003		0.009 0.006	
X		64 1	102 Abstand X	102.000	0.300 -0.300	102.043	0.043	
//		68 3	103A Parallelität		0.030		0.017	
//		77 4	103B Parallelität		0.030		0.013	
X		79 2	103 Abstand X	103.000	-0.200 -0.300	102.808	-0.192 0.008	
X		87 3	49 Abstand X	49.000	0.100 -0.100	49.000	0.000	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 06:31	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 6186206	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36053 030 03	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		29 1	Ø 412 h6 Durchmesser	412.000	0.000 -0.040	411.979	-0.021	
⊥		30 1	Ø 412 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.003	
▱		31 1	A Ebenheit		0.010	0.019	0.019 0.009	
⌀		45 2	Ø 457,2 Durchmesser	457.200	0.000 -0.040	457.182	-0.018	
⊥		46 2	Ø 457,2 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.001	
⌀		57 3	Ø 160 K7 Durchmesser	160.000	0.012 -0.028	159.973	-0.027	
⌭		57 3	Ø 160 K7 Zylindrizität		0.010		0.004	
◎		58 3	Ø 160 K7 Koaxialität		0.030		0.063 0.033	
⊥		59 3	Ø 160 K7 Rechtwinkligkeit		0.003		0.009 0.006	
X		64 1	102 Abstand X	102.000	0.300 -0.300	102.028	0.028	
//		68 3	103A Parallelität		0.030		0.011	
//		77 4	103B Parallelität		0.030		0.011	
X		79 2	103 Abstand X	103.000	-0.200 -0.300	102.793	-0.207	
X		87 3	49 Abstand X	49.000	0.100 -0.100	48.997	-0.003	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 23.04.2018 / 15:22	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 6186206	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36053 030 04	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		29 1	Ø 412 h6 Durchmesser	412.000	0.000 -0.040	412.013	0.013 0.013	
⊥		30 1	Ø 412 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.003	
▱		31 1	A Ebenheit		0.010	0.014	0.014 0.004	
⌀		45 2	Ø 457,2 Durchmesser	457.200	0.000 -0.040	457.209	0.009 0.009	
⊥		46 2	Ø 457,2 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.002	
⌀		57 3	Ø 160 K7 Durchmesser	160.000	0.012 -0.028	159.995	-0.005	
⌭		57 3	Ø 160 K7 Zylindrizität		0.010		0.007	
◎		58 3	Ø 160 K7 Koaxialität		0.030		0.087 0.057	
⊥		59 3	Ø 160 K7 Rechtwinkligkeit		0.003		0.002	
↔X		64 1	102 Abstand X	102.000	0.300 -0.300	102.034	0.034	
//		68 3	103A Parallelität		0.030		0.008	
//		77 4	103B Parallelität		0.030		0.008	
↔X		79 2	103 Abstand X	103.000	-0.200 -0.300	102.791	-0.209	
↔X		87 3	49 Abstand X	49.000	0.100 -0.100	48.990	-0.010	

Protokollnummer (1)

Te - Pro d.o.o.
Gospodarska 7, Vrhovljan
40313, Sveti Martin na Muri, Hrvatska
Tel.: +385 40 868-373
www.te-pro.net
E-Mail: office@te-pro.net

Date / Time	: 24.04.2018 / 07:10	**Maschine**	: Mitutoyo Crysta - Apex S
1. Teil	: 6186206	**4. Auftrag**	:
2. Teilnummer	: FT 36053 030 04	**5. Material**	:
3. Änderung	:	**6. Prüfer**	:

	Pos. Nr.	Z.Nr SP.Nr	Element-Name Merkmalname	Nennmaß	Obere Tol. Untere Tol.	Istmaß	Abweichung. Übermaß	Tol-Graphik
⌀		29 1	Ø 412 h6 Durchmesser	412.000	0.000 -0.040	411.984	-0.016	
⊥		30 1	Ø 412 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.001	
▱		31 1	A Ebenheit		0.010	0.015	0.015 0.005	
⌀		45 2	Ø 457,2 Durchmesser	457.200	0.000 -0.040	457.177	-0.023	
⊥		46 2	Ø 457,2 h6 Rechtwinkligkeit		0.030		0.002	
⌀		57 3	Ø 160 K7 Durchmesser	160.000	0.012 -0.028	159.983	-0.017	
⌭		57 3	Ø 160 K7 Zylindrizität		0.010		0.005	
◎		58 3	Ø 160 K7 Koaxialität		0.030		0.088 0.058	
⊥		59 3	Ø 160 K7 Rechtwinkligkeit		0.003		0.002	
↔X		64 1	102 Abstand X	102.000	0.300 -0.300	102.013	0.013	
//		68 3	103A Parallelität		0.030		0.007	
//		77 4	103B Parallelität		0.030		0.010	
↔X		79 2	103 Abstand X	103.000	-0.200 -0.300	102.775	-0.225	
↔X		87 3	49 Abstand X	49.000	0.100 -0.100	48.989	-0.011	