

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 518/2014

Тамара М. Јуришевић

**КООРДИНАТНА МЕТРОЛОГИЈА И ПРИМЕНА
КООРДИНАТНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић, ред. проф. – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Војно индустријско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Наоружање**

Име и презиме: **Тамара Јуришевић**

Број индекса: **518/2014**

ПРИЈАВА ДИПЛОМСКОГ РАДА

Тема рада: **Координатна метрологија и примена координатне мерне машине**

Задатак: У оквиру дипломског рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о примени координатне мерне машине у метрологији. Потребно је описати начин дефинисања тачности облика и означавања у техничкој документацији. У другом делу рада описати координатне мерне машине и мерење и примену одговарајућег софтвера за рачунаром подржано мерење.

Дипломски рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Метрологија, појам и значај,
3. Дефинисање и означавање тачности облика у техничкој документацији,
4. Примена координатне мерне машине за мерење тачности облика,
5. Рачунаром подржано мерење,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 01.10.2020.

Резиме:

У оквиру дипломског рада описана је метрологија о мерењу као и њен значај, описан је начин представљања облика и положаја.

У посебном поглављу описана је координатна метрологија и координатне мерне машине. Такође, описано је рачунаром подржано програмирање са акцентом на софтвер *PC-DMIS* који се често користи.

Кључне речи:

мерење, одступање, координатна мерна машина

Abstract:

Within the thesis, metrology about measurement is described, as well as its significance. The way of representing shapes and positions is described. In a separate chapter, coordinate metrology and coordinate measuring machines are described. Also, computer-aided programming is described with an emphasis on software *PC-DIMS* software which is used for this.

Keywords:

measuring, deviation, coordinate measuring machine

САДРЖАЈ:

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	5 -
2. МЕТРОЛОГИЈА – НАУКА О МЕРЕЊУ И ЊЕН ЗНАЧАЈ.....	6 -
2.1. Мерни системи	7 -
2.2. Задаци мерних система	8 -
2.3. Класификација мерних система	10 -
2.4. Структура мерних система.....	12 -
2.5. Сензори мерних система	12 -
2.6. Активни и пасивни мерни системи.....	13 -
2.7. Пнеуматски мени системи	14 -
2.8. Фотоелектрични мерни системи.....	15 -
2.9. QDS вишепозициони мерни системи.....	16 -
2.10. Мерно – контролни работи	17 -
3. ТОЛЕРАНЦИЈЕ ОБЛИКА И ПОЛОЖАЈА.....	18 -
3.1. Толерисани елемент	19 -
3.2. Геометријске толеранција	22 -
3.3. Толеранцијски оквир.....	30 -
4. КООРДИНАТНА МЕТРОЛОГИЈА И КООРДИНАТНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ.....	31 -
4.1. Основни термини у индустријским мерењима.....	31 -
4.2. Координатна мерна техника.....	35 -
4.3. Мерне сонде.....	37 -
4.3.1. Контактне сонде.....	38 -
4.3.1.1. Контактни сензори са контактним окидачем	40 -
4.3.1.2. Аналогни сензори	41 -
4.3.2. Контактно - оптички сензори	42 -
4.3.3. Контактно - оптички сензор профила	44 -
4.3.4. Ласерске сонде	44 -
4.3.5. Вишесензорска технологија.....	46 -
4.4. Мерење на координатној мерној машини	46 -
4.4.1. Софтвер за координате мерне машине.....	49 -
4.4.2. Интегрисање CAD података.....	49 -
4.5. Мерна несигурност.....	50 -
4.6. Координатне мерне машине.....	52 -
4.7. Типови координатних мерних машина.....	53 -
4.8. Вођице, погон, лежајеви.....	54 -
4.9. Мерни пипци	54 -
5. РАЧУНАРОМ ПОДРЖАНО МЕРЕЊЕ.....	58 -
5.1. Поступци мерења	59 -
5.1.1. Мерење на машини	61 -
5.2. Уређаји за рачунаром подржано мерење.....	64 -
5.3. Софтвер за мерење – PC-DMIS.....	65 -
5.3.1. Креирање новог парт програма	67 -
5.3.2. Дефинисање мерног пипка	68 -
5.3.3. Подешавање погледа.....	69 -
5.3.4. Мерење машинског дела.....	70 -
6. ЗАКЉУЧАК.....	71 -

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Улога мерења као практичне техничке делатности од велике је важности како у свакодневном животу тако и у подручју производње. Индустријска производња, у најширем смислу, обухвата све активности укључене при изради неког производа, па тако и мерења. Данас се без мерења не може замислити контрола квалитета производа као предуслов за његову продају. Порастом сложености облика производа, геометрија производа постаје све компликованија за мерење и контролу. Због захтева мерења сложене геометрије потребно је примењивати такве мерне уређаје, односно методе, који су прецизни и брзо извршавају велики број операција мерења.

Место и улога мерења и инспекције се мењала сагласно развоју и увођењу нових технологија у технолошке системе. На почетку индустријског развоја, задатак производње, односно контроле био је да се обезбеди функција производа, уз високе толеранције саставних делова. Након тога, успостављањем концепта серијске производње уведен је принцип замењивости делова, при чему је контрола добила нову улогу (серијност и повећање тачности). Најзад, развојем и увођењем нових обрадних система (трансфер линије, НУМА), повећана је тачност, комплексност и флексибилност обрађених делова. Улога контроле је овде била не само да идентификује геометријску тачност обрађеног дела већ и параметре за управљање обрадним процесом (подешавање алата, параметри режима резања - храпавост обрађене површине, и слично). Број параметара обраде и квалитета који улази у међусобну корелацију се повећава.[2]

Развој НУМА, односно сложенијих технолошких структура на бази ових система је успоставио и нове концепте и правила за мерење и инспекцију. Повећање комплексности и флексибилности, уз све оштрије захтеве у смислу тачности данас се огледају у развоју и примени концепта управљања квалитетом конформности у реалном времену.

Нове тенденције у технолошким системима у погледу обрадних процеса, поставиле су и нове захтеве пред мерну технику. Примена конвенционалних метролошких система и процедура које их подржавају, постала је ограничавајући фактор у смислу флексибилности и тачности мерења. Посебан проблем је био метролошка идентификација комплексних метролошких задатака, као што су, на пример, толеранције облика и положаја код кутијастих делова или делова са површинама слободног облика. Код ових примера, поред метролошке идентификације облика, проблем је и повезивање метролошких база, што има директног утицаја на тачност добијених резултата.

Посебан допринос истраживању и развоју НУММ-а су имала два догађаја [2]. Први је, отпочињање индустријске производње крајем шездесетих година, мерних система на бази електронике за дужине и углове, а други, развој рачунарске технологије. На овај начин су остварени технолошки скокови и у овој области, отпочињењем развоја нумеричких управљаних мерних масина (НУММ).

Потреба за све аутоматизованијим планирањем процеса мерења и бољим механизмима за подршку при одлучивању омогућава мерење сложенијих и разноврснијих делова и смањује развојни циклус израде дела.

Током последње деценије напредак технологије хардвера и софтвера резултирао је машинама које су потенцијално способне за мерења високих прецизности, а координатна метрологија је постала есенцијална за индустријску димензионалну метрологију. [2]

2. МЕТРОЛОГИЈА – НАУКА О МЕРЕЊУ И ЊЕН ЗНАЧАЈ

Наука о мерењу или метрологија је специјализовани део појединих природних и техничких наука који се бави методама мерења физичких величина, развојем и израдом мерних уређаја, репродукцијом и похрањивањем мерних јединица и свим осталим активностима које омогућавају мерење и усавршавање мерних поступака.

Мерење представља скуп активности чији је циљ добијање вредности мерне величине (физичке величине).

Значај мерења као практичне техничке делатности од првенствене је важности како у свакодневном животу тако и у свим подручјима привреде и науке. Куда год кренемо сусрећемо се са мерењем. У трговинама се роба купује на комад, по дужини и тежини, вода, електрична енергија и топлота се мере, а последице тога се осећају и у нашим личним финансијама.

Постоје различите делатности које директно зависе од мерења. Пилот пажљиво одређује своју висину, правац, потрошњу горива и брзину и друге параметре неопходне за сигурност лета.

У техничкој дијагностици се врше мерења у циљу утврђивања стања техничких система. Након конструкције новог производа врше се испитивања карактеристика прототипног решења. Контрола и мерење се врше у сврху аутоматског управљања процесима. Без мерења се не може замислити контрола квалитета производа као услова за његову продају.

Огроман прогрес технике и техничких наука захтевао је и одговарајући развој метода мерења и инструмената и пратеће опреме која се користи за мерење. Многе области науке развиле су се тек када је остварена одговарајућа могућност мерења. И у том подручју остварен је огроман прогрес. У настојању да се у нају све могућности истраживачи су често показивали и врхунац довитљивости људског духа па су уз властите експерименте често допринијели развоју метода и техника мерења.

Нове методе мерења развијене у физици, показали су се одлучујућим у развоју технике. Многе области савремене технике развиле су се захваљујући новим могућностима мерења. Мерење је повезано са производним процесима.

У техничкој дијагностици мерења се врше у циљу утврђивања стања техничких система. Зависно од врсте и циља мерења, користе се различити мерни инструменти и пратећа опрема. Мерење одређених параметара захтева и коришћење одговарајуће методе и примерене опреме.

Основна делатност лабораторија је мерење, из чега произилазе нова научна сазнања у различитим областима делатности. Мерења чији се резултати користе у научне сврхе треба понављати одређени број пута. Лабораторији служе да би се мерењем потврдиле или провериле одабране или жељене величине неког производа.

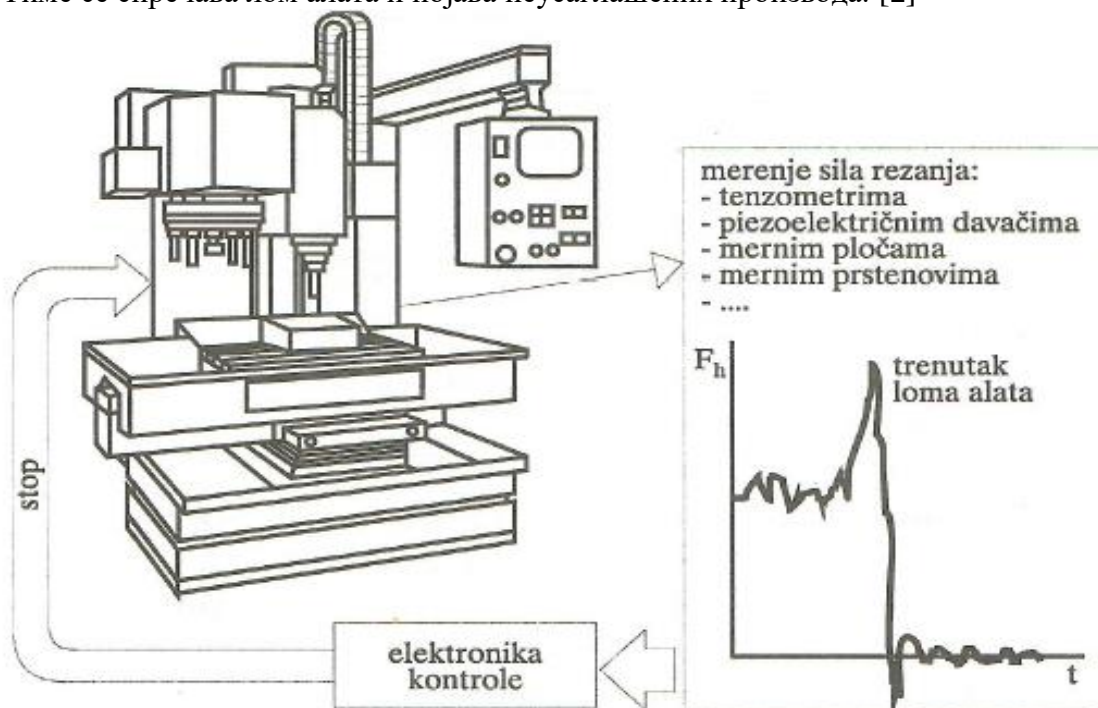
На резултат мерења могу утицати и спољни фактори. Зато их је потребно одржавати на константном нивоу. Мерења која се проводе у сврху контроле или утврђивања квантитативног нивоа неког радног параметра или неке величине готовог производа не захтевају исти низ радњи које се морају провести код мерења за истраживачке сврхе. Фактори спољне околине код производних мерења могу се занемарити уколико не утичу на резултат мерења.

Индустријска производња захтева честа и различита мерења. Након конструкције новог производа врши се испитивање карактеристика прототипног решења. Праћење тока производње и одређивање шкарта одређује се коришћењем мерења уз коришћење наменске конвенционалне или специјалне мерне опреме. [1]

2.1. Мерни системи

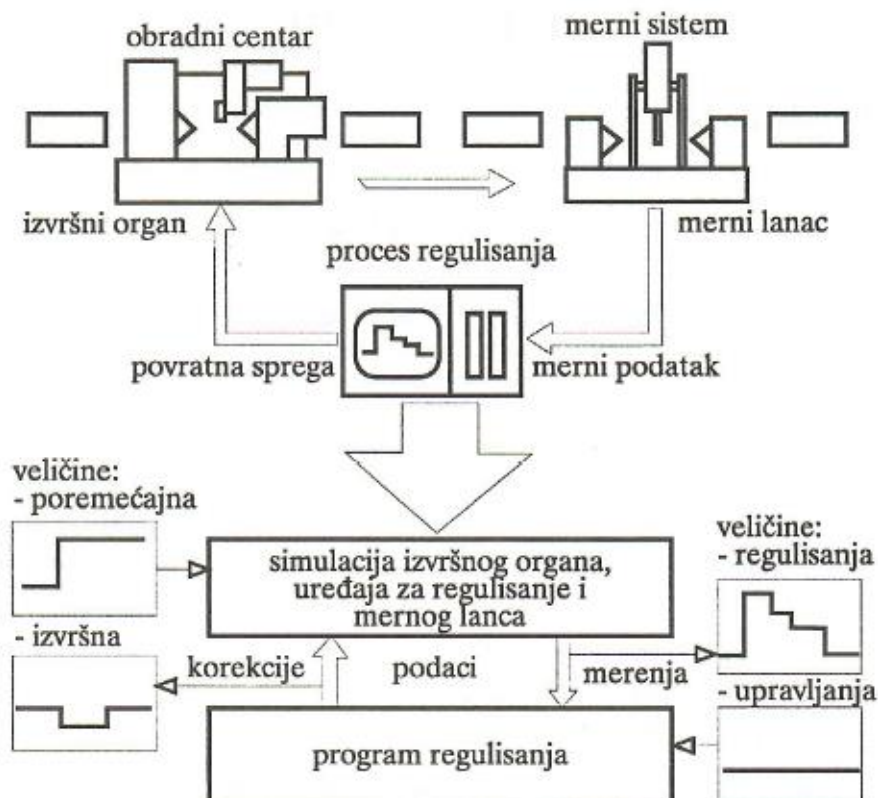
Мерни систем чини низ техничких уређаја или инструмената, намењених формирању квалитативних и квантитативних мерних информација о стању контролисаног објекта (производа и производног процеса).

Систем обезбеђује формирање информација у облику погодном за аутоматску анализу карактеристику производа или процеса (пасивни) и пренос и коришћење у аутоматским системима контроле и управљања (активни мерни систем). Тако на пример, мерни систем аутоматске контроле стања алата праћењем промене отпора резања (слика 2.1.) обезбеђује аутоматски прекид процеса обраде у тренутку нагле промене отпора резања. Тиме се спречава лом алата и појава неусаглашених производа. [2]



Слика 2.1. Принципијална шема система контроле стања алата мерењем сила резања [2]

На слици 2.2. је приказана шема система аутоматског праћења нивоа квалитета производа и тачности производних процеса. Са обрадног система производи се транспортују до мерног система, где се изводе метролошке операције. На основу резултата мерења и контроле формира се сигнал управљања процесом израде производа.



Слика 2.2. Шема система аутоматског праћења нивоа квалитета производа и тачности производних процеса [2]

2.2. Задаци мерних система

Постоји више критеријума за класификацију мерних система и прибора. Неки критеријуми класификације су:

- фаза обрадног процеса у којој се мерни систем користи,
- форма приказивања резултата мерења,
- степен аутоматизације мерних система,
- врста мерне величине,
- број истовремено мерених величина,
- тип производње и др.

Према фази обрадног процеса разликујемо следеће мерне системе:

- предпроцесни мерни системи,
- процесни,
- послепроцесни,

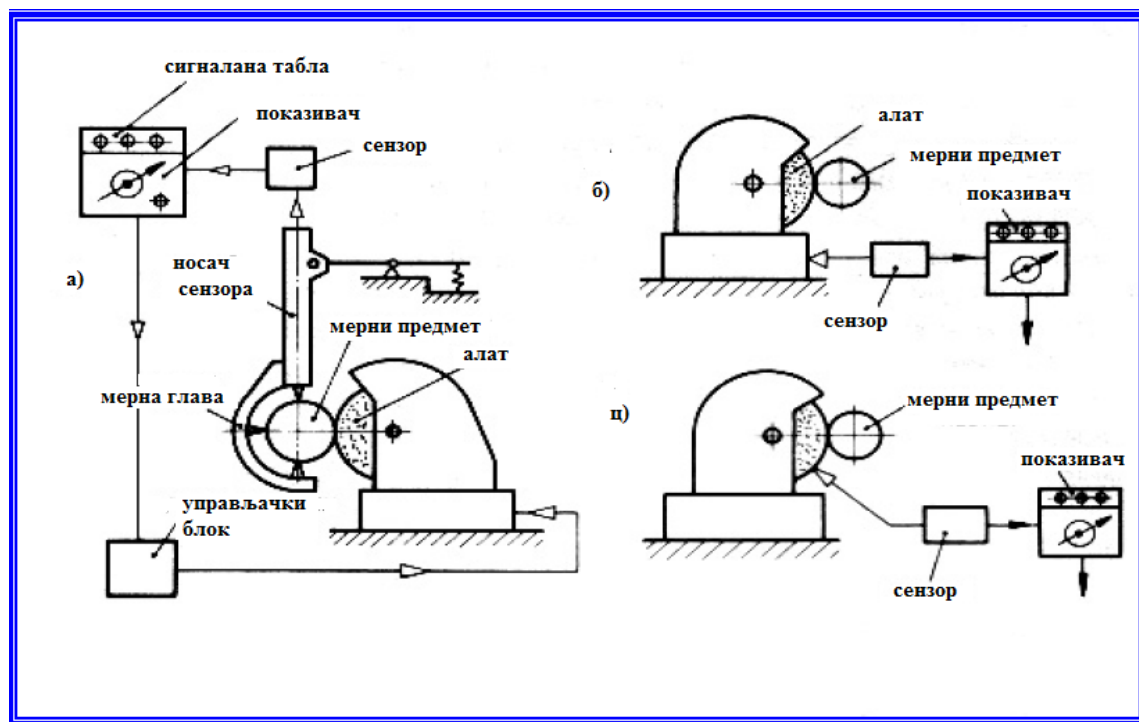
Предпроцесни мерни системи подразумевају мерење - контролу припремке пре почетка обраде. Процесни се користе у току одвијања обрадног процеса. Њихов задатак је идентификација карактеристика квалитета у процесу обраде делова. Послепроцесни се користе након завршетка обрадног процеса. Задатак јој је да изврши завршну контролу квалитета обрађене серије делова. [2]

Према степену утицаја резултата мерења, мерне системе делимо на:

- активне,
- пасивне,

Мерни сигнал се код активног мерног сигнала генерише:

- директним безконтактним - контактним мерењем на мерном предмету (слика 2.3. а)
- индиректним мерењем путем мерења положаја елемената (слика 2.3. б)
- мерењем и контролом положаја резних сечива у односу на референтни координатни систем (слика 2.3. ц)



Слика 2.3. Директни а) и индиректни б) и ц) метод мерења и контроле карактеристика квалитета активним процесним системом [2]

Два основна задатка мерних система су:

- Идентификовање и
- Генерисање мерних информација.

Идентификовање мерних информација обухвата процесе, операције и технологије мерења једне или више физичких величина са циљем:

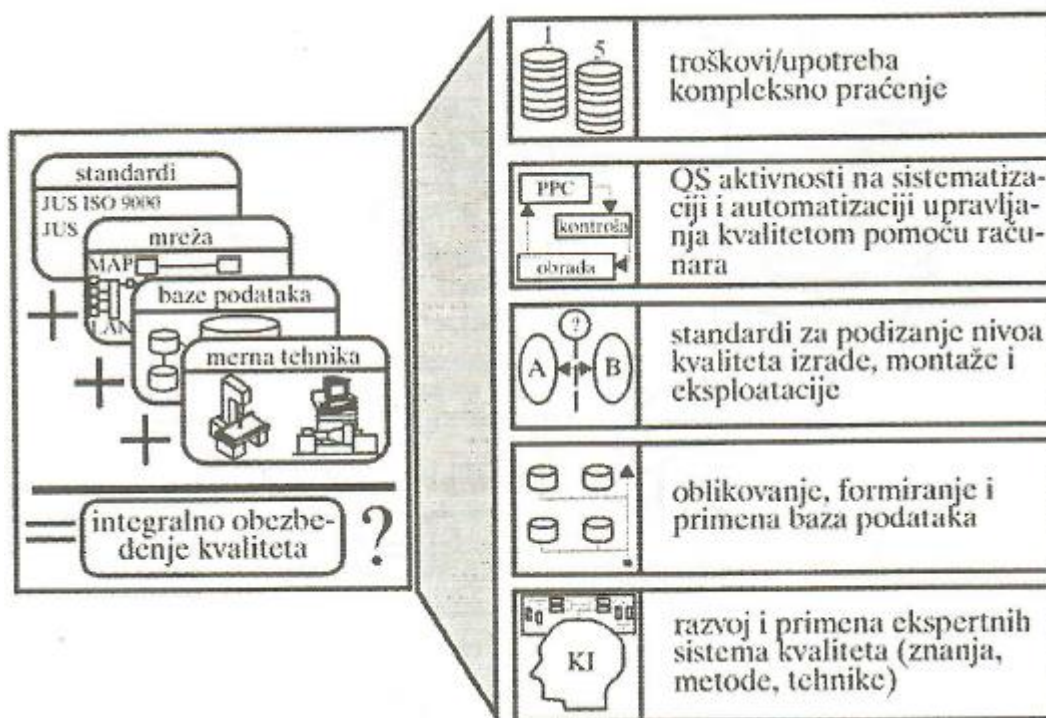
- Формирање мерних сигнала и прикупљање мерних информација,
- Обраде резултата мерења и контроле и обликовања информација и
- Приказивање резултата мерења на индикаторским јединицама.

Квалитетна реализација задатака мерних система обезбеђује подизање нивоа квалитета производа и смањење трошкова производње. [2]

Генерисање мерних информација обухвата обликовање мерних информација тако да буду погодне за:

- Управљање, контролу и анализу технолошких процеса и производних система,
- Меморисање и чување,
- Статистичку обраду применом рачунара,
- Пренос на даљину.

Други задатак обављају тзв. **интелигентни мерни системи**, модерни метролошки и информациони системи.



Слика 2.4. Интегрално обезбеђење квалитета производа [2]

На основу генерисаних информација системи испитују и анализирају стање процеса, контролишу и управљају процесима и опремом. Тиме се стварају услови за развој система интегралног обезбеђења (слика 2.4.) тржишно успешног нивоа квалитета производа.

2.3. Класификација мерних система

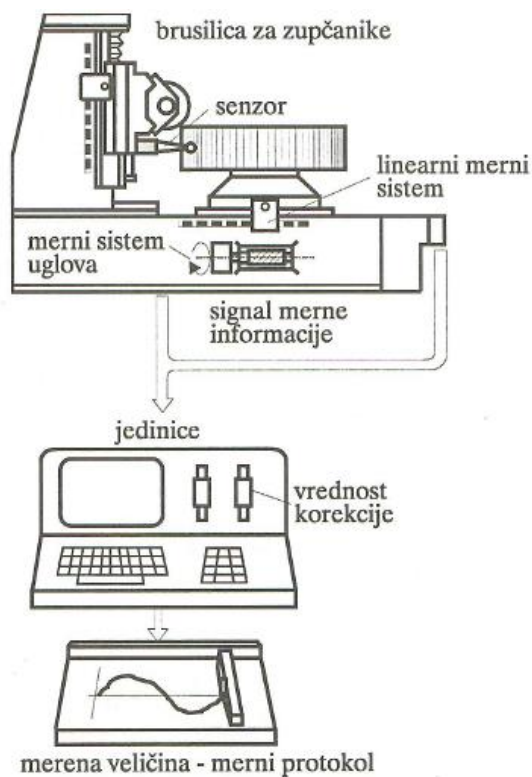
Савремени мерни системи (слика 2.5.) који се користе у производним линијама и флексибилним технолошким системима су:

- Сензорски аналогни и дигитални мерни системи,
- Пнеуматски и фотоелектрични мерни системи,
- Ласерски мерни системи,
- Системи за дигиталну обраду слика,
- Нумерички управљане мерне машине,
- Мерно-контролни роботи,
- Информациони и интелигентни мерни системи,
- Систем адаптивног управљања,
- Флексибилни метролошки системи.



Слици 2.5. Класификација мерних – метролошких система [2]

На слици 2.6. приказан је мерни систем за контролу параметара озубљења који обезбеђује праћење и контролу свих параметара озубљења, издавање мерних информација и аутоматско управљање процесом озубљења.



Слици 2.6. Мерни систем за контролу параметара озубљења[2]

2.4. Структура мерних система

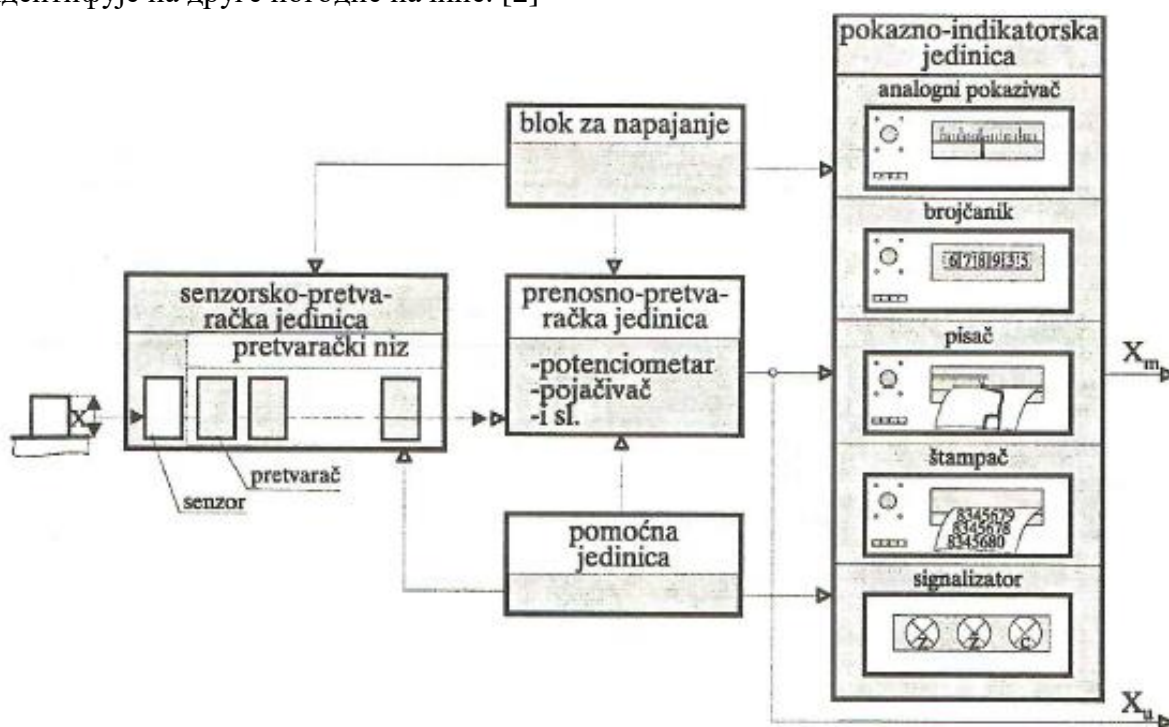
Основни структурни елемент мерних система је мерна инструментација, која обезбеђује мерење и контролу параметра квалитета израде производа и приказ резултата у погодном облику. Мерни системи (слика 2.7.) се састоје од четири основне јединице:

- Претварачке јединице (сензори свих врста и типова)
- Преносно – претварачке јединице,
- Показно – индикаторске јединице и
- Помоћне јединице.

Претварачке јединице прихватају и трансформишу вредност контролисане величине у сигнал погодан за даље обликовање и коришћење.

Преносно-претварачка јединица обезбеђује појачање и пренос трансформисаног сигнала до индикаторске јединице и управљачке јединице обрадног система.

Показно – индикаторске јединице прихвата сигнал и формира излазну – мерну информацију. Мерна информација се директно читава на аналогном или дигиталном показивачу, региструје на писачу или штампачу, сигнализира на сигнализатору или идентифује на друге погодне начине. [2]



Слика 2.7. Принципијелна шема мерног система [2]

2.5. Сензори мерних система

Претварачке јединице или сензори представљају претварач вредности мерне величине у мерни сигнал. Интезивни развој метрологије довео је до великог броја различитих типова сензора, различитих по конструкцији, типу градње, принципу рада, карактеру излазног сигнала, и сл. [2]



Слика 2.8. Класификација сензора [2]

2.6. Активни и пасивни мерни системи

Према степену утицаја резултата мерења и контроле на процес и ефекте обраде мерни системи се деле на:

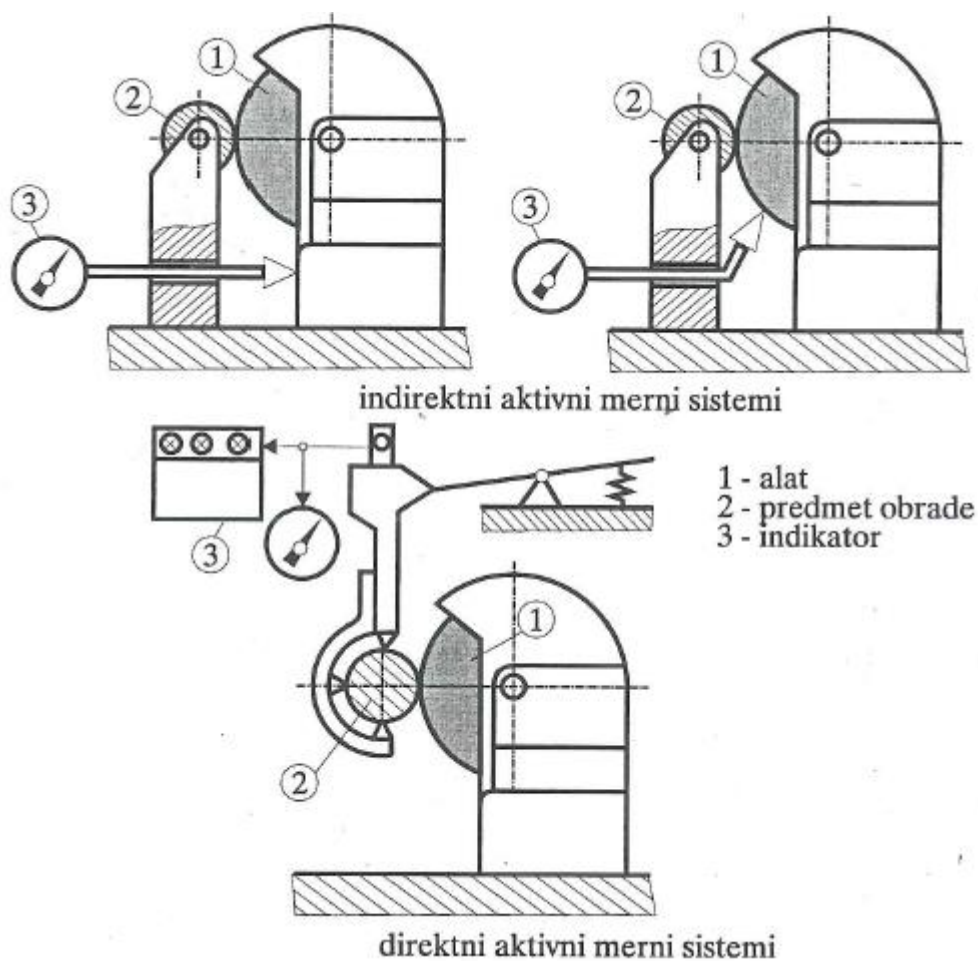
- Активне и
- Пасивне мерне системе

Пасивни мерни системи су системи селекције делова и производа на добре (квалитетне, тачне и усаглашене) и лоше (неквалитетне, нетачне и неусаглашене).

Активни системи користе мерну информацију за аутоматско регулисање управљање процесом обраде. Тиме су створени услови за повећање производности, тачности израде, свођење на минимум могућности појаве шкарта и неусаглашености. Активни мерни системи се деле према:

- Намени на системе за:
 - ❖ Равно и кружо брушење, хоновање, стругање и сл.
- Методу рада на:
 - ❖ Директне и индиректне (слика 2.9.)
- Врсти контакта сензора са објектом на:
 - ❖ Контактне и безконтактне
- Току технолошког процеса на:
 - ❖ Претпроцесне, процесне и постпроцесне.

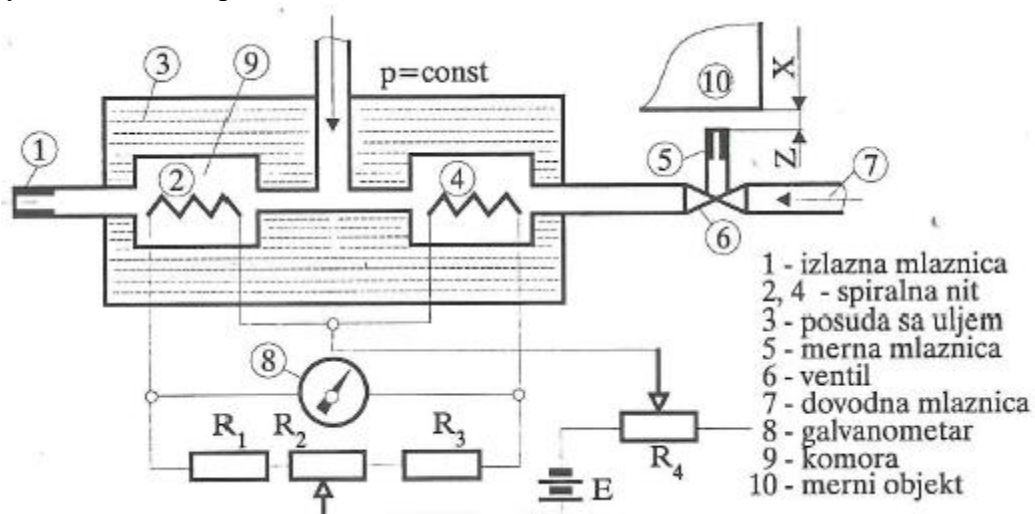
Активни мерни системи (слика 2.9.) обезбеђују аутоматско управљање процесом обраде и сортирање производа пре и након обраде. [2]



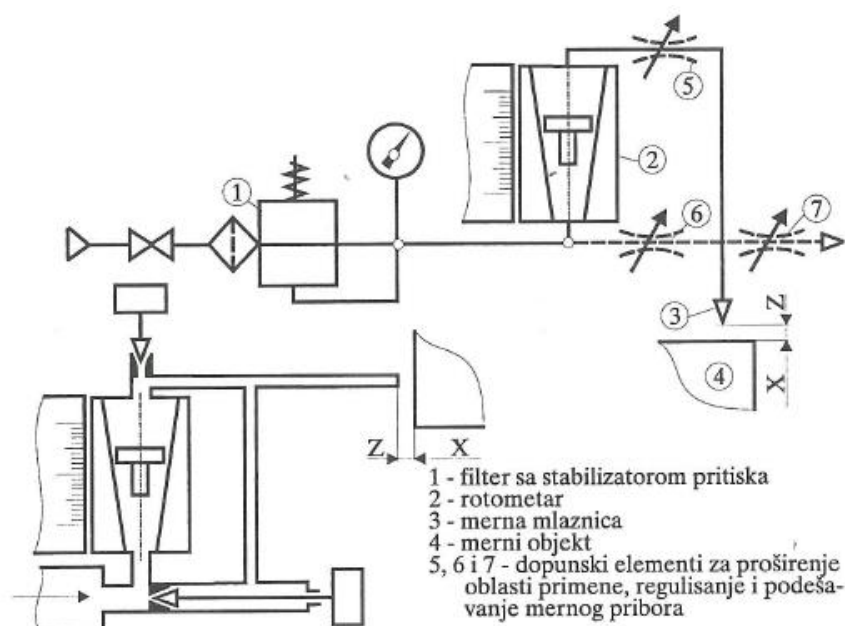
Слика 2.9. Директни и индиректни мерни системи [2]

2.7. Пнеуматски мени системи

Пнеуматски метод мерења параметара се заснива на утврђивању параметара квалитета праћењем промене параметара струјања ваздуха кроз пнеуматску инсталацију са пнеуматским сензором.



Слика 2.10. Шема пнеуматског мерног система болометарског типа [2]



Слика 2.11. Шема пнеуматског мерног система ротометарског типа[2]

Пнеуматски мерни системи се користе као активни процесни и постпроцесни и пасивни мерни системи за градњу контролних аутомата и система. Одликују га висока тачност и осетљивост, једноставност конструкције регулисања и рада. Према типу мерне шеме деле се на пнеуматске мерне системе:

- манометарског,
- ротометарског и
- болометарског типа

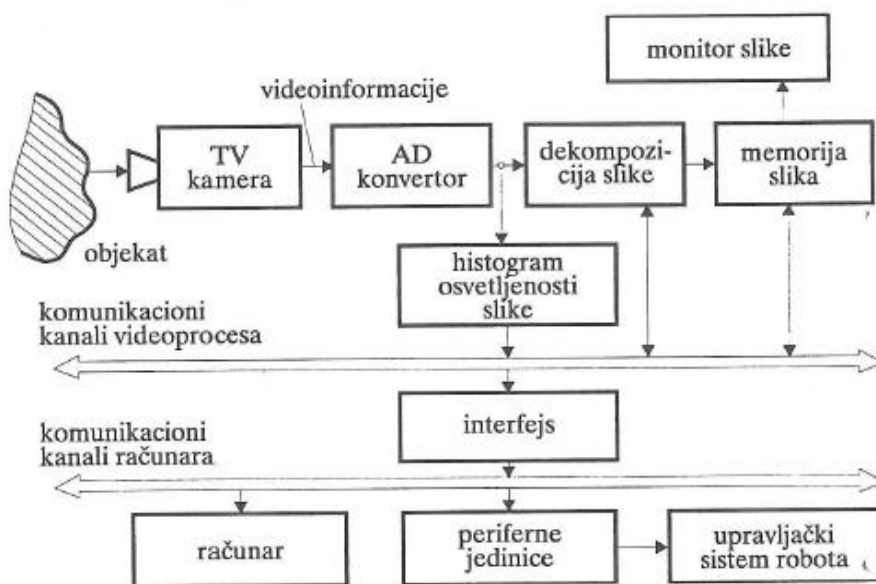
Пнеуматски мерни систем болометарског типа (слика 2.10.) мерни сигнал се генерише у виду електричног сигнала, чиме је обезбеђен пренос сигнала и на велике даљине. [2]

Код система ротометарског типа промена параметара X се прати на скали провидне конусне цеви са пловком. Висока тачност се постиже обезбеђењем константног радног притиска са компонентама (слика 2.11.). [2]

2.8. Фотоелектрични мерни системи

Фотоелектрични мерни системи су засновани на логици рада фотоелектричних сензора. Користе се за аутоматско безконтактно мерење и контролу параметара квалитета производа, детекцију објекта, скенирање, селектирање и груписање покретних и непокретних делова у току и након процеса обраде.[2] Прем метролошким задацима фотоелектрични мерни системи (слика 2.12.) се деле на

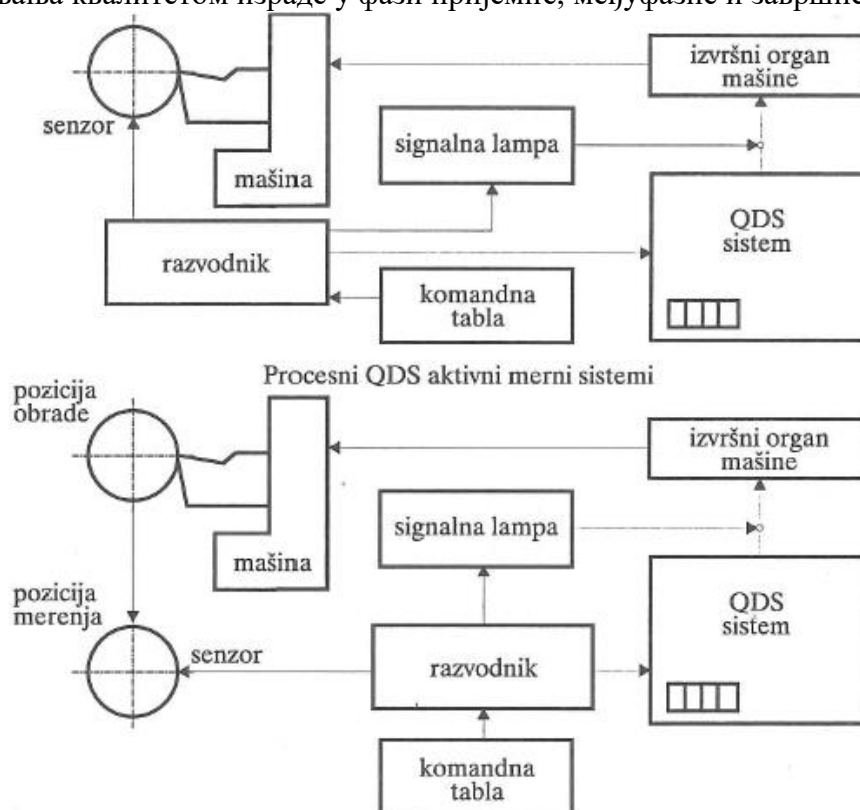
- метролошке,
- идентификационе,
- информационе и
- комбиноване



Слика 2.12. Шема фотоелектричног идентификационог система [2]

2.9. QDS вишепозициони мерни системи

QDS вишепозициони мерни системи (слика 2.13.) су уређаји намењени online систему управљања квалитетом израде у фази пријемне, међуфазне и завршне контроле



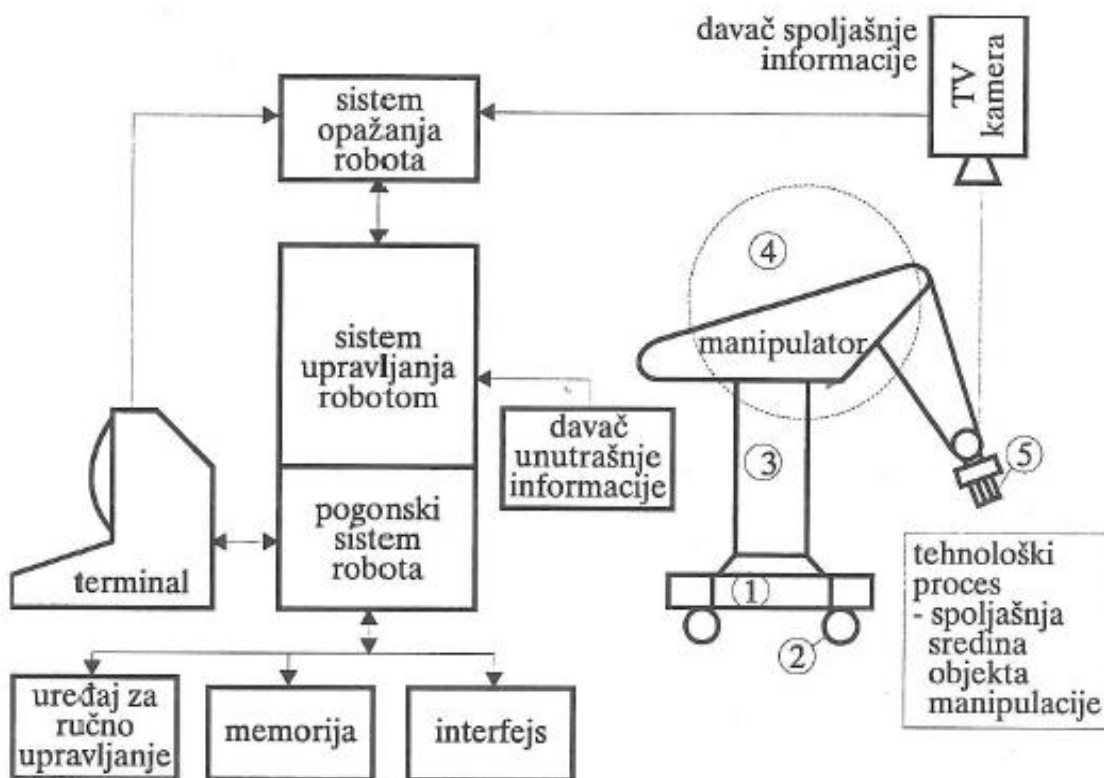
Слика 2.13. Постпроцесни QDS активни мерни системи [2]

2.10. Мерно – контролни роботи

Мерно – контролни објекти су флексибилни програмски ситеми који до одређеног степена подржавају неке функције човека. Реализација ових задатака се постиже преко различитих система као што су:

- Сензорски систем,
- Систем размишљања о информацијама,
- Систем одлучивања и решавања,
- Систем управљања радом својих органа и операцијама које треба обавити.

Мерно – контролни роботи се користе за мерење, контролу и дијагностику производа различите конфигурације и технолошке сложености.



Слика 2.14. Основни функционални системи мерно контролних робота [2]

3. ТОЛЕРАНЦИЈЕ ОБЛИКА И ПОЛОЖАЈА

Толерисање димензија одређује прихватљиву величину толерисаног елемента дела и неког задатог налагања између елемената упарених делова. Величина толерисаног елемента одређена је номиналном величином и придруженим доњим и горњим граничним одступањем. Толеранције који се могу задати су ограничене на дозвољено позитивно или негативно одступање на линеарним димензијама елемената. Метод толерисања димензија је једноставан, али садржи и низ недостатака [1, 2, 3]:

- Методе толерисања димензија обично резултирају правоугаоном зоном толеранције (толеранцијским пољем) која не може да обухвати планирану функционалност склопа. На пример, правоугаоне зоне толеранција нису погодне за толерисање цилиндричних елемената.
- Интеракција између толеранција није садржана. Ово може довести до случаја да је толеранција непотребно уска.
- Толерисање димензија не садржи релативно важне референтне елементе.

Да би се превазишли недостаци толерисања димензија, развијена је снажнија шема толерисања на основу дозвољених одступања геометријских величина. Геометријско толерисање омогућава дефинисање типова толеранција које нису ограничене на линеарне димензије елемента дела, али садрже и геометријске карактеристике као што је одступање равности површине. Ова шема толерисања, позната као геометријско димензионисање и толерисање (*Geometric Dimensioning and Tolerancing* - GD&T) развијена је и стандардизована на основу конвенција развијених из емпиријског знања и инжењерске праксе у индустрији током више деценија [34, 35, 36].

GD&T приступ дефинише зоне толеранција унутар којих је толерисаном елементу дозвољено да одступа. Поред могућности толерисања димензија, приступ геометријског толерисања садржи специфичне врсте геометријских одступања параметара толерисаних елемената као што су правац, место, облик, профил и тачност обртања тј. одступање од кружности. [36]

Типови одступања се представљају стандардизованим симболима и нотацијама. Додатни појмови као што су виртуелне и добијене условне границе и модификатори материјалног стања су такође дефинисани у GD&T шемама толерисања. Они су формализовани у бројним цртежима дефинисаним стандардима као што су :

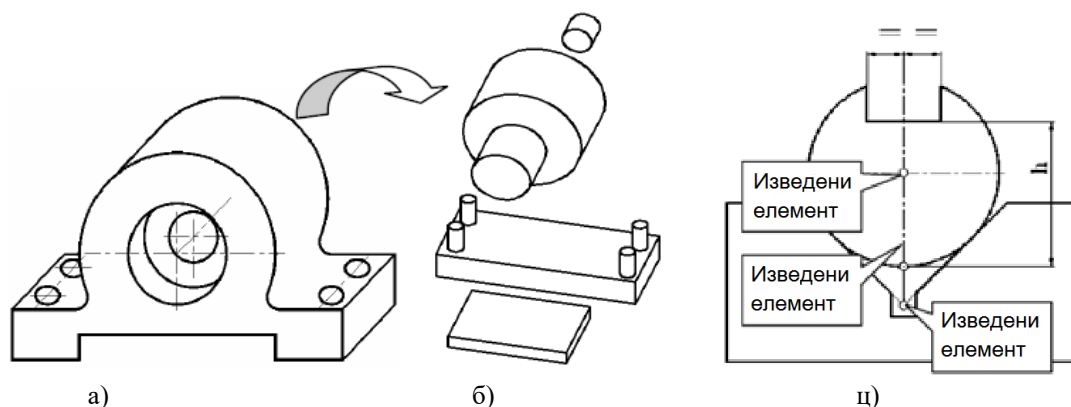
- ASME Y14.5-2009 Dimensioning and Tolerancing (ASME 2009)
- ISO 1101:2012 Geometrical Product Specifications (GPS). Tolerancing of form, orientation, location and run-out.
- ISO 5458:1998 Geometric Product Specifications (GPS). Positional tolerancing (ISO 1998).
- ISO 286-1:1988 ISO system of limits and fits (ISO 1988)
- ASME Y14.41-2003 Digital Product Definition Data Practices (ASME 2003)
- ISO 16792:2006 Technical product documentation – Digital product definition data practices (ISO 2006)

Смернице спецификавања геометријских толеранција су стандардизоване у два главна међународна стандарда: ASME (American Society of Mechanical Engineers) и ISO (International Organization for Standardization) стандард. ASME усваја American Y14.5 (претходни ANSI стандард) и уводи неке нове концепте, дефиниције, правила и симболе. Најновија ревизија стандарда је ASME Y15.5: 2009.

Геометријске толеранције у ISO су дате стандардом ISO 1101:2012 која представља недавно ажурирану верзију ISO 1101:2004. Поред тога, ISO је издао низ докумената о геометријским толеранцијама и другим стандардима о инжењерским пртежима. По овом стандарду, геометријска толеранција се примењује на толерисаном елементу и дефинише зону толеранције у оквиру које толерисани елемент треба да буде садржан. ASME 14.5 се заснива на принципу услова максимума материјала (Maximum Material Condition - MMC) док су ISO стандарди усвојили оба принципа, MMC и принципе независности. Што се тиче коришћених симбола и концепата у оба стандарда, има око 90% сличности између њих. Разлике укључују терминологију и симболику, где ASME 14.5M:2009 спецификује додатне симболе који не постоје (још нису дефинисани) у ISO 1101:2012 [9].

3.1. Толерисани елемент

Толерисани елемент (*feature*) је спецификовани део обрадка, као што је тачка, линија или површина, ови елементи могу бити саставни (интеграл), нпр спољна површина цилиндра, или изведени нпр. средња линија или средња површина дела (слика 3.1).



Слика 3.1. Део и елементи дела [9]

Како није могуће израдити делове идеалног геометријског облика, јављају се одступања елемената од геометријски идеалног облика и положаја. Геометријски елементи од значаја за део и конструкцију су елементи који се толеришу тј. толерисани елементи (*toleranced features*) који такође могу бити саставни или изведени.

Геометријска спецификација се односи на један целокупан елемент, осим када је одговарајућим модификатором другачије назначено.

Када се геометријска спецификација односи на сам елемент (саставни), толеранцијски оквир мора бити повезан са толерисаним елементом референтном стрелицом са линијом.

Како у ISO 1101:2012 нису наведене основне дефиниције референтних елемената исте су преузете из ISO 5459:1981 [7] и дате у наставку.

Референтни елемент представља теоретски тачну геометријску референцу (као што су осе, равни, праве линије, итд) на које се позивају толерисани елементи. Референтни елемент се може односити на један или више толерисаних елемената дела.

Систем референтног елемента јесте група од два или више одвојена референтна елемента који се користе као комбинована референца за толерисани елемент.

Референтни елемент толерисаног елемента представља реални толерисани елемент дела (као што је ивица, површина или отвор, итд), који се користи да се утврди место постављања референтног елемента. Како референтни елементи толерисаног елемента подлежу производним грешкама и одступањима, често је потребно на њима спецификовати толеранције облика. [8]

Мета референтног елемента је тачка, линија или ограничена област на обратку која ће се користити за контакт са производном и мерном опремом, да дефинише потребне референтне елементе како би се задовољили функционални захтеви.

Симулирани референтни елемент толерисаног елемента представља реална површина адекватно прецизног облика (као што је нпр. равна плоча за мерење, лежај или осовина и сл.) која додирује референтни елемент толерисаног елемента и користи се за утврђивање референтног елемента. Симулирани референтни елемент толерисаног елемента се користи при практичном одређивању референтних елемената током производње и мерења.[8]

Зона толеранције је зона у којој морају лежати све тачке једног геометријског елемента (тачка, линија, површина, средишна раван) [8].

Према карактеристици која се толерише и начину на који је димензионисана, зона толеранције је једно од следећег [5]:

- простор унутар круга,
- простор између два концентрична круга,
- простор између две еквидистантне (са једнаким растојањем) линије или две паралелне праве линије,
- простор унутар цилиндра,
- простор између два коаксијална цилиндра,
- простор између две еквидистантне површине или две паралелне равни,
- простор унутар сфере.

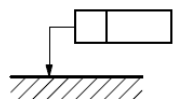
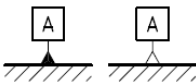
Осим ако је потребно више рестриктивних показатеља, као на пример образложење, толерисани елемент може бити било ког облика или правца у овој зони толеранције.

Толеранција се односи на целокупан обим посматраног елемента уколико није другачије наглашено.

Табела 1. Символи геометријских одступања [5]

Толеранција		Карактеристика	Симбол	Потреба за РЕ
Облика		Правост	—	Не
		Равност		Не
		Кружност		Не
		Цилиндричност		Не
		Облик линије		Не
		Облик површине		Не
Положаја	Правца	Паралелност	//	Да
		Управност		Да
		Угао нагиба		Да
	Места	Локација		Да и не
		Концентричност и коаксијалност		Да
		Симетричност		Да
	Тачности обртања	Кружност и обртање		Да
		Равност и кружност обртања (укупно)		Да

Табела 2. Додатни симболи [5]

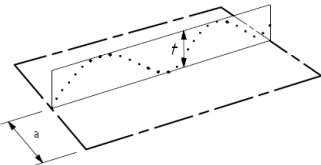
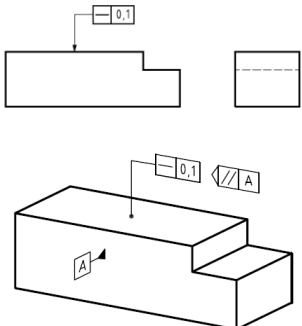
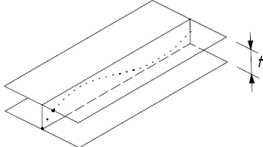
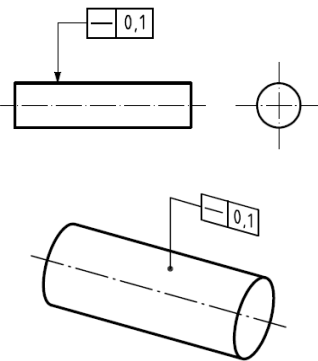
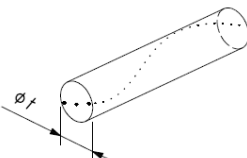
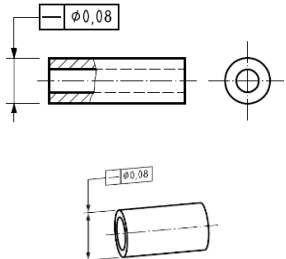
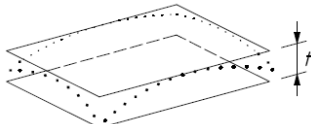
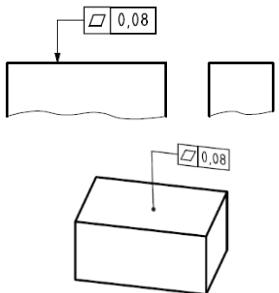
Опис	Симбол
Ознака толерисаног елемента	
Ознака референтног елемента	
Место мете референтног елемента	
Теоријски тачна мера	
Пројектована зона толеранције	
Услов максимума материјала	
Услов минимума материјала	
Заједничка зона	CZ
Мањи пречник	LD
Већи пречник	MD
Линијски елемент	LE
Неконвексно	NC
Пресечна раван	
Оријентациона раван	

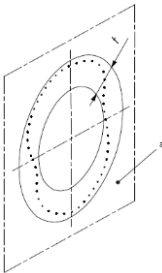
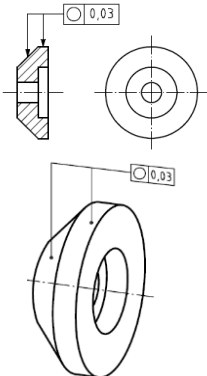
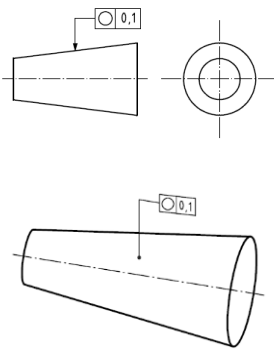
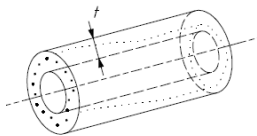
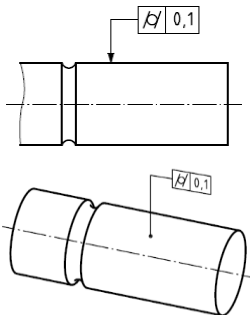
3.2. Геометријске толеранција

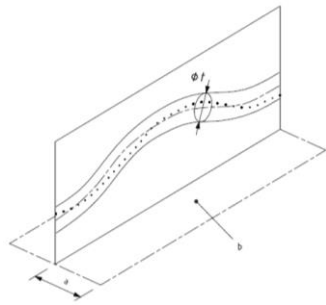
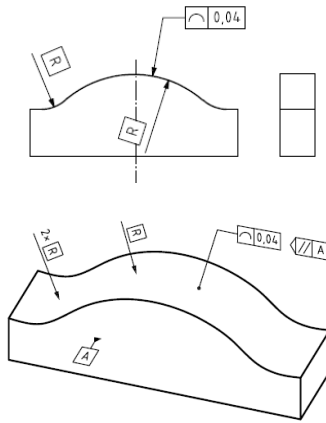
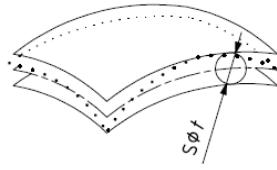
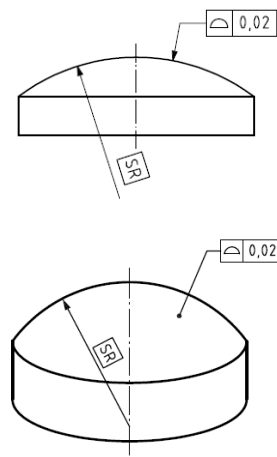
Толеранције облика ограничавају одступања једног (стварног) геометријског елемента од његовог идеалног геометријског облика и дефинишу зону толеранције у којој посматрани елемент мора лежати и у којој може имати произвољан облик. Толеранцијама облика одрађују се дозвољена одступања од тачног (идеалног) геометријског облика или од његовог референтног елемента (кружница, раван, профил и сл.).

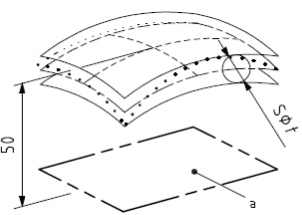
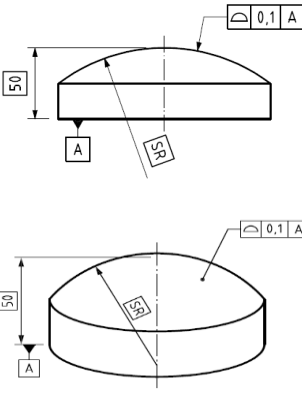
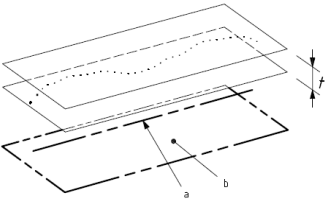
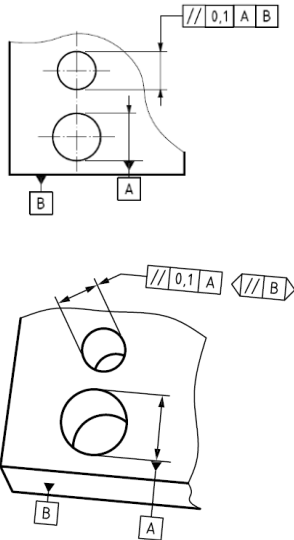
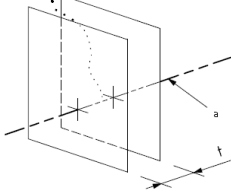
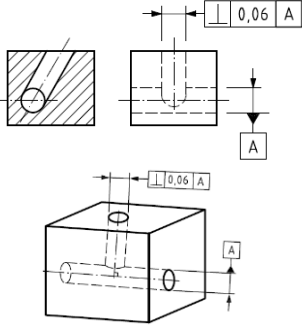
Толеранције положаја прописују допуштена одступања два или више елемента од њиховог задатог међусобног (идеалног) положаја у простору. Један од тих елемената је обично утврђен као референтни елемент (равни, осе и сл.).

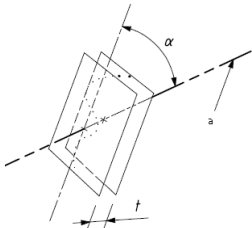
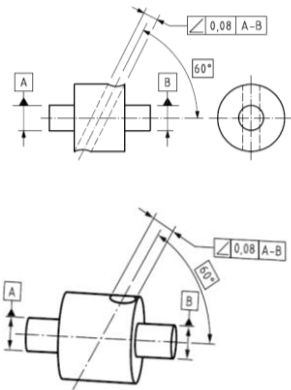
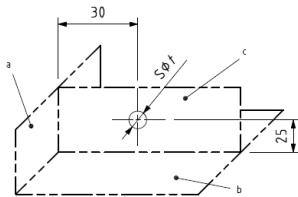
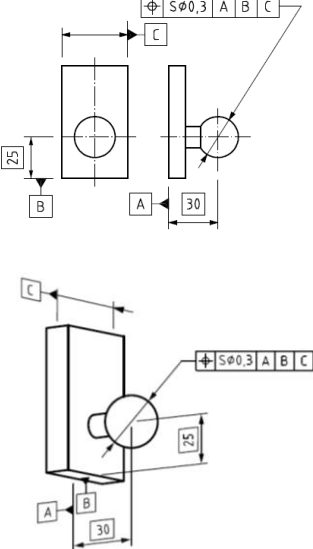
У наставку су табеларно приказане основне толеранције облика уз дефиницију зоне толеранције, пример кроз 2D и 3D приказ, као и додатно појашњење према ISO 1101:2012 [5].

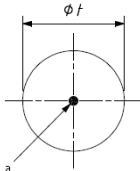
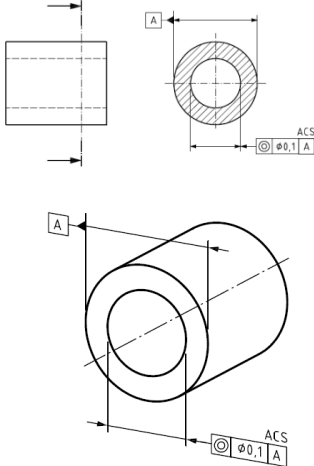
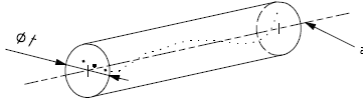
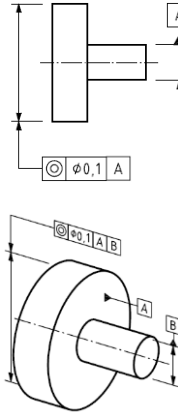
— Толеранција правости		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Налази се у посматраној равни ограничена двема паралелним правим линијама удаљеним за t, у задатом правцу.		Свака изведена (стварна) линија на горњој површини, паралелна равни пројекције (2D) или референтне равни A (3D) мора лежати између две паралелне праве линије са растојањем од 0,1 mm.
 Ограничена је са две паралелне равни са међусобним растојањем t.		Свака изведена (стварна) линија на цилиндричној површини мора лежати између две паралелне равни са растојањем 0,1 mm.
 Ограничена је цилиндром пречника t, ако толерисаној вредности претходи симбол ϕ.		Изведена (стварна) средња линија цилиндра на коју је примењена толеранција мора се налазити унутар цилиндричне зоне пречника 0,08 mm.
▭ Толеранција равности		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је двема паралелним равнима са растојањем t.		Изведена стварна површина мора се налазити између две паралелне равни са растојањем од 0,08 mm.

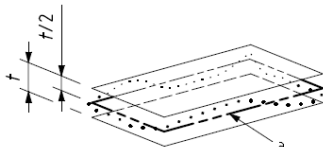
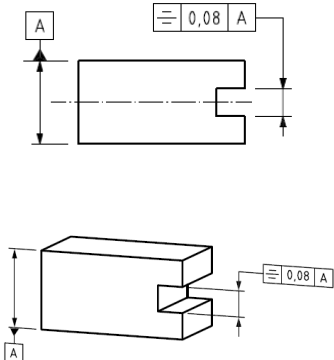
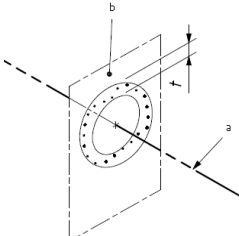
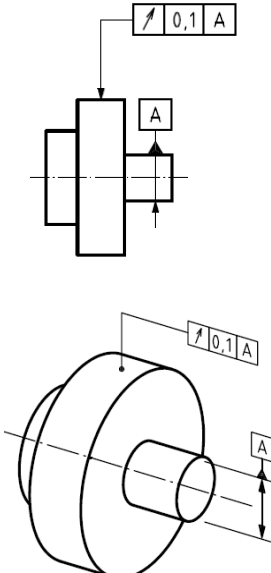
○	Толеранција кружности		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење	
 У посматраном пресеку, ограничена је са две концентричне кружнице са разликом у пречницима од t.		За цилиндричну површину, изведена (стварна) ободна линија у сваком попречном пресеку мора се налазити између две копланарне концентричне кружнице са разликом у полупречницима од 0,03 mm.	
Зона није дефинисана у овом стандарду.		Свака изведена (стварна) ободна линија, добијена пресеком (стварне) кружне површине и пресека конуса мора бити садржана у коничној зони ограниченој двома кружницама удаљеним за 0,1 mm.	
M	Толеранција цилиндричности		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење	
 Ограничена је са два коаксијална цилиндра са разликом у полупречницима од t.		Изведена (стварна) цилиндрична површина мора се налазити између два коаксијална цилиндра са разликом у полупречницима од 0,1 mm.	

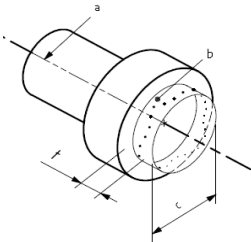
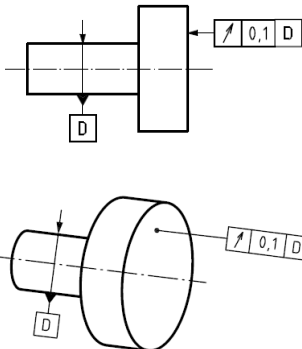
Толеранција облика линије			
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две линије обвојнице кругова пречника t, чији центри се налазе на линији која има теоретски идеалан геометријски облик.			У било ком пресеку, паралелном пројектованој равни, у којој се види пројекција (референтна раван А за 3 D), изведена (стварна) линија профила мора се налазити између две еквидисталне линије, обвојнице кругова пречника 0,04 mm, чији се центри налазе на линији која има теоретски идеалан геометријски облик.
Толеранција облика површине			
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две површине обвојнице сфера пречника t, чији центри се налазе на површини која има теоретски идеалан геометријски облик.			Изведена (стварна) површина мора се налазити између две еквидисталне сфере, сфера пречника 0,02 mm, чији се центри налазе на површини која има теоретски идеалан геометријски облик.

 Као у претходном случају		Толеранција облика површине може се задати и с обзиром на референтни елемент, где је идеална површина с обзиром на референтну раван А.
Толеранција паралелности		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две паралелне равни са међусобним растојањем t. Равни су паралелне референтним равнима и задатим правцима.		Изведена (стварна) средња линија мора се налазити између две паралелне равни са растојањем од 0,1 mm, које су паралелне референтној оси А. Равни које ограничавају зону толеранције су паралелне референтној равни В која је дефинисана превцем лидер линије.
Толеранција управности		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две паралелне равни са међусобним растојањем t и управне на референтни елемент.		Изведена (стварна) средња линија мора се налазити између две паралелне равни са растојањем од 0,06 mm, које су управне на референтну осу А.

 Толеранција угла нагиба		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две паралелне равни са међусобним растојањем t и нагнута под одређеним углом α у односу на референтни елемент. Линија и референтна линија су у истој равни.		Изведена (стварна) средња линија мора се налазити између две паралелне равни са растојањем од 0,08 mm, које су нагнуте под теоретски идеалним углом од 60° према заједничким референтним правим линијама А-В.
 Толеранција локације тачке		
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је сфером пречника t ако је вредности толеранције претходи симбол S. Центар сферичне зоне толеранције је фиксиран за теоретски идеалну димензију с обзиром на референтне елементе А, В и С.		Изведени (стварни) центар сфере мора се налазити у сферичној зони пречника 0,3 mm, центра сфере који се поклапа са теоретски идеалним, с обзиром на референтне равни А и В и са средњом референтном равни С.

	Толеранција концентричности тачке		
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је кругом пречника t; Вредности толеранције мора да претходи симбол ϕ. Центар кружне зоне толеранције подудара се са референтном тачком.			Изведени (стварни) центар унутрашњег круга у сваком пресеку налазиће се у кругу пречника 0,1 mm, концентричном са референтним елементом А, задатог у истом попречном пресеку.
	Толеранција коаксијалности осе		
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је цилиндром пречника t; Вредности толеранције мора да претходи симбол ϕ. Оса цилиндричне зоне толеранције подудара се са референтним елементом.			Изведена (стварна) средња линија толерисаног цилиндра мора бити унутар цилиндричне зоне пречника 0,1 mm, чија оса је референтна оса А.

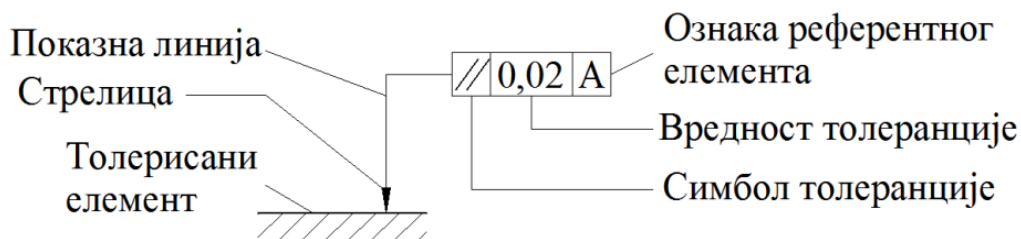
	Толеранција симетричности средње равни		
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је са две паралелне равни са растојањем t; које се симетрично простиру с обзиром на референтни елемент.			Изведена (стварна) средња површина се налази између две паралелне равни са растојањем 0,08 mm, које су симетрично постављене око референтног елемента А.
	Толеранција радијалног бацања		
Зона толеранције		2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је унутар сваког пресека управног на референтну осу две концентричне кружнице са разликом у полупречнику од t, центри се подударају са референтним елементом.			Изведена (стварна) линија у свакој пресечној равни нормалној на референтну осу А, мора да се налази између две копланарне концентричне кружнице са разликом у полупречнику од 0,1 mm.

	Толеранција аксијалног бацања	
Зона толеранције	2D и 3D приказ	Појашњење
 Ограничена је унутар сваког пресека са две кружнице са међусобним растојањем t и лежи у цилиндричном пресеку, где се оса поклапа са референтним елементом.		Изведена (стварна) линија у свакој пресечној равни, чија се оса поклапа са референтном осом D , мора да се налази између две кружнице са међусобним растојањем од 0,1 mm.

3.3. Толеранцијски оквир

Толеранцијски захтеви се приказују у правоугаоном оквиру који је подељен на два или више поља (слика 3.2.).

Типови геометријских одступања представљају се стандардизованим симболима представљеним у табели 1. Табела садржи тип геометријске толеранције, конкретну карактеристику датог типа, симбол толеранције као и потребу за референтним елементом (РЕ). Неки од додатних симбола приказани су и описани у табели 2.



Слика 3.2. Елементи толеранцијског оквира [5]

Ова поља садрже, с лева на десно, у следећем редоследу [5]:

- прво поље: симбол толеранције,
- друго поље: ширина зоне толеранције (вредност толеранције) у јединицама које се користи за линеарне димензије и додатне захтеве (јединице које важе за цртеж, најчешће мм). Ако је зона толеранције кружна или цилиндрична, вредности толеранције претходи симбол " ϕ ". Ако је зона сферична, вредности претходи " $S\phi$ ";
- трећа и накнадне преграде, по потреби: референтно слово једно или више слова која идентификују референтни елемент или заједнички или референтни елемент система.

Када је систем референтних елемената успостављен од стране два или више толерисаних елемената, односно више референтних елемената, њихова референтна слова су означена у трећем и наредним пољима толеранцијског оквира (примарним, секундарним и терцијалним), у складу са редоследом референтних елемената.

4. КООРДИНАТНА МЕТРОЛОГИЈА И КООРДИНАТНЕ МЕРНЕ МАШИНЕ

Место и улога мерења и инспекције у индустрији се мењала сагласно развоју и увођењу нових технологија у технолошке системе. Са порастом сложености облика производа, геометрија производа постаје све компликованија за мерење и контролу. Због тога је потребно у контроли и мерењу примењивати таква мерна средства која су прецизна, брзо извршавају велики број операција мерења, а при том је њихова примена економски оправдана.

Током последње деценије напредак технологије хардвера и софтвера резултирао је машинама које су потенцијално способне за мерења високих прецизности, а координатна метрологија је постала есенцијална за индустријску димензионалну метрологију [3]. Координатна мерна машина (*Coordinate Measuring Machine - CMM*) је мерни уређај помоћу кога се врши мерење координата у простору на површинама дела који се мери. Својом хардверском и софтверском структуром оне представљају флексибилне метролошке модуле, који омогућавају формирање сложених технолошких или метролошких структура. Аутоматизација мерења, манипулација мерним сензорима, деловима који се мере, добијање различитих мерних протокола, повезивање са софтвером по хоризонтали и вертикали (*CAD-CAM-CAI*), врши се на бази софтверске подршке.

4.1. Основни термини у индустријским мерењима

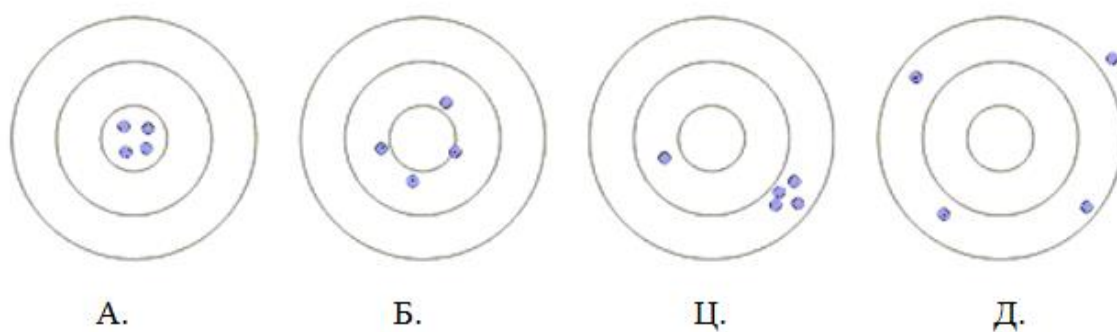
Мерење представља процес експерименталног добијања једне или више вредности које се разумно могу приписати количини нечега [4].

Према *GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)* [5] „несигурност“ је сумња у резултат, док је мерна несигурност параметар који карактерише расипање вредности мерене величине и приписује се резултату мерења, док стабилност представља способност мерила да одржава своје мерне карактеристике сталним у времену.

Два најважнија термина помоћу којих се верификује мерна несигурност, стабилност и поновљивост поступка мерења су тачност и прецизност.

Тачност мерења (*ISO 5725:1994*) представља степен сагласности резултата мерења и усвојене референтне вредности. Тачност уређаја за мерење представља његову способност да даје резултате мерења који су блиски правој вредности која је предмет мерења. Тачност треба разликовати од прецизности. [6]

Прецизност (*ISO 5725:1994*) мерног система, звана репродуцибилност или поновљивост, јесте степен у којем поновна мерења под непромењеним условима показују исти резултат. Основни показатељ прецизности је стандардна девијација резултата вишеструко поновљене процедуре мерења, што значи да је стандардна девијација статистичка мера поновљивости резултата мерења. Разлика између прецизности и тачности приказана је на слици 4.1.

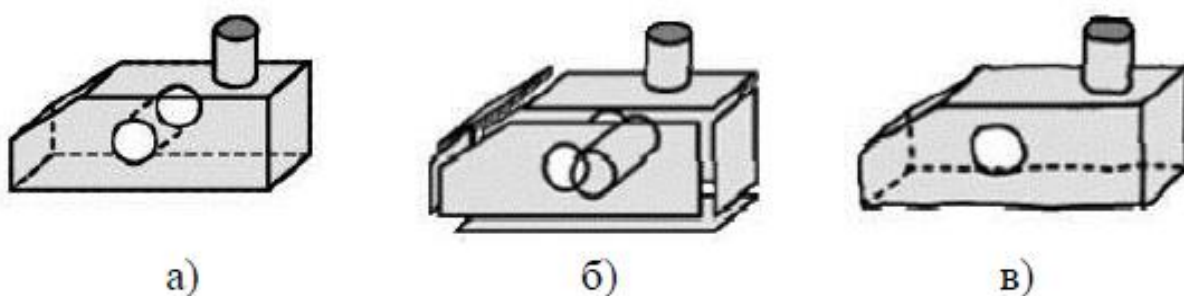


Слика 4.1. Разлика између прецизности и тачности

А – тачно и прецизно, Б – тачно и непрецизно, Ц – нетачно и прецизно, Д – нетачно и непрецизно

Најчешћа функција индустријске метрологије, без обзира којим се средствима мерења користила, јесте одређивање одступања стварног дела од пројектованог (идеалног). Одступања се јављају у погледу димензионалних карактеристика, облика и положаја.

Облик дела може се описати својим типским елементима, деловима који садрже истородне површине и просторним положајем једних елемената у односу на друге. Тако, спецификована, односно захтевана геометрија дефинише идеални облик дела што је прва карактеристика дела. Такав облик се представља пројектовањем производа (и геометријским цртежом) и тежи направити у производњи. Производњом се не добија део жељених димензија и облика, што је последица деловања различитих утицаја. Добијени део има актуелну (реалну) геометрију (друга карактеристика), што је последица свих утицаја који су се јавили, од пројектовања до израде дела. Разлика стварне-актуелне геометрије и жељене геометрије представља девијацију (одступање) што чини трећу карактеристику дела. [7] Карактеристике дела приказане су на слици 4.2.



Слика 4.2. Карактеристике дела, а) идеални облик, б) део подељен на типске елементе и в) реалан облик [7]

За време мерења код координатне метрологије, стварна геометрија се описује стварним, појединачним тачкама које леже на површини дела.

Средство које се користи као основа-база за мерење мора имати значајну крутост, осетљивост на вибрације и могућност да их минимизира што се постиже вибрационо изолационим лежајевима.

За делове координатне мерне машине користи се гранит, челик или челични лив. Сто машине је направљен од гранита. Гранит је тврђи, јефтинији и лакши, а има и нижи температурни коефицијент ширења у односу на челик, па су мање промене дужина.

Због слабе проводљивости адаптивност склопа *СММ* на промене температуре је добра, тако да нема ни деформација које су последица температуре. Да би се избегли утицаји краткотрајног деловања температуре на мерно средство, гранит се може заменити са алуминијумом. Са променом температуре, алуминијум мења своје димензије много више него камен, али због велике проводљивости деформације су му врло мале. Други материјали који се користе у координатној метрологији су керамике, јер имају нижи температурни коефицијент ширења као и композитни материјали чија је тежина мала, а висока стабилност. Што *СММ* има више компоненти, има и већу мерну несигурност. Свака компонента са собом носи и додатну мерну несигурност као што су вођице, лежајеви, погон мерног система и система сонде, итд. [11]

СММ купују мала и средња предузећа, али и велике компаније. У средњим предузећима која имају флексибилну производњу *СММ* се користе у развоју и испитивању производа. Оне се употребљавају не само за контролу обраде делова добијених резањем, него и при другим технологијама израде делова. *СММ* се могу користити и у пријемном одељењу.

Координатне мерне машине треба да имају велики мерни опсег, средњу тачност и лакоћу руковања, што наравно треба посматрати заједно са ценом машине.

Осе заједно са целокупном опремом намењеном за мерење дужине представљају системе за мерење дужине. Системи за мерење дужине обухватају носаче сонди и механизме који се постављају између мерених делова и система за додиривање, тј. сонди. За мерење се користе различити мерни системи, а најчешће индуктивни, оптоелектронски или ласерски. Мерни системи су директно одговорни за тачност *СММ*. Постављају се тако да показују величину у већој резолуцији него што је мерна несигурност *СММ*. Циљ мерних система је минимизирање одступања која настају при мерењу. [12]

Компоненте механичке тачности мерних средстава су равност и управност вођица којима се означавају правци кретања мерног средства или референтног координатног система. За израду вођица се користе гранит или челик. Ваздушни лежајеви се користе када су вођице израђене од камена или керамике. Вођице од керамике имају велику крутост, задовољавајуће термичке карактеристике, отпорност на корозију, високу отпорност на хабање. Антифрикцијски лежајеви се користе у случајевима када су вођице израђене од челика. Исто тако, антифрикцијски лежајеви могу носити велика оптерећења, а да се истовремено постигне и висока тачност мерења.

Сви типови машина се покрећу погонима са електричним серво моторима. Контрола мотора врши се преко оперативног система путем контроле рада *СММ* или кроз контролне програме који се извршавају у рачунару мерне машине. Постоје различити преноси од погона до мобилног склопа као што су завојнице, зупчаници, фриксиони пренос и сл. Избор система преноса *СММ* зависи од цене и техничко-технолошких захтева као што су: крутост, динамичко понашање, хабање, толеранције итд. [10]



Слика 4.3. Координатна мерна машина DEA GLOBAL Silver [6]

DEA GLOBAL координатне мерне машине (CMM) направиле су револуцију у 3D координатној метрологији почетком новог миленијума. Никада раније није било тако флексибилне координатне мерне машине прилагођене многим апликацијама и индустријама. Са DEA GLOBAL Silver може мерити још брже и убедљивије него пре. Сваки део је направљен за максималне перформансе – од хардвера, софтвера или система сензора.

DEA GLOBAL Silver нуди цео опсег који је имао до сада, од универзалне координанте мерне машине, скенирања или од тачке до тачке, са оптичким сензорима или сензорима са додиром, фиксираним или покретним носачима сонди за највеће перформансе у мерној соби или у производној хали.

Код ове координатне мерне машине, кључни фактори су висока прецизност и продуктивност. Са новим DEA GLOBAL Silver моделом може се скенирати и до 35% брже него са предходним генерацијама DEA GLOBAL Silver модела. У исто време DEA GLOBAL Silver не дозвољава никакав компромис на рачун прецизности. То је омогућено кроз оптимизацију покретних алгоритама, појачаним софтвером и новим електронским контролером. Као резултат је удобније, брже мерење и скенирање. Нови контролер је направио искорак: Достигнути степен развоја хардвера и технологија омогућио је брже прорачунавање и трансфер података до истог степена као и мулти-таскинг процеси – за највише перформансе машине. [17]

Нова функција PC-DMIS омогућава да се постигну најбоља перформансе скенирања – једноставно и ефикасно. Једноставно се унесу толеранције облика радног комада у PC-DMIS и пусти се да софтвер одради остало. PC-DMIS Adaptive Scanning подешава оптималне параметре скенирања – чак и за веома комплексна мерења.

Програмирање је једноставно са PC-DMIS Adaptive Scanning. Мануелни или аутоматски системи за уношење и одношење или работи могу се лако комбиновати са DEA GLOBAL Silver моделом.

DEA GLOBAL Silver SF показује своју флексибилност у било којим радним условима. Ни рапидна промена температуре, вибрација ни прашина не могу да умање поузданост мерне машине. Овај модел нуди највећу прецизност чак и у оштрим радним условима.



Слика 4.4. DEA GLOBAL Silver SF [6]

DEA GLOBAL Silver SF осигурава прецизне резултате чак и у температурном опсегу од 15 до 30°C. Концепт: мрежа температурних сензора прецизно детектује температуре на раму мерне машине и радног комада. Напредна структура температурног алгорита компензује у реалном времену деформације које су узроковане променом температуре.

Као додатак, DEA GLOBAL Silver SF обезбеђује додатну заштиту од прљавштине и прашине гуменом заштитом на X и Y оси. Различите опције су на располагању да обезбеде рад трокоординанте мерне машине чак и најзахтевнијим радним условима. То подразумева нпр. активне пригушиваче вибрација како би повећали заштиту мерног система од вибрација.[17]

4.2. Координатна мерна техника

Повећање захтева за квалитетом и повећање производње упоредо се решава аутоматизацијом технолошког процеса и обрадних система, у које је најчешће укомпоновано и аутоматизовано мерење и контрола. Међутим, тамо где је аутоматизација обраде решавања помоћу појединачних, специјалних, НУ-машина (нумерички управљаних) и то у мало и средње серијској производњи, наметнула се и нова техника мерења са широким мерним могућностима - координатна мерна техника (КМТ).

Индустријска производња координатних мерних машина (КММ) датира из касних 60- тих година, да би данас, за мање од две деценије, читав низ произвођача дали

свој допринос раз воју и изради оваквих машина: Opton (Аустрија), Komag, Mauser, Leitz, Straiger (СР Немачка), Zeiss (ДР Немачка), Olivetti, DEA (Италија), Tesa, SIP (Швајцарска), C.Johansson. (Шведска), Rank Taylor Hobson (В.Британија), Do All Co; Sheffield, Pratt & Whitney, Brown & Sharpe (SAD). КММ се користе у случајевима:

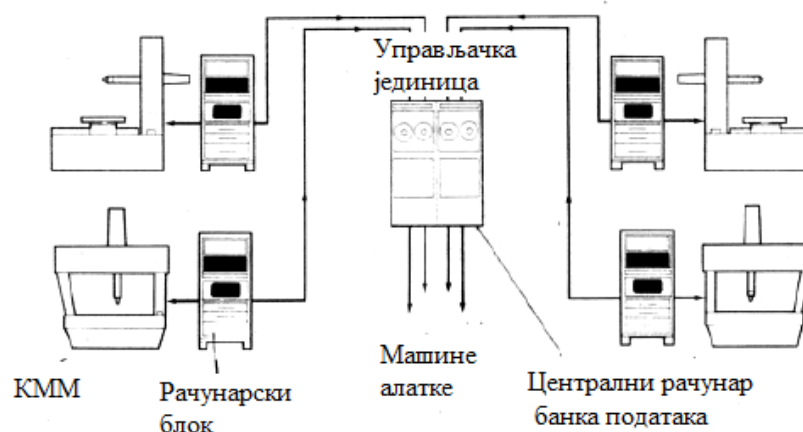
1. **Мерни предмет** је врло компликован део и при томе са високим захтевима тачности (блокови мотора, зупчаници, лопатице турбина и слично). Тада се може десити:

- Одељење производи широк асортиман различитих делова, да би се јавила потреба читавог низа различитих класичних мерних уређаја, што би било нерационално;
- Структура производње је таква да се мерење конвенционалним уређајима не би могло извршити за неко предвиђено време, које не би изазвало застој на обрадној линији;
- Мерење се због компликованости не може извршити онако комплетно и тачно, како омогућује КМТ, већ само делимично.

2. **Координатна мерна техника** се успешно користи у претпроцесној, процесној и постпроцесној контроли. Мерни волумени се при томе крећу од најмањих, па све до $\approx 80 \text{ м}^3$.

3. Врши се **корекција НУ-обрадног програма**. После израде првог комада на НУ машини, мерни предмет се измери на КММ, а нетачности, односно систематске грешке, које нису могле бити обухваћене при састављању програма за машину (загревање алата, еластичне деформације, осцилације машине, трошење алата и друго) послужиће као база за уношење корекција. При томе овај систем може бити (и) прекидни или (и) непрекидни, када се повезују у систем КММ-НУ и добија спрега са адаптивним управљањем (слика 4.5). Пренос обрадака од машине алатке до КММ је обично у погону аутоматизовано уз коришћење.

4. Врши се **израда НУ-обрадног програма**. Специјалним пипком, који се испоручује са КММ, могуће је саставити програм за НУ-обрадне системе. Пипак се креће по обрадку, најчешће врло компликоване конфигурације, а вредности X,Y,Z координата се преносе кроз претварач (конвертор) на бушену траку. Састављање програма се може вршити ручно и машински.



Слика 4.5.. Шема координатне мерне технике [2]

Место, где се поставља КММ може бити:

1. Мерна лабораторија. У њима се употребљавају врло прецизне координатне мерне машине, постављене у климатизоване просторије, добро изоловане од потреса, како би могли правилно да раде моторизован погон координатних оса, погон за извођење аутоматизованог поступка мерења и електронска глава. Робусност због спољних утицаја, као и брзина мерења није битна код оваквих уређаја. Мерни волумени оваквих машина обично не прелази $0,5 \text{ m}^3$, а мерна несигурност износи од $(0,5-2) \text{ }\mu\text{m}$.

2. У подручје производње, од улазне контроле квалитета до завршне. Мерни задаци оваквих машина су врло различити: од једноставних до врло компликованих мерења, од малих до великих делова, од лаких до врло тешких, и од мерења мањих тачности до изузетно прецизних. Оно што им је заједничко је да време мерења мора бити врло мало, и да машине треба по конструкцији да буду неосетљиве за утицај околине.

КММ се у радионици може поставити као посебна мерна јединица или се може укључити у аутоматизовани обрадни процес и стварни систем КММ-НУ. Програм и поступак мерења на КММ се, при томе, може да направи посебно од НУ-машине, на одговарајућем месту за програмирање, слично као и за НУтехнику.

Подаци обраде и мерење могу тада да се доставе једном скупном информацијском систему, како би се, ако је потребно, процес мерења могао кориговати док је у току обрада. Могући системи програмирања, ако је за обраду, рецимо, ЕХАРТ за мерење ће бити NCMES, а гледајући на укупне податке могући је концепт CAD/CAM.

КММ може бити и комплетно интегрирана у обрадни процес. Ово, уствари и представља главни предмет нове концепције развоја ове области. При томе је потребно тако допунити програмску опрему, да се може повезати управљање мерног поступка са обрадним процесом и да се на основу података мерења постигне побољшање процеса обраде. У том случају КММ је једна јединица модулног обрадног система, а не посебна јединица, повезана са машином алатком.[18]

4.3. Мерне сонде

Стандардом ISO 10360:2000, који се односи на координатну метрологију, дефинисан је термин који се користи за сензор, путем којег се остварује веза између површине мереног дела-објекта и мерног система за дужину. Користи се термин сонда што означава део који додирује, опипава део.

Сонде које се користе код координатних мерних машина могу се поделити на:

- механичке (контактне) и
- оптичке (бесконтактне).

Многи мерни системи који се данас користе, раде са механичким, контактним сондама, док савремени системи у координатној метрологији раде на оптичким, бесконтактним принципима. Код механичких сонди остварује се физички контакт завршетка сензора, мерног пипка са делом. Мерни пипак (*stylus*) најчешће има лоптасти (сферни), а може имати различите облике као нпр: цилиндрични, конични, дискасти, шпицасти итд (слика 4.6-а). Лоптасти мерни пипак израђује се од рубина, стакла или челика и има високу отпорност на хабање, а његов пречник и просторни положај може се прецизно калибрисати. Да би се мерење убрзало може се више мерних пипака монтирати на једну сонду како би се мерење вршило у више праваца истовремено (слика 4.6-б).[9].

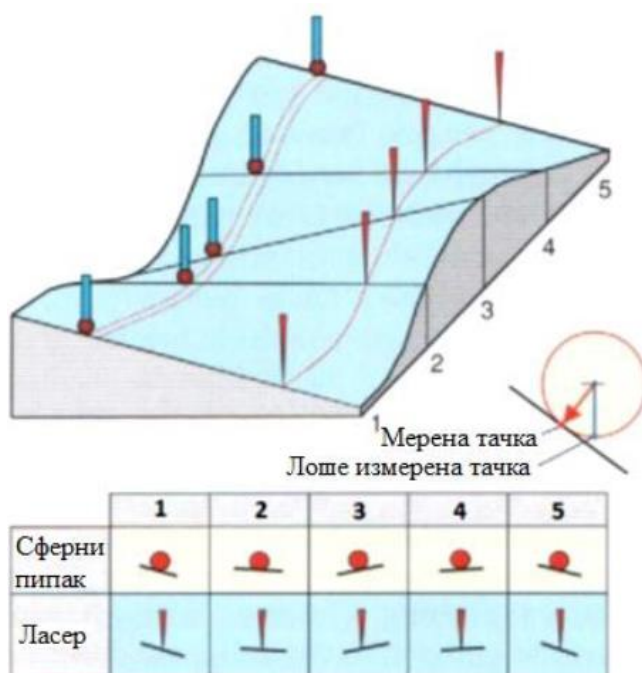


Слика 4.6. Различити завршеци и постављање више мерних пипака на носачу сонде RENISHAW [9]

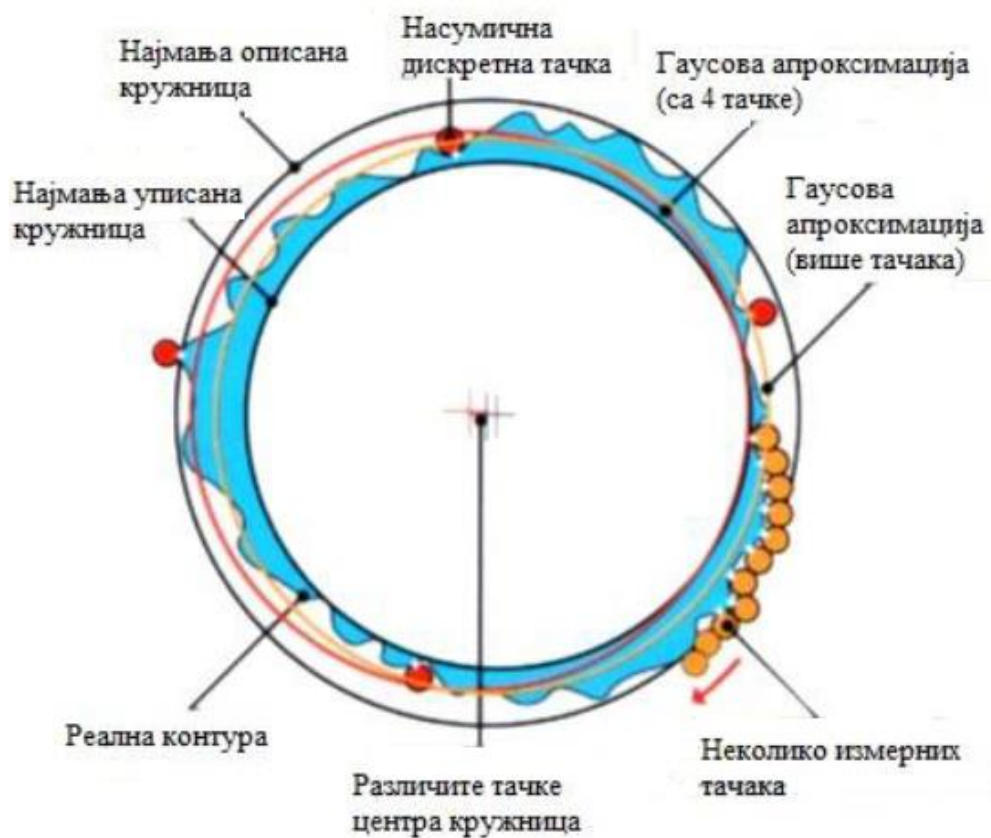
У зависности од принципа на ком врше мерење, сензори сонди могу бити контактни (са контактним окидачем и аналогни), контактнo-оптички, контактнo-оптички са сензором профила и ласерски.

4.3.1. Контактне сонде

Сензори контактних сонди функционишу на принципу механичког контакта мерног пипка са делом који се мери. Добијени сигнал се потом извлачи из тог контакта за даље процесирање. Са контактним сензором, геометрија (обично, облик и величина) облика мерног пипка (најчешће лопте), као и просторна позиција и геометријски облик површине елемента који се мери, саставни су део резултата мерења. Слика 4.7. приказује како се током контактнoг скенирања, позиција мерене тачке не може одредити без математичке корекције која се базира на познатим координатама тачке центра мерног пипка, за разлику од мерења ласерком сондом. Да би се спровела егзактна корекција, мерни пипак се мора пажљиво калибрисати. Даље, потребно је испитати већи број тачака било ког геометријског елемента који се мери. Ако се та корекција не изведе, резултујућа грешка ће бити зависна од пречника мерног пипка (што је пречник пипка мањи то ће грешка бити мања и обрнуто). Додатно, мерни пипак са великим пречником такође може направити утисак у површинској структури. Такво „механичко филтрирање“ може имати или пожељан ефект на мерни резултат или може резултирати “фалсификовањем” резултата мерења. Утицај броја мерних тачака на резултате мерења приказан је на слици 4.8. Како СММ софтвери врше апроксимацију (најчешће Гаусову) мерних резултата, мањи број мерних тачака даће апроксимацију мање тачности.



Слика 4.7. Утицај облика мерног пипка при мерењу облик површина наспрам мерења ласерском сондом [10]

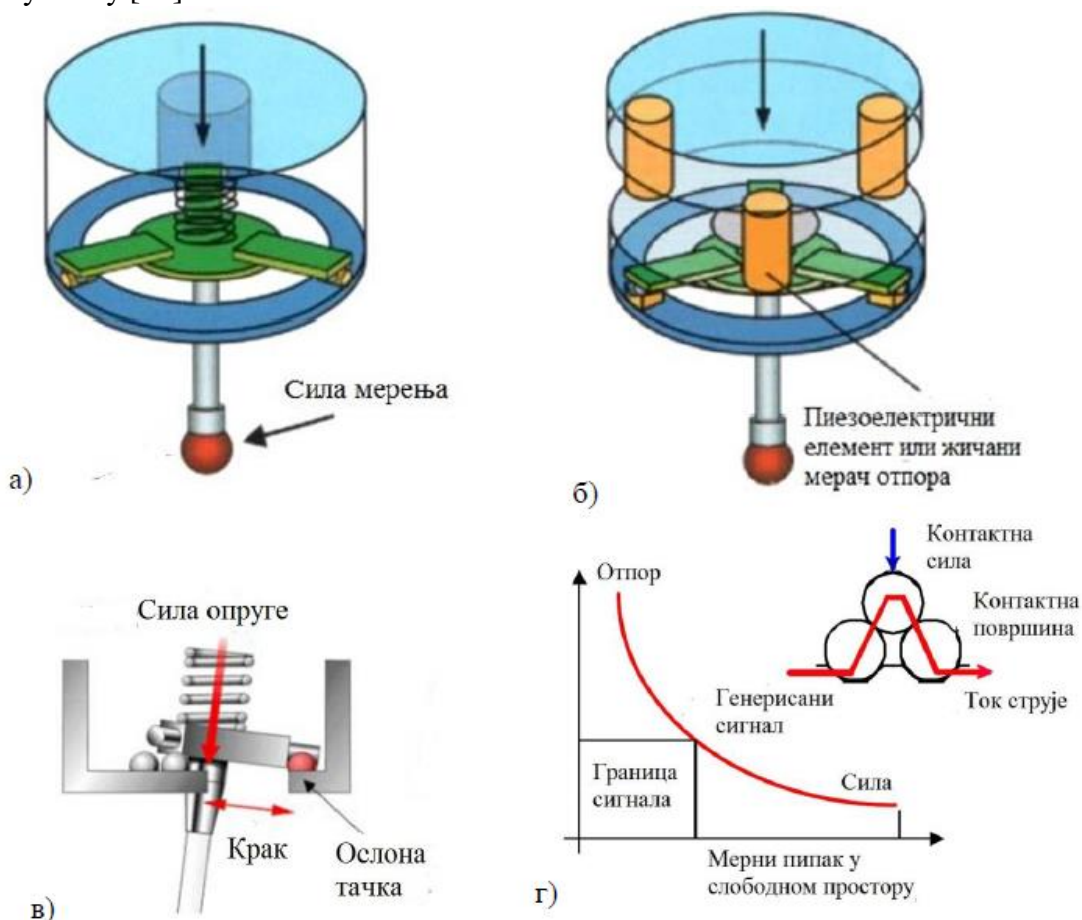


Слика 4.8. Утицај броја мерених тачака на мерни резултат [10]

4.3.1.1. Контактни сензори са контактним окидачем

Основна функција мерних система са контактним окидачем функционише на принципу “троношца” (слика 4.9-а). Ако мерни пипак дотакне мерени део, сигнал прекидача се генерише и шаље на исчитавање, систему скала координатног мерног уређаја. Измерена тачка је резултат координата мерног уређаја у односу на центар мерног пипка. Преко круте осовине, пипак на мерној игли-перу је спојен за лежај, учвршћен у три тачке, који има прекидаче на сваком од та три места. Ако се перо помери од заданог правца, најмање један од тих прекидача ће се активирати (слика 4.9-в). То се даље процесира као сигнал прекидача (слика 4.9-г). „Троноги“ лежај се помиче само након детекције мерне тачке. Главна мана тог система лежи у чињеници да промена силе испитивања у односу на смер испитивања, резултира извијањем са различитим фактором еластичности. То доводи до директних мерних одступања које је тешко кориговати.

Висококвалитетни мерни системи имају уграђене разне елементе за конверзију (нпр. пиезоелектрички елемент-мерач напрезања жичаним отпором), како би се механички сигнал претворио у електрички (слика 4.9-б). Електроника обезбеђује мерење које се изводи са веома малом мерном (контактном) силом, па је утицај сензора на мерну несигурност минималан. Чест недостатак код свих система са контактним окидачем је тај што се контактни елемент координатног мерног уређаја прво мора довести у контакт са мерним елементом, а касније се мора померити у супротну страну, како би се очитала тачка. Тако је потребно време испитивања у размаку од неколико секунди за сваку мерену тачку.[11]



Слика 4.9. Принципи рада прекидача сонде са контактом [11]

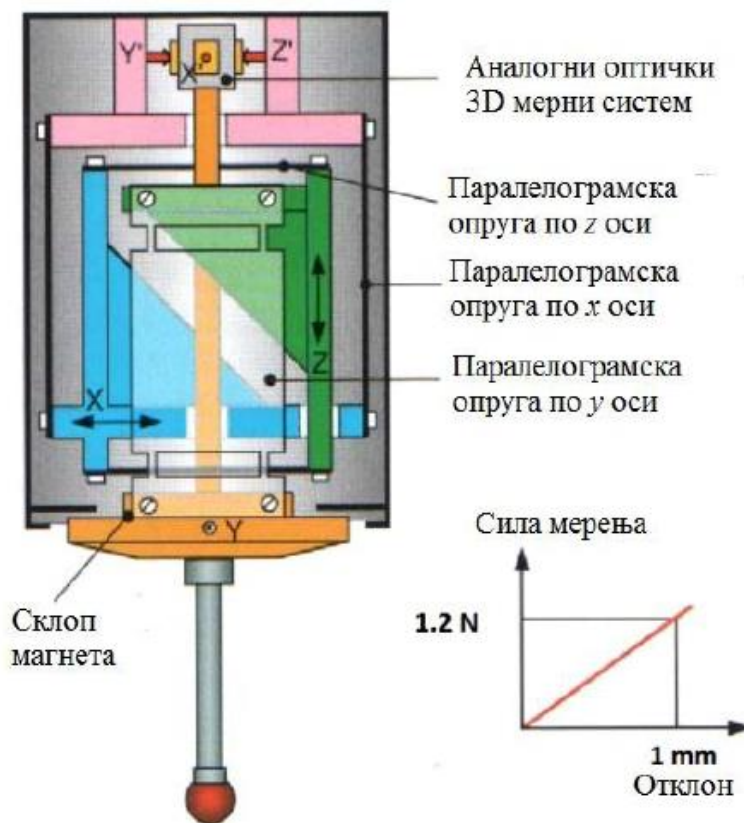
4.3.1.2. Аналогни сензори

Код овог мерног система, сензор садржи систем који читава кретање (као што је скала, индуктивни сензор, оптички мерни систем, итд.) углавном у све три координатне осе. Ако се, при контакту са мереним елементом, мерни пипак помери у било ком смеру, износ тог померања се може прочитати из система који мери кретање (слика 4.11). Мерена тачка се генерише суперпозицијом координата сензора са координатама координатног мерног уређаја. Такође се узима у обзир корекција мерног пипка с обзиром на вектор позиције са површине која се испитује и еластично савијање пера.

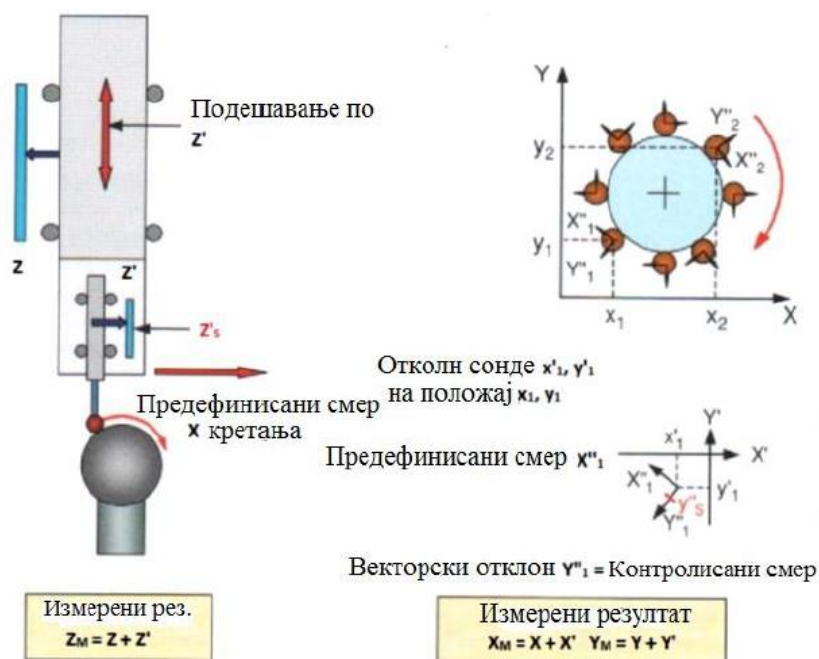
Није потребно померати мерни пипак са мереног елемента ради мерења различитих површина истог објекта. Када се то повеже са квалитетним софтвером за управљање, тај принцип је основа за аутоматизовано скенирање површине објекта (слика 4.10). Координатним осама мерног уређаја се управља, па се сензор увек налази унутар мерног опсега, тако да прати површину мереног елемента при тангенцијалном кретању.

Управљачки софтвер помера сензор у виртуелном координатном систему чији координатни почетак се налази у тачки контакта између мерног и мереног елемента. Ако се изведе као управљачки процес, то ће резултирати скенирањем круга у приказаном примеру (слика 4.11).

Слично, 3D скенирање је изводљиво у предефинисаним равнинама. Дакле, у случају мерења 3D површина, проблем корекције мерног пипка се такође мора узети у обзир.[13]



Слика 4.10. Функционисање аналогног сензора [13]

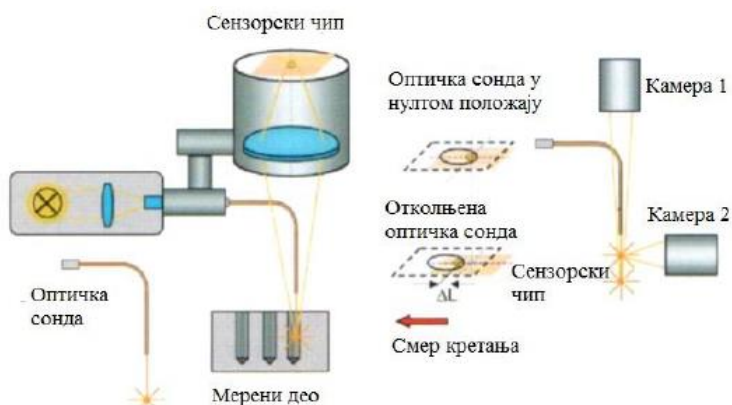


Слика 4.11. Пример скенирања помоћу аналогног сензора [12]

4.3.2. Контактно - оптички сензори

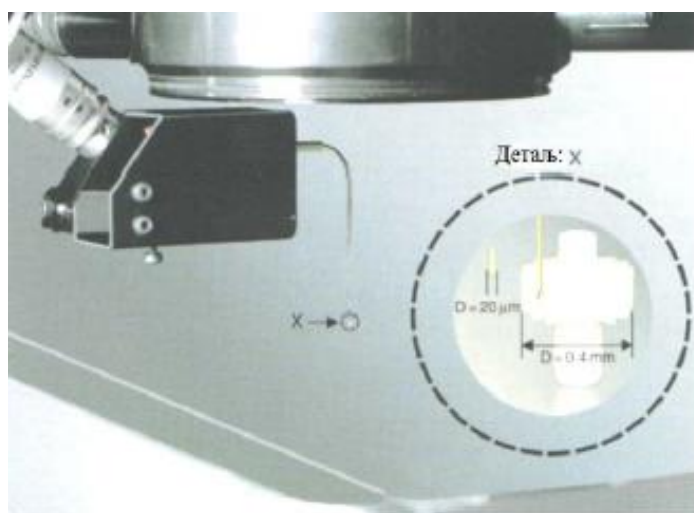
Сви конвенционални механички сензори, претходно наведени, имају једну заједничку ману: сигнал се шаље из мерног елемента преко круте игле (пера), до активаторског сензора (прекидача или пиезоелектричког елемента). Како свако померање игле утиче на мерни резултат, пожељно је коришћење игле са максималном крутошћу.

Са оптичком сондом, те се мане решавају коришћењем игле само у сврху позиционирања мерног пипка. Стварно мерење положаја се изводи сензором за процесирање слике који је интегрисан у систем (слика 4.12). Тако се извијање игле не узима у обзир у коначном мерном резултату. Како је сама оптичка сонда пројектована по дводимензионалном принципу, може се такође употребљавати за тродимензионална мерења, узимајући у обзир да се површина мереног објекта и оса оптичке сонде налазе под довољно малим углом. Положај мерног пипка у смеру осе оптике се такође може одредити, ако се интегрише други смер погледа сензора процесора слике (друга камера или огледало), на конструкцију оптичке сонде.[13]

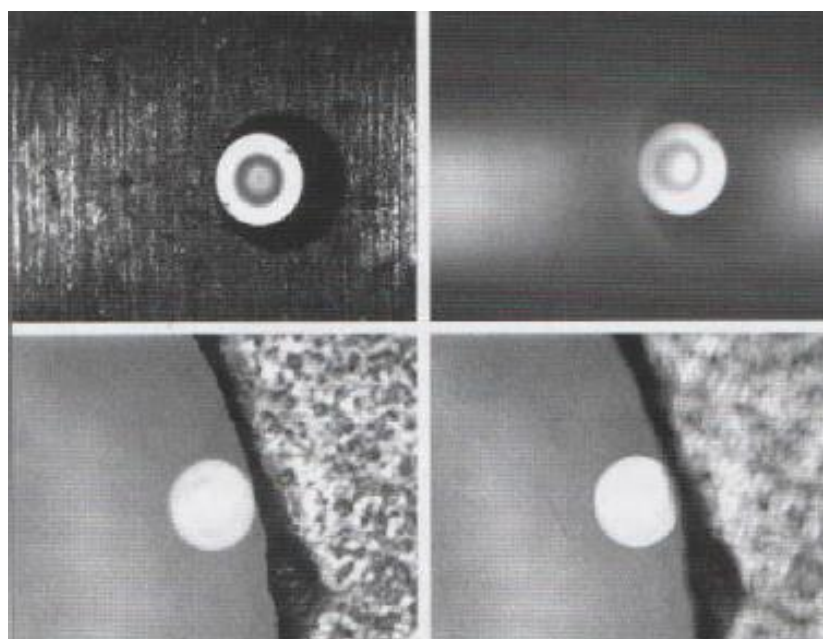


Слика 4.12. Принцип рада оптичке сонде [13]

Оптичке сонде се израђују од стакленог влакна у облику жице па се термичким поступком крај те жице загреје и истопа, па мерни пипак споји с тим крајем. Добро позиционирање оптичке сонде на локацији која се мери, се може постићи ако се мерни пипак угради на врх шупље металне игле (слика 4.13). Ако стаклено влакно шаље светло до мерног врха, мерење се може извести у самоосветљавајућем моду (слика 4.14). Такође је могуће коришћење оптичке сонде у релацији са послатим светлом. Због његових малих димензија, силе кретања сонде су занемарљиве (износе до неколико μN). Из овог разлога, она се може користити за мерење површина мереног дела које су осетљиве на контакт.



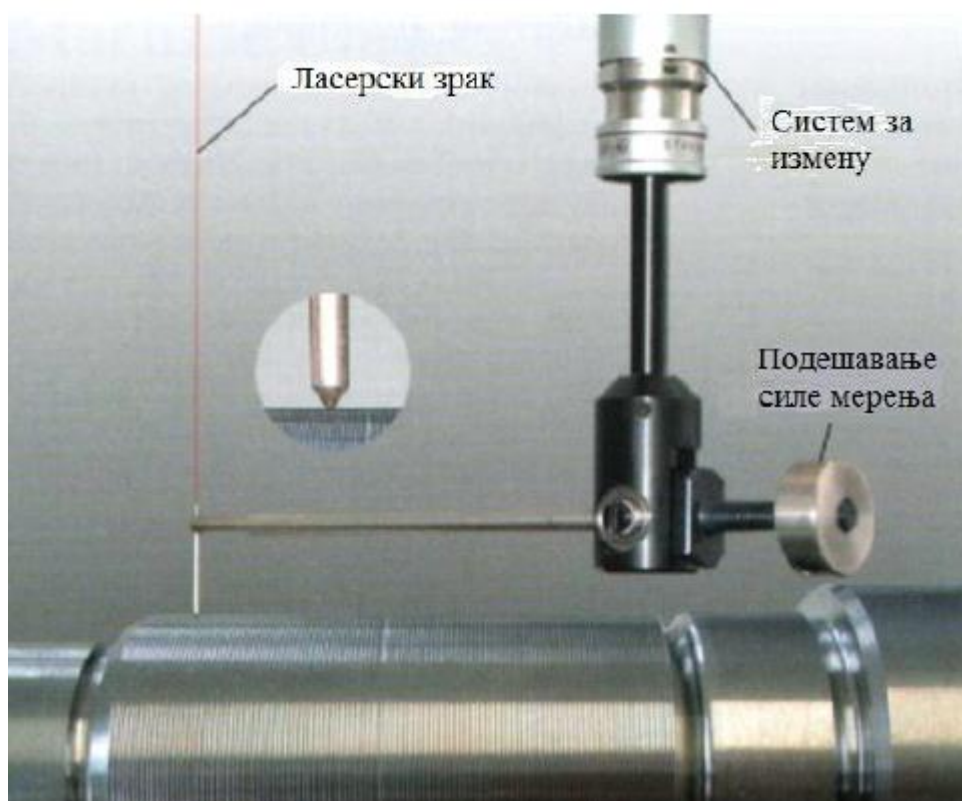
Слика 4.13. Магнетска оптичка сонда са окружењем за мерење микрозупчаника [13]



Слика 4.14. Примери мерења помоћу оптичке сонде у самоосветљавајућем режиму рада [13]

4.3.3. Контактно - оптички сензор профила

Контактно-оптички сензор профила представља спој мерне сонде са ласерским сензором даљине. Користећи такав сензор, могу се вршити мерења храпавости и профила са високом прецизношћу помоћу координатног мерног уређаја. Како је приказано на слици 4.15. ласер, који се углавном користи за директна мерења површине мереног комада, уочава померање контактне сонде. Једна од предности таквог распореда је усклађеност са принципом компарације. Коришћењем својства брзе измене, мерења су могућа или са профилном сондом или директно помоћу ласера.



Слика 4.15. Сонда за контуре са ласерским сензором и системом за измену [13]

Интеграција контактно - оптичког сензора профила у координатни мерни уређај допушта потпуну аутоматизацију мерења профила у већини мерења. Још једна предност је велика тачност позиционирања координатног система мереног дела. То није могуће са класичним уређајима за мерење профила. Мерни подаци се процесирају софтверским функцијама у сврху одређивања храпавости, димензија, облика и положаја.

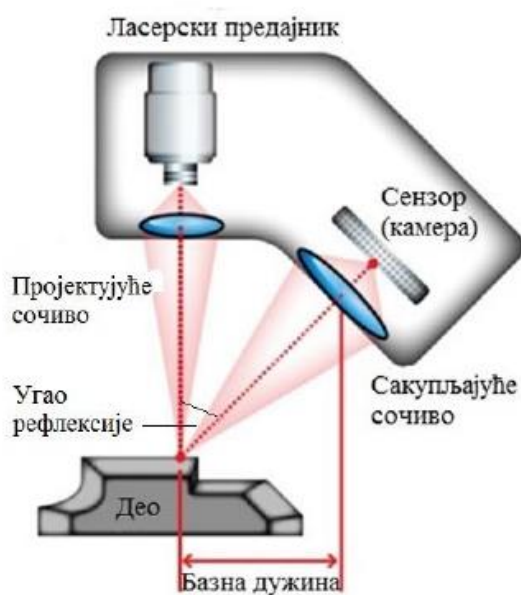
4.3.4. Ласерске сонде

Ласерски 3D скенери су одавно оправдали своје постојање. Међутим, ласерске сонде такође могу да се монтирају на СММ и тако повећају њену ефикасност, првенствено преко смањења времена мерења, добијања облака тачака веће густине као и могућности узорковања делова са неприступачним елементима, као што су отвори, жлебови и слична неприступачна места на мереном делу, што представља изазов за савремено мерење. На слици 4.16 су приказане неке од постојећих ласерских сонди.



Слика 4.16. Ласерске сонде различитих произвођача; а) HEXAGON [14], б) FARO [15] и в) Mitutoyo [16]

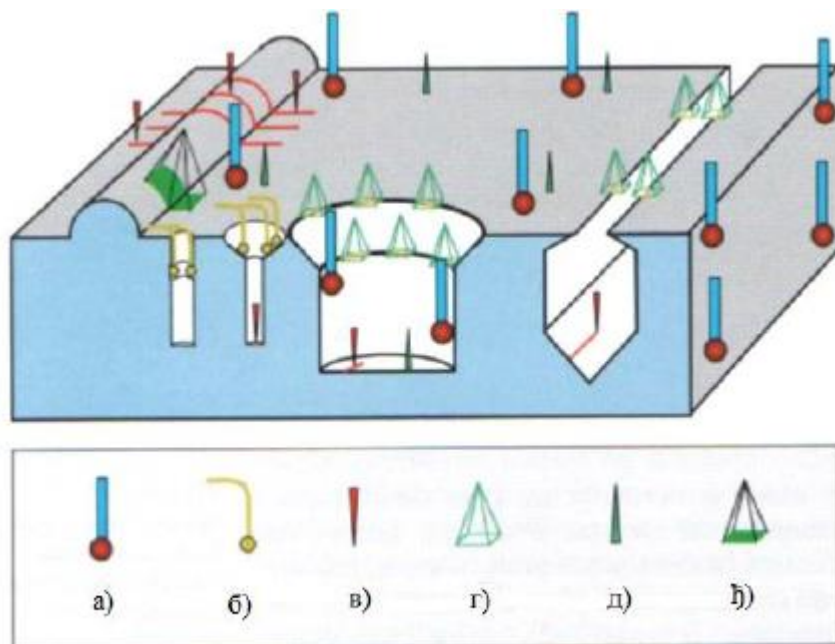
Ласерске сонде најчешће користе технику триангулације (*laser triangulation*). Ласерска триангулација подразумева пројектовање линије, тачке, или траке (*strip*), која се огледа у објекту и снима преко сензора који је фиксиран на одређеном растојању у односу на ласерски предајник (слика 4.17). Сензор детектује угао рефлексije, који се затим користи за 3D мерење.



Слика 4.17. Ласерска триангулација [17]

4.3.5. Вишесензорска технологија

Да би се задовољили захтеви које постављају мерења комплексних делова, са тачним односима између отвора и површина, у координатну метрологију су уведени вишесензорски системи. Ови системи комбинују различите врсте контактне и безконтактне сензорске технологије (слика 4.18). Разлог за примену вишесензорских система није само комплексност дела, већ и потреба за смањењем трошкова производње. Употреба једног система сонде са којим се могу извршити сва мерења може драстично смањити трошкове, као што су трошкови за: простор, руковање са деловима, транспорт између машина, оператере, време.



Слика 4.18. Вишесензорска технологија: а) контактна сонда; б) оптичка сонда; в) ласер; г) процесирање слике; д) аутофокус; ж) 3D снимање [18]

4.4. Мерење на координатној мерној машини

После контакта са радном површином дела, центар врха пера даје измерену вредност односно прослеђује је у рачунар за даље операције. Измерена вредност актуелне тачке припада реалном делу. Површине дела се могу описати елементима геометријског облика, а то су равни или просторни елементи. Математичко познавање ових елемената је услов за мерење. Нпр. ако се мери размак између отвора или пречник осовине.

Постоје три врсте елемената у координатној метрологији:

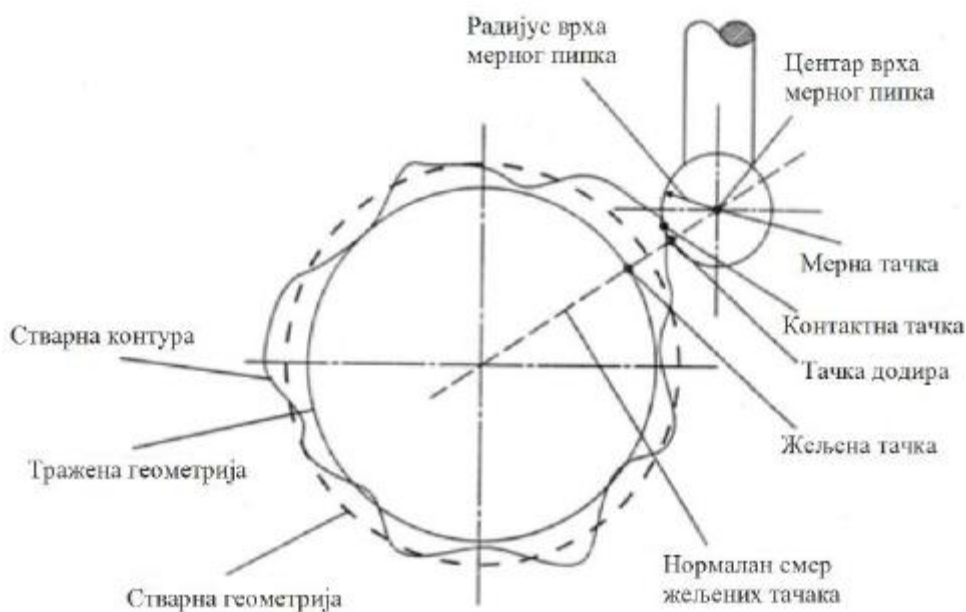
- једнодимензионални (тачка),
- дводимензионални (права линија или кружница) и
- тродимензионални (раван, сфера, цилиндар, конус).

3D елементи представљени су својим површинама, па се рачунање нормале на површине познатих елемената може извести без других помоћних елемената. Тачка, линија и круг се не могу једноставно одредити поступком контакта. Равне или криве линије су само странице површина па се зато и користе површине за одређивање елемената.

Мерење на координатној машини може се класификовати на функционално оријентисано мерење и мерење елемената. Када се ради о провери димензија делова само на крају процеса производње, уместо случајне провере, треба након сваке фазе у изради дела вршити проверу. Ово је важно за постављање серије или за узорковање. Касније у току производње, провера се врши само на важним елементима делова.

Стратегија мерења на СММ обухвата испуњење захтева за минималним бројем тачака за сваки геометријски елемент. Математички минимум тачака зависи од броја степени слободе који има сваки елемент. Други услов је везан за распоред тачака.

На примеру мерења пречника цилиндра (слика 4.19) приказани су контакт лопте-мерног пипка, са реалном површином дела и карактеристични елементи мерене површине[7].



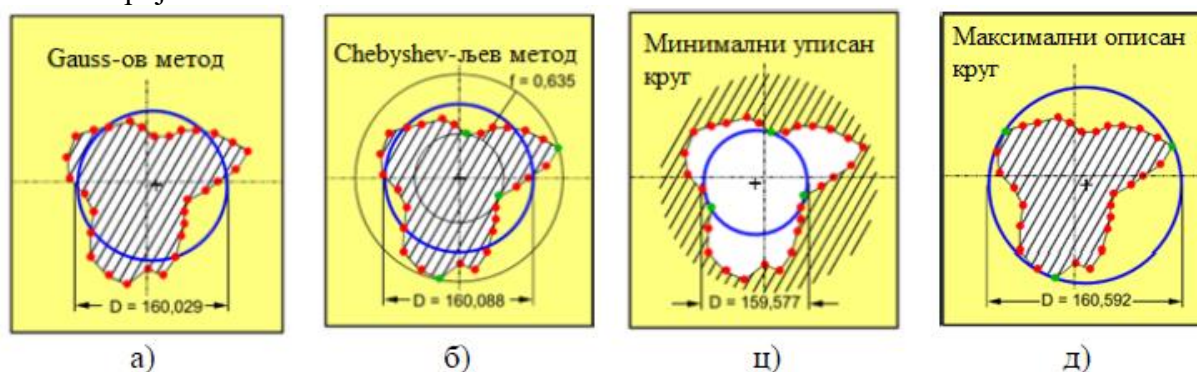
Слика 4.19. Мерење пречника цилиндра [7]

До недавно се сматрало да је довољно мерити геометријске карактеристике са само неколико тачака на површини дела. Нормала се одређивала са четири до осам тачака и прихватале су се велике празнине у резултатима. Координатна метрологија у то време није била спремна да пружи поуздану информацију за производни процес у разумном временском интервалу. Мерења добијена са малим бројем мерних тачака имају значајне недостатке. Резултати се могу сматрати:

- погрешним, јер не представљају стварну геометрију дела који се испитује,
- да нису функционално релевантна максимална уписана и минимално описана кружница за рачунање придружених карактеристика, па се користи нпр. Gauss-ов метод (сума најмањих квадрата управних растојања свих мерених тачака на површинама елемената).

У сврху одређивања адекватног пречника, данас се користе три методе апроксимације:

- Gauss-ова метода која најбоље смешта кружницу у критеријум најмања сума квадрата грешака. Примењује се као класични метод. Може се користити и за само неколико тачака. Одговара и за референтне системе и геометријске карактеристике без великих грешака облика, (слика 4.20-а),
- Chebyshev-љев метод рачунања података који одређује средњи пречник према критерију да буде најмања радијална разлика између концентричних кругова са минималним и максималним пречником (слика 4.20.-б). Метод оговара стандардима за одређивање девијације облика према минималним условима материјала и захтева велики број тачака и
- метод минималних уписаних (слика 4.20.-ц) и максималних описаних кругова; (слика 4.20.-д), метод који рачуна минимални пречник, тј. да нема тачака унутар круга и максимални пречник, тако да нема тачака изван круга. Дакле све тачке леже у простору између минималног и максималног пречника. Овај поступак примењује се за придруживање – упаривање димензија. Функционално оријентисано мерење одговара спецификацији датој у цртежу или уопште у документацији. Ово се може постићи само са јако великим бројем тачака



Слика 4.20. Методе апроксимације круга приликом обраде резултата мерења [7]

Мерење представља одређивање положаја мерене тачке. На рачунање вектора мерне тачке утичу вектор положаја врха пера, тј. лопте, којим се додирују тачке на површини мереног комада, затим вектор сигнала и преносна матрица. Положај мерне тачке директно је зависан од вектора положаја врха пера, деформације пера и притиска при контакту. На увећаним контактним површинама виде се димензије пречника пера и приказана је компензација радијуса пера.

Водич кроз добру праксу мерења (*Measurement Good Practice Guide - MGP*) [19] покрива избор броја мерних тачака приликом коришћења координатних мерених машина и нуди савете о компромису између прецизности и брзине. Затим, даје смернице о критеријумима за узорковање стандардних елемената и савете о мерењима који укључују пројекције елемената преко дугих дистанци. Он обухвата утицај чистоће, оптерећења/поравнања дела и утицај температуре, завршне обраде површине и геометрију на резултат мерења. Такође садржи информације о основним принципима мерења, заједничке захтеве за мерење, функционалности CMM софтвера с обзиром на захтеве са цртежа и добру метролошку праксу приликом коришћења CMM са CAD подацима при мерењу делова.

Координатна метрологија је важна и у изради и мерењу површина произвољног облика (*free form*). Естетски и аеродинамички аспекти имају одлучујући утицај на

креирање површина произвољног облика. Овакве површине не могу се описати стандардним геометријским особинама него се уместо 3D тачака, математички описују 3D криве или 3D математички описане површине. Такве површине се мере на основу CAD података. Ако нема CAD података онда се површина генерише тако што се подаци узимају са модела који је, нпр. прототип направљен за потребе пројектовања. Подаци се узимају помоћу софтвера наменски развијених за те сврхе. CAD подаци се уносе у базу података за део који се израђује, а затим враћају у производни процес како би се извршиле корекције. Пример овог је дигитализација линија добијених ласерским сензором. Подаци за површину добијају се у облику случајних тачака и на крају се генеришу у NC програме за израду делова било поступком резања или поступцима брзе израде прототипова (*Rapid prototyping – RP*).

4.4.1. Софтвер за координате мерне машине

Да би се извело мерење на CMM неопходан је софтвер који управља покретним елементима мерне машине и сонде. Резултат мерења CMM представљају мерни подаци који се смештају у одговарајућу меморијску јединицу и мерни извештаји. Након извршеног мерења мерни подаци се накнадно могу увести у софтвер за рачунаром подржано мерење (*Computer Aided Inspection - CAI*) и извршити поређење CAD са моделом.

Софтвер који CMM користи за рад је универзални и покрива све стандардне функције CMM. Уколико је потребно мерити одређени елемент специјалног облика, основном софтверу се надограђују додатне функције. Сваки стандардни софтвер укључује:

- статистику и процесну контролу,
- мерење 2D и 3D кривих линија,
- мерење површина произвољног облика (*free form*),
- мерење базирано на карактеристикама производа,
- интеграцију и процесирање CAD података,
- мерење зупчаника,
- мерење цеви итд.

4.4.2. Интегрисање CAD података

Програмирање CMM мерења, ако се изводи без 3D модела дела, јако је сложен посао. Многе кораке у програму треба дефинисати и унети. Уводи се тзв. самопрограмирање што спада у домен интелигентних система и то је поступак којим се смањује процедура. За мерење радог дела, које се изводи на почетку, прво треба одредити карактеристике машине. Све релевантне информације смештају се у базу података у облику CNC мерног програма. Овај метод се не може једноставно прилагодити производњи, јер се производне машине не могу програмирати за време производног процеса нити у фази планирања. CAD системи су постали интегрални део пројектовања производа, па је логично да све што се даје у CAD-у може користити и у метрологији. Подаци о производу у раној фази пројектовања не садрже довољно геометријских карактеристика производа, као што су нпр. толеранције. Дакле, на почетку пројектовања производа није могуће размењивати податке. Зато треба доста података да би се CAD систем интегрисао у CMM као последња фаза у производном ланцу. Даљи развој CMM ићи ће у правцу интеграције података током целог процеса.

То би се одвијало на следећи начин:

- подаци се шаљу са конвенционалних *CAD* система као што су *CATIA*, *UNIGRAPHICS*, *CADDS*, *I-DEAS* или *PRO/Engineer* и читају на координатној мерној машини или рачунару који планира посао или поступак провере у неком од формата *IGES*, *VDA* или *STEP*,
- рачунар тада прорачунава податке и генерише мерне програме у чему су укључени зумирање, ротација, селекција, померање и сл. Процес се лакше одвија уколико је обезбеђена визуализација,
- мерење са врши на основу података унетих у *CAD* бази података. Подаци су углавном толеранције и информације о монтажи. Многи радни кораци извршавају се само на основу минималног броја података улаза,
- завршавање мерног програма, рачунарски контролисаног мерења, извршава се на *CMM* и
- подаци о мерењу се након тога поново враћају у производњу или уколико треба у *CAD*, да би се нешто кориговало, па се на тај начин грешка аутоматски отклања. Један од начина је контрола затвореном спрегом у производном процесу. Састоји се од поновног подешавања параметара машине.

4.5. Мерна несигурност

У суштини, сва мерења су нетачна и захтевају исказ о мерној несигурности. Мерна несигурност означава сумњу у ваљаност резултата мерења. Резултати мерења се сматрају комплетним, само ако их прати квантитативни извештај о мерној неигурности. Мерна несигурност је карактеристика сваког процеса мерења и неопходно ју је разликовати од грешке која настаје у истом поступку. Грешка представља разлику између измерене и стварне вредности мерене величине.

Процеси мерења треба да буду планирани, верификовани, валидовани, реализовани, документовани и њима се мора управљати. Факторе који утичу на процес мерења треба идентификовати и узети у обзир при пројектовању свих мерења. Управљање процесом се обавља у складу са документованим процедурама.

У основи сви процеси мерења се састоје од:

- операција мерења (мерни задатак, услови околине у којој се мерење обавља),
- процедуре мерења (како се извршава мерни задатак),
- опреме за мерење или мерила (калибри, инструменти, софтвери) и
- особља за квантитативно и квалитативно утврђивање мерних карактеристика производа и мерног система.

Процеси мерења су дефинисани када се утврди мерни задатак, обим мерења и поступци поређења и обраде резултата.

Мерна несигурност се приписује мерној опреми која се користи, обучености особља и условима околине у којој се мерење изводи. Према стандарду ISO 10012:2012 за сваки процес мерења, из система управљања мерењем, процењује се мерна несигурност. Процене мерне несигурности морају да буду записане, а сви познати извори расипања резултата треба да су документовани. Концепт, методе процене мерне несигурности и приказивање резултата мерења наведени су у *GUM* [5].

Према GUM, основне компоненте мерне несигурности су:

1) Стандардна несигурност типа А - Компонента која се одређују из статистичке расподеле резултата мерења. Представља стандардну девијацију расипања резултата и одговара случајним грешкама мерења и

2) Стандардна несигурност типа Б - Компонента несигурности настала због очекиваних догађаја (очекиване вероватноће расипања, на пример несигурност читавања вредности и сл), одговара системским грешкама мерења у класичној терминологији. Одређује се појединачном анализом и не зависи од броја мерења. Укупна мерна несигурност може се одредити само ако су познати сви кључни фактори који утичу на процес мерења. Сви фактори се могу разврстати у неколико група: особље, методе, услови околине, опрема и начин поступања са делом који се мери.

Резултати поступка мерења зависе од утицаја спољашњих и унутрашњих фактора.

Под термином спољашњи фактори подразумевају се сви фактори који утичу на поступак мерења, а који нису директно повезани са основним принципима аквизиције (прикупљања) података, који се у одабраној методи примењују. [20]



Слика 4.21. Утицај различитих фактора на мерну несигурност СММ [20]

Унутрашњи фактори представљају радне принципе на основу којих се у оквиру одабраног система за дигитализацију врши прикупљање података. Технолошки принципи на које се мерна метода ослања, при дефинисању мерне информације, представљају унутрашње факторе у ужем смислу. У ширем смислу то су фактори који имају реалан утицај на квалитет и расподелу дигитализованих података, а који произлазе из стварних конструкцијских решења уређаја за дигитализацију.

Унутрашњи фактори који утичу на квалитет резултата мерења су:

- структурални елементи мерног уређаја,
- начин дефинисања мерне тачке и мерног опсега,
- калибрација система и
- програмска грешка.

С обзиром на карактер узорака спољашњих утицаја, спољашњи фактори могу се поделити на:

- карактеристике објекта,
- утицај околине (температура, вибрације, влажност, осветљење, нечистоће),
- технолошки утицаји (дефиниција мерног задатка, планирање мерења и руковање опремом),
- програмске подршке,
- људског фактора и
- захтева накнадне обраде података.

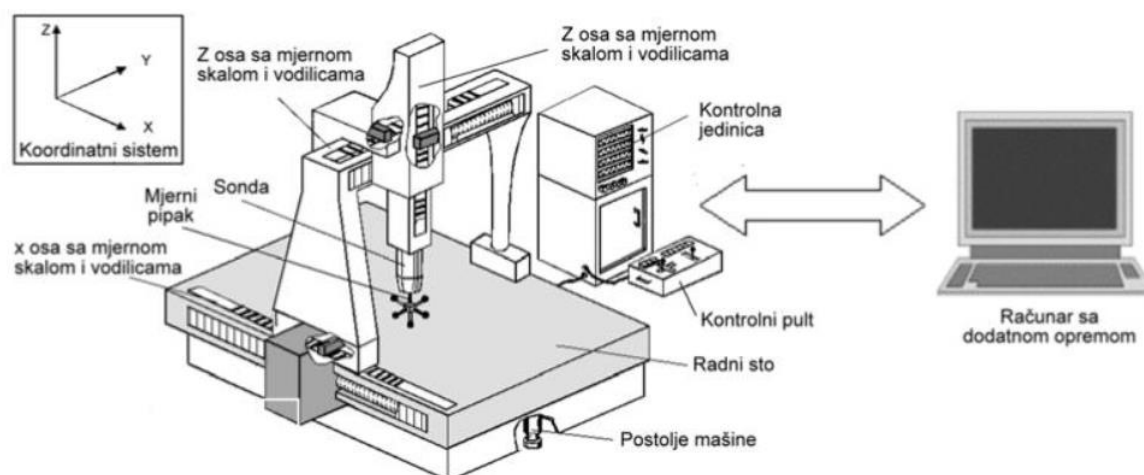
На мерење помоћу координатне мерне машине утицај имају фактори који су резултат спољних променљивих или константних услова и утицаји који долазе од саме мерне машине. Спољни утицаји су врло различити и по утицају и по величини и зависе од тога где је СММ постављена. Уколико су то погонски услови сигурно је да ће и утицаји бити значајнији у односу на оне који утичу на мерења која се врше у мерној соби.

4.6. Координатне мерне машине

Са порастом сложености облика производа, геометрија производа постаје све компликованија за мерење и контролу. Због тога је потребно применити у контроли и мерењу таква мерна средства која су прецизна, брзо извршавају велики број операција мерења, а при том је њихова примена економски оправдана. Координатне мерне машине су таква мерна средства која су изузетно флексибилна и ефикасна у контроли геометријских карактеристика радног комада.

Координатне мерне машине се данас користе у производним погонима великих и малих производних предузећа. КММ је мерно средство помоћу кога се врши мерење координата у простору на површинама радног комада. Помоћу КММ је могуће мерење координата истовремено у сва три правца. Координатна мерна машина користи Декартов координатни систем.

Конструкција координатне мерне машине састоји се од три међусобно повезане вођице-осе означене са x , y , z , (слика 4.22.). Свака вођица има свој погон и систем за читавање. Координатна мерна машина има ормарић у коме је смештена управљачка електроника.[7]



Слика 4.22. Делови координатне мерне машине [7]

4.7. Типови координатних мерних машина

Координатне мерне машине могу се поделити на :

- машине којима се ручно врши управљање по осама,
- машине са моторизованим погоном оса-вођица, и ручном манипулацијом са комадима,
- машине са моторизованим погоном оса и рачунарски контролисаним операцијама.

Свака конструкција координатне мерне машине састоји се од механичких склопова, погона, система за мерење дужина и система мерних пипака, контролне и извршне конзоле и рачунара са средствима за излаз резултата мерења. На слици 4.23. приказани су основни типови координатних мерних машина. [33]

Универзални типови координатних мерних машина су:

- ❖ стубни тип,
- ❖ конзолни тип,
- ❖ портални тип,
- ❖ мостни тип.



Слика 4.23. Типови координатних мерних машина [7]

Стубни тип

Намењен је за мерење радних комада димензија које не прелазе $0,25 \text{ m}^3$. Тачност стубних координатних машина је висока, може постићи мала мерна несигурност од $1 \mu\text{m}$. Подручје примене је у провери контролних алата и призматичних комада и комада облика вратила.

Портални тип

Један од чешће коришћених типова КММ, има могућност да мери запремину од 1 до 2 m^3 . Карактеристика овог типа је и велика крутост конструкције. Примена ових КММ порталног типа је за мерење радних комада, малих и средњих склопова машина.

Мостни тип

Координатна мерна машина може мерити у простору објекте димензија $16 \times 6 \times 4 \text{ m}^3$. Намењена је за мерење дугих возила и објеката као што су велики алати за обликовање, авионске конструкције и компоненте турбо машина.

За делове координатне мерне машине користи се тврди камен-гранит, челик или челични лив. Сто машине је направљен од гранита. Гранит је тврђи, јефтинији и лакши, а има и нижи температурни коефицијент ширења у односу на челик, па су мање промене дужина.

Све што координатна мерна машина има више компоненти, она има и већу мерну несигурност. Свака компонента са собом носи и додатну мерну несигурност као што су вођице, лежајеви, погон мерног система и мерни пипци, итд.

4.8. Вођице, погон, лежајеви

За израду вођица се користе гранит или челик. Антифрикцијски лежајеви се користе у случајевима када су вођице израђене од челика. Могу носити велика оптерећења, а да се истовремено постигне и висока тачност мерења. Сви типови КММ се покрећу погонима са електричним серво моторима. Постоје различити преноси од погона до мобилног склопа као што су завојнице, зупчаници, фрикциони пренос и сл.

4.9. Мерни пипци

ISO стандардима који се односе на координатну метрологију дефинисан је термин који се користи за сензор путем којег се остварује веза између површине мереног комада и мерног система за дужину. Користимо термин **мерни пипак** што значи део који опипава радни комад. Мерни пипци који се користе на координатним мерним машинама могу се поделити на: [32]

- оптичке и
- механичке.

Механички мерни пипци имају:

- Систем прекидача,

- Мерни систем.

Механички прекидачи могу бити:

- електромеханички и
- електроакустични.

Мерни системи механичких мерних пипака могу бити:

- индуктивни,
- капацитивни или,
- пиезоелектрични.

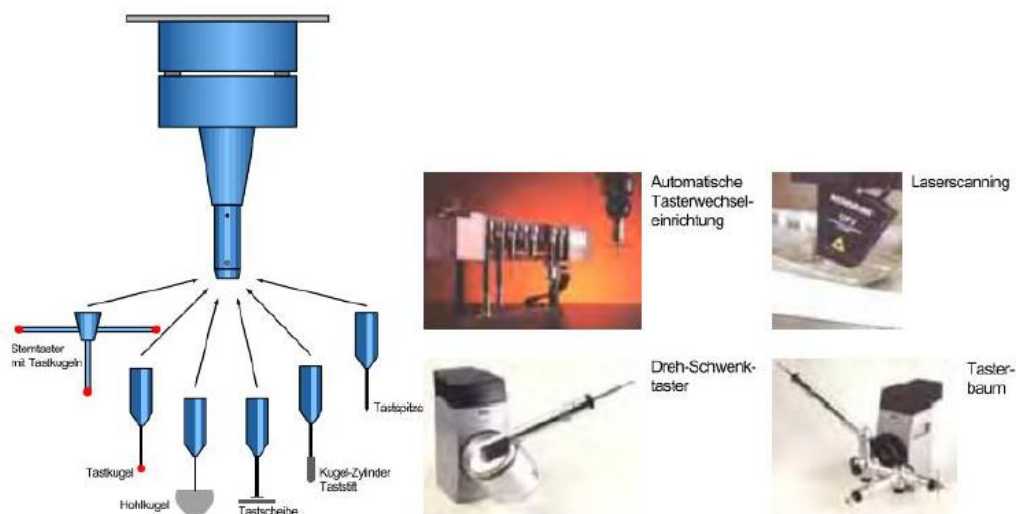
Оптички мерни пипци имају:

- оптичке сензоре прекидаче,
- оптички мерни систем и
- окулар.

Оптички сензори прекидачи су фотоелектрични сензори. Оптички мерни систем може бити:

- CCD (*charge coupled device*),
- Ласер трокутни сензор,
- Теодолит трокутни сензор,
- Фотограметријско стварање слика.

Многи мерни системи који се данас користе раде са механичким мерним пипцима. Код механичких мерних пипака остварује се физички додир завршетка мерног пипка са радним комадом. Мерни пипак може имати различите облике завршетка као нпр: лоптасти цилиндрични, конични, дискасти, шпицасти итд (слика 4.24.).



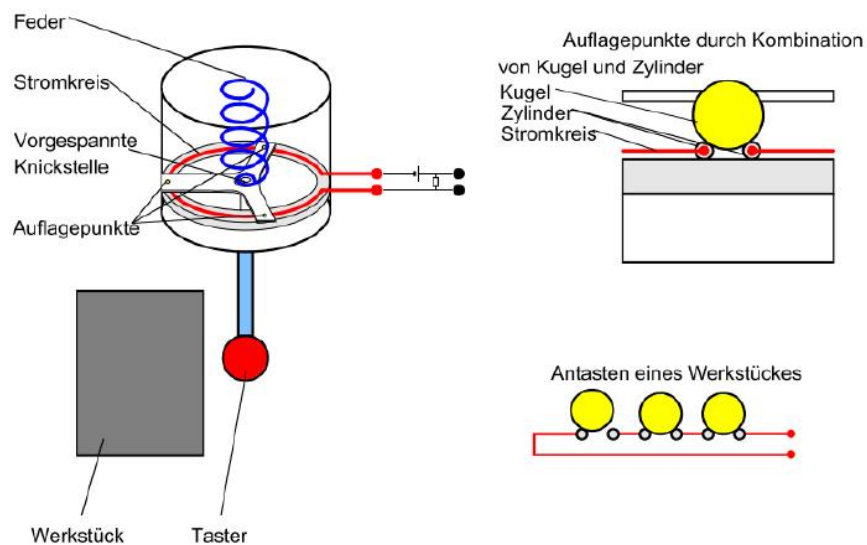
Слика 4.24. Различити завршеци мерних пипака [32]



Слика 4.25. Мерни пипак и сфера [32]

Механички систем мерног пипка често има лоптасти завршетак. Лоптасти завршетак израђује се од рубина, стакла, челика, има високу отпорност на хабање, а њихови пречници и просторни положај могу се прецизно калибрисати. Механички-контактни мерни пипци спадају у додирне прекидно мерне системе (слика 4.25).[32]

Прекидно додирни мерни пипак

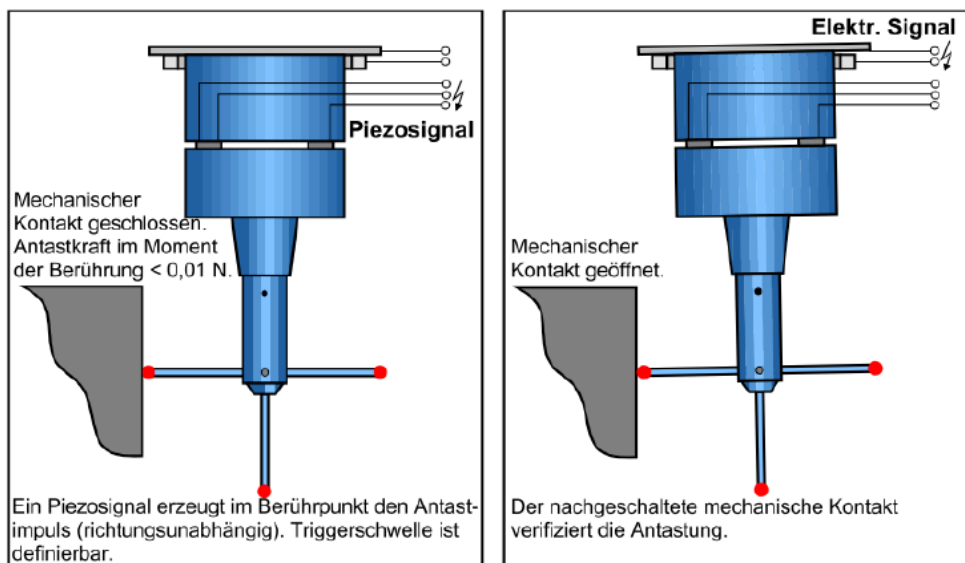


Слика 4.26. Различити завршеци мерних пипака [32]

Уобичајни прекидач, (слика 4.26.) има преднапрегнут систем који се састоји од три додирне тачке помоћу којих је перо мерног пипка еластично причвршћено у правцу шест просторно могућих степени слободe. Једоставна верзија прекидача има механизам који је конструисан као електрични контакт. Одмах након што перо додирне радни комад, електрични контакт се отвори и мерење размака дуж оса x , y , z и b је препознато и забележено.

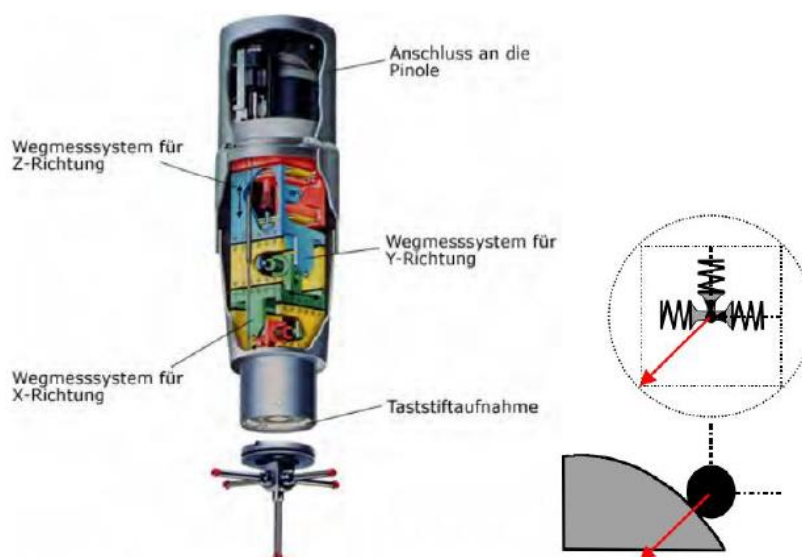
Овакви мерни пипци имају координатне машине са ниском тачношћу. То је због тога што враћање пера мерног пипка у првобитни положај није равномерно јер су три тачке распоређене под углом од 120° , па долази до различитих степени савијања пера. Због тога се користе пиезоелектрични сензори као додатак механичко електричним контактима. Ово не мења осетљивост нити у једном правцу рада али је изложено мањој сили притиска при контакту, а то опет смањује грешку.

Главни део мерног пипка је перо које може бити дуго и до 200 mm и тешко до 200 грама. Перо се може мењати. Електроничка анализа пиезо сигнала омогућава повећану тачност мерења. Подаци се скупљају не само у току додира радног комада и површине него и непосредно након тога. Механички контакт има улогу да потврди да је дошло до контакта мерног пипка и радног комада (слика 4.27.).



Слика 4.27. Механички контакт мерног пипка и мереног комада [33]

Да би се мерење убрзало може се више мерних пипака монтирати на један носач па да тако мере у више праваца истовремено. На слици 4.28. дат је пресек једног мерног пипка са илустрацијом контакта.



Слика 4.28. Пресек мерног пипка и начин остваривања контакта [33]

5. РАЧУНАРОМ ПОДРЖАНО МЕРЕЊЕ

Планирање процеса мерења је саставни део пројектовања и производних активности. Одређује које карактеристике дела треба да се мере, где и када. Савремену производњу све више карактерише мали обим, висока разноврсност производње, уске толеранције и висок квалитет дела (производа). Део и процес мерења еволуирају да постану важан елемент интегрисане производње. Произвођачи данас користе процес мерења за контролу производње како би постигли жељени квалитет, а не као средство за прихватање или одбијање делова на крају производње. Ово захтева брзо и тачно мерење, као и ефикасну интеграцију са CAD моделом дела и одговарајућом базом података. Потреба за све аутоматизованијим планирањем процеса мерења и бољим механизмима за подршку при одлучивању омогућава мерење сложенијих и разноврснијих делова и смањује развојни циклус израде дела [21].

Рачунаром подржано мерење (често се користи и термин: рачунаром подржана инспекција, *Computer Aided Inspection - CAI*) је нова технологија која омогућава мерење поређењем одступања физичког дела од његовог номиналног (идеалног) 3D CAD модела. Процес CAI почиње од CAD модела и физичког дела који је потребно мерити. Део се прво неким од уређаја за 3D (контактну или бесконтактну) дигитализацију снима. Добијена датотека облака тачака (*STL*, *TXT* и сл. или датотека површинског модела добијеног поступцима реверзног инжењерства из облака тачака) увози се у софтвер за мерење. Софтвер врши поређење номиналног модела са мерним тачкама (или површинским моделом) и пружа графичко поређење одступања мера дела у односу на CAD модел. Фазе CAI приказане су на слици 5.1.

Одлуке које се доносе у току процеса планирања мерења имају значајан утицај на квалитет добијеног дела, поред времена производње и трошкова. Неке производне методе и секвенце, изабране током процеса планирања мерења, могу бити склоније грешкама и недоследности, због великог броја подешавања (*setups*) или неправилног избора референтних елемената (*datums*). Веза планирања производног процеса са процесом планирања мерења доводе до затварања петље обезбеђивања жељеног квалитета и осигурања да део буде "добро пројектован" од почетка и смањења одбачених делова (шкартова) и/или дорађених делова [22].



Слика 5.1. Фазе рачунаром подржаног мерења [22]

Планирање рачунаром подржаног мерења (*Computer Aided Inspection Planing - CAIP*) је тема истраживања дуже од 30 година. Већина *CAIP* система је развијено за координатне мерне машине (*CMM*), док је истраживање мерења бесконтактним уређајима у порасту последњих година. Велики број аутора је разматрало *CAIP* системе и категорисало их у две групе: толеранцијом вођене (*tolerance driven*) и системе засноване на геометрији (*geometry based*).

У поређењу са *CMM*, системи директног мерења на машини (*On-Machine Inspection - OMI*) обезбеђују непосредан увид у производњу и контролу квалитета, што је од виталног значаја за аутоматизовану производњу. Од раних 1990-их, нови *CAIP* системи развијени су за *OMI* системе па су развијене и нове технологије за побољшање *CAIP*. Развијени су и нови производни стандарди за пренос података као што су *STEP* и *STEP-NC* како би се обезбедили стандардизовани и свеобухватни модели података за обраду и мерење [21].

5.1. Поступци мерења

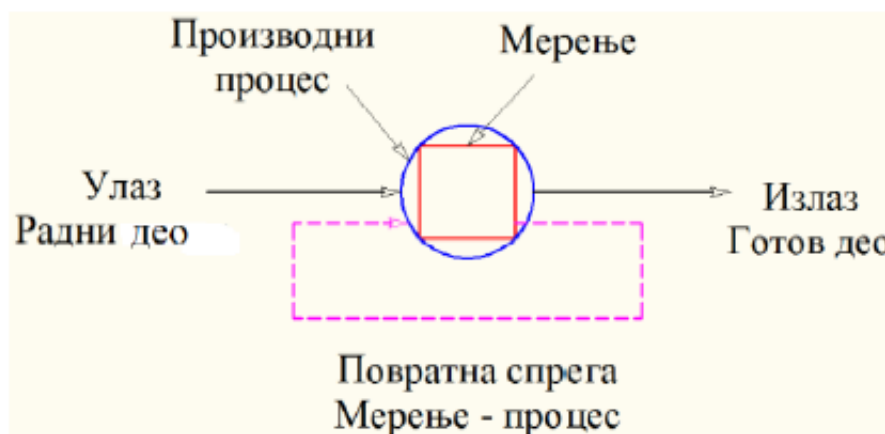
У производним процесима поступке мерења је могуће сврстати у три начина [23]:

1) Мерење на машини (*On-Machine Inspection - OMI*) (слика 5.2), које се може поделити на:

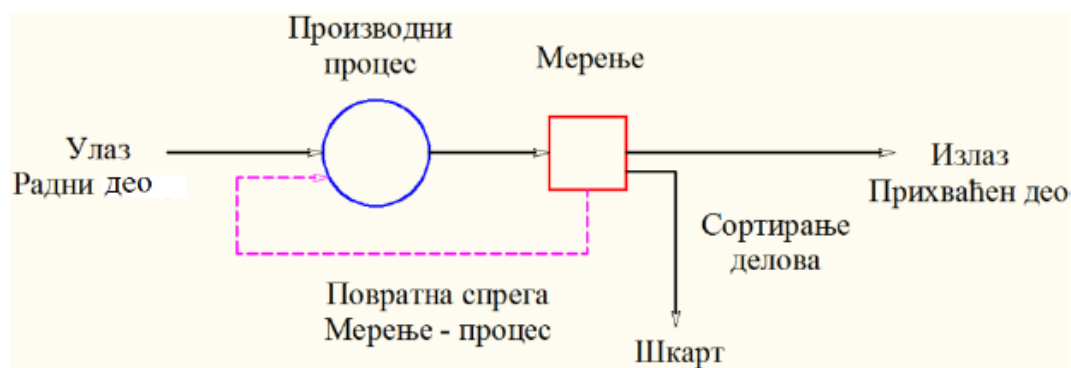
- истовремено мерење (*in-process inspection*), које се врши док се део израђује и
- квази истовремено мерење (*portable inspection*), где се део мери кад је обрађен, али још није скинут са машине. Површински инструмент, који је ручни, се на неки начин поставља на део када машина престане да ради, а затим се врши мерење.

2) Мерење ван машине (*remote inspection*), које се може изводити:

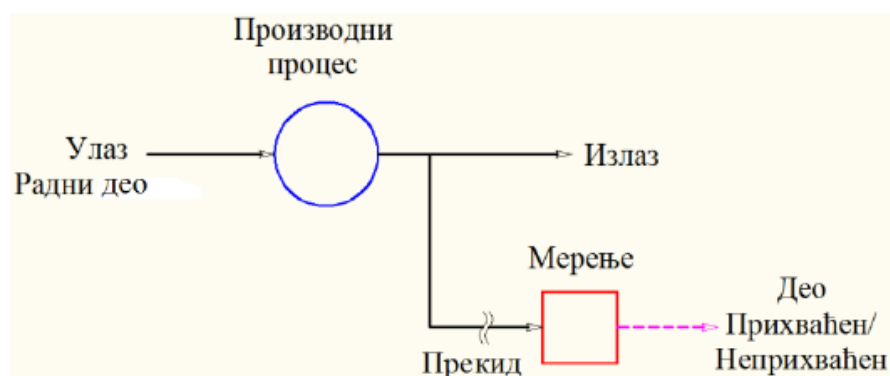
- на посебном мерном уређају, где се део уклања са машине и мери мерним уређајем који се налази у близини машине алатке (слика 5.3) и
- у лабораторији за мерење - контроли квалитета, где се део односи у прописно опремљену лабораторију и мери (слика 5.4).



Слика 5.2. Мерење на машини[23]



Слика 5.3. Мерење на посебном мерном уређају[23]



Слика 5.4. Мерење у мерној лабораторији и[23]

Наведени поступци мерења, сврстани на основу врсте мерења, типа контроле, информација које дају и које су им потребне, брзине и добијених информација, као и њихове особине дати су у табели 3.

Табела 3. Начини мерења и њихове особине [23]

	Мерење на машини	Мерење на посебном уређају	Мерење у лабораторији
Врсте мерења	Динамичко	Статичко	Интегрисано
Тип контроле	Адаптивна	Статистичка	Дугорочна следљивост
Добијене информације	Врло специфичне	Средње	Цвеобухватна површинска
Потребне информације	Контрола процеса	Посматрање процеса	Посматрање машине алатке
Брзина	Врло брзо	Време потребно за снимање и процену	Функционална процена
Резултат	Померање ради контроле	Уверење о квалитету	Квалитет гарантује пројектовање

5.1.1. Мерење на машини

У конвенционалном систему контроле квалитета, произведени део, са обрадног центра захтева преношење на координатну мерну машину (*СММ*) како би се проверила тачност његових димензија. Мануелни посао подешавања и мерење обрађених делова обично захтева доста времена, подложен је људским грешкама, а често доводи до дужих рокова испоруке и потребе за прерадом. Проблем уског грла даље се компликује са тешкоћама у капиталним инвестицијама и временском кашњењу протока материјала између *СММ* и машине алатке у фабрици. Додирно-прекидне сонде омогућавају произвођачима да изврше мерење дела, помогну у пословима подешавања, дају прецизне компоненте, минимизирају отпад и повећају продуктивност [21].

Од недавно, све више се користи мерење на машини (*On Machine Inspection - ОМІ*) као пожељна мерна опрема за потребе директних мерења у производњи и контроли квалитета, што је витална карактеристика аутоматизованог система производње. *ОМІ* је процес који интегрише пројектовање, обраду и аспекте мерења у производњи како би се омогућило да део буде измерен и прихваћен директно са машине алатке. Овај процес се постиже помоћу машине алатке као мерног уређаја док је део сигуран на обрадном центру са његовим нетакнутим координатним системом. Помоћу машине алатке као мерног уређаја елиминишу се потребе за скупом мерном опремом, омогућавајући произвођачу преусмеравање ресурса у друге сврхе. Нема потребе за накнадним стецањем ради мерења, јер стезни прибор машине алатке стеже део и служи као мерни стезни прибор. Како део постаје сложенији, улога *ОМІ* постаје све значајнија као ефикасна димензионална мерна опрема [24]. Сензори присутни у *CNC* систему имају способност пружања тачне повратне информације за различите погонске елементе. Они су често ограничени само на обављање тих функционалности и нису усмерени ка подршци било каквих мерних радњи, ефикасних као што је *ОМІ*.

На следећим сликама приказана су два различита уређаја за *ОМІ*, са додирно прекидном сондом (слика 5.5-а) [27] и оптички (ласерски) *ОМІ* уређај (слика 5.5-б) [26] произвођача *RENISHAW*.



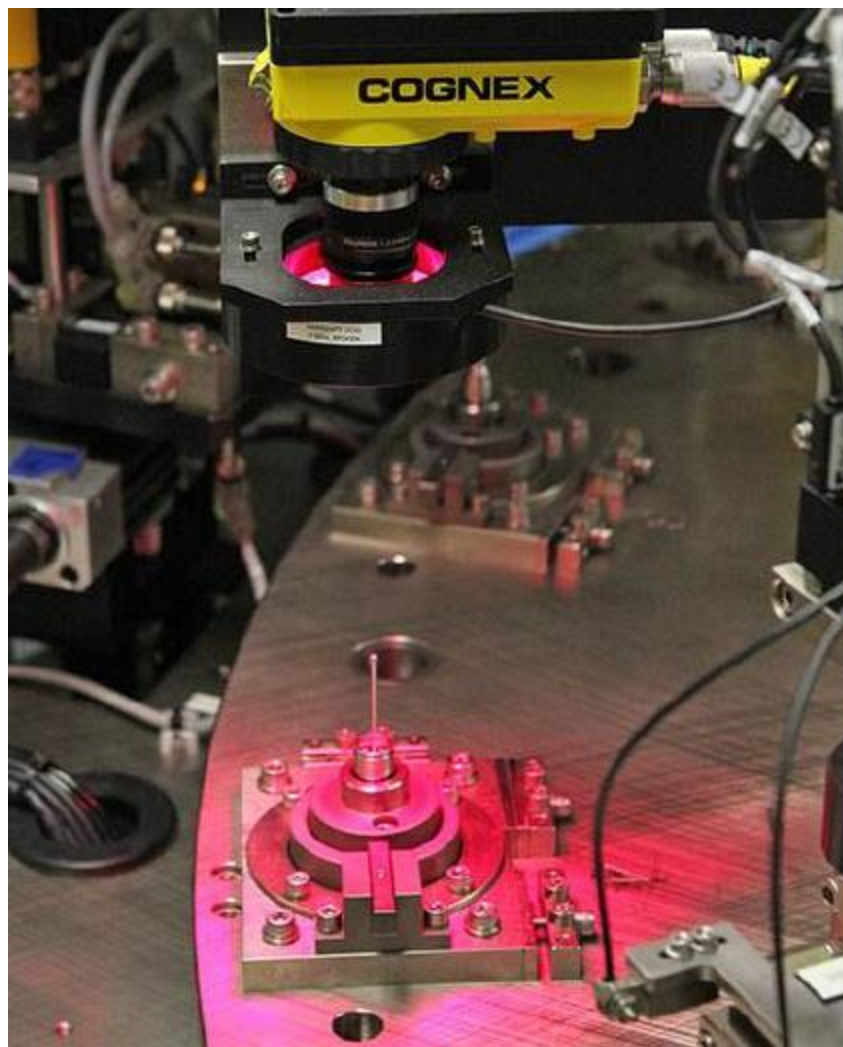
а)



б)

Слика 5.5. Мерни уређаји за мерење на машини [27]

Од савременијих поступака треба поменути и поступак *on-line* мерења, где се делови мере у току процеса обраде (*on-line*) и преко одговарајућих софтвера истовремено, аутоматизованим поступком, проверава квалитет. На слици 5.6 приказан је поступак *on-line* мерења на уређају произвођача *COGNEX*.



Слика 5.6. *On-line* мерење уређајем произвођача *COGNEX* [28]

Предности коришћења *ОМІ* се могу сажети у следећем [26, 27, 28]:

1) Уштеда у цени и времену кроз:

- смањење главног времена потребног за мерне уређаје и стезање,
- минимизирање потребе за пројектовањем, израдом, одржавањем мерних уређаја, стезањем и опремом,
- смањење чекања на редослед мерења и времена за мерење и
- елиминацију поновне израде неусаглашених делова;

2) Промена из „реактивног“ мерења у „проактивну“ контролу кроз следеће активности:

- интегрисаном контролом квалитета дела током реализације процеса,
- употребом окарактерисаних и квалификованих процеса како би се повећала поузданост дела,
- фокусирањем ресурса на превенцији дефеката уместо на детекцији на крају процеса и
- коришћењем *real-time* процеса знања и контроле и прихватањем дела;

3) Елиминација додавања *non-value* операција, као што су *lot inspection*, планови узорковања, пријем мерења, пројектовање, израда и одржавање мерних уређаја, и прерада неусаглашених делова;

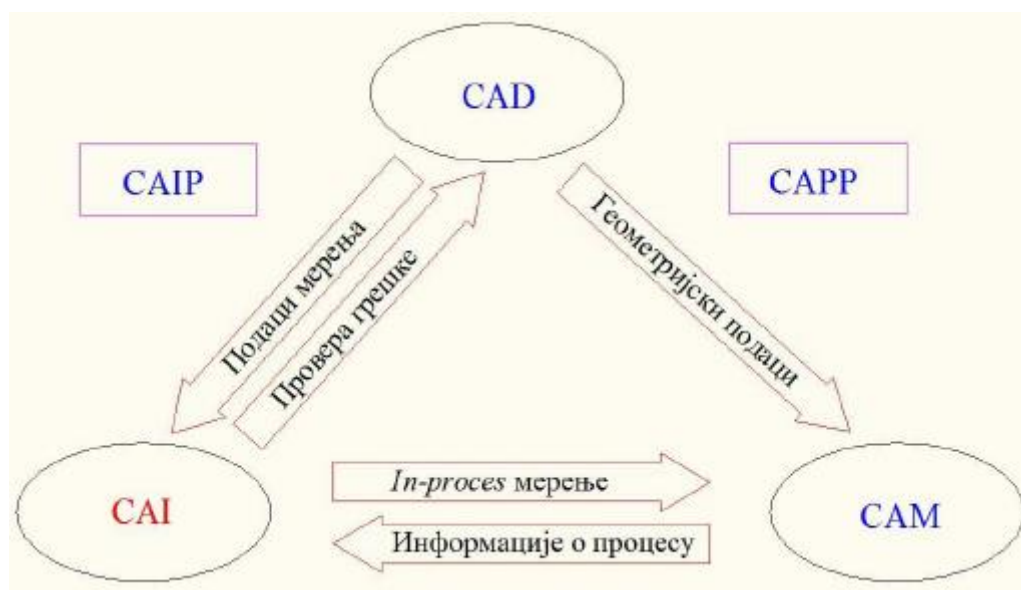
4) Агилна обрада. *ОМІ* омогућава брзе одговоре на промене у пројектовању дела.

Како се мерни послови обављају на истом обрадном центру, нема потребе за промену мерних уређаја и стезање. Нове и постојеће технологије, као што су стратегије вођења сонде, компензације грешке, софтвер за анализу података и технологије пројектовања стезања могу да се интегришу у систем *ОМІ*. Како се грешке које се јављају током процеса обраде детектују и евидентирају када се појављују, неправилност дела може бити „исправљена“ одмах кроз подешавање наредне операције обраде.

Успешна имплементација *ОМІ* ипак захтева робустан и поуздан хардвер и софтвер. Често је неопходна машина алатка са мулти-алатним капацитетом. Такође је од суштинског значаја контролер отворене архитектуре за укључивање додатног софтвера за вођење сонде који може бити неопходан. За имплементацију процеса *ОМІ* на машини алатки потребан је систем сонди који може да се састоји од различитих сонди, сензора и електронских елемената. Механизам повратне спреге треба да буде на свом месту и у реалном времену.



Слика 5.7. Хијерархија поступка мерења [29]



Слика 5.8. Систем заснован на геометрији са међусобном зависношћу између CAD/CAI/CAM [30]

5.2. Уређаји за рачунаром подржано мерење

Недавни напредак оптичких уређаја за скенирање омогућава прикупљање милиона узоркованих тачака разумне индивидуалне тачности на делу на коме се врши мерење. Постоје очигледне предности бесконтактних мерних метода: брзина, покривеност, лакоћа рада, цена, итд. Поставља се питање зашто бесконтактне методе нису још распрострањеније у мерењу димензија. Уствари, аутоматско извлачење стварне димензије и *GD&T* вредности из податка мерења код бесконтактних уређаја није лако поновљив и репродукован поступак. Свакако постоје велике разлике између *CMM* и бесконтактних података мерења који понекад захтевају фундаментално различите приступе.

Прва разлика је у томе да је обично тачност појединачних тачака код бесконтактног мерења лошија у односу на уређаје са додирном сондом. Овај проблем традиционално изазива знатну забринутост; међутим, ове сумње могу бити умањене тако што се побољша укупна тачност уређаја.

Друга разлика је да неке површине, због сјаја или транспарентности, нису погодне за оптичко мерење и изазвају посебне грешке. Ово је валидан аргумент, али у исто време постоји много материјала који су неадекватни за мерење са додирном сондом (као нпр. меке или флексибилни супстанце).

Постоји и трећа разлика: сама количина прикупљених података. То може бити од значаја у највећој мери, али истовремено и добро и лоше за бесконтактно мерење. Огромна количина тачака пружа много више покривености, али се оператер мора одрећи своје индивидуалне контроле над појединачним тачкама. Дакле, овде је разлика више у поступку процене него у геометријским алгоритмима. На неки начин ова разлика приморава на размишљање о димензионалном мерењу и *GD&T* на нешто другачији начин. Главни концепти у развоју су аутоматска класификација измерених тачака с обзиром на елементе које се мере и аутоматска елиминација тачака ван опсега.

Оптичке бесконтактне технике мерења су револуција у мерним апликацијама у последњој деценији. Трошкови и покривеност овим уређајима су довели до тога да ове технике постану атрактивне у многим ситуацијама. Ласерски и структурирани *white light*

скенер уређаји се све више користе у многим ситуацијама производног мерења. У многим областима серијских и великосеријских обима производних процеса, уређаји за скенирање у комбинацији са мерним софтвером постају главно средство за мерење.

СММ машина за мерење са додирном сондом су се успешно користиле још од шездесетих година прошлог века. Седамдесете су донеле револуцију високо прецизним *СММ* уређајима углавном захваљујући напредним јапанским индустријским машинама алаткама и метролошким компанијама. Ови уређаји су поуздани и високо тачни инструменти, њихова прецизност лежи у субмикрометарском распону [31].

Скенери са белим светлом и скенери компјутерске томографије имају нешто краћу историју. Први поуздани уређаји су из средине деведесетих. Најпрецизнији уређаји могу поуздано да дају координате у микрометарском опсегу, али узимајући у обзир унутрашње процедуре регистрације, тачност појединачних тачака је најчешће преко десет или двадесет микрометара.

Скенери компјутерске томографије (*СТ*) су недавно уведени у процес мерења. Ови инструменти су се прво користили у медицини. Од средине осамдесетих је било покушаја да се *2D* и спирални *СТ* уређаји уведу у метрологију, али се прави помак очекивао од коришћења *cone-beam CT* скенера. Ови уређаји постоје још од раних 2000-их. Чине се посебно погодним за пластичне делове ливене убризгавањем, који имају много унутрашњих елемената. Макро-*3D* скенери пружају тачност приближно величине воксела, тренутно од око 2 до 400 μm .

СММ софтвер корацима следи програмирање *CNC* машине алатке. Он постаје све усавршенији у приступу, додиру и праћењу површина из различитих праваца.

Развој софтвера за бесконтактно мерење морао је да изабере другачији развојни пут. Уместо појединачних тачака основна информација је сет опсега слика, више непосредно несређених облака тачака или полигоналних мрежа. Према томе софтвер скенера је изграђен на бази *Computer Vision* софтвера, *Discrete Computational Geometry*, и *CAD* модела.

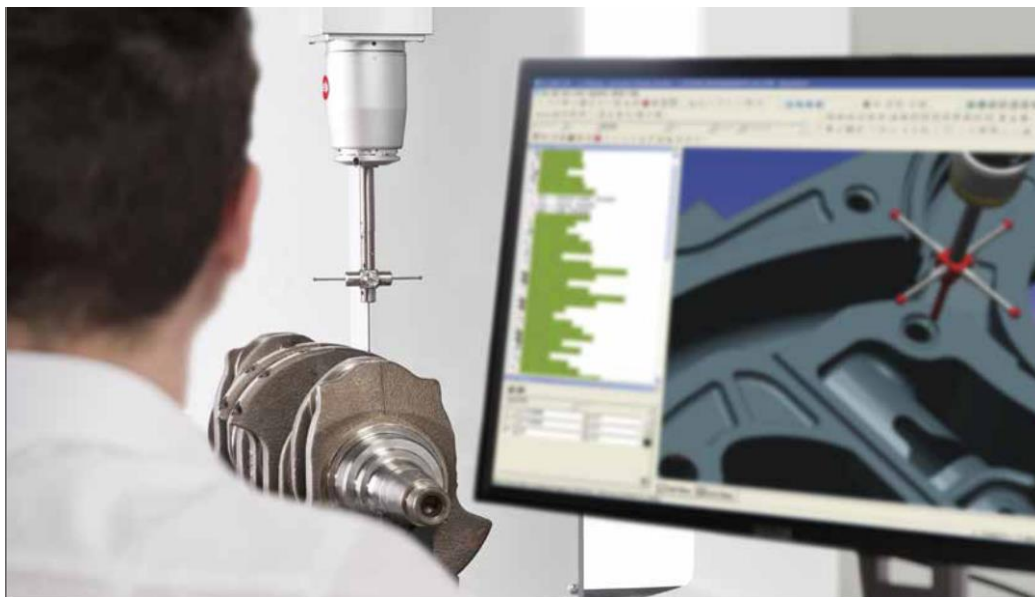
Разлике се не односе само на алгоритме, већ су у питање по много чему различити системи. *СММ* приступ је обично сасвим адекватан ако имамо довољно а приори знања о елементу који се мери и ако стварни елемент не одступа много од номиналног. То је много неприкладније уколико се ради о геометрији слободног облика (*free-form*) или је одступање велико. Поред тога, алгоритми аутоматске евалуације резултата бесконтактног мерења захтевају посебну пажњу у идентификацији одговарајућих тачака елемената.

5.3. Софтвер за мерење – PC-DMIS

PC-DMIS ради са графичким, једноставним основним корисничким интерфејсом, без CAD података.

Функције:

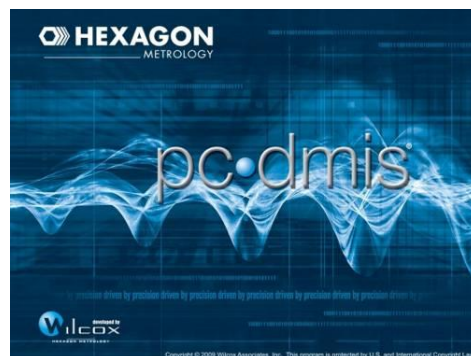
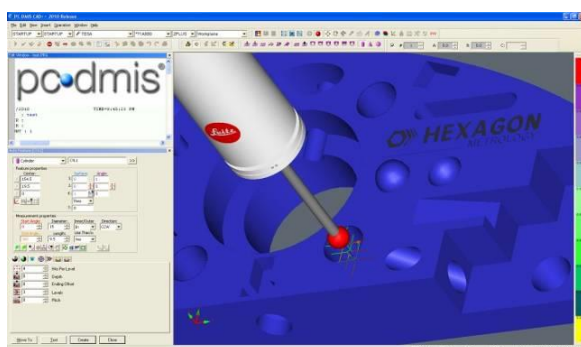
- Комплетно програмско окружење укључујући и висок ниво програмских функција,
- Подесив мени,
- Брзи старт за калибрацију сонди, довођење у осу радног комада, и функције за комплетне извештаје,
- Подесиви алати за извештаје и напредни алати за подесивање извештаја
- Интуитивне функције *Probe i Go* за аутоматско препознавање функција и стварање интерактивних графичких приказа.



Слика 5.9. Софтвер за мерење (PC-DMIS) [6]

PC-DMIS уводи CAD модел у метрологију. Укључује следеће додатне функције:

- Могућност комплетне 3D анимације, укључујући дигитализацију облика радних комада и опреме. Оператор може да исконтролише set – up и програм у виртуелном окружењу пре стварног мерења,
- Документације непознатих радних комада за генерисање компјутерских модела за reverse engineering апликације,
- Увоз машинских формата као што су VDAFS, IGES, DXF, DWG, STEP, XYZIJK, STL, DES и DMIS,
- Опција Direct CAD Interface (DCI) омогућава директно креирање парт програма из CAD модела коришћењем CAD система алгоритама и алата,
- Опција Direct CAD Translator (DCT) омогућава да користи машински CAD модел и ако то није омогућено на CAD систему. [6]



Слика 5.10. Софтвер за мерење (PC-DMIS) [6]

PC-DMIS CAD++ нуди додатне мерне функције у односу на PC-DMIS CAD које омогућавају брзо и ефикасно мерење сложених облика као што су турбинске лопатице, одливци, модели ,пресовани танкозидни комади и закривљени облици.

Функције:

- Обртно и контролно скенирање као и скенирање у линерано отвореном и затвореном систему,
- Скенирање обима, пресека и граничних тачака,
- Комплетна симулација,
- Комплетна опрема за мерење танкозидних радних комада.

PC-DMIS је софтверски пакет који је развијен пре више од двадесет година са циљем интегрисања операција конструисања, производње и контроле у један систем. Филозофија која је коришћена приликом развоја овог софтвера је базирана на једноставном принципу који гласи: ако се производ развија коришћењем CAD технологије онда се он мора контролисати коришћењем CAD модела. Данас је та филозофија проширена како би се добила решења за све процесе димензионалних мерења. Коришћењем PC-DMIS -а се веома лако прикупљају и анализирају подаци, који проистичу директно из процеса производње и конвертују се у информације које се могу користити за корективне активности а на крају се као резултат добија побољшање процеса производње.

У овом раду је приказан кратак опис рада са PC-DMIS софтвером и координатном мерном машином (CMM). Сврха је упознавање са основним функцијама софтвера током рада.

5.3.1. Креирање новог парт програма

Да би се креирао нови парт програм потребно је:

1. У PC-DMIS -у отворити нови парт програм преко мени File→New или се то врши комбинацијом тастера Ctrl+N. (слика 5.11.).
2. У пољу Part наме уноси се име програма.
3. Уписуј се Serial number и Revision number.
4. Одређују се јединице мерења (у овом случају у mm).
5. Одабира се ON-LINE у падајућем менију interfejs.
6. Избором OK, PC-DMIS је направио нови парт програм.

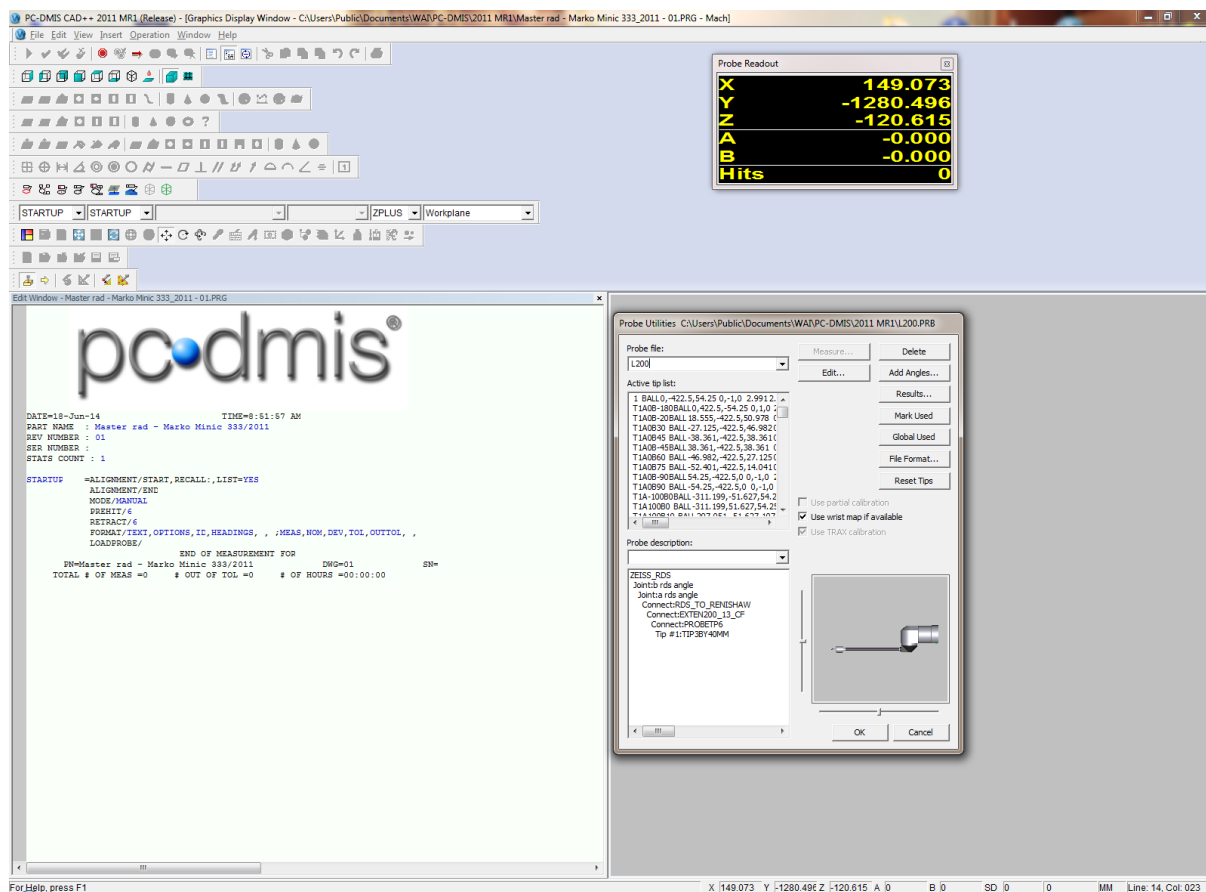


Слика 5.11. Прозор за нови part програм[6]

По отварању новог парт програма отвара се главни интерфејс PC-DMIS програма и након тога се аутоматски отвара прозор са избором сензора за мерење.

5.3.2. Дефинисање мерног пипка

До активирања дијалога за дефинисање мерног пипка Probe Utilitis, (слика 5.12.) долази се тако што се у менију изабере Insert-Hardware-Probe, може се изабрати постојећа конфигурација сензора или се може направити нова конфигурација сензора. За дати део који треба измерити користиће се нова конфигурацију сензора неопходних за мерење.



Слика 5.12. Дијалог за дефинисање сонде ((Probe Utilities) [6]

Пробе Дескрипцион зона дијалога за дефинисање сензора омогућава да дефинишем прирубнице, зглобове, мерне главе, сензоре, додатке, продужетке и мерне пипке које ћу користити у парт програму. Probe Description падајући мени приказује листу доступних опција.

Да би се дефинисао мерни пипак помоћу дијалога за дефинисање:

1. У пољу Probe File уносим назив сензора. При изради следећег парт програма овај сензор ће бити доступан за избор у падајућем менију.
2. У пољу испод Probe Description зоне врши се избор "No probe defined."
3. У пољу Probe Description бира се падајући мени и бирам компонента сензора из листе по редоследу по којим је сензор конфигуриран на CMM -у.
4. Избором на ОК по завршетку, дијалог за дефинисање сензора (Probe Utilitis) се затвара и PC-DMIS се враћа у графички интерфејс.
5. Проверава се да је конфигуриран сензор приказан као активни у Settings

6. toolbaru -у (слика 5.13.).



Слика 5.13. Settings toolbar [6]

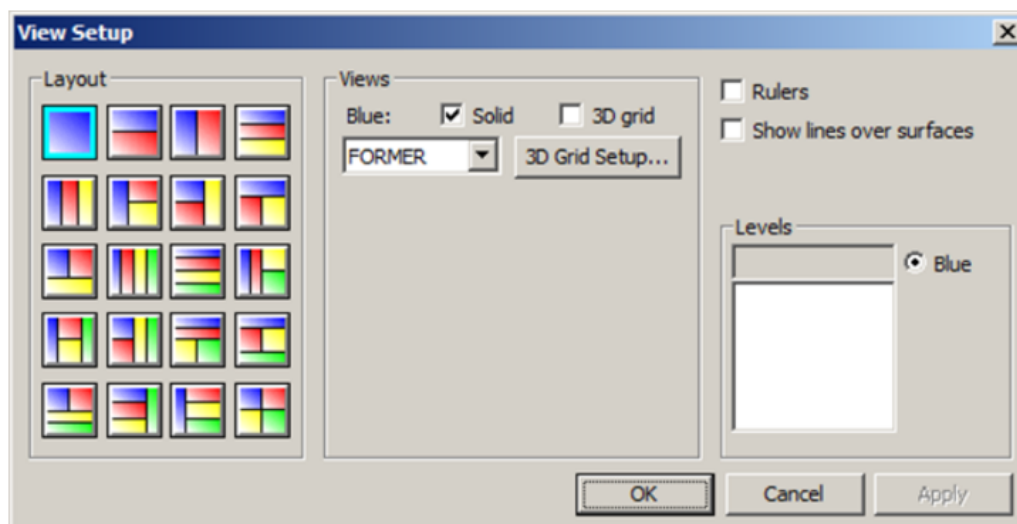
5.3.3. Подешавање погледа

Подешавање погледа који се приказују у прозору графичког приказа (Graphics Display Window) се врши избором иконице View Setup из групе Graphics Modes toolbar-a (слика 5.14.).



Слика 5.14. Graphics Modes toolbar [6]

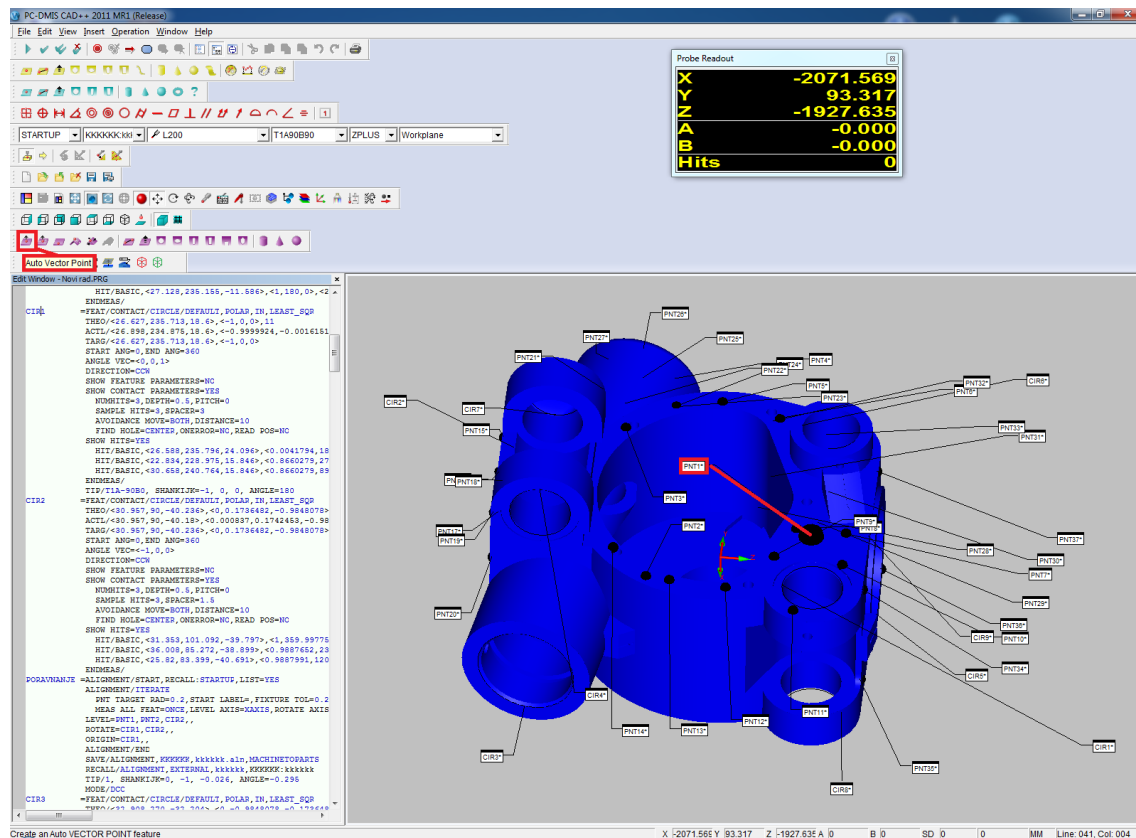
1. Из View Setup прозора (слика 5.15.), одабира се жељени стил графичког приказа. Приликом израде овог рада користиће се прва иконица (горњи ред, прва са лева) која означава цели прозор .
2. Да би поглед дела који се мери био у 3+ правцу, у падајућем менију се бира 3+ раван.
3. Након тога коришћењем Apply дугмета и PC-DIMS ће приказати прозор графичког приказа са задатим погледом. Како још није извршено мерење, неће ништа ни бити приказано у графичком приказу.



Слика 5.15. View Setup [6]

5.3.4. Мерење машинског дела

Када је сензор дефинисан и приказан у графичком прозору, може се вршити процес мерења отвора потребних за поравнање (постављање одговарајућег координатног система). Мерење равни одређује се тако што се из палете алата која је приказана на слици 5.16. мишом врши избор иконе  која представља мерење тачке.



Слика 5.16. Мерење машинског дела [6]

6. ЗАКЉУЧАК

Током последње деценије напредак технологије хардвера и софтвера резултирао је машинама које су потенцијално способне за мерења високих прецизности, а координатна метрологија је постала есенцијална за индустријску димензионалну метрологију.

Производно инжењерство је постало симбиоза рачунарске и машинске технологије, што се односи и на метролошке системе, који се користе у производној метрологији.

Координатна метрологија која укључује координатне мерне машине не представља само систем за решавање задатака мерења. Она се увек користи када се мери или проверава 3Д геометрија радног комада. Коришћење координатних мерних машина је значајно и када број карактеристика комада расте и када треба постићи малу мерну несигурност мерних резултата.

У поређењу са класичним поступцима предност координатних мерних машина је у чињеници да се мерења практично могу извести готово аутоматизовано. У класичним поступцима користи се низ различитих мерних средстава за готово сваку функцију мерења. То опет повлачи и добро планирање и искуство извршиоца у избору мерних средстава. Сва конвенционална мерења захтевају време, различита мерна средства искусне извршиоце. То на крају даје резултат и трошковима, који постају саставни део цене производа. Због тога координатна метрологија има предности у односу на класични приступ мерењу и контроле.

У овом раду су описане координатне мерне машине, принцип рада, поступак мерења и типови координатних машина, као и софтвер PC-DMIS за мерење геометрије модела. Такође је приказан опис координатне мерне машине DEA GLOBAL Performance Silver Edition. Извршено је програмирање мерне машине и мерење геометријских величина и толеранција облика, положаја и грешака при испитивању тачности израде дела сложене геометрије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Др Миодраг Лазић, Основи метрологије, Маšински факултет у Крагујевцу, 1987
- [2] D. Ješić, Мерна техника, Маšински факултет Банја Лука, 2004, ISBN 99938-39-06
- [3] D. Flack, Measurement Good Practice Guide No. 41, CMM measurement strategies, ISSN 1368-6550, National Physical Laboratory, (2014).
- [4] International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), JCGM 200:2012
- [5] Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008.
- [6]https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:MKUAAQQ9AbIJ:www.dea.it/common/shared/downloads/inc/downloader.asp%3Fid_0%3D18119%26submit_0%3DDownload+&hl=sr&gl=rs&pid=bl&srcid=ADGEEShQ5aixbGjiSh5ycjyX9WA40Xx8pbibKn6zGvICBRyT1MJ2eeL9THRzibggShJi_ZHPB3OXVRarU4MgoIB9uPVdz7QDa9SB9GXa0j9GO3Lo_VTWoIwVUGVqq3AI3ZFZB91MH54&sig=AHIEtbQNNNo_44a-725v7CZIKZ2eh7835A
- [7] N. Zaimović-Uzunović, S. Lemeš, D. Denjo, A. Softić, *Proizvodna mjerenja*, Univerzitet u Zenici, Маšински факултет, (2009).
- [8] V. Majstorović, J. Hodolić: Numerički upravljane мерне маšине, Monografija, Факултет техничких наука, Институт за производно маšинство, Нови Сад, (1998).
- [9] Hirpa G. Lemu, *Current status and challenges of using geometric tolerance information in intelligent manufacturing systems*, Adv. Manuf. (2014) 2:13–21, DOI 10.1007/s40436-014-0056-3, _ Shanghai University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- [10]<http://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/tactile-sensors.html>, (9.2020.).
- [11]<http://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/tactile-sensors/touch-trigger-tactile-sensors.html>, (9.2020.).
- [12]<http://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/tactile-sensors/measuring-tactile-sensors.html>, (9.2020.).
- [13]<http://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/tactile-sensors/measuring-tactile-optical-sensor.html>, (9.2020.).
- [14]<http://www.hexagonmi.com/en-US/products/coordinate-measuring-machines/cmm-sensors/non-contact-sensor/shpl-laser-scanning-sensor>, (9.2020.).
- [15]http://www.directindustry.com/prod/faro-europe-gmbh-co-kg/product-21421-1716249.html?utm_source=ProductDetail&utm_medium=Web&utm_content=SimilarProduct&utm_campaign=CA, (9.2020.).
- [16]http://www.mitutoyo.com/press_releases/surfacemeasure-606t3-beam-line-laser-scanner, (9.2020.).

- [17] http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/dimensional_scanners, (9.2020.).
- [18] <http://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/multisensor-technology.html>, (9.2020.).
- [19] <http://isoconsultantpune.com/measurement-system-analysis>, (9.2020.).
- [20] D. Flack, Measurement Good Practice Guide No. 41, *CMM measurement strategies*, ISSN 1368-6550, National Physical Laboratory, (2014).
- [21] F. Zhao, X. Xu, S.Q. Xie, *Computer-Aided Inspection Planning - The state of the art*, Computers in Industry 60 453–466 (2009).
- [22] H. A. ElMaraghy, W. H. ElMaraghy, *Computer-Aided Inspection Planning (CAIP)*, in: J.J. Shah et al. (Eds.), *Advances in Feature Based Manufacturing*, Elsevier, pp. 363–396 (1994).
- [23] Whitehouse, D., *Surfaces and Their Measurement*, London: Hermes Penton Ltd, (2002).
- [24] K.-D. Kim, S.-C. Chung, *Synthesis of the measurement system on the machine tool*, International Journal of Production Research 39 (2001).
- [25] <http://www.renishaw.com/en/lp2-modular-probe-system-6750>, (9.2020.).
- [26] <http://www.qualitymag.com/articles/93037-laser-calibration-at-the-speed-of-light-comparatively-speaking>, (децембар 2016).
- [27] Y. Zhao, *An Integrated Process Planning System for Machining and Inspection*, Chemical and Process Engineering, University of Auckland, (2009).
- [28] <https://calvaryrobotics.com/author/user/page/3>, (9.2020.).
- [29] N. P. Juster, L. H. Hsu, A. D. Pennington, *The selection of surfaces for inspection planning*, in: J.J. Shah et al. (Eds.), *Advances in Feature Based Manufacturing*, (1994).
- [30] M. W. Cho, K. Kim, *New inspection planning strategy for sculptured surfaces using coordinate measuring machine*, International Journal of Production Research 33 (22) (1995).
- [31] G. Lukacs, J. Lockhart, M. Facello, *Non-contact whole-part inspection*, Geomagic, Inc. (2011).
- [32] Beckwith T., R.D. Marangoni: *Mechanical Measurements*, Addison Wesley, ISBN 0-201-56947-7
- [33] Bosch J.A.: *Coordinate Measuring Machines*, Marcel Dekker, ISBN 0824795814
- [34] Voelcker, H. B., C. U. S. S. O. Mechanical and A. Engineering (1993). *A Current Perspective on Tolerancing and Metrology*, Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University.
- [35] Voelcker, H. B. (1998). "The current state of affairs in dimensional tolerancing: 1997." *Integrated Manufacturing Systems* 9(4): 205-217.
- [36] Shah, J. J., G. Ameta, Z. Shen and J. Davidson (2007). "Navigating the tolerance analysis maze." *Computer-Aided Design and Applications* 4705-718.