

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 380/2016

Никола В. Радуновић

**Мерење и контрола као елемент савременог обрадног
система**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај мастер рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

380/2016 Никола Радуновић

Потпис



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Никола Радуновић**

Број индекса: **380/2016**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Мерење и контрола као елемент савременог обрадног система**

Задатак: У оквиру мастер рада потребно је да кандидат прикупи и изврши систематизацију података о елементима обрадног система са акцентом на системе за мерење и контролу. Потребно је описати мерне и контролне алате и савремене мерне системе. У посебном делу рада је потребно описати и дати примере примене појединих мерних и контролних алата и система.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Мерни и контролни систем као део обрадног система,
3. Мерни и контролни алати,
4. Савремени мерни системи,
5. Примери примене система за мерење и контролу,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 15.05.2019.

Резиме рада:

У раду су описани мерни и контролни алати и савремени мерни системи као елементи савременог обрадног система. Системи за мерење и контролу су кључни елементи савремених обрадних система и данас су интегрисани у обрадне системе. У првом делу рада су систематизовани и описани мерни и контролни алати, а затим су приказани савремени мерни системи интегрисани у обрадне системе и на крају су дате информације о савременим мерним машинама и њиховој улози и значају код савремених обрадних система. На крају рада су приказани резултати мерења применом класичних мерних алата и резултати мерења истих делова на координатној мерној машини.

Кључне речи: Обрадни систем, мерни алати, контролни алати, мерни системи, координатна мерна машина.

Summary of work

The work seeks to describe measuring and control tools and modern measuring system as the key elements of the modern processing system. Measurement and control systems are the key elements of modern processing system and today they are integrated into processing system. In the first part of the work, measuring and control tools are systematized and described, then modern measuring systems are integrated into the processing systems, and finally information on modern measuring machines and their role and importance in modern processing systems is given.

At the end of the work, the results of measurements using classical measuring tools and the results of measuring the same parts on a coordinate measuring machine are presented.

Key words: Modern processing system, measuring tools, control tools, measuring systems, applications of measuring and control systems.

Садржај

1. Уводна разматрања.....	7
2. Мерни и контролни системи као део обрадног система.....	10
2.1. Мерни системи.....	11
2.2. Енкодери.....	17
2.2.1. Апсолутни енкодери.....	17
2.2.2. Инкрементални енкодери.....	18
2.3. Сензорска техника.....	18
2.3.1. Фотоелектрични и оптички сензори.....	18
2.3.2. Сензори за визуелно препознавање.....	19
2.3.3. Систем контроле квалитета израде производа.....	19
3. Мерни и контролни алати.....	21
3.1. Мерне методе.....	22
3.2. Грешке у производном процесу.....	23
3.3. Мерни инструменти.....	24
3.4. Мерила за мерење и контролу дужине – гранична мерила.....	26
3.5. Толеранцијска мерила.....	27
3.6. Лењири.....	28
3.7. Мерила са нонијусом.....	29
3.8. Микрометри.....	30
3.8.1. Микрометри за спољашње мерење.....	30
3.8.2. Микрометри за унутрашња мерења.....	31
3.9. Компаратори.....	32
3.10. Мерење и контрола углова.....	34
3.11. Мерење и контрола параметра навоја.....	37
3.12. Мерење и контрола зупчаника.....	39
4. Савремени мерни системи.....	41
4.1. Примена ласера у мерењу.....	42
4.2. Процедуре аутофокуса за линеарна мерења.....	42
4.3. Интерферометрија.....	44

4.4. Ласерски скенери.....	45
4.5. Координатна метрологија.....	46
4.5.1. Принципи координатне метрологије.....	46
4.5.2. Координатне мерне машине.....	47
4.5.3. Типови координатних машина.....	48
4.5.4. Софтвер за координатне мерне машине.....	49
4.6. Интегрирање CAD података.....	49
4.6.1. Мерење на координатној мерној машини.....	50
4.6.2. Примена координатне метрологије.....	52
5. Примери примене система за мерење и контролу.....	53
5.1. Мерни систем BALLBAR QC10.....	53
5.2. Извођење BALLBAR QC10 теста.....	54
5.3. Анализа резултата тестирања X i Z- равни.....	55
5.4. Ласерски систем ML 10 златни стандард.....	55
5.5. Извођење ласерског теста и калибрације на CNC машини.....	56
5.6. Оптималан начин употребе система за контролу тачности CNC –машина.....	57
6. Мерење мерним и контролним алатима и координатном мерном машином.....	58
7. Закључак.....	75
8. Литература.....	76

1. Уводна разматрања

Наука о мерењу или метрологија је специјализовани део појединих природних и техничких наука које се бави методама мерења физичких величина, развојем и израдом мерних уређаја, чувањем и репродукцијом мерних јединица и свих осталих активности које омогућавају усавршавањем мерних поступака.

Мерење представља скуп активности чији је циљ добијање вредности мерене 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 високоразвијеним земљама (USA и EU) се за процесе мерења потроши 6% бруто националног дохотка.

Индустријска производња захтева честа мерења. У техничкој дијагностици се врше мерења у циљу утврђивања стања техничких система. Контрола и мерење се врше у сврху аутоматског управљања процесима. Систематска мерења са познатим степеном несигурности представљају основ управљања квалитетом. У савременој индустријској производњи мерења чине 1015% укупних трошкова производње.

Огроман напредак технике и техничких наука захтевао је и одговарајући развој метода мерења и инструмената које се користе за мерење.

Место и улога мерења и контроле 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, NUMA), повећана је тачност, комплексност и флексибилност обрађених делова. Улога контроле је овде била не само да идентификује геометријску тачност обрађеног дела већ и параметер за управљање обрадним процесом, подешавање алата. Број параметра обраде и квалитета који улази у међусобну корелацију се повећава. Развој NUMA, 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

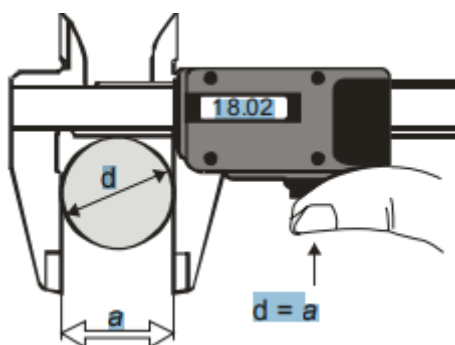
облика, проблем је и повезивање метролошких база, што има директног утицаја на тачност добијених резултата.

Посебан допринос истраживању и развоју NUMM су имала два догађаја. 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, отпочињањем развоја NUMM. Данас, две и по деценије од њиховог настанка, за NUMM можемо рећи да је период њихове инкубације у индустрији завршен, а отпочео процес њихове интензивне дифузије.

Код мерних система нека физичка величина, параметар или особина се мери и измерена вредност се приказује. Код контролних система информација о физичкој величини, параметру или особини, која се мери, користи се за контролу те физичке величине, параметра или особине, тако да измерена вредност буде једнака (у границама толеранције) некој жељеној вредности. Измерена вредност може али и не мора да се приказује.

У поступку израде производа или одвијања процеса врши се мерење са циљем да се добију карактеристике производа или процеса онакве какве су нацртане у документацији или прописане за одвијање процеса. Такође, мерење се врши у току израде производа да би се провериле техничко-технолошке могућности производног процеса.

Мерење је експериментално одређивање нумеричке вредности неке физичке величине. Вредност се оčitава на индикаторској јединици мерног прибора (слика 1). На слици 1 очитана измерена вредност је $d = a = 18.02$ мм.



Слика 1. Илустрација поступка мерења

Контрола је поступак којим се изводи провера да ли се контролисана димензија (величина) налази унутар прописаних граница толеранције (максималног и минималног одступања). Вредност контролисане величине је одређена атрибутима:

- у границама,
- изнад горње границе и
- испод доње границе.

На основу резултата контроле делови се разврставају на усаглашене (у границама) и неусаглашене (ван граница). Неусаглашени делови се могу дорадити ако

је контролисана димензија изнад горње границе код спољашње, односно испод доње границе код унутрашње димензије.

У другом поглављу овог рада описани су мерни системи интегрисани у обрадне системе. Описом нових генерација метролошких система настојао сам указати на њихову повезаност и условљеност развојем обрадних система и рачунарске технологије.

У трећем поглављу дата је детаљна систематизација мерних и контролних алата, при чему сам најпре настојао указати на специфичности поступака мерења и контроле, а потом и на одговарајуће алате које користимо у оквиру ових поступака.

Четврти део овог рада је посвећен савременим мерним системима са посебним акцентом на ласерске мерне системе и координатне мерне машине које предњаче како у својој технолошкој ефикасности тако и заступљености у односу на остале.

Пети део рада представља примере примене система за мерење и контролу на примеру мерног система Ballbar QC10 и ласерског система ML10 gold Стандард.

Шести део представља експеримент који предвиђа мерење мерним и контролним алатима и координатном мерном машином. Предмете експеримента је било поређење измерених вредности мерним и контролним алатима на такмичењу металских радника и резултата мерења добијених применом савремене координатне мерне машине. У ту сврху коришћена је мерна машина Micro Hite 3D TESA, хексагонална машина.

2. Мерни системи интегрисани у обрадне системе

Историјски посматрано, мерење и контрола су представљали уско грло производње. То је посебно долазило до изражаја када се у технолошке системе уводила нова производна опрема, или се повећавала комплексност производа. Развој обрадних система као и рачунарске технологије били су од пресудног утицаја за развој нових генерација метролошких система заснованих на елементима флексибилне аутоматизације.

Истраживање и развој аутоматизованих фабрика су довели до пете технолошке револуције, при чему је прва технолошка револуција започела проналаском парне машине. Аутоматизоване фабрике су погони, где су рачунарима подржане машине, комуникајски интегрисане на бази дистрибуираног управљања свим фазама пословно-производног процеса (истраживање и развој, планирање производње, пројектовање, припрема производње, производња, монтажа, тестирање и контрола, одржавање, набавка и продаја).

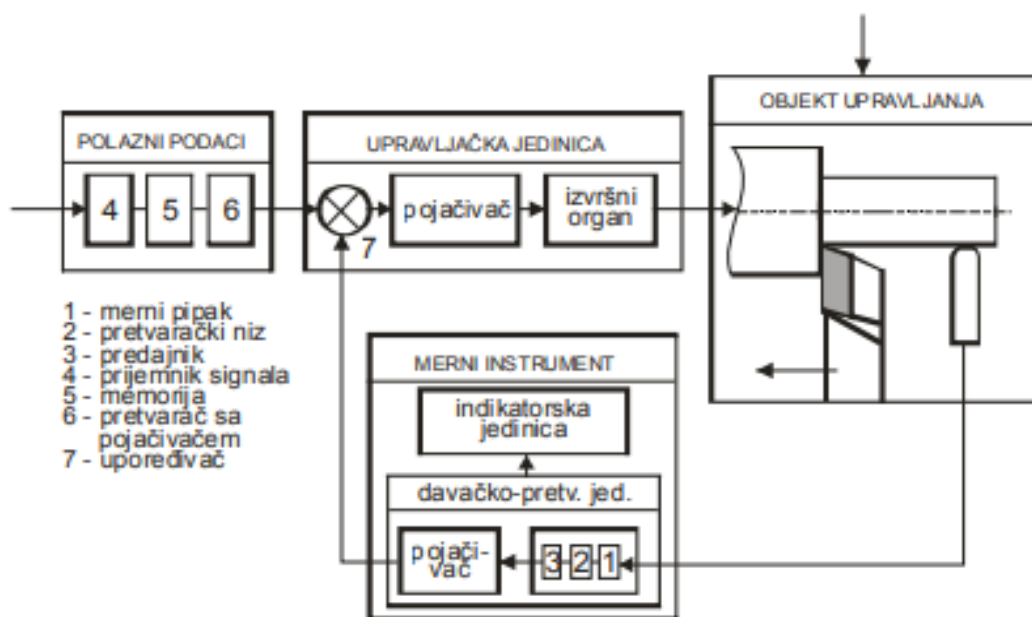
Аутоматизоване фабрике нису фикција инжењера и истраживача, већ непосредна реална будућност. Према америчким истраживањима "пилот" аутоматизована фабрика садржи следеће хардверске и софтверске компоненте пројектовање производа (CAD) - инжењерске анализе и синтезе (CAE), цртање садимензионисањем (CADD), планирање процеса (CAPP), и нумеричко програмирање и управљање (NC), групну технологију (GT), производњу подржану рачунаром (CAM) - CNC и DNC машине алатке, аутоматска монтажа (AA), аутоматска контрола (NCMM) и тестирање, аутоматизована манипулација и транспорт материјала помоћног материјала алата и мерних сензора - аутоматизовани систем за складиштење и претраживање (AC/PC), аутоматски вођена колица (AGV), и аутоматска идентификација (BC), роботика и роботизација, планирање и управљање производњом (PC), планирање производних ресурса, дистрибуирано планирање (DPR), системи за доношење одлука, управљање погоном и симулације, и компјутерска технологија - хардвер, софтвер, системи за управљање базама података, рачунарске мреже (LAN, WAN и ILAN), комуникациони софтвер, аутоматизација канцеларија и комуникациони протоколи. [6]

Метролошки процеси у класичним технолошким системима изводе се према захтевима дискретног процеса производње, док се код нових генерација ових система тај процес изводи као континуални модел мерења. Наиме, основни истраживачки напори у области производне метрологије, за област квалитета конформности, чине се данас на интеграцији процеса обраде и мерења, на бази различитих облика хардверске и софтверске подршке. Производно метролошки системи за аутоматизовано или аутоматско мерење могу се класификовати по различитим критеријумима:

- Методу мерења,
- Месту употребе у технолошком процесу,
- Принципу рада и другима.

Према задњем критеријуму они се могу поделити на: аналогне мерне системе, дигиталне мерне системе, пнеуматске мерне системе и ласерске мерне системе. Код свих класа нових генерација метролошких система могу се идентификовати следећи елементи њихове структуре: претварачка јединице (сензори свих типова и врста), преносно претварачке јединице, показивачко-индикаторске јединице, софтверска подршка и интерфејси.

Мерни системи су скуп техничких уређаја и/или инструмената међусобно повезаних у једну конструктивну и функционалну целину (слика 2). Систем се повезује са објектом мерења, контроле, анализе, управљања, истраживања или другим објектима ради генерисања, претварања, меморисања, приказивање или коришћења мерних резултата и информација (мерних сигнала) за одговарајуће намене.



Слика 2. Ток информација за обезбеђење квалитета израде производа применом активног мерног система

Мерни или метролошки системи највише класе тачности су флексибилни метролошки системи као што су флексибилни метролошки модули, ћелије, центри, станице и информациони метролошки системи, рачунаром интегрисани системи. Основу градње флексибилних мерних система чине нумерички управљане мерне машине и мерноконтролни роботи.

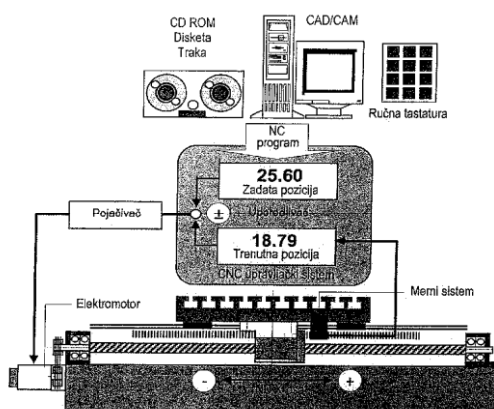
Контролни системи су уређаји са низом функционално повезаних мерних средстава и помоћних прибора намењених мерењу и контроли објеката сложене конфигурације (блокови мотора, коленаста вратила, итд.)[2].

2.1. Мерни системи

Сигнали мерних система и сензора се користе као улази рачунарско управљачких система, на основу којих се реализује управљачки алгоритам кроз извршавање апликативног програма. Данас у свету постоји велики број произвођача

мерних система и сензора свих врста, димензија и конструкцијских решења (Omron, Balluff, Simens, Allen и др.). Код система флексибилне аутоматизације је најважније правилно одредити мерни систем, који ће задовољити функционалне захтеве обрадног центра или роботског система, или оптимално дефинисати сензор који ће адекватно реаговати на промену стања у технолошком процесу.

Ови системи на обрадним центрима се уграђују на модуле који изводе главна или помоћна кретања, тако да свака NC-оса поред сопственог погонског система и система за вођење има и сопствени мерни систем, који служи за директно или индиректно мерење положаја алата у односу на обрадак током обрадног процеса. Интегрисан мерни систем на обрадним центрима, омогућује повратну спрегу затвореног система NC управљања релативним кретањем алата у односу на обрадак, што омогућава израду машинских делова високе тачности и високог квалитета обрађене површине[1].



Слика 3. Мерни систем у затвореном циклусу CNC управљања

Мерење позиције алата током обрадног процеса, може бити директно или индиректно па аналогно начину мерења постоји директни и индиректни мерни систем.

Директни мерни систем је тако постављен да се померањем покретног модула директно помера и мерни лењир или читач мерног система и тако очитава тренутна позиција.

Директним мерним системом мери се положај покретног дела у односу на непокретни део машине без икаквог посредника, чиме се одбацују грешке посредних елемената. Директни систем мерења пута, тј. положаја или позиције нумерички управљане осе, остварује се помоћу мерне летве и мерне главе где је мерна глава причвршћена на непокретни или покретни део клизача.

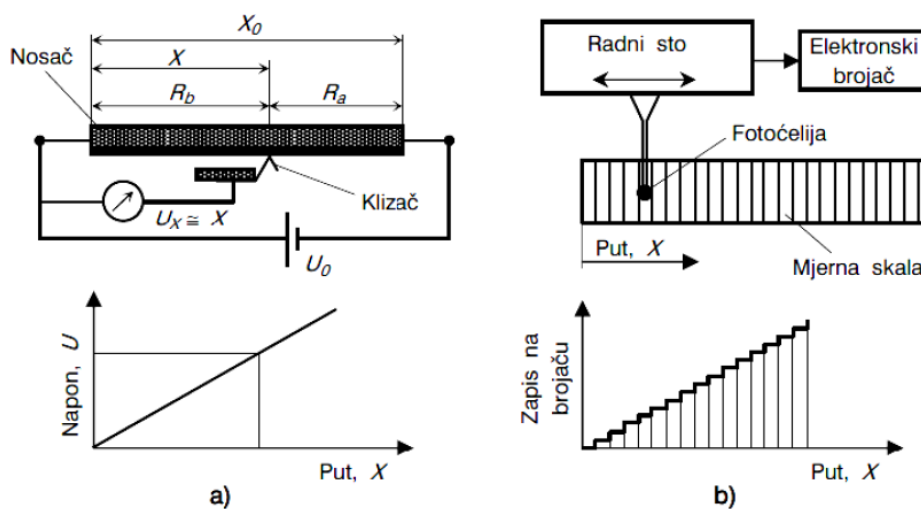
Индиректни мерни систем се поставља на вратилу електромотора или на кугличном завојном вретену, па се на индиректан начин мерењем обртног кретања вретена одређује позиција линеарног кретања покретног модула.

Индиректни мерни систем се остварује кружном мерном скалом израђеној на диску смештеном на крају кугличног навојног вретена или у кућишту електромотора. Овај систем, за разлику од директног, не обухвата евентуалне негативне појаве на кугличном вретену као што су:

- Грешке корака;
- Недовољно предоптерећење;
- Појава зазора између навртке и вретена;
- Увијање вретена, итд.

Мерни системи се користе за мерење како линеарних тако и ротационих кретања на обрадним центрима, с тим што се за линеарна мерења као директни мерни систем користе мерни лењери, а за мерење ротационих се користе ротациони мерни системи. Према начину активизације мерног сигнала, мерни системи могу бити аналогни и дигитални.

Шематски приказ аналогног и дигиталног мерног система приказан је на слици 4. Главна карактеристика аналогног мерења је могућност мерења вредности X у оквиру дефинисане области мерења X_0 . Мерењем напона на потенциометру директно се може мерити пређени пут. Скала потенциометра може бити гравирана и тако да показује директну величину пређеног пута. Тело аналогног уређаја за мерење пређеног пута, слика 4а), израђено је од изолационог материјала. На његовој површини, по којој клизи клизач, је утиснута прецизно жица, или је ова површина превучена танким филмом који проводи електричну струју. На овај начин је остварено коло приказано на слици. Велики недостатак ових система је неотпорност на претерано експлоатисање. У великој мери на њега утиче течност, прљавштина, као и други утицаји из околине.

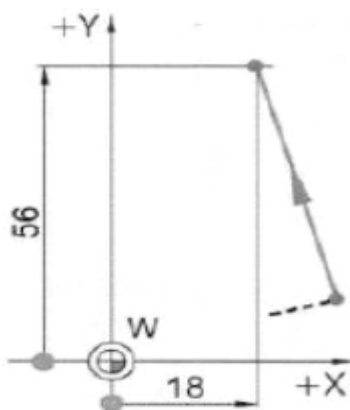


Слика 4. Аналогни и дигитални мерни системи

Дигитални мерни систем, слика 4б), се састоји од мерне скале и посебног читача. Пређени пут се на мерној скали прати помоћу читача и његова величина се региструје на бројачу. Код дигиталних мерних система, мерна скала је подељена на одговарајући број делова, где се укупно померање добија сабирањем укупног целог броја делова. Величина дела помоћу кога се врши читавање директно утиче на тачност читавања пређеног пута и износи 10 до 20 μ m. Према слици 4б) пређени пут се директно читава помоћу фотоћелије, очитана вредност се обрађује уз помоћ електронског бројача, па се измерене вредности тренутно приказују. Дигитални мерни системи су дисконтинуални у погледу праћења мерне величине, за разлику од аналогних, где је ово праћење континуално.

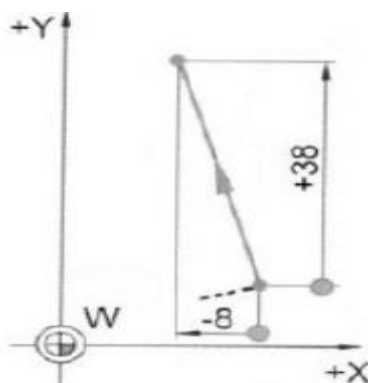
Принцип идентификације величина померања покретног модула у односу на непокретни модул кретањем из једне у другу, који се примењује у мерним системима, може бити инкрементални и апсолутни, тако да у зависности од метода идентификације растојања, постоје инкрементални и апсолутни мерни систем[3].

У апсолутном мерном систему координате појединих тачака означавају удаљеност тих тачака од исходишта (тачка W). Предзнак (-) или (+) одређује квадрант у којем се тачка налази. На слици види се да је циљна тачка удаљена од исходишта координатног система у смеру осе X за 18 mm, а у смеру осе Y за 56 mm. Предност програмирања у апсолутном мерном систему је могућност измене једног дела програма, а да се не мора мењати други део програма.



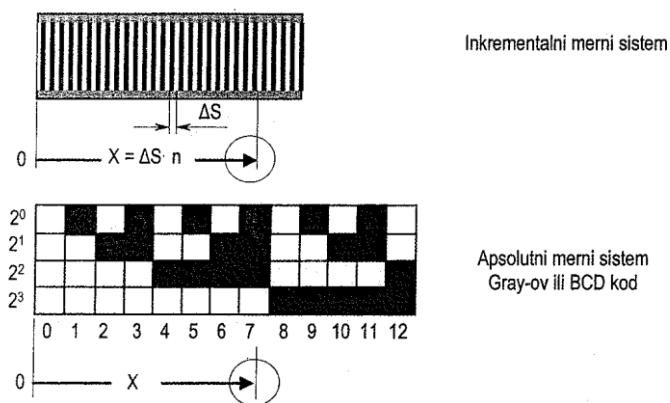
Слика 5. Апсолутни мерни систем

У инкременталном мерном систему координате следеће тачке се задају у односу на координате предходне тачке и по вредности и по предзнаку (може се рећи да се задаје вредност помака алата у смеру појединих оса). На слици циљна тачка је удаљена од почетне у смеру осе X за -8 mm, а у смеру осе Y за +38 mm.



Слика 6. Инкрементални мерни систем

Код инкременталног мерног система, растојање се идентификује кроз бројање инкрементената одређене величине (ΔC) чему се дужина инкремента множи са бројем инкремената (n) и тако добија мерена величина (X). Код апсолутног мерног система, мерни диск или мерни лењир је урађен са вишеканалном скалом са Gray-ов или BCD кодом, да се очитава апсолутна вредност позиције са мерног лењира на оваком месту у коме се нађе покретни модул обрадног центра са чистачем.

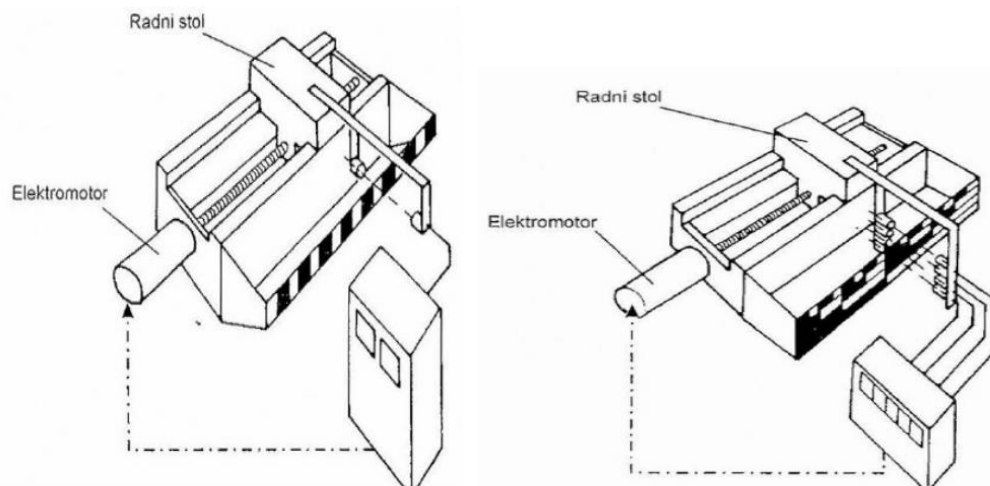


Слика 7. Функционални принцип инкременталног и апсолутног мерног система

На машини се могу користити оба мерна система, као и комбинација поменута два система. Један од недостатака при инкременталном програмирању је у томе, да ако се направи нека грешка у програму, од тог тренутка па надаље, све остале димензије ће бити погрешно дефинисане.

Код програмирања у апсолутном систему овај недостатак не постоји, јер ће се већ код следећег исправног дефинисања тачке, ова грешка елиминисати. Због овога се препоручује да се при програмирању увек ради у апсолутном систему. Окретањем кључа и укључењем машине, она долази у побуђено стање са следећим карактеристикама:

- Побуђена је у инкременталном мерном систему;
- Припремљена је за ручно управљање;
- Помак је дефинисан у mm/min;
- Све мере које се задају морају се писати у стотим деловима mm.

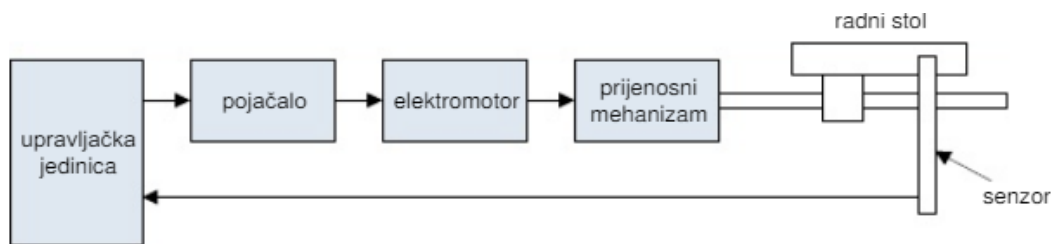


Слика 8. Инкрементални и апсолутни мерни систем

Према начину управљања мерни системи деле се на :

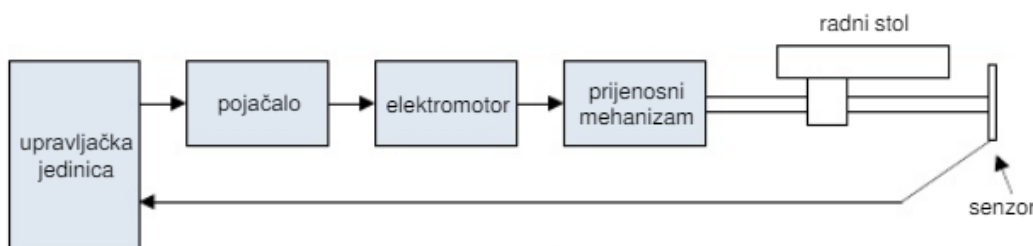
- Затворене,
- Полузатворене,
- Квазизатворене и
- Отворене.

Затворени мерни систем своју функцију обавља преко погонског електромотора и преносног механизма а повратна веза се обавља преко сензора за линеарно позиционирање (линеарни мерни систем). Главни недостатак затвореног система је временски помак између улазног и излазног сигнала и динамичка нестабилност.



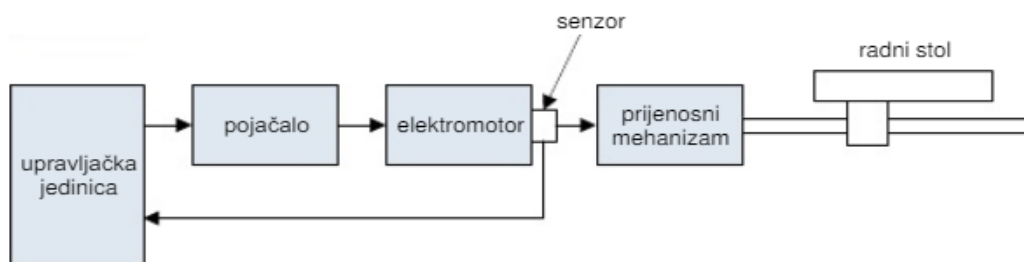
Слика 9. Затворени мерни систем

Полузатворени систем, за разлику од затвореног, има ротацијски мерни сензор за угаоно позиционирање. Овде се помак алата, тј. помак нумерички управљане осе одређује преко угаоног заокрета навојног вретена (ротацијски мерни систем). Код овог мерног система јављају се грешке везане уз тачност и температуру навојног вретена због индиректног начина мерења, али полузатворени систем је зато јефтинији од затвореног.



Слика 10. Полузатворени мерни систем

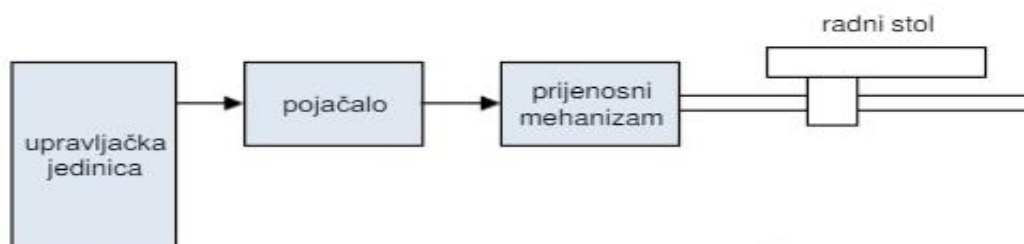
Квазизатворени мерни систем је функционално је једнак полузатвореном систему, само се ротацијски мерни сензор не налази на крају навојног вретена него на прогонском електромотору, чиме се смањује утицај вибрација на тачност.[5]



Слика 11. Квазизатворени мерни систем

Код **отвореног** мерног система, програмска трака је носилац програмских информација које се уносе у одређене регистре за памћење одакле се информације распоређују према одговарајућим адресама:

- Информације укључивања – шаљу се на извршне јединице (моторе);
- Информације пута – позиције нумерички управљане осе се упућују у интерполатор - дискриминатор.



Слика 12. Отворени мерни систем

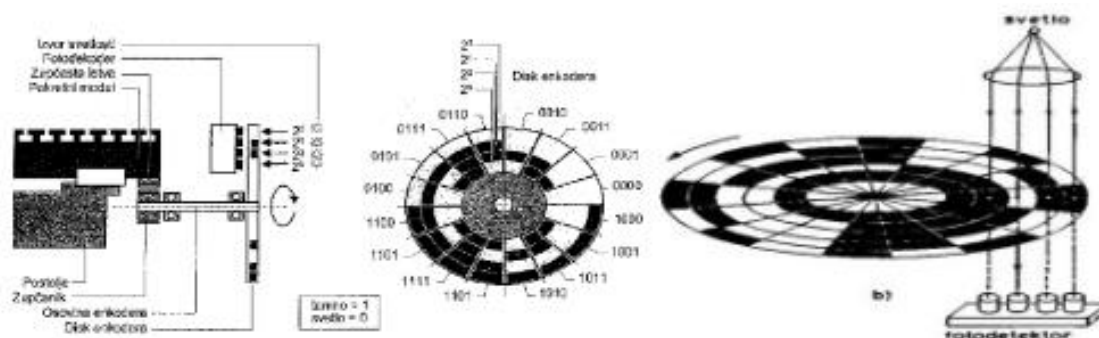
2.2. Енкодери

Енкодери су мерни системи који представљају нову генерацију мерних инструмената и служе првенствено за мерење линеарних и кружних кретања на обрадним центрима, роботским системима и другим машинским системима код којих је неопходно мерење растојања и брзине при кретању покретних модула. Постоје енкодери за мерење углова – кружних померања и енкодери за мерење дужине – у случају транслаторних кретања. Оба типа енкодера могу бити са апсолутним и инкременталним принципом мерења.

2.2.1. Апсолутни енкодери

Апсолутни енкодери за мерење кружног кретања састоје се од статора и обртног диска, који имају кодиране угаоне вредности у виду различитих комбинација прореза – сегмената на концентричним стазама распоређених од периферије према центру. Ако апсолутни енкодер има осам канала он ће идентификовати 256 различитих позиција. Извор светлости делује на сваки концентрични канал и при померању обртног диска у односу на референтни положај, ствара се импулс на фотодекодеру према Gray-ов или BCD коду, који одговара углу заокретања. Прецизност мерења је у зависности од резолуције енкодера.

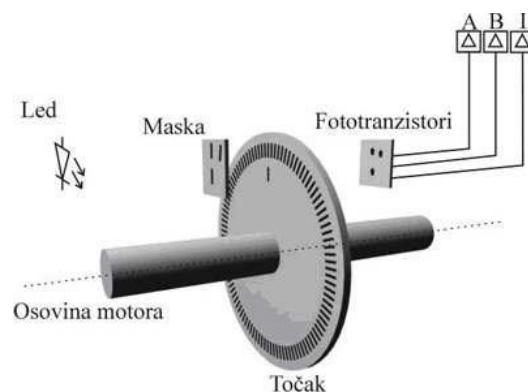
Постоје такође и апсолутни енкодери за мерење линеарног кретања.



Слика 13. Функционални принцип апсолутног четворобитног енкодера за мерење угла

2.2.2. Инкрементални енкодери

Инкрементални енкодери за мерење кружног кретања се разликују од апсолутних углавном по принципу идентификације угаоне мерне величине. Инкрементални енкодери имају обртни диск са две кружне инкременталне скале на ободу. Те две скале представљају и два канала фазно померена за угао, и то једна скала канал А и други канал В. Број инкремената може бити различит, при чему већи број инкремената обезбеђује већу резолуцију. Читач са светлосним и фотодекодером ствара напонске линије на оба канала, при чему сваки импулс представља један угаони инкремент обртног диска. У зависности од класе тачности резолуција инкременталног енкодера може бити у интервал 250-2500 импулса по окретању. Бројањем инкремената се идентификује величина кружног кретања које изводи обртни модул[5].



Слика 14. Инкрементални енкодер за мерење угаоног кретања

Постоје такође и инкрементални енкодери за мерење линеарног кретања.

2.3. Сензорска техника

Сензори су елементи који служе за добијање сигнала као носилаца информације о стању у флексибилном технолошком систему, у коме је аутоматизован управљачки систем. Информације о одређеном догађају у систему се генеришу мерењем карактеристичних физичких величина и идентификациом одређених стања, која карактеришу технолошки процес. Сензори могу бити изведени као давачи примарни осетљиви елементи који претварају физичку величину у неку другу која је погоднија за мерење, трансјусери – који претварају идентификациону физичку величину у електрични сигнал и трансмитери – мерни претварачи, који претварају физичку величину у стандардни сигнал.

2.3.1 Фотоелектрични и оптички сензори

Фотоелектрични сензори се примењују у случају када треба детектовати неки објект у одређеној зони технолошког система. Ови сензори имају предајник као светлосни извор, емитује светлосни сноп усмерен кроз одређени простор и пријемник који га детектује.

2.3.2 Сензори за визуелно препознавање

Сензори за визуелно препознавање или “висион” системи примењују се за визуелну контролу у технолошком процесу ФТС-а. Користе се најчешће за препознавање обрадака из исте фамилије делова који се истовремено обрађују у ФТС-у, како би се систем управљања прилагодио технолошким спецификацијама сваког конкретног обратка.

2.3.3 Систем контроле квалитета израде производа

Контрола је поступак којим се изводи провера да ли се контролисана димензија (величина) налази унутар прописаних граница толеранције (максималног и минималног одступања). Према стандардима система управљања квалитетом серије ISO 9001: 2001 (стандардима QMS) техничка контрола квалитета израде производа (мерење, контролисање и испитивање) обухвата, између осталог, и контролу:

- квалитета израде производа и
- способности технолошких процеса и производне опреме.

Контрола квалитета израде производа је провера степена блискости - “поклапања” показатеља квалитета израде са захтевима дефинисаним конструктивно – технолошком документацијом.

Контрола способности технолошких процеса (производне опреме) подразумева идентификовање:

- индекса потенцијала (прецизности) $C_p = \frac{T}{T_p} \geq 1,33$
- индекса способности (тачности) $C_{pk} = \frac{2 \cdot \Delta}{T_p} \geq 1,33$

где су (слика16):

- $T = X_g - X_d$, mm - конструктивном документацијом прописана толеранција израде;
- $T_p = 6 \sigma$, mm - природна толеранција која се обезбеђује датим процесом израде;
- σ , mm - стандардна девијација расипања резултата вишеструко поновљене процедуре мерења посматране димензије:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

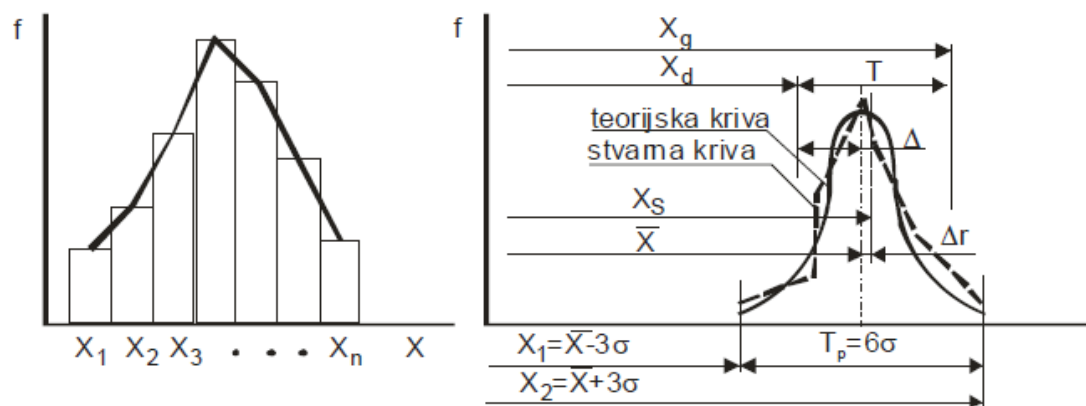
$\bar{X}$, mm - средња аритметична вредност резултата мерења

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i$$

X_i , mm - вредности појединачних мерења, n - број мерења, Δ , mm - минимално растојање средње аритметичке вредности резултата мерења играница спецификације (X_d , X_g), $\Delta_g = X_g - X_s$, mm - величина подешавања, X_s , mm средина толерантног поља:

$$X_s = \frac{X_g - X_d}{2}$$

Контрола способности, очигледно, представља контролу: тачности и стабилности технолошких процеса, према унапред утврђеним критеријумима.



Слика 15. Илустрација поступка контроле способности процеса

Основни структурни елементи система квалитета у области испитивања, контролисања и проверавања квалитета (техничке контроле квалитета), према стандардима система управљања квалитетом су: функција квалитета у производњи, контрола производње и верификација квалитета производа (класична контрола квалитета производа: улазна или пријемна, међуфазна или операцијска и завршна контрола)[3].

3. Мерни и контролни алати

Развој и примена флексибилних технолошких система (ФТС) су изменили и улогу контроле у управљању квалитетом њима. У класичним технолошким системима, контрола дела се врши након обраде, при чему он може бити метролошки прихватљив, одбијен или пак враћен на дораду. Технике узорковања примењују се при контроли серијске и масовне производње.

Код ФТС контрола се интегрише са обрадним процесом, реализацијом корак по корак, при чему се добијају следеће карактеристике производње и квалитета у ФТС-у повећање оперативне флексибилности, коегзистентан квалитет дела, елиминација додатних трошкова без обзира на величину серије, смањење помоћних трошкова и аутоматске операције контроле смањују трошкове радне снаге и повећавају расположивост, рада система у више смена[2].

Мерење је скуп радњи извршених са циљем одређивања вредности једне величине. Обавља се мерним средствима која се деле према:

- врсти мерене величине,
- намени,
- класи тачности мерила,
- мерном опсегу и
- типу мерила.

Контрола мере се врши помоћу контролних мерила, тако што се врши упоређивање једне или више величина истовремено са другом величином исте врсте. Контролом се утврђује одступање мерне величине од утврђене вредности.

Тачност мерења је релативан показатељ квалитета производа који показује да се тачнијим мерењем приближавамо стварној вредности мерене величине. Узроци који доводе до грешака су:

- грешке које изазивају средства рада, машине, алати, прибори и уређаји,
- грешке које изазива метролошки кадар,
- грешке које изазивају мерна средства и мерне методе,
- грешке које изазивају услови и организација рада које одређују пројектована технологија производног и метролошког процеса.

Параметри који одређују остварени квалитет производа, чије се вредности утврђују мерењима а на које делују узроци грешака, одређени су:

1. тачношћу израде задатих димензија производа у процесу обраде;
2. тачношћу геометријског облика обрађених површина;
3. тачношћу геометријских односа обрађених површина;
4. квалитетом обрађених површина.

Да би се ови параметри могли контролисати, потребно је обезбедити одговарајућа мерна средства, са метролошким могућностима сагласним потребама. Утврђивање исправности свих врста мерила је уређено Законом о мерним

јединицама и мерилима које у име државе извршава Савезни завод за мере и драгоцене метале са другим од њега овлашћеним лабораторијама. Преглед мерила према наредби о обавезном прегледу мерила може бити:

- први преглед (за сва мерила која изађу из производње и која се увозе),
- периодични преглед (за сва мерила се прописује када морају на преглед),
- ванредни преглед (када се укаже потреба или на захтев корисника).

Мерни инструмент је техничко средство, намењено за мерење одређене величине, и може бити у облику:

- материјализоване мере и
- мерног уређаја.

Материјализована мера је мерни инструмент који на сталан начин, у току употребе, репродукује једну или више познатих вредности дате величине.

Средства мерења и контроле или мерила (опрема за мерење, контролисање и испитивање према QMS - стандардима) представљају техничке уређаје намењене формирању мерне информације о извршеним мерењима и контролама.

Према намени мерила се деле на: еталоне, мерке, контролнике или толеранцијска мерила, универзална мерна средства, мерна средства специјалне намене, контролне уређаје (полуаутомате и аутомате) и мерне системе.

Мерни уређај је мерни инструмент који може да трансформише мерену величину у неку другу вредност која је везана за мерену величину, и покаже је еквивалентном информацијом. Зависно од конструкције мерни уређај може да:

- директно показује вредност мерене величине,
- да показује да је вредност мерене величине једнака познатој вредности,
- да показује разлику између мерене величине и познате вредности те величине (компаратор за мерење дужине).

За мерење било које величине, осим мерног инструмента, потребно је познавање методе упоређивања величина примењене у мерењима. Разноврсност величина и потреба за њиховим прецизнијим мерењем условили су развој великог броја мерних метода и мерила високе класе тачности. Према принципу рада и начину показивања мерене величине, мерни инструменти се деле на:

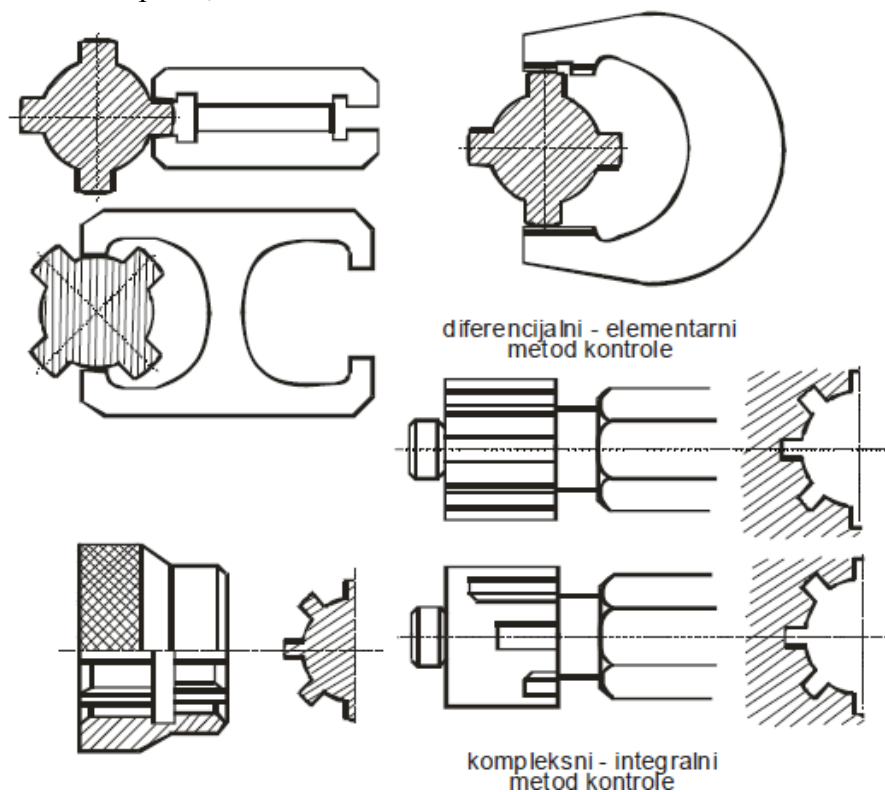
- показне и
- интеграторске.

Показни мерни инструменти одмах показују вредност мерене величине. То су, на пример, амперметри, волтметри, манометри, мерила са нонијусом.

3.1. Мерне методе

Мерна метода представља начин упоређивања величина примене у мерењима. Према начину мерења и односу мерног средства и предмета мерења мерна метода може бити:

- директна метода мерења (ова метода омогућује да се вредност мерене величине добије директно, без допунског прорачунавања заснованог на функционалној зависности величине која се мери од других мерних величина);
- индиректна метода мерења (ово је посредна метода у којој се вредност мерене величине добија мерењем других величина директним методама, а које су са величином која се мери везане одређеном познатом релацијом);
- метода компаративног мерења (заснива се на поређењу вредности величине која се мери са познатом вредношћу исте величине);
- метода скретања (своди се на мерење поређењем, при чему се вредност величине која се мери одређује према скретању – отклону показне направе);
- основна (апсолутна) метода мерења (заснива се на мерењу основних величина које дефинишу мерену величину);
- метода комбинованог мерења у затвореним серијама;
- мерење методом супституције;
- диференцијална метода мерења;
- мерење методом коинциденције;
- нулта метода мерења;



Слика16. Шематски приказ операција контроле

3.2. Грешке у производном процесу

Сваки производни процес се може разложити на три основне фазе и то на:

- припрему производног процеса,
- производни процес и
- утврђивање оствареног квалитета производа у производном процесу.

У припрему производног процеса се углавном користе мерни инструменти, па се грешке које се јављају:

- грешке изазване мерним инструментима,
- грешке мерења,
- грешке које су узроковане машинама и средствима која учествују у припреми,
- грешке погрешног планирања и организовања производног процеса ...

У производном процесу се јављају различите грешке које се могу свести на:

- грешке при изради алатних машина и њихове похабаности услед употребе,
- грешке услед нетачности израде и похабаности алата и уређаја,
- грешке услед неусаглашености технологије са технолошким могућностима производних средстава и алата,
- грешке проузроковане неувежбаношћу радника и
- грешке проузроковане применом погрешне организације производног процеса.

У процесу утврђивања оствареног квалитета производа јављају се:

- грешке мерних инструмената
- личне грешке.

3.3. Мерни инструменти

Еталони (примарни, секундарни и радни) су мерила и мерни прибори којима се идентификује (материјализује), чува и репродукује јединица мере неке физичке величине у одговарајућем опсегу. Примарни еталон је национални еталон јединице мере и налази се у Савезном заводу за мере и драгоцене метале.

Еталонирање (calibration, etalonnage) је операција којом се, у одређеним условима, успоставља однос између вредности величина са мерном несигурношћу коју обезбеђује еталон и одговарајућа показивања мерила са придруженом мерном несигурношћу, и у другом кораку, ова информација се користи за утврђивање односа за добијање резултата мерења из овог показивања[1].

Резултат еталонирања омогућује или приписивање вредности мерене величине показивањима или одређивање корекције које треба да се примене на показвање. Подела еталона према метролошким карактеристикама и намени, еталони се могу поделити на:

- Међународни еталон;
- Национални еталон;
- Примарни еталон;
- Секундарни еталон;
- Референтни еталон;
- Радни еталон.

У еталоне спадају и референтни материјали (RM) који се користе за еталонирање, као и оверени референтни материјали (ORM).

Међународни еталон је еталон признат међународним споразумом да на међународном нивоу служи као основа за приписивање вредности одређене величине другим еталонима. На пример, међународни еталон јединице масе је тег од 1kg

направљен од легуре платине и иридијума и помоћу њега се јединица масе килограм (међународни прототип килограма) остварује по дефиницији коју је усвојила CGPM.

Национални еталон је еталон признат од стране националних власти да служи у држави као основа за додељивање вредности величине другим еталонима исте величине.

Примарни еталон је еталон који је установљен помоћу примарне референтне мерне процедуре, или као предмет, одређен договором.

Примарна референтна мерна процедура користи се за добијање резултата мерења без упућивања на други еталон исте величине циалис форум. Примарни еталони основних и изведених јединица SI остварују се по дефиницији коју усваја CGPM (Генерална конференција за тегове и мере). Правила као и начин остваривања ових еталона препоручује CIPM (Међународни комитет за мере и тегове), на предлог одговарајућег међународног Консултативног комитета, који се бави проблематиком којој припада предметна јединица. Тако је, на пример, већ у самој дефиницији јединице масе дефинисано и како се она остварује. Дефиниција јединице масе гласи: "Килограм је маса међународног еталона килограма. Међународни еталон се чува у Међународном бироу за тегове и мере у Севру." Дакле, примарни еталон јединице масе је међународни прототип килограма, направљен још 1889. године, који се чува у BIPM[4].

Маса секундарних еталона од 1 kg, од платине и иридијума или од нерђајућег челика (националних еталона), пореди се са масом прототипа помоћу вага чија тачност достиже најмање 10⁻⁸.

Међународни прототип килограма је предмет одређен договором да буде примарни еталон. Примери неких примарних еталона су:

- примарни еталон количине супстанције концентрације припремљене растварањем познате количине супстанције хемијске компоненте у познату запремину раствора,
- примарни еталон притиска који се заснива на одвојеним мерењима силе и површине, ћелија са тројном тачком воде термодинамичке температуре.

Секундарни еталон је еталон остварен помоћу еталонирања у односу на примарни еталон исте величине.

Референтни еталон је еталон који се користи рутински за еталонирање или оверавање мерила или мерних система.

Радни еталон је еталон јединице одређене величине чија су метролошка својства утврђена поређењем са секундарним еталоном, а служи за утврђивање метролошких својстава мерила или референтних материјала.

Према Закону о метрологији, еталон Републике Србије (национални еталон) је еталон који је одлуком директора Дирекције признат као основа за додељивање вредности величине другим еталонима одређене величине. То је еталон који представља реализацију дефиниције дате величине (са наведеном вредношћу величине и придруженом мерном несигурношћу) тако да служи као референца, и да је следив до:

- међународних еталона или
- националних еталона других држава са одговарајућим метролошким карактеристикама.



Слика17. Пример еталона масе и дужине

3.4. Мерила за мерење и контролу дужине - гранична мерила

Према конструктивним карактеристикама и намени, мерила дужине се деле на:

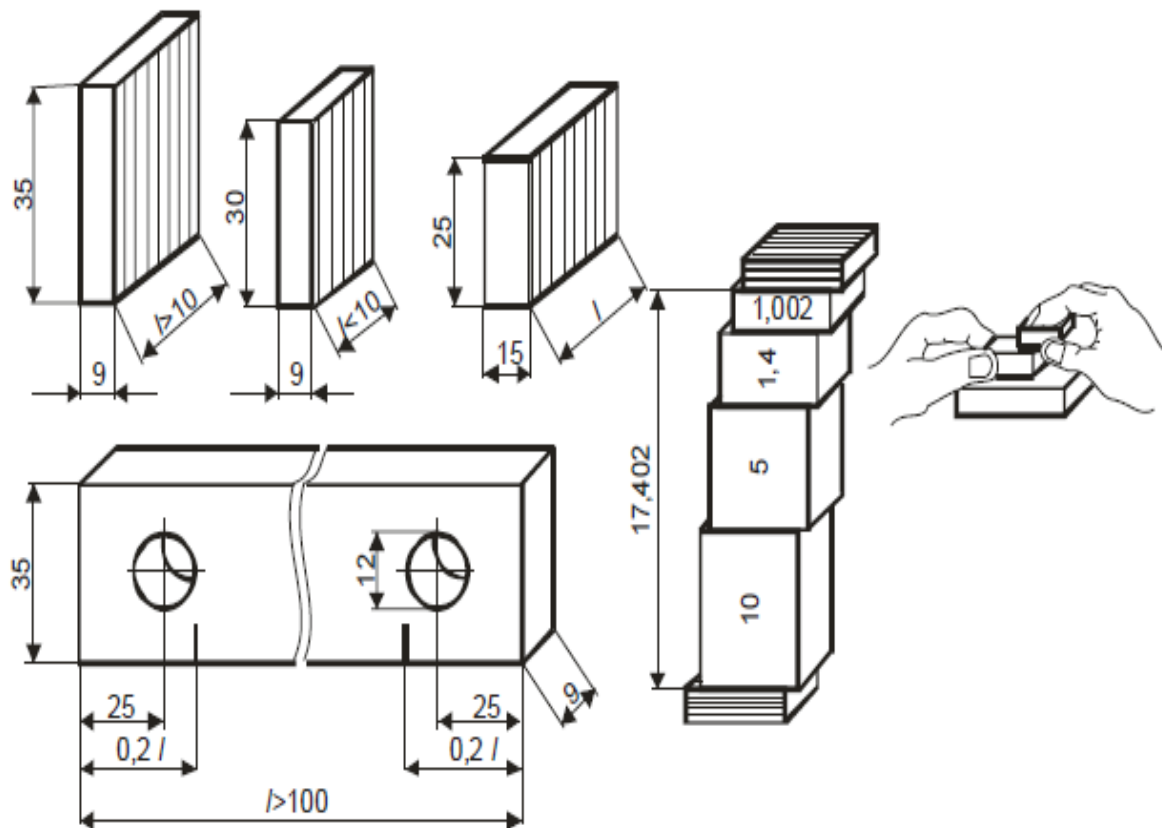
- једнострука мерила (то су најстарија мерна средства и служе за мерење само једне вредности величине као на пример: планпаралелна гранична мерила, толеранцијска мерила, мерила за мерење зазора, заобљења...) и
- вишеструка мерила (могу мерити различите вредности дужине, у границама између најмање и највеће мере обухваћене мерним опсегом мерила као што су на пример: лењири, мерила са нонијусом, микрометри...).

ГРАНИЧНА МЕРИЛА се користе за мерење дужине помоћу граничних плочица чије растојање између крајњих површина представља одређену дужинску меру. Равне и паралелне чеоне (крајње) површине могу бити правоугаоног и кружног попречног пресека.

Гранична мерила са ваљкастим и кугластим мерним површинама се користе за контролу рупа и отвора. Ова мерила се израђују од ливеног челика отпорног на хабање и корозију и то у различитим дужинама, а испоручују се у гарнитурама, па се одређеним комбинацијама мањег броја граничних мерила покрије већи број мера. Израда и испорука гарнитура се врши у три класе тачности. Гранична мерила се углавном користе за контролу других мерила за производне процесе па се називају еталон мерила. Морају се чувати у одговарајућим кутијама и на одговарајућим температурама.

Мерке су механичка једнострука (гранична мерила, шаблони, калибри и сл.) или вишеструка мерила (мерни лењири, помична мерила, микрометарска мерила и сл.) за мерење или контролу једне или више вредности физичких величина.

Гранична мерила се разврставају углавном на гранична мерила за дужине и углове. За мерење и контролу дужина најчешће се користе паралелна гранична мерила - PGM, код којих растојање две паралелне равни представља номиналну вредност. Формирање слогова различите номиналне вредности дужине се врши слепљивањем, односно слагањем мерки.



Слика18. Паралелна гранична мерила

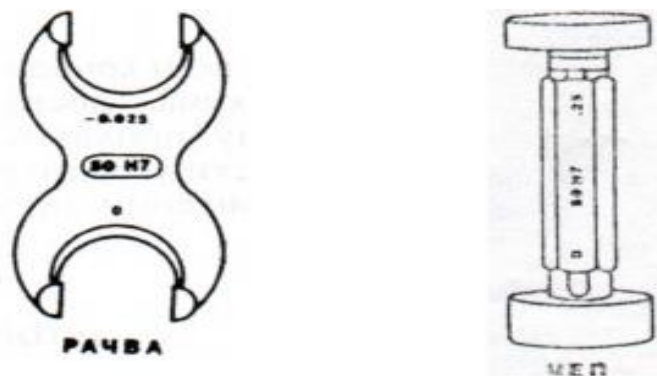
3.5.Толеранцијска мерила

Ова мерила превасходно служе за контролу квалитета производа великосеријске и масовне производње па се називају и контролници. Према намени се деле на:

- радионичка (користе се за контролу делова у процесу њихове израде);
- пријемна (користе се у процесу завршне контроле квалитета производа од стране произвођача или пријемне контроле квалитета корисника производа);
- ревизиона – радни еталони – (користе се за контролу квалитета радионичких и пријемних мерки, ради утврђивања њихове истрошености и при изради нових мерки).

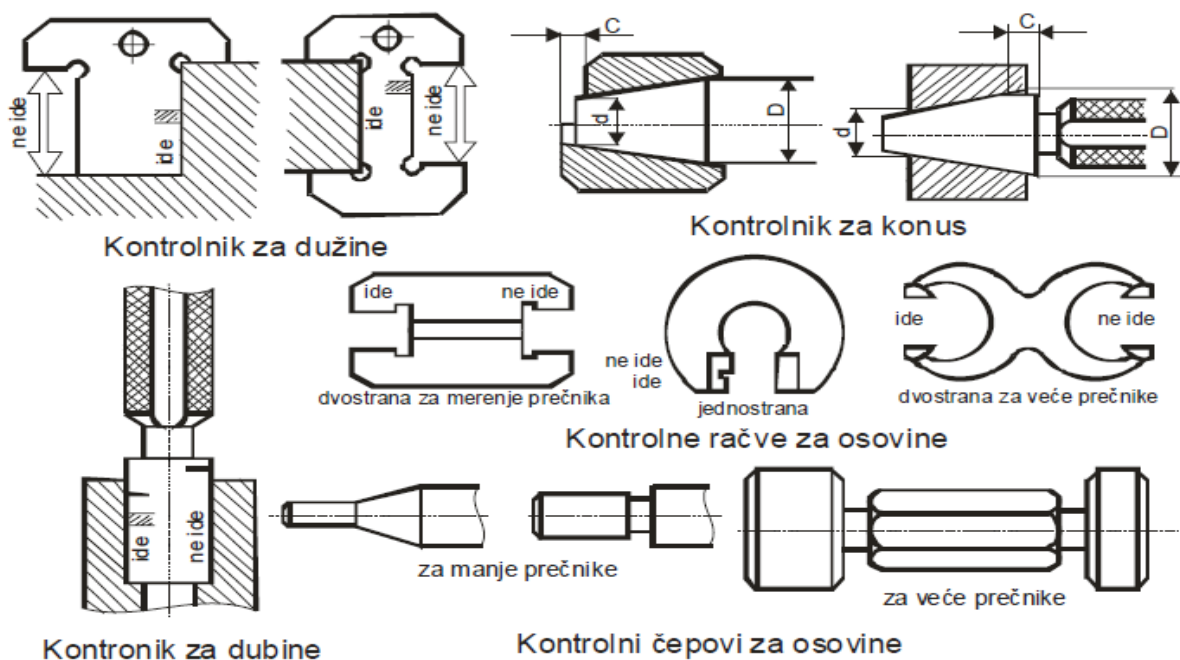
Израђују се у два основна облика:

- облик рачве (за контролу спољних пречника – осовина) и
- облик чепа (за контролу отвора).



Слика 19. Толеранцијска мерила

Контролници или толеранцијска мерила се користе за контролу димензија, јер обезбеђују проверу да ли се контролисана димензија налази у границама дозвољених одступања.



Слика 20. Контролници или толеранцијска мерила

3.6. Лењери

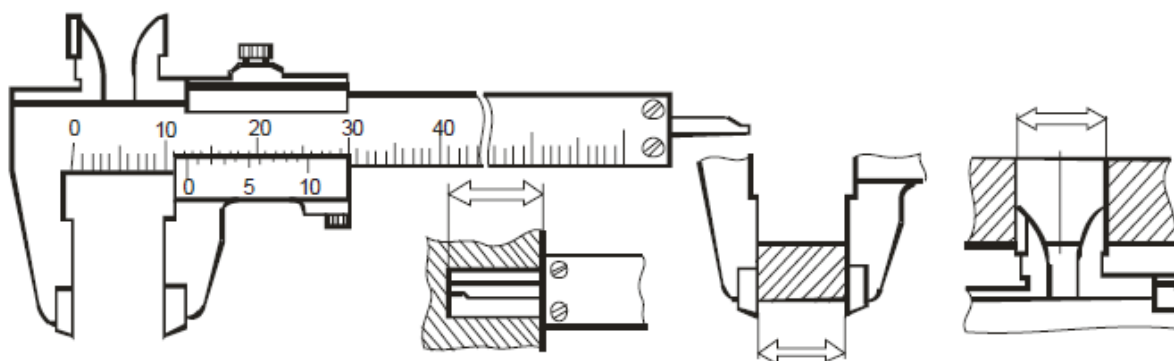
Вредност мере на лењирима је одређена размаком између две цртице и користе се за мерење величина мање тачности. Према нивоу тачности, намени и конструктивним карактеристикама, могу бити:

- лењери састављени од чланака,
- челични метри,
- радионички лењери,
- пробни лењери,
- упоредни лењери,
- еталон лењери,
- специјални лењери.

Контрола лењира се врши помоћу компаратора са микроскопом и оптичким микрометром тако што се контролисани лењир упоређује са лењиром чија је грешка позната.

3.7. Мерила са нонијусом

Универзална мерна средства су инструменти и прибори са индикатором за читавање вредности мерних величина у облику: скале, бројчаника, штампача, плотера (уређаја за цртање дијаграмских зависности) или сигнализатора (уређаја за сигнализацију усаглашених и неусаглашених производа, као и производа који се могу дорадити). Независно од намене деле се на: инструменте са нонијусом (кљунаста или помична мерила, универзални угломери и сл.), микрометарска мерила, компараторе, мерне машине, мерне пројекторе и микроскопе, интерферометре, нумерички управљане мерне машине, мерноконтролне роботе итд. Мерило са нонијусом је још једно из групе вишеструких мерила дужине. Користе се за прецизна мерења дужине. Састоје се из главног градуисаног лењира дуж којег клизи други мањи лењир – нонијус помоћу којег се читавају мањи делови мерне јединице. Процес мерења: најпре се читава вредност мере на главној скали мерила уз коришћење ``0`` подеока. Затим се проналази и читава цртица на нонијус подели која се поклапа са цртицом главне скале. [6]

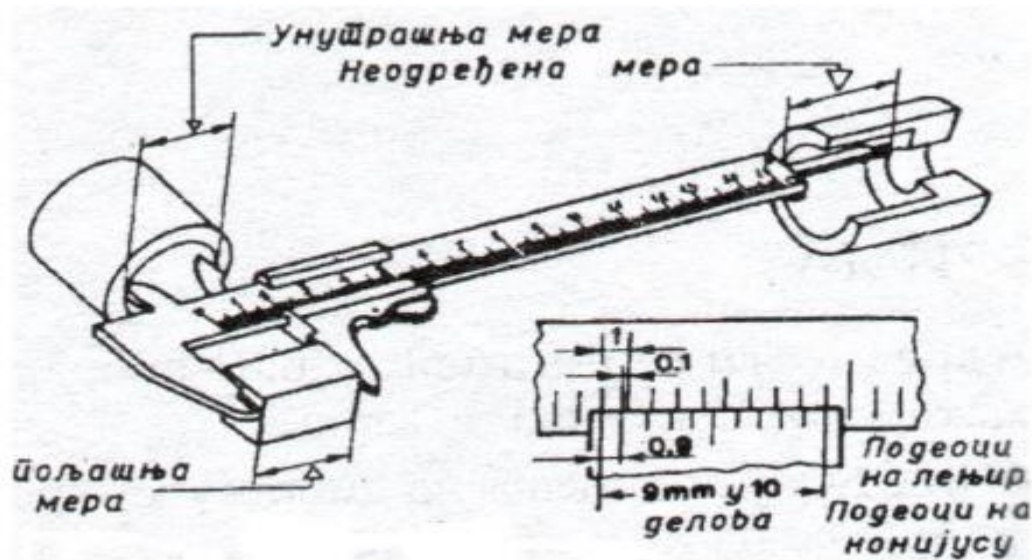


Слика21. Помично мерило

Мерила са нонијусом имају широку примену као радионичка мерила у производним и услужним процесима. Израђују се у различитим облицима, које одређује њихова намена и могу бити:

- помична мерила без врхова – користе се за мерење спољашњих и унутрашњих мера најмањег пречника од 10mm;
- универзална помична мерила – израђују се у низу са стандардним мерним опсезима од 150-2000mm и врховима за спољашње и унутрашње мерење; могу се користити и за мерење дубине ако се користи постоље,
- помична мерила за мерење дубине (дубинометри) – мерни опсег је 200mm и користе се за мерење дубине рупа у материјалу, степенастих жлебова и испуста;
- помична мерила са сатом – то су мерна средства са комбинованим читавањем на којима се налази мерна скала за приближно читавање измерене вредности и сат са иглом који показује прецизну вредност измерене величине;

- помична мерила са електронским показивањем – раде на принципу трансформације измерене вредности у показну величину која се читава на дигиталном бројчанику; располажу меморијом за фиксирање претходно измерене вредности.



Слика 22. Помично мерило

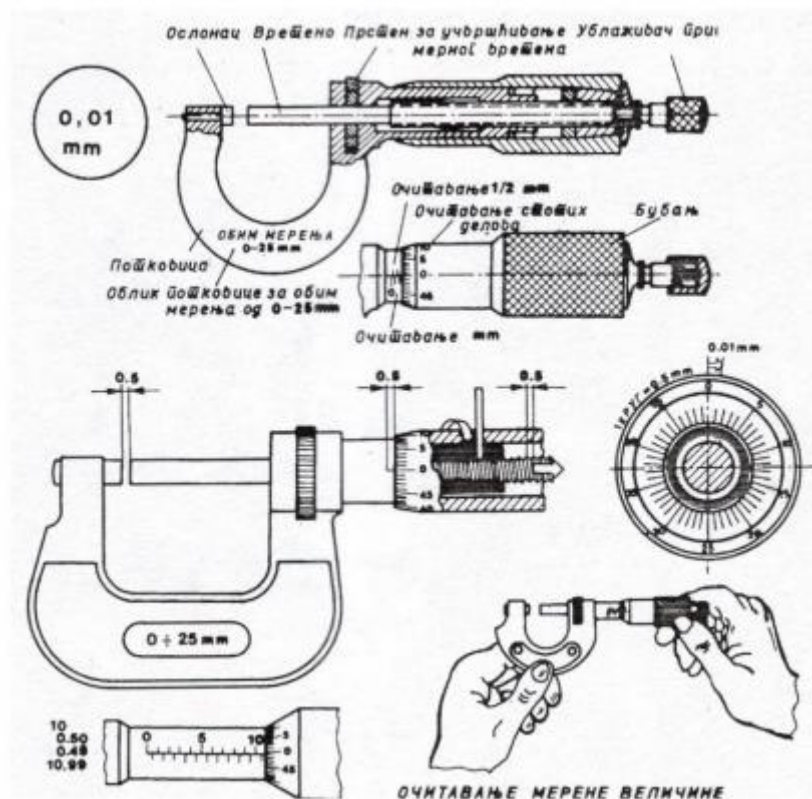
3.8. Микрометри

Микрометри су вишеструка мерила дужине помоћу којих се прецизним навојним вретеном остварује већа тачност мерења дужине него што се постиже помичним мерилима. Аксијалним померањем вретена микрометра за више пуних обртаја омогућава се читавање измерене вредности на стаблу микрометра, на чијем се обиму налази подела, а прецизније читавање измерене вредности врши се на обиму добоша микрометра, на коме се такође налази подела. Микрометри се израђују за мерне опсеге и до 3m. Према намени и конструкционом извођењу, микрометри могу бити за спољашња и унутрашња мерења[1].

3.8.1. Микрометри за спољашња мерења:

- микрометри са заменљивим мерачима – користе се за мерење великих пречника при чему заменљиви мерачи служе за проширење мерног опсега микрометра;
- микрометри са мерним елементом и мерним сатом – ови додатни елементи су постављени ради лакшег изналажења вредности одступања од потребне мере и обезбеђења сталне вредности притиска на мерним површинама у процесу мерења;
- микрометри за мерење навоја – располажу са заменљивим мерним умецима који су прилагођени могућностима мерења навоја;
- микрометри са сферним површинама – користе се за специјалне потребе као што су мерење пречника рукавца, вратила, вретена, осовине и других елемената на местима лучног жлеба;

- микрометри за мерење озубљења – користе се за мерење мере преко зубаца зупчаника и за мерење дебљине зубаца на зупчанику као и за мерење растојања између жлебова или делова у склопу;

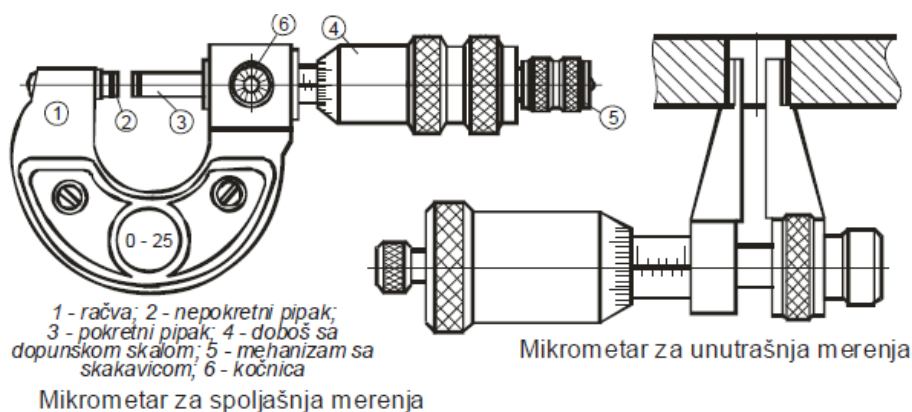


Слика23. Микрометар

- микрометри са малим мерним површинама – користе се за мерење дужина и пречника ситних комада, малих жлебова, танких обода.
- микрометри за мерење дебљине зида цеви – специјалне су конструкције јер је једна мерна површина нормална на другу;
- микрометри за мерење дебљине жице – на тело микрометра је уграђена тврда плочица на коју се ослања жица или куглица у процесу мерења;
- микрометри за мерење дубине – користе се за прецизна мерења дубине отвора или жлебова; - микрометри са три тачке додира – користе се за мерење спољашњег пречника комада са ожлебљеним или равним површинама који имају симетрично једнаке или асиметрично једнаке или неједнаке жлебове;

3.8.2. Микрометри за унутрашња мерења:

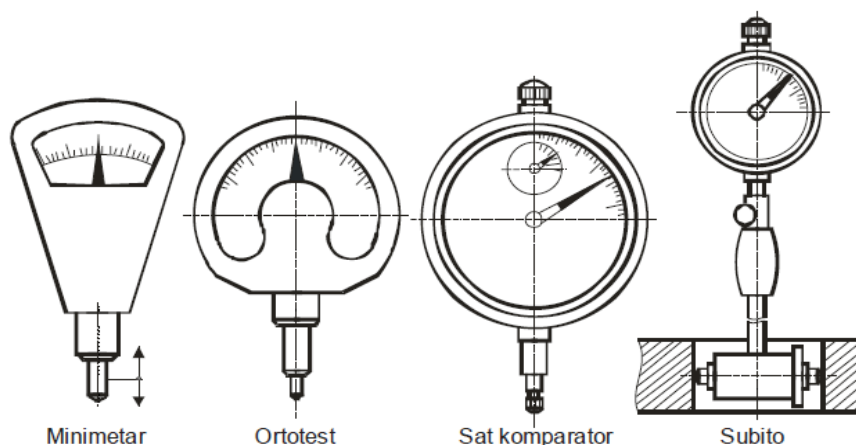
- користе се за мерење унутрашњих пречника отвора, рупа и жлебова на машинама и деловима;
- читавање измерене вредности је као и код микрометра за спољашње мерење;
- опсег мерења је од 3,5 до 400mm;
- за мерење пречника отвора и рупа користе се микрометри са три мерна пипка чија је тачност до 0,001mm; мерни пипци (умечи) су изведени према намени за равне површине, за мерење пречника унутрашњег навоја, за пречнике унутрашњих жлебова...



Слика 24. Микрометар за унутрашња и спољашња мерења

3.9. Компаратори

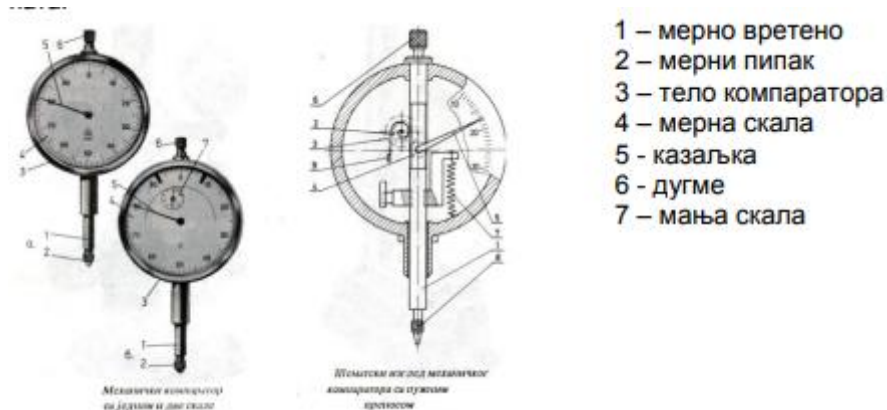
Компаратори се убрајају у вишеструка мерила дужине. То су мерна средства која не показују апсолутну вредност мерене величине, већ само апсолутно одступање од унапред одређене мере.



Слика 25. Неки типови компаратора

Користе се у свим типовима производње, за контролу мера, облика и односа површина. Према принципу рада и конструкционим карактеристикама, могу бити:

МЕХАНИЧКИ КОМПАРАТОРИ – то су мерна средства код којих се пренос кретања са мерног пипка преноси на казаљку механичким путем; могу да раде на принципу двокраке полуге, на принципу примене зупчастог преноса и другим комбинацијама помоћу пужа и зупчастих сегмената.



Слика 26. Делови компаратора

ОПТИЧКИ КОМПАРАТОРИ – имају већу тачност мерења јер је искључена грешка хабања делова компаратора.



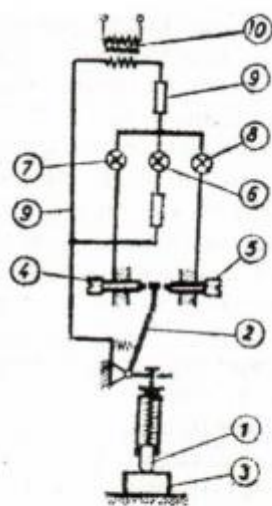
Слика 27. Шема контактеног електричног компаратора

Велику примену има оптички компаратор чији се рад заснива на преламању и одбијању светлосних зрака. Врхунске карактеристике имају верзија оптиметар као и ултраоптиметар које имају веома велику тачност.

ЕЛЕКТРИЧНИ КОМПАРАТОРИ – раде на принципу рашчлањавања и претварања механичке мерне величине у једну електричну, а потом се електрична величина претвара у одклон казаљке на бројчанику, оптички или звучни сигнал или у нагло кретање преко уређаја за регистровање измерене вредности величине. Према конструкцији давача импулса, деле се на: контактне, индуктивне, капацитативне и болометријске.

ПНЕУМАТСКИ КОМПАРАТОРИ – раде на принципу коришћења својстава сабијеног ваздуха као преносног медијума мерне информације у прецизним мерењима. Не користе механичке преносне елементе (нема хабања), па се тако повећава тачност мерења. Ови компаратори имају високу класу тачности, веома су продуктивни, једноставне су конструкције и лако се одржавају. Деле се на:

- компараторе са воденим манометром и
- компараторе са пловком.



Шема контактеног
електричног
компаратора

- 1 – мерни пипак
- 2 – контактна полуга са два крака
- 3 – контролисани израдак
- 4 - контакт
- 5 – контакт
- 6, 7, 8 – светлосне лампе
- 9 - отпорници
- 10 – трансформатор напона

Слика 28. Шема контактеног електричног компаратора

ХИДРАУЛИЧНИ КОМПАРАТОРИ – раде на принципу нестишљивости течности, јер свако померање течности у једном делу спојеног суда изазива померање течности у другом делу суда. Померањем пипка компаратора по мерној површини мења се и притисак течности у комори спојеног суда у којој је уграђен пипак, због чега се мења ниво течности у мерној комори компаратора, што се читава на скали у микрометрима.

3.10. Мерење и контрола углова

Угао у равни представља нагнутост линије или равни према неком унапред утврђеном правцу или равни. Јединица за мерење угла је радијан, а користи се и степен. Мерила за мерење углова могу бити:

- једнострука мерила – (мере само једну вредност угла као на пример гранична и толеранцијска мерила угла);
- вишеструка мерила – (мере више вредности угла у мерном опсегу мерила као што су угломери, либеле...);

То су мерила за непосредно мерење угла и деле се на:

- гранична мерила и
- толеранцијска мерила.

Гранична мерила представљају еталон за контролу и мерење углова. Користе се за:

- поделу – градуисање скала угломера,
- контролу контролника конуса,
- контролу углова код производа високе класе тачности у машинству...

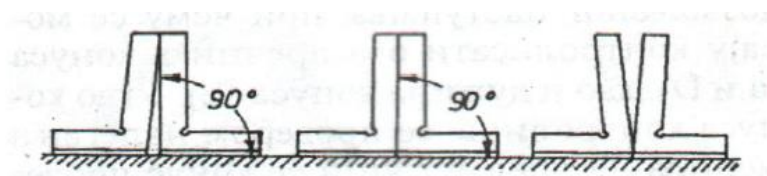
Праве се у облику троугла или четвороугла. Испоручују се у гарнитурама и могу да мере углове од 0 – 180 .

Угаоници су једнострука мерила јер мере само једну врсту угла и то најчешће 90, 60, 120 и 135 .

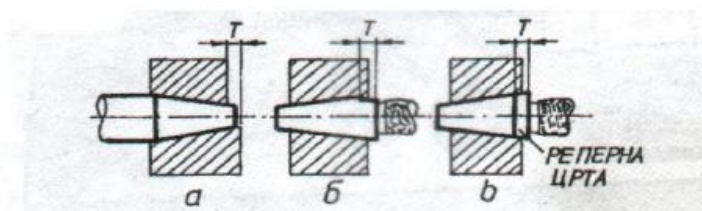
Користе се за обележавање називне вредности угла на предметима рада или за контролу углова у процесу монтаже.

Толеранцијска мерила су једнострука мерила за проверу углова конуса. Помоћу њих се контролишу углови спољних и унутрашњих конуса. То су:

- конусни прстен са цртом,
- конусни трн са цртом,
- конусни трн са цртом и ивицом.



А) контрола угаоника помоћу угаоника високе прецизности



В) контролник за проверу угла конуса

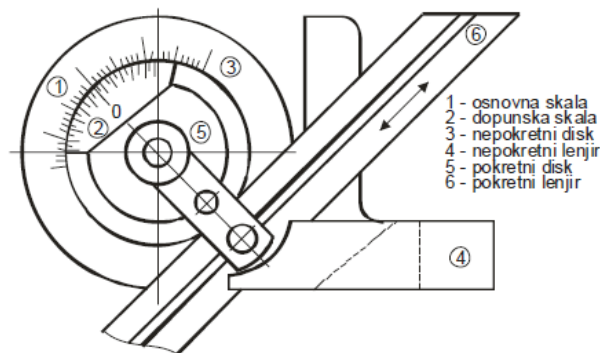
а) конусни прстен са цртом, б) конусни чеп са цртом, в) конусни чеп са цртом и ивицом

Слика29. Мерила за проверу углова

Ова мерила могу мерити различите вредности углова у мерном опсегу. То су:

- уломери – механички и оптички,
- тангентни лењир,
- синусни лењир...

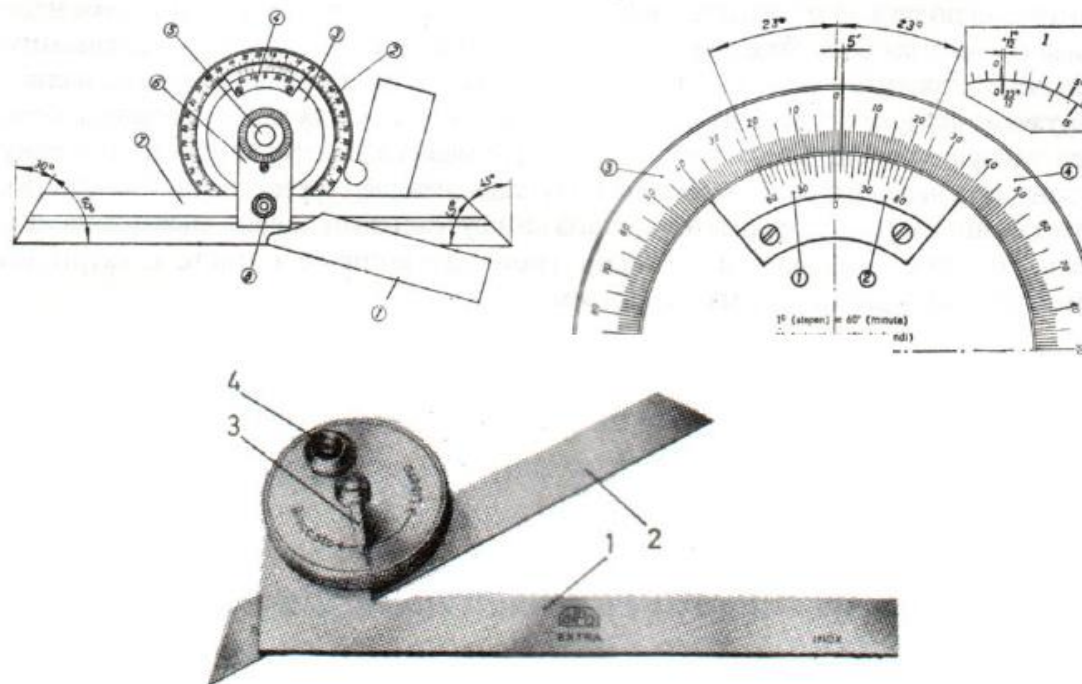
Механички угломер може бити прост (користи се за грубља мерења углова од 0 до 180) и универзални (користе се за прецизнија мерења углова од 0 до 360). Састоји се од непокретног и покретног крака и скале нонијуса где се врши читавање.



Слика30. Универзални механички угломер

Оптички угломер је сличан механичком. Разлика је у томе што се читавање измерене вредности врши помоћу лупе са великим увећавањем мерне скале угломера.

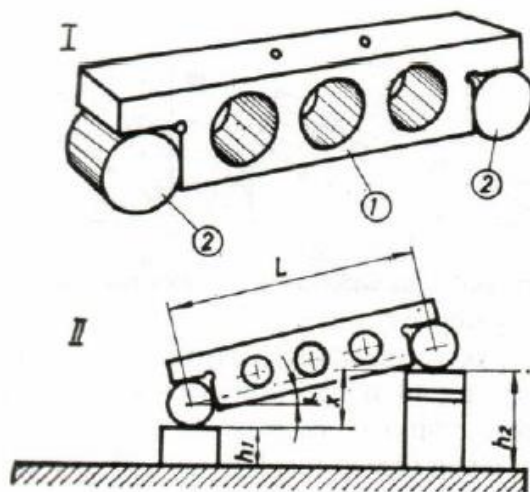
Тангентни лењир се добија ако се преко два гранична мерила различитих дужина постави један лењир, а између њих постави треће гранично мерило произвољне дужине. Гранична мерила са лењиром образују троугао из кога се може одредити угао на основици преко тангенса угла.



Слика 31. Оптички угломер

Синусни лењир је мерило код којег се мерење угла своди на одређивање величина двеју страна правоуглог троугла.

$$\sin \alpha = \frac{h_2 - h_1}{L} \text{ или } \sin \alpha = \frac{X}{L}$$



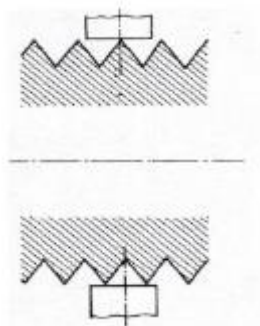
Слика 32. Принцип рада синусног лењира: 1- синусни лењир, 2- ваљци

3.11. Мерење и контрола параметара навоја

Навој је одређен величинама које су у узајамној вези и то:

- спољни пречник,
- средњи пречник,
- пречник језгра,
- корак навоја,
- угао профила навоја.

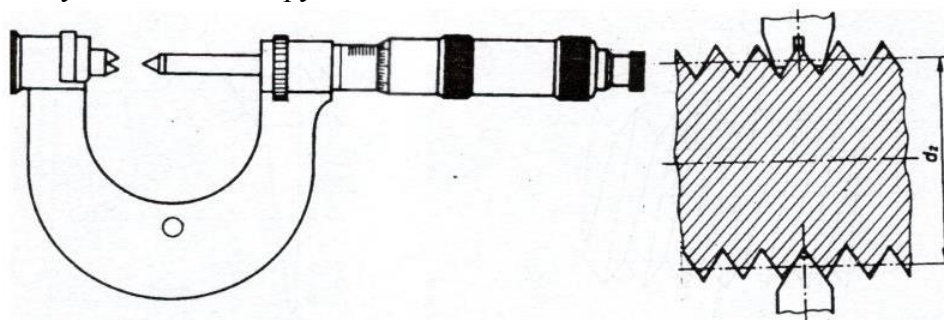
Мерење спољнег пречника - Користе се позната мерила дужине за мерење глатких површина као што су помична мерила, микрометри...



Слика 33. Мерење спољнег пречника

Мерење средњег пречника навоја - може се мерити :

- помоћу лоптастог мерила упоређивањем са познатом мером навоја;
- помоћу микрометра чије су мерне површине у облику конуса и чешља;
- помоћу три жице;
- помоћу две жице;
- помоћу оптичких инструмената...



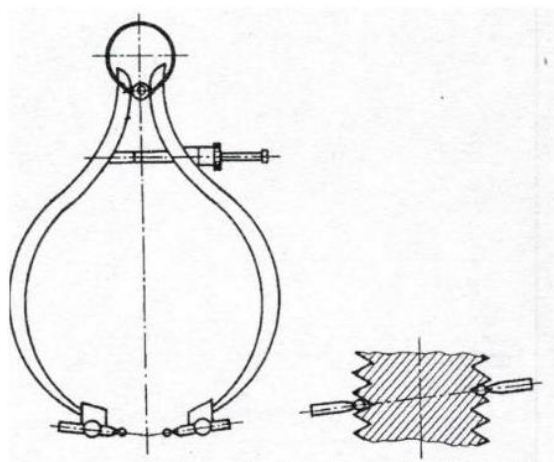
Слика 34. Микрометар за мерење средњег пречника навоја помоћу конуса и чешља

Мерење средњег пречника унутрашњег навоја - може се мерити:

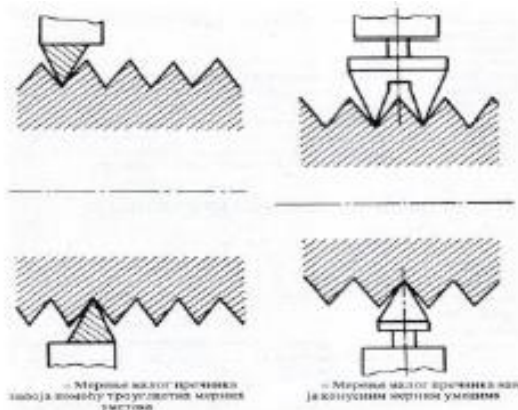
- помоћу чешља и конуса;
- помоћу мерила са куглицама;
- упоредним мерењем мерилом са сферним пипцима...

Мерење угла профила навоја - ово мерење се врши искључиво оптичким путем јер је механичко мерење искључено због мале дужине налагања корака угломера или шаблона на бок профила. Најчешће се користе алатни и универзални микроскоп као и профилни пројектор.

Мерење пречника језгра - може се мерити микрометром чије су мерне површине призматични умети, специјалним микрометром који има једну мерну површину у облику двозубог чешља, а другу у виду конуса

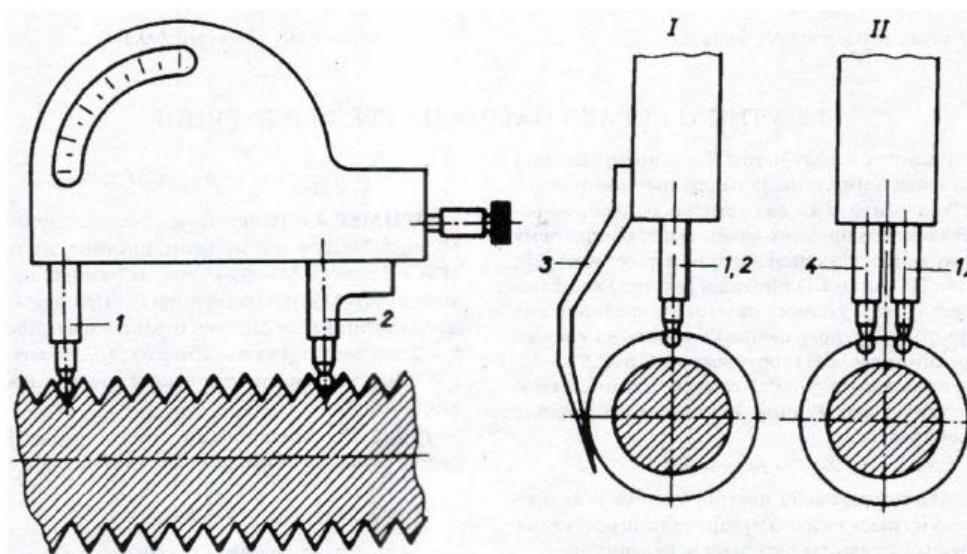


Слика 35. Мерење средњег пречника навоја мерилом са лоптастим мерним површинама



Слика 36. Мерење малог пречника

Мерење корака навоја - врши се помоћу механичких и оптичких мерних средстава.



Слика 37. Мерило за мерење корака навоја са лоптастим мерним површинама

Контрола параметара навоја се врши помоћу толеранцијских мерила:

- радионичка – користе се за контролу делова произведених са навојем,
- ревизона – користе се за контролу истрошених радионичких мерила и
- мерила за регулисање радионичких и ревизионих мерила.

3.12. Мерење и контрола зупчаника

Мерење и контрола зупчаника се врши појединачним мерењем мерних величина и истовременим мерењем вишемерних величина ради провере међусобног утицаја.

Основне мере које се контролишу су:

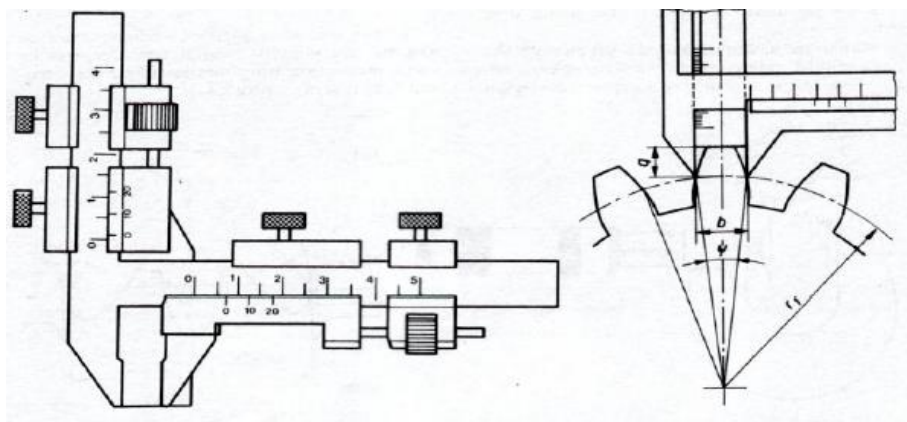
- дебљина зуба зупчаника,
- ширина међузубља,
- мера преко зуба зупчаника,
- корак зупчаника и
- профил зупца зупчаника.

Мерење дебљине зуба зупчаника обезбеђује да се утврди бочни зазор између зубаца који су у спрези. За ово мерење се користи специјално кљунасто мерило са две скале са нонијусом, постављене под углом од 90° . Мерење се може вршити и оптичким путем као и помоћу мерне машине са компаратором.

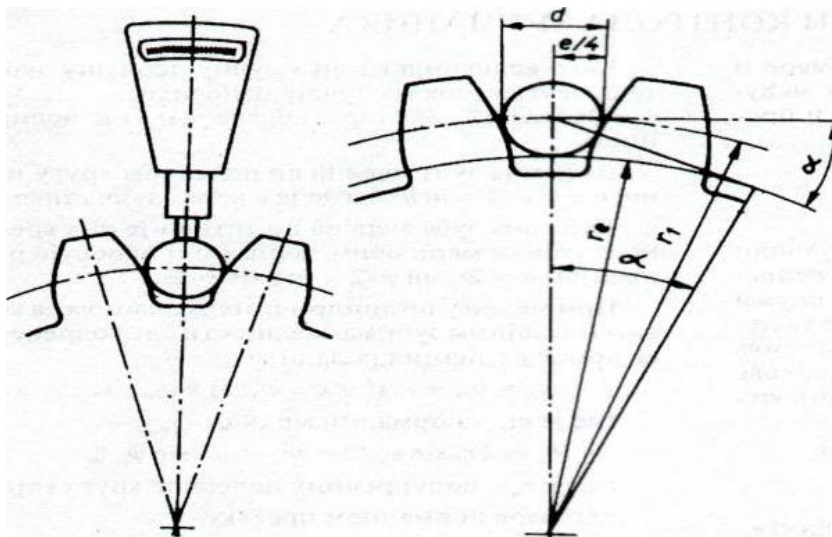
Мерење међузубљаја је важно због обезбеђења правилног зазора између зубаца спрегнутих зупчаника. Обавља се помоћу калибрисаног ваљчића који се поставља у међузубље, а на ваљчић иде мерни пипак компаратора.

Мерење преко зуба се обавља микрометрима са тањирастим мерним површинама. Мерење корака зупчаника се врши упоредним и апсолутним мерењем.

Користи се својство еволвентних зубаца, да еволвенте једностраних бокова профила зубаца представљају једнаке криве, а одсечци зубаца који су елементи еволвенте на тангенти која их образује, међусобно су такође једнаки [7].

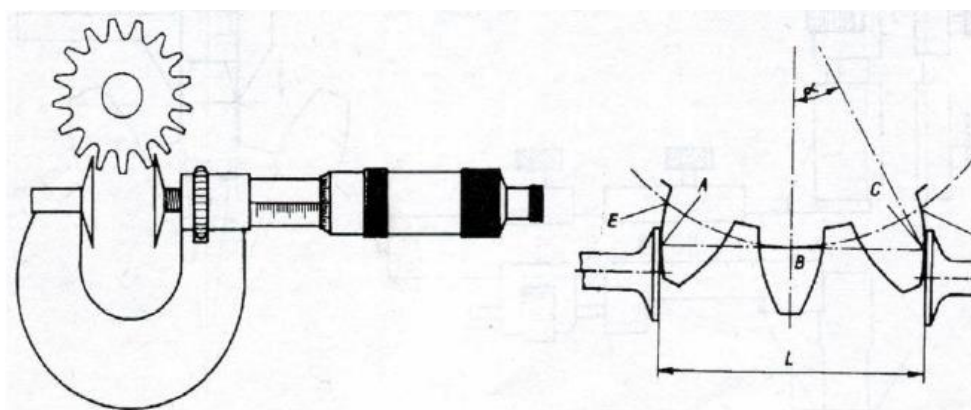


Слика 38. Помично мерило за мерење дубине и дебљине зуба зупчаника



Слика39. Одређивање ширине међузубља помоћу калибрисаних ваљчића

Контрола профила зуба зупчаника обухвата контролу еволвенте профила зупца. Врши се помоћу посебних уређаја.

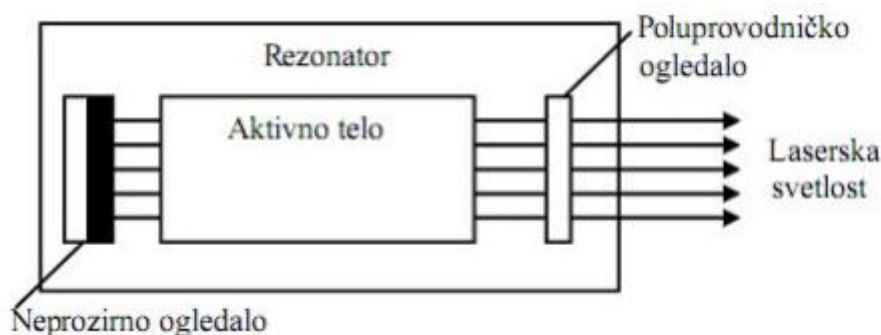


Слика 40. Мерење растојања преко зуба зупчаника одговарајућим микрометром

Мерна средства специјалне намене су мерила за мерење и контролу: дужина и угла (калибри, шаблони, толеранцијска и гранична мерила, мерни пројектори и микроскопи, мерила са нонијусом и микрометарска мерила, интерферометри, мерне машине и сл.), параметара храпавости површина (двојни микроскопи, профилографи, профилометри, интерферометри итд.), параметара навоја (шаблони, толеранцијска мерила, микрометри, мерни микроскопи, специјални мерни уређаји итд.), параметара зупчаника (шаблони, модулна мерила, комплексна мерила, специјални уређаји и сл.). Контролни уређаји су уређаји са низом функционално повезаних мерних средстава и помоћних прибора намењених мерењу и контроли објеката сложене конфигурације (блокови мотора, коленаста вратила итд.).

4. Савремени мерни системи

ЛАСЕР је светлосни појачивач у којем се појачава светлост уз помоћ индикованог зрачења атома (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Основне карактеристике светлости коју емитује ласер су: кохерентност, монохроматичност и линеарна поларизираност. Интензитет емисије ласерског снопа много је већи у односу на друге изворе светлости. Они омогућавају и фокусирање снопа зрачења у једну тачку, што омогућава да се ласером врши резање. На бази ласерске технологије конструисани су мерни системи. Ласерски ефекат се остварује помоћу три основна дела, а то су: активно тело, резонантни систем и побуђивач.



Слика 41 Ласерски ефекат

Активне материје су обично чврсти, течни и гасовити материјали, међу којима су полупроводници, органска једињења и пластичне масе. Ако је активна материја кристал рубина онда је то рубински ласер, на који може да се делује побудним системом лампи бљесклица-стробоскопских лампи. Лампом се осветљава активно тело и ствара ласерски ефекат. Да би се у потпуности постигао ефекат, активни материјал се ставља у резонатор кога чине две рефлектујуће површине које су равна, параболична или сферна огледала. Процес рефлектовања зрака у резонатору се вишеструко понавља, нагомилава се енергија у активном телу и светлост се појачава. Нагомилана енергија се емитира у облику импулса ласерске светлости кроз полупроводничко огледало. Према агрегатном стању ласери се деле на:

- чврсте,
- течне и
- гасне.

Према режиму рада могу бити:

- импулсни,
- континуираног зрачења.

Према принципу рада побудног система могу бити ласери са:

- оптичким,
- електричним,
- хемијским побуђивањем.

Зависно од активне материје ласери могу бити:

- атомски,
- јонски,
- молекуларни.

4.1. Примена ласера у мерењу

Ласерски мерни системи се користе у производним мерењима за:

- најтачнија мерења димензија растојања и померања, израду, позиционирање, дијагностику, подешавање и монтажу савремених великих агрегатних алатних машина (обрадних центара, агрегатних машина),
- контролу помоћних кретања и криволинијских померања склопова код алатних и других машина,
- управљање алатним машинама,
- мерење храпавости и дефеката површина,
- контролу мерне технике,
- развој нових ласерских мерних претварача,
- процесну активну контролу квалитета,
- дијагностику машина,
- проверу окомитости површина,
- проверу тачности подеока скала са кинематичким паровима,
- израду прецизних оптичких скала и дифракционих решетки у оптичкој индустрији.

Ласерска мерења и контрола могу се вршити у статичким и динамичким условима уз безконтактно деловање мерног система. У металопреради и машиноградњи мерења димензија и растојања су заступљена са око 85 до 95%.

Ласерски мерни системи су најтачнији у савременој мерној техници па се користе и као еталони. Примена ласерске метрологије може се поделити према поступцима који се проводе а то је:

- принцип трокута код кога се користе тригонометријске методе рачунања растојања која се мере,
- процедуре мерења времена проласка зрака до мереног објекта и назад
- процедуре аутофокуса.

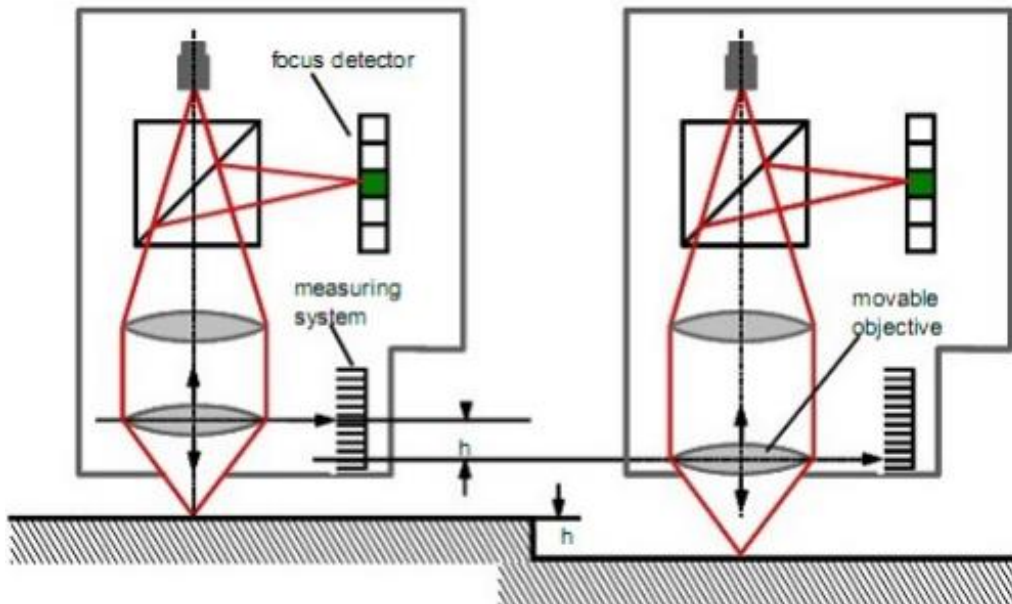
На основу наведених процедура могу се вршити различита мерења геометријских карактеристика производа.

4.2. Процедуре аутофокуса за линеарна мерења

Аутофокус процедура односи се на мерну процедуру која се извршава са калибрираном дужином фокуса због оштрине и јасноће слике. Ту се могу разликовати две процедуре. Прва је видео аутофокус процедура а друга ласерска аутофокус процедура.

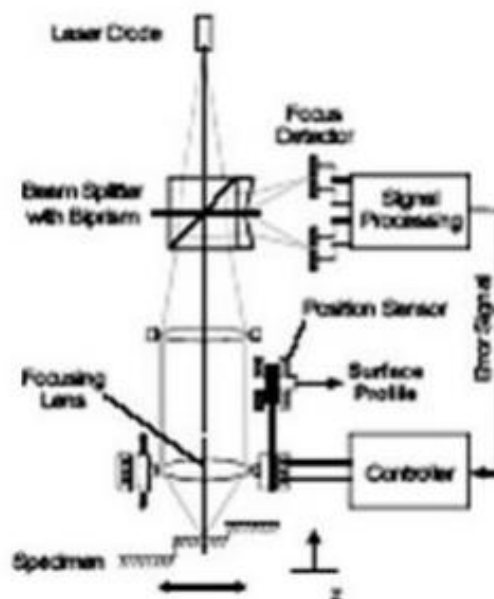
Прва процедура односи се на мерење растојања рефлектовањем мерног објекта на CCD сензор одређивањем степена оштрине контраста рефлексије и добивања информације о мереном растојању. Користи се за CNC контролне трокоординатне мерне машине. Много више је у употреби ласерска аутофокусна процедура која се користи у техници компактних дискова. Кохерентна ласерска зрака из ласерске диоде се дели на главне вертикалне зраке. Део зрака иде у правцу поларизације и може проћи кроз дијагонално постављене вишеслојне диелектрике у којима се деле зраци. Након

тога линеарно поларизована светлост иде до колиматора, пролази кроз њега и прелази у циркуларно поларизовану светлост. Мерни објектив је постављен на покретни калем и фокусира ласерско светло на мерени објекат. Светлост се затим рефлектује од површине радног комада поново пролази кроз мерни објектив.[7]

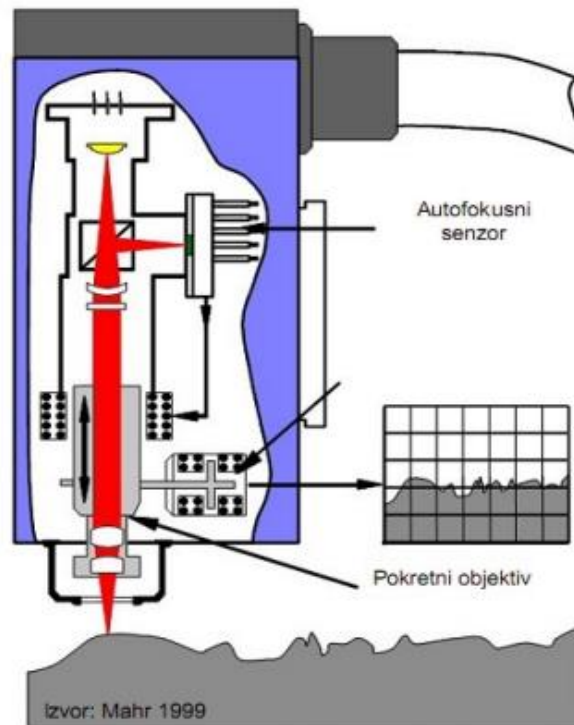


Слика 42. Аутофокусна процедура

Резултујући поларизирани вектор је заротиран за 90° око осе зрака тако да се мерна светлост рефлектује према фокус детекторима. Аутофокусна процедура је примењена на одређивање стања површина. На слици приказан је мерни систем за мерење квалитета површине, чији је саставни део аутофокусни сензор.



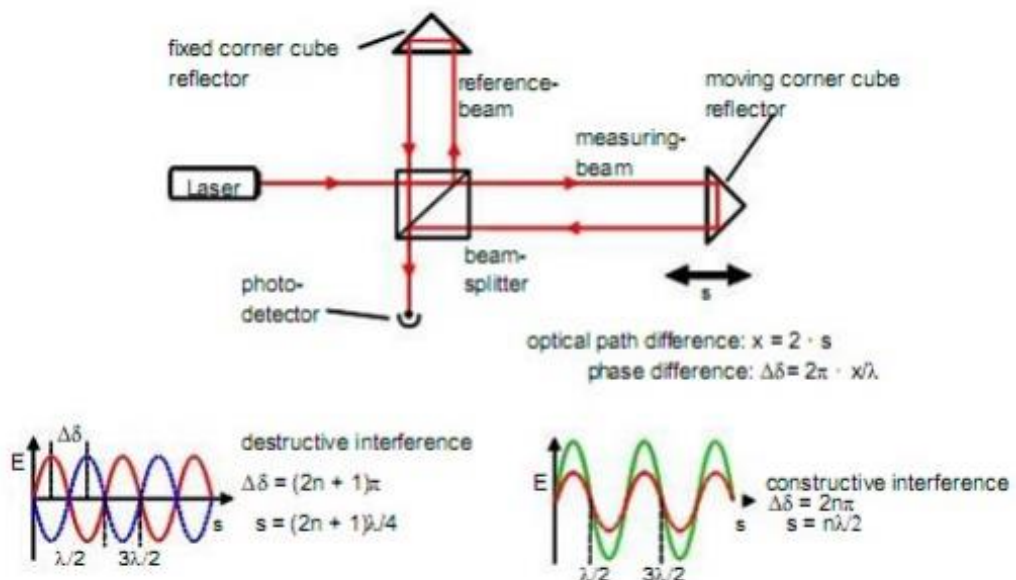
Слика 43. Мерни систем за мерење квалитета површине



Слика 44. Мерење квалитета површине уређајем са аутофокусом

4.3. Интерферометрија

Физичка основа интерферометријских процедура су кохерентни светлосни таласи који путују различитим путевима. Основа рада ласерских интерферометара је цепање електромагнетних таласа, као и њихово поновно спајање након преласка различитих путева. Обе компоненте могу бити исте као што је то у случају Michaelsonovог интерферометра.

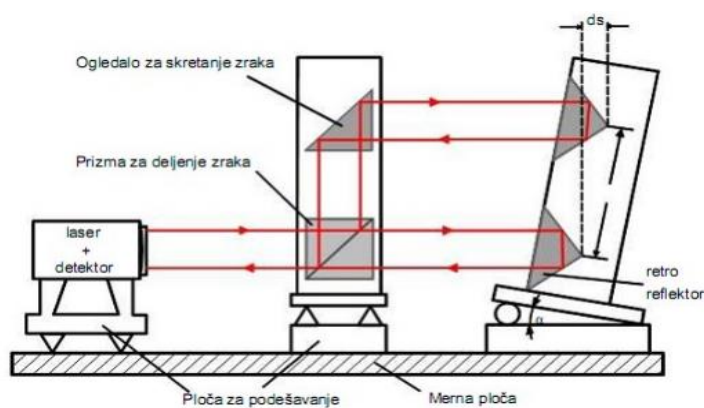


Слика 45. Michaelsonov интерферометар

Предуслов за интерференцију је сигнал који се може оценити као референти, константне фазе, који се састоји од два парцијална таласа. Карактеристика која се зове “кохеренција два таласа” настаје када се испуни услов да је разлика путева парцијалних зрака мања него дужина зрака кохерентне светлости која се користи.

Ласерски улазни зрак у интерферометар се дели. Добивени зраци се тада рефлектују од огледала после преласка путева од огледала и назад. Након што су прешли наведене путеве враћају се у тачку интерференције. Зависно од фазе парцијалних таласа интензитет таласа који се региструју је између максималне вредности и потпуног поништења таласа.

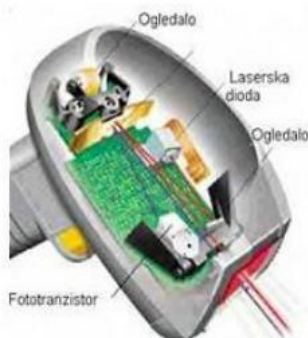
Ласерски интерферометри се користе за мерење дужина, прецизна мерења углова и правости. Подручје у ком се примењује најчешће је производња алата, посебно за високо прецизне машине. Маchine чији је погон контролисан ласерским интерферометрима служе у производњи сложених компоненти са производним толеранцијама израженим у нанометрима.



Слика 46. Примена ласерске интерферометрије за гониометрију

4.4. Ласерски скенери

Као и сва претходно наведена мерна средства и ласерски скенери су мерни системи за одређивање димензија радног комада. Раде на принципу светлосне баријере. Оптички пут између извора ласера и фотодетектора се прекида када се између њих постави радни комад који се испитује. Принцип и структура ласерског скенера дати су на слици.



Слика 47. Структурна шема ласерског скенера

Ласерски зрак који се одашиље пада на ротирајуће полигонално огледало где је скенирајући ранг одређен бројем углова полигоналних огледала. Рефлектовани ласерски зрак тада долази до сочива чији фокус је тачка одбијања зрака које се враћају до полигоналног огледала које увек под истим углом скреће зраке у истом правцу тако да иза сочива су зраци стално паралелни. Паралелни зраци наилазе на друго сочиво са фотодетектором смештеним у фокусу другог сочива. Између два сочива поставља се објекат који се мери и он прави сенку на детектору када је огледало постављено под неким одређеним углом. Када се постави под тачно одређеним углом, детектор показује опадање интензитета светлости. Дужина трајања опадања интензитета светлости омогућава рачунање геометрије комада. Пречник радног комада датог на слици пропорционалан је углу ΔF када се на оптичком путу постави мерени објекат. Мери се тренутни угао полигоналног огледала. У овом случају један ласер и један фотодетектор су довољни за скенирање при чему се подразумева да је мерно подручје веће од мереног објекта.

Постоје у основи две методе мерења предмета:

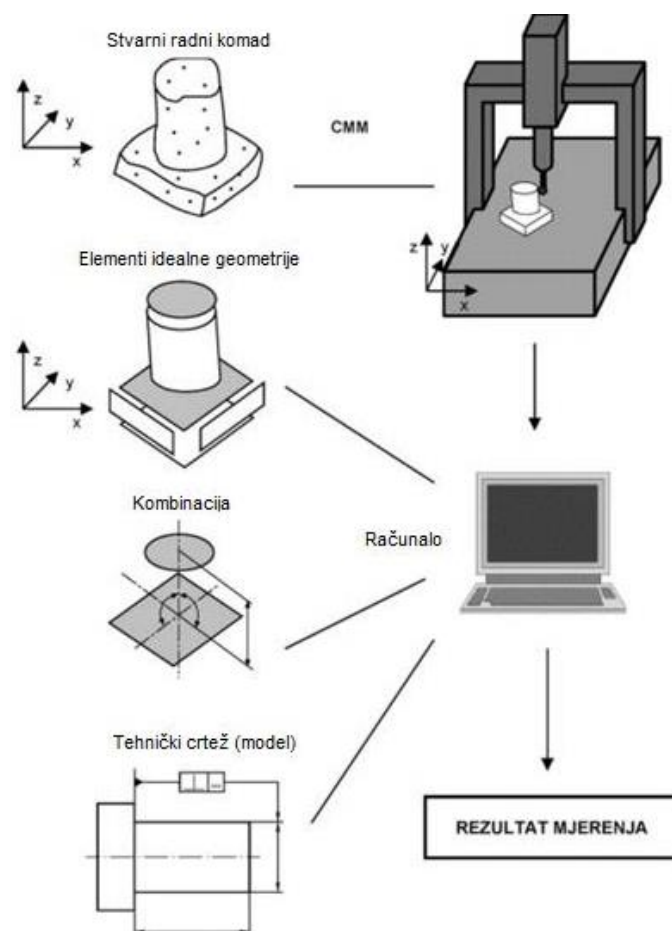
- Мерни објекат се скенира неколико пута, а након сваког скенирања објекат се окреће.
Поступак окретања сенке омогућава добијање информације о профилу геометрије радног комада.
- Мерење се врши са два или три скенера у исто време. Скенери су постављени један у односу на други под углом од 90° или 60° . Пошто ласерски зрак има коначно ширење он не даје сенку изненада, него налази угао формирања сенке. Резолуција која се постиже коришћењем скенера је испод $1\mu\text{m}$. У току мерења постиже се брзина од 400 скенирања у секунди.

4.5. Координатна метрологија

Са порастом сложености облика производа, геометрија производа постаје све компликованија за мерење и контролу. Због тога је потребно примењивати 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.

4.5.1. Принципи координатне метрологије

Карактеристике на којима се базира поступак за координатну метрологију су идеализирана геометрија радног комада са свим особинама које тај комад поседује. Карактеристика процедуре је и математички опис појединих тачака на површинама у назначеном подручју, које су најважније за радне операције које се изводе на радном комаду.



Слика 48. Принцип координатне метрологије

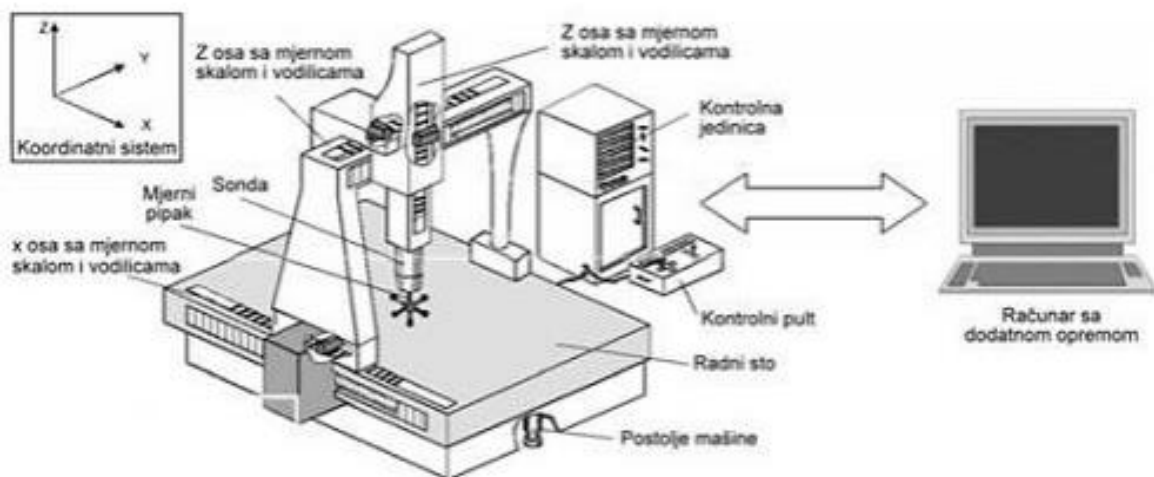
Регистровање тачака, површине радног комада, може се остварити на различите начине. Основно је да сва средства која користе принципе координатне метрологије бележе стварну геометрију радног комада и одређују одступања у односу на идеалну-жељену геометрију. Поступак се остварује коришћењем координатних мерних машина које се зову и скраћено CMM (Coordinate Measuring Machines). У принципу, свака координатна мерна машина је мерно средство које мери све три димензије радног комада. У комбинацији са одговарајућим софтвером, помоћу координатних мерних машина могу се добити различите информације о производу као што су геометријске карактеристике призматичних, ротационо-симетричних и ротационо несиметричних радних комада. Координатне мерне машине су основни представник координатних мерних средстава која се користе за мерење (описивање) 3D радног комада. Координатна мерна машина често није довољна за мерење неких објеката или радних комада због великог броја тачака које у кратком временском периоду треба да обради. Зато се користе и други принципи координатне метрологије. Најпознатија су два:

- Трокутни мерни систем
- Фотограметријски мерни систем.

4.5.2. Координатне мерне машине

Координатне мерне машине су моћни мерни системи. Данас се много користе у производним погонима великих, али и малих производних предузећа. Мерно средство помоћу кога се врши мерење координата у простору на површинама радног комада зове

се координатна мерна машина (СММ). Помоћу ње је могуће симултано мерење координата трака истовремено у сва три правца. Координатна мерна машина користи Картезијев координатни систем. Уобичајена конструкција машине састоји се од три међусобно окомите вођице осе означене са x , y , z . Осе z и y зову се рам. Обично рам носи систем сонди којим се врши мерење и који садржи сензоре. Машина је постављена на постоље на коме је и погон машине. Прихватање радног комада врши се на плочи координатне мерне машине. Свака вођица има свој погон и систем за читавање. Координатна мерна машина има ормарић у коме је смештена управљачка и прилагодна електроника. На њему постоји и показивач и управљачки пулт с којег се координира радом машине. Рам носи на себи носач са мерном сондом која може имати један или више додиривача.



Слика49. Делови координатне мерне машине

4.5.3 Типови координатних машина

Све координатне мерне машине могу се поделити на:

- машине којима се ручно ради како са осам тако и на коадима,
- машине са моторизованим погоном оса-вођица, а ручном манипулацијом са коадима,
- машине са моторизованим погоном оса и рачунарски контролираним операцијама (CNC код).

Постоје и друге комбинације али се све може свести на ове три основне. Свака конструкција координатне мерне машине састоји се од механичких склопова, погона, система за мерење дужина и система проба, контролне и извршне конзоле и рачунара са периферним средствима за излаз резултата мерења. Зависно од типа машине постоје друга додатна средства као што су мобилни или ротирајући столови, механизми проба, температурни сензори механизми за причвршћење. На слици приказани су основни типови координатних мерних машина. Универзални типови координатних мерних машина су: стубни тип, конзолни тип, портални тип, мостни тип.



Слика 50. Типови координатних мерних машина

Развијен је и посебан тип у кинематском смислу сличан роботу. Овакве координатне машине имају високо прилагодљив дизајн и два система мерења. Један је систем мерења углова, а други су 3D мерне пробе. Овакве мерне машине имају једноставне операције и мале диманзије. Користе се за контролу димензија у производним погонима, на линијама за контролу облика, положаја и димензија комада код којих одступања спадају у мала и средња.[7]

4.5.4. Софтвер за координатне мерне машине

Софтвер који се користи за рад CMM је универзални и покрива све стандардне функције CMM. Уколико се жели мерити неки призматични део основном софтверу се додају специјалне функције. Сваки стандардни софтвер укључује:

- статистику и процесну контролу,
- мерење дво и тродимензионалних кривих линија,
- мерење површина произвољног облика,
- мерење базирано на карактеристикама производа
- интеграција и процесирање CAD података,
- мерење зупчаника,
- мерење цеви.

4.6. Интегрирање CAD података

Програмирање CNC мерења, ако се изводи без модела-објекта, је јако сложен посао. Многи кораци у програму требају се дефинитати и унети. Уводи се тзв. самопрограмирање што спада у домен интелигентних система и то је поступак којим се смањује процедура. За мерење радог комада на почетку које се изводи прво треба одредити карактеристике машине. Све релевантне информације смештају се у базу података у облику CNC мерног програма и на медијуму за похрањивање података. Овај

метод не може се једноставно прилагодити производњи, јер се производне машине не могу програмирати за време производног процеса нити у фази планирања.

CAD системи су постали интегрални део дизајна производа, па је логично да све што се даје у CAD-у може користити и у метрологији. Подаци за производ у раној фази дизајнирања не садрже довољно геометријских карактеристика производа као што су нпр. толеранције. Дакле на почетку дизајнирања производа није могуће размењивати податке. Зато треба доста података да би се CAD систем интегрирао 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, CADD5, I-DEAS или PROEngineer и читају на координатној мерној машини или рачунару који планира посао или поступак провере у неком од формата IGES, BDA или STEP.[6]
- Рачунар тада процесира податке и генерира мерне програме у чему су укључени зумирање, ротација, селекција, помицање и сл. Процес се лакше одвија уколико је обезбеђена визуализација.
- Мерење се врши на основу података похрањених у CAD бази. Подаци су углавном толеранције и информације о производњи. Многи радни кораци извршавају се само на основу минималног броја података улаза.
- Завршавање мерног програма рачунарски контролисаног мерења извршава се на CMM.
- 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.

4.6.1. Мерење на координатној мерној машини

На почетку деведесетих година прошлог века, кориштена су координатна мерна средства за верификацију димензија. Тадашња конструкција мерног средства имала је фиксно перо са којим се дефинисала критична површина на деловима од танког лима. Таква метрологија се може сматрати конвенционалном али је имала и одређене предности:

- чврсту конструкцију за кориштење у радионици,
- једноставно руковање без посебне обуке,
- флексибилност у употреби чак и ако се производни системи преместе.

Предности су превладале у односу на недостатке као што су:

- висока улагања за куповину различитих мерила која су се морала куповати код било које модификације производа или развоја новог производа,
- како су мерила била строго наменска, промене су се могле направити само преуређењем тих мерила,
- утицаји од стране извршиоца мерења су се уносили и утицали на тачност и репродуктивност резултата,
- машине су могле у доста случајева само да дају оцену да ли је неки део добар или лош, а не аналитичку оцену самог мереног комада,
- већи просторни захтеви.

Данас сва аутомобилска индустрија користи предности СММ-а:

- Директно мерење и поређење почетних CAD података за линијске и површинске моделе али не дуже од оних датих прототип моделима.
- On-line рачунање резултата за статистичку анализу и реверсе инжињеринг.
- Флексибилност по питању промена огледа се у изменама програма,
- Глобална размена података и мерних програма,
- Извршење свих функција са особљем у радионици,
- Смањење трошкова са временом кориштења,
- Могућност добијања података статистичког карактера и високо информативног садржаја.

После додиривања радне површине комада центар врха пера даје измерену вредност односно прослеђује је у рачунар за даље операције. Измерена вредност актуелне тачке припада реалном радном комаду. Површине радног комада могу се описати са геометријском формом елемената, а то су равни или елементи у простору. Математичко познавање ових елемената је услов за мерење. Нпр. мери се размак између рупа или пречник осовине. Постоје три врсте елемената у координатној метрологији:

- једнодимензионални (тачка)
- дводимензионални (права линија или круг)
- 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 додиривања. Равне или криве линије су само странице површина па се зато и користе површине за одређивање елемената.

Стратегија мерења на координатној мерној машини 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. Четири тачке сфере не смеју бити на истом нивоу и не могу бити идентичне. Метролошки минималан број тачака значи да потребан број тачака мора дати објективан резултат. Минималан број тачака мора бити већи од математичког броја тачака, тј. мора бити вишеструко већи од нормалног математичког како би било обухваћено што више тачака, које са собом носе информацију о девијацијама. Геометријски еквивалент на мереном елементу има превише мерених тачака. На примеру мерења пречника рупе показано је како се врши селекција и усредњавање да се добије апроксимативна кружница односно цилиндар стварне геометрије рупе.

Мерење на координатној машини може се класифицирати на мерење функционално оријентисано и мерење карактеристика. Када се ради о провери димензија производа само на крају процеса производње, уместо случајне провере треба након сваке фазе у изради производа вршити проверу. Ово је важно за постављање серије или за узорковање. Касније у току производње, провера се врши само на неким важним карактеристикама производа. Због тога се и зове мерење усмерено ка провери карактеристика за разлику од функционално оријентираног мерења где се мере све карактеристике. Први приступ мерења штеди време!

4.6.2. Примена координатне метрологије

Интеграцијом СММ у производно окружење може се остварити оптимирање везе координатне метрологије са прелиминарним подручјима развоја производа и планирања рада.

Координатна мерна машина има хардверски и софтверски део. Хардвер обухвата систем проба, ротационо помични сто и разне додатке. Софтверски део има основни систем, специјални систем и везу са CAD/CAM системима. Мерења се могу поделити на она која се врше у испитној лабораторији за прецизна мерења у којој се смешта прецизна координатна мерна машина. Друга врста мерења се обавља у радионици и сва мерна средства су у радионици. Координатна метрологија може бити: производна мерна ћелија, флексибилни мерни систем или мерни систем унутар производне линије. У прва два набројана случаја ради се о затвореним мерним средствима док мерна средства на мерној линији укључују и роботе. Првобитно су мерне машине биле намењене за кориштење у мерним собама. Примена СММ-а се касније проширила и на модерну рачунарски контролисану производну опрему. Због флексибилности и универзалности принципа координатне метрологије могу се извршавати различити задаци уз проширење са додатном опремом. Прецизна мерења се изводе у мерним собама због чега су то мерења са најмањом мерном несигурношћу. Мерне собе су посебно опремљене просторије које су грађене тако да имају што мање вибрација, имају климатизован и изузетно чист амбијент. Уколико се машине користе за разноврсна мерења тада имају додатне механизме за измену проба, и друга средстава, што све онемогућава потпуну аутоматизацију. Уколико се пак контрола води кроз CNC процес производње постиже се висока флексибилност.

За примену у радионицама користе се брзе и економичне СММ. Обично су то механичке координатне машине, издржљиве и неосетљиве на услове околине. У високо аутоматизованој производњи као што су производне ћелије и производни системи, СММ су директно интегриране у систем. Са таквим системима функција СММ повезана је са током материјала и информација тако да омогућава аутоматско покретање СММ као и мерења за производне намене. Софтвер координатних мерних машина чине програми универзалне намене, при чему се исти могу доградити специјалним за стандардне елементе као што су зупчаници, брегасте осовине, резни алати итд.

5. Примери примене система за мерење и контролу

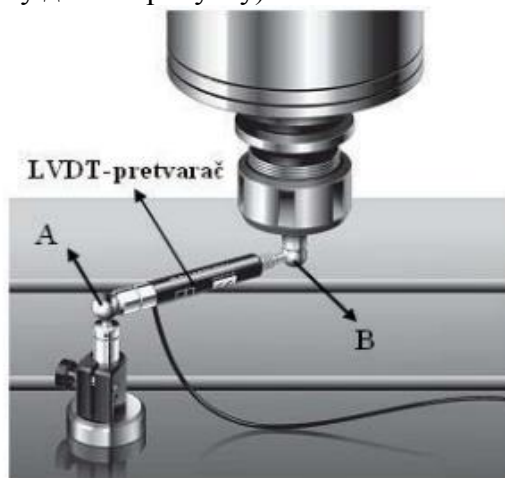
Захтеви за тачношћу израде постају из дана у дан све оштрији. Стална побољшања на подручју CAD/CAM-апликација захтевају истовремена побољшања машина алатки и уређаја који учествују у процесу израде; само на тај начин се постиже захтевани кончани резултат.

Код CNC-машина су оштри захтеви, који се односе на прецизност израдака, у већини случајева, посредно или непосредно, односе углавном на геометријску тачност машина. Због тога је за успешно и рационално пројектовање производње потребно познавати геометријску и радну тачност CNC-машина. Истовремено праћење димензијских и геометријских грешака и појава нетачности диктира потребну динамику одржавања, тиме у коначној фази продужавамо експлоатациони век CNC-машина[6].

5.1. Мерни систем BALLBAR QC10

Једна од савремених и веома успешних метода за брзу и ефикасну дијагностику грешака код CNC управљаних машина алатки базирана на тзв. "кружном тесту" употребом мерног система Ballbar QC10 (QC10 – QuickCheck 10 мин) произвођача. Специјализовани Ballbar софтвер омогућава анализу резултата мерења и израду мерних протокола према различитим стандардима и то:

- ISO 230-4;
- ACME B5.54;
- ACME B5.57;
- JIS B 6194, што даје резултатима примерену веродостојност (протоколи контроле унутар система квалитета по ISO 9001 служе као доказ стања производне опреме у датом тренутку).

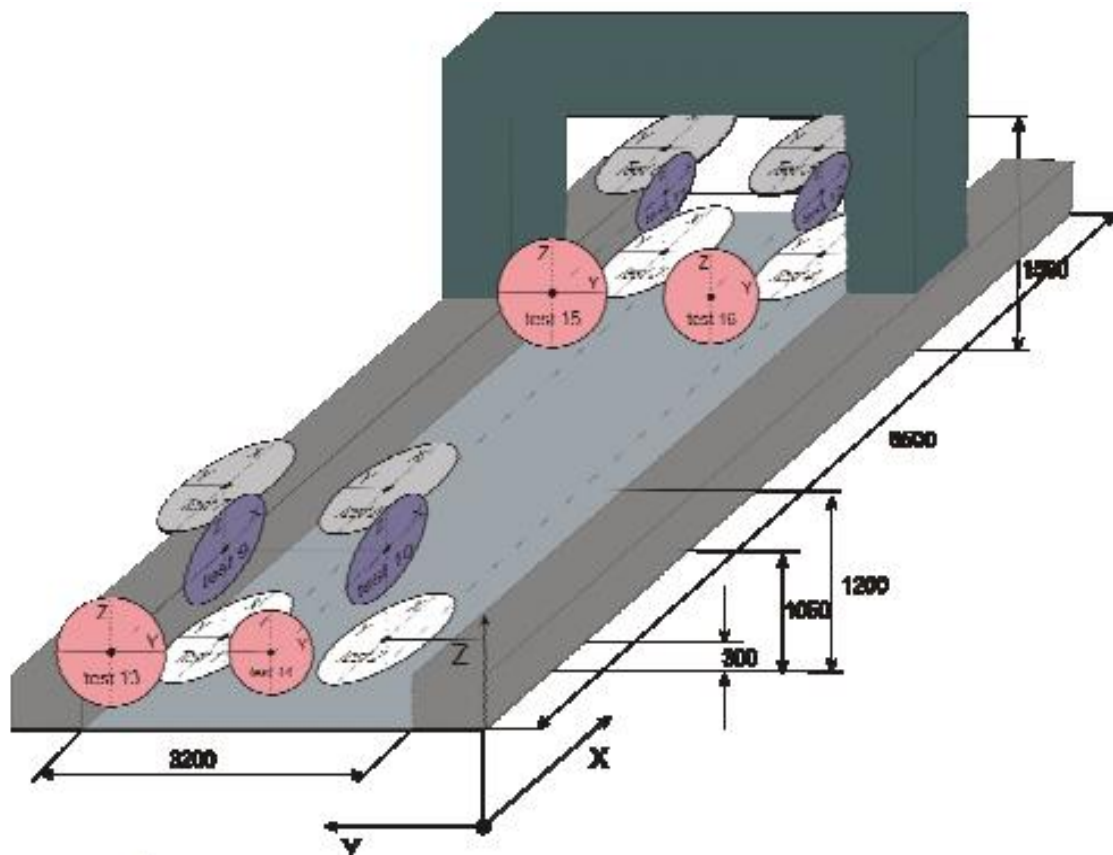


Слика 51. Мерни систем Ballbar QC10 (хардверски део)

Резултати Ballbar теста могу бити приказани графички и табеларно. Узроке грешака CNC-машине је могуће, уз помоћ софтверског дела система (програма "help"), приказати кроз чак 21 карактеристику, које указују на одређену геометријску нетачност машине. При томе су поједине парцијалне грешке приказане у % (од укупне грешке машине). Резултат теста је обично комбинација више карактеристичних парцијалних грешака, при чему је преовладавајући облик кружног записа врло приметан; мање или више је повезан са неком од дефинисаних парцијалних грешака, која има релативно највећи утицај на целокупан резултат. Јасна интерпретација осталих, мање утицајних, грешака и повезивање са могућим узроцима за њихову појаву је обично веома захтеван посао; захтева одређено искуство контролора и познавање структуре и деловања CNC-машина и њихових управљачких јединица.

5.2. Извођење Ballbar QC10 теста

Ballbar QC10 кружни тест (360°), за контролу геометриске тачности CNC-машина у производном окружењу, смо извели на 5-осном CNC обрадном центру JOMACX 145 – Италија, у три равни (XY, YZ и XZ), за четири различите позиције обрадног стола. У равни XY су изведени тестови на висинама 300 и 1200 mm, а у остале две равни на висини 1050 mm. Укупно смо на машини извели 16 тестова. Габарити машине су омогућили да сви тестови буду изведени са истом мерном палицом дужине 300 mm. Температура окружења у току тестирања је била 20°C .



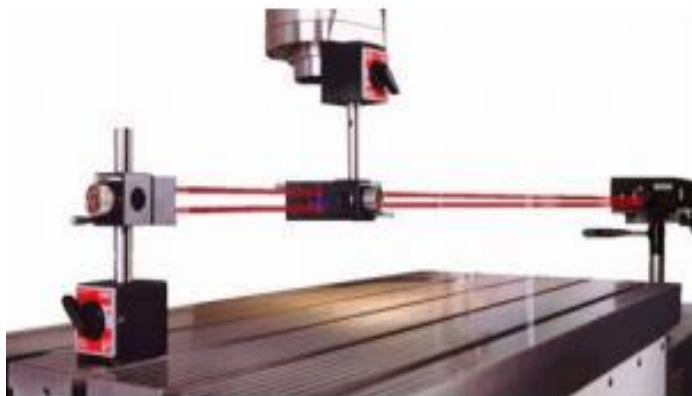
Слика 52. Шема обрадног центра и позиције изведених Ballbar тестова у све три равни

5.3. Анализа резултата тестирања у X Z-равни

У XZ-равни су били изведени тестови од 9 до 12, на истој висини $x_3 = 1050 \text{ mm}$. На основу анализе резултата тестова можемо закључити да је у вођицама у правцу Z-осе присутан знатан зазор. Тај зазор у вођицама (у Z осе) проузрокује промену положаја главног вретена приликом промене помака у правцу X-осе. Из резултата тестова такође је приметан и зазор (односно празан ход – Латерал плау) у систему куглиног вретена који у правцу X-осе износи око 4 нанометра. У правцу Z осе је зазор (Backlast) минималан. Грешка скале (Scalling error) се појављује такође у тој (XZ) равни. У правцу Z-осе грешка скале је позитивна, у правцу X-осе грешка скале, на висини $xz = 1050 \text{ mm}$, износи до 10 нанометра/метар.[7]

5.4. Ласерски систем ML10 златан стандард

Ласерски систем ML10 златан Стандард, такође произвођача Renishaw из Велике Британије, представља врхунску могућност за свеобухватну оцену геометријске тачности и калибрацију машина алатки координатних мерних машина (Coordinate Measuring Machine – CMM) и других система позиционирања. Висока тачност моно-фреквентног ласерског извора, који садржи и електронику за стабилизацију снопа, интерполацију и бројање интерферентних линија, омогућава (при нанометарској резолуцији) мерење грешака машина. Посебни додатни оптички елементи у мерном ланцу се користе за мерење грешака код линеарног позиционирања, закретања оса, равности вођица, управности вођица односно помака радног стола, равности површине радног стола и калибрисање ротационих оса или других елемената машина алатки, односно координатних мерних машина.

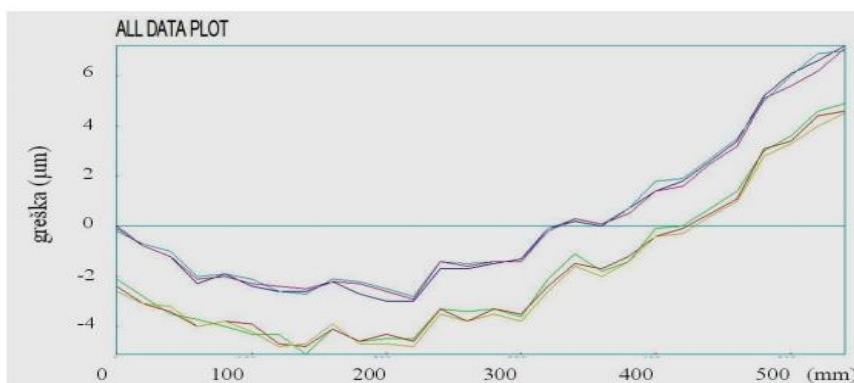


Слика 53. Ласерски мерни систем ML10 за мерење линеарног кретања радног стола

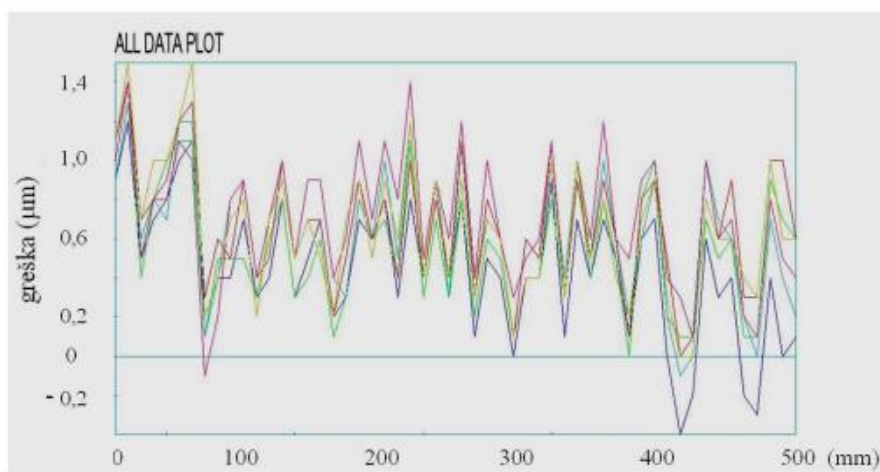
Врло прецизна (нанометарска) мерења се изводе на основу упоређења два снопа: основног ласерског снопа из извора (са познатом таласном дужином) те одбијеног снопа са огледала и сочива (постављених унутар мерног ланца, у зависности од врсте мерења). На основу тога, узимајући у обзир и параметре окружења (влажност ваздуха, температуру ваздуха и CNC-машине), рачунарски програм прецизно израчуна грешке позиције од идеалних вредности. Те податке можемо затим »ручно« или преко кабла пренети у управљачку јединицу CNC-машине. Таква компензација грешке побољшава способност (тачност) CNC-машине или координатне мерне машине (CMM).

5.5. Извођење ласерског теста и калибрације на CNC-машини

Ласерско мерење линеарног кретања односно грешке линеарног позиционирања радног стола смо обавили са ласерским системом ML10 златни Стандард на CNC обрадном центру MoriSeikiFrontier M1, у Лабораторији LABOD®, на Факултету за изградњу у Љубљани. У раду су на сликама дати резултати мерења тачности позиционирања радног стола у X-оси пред калибрацију и на тачности позиционирања по уносу коректурних фактора у управљачку јединицу CNC-машине.



Слика 54. Резултати мерења тачности позиционирања (стање пред калибрацију)

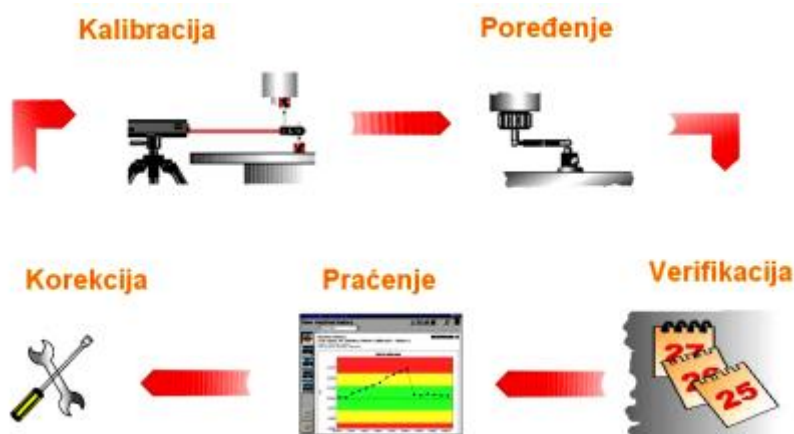


Слика 55. Резултати мерења тачности позиционирања по уносу корективних параметара у управљачку јединицу CNC-машине

Ласерско мерење и калибрацију позиционирања радног стола у X-оси изведено је на следећи начин: тачност линеарног помака стола се измери за сваких 10 mm, по целокупној дужини радног стола (500 mm). Измерене вредности грешака се затим уносе у компензацијску табелу, у управљачку јединицу CNC-машине. Одступања, која приказују тачност (стварну позицију) радног стола пред корекцију, су била највећа на позицији 200 mm (-4 нанометра) и на крајњој позицији 500 mm (+6 нанометра). По корекцији параметара (компензацији) су се грешке позиције радног стола битно смањиле, на целокупној дужини радног стола су биле у интервалу од -0,2 нанометра до 1,2 нанометра.

5.6. Оптималан начин употребе система за контролу тачности CNC-машина

Оба мерна система (Ballbar QC10 и ML10 Златни Стандард) можемо употребити за контролу геометријске тачности CNC-машина. Међутим оптималан начин би био узајамна употреба (надопуњавање) два система као што је то приказано на слици где се приказује циклус активности у процесу контроле и праћења геометријске тачности CNC-машина. У предложеном моделу употребе мерних система се ласерски мерни систем ML10 Златни Стандард употребљава за калибрацију после већих механичких интервенција при одржавању CNC машина, док се мерни систем Ballbar QC10 употребљава пре свега за брзе и редовне (унапред предвиђене) контроле тачности CNC-машина. Такав начин употребе мерних система може бити веома користан при планирању редовног или превентивног одржавања појединих елемената или склопова CNC-машина.



Слика 56. Циклус активности при контроли и праћењу геометријске тачности CNC-машина

6. Мерење мерним и контролним алатима и координатном мерном машином

У Лабораторији за обраду метала резањем Факултета инжењерских наука у Крагујевцу извршено је мерење делова који су направљени на такмичењу металских радника Србије. За мерене делове постоји конструктивна документација и мерне листе. Мерење делова на такмичењу металских радника Србије је вршено применом класичних мерних и контролних алата. Делови су прављени технологијама стругања, обимног брушења и равног брушења.

Циљ истраживања у оквиру овог рада је била поређење измерених вредности мерним и контролним алатима на такмичењу металских радника и резултата мерења добијених применом савремене координатне мерне машине. У ту сврху коришћена је мерна машина *Micro Hite 3D TESA*, хексагонална машина.

Micro Hite 3D TESA је координатна мерна машина је вертикална координатна мерна машина типа моста која садржи следеће карактеристике:

- Одговарајући софтвер који омогућује једноставно коришћење и добијање потребне документације о резултатима мерења.
- Мерна машина је пројектована тако да су максимално избегнути утицаји структуралних одступања и ефекти вибрација и топлотних варијација на карактеристике машине.
- Вертикални стуб је потпуно пнеуматски уравнотежен и подесив за различите тежине сонди, са уграђеним уређајем против оштећења.
- Велики опсег мерења од 16,5 "x 18,5" x 15,0 "(420 x 470 x 380 mm).
- Убрзање 1732 mm/sec² (макс. векторско позиционирање).
- Патентиране рубинске сонде и бесконтактни опто-електронски сензори омогућавају високу тачност и поновљивост мерења, до 2 μm.
- Гранитни радни сто има стабилну мерну површину са малим захтевима за одржавање.
- Двадесет и два ваздушна лежаја осигуравају кретање дуж три осе унутар мерног простора без трења.
- TRICISION® мост са само стабилизованим вођењем колица осигурава прецизно кретање.
- TESASTAR® додирни сензор. Мали отисак одговара било којој радној конфигурацији.
- Уметци од нерђајућег челика са навојем M10 уграђени у радни сто од гранита омогућују сигурно причвршћивање мереног дела.
- Држач сонде *Z-rail* можеда прими широку палету различитих сонди.

Мерна машине на којој су вршена мерења је приказана на слици 57, 58.



Слика 57 Координатна мерна машина Micro Hite 3D TESA



Слика 58 Мерна глава са сондом за мерење

На сликама 60, 61 и 62 су приказани предмети коришћени на такмичењу металских радника Србије за које постоје мерне листе. То су предмети добијени технологијом стругања (слика 60), обимног брушења (слика 61) и равног брушења (слика 62).



Слика 59. Предмет добијен обрадом стругањем



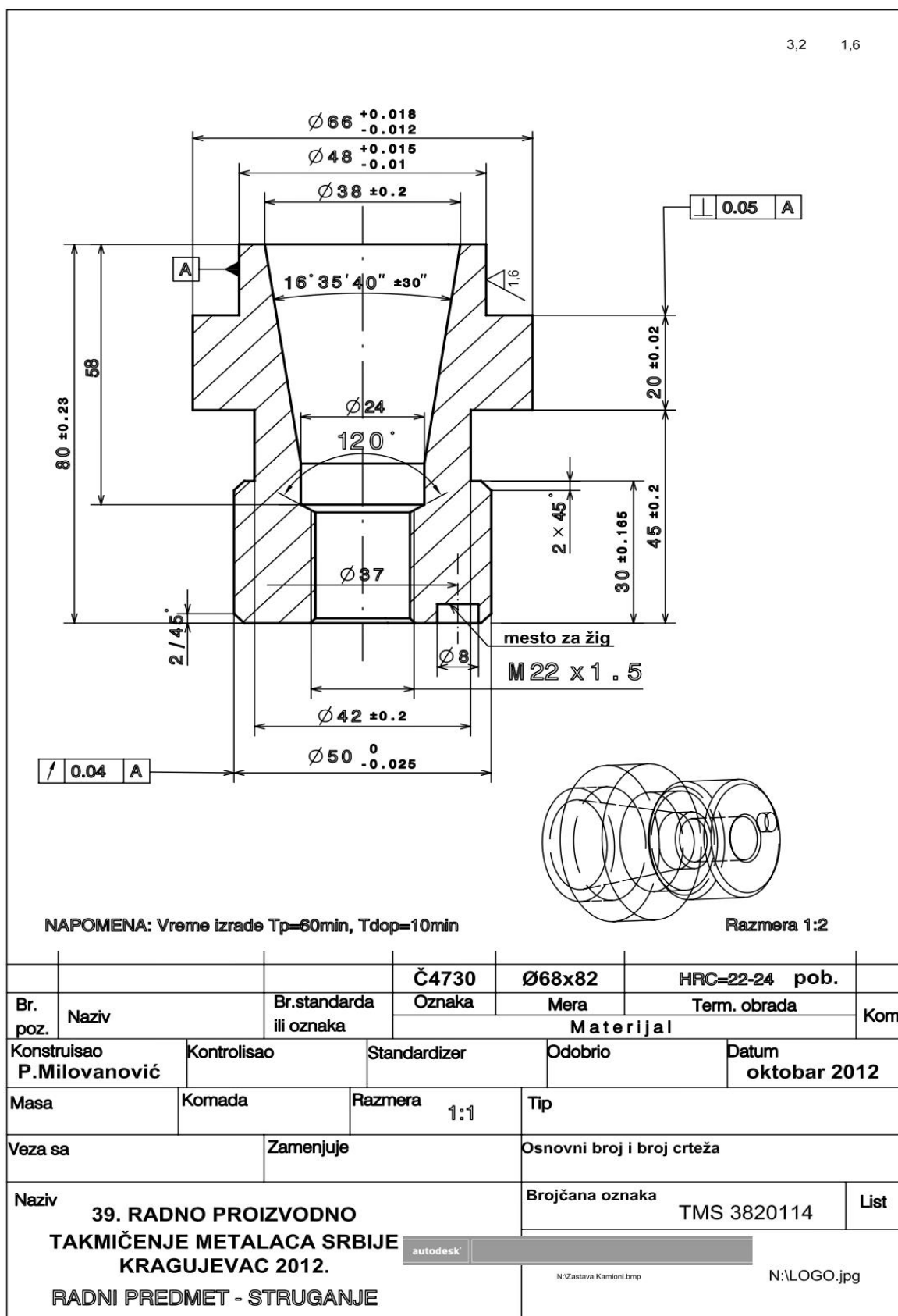
Слика 60. Предмет добијен завршном обрадом обимним брушењем



Слика 61. Предмет добијен завршном обрадом равним брушењем

У наредном делу текста дати су технички цртежи готових делова који су мерени на такмичењу металских радника, њихове мерне листе са такмичења и извештаји са мерења на координатној мерној машини (СММ).

Обрада стругањем



Слика 62. Технички цртеж дела за обраду стругањем

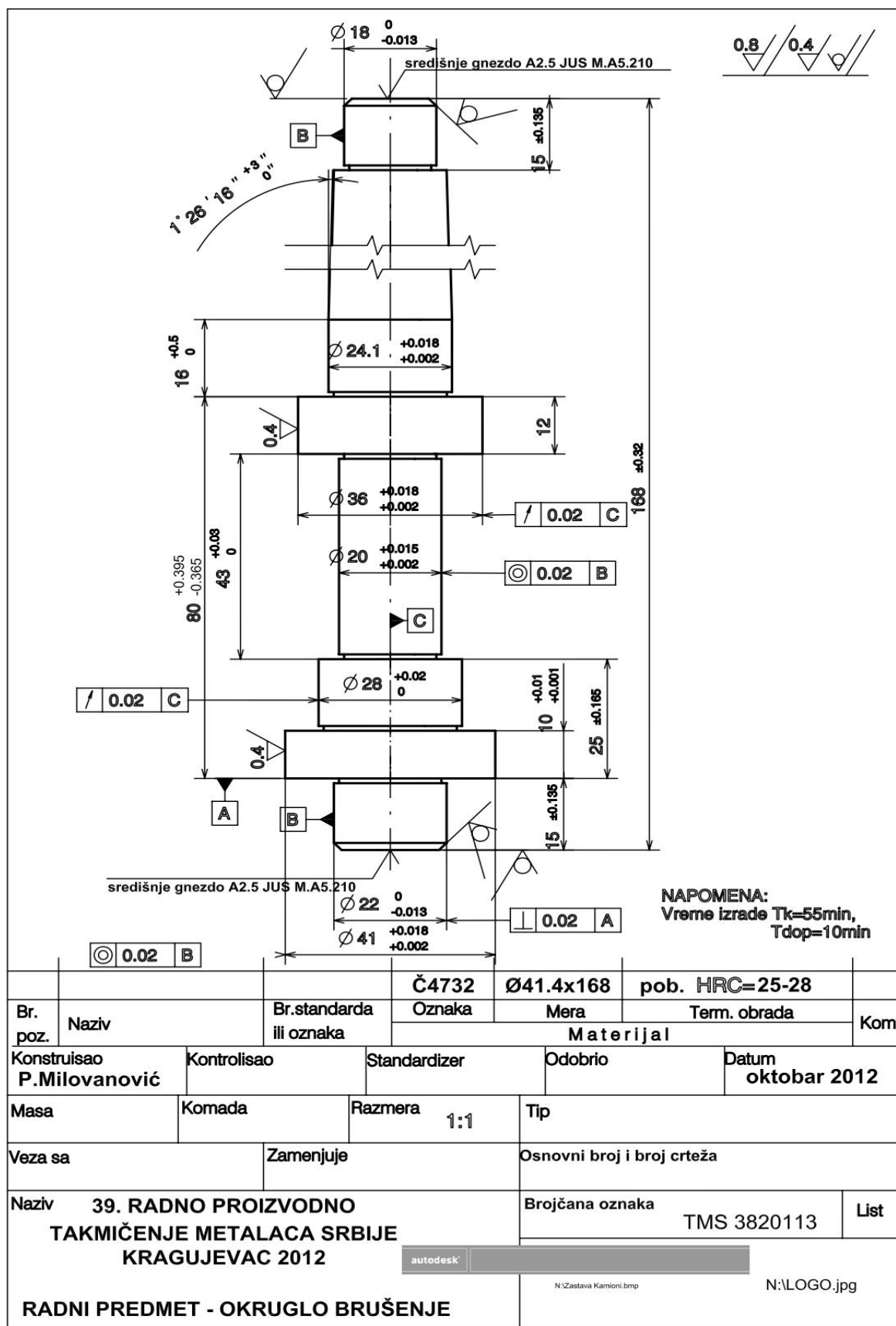
Мерни лист 1 – Обрада стругањем

Sindikat metalaca Srbije 		Republički odbor takmičenja metalaca Srbije				REPUBLIČKO TAKMIČENJE METALACA SRBIJE						
MERNI LIST												
Zanimanje:		Metalostrugar				Šifra komada:						
Radni komad je:		☐	Završen	☐	Nezavršen	☐	Napomena					
Merna karakteristika		Izmereno		Merni instrument		Tačnost merila						
1.	$\varnothing 66^{+0,03}_{-0,02}$	$\varnothing 66,03$		mikrometar		0.001						
2.	$\varnothing 48^{+0,04}_{-0,01}$	$\varnothing 48,029$		mikrometar		0.001						
3.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>$\perp$</td><td>0,</td><td>A</td></tr></table>	$\perp$	0,	A	0.01		Radni sto					
$\perp$	0,	A										
4.	$20^{+0,02}_{-0,02}$	20.02		mikrometar		0.001						
5.	$45^{+0,2}_{-0,2}$	45.05		kljunasto pom. merilo		0.05						
6.	$30^{+0,165}_{-0,165}$	30.0		radni sto - visinomer		0.05						
7.	$\varnothing 42^{+0,2}_{-0,2}$	$\varnothing 42.08$		kljunasto pom. merilo		0.02						
8.	$\varnothing 50^{-0,04}$	$\varnothing 49.99$		mikrometar		0.001						
9.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>$\nearrow$</td><td>0,</td><td>A</td></tr></table>	$\nearrow$	0,	A	0.016		radni sto					
$\nearrow$	0,	A										
10.	$80^{+0,23}_{-0,23}$	79.95		kljunasto pom. merilo		0.05						
11.	$\varnothing 38^{+0,2}_{-0,2}$	$\varnothing 38.0$		mikroskop		0.001						
12.	$16^{\circ}35'40''^{+0,30}_{-0,30}$	$16^{\circ}27'15''$		merni uređaj sa dva komparatora								
13.	$\varnothing 25^{+0,2}_{-0,2}$	$\varnothing 25.0$		imikron		0.01						
14.	$55^{+0,23}_{-0,23}$	55.0		dubinomer		0.05						
15.	2/45°	1.89		projektor								
16.	M22x1,5	dobar		navojni čep		IDE - NE IDE						
17.	2/45°	2.08		projektor								
18.												
19.												
20.												
21.												
Članovi podkomisije:						Predsednik podkomisije:						

Извештај 1 - Мерења помоћу координатне мерне машине - обрада стругањем

		PART NAME : 3820114			February 07, 2020		13:30	
		REV NUMBER :		SER NUMBER :		STATS COUNT : 1		
BEGIN AUTOCALIBRATE RESULTS FOR PROBE 1 USING SET 0-0								
Probe file=1 Date=2/7/2020 Time=11:52:08 AM								
sfera CENT X 228.148 Y 474.015 Z -389.585 D 19.047								
T1A0B0 THEO X 0.000 Y 0.000 Z 143.000 D 4.000								
T1A0B0 MEAS X 0.000 Y 0.000 Z 143.000 D 4.000 StdDev 0.000								
END AUTOCALIBRATE RESULTS FOR PROBE 1 USING SET 0-0								
MM LOC1 - CYL3								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
D 66.000 0.018 -0.012 65.901 -0.099 0.087								
MM LOC2 - CYL2								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
D 48.000 0.015 -0.010 48.046 0.046 0.031								
FCFPERP1 MM 0.05A								
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS								
CYL3 0.000 0.050 0.000 20.000 20.000 19.950 0.000								
MM DIST1 - PNT3 TO PNT4 (ZAXIS)								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
M 20.000 0.020 -0.020 20.002 0.002 0.000								
MM DIST2 - PNT4 TO PNT5 (ZAXIS)								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
M 45.000 0.200 -0.200 45.028 0.028 0.000								
MM DIST3 - PNT5 TO PNT6 (ZAXIS)								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
M 30.000 0.165 -0.165 29.889 -0.111 0.000								
MM LOC3 - CYL4								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
D 42.000 0.200 -0.200 41.985 -0.015 0.000								
MM LOC4 - CYL5								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
D 50.000 0.000 -0.025 49.880 -0.120 0.095								
FCFRNOUT1 MM 0.04A RADIAL								
Feature NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL BONUS								
CYL5 0.000 0.040 0.900 0.900 0.860								
MM DIST4 - PNT5 TO PNT2 (ZAXIS)								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
M 80.000 0.230 -0.230 80.002 0.002 0.000								
MM LOC5 - CIR1								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
D 38.000 0.200 -0.200 38.061 0.061 0.000								
MM LOC6 - CON1								
AX NOMINAL +TOL -TOL MEAS DEV OUTTOL								
A 16°35'40" 0°00'30" -0°00'30" 16°37'27" 0°01'47" 0°01'17"								

Обрада обимним брушењем



Слика 63. Технички цртеж дела за обраду обимним брушењем

Мерни лист 2 – Обрада обимним брушењем

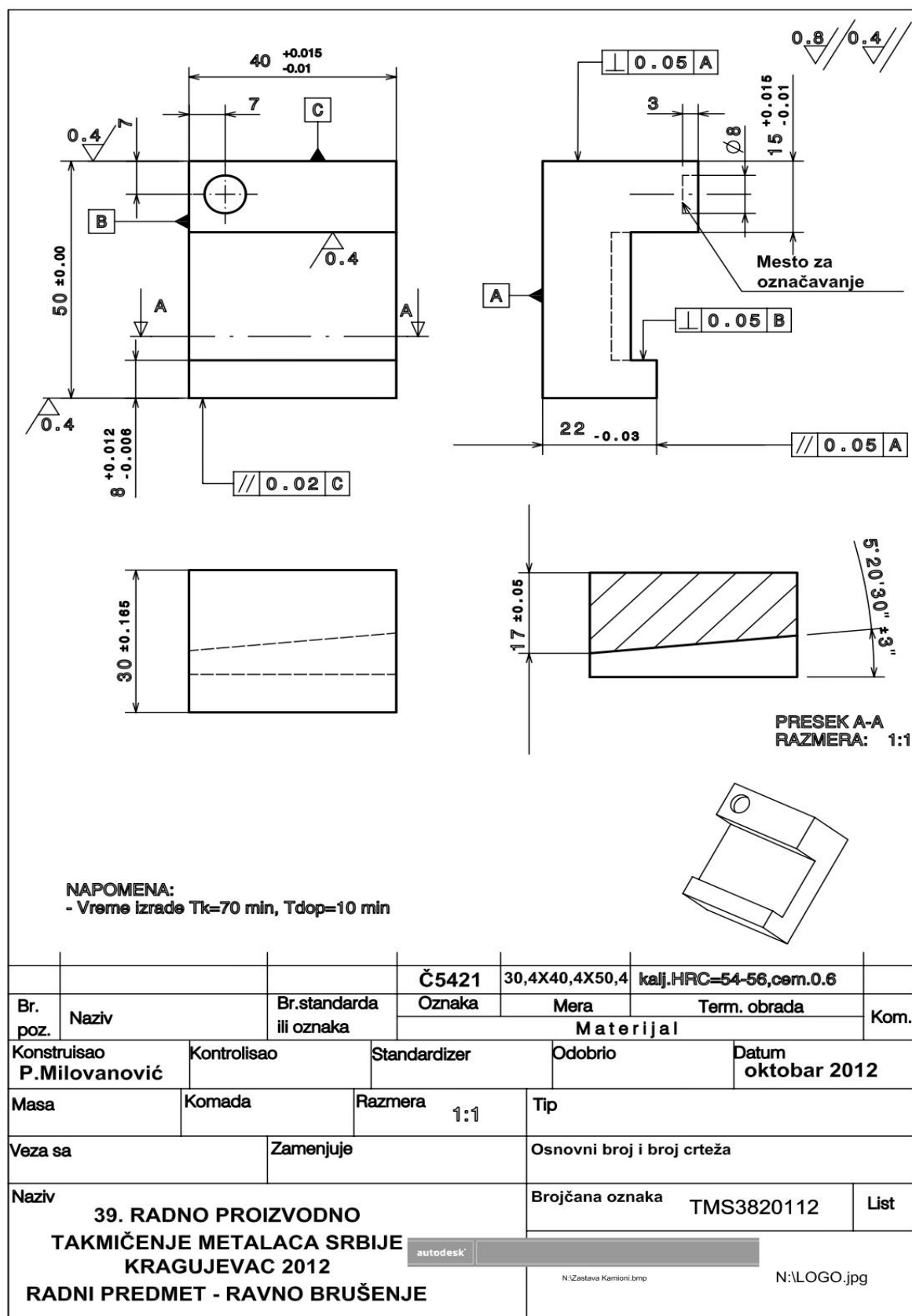
Sindikat metalaca Srbije 	Republički odbor za organizaciju i sprovođenje takmičenja metalaca Srbije		REPUBLIČKO TAKMIČENJE METALACA SRBIJE			
MERNI LIST						
Zanimanje:	Brusači-kružno brušenje			Šifra komada:		
Radni komad je:	☐	Završen	☐	Nezavrše	☐	Oštećen
Merna karakteristika		Izmereno	Merni instrument	Tačnost merila	Napomena	
Vreme izrade T_k=55 min T_{dop}=10 min						
1.	Ø 41 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø41,012	mikrometar	0,001		
2.	Ø 22 ^{+0,013} _{-0,013}	Ø21,998	mikrometar	0,001		
3.	Ø 28 ^{+0,02}	Ø28,010	mikrometar	0,001		
4.	Ø 20 ^{+0,015} _{+0,002}	Ø20,012	mikrometar	0,001		
5.	Ø 36 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø36,008	mikrometar	0,001		
6.	Ø 24,1 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø24,117	mikrometar	0,001		
7.	1°26'16" ^{+30'}	1°27'55"	projektor			
8.	Ø18 _{-0,013}	Ø18,0	mikrometar	0,001		
9.	 0, B	0,005	Radni sto			
10.	 0, A	0,005	Radni sto			
11.	15 ^{±0,135}	15,10	Radni sto	0,02		
12.	25 ^{±0,165}	25,020	klju.pom. merilo	0,02		
13.	10 ^{+0,01} _{+0,001}	10,006	mikrometar	0,001		
14.	 0, C	0,005	radni sto			
15.	80 ^{+0,1} _{-0,4}	80,030	klju.pom. merilo	0,02		
16.	 0, B	0,0	radni sto			
17.	 0, C	0,005	radni sto			
18.	43 ^{+0,03}	43,009	radni sto			
19.	16 ^{+0,5}	16,10	projektor			
20.	15 ^{±0,135}	15,020	radni sto			
21.	168 ^{±0,315}	168,0	radni sto			
22.	12 ^{±0,135}	12,010	klju.pom. merilo			
23.	Ra0,8		pertometar			
24.	Ra0,4		pertometar			
25.	Ra0,4		pertometar			
Članovi podkomisije:				Predsednik podkomisije:		

Извештај 2 - Мерења помоћу координатне мерне машине - обрада обимним брушењем

pcodmis		PART NAME : Okruglo brusenje				February 07, 2020		11:41							
		REV NUMBER :		SER NUMBER : 3820113		STATS COUNT : 1									
⊕		MM		LOC1 - CYL4											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		41.000		0.018		0.002		40.971		-0.029		0.031			
⊕		MM		LOC2 - CYL2											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		22.000		0.000		-0.013		21.992		-0.008		0.000			
⊕		MM		LOC3 - CYL5											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		28.000		0.020		0.000		27.971		-0.029		0.029			
⊕		MM		LOC4 - CYL6											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		20.000		0.015		0.002		19.964		-0.036		0.038			
⊕		MM		LOC5 - CYL7											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		36.000		0.018		0.002		35.974		-0.026		0.028			
⊕		MM		LOC6 - CYL8											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		24.100		0.018		0.002		24.055		-0.045		0.047			
⊕		MM		LOC7 - CON1											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
A/2		1°26'16"		0°00'03"		0°00'00"		1°26'06"		-0°00'10"		0°00'10"			
⊕		MM		LOC8 - CYL3											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
D		18.000		0.000		-0.013		17.978		-0.022		0.009			
FCFCOAX1		MM		⊕ ∅0.02 B											
Feature		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL		BONUS	
CYL4		0.000		0.020				1.537		1.537		1.517			
FCFPERP1		MM		⊥ 0.02 A											
Feature		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL		BONUS	
CYL2		0.000		0.020		0.000		0.001		0.001		0.000		0.000	
↔		MM		DIST1 - PNT2 TO PLN1_A (ZAXIS)											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
M		15.000		0.135		-0.135		14.994		-0.006		0.000			
↔		MM		DIST2 - PNT3 TO PLN1_A (ZAXIS)											
AX		NOMINAL		+TOL		-TOL		MEAS		DEV		OUTTOL			
M		25.000		0.165		-0.165		24.995		-0.005		0.000			

↔	MM	DIST3 - PNT4 TO PLN1_A (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	10.000	0.010	0.001	10.001	0.001	0.000	
FCFRNOUT1	MM	↗ 0.02 C RADIAL					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL5	0.000	0.020		0.341	0.341	0.321	
↔	MM	DIST4 - PNT5 TO PLN1_A (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	80.000	0.395	-0.365	79.976	-0.024	0.000	
FCFCOAX2	MM	⊕ ∅0.02 B					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL6	0.000	0.020		0.810	0.810	0.790	
FCFRNOUT2	MM	↗ 0.02 C RADIAL					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
CYL7	0.000	0.020		0.348	0.348	0.328	
↔	MM	DIST5 - PNT6 TO PNT3 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	43.000	0.030	0.000	43.022	0.022	0.000	
↔	MM	DIST6 - CIR1 TO PNT5 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	16.000	0.500	0.000	16.035	0.035	0.000	
↔	MM	DIST7 - PNT7 TO PNT9 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	15.000	0.135	0.135	14.943	-0.057	0.192	
↔	MM	DIST8 - PNT7 TO PNT2 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	168.000	0.320	-0.320	167.945	-0.055	0.000	

Обрада равним брушењем



Слика 64. Технички цртеж дела за обраду равним брушењем

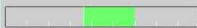
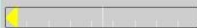
Мерни лист 3 – Обрада равним брушењем

Sindikat metalaca Srbije 		Republički odbor za organizaciju i sprovođenje takmičenja metalaca Srbije				REPUBLIČKO TAKMIČENJE METALACA SRBIJE						
MERNI LIST												
Zanimanje:		Brusači - ravno brušenje				Šifra komada:						
Radni komad je:		☐	Završen	☐	Nezavršen	☐	Napomena					
Merna karakteristika		Izmereno		Merni instrument		Tačnost merila						
1.	$40^{+0,015}_{-0,01}$	40.01		radni sto sa komparatorom		0,001						
2.	$50^{±0,05}$	50.002		radni sto sa komparatorom		0,001						
3.	$8^{+0,012}_{-0,06}$	8.010		radni sto sa komparatorom		0,001						
4.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>//</td><td>0,</td><td>C</td></tr></table>	//	0,	C	0.005		radni sto sa komparatorom		0,001			
//	0,	C										
5.	$22^{-0,03}$	21.99		radni sto sa komparatorom		0,001						
6.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>//</td><td>0,</td><td>B</td></tr></table>	//	0,	B	0.021		radni sto sa komparatorom		0,001			
//	0,	B										
7.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>⊥</td><td>0,</td><td>A</td></tr></table>	⊥	0,	A	0.01		radni sto sa komparatorom					
⊥	0,	A										
8.	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>⊥</td><td>0,</td><td>B</td></tr></table>	⊥	0,	B	0.012		radni sto sa komparatora		0,001			
⊥	0,	B										
9.	$15^{+0,015}_{-0,01}$	15.010		mikrometar		0,001						
10.	$30^{+0,165}_{-0,165}$	30.04		radni sto sa komparatorom		0,001						
11.	$17^{±0,05}$	17.020		projektor								
12.	$5^{\circ}20'30'' \pm 3''$	$5^{\circ}18'46''$		radni sto sa dva komparatorom		0,001						
13.				pertometar								
14.												
15.												
16.												
17.												
18.												
Članovi podkomisije:						Predsednik podkomisije:						

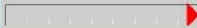
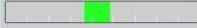
Извештај 3 - Мерења помоћу координатне мерне машине - обрада равним брушењем

	PART NAME : ravno brusenje		March 04, 2020	12:44
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	

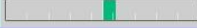
pogled 1

↔	MM	DIST1 - PLN3 TO PLN4 (XAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	40.000	0.015	-0.010	40.007	0.007	0.000	
↔	MM	DIST2 - LIN3 TO LIN4 (YAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	50.000	0.000	0.000	49.994	-0.006	0.006	
↔	MM	DIST3 - LIN3 TO LIN5 (YAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	8.000	0.012	-0.006	8.002	0.002	0.000	
FCFPARL1	MM	// 0.02 C					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
LIN3	0.000	0.020	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000

pogled 2

↔	MM	DIST4 - PLN6 TO PLN5 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	22.000	0.000	-0.030	22.014	0.014	0.014	
FCFPARL2	MM	// 0.05 A					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN6	0.000	0.050	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000
FCFPERP1	MM	┐ 0.05 B					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN6	0.000	0.050	0.000	0.010	0.010	0.000	0.000
FCFPERP2	MM	┐ 0.05 A					
Feature	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	BONUS
PLN8	0.000	0.050	0.000	0.012	0.012	0.000	0.000
↔	MM	DIST5 - PLN8 TO PLN9 (YAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	15.000	0.015	-0.010	15.003	0.003	0.000	

pogled 3

↔	MM	DIST6 - PLN10 TO PLN5 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	30.000	0.165	-0.165	30.023	0.023	0.000	

pogled 4

↔	MM	DIST7 - LIN6 TO PLN5 (ZAXIS)					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
M	17.000	0.050	-0.050	17.034	0.034	0.000	
∠		ANGL2 - PLN11 TO PLN5					
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL	
A	5°20'30"	0°00'03"	-0°00'03"	5°21'40"	0°01'10"	0°01'07"	

Табела 1. Резултати добијени мерењем координатном мерном машином и мерним и контролним алатом – Обрада стругањем

Резултати мерења (обрада стругањем)							
Мерна карактеристика		Мерним и контролним алатом	Координатном мерном машином				
1	Ø 66 ^{+0,03} _{-0,02}		Ø 66,03	65.901			
2	Ø 48 ^{+0,015} _{-0,01}		Ø 48,029	48.046			
3	<table border="1"><tr><td></td><td>0,05</td><td>A</td></tr></table>			0,05	A	0.01	0.0
	0,05	A					
4	20 ^{+0,02} _{-0,02}		20.02	20.002			
5	45 ^{+0,2} _{-0,2}		45.05	45.028			
6	30 ^{+0,165} _{-0,165}		30.0	29.889			
7	Ø 42 ^{+0,2} _{-0,2}		Ø 42.08	41.985			
8	Ø 50 ^{-0,025}		Ø 49.99	49.880			
9	<table border="1"><tr><td></td><td>0,04</td><td>A</td></tr></table>			0,04	A	0.016	0.900
	0,04	A					
10	80 ^{+0,23} _{-0,23}		79.95	80.002			
11	Ø 38 ^{+0,2} _{-0,2}		Ø 38.0	38.061			
12	16°35'40" ^{+0,30"} _{-0,30"}		16°27'15"	16°37'27"			

Табела 2. Резултати добијени мерењем координатном мерном машином и мерним и контролним алатом - Обимно брушење

Резултати мерења (обрада обимним брушењем)						
Мерна карактеристика		Мерним и контролним алатом	Координатном мерном машином			
1	Ø 41 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø41,012	40,971			
2	Ø 22 ^{-0,013}	Ø21,998	21,992			
3	Ø 28 ^{+0,02}	Ø28,010	27,971			
4	Ø 20 ^{+0,015} _{+0,002}	Ø20,012	19,964			
5	Ø 36 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø36,008	35,974			
6	Ø 24,1 ^{+0,018} _{+0,002}	Ø24,117	24,055			
7	1°26'16" +30''	1°27'55"	1°26'06"			
8	Ø18 ^{-0,013}	Ø18,0	17,978			
9	<table border="1"><tr><td>⊙</td><td>0,02</td><td>B</td></tr></table>	⊙	0,02	B	0,005	1,537
⊙	0,02	B				
10	<table border="1"><tr><td>⊥</td><td>0,02</td><td>A</td></tr></table>	⊥	0,02	A	0,005	0,001
⊥	0,02	A				
11	15 ^{±0,135}	15,10	14,994			
12	25 ^{±0,165}	25,020	24,995			
13	10 ^{+0,01} _{+0,001}	10,006	10,001			
14	<table border="1"><tr><td>↑</td><td>0,02</td><td>C</td></tr></table>	↑	0,02	C	0,005	0,341
↑	0,02	C				
15	80 ^{+0,1} _{-0,4}	80,030	79,976			
16	<table border="1"><tr><td>⊙</td><td>0,02</td><td>B</td></tr></table>	⊙	0,02	B	0,0	0,810
⊙	0,02	B				
17	<table border="1"><tr><td>↑</td><td>0,02</td><td>C</td></tr></table>	↑	0,02	C	0,005	0,348
↑	0,02	C				
18	43 ^{+0,03}	43,009	43,022			
19	16 ^{+0,5}	16,10	16,035			
20	15 ^{±0,135}	15,020	14,943			
21	168 ^{±0,315}	168,0	167,945			
22	12 ^{±0,135}	12,010	12,25			

Табела 3. Резултати добијени мерењем координатном мерном машином и мерним и контролним алатом - Равно брушење

Резултати мерења (обрада равним брушењем)			
<i>Мерна карактеристика</i>		<i>Мерним и контролним алатом</i>	<i>Координатном мерном машином</i>
1	$40^{+0,015}_{-0,01}$	40.01	40.007
2	$50^{\pm 0,05}$	50.002	49.994
3	$8^{+0,012}_{-0,06}$	8.010	8.002
4	// 0,02 C	0.005	0.003
5	$22^{-0,03}$	21.99	22.014
6	// 0,05 B	0.021	0.005
7	⊥ 0,05 A	0.01	0.010
8	⊥ 0,05 B	0.012	0.012
9	$15^{+0,015}_{-0,01}$	15.010	15.003
10	$30^{+0,165}_{-0,165}$	30.04	30.023
11	$17^{\pm 0,05}$	17.020	17.034
12	$5^{\circ}20'30'' \pm 3''$	$5^{\circ}18'46''$	$5^{\circ}21'40''$

Жутим пољима у табели су означена поља где је утврђено одступање измерених вредности од задатог толерантног поља за оба начина мерења. То значи да би део био проглашен шкартом или део који може да се доради.

Црвеним пољима су означене вредности где је уочено значајно одступање измерених вредности. Ова одступања су добијена мерењем координатном мерном машином.

Анализа добијених резултата мерења указује на следеће закључке:

- Постоје одређена одступања између измерених вредности помоћу класичних мерних уређаја и координатне мерне машине. У највећем броју случајева та одступања нису велика. Мерење касичним мерним уређајима је вршено три пута и као резултат је приказана средња вредност. Мерење координатном мерном машином је вршено једном и приказани су добијени резултати. Да би се утврдиле тачне димензије мерених величина са већом поузданошћу мерења потребно би било извршити већи број мерења (мин 3, предлог 5 мерења).
- Највеће разлике измерених вредности су код мерења одсупања од облика. Мерењем помоћу координатне мерне машине измерене су изузетно велике вредности. Овако велике разлике захтевају поновно мерење ради тражења и

налажења узрока. Највероватније узроке треба тражити у начину мерења координатном мерном машином и вероватно неодговарајућим положајем за ово мерење.

- Утврђене разлике између измерених вредности указују и на могућност грешке мерења које могу настати услед грешке радника који врши мерење. Наиме, мерења класичним мерним уређајима су вршила различита лица, а такође мерења су вршена са различитим мерним уређајима. Сви мерни уређаји су поседовали сертификат о претходној провери тачности, али се и то мора узети са резервом. Посебно имајући у виду да су класична мерења вршена 2012. године.
- Ради провере тачности мера мерењем класичним мерним уређајима било би потребно сада извршити мерења применом сертифицираних мерила.
- Када је у питању мерење тачности облика треба разликовати начин мерења класичним мерним уређајима, најчешће компараторима у односу на начин мерења помоћу координатне мерне машине.

7. Закључак

Место и улога мерења и контроле 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 (CNC), повећана је тачност, комплексност и флексибилност обрађених делова. Улога контроле је овде била не само да идентификује геометријску тачност обрађеног дела већ и параметер за управљање обрадним процесом и подешавањем алата. Број параметра обраде и квалитета који улази у међусобну корелацију се повећава. Развој нумерички управљаних машина, односно сложенијих технолошких система је успоставио и нове концепте и правила за мерење и контролу.

У раду је указано да повећање комплексности и флексибилности, уз све оштрије захтеве у смислу тачности, данас захтева развој и примену 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. Значај и примена мерних и контролних система у савременом обрадном процесу постаје доминантна када је реч о тачности и квалитету израде дела. Контрола након завршетка свих операције обраде дела постаје прошлост, а примена савремених мерних система имплементираних у машину је реалност. Кретање извршних елемената машине уз континуално мерење и контролу путање и повратну спрегу, треба да обезбеди захтевану тачност израде дела.

Све оштрији захтеви за тачношћу израде траже стална побољшања на подручју CAD/CAM-апликација захтевајући истовремена побољшања машина алатки и уређаја који учествују у процесу израде како би се на крају добио захтевани кончани резултат.

Анализом резултата поновног мерења делова, који су направљени у оквиру такмичења металских радника Србије, помоћу координатне мерне машине уочено је постојање разлика. Наиме, примећена су извесна одступања у мерењу машином и алатом па се закључује да је исти предмет потребно мерити више пута, најмање 3 пута, како би се добио прецизнији резултат.

Запажа се да су највеће разлике измерених вредности код мерења одступања од облика, где мерна машина бележи изузетно велике вредности чији су узроци између осталог и сам неодговарајући положај машине приликом мерења.

Поред машине и алата, треба узети у обзир и људски фактор као и сертификованост самог алата који такође могу имати утицај на резултате мерења.

На крају, треба имати у виду да при мерењу тачности облика треба разликовати начин мерења класичним мерним уређајима, најчешће компартерима у односу на начин мерења помоћу координатне мерне машине.

8. Литература:

- [1] Недић Б., Лазић М.: Производне технологије: Обрада метала резањем - предавања, скрипта, Машински факултет Крагујевац, 2007.
- [2] <https://www.scribd.com/doc/293719732/Fleksibilna-Automatizacija-u-Proizvodnoj-Metrologiji> (Приступљено 9.6.2019)
- [3] <http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Robotika%2011.htm> (Приступљено 9.8.2019)
- [4] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Projektovanje%20pribora%20i%20merne%20masine/Predavanje%203%20%20Razvoj%20numericki%20upravljanih%20mernih%20masina.pdf> (Приступљено 9.9.2019)
- [5] http://www.tehniar.com/wp-content/uploads/1_MERENJE_I_KONTROLISANJE.PDF (Приступљено 9.9.2019)
- [6] Devedžić G., CAD/CAM tehnologije, Mašinski fakultet, CIRPIS Centar, Kragujevac, 2009.
- [7] Radomir V. Slavković - "PROGRAMSKO UPRAVLJANJE MAŠINAMA ALATKAMA", Tehnički fakultet, Čačak, 2004. godine