

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 14/2017

Миљан М. Каравелић

# Примена координатне мерне машине за мерење делова пресерских алата

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Богдан Недић - ментор

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

Крагујевац, јул 2020. године



Универзитет у Крагујевцу  
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Машинско инжењерство**

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

Име и презиме: **Миљан Каравелић**

Број индекса: **14/2017**

### **ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА**

Тема рада: **Примена координатне мерне машине за мерење делова пресерских алата**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података потребних за димензионисање делова пресерских алата у функцији мерења на координатној мерној машини. Потребно је описати мерну машину у предузећу Горење МДМ, Крагујевац. У посебном делу рада извршити одговарајућа мерења.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Технологије израде пресерских алата у предузећу Горење МДМ, Крагујевац,
3. Координатна мерна машина и начин мерења,
4. Конструктивни и технолошки захтеви за израду пресерских алата,
5. Примери мерења на координатној мерној машини,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

---

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 12.03.2020.

## Резиме

У овом завршном раду биће детаљно дате операције израде делова пресерских алата у предузећу Горење МДМ. Те операције су операције просецања/пробијања, операција дубоког извлачења и операција савијања. Након тога, у поглављу 3 ће бити акценат на технологији израде делова пресерских алата, односећи се на захтеве у виду толеранција облика и положаја. Опште је позната чињеница да је неопходно да се при монтажи делова пресерских алата испоштују геометријске толеранције као што су концентричност (саосност) или пак управност. Поред тога, у истом поглављу, биће дати коментари које су то завршне, односно fine обраде које се користе, како би се постигле уске толеранције ових делова. Од свих финих обрада, највише се истиче обрада брушењем. На крају, потребно је на координатној мерној машини проверити тачност ових делова. Координатна мерна машина, односно скраћено СММ, има за циљ да провери да ли је финални комад прошао завршну контролу. Управо је у поглављу 5 извршено мерење на координатној мерној машини у предузећу Горење МДМ. Ово поглавље има за циљ да се уочи примена координатне мерне машине (која је врло разноврсна) на мерење углавном одступања делова пресерских алата.

**Кључне речи:** *Пресерски алати, операција просецања/пробијања, операција дубоког извлачења, операција савијања, координатна мерна машина, Горење МДМ*

## Abstract

In this thesis, the operations of making parts of press tools in the company Gorenje MDM will be explain in detail. These operations are cutting / punching operations, deep drawing operations and bending operations. After that, in chapter 3, an emphasis will be on the technology of making parts of press tools, referring to the requirements such as shape tolerances and position tolerances. It is a well-known fact that it is necessary to observe geometric tolerances such as concentricity or alignment when assembling parts of presser tools. In addition, in the same chapter, will be explain which fine or finishing processing are used, in order to achieve narrow tolerances of these parts. Of all fine processing, the most prominent is the grinding. Finally, it is necessary to check the accuracy of these parts on a coordinate measuring machine. The coordinate measuring machine, or CMM, aims to check whether the final piece has passed the final control. In chapter 5, the measurement was performed on a coordinate measuring machine in the company Gorenje MDM. This chapter aims to observe the application of the coordinate measuring machine (which is very diverse) to measure mainly the deviation of parts of presser tools.

**Keywords:** *Press tools, cutting/punching operation, deep drawing operation, bending operation, coordinate measuring machine, Gorenje MDM*

# Садржај

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Увод .....                                                                   | 5  |
| 2. Технологије израде пресерских алата у предузећу Горење МДМ, Крагујевац ..... | 7  |
| 2.1. Алати за просецање и пробијање .....                                       | 7  |
| 2.2. Алати за савијање .....                                                    | 10 |
| 2.3. Алати за дубоко извлачење .....                                            | 12 |
| 2.4. Систематизација делова пресерских алата у предузећу Горење МДМ .....       | 14 |
| 3. Технологије израде и захтевана тачност делова пресерских алата .....         | 18 |
| 4. Координатна мерна машина и начин мерења - настанак .....                     | 30 |
| 4.1. Координатна мерна машина – конструкција .....                              | 31 |
| 4.2. Координатна мерна машина – сонде .....                                     | 35 |
| 4.3. Координатна мерна машина – софтвер .....                                   | 37 |
| 4.4 Координатна мерна машина – начин мерења .....                               | 38 |
| 5. Примери мерења на координатној мерној машини .....                           | 47 |
| 6. Закључак .....                                                               | 51 |
| Литература .....                                                                | 52 |

## 1. Увод

Под појмом „пресерски алат“, подразумева се алат за обраду метала деформисањем. У свим литературним изворима, издвајају се три врсте алата, тачније три врсте алата сходно операцији коју изводе. Према томе, постоје алати за просецање и пробијање, алати за савијање и алати за дубоко извлачење. Кључна ствар је спознати да су неопходни елементи просекач/пробојац (код операције просецања/пробијања), савијач (операција савијања) и извлакач (операција дубоког извлачења). У пару са њима, увек иде матрица, односно прстен за просецање/пробијање, калуп за савијање и калуп за извлачење, респективно са претходном реченицом. Међутим, постоје и елементи као што су горња, доња и међуплоча, потом стубне вођице и чаура за вођење, затим разне врсте завртњева и вијака, и на крају, одлепљивачи, цилиндрични рукавац и слично. Поменуте делове је могуће поделити на оне који су стандардизовани и на оне који се конструишу. Сходно томе, у предузећу Горење МДМ, конструишу се профилни ножеви (просекачи/пробојци) и матрица за просецање/пробијање, у циљу добијања жељеног облика. За све остале делове, користи се FIBRO каталог.

Преса се састоји из горе-поменутих делова. За несметан и правилан рад, неопходна је изузетна тачност ових делова при монтажи. Ово се посебно односи на стубне вођице и чауре и на просекач/пробојац и прстен за просецање/пробијање, односно на савијач и калуп за обликовање и на извлакач и матрицу за извлачење. Усаглашавање димензија ових елемената при монтажи, обезбеђено је толеранцијама (облика и положаја) и применом завршне (фине) обраде. Толеранције облика и положаја се називају геометријске толеранције и њихов значај се огледа у томе да се, при монтажи, обезбеди саосност и управност одређених елемената. С друге стране, фина обрада је углавном обрада брушењем и изводи се у циљу добијања прецизнијих димензија. Такође, битно је поменути да кључне димензије (на пример просекача и пробојца) имају толерантна поља (h), која гарантују да је горње одступање 0 (нула). Притом, матрица, у циљу добијања жељеног облика комада, мора имати толерантно поље H (доње одступање износи 0).

Приликом производње ових делова, чиме се између осталог и бави предузеће Горење МДМ, потребно је проверити конструисане комаде. То се врши на машинама које се називају координатне мерне машине. Њима је омогућено да се мере димензије комада, али оно што је још битније, омогућено је мерење толеранција облика и положаја. Поступак је следећи, радни комад се постави на радни сто (одређеном методом се причврсти за сто) и сонда (мерни пипак на њеном врху) започиње додиривање комада. Велика предност ових машина јесте повезаност са рачунаром, на коме се може учитати CAD модел радног комада и вршити упоређивање вредности. Дакле, све оне толеранције назначене на техничким цртежима, проверавају се на координатној мерној машини и доноси се закључак да ли је комад спреман за тржиште. С друге стране, тачност комада зависи од начина конструисања и касније стратегије машинирања, али неретко се догађа да грешка оператера на мерној машини услови да се неки комад прогласи шкартом. Из овог разлога, битно је да оператер има јасну стратегију мерења и да буде добро обучен.

У поглављу 2 завршног рада, налазе се објашњења за операције просецања/пробијања, савијања и дубоког извлачења. Дати су алати за те операције и објашњен је њихов принцип рада, као и њихови елементи. У 3. поглављу, могу се уочити какве захтеве делови пресерских алата морају испунити са аспекта толеранција облика и положаја. Такође, помињано је које се завршне обраде користе у циљу добијања уских толеранција. Поглавље под редним бројем 4, показује координатну мерну машину, њен настанак, конструкцију, сонду са мерним пипком, софтвер и начин мерења. На крају, у поглављу 5, показани су примери мерења на координатној мерној машини у предузећу Горење МДМ.

## 2. Технологије израде пресерских алата у предузећу Горење МДМ, Крагујевац

Пресерски алати или како се још називају, алати у обради метала деформисањем, се користе за обликовање метала применом обраде деформисањем, тзв. обрада без струготине. Применом ове обраде, метал добија жељени облик пластичном деформацијом и одвајањем. Да би се материјал уопште могао обликовати, потребно је довести га у стање пластичног течења, а то се постиже оптерећивањем метала преко границе еластичности. Ово оптерећење се добија преко силе, која преко система машина-алат, преноси оптерећење на радни комад. Према томе, динамику прераде деформацијом остварује машина, а геометрију радног комада обезбеђује алат. Обрада метала деформисањем (ОМД) има за циљ обликовање материјала са најмање могућим отпадом материјала и са најмањим бројем радних операција, како би се радни комади уз минималну обраду са скидањем струготине или без ње, могли непосредно употребити или уградити у одговарајући склоп, као саставни елемент истог [1].

Пресерски алати се могу поделити на пет група, од којих се прве три врсте најчешће користе:

1. Алати за просецање и пробијање.
2. Алати за савијање.
3. Алати за дубоко извлачење.
4. Корачни (прогресивни) алати.
5. Трансфер алати [2].

### 2.1. Алати за просецање и пробијање

Процес обраде метала пробијањем и просецањем спада у процесе раздвајања материјала по затвореној контури. Ако се говори о пробијању (слика 1.а), пробијено језгро је отпадак, док је код просецања (слика 1.б) просечено језгро отпресак (радни комад).



Слика 1. Просецање и пробијање [3]

Слика 1.а. Пробијање

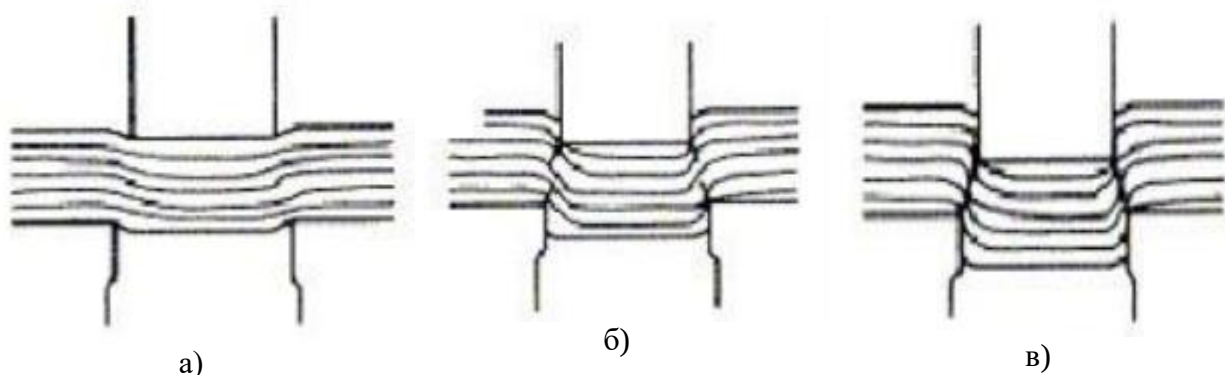
Слика 1.б. Просецање

Подела процеса код пробијања и просецања има три карактеристичне фазе:

Фаза еластичних деформација (слика 2.а) – настаје еластично сабијање и савијање припремка и долази до еластичног утискивања просекача (пробојца) у отвор плоче, при чему напони не прелазе границу еластичности.

Фаза пластичних деформација (слика 2.б) – материјал се савија и утискује у отвор матрице, тако да се сила коју преноси просекач (пробојца) на материјал концентрише на гранични прстенасти слој материјала између ивица просекача и матрице.

Фаза разарања (слика 2.в) – стварају се пукотине у правцима максималних деформација смицања, које се брзо проширују на унутрашње слојеве материјала припремка. Спајањем пукотина, завршава се процес одвајања. Како се просекач даље креће, одвојени део се потискује кроз отвор плоче.



**Слика 2.** Фазе процеса код пробијања и просецања [3]

**Слика 2.а.** Фаза еластичних деформација

**Слика 2.б.** Фаза пластичних деформација

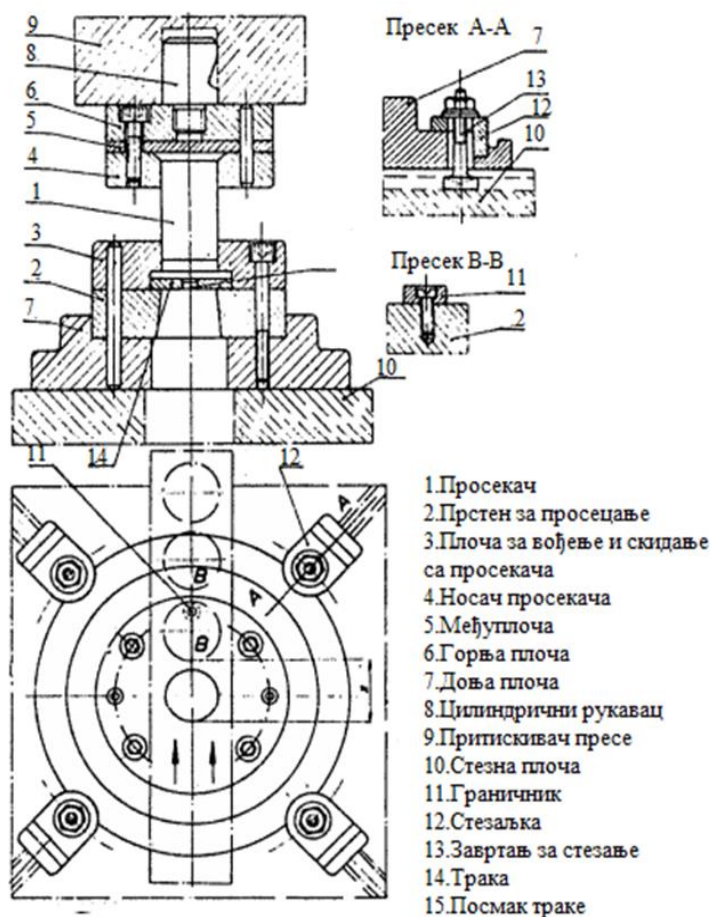
**Слика 2.в.** Фаза разарања

Алати за просецање и пробијање се могу класификовати према:

1. Типу алата по конструктивним карактеристикама (начин вођења покретног дела алата у односу на непокретни).
2. Типу алата по технолошким карактеристикама (врста и размештај операција).
3. Типу алата по експлоатационим карактеристикама (начин померања траке).

Подела према типу алата по конструктивним карактеристикама је извршена на алате мале тачности, алате средње тачности и алате високе тачности. Подела према типу алата по технолошким карактеристикама је извршена на једноставне алате за просецање, једносечне и вишесечне алате за пробијање, затим на комбиноване алате за узастопне операције сечења и комбиноване алате за обједињене операције. Подела према типу алата по експлоатационим карактеристикама је извршена према начину помоћног кретања и држању материјала, према начину одвођења готових делова, начину одвођења отпадака, а постоје и комбиновани алати за обједињене операције.

Алат за пробијање и просецања (слика 3) се састоји из следећих елемената: просекач, прстен за просецање, плоча за вођење и скидање са просекача, носач просекача, међуплоча, гроња плоча, доња плоча, цилиндрични рукавац, притискивач пресе, стезна плоча, граничник, стезаљка, завртањ за стезање, трака и посмак траке.



Слика 3. Алат за пробијање и просецање [1]

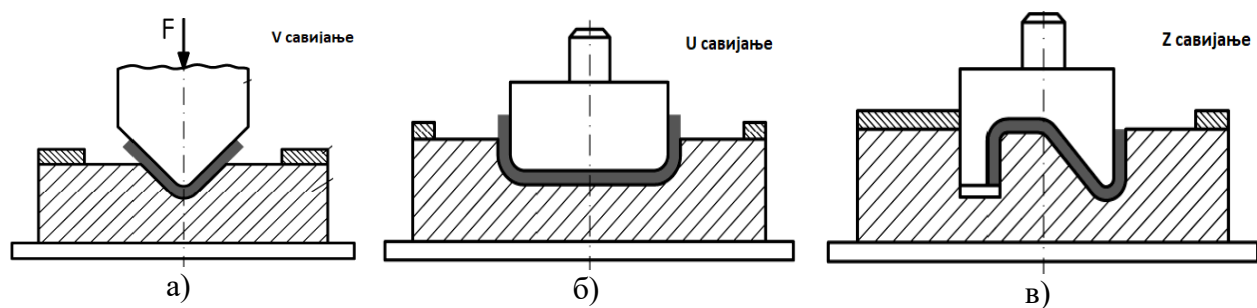
Просекач или пробојац (1), који се обично ради од легираног алатног челика, учвршћен је у носачу просекача (4), на тај начин што му је врх раскован. Да би се повећала површина која преноси силу просецања и смањено површински притисак, каљени просекач се не наслања директно на горњу плочу (6) израђену од конструкционог челика, него на каљену међуплочу (5). Цели горњи склоп алата се најчешће повезује завртњима и осигурава цилиндричним стубовима. Горњи део алата је преко цилиндричног рукавца (8) спојен са притискивачем пресе (9). Стезна плоча (10) је завртњима (13) везана са притискивачем пресе.

Доњи склоп алата се састоји од прстена за просецање (2), плоче за вођење (3), граничника (11) и доње плоче (7). Овај склоп се такође везује завртњима и цилиндричним осигурачима. Плоча за вођење врши разне функције, као што су вођење просекача, односно усмеравање горњег у односу на доњи део алата, вођење траке лима и скидање отпатка са просекача након завршене операције просецања. Граничник је завртњем директно причвршћен уз прстен за просецање. Трака се помера у повратном ходу пресе, до граничника за величину посмака  $x$  (у смеру стрелица). Прстен за просецање се ради од легираног алатног челика и након тога термички обрађује. Доња плоча се поставља на стезну плочу и учвршћује најчешће помоћу стезалки 12 и завртњева са Т-главом. У столу пресе је предвиђен отвор за испадање језгра [1].

## 2.2. Алати за савијање

Обрада савијањем је обрада која се базира на поступак ОМД. Као полупроизводи за обраду савијањем се најчешће користе лимови и траке, али се могу користити и други полупроизводи. Ова технологија има одређене предности, као што су: конструкције израђене технологијом савијања су лакше од ливених, а производни процес је једноставнији што се одражава кроз економске ефекте, такође, већа је и отпорност конструкција, и то нарочито на ударна оптерећења.

Према технолошким карактеристикама, савијање се може поделити на угаоно савијање на универзалним пресама, профилно савијање на „абкант“ пресама, профилно савијање помоћу ваљака, кружно савијање лима, кружно савијање профила, савијање цеви и савијање делова мањих димензија на специјалним машинама. При савијању у алатима, најчешћи облици су тзв. V, U и Z савијања (слика 4).



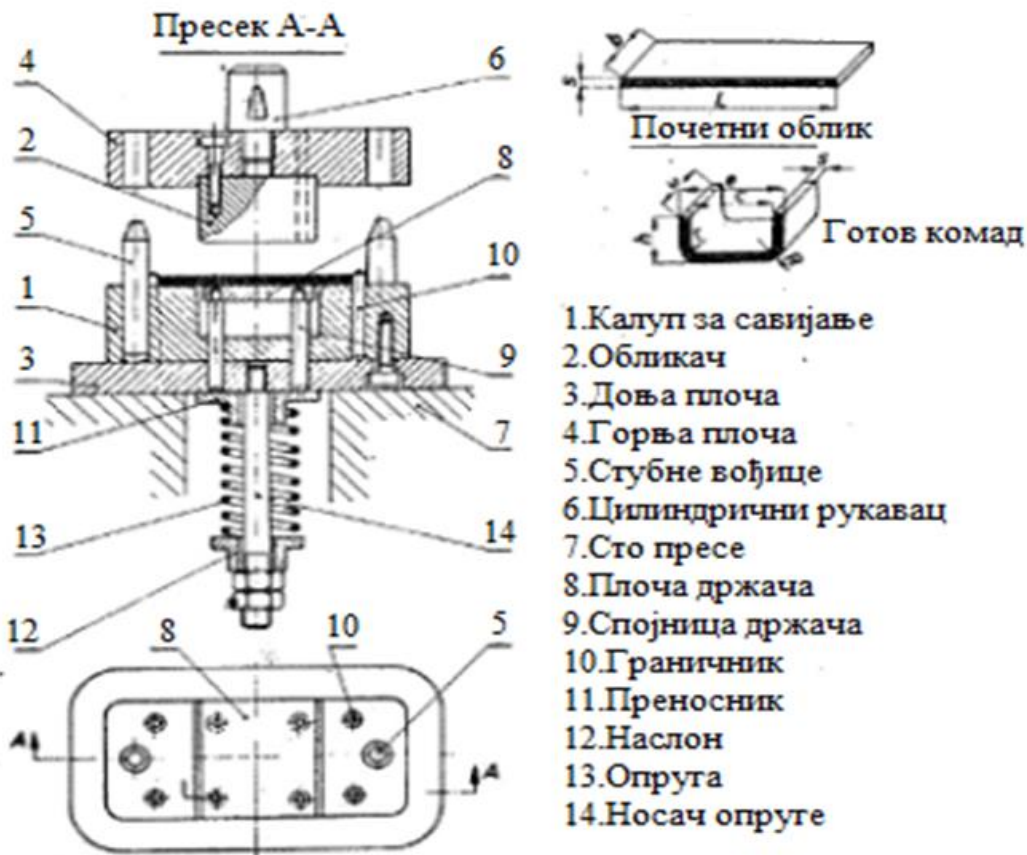
Слика 4. Три типа савијања [4]

Слика 4.а. V савијање

Слика 4.б. U савијање

Слика 4.в. Z савијање

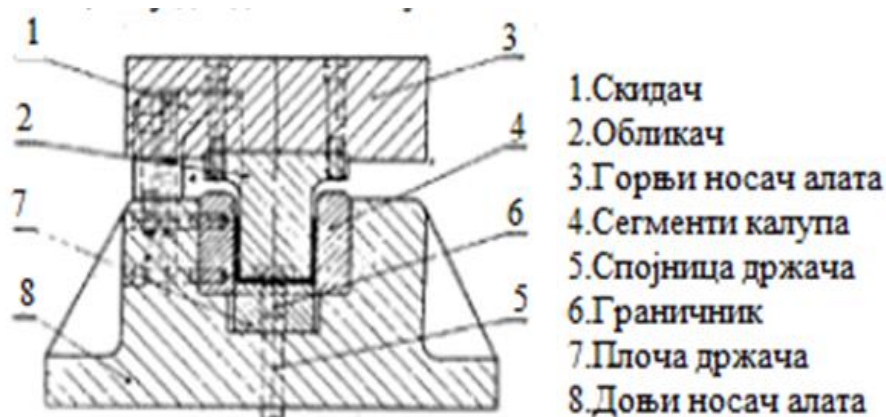
Што се тиче U савијања, алат конструисан за овакав тип може бити са једноделним калупом и сегментним. Алат са једноделним калупом (слика 5) се састоји из калупа за савијање, обликача, доње плоче, горње плоче, стубне вођице, цилиндричног рукавца, стола пресе, плоче држача, спојнице држача, граничника, преносника, наслона, опруге и носача опруге.



Слика 5. Алат за савијање са једноделним калипом [1]

Радни комад (развијене дужине  $L$ , ширине  $b$  и дебљине  $s$ ) поставља се на једноделни калуп за савијање (1) и под притиском притискивача (2), који је учвршћен у горњој плочи (4), савија на коначне димензије. Поред тога што је комад пре почетка савијања ограничен (са четири граничника (10)), постоји опасност једностраног клизања лима у отвор калупа. Уколико дође до увлачења једног крака комада пре другог, тада се добија комад са несиметричним краковима (различите висине  $h$ ). Због тога се радни комад у току процеса савијања придржава плочом држача лима (8), која се преко спојнице (9) наслања на опругу држача (13). У повратном ходу пресе, држач обавља функцију избацивача комада из калупа за савијање [1].

Алат са сегментним калупом (слика 6) се састоји из скидача, обликача, горњег носача алата, сегментног калупа, спојнице држача, граничника, плоче држача и доњег носача алата.



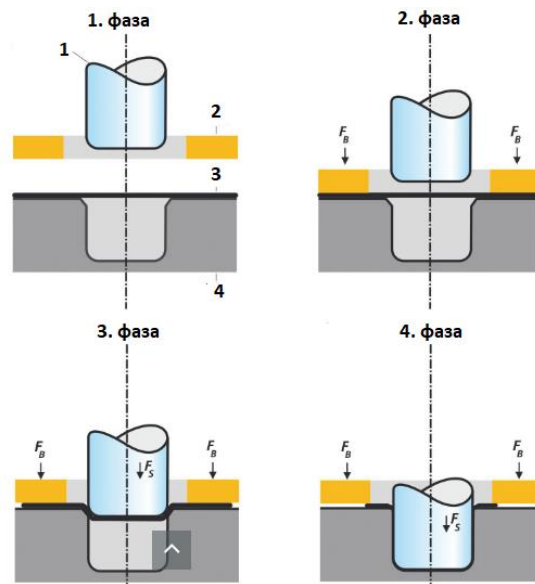
Слика 6. Алат за савијање са сегментним калупом [1]

Код тежих алата, калуп за савијање се изводи са сегментима, који се раде од легираног алатног челика. Сегменти калупи (4) су укупани у местима доњег носача алата (8) и причвршћени завртњима. Граничник (6) је уграђен у плочи држача (7), која је преко спојнице (5) везана са пнеуматским уређајем за држање лима. Овакав начин ограничавања је могућ уколико је у комаду претходно пробијен отвор за ограничавање. Ако је ширина комада (димензија  $b$  на слици 5) велика, тада се мора предвидети и могућност скидања комада са притискача. На описаној конструкцији за ту сврху служи конзолни скидач (1), који је причвршћен на доњем носачу алата. У горњем носачу алата је укопан канал ширине и дубине која одговара димензијама скидача [1].

### 2.3. Алати за дубоко извлачење

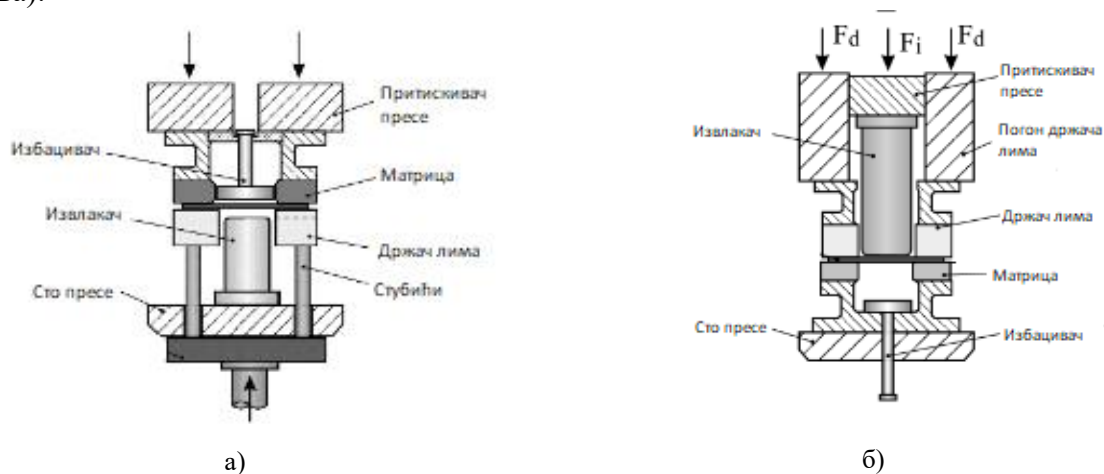
Дубоко извлачење је процес обраде метала (у хладном или врућем стању), који у серијској производњи делова, у односу на остале технолошке дисциплине, заузима видно место. Циљ овог начина прераде је да се из равне плоче са посебним алатом израде посуде разних облика попречног пресека. Специфичност самог процеса омогућава да се са најмањим бројем радних операција и уз минимални отпад добију извучени елементи у коначном облику, тако да се могу непосредно употребити, или уградити у одговарајући склоп. Технологијом дубоког извлачења се обрађују материјали дебљине од 0,02 до 50 mm са димензијама од неколико десетих делова милиметра па до неколико метара и са тежинама које варирају од грама до тоне. Машине за дубоко извлачење су кривајне и хидрауличне пресе.

Процес дубоког извлачења (слика 7) се може поделити у четири фазе. Прва фаза је приказ када извлакач још није отпочео процес. Затим, у другој фази долази до контакта извлакача (1) са траком лима (3), док плоча за стезање (2) врши фиксирање лима. У том тренутку, плоча за стезање делује на лим одређеним силама притиска, не дозвољавајући померање и „гужвање“ лима. У трећој фази отпочиње овај процес, тако што извлакач делује одређеном силом на лим и почиње извлачење лима кроз матрицу за извлачење (4). Коначно, у четвртој фази долази до коначног обликовања радног комада, где се добија готов комад.



Слика 7. Процес дубоког извлачења у четири фазе [5]

Алат за дубоко извлачење (слика 8) се састоји из седам основних елемената и уграђује се на пресе једноструког или двоструког дејства. Елементи од којих се састоји су притискивач пресе, избацивач, матрица, држач лима, извлакач, сто пресе и стубићи (ако се ради о преси једноструког дејства) или погон држача лима (ако се ради о преси двоструког дејства).



Слика 8. Алат за дубоко извлачење [6]

Слика 8.а. Преса једноструког дејства

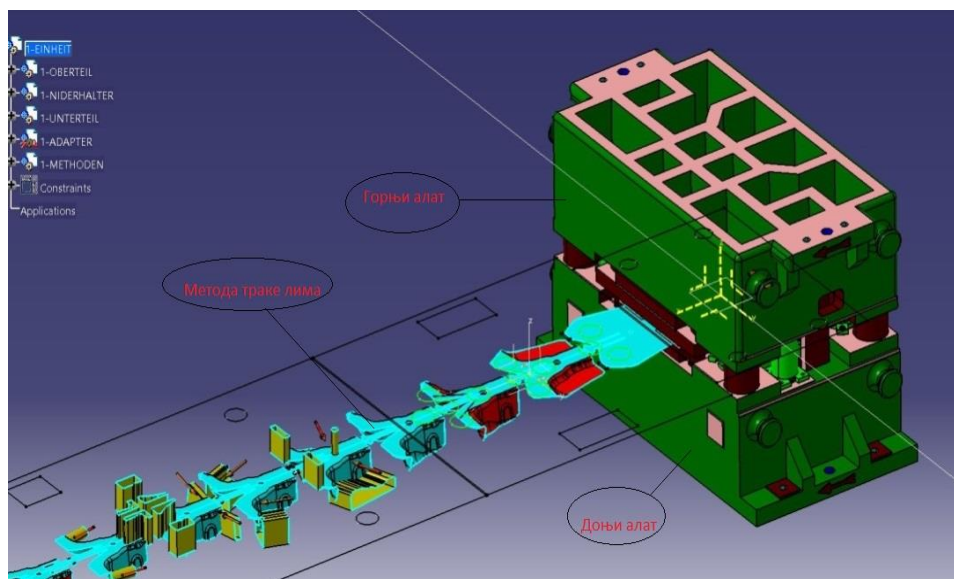
Слика 8.б. Преса двоструког дејства

Код пресе једноструког дејства (слика 8.а), постоји једно главно дејство и то је кретање матрице, која се навлачи преко извлакача који је непокретан. Додатно дејство се дограђује и то је дејство држача лима. Ово додатно дејство се обезбеђује преко хидрауличног или пнеуматског погона. Матрица је повезана на притискивач пресе, а истискивач се налази у доњем делу алату (на плочи постоља). Код пресе двоструког дејства (слика 8.б) постоје два дејства, једно је дејство извлакача, друго је дејство држача лима. Извлакач се креће заједно са притискивачем пресе, док је матрица непокретна. Код пресе двоструког дејства, постоји избацивач који избацује готов део.

## 2.4. Систематизација делова пресерских алата у предузећу Горење МДМ

Три поменуте операције (операција просецања и пробијања, операција савијања и операција дубоког извлачења) се најчешће користе у обради метала деформисањем. Према томе, њихови делови се могу систематизовати према томе који су стандардни, а који нису, већ се конструишу зависно од захтева. Већи број тих делова се током година обрађивао на конвенционалним глодалицама и струговима. Ипак, са развојем технологије, поменути делови се углавном обрађују на CNC глодалицама и струговима, затим на ерозимату и слично.

Процес конструисања почиње захтевом за израду серијског пресерског алата на основу готовог комада. Добијањем готовог дела израђује се алат као и методе којима се долази до готовог дела. Склоп алата за просецање и пробијање (слика 9) се састоји од већ помињаних делова, који се везују за горњи и доњи део алата и који су практично исти за сваку од три операције, с тим да се позиција одређених отвора разликује. У наставку рада ће детаљно бити описано какве захтеве са технолошког аспекта мора испунити сваки елемент пресерског алата. На пример, за боље центрирање горњег дела алата у односу на доњи, неопходно је адекватно вођење и увек је боље (тачније) стубно вођење од вођења помоћу плоче.



Слика 9. Склоп алата за просецање и пробијање [7]

Што се тиче предузећа Горење МДМ, највише се користи операција просецања и пробијања. За израду склопа пресерског алата, користе се како нестандардни, тако и стандардни делови, као што су кућиште, стубне вођице, клизне и центрирајуће чауре, завртњевеи за везивање плоча, опруге, одлепљивачи и слично. Предузеће Горење МДМ за поменуте стандардне делове користи услуге каталога FIBRO, где од стандарда предњаче ISO и DIN.

Кућиште алата (слика 10) представља склоп који се се састоји од доњег алата (у коме су чврсто набијене вођице) и горњег алата, који клизи по вођицама. Кућиште служи за уграђивање осталих делова алата за просецање/пробијање, савијање и извлачење и практично је исти за сваку од три операције и може се наћи у поменутом каталогу у коме се углавном истичу кућишта по DIN-у.



Слика 10. Кућиште алата из FIBRO каталога [8]

Када се говори само о систему за вођење, чији су главни делови стубне вођице (слика 11.а) и чауре за вођење (11.б), онда се може рећи да је овај систем апсолутно стандардизован и исти за све три поменуте операције и наручује се из горе-поменутог каталога. Систем за вођење алата има задатак да центрира и обезбеди паралелност хода горњег и доњег дела алата.



а)



б)

Слика 11. Елементи система за вођење [9]

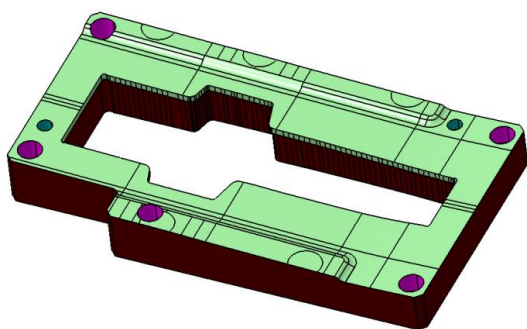
Слика 11.а. Стубна вођица из FIBRO каталога

Слика 11.б. Чаура за вођење из FIBRO каталога

Циљ уградње чаура јесте како вођице не би клизиле у отворима горњих плоча. Чауре за вођење су елементи који учествују у позиционирању алата и могу се израђивати од:

1. ливеног гвожђа, SL 14-SL 22;
2. угљеничних челика за цементацију;
3. ливене бронзе PCuSn20 за тачније алате и дужи век трајања.

Матрица за ове три операције неће бити иста и зависи од захтева купаца. Наравно, у каталогу FIBRO постоје стандардни типови матрица који се могу поручити. Матрица је елемент на који делује сила просецања/пробијања и оптерећује је на савијање. Око 30÷45% силе тежи матрицу да распрсне у попречном (радијалном) правцу. Постоје различити начини на основу којих се матрица добија. Један начин јесте да матрица буде нестандардна и тај начин се користи у предузећу Горење, где се врши конструисање облика матрице који је прилагодљив неком специфичном комаду (слика 12.а), док се други начин односи на поручивање из каталога (слика 12.б) и тада је матрица стандардна.



а)



б)

Слика 12. Матрица

Слика 12.а. Матрица из предузећа Горење МДМ [7]

Слика 12.б. Матрица из FIBRO каталога [10]

Што се тиче профилних ножева из предузећа Горење МДМ, они су представници нестандардних делова, баш као и матрице. Управо из тог разлога, највећа пажња се посвећује изради ножева у алату и изради матрица, чија конструкција зависи од захтева корисника. Профилни ножеви се карактеришу високом прецизношћу, па су зато за њихову израду потребне врло уске толеранције (реда  $\pm 0,01$  mm). Осигурање против окретања се изводи на начин да се равна фаза постоља ножа поклопи са равном фазом на прихватној плочици (слика 13.б). Они могу бити без одлепљивача и са одлепљивачем (слика 13.а). Одлепљивач, односно скидач постоји само код операције просецања и пробијања, чији је задатак да скине остатак лима са просекача или матрице, што представља разлику између ове три операције. Битно је поменути да ножеви могу имати у средини тај одлепљивач, који помоћу опруге, избацује отпад, након резања. Профилни нож и прихватна плочица приказани на слици су стандардизовани према ISO 8020.



а)



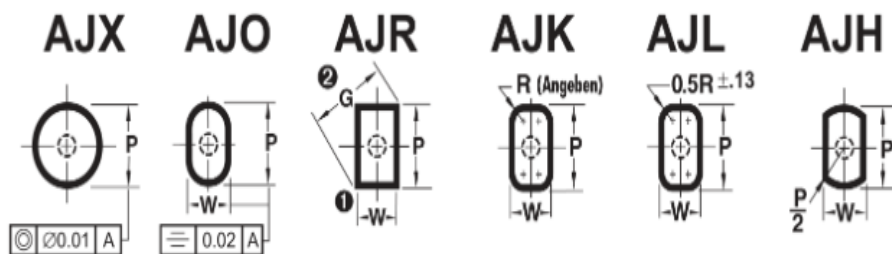
б)

**Слика 13. Профилни нож и прихватна плоча [10]**

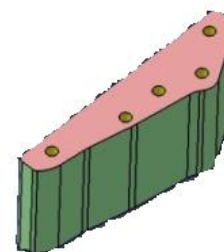
**Слика 13.а. Профилни нож са одлепљивачем из FIBRO каталога**

**Слика 13.б. Прихватна плочица из FIBRO каталога**

Ипак, могуће је наћи у каталогу FIBRO стандардне профилне ножеве. Поред стандарда који су у FIBRO-у (ISO и DIN), могуће је поручити профилне ножеве према стандарду DAYTON (слика 14.а). Поред наведених шест стандардних типова ножева, постоје и многи други, према овом стандарду. Изабран је овај стандард као пример, из разлога што прве две скице са леве стране (AJX и AJO) одлично показују какав захтев матрица мора испунити са аспекта геометријских одступања. Према скици кроз лево, матрица мора поштовати дозвољено одступање од концентричности, а матрица до ње, мора поштовати дозвољено одступање од симетричности. С друге стране, прифилни нож може бити конструисан као нестандартни елемент пресерског алата (слика 14.б).



а)



б)

**Слика 14. Стандардни и нестандартни облици ножева**

**Слика 14.а. Стандардни облици ножева [11]**

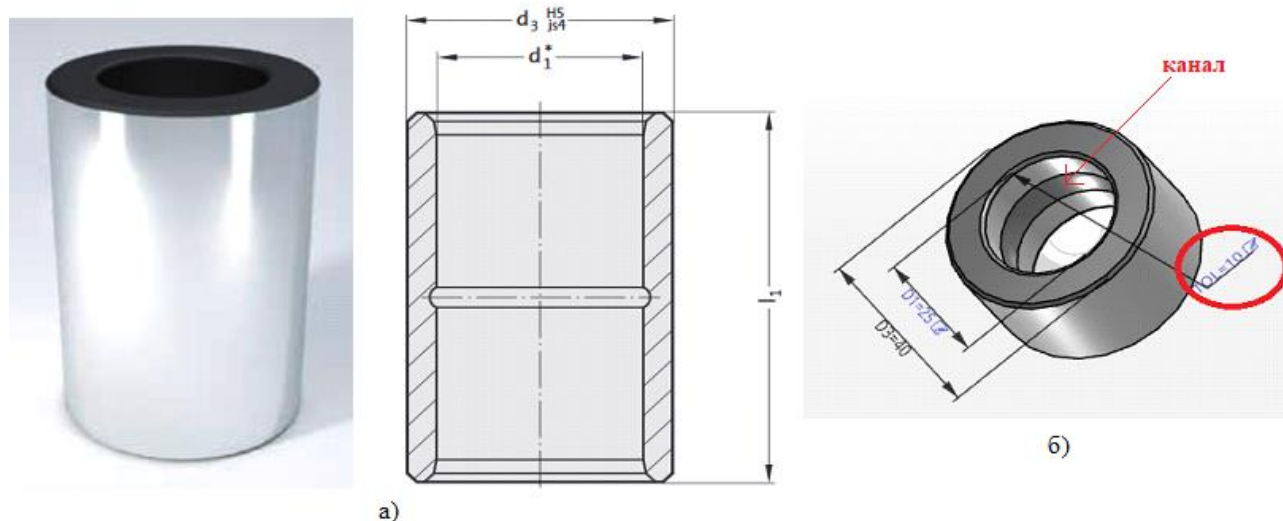
**Слика 14.б. Нестандардни облик ножа [7]**

Остале разлике између операције просецања/пробијања, операције савијања и операције дубоког извлачења су познате из литературних извора, а односе се на радне елементе. Као што је познато, алати за просецање/пробијање поседују просекач/пробојац, алати за савијање поседују обликач, док алати за дубоко извлачење поседују извлакач. Матрица, калуп за савијање код операције савијања, има исту улогу за сваку операцију, с тим да код дубоког извлачења постоје пресе једноструког и двоструког дејства, где код преса једноструког дејства матрица навлачи лим преко извлакача, а код преса двоструког дејства обратно. Делови као што су горња, доња плоча, стубне вођице, чауре, плоча за држање, цилиндрични рукавац представљају делове који су заједнички за све три операције.

### 3. Технологије израде и захтевана тачност делова пресерских алата

Систем за вођење, као што је већ било речено, има задатак да обезбеди саосност горњег и доњег алата, односно има утицај на то да просекач (пробојац) и матрица (прстен за просецање/пробијање) буду у истој оси, како би се процес обраде успешно извео. Поменуто саосност зависи од квалитета и отпорности на хабање елемената система за вођење. Као главни и најистакнутији елементи система за вођење, свакако су стубови за вођење и чауре. Чаура се причвршћује у горњи алат и циљ је то урадити на такав начин да она буде трајно причвршћена, а једна од метода које се истиче јесте помоћу епоксидног лепљења. Суштина чауре јесте да обезбеде да стубна вођица лагано клизи и тако води горњи алат ка доњем. Управо из тог разлога, чаура има порозну структуру, која се испуњава уљем, што има за циљ да смањи појаву трења и повећа отпорност на хабање. Такође, у састав израде чауре за вођење уграђују се графити у облику кругова, равномерно распоређени по чаури, како би се смањило трење, а самим тим и хабање током „трљања“ стубне вођице и чауре. Један од видова завршне обраде који се примењује у циљу испуњења саосности јесте фино брушење.

Као пример, биће наведена чаура израђена од синтерованог ферита (слика 15.а), високе чврстоће. Изабрана чаура је према стандарду ISO 9448-2, што значи да има препоручене димензије, које се крећу за унутрашњи пречник ( $d_1$ ) у границама  $8 \div 80$  mm, док за спољашњи пречник ( $d_3$ ) износе од  $13,7 \div 95,7$  mm. Ове препоручене димензије се на техничком цртежу дају само по ознакама, а у каталогу се могу наћи стандардне вредности. Оно што је битно истаћи јесте да је унутрашњост чауре толерисана (црвени круг на слици 15.б) геометријским одступањем од концентричности. Такође, у унутрашњости чауре налази се канал са заобљеним ивицама по којима се крећу куглице (слика 15.б). Ово ће даље бити објашњено у поглављу 3.1.

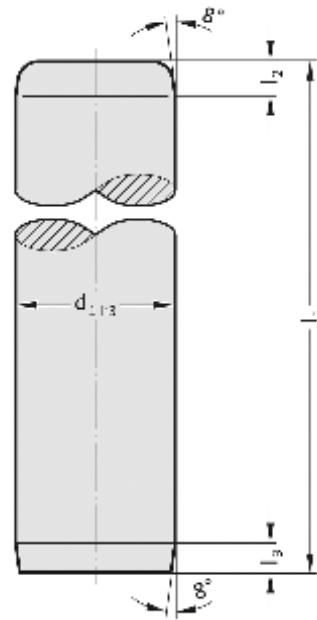


Слика 15. Чаура из FIBRO каталога

Слика 15.а. Чаура од синтерованог ферита [9]

Слика 15.б. Приказ геометријског одступања чауре и њеног заобљења [12]

С друге стране, као пример стубне вођице израђене од челика, биће дата вођица из каталога FIBRO (слика 16), према стандарду ISO 9182-2. Што се тиче димензија, у понуди су стубићи са врло прецизним димензијама пречника ( $d_1$ ) који се креће у границама од  $3 \div 80$  mm, што значајно олакшава процес монтаже (практично је могуће наћи пречнике са кораком од 1 mm). Пречник стубне вођице има толерантно поље  $h$ , што значи да није дозвољено никакво горње одступање. Занимљиво је поменути да је дужина  $L_1$  једнака збиру  $L_2$  и  $L_3$ , а те висине представљају висину на којој се налази оборена ивица и те две висине не морају бити једнаке, сходно захтевима. Оно што је кључна ствар како би се испоштовала саосност, јесте да по целом обиму стубић има исту толеранцију облика као и чаура. Баш као и за чаура, фина обрада је брушење по обиму стубне вођице.



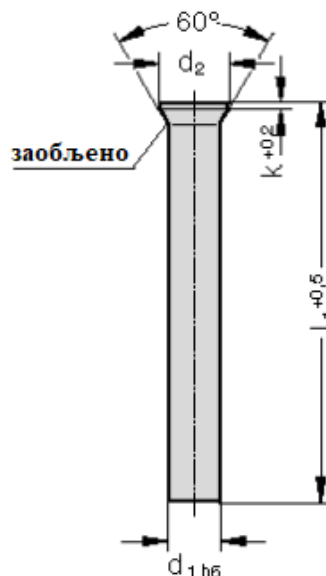
Слика 16. Стубна вођица из FIBRO каталога [9]

Када се говори о просекачу/пробојцу и прстену за просецање/пробијање (матрици), неопходно је да не постоји никакво одступање од саосности и да нема одступања од управности. Главну улогу ту има управо систем за вођење, а сам облик просекача/пробојца и матрице мора бити такав да обезбеди тражени облик, у тачно прецизираним димензијама. При избору компоненти пресе, увек је неопходно балансирати између цене и квалитета. Сам квалитет (ако говоримо о матрици и просекачу/пробојцу као најоптерећенијим деловима) зависи од адекватног избора материјала (табела 1). Сходно томе, када се говори о избору материјала, он је врло значајан и треба имати у виду следеће материјале: легирани алатни челик (могу се користити за матрице и просекаче за деформисање меких челика, нискоугљеничних челика, обојених метала и слично); алатни челик са високим садржајем хрома, чак до 12% (за све врсте угљеничних челика, легираних челика, обојених метала и тако даље); HSS челик (за жилаве материјале, као што је опружни челик), а ако се HSS челик побољша нитрирањем, може се користити за врло тврде и абразивне материјале. Такође, често је у употреби и волфрам карбид.

Табела 1. Избор материјала у зависности од подручја примене [1]

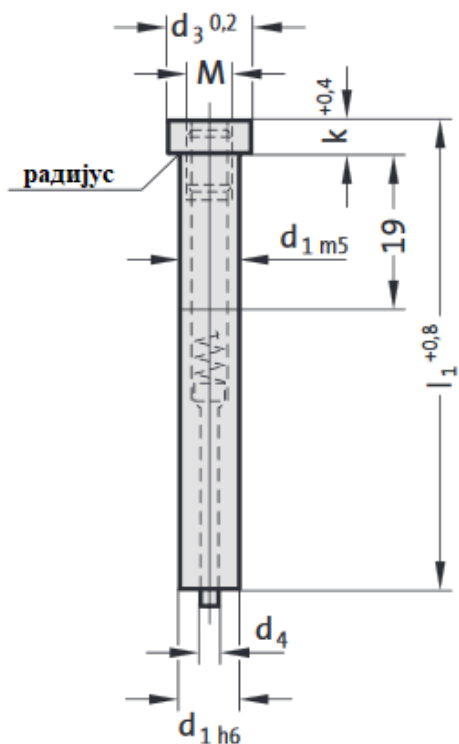
| Ознака по JUS-у<br>(по EN-у) | Хемијски састав (%)                          | Тврдоћа<br>после<br>жарења<br>(HB) | Тврдоћа<br>после<br>каљења<br>(HRC) |
|------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Č6441 (/)                    | 1,1 C; 0,6 Cr; 0,35 Mn; 1,5 W; 0,2 Si; 0,2 W | 210                                | 65                                  |
| Č4146 (/)                    | 1 C; 0,3 Mn; 0,25 Si; 0,8 Cr                 | 220                                | 64                                  |
| Č3840 (90MnV 8)              | 0,9 C; 2 Mn; 0,3 Si; 0,15 V                  | 220                                | 62                                  |
| Č6440 (107WCrR 5)            | 1,05 C; 1 Cr; 1 Mn; 1,2 W; 0,25 Si           | 220                                | 63                                  |
| Č4840 (/)                    | 1,4 C; 1,5 Cr; 0,5 Mn; 0,2 V; 0,3 Si         | 230                                | 63                                  |
| Č4150 (/)                    | 2 C; 12 Cr; 0,3 Mn; 0,1 V; 0,3 Si            | 235                                | 64                                  |
| Č4650<br>(X210CrW12 1)       | 2 C; 12 Cr; 0,3 Mn; 0,7 W; 0,3 Si ; 0,2 V    | 235                                | 64                                  |

Као пример на коме ће бити приказано какве су димензије просекача, биће приказан просекач из каталога FIBRO (слика 17), израђен од малопре описиваног HSS челика, прописан станрадом ISO 6752. Када се говори о избору просекача, можда и најбитнија димензија јесте пречник оног дела просекача који се монтира на прихватну плочу ( $d_2$ ), који се креће у границама  $0,9 \div 22$  mm. Избором овог пречника, добија се пречник оног дела просекача који ће вршити просецање. Тај пречник је познат из разлога што су оборене ивице дела који се везује за прихватну плочу под углом од  $60^\circ$ , макар је то случај код изабраног стандарда. Потребно је знати да пречник дела који просеца има толерантно поље h6, што значи да му је горње одступање 0, а подлеже процесима ковања и каљења. Што се тиче дужине, она је прописана и износи 71, 80 и 100 mm и има горње одступање 0,5 mm. Толеранција квалитета је  $Ra=0,8$   $\mu m$ , која означава да та површина подлеже брушењу. Такође, просекачи и пробојци подлежу каљењу и термичком отпуштању.



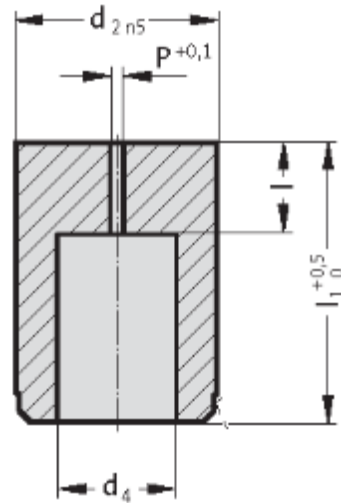
Слика 17. Просекач из каталога FIBRO [10]

Већ је било објашњавано да просекач/пробојац може имати на врху одлепљивач (термини „избацивач“ и „скидач“ се још користе у литератури), који служи да скине радни комад или остатак материјала. Као референтни пример, узет је исти просекач као на слици 17, са разликом што има одлепљивач (слика 18). Одлепљивач ради помоћу опруге која се налази унутар просекача, и она је причвршћена на држач опруге одлепљивача пречника  $M$  ( $2,5 \div 6 \text{ mm}$ ). Стандардна димензија „19“ означава димензију до које ће се опруга сабити под дејством неког оптерећења. Са стандардном димензијом  $d_4$  је означен пречник иглице одлепљивача ( $0,45 \div 2,26$ ). Занимљиво је да је однос максималног и минималног пречника просекача (пробојца) 5, а исто важи и за однос максималног и минималног пречника одлепљивача.



Слика 18. Просекач/пробојац са одлепљивачем из каталога FIBRO [10]

Што се матрице из каталога FIBRO тиче (слика 19), она служи за ослањање траке лима која ће се просецати или пробијати и за добијање тачно жељеног облика. Према стандарду ISO 8977, кључна су три параметра матрице, који су и наведени у одређеним табелама каталога: спољашњи пречник матрице ( $5 \div 50 \text{ mm}$ ), унутрашњи пречник матрице ( $2,8 \div 37 \text{ mm}$ ) и пречник или дужина (зависно од облика) исеченог дела ( $0,8 \div 1,5 \text{ mm}$  за овакву матрицу). Врло је битна толеранција оног дела матрице кроз који се материјал просеца/пробија. Због тога се толеранције тих отвора крећу у границама од неколико десетих делова милиметра, па и стотих и то у плусу. Такође, стандардима је утврђено да спољни пречник матрице има толерантно поље  $n5$  (толерантно поље  $n$  означава да доње одступање матрице може бити 27, 31, 34, 37, 40  $\mu\text{m}$ ). Матрица (за коју год операцију) мора да се фино бруси како би се постигла тачност у виду саосности са радним елементима.



Слика 19. Матрица из каталога FIBRO [10]

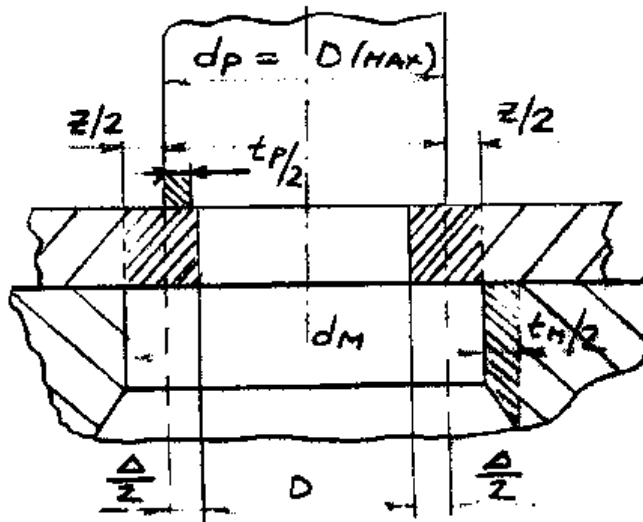
Између просекача (пробојца) и прстена за просецање (матрице) мора постојати одређена тачност. Та тачност је одређена вредношћу зазора, који је једнак:

$$z = d_M - d_P [1]$$

где су  $z$  зазор,  $d_M$  пречник матрице, а  $d_P$  пречник просекача.

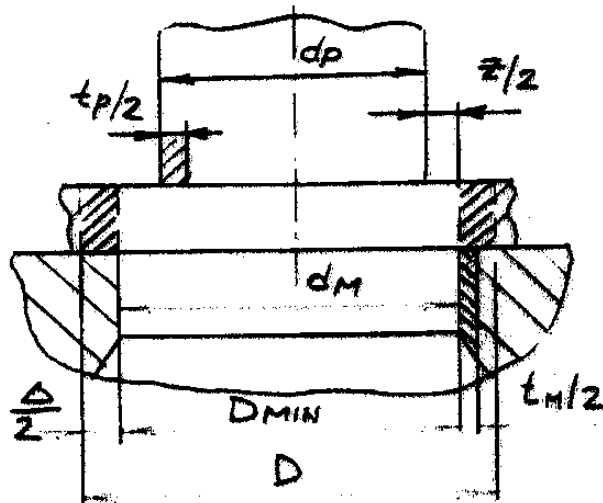
Зазор је битан јер директно утиче на квалитет просеченог (пробијеног) комада, на сам ток процеса, на напонско-деформационе односе, утрошак енергије, трајност алата и слично. Зазор нема сталну вредност и временом се повећава, услед трошења алата. Повећањем зазора, истовремено смањивањем трајности алата, може доћи до неправилности на комаду. На пример, ако просекач има туп врх, долази до стварања грата на радном комаду, ако матрица има тупе резне ивице, долази до стварања грата на траци, а ако и просекач и матрица имају тупе резне делове, грат се ствара и на траци и на просеченом језгру [1].

Када се говори о пробијању (слика 20), полази се од максималне димензије комада, која је једнака збиру пречника отпатка и толеранције комада:  $D_{\max} = D + \Delta$  [1]. Максималној димензији комада одговара пречник пробојца:  $D_{\max} = d_P = D + \Delta$ . Пречник матрице мора бити већи за вредност зазора:  $d_M = d_P + z$ . Оно што треба напоменути јесте да код пробијања, оно што остане на матрици, представља готов део. Сходно томе, пошто је пречник матрице већи за вредност зазора, то значи да пречник пробојца мора имати горњу толеранцију 0 (толерантно поље  $h$ ), док пречник матрице мора имати доњу вредност 0 (толерантно поље  $H$ ). Сматра се да је алат истрошен када се пречник пробојца смањи на вредност пречника отпатка.



Слика 20. Прорачун толеранције код пробијања [1]

Када се говори о просецању (слика 21), полази се од минималне димензије комада, која је једнака разлици пречника комада и толеранције комада:  $D_{min}=D-\Delta$  [1]. Минималној димензији комада одговара пречник матрице:  $D_{min}=d_m=D-\Delta$ . Пречник просекача мора бити мањи за вредност зазора:  $d_p=d_m-z$ . Познато је да код просецања, просечени део је готов комад. Сходно томе, пошто је пречник просекача мањи за вредност зазора, то значи да пречник пробојца мора имати горњу толеранцију 0 (толерантно поље h), док пречник матрице мора имати доњу вредност 0 (толерантно поље H). Сматра се да је алат истрошен када се пречник матрице повећа на вредност пречника комада.



Слика 21. Прорачун толеранције код просецања [1]

Како је већ било наглашавано, вредност зазора је изузетно битна. Она практично представља слободан простор између просекача/пробојца и матрице и као један од главних фактора који указује на то да ли је алат истрошен, јесте управо повећање тог слободног простора (зазора). Постоје разне препоруке и табеле на основу којих се добија сазнање која величина зазора одговара одређеној дебљини материјала (табела 2). Ова табела указује да вредност зазора зависи како од дебљине маатријала, тако и од врсте материјала. Следи логичан закључак, повећањем дебљине материјала, расте и вредност зазора.

**Табела 2.** Величине зазора за просецање и пробијање по подацима фирме Schuler [1]

| Дебљина<br>материјала<br>(mm) | МАТЕРИЈАЛ               |                          |                       |            |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|
|                               | Месинг и<br>мекши челик | Челик средње<br>чврстоће | Тврдо ваљани<br>челик | Алуминијум |
| 0,5                           | 0,025                   | 0,03                     | 0,035                 | 0,05       |
| 1                             | 0,05                    | 0,06                     | 0,07                  | 0,10       |
| 1,5                           | 0,075                   | 0,09                     | 0,10                  | 0,15       |
| 2                             | 0,10                    | 0,12                     | 0,14                  | 0,2        |
| 2,5                           | 0,13                    | 0,15                     | 0,18                  | 0,25       |
| 3                             | 0,15                    | 0,18                     | 0,21                  | 0,30       |
| 3,5                           | 0,18                    | 0,21                     | 0,25                  | 0,35       |
| 4                             | 0,20                    | 0,24                     | 0,28                  | 0,40       |
| 4,5                           | 0,23                    | 0,27                     | 0,32                  | 0,45       |
| 5                             | 0,25                    | 0,30                     | 0,36                  | 0,50       |

Тачност израде алата је кључна за тачност израде комада. За израдну толеранцију алата углавном се узима квалитет IT, при чему важи правило у пракси да тачност израде алата буде за три квалитета боља од тачности израде комада (табела 3).

**Табела 3.** Тачност израде предмета и тачност израде комада [1]

| Тачност<br>израде<br>предмета | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 |
|-------------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Тачност<br>израде<br>комада   | IT6 | IT7  | IT8  | IT9  | IT10 | IT11 |

Израдне толеранције алата су стандардизоване према стандарду ISA (табела 4). Ако би се „пешачким“ путем тражила основна толеранција, почетак би био да се одреди јединична толеранција, по обрасцу:  $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$ , где су  $i$  јединична толеранција у  $\mu\text{m}$ , а  $D$  геометријска средина крајњих вредности израдних пречника у  $\text{mm}$  [1].

Табела 4. Изградне толеранције према стандарду ISA [1]

| Толеранције | ПОДРУЧИЈЕ НАЗИВНИХ МЕРА |     |      |       |       |       |       |        |         |
|-------------|-------------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
|             | 1÷3                     | 3÷6 | 6÷10 | 10÷18 | 18÷30 | 30÷50 | 50÷80 | 80÷120 | 120÷180 |
| IT6         | 7                       | 8   | 9    | 11    | 13    | 16    | 19    | 22     | 25      |
| IT7         | 9                       | 12  | 15   | 18    | 21    | 25    | 30    | 35     | 40      |
| IT8         | 14                      | 18  | 22   | 27    | 33    | 39    | 46    | 54     | 63      |
| IT9         | 25                      | 30  | 36   | 43    | 52    | 62    | 74    | 87     | 100     |
| IT10        | 40                      | 48  | 58   | 70    | 84    | 110   | 120   | 140    | 160     |
| IT11        | 60                      | 75  | 90   | 110   | 130   | 160   | 190   | 220    | 250     |
| IT12        | 90                      | 120 | 150  | 180   | 210   | 250   | 300   | 350    | 400     |
| IT13        | 140                     | 180 | 220  | 270   | 330   | 390   | 460   | 540    | 630     |
| IT14        | 250                     | 300 | 360  | 430   | 520   | 620   | 740   | 870    | 1000    |

Резна ивица матрице за просецање/пробијање одговара облику комада који се просеца/пробија, а сам профил отвора матрице зависи од намене и квалитета производа који се захтева (слика 22). Према томе, матрица облика цилиндра са конусом се користи када је потребно добити најквалитетније комаде, матрица са благим конусом се примењује за комаде мање тачности, док је најједноставнија матрица управо матрица у облику цилиндра, која се користи када избацивач избацује комад навише (говори се о просецању) [1]. Дакле, поред адекватног избора зазора и толеранције, на квалитет комада битно утиче и облик матрице.

| Ред. бр. | ОБЛИК               | СКИЦА | ДИМЕНЗИЈЕ                                                                                                                                                                                                                               | ПРИМЕНА                                               |
|----------|---------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1        | Цилиндар са конусом |       | $h = 3 - 5 \text{ mm}$<br>$h = 5 - 10 \text{ mm}$<br>$h = 10 - 15 \text{ mm}$<br>$s = 0,5 \text{ mm}$<br>$s = 0,5 \text{ mm}$<br>$s = 5 - 10 \text{ mm}$<br>$\alpha = 3^\circ - 5^\circ$                                                | За просецање делова сложених облика или веће тачности |
| 2        | Конус               |       | $L = 10' - 15'$<br>$L = 15' - 20'$<br>$L = 20' - 30'$<br>$L = 30' - 45'$<br>$L = 45' - 1^\circ$<br>$s = 0,1 - 0,5 \text{ mm}$<br>$s = 0,5 - 1 \text{ mm}$<br>$s = 1 - 2 \text{ mm}$<br>$s = 2 - 4 \text{ mm}$<br>$s = 4 - 6 \text{ mm}$ | За просецање мањих делова средње тачности             |
| 3        | Цилиндар            |       | $L = 0^\circ$                                                                                                                                                                                                                           | За просецање великих делова                           |
| 4        | Двоструки цилиндар  |       | Висина је као код редног броја 1<br>$D = d + 3 \text{ mm}$                                                                                                                                                                              | За пробијање мањих отвора, до 5 mm                    |

Слика 22. Облици, скице, димензије и примена различитих типова матрице [1]

Матрице се раде од високо квалитетног легираног алатног челика. Како расте чврстоћа материјала који се пробија/просеца, расту и захтеви у погледу квалитета алатног челика. Ако се ради о мање оптерећеним алатима, примењују се Š6441 и Š4146, за јаче оптерећене, користе се Š3840, Š6440 и Š4840, док се за највећа оптерећења примењују Š4150 и Š4650 (видети табелу 1). Што се тиче поступка израде, матрице се најпре кале у зависности од тврдоће алатног челика, а затим термички отпуштају.

Опште је познато да код пробијања, прецизан облик комаду даје пробојац, па су његове толеранције у првом плану, док код просецања је матрица та чије резне ивице дају облик. Облик просекача/пробојца зависи од захтеваног облика радног комада. Баш као и матрице, тако и просекачи и пробојци се раде од легираног алатног челика (табела 1). Они се кале обично до пола дужине, а потом термички отпуштају. Ово се изводи баш у циљу за случај да постоји одступање од саосности. Поменути поступком се повећа еластичност горњег дела просекача, па он постаје отпорнији на савијање, до ког може доћи ако није испоштовано правило да нема одступања од саосности.

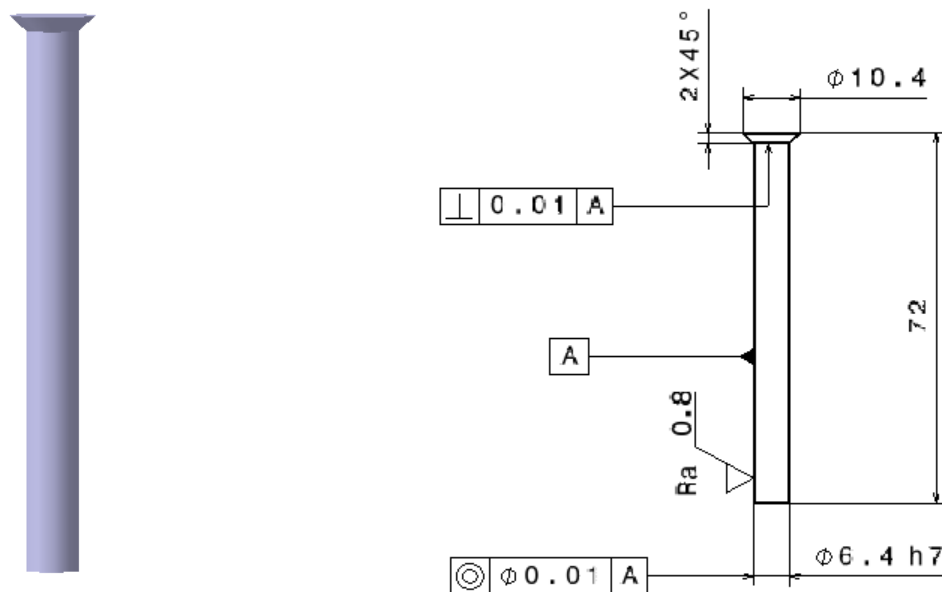
## Техничка документација делова пресерских алата

У циљу бољег разумевања толеранција које делови пресерских алата морају испунити, а које су биле објашњаване у глави 3, биће дато неколико техничких цртежа на којима се уочавају толеранције облика и положаја. Такође, како би се уочио тип обраде, на истим цртежима ће бити показани квалитети обраде и дата табела са класама и нивоима храпавости при различитим обрадама (табела 5). У табели су приказани квалитети почевши од разреда 5 (узимајући у обзир да се претходни квалитети обраде ређе користе), а са штиклираним симболом (√) је представљено која се обрада примењује за који квалитет.

Табела 5. Класе и нивои храпавости површина при различитим обрадама [13]

| Ниво храпавости      |                 | N4  | N5  | N6  | N7  | N8  | N9  | N10  | N11 | N12 |
|----------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Разред храпавости    |                 | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11   | 12  | 13  |
| Ra [ $\mu\text{m}$ ] |                 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | 25  | 50  |
| Ручна обрада         | Груба           |     |     |     |     |     | √   | √    | √   | √   |
|                      | Фина            |     |     | √   | √   | √   | √   |      |     |     |
| Ливење               | У песку         |     |     |     |     |     |     |      |     | √   |
|                      | У кокилама      |     |     |     |     |     | √   | √    | √   | √   |
| Ковање               | Топло у калупу  |     |     |     |     |     | √   | √    | √   | √   |
|                      | Хладно у калупу |     |     |     | √   | √   | √   |      |     |     |
| Пескарење            |                 |     |     |     |     |     |     | √    | √   | √   |
| Рендисање            | Грубо           |     |     |     |     |     |     | √    | √   | √   |
|                      | Фино            |     |     |     | √   | √   | √   | √    |     |     |
| Стругање             | Грубо           |     |     |     |     |     |     | √    | √   | √   |
|                      | Фино            |     |     |     | √   | √   | √   | √    |     |     |
| Глодање              | Грубо           |     |     |     |     | √   | √   | √    | √   |     |
|                      | Фино            |     | √   | √   | √   | √   |     |      |     |     |
| Бушење               |                 |     |     |     |     |     | √   | √    | √   | √   |
| Развртање            |                 | √   | √   | √   | √   | √   | √   |      |     |     |
| Брушење              | Грубо           |     |     |     | √   | √   | √   | √    | √   |     |
|                      | Фино            | √   | √   | √   | √   |     |     |      |     |     |
| Полирање             |                 | √   | √   | √   |     |     |     |      |     |     |

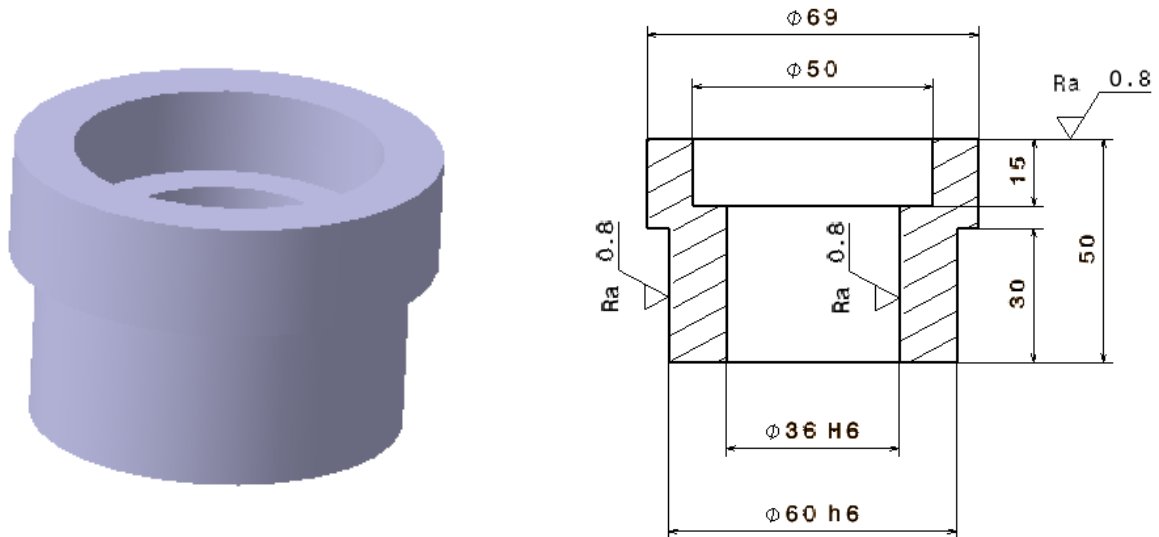
Оно што највише захтева тачност при технологији израде јесте тачност између просекача/пробојца (ако се ради о операцијама просецања/пробијања) у односу на матрицу за просецање/пробијање. Аналогно томе, код обраде дубоког извлачења, неопходна је тачност између извлакача и матрице за извлачење, док се код операције савијања захтева тачност савијача у односу на калуп за обликовање. Поменута тачност, на пример, може се односити на толеранцију управности између појединих елемената. Поред тога, увек се наглашава да врх просекача/пробојца мора имати уску толеранцију одступања од концентричности у односу на његово тело (слика 23).



Слика 23. Толеранције пробојца [14]

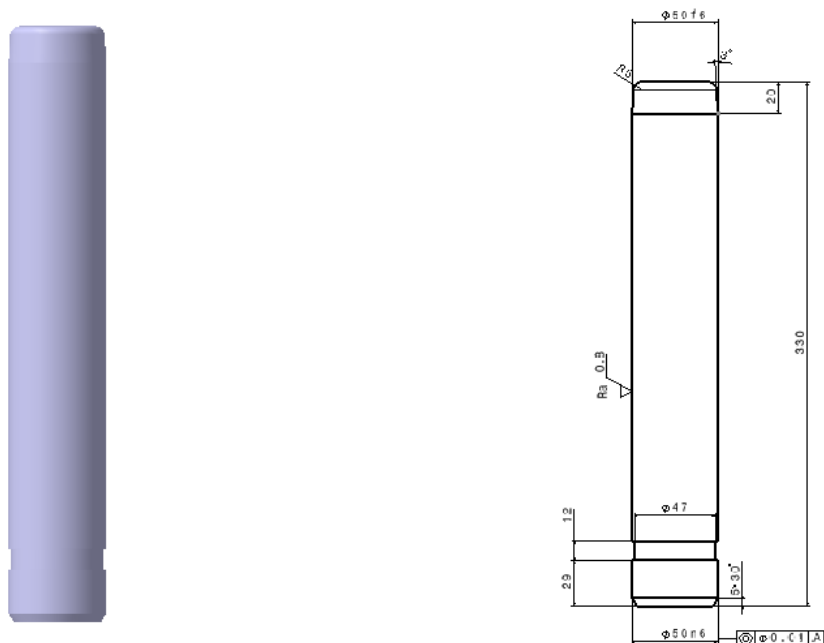
Са слике се уочава поменуто одступање од концентричности у односу на референтну површину А не веће од 0,01 mm. Поштовање ове толеранције при конструкцији, гарантује успешност израде радног комада који се пробија. Такође, може се уочити и врло уска толеранција пречника врха за пробијање, који чак нема дозвољено горње одступање. Такође, са слике се уочава и друго геометријско одступање, одступање од паралелности у односу на површину А не веће од 0,01 mm. Ова толеранција гарантује да ће пробојац бити управан на матрицу за пробијање. Што се тиче завршне обраде, квалитет  $Ra=0,8$  mm, указује да се као завршна обрада може користити фино брушење, фино глодање или пак фина ручна обрада (видети табелу 5).

Како то логично следи, након описивања пробојца, потребно је дефинисати и приказати матрицу на којој се уочавају толеранције квалитета (слика 24). Како је већ било речи у ранијим поглављима, део матрице корз који пролази пробојац и отпадак мора испоштовати строге захтеве у погледу доњег одступања (толерантно поље Н). Било је речи да мора постојати толеранција одступања од саосности, која је, у овом случају, обезбеђена завршном обрадом брушењем (ниво храпавости N6, разред храпавости 7,  $Ra=0,8$  mm).



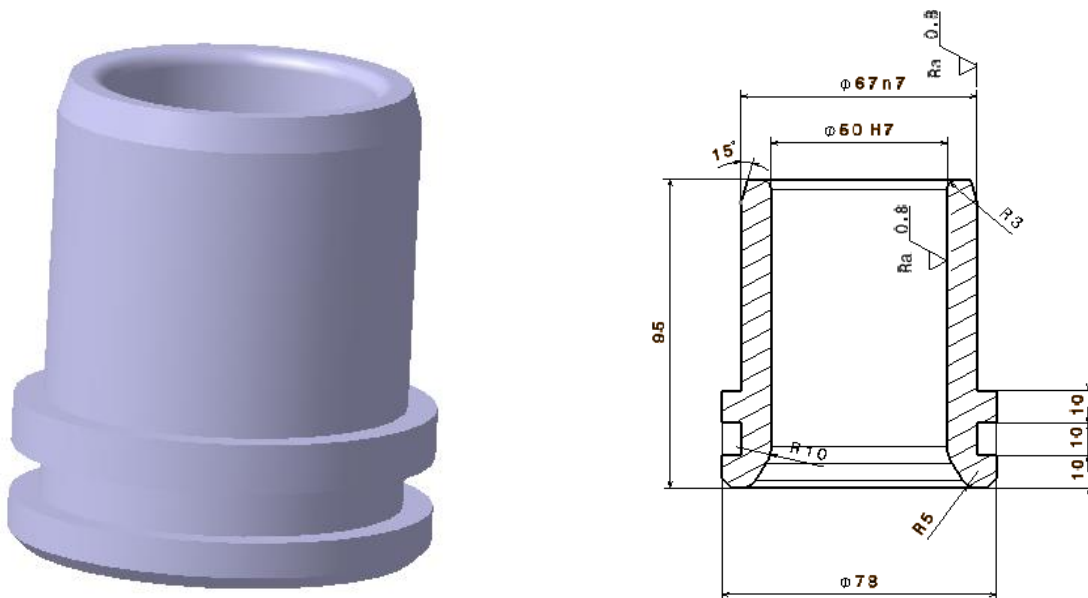
Слика 24. Тolerанције матрице [14]

Што се тиче стуба и чаура, апсолутно је потребно обезбедити саосност, односно врло уску толеранцију одступања од концентричности. Стуб има пречник од 50 милиметара, али има два различита одступања. Наиме, на врху стубне вођице је толерантно поље  $f$ , док је на дну  $p$  (слика 25). Код толерантног поља  $f$ , сва горња одступања имају предзнак минус, док код толерантног поља  $p$ , сва одступања имају позитивна доња одступања. Као вид завршне обраде, потребно је брусити стубну вођицу по обиму. Када се говори о геометријским одступањима, стубна вођица има толеранцију одступања од концентричности у односу на чауру за вођење.



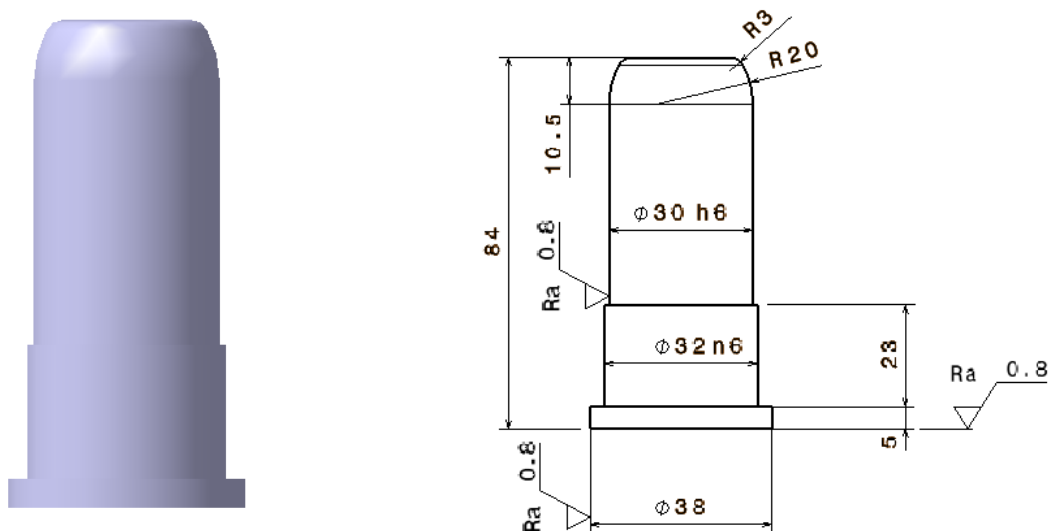
Слика 25. Тolerанције стубне вођице [14]

С друге стране, чаура мора имати толерисан отвор у који се убацује стуб, и то толерантно поље Н, односно доње одступање 0 (слика 26). Такође, као и код стубне вођице, посебно унутрашност чауре, али и спољашност, подлеже обради брушењем.



Слика 26. Толеранције чауре [14]

Како је наглашено у поглављу у коме се говорило о систематизацији делова пресерских алата, горе-описивана чаура и стубна вођица важе за све три операције, док просекач, пробојац и матрица важе само за операцију просецања и пробијања. Потребно је напоменути и навести како изгледа извлакач и увидети његове толеранције (слика 27). Осим облика, не разликује се значајно од просекача и пробојца, макар у погледу израдних и геометријских толеранција.



Слика 27. Толеранције извлакача [14]

## 4. Координатна мерна машина - настанак

Машинска предузећа све више примењују високопрецизну мерну опрему у производне процесе и она постаје један до главних „контролора“ исправности захтеваних делова. На пример, при мерењу, могуће је добити делове са оптималним геометријским параметрима са тачношћу од  $0,1 \div 0,2$   $\mu\text{m}$ . Ово је посебно важно при изради елемената у авијацији и монтажи склопова где је свака компонента изузетно сложеног облика [15]. Мерно средство које омогућава све поменуто јесте координатна мерна машина (енг. coordinate measuring machine, CMM), која се користи за мерење координата на површинама радног комада у све три осе координатног система. Координатна мерна машина (слика 28) је нумерички управљана мерна машина (енг. numerical measuring machine, NUMM), која добија тачке са површине радног комада брже него када се оне мере директно. Затим, из великог броја тачака, могу се израчунати различити геометријски фичери (облици) који се користе за процену усаглашености са спецификацијама.

Нумерички управљане мерне машине (NUMM) су сложени инжењерски производи са сложеном хардверском и софтверском структуром. Развој NUMM-а је прошао кроз четири карактеристичне фазе:

**1. фаза** – мерне машине са дигиталним показивачем позиције за сваку осу и ручним кретањем мерног сензора. Основна карактеристика је мерење релативно комплексних делова у једном координатном систему мерења, уз ручну манипулацију целим процесом.

**2. фаза** – прва фаза проширена са минималном хардверском подршком. Уводи се мерни процесор, помоћу кога се читавају положаји покретних елемената и врши основна обрада мерних резултата.

**3. фаза** – увођење погонских система за степене слободе носеће структуре. Управљачком јединицом је извршено управљање радом мерне машине. У овој фази је коришћена аутономна софтверска подршка, углавном на бази хардверске логике. Основни принцип овог софтвера је успостављање везе између дефинисаних основних геометријских облика и различитих метролошких задатака за исте те облике. При томе, оператору стоји на располагању мени хардверских и софтверских функција за решавање различитих метролошких операција [16].

**4. фаза** – CNC мерне машине на бази дистрибуираног управљања. Својом хардверском и софтверском структуром представљају флексибилне метролошке модуле, који омогућавају формирање сложених технолошких и/или метролошких структура. Аутоматизација мерења, манипулација мерним сензорима, мерним предметима, добијање различитих мерних протокола, повезивање са софтвером по хоризонтали и вертикали (CAD-CAM-CAE), врши се на бази софтверске подршке. Код ових система могу се идентификовати следећи саставни елементи, као што су носећа структура, погонски системи, мерни систем, мерни сензор, рачунарски систем и софтверска подршка [16].



Слика 28. Координатна мерна машина [15]

#### 4.1. Координатна мерна машина – конструкција

Координатне мерне машине су грађене чврсто и веома прецизно. Опремљене су дигиталним читавањем или се могу повезати са рачунаром ради бољег и лакшег визуелног прегледа делова. Ове машине се могу поставити близу координатне машине ради ефикаснијег прегледа и брже повратне информације за корекцију параметара обраде пре него што се направи следећи део. Такође су направљене тако да се одупру утицајима средине у производним постројењима као што су температурне разлике, вибрације и прљавштина. Ипак, координатне мерне машине се постављају у посебне просторије одвојене од производње, јер би сви поменути фактори утицали на крајњи резултат мерења. Пре почетка мерења, температура просторије у којој се врши мерење мора бити константна баш због ширења и скупљања материјала. Такође, део који се мери мора бити очишћен и дезинфикован алкохолом како би мерење било што прецизније. Важне карактеристике координатних мерних машина су следеће:

1. Да буде што стабилнија, јача, крућа, а истовремено да сви покретни елементи, конструкција моста, носач вођице и слично буду што лакши.
2. Директно мерење и поређење почетних CAD података за линијске и површинске моделе.
3. Глобална размена података и мерних програма.
4. Извршење свих функција са особљем у радионици.
5. Смањење трошкова са временом коришћења.
6. Заснивање на идеализацији геометрије радног комада са свим особинама које комад поседује.

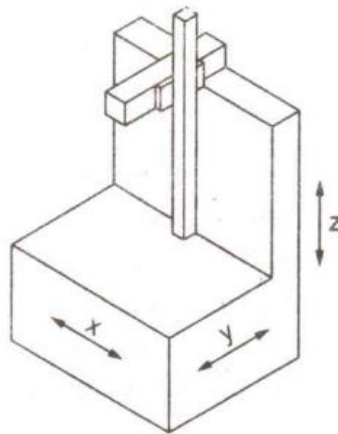
Координатна мерна машина је мерно средство које бележи стварну геометрију радног комада, упоређује је и одређује одступање у односу на захтевану геометрију. Поменута одступања се јављају у виду димензионих карактеристика, облика и положаја. Облик радног комада се може описати његовим елементима и међусобним положајем тих елемената. СММ (слика 29) користи три координатне осе, тако да је могуће прецизно кретање у правцима  $x$ ,  $y$  и  $z$  и одређивање димензија комада у простору. Свака оса је опремљена мерном скалом и вођицама. Мерна скала има задатак да одреди смер кретања и да дигитални приказ. Осе  $y$  и  $z$  чине носач који служи за померање сонде, како би се извршило мерење. На врху сонде налази се мерни пипак (један или више њих). Мерни пипак, након додиривања површине радног комада, шаље информацију у рачунар, где се даље обрађује. Непосредно поред координате мерне машине налази се управљачка јединица са управљачким пултом, помоћу којег се извршава координација рада машине. Такође, обезбеђена је веза машине са рачунаром и софтвером. Површине радног комада се могу описати са геометријском формом елемената. У ту сврху, постоје једнодимензионални (тачка), дводимензионални (права линија, круг) и тродимензионални (раван, сфера, цилиндар и конус) елементи.



Слика 29. СММ са свим елементима [17]

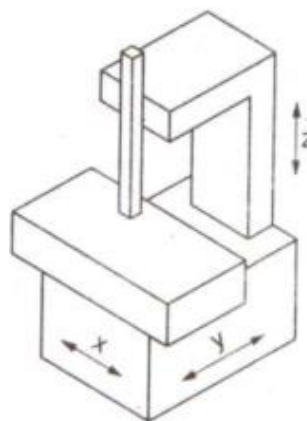
Координатне мерне машине се уопштено могу поделити на машине на којима се ручно померају осе и ручно притискају команде, на машине са аутоматизованим погоном оса и ручним манипулисањем командама и на машине такође са моторизованим погоном оса и софтверски подржаним операцијама. Као што је било речено, свака СММ се састоји од механичких склопова, погона, система за мерење дужине, система сонде са мерним пипком (пипцима) и рачунара. Зависно од избора конструкције, могући су и разни додатни елементи, као што су ротирајући столови или температурни сензори. У суштини, постоји пет карактеристичних типова конструкције и то су конзолни тип, стубни, мостни, портални и хоризонтални тип.

Код конзолног типа (слика 30), мерна глава је причвршћена само на једној страни круте основе. Ово знатно утиче на крутост, смањујући је, па се управо из тог разлога користе за радне комаде мањих димензија. Њихова погодност јесте што омогућавају руковаоцу приступ са три стране.



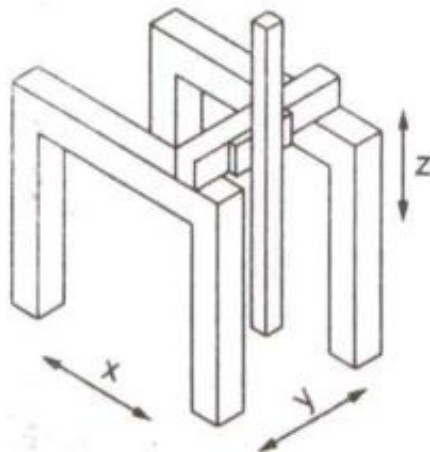
Слика 30. Координатна мерна машина конзолног типа [18]

Машине стубног типа (слика 31) се најчешће називају универзалним машинама и користе се за радне комаде чија запремина не прелази  $0,25 \text{ m}^3$ . Сматрају се изузетно тачним мерним машинама, управо због стубног типа који повећава њихову крутост и самим тим доприноси тачнијем мерењу.



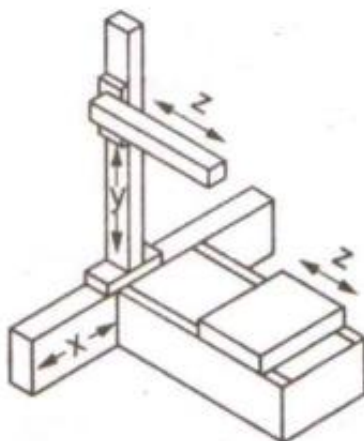
Слика 31. Координатна мерна машина стубног типа [18]

Координатне мерне машине са порталном конструкцијом (слика 32) су један од најчешће коришћених машина. Примењују се за веома велике и тешке предмете ( $1\div 2 \text{ m}^3$ ), који захтевају високу прецизност машине. Мање машине порталног типа углавном имају четири стуба. На тим стубовима се налази носач за кретање сонде који одговара у оси и креће се у границама од 1,5 до 2 метра. Оса  $x$  заправо представља ход тог носача са сондом, а оса  $z$  висину, која може бити и до 4 метра, али се обично креће у границама од 1,2 до 2 метра. Порталне машине обезбеђују високу приступачност предмету, чиме се побољшава квалитет мерења.



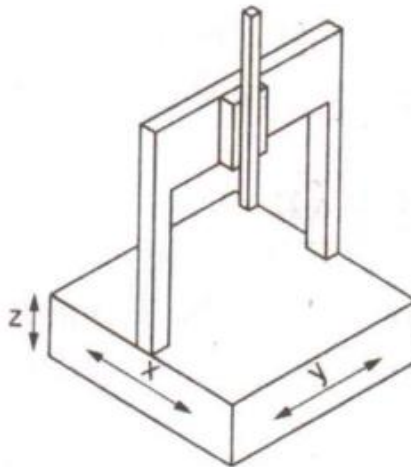
Слика 32. Координатна мерна машина порталног типа [18]

Координатна мерна машина хоризонталног типа често се назива машина са хоризонталном руком (слика 33) и она се поприлично разликује од свих преосталих типова. Састоји се од вертикалног стуба (оса  $y$ ) и од хоризонталне руке (оса  $z$ ). Хоризонтална рука се креће праволинијски горе-доле (при чему се обезбеђује мерење по висини), а цео вертикални стуб заједно са хоризонталном руком се креће праволинијски лево-десно. Због своје конструкције, погодна је за изузетно масивне предмете. То јој је уједно и кључна предност, која надокнађује мању прецизност мерења.



Слика 33. Координатна мерна машина хоризонталног типа [18]

Координатна мерна машина мостног типа (слика 34) омогућава кретање сонде дуж три осе, које су управне једна на другу у тродимензионалном Картезијевом координатном систему. Како је већ било речи, свака оса има сензор који прати положај сонде на тој оси, обично са микрометарском прецизношћу. Овај тип координатних машина је можда и најпопуларнији. Машине мостног типа имају ниску цену за изградњу и способност да дугорочно одржавају тачност и поновљивост. Мост на коме се налази сонда је покретан, док је гранитна плоча непокретна и налази се на ваздушним лежајевима како би се створили услови без трења.



Слика 34. Координатна мерна машина мостног типа [18]

За делове координатне мерне машине користи се тврди камен (гранит), челик или челични лив. Постоље машине је направљено од гранита. Гранит у односу на челик има нижи температурни коефицијент ширења, па су мање промене дужина. Како би се избегли неповољни утицаји температуре на мерно средство, гранит се може заменити алуминијумом. Под дејством температуре, алуминијум мења своје димензије, али су деформације врло мале. За израду компоненти координатне мерне машине користи се керамика, као и композитни материјали. Дакле, при избору материјала треба водити рачуна да изабрани материјал буде што веће тврдоће, лакши и отпорнији на деформације услед повећања температуре.

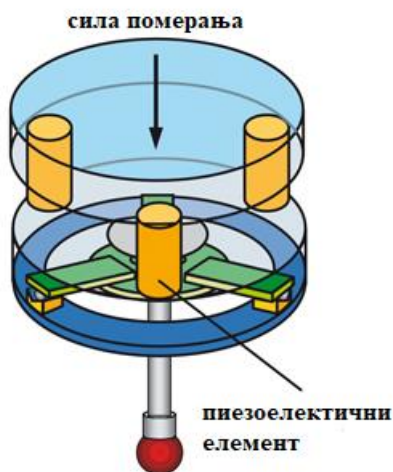
## 4.2. Координатна мерна машина – сонде

Сонде (слика 35) су базични елемент сваке СММ и могу се класификовати као контактне, бесконтактне и комбиноване (вишесензорске врсте). Контактне сонде се ослањају на куглице, дискове и друге крајеве монтиране како би се остварио физички контакт са производом, односно на мерни пипак. Користе се за мерење појединих тачака или за скенирање површине дела како би се добио аналогни приказ сложене површине. Контактне сонде за мерење појединих тачака се могу успешно користити за једноставније, призматичне делове, док се са повећањем сложености, препоручује скенирање. Ипак, скенирање може убрзати трошење врха сонде, поред динамичког дејства које сонда трпи од машине. Једно од решења јесте коришћење машине са пет оса, чиме би додатне две осе управо имале улогу да дају покрет скенирања. То би подразумевало уградњу зглобних глава, чиме би се минимизирао динамички утицај координатне машине. Бесконтактне сонде користе ласере како би одредиле удаљеност између сонде и површине предмета [19]. Нека пракса јесте да су бесконтактне сонде можда брже, али свакако непрецизније. Ипак, чешћа употреба се односи на контактне сонде и у ту сврху, постоји још једна подела на активне и пасивне контактне сонде. Разлика је у томе што пасивне сонде ради постизања контакта са предметом користе кретање вођица, док активне имају у свом систему моторе за покретање.



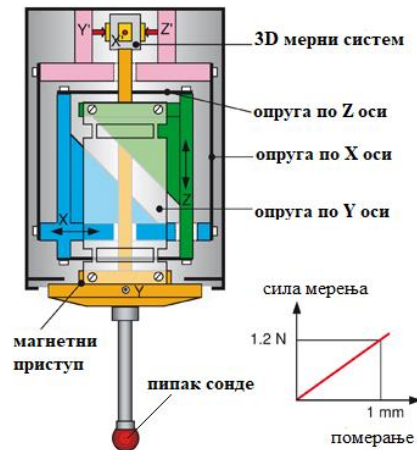
Слик 35. Сонда [20]

Систем сонди садржи елементе који врше претварање механичког сигнала у електрични (пиезоелектрични елемент) посредством сензора (слика 36). При минималном контакту пипка сонде са радним комадом, механичко дејство се преноси у електрични сигнал до управљачке кутије.



Слика 36. Претварање механичког у електрични сигнал [21]

Принцип мерења сонде (слика 37) за скенирање при претварању механичког у електрични сигнал се врши преко магнетног приступа. Померање у све три осе координатног система се врши преко међусобно повезаних опруга. Комплетно кретање преноси се на 3D мерни систем и тако се мери непрекидно путем пипка. Сила мерења сонде зависи од померања (дијаграм на слици 37). Са дијаграма се види да са повећањем силе мерења расте и померање. То повећање силе је линеарно и за померање од 1 mm, сила мерења износи 1,2 N.



Слика 37. Принцип мерења сонде [21]

### 4.3. Координатна мерна машина – софтвер

Софтвер који се користи као саставни елемент хардверског система координатне мерне машине, представља важну карику помоћу које се прати процес мерења. Једна од улога софтвера јесте да препозна какав ће облик мерити. Захтеве које поменути софтвер мора да испуни су:

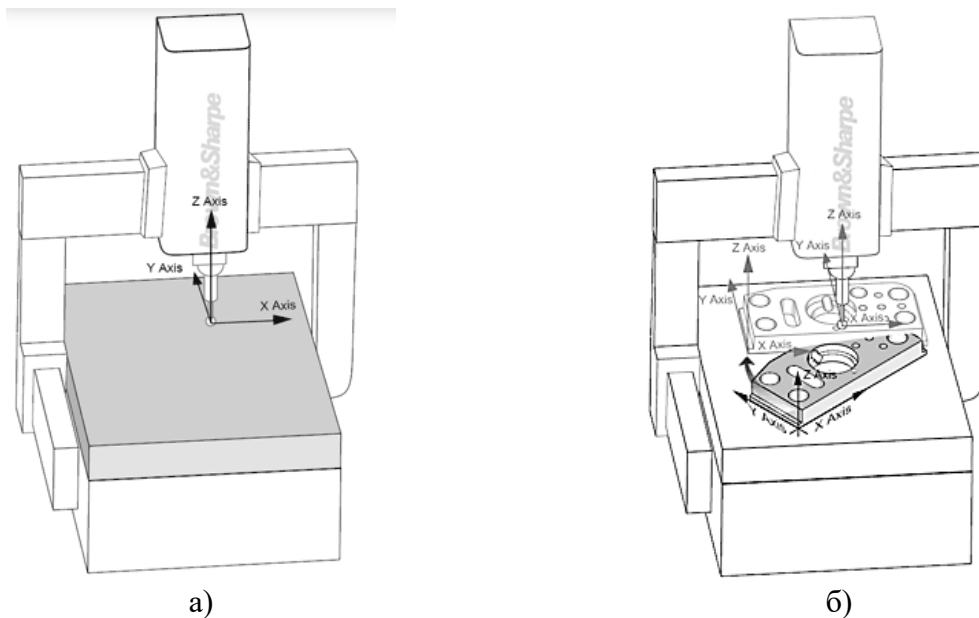
- Статистичка и процесна контрола.
- Мерење пречника, средњег растојања, дужине, геометријске и грешке облика призматичних комада.
- Мерење дводимензионалних и тродимензионалних кривих линија.
- Пренос података.
- Мерење површина произвољног облика.
- Мерење базирано на карактеристикама производа.
- Интеграција и процесирање CAD података.
- Мерење зупчаника.
- Мерење цеви [18].

Што се тиче принципа мерења, оно се може извршити помоћу 3D CAD модела или без њега. Ако се изводи без CAD модела, то знатно отежава процес упоређивања података. У том случају, потребно је унети и дефинисати почетне параметре. За мерење радног комада које се изводи прво треба одредити карактеристике машине. Све круцијалне информације смештају се у базу података у облику CNC мерног програма. Све чешћи принцип је коришћење CAD модела ради упоређивања са предметом који се мери, јер све мере CAD модела нису исте у реалности као у програму (пре свега се мисли на толеранција). Сваки CAD модел који се изради, могуће је мерити на координатној мерној машини. Можда и једини недостатак CAD модела јесте недостатак геометријских података.

Координатне мерне машине, приликом мерења, могу показивати одређена одступања. Стога, иако грађене на изузетно прецизним толеранцијама, у њиховој структури постоје одређене грешке, које утичу на њихову тачност. Како одступања у производњи постају све мање дозвољена, неопходно је да координатне мерне машине постану што тачније. Већина СММ-ових нетачности може се аутоматски исправити на СММ-овом рачунару и то тако што када се мере све геометријске грешке координатне мерне машине, оне се могу умањити или чак елиминисати помоћу моћних алгоритама у самом софтверу. Ова техника се назива волуметријска компензација грешака [22].

#### 4.4. Координатна мерна машина – начин мерења

Када се посматра начин мерења на координатној мерној машини, потребно је унапред дефинисати координатни систем, преко кога ће се пратити мерење. У суштини, постоје две врсте координатних система. Први се назива машински координатни систем (слика 38.а), где се осе  $x$ ,  $y$  и  $z$  односе на кретање машине. Када се гледа са предње стране машине, оса  $x$  врши померање са леве ка десној страни, оса  $y$  врши померање од напред према назад, а оса  $z$  врши померање одоздо према горе, вертикално управно на преостале две осе, тј. на раван  $xy$ . Други координатни систем назива се систем координата радног комада (слика 38.б), где се три осе односе на карактеристике обратка, односно прате његове димензије [22].

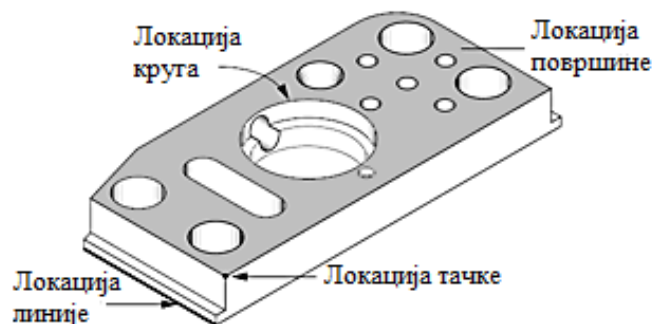


Слика 38. Координатни системи мерне машине [22]

Слика 38.а. Машински координатни систем

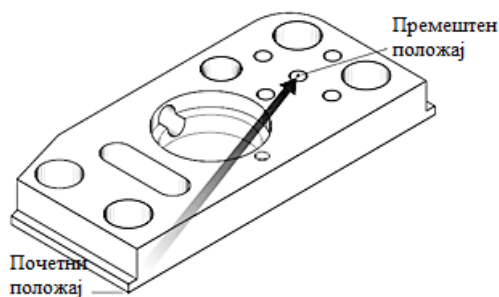
Слика 38.б. Систем координата радног комада

Сваки радни комад који се мери има на себи одређене карактеристике, које се називају локације (енг. datum). Те локације (слика 39), односно карактеристике су отвори, прорези, линије, тачке и слично.



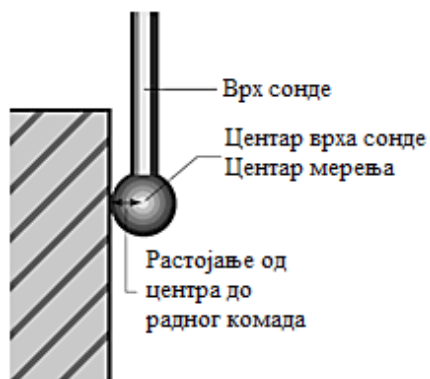
Слика 39. Локације радног комада [22]

Када је потребно да се измери растојање једне карактеристике предмета од друге, неопходно је извршити транслацију извора. На пример, потребно је измерити растојање средиште неког отвора до средишта централног отвора. Да би се то остварило, потребно је измерити тај централни круг, а потом измерити преостали отвор. Овако је извршено премештање (транслација) почетне тачке са тренутног положаја на неко друго место (слика 40).



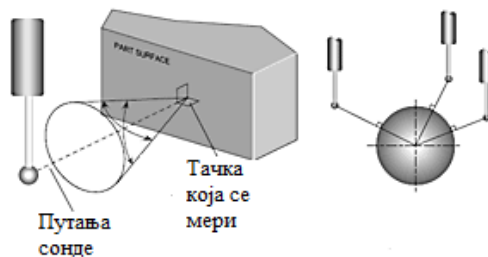
Слика 40. Премештене почетне тачке [22]

Координатне мерне машине прикупљају своје податке додиром радног дела сонде. Иако је врх сонде врло тачан, место врха на координатном систему машине мора се одредити пре мерења. Када су центар и радијус врха сонде познати, у тренутку када сонда додирује радни комад, координате врха се математички „померају“ радијусом врха до стварне тачке контакта врха (слика 41).



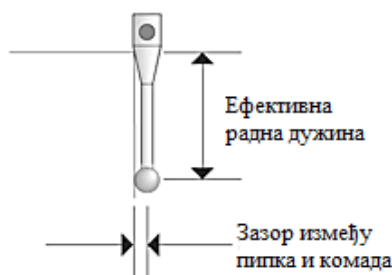
Слика 41. Принцип прикупљања података [22]

Намеће се правило које указује на то да мерни пипак сонде (радни део) треба да додирује радни комад под правим углом или са толеранцијом од  $\pm 20^\circ$  (слика 42). Потребно је приметити да се на десном делу слике уочава да су вектори приступа сонде под правим углом у односу на површину сфере, што гарантује смањење грешке клизања.



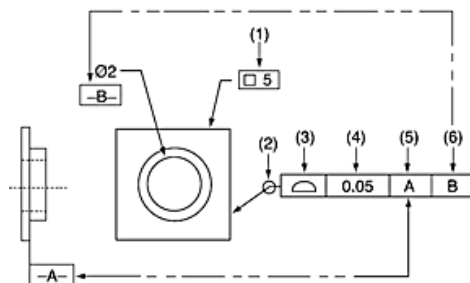
Слика 42. Приступ сонде [22]

Сада је потребно одредити потребан пречник врха сонде, како би се извршило адекватно мерење. Што већи пречник врха, повећава се зазор између мерног пипка сонде и радног комада (слика 43). Аналогно томе, што је већи пречник врха, то ће мерни пипак ићи дубље док не додирне радни комад. То се назива ефективном радном дужином сонде (слика 39). Такође, намеће се правило да је највећи врх сонде ограничен величином најмањих рупа које се мере. Поред тога, пречник пипка не сме бити већи од најмањег отвора (прореза) који мери.



Слика 43. Ефективна радна дужина и зазор између пипка и комада [22]

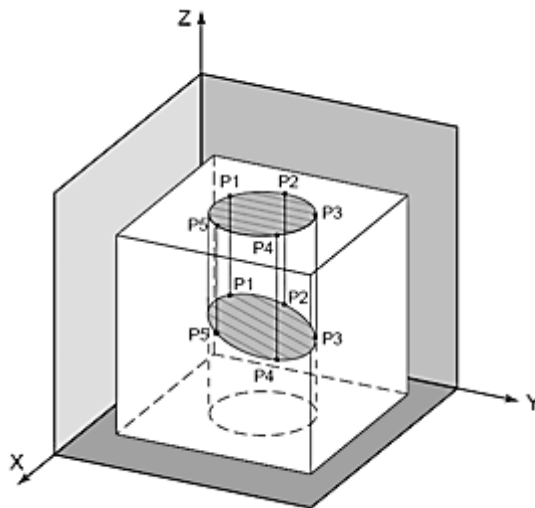
Геометријско димензионисање и толеранције (енг. Geometric Dimensioning and Tolerancing, GDT) су универзални језик симбола. GDT симболи омогућавају прецизно и логично описивање карактеристика неког радног комада. GDT се изражава у оквиру контроле функција. Оквир за контролу функција (обично правоугаоник подељен на више квадрата) је попут основне реченице која се може читати са лева на десно и тако тумачити. На пример, радни комад квадратног облика од 5 mm (1) контролише се са толеранцијом профила (3), која представља толеранцију облика, од 0,05 mm (4) у односу на примарну површину А (5) и секундарну површину В (6) (слика 44).



Слика 44. Геометријско димензионисање и толеранције [22]

Неки од основних геометријских одступања која се прате су одступање од равности (одређено је зоном коју формирају две паралелне линије), одступање од кружности (одређено је зоном коју формирају два концентрична круга), одступање од профила (контролише неправилне површине, линије, лукове и слично), одступање од угаоности (одређено је зоном две паралелне равни које су под одређеним углом), одступање од управности (одређено је зоном коју формирају две равни управне једна на другу), одступање од паралелности, одступање од концентричности (односи се на саосност отвора који се мери), а прати се и толеранција положаја (ако се примењује на отворе, онда се односи на толеранцију пречника тог отвора) [22].

Још једна корисна ставка која конфигурише при мерењу координатном мерном машином јесте пројектовање (слика 45). У метрологији, пројекције омогућавају прецизније мерење како би се делови који су предвиђени за склапање на крају и успешно спојили. У мерењима аутомобилских цилиндара (на примеру блока мотора), може се тачно одредити како ће се клипови уклопити у цилиндар и како ће се он монтирати са комором за сагоревање. Како би се неки геометријски облик, круг, успешно пројектовао, потребно је минимално три тачке за мерење пречника тог круга, које су на истој удаљености, чиме се избегава да круг буде елиптичан. Да би се превазишла потенцијална погрешна пројекција, подаци мерења се пројектују у раван која је управна на средишњу линију цилиндра [22].



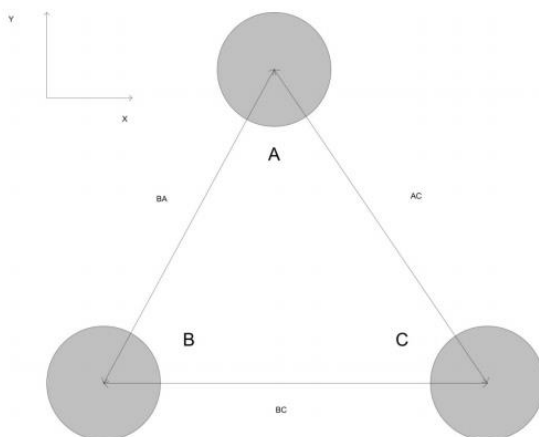
Слика 45. Пројекција круга цилиндра [22]

## Стратегија мерења на координатној мерној машини

Општа стратегија мерења се може поделити на неколико ставки које се морају испунити, а то су:

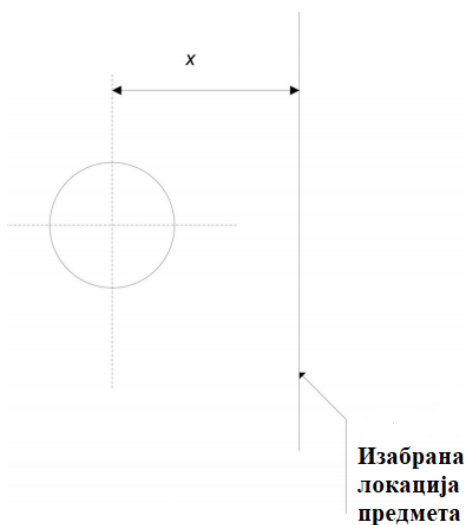
1. Подешавање мерне машине.
2. Дефинисање локација тог радног комада.
3. Избор оријентације обратка.
4. Избор начина држања радног комада.
5. Систем иглице (пипка) мерне сонде.
6. Дефинисање стратегије сондирања.
7. Програмирање координатне мерне машине.
8. Снимање података [23].

Када се говори о првој ставци, важно је успоставити стратегију која захтева, ако је могуће, јединствен сет подешавања за мерење свих релевантних карактеристика. Ако се користи више подешавања, постоји могућност грешке оператера која деградира поступак мерења и самим тим смањује поверење у резултате. Начин на који се врши свако мерење обично је компромис између брзине и тачности. У циљу постизања тачности неке уске толеранције, потребна су вишеструка подешавања, а самим тим и дуже време мерења. Као пример биће приказано мерење растојања између А, В и С (слика 46). Закључује се да ће растојање ВС имати већу тачност од остала два, јер се користи само једна оса машине за мерење (оса  $x$ ). Када би се користило једно подешавање, могуће је измерити сва три растојања, али би растојања АВ и АС била нетачнија. То је могуће решити применом још једног сета подешавања, помоћу кога ће се извршити ротација и на тај начин ће се пратити оса која представља растојања АВ и АС.



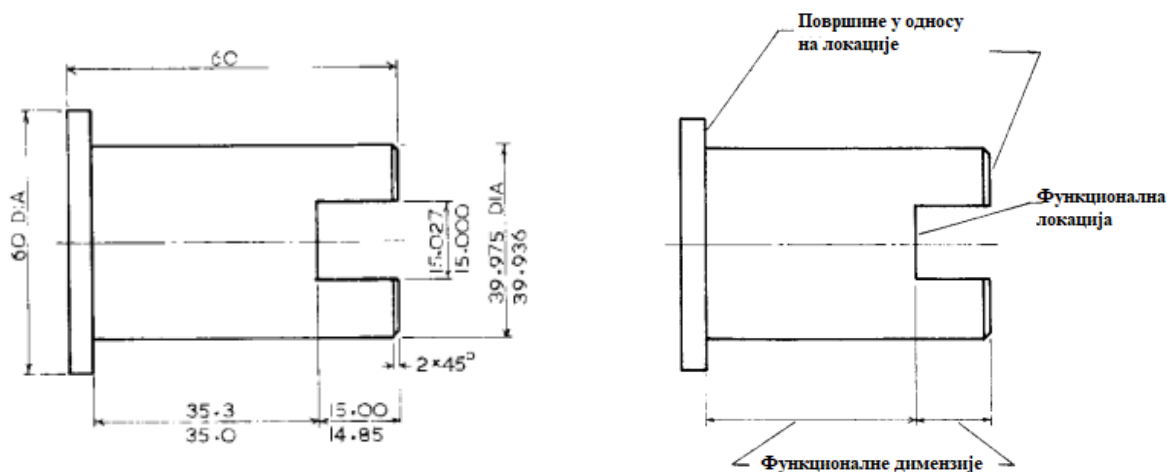
Слика 46. Мерење три растојања [23]

Што се тиче значаја дефинисања неке локације (карактеристике) на радном комаду, она ће бити приказана на примеру на којем је потребно наћи средиште круга (слика 47). Како би се пронашла позиција круга, неопходно је да оператор прво одреди која му координата треба (димензија  $x$ ), коју ће мерити од неке изабране локације предмета.



Слика 47. Налажење средишта круга [23]

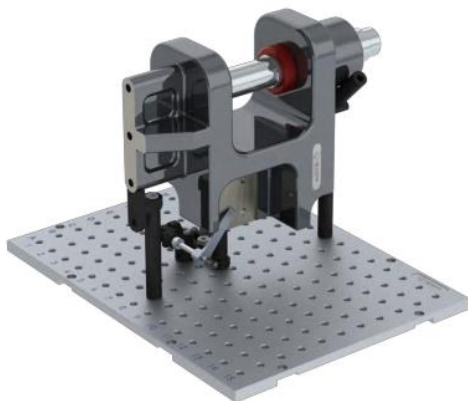
Следећи технички пример (слика 48) ће показати шта се све то узима као нека функционална карактеристика (локација). Са примера се уочава да доње одступање од 39,936 mm и горње одступање од 39,975 mm упућују на то да овај пречник има уске толеранције и да треба да одговара делу који се на њега монтира. Границе од 15 mm и 15,027 mm указују на димензије прореза. Величине 35 и 35,3 mm, са једне стране, и 14,85 и 15 mm, са друге стране, показују коте доњих ивица. Такође, битна димензија је пречник од 60 mm. Дакле, битно је пронаћи одређене карактеристике на предмету у односу на које ће се мерити свака битна димензија [23].



Слика 48. Карактеристике радног комада [23]

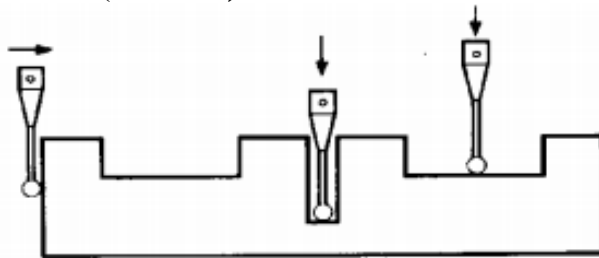
Након подешавања мерне машине и препознавања и дефинисања локација, односно карактеристичних облика, приступа се позиционирању (оријентацији) обратка. Једно од полазних „правила“ јесте да се осигура приступачност површина које се мере. Ово свакако зависи и од прве описиване ставке, која гласи да треба да се тежи да буде јединствен сет подешавања. Коначно, потребно је остварити поклапање оса радног комада са осама машине, како би се избегло мерење у више оса.

Потребно је напоменути и да позиционирање обратка зависи од метода држања (слика 49) тог предмета при мерењу, што је уједно и наредна ставка која конфигурише у стратегији мерења. Једна од величина која утиче на избор метода држања је свакако сила сонде. Вредност ове силе се креће у интервалу  $0,05 \div 0,2 \text{ N}$ , на почетку мерења. Током мерења, ова сила може нарасти до чак  $3 \text{ N}$ . Следеће што утиче на метод држања јесте тежина радног комада. Наиме, ако је комад довољно тежак, није неопходна никаква веза помоћу осигурача против померања. С друге стране, ако је обрадак лаган, могуће је извршити његово држање помоћу глине или воска, који се стављају на радни сто. Недостатак код оваквог начина држања јесте што ти материјали остају на столу, па их је неопходно очистити. Као алтернатива, могуће је користити магнетне или вакуумске стезаљке. Недостатак код стезаљки јесте што велика сила стезања може деформисати радни комад.



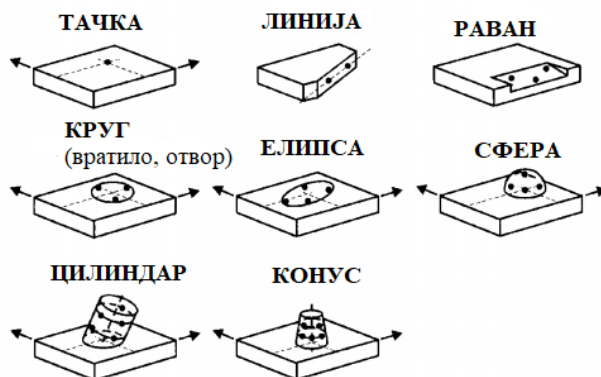
Слика 49. Једна од метода држања радног комада [23]

Наредни корак у стратегији се односи на мерни пипак (иглицу). Захтеви који се морају испунити су били поменути у поглављу 4.4. у коме се на сликама 41, 42 и 43 могу уочити шта све пипак мора обезбедити, где је објашњено како пречник врха сонде утиче на зазор пипка (иглице) и радног комада, затим колико је битно да пипак додирује комад под правим углом, и на крају, објашњено је шта се подразумева под ефективном радном дужином. Ова дужина представља продор и од те величине зависи да ли ће мерни пипак моћи да дотакне радни комад (слика 50).



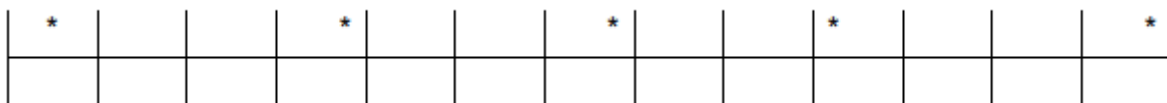
Слика 50. Утицај ефективне радне дужине на извршавање мерења [23]

Можда једна од најбитнијих ставки при извршавању стратегије мерења, јесте дефинисање система сондирања. Сонда, са својим мерним пипком, треба да изврши мерење неког радног комада. Тај радни комад се може сагледати као скуп неких геометријских карактеристика (тачка, линија, раван, круг, елипса, сфера, цилиндар и конус). У ту сврху, потребно је познавати колико је математички потребно тачака (слика 51), како би се препознао одређени облик, па тако, на пример, две тачке дефинишу линију, а три круг.



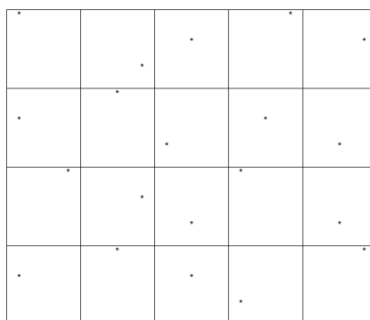
Слика 51. Геометријске карактеристике радног комада и њихов број тачака [23]

Да би се постигла скоро једнака расподела тачака на линијском сегменту (слика 52), потребно је поделити тај линијски сегмент у више подподела једнаке дужине и по једну тачку поставити у свакој подподели. Стога, како би се осигурала једнолична дистрибуција тачке, тачка се поставља у свакој подподели. Да би се избегла могућност избора тачке преблизу једна другој, овај поступак се може прочистити постављањем тачака насумично. Овиме се постиже да се добије права линија, уместо линије са неким параболома [23].



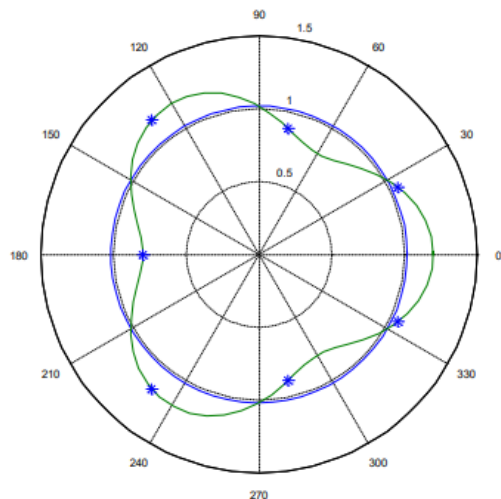
Слика 52. Дистрибуција тачака на линијском сегменту [23]

Сличан, практично исти поступак се примењује када је потребно извршити дистрибуцију тачака на неком правоугаоном сегменту (слика 53). Посматрани правоугаоник се дели на подправоугаонике који су подељени тако да сви они заједно имају површину као тај један посматрани правоугаоник. Након тога, поставља се тачка у сваки од тих подправоугаоника.



Слика 53. Дистрибуција тачака на правоугаоном сегменту [23]

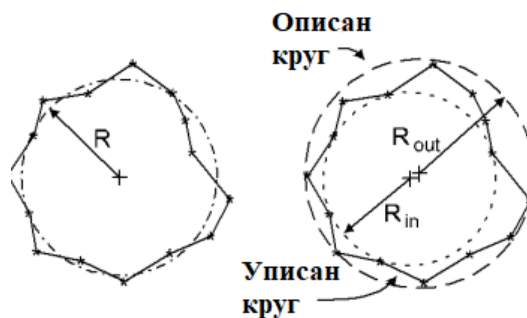
Дистрибуција тачака се може извршити на кружном сегменту (слика 54). Круг се дели на неколико лукова и на сваки лук се поставља по једна тачка. Да би се добио облик који одговара траженом, пожељно је не пратити устаљен редослед позиционирања тачака, већ тачке постављати произвољно на луку, односно у близини луку.



Слика 54. Дистрибуција тачака на кружном сегменту [23]

Једна од последњих ставки стратегије мерења јесте програмирање координатне мерне машине, које ће бити укратко објашњено. Програмирање, на неком основном нивоу, врши се уз помоћ цојстика, којим се контролише машина, односно сонда која додирује обрадак. Такође, помоћу цојстика је могуће дефинисати број дистрибуираних тачака. Од велике је важности озбиљно приступити овој ставци, јер нетачно програмирање СММ-а може довести до нетачних резултата мерења стотина делова.

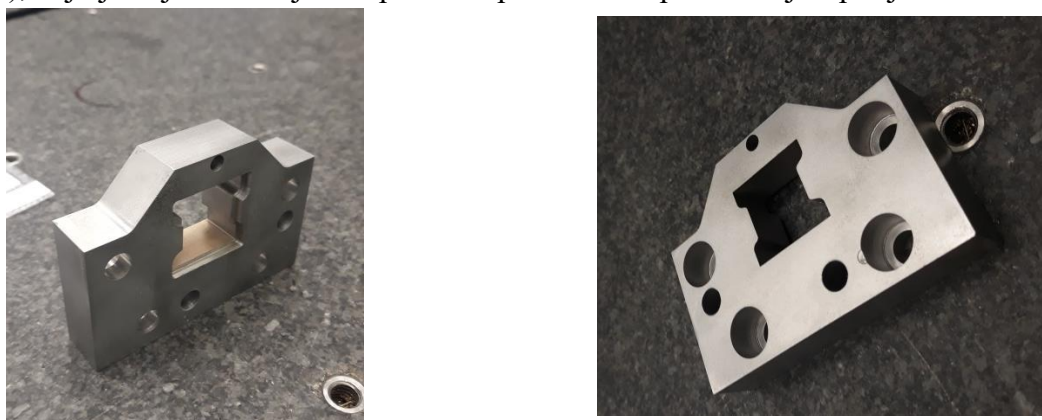
Последња ставка јесте процена тих измерених података. У ту сврху се користе одређене методе (слика 55). Те методе су Гаусов метод (позната као Гаусова крива), метода минимално описаних и максимално уписаних кругова и Чебишева метода. На слици лево је приказана Гаусова метода, која важи и за једну од најбољих. На слици десно је Чебишева метода која се заснива на генерисању средњег пречника који се налази између описаног и уписаног круга.



Слика 55. Методе за процену података [23]

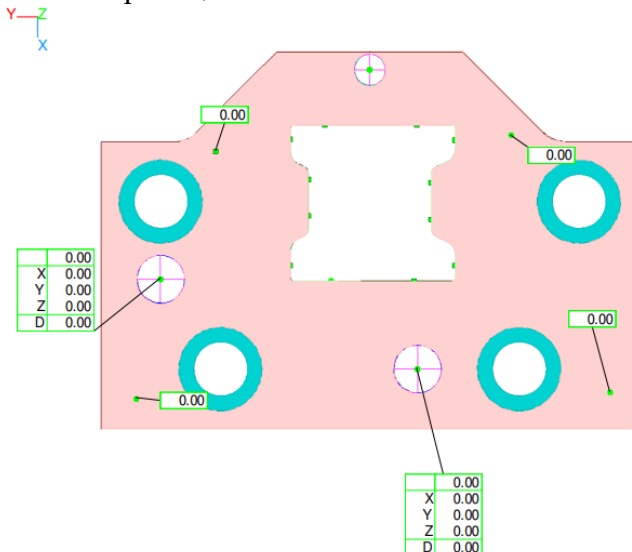
## 5. Примери мерења на координатној мерној машини

У Горењу МДМ, извршено је мерење одређених делова пресерских алата, што је био циљ завршног рада. У ранијим поглављима, описивани су делови пресерских алата, врсте координатне мерне машине и начин мерења. Потребно је да се одређени делови измере на машини, како би прошли завршну контролу. Они морају бити у одређеним границама, које се односе на толеранције. У наставку ће бити приказан пример матрице у 3D приказу (слика 56), који је најповољнији за приказ мерења на координатној мерној машини.



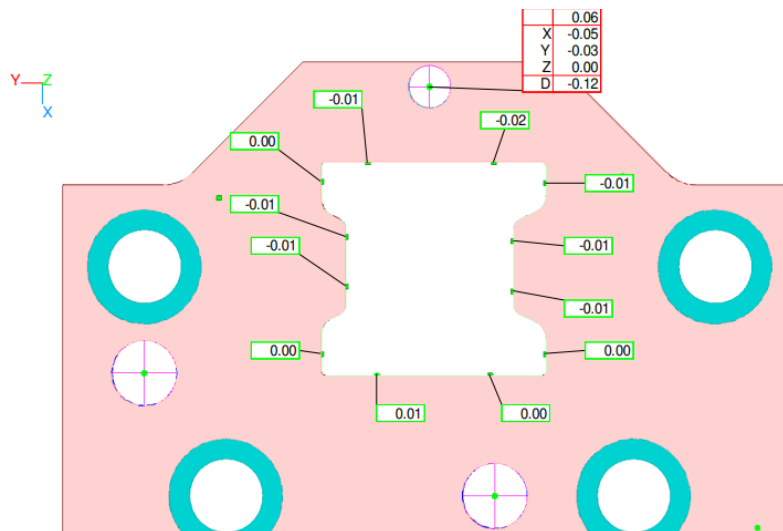
Слика 56. Пример матрице [7]

Када је добијен предмет мерења, прво се врши његово позиционирање (слика 57), како би мерење било што прецизније и тачније. Фиксирање предмета мерења за гранитни сто остварује се стезаљкама или магнетом (зависно од предмета мерења). Да би мерење било што прецизније, мора се испунити следећи захтев: доња површина матрице која се мери мора потпуно налегати на радни сто машине. На слици 57, то је приказано са четири тачке, које имају вредност одступања од доње површине 0 (нула). Затим, помоћу отвора за чивије врши се позиционирање по x, y и z оси, чије вредности морају бити 0. Са зеленим тачкама су приказане мере које су у границама толеранција, док су са црвеним приказане мере које нису у дозвољеним границама.



Слика 57. Позиционирање матрице [7]

Након извршеног позиционирања, остварује се мерење отвора матрице (слика 58), који мора бити у границама толеранције. То је посебно битно због постизања тачно жељеног облика неког комада који ће се добијати, приликом продирања просекача/пробојца кроз матрицу. Стога, битно је усагласити толеранције матрице и просекача/пробојца. На слици 58 је приказана вредност толеранције отвора по х и у осе. Те вредности морају бити у дозвољеним границама, што симболизује зелени правоугаоник око вредности. Као полаз мерења, на слици је приказан отвор, чије су вредности смештене у црвени правоугаоник и означавају његове координате по све три осе, као и његов пречник.



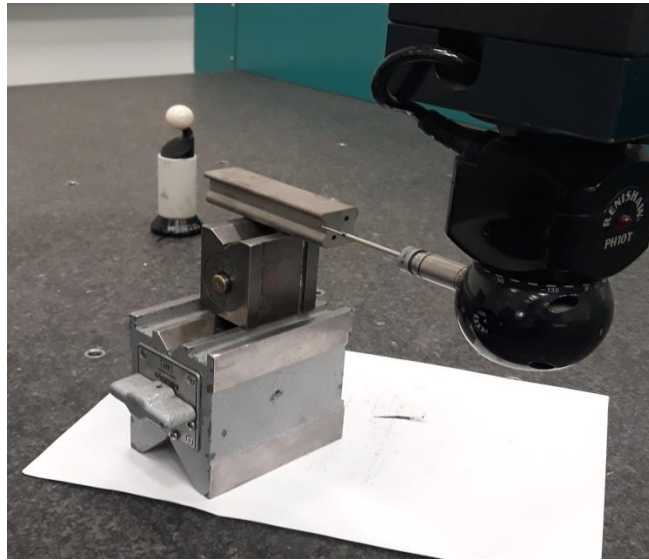
Слика 58. Мерење матрице [7]

Технологија обраде метала деформисањем, посебно операције просецања и пробијања, захтевају високу прецизност просекача, односно пробојца и прстена за просецање, односно пробијање. У предузећу Горење МДМ, једна од најчешће коришћених операција је управо малопре поменута. Сектор мерења и контроле има значајну улогу при провери готових прсекача/пробојца и матрица, како би се гарантовало да ће бити добијен адекватни комад, приликом операције просецања и пробијања. У пару са матрицом на слици 56, користи се просекач/пробојац (слика 59).



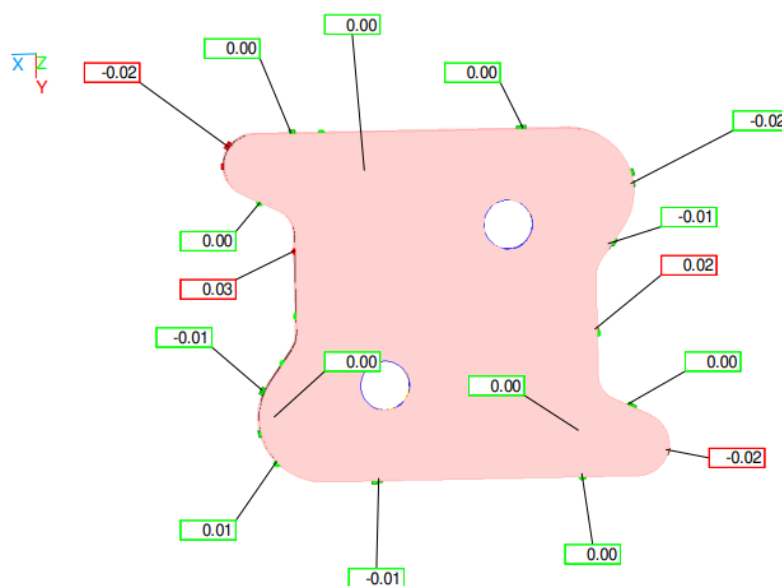
Слика 59. Пример просекача/пробојца [7]

Позиционирање и мерење просекача/пробојца се врши на идентичан начин као и код матрице, с тим што се води рачуна да се прво мери усадни део, који се монтира у носач пресе, а затим и резни део, који пролази кроз матрицу. Причвршћивање просекача, односно пробојца, врши се помоћу магнета (слика 60). Укључивањем већег магнета, остварује се поступак фиксирања, док се мањим магнетом подешава висина, зависно од потребе оператера.



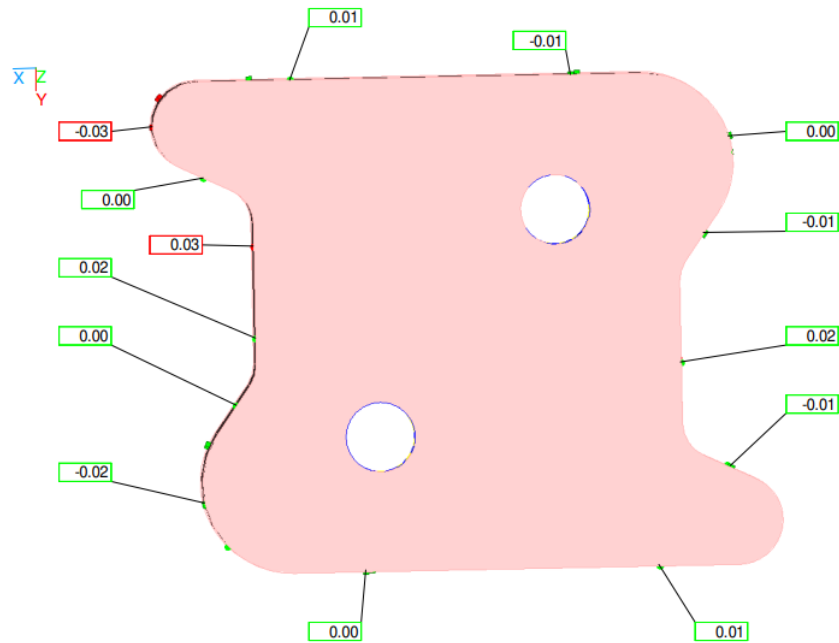
**Слика 60. Фиксирање просекача/пробојца [7]**

Након фиксирања, најпре се врши позиционирање и мењење усадног дела (слика 61), који мора да належе на радни сто. Као што важи за матрицу, тако и просекач/пробојац морају бити у границама толеранције. У црвеним правоугаоникима, уочавају се толеранције које нису у дозвољеним границама.



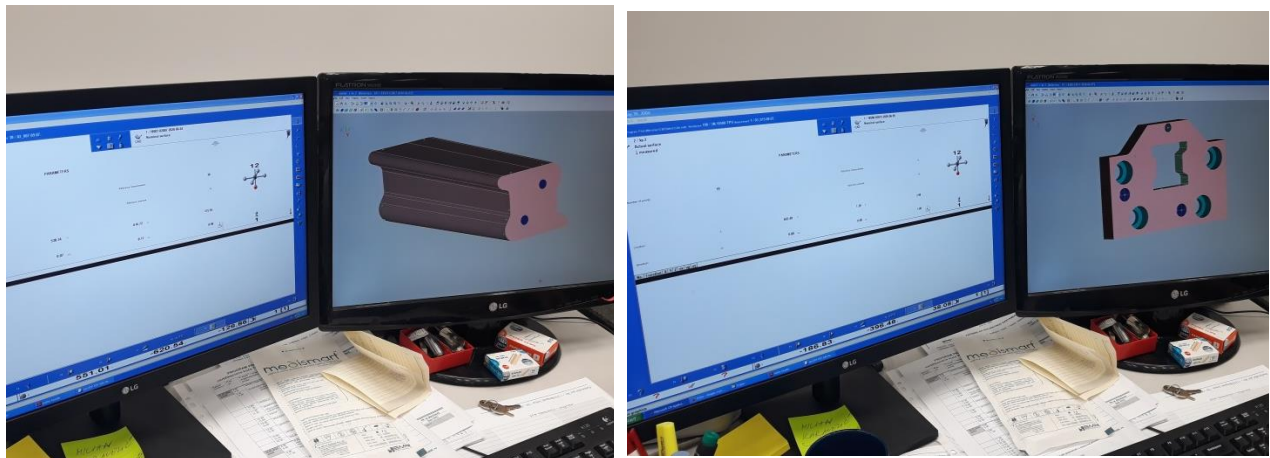
**Слика 61.** *Позиционирање и мерење усадног дела просекача/пробојца [7]*

Затим, изводи се мерење резног дела просекача, односно пробојца (слика 62). Његове толеранције морају бити у истим границама као и толеранције матрице, због пролаза просекача/пробојца кроз прстен за просецање/пробијање.



Слика 62. Мерење резног дела просекача/пробојца [7]

У сектору мерење и контрола се за мерење одређених делова пресерских алата користи Metrosoft CM 3.60 софтвер (слика 63). На основу њега, остварује се прецизна и квалитетна контрола. Обележавањем површине у самом софтверу, задаје се граница сонди до које ће остварити мерење. Ово умногостобољава процес контроле, чиме га олакшава и убрзава.



Слика 63. Metrosoft CM 3.60 софтвер [7]

## 6. Закључак

Пресерски алати се користе за обраду метала деформисањем, при чему се поступак обликовања односи на раздвајање материјала по контури резне ивице, било резне ивице матрице, било просекача/пробојца, за случај операције просецања/пробијања, односно савијача, за случај операција савијања или ако се ради о операцији дубоког извлачења, онда се ради о резној ивици извлакача. Да би се у предузећу Горење МДМ дошло до коначног алата, његови делови морају проћи кроз велики број сектора, провера, пре проласка завршне контроле квалитета. У овом предузећу, најчешћа операција је операција просецања, односно пробијања. Захтев за израду пресерских алата долази од купца, при чему се морају задовољити изричитих захтеви, које је он претходно дефинисао. Након тога, конструктори приступају изради 3D модела, који се даље шаље технолозима који израђују план обраде делова пресерских алата на одређеним машинама, а такође и време израде. Даље, тај део наставља до производног погона, у коме настаје реални радни комад, израдом на различитим машинама. Као завршна контрола, радни комад доспева у сектор за мерење и контролу, где се остварује провера да ли су мере у дозвољеним границама на координатној мерној машини.

Из рада се може закључити да су толеранције од великог значаја при изради делова пресерских алата. Посебно при монтажи делова који су у пару (стубне вођице-чаура), потребно је обезбедити саосност. Како би се осигурало добијање жељеног облика комада, по завршеној обради, потребно је да профилни нож и матрица буду управни једно на друго и да имају толерисано одступање од концентричности. Неопходно је да сваки део пресерских алата има одређену израдну толеранцију, ради несметаног склапања. Након тога, потребно је приступити завршној обради ових делова. Фина обрада се углавном односи на фино брушење у врло уским толеранцијама. Налеганье (профилни нож-матрица) је толерисано толерантним пољем  $h$  за профилни нож, односно  $H$  за матрицу. Ово налеганье подразумева да је горње одступање ножа 0 (нула), а доње одступање матрице 0 (нула).

Као практични део завршног рада, уједно и суштина, односи се на последњи вид провере тачности и квалитета одређених делова пресерских алата, тј. на примену координатне мерне машине, на којој се уочава вредност одступања геометријских толеранција, димензије, тачност локације и слично. Као практични примери, показани су матрица за просецање и просекач. Њихов изглед је приказан у поглављу 5. Мерење се врши преко рачунара у коме се налази софтвер (Metrosoft CM 3.60), преко кога се задаје команда сонди, која врши „опипавање“ радног комада и на тај начин остварује приказ на монитору са измереним вредностима. На монитору је могуће уочити каква су одступања и проверити тачност радног комада. Када се говори о деловима пресерских алата, битно је измерити равност, управност, паралелност, кружност, концентричност, што подпада под толеранције облика и положаја. Поступку мерења претходи фиксирање комада, његово позиционирање и на крају, мерење. Целокупан поступак добијања пресерског алата не би могао да функционише без сектора мерења и контроле, као ни без других сектора (конструисање, технологија и слично).

## Литература

- [1] Мусафија Б., Обрада метала пластичном деформацијом, завод за уџбенике, Сарајево 1979. године
- [2] <http://www.tooldesign.rs/srb/preserski.html#startpic>, приступљено 25.04.2020. године
- [3] [https://prezi.com/zvuvb3\\_\\_lstu/alati-za-probijanje-i-prosecanje-lima/](https://prezi.com/zvuvb3__lstu/alati-za-probijanje-i-prosecanje-lima/), приступљено 25.04.2020. године
- [4] <https://dokumen.tips/education/savijanje.html>, приступљено 25.04.2020. године
- [5] <https://www.autoform.com/en/glossary/deep-drawing/>, приступљено 26.04.2020. године
- [6] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Tehnologija%20masinogradnje/Duboko%20izvlacenje.pdf>, приступљено 26.04.2020. године
- [7] Интерна документа предузећа Горење МДМ, Крагујевац
- [8] каталог FIBRO, Die Sets,  
[https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02\\_NORMALIEN/Kapitel\\_A/PDF/B2\\_HK\\_GB\\_Kapitel\\_A.pdf](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02_NORMALIEN/Kapitel_A/PDF/B2_HK_GB_Kapitel_A.pdf), приступљено 02.05.2020. године
- [9] каталог FIBRO, Guide Elements,  
[https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02\\_NORMALIEN/Kapitel\\_D/PDF/B2\\_HK\\_GB\\_Kapitel\\_D.pdf](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02_NORMALIEN/Kapitel_D/PDF/B2_HK_GB_Kapitel_D.pdf), приступљено 02.05.2020. године
- [10] каталог FIBRO, Ground Precision Components,  
[https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02\\_NORMALIEN/Kapitel\\_E/PDF/B2\\_HK\\_GB\\_Kapitel\\_E.pdf](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/EN/02_NORMALIEN/Kapitel_E/PDF/B2_HK_GB_Kapitel_E.pdf), приступљено 02.05.2020. године
- [11] <https://www.daytonprogress.de/files/dayton/downloads/kataloge-dayton-progress/Englisch/GB-BallLock.pdf>, приступљено 03.05.2020. године
- [12] [https://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/2051-32-guide-bush-sintered-ferrite-carbonitrided-with-long-term-lubrication-iso-9448-2-fibro?info=fibro%2Fnormalien%2Fd%2Fd05%2Fd05\\_01%2Fd05\\_01\\_01%2F2051-32.prj&cwid=6891](https://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/2051-32-guide-bush-sintered-ferrite-carbonitrided-with-long-term-lubrication-iso-9448-2-fibro?info=fibro%2Fnormalien%2Fd%2Fd05%2Fd05_01%2Fd05_01_01%2F2051-32.prj&cwid=6891), приступљено 02.05.2020. године
- [13] <https://tolerancije.wordpress.com/2011/01/08/толеранције-квалитета-површине/>, приступљено 30.06.2020.
- [14] Интерна документа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу
- [15] <https://sr.puntomarinero.com/coordinate-measuring-machine-description-specifications/>, приступљено 10.05.2020. године

[16] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Projektovanje%20pribora%20i%20merne%20masine/Predavanje%203%20-%20Razvoj%20numericki%20upravljanih%20mernih%20masina.pdf>,  
приступљено 10.05.2020. године

[17] <https://www.amazon.com/Coordinate-Measuring-Machine-Zenith-2500/dp/B07JGFKYCJ>,  
приступљено 10.05.2020. године

[18] <http://www.ignou.ac.in/upload/Unit-8-62.pdf>, приступљено 10.05.2020. године

[19] <https://www.thomasnet.com/articles/machinery-tools-supplies/all-about-cmm-machines-what-they-are-how-they-work/>, приступљено 10.05.2020. године

[20] <https://ecatalog.mitutoyo.com/CMM-Probes-Scanning-probe-system-C1018.aspx>,  
приступљено 10.05.2020. године

[21] <https://www.koordinatenmesstechnik.de/en/navigation/sensors-for-coordinate-measuring-machines/tactile-sensors/touch-trigger-tactile-sensors.html>, приступљено 10.05.2020. године

[22] <https://www.hexagonmi.com/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology>, приступљено 16.05.2020. године

[23] Flack D., Good Practice Guide No. 41 (CMM Measurement Strategies), Queen's Printer and Controller of HMSO, 2014