

**Факултет инжењерских наука  
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне студије**

**Смер: Индустријски инжењеринг**

**Предмет: Инжењеринг производње**

**Број индекса: 97/2004**

**Предраг Д. Здравковић**

**Технологија обраде на обрадним центрима  
дипломски рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Проф. др Милан Ерић - ментор**

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

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

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру свог дипломског рада кандидат треба да проучи технологију обраде на обрадним центрима у фабрици Промек - Велика Плана. Дипломски рад треба да обухвати: Уводна разматрања (циљеви, значај и слично), Приказ фабрике (основни подаци, производни програм, опрема, кадрови..), Обрадни центри (врсте, класификација, карактеристике, системи управљања ...), Обрадни центри фабрике Промек (карактеристике, могућности, системи управљања ...), Технологија обраде на обрадним центрима (суштина, предности, пројектовање, документација итд.), Пример технологије обраде на обрадним центрима са свим параметрима и документацијом, Закључци и Литература.

Препоручена литература:

1. Лазић М., **Технологија обраде метала резањем**, Машински факултет у Крагујевцу и Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 2002.
2. Лукић Љ., **Флексибилни технолошки системи**, монографија, Машински факултет, Краљево, 2008.
3. Митровић Р. ; **Пројектовање технолошких процеса**, Научна књига, Београд, 1991.
4. Тодић В. ; **Пројектовање технолошких процеса**, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2004.

Крагујевац, 15. децембра 2014.

ментор:

Др Милан Ерић

---

## РЕЗИМЕ

Циљ овог дипломског рада је приказ комбинованих машина, које у општем случају замењују струг, глодалицу, бушилицу, и оне се називају обрадни центри. Такође је приказана и технологија обраде на обрадним центрима.

У првом поглављу овог дипломског рада дат је приказ фабрике Промек, у којој ја радим. У овој фабрици сам запослен као оператер на обрадном центру AWEA BM 1460.

У другом поглављу су приказани обрадни центри. Дате су њихове врсте, класификације, карактеристике, као и системи управљања, носећи системи, системи главног и помоћног кретања.

Треће поглавље обухвата обрадне центре фабрике Промек. Приказана су пет обрадна центра која се налазе у овој фабрици, а највећи акценат је стављен на обрадни центар AWEA BM 1460.

У четвртом поглављу је дат опширнији приказ технологије обраде на обрадним центрима. Дат је приказ конструкционе и технолошке документације, као и све врсте пројектовања која се могу применити у једном предузећу.

У петом поглављу се разматра пример технологије обраде на обрадном центру са свим параметрима и документацијом у фабрици Промек. За одређени производ који је дат на радионичком цртежу, израђен је програм у оперативној јединици SELCA.

Кључне речи:

- CAD - рачунаром подржано пројектовање производа,
- CAM - рачунаром подржана производња,
- NC - нумеричко управљање,
- CNC - нумеричко управљање рачунаром.

## SUMMARY

The goal of this thesis is to give a display of combined machines called machining centres which in general replace lathe, miller and drill. The technology of machining using machining centres is also presented throughout the thesis.

In the first chapter of this thesis a presentation of the factory Promek is given, which is my workplace. I work here as a operator on the machining centre AWEA BM 1460.

In the second chapter the machining centres are displayed. Their types, classification, characteristics as well as management systems, support systems, systems of main and subsidiary movements are presented.

The third chapter includes the machining centres in the factory Promek. Five machining centres which are located in this factory are presented, whereas the machining centre AWEA BM 1460 has been pointed out.

In the fourth chapter a more elaborate display of technology of machining using machining centres is given. Constructional and technological documentation is presented, as well as all types of designing which can be applied in a company.

In the fifth chapter an example of technology of machining using machining centre including all the parameters and documentation in the factory Promek is being discussed. For a specific product ,which is presented on a workshop drawing, a program in operational unit SELCA is created.

Keywords:

- CAD - Computer Aided Design,
- CAM - Computer Aided Manufacturing,
- NC - Numerical Control,
- CNC - Computer Numerical Control.

## САДРЖАЈ

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>УВОД .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>1. ПРИКАЗ ФАБРИКЕ ПРОМЕК .....</b>                 | <b>2</b>  |
| 1.1 ОСНОВНИ ПОДАЦИ И ПРОИЗВОДНИ ПРОГРАМ .....         | 2         |
| 1.2 ОРГАНИЗАЦИОНЕ ЈЕДИНИЦЕ ФАБРИКЕ ПРОМЕК .....       | 2         |
| 1.2.1 ТЕХНИЧКИ БИРО .....                             | 2         |
| 1.2.2 ОДЕЉЕЊЕ ЗА СЕЧЕЊЕ И МАГАЦИН МАТЕРИЈАЛА .....    | 3         |
| 1.2.3 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ТРАДИЦИОНАЛНО И CNC ГЛОДАЊЕ .....    | 4         |
| 1.2.4 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ТРАДИЦИОНАЛНО И CNC СТРУГАЊЕ .....   | 5         |
| 1.2.5 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ФИНАЛИСАЊЕ ПРОИЗВОДА И МОНТАЖУ ..... | 9         |
| 1.2.6 ОДЕЉЕЊЕ ЗА КОНТРОЛУ .....                       | 10        |
| <b>2. ОБРАДНИ ЦЕНТРИ .....</b>                        | <b>11</b> |
| 2.1 CNC ТЕХНОЛОГИЈЕ И CNC МАШИНЕ .....                | 11        |
| 2.2 ПРОГРАМИРАЊЕ CNC МАШИНА .....                     | 13        |
| 2.3 ВРСТЕ И КЛАСИФИКАЦИЈА ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА .....      | 16        |
| 2.4 КАРАКТЕРИСТИКЕ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА .....             | 18        |
| 2.5 СТРУКТУРА CNC ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА .....              | 18        |
| 2.6 НОСЕЋИ СИСТЕМИ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА .....             | 19        |
| 2.7 СИСТЕМИ ПОМОЋНОГ КРЕТАЊА .....                    | 19        |
| 2.8 СИСТЕМИ ГЛАВНОГ КРЕТАЊА И МОДУЛИ .....            | 20        |
| 2.9 СИСТЕМИ УПРАВЉАЊА .....                           | 21        |
| <b>3. ОБРАДНИ ЦЕНТРИ ФАБРИКЕ ПРОМЕК .....</b>         | <b>22</b> |
| 3.1 ВРСТЕ И КАРАКТЕРИСТИКЕ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА .....     | 22        |
| 3.2 ОБРАДНИ ЦЕНТАР AWEA BM 1460 .....                 | 25        |
| 3.3 УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА SELCA .....                   | 28        |
| <b>4. ТЕХНОЛОГИЈЕ ОБРАДЕ НА ОБРАДНОМ ЦЕНТРУ .....</b> | <b>29</b> |
| 4.1 СУШТИНА И ПРЕДНОСТИ .....                         | 30        |
| 4.2 ДОКУМЕНТАЦИЈА .....                               | 31        |
| 4.2.1 КОНСТРУКЦИОНА ДОКУМЕНТАЦИЈА .....               | 31        |
| 4.2.2 ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА .....                  | 33        |
| 4.3 ПРОЈЕКТОВАЊЕ .....                                | 33        |

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1 ПРОЈЕКТОВАЊЕ УЗ ПОНАВЉАЊЕ .....                                                                                  | 34        |
| 4.3.2 ПРОЈЕКТОВАЊЕ УЗ ПОДЕШАВАЊЕ .....                                                                                 | 34        |
| 4.3.3 ВАРИЈАНТНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ .....                                                                                    | 34        |
| 4.3.4 НОВО ПРОЈЕКТОВАЊЕ .....                                                                                          | 35        |
| <b>5. ПРИМЕР ПРОГРАМИРАЊА НА ОБРАДНИМ ЦЕНТРИМА<br/>СА СВИМ ПАРАМЕТРИМА И ДОКУМЕНТАЦИЈОМ У<br/>ФАБРИЦИ ПРОМЕК .....</b> | <b>36</b> |
| 5.1 РАДИОНИЧКИ ЦРТЕЖ .....                                                                                             | 36        |
| 5.2 ПРОГРАМ ЗА ИЗРАДУ ПРОИЗВОДА .....                                                                                  | 37        |
| 5.3 ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ ПРОГРАМА .....                                                                                     | 40        |
| 5.4 ОПЕРАЦИЈЕ И АЛАТИ КОЈИ ФИГУРИШУ У ПРОГРАМУ ..                                                                      | 41        |
| 5.5 ПАРАМЕТРИ ОБРАДЕ .....                                                                                             | 44        |
| <b>ЗАКЉУЧАК .....</b>                                                                                                  | <b>45</b> |
| <b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>                                                                                                | <b>46</b> |

## УВОД

Убрзани развој науке и технологије, као и стални раст на отвореним тржиштима, смањио је животни век, а повећао сложеност производа.

Коришћењем нових метода и техничких средстава, као и нових прилаза организацији, произвођачи морају да скраћују циклус развоја производа.

Из овога следи да је веома велики притисак на произвођаче и конкретно на развој производа.

У пројектовању и производњи алатних машина постављају се високи захтеви и циљеви у погледу тачности, квалитета и поузданости.

Највећом иновацијом нумеричког управљања (NC) сматра се прелазак на CNC управљање где се управљачка функција остварује помоћу рачунара.

Нумерички системи управљања су изменили концепцију израде алатних машина тако да су добијене машине високе производности.

Смањењу командног и повећање удела активног времена обраде претходио је читав низ технолошко-организационих мера и концепција, које омогућавају висок степен искоришћења расположивог фонда обраде на машини.

Претходно наведене концепције омогућују смањење допунских и припремних времена скоро до њиховог елиминисања.

Створени су нови системи резних алата, држача алата и уређаја за претходно подешавање комплета алата изван машине.

Нумеричко управљање где се управљачка функција остварује помоћу рачунара примењено је и код алатне машине која се назива обрадни центар.

Обрадни центар је алатна машина високе флексибилности и производности чије карактеристике задовољавају претходно наведеним захтевима (тачност, квалитет, поузданост).

Карактеристике обрадних центара, као и технологије обраде на њима биће детаљније приказане кроз овај дипломски рад.

Процес израде делова на CNC обрадном центру, састоји се од следећих активности:

- разрада технологије и утврђивање редоследа захвата, алата и режима рада,
- припрема алата и умеравање њихових висина,
- програмирање,
- израда првог комада у серији,
- серијска производња.

Већина набројаних активности постоји и код класичних алатних машина, међутим оно што је својствено CNC машинама је програмирање.

## 1. ПРИКАЗ ФАБРИКЕ ПРОМЕК

### 1.1 ОСНОВНИ ПОДАЦИ И ПРОИЗВОДНИ ПРОГРАМ

Фирма Промек је настала као резултат потребе оснивача да задовоље захтеве клијената као и жеље за освајањем новог тржишта. Фирма се налази и улици Орашка, број 60 у Великој Плани. Промек је кооперант италијанске фирме SIPLA која се налази у Болоњи. У Промеку су тренутно запослена тридесет и осам радника.

Пошто тржиште поставља високе стандарде и захтеве, предузеће Промек се бави веома прецизном механиком, тј. израдом машинских делова и склопова са великом тачношћу и високог квалитета. Ти производи који се израђују у фабрици Промек су углавном машински делови и склопови који се користе код пакерица за цигарете. Сви производи који се израде у Промеку, транспортују се за Италију, у фирми SIPLA, где се они монтирају и склапају. Транспорт производа из Србије за Италију се врши два пута месечно. У фирми SIPLA се налази главно представништво и тамо се врши финална монтажа и склапање машина за паковање цигарета (пакерице).

Сав материјал који је потребан за израду производа у фабрици Промек допрема се из Италије. У Промеку се врши компјутеризовано управљање магацином материјала, тако да се у свако доба зна којим све материјалом располаже фирма.

У Промеку се врши:

- традиционална и CNC обрада мањих серија,
- израда и монтажа склопова и машина по систему кључ у руке.

Промек се састоји од шест организационих јединица:

- технички биро са CAD 3D софтвером (ESPRIT) за пројектовање и инжењерски прорачун,
- одељење за сечење (припрему) материјала и магацин материјала,
- одељење за традиционално и CNC глодање,
- одељење за традиционално и CNC стругање,
- одељење за финалисање производа и монтажу,
- одељење за контролу.

### 1.2 ОРГАНИЗАЦИОНЕ ЈЕДИНИЦЕ ФАБРИКЕ ПРОМЕК

#### 1.2.1 ТЕХНИЧКИ БИРО

У овом одељењу се налази управа фирме које је истовремено и технички биро опремљен са CAD 3D софтвером (ESPRIT) за пројектовање и инжењерски прорачун (слика 1.1.).

У бироу раде четири дипломирана машинска инжењера од којих је један управник фирме и један дипломирани економиста. Њихов посао и њихова задужења везана су за спољну политику фирме, обезбеђивање транспорта, поруџбину потребног материјала за израду производа, финансијски и економски део пословања.

Рад у CAD програму (ESPRIT) се скоро појавио у фабрици Промек, тако да је такав начин писања програма још увек у експерименталној фази. Један најiskusнији инжењер задужен је за писање програма у ESPRIT – у, чиме олакшава посао оператерима на CNC машинама и скраћује време израде производа. Све програме које инжењер уради, смештени су на USB меморији. Те програме свака CNC машина у фабрици може да препозна и изврши.



Слика 1.1. Технички биро [7]

### 1.2.2 ОДЕЉЕЊЕ ЗА СЕЧЕЊЕ И МАГАЦИН МАТЕРИЈАЛА

У одсеку за сечење и припрему материјала (слика 1.2.) налазе се две CNC тестере и две ручне тестере. У овом одељењу су запослена два радника који први добијају радионичке цртеже производа који треба да се израде у фабрици, на којима је означена врста материјала потребног припремка са одговарајућим димензијама.

У магацину материјала се налазе полице на којима је поређан и класификован материјал по врсти и облику, ради бржег и једноставнијег проналажења потребног материјала.



Слика 1.2. CNC тестера и магацин материјала [7]

### 1.2.3 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ТРАДИЦИОНАЛНО И CNC ГЛОДАЊЕ

У овом одсеку раде четрнаест оператера који се сменски мењају. Ово одељење садржи једну CNC глодалицу, једну класичну вертикалну глодалицу и пет обрадних центара (слика 1.3.).



Слика 1.3. Одељење за глодање (традиционално и CNC) [7]

На слици 1.4. је приказана вертикална CNC глодалица – OMV 850. Радни простор ове машине по осама је следећа: X – 850 mm, Y – 400 mm, Z – 400 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 4000  $^{\circ}/\text{min}$ .



Слика 1.4. CNC глодалица – OMV 850

Ова вертикална CNC глодалица не поседује магацин алата, тако да се код ње замена алата обавља ручно. Због тога се на овој машини израђују углавном машински делови мање сложености тј. делови без толеранцијских мера и за чију израду није потребан велики број алата. Ова машина ради у оперативној јединици SELCA 3045P.

Класична вертикална глодалица JIUN – YEH се најчешће користи за дораду машинских делова и такође за израду делова мање сложености, и таква глодалица је приказана на слици 1.5. Радни простор ове вертикалне глодалице по осама је: X – 1100 mm, Y – 360 mm, Z – 450 mm.



Слика 1.5. Класична вертикална глодалица – JIUN - YEH

Обрадни центри који се налазе у фабрици Промек су ZPS 560, ZPS 1060, AWEA BM 850, AWEA BM 1200 и AWEA BM 1460, и они су детаљније приказани у трећем поглављу.

#### **1.2.4 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ТРАДИЦИОНАЛНО И CNC СТРУГАЊЕ**

У овом одељењу се налазе два универзална и четири CNC струга (слика 1.6.). У овом одсеку раде дванаест оператера који се такође сменски мењају.

CNC стругови који се налазе у овом одељењу су: DOOSAN – PUMA 280 (слика 1.8.), DOOSAN – PUMA 240 (слика 1.9.), MAHO GRAZIANO GR 200C (слика 1.10.), MAHO GRAZIANO GR 350C (слика 1.11.). Сви ови CNC стругови раде у оперативној јединици FANUC I SERIES. Разлика између ових стругова је у величини стезних глава и у величини радног простора.



Слика 1.6. Одељење за стругање (традиционално и CNC) [7]

Два универзална струга која се налазе у овом одељењу су марке МОМАС, а пошто су они потпуно исти, један од њих је приказан на слици 1.7.



Слика 1.7. Универзални струг МОМАС

На следећим сликама приказани су CNC стругови који се налазе у фабрици Промек.



Слика 1.8. CNC струг DOOSAN – PUMA 280 [11]



Слика 1.9. CNC струг DOOSAN - PUMA 240 [10]



Слика 1.10. CNC струг MAHO GRAZIANO GR 200C [8]



Слика 1.11. CNC струг MAHO GRAZIANO GR 350C [9]

### 1.2.5 ОДЕЉЕЊЕ ЗА ФИНАЛИСАЊЕ ПРОИЗВОДА И МОНТАЖУ

У овом одељењу се врши дорада (исправка) предмета који се не могу комплетно завршити на обрадном центру или стругу. То је обично дорезивање навоја, бушење и урезивање навоја на комадима који су велике дужине, заваривање, брушење, исправљање комада на пресу, браварски радови итд. У овом одељењу се налазе пет стубне бушилице, једна брусила, апарати за варење, преса и остали помоћни прибори и алати за овакву врсту посла. Такође се у овом одсеку врши и монтажа склопова и машина мање сложености по систему кључ у руке (слика 1.12.). У овом одељењу су запослена четири радника који су распоређени по потреби и обиму посла на монтажи, доради производа, заваривању...



Слика 1.12. Одељење за монтажу [7]

На слици 1.13. су приказани примери монтаже склопова по систему кључ у руке.



Слика 1.13. Примери монтаже склопова по систему кључ у руке [7]

### 1.2.6 ОДЕЉЕЊЕ ЗА КОНТРОЛУ

Метролошка сала је климатизована и опремљена за димензионалну и квалитативну контролу (слика 1.14.).



Слика 1.14. Одељење за контролу [7]

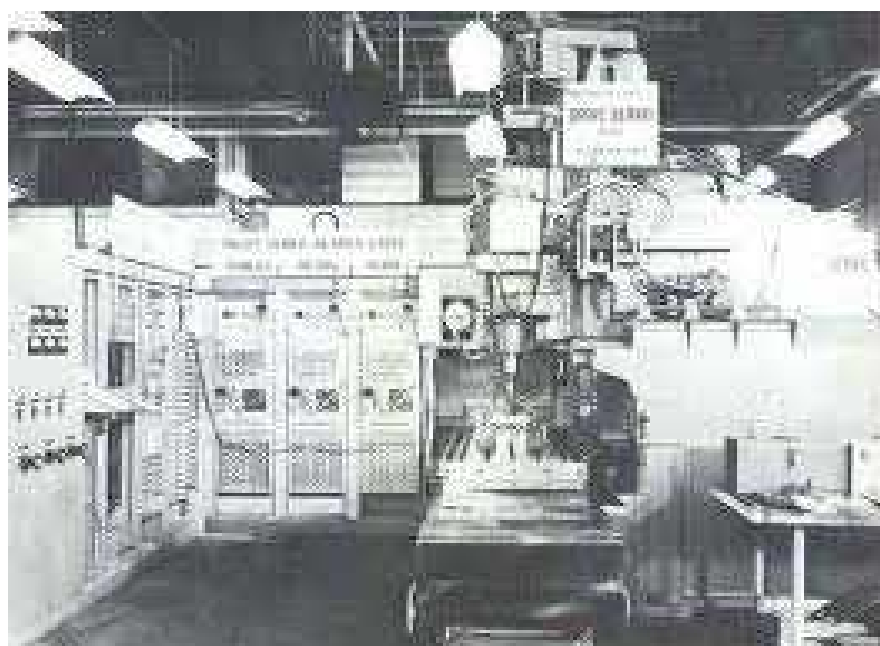
У овом одељењу се налазе мерни инструменти као што су помична кљунаста мерила са нониусом, микрометри, компаратори са сатом и субито, алтиметри... Као толеранцијска мерила, користе се паралелна гранична мерила, гранична мерила за углове, контролници за дужине, контролници за дубине, контролни чепови за осовине... Овде раде два контролора који врше финалну контролу, тако што контролишу све мере, како отворене, тако и толерисане, као и захтеве око квалитета површине обраде и на крају својим потписом на радионичком цртежу одређују да ли су производи спремни за транспорт.

## 2. ОБРАДНИ ЦЕНТРИ

Обрадни центри представљају комбиноване машине које, у општем случају замењују струг, глодалицу, бушилицу. По могућностима су сличне бушилицама и глодалицама, али су још опремљеније, продуктивније и квалитетније.

### 2.1 CNC ТЕХНОЛОГИЈЕ И CNC МАШИНЕ

Скраћеница CNC је изведена из енглеског језика (Computer Numerical Control) и означава компјутерско нумеричко управљање. Она је опште прихваћена у машинству и означава машине управљане од стране рачунара, односно компјутера. Рачунар контролише и управља радом машине "читајући" инструкције у облику кодова. Технологија нумерички управљаних машина алатки, какву данас познајемо, појавила се средином XX века у Сједињеним Америчким Државама (слика 2.1.).



Слика 2.1. Прва NC машина развијена на *Massachusetts Institute of Tehnology* (MIT) 1952. год. [6]

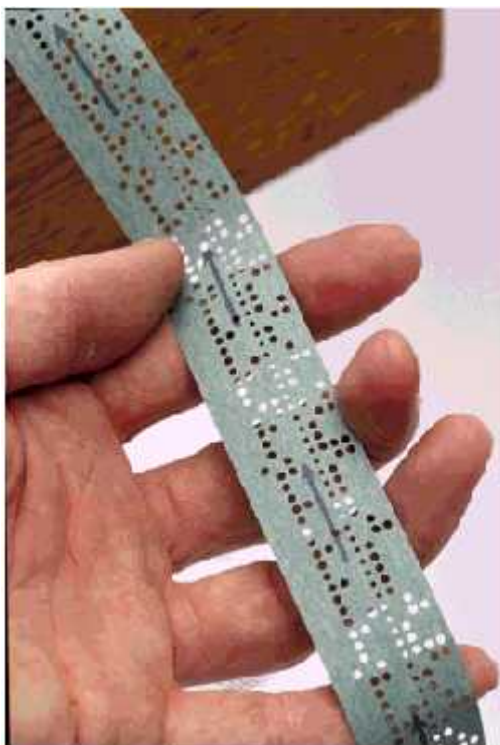
Технологија CNC машина у данашњој индустрији има широку примену. Могло би се рећи да се CNC машине данас користе у свим производним делатностима. Због своје поузданости и прецизности CNC технологија је постала стандардна и незаменљива. Најчешће области примене CNC машина су:

- Обрада дрвета,
- Обрада метала,
- Обрада пластике,
- Гравирање,
- Израда алата,
- Моделирање,
- Хоби,
- Наставна средства.

Управљање NC машинама алаткама одвија се путем рачунарског програма унетог у управљачку јединицу машина. Програм је скуп шифрованих геометријско – технолошко – функционалних наредби којима се путем различитих физичких медија (папирна трака,

касета, дискета) дају управљачкој јединици нумерички управљане машине унапред замишљене радње.

Прве управљачке јединице биле су без компјутера и носиле су назив NC управљачке јединице (Numerical Control), а будући да се програм састојао од бројева и слова, отуда назив нумеричко управљање. Првобитне верзије NC машина захтевале су уношење програма преко бушене траке. Инжењери су писали програме помоћу рачунара, пребацивали их на папирне траке уз помоћ тзв. бушача траке, а затим носили до машине и читавали их у управљачку јединицу помоћу читача траке. Временом, дошло је до развоја NC технологије, а тиме и нових система управљања.



Слика 2.2. Изглед бушене траке за NC машине [6]

Компјутерски нумерички управљаним машинама алаткама, CNC машинама, управља се помоћу рачунара, односно компјутеризоване управљачке јединице на самој машини. Данашње управљачке јединице грађене су на принципу коришћења микропроцесора, тј. малог рачунара који се може програмирати и тиме остварити процес нумеричког управљања. Због тога се такве управљачке јединице зову CNC управљачке јединице. Овиме је начињен велики напредак у ефикасној припреми, организацији и извођењу производних операција. Како управљачка јединица садржи у себи рачунар, програми се могу меморисати, модификовати и дограђивати, а резултати таквих интервенција могу се одмах симулирати и проверити, пре него што производња почне. Програмирање CNC машине алатке изводи се, како је наведено, помоћу рачунара, а у управљачку јединицу се преноси путем оптичких дискова, USB меморијских уређаја и путем рачунарске мреже. Како управљачке јединице поседују сопствену тастатуру и екран, програмирање је могуће извршити и директно на CNC машину.

## 2.2 ПРОГРАМИРАЊЕ CNC МАШИНА

Програмирање рада CNC алатних машина представља поступак израде програма помоћу којег се управља радом машине. Програмирање обухвата низ активности на систематизацији информација које се обрађују и њиховом писању одговарајућим редоследом и кодом, по правилима програмског језика, у форми управљачког програма. Програм садржи информације које управљачка јединица алатне машине "може да разуме" и да их у одговарајућим фазама обраде "саопштава" машини, тј. њеним извршним и другим органима. Као носилац информација програма дуго година се користила бушена трака, а данас постоје могућности преноса ових информација преко CD-а, или другим медијем директно у меморију рачунара.

Информације садржане у програму се односе на потребна кретања (главно и помоћна), укључивање и искључивање извршних органа машине, почетак и заустављање програма, аутоматску измену резног алата... Како се развијала рачунарска техника и технологија, тако су се и шириле могућности програмирања.

Систем нумеричког управљања се заснива на бинарном систему у коме су само два броја; 0 и 1. Бинарна јединица се назива бит. Цифре у бинарном систему су базиране на потенцијама броја 2, тј.  $2^0=1$ ,  $2^1=2$ ,  $2^2=4$ ,  $2^3=8$ , итд. Присуство броја 0 или 1 у сукцесивним позицијама индицира постојање или непостојање вредности. На пример, децимални број 5 се у бинарном систему пише као 0101. Прелазак са бинарног на децимални систем је следећи:  $1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 = 1 \times 1 + 0 \times 2 + 1 \times 4 + 0 \times 8 = 5$ . У табели 2.1 упоређени су децимални и бинарни систем.

Табела 2.1. Компарација децималног и бинарног система [6]

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Децимални | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Бинарни   | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 |

Програмирање обрадних процеса на NC и CNC алатним машинама обављају за то обучени стручњаци који се називају програмери. То су у принципу техничка лица која, поред принципа и правила програмирања, треба да поседују знања из технологије обраде, карактеристика алатних машина, резних алата, помоћних прибора, обрадивости, тригонометрије, основа оптимизације и сл.

Програмирање обухвата обраду две основне групе података:

- подаци о координатама оних правих и кривих линија које пресликавају трајекторију релативног кретања алата и обратка у процесу његове обраде – тзв. геометријске информације
- подаци о бројевима обртаја алата или обратка, посмаку и дубини резања, врсти и ознаци алата којим се изводе пројектоване операције и захвати – тзв. технолошке информације.

Обе групе информација се у току обраде одговарајућег производа мењају и то тако што се, пре почетка извођења елементарних захвата обраде, машини саопштава одговарајући део програма који се односи на те захвате. Скуп свих, на овај начин распоређених информација, назива се програм.

Основни део програма за рад NC алатне машине, а који се односи на његов геометријски део чине:

- речи или наредбе за услове пута, тј. функције релативног кретања алата и обратка,
- речи или наредбе којима се одређују координате помоћних кретања и
- речи или наредбе за параметре интерполације као и корак навоја.

Програм за CNC машине се може написати:

- ручно – без помоћи рачунара,
- полуаутоматски – користећи рачунар и специјализоване програмске језике и
- аутоматски – уважавањем CAD/CAM концепата машинске производње, користећи рачунар и CAD/CAM програмске пакете.

**Ручно програмирање** је најстарији и технолошки најнижи ниво програмирања NC и CNC машина. Примењује се у технолошкој разради обраде делова једноставне геометрије, и у случају малог удела CNC машина у машинском парку матичног производног система. При ручном програмирању полази се од радионичког цртежа. Програмер (технолог) на основу радионичког цртежа и цртежа полуфабриката дефинише план обраде. Из плана обраде произилазе радно место или машина, потребне операције, њихов редослед, бројеви обрта, помоћна кретања, операције у којима треба извршити замена алата или извршити укључивање и искључивање SHP итд. На основу података о машини и стезном прибору и плана обраде дефинише се план стезања. Он обухвата информације о положају предмета обраде, координатних оса, димензијама предмета обраде и стезног прибора, те дефинише начин стезања. План стезања омогућује брже постављање предмета обраде на машину, олакшава програмирање и омогућује израду спецификације стезних алата. На основу плана стезања, информација о алату и режиму обраде дефинише се план алата, који садржи информације о врсти алата, пречнику алата, броју зуба алата, димензијама алата, држачу алата, растојању између врха алата и референтне равни радног вретена, операцијама у којима се алат користи, итд. На основу података о машини, прибору, алату и режиму обраде, постпроцесор попуњава технолошки програмски лист. Кодирањем овог листа добија се изворни програм. Помоћу бушача траке добија се изворни програм на бушеној траци, који садржи информације померања и информације укључивања. Недостаци ручног програмирања су:

- није погодно за делове сложене геометрије,
- оптимизација процеса обраде зависи од искуства и обучености програмера и
- тешко спровођење измена.

**Полуаутоматско програмирање** се примењује за поступке технолошке разраде сложене 2D геометрије модела. Ово програмирање се делимично остварује помоћу рачунара. Програмер пише симбол у симболичном језику водећи рачуна о синтакси. Задатак програмера је да опише геометрију радног предмета, дефинише алат, брзину главног и помоћног кретања, а затим да опише кретање по описаној путањи. Облици симболичних програмских језика садрже преко 3000 речи и знакова, што им омогућује технолошку разраду најкомпликованијих геометријских облика. Да би се изворни програм написан у симболичком језику обрадио у рачунару, потребно је да рачунар поседује одговарајући програм за превођење инструкција са симболичког (вишег) програмског језика на машински (нижи) језик. Овај програм се назива процесор. Сваки симболички програмски језик има свој процесор. Резултати излаза из процесора су подаци који се смештају у посебан фајл – CL File (Cutter Location file – документ који чува чворне тачке ходографа теоријске тачке алата у математички дефинисаном обрадном простору). Ови подаци су општег типа и не могу се користити за управљање машином. Прилагођавање ових података одређеном типу машине и управљачке јединице обавља посебан програм, који је

смештен у меморији рачунара, а назива се постпроцесор. Излаз из постпроцесора је програм који управља NC машином. Он се може штампати и пренети на носач информација, како би се добио писани извештај за организатора производње. Данас је развијено више од сто проблемски оријентисаних језика: APT (САД), EXAPT (НЕМАЧКА), NEL – NC (ЕНГЛЕСКА), IFAPT (ФРАНЦУСКА)...

При ручном програмирању обавља се низ рутинских послова који су најчешће узрок грешке у програму. Због тога се јавља тежња да се један део рутинских активности програмера пренесе на рачунар. Коришћењем релативно једноставних језика, са синтаксом блиском човеку, повећава се прегледност програма, смањује време и трошкови програмирања, омогућује брза измена програма, врши редукција информација, итд. Коришћење рачунара је услов за обраду 3D – предмета обраде сложеног профила.

**Аутоматско програмирање** примењује се за поступке технолошке разраде сложене геометрије попут сложене 2D контура и запреминских модела предмета. Развојем hardware – а и software – а, омогућен је даљи развој аутоматског управљања и различитог извођења комплексних конструкција NC и CNC машина. Данас се у улози носиоца овог вида програмирања користе CAD/CAM и CAE програми, попут **AUTODESK INVENTORA-a**, **CATIA-e**, **PROENGINEER-a**, **SOLIDWORKS-a**, **MASTERCAM-a**, **ARTCAM-a**, **SOLIDCAM-a**, **EDGECAM-a**, **FEATURECAM-a**, **VX- CAD/CAM-a**, **SURFCAM-a**, **UNIGRAPHIC NX-a**, **VISUALMILL-a**, **VISUALTURN-a**.

Без обзира о ком програмском систему и језику се ради, аутоматско програмирање састоји се од четири основне фазе:

- програмски опис машинског дела и опис потребних захвата обраде, што је резултат прикупљања и обављања улазних информација,
- обрада информација уз помоћ рачунара (процесуирање) где се врше сва потребна прерачунавања путања алата и технолошких параметара обраде,
- прилагођавање обрађених информација одређеном типу управљачке јединице NC алатне машине (постпроцесуирање),
- презентација излазних информација у форми носача информација, или листинга за програмера, технолога, оператера на машини, архиву и сл...

Основни елементи сваког програмског језика су: знаци, слова, речи, бројеви, симболи и ознаке инструкција. У односу на ове основне елементе, даља структура програмског језика зависи од самог језика. У зависности од структурне и елементарне изградње система зависе и његове могућности у смислу управљања обрадним процесима. Најсложенија структура програмског система ( језика) је везана за оне који обухватају програмирање геометријских и технолошких информација, а што већег броја управљачких оса. Овим је уједно, узета у обзир и комплексног облика машинског дела.

Предности овог вида програмирања су:

- скраћује се време потребно за израду програма,
- смањује се могућност појаве грешке при дефинисању геометрије (технолог – програмер, не дефинише геометрију, већ је преузима у електронској форми од конструктора),
- омогућује се коришћење база података о алатима, препорученим режимима обраде, као и преузимање карактеристика материјала садржаних у базама програмских пакета – они се по потреби могу мењати, а сам програм може да сугерише њихов избор,
- постоји могућност верификације и симулације програма на рачунару.

Недостаци овог вида програмирања су:

- висока цена hardware – а и software – а,
- програм не генерише увек најкраћу – оптималну путању алата па самим тим је главно време израде делова дуге, и
- велика дужина програма.

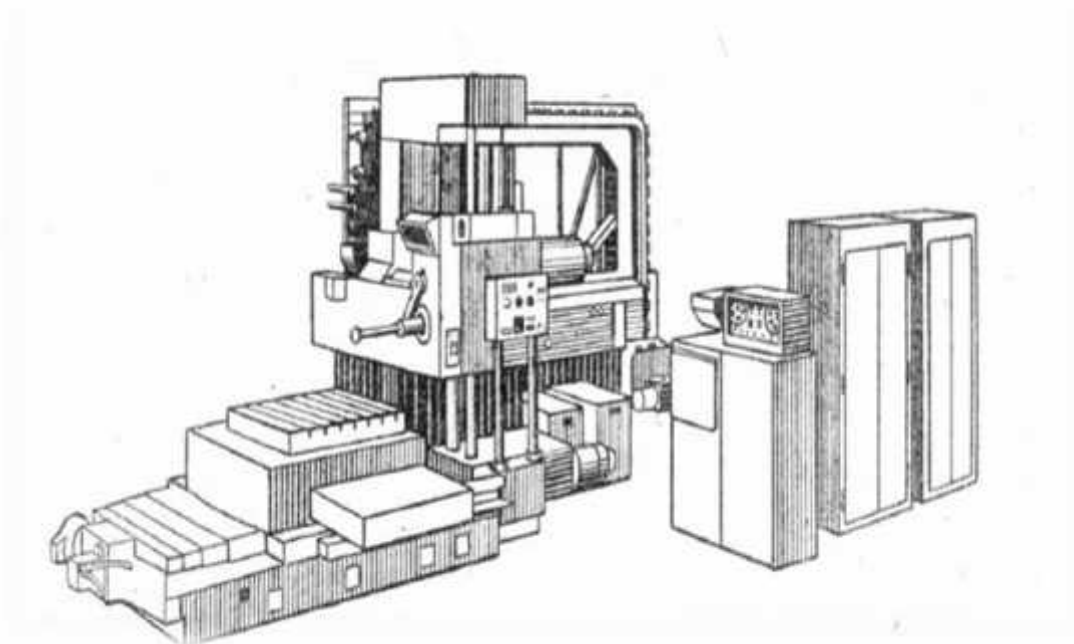
Циљеви аутоматског програмирања уз помоћ рачунара су:

- аутоматски прорачун путање алата на основу што краћег и једноставнијег описа задате контуре обратка,
- аутоматско дефинисање захвата обраде и њиховог редоследа,
- проблем програмирања дефинисати описно коришћењем правила посебно развијеног симболичког језика,
- аутоматско одређивање режима обраде,
- аутоматски избор резног алата и помоћног (стезног) прибора,
- аутоматско прерачунавање координатног система.

## 2.3 ВРСТЕ И КЛАСИФИКАЦИЈА ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА

Постоје више врсте обрадних центара. У погледу осе главног вретена обрадни центри се деле на хоризонталне (слика 2.3.) и вертикалне (слика 2.4.). Даље, постоје обрадни центри са призматичним столом и са обртним столом.

Обрадни центри са призматичним столом имају управљање са три праволинијска кретања, а обрадни центри са обртним столом имају управљање и са четвртим кретањем – обртањем стола.

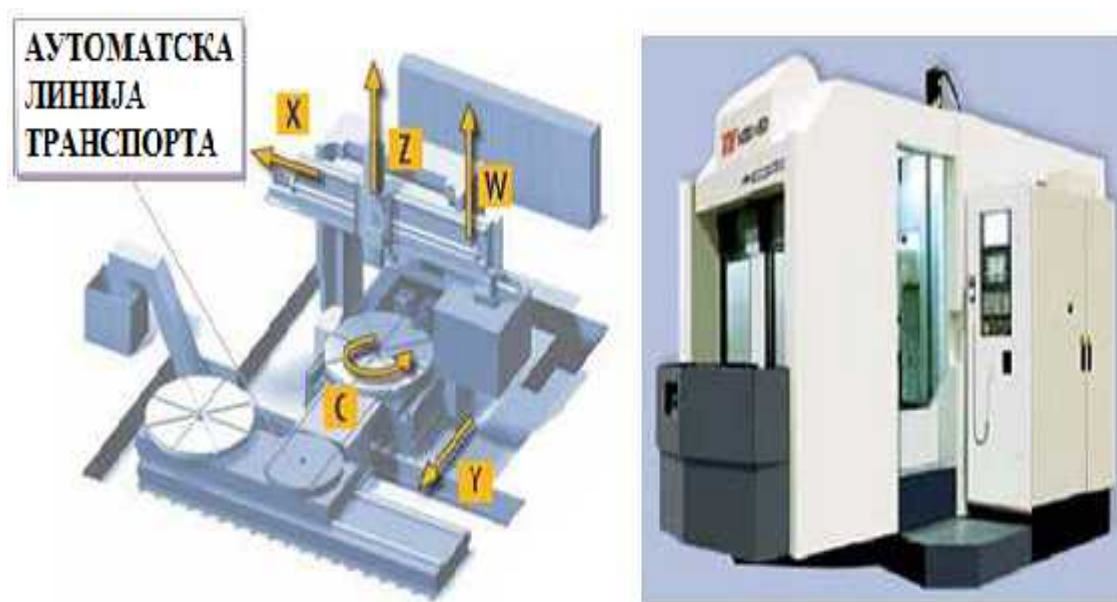


Слика 2.3. Хоризонтални обрадни центар [3]



Слика 2.4. Вертикални обрадни центар са призматичним радним столом [5]

Постоје обрадни центри који имају двопалетни систем (слика 2.5.), код којег се једна палета са стегнутим предметом увек налази у радном простору машине, а друга палета ван радног простора машине. Ово омогућава да се, док се један предмет обрађује у радном простору машине, са друге палете скине обрађени предмет и стегне нови предмет, чиме се скраћује време постављања и скидања предмета. Након обављене операције, изврши се замена палета.



Слика 2.5. Обрадни центар са изменом палета [5]

## 2.4 КАРАКТЕРИСТИКЕ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА

На обрадним центрима се целокупна операција, сва кретања алата и стола, као и измене алата, промене режима обраде, обављају аутоматски помоћу нумеричког програма унетог у управљачку јединицу машине.

Алат стегнут у главно вретено врши свој део операције на предмету стегнутом на сто обрадног центра. Када један алат заврши, врши се аутоматска измена алата помоћу аутоматске руке, тако што се претходни алат узима из главног вретена и враћа у складиште на своје место, а узима наредни и стеже у главно вретено.

Обрадни центри спадају у најсложеније, али и најскупље машине, које се, с обзиром да имају велику продуктивност и поседују нумеричко управљање, могу користити и у малосеријској и у великосеријској производњи.

Дакле, основне карактеристике обрадног центра су:

- обрада призматичних обрадака при једном стегању са четири или пет страна (5 – осна обрада),
- аутоматска измена резног алата из магацина алата,
- широк дијапазон поступака обраде: глодање, бушење, нарезивање навоја, стругање, развртање, проширивање итд.,
- аутоматско укључивање броја обртаја и посмака,
- кружна обрада на нумерички управљаном обртном радном столу,
- аутоматска измена обрадака помоћу уређаја за измену палете,
- CNC управљање са меморисањем програма и постпрограмском техником,
- аутоматско мерење и идентификација геометрије обратка,
- корекција програма на алатној машини итд.

## 2.5 СТРУКТУРА CNC ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА

CNC обрадни центар представља систем састављен од четири подсистема: управљачког, погонског, кинематског и мерног.

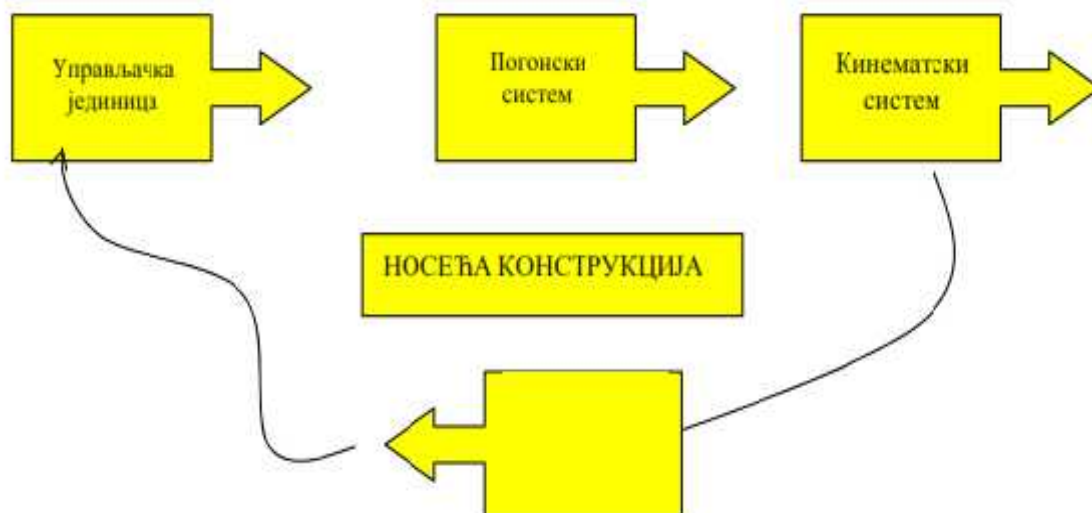
Управљачки систем врши задавање основних инструкција кретања и осталих потребних информација неопходних за остваривање нумерички управљане обраде. Он може да коригује стварно кретање и усклади га са жељеним, уважавајући сигнал повратне спреге.

Погонски систем обезбеђује потребну енергију за кретање кинематског система. У практичној употреби су у улози погонских система најчешће електромотори наизменичне и једносмерне струје, али и хидромотори.

Кинематски систем обезбеђује остваривање функције кретања али и претварање једног облика кретања (нпр. кружно кретање) у други (нпр. праволинијско кретање). У улози кинематских система најчешће се срећу различити облици редуктора.

Мерни (сензори) систем обезбеђује повратну информацију о извршеном кретању или о неком другом параметру у функцији од примењеног начина управљања.

На слици 2.6. је приказан графички приказ структуре обрадних центара.



Слика 2.6. Структура CNC обрадног центра [6]

## 2.6 НОСЕЋИ СИСТЕМИ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА

Под носећим системом обрадног центра подразумева се скуп делова и склопова који обезбеђују правилан међусобни положај алата и предмета обраде, како у стању мировања тако и у процесу обраде. На слици 2.7. су приказане носеће структуре обрадних центара.



Слика 2.7. Носећа структура обрадних центара [5]

## 2.7 СИСТЕМИ ПОМОЋНОГ КРЕТАЊА

Помоћно кретање код обрадних центара изводи обрадак и / или алат, а оно може бити праволинијско, обртно или комбинација ова два кретања. У складу са тим развијени су и системи помоћног кретања (слика 2.8.):

- линеарни системи,
- обртни системи и
- комбиновани системи помоћног кретања.



Слика 2.8. Системи помоћног кретања [5]

## 2.8 СИСТЕМИ ГЛАВНОГ КРЕТАЊА И МОДУЛИ

Пренос главног кретања од електромотора до радног вретена остварује се (слика 2.9.):

- зупчастим преносницима,
- каишним преносницима,
- директним преносом и
- специјалном конструкцијом – електрична вратила.



Слика 2.9. Системи главног кретања [5]

На основу приказаних система главног кретања могуће је издвојити следеће заједничке модуле ових система:

- погонски мотори,
- вретениште (радно вретено, предње и задње улежиштење),
- систем за прихват и стезање алата,
- кућиште (хлађење мотора, подмазивање лежаја, SHP).



Слика 2.10. Модул главног кретања [5]



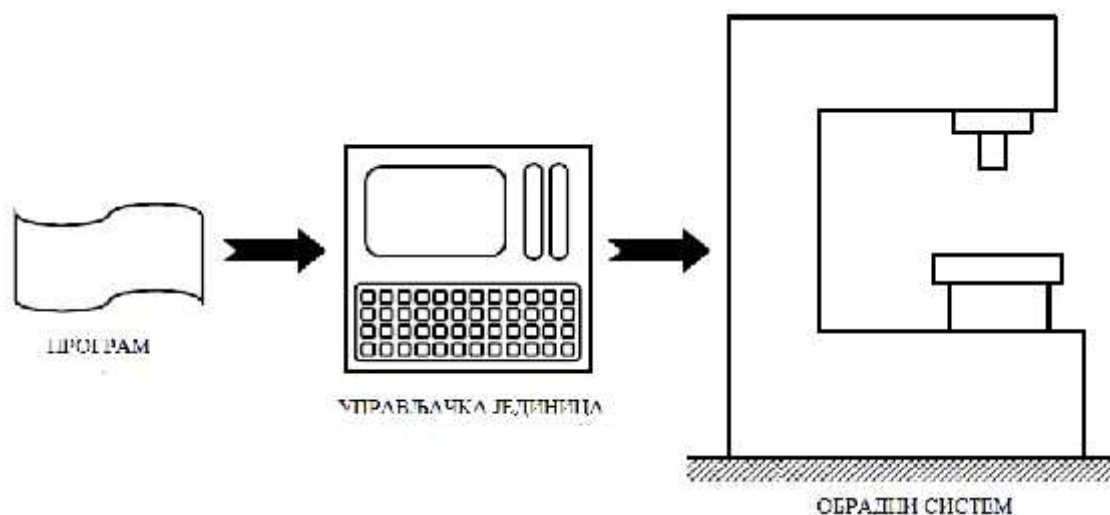
Слика 2.11. Електрично вретено [5]

## 2.9 СИСТЕМИ УПРАВЉАЊА

Управљачки системи имају задатак да реализују задани програм, односно да управљајући погонским системима остваре релативно кретање алата и обрадка на жељени начин.

Управљање погонским системом може се вршити помоћу CAD / CAM програма који помажу оператеру при избору технологија обраде, параметара и режима обраде, избора алата... Такође се приказује прецизан приказ 3D модела, графички приказ путање кретања алата...

Управљањем погонским системима се може вршити и директним исписивањем програма у одговарајућој оперативној јединици који машина препознаје и извршава задате операције. Управљање системом се заснива на припреми нумеричких кодова који се уносе директно у управљачку јединицу.



Слика 2.12. Основне компоненте NC система [3]

На слици 2.12. је приказан NC систем који се састоји од три главне компоненте:

- програм (сет наредби),
- управљачка јединица и
- обрадни систем (производна опрема).

### 3. ОБРАДНИ ЦЕНТРИ ФАБРИКЕ ПРОМЕК

#### 3.1 ВРСТЕ И КАРАКТЕРИСТИКЕ ОБРАДНИХ ЦЕНТАРА

Фабрика Промек садржи пет обрадна центара:

- ZPS 560 (слика 3.1.),
- ZPS 1060 (слика 3.2.),
- AWEA BM 850 (слика 3.3.),
- AWEA BM 1200 (слика 3.4.),
- AWEA BM 1460 (слика 3.5.).

Сви горе наведени обрадни центри, који се налазе у фабрици Промек, су вертикалне троосне алатне машине са призматичним радним столовима, тј. имају управљање са три праволинијска кретања. Радни столови изводе два праволинијска кретања (попречно и уздужно), док главно радно вретено са носачем алата изводи вертикално кретање. На радним столовима су постављене стеге које су уцентриране једна у односу на другу. ZPS 560 садржи две стеге, AWEA BM 850 три, а AWEA BM 1200, AWEA BM 1460 и ZPS 1060 по четири стеге. Ови обрадни центри садрже магацине алата и измена алата је аутоматизована. У магацину сваки алат има своје место које је нумерисано, тако да оператер поседује листу алата која му помаже при исписивању програма. Сваком алату при убацивању у магацин треба унети његову висину. Такође сви обрадни центри раде помоћу исте оперативне јединице, тако да имају могућност брзог пребацивања програма са једног обрадног центра на други, из чега проистиче уштеда на времену.

Обрадни центар ZPS 560 ради помоћу управљачке јединице SELCA 3040E. Радни простор ове алатне машине по осам је: X – 560 mm, Y – 400 mm, Z – 400 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 8000  $\text{°/min}$ . У магацину ове машине има места за двадесет алата.



Слика 3.1. Обрадни центар ZPS 560

Обрадни центар ZPS 1060 ради у управљачкој јединици SELCA 3045P. Радни простор ове машине по осама је: X – 1016 mm, Y – 600 mm, Z – 600 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 10000  $\text{°/min}$ . У магацину алата има места за двадесет и четири алата.



Слика 3.2. Обрадни центар ZPS 1060 [13]

Обрадни центар AWEA BM 850 ради у управљачкој јединици SELCA 4040D. Радни простор ове машине по осама је: X – 850 mm, Y – 600 mm, Z – 600 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 12000  $\text{°/min}$ . У магацину алата има места за двадесет и четири алата.



Слика 3.3. Обрадни центар AWEA BM 850 [11]

Обрадни центар AWEA BM 1200 ради у управљачкој јединици SELCA 4040D. Радни простор ове машине по осама је: X – 1200 mm, Y – 600 mm, Z – 600 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 8000  $\text{°/min}$ . У магацину алата има места за двадесет и четири алата.



Слика 3.4. Обрадни центар AWEA BM 1200

Обрадни центар AWEA BM 1460 ради у управљачкој јединици SELCA 4040D. Радни простор ове машине по осама је: X – 1400 mm, Y – 600 mm, Z – 600 mm. Максимална брзина обртања главног радног вретена је 8000  $\text{°/min}$ . У магацину алата има места за двадесет и четири алата.



Слика 3.5. Обрадни центар AWEA BM 1460

### 3.2 ОБРАДНИ ЦЕНТАР AWEA BM 1460

Обрадни центар AWEA BM 1460 је троосна алатна машина која је детаљније приказана у наредном излагању.

На радном столу ове машине су постављене и учвршћене четири стеге, које су уцентриране једна у односу на другу и налазе се на одређеном растојању. Постоји непокретни (фиксирани) део стеге и покретни (мобилни) део стеге који клизи по шинама стеге и поседује граничник који одређује међусобно растојање између ова два дела стеге (зависи од димензија обратка који се обрађује). Стеге морају бити уцентриране једна у односу на другу због дугачких делова који се обрађују и који се стежу у више стега. Ширина стеге износи 148.5 mm, док је висина корисног дела стеге 50mm. На слици 3.6. је приказан радни сто и распоред стега на њему. Због димензија радног простора, ова машина је погодна како за појединачну тако и за серијску производњу.



Слика 3.6. Радни сто на коме су постављене стеге и главно радно вретено у коме се тренутно налази компаратер

Компаратер са пипалицом на врху који се налази у главном радном вретену на слици 3.6., је најпогоднији за одређивање координатног система у коме ће се кретати алати у процесу обраде. Такође, компаратером се могу мерити величине производа са великом прецизношћу, док су још стегнути у машини.

Као што је већ речено у магацину алата ове машине има места за двадесет и четири алата, и сваки алат има своје место. Алати су нумерисани, а оператер поседује листу алата који се тренутно налазе у магацин. На слици 3.7. приказан је магацин алата обрадног центра AWEA BM 1460.



Слика 3.7. Магацин алата

У машину се директно уноси емулзија која се у одређеном проценту меша са водом и служи као средство за хлађење и подмазивање. Средство за хлађење се помоћу славиница које се налазе у главном радном вретену доводи до површине резања у процесу обраде (слика 3.6.). Ово средство осим што се користи за хлађење, има улогу и код прања машине помоћу пиштоља (слика 3.8.). Обрадни центри садрже елеваторе који служе за избацивање струготине из машине, а на излазу елеватора је постављен контејнер у који се смешта та струготина (слика 3.8.).



Слика 3.8. Елеватор за избацивање струготине из машине и пиштољ за прање машине

Обрадни центар AWEA BM 1460 ради у оперативној јединици SELCA 4040D, у којој оператер директно исписује програм који машина препознаје и извршава. Програм који се исписује у овој оперативној јединици, састоји се од функција, циклуса, кодова, које машина препознаје и тако извршава задате операције са одговарајућим параметрима. Извршавање програма је релативно кретање радног стола у односу на алат, као и обртно кретање алата са одговарајућим бројем обртаја који се налази у главном радном вретену. Ова оперативна јединица, поседује и графички приказ обраде, и указује на могућу грешку ако постоји у програму, тако да је ова јединица веома захвална што се тиче репрограмирања. На слици 3.9. је приказан рачунар са командном таблом обрадног центра AWEA BM 1460.



Слика 3.9. Рачунар са управљачком јединицом SELCA и командна табла

### 3.3 УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА SELCA

Речи су у NC програму дефинисане одговарајућом адресом и бројчаном вредношћу која садржи децималну тачку и одговарајући предзнак (+ или -). Речи којима отпочиње нови блок (N10, N20, итд.) нису неопходне, али предлаже се њихово писање ради прегледности структуре блока и читавог програма.

Адресе су променљиви или фиксни идентификатори за осе (X, Y и Z), брзину вретена (S), корак (F), радијус (R), скупове функција (G, M, итд.).

Табела 3.1. Елементи структуре програма [6]

|              |                                                                                                      |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>N</b>     | Број блока (редни бројеви)                                                                           |
| <b>G</b>     | Функција инструкције померања, услова пута и информација о путу представља геометријски део програма |
| <b>X,Y,Z</b> | Кординате, дефинишу главне осе усвојеног координатног система                                        |
| <b>I,J,K</b> | Адресе, помоћни параметри за кружну и линеарну интерполацију                                         |
| <b>S</b>     | Адреса, за дефинисање броја обрта                                                                    |
| <b>F</b>     | Адреса за дефинисање помоћног кретања                                                                |
| <b>T</b>     | Адреса за дефинисање броја алата                                                                     |
| <b>M</b>     | Адреса за дефинисање помоћних функција                                                               |

Структура програма састоји се од: броја програма, уводних функција, програмских целина - зависно од програмских корака (операција) и завршетка програма.

Уводне функције су наредбе које важе за цело време извршавања програма. Главне функције или функције услова кретања означавају се словним симболом G и двоцифреним бројем. Функције су дефинисане одговарајућим упуством за руковање одређеном машином. Како постоји разлика између појединих управљачких јединица, тако постоји и разлика у значењу главних функција.

Програмске целине су наредбе појединих делова програма које су потребне да се с неким алатом обради предвиђени део обратка.

Завршетак програма се означава наредбом M30.

## ОСНОВНЕ НАРЕДБЕ КОД ПРОГРАМИРАЊА ОВОГ СИСТЕМА

G4 – функција мировања, заустављање, време паузе, време задржавања алата,  
G13 – линеарна интерполација,  
G17 – почетак програма,  
G20 – кружна интерполација,  
G32 – крај подпрограма,  
G40 – функција за укидање функција G41 и G42,  
G41 – функција за дефинисање корекције радијуса алата лево,  
G42 – функција за дефинисање корекције радијуса алата десно,  
G49 – корекција радијуса алата,  
G80 – функција за укидање функција G81, G83, G84, G85, G86,  
G81 – функција за бушење отвора и рупа,  
G83 – функција за бушење отвора и рупа веће дубине (дубинско бушење),  
G84 – функција за урезивање навоја,  
G85 – функција за проширивање и развртање рупа и отвора са повратним ходом без застајања,  
G86 – функција за проширивање и развртање без повратног хода са застајањем,  
G50 – функција за укидање функција G51,  
G51 – функција за ротирање координатног система под одређеним углом.

## ПОМОЋНЕ ФУНКЦИЈЕ – М ФУНКЦИЈЕ

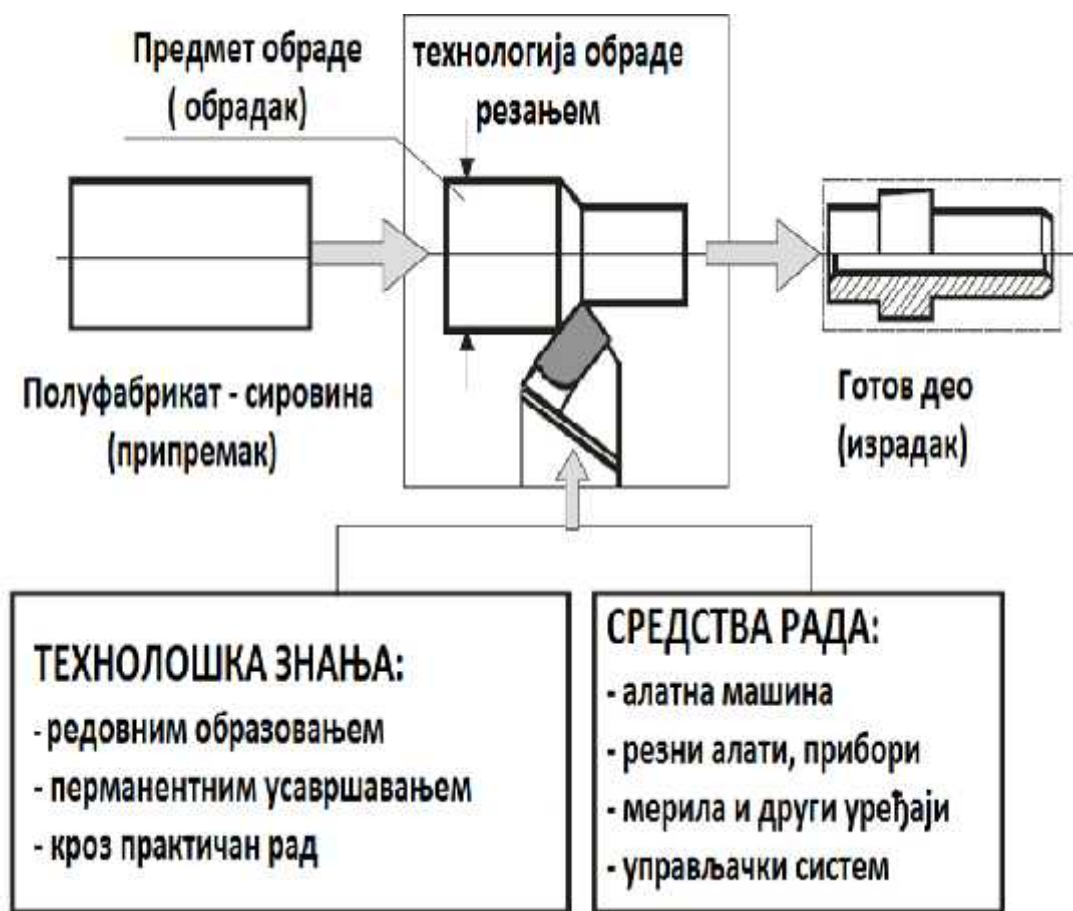
M0 – програмско заустављање,  
M3 – програмско укључивање главног радног вретена на десно (у смеру казаљке на сату),  
M4 – програмско укључивање главног радног вретена на лево (у супротном смеру казаљке на сату),  
M5 – искључивање главног радног вретена,  
M6 – узимање алата у главно радно вретено,  
M8 – укључивање SHP,  
M9 – искључивање SHP,  
M13 – истовремено укључивање главног радног вретена на десно и SHP,  
M14 – истовремено укључивање главног радног вретена на лево и SHP,  
M30 – функција краја програма и повратак на почетак.

Елементи структуре програма, као и основне наредбе код програмирања и помоћне функције су приказани детаљније у петом поглављу у примеру технологије обраде на обрадном центру.

## 4. ТЕХНОЛОГИЈА ОБРАДЕ НА ОБРАДНОМ ЦЕНТРУ

### 4.1 СУШТИНА И ПРЕДНОСТИ

Технологија обраде проучава поступке израде и обраде (обликовања) машинских делова жељеног облика и димензија од полуфабриката. Поједностављено речено обухвата проблематику израде и обликовања готових делова (слика 4.1.).



Слика 4.1. Илустрација поступка обраде [1]

На обрадним центрима се врши технологија механичке обраде са уклањањем вишка материјала (са скидањем струготине), тј. обрада метала резањем (стругање, бушење, глодање...).

Поступци обраде метала резањем се разврставају према облику обрађиваног дела, на поступке:

- обраде ротационих делова
- обраде призматичних површина
- израде навоја
- израде зупчаника
- израде ожљебљених вратила...

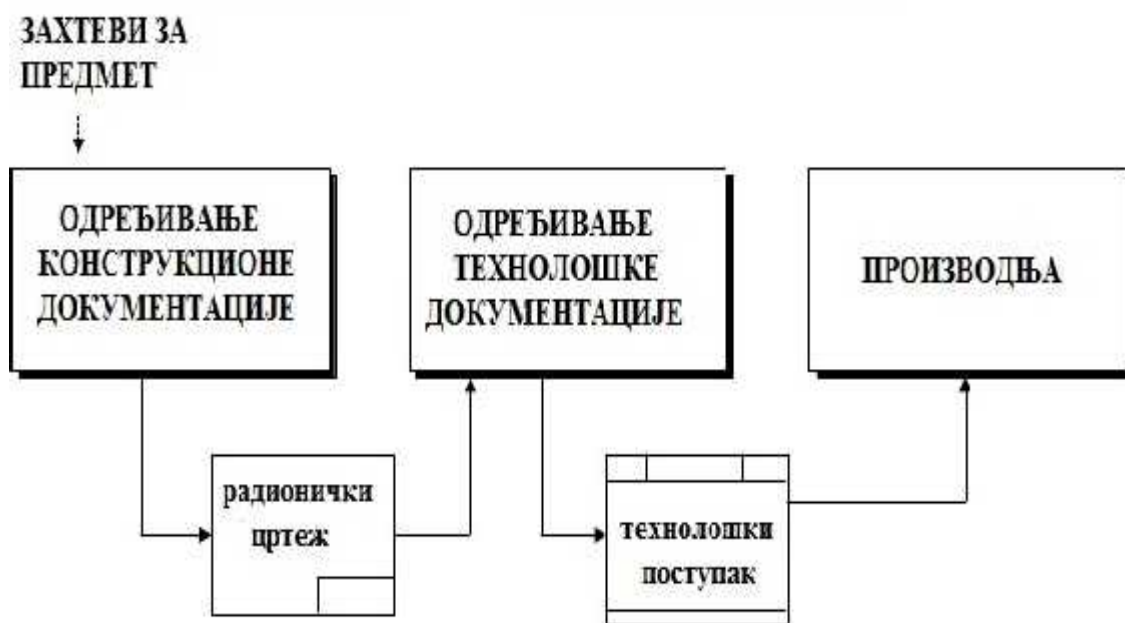
Предност обраде метала резањем на обрадним центрима је та што се у једној операцији могу извршавати више захвата, тј. користити више алата за обликовање постављеног обратка (глодала, бургије, развртачи, урезнице, проширивачи...).

## 4.2 ДОКУМЕНТАЦИЈА

Основа за реализацију процеса израде предмета су две врсте документације:

- конструкциона документација за предмет, чија је улога у потпуности да дефинише (опише) сам предмет и
- технолошка документација за предмет, чија је улога да потпуно дефинише начин израде предмета.

Израда конструкционе и технолошке документације се сврстава у послове који се обављају у оквиру припреме процеса производње пре непосредне производње, како је приказано на слици 4.2. Израда конструкционе и технолошке документације припада пословима пројектовања и развоја. Неки нови производ је развијен (освојен) тек када је израђена конструкциона и технолошка документација за цео производ и појединачне предмете које улазе у производ.



Слика 4.2. Припрема производње [1]

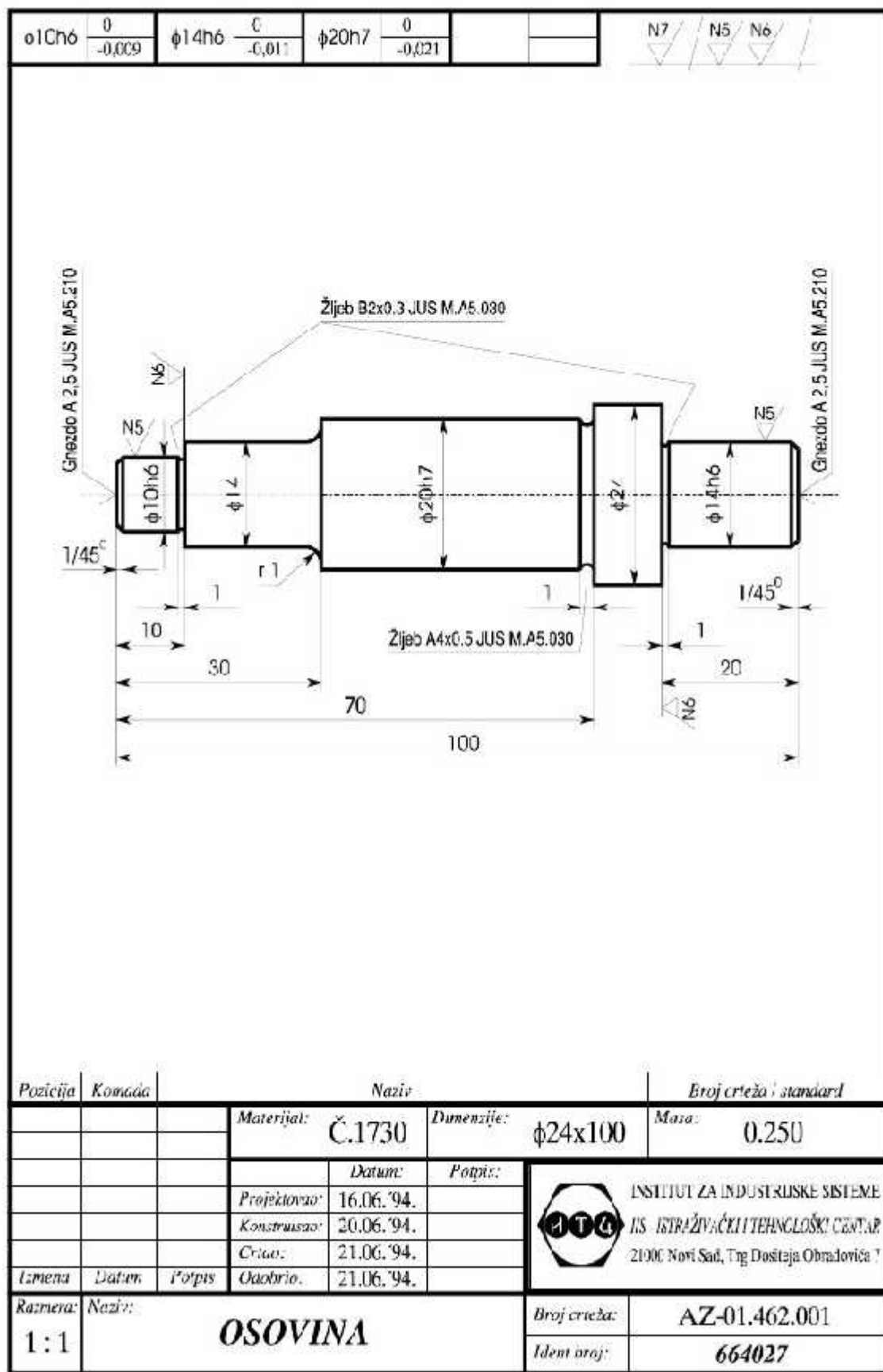
### 4.2.1 КОНСТРУКЦИОНА ДОКУМЕНТАЦИЈА

Конструкциона документација се израђује у организационом делу предузећа који се најчешће зове конструкциона припрема или конструкцијски биро. Конструкциона документација мора да буде таква да задовољи захтеве који су постављени за предмет. За процесе обраде као конструкциона документација за предмет користи се тзв. радионички цртеж.

Радионички цртеж мора у потпуности да дефинише предмет:

- облик предмета, преко једне или више пројекција и евентуалних пресека, погледа и детаља,
- мере за све површине на предмету (укључујући и тачност мера),
- захтеве у погледу квалитета обрађених површина,
- материјал који се користи за предмет,
- пословне захтеве (у погледу термичке обраде, површинске заштите итд.).

На слици 4.3. је приказан пример радионичког цртежа.



Слика 4.3. Пример радионичког цртежа [3]



На основу анализе начина пројектовања технолошких поступака у великом броју предузећа, могу се издвојити четири основне методе:

- пројектовање уз понављање,
- пројектовање уз подешавање,
- варијантно пројектовање,
- ново пројектовање.

#### **4.3.1 ПРОЈЕКТОВАЊЕ УЗ ПОНАВЉАЊЕ**

Пројектовање уз понављање представља најједноставнији начин израде технолошког поступка. За неки нови технолошки поступак се користи већ постојећи, при чему је потребно извршити само формалне измене везане за нови предмет, без измена података везаних за сам процес израде предмета.

#### **4.3.2 ПРОЈЕКТОВАЊЕ УЗ ПОДЕШАВАЊЕ**

Пројектовање уз подешавање се примењује када се ради о геометријски и технолошки сличним предметима и своди се на измену и прилагођавање постојећег технолошког поступка. Пројектовање обухвата: проналажење сличног технолошког поступка, подешавање редоследа операција (ако је потребно), подешавање садржаја операција (најчешће врло мало), измена алата, режима и времена у оквиру појединих операција. Ово је често примењиван метод, јер значајно скраћује време технолошке припреме, а уједно доприноси типизацији (уједначености) процеса израде предмета: исти редослед операција, исти или сличан редослед захвата (садржаја операције), углавном исти алати, блиски режими рада.

#### **4.3.3 ВАРИЈАНТНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ**

Код варијантног пројектовања користе се већ постојећи стандардни технолошки поступци у оквиру групе сличних предмета – фамилије. Код ове методе подразумева се предходно разврставање свих предмета у групе (фамилије) по сличности и пројектовање групног поступка за сваку формирану групу. При разврставању предмета и формирању група сличних предмета препоручљиво је користити системе класификације. Када се пројектује технолошки поступак за неки конкретни предмет, као полазни се користи групни поступак, који важи за групу којој предмет припада, а пројектовање се своди на подешавање групног поступка према карактеристикама конкретног предмета. Добијени технолошки поступак за конкретан предмет представља у ствари варијанта групног поступка. Технолошки поступци за појединачне предмете, односно варијанте групног поступка, се пројектују на бази геометријских карактеристика предмета (присутност обрађених површина, разлике у димензијама,...), на бази технолошких карактеристика (тачност, квалитет површине, захтеви у погледу начина обраде,...) или на бази организационих карактеристика (број комада који треба да се произведе, величина серије,...). Метода је погодна за предузећа чији је програм производње погодан за груписање, односно чији програм производње чине предмети који немају великих разлика у погледу облика, димензија итд. Основна карактеристика ове методе је да захтева тежак и дуготрајан посао на почетку: класификацију предмета, формирање група сличних предмета и пројектовање групних поступака. Али, насупрот томе, пројектовање технолошких поступака за појединачне предмете је сведено на лак и краткотрајан посао. Добра одлика методе је загарантована типизација (уједначеност) технолошких поступака за сличне предмете, што је резултат од великог значаја.

#### 4.3.4 НОВО ПРОЈЕКТОВАЊЕ

Ново пројектовање се примењује уколико се праве потпуно нови технолошки поступци, што се дешава када због великих геометријских и технолошких разлика у односу на раније израђиване предмете не постоји могућност да се искористе већ постојећи технолошки поступци. Целокупан садржај технолошког поступка се одређује на бази цртежа и уз примену расположивих помоћних средстава за пројектовање. У односу на предходне три методе пројектовања, процес пројектовања по овој методи је знатно комплекснији. На слици 4.5. приказане су активности које се обављају код новог пројектовања.

| Активности                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Потребни подаци                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Анализа предмета</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- испитивање конструкционе документације</li> <li>- разматрање могућности израде предмета</li> </ul>                                                                                                                               |                                                                                                                                       |
| <p>Утврђивање полазног материјала</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- одређивање полуфабриката</li> <li>- одређивање врсте материјала</li> <li>- утврђивање мера сировог комада</li> <li>- прорачун тежине</li> </ul>                                                                    | Подаци о материјалима                                                                                                                 |
| <p>Одређивање операција</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- одређивање садржаја рада – потребних захвата</li> <li>- одређивање редоследа захвата</li> <li>- одређивање начина позиционирања и стезања предмета</li> <li>- разматрање алтернативних могућности</li> </ul>                 | <p>Подаци о захватима</p> <p>Подаци о операцијама</p>                                                                                 |
| <p>Одређивање средства за рад</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- избор машина</li> <li>- избор прибора за позиционирање и стезање предмета</li> <li>- избор алата</li> </ul>                                                                                                            | <p>Подаци о машинама</p> <p>Подаци о приборима</p> <p>Подаци о алатима</p>                                                            |
| <p>Избор елемената за извођење операција</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- одређивање режима обраде</li> <li>- одређивање основних времена</li> <li>- одређивање помоћних времена, припремно – завршног времена и времена трајања операција</li> <li>- обликовање документа</li> </ul> | <p>Подаци о режимима обраде</p> <p>Обрасци за прорачун основних времена</p> <p>Подаци о помоћним и припремно – завршним временима</p> |

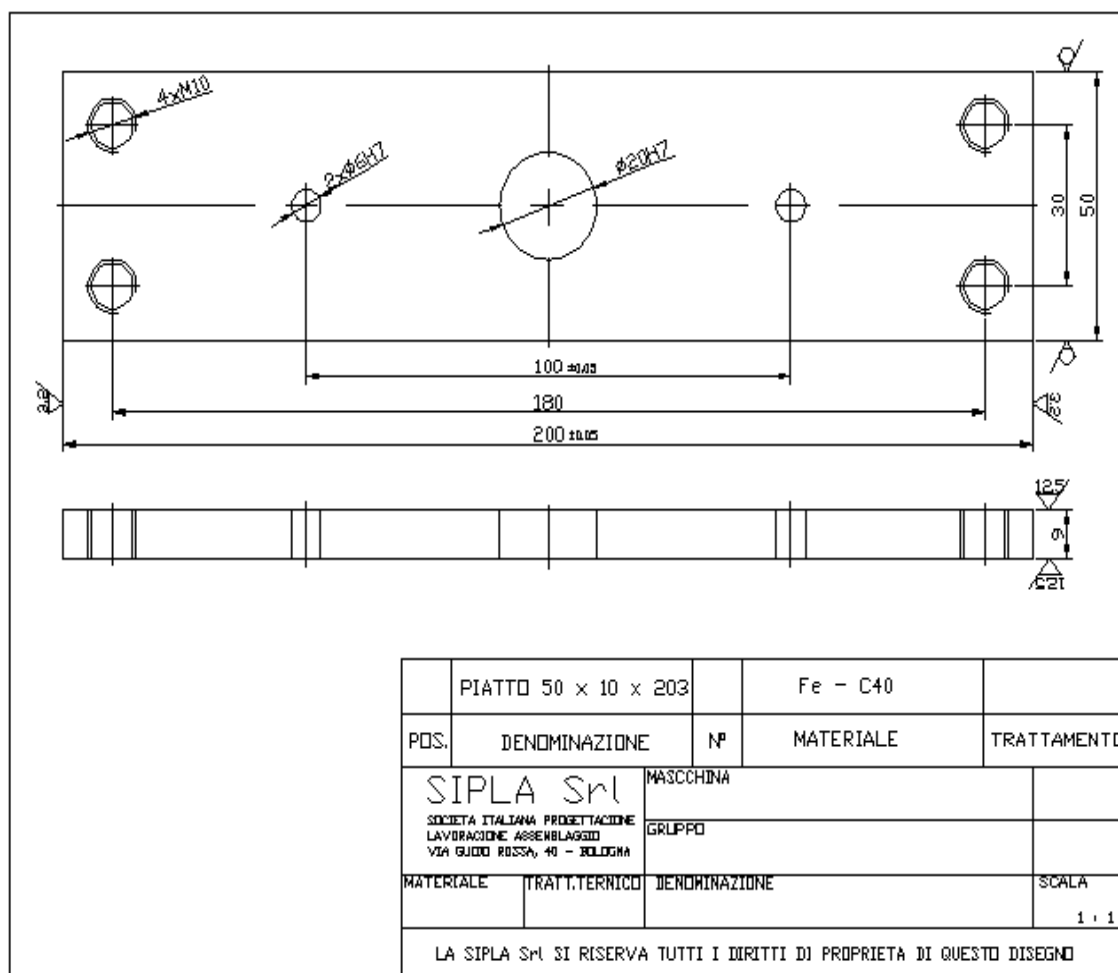
Слика 4.5. Активности при пројектовању технолошких поступака [3]

## 5. ПРИМЕР ТЕХНОЛОГИЈЕ ОБРАДЕ НА ОБРАДНИМ ЦЕНТРИМА СА СВИМ ПАРАМЕТРИМА И ДОКУМЕНТАЦИЈОМ У ФАБРИЦИ ПРОМЕК

Оператер за обрадном центру у фабрици Промек добија само радионички цртеж и обрадак од кога се израђује производ. Пошто се у фабрици Промек програмирање врши директним исписивањем програма у управљачкој јединици SELCA, оператер има могућност да сам пројектује технолошке поступке, тј. сам одређује број операција, режиме обраде, избор алата итд.

### 5.1 РАДИОНИЧКИ ЦРТЕЖ

За производ који треба изградити на обрадном центру, на слици 5.1. приказан је његов радионички цртеж са свим величинама, толеранцијама, квалитетима обрађених површина, материјал који се користи за израду, димензије обрадка...



Слика 5.1. Радионички цртеж производа за који је исписан следећи програм

## 5.2 ПРОГРАМ ЗА ИЗРАДУ ПРОИЗВОДА

У овом поглављу је приказан програм у оперативној јединици SELCA за израду производа чији је радионички цртеж приказан у предходном поглављу. У програму, текст који стоји у загради машина не препознаје, већ служи као технолошка документација. Израда овог производа се врши из једне фазе, односно, из једног стезања.

```
[ SIPLA - *****
[ ZDRAVKOVIC PREDRAG, AWEA BM 1460, 01.01.2015.
[ PRIPREMAK JE SECEN NA 203 * 50 * 10mm, PRIPREMAK JE OD GVOZDJA Fe – C40
[ CEONO GLODANJE NA VISINU 9mm
[ ZABUSIVANJE M10, D.6 H7, D.20 H7
[ BUSENJE OTVORA D.8.5
[ UREZIVANJE NAVOJA M10
[ BUSENJE OTVORA D.5.8
[ RAZVRTANJE OTVORA NA D.6 H7
[ BUSENJE OTVORA D.17
[ OBIMNO GLODANJE NA DUZINU 200mm I FINALISANJE OTVORA NA D.20 H7
[ KOMAD JE STEGNUT U STEGU ZA MERU 50mm, KOMAD JE POSTAVLJEN 25mm
[ VAN DESNE STRANE STEGE, TAKO DA KOMAD STRCI I SA LEVE STRANE
[ KOMAD JE POSTAVLJEN NA DVA MAGNETNA PODMETACA,
[ JEDAN JE POSTAVLJEN UZ STABILNU A DRUGI UZ MOBILNU STRANU STEGE,
[ PODMETACI SU DIMENZIJA 150 * 4 * 45mm
[ X0 = PIPNUTI KOMAD SA DESNE STRANE SA KOMPARATEROM I UPISATI X+ 1.5
[ Y0 = PIPNUTI KOMAD DO STABILNE STRANE STEGE I UPISATI Y0
[ Z0 = PIPNUTI PODMETAC KOMPARATEROM I UPISATI Z-9
[ CEONO GLODALO D.63 SA UMETNUTIM PLOCICAMA F40
[ ZABUSIVAC D.10 SA UGLOM NA VRHU OD 90°
[ BURGIJA D.8.5 HSS
[ UREZNICA M10 PROLAZNA
[ BURGIJA D.5.8 W
[ RAZVRTAC D.6 H7
[ BURGIJA D.17 HSS
[ VRETENASTO GLODALO ZA GRUBU OBRADU D.16 SGR
[ VRETENASTO GLODALO ZA FINU OBRADU D.16 W
G17 [ POCETAK PROGRAMA
O1 [ KOORDINATNI SISTEM
T1M6 [ CEONO GLODALO D.63 SA UMETNUTIM PLOCICAMA F40
[ M6 – STAVLJANJE ODGOVARAJUCEG ALATA U GLAVNO RADNO VREteno
S800M3F400 [ S - BROJ OBRTAJA ALATA (o/mm), F – POSMAK (mm/o)
[ M3 – OKRETANJE GLAVNOG VREtenA U SMERU KAZALJKE NA SATU
M8 [ SREDSTVO ZA HLADJENJE
T2 [ PRIPREMA ALATA U MAGACINU ZA SLEDECI ZAHVAT
L1 [ PODPROGRAM: CEONO GLODANJE KOMADA NA VISINU 9mm
Z100R [ KRETANJE ALATA PO Z – OSI BRZIM HODOM
T2M6 [ ZABUSIVAC D.10 SA UGLOM NA VRHU OD 90°
S1800M3F120
M8
T3
G81J2Z-3I1K1 [ CIKLUS ZA BUSENJE
[ J - SIGURNOSNO ODSTOJANJE, Z – DUBINA BUSENJA
```

[ I - INKREMENTALNO NAPREDOVANJE BURGJE DO ZASTAJANJA  
[ K – ZASTAJANJE BURGJE ZBOG KIDANJA STRUGOTINE U DESETINKAMA  
L2 [ PODPROGRAM: KOORDINATE ZA NAVOJE M10  
L3 [ PODPROGRAM: KOORDINATE ZA OTVORE D.6 H7 (0 / +0.012)  
L4 [ PODPROGRAM: KOORDINATA OTVORA D.20 H7 (0 / +0.021)  
G80 [ CIKLUS ZA KRAJ BUSENJA  
Z100R  
T3M6 [BURGIJA D.8.5 HSS  
S900M3F90  
M8  
T4  
G81J2Z-15I2K1  
L2  
L4  
G80  
T4M6 [ UREZNICA M10 PROLAZNA  
S200M3  
M8  
T5  
G84J5Z-19F1500 [ CIKLUS ZA UREZIVANJE NAVOJA  
[ F = KORAK NAVOJA \* 1000 - POSMAK  
L2  
G80  
Z100R  
T5M6 [ BURGIJA D.5.8 W  
S1900M3F190  
M8  
T6  
G81J2Z-15I2K1  
L3  
G80  
Z100R  
T6M6 [ RAZVRTAC D.6 H7  
S530M3F50  
M8  
T7  
G85J2Z-13 [ CIKLUS ZA BUSENJE BEZ ZASTAJANJA SA POVRAATNIM HODOM,  
[ NAJCESCE SE KORISTI KOD RAZVRTANJA I PROSIRIVANJA OTVORA I RUPA  
L3  
G80  
Z100R  
T7M6 [ BURGIJA D.17 HSS  
S450M3F45  
M8  
T8  
G81J2Z-20I2K1  
L4  
G80  
Z100R  
T8M6 [ VRETENASTO GLODALO ZA GRUBU OBRADU D.16 SGR

S700M3F200  
M8  
G49I8.2 [ POLUPRECNIK GLODALA UVECAN ZA 0.2  
T9  
L5 [ OBIMNO GLODANJE KOMADA NA 200mm I OTVORA D.20 H7  
Z100R  
T9M6 [ VRETENASTO GLODALO ZA FINU OBRADU D.16 W  
S1200M3F250  
M8  
G49I8 [ PRAVA VELICINA POLUPRECNIKA GLODALA  
T1  
L5  
Z100R  
LFINE: [ PODPROGRAM ZA GASENJE RADNOG VRETENA I DOVODJENJE  
[ RADNOG STOLA U PRVOBITNI POLOZAJ  
M30 [ KRAJ PROGRAMA  
L=1 [ PODPROGRAM: CEONO GLODANJE KOMADA NA MERU 9mm  
X35Y-25R [ POZICIONIRANJE ALATA PO X I Y OSI BRZIM HODOM  
Z0R [ POZICIONIRANJE ALATA PO Z OSI BRZIM HODOM  
X-235 [ KRETANJE ALATA RADNIM HODOM PO X OSI  
Z5R [ KRETANJE ALATA PO Z OSI BRZIM HODOM  
G32 [ KRAJ PODPROGRAMA  
L=2 [ PODPROGRAM: KOORDINATE NAVOJA M10  
X-10Y-10  
X-10Y-40  
X-190Y-10  
X-190Y-40  
G32  
L=3 [ PODPROGRAM: KOORDINATE OTVORA D.6 H7  
X-50Y-25  
X-150Y-25  
G32  
L=4 [ PODPROGRAM: KOORDINATA OTVORA D.20 H7  
X-100Y-25  
G32  
L=5 [ PODPROGRAM: OBIMNO GLODANJE KOMADA NA 200mm I OTVORA 20 H7  
X15Y15R  
Z-13R  
G41K1 [ PRAVOLINIJSKI NAPAD ALATA SA LEVE STRANE  
G13X0J270 [ CIKLUS ZA PRAVOLINIJSKO KRETANJE ALATA UZIMAJUCI U OBZIR  
[ POLUPRECNIK ALATA, J – UGAO POD KOJIM SE KRECE ALAT  
G40X15Y-65K1 [ PRAVOLINIJSKO ISKLJUCIVANJE ALATA UZIMAJUCI U OBZIR  
[ CENTAR ALATA  
Z5R  
X-215Y-65R  
Z-13R  
G41K1  
G13X-200J90  
G40X-215Y15K1  
Z5R

X-100Y-25R

Z-13R

G41K2 [ KRUZNI NAPAD ALATA SA LEVE STRANE

G20X-100Y-25I10.005 [ CIKLUS ZA KRUZNO KRETANJE ALATA UZIMAJUCI U

[ OBZIR KOREKTOR ALATA, X-100Y-25 – KOORDINATE CENTRA OTVORA

[ I – POLUPRECNIK OTVORA KOJI SE OBRADJUJE

G40X-100Y-25K2 [ KRUZNO ISKLJUCIVANJE ALATA UZIMAJUCI U OBZIR

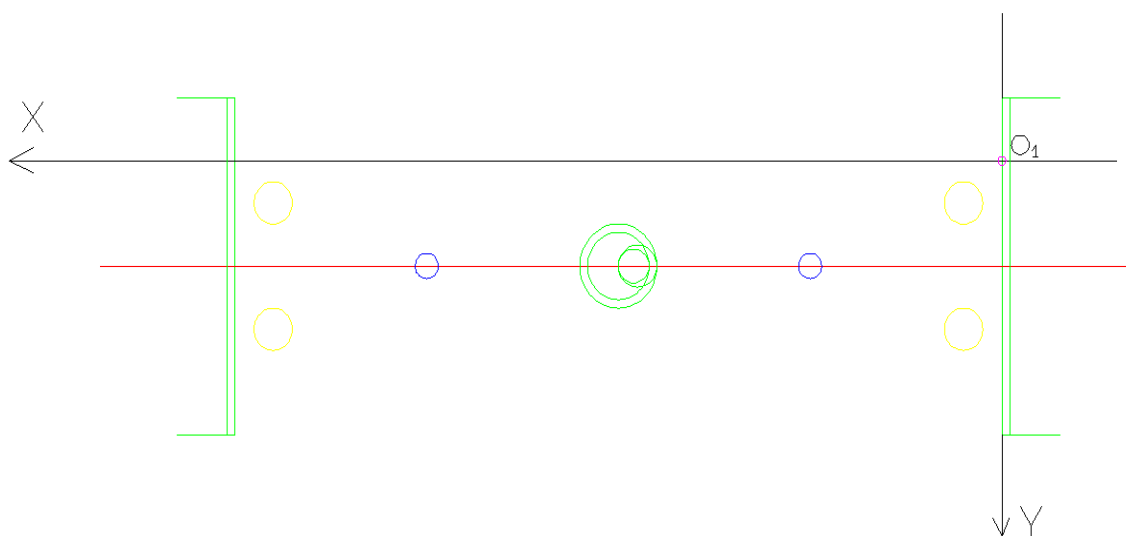
[ CENTAR ALATA

Z5R

G32

### 5.3 ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ ПРОГРАМА

На слици 5.2. приказано је кретање алата и положај навоја и отвора у координатном систему у коме се одвија дата операција.



Слика 5.2. Графички приказ кретања алата и положај отвора и навоја

На слици приказане путање представљају:

- Црне линије – координатни систем,
- Црвена линија – путања кретања чеоног глодала,
- Зелене линије и зелени кругови – путање кретања обимних глодала,
- Плави кругови – положај отвора D.6 H7,
- Жути кругови – положај навоја M10.

Графички приказ је погодан због брзог и лаког репрограмирања, пошто указује на грешку у тачно одређеном реду и месту у програму.

На слици 5.3. је приказана графика за предходно исписан програм на екрану рачунара обрадног центра.



Слика 5.3. Графички приказ на екрану рачунара обрадног центра

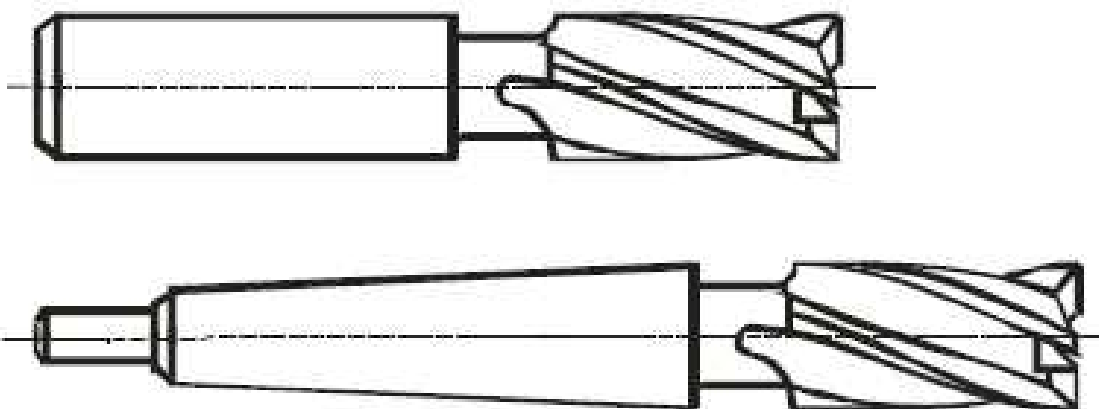
#### 5.4 ОПЕРАЦИЈЕ И АЛАТИ КОЈИ ФИГУРИШУ У ПРОГРАМУ

На слици 5.4. су приказана глодала за чеоно глодање (глодачке главе). Могу бити са лемљеним и са измењивим плочицама. Постоје разне врсте плочица које се мењају у зависности од врсте материјала који се обрађује. За горе наведени пример се користи глодало D. 63, са уметнутим плочицама F40. Плочице F40 се користе за обраду материјала веће тврдоће (гвожђе, инокс...).



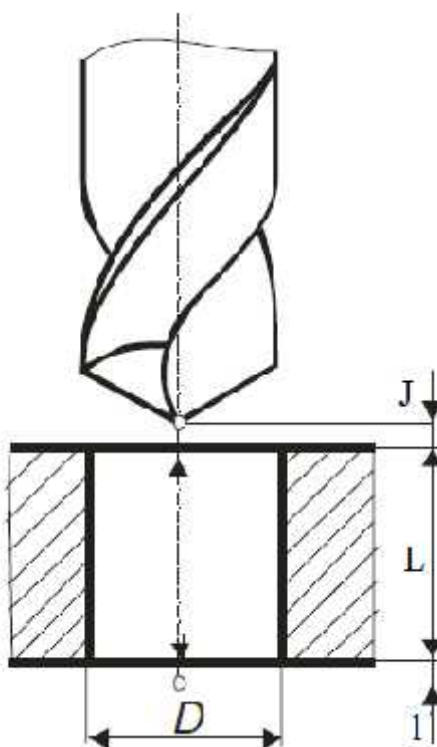
Слика 5.4. Глодачке главе [1]

За обимно глодање у овом примеру се користе вретенаста глодала. Ова глодала могу бити за грубу и фину обраду. У горе наведеном примеру се користе вретенасто глодало за грубу обраду D.16 и вретенасто глодало за фину обраду D.16. На слици 5.5. су приказана вретенаста глодала. Коректор (полупречник) глодала за грубу обраду увећан је за 0.2 mm, тако да се за фину обраду оставља тај додатак, пошто је коректор глодала за фину обраду реалан.



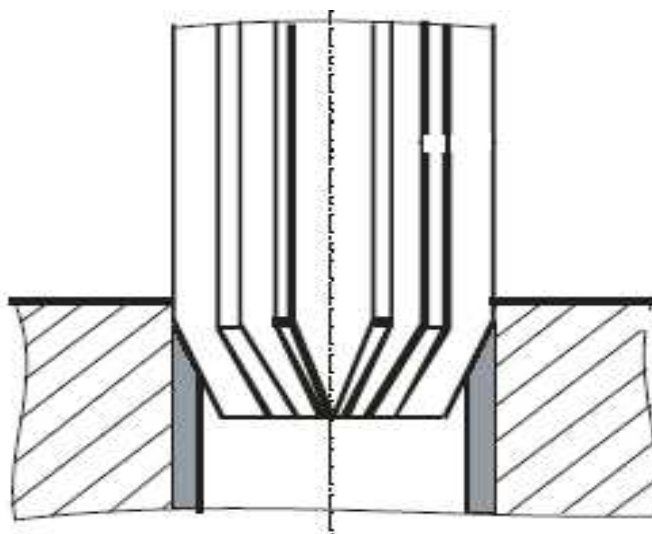
Слика 5.5. Вретенаста глодала [1]

У овом примеру, бургије које се користе за бушење отвора су D.8.5 HSS, D.17 HSS, D.5.8 W. За забушивање ових отвора, користи се забушивач D.10 са углом на врху од  $90^\circ$ . На слици 5.6. су приказани основни елементи при бушењу. Елементи који фигуришу на слици су J – сигурносно одстојање, L – дебљина комада, L + l – дубина бушења, D – пречник отвора (пречник бургије).



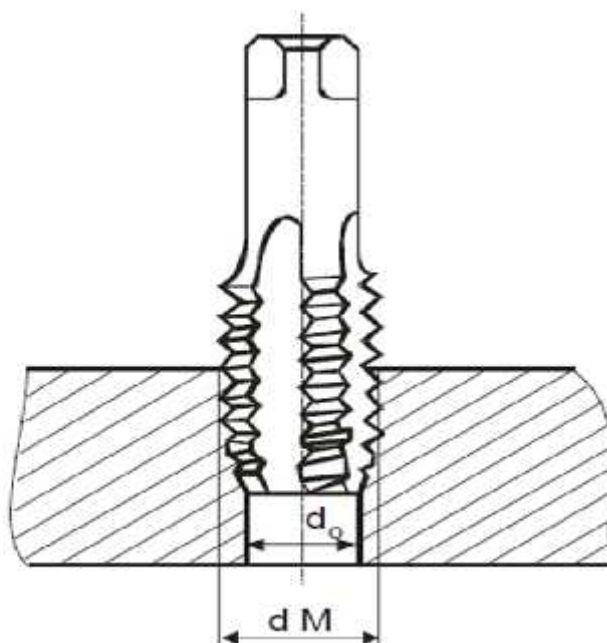
Слика 5.6. Основни елементи при бушењу [1]

Накнадна и коначна обрада отвора остварује се операцијом развртања. Алати који се користе при развртању, називају се развртачи. У горе наведеном примеру се користи развртач D.6 H7. За остваривање отвора D.6 H7, потребно је пре развртања, избушити отвор D.5.8. На слици 5.7. је приказана операција развртања.



Слика 5.7. Развртање [1]

За израду овог производа потребно је извршити и урезивање навоја M10. Алат који се користи за урезивање навоја назива се урезница. Пре операције урезивања навоја, потребно је избушити рупу или отвор одговарајућих пречника ( $d_0$ ). За урезивање навоја M10, користи се отвор D.8.5. Корак навоја M10 је 1.5mm. На слици 5.8. је приказано урезивање навоја.



Слика 5.8. Урезивање навоја [1]

## 5.5 ПАРАМЕТРИ ОБРАДЕ

Табела 5.1. Параметри обраде

| ТИП АЛАТА          | ГВОЖЂЕ                                                  | АЛУМИНИЈУМ                                                | ИНОКС                                                    |
|--------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>БУРГИЈА HSS</b> | $V = 25 \div 30$<br>$F = 0.1 \cdot S$                   | $V = 50$<br>$F = 0.12 \cdot S$                            | $V = 15 \div 20$<br>$F = 0.08 \cdot S$                   |
| <b>БУРГИЈА W</b>   | $V = 35 \div 50$<br>$F = 0.1 \cdot S$                   | $V = 60 \div 80$<br>$F = 0.1 \cdot S$                     | $V = 20 \div 25$<br>$F = 0.07 \cdot S$                   |
| <b>ГЛОДАЛО HSS</b> | $V = 35 \div 40$<br>$F = 0.07 \div 0.1 \cdot X \cdot S$ | $V = 80 \div 120$<br>$F = 0.12 \div 0.15 \cdot X \cdot S$ | $V = 30 \div 35$<br>$F = 0.05 \div 0.1 \cdot X \cdot S$  |
| <b>ГЛОДАЛО W</b>   | $V = 60 \div 80$<br>$F = 0.07 \div 0.1 \cdot X \cdot S$ | $V = 150 \div 200$<br>$F = 0.07 \div 0.1 \cdot X \cdot S$ | $V = 35 \div 45$<br>$F = 0.06 \div 0.07 \cdot X \cdot S$ |
| <b>РАЗВРТАЧ</b>    | $V = 10$<br>$F = 0.1 \div 0.2 \cdot S$                  | $V = 12$<br>$F = 0.1 \div 0.2 \cdot S$                    | $V = 8$<br>$F = 0.1 \div 0.2 \cdot S$                    |
| <b>УРЕЗНИЦА</b>    | $V = 5 \div 7$                                          | $V = 7 \div 9$                                            | $V = 3 \div 5$                                           |

где су:

$V$  (m / min) – брзина резања,

$S$  (o / min) – број обрта алата,

$F$  (mm / o) – брзина помоћног кретања (посмак),

$X$  – број сечива глодала,

$D$  (mm) – пречник алата.

Формула за израчунавање броја обрта алата гласи:

$$S = V \cdot 1000 / 3.14 \cdot D.$$

Формула за израчунавање посмака гласи:

$$F = X \cdot (0.05 \div 0.2) \cdot S.$$

Пример за вретенасто глодало  $D = 16\text{mm}$  за грубу обраду које се користи у овом програму:

$$S = 35 \cdot 1000 / 3.14 \cdot 16 = 696.656; \quad F = 700 \cdot 0.1 \cdot 3 = 210.$$

Овде постоје и изузеци, пошто се по формули за неке алате добијају веома велики параметри, тако да се тада за те алате узимају параметри на основу искуства оператера или препоручене вредности од фирми које производе те алате. Најчешће се то дешава код глодачких глава и мањих глодала и мањих бургија.

## ЗАКЉУЧАК

Као закључак из овог дипломског рада може се рећи, да су обрадни центри алатне машине високе флексибилности и производности чије су главне особине тачност, квалитет, поузданост...

Зато се прелазак на CNC управљање (управљачка функција се остварује помоћу рачунара) сматра највећом иновацијом нумеричког управљања.

Због карактеристика које поседују обрадни центри, довело је до драстичног скраћења циклуса развоја производа, што тржиште и захтева.

Обрадни центри се, због тих истих карактеристика које су дате у овом раду, могу користити и у малосеријској и у великосеријској производњи.

Мане обрадних центара су њихова сложеност, висока цена, као и дуго оспособљавање оператера за рад на њима.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лазић М., *Технологија обраде метала резањем*, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 2002.
2. Здравко Блажевић, *Програмирање CNC токарилице и глодалице*, Вировитица, 2004.
3. Никола Радаковић, *Обрадне технологије*, универзитетски уџбеник, Факултет техничких наука у Новом Саду, одсек за индустријско инжењерство и менаџмент, Нови Сад, 2002.
4. Младен Челиковић, *Примјена рачуналних алата за постизање високе тачности код нумерички управљане стројне обраде*, дипломски рад, Стројарски факултет у Славонском Броду, 2011.
5. Немања Веселиновић, *Модуларно пројектовање обрадних система са посебним освртом на модуле главног кретања*, дипломски рад, Универзитет у Бања Луци, мај 2008.
6. Жељко Мијатовић, *Специфичности програмирања CNC машина*, завршни рад, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, новембар 2011.

Интернет адресе:

7. <http://www.siplaprosgm.it>, приступио 31.01.2015.
8. <http://www.wtunet.de>, приступио 31.01.2015.
9. <http://www.wotol.com>, приступио 31.01.2015.
10. <http://www.520machinery.com>, приступио 31.01.2015.
11. <http://www.tei.co.nz>, приступио 31.01.2015.
12. <http://www.techspex.com>, приступио 31.01.2015.
13. <http://www.maschinensucher.de>, приступио 31.01.2015.