

УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



**УНИВЕРЗИТЕТ
ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ**

МАГИСТЕРСКИ ТРУД

**НАСЛОВ: СИМУЛАЦИЈА НА ИНТЕРПОЛИРАНО ДВИЖЕЊЕ НА РАБОТНИТЕ
ЕЛЕМЕНТИ НА CNC СТРУГ**

Ментор:

проф. д-р Марија Чекеровска

Кандидат:

Виолета Крчева

Број на индекс: 2270

Штип, јуни 2023

Комисија за оценка и одбрана

Ментор: д-р Марија Чекеровска

вонр. проф., Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Член: д-р Сашко Димитров

вонр. проф., Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Член: д-р Сара Сребренкоска

доцент, Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Научно поле: Машинство

Научна област: Мехатроника

Датум на одбрана: 30.06.2023г.

Благодарност:

- На **проф. д-р Марија Чекеровска**, ментор на магистерскиот труд, за прифаќањето на овој магистерски труд, за севкупно дадената помош воопшто, за укажаните совети, поуки и сугестии со цел истиот да биде успешно реализиран,
- На **проф. д-р Сашко Димитров**, за неговото учество, покажаниот интерес и поддршката во текот на изработката и реализацијата на магистерскиот труд,
- На **доц. д-р Сара Сребренкоска**, за укажаната помош, поддршка, совети и времето одделено за целосно да се комплетира магистерскиот труд,
- На стручниот тим од фабриката за спојки „**RUEN – INOX Automobile**“ во Кочани, што овозможи да се изведат истражувањата и да се изработи овој магистерски труд,
- На сите вработени и другите лица, кои на кој било начин ми помогнаа при изработката на магистерскиот труд.

Краток извадок

Примената на софтверите за симулација, нивната улога и значење, значително се истакнува при реализација на процеси на обработка со режење на современи CNC металорезачки машини.

Имплементацијата на софтверите за симулација т.е. нивното континуираното подобрување, надградување и усовршување позитивно влијае за подобрување на квалитетот и сигурноста на процесите на обработка, што води кон тенденциозно проширување на подрачјето на нивна примена.

Софтверите за симулација се наменети за планирање и проектирање на споменатите процеси, преку дигитална визуализација на текот и начинот на реализација, составните компоненти, карактеристичните големини и крајните резултати.

Со примена на софтвер за симулација, во насока на визуализација на процесите на обработка со режење на конкретна CNC металорезачка машина, се постигнува целта на магистерскиот труд, односно се согледуваат и елиминираат сите појави и големини кои можат физички да го загрозат, нарушат или целосно да го спречат текот на реалните процеси. Во тој контекст се зголемува точноста и прецизноста, а се скратуваат времето и ресурсите, кои како главни фактори директно влијаат за подобрување на ефикасноста и продуктивноста во самите процеси.

Клучни зборови: софтвер, програма, G-код, програмска наредба, функција, координатен систем, режен алат.

Abstract

The use of simulation software, its function, and its significance are strongly emphasized during the implementation of cutting processes on modern CNC metal cutting machine tools.

The implementation of simulation software, i.e., their continuous development, improvement, and upgrading, has a positive effect on improving the quality and reliability of processing processes, which leads to a tendentious expansion of the area of their application.

The simulation software is intended for planning and projecting the mentioned processes by providing a digital representation of all of the phases involved, the method applied to realize them, the individual components, the characteristic magnitudes, and the final results.

The master's thesis's objective, namely the perception and elimination of all phenomena and elements that can physically threaten, disrupt, or completely prevent the flow of the actual process, is accomplished through the application of simulation and visualization of the cutting process of a specific CNC metal cutting machine tool. The primary elements that directly influence the improvement of efficiency and productivity are the increase in accuracy and precision in the implementation of the cutting process as well as the reduction of time and resources.

Key Words: software, program, G-code, program command, function, coordinate system, cutting tool.

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД.....	9
1.1. Литературен осврт.....	11
2. МЕТАЛОРЕЗАЧКИ МАШИНИ.....	13
2.1. Управување на металорезачките машини.....	15
2.1.1. Управување без повратна врска.....	15
2.1.2. Управување со повратна врска.....	16
2.2. Големини во системот на управување.....	17
3. СТРУКТУРА НА CNC МЕТАЛОРЕЗАЧКА МАШИНА.....	19
3.1. Програма.....	19
3.1.1. Технолошка подготовка за проектирање на технолошки процес.....	19
3.1.2. Начин на програмирање.....	21
3.1.2.1. Рачно програмирање.....	22
3.1.2.1.1. Тестирање на програмата.....	22
3.1.2.2. Компјутерско програмирање.....	23
3.2. Управувачка единица.....	24
3.2.1. Поделба на управувачката единица според управувањето.....	24
3.2.1.1. Интерполација.....	25
3.2.2. Компоненти и начин на функционирање на управувачката единица.....	27
3.3. Извршни елементи.....	28
3.3.1. Видови електромотори.....	28
3.3.1.1. Електромотори за еднонасочна струја.....	29
3.3.1.2. Електромотори за наизменична струја.....	30
3.3.1.2.1. Синхрон електромотор.....	30
3.3.1.2.2. Асинхрон електромотор.....	31
3.3.1.3. Сервомотор.....	32
3.4. Работни елементи.....	33
3.5. Мерен систем.....	34
3.5.1. Мерење на положба.....	35
3.5.2. Мерење на брзина.....	36

3.5.3.	Мерење на оптоварување.....	36
4.	CNC СТРУГ.....	38
4.1.	Процес на обработка со стругање.....	38
4.1.1.	Структура на процес на обработка со стругање.....	38
4.1.2.	Режим за обработка во процесот на обработка со стругање.....	40
4.1.3.	Режен алат во процес на обработка со стругање.....	41
4.1.3.1.	Поделба според материјалот на сечилото.....	42
4.1.4.	Производни операции со стругање.....	43
5.	ИСТРАЖУВАЊЕ.....	45
5.1.	Технолошка подготовка.....	45
5.2.	Структура, анализа и реализација на процесите на обработка со стругање.....	47
5.2.1.	Програми и управувачка единица на стругот.....	47
5.2.2.	Анализа на процеси на обработка со стругање.....	48
5.2.2.1.	Прв процес на обработка со стругање.....	50
5.2.2.1.1.	Прв премин – изработка на отвор.....	50
5.2.2.1.2.	Втор премин – груба обработка со стругање.....	52
5.2.2.1.3.	Трет премин – фина обработка со стругање.....	53
5.2.2.1.4.	Четврт премин – фина обработка со стругање.....	54
5.2.2.2.	Втор процес на обработка со стругање.....	55
5.2.2.2.1.	Прв премин – груба обработка со стругање.....	55
5.2.2.2.2.	Втор премин – фина обработка со стругање.....	56
5.2.2.2.3.	Трет премин – фина обработка со стругање.....	56
5.2.3.	Извршни и работни елементи на стругот.....	57
5.2.4.	Мерен систем.....	59
5.2.4.1.	Вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполирано движење на работните елементи.....	60
5.2.4.2.	Брзина на главно движење.....	62
5.2.4.3.	Брзина на помошно движење.....	62
5.2.4.4.	Оптоварување на извршните елементи.....	63
5.2.5.	Аналогија на влезните и излезните големини.....	65

6. РЕЗУЛТАТИ.....	67
6.1. Вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполирано движење на работните елементи.....	67
6.2. Брзина на главно движење.....	68
6.3. Брзина на помошно движење.....	70
6.4. Оптоварување на извршните елементи.....	71
7. СИМУЛАЦИЈА.....	73
7.1. Опис на програмски наредби.....	73
7.2. Симулација на интерполираното движење на работните елементи во првиот процес на обработка со стругање.....	76
7.3. Симулација на интерполираното движење на работните елементи во вториот процес на обработка со стругање.....	80
8. ЗАКЛУЧОК.....	84
9. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....	88
10. ПРИЛОЗИ.....	92

1. ВОВЕД

Тенденцијата за строга контрола на димензионалната точност и квалитет на работните предмети придонесува за истакнување на интегрираноста на CNC металорезачките машини во современите производни процеси. Нивната примена ја потенцира ефективноста, ефикасноста, точноста, продуктивноста, сигурноста и безбедноста при реализирање на споменатите процеси преку кои се постигнува обработка на работни предмети со комплексна геометрија и форма.

Од тој аспект, во рамки на магистерската работа е претставена симулација на интерполирано движење на работните елементи на CNC струг за процеси на обработка со стругање. Обработката со стругање се изведува на софистициран CNC Hitachi Seiki Seicos LIII струг. Истиот има можност за истовремено изведување на главното и помошното движење по три координатни оски: X , Y и Z и од аспект на конструкцијата е покомплексен од стандардните CNC стругови со две координатни оски: X и Z . Како последица на посложената конструкција, софистицираност и високите перформанси обезбедува голема продуктивност со висок квалитет и точност на обработка. Се користи за изработка на главини (со каталожка ознака) 3951.32.33 – составен дел на спојките за автомобили кои се произведуваат во фабриката за спојки „RUEN – INOX Automobile“ во Кочани.

Магистерската работа е структурирана во осум поглавја. Покрај *првото поглавје „Вовед“* содржи уште седум примарни поглавја.

Во *второто поглавје „Металорезачки машини“* е дадено објаснување за металорезачките машини, начинот на кој се управуваат, вклучувајќи ги и предностите и недостатоците на CNC металорезачките машини во споредба со рачно управуваните металорезачки машини.

Во *третото поглавје „Структура на CNC металорезачка машина“* е објаснета структурата на една CNC металорезачка машина, нејзините составни компоненти, начинот на нивно поврзување и функционирање во склоп на функционална целина.

Во *четвртото поглавје „CNC струг“* е претставен CNC стругот како

најраспространет тип на CNC металорезачка машина. Принципот, режимот за обработка и карактеристиките кои важат за секој процес на обработка со стругање дополнително се наведени.

Петтото поглавје „Истражување“ се однесува на истражувањето кое е спроведено на споменатиот CNC Hitachi Seiki Seicos LIII струг во фабриката за спојки „RUEN – INOX Automobile“. Се анализираат две технолошки операции со стругање во улога на два различни системи на компјутерско управување со повратна врска. Секој од системите има четири влезни големини: вредност на X, Y, Z координати на движење на работните елементи, брзина на главно движење $v[m/min]$, брзина на помошно движење $v_p[mm/min]$ и длабочина на режење $d[mm]$. Вредноста на влезните големини за двата системи се различни и како последица на тоа различни се текот и вредноста на излезните големини, за секој систем поединечно. Затоа секој од процесите на обработка со стругање се анализира самостојно без оглед на фактот дека обработката која се реализира е од ист тип, има ист принцип на функционирање и се изведува на истиот струг.

Во *шестото поглавје „Резултати“* се претставени излезните големини од процесите базирани на четирите влезни големини. Тоа се: вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполираното движење на работните елементи, брзина на главно движење $v[m/min]$, брзина на помошно движење $v_p[mm/min]$ и оптоварување на извршните елементи на стругот.

Во *седмото поглавје „Симулација“* дополнително е претставена дигитална визуализација на текот на процесите на обработка во вид на симулација. Истата е прикажана во софтвер за симулација со назив „CIMCO Edit v6.1“ кој се користи во Секторот за развој на нови производи во фабриката „RUEN – INOX Automobile“.

Во *осмото поглавје „Заклучок“* се образложени констатации за симулацијата на интерполираното движење и големините кои се анализираат во процесите на обработка со стругање. Се дискутираат нивните својства, условите за нивно навремено коригирање во насока на елиминирање на грешките кои можат негативно да влијаат и да го нарушат одвивањето на самите процеси.

1.1. Литературен осврт

Подемот на дигиталната ера и информатичката технологија овозможува сите програмски наредби кои ги прима секоја CNC металорезачка машина да се проследуваат и анализираат преку софтверите за симулација. Во тој поглед улогата, принципот и значењето на имплементацијата на симулација на процеси на обработка се предмет на анализа и проучување на многу научни истражувања.

Во насока на зголемување на ефикасноста при експлоатација на CNC металорезачките машини, редуцирајќи го потребното време и зголемувајќи го степенот на безбедност при реализација на процесите на обработка, софтверите за симулација и визуализација се неопходни во денешните, современи процеси на обработка на работни предмети со комплексна геометрија и форма. [30]

Симулацијата на реалните процеси на обработка се темели на програмата за управување на CNC металорезачката машина. Врз основа на софтверската конфигурација на машината се постигнува верификација на програмата за тридимензионален модел на виртуелна машина. [29]

Постапката за верификација на програма (и начинот на нејзино креирање) е особено важна за визуализација на процес на изработка на прототип. Следејќи ги програмските наредби процесот на симнување на непотребниот материјал се реализира софтверски. На тој начин се проследува начинот на изработка на даден прототип, се анализираат сите битни својства и карактеристики во процесот на изработка и се тестира точноста при изведување на самиот процес. [21]

Виртуелната реалност што ја овозможуваат софтверите за симулација е резултат на подемот на информатичката технологија. Софтверските апликации можат да одговорат на потребите за димензионална точност и квалитет на работните предмети во различни процеси на обработка (кои се реализираат со примена на CNC металорезачки машини или роботизирани машини) што води кон континуирано подобрување на нивната продуктивност и ефективност. [12], [28]

Тридимензионалната симулација која се постигнува кај повеќеоосните координатни системи има важна улога за изработка на комплексни работни предмети во процеси на обработка кои бараат големи финансиски инвестиции. Како резултат на почетните вложувања во производните процеси, вклучувајќи ги и

софтверските програми, неопходен е значителен пораст на степенот на продуктивност и ефикасност во самиот процес. [25]

Ограничувањето од аспект на форматот на програмските наредби придонесува за ограничување на информациите кои софтверите за симулација можат да ги верификуваат. Според класификацијата на информациите тие можат да се верификуваат во поглед на особеностите т.е. карактеристиките, но и во поглед на траекторијата на движење. [3]

Траекторијата на движење на режниот алат е директно поврзана со комплексноста на геометријата на работниот предмет, бројот и начинот на конекција на составните површини. Откако се проучува типот на процесот на обработка се планира траекторијата на движење на режниот алат и се дефинираат сите составни компоненти и параметри неопходни за реализација на процесот. Пред стартување на процесот на обработка се генерира визуализација на траекторијата преку соодветен софтвер за симулација. [27]

Покрај производната индустрија, примената на софтверите за симулација, нивното значење и бенефити се интегрираат и при образование т.е. обуки за управување на CNC металорезачките машини. Практичната обука се спроведува преку виртуелна работна средина која овозможува верификација на програмските кодови и визуализација на работниот простор. Во тој поглед, сите фази, постапки и дејства кои треба да се преземат за соодветни процеси на обработка, студентите рачно ги претвораат во програмски наредби кои ги управуваат современите CNC металорезачки машини. [13], [19]

Преку софтверите за симулација кои ги препознаваат програмските наредби креирани за управување на конкретна CNC металорезачка машина се контролира секое движење во самата машина. Визуализацијата на тридимензионален модел на машината како и на движењето на сите подвижни делови придонесува за зголемување на безбедноста и превенција од оштетување на машината, работниот простор, работниот предмет, режниот алат или повреда на операторот на самата машина. За спречување на вакви појави, односно за редуцирање на појава на грешка во програмските наредби се потенцираат ефектите од симулација и визуализација на процесите на обработка. [22], [26]

2. МЕТАЛОРЕЗАЧКИ МАШИНИ

Металорезачките машини според самиот назив се машини наменети за обработка на метални предмети. Обработката на металните предмети се однесува на отстранување на непотребниот материјал во облик на струшка и се нарекува обработка со режење.

Како резултат на брзиот технолошки развој денес постојат различни видови металорезачки машини кои се класифицираат според намената, функцијата, конструктивната изведба и начинот на управување.

Според начинот на управување металорезачките машини можат да се поделат во две поголеми групи:

- ❖ Рачно управувани металорезачки машини,
- ❖ Компјутерски управувани металорезачки машини.

Кај рачно управуваните металорезачки машини ракувачот со машината (операторот), информациите од технолошко–техничката документација за определен работен предмет ги трансформира во соодветни управувачки наредби (кои рачно се активираат на машината) и овозможуваат управување на машината преку рачно поместување на нејзините работни елементи.

Металорезачките машини кои се управуваат рачно имаат низок степен на продуктивност. За да се премине кон повисок степен на продуктивност машинските функции кои се управуваат рачно се заменуваат со адекватни функции кои можат да се управуваат компјутерски. Зголемувањето на бројот на функции кои се изведуваат независно од операторот придонесува за модифицирање на рачното управување – во компјутерско.

Кај металорезачките машини кои се управуваат компјутерски (во понатамошниот текст: *CNC металорезачки машини*) ракувачот на машината (од оператор и извршител) преминува во организатор и контролор т.е неговото непосредно управување на машината преминува во компјутерско управување. За основа на компјутерското управување кај CNC металорезачките машини се смета

програмското управување – базирано на соодветна програма за управување. Програмата се состои од геометриски и технолошки информации. Се креира со користење на различни програмски наредби кои овозможуваат прецизно поместување на работните елементи на машината во насока на правилно реализирање на текот на процесот на обработка.

Во тој поглед, суштински *предности* на CNC металорезачките машини во споредба со класичните металорезачки машини се:

- ❖ Флексибилност (за изработка на помали или поголеми серии на работни предмети или пак само еден предмет, за потоа да се вчита сосема друга програма и да се изработи друг предмет),
- ❖ Висока точност (во процесот на обработка, која придонесува за намалување на зачестеноста на контрола на работниот предмет),
- ❖ Повторливост (при изработка на апсолутно идентични работни предмети истовремено или периодично – разликите кои настануваат се занемарливи и најчесто се последица на трошењето на режниот алат),
- ❖ Можност за изработка на сложени делови (со сложена геометрија, контура и строго толерантно поле што е незамисливо на класичните металорезачки машини и од технички, но и од економски аспект),
- ❖ Скратување на подготвително-завршното време (преку елиминација на специјалните алати за позиционирање на работниот предмет и водење на режниот алат) што резултира со намалени трошоци за производство,
- ❖ Елиминирање на неопходноста за висококвалификуван ракувач на машината (ракувачот треба само да: го постави, отстрани, точно да го измери работниот предмет и да ја користи соодветната програма – што се минимални барања за вештини и знаења во споредба со барањата за ракувач на класична металорезачка машина),
- ❖ Зголемување на временскиот коефициент на искористеност на машината,
- ❖ Намалување на бројот на подготвителни операции – го редуцира подготвителното време во процесот на обработка,
- ❖ Поедноставување на начинот на реализирање на процесот на обработка,

- ❖ Создавање на можност за истовремено ракување со повеќе машини (поради намалените барања за следење и контрола на процесот на обработка) и др.

Недостатоци на CNC во однос на класичните металорезачки машини се:

- ❖ Детално планирање на процесот на обработка,
- ❖ Потреба од висококвалификувани програмери,
- ❖ Помал век на експлоатација,
- ❖ Големи инвестициски трошоци и зголемени трошоци за машински час (како последица на големите почетни вложувања),
- ❖ Големи трошоци за превентивно и корективно одржување поради степенот на сложеност на машините (за што се потребни стручни лица кои имаат познавања од областа на машинството, но и од областа на електрониката),
- ❖ Степенот на продуктивност е условен од големосериско производство и др.

2.1. Управување на металорезачките машини

За да се имплементира (на конкретна металорезачка машина) еден процес на обработка – истиот треба и да се управува.

Како поим управувањето претставува синтеза на активности на конкретен систем однапред осмислени за ефикасен и сигурен тек на процесот на обработка. Се реализира на два начина: без повратна врска или со повратна врска.

Управувањето без повратна врска, односно управувањето со повратна врска може да се спроведе на два начина – рачно или компјутерски.

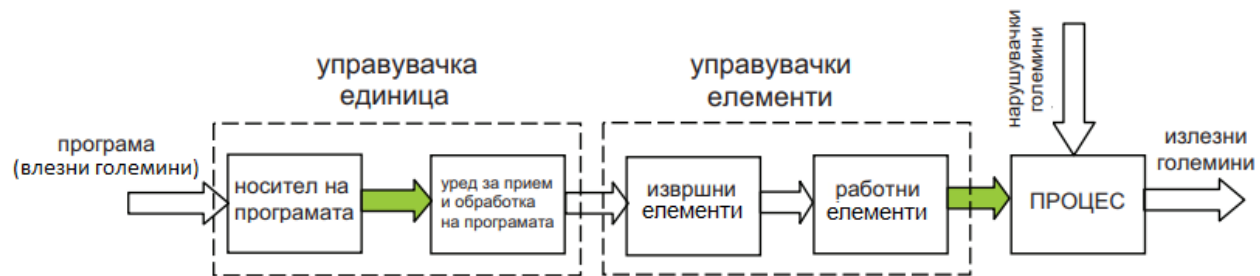
2.1.1. Управување без повратна врска

Во случај на *управување без повратна врска*, се задаваат потребни големини за одвивање на системот (т.н. влезни големини), а постигнатите (т.н. излезни) големини не се следат. Не постои повратна врска преку која би се овозможило следење на системот и постигнување навремени промени и корекции во процесот на обработка. Имено, системот ги реализира зададените влезни

големини независно од надворешните влијанија, исклучувајќи некакво влијание на излезните големини на текот на процесот на обработка.

Кај рачно управуваниот систем, воспоставувањето и следењето на процесот на обработка како и отстранувањето на грешката го врши операторот.

Кај компјутерски управуваниот систем (сл.1) е неопходен соодветен уред – програмоносител кој ја содржи програмата. Програмата се внесува во уред за прием и обработка, во склоп на управувачката единица. Потоа управувачката единица испраќа управувачки сигнали кои се пренесуваат на извршните елементи на машината за предавање наредби за движење на работните елементи на машината. Носителот на програмата и уредот за прием и обработка (на истата) се сместени во склоп на управувачката единица на машината, која управувајќи со машинските функции овозможува движење на извршните и работните елементи, во насока на реализирање на текот на процесот на обработка.



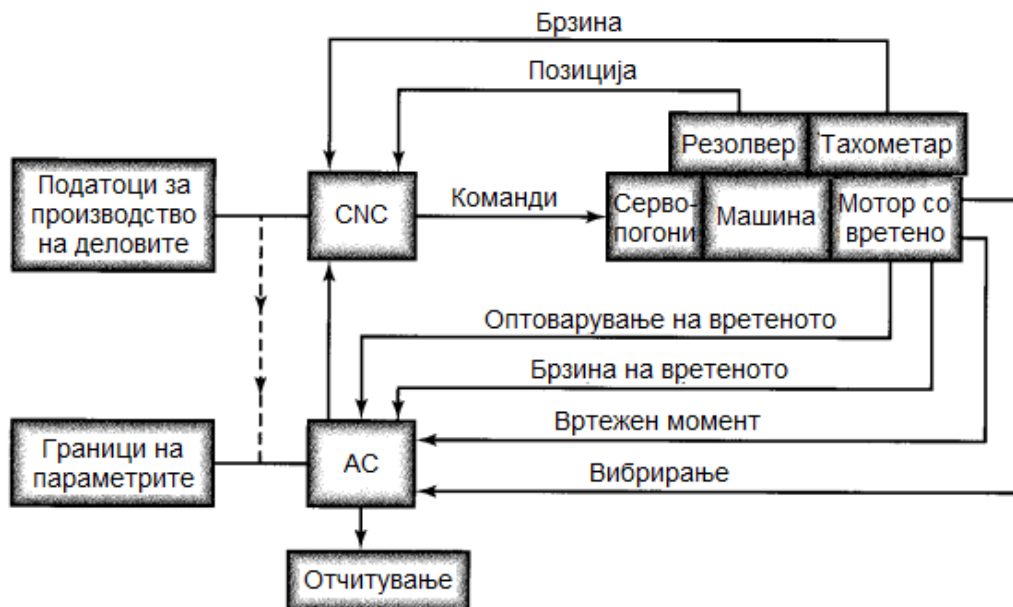
Слика 1: Детална шема за управување без повратна врска
Figure 1: Detail block diagram for open-loop control

2.1.2. Управување со повратна врска

Кај *управувањето со повратна врска* излезните големини (во облик на резултати од процесот) се мерат со соодветен мерен систем и преку повратната врска се проследуваат до управувачката единица на машината. Таму се споредува вредноста на измерените излезни големини со соодветните влезни големини. За секое отстапување на излезните големини се врши корекција на влезните големини.

Доколку управувањето со повратна врска се базира на програма за управување преку која се задаваат повеќе влезни големини т.н. програмско управување, на излезот од системот се генерираат повеќе излезни големини. Врз основа на фактот дека програмското управување е карактеристично за дисконтинуалните процеси (процеси во кои се реализира сложено движење), овој тип управување е адекватно токму за CNC металорезачките машини. Нивните работни елементи изведуваат транслаторно и кружно движење по различни координатни оски и во различни правци, според зададени влезни големини.

Поврзувањето на наведените компоненти со работните информации во логичка целина кај CNC металорезачка машина е претставено на слика 2.



Слика 2: Детална скица за управување со повратна врска
Figure 2: Detail block diagram for closed-loop control

2.2. Големини во системот на управување

Секој систем на управување се карактеризира со определени *големини* (сл.1, сл.2). Дел од нив ги претставуваат конструктивните, односно изведбените, техничките и другите својства на процесот кој се анализира, па затоа се нарекуваат параметри на системот. Останатите карактеристични големини кои не се вбројуваат во параметрите ги опишуваат појавите, дејствата и движењето во

процесот кој е предмет на анализа. Во зависност од појавите и дејствата, односно движењето кое се реализира, карактеристичните големини можат да се поделат на: влезни, излезни и нарушувачки големини.

За *влезни големини* се сметаат сите карактеристични големини кои ги опишуваат надворешните влијанија на процесот. Тие влијаат на излезните големини, но воопшто не зависат од текот на процесот, па затоа се нарекуваат и надворешни големини. Овде спаѓаат: брзина на главно движење, брзина на помошно движење, координати на движење на работните елементи во правец на координатните оски, промена на режен алат, вклучување и исклучување на систем за ладење и други помошни функции.

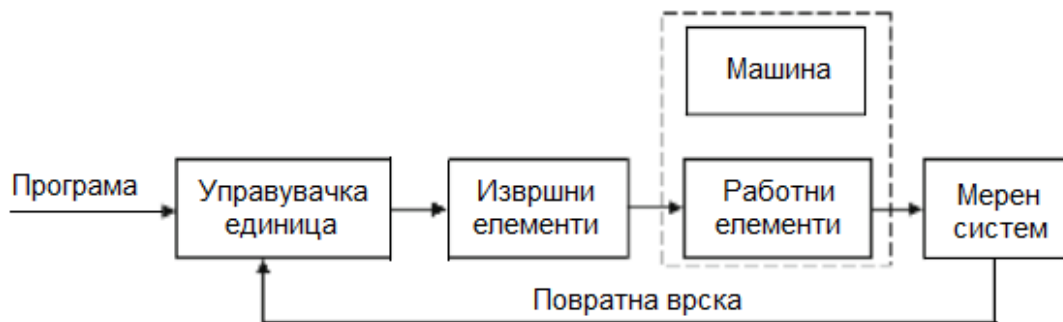
Излезните големини го опишуваат одговорот на процесот т.е. неговиот тек и добиениот резултат врз основа на зададените влезни големини. Тие зависат од процесот и од неговите особини, па затоа се нарекуваат и внатрешни големини. Овде спаѓаат: димензии, форма, точност, центричност, квалитет на површинска обработка, тврдост на работниот предмет и др.

Нарушувачките големини негативно влијаат врз одвивањето на процесот. Тие предизвикуваат нарушувања и отстапувања кои го спречуваат правилното реализирање на текот на процесот, постигнувањето на осмислената задача, планираните очекувања и поставената цел. Во нарушувачки големини можат да се вбројат: флукуациите во напонот за напојување на електричните компоненти и уреди, промената на параметрите на електричните елементи како последница на нивното загревање, трошењето на режниот алат, механичките деформации, топлотните деформации, вибрациите и др. варијабилни карактеристики.

Реално, не постои совршен систем на управување преку кој ќе се земат предвид сите варијабли и ќе се овозможи идеално одвивање на даден процес на обработка. Затоа програмата која се креира не ги зема предвид сите нарушувања кои би се појавиле во текот на процесот, туку се претпоставуваат идеални услови на одвивање на процесот за конкретната CNC металорезачка машина.

3. СТРУКТУРА НА CNC МЕТАЛОРЕЗАЧКА МАШИНА

Секоја CNC металорезачка машина во основа претставува збир на различни компоненти со сопствени карактеристики, меѓусебно поврзани во функционална целина. Секоја од компонентите може да се смета за (и да се анализира како) посебен елемент во структурата на целокупниот систем (сл.3).



Слика 3: Структура на CNC металорезачка машина
Figure 3: Structure of a CNC machine tool

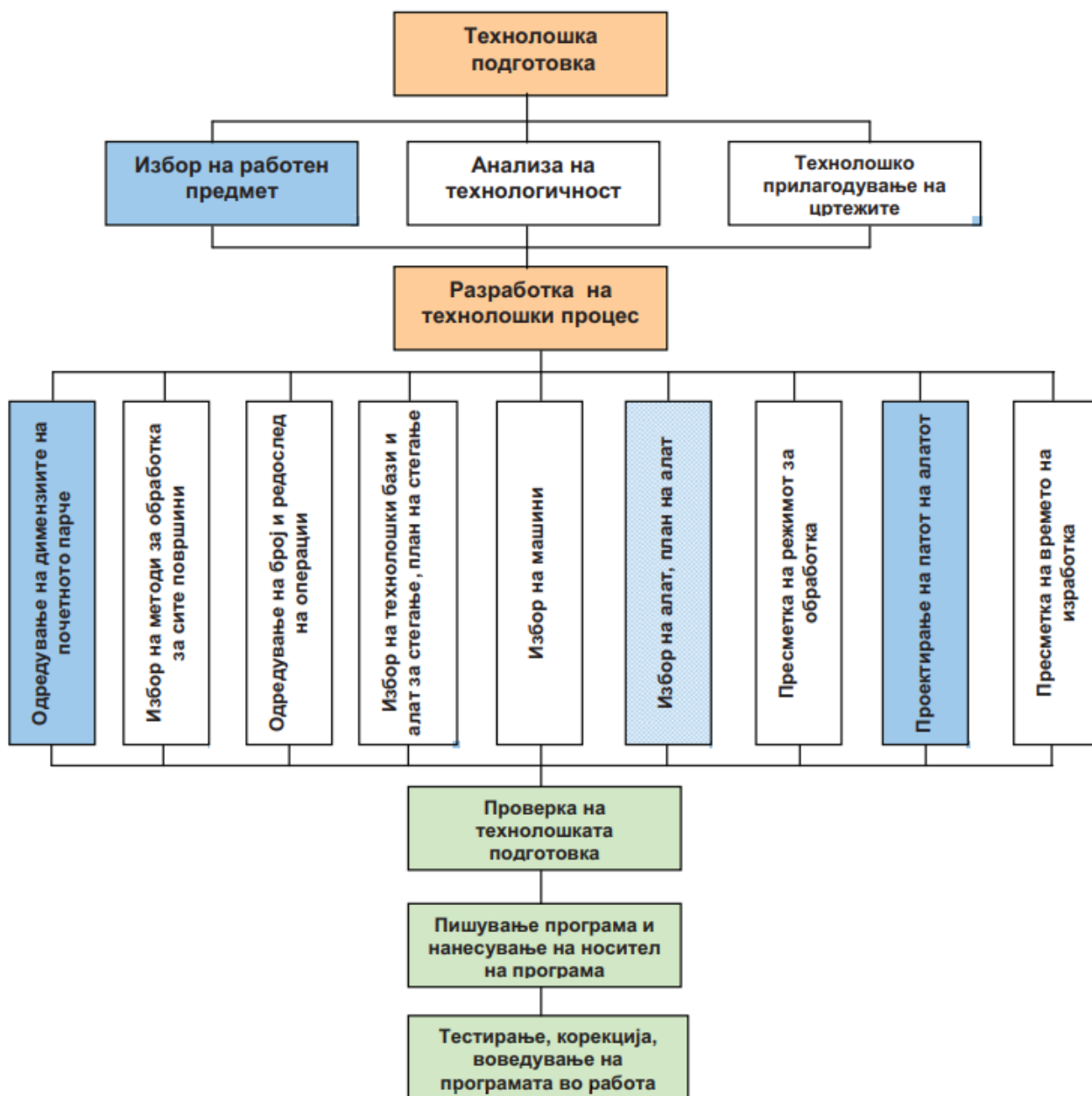
3.1. Програма

Управувачката единица (компјутерот) на секоја CNC металорезачка машина како интегрален дел на нејзиниот систем на управување користи програмски наредби кои влегуваат во склоп на т.н. програма. Програмата е наменета за управување на машината заради реализирање на процесот на обработка. Текот на процесот на обработка се заснова на активностите кои треба да се преземат согласно технолошката подготовка за проектирање на технолошкиот процес.

3.1.1. Технолошка подготовка за проектирање на технолошки процес

Преку проектирање на технологијата на обработка на определен работен предмет на соодветна CNC металорезачка машина се овозможува економична и ефикасна изработка на истиот постигнувајќи ја бараната точност, форма, димензии и квалитет на обработка. За проектирање на технолошки процес на обработка неопходна е технолошката подготовка. Текот и содржината на технолошката подготовка (сл.4) се состојат од неколку фази кои се однесуваат на:

- ❖ Правилен *избор на работен предмет*, односно работен предмет со комплексна геометрија и форма чија обработка е економски оправдана,
- ❖ *Анализа на технологичноста* преку која се проценува економичноста при планирање на процесот на обработка. Во тој поглед се подготвуваат повеќе технолошки варијанти од кои се избира најекономичната,



Слика 4: Тек и содржина на технолошката подготовка
 Figure 4: Technological procedure

- ❖ *Технолошко прилагодување на цртежот* за приспособување на барањата од работилничкиот цртеж согласно можностите на CNC металорезачката машина,
- ❖ *Разработка на технолошкиот процес* – познавајќи ги карактеристиките и можностите на расположливите: машини, материјалали, постапки за обработка, помошни, режни и мерни алати се врши избор на: најсоодветно почетно парче и методи за обработка на сите површини (дефинирајќи го редоследот на потребните операции и зафати), машина, технолошки бази, помошен, режен и мерен алат, режим за обработка, траекторија на движење на режниот алат притоа пресметувајќи го времето потребно за изработка на работниот предмет,
- ❖ *Проверка на технолошката подготовка*, односно детална проверка на планираниот технолошки процес, неговата економичност и продуктивност,
- ❖ *Пишување на програма и нанесување на носител на програма* се однесува на постапката за креирање на програма, нејзино нанесување на соодветен носител на програма и пренесување на машината за која е предвидена и
- ❖ *Тестирање, корекција, воведување на програмата во работа* – последна фаза во која се елиминираат сите (евентуални) грешки и недостатоци и потоа се преминува кон стартување на програмата.

3.1.2. Начин на програмирање

Програмирањето на процесите на обработка на CNC металорезачките машини претставува постапка за имплементирање на информациите за процесот на обработка во соодветни програмски наредби според определен редослед и код. Поради различноста на CNC металорезачките машини (конструкција, тип на управувачката единица итн.) не постои стандардизација на сите програмски наредби и кодови. Сепак, според меѓународниот ISO, националните DIN, ANSI и други стандарди е извршена стандардизација т.е. груба класификација на основните програмските наредби и кодови.

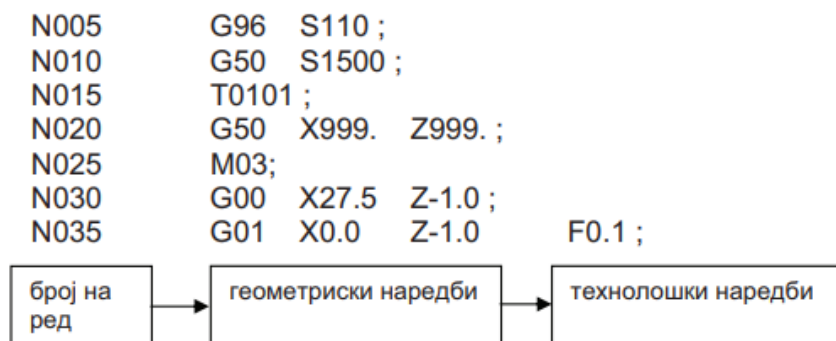
Постојат два начина на програмирање:

- ❖ Рачно програмирање,
- ❖ Компјутерско програмирање.

3.1.2.1. Рачно програмирање

Кај рачното програмирање, постапката за креирање на програма за конкретен процес на обработка (од страна на програмерот) се изведува рачно.

Програмата, како збир на логички наредби кои се изведуваат сукцесивно е составена од програмски редови т.н. блокови. Програмските блокови содржат програмски реченици формирани со комбинација на алфанумерички знаци. Тие ги пренесуваат геометриските и технолошките информации т.е. наредби од програмерот до управувачката единица на машината. Во структурата на една програма (сл.5) најпрво се пишува бројот на програмски блок потоа геометриските наредби (G кодови) – координати на движење на работните елементи и на крајот се пишуваат технолошките наредби (M кодови) – брзина на главно и помошно движење, промена на режен алат, вклучување и исклучување на систем за ладење итн.



Слика 5: Рачно програмирање
Figure 5: Manual programming

Најприменувани програмски наредби се: N (број на програмски блок), S (брзина на главно движење), F (брзина на помошно движење), T (позиција на режен алат), G (главна програмска наредба), M (помошна програмска наредба) и X, Y, Z (координати на движење во правец на X, Y, Z координатните оски).

3.1.2.1.1. Тестирање на програмата

По комплетирање на програмата следува фаза на нејзино тестирање. Во оваа фаза се евидентираат и елиминираат сите недостатоци кои (евентуално) ги

содржи програмата. Тестирањето се реализира: на самата машина за која е креирана програмата или на компјутер, со примена на софтвер за симулација.

Тестирање на програмата на машината (за која е предвидена програмата) се реализира преку симулација на траекторијата на движење на работните елементи. Симулацијата се генерира од страна на управувачката единица на машината, а се прикажува (и следи) на дисплејот на самата управувачка единица. На тој начин се постигнува визуелно дијагностицирање на грешките во геометријата на движење на работните елементи кои навремено се коригираат во соодветните програмски блокови. Сепак, кај овој начин на тестирање на програма е невозможно да се изврши проверка на дефинираните режими за обработка.

Тестирање на програмата на компјутер се реализира преку соодветен софтвер за симулација. Имено, компјутерски т.е. софтверски се генерира симулација на траекторијата на движење на работните елементи во дефиниран координатен систем. Овој начин на тестирање придонесува за постигнување на точност во процесот на обработка, скратување на времето и ресурсите. Во тој поглед оптимизацијата и подобрувањето на процесот преку користење на соодветен софтвер за верификација на програмата значително влијае за зголемување на ефикасноста и продуктивноста на самиот процес на обработка.

3.1.2.2. Компјутерско програмирање

Кај компјутерското програмирање постапката за креирање и дефинирање на геометриските и технолошките наредби се врши компјутерски – со користење на база на податоци од меморијата на управувачката единица.

За комплетна реализација на компјутерското програмирање се користат специјализирани софтверски програми наменети за компјутерски потпомогнат дизајн (*CAD – Computer Aided Design*), компјутерски потпомогнато производство (*CAM – Computer Aided Manufacturing*) и компјутерски потпомогнато инженерство (*CAE – Computer Aided Engineering*) во облик на софтверски пакети.

Примената на компјутерското програмирање ги редуцира времето за креирање на програма и појавата на грешка. Сепак, инвестицијата во хардверска опрема и софтверски пакети е висока и секогаш не е економски исплатлива.

3.2. Управувачка единица

Управувачката единица претставува посебна целина на секоја CNC металорезачка машина. Согласно примените геометриски и технолошки наредби од програмата таа реализира две функции т.е. управува со геометријата на движење на работните елементи и со машинските функции на машината.

3.2.1. Поделба на управувачката единица според управувањето

Според начинот на изведување на движењето на работните елементи по координатни правци управувачката единица овозможува:

- ❖ Управување без функционална зависност на движењето на работните елементи по координатни правци (координатно и линиско управување),
- ❖ Управување со функционална зависност на движењето на работните елементи по координатни правци (управување по крива во рамнина и управување по просторна крива).

Управувањето без функционална зависност на движењето на работните елементи уште се нарекува и позиционо управување. Во зависност од релативното движење т.е. дали работниот елемент е во зафат со работниот предмет, позиционото управување се класифицира како *координатно и линиско*.

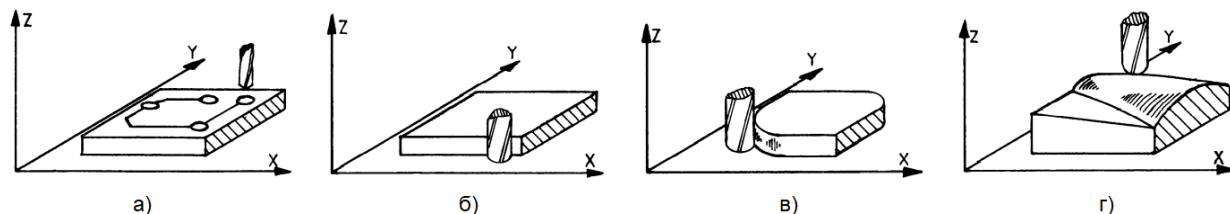
Координатното управување (сл.6а) претставува управување од точка до точка за позиционирање на работниот елемент од моменталната до следна програмирана точка, кога тој не е во зафат со работниот предмет. Притоа, обликот на траекторијата на движење на режниот алат која се оформува при достигнување на следната поцизија не е важен, туку само точноста на позиционирање. Поместувањето на работниот елемент може да биде во правец на една, а потоа во правец на друга координатна оска или во правец на две координатни оски истовремено – без можност за управување со помест.

Со *линиското управување* (сл.6б) се овозможува движење на работниот елемент по зададена линија сè до постигнување на дефинираната должина на линијата. Движењето од една до друга точка се реализира врз основа на претходно определена права линија, паралелна само на една координатна оска, без можност за синхронизирано поместување во правец на две координатни оски.

Управувањето со функционална зависност на движењето овозможува поместување на работниот елемент по (програмски дефинирана) контура т.е. крива во рамнина или во простор. На тој начин се постигнува точна и прецизна обработка на комплексни криволиниски површини и просторни профили.

Управувањето по крива во рамнина (сл.6в) може да се оствари со истовремено движење по две координатни оски или со истовремено движење по две, од вкупно три координатни оски. Во првиот случај се постигнува истовремено управување по две координатни оски (на пример, X и Z) со истовремена работа на два електромотори. Во вториот случај, се постигнува истовремено управување по две од вкупно три координатни оски ($X - Y, X - Z$ или $Y - Z$) со три електромотори за движење во правец на секоја координатна оска, поединечно.

Управувањето по просторна крива (сл.6г) со истовремено движење по три координатни оски за што се потребни три електромотори кои работат истовремено, овозможува обработка на просторни контури.



Слика 6: Видови управување
Figure 6: Types of control

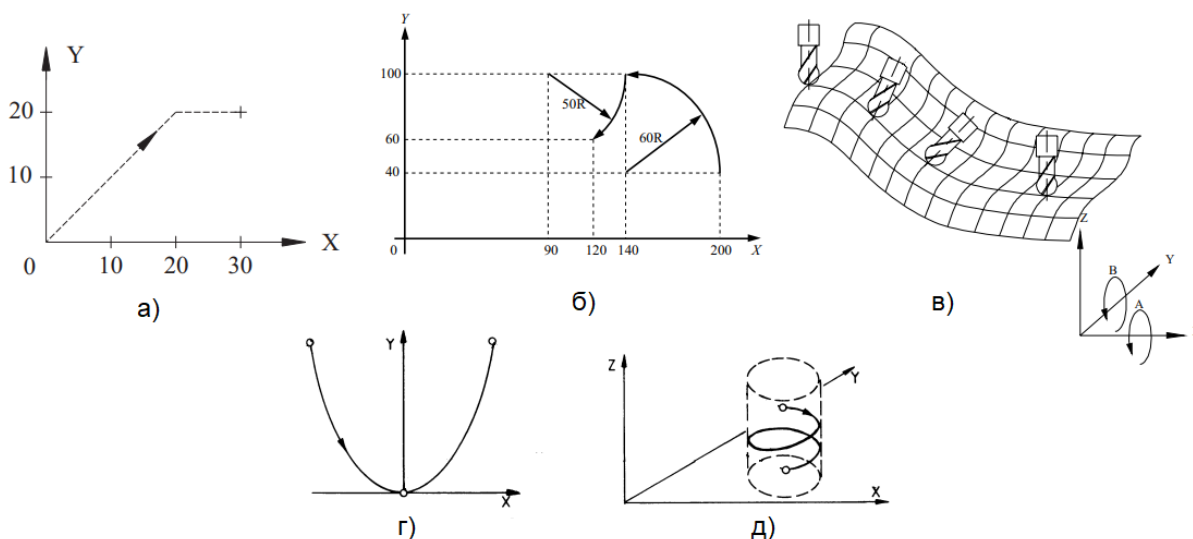
3.2.1.1. Интерполација

Управувањето со функционалната зависност на движењето на работните елементи се нарекува интерполација. Постојат неколку типови интерполација:

❖ *Линерната интерполација* (сл.7а) овозможува праволиниско поместување на работниот елемент од почетна до крајна точка на траекторијата. Со примена на линеарна интерполација за криволиниско движење се формира криволиниска контура како збир на отсечки, а притоа секоја отсечка претставува посебна линерна интерполација. Колку е поголем бројот на отсечки толку, постигнатото движење е поблиску до идеалната контура на криволиниското движење,

❖ *Кружната интерполација* (сл.7б) е ограничена според основните рамнини ($X - Y, X - Z$ или $Y - Z$) во кои управувачката единица пресметува низа точки на дефинираната кружна патека. Тие точки се користат за дефинирање на основното движење на работниот елемент по кружната траекторија, а работниот елемент отстапува од кружната траекторија само за вредноста на зададената толеранција,

❖ Кај *параболичната интерполација* (сл.7г) три колинеарни точки служат за доближување на криви кои имаат слободна форма. Се применува при обработка на комплексни криволиниски површини бидејќи бројот на програмски точки во споредба со линеарната интерполација, се намалува за речиси 50 пати,



Слика 7: Типови интерполација
Figure 7: Types of interpolation

❖ *Спиралната интерполација* (сл.7д) овозможува движење кое е комбинација на кружна и линеарна интерполација во однос на трета координатна оска,

❖ Со интерполацијата по крива од трет ред (сл.7в) или *кубна интерполација* се овозможува движење по три координатни оски т.е. управувачката единица генерира обработка на сложени форми во тридимензионален координатен систем.

3.2.2. Компоненти и начин на функционирање на управувачката единица

Секоја управувачка единица претставува сложен електронски уред во кој е вграден микрокомпјутерски систем (сл.8). Според илустрацијата, управувачката единица (во процесот на управување) има улога на посредник помеѓу човекот и машината. Се состои од повеќе компоненти, а за најважна се смета компјутерот т.н. програмабилен логички (или PLC) контролер. Врската помеѓу PLC контролерот и човекот се остварува преку командната табла, а врската на PLC контролерот со машината – преку системот за управување и системот за напојување.



Слика 8: Компоненти на управувачка единица
Figure 8: Control unit components

Управувачката единица (сл.24,сл.25) располага со дисплеј, командна табла, тастатурата (со букви и броеви), за задавање на различни наредби и активирање соодветни функции на машината. Во склоп на командната табла влегуваат и соодветни покажувачи на вредност на определени параметри кои се регистрираат преку мерниот систем и се проследуваат преку повратната врска. На тој начин PLC контролерот го управува и контролира текот на процесот на обработка реализирајќи ги програмските наредби зададени во програмата.

Значи, сите функции на CNC металорезачката машина се обединуваат во склоп на управувачката единица, потенцирајќи дека PLC контролерот ја прима, обработува и реализира програмата за управување на машината, го следи и

контролира процесот на обработка, координирајќи ја работата на работните елементи преку адекватно управување со извршните елементи.

3.3. Извршни елементи

Извршните елементи кои ги реализираат наредбите на управувачката единица го сочинуваат погонскиот систем на секоја CNC металорезачка машина.

Погонскиот систем го спроведува текот на програмските наредби и текот на енергијата од управувачката единица кон работните елементи на машината. Најчесто е електричен, составен од електромотори. Се управува врз основа на управувачки сигнали (за брзина и позиција) кои преку регулатори (драјвери) и засилувачи се пренесуваат до секој електромотор, поединечно.

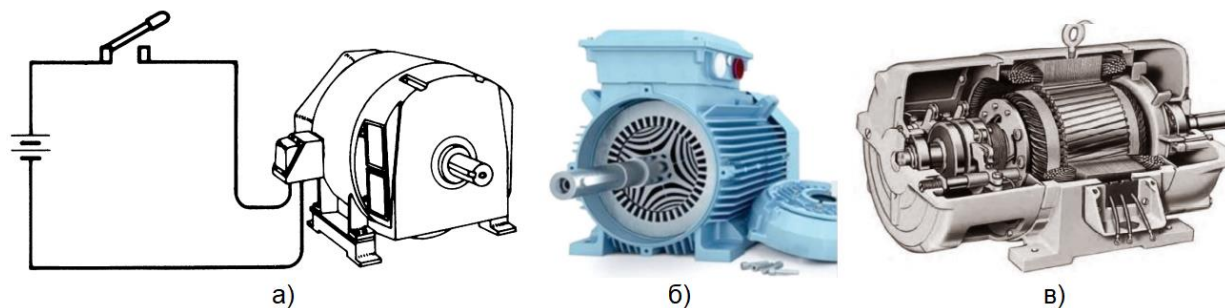
3.3.1. Видови електромотори

Електромоторот претставува електричен уред кој ја претвора електричната енергија во механичка работа. Секој електромотор е составен од две основни компоненти – статор и ротор. Статорот има шуплива цилиндрична форма, а роторот (кој исто има цилиндрична форма) ротира во внатрешноста на статорскиот цилиндар. Статорот и роторот физички се раздвоени со тенок воздушен слој кој се нарекува воздушен зјај. Имаат магнетно јадро, некои електрични инсталации и (најчесто) намотки, неопходни за формирање на магнетно поле т.е. магнетен флуks, индуцирани електромоторни сили, струи и вртежен момент.

Според поставеноста на намотките на роторот и статорот, земајќи ја предвид и електричната енергија која се доведува до нив, постојат:

- ❖ Електромотори за еднонасочна струја (сл.9а), кај кои во намотките на роторот и во намотките на статорот протекува еднонасочна струја,
- ❖ Синхрони електромотори (сл.9б), кај кои во намотките на роторот протекува еднонасочна (возбудна) струја, а во намотките на статорот протекува наизменична струја,

- ❖ Асинхрони електромотори (сл.9в), кај кои во намотките на роторот и на статорот протекува наизменична струја.



Слика 9: а) Електромотор за еднонасочна струја, б) Синхрон електромотор, в) Асинхрон електромотор

Figure 9: a) DC motor, b) Synchronous motor, c) Induction motor

3.3.1.1. Електромотори за еднонасочна струја

Првите електрични машини т.е. електромотори кои биле употребени за трансформација на електричната енергија во механичка работа биле изведени како електромотори за еднонасочна струја, соодветни за користење поради нивната едноставна конструкција и едноставен принцип на работа.

Нивната примена како извршни елементи кај CNC металорезачките машини се базира на определени карактеристики во поглед на следните барања: користење иста енергија за управувачките и работните елементи, можност за промена на бројот на вртежи (во голем опсег) со настанување на мали загуби, линеарна зависност на бројот на вртежи од големината на управувачкиот напон, добри механички карактеристики, голем вртежен момент при стартување итн.

Важно е да се спомне дека бројот на вртежи кај електромоторот за еднонасочна струја се менува на два начина: со промена на јачината на струјата или пак со промена на напонот на калемот за возбудата, кој придонесува за промена на магнетниот флукс. Во првиот случај, при промена на јачината на струјата се постигнува постојан магнет при променливи вртежи, а во вториот случај при промена на напонот на калемот за возбудата т.е. при промена на магнетниот флукс се добива постојана силина.

Поради конструктивни тешкотии и ограничувања од аспект на максимална моќност и напон, примената на овој тип електромотори постепено се заменува со асинхрони електромотори кои денес најмногу се употребуваат.

3.3.1.2. Електромотори за наизменична струја

Во пракса, покрај електромоторите за еднонасочна струја се користат и електромотори кои работат на наизменична струја. Тие се изведени како:

- ❖ Синхрони електромотори кај кои брзината на ротација е еднаква со брзината на вртење на електромагнетното поле,
- ❖ Асинхрони електромотори кај кои брзината на ротација е различна од брзината на вртење на електромагнетното поле.

Од друга страна, според бројот на фазите електромоторите за наизменична струја можат да се поделат на:

- ❖ Еднофазни (синхрони или асинхрони) електромотори,
- ❖ Трифазни (синхрони или асинхрони) електромотори.

Еднофазните работат само на една фаза од трифазниот електричен систем, додека трифазните се приклучени на сите три фази на трифазниот електричен систем. Денес во светот најраспространет енергетски систем е трифазниот енергетски систем поради фактот што изворите на електрична енергија работат според принципот на создавање на трифазно вртливо електромагнетно поле и трифазна електрична моќност. Понатаму, преку преносниот и дистрибутивниот систем истите се пренесуваат до сите потрошувачи и можат да бидат користени како од еднофазните така и од трифазните потрошувачи на генерираната електрична енергија.

3.3.1.2.1. Синхрон електромотор

Синхрониот електромотор користи електрична енергија од енергетската мрежа и ја претвора во механичка енергија на ротација на роторот со што се постигнува извршување на определена механичка работа.

Принципот на работа на овој тип електромотор се состои во создавање на магнетно поле како резултат на поврзаност на роторот со еднонасочна струја, односно создавање на ротационо магнетно поле поради поврзаност на статорот со наизменична струја. Имајќи го предвид основното својство – да ротира со иста синхрона брзина, брзината на ротација (кај овој тип електромотор) е константа и не зависи од отповарувањето. Сепак промена на насоката на ротација се постигнува со промена на приклучоците на изворот на електрична енергија, промена на фаза и промена на фреквенција.

При впуштање во работа треба да се напомене дека синхрониот електромотор има специфична карактеристика која може да се реализира на неколку начини: со користење на специјални кратко сврзани намотки во роторот на машината, со користење на посебен асинхрон мотор за стартување или со користење на посебни полупроводнички впуштачи.

Поради правилото за непроменливост т.е. константност на брзината на ротација, синхрониот електромотор поретко се користи. Најголема примена наоѓа кај специфични работни механизми кај кои е неопходна константна брзина и во тој поглед има предност во споредба со другите типови електромотори.

3.3.1.2.2. Асинхрон електромотор

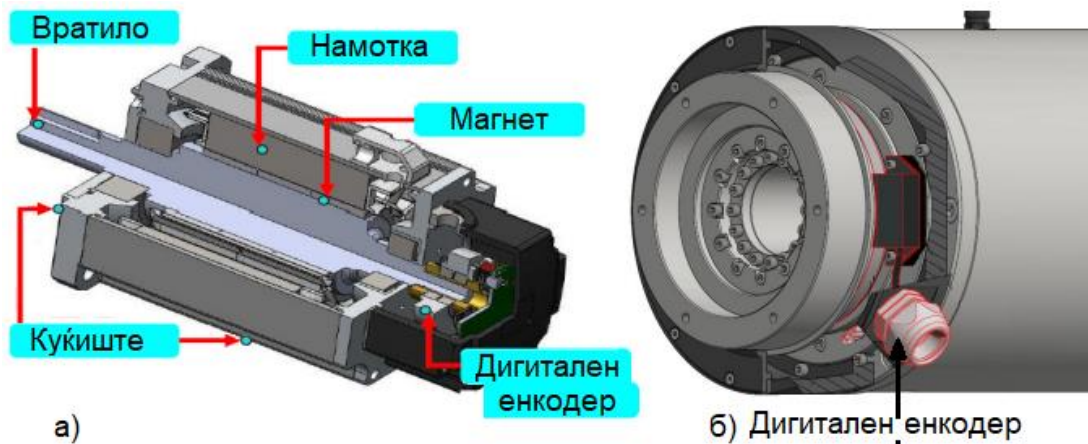
Принципот на работа на асинхрониот електромотор е доста едноставен и се базира на фактот дека намотката на статорот го создава вртливото електромагнетно поле, додека во намотката на роторот се индуцираат напоните и струите. Според конструктивната изведба брзината на роторот никогаш не може да ја достигне синхроната брзина на статорското поле и секогаш доцни зад него, поради што овој тип електромотор го добил својот назив.

Предности во споредба со другите електромотори се: пониска цена, едноставна конструкција, помал момент на инерција, сигурност и безбедност при работа, лесно одржување и сл. Недостатоците во најголема мера се однесуваат на начинот на стартување и условите во кои тоа настанува, како и неможноста за регулирање на брзината на ротација во широк дијапазон.

3.3.1.3. Сервомотор

Сервомоторот претставува електромотор во улога на извршен елемент кој овозможува прецизна контрола на линеарна или аголна позиција, брзина и забрзување. Се состои од соодветен електромотор поврзан со сензор за повратна врска. За негова употреба е неопходен и микрокомпјутер, односно соодветна управувачка единица која не само што ќе испраќа управувачки сигнали за активирање и управување на сервомоторот, туку ќе ги прима и обработува податоците добиени преку повратната врска.

Сервомоторот не припаѓа во специфична група т.е. класа на електромотори, а сепак неговата функција придонесува за разграничување од останатите електромотори. Во тој поглед сервомоторот претставува посебен тип електромотор наменет за употреба кај соодветни контролни системи кои користат повратни информации од сензор за контрола на самиот електромотор. Затоа и целокупниот контролен систем (со повратна врска) се смета за т.н. систем на сервомотор (сл.10а).



Слика 10: а) Сервомотор, б) Дигитален енкодер
Figure 10: a) Servo motor, b) Encoder

Примената на сервомоторот има особено значење во современото производство во кое се имплементираат: CNC металорезачки машини, автоматизирани машини, роботизирани машини, различни електронски уреди итн.

во кои има механизми или компоненти кои треба да се движат во прецизно дефинирани положби со определени брзини.

3.4. Работни елементи

Управувањето со работните елементи на секоја CNC металорезачка машина се заснова на работата на извршните елементи. Тие ги покрнуваат работните елементи со брзини и помести дефинирани во програмата, водејќи и позиционирајќи ги во точна положба (преку определена траекторија на движење).

Работните елементи можат да се управуваат на два начина: програмски (со главни функции) и системски (со помошни функции). Функциите кои се реализираат програмски се зададени во програмата и нивното активирање (и деактивирање) директно зависи од самата програма. Од друга страна, помошните функции кои се изведуваат системски се вградени во логиката на управување на управувачката единица и тие се независни од програмското управување.

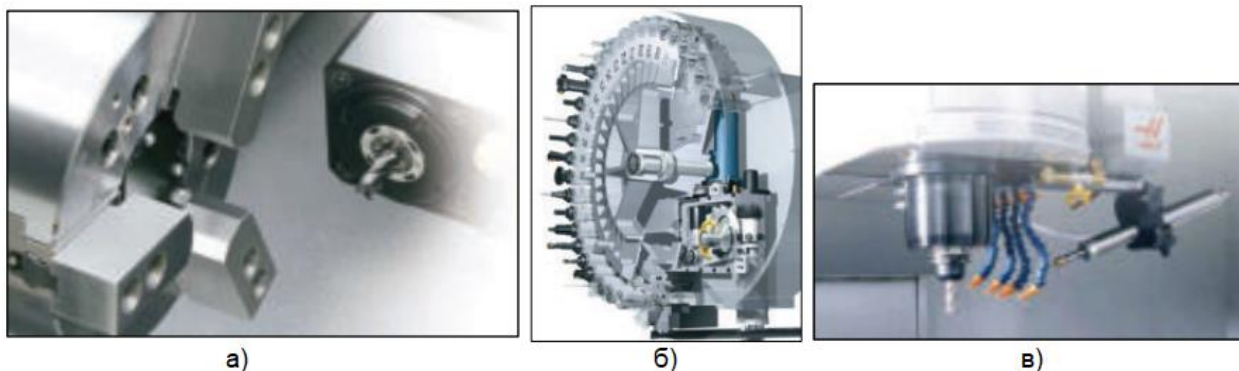
Следејќи ги *програмските функции*, управувачката единица управува со:

❖ *Главното и помошното движење* (сл.11а) – за кое програмската наредба т.е. сигналот од управувачката единица се проследува до секој извршен елемент поединечно. Понатаму секој од нив преку сопствениот вртежен момент обезбедува ротационо, односно транслаторно движење на работните елементи на машината за вредноста на програмираните големини,

❖ *Уредите за промена на режниот алат* (сл.11б) за кои, по програмската наредба за промена на режен алат управувачката единица испраќа управувачки сигнал до извршниот елемент на уредот. Потоа уредот се поместува (или ротира) за да го постави режниот алат во соодветна работна положба, притоа реализирајќи т.н. логика на насока која дејствува според принцип на поместување до дефинираната работна положба по најкраток можен пат. На тој начин времето за промена на режниот алат во процесот на обработка значително се намалува,

❖ *Системот за ладење* (сл.11в) преку кој се доведува средство за ладење во зоната на режење. Врз основа на примената програмска наредба, управувачката единица испраќа управувачки сигнал до извршниот елемент на системот за

ладење за да се вклучи, односно да се исклучи истиот. На тој начин програмски се активира и деактивира системот за ладење,



Слика 11: Работни елементи на CNC металорезачка машина
Figure 11: Functions of a CNC machine tool

За *помошни функции* се сметаат системите за: подмачкување, промена на работниот предмет, осветлување, брзо стегање и отпуштање на работниот предмет, доведување на материјал низ шупливо работно вретено, блокирање, транспорт на струготини итн. Тие се реализираат преку определени уреди кои припаѓаат на функционалниот систем на CNC металорезачката машина и се вградени во логиката на управување на самата машина па затоа програмата за управување нема никакво влијание врз начинот на нивно функционирање.

Управувачката единица не само што управува со извршните и работните елементи (на CNC металорезачката машина) во процесот на обработка со режење, туку изведува континуирано мерење и следење на големините кои фигурираат во него, кои се мерат и регистрираат преку мерниот систем.

3.5. Мерен систем

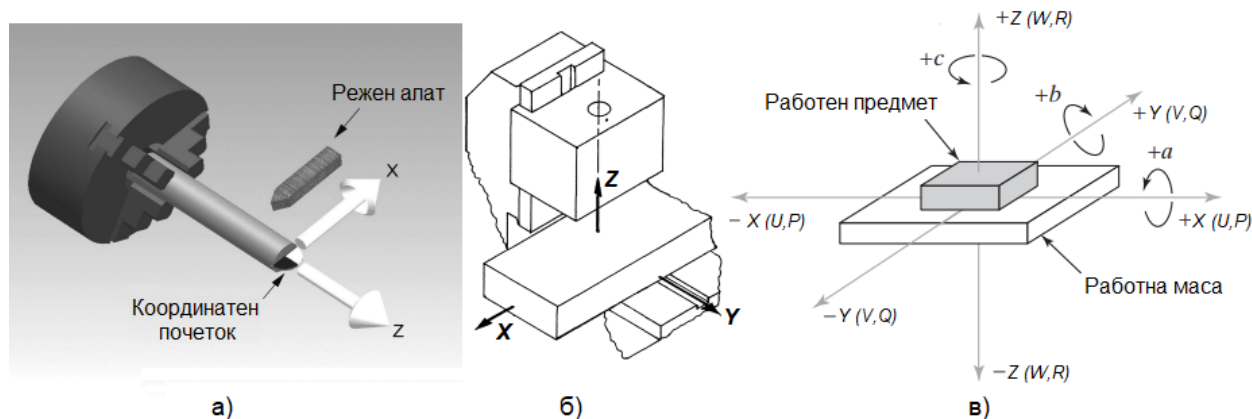
Имплементирањето на мерен систем произлегува од потребата за постигнување на дефинираната точност на димензии и квалитет на обработена површина на работниот предмет во секој процес на обработка. Преку мерниот систем се определува положбата и брзината на работните елементи, како и стапката на оптоварување на извршните елементи при обезбедување погон на работните елементи.

3.5.1. Мерење на положба

Мерењето на положба се базира на мерниот сигнал добиен од сензор интегриран во соодветен мерен инструмент т.е. дигитален енкодер (сл.10б). Тој има функција за точно водење, позиционирање и следење на движењето на работниот елемент во дефиниран координатен систем.

Координатниот систем е дефиниран со просторните X, Y, Z координатни оски. Ориентацијата на координатниот систем секогаш започнува од Z оската, како координатна оска која е паралелна на (или се совпаѓа со) оската на главното работно вретено. Кај тридимензионалниот координатен систем за позитивна насока се смета делот од координатната оска – од работниот предмет кон работниот елемент т.е. во насока на зголемување на растојанието од работниот предмет кон работниот елемент (сл.12б, сл.12в), додека кај дводимензионалниот е растојанието од главното работно вретено кон работниот елемент (сл.12а).

Според слика 12(в), ротационото движење околу X, Y, Z координатните оски се означува со a, b, c . Доколку, покрај движење во правец на трите координатни оски се врши и програмирање на движење во паралелни правци, тогаш секундарните оски се означуваат со U, V и W а терцијалните со P, Q и R .



Слика 12: Координатен систем кај CNC металорезачки машини
Figure 12: Coordinate system in CNC machine tools

3.5.2. Мерење на брзина

Покрај мерење на положба преку мерниот инструмент – дигитален енкодер се овозможува и мерење на брзината на движење, односно брзината на главно и помошно движење на секој работен елемент кои во процесот на обработка со режење директно влијаат на квалитетот на обработената површина.

Брзината на *главното движење* ја претставува брзината на режење. За постигнување идентичен квалитет на сите обработени површини е неопходно воспоставување и контрола на константна брзина на режење без разлика на промена на дијаметарот на режење. За да ја задржи брзината на режење константна, за секој дијаметар на режење управувачката единица го менува бројот на вртежи на главното работно вретено. Во тој поглед за најмалиот дијаметар бројот на вртежи е најголем, а со зголемување на дијаметарот бројот на вртежи се намалува. За дијаметар 0 (теоретски) бројот на вртежи би бил бескрајно голем, односно во даден момент управувачката единица би генерирала максимален број вртежи, што може да предизвика хаварија (и е непожелно). Затоа, покрај брзината на режење, се мери т.е. следи и бројот на вртежи, кој се ограничува на програмски зададениот максимален број вртежи.

Брзината на *помошното движење* е поврзана со кинематската зависност помеѓу главното и помошното движење. За процес на обработка со режење во кој не постои кинематска зависност помеѓу главното и помошното движење како параметар се зема брзината на помошно движење, а во спротивно – поместот.

3.5.3. Мерење на оптоварување

Извршните елементи во улога на погонски системи кои управуваат со работните елементи на секоја CNC металорезачка машина се проследени со соодветно оптоварување.

Мерењето и следењето на вредноста на оптоварувањето на секој извршен елемент кој учествува во процесот на реализација на главното и помошното движење може да биде изведено преку повеќе мерни големини како што се: сила

на режење, вртежен момент, моќност итн. Од друга страна, како управувани големини кои влијаат, но и придонесуваат за регулирање на оптоварувањето се сметаат технолошките параметри кои го дефинираат режимот за обработка како што се: брзина главно движење – брзина на режење, односно број на вртежи, потоа брзина на помошно движење, односно помест и длабочина на режење.

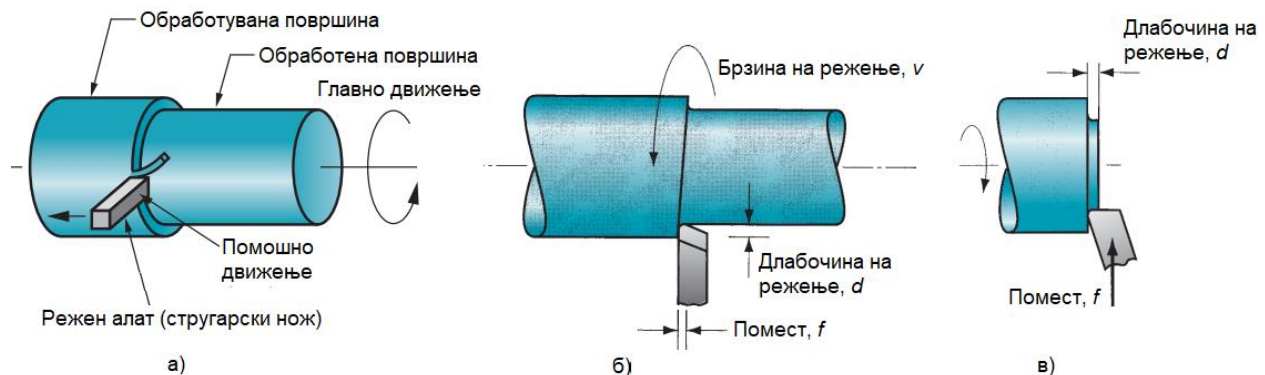
Мерниот систем за мерење на оптоварувањето има за цел да овозможи процес на обработка во кој оптоварувањето на секој извршен елемент се движи во рамки на дозволеното притоа не надминувајќи ја граничната вредност на максималното оптоварување. Повратната информација за измерената вредност на оптоварувањето (која преку повратната врска се пренесува до управувачката единица на машината) придонесува за максимална безбедност, сигурност и точност при реализација на секој процес на обработка на определена CNC металорезачка машина.

4. CNC СТРУГ

CNC стругот претставува најраспространет тип CNC металорезачка машина наменета за обработка на внатрешни и надворешни, рамни, конусни и профилирани површини на метални работни предмети со цилиндрична (и конусна) форма кај сите видови сериско, но и во поединечното производство.

4.1. Процес на обработка со стругање

Процесот на обработка на струг кој уште се нарекува и процес на обработка со стругање претставува принцип на обработка со режење. Принципот се базира на методите за изработка и обликување на работни предмети со цилиндрична (и конусна) форма по механички пат т.е. преку ротационо (главно) движење на работниот предмет и праволиниско (помошно) движење на режниот алат (сл.13а), во насока на отстранување на непотребниот материјал и промена на: обликот, димензиите, рапавоста на обработената површина и карактеристиките на површинскиот слој на работниот предмет.



Слика 13: а) Принцип на обработка, б) Надолжно стругање, в) Попречно стругање
Figure 13: a) Principle for a cutting operation, b) Turning operation, c) Facing operation

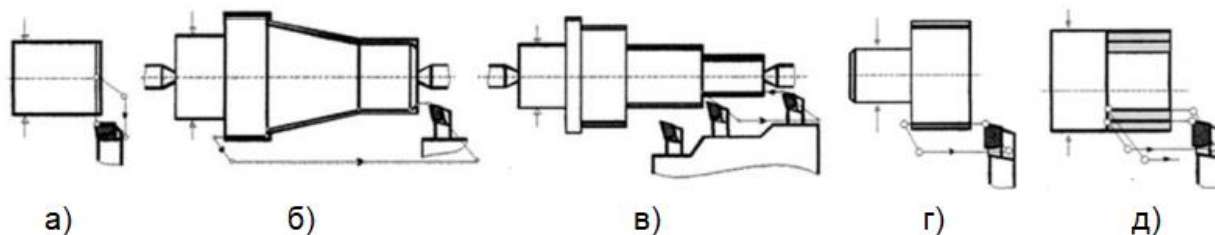
4.1.1. Структура на процес на обработка со стругање

Процесот на обработка со стругање е структуриран (и реализиран) врз основа на *технолошката подготовка*. Имено, технолошката подготовка го прикажува начинот на трансформација на почетното парче во готов производ во секоја фаза од процесот дефинирана како технолошка операција.

Технолошката операција претставува збир на директни и помошни дејства кои се преземаат за реализирање на една целина од процесот на обработка на конкретна машина со една подготовка на машината. Бројот на технолошки операции од кои се состои една технолошка подготовка директно зависи од обликот и комплексноста на самиот работен предмет. Технолошката операција се состои од: зафати и премини.

Под *зафат* се подразбира секоја основна (или директна) елементарна операција т.е. метод за истовремена обработка на една или повеќе површини со еден или повеќе режни алати. Постојат три вида зафати:

- ❖ Елементарен зафат (сл.14а) за обработка на една површина со еден режен алат,
- ❖ Сложен зафат (сл.14б) за обработка на повеќе површини со единечно надолжно (или попречно) поместување на режниот алат постигнувајќи финално обликување на сложена контурна површина,
- ❖ Групен зафат (сл.14в) за истовремена обработка на неколку површини со неколку режни алати со цел формирање на точно дефинирана контурна површина.



Слика 14: Зафати и премини во процес на обработка со стругање
Figure 14: Cutting process operations and passes

За *премин* се смета дел од зафатот во кој со еден режен алат се отстранува само еден слој непотребен материјал. Количината на отстранетиот материјал, вклучувајќи ги и точноста и квалитетот на новодобиената површина го определува типот на обработката за еден премин. Конкретно, со *груба (претходна)*

обработка се отстранува што е можно поголема количина непотребен материјал, а со *фина (завршна) обработка* се отстранува помала количина непотребен материјал, соодветна за постигнување на потребната точност и квалитет на новодобиената површина.

Еден (сл.14г), два (сл.14д) или повеќе премини формираат зафат при што со последниот премин преку кој се комплетира зафатот се финализира и процесот на формирање на одредена контурна површина на работниот предмет.

За правилно планирање на процесот на обработка со стругање, односно за правилна реализација на технолошката подготовка е потребно да се определат оптималните технолошки параметри кои го дефинираат режимот за обработка.

4.1.2. Режим за обработка во процес на обработка со стругање

Режимот за обработка е од суштинско значење за квалитетот, точноста, времетраењето, рентабилноста и продуктивноста на процесот на обработка, трајноста на режниот алат како и степенот на искористеност на машината.

Режимот за обработка во процесот на обработка со стругање (надолжно стругање (сл.13б) и попречно стругање (сл.13в)) се дефинира со:

- ❖ Брзина на режење $v[m/min]$, односно број на вртежи $n[vrt/min]$,
- ❖ Брзина на помошно движење $v_p[mm/min]$, односно помест $f[mm/vrt]$,
- ❖ Длабочина на режење $d[mm]$.

Брзината на режење (v) ја претставува обемната брзина на работниот предмет. Аналогно на фактот дека различни точки од сечилото на режниот алат се во контакт со различни дијаметри, за брзина на режење секогаш се смета обемната брзина која одговара на максималниот дијаметар на работниот предмет. При мали длабочини на режење разликата е незначителна, но при обработка на поголеми длабочини на режење настанува мошне значајна разлика на брзината на режење во различни точки на сечилото на режниот алат.

Брзината на режење во улога на брзина на главно движење во процесот на обработка со стругање, го претставува патот кој го поминува определена точка на

периферијата на работниот предмет (која е во зафат со алатот за режење) во правец на главното движење за единица време [m/min], односно бројот на вртежи (n) на работниот предмет во единица време [vrt/min].

Брзината на помошно движење, односно поместот се дефинира врз основа на кинематската зависност помеѓу главното и помошното движење. За процес на обработка со стругање во кој не постои кинематска зависност помеѓу главното и помошното движење како параметар се зема *брзината на помошно движење* (v_p) која го претставува линеарното поместување на режниот алат во единица време [mm/min]. Во спротивно *поместот* (f) го претставува аксијалното поместување на режниот алат во правец на помошното движење, за еден вртеж на работниот предмет [mm/vrt].

Длабочина на режење (d) претставува дебелина на материјал во милиметри [mm], кој се отстранува од работниот предмет во процесот на обработка со стругање. Длабочината на режење во суштина го претставува нормалното растојание помеѓу обработуваната и обработената површина, односно дебелината на слој непотребен материјал кој се одвојува од работниот предмет при продирање на сечилото од режниот алат.

4.1.3. Режен алат во процес на обработка со стругање

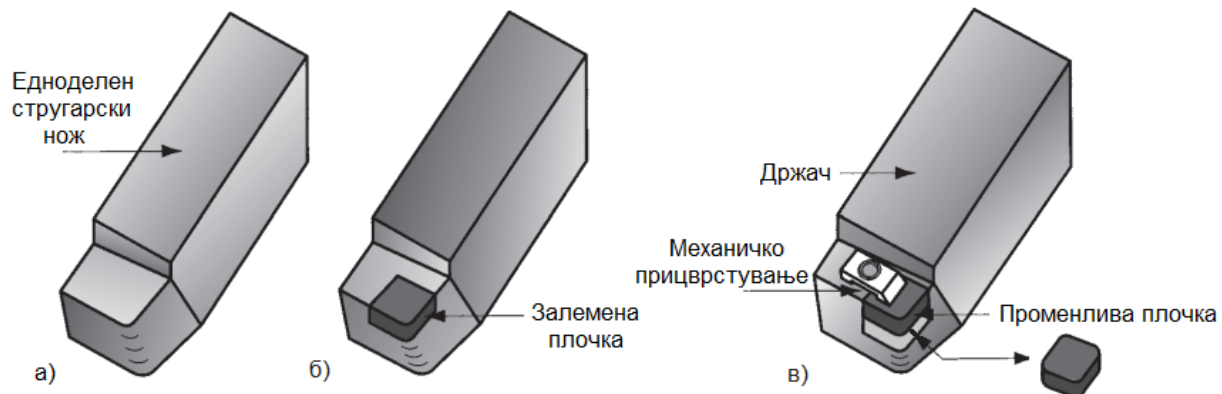
Режниот алат кој се користи во процесот на обработка со стругање се нарекува стругарски нож.

Секој стругарскиот нож се класифицира според неколку критериуми: *основната форма* (прав и свиткан), *насоката на движење* (лев, десен и челен), *конструкцијата* (стандарден и специјален), *видот на обработката* (за надворешна обработка, внатрешна обработка, засекување, отсекување, изработка на навои и др.), *квалитетот на обработената површина* (за груба – претходна обработка и за фина – завршна обработка), *попечниот пресек на држачот* (правоаголен, квадратен и цилиндричен), *материјалот на сечилото* (стругарски нож од брзорезен челик, стругарски нож со залемена плочка од тврди метали и

стругарски нож со променлива плочка од тврди метали, супер тврди метали и керамика).

4.1.3.1. Поделба според материјалот на сечилото

Според материјалот од кој е изработено сечилото, стругарскиот нож се класифицира како:



Слика 15: Стругарски ножеви
Figure 15: Cutting tools

❖ *Стругарски нож од брзорезен челик* (сл.15а) претставува едноделен профилен нож наменет за обработка на сложени профилни површини. Профилот на сечилото на стругарскиот нож е специјално изработен според контурата која треба да се постигне во процесот на обработка со стругање. Стругарскиот нож од овој тип може да се остри сè до целосно истрошување,

❖ *Стругарски нож со залемена плочка од тврди метали* (сл.15б) претставува дводелен режен алат. Се состои од држач изработен од конструктивен челик на кој е залемена плочка од тврд метал. Како и стругарскиот нож изработен од брзорезен челик, исто и стругарскиот нож со залемена плочка може да се остри сè до целосно истрошување на залемената плочка, а потоа е неупотреблив. Основниот облик и димензии на овој тип стругарски нож се стандардизирани, но сепак поретко се користат во денешното, современо производство поради високите трошоци за изработка, одржување и експлоатација,

❖ *Стругарски нож со променлива плочка од тврди метали, супер тврди метали и керамика* (сл.15в) претставува дводелен режен алат кој е

најприменуван во денешните процеси на обработка со стругање. Се состои од држач и променлива плочка.

Држачот го претставува прифатниот и стегачки дел од стругарскиот нож. Неговата главна функција е правилно поставување, базирање и стегање на стругарскиот нож во соодветен носач на машината. Се произведува од конструктивен челик, а во зависност од намената и функцијата, конструктивната изведба се разлизира со кружен, квадратен или правоаголен попречен пресек. Секој држач и променливата плочка која се вметнува во него се стандардизирани.

Променливата плочка вршејќи режење на непотребниот материјал од предметот кој се обработува ја исполнува својата основна функција на режен елемент. Се изработува со различни: димензии, геометрија, форма (триаголна, квадратна, ромбоидна, кружна, повеќеаголна, специјална), материјал (тврди метали, супер тврди метали и керамика) согласно барањата за квалитет на површината која се обработува. Во текот на реализирање на процесот на обработка плочката не се остри, туку по истрошување на режниот раб, секоја плочка рачно се ослободува од врската со држачот, се завртува за да се избере ново остро сечило и повторно се прицврстува. Оваа постапка продолжува се додека не се искористат сите сечила на плочката за потоа истата да се замени со нова.

Секоја комбинација на држач и променлива плочка која механички се прицврстува во него формира посебен тип стругарски нож. Правилниот избор на стругарскиот нож директно зависи од видот на производната операција која се изведува во процесот на обработка со стругање.

4.1.4. Производни операции со стругање

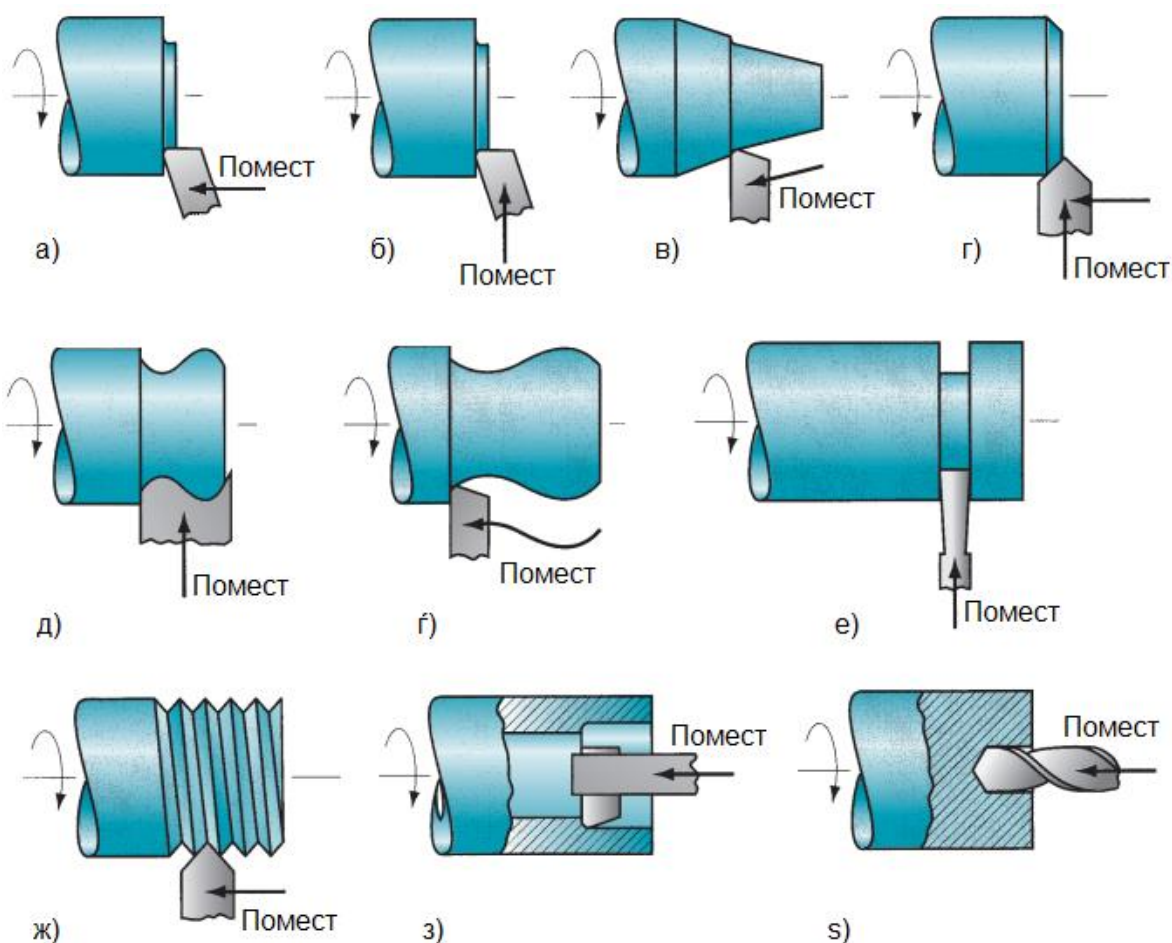
Релативното движење на режниот алат во однос на работниот предмет го дефинира видот на производната операција која се изведува во процесот на обработка со стругање. Конкретно:

❖ Кај *надолжното стругање* насоката на движење на режниот алат е паралелна на оската на ротација на работниот предмет, со што се овозможува

изработка на: цилиндрични површини (сл.16а), навои (сл.16ж), отвори (сл.16с), обработка на отвори (сл.16з), симнување на остри рабови (сл.16г) итн.

❖ Кај *попречното стругање* насоката на движење на режниот алат е нормална на оската на ротација на работниот предмет и на тој начин се постигнува: челно порамнување (сл.16б), контурно профилирање (сл.16д), вкопување (сл.16е), симнување на остри рабови (сл.16г) и др.

❖ Кај *конусното* (сл.16в) и *профилното стругање* (сл.16ф) режниот алат се движи во правец на две координатни оски, истовремено реализирајќи два поместа – надолжен и попречен.



Слика 16: Производни операции со стругање
Figure 16: Operations related to turning

5. ИСТРАЖУВАЊЕ

Истражувањето во овој магистерски труд се однесува на процес на производство на главина со каталошка ознака 3951.32.33 (Прилог 2), составен дел на спојките за автомобили кои се произведуваат во фабриката за спојки „RUEN – INOX Automobile“ во Кочани. Компонентите и начинот на реализација на процесот на производство се дефинирани и условени од конкретни активности однапред зададени во технолошката подготовка.

5.1. Технолошка подготовка

За производство на главината е предвидено соодветно почетно парче т.е. отковка со каталошка ознака 3951.32.33/К (Прилог 1). Отковката се произведува во погон „Ковачница“ по претходно дефинирани конструктивен цртеж и технолошка подготовка. Затоа процесот на производство на отковката не фигурира како технолошка операција во склоп на технолошката подготовка, туку претставува однапред планиран и реализиран процес.

Процесот на производство т.е. процесот на трансформација на отковката во готов производ се дефинира и реализира согласно технолошката подготовка (Прилог 3). Се состои од неколку технолошки операции кои можат да се сметаат за независни потпроцеси и да се анализираат како поединечни процеси. Имено:

❖ *Технолошката операција 10* (лист 3, Прилог 3) претставува процес на термичка обработка – подобрување на отковката. По финализирање на овој процес се зголемува тврдината на отковката и се подобруваат механичките карактеристики на материјалот за следните фази во процесот на обработка,

❖ *Технолошката операција 20* (лист 4, Прилог 3) претставува процес на обработка со стругање на кратката страна на отковката. Во овој процес практично започнува обликувањето на главината преку промена на димензиите и квалитетот на површината согласно однапред дефинирани параметри. Предвидена машина на која се изведува овој процес е CNC Hitachi Seiki Seicos LIII стругот,

❖ *Технолошката операција 30* (лист 5, Прилог 3) претставува процес на обработка со стругање. Се реализира на истиот CNC Hitachi Seiki Seicos LIII струг предвиден за претходната технолошка операција. Иако типот на обработката е ист како и во претходната технолошка операција сепак станува збор за различен процес т.е. процес на обработка со стругање на долгата страна на отковката,

❖ *Технолошката операција 40* (лист 6, Прилог 3) претставува процес на провлекување на отковката. Се имплементира на универзална хоризонтална провлекувачка „СМ Кігова“. Во процесот на провлекување, се изработува назабен профил во внатрешниот отвор на отковката кој соодветствува на димензиите на цртежот претставен во операциониот лист,

❖ *Технолошката операција 50* (лист 7, Прилог 3) претставува процес на обработка со глодање. Се изведува на универзална глодалка со назив „Hurth“. Во овој процес, по надворешниот дијаметар, односно на надворешниот дел на отковката (по кружен распоред), со примена на специјалниот режен алат фазонско глодало, се изработува надворешно назабување,

❖ *Технолошката операција 60* (лист 8, Прилог 3) претставува процес на индукционо калење. Процесот на индукционо т.е. селективно калење се применува исклучиво на надворешното назабување на отковката, во насока на продолжување на векот на траење на дискот при неговата експлоатација во возилото,

❖ *Технолошката операција 70* (лист 9, Прилог 3), како последна технолошка операција го претставува процесот на фосфатирање. Имплементацијата на овој процес придонесува за создавање хемиска обвивка по надворешната површина на главината во насока на заштита (и превенција) од корозија.

Целокупниот процес на производство на главината структуриран од независни потпроцеси т.е. поединечни процеси се реализира на универзални и CNC металорезачки машини. Во продолжение ќе бидат разгледани само процесите во кои се истакнува компјутерското управување, односно процесите на обработка со стругање реализирани на CNC Hitachi Seiki Seicos LIII стругот (сл.17).



Слика 17: CNC Hitachi Seiki Seicos LIII струг
Figure 17: CNC Hitachi Seiki Seicos LIII lathe machine

5.2. Структура, анализа и реализација на процесите на обработка со стругање

Компјутерското управување, неговите карактеристики и начинот на имплементација на споменатиот струг овозможува двата процеси на обработка со стругање да се претстават и анализираат како два системи на компјутерско управување со повратна врска. Реализирањето на овие процеси т.е. системи е директно поврзано со управувањето на функционалната зависност на компонентите кои ја формираат структурата на самиот струг.

5.2.1. Програми и управувачка единица на стругот

Програмите за управување на стругот се составени од различни програмски наредби кои произлегуваат од геометриските и технолошките информации во технолошките операции (лист 4 и лист 5, Прилог 3) респективно на секој процес на обработка со стругање.

Поаѓајќи од геометриските информации програмерот креира соодветни програмски наредби со земање предвид на: начинот на изведување на процесот на обработка со стругање – редоследот на зафати и премини, стегачките, режните и мерните алати, дефинираната траекторија на движење на режниот алат во однос на работниот предмет итн.

Познавајќи го типот на режниот алат избран за секој премин (во секој процес на обработка со стругање) и неговите геометриски карактеристики програмерот ги определува технолошките информации т.е. режимот за обработка за секој премин планирајќи ги: брзината на главно движење, брзината на помошно движење, длабочината на режење, промената на режен алат, вклучувањето и исклучувањето на системот за ладење итн.

Врз основа на сите геометриски и технолошки информации програмерот формира соодветни програмски наредби во програмите за управување на стругот (Прилог 4 и Прилог 5) во насока на управување на секој процес на обработка со стругање. Во секој процес на обработка со стругање (анализиран како систем на компјутерско управување со повратна врска) дефинираните програмски наредби ги претставуваат влезните големини на процесот.

Во тој поглед, за влезни големини се сметаат: вредноста на X, Y, Z координатите на движење на работните елементи, брзината на главното движење $v[m/min]$, брзината на помошното движење $v_p[mm/min]$ и длабочината на режење $d[mm]$.

5.2.2. Анализа на процеси на обработка со стругање

Имајќи го предвид карактерот на влезните големини, за реализација на секој систем т.е. процес на обработка со стругање неопходна е строго определена зависност на движење на работните елементи на стругот во дефиниран координатен систем, односно строго определена кинематика на релативно движење помеѓу работниот предмет и режниот алат.

Според првото барање, споменатиот струг има современ начин на компјутерско управување во правец на трите X, Y, Z координатни оски. Од аспект на конструкцијата е покомлексен од стандардните стругови со две управувани координатни оски: X и Z . Трите координатни оски формираат тридимензионален координатен систем во кој Z координатната оска се совпаѓа со оската на главното работно вретено, X координатната оска е надолжна оска и Y координатната оска е попречна оска.

Според второто барање, ротационото движење на работниот предмет го претставува главното движење во процесот на обработка со стругање. Оттаму брзината на режење (v) ја претставува брзината на главното движење во единица време [m/min]. Линеарното поместување на режниот алат во единица време [mm/min] го претставува помошното движење кое го изведува режниот алат т.е. брзината на помошно движење (v_p). Во двата процеси на обработка со стругање не постои кинематска зависност помеѓу главното и помошното движење.

Откако се исполнети претходните барања во продолжение се претставени двата процеси на обработка со стругање. Притоа првиот процес ја претставува втората технолошка операција (технолошка операција 20), а вториот процес ја претставува третата технолошка операција од технолошката подготовка (технолошка операција 30). За секој процес (етапно) се прикажани: дводимензионален приказ на работниот предмет во AutoCAD софтверот за дводимензионално конструирање, предвидената вредност на координатите на движење на работните елементи во правец на X, Y, Z координатните оски, геометриските карактеристики на предвидениот режен алат и аналитичката вредност на предвидениот режим за обработка. Предвидениот режим за обработка е поврзан со геометриските карактеристики на предвидениот режен алат конкретно специјалниот сврдел и стругарските ножеви (како комбинација на држачи и променливи плочки) за кои се земаат предвид:

- ❖ Формата на променливата (режна) плочка,

- ❖ Нападниот агол $k[^\circ]$ – аголот помеѓу работното сечило на режниот алат и правецот на поместот,
- ❖ Помошниот нападен агол $k_1[^\circ]$ – аголот помеѓу помошното сечило на режниот алат и правецот на поместот,
- ❖ Аголот на наклон на режниот раб $\lambda[^\circ]$ – аголот помеѓу основната рамнина и работното сечило од режниот алат,
- ❖ Предниот агол $\gamma[^\circ]$ – аголот помеѓу нормалата на режната рамнина и предната површина на режниот алат,
- ❖ Радиусот на заоблување на врвот на ножот $r[mm]$,
- ❖ Ефективната должина на режниот раб $l[mm]$,
- ❖ Корисната должина на режење $t[mm]$,
- ❖ Дијаметарот на режење $a[mm]$.

5.2.2.1. Прв процес на обработка со стругање

Првиот процес на обработка со стругање се однесува на обработка на кратката страна на отковката. Започнува со изработка на отвор по должината на отковката, а потоа продолжува (и завршува) со надолжна и попречна, груба и фина обработка со стругање. Се реализира со еден сложен зафат, со една подготовка на стругот за изведување на процесот. За постигнување на крајните димензии на кратката страна на отковката согласно барањата за обликот и комплексноста на контурната површина (лист 4, Прилог 3), при креирање на програмата за управување на стругот (Прилог 4) се предвидуваат четири премини.

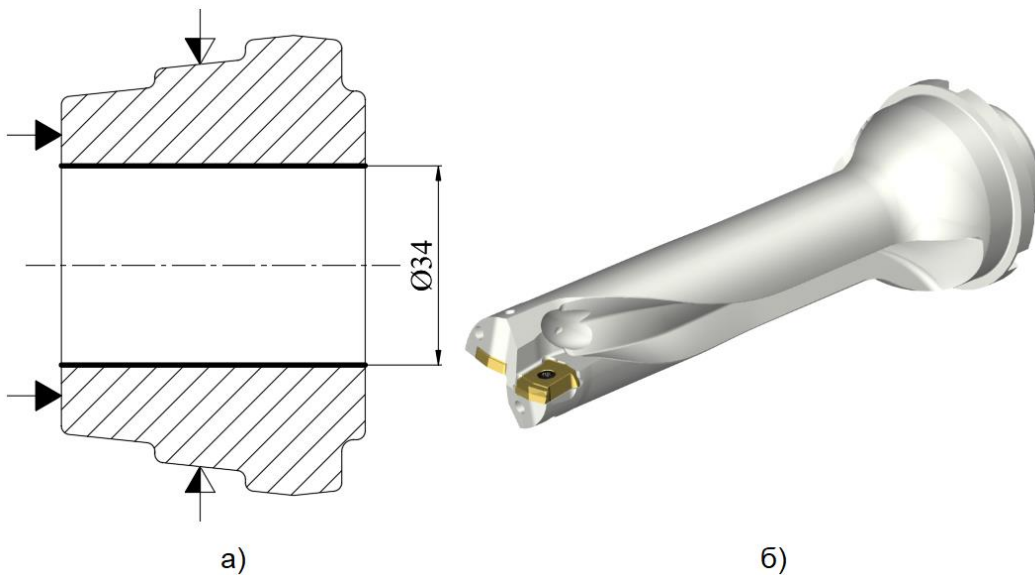
5.2.2.1.1. Прв премин – изработка на отвор

Преку првиот премин (сл.18а) се изработува отвор со дијаметар $34mm$ по целата должина на отковката. Предвидениот режен алат за реализирање на овој премин е специјален сврдел за длабоко дупчење т.н. топовски сврдел, тип DS20–D3400DM40–04 од производител SANDVIK Coromant (сл.18б). Во сврделот се вметнуваат две променливи плочки (тип DS20–0508–C, односно DS20–0508–P). Внатрешната променлива плочка служи за водење, континуирано оформување и

одржување на оската на отворот по идеално права линија. На тој начин се постигнува концентричност на дијаметарот на кружницата која се формира по должината на отковката. Надворешната плочка е наменета за континуирано постигнување на димензионална точност на дијаметарот на отворот во текот на реализирање на циклусот на негова изработка.

Поради перформансите на топовскиот сврдел за реализирање на циклусот на изработка на отворот е доволен само еден премин.

Геометриските карактеристики на топовскиот сврдел се определени со:
 $k = 81^\circ$, $\lambda_1 = 0^\circ$, $\lambda_2 = 0^\circ$, $r_1 = 0,35mm$, $r_2 = 0,8mm$, $a = 34mm$, $t = 137mm$.



Слика 18: а) Прв премин, б) Топовски сврдел со променливи плочки
 Figure 18: a) First pass, b) Straight-flute drill that uses indexable inserts

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.1),
 $v = 450 [m/min]$, $v_p = 0,07 [mm/min]$ и $d = \div 56 [mm]$.

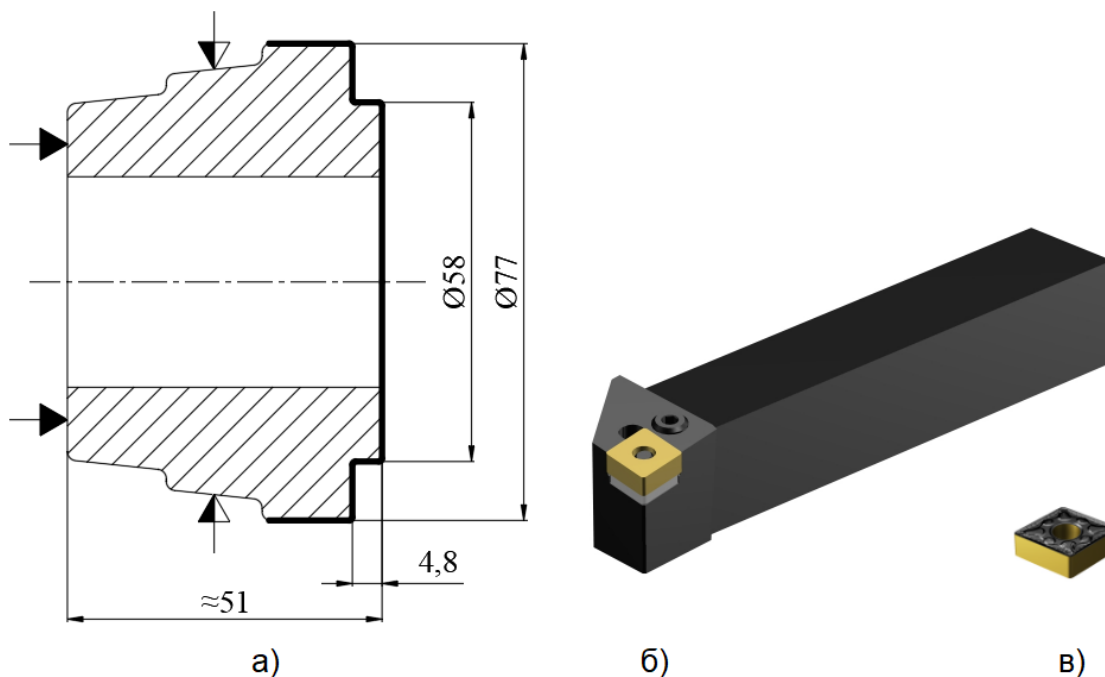
Табела 1: X, Y, Z координати
 Table 1: X, Y, Z coordinates

X	0			
Y	0			
Z	30	4	-56	10

5.2.2.1.2. Втор премин – груба обработка со стругање

Вториот премин (сл.19а) претставува надолжна и попречна груба обработка на надворешната контура на отковката. За реализирање на овој премин како режен алат е предвиден стругарски нож, комбинација од држач PCLNR 2525M 12 (сл.19б) и квадратна променлива плочка CNMG 12 04 08–PM 4325 (сл.19в) од производител SANDVIK Coromant.

Геометриските карактеристики на стругарскиот нож се определени со: $k = 95^\circ$, $k_1 = -5^\circ$, $\lambda = -6^\circ$, $\gamma = -6^\circ$, $r = 0,8mm$, $l = 12mm$.



Слика 19: а) Втор премин, б) Држач, в) Плочка
Figure 19: a) Second pass, b) Shank tool, c) Indexable insert

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.2), $v = 750 [m/min]$, $v_p = 0,12 [mm/min]$ и $d = 1,2 \div 2,8 [mm]$.

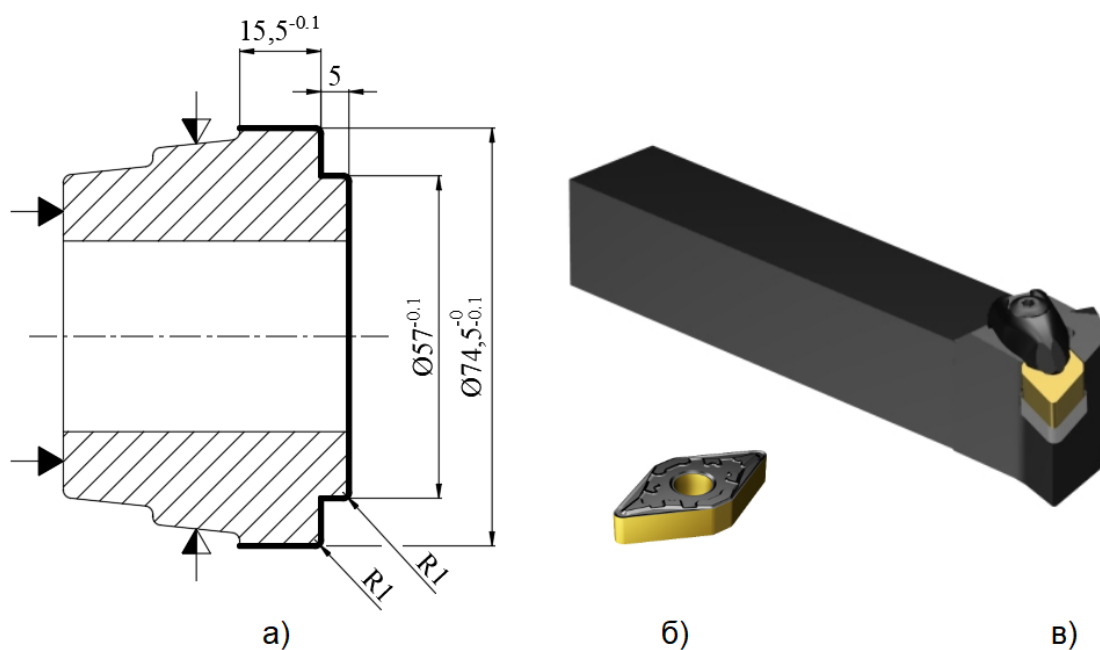
Табела 2: X, Y, Z координати
Table 2: X, Y, Z coordinates

X	82	58.7	33	55	58	77			
Y	0								
Z	10	-5.7	-1.1	2	-1.2	-2	-5.9	-23	10

5.2.2.1.3. Трет премин – фина обработка со стругање

Третиот премин (сл.20а) претставува контурен премин со кој се постигнува fino обработена површина по контурата на сложениот профил. За реализирање на овој премин како режен алат е предвиден стругарски нож, комбинација од држач DDHNL 2525M 15 (сл.20в) и ромбоидна променлива плочка DNMG 15 06 08–KF 3225 (сл.20б) од производител SANDVIK Coromant.

Геометриските карактеристики на стругарскиот нож се определени со: $k = 107,5^\circ$, $k_1 = -17,5^\circ$, $\lambda = -7^\circ$, $\gamma = -6^\circ$, $r = 0,8\text{mm}$, $l = 14,7\text{mm}$.



Слика 20: а) Трет премин, б) Плочка, в) Држач
Figure 20: a) Third pass, b) Indexable insert, c) Shank tool

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.3), $v = 800 [m/min]$, $v_p = 0,2 [mm/min]$ и $d = 0,5 \div 1,2 [mm]$.

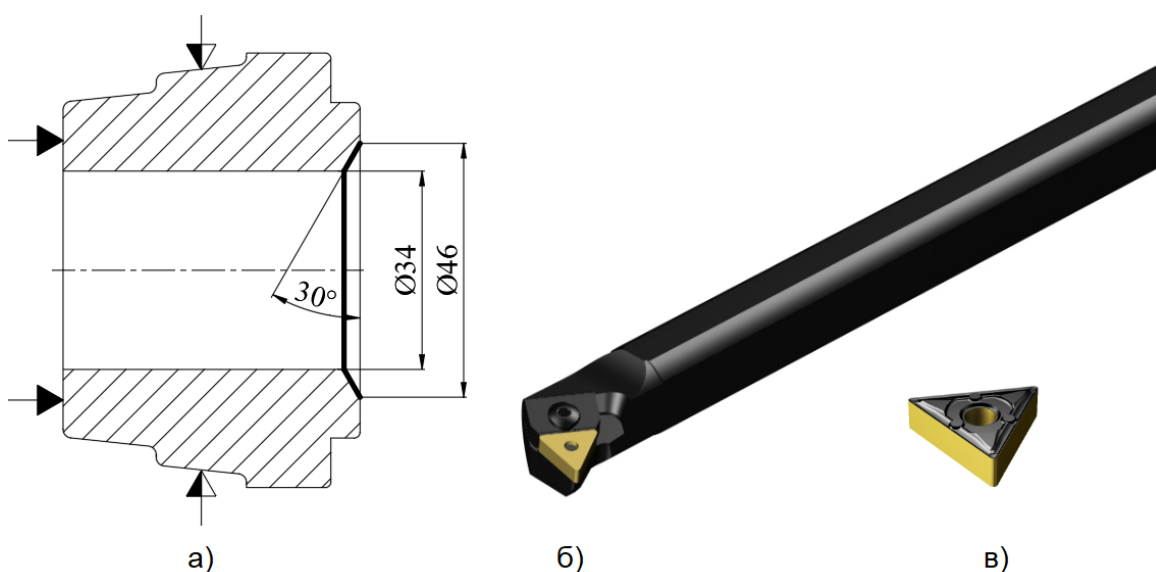
Табела 3: X, Y, Z координати
Table 3: X, Y, Z coordinates

X	33	53	56.8	70.5	74.4	73.4	76	
Y	0							
Z	10	4	-0.5	-2	-5.5	-7	-21.9	10

5.2.2.1.4. Четврт премин – фина обработка со стругање

Четвртиот премин (сл.21а) се однесува на закосување на работ на отворот претходно изработен со топовскиот сврдел. За реализирање на овој премин како режен алат е предвиден стругарски нож, комбинација од држач S25T–PTFNR16 16–W (сл.21б) и триаголна променлива плочка TNMX 16 04 08–WF 1515 (сл.21в) од производител SANDVIK Coromant.

Геометриските карактеристики на стругарскиот нож се определени со: $k = 91^\circ$, $k_1 = -1^\circ$, $r = 0,8mm$, $l = 15,7mm$.



Слика 21: а) Четврт премин, б) Држач, в) Плочка
Figure 21: a) Fourth pass, b) Shank tool, c) Indexable insert

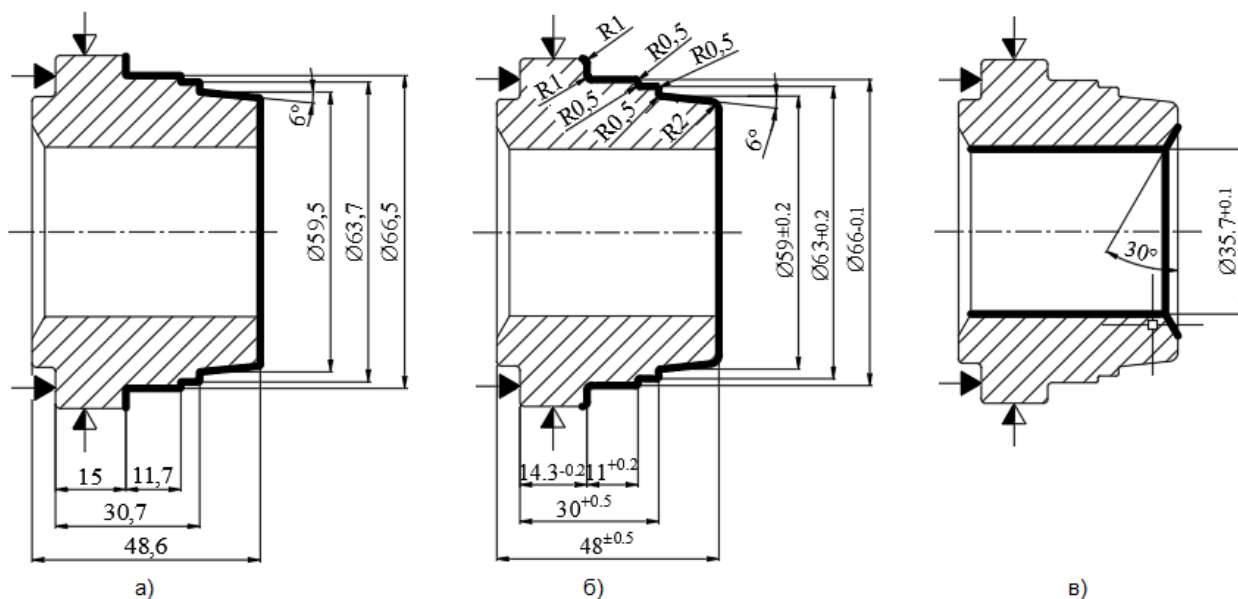
Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.4), $v = 750 [m/min]$, $v_p = 0,12 [mm/min]$ и $d = \pm 2,7 [mm]$.

Табела 4: X, Y, Z координати
Table 4: X, Y, Z coordinates

X	47	30			
Y	0				
Z	10	2	-1	-5.5	10

5.2.2.2. Втор процес на обработка со стругање

Вториот процес на обработка со стругање се однесува на надолжна и попречна, груба и фина обработка со стругање на долгата страна на отковката. Се реализира со еден сложен зафат, со една подготовка на стругот за изведување на процесот. За постигнување на крајните димензии на долгата страна на отковката, согласно барањата за обликот и комплексноста на контурната површина (лист 5, Прилог 3), при креирањето на програмата за управување на стругот (Прилог 5) се предвидуваат три премини.



Слика 22: а) Прв премин, б) Втор премин, в) Трет премин
Figure 22: a) First pass, b) Second pass, c) Third pass

5.2.2.2.1. Прв премин – груба обработка со стругање

Првиот премин (сл.22а) претставува надолжна и попречна груба обработка на надворешната контура на отковката. За реализирање на овој премин е предвиден истиот стругарски нож (сл.19б) како и во вториот премин, во првиот процес.

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.5), $v = 700 [m/min]$, $v_p = 0,1 [mm/min]$ и $d = 0,5 \div 2,5 [mm]$.

Табела 5: X, Y, Z координати

Table 5: X, Y, Z coordinates

X	32	52	57	59.5	63.7	66	75	59	32	59	30
Y	0										
Z	10	0	-1	-3.2	-16.3	-21.3	-33	-3.5	-1	-4.4	10

5.2.2.2.2. Втор премин – фина обработка со стругање

Вториот премин (сл.22б) се однесува на надолжна и попречна фина, контурна обработка на надворешниот профил на отковката. За реализирање на овој премин е предвиден истиот стругарски нож (сл.20в) како и во третиот премин, во првиот процес.

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.6), $v = 900 [m/min]$, $v_p = 0,14 [mm/min]$ и $d = 0,2 \div 1,2 [mm]$.

Табела 6: X, Y, Z координати

Table 6: X, Y, Z coordinates

X	30	52.3	56.6	58.8	61.4	63.2	63.9	65.9	72	74.4	76
Y	0										
Z	1	-3.9	-5.2	-16.5	-17.5	-21.7	-22.7	-32.9	-34.1	-34.5	10

5.2.2.2.3. Трет премин – фина обработка со стругање

Третиот премин (сл.22в) се однесува на закосување на работ на отворот, проследено со надолжна обработка на самиот отвор. Внатрешната површина на отворот, изработен со топовскиот сврдел во првиот процес се вбројува во претходна – груба обработка, а по комплетирање на овој премин се постигнува фина – завршна обработка на истата површина на отворот. За овој премин е предвиден истиот стругарски нож (сл.21б) како и во четвртиот премин, во првиот процес.

Вредноста на предвидените влезни големини е: X, Y, Z координати (таб.7), $v = 750 [m/min]$, $v_p = 0,12 [mm/min]$ и $d = \div 2,7 [mm]$.

Табела 7: X, Y, Z координати
Table 7: X, Y, Z coordinates

X	48.4	35.8	30		
Y	0				
Z	0	-0.8	-4.5	-50	10

Врз основа на образложените геометриски и технолошки информации програмерот формира соодветни програмски наредби во програмите за управување на стругот (Прилог 4 и Прилог 5) посебно за секој процес на обработка со стругање. Сите програмски наредби (во улога на влезни големини) се проследуваат до управувачката единица на стругот, до PLC контролерот. По прифаќање на влезните големини (согласно логиката имплементирана во самите програми), PLC контролерот генерира соодветни излезни, управувачки сигнали. На тој начин PLC контролерот добива улога на центар на управување кој реализирајќи ги програмите сместени во програмската меморија, управува со извршните елементи на стругот, во насока на адекватно погонување на работните елементи.

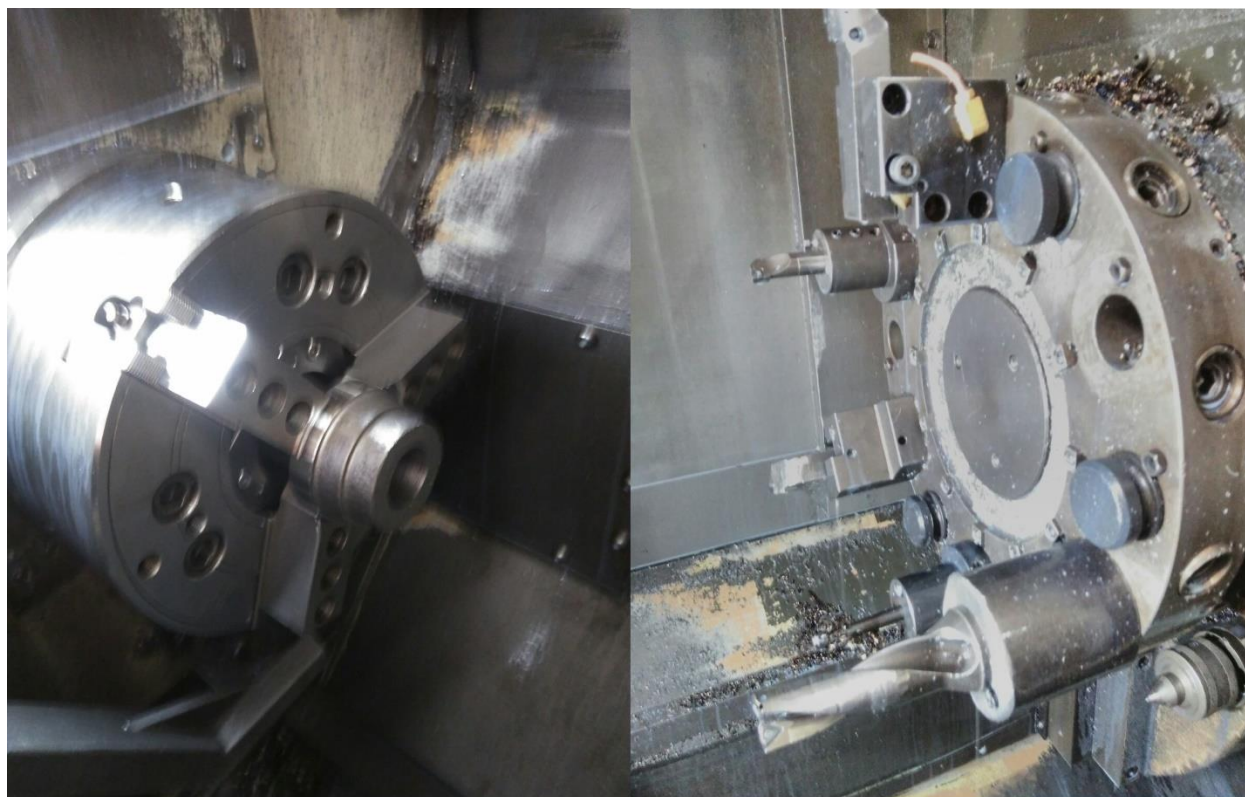
5.2.3. Извршни и работни елементи на стругот

Начинот на управување на извршните елементи на стругот претставува клучен предуслов за правилно реализирање на процесите на обработка со стругање. Имено, правилното реализирање на главното и помошното движење е резултат на строго определена зависност на функцијата на извршните елементи на стругот согласно движењето на работните елементи. Движењето на работните елементи претставува импликација на функцијата на извршните елементи кои обезбедуваат погон за изведување на главното движење како движење на работниот предмет и помошното движење како движење на режниот алат.

Главното движење во процесите на обработка со стругање го претставува ротационото движење на работниот предмет. Тоа произлегува од ротационото движење на главното работно вретено, овозможено од погонскиот сервомотор за главно движење. Електричната енергија која ја прима погонскиот сервомотор за

главно движење преку соодветен преносен механизам се трансформира во механичка работа за ротација на главното работно вретено, односно на работниот предмет.

Конкретно, главното работно вретено е поврзано со стегачка глава со три стегачки шепа. Во стегачката глава преку стегачките шепа е поставен, базиран и притегнат работниот предмет – отковката на главината (сл.23а). Ротационото движење на главното работно вретено се пренесува на стегачката глава, а потоа и на самиот работен предмет. На тој начин работниот предмет го изведува главното движење во процесите на обработка со стругање.



а) б)
Слика 23: Работни елементи на CNC стругот
Figure 23: Running elements of the CNC lathe machine

Помошното движење во процесите на обработка со стругање го изведува режниот алат. Топовскиот сврдел и стругарските ножеви како режен алат се поставени во вертикалната револверска глава (сл.23б). Според редоследот на

изведување на планираните премини, избраниот режен алат (преку ротација на револверската глава) се позиционира во соодветна работна положба и во текот на реализација на процесите се движи во тридимензионален координатен систем, согласно однапред зададените координати на движење.

Движењето на режниот алат во тридимензионалниот координатен систем го овозможуваат погонските сервомотори за помошно движење. Конкретно, движењето на режниот алат во правец на X, Y, Z координатните оски е директно поврзано со секој од сервомоторите кои го погонуваат помошното движење, за секоја оска поединечно.

Реализирајќи го главното и помошното движење, главното работно вретено (поврзано со работниот предмет) и револверската глава (поврзана со режниот алат) ја извршуваат функцијата на работни елементи на стругот. Базирајќи се на програмските наредби креирани во програмите, односно на управувачките сигнали кои управувачката единица ги испраќа до секој погонски сервомотор за обезбедување на главното и помошното движење, споменатите сервомотори се сметаат за извршни елементи во структурата на истиот струг.

Обезбедувајќи погон за движење на работните елементи, секој извршен елемент претрпува определено оптоварување. Тоа значи дека усогласувањето на ротацијата на главното работно вретено со праволиниското движење на режниот алат, во зададени координатни правци и насоки на движење со однапред дефинирани брзини претставува усогласување на функцијата на работните и извршните елементи на стругот. Истото придонесува за различно оптоварување на извршните елементи кое континуирано се мери и следи преку мерниот систем.

5.2.4. Мерен систем

Мерниот систем овозможува мерење на оптоварувањето кое извршните елементи го добиваат движејќи и позиционирајќи ги работните елементи во програмски зададените положби. Сепак движењето и позиционирањето на работните елементи е проследено со однапред дефинирана брзина на движење која (исто како и оптоварувањето) претставува мерлива големина. Затоа преку

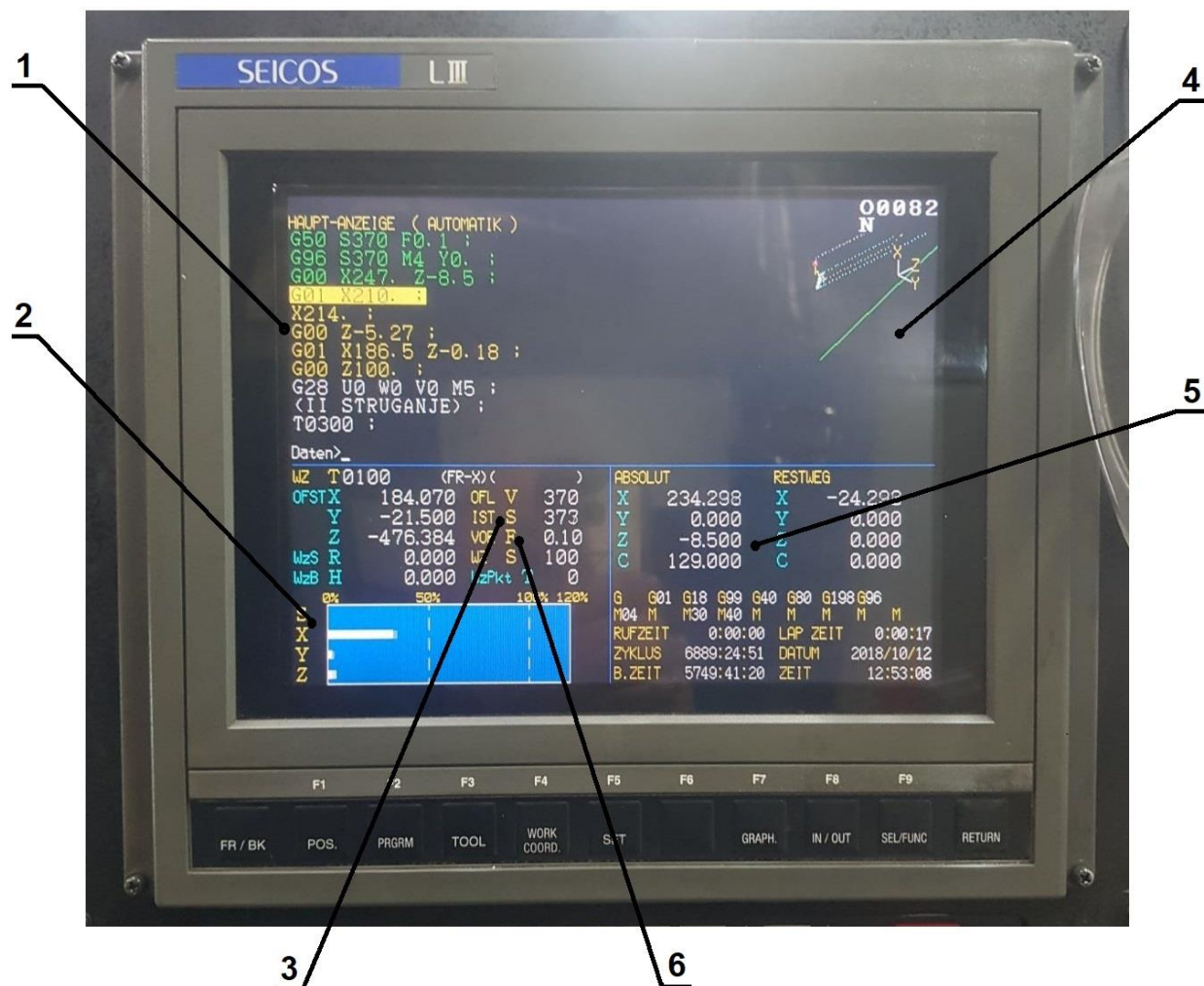
мерниот систем е возможно следење на секоја промена на брзината на движење и на положбата на работните елементи во просторот, со истовремено мерење на оптоварувањето кое извршните елементи го добиваат обезбедувајќи погон за движење на работните елементи.

На тој начин имплементацијата на мерниот систем придонесува за мерење на вредност на неколку излезни големини базирани на (и произлезени од) соодветни влезни големини. Измерената вредност на секоја излезна големина претставува показател на моменталната вредност на влезната големина во секој процес на обработка со стругање и во секоја фаза од неговото реализирање. Според својствата, особините и вредноста на четирите влезни големини кои се задаваат за секој процес т.е. систем, преку мерниот систем се мерат и следат четири (соодветни) излезни големини кои се претставени во продолжение.

5.2.4.1. Вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполирано движење на работните елементи

Врз основа на предвидената вредност на X, Y, Z координатите на движење на работните елементи како влезна големина, мерниот систем регистрира вредност на соодветна излезна големина која се проследува во аналитички и графички облик.

Во првиот случај, аналитичката вредност на измерената излезна големина за секој програмски блок (сл.24,ознака 1) преку повратната врска се пренесува до управувачката единица. На тој начин управувачката единица ја прима вредноста на моменталните X, Y, Z координати и ја споредува со програмски зададената. Истовремено управувачката единица ја прикажува вредноста на моменталните X, Y, Z координати на екранот (сл.24,ознака 5) во аналитички облик пресметувајќи ја и разликата т.е. додадената вредност на моменталните координати, потребна за целосно финализирање на програмскиот блок. Затоа може да се заклучи дека координатите кои се претставени во аналитички облик се однесуваат на координатите на моменталната положба на работниот елемент, но и на разликата од моменталната до следна програмски зададена положба.



Слика 24: Екран на управувачката единица
 Figure 24: Screen of the control unit

Во вториот случај, аналитичката вредност на измерената излезна големина т.е. измерената вредност на X, Y, Z координатите на моменталната положба се прикажува графички, во облик на симулација (сл.24,ознака 4).

Врз основа на предвидената вредност на X, Y, Z координатите на моменталната положба управувачката единица генерира соодветна симулација. Имено управувачката единица преку соодветен подвижен маркер ја прикажува моменталната положба на работниот елемент (во склоп на интерполираната траекторијата на движење) во тридимензионален координатен систем. На тој начин преку симулација е овозможена визуализација на интерполираното

движење на работните елементи во секој процес на обработка со стругање и во секоја фаза од неговото реализирање.

5.2.4.2. Брзина на главно движење

Движењето на работните елементи е проследено со определена брзина на движење. Брзината на движење се однесува на брзината на главното и брзината на помошното движење чија вредност е (однапред) програмски предвидена.

Брзината на главното движење, како влезна големина во процесот на обработка со стругање ја претставува брзината на режење. При креирање на програмите за управување, а во насока на задржување на идентичен квалитет на сите површини кои се обработуваат во процесот, покрај дефинирање на аналитичка вредност на брзината на режење (S) се воведува програмска наредба за контрола на константната брзина на режење. На тој начин брзината на режење се одржува константа без разлика на промена на дијаметарот по кој се одвива обработката. Дополнително преку програмска наредба за ограничување на бројот на вртежи се воведува ограничување на максималниот број вртежи. Ова ограничување се однесува за најмалиот дијаметар на обработка бидејќи за него се генерираат максимален број вртежи.

Како вредност на излезна големина која произлегува од соодветна влезна големина, аналитичката вредност на брзината на главно движење регистрирана со мерниот систем и (преку повратната врска) проследена до управувачката единица се прикажува на екранот на управувачката единица (сл.24,ознака 3).

5.2.4.3. Брзина на помошно движење

Брзината на помошно движење, како влезна големина во процесот на обработка со стругање го претставува линеарното поместување на режниот алат во единица време. Вредноста на брзината на помошно движење (F) како измерена аналитичка вредност на излезна големина, произлезена од соодветната влезна големина се регистрира преку мерниот систем. Потоа преку повратната врска се

проследува до управувачката единица и истовремено се прикажува на екранот на управувачката единица (сл.24,ознака б).

Брзината на помошно движење исто како и брзината на главно движење, програмски е предвидена, за секој премин во секој зафат посебно. Еднаш дефинираната брзина останува непроменета, до нејзино следно програмско дефинирање.

Тенденцијата за постигнување и континуирано одржување на програмски предвидената вредност (и ограничување) на брзината на главно и помошно движење придонесува за различно оптоварување на погонските сервомотори во текот на изведување на процесот на обработка со стругање т.е. различно оптоварување на извршните елементи за време на обезбедување погон на работните елементи.

5.2.4.4. Оптоварување на извршните елементи

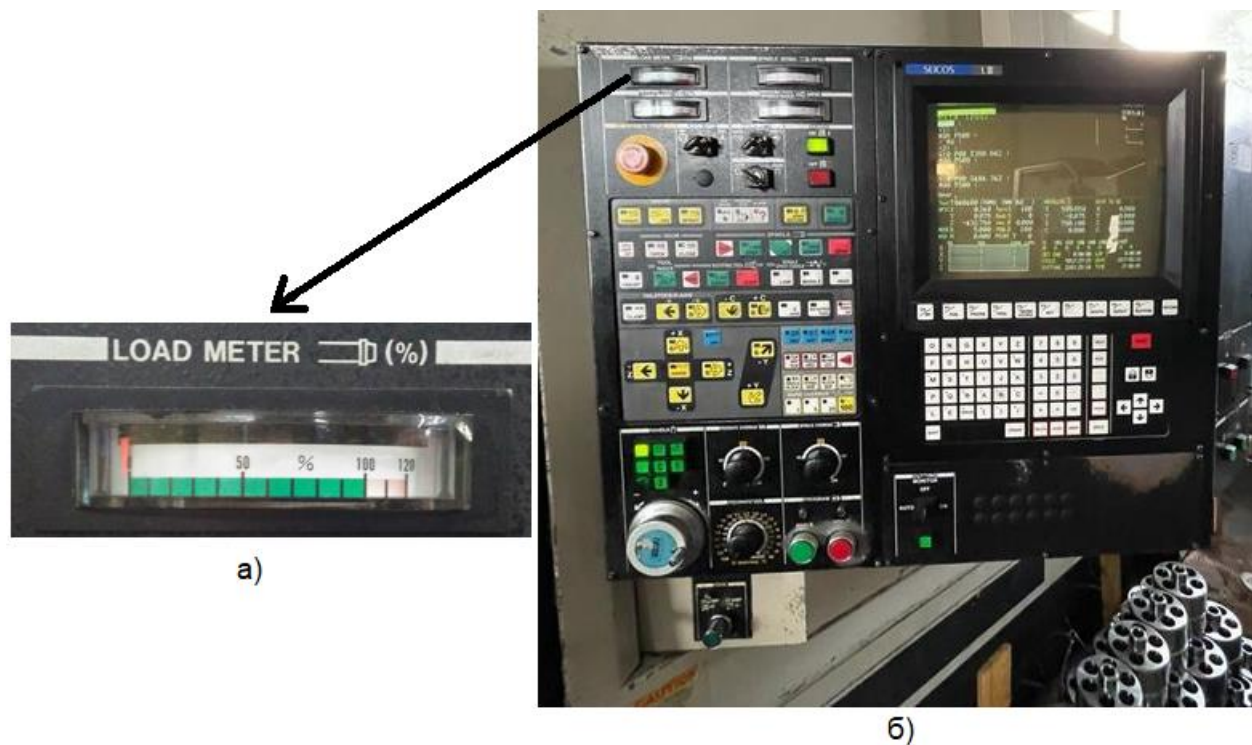
Водењето и доведувањето на работните елементи на стругот во програмски дефинираните положби, со програмски предвидена брзина на главно и помошно движење придонесува за појава на определено оптоварување на извршните елементи во текот на изведување на споменатото движење.

Главното (ротационо) движење на работниот предмет е овозможено од соодветен извршен елемент, погонски сервомотор за главно движење. Помошното (праволиниско) движење на режниот алат во правец на X, Y, Z координатните оски е овозможено од соодветен извршен елемент, погонски сервомотор за помошно движење, за секоја координатна оска поединечно.

Изведувањето на главното движење е директно поврзано со функцијата на еден погонски сервомотор за главно движење кој работи на принцип на асинхрон електромотор и има моќност до $15 kW$. Изведувањето на помошното движење е директно поврзано со функцијата на три погонски сервомотори за помошно движење кои работат на принцип на асинхрони електромотори. Погонскиот сервомотор за помошно движење во правец на X координатната оска има моќност

до $8,9\text{ kW}$, додека погонските сервомотори за помошно движење во правец на Y и Z координатните оски имаат моќност до $4,6\text{ kW}$.

Според мерниот систем прикажан на електричната шема за секој погонски сервомотор, односно за погонскиот сервомотор за главно движење (Прилог 6) и погонските сервомотори за помошно движење во правец на X координатната оска (Прилог 7), Y координатната оска (Прилог 8) и Z координатната оска (Прилог 9) е овозможено мерење и следење на оптоварувањето на секој погонски сервомотор, во секоја фаза од процесот на обработка со стругање.



Слика 25: Дисплеј на управувачката единица
Figure 25: Display of the control unit

Конкретно, измерената вредност на оптоварувањето (преку повратната врска) се проследува до управувачката единица и се прикажува на дисплејот (сл.25б) во облик на вредност на процентуално оптоварување на секој погонски сервомотор, поединечно. Вредноста на процентуално оптоварување на погонскиот сервомотор за главно движење се прикажува на соодветен потенциометар (сл.25а), додека вредноста на процентуалното оптоварување на

сервомоторите за помошно движење се прикажува на екранот на управувачката единица (сл.24,ознака 2), за трите погонски сервомотори за помошно движење во правец на трите X, Y, Z координатни оски, посебно.

5.2.5. Аналогија на влезните и излезните големини

Врз основа на погоре образложените влезни и излезни големини произлегува следната констатација.

Влезните големини во секој од процесите, односно системите се исти. Во тој поглед исти се и излезните големини (сл.26). Сепак постои разлика во вредноста на големините кои се задаваат како влезни големини. Како последица на тоа различни се текот и вредноста на излезните големини за секој процес, поединечно. Значи, разликата на двата процеси не се базира на типот на обработката која се изведува за време на реализација на процесот, туку се заснова на вредноста на влезните големини. Врз основа на различната вредност на влезните големини кои фигурираат и во двата процеси, различен е и текот на самиот процес. Во таа насока, секој од процесите генерира и различна вредност на излезните големини. Излезните големини зависат од влезните големини и од начинот на реализација на самиот процес.

Од тој аспект секој од процесите на обработка со стругање т.е. системите на компјутерско управување со повратна врска се анализира самостојно без оглед на фактот дека обработката која се реализира е од ист тип, има ист принцип на функционирање и се изведува на истиот струг.

Во продолжение се наброени *влезните големини* предвидени во програмите за управување на стругот со нивните соодветни *излезни големини*:

- ❖ Вредност на X, Y, Z координати на движење на работните елементи (сл.26а) → вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполирано движење на работните елементи,
- ❖ Брзина на главно движење $v[m/min]$ (сл.26б) → брзина на главно движење $v[m/min]$,

- ❖ Брзина на помошно движење $v_p [mm/min]$ (сл.26в) → брзина на помошно движење $v_p [mm/min]$,
- ❖ Длабочина на режење $d [mm]$ (сл.26г) → оптоварување на на извршните елементи на стругот.

G96 S450 M3;	G96 <u>S450</u> M3;	G96 S450 M3;	G96 S450 M3;
G00 <u>X0. Z30. Y0.;</u>	G00 X0. Z30. Y0.;	G00 X0. Z30. Y0.;	G00 X0. Z30. Y0.;
<u>Z4.;</u>	Z4.;	Z4.;	<u>Z4.;</u>
G01 <u>Z-56. F0.07</u> M8;	G01 Z-56. F0.07 M8;	G01 Z-56. <u>F0.07</u> M8;	G01 <u>Z-56. F0.07</u> M8;
G00 <u>Z10. M9;</u>	G00 Z10. M9;	G00 Z10. M9;	G00 Z10. M9;
<u>Z100.;</u>	Z100.;	Z100.;	Z100.;
а)	б)	в)	г)

Слика 26: Влезни големини
Figure 26: Inputs

6. РЕЗУЛТАТИ

Резултатите произлезени од реализацијата на процесите на обработка со стругање, во суштина ги претставуваат излезните големини во секој од анализираните процеси. Вредноста на излезните големини, аналогно на вредноста и својствата на предвидените влезни големини се образложени во продолжение.

6.1. Вредност на X, Y, Z координати и визуализација на интерполирано движење на работните елементи

Вредноста на X, Y, Z координатите на движење на работните елементи, како влезна големина, се јавува и на излезот. Имено, вредноста на X, Y, Z координатите, односно промената на вредноста на секоја од координатите во насока на следење на променатата на положбата на работните елементи во секој момент од реализацијата на процесите на обработка со стругање се реализира по аналитички пат (сл.27).



Слика 27: Екран на управувачката единица
Figure 27: Screen of the control unit

Врз основа на вредноста на X, Y, Z координатите на движење, управувачката единица генерира соодветна линеарна и кружна интерполација на движење на работните елементи на стругот. Интерполацијата која е директно поврзана со и произлегува од управувањето со функционалната зависност на движењето на работните елементи по координатни правци, во насока на постигнување синхронизација на интерполираното со реалното движење на работните елементи континуирано се визуализира во вид на симулација (сл.27).

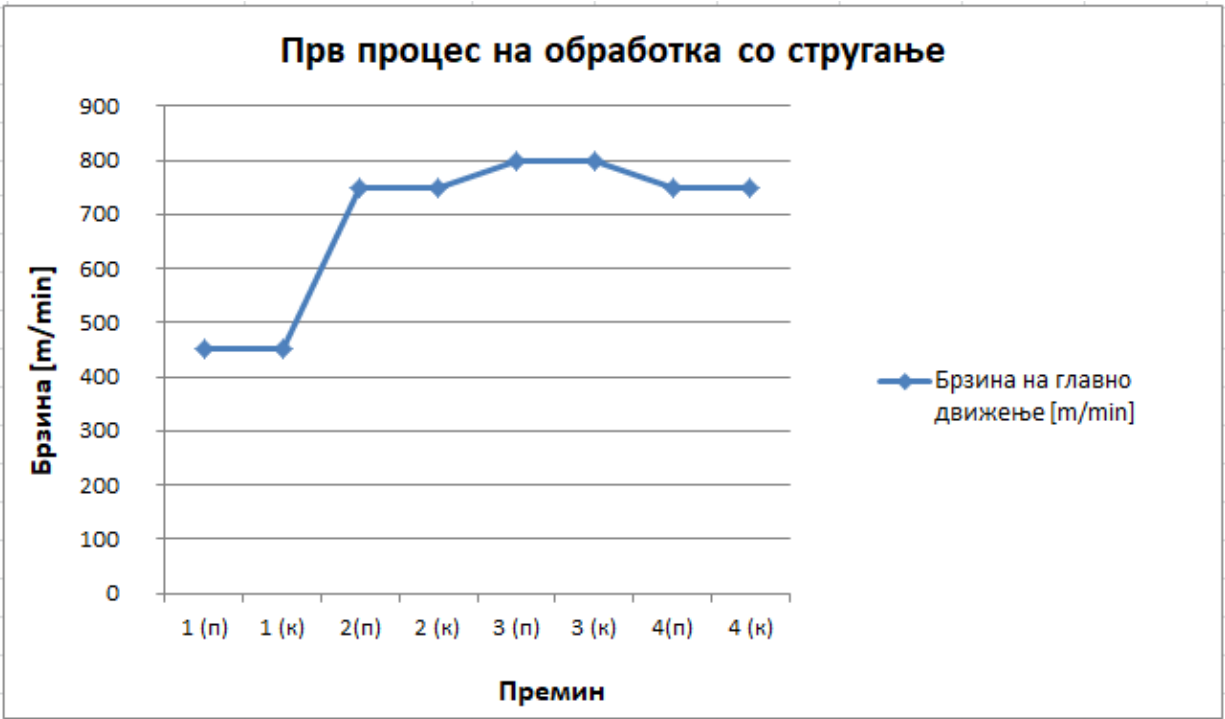
Визуелниот приказ на линеарното и кружно интерполирано движење на работните елементи на стругот, дополнително е прикажан и во седмото поглавје „Симулација“ во кое со користење на специјален софтвер за симулација се тестираат геометриските наредби во програмите за управување на стругот.

6.2. Брзина на главно движење

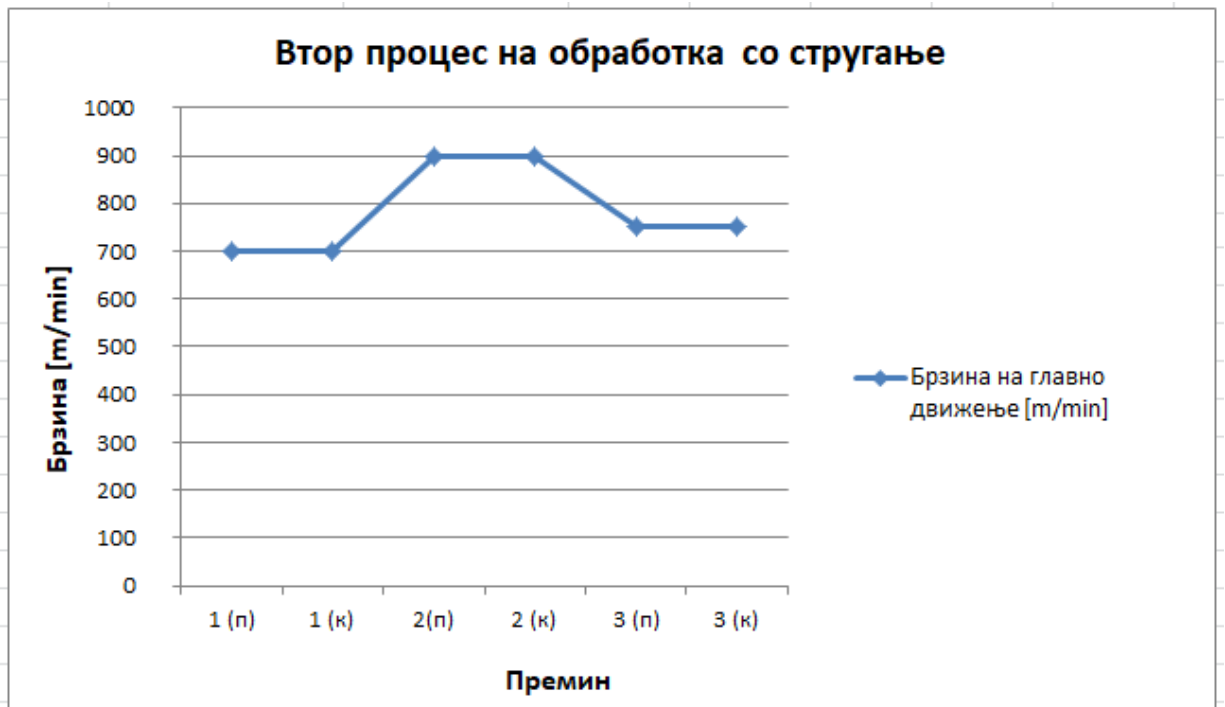
Брзината на главно движење како влезна големина во анализираните процеси се јавува и на излезот, во улога на излезна големина. Бидејќи брзината на главното движење (како и брзината на помошно движење) програмски се предвидени за секој премин, промената на брзината на главно движење на следните дијаграми е претставена во интервали, ограничени со почетокот и крајот на секој премин.

Почетокот на секој премин е означен со „(п)“ и фигурира зад секој реден број на преминот, а крајот на преминот е означен со „(к)“. Притоа се напоменува дека крајот на еден премин претставува почеток на следниот, а вредноста на брзината на главно движење за секој премин е прикажана за почетокот и за крајот на преминот.

Промената на предвидената брзина на главното движење во текот на изведување на секој премин при комплетирање на целиот зафат за првиот процес на обработка со стругање (составен од четири премини) е прикажана на слика 28, а за вториот процес на обработка со стругање (составен од три премини) е прикажана на слика 29.



Слика 28: Промена на брзината на главно движење во секој премин
 Figure 28: Variation of primary motion speed in each pass



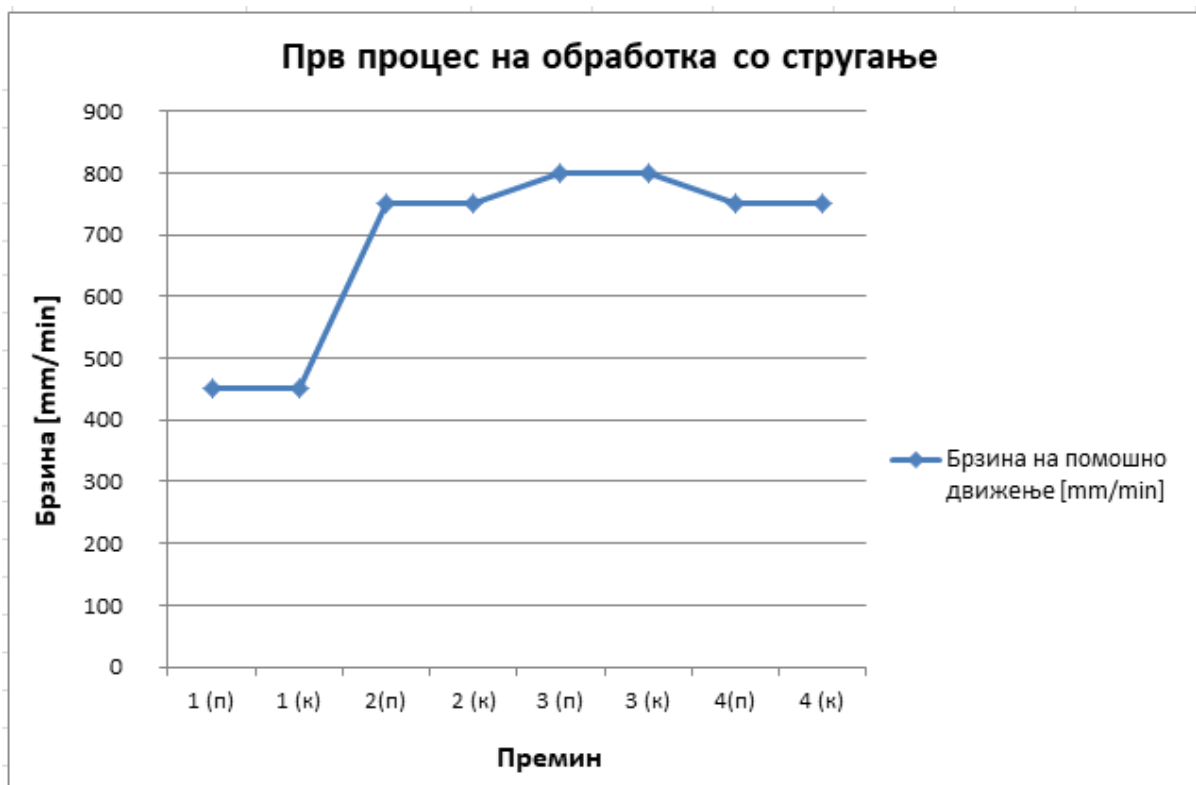
Слика 29: Промена на брзината на главно движење во секој премин
 Figure 29: Variation of primary motion speed in each pass

6.3. Брзина на помошно движење

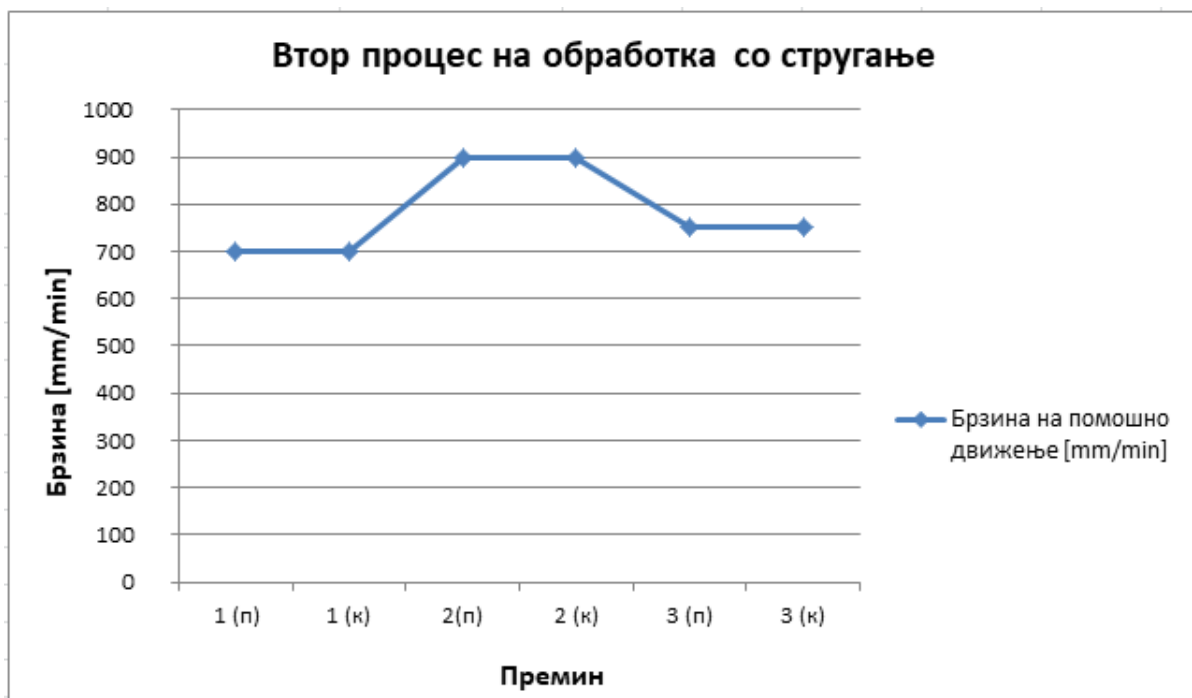
Брзината на помошно движење како влезна големина во анализираните процеси се јавува и на излезот, во улога на излезна големина.

Брзината на помошно движење исто како и брзината на главно движење, на следните дијаграми е претставена за почетокот и крајот на секој премин.

Конкретно промената на предвидената брзината на помошно движење во текот на изведување на секој премин при комплетирање на целиот зафат за првиот процес на обработка со стругање (составен од четири премини) е прикажана на слика 30, а за вториот процес на обработка со стругање (составен од три премини) е прикажана на слика 31.



Слика 30: Промена на брзината на помошно движење во секој премин
Figure 30: Variation of secondary motion speed in each pass

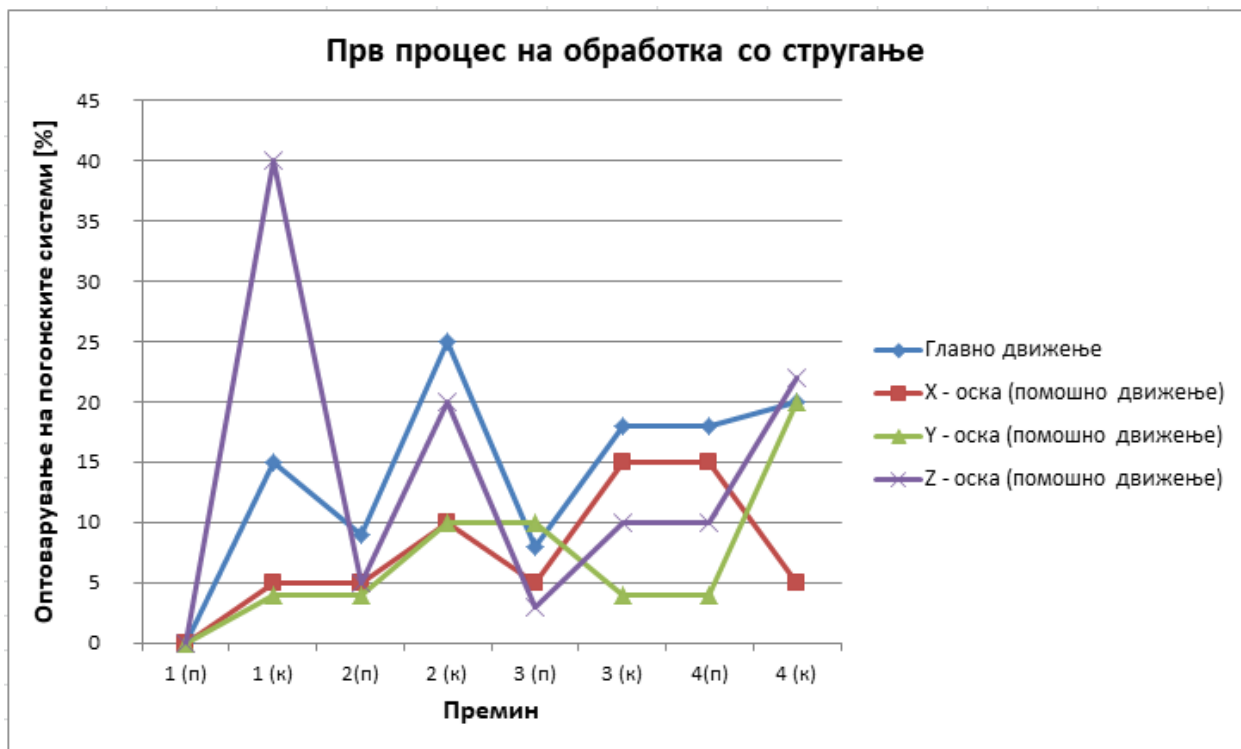


Слика 31: Промена на брзината на помошно движење во секој премин
 Figure 31: Variation of secondary motion speed in each pass

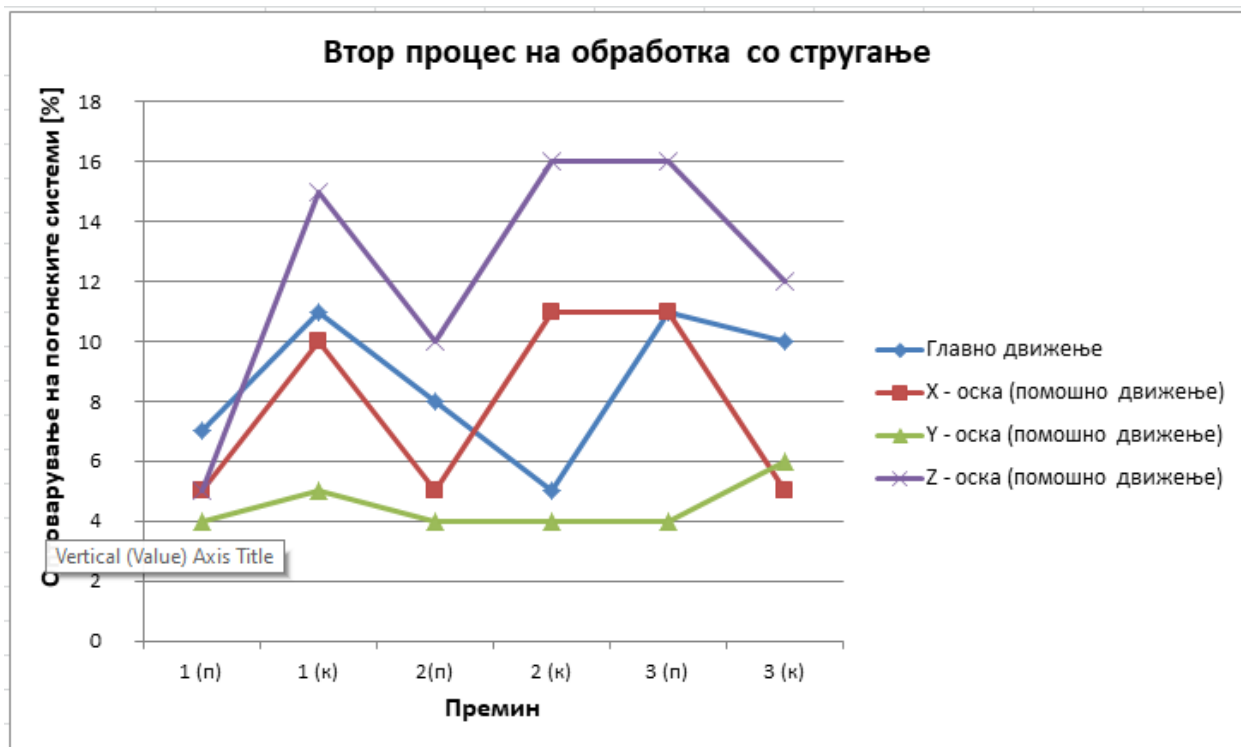
6.4. Оптоварување на извршните елементи

Длабочината на режење како влезна големина е варијабилна за секој премин, односно за секоја контурна површина која се обработува во процесите на обработка со стругање. Вредноста на предвидената длабочината на режење, како разлика на обработуваната и обработената површина изразена во [mm] е променлива по должината на контурната површина која е предмет на обработка. Значи, дебелината на материјалот кој се отстанува во процесите на обработка со стругање е променлива. Затоа и вредноста на излезната големина, која соодветствува на споменатата влезна големина е варијабилна.

Конкретно предвидената промена на процентуалното оптоварување во текот на изведување на секој премин при комплетирање на целиот зафат, за првиот процес на обработка со стругање (составен од четири премини) е прикажана на слика 32, а за вториот процес на обработка со стругање (составен од три премини) е прикажана на слика 33.



Слика 32: Промена на оптоварување во секој премин
 Figure 32: Variation of servo drive load in each pass



Слика 33: Промена на оптоварување во секој премин
 Figure 33: Variation of servo drive load in each pass

7. СИМУЛАЦИЈА

Врз основа на креираните програми во софтвер со назив CIMCO Edit v6.1 е претставена симулација на интерполирано движење на работните елементи на CNC Hitachi Seiki Seicos LIII стругот. Симулацијата овозможува визуализација на секој процес на обработка, за секоја траекторија на движење на работните елементи во дефинираните премини т.е. зафати.

Траекторијата на движење произлегува од интерполацијата на управувачката единица која ги следи програмите за управување на стругот. Програмите се составени од програмски блокови, во облик на програмски наредби конструирани со геометриски и технолошки информации кои ги прима споменатиот софтвер. Препознавајќи ги геометриските и технолошките информации од програмските наредби, софтверот генерира симулација на интерполираното движење на работните елементи т.е. на режните алати во дводимензионален координатен систем.

7.1. Опис на програмски наредби

За програмски наредби кои ја формираат структурата на рачно креираните програми се сметаат главните (*G*) и помошните (*M*) програмски наредби.

Според симулацијата се согледува дека првото движење за сите премини т.е. зафати се однесува на позиционирање на режниот алат, за кое се користи програмска наредба за брзо движење (*G00*). По позиционирање на режниот алат во програмски зададената положба, секое следно работно движење е реализирано преку соодветна програмска наредба за работно движење.

Имено, со програмската наредба за линеарна интерполација (*G01*) е зададено праволиниско работно движење при кое најмалку една точка, од траекторијата на движење на режните алати се наоѓа на работниот предмет. Затоа оваа програмска наредба е употребена за обработка при влез во зафат, односно при излез од зафат. Во спротивно кога почетната и крајната точка од траекторијата на движење на режниот алат се надвор од работниот предмет, а воедно самата траекторија на движење е слободна и режниот алат не е во зафат

со работниот предмет, тогаш е користена програмска наредба за брзо движење (*G00*).

За разлика од програмската наредба за брзо движење (*G00*) во која движењето на режниот алат се изведува брзо, кај програмската наредба за линеарна интерполација (*G01*) за движење на режниот алат програмски се дефинирани помести т.е. брзини на помошно движење (*F*). Важно е да се нагласи дека брзината на движење кај програмската наредба за брзо движење (*G00*) е определена според помошните функции кои припаѓаат на функционалниот систем на стругот. Тие се вградени во логиката на управување на управувачката единица и програмата нема никакво влијание врз начинот на нивно функционирање.

Како одговор на програмската наредба за брзо движење на следните илустрации траекторијата на движење на режниот алат е означена со жолта боја, додека за програмските наредби за работно движење е со бела боја.

Програмски наредби преку кои се реализира работно движење се и програмските наредби за кружна интерполација (*G02*, *G03*). Се задаваат како резултат на потребата од изработка на заоблувања на работниот предмет, односно за изработка на радиус како премин од еден дијаметар до друг. Притоа алатот изведува кружно движење за вредноста на дефинираниот радиус (*R*).

Изборот на програмската наредба за кружна интерполација (*G02* или *G03*) е условен од насоката на движење на режниот алат при формирање на радиусот на работниот предмет. Доколку насоката на движење на режниот алат (при формирање на радиусот) се совпаѓа со насоката на движење на стрелките на часовникот (*CW*) е зададена програмската наредба *G03*. Во спротивно, доколку насоката на движење на режниот алат е спротивна од насоката на движење на стрелките на часовникот (*CCW*) е зададена програмската наредба *G02*.

Програмските наредби за брзо и работно движење на режниот алат содржат и вредност на координатите на движење, во координатен, односно апсолутен мерен систем. Координатите се зададени во формат кој се состои од избрана координатна оска и децимален број кој може да биде формиран од цели, десетти, стоти и илјадити делови од милиметарот. Дефинираната вредност на координатите во секој програмски блок се однесува на крајните точки од

движењето кое се реализира. Откако вредноста на координатите (како и на брзините) на движење, еднаш аналитички се дефинирани во програмите тие остануваат фиксни, до нивно повторно дефинирање.

Понатаму програмската наредба за брзина на главно движење (v) [m/min], која во процесот на обработка со стругање ја претставува брзината на режење, се дефинира со аналитичка вредност на брзината на режење (S). Покрај програмската наредба за брзина на режење, дополнително е зададена и програмска наредба за контрола на константната брзина на режење ($G96$). На тој начин, без оглед на промената на дијаметарот по кој се одвива обработката, брзината на режење се одржува константа и се постигнува идентичен квалитет на сите површини кои се обработуваат. Во склоп на оваа програмска наредба е додадена програмска наредба за ограничување на бројот на вртежи ($G50$), кој се однесува за најмалиот дијаметар на обработка бидејќи за него се генерираат максимален број вртежи.

Брзината на помошното движење v_p [mm/min] е зададена со програмската наредба ($G99$) при што вредноста на брзината на помошно движење следува по ознаката (F).

Изборот на режен алат е реализиран преку програмската наредба за дефинирање на алати (T). Потоа следуваат четири цифри, првите две го определуваат бројот на позиција на режниот алат во револверската глава на стругот, додека вторите две се однесуваат на корекциониот број на режниот алат.

Програмската наредба за вклучување на системот за ладење ($M08$) го активира системот за ладење при секое работно движење во зоната на режење. По финализирање на работното движење, за исклучување на системот за ладење е користена програмската наредба ($M09$).

Други користени програмски наредби се: програмска наредба за автоматско враќање во референтна рамнина ($G28$), програмска наредба за стартување на главното работно вретено во насока на стрелките на часовникот ($M03$), програмска наредба за стартување на главното работно вретено во насока

спротивна на насоката на стрелките на часовникот (M04), програмска наредба за стопирање на работното вретено (M05) итн.

Важно е да се нагласи дека визуализацијата на траекторијата на движење на режниот алат претставува одговор (и излезна големина) на предвидената вредност на координатите на движење на работните елементи, во улога на влезна големина. Затоа и самиот софтвер генерира интерполирано движење на работните елементи во облик на симулација, изоставајќи ги останатите програмски наредби кои не ја вклучуваат траекторијата на движење, туку се однесуваат на брзина, движење и други варијабилни параметри.

7.2. Симулација на интерполираното движење на работните елементи во првиот процес на обработка со стругање

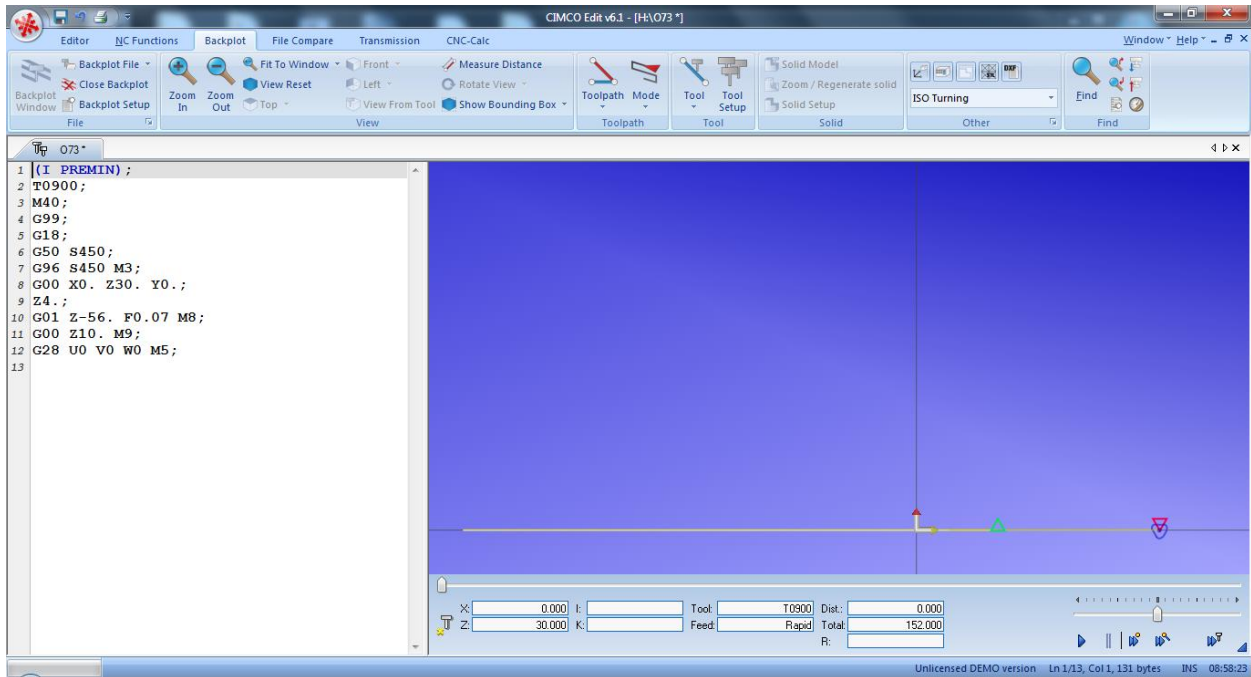
Симулацијата на првиот процес на обработка со стругање (кој ја претставува првата технолошка операција со стругање) е прикажана за четирите премини кои го формираат првиот зафат. Односно:

- ❖ Симулацијата на линеарното интерполирано движење на режниот алат во правец на хоризонталната Z оска го претставува првиот премин (сл.34). Топовскиот сврдел со променливи плочки (во улога на режен алат) реализира хоризонтално праволиниско интерполирано движење преку кое се изработува отвор по должината на работниот предмет. Најпрво топовскиот сврдел со брзо движење се приближува до референтната рамнина на работниот предмет. Тогаш започнува циклусот на работно движење за симнување на непотребниот материјал. Потоа работното движење преминува во брзо движење и топовскиот сврдел, со брз од се враќа во референтната рамнина. Симулацијата на интерполираното движење за овој премин се совпаѓа со хоризонталната оска на отворот на работниот предмет (сл.18а), што на визуелен начин го потврдува запазувањето на дефинираните координати на движење како и точноста на креираната програма,
- ❖ Симулацијата на вториот премин претставува комбинација на линеарно и кружно интерполирано движење на режниот алат во правец на

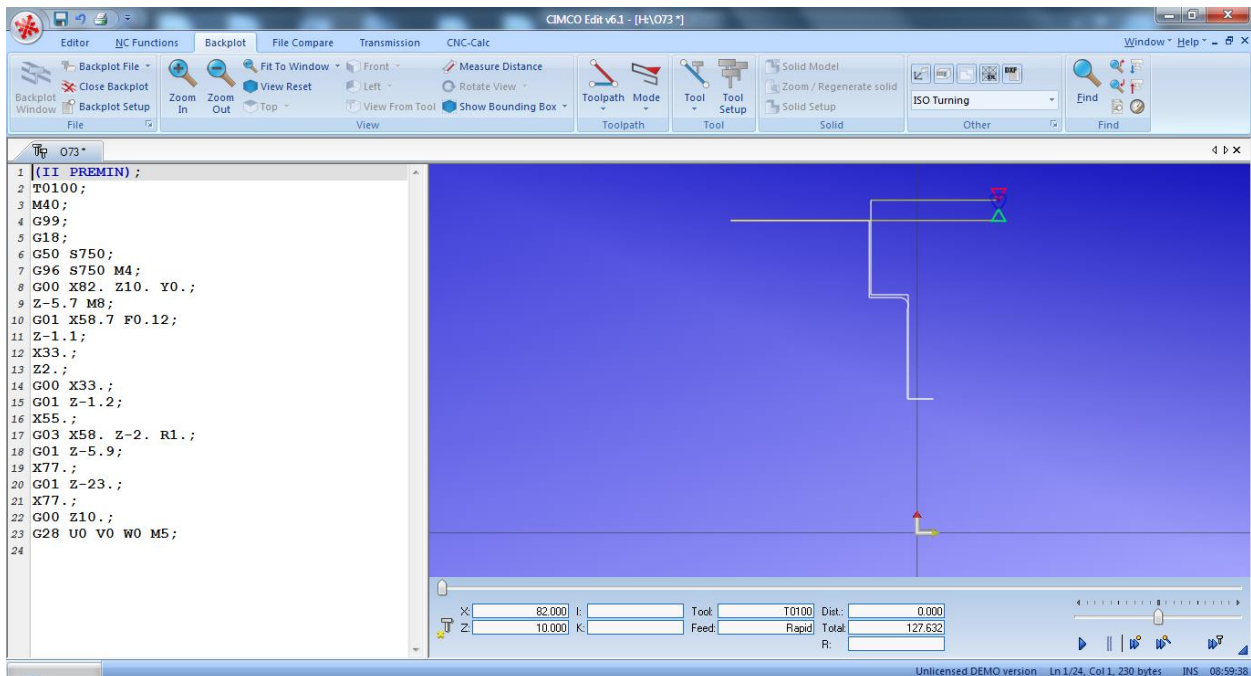
хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.35). Преку симулацијата е овозможен видлив приказ на траекторијата на движење (сл.19а) на стругарскиот нож кој ја реализира планираната груба обработка со стругање. Брзото линеарно движење со кое стругарскиот нож се доближува до референтната точка на работниот предмет преминува во линеарно и кружно работно движење. Тоа продолжува како (ново) брзо движење сè до финализирање на преминот, постигнувајќи ги зададените координати на движење за време на целиот премин,

- ❖ Симулацијата на третиот премин се однесува на праволиниска и кружна линеарна интерполација на режниот алат ориентирана според хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.36). Овој премин започнува со брзо движење на стругарскиот нож до референтната рамнина на работниот предмет. Потоа преминува во работно движење реализирајќи праволиниско и кружно интерполирано движење. Завршува со брзо движење при повлекување до референтната рамнина. Симулацијата на интерполираното движење ги верификува зададените координати на движење како и самата траекторијата на движење (сл.20а) на стругарскиот нож, во насока на реализирање на планираната фина обработка,
- ❖ Симулацијата на четвртиот премин претставува праволиниска линеарна интерполација на режниот алат ориентирана според хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.37). Следејќи ги зададените координати на движење преку брзо и работно движење, стругарски нож реализира фина обработка постигнувајќи ја предвидената контура во овој премин (сл.21а),
- ❖ Симулацијата на првиот сложен зафат претставува резултат на симулацијата на интерполираното движење на четирите поединечни премини. Таа прикажува хоризонтално, вертикално, косо, брзо и работно движење на различни режни алати, во насока на реализирање линеарно и кружно интерполирано движење во правец на хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.38). Преку симулацијата се постигнува визуализација на креираната програма за првиот процес на обработка со

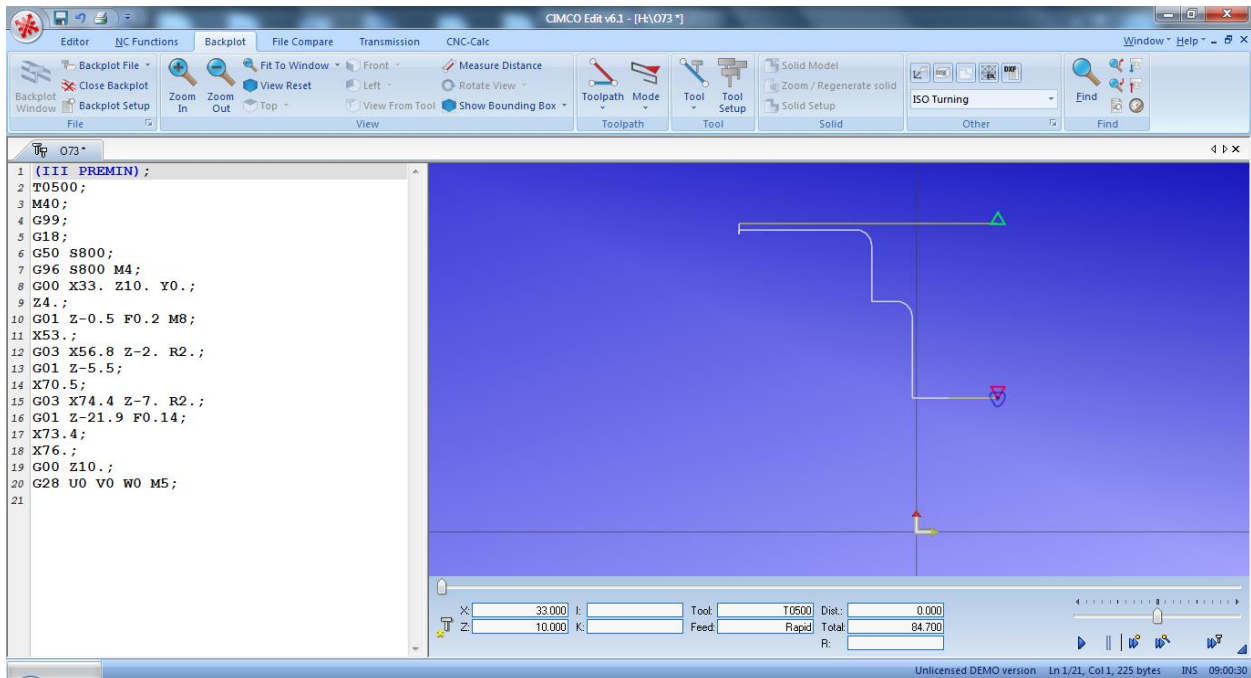
стругање (Прилог 4) и верификација на координатите на движење од првата технолошка операција со стругање (лист 4, Прилог 3).



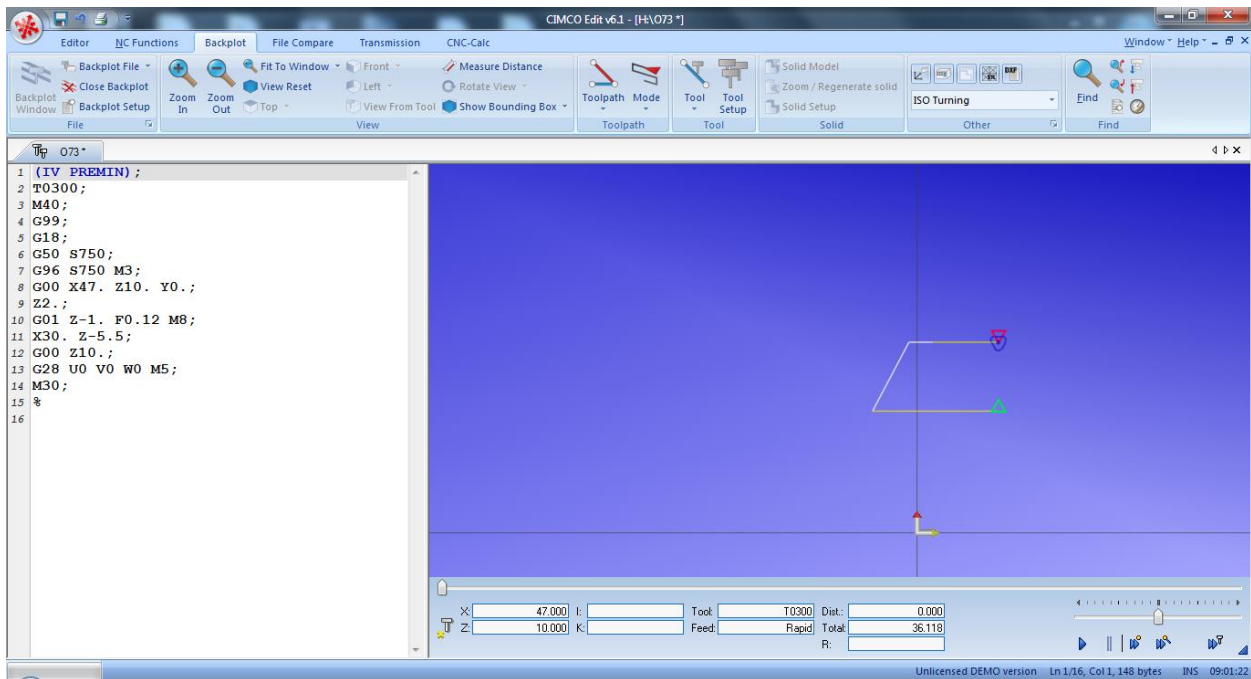
Слика 34: Симулација на првиот премин
Figure 34: Simulation of the first pass



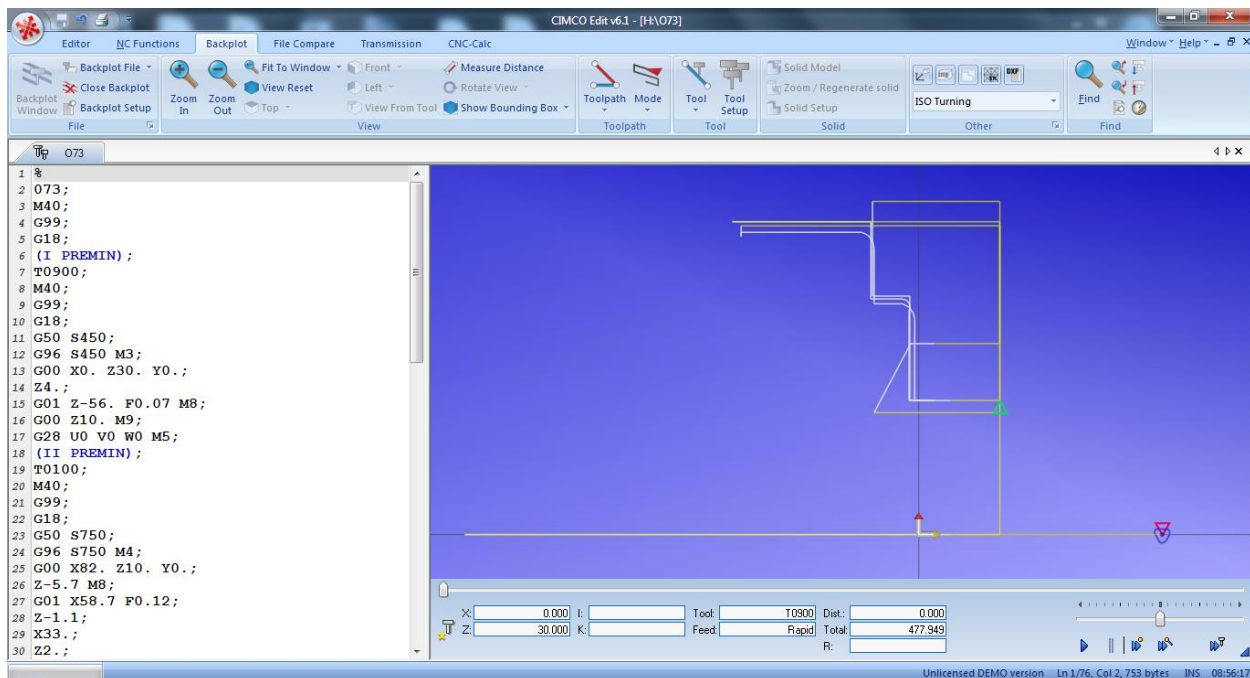
Слика 35: Симулација на вториот премин
Figure 35: Simulation of the second pass



Слика 36: Симулација на третиот премина
Figure 36: Simulation of the third pass



Слика 37: Симулација на четвртиот премина
Figure 37: Simulation of the fourth pass



Слика 38: Симулација на првиот зафат
Figure 38: Simulation of the first cutting operation

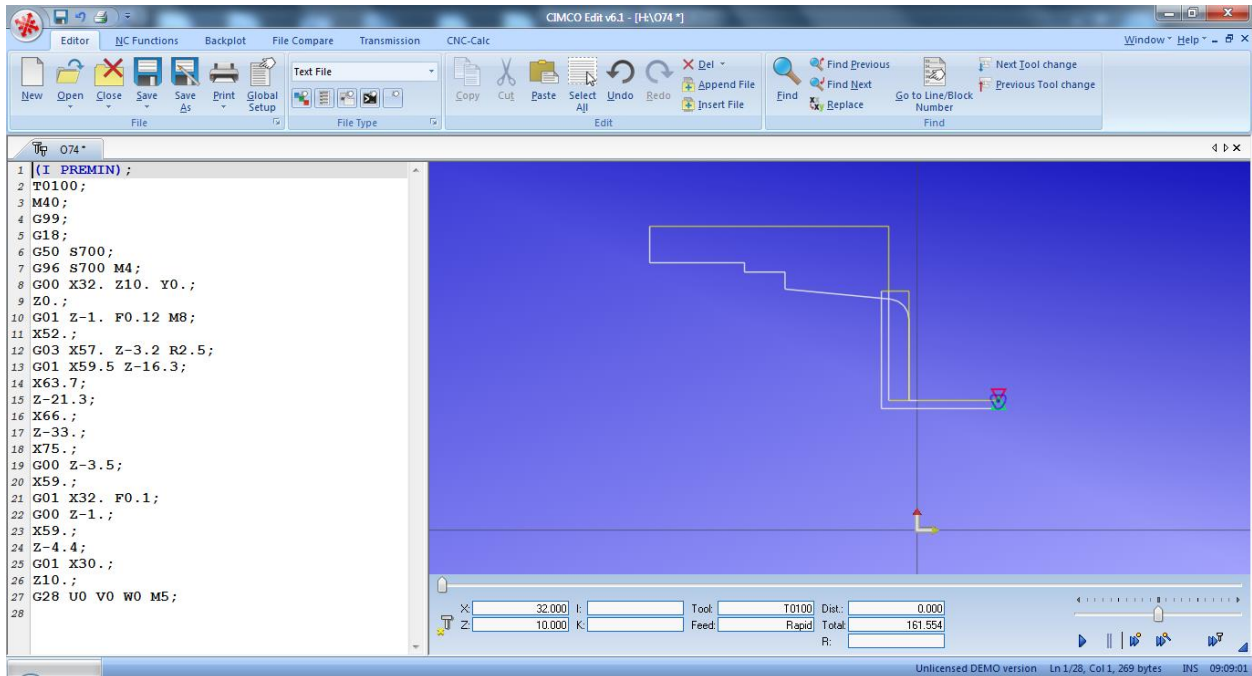
7.3. Симулација на интерполираното движење на работните елементи во вториот процес на обработка со стругање

Симулацијата на вториот процес на обработка со стругање (кој ја претставува втората технолошка операција со стругање) е прикажана за трите премини кои го формираат вториот зафат. Односно:

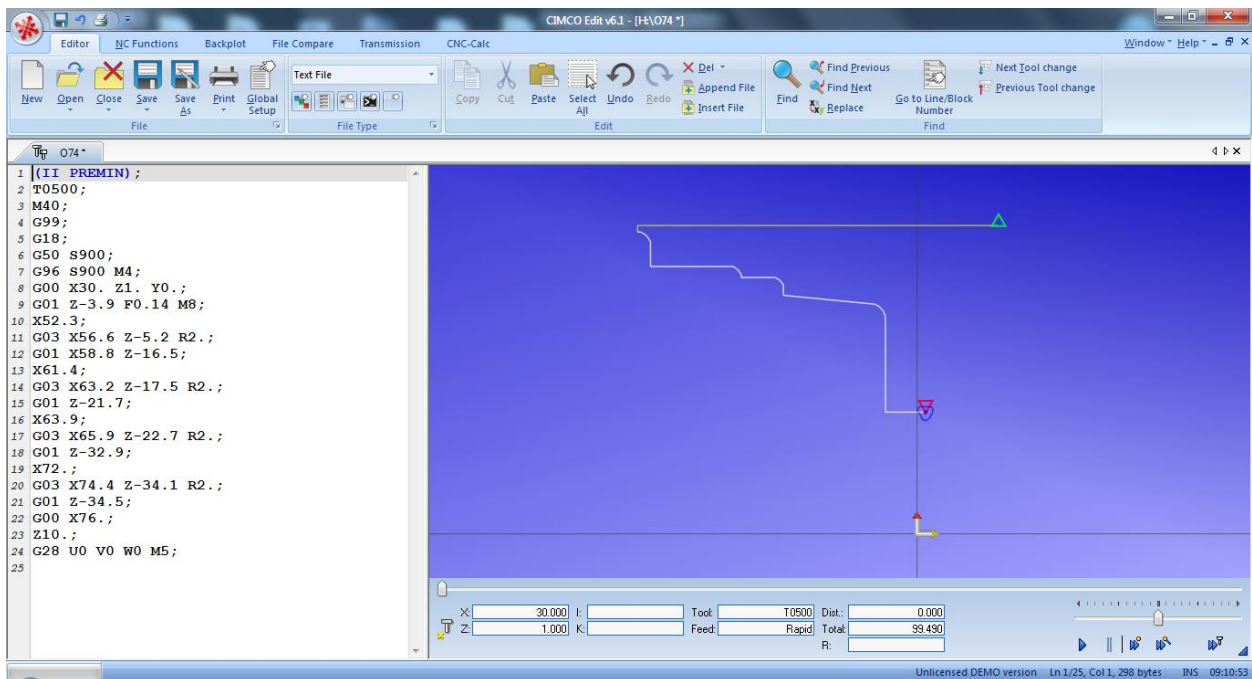
- ❖ Симулацијата на првиот премин претставува комбинација на линеарно и кружно интерполирано движење на режниот алат во правец на хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.39). Преминот за реализирање на груба обработка започнува со брзо движење на стругарскиот нож, за доведување до референтната рамнина. Продолжува како работно движење за постигнување на контурата на работниот предмет за да заврши како брзо движење за одведување на стругарскиот нож од зоната на режење до референтната рамнина. Според симулацијата, финалната контура на работниот предмет се совпаѓа со предвидената контура за првиот премин (сл.22a). На тој начин се верификуваат

програмски зададените координати на движење како и валидноста на самата програма.

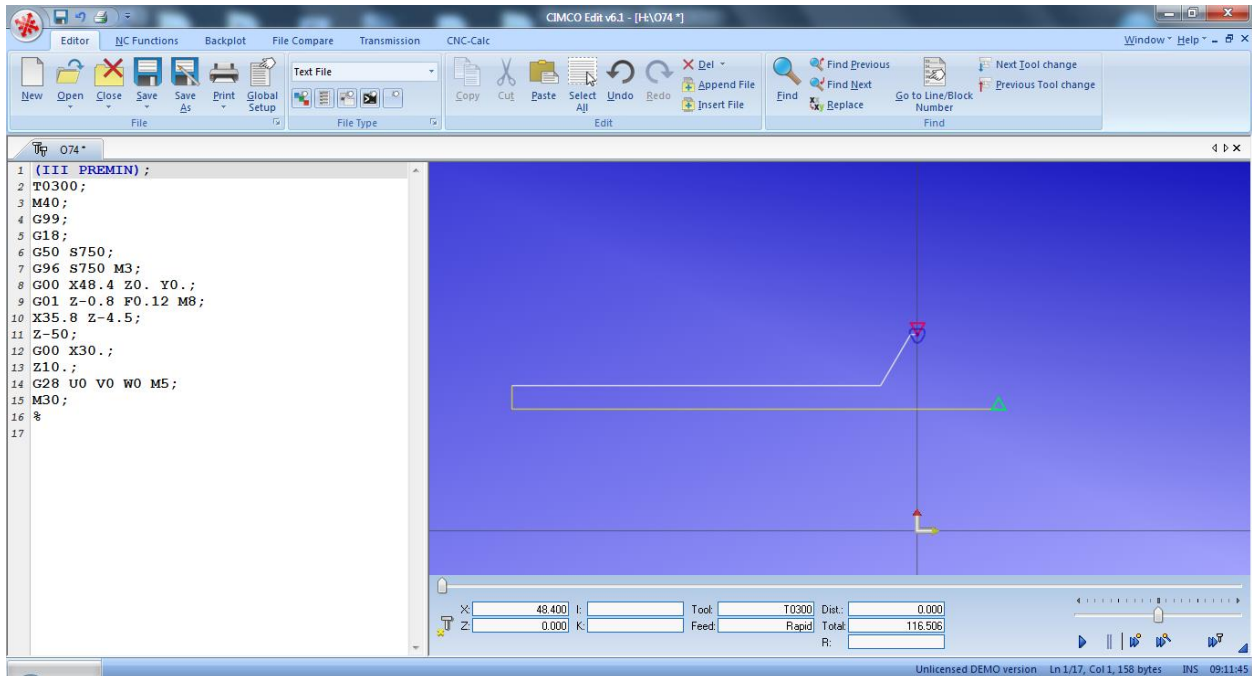
- ❖ Симулацијата на вториот премин се однесува на праволиниска и кружна линеарна интерполација на режниот алат ориентирана според хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.40). Стругарскиот нож реализира фина обработка. Таа започнува со брзо движење за позиционирање по кое следува работно движење, па финално брзо движење за одведување на стругарскиот нож од зоната на режење. На тој начин се верификува програмата и се потврдува идентичноста на контурата на интерполираното движење во однос на контурата предвидена во овој премин (сл.22б).
- ❖ Симулацијата на третиот премин претставува праволиниска линеарна интерполација на режниот алат ориентирана според хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.41). Планираната фина обработка се проследува врз основа на брзо движење на стругарскиот нож до референтната рамнина на работниот предмет, праволиниско работно и праволиниско брзо движење. Преку визуелниот приказ на симулацијата се потврдува остварувањето на предвидените координати на движење на стругарскиот нож, совпаѓањето на предвидената (сл.22в) и проследената контурна површина, вклучувајќи го и верификувањето на креираната програма.
- ❖ Симулацијата на вториот сложен зафат е резултат на трите поединечни премини кои се изведуваат во вториот процес на обработка со стругање. Претставува комбинација на хоризонтално, вертикално и косо, брзо и работно движење на различен режен алат, во насока на реализирање линеарно и кружно интерполирано движење во правец на хоризонталната Z оска и вертикалната X оска (сл.42). Преку визуализација на процесот на обработка се потврдува запазувањето на предвидените координати на движење во програмски определените точки. Се постигнува верификација на креираната програма (Прилог 5) и на предвидената и постигната контура во вториот процес т.е. втората технолошка операција за обработка со стругање (лист 5, Прилог 3).



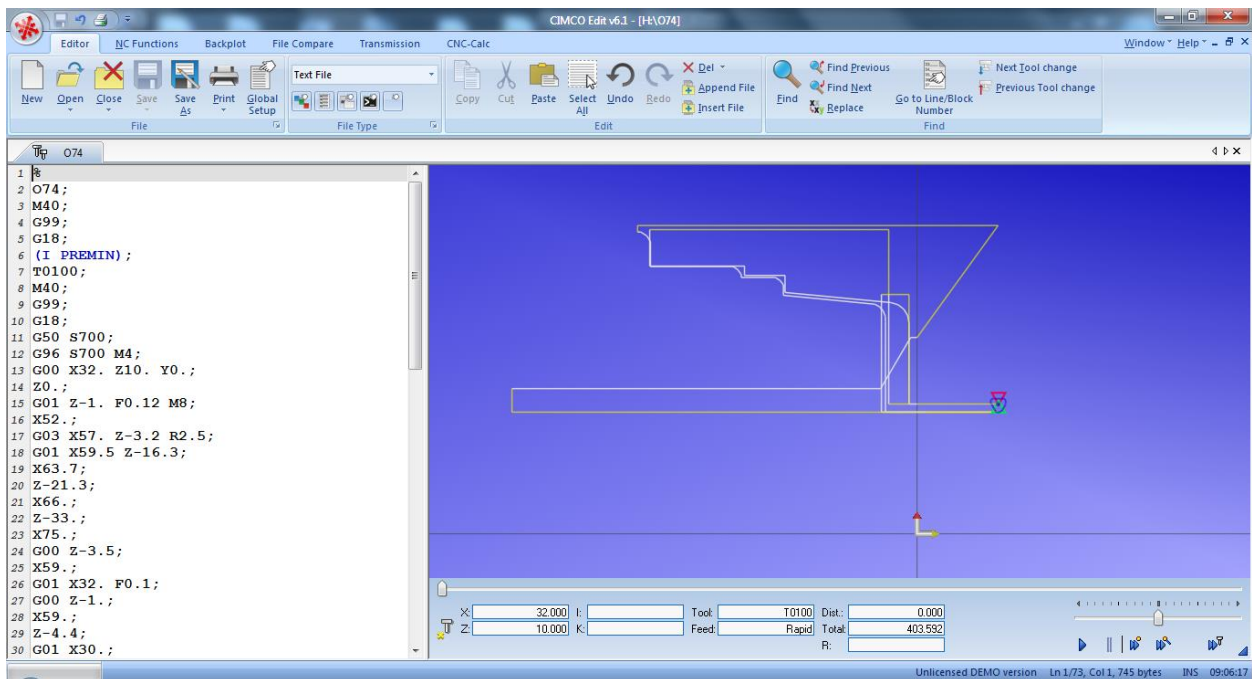
Слика 39: Симулација на првиот премин
Figure 39: Simulation of the first pass



Слика 40: Симулација на вториот премин
Figure 40: Simulation of the second pass



Слика 41: Симулација на третиот премин
Figure 41: Simulation of the third pass



Слика 42: Симулација на вториот зафат
Figure 42: Simulation of the second cutting operation

8. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на спроведеното истражување во рамките на оваа магистерска работа се произлезени следните констатации:

- ❖ Примената на симулација на секој процес на обработка со режење е од исклучителна важност за точноста, прецизноста, сигурноста и ефективноста во текот на реализирање на процеси на обработката со режење на соодветни CNC металорезачки машини.

- ❖ Големiot подем и брзиот технолошки развој на металорезачките машини доведува до значаен прогрес не само во областа на обработката со режење, туку и во начинот на управување на самите машини преку замена на рачното со компјутерско управување.

- ❖ Замената на машинските функции кои се управуваат рачно со адекватни функции кои се управуваат компјутерски, го зголемува бројот на функции кои се изведуваат независно од операторот (човечкиот фактор). На тој начин се овозможува имплементација на компјутерското т.е. програмското управување кај CNC металорезачките машини.

- ❖ Како резултат на имплементацијата на компјутерското управување во секој процес на обработка со стругање кој се реализира на конкретен CNC струг, се создаваат реални услови за паралелно претставување и анализирање на процесите на обработка со стругање како системи на компјутерско управување со повратна врска.

- ❖ Спроведеното истражување, т.е. приказот и анализата на двата процеси на обработка со стругање како системи на компјутерско управување со повратна врска, со четири (исти) влезни и излезни големини покажува дека разликата во процесите настанува поради различната вредност на влезните големини. Различната вредност на влезните големини доведува до различен тек на процесите и различна вредност на излезните големини. Затоа, секој од процесите т.е. системите се анализира самостојно без оглед на фактот дека обработката која се реализира е од ист тип, има ист принцип на функционирање и се изведува на истиот струг.

❖ Резултатите покажуваат дека управувачката единица во текот на реализирање на процесите на обработка со стругање ги следи програмските наредби предвидени во програмите за управување на стругот. Конкретно, секоја излезна големина е показател на тенденцијата на управувачката единица да ја воспостави и задржи вредноста на влезната големина во секој процес.

❖ Управувачката единица покрај постигнување на предвидената вредност на X, Y, Z координатите на движење на работните елементи како влезна големина, на излезот генерира и симулација на интерполираното движење на работните елементи во тридимензионален координатен систем. Интерполираното движење на работните елементи го афирмира управувањето со функционалната зависност на движењето на работните елементи по координатни правци т.е. управувањето по крива во рамнина, истакнувајќи го управувањето на функционалната зависност на компонентите кои ја формираат структурата на самиот струг.

❖ Предвидената вредност на брзината на главното движење како влезна големина во процесот, има задржана т.е. иста вредност на излезот што придонесува обработената површина на работниот предмет да има ист квалитет, без оглед на промената на дијаметарот по кој се изведува обработката.

❖ Предвидената вредност на брзината на помошно движење како влезна големина фигурира и на излезот од процесот со иста вредност, која претставува показател дека управувачката единица, во текот на реализирање на процесите на стругање ја задржува брзината на помошно движење на програмски предвидената вредност.

❖ Предвидената вредност на длабочината на режење т.е. дебелината на материјалот кој се отстранува во процесот на обработка со стругање, како варијабилна влезна големина придонесува за варијабилна вредност на соодветната излезна големина. Конкретно, движејќи и позиционирајќи ги работните елементи со предвидени координати и брзина на главно и помошно движење, во насока на отстранување на предвидената дебелина непотребен материјал и запазување на трите наведени влезни големини, извршните елементи претрпуваат различно оптоварување. Секоја поголема вредност на длабочината

на режење придонесува за поголема вредност на оптоварувањето на извршниот елемент кој го придвижува соодветниот работен елемент, а секоја помала вредност на длабочината на режење ја намалува вредноста на оптоварувањето. Во тој поглед се потврдува дека вредноста на оптоварувањето на извршниот елемент, кој овозможува движење на соодветен работен елемент се менува правопрпорционално на длабочината на режење.

❖ Визуализацијата на интерполираното движење на работните елементи на стругот во софтвер за симулација „*CIMCO Edit v6.1*“, овозможува значително зголемување на сигурноста и безбедноста во процесите на обработка со стругање. Изведувањето на самите процеси се постигнува во рамките на планираното време, според предвидената технолошка подготовка и креираните програми за управување на стругот без појава на грешка и предизвикување на штета или судири во работниот простор на стругот.

❖ Визуализацијата на текот на процесите на обработка со стругање како и аналитичкиот приказ на вредноста на излезните големини, од моментот на стартување до моментот на целосно комплетирање т.е. до финализирање на програмскиот блок придонесува за (и води кон) сигурен и безбеден тек на анализираните процеси.

❖ Практикувајќи ја визуализацијата на процесите на обработка и следејќи ги излезните големини се создаваат услови за навремено коригирање на вредноста на секоја од влезните големини. Коригирањето на вредноста на соодветна влезна големина е проследено со моментална промена на текот на симулацијата. На тој начин трајно се елиминираат сите грешки и недостатоци (во програмите) кои можат негативно влијаат на текот или целосно да го нарушат одвивањето на процесите.

❖ Покрај сигурноста за текот на процесот на обработка, дополнително е обезбедена и сигурност во поглед на исходот од секој процес. Програмските наредби предвидени во програмите на управување успешно се реализираат и работниот предмет се изработува согласно бараната точност, форма, димензии и квалитет на обработената површина.

❖ Исто така постојаноста и неприкинатоста на процесите на обработка со стругање (во кои однапред е елиминирана секоја појава на грешка) води кон постигнување повторливост во текот на изведувањето на истите процеси и значително зголемување на продуктивноста, запазувајќи ја точноста.

❖ Софтверите за симулација не само што ја осигуруваат точноста во процесите на обработка, туку служат и како алатка која овозможува скратување на времето и ресурсите за реализација на процесите. Затоа, примената на софтверите за симулација придонесува не само за верификација на програмата, туку значително влијае за оптимизација, подобрување, зголемување на ефикасноста и продуктивноста во секој процес на обработка.

9. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Alciatore, D. G., & Hstand, M. B. (2012). Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, 4th ed., Mc Graw Hill, United States of America, 573.
2. Bishop, R. H. (2008). Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition: The Mechatronics Handbook, 2nd ed., CRC Press, United States of America, 755.
3. Cao, X., Xiao, W., & Zhao, G. (2020). STEP–NC–compliant High Efficient Machining Simulation, CAD Conference and Exhibition, 231–236.
4. Chapman, S. J. (2005). Electric Machinery Fundamentals, 4th ed., Mc Graw Hill, United States of America, 773.
5. Evans, K. (2016). Programming of CNC Machines, 4th ed., Industrial Press, United States of America, 488.
6. Groover, M. P. (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 4th ed., John Wiley & Sons, United States of America, 1025.
7. Groover, M. P. (2015). Automation, Production Systems, and Computer – Integrated Manufacturing, 4th ed., Pearson Higher Education, United States of America, 811.
8. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2009). Manufacturing Engineering and Technology, 6th ed., Prentice Hall, United States of America, 1197.
9. Kaltjob, P. (2018). Mechatronic Systems and Process Automation: Model – Driven Approach and Practical Design Guidelines, CRC Press, United States of America, 468.
10. Kandray, D. E. (2010). Programmable Automation Technologies: An Introduction to CNC, Robotics and PLCs, Industrial Press, United States of America, 528.
11. Kultu, A. (2016). Design and development of a lathe spindle, Master of Science Thesis MMK 2016:02 MKN 064, 96.
12. Liao, L., & Chen, Q. (2021). Research on the Programming Technology of Five Axis CNC Machining Impeller Based on Virtual Reality Technology, Journal of Physics, 7.

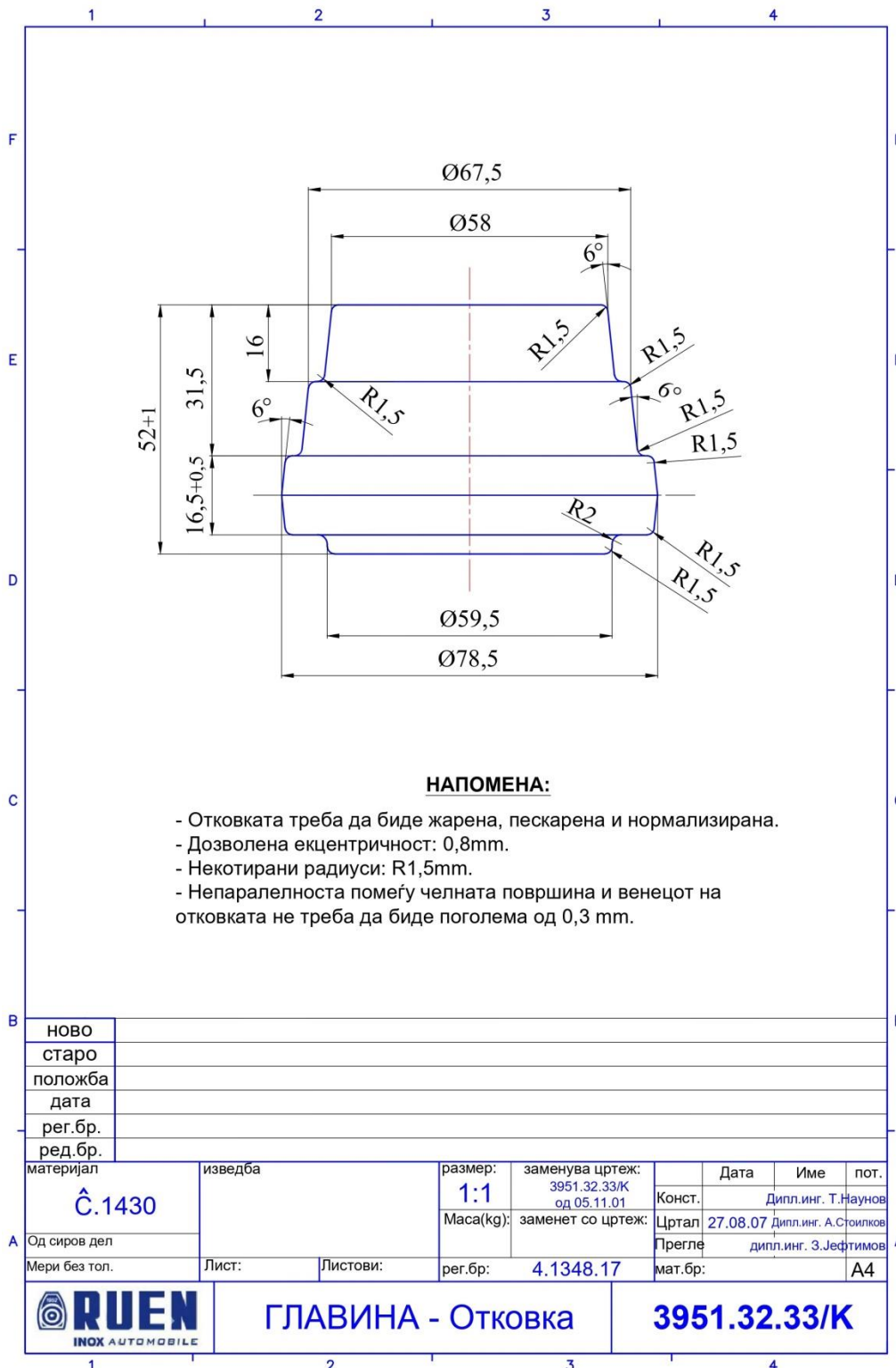
13. Nair, P. R., Khokhawat, H., & Chittawadigi, R. G. (2018). ACAM: A CNC Simulation Software for Effective Learning, International Conference on Robotics and Smart Manufacturing, Procedia Computer Science, 133, 823–830.
14. Pyrhonen, J., Hrabovcova, V., & Semken, R. S. (2016). Electrical Machine Drives Control: An Introduction, John Wiley & Sons, United Kingdom, 527.
15. Radhakrishnan, P., Subramanyan, S., & Raju, V. (2008). CAD/CAM/CIM, 3th ed., New Age International, New Delhi, 690.
16. Regodić, D., & Cvetković, D. (2011). Automatizacija, proizvodni sistemi i računarski integrisana proizvodnja, Univerzitet „Singidunum“, Beograd, 347.
17. Smith, G. T. (1993). CNC Machining Technology, Springer – Verlag, London, 443.
18. Smith, G. T. (1993). CNC Machining Technology: Design, Development and CIM Strategies, Springer – Verlag, London, 186.
19. Stefanović, M., Đorđević, A., Puškarić, H., & Abadić, N. (2018). Improving Quality of Training by Using a Web Based System for Remote Programming of CNC Simulators, International Conference on Quality of Life, 3, 225–232.
20. Suh, S., Kang, S., Chung, D., & Stroud, I. (2008). Theory and Design of CNC Systems, Springer – Verlag, London, 477.
21. Tabakovic, S., Zivanovic, S., Dimić, Z., & Zeljkovic, M. (2021). Programming and Program Verification of 3–axis Hybrid Kinematics CNC Machine for Rapid Prototyping, International Conference „MMA 2021“, 14, 71–74.
22. Valvo, E. L., Licari, R., & Adornetto, A. (2012). CNC Milling Machine Simulation in Engineering Education, International Journal of Online and Biomedical Engineering, 8(2), 33–38.
23. Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D. (2011). Control and Mechatronics: The Industrial Electronics Handbook, 2nd ed., CRC Press, United States of America, 683.
24. Wildi, T. (2014). Electrical Machines, Drives, and Power Systems, 6th ed., Pearson Education, United Kingdom, 927.
25. Yau, H. T., Chen, J. L., Yu, B. R., & Yang, T. J. (2014). Development of 3D Simulation System for Multi–Axis Turn–Mill Machining, International Conference

- on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 4, 717–724.
26. Yip–Hoi, D. (2013). Using Simulation to Improve the Efficiency of CAM and CNC Instruction, ASSE Annual Conference & Exposition, 120(1), 15.
27. Zhang, Y., Li, L., & Dong, F. (2016). Five–axis CNC Programming and Machining Simulation of the Integral Impeller, International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, 6, 376–381.
28. Zivanovic, S., Slavkovic, N., Dimic, Z., Vasilic, G., Puzovic, R., & Milutinovic, D. (2017). Virtual Machine Tools and Robots for Machining Simulation Based on Step–NC Program, International Conference on Materials Engineering and Nanotechnology, 6, 41–52.
29. Zivanovic, S., Slavkovic, N., Kokotovic, B., & Milutinovic, D. (2017). Machining simulation of virtual reconfigurable 5–axis machine tool, International Journal of Engineering, 15(2), 189–194.
30. Zivanovic, S., Tabakovic, S., Zeljkovic, M., Mladjenovic, C., & Košarac, A. (2017). Machining simulation and verification of tool path for CNC machine tools with serial and hybrid kinematics, International Conference „Heavy Machinery – HM 2017“, 9, 63–68.
31. Бошковски, П. (2020). Автоматско управување и програмирање, Министерство за образование и наука на Република Северна Македонија, Скопје, 208.
32. Бошковски, П. (2020). Технологија на обработка, Министерство за образование и наука на Република Северна Македонија, Скопје, 246.
33. Лазаревска, Е. (2018). Проектирање на системи на автоматско управување, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, 294.
34. Лазаревска, Е. (2021). Дигитални системи на автоматско управување, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, 423.
35. Цветков, С. (2018). Обработка со режење и пластична деформација, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, 360.

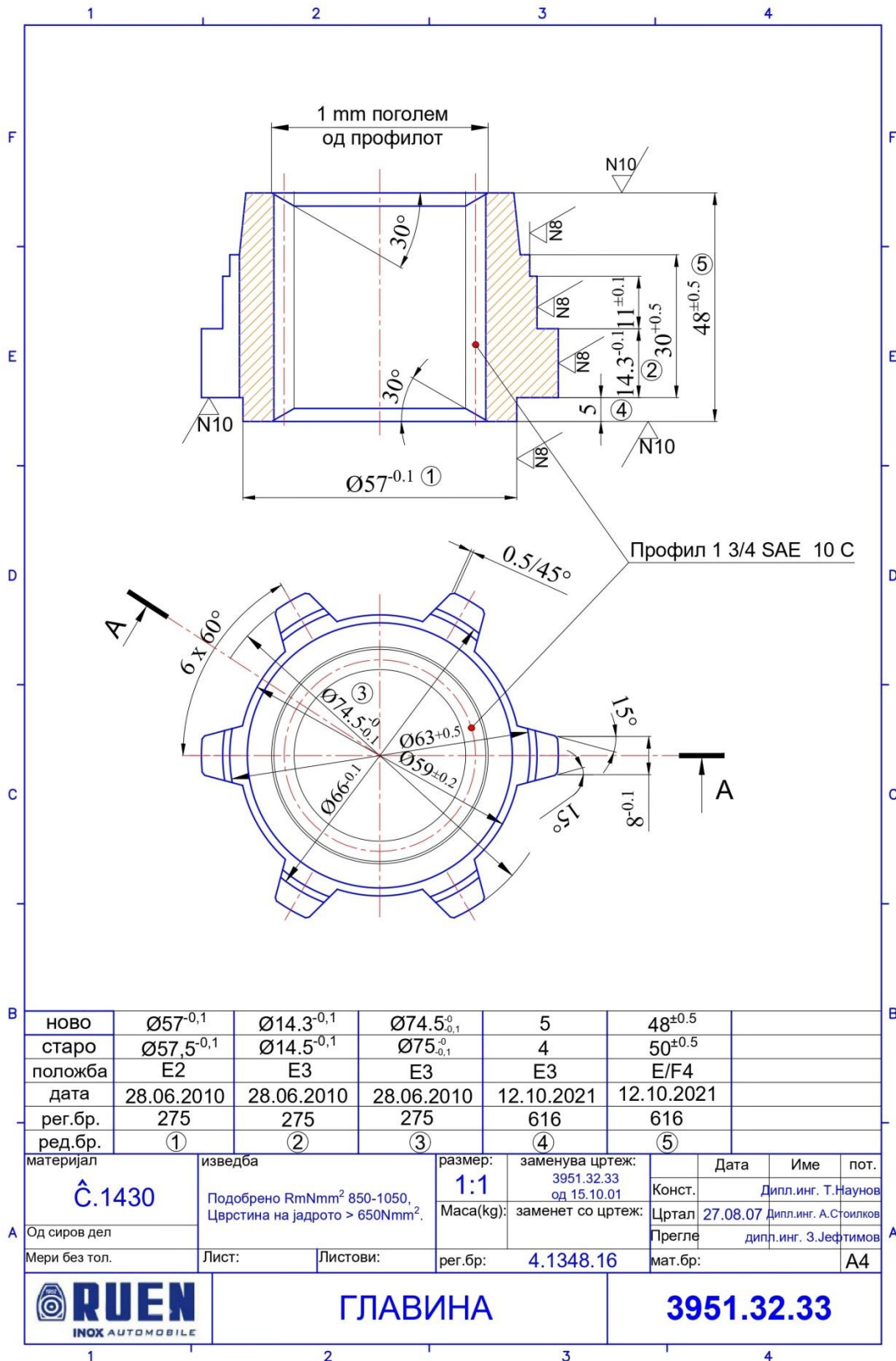
36. Цветков, С., Трајчевски, Н. и Димитров, С. (2022). Конвенционални и нумерички управувани металорезачки машини и помагала, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, 278.
37. Чингоски, В. (2019). Основи на применета електротехника, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, 197.

ПРИЛОЗИ


Прилог 1: Конструктивен цртеж на отковка на главина




Прилог 2: Конструктивен цртеж на главина



Прилог 3: Технолошка подготовка за изработка на главина

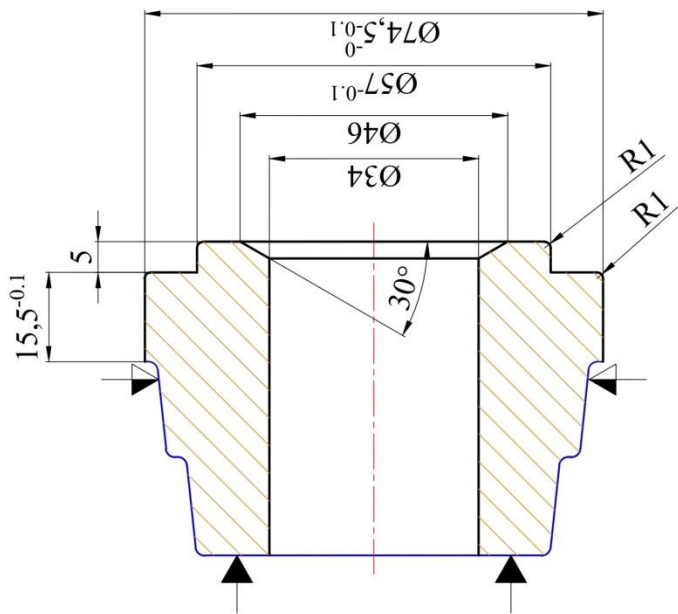
		ПРОИЗВОД 395 WGTZ	СКЛОП 3951.30.00	РЕГ. НА ДЕЛОТ 4.1348.16	ОЗНАКА НА ДЕЛОТ 3951.32.33		
<h1>ТЕХНОЛОШКА ПОДГОТОВКА</h1>							
<h2>ГЛАВИНА</h2>							
ИМЕ НА ДЕЛОТ: _____							
<h3>МАТЕРИЈАЛ</h3>			Состав на технолошки материјал				
Број на парчиња	Врста и ознака	Димензии	Полупроизвод	Тежина во kg	Јачина kg/mm ²	Вкупно листови	Вкупно операции
По производ 1	Ć.1430	Отковка 3951.32.33/К				9	7
По склоп 1							
Измени							Лист: 1

ИС - 700 - 012

	ПРЕГЛЕД на времето по операциите на делот - потсклопот - склопот				Производ	Склоп	Број на делот	Ф-жа за	Лист
	ИМЕ НА ДЕЛОТ:				395 WGTZ	3951.30.00	3951.32.33	СПОЈКИ	2
ГЛАВИНА				Материјал:	Парчиња по артикал	Заедничко со:	Важи од:		
				Ā.1430	1		СТАЛЕН - ПРИВРЕМЕН		
Реден број	Опис на работата на операцијата	Врста на машина инв. број	Категор. и гр. на работа	Линија	Тв	Бр. парч. за смена			
10	Термичка обработка - подобрување	Термичка				Заедничко со:			
20	Стругање - кратка страна	CNC Струг Hitachi							
30	Стругање - долга страна	CNC Струг Hitachi							
40	Провлекување	Хоризонтална провлекувачка CM Kirova							
50	Глодање	Универзална глодалка Hurth							
60	Индукционо калење	Индукционен апарат							
70	Површина заштита - фосфатирање	Фосфатирилица							
Измени - напомени - забелешки:				Дата	Потпис	Време по 1 парче =			
				Аналитичар					
				Нормирец					
				Технолог					

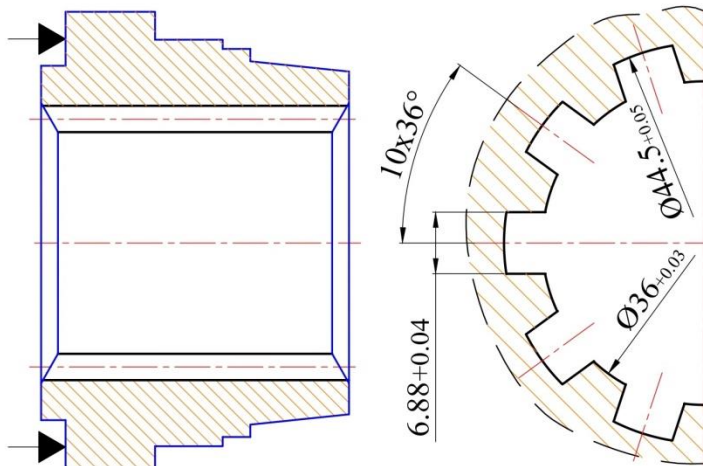
ОЗНАКА		НАЗИВ	
анат		Програма бр.: 73	
резен		Топовски сврдел Ø34	
Мерен		Подвижно мерило	
CNC Струг Hitachi		операција бр.	
врста		име	
снага на моторот		датум	
име на делот		потпис	
ГЛАВИНА		20	
395 WGTZ		ознака	
3951.32.33		лист	
лист		9	
лист		4	

материјал		состојба на материјалот		група		припрема		време по парче		ВКУПНО	
б.1430											
број на вртежи		постап.		длабочина		фаза		ново: 5		старо: 4	
режими на работа		1		2		3		4		5	
измени		8		7		6		5		4	
Б. Митев		16.03.2022		нормирец		контролор		име		ПОТПИС	
				дата		име		ПОТПИС			



СТРУГАЊЕ - КРАТКА СТРАНА

- Да се изврши дупчење и стругање на кратката страна на отковката според прикажаната скица.

		<p align="center">ПРОВЛЕКУВАЊЕ</p> <p align="center">- Да се изврши провлекување на отковката со ДВА провлекувачи на ХОРИЗОНТАЛНА ПРОВЛЕКУВАЧКА и тоа:</p> <p align="center">I Провлекувач R-375.31.11 и II Провлекувач R-352.32.21.</p>		материјал Ā.1430		состојба на материјалот		група		време по парче		ВКУПНО	
				број на вртежи		дата		припрема		обработка		име	
режими на работа		постап. длабина		нормаирец		контролор		контролор		контролор		контролор	
фаза		1 2 3 4 5 6 7 8		1 2 3 4 5 6 7 8		1 2 3 4 5 6 7 8		1 2 3 4 5 6 7 8		1 2 3 4 5 6 7 8		1 2 3 4 5 6 7 8	
измени		ново: воведување на второ провлекување		старо: нема		Б.Петрова23.06.22		Б.Петрова23.06.22		Б.Петрова23.06.22		Б.Петрова23.06.22	

алат		ознака		назив	
S-1560		S-1560		Стезен алат за провлекување	
резен		R-375.31.11 R.352.32.21		Провлекувач Провлекувач	
мерен		KO-1000 JAL-24-336 IDE 352.32.21 1 3/4" 10C KO-683/352.32.21		Контролник за назабување Назабен контролник Назабен дорнер за контрола	
Машина		Хоризонтална провлекувачка		Дата 25.11.09 име ПОТПИС	
име на делот		врста CM Kigova		дип.инг. Б.Петрова	
ГЛАВИНА		одобрил		Дипл.инг. М.Миладинов	
артикал		395 WGTZ		ознака 3951.32.33	
листови вкупно		9		лист 6	

**ПОВРШИНСКА ЗАШТИТА -
ФОСФАТИРАЊЕ**

- Да се изврши површинска заштита - фосфатирање на отковката за заштита и превенција од корозија.

										ознака		назив	
										алат			
										резен			
										мерен			
										Машина		Фосфатирилица	
										врста		цртал	
										сната на моторот		дата	
										име на делот		име	
										вкупно		потпис	
										време по парче		име	
										припрема		дата	
										обработка		потпис	
										група		име	
										нормирец		име	
										контролор		потпис	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	
										7		7	
										6		6	
										5		5	
										4		4	
										3		3	
										2		2	
										1		1	
										8		8	

Прилог 4: Програма за управување на стругот за првиот процес на обработка со
стругање

%

O73;

M40;

G99;

G18;

(I PREMIN);

T0900;

M40;

G99;

G18;

G50 S450;

G96 S450 M3;

G00 X0. Z30. Y0.;

Z4.;

G01 Z-56. F0.07 M8;

G00 Z10. M9;

G28 U0 V0 W0 M5;

(II PREMIN);

T0100;

M40;
G99;
G18;
G50 S750;
G96 S750 M4;
G00 X82. Z10. Y0.;
Z-5.7 M8;
G01 X58.7 F0.12;
Z-1.1;
X33.;
Z2.;
G00 X33.;
G01 Z-1.2;
X55.;
G03 X58. Z-2. R1.;
G01 Z-5.9;
X77.;
G01 Z-23.;
X77.;
G00 Z10.;
G28 U0 V0 W0 M5;

(III PREMIN);

T0500;

M40;

G99;

G18;

G50 S800;

G96 S800 M4;

G00 X33. Z10. Y0.;

Z4.;

G01 Z-0.5 F0.2 M8;

X53.;

G03 X56.8 Z-2. R2.;

G01 Z-5.5;

X70.5;

G03 X74.4 Z-7. R2.;

G01 Z-21.9 F0.14;

X73.4;

X76.;

G00 Z10.;

G28 U0 V0 W0 M5;

(IV PREMIN);

T0300;

M40;

G99;

G18;

G50 S750;

G96 S750 M3;

G00 X47. Z10. Y0.;

Z2.;

G01 Z-1. F0.12 M8;

X30. Z-5.5;

G00 Z10.;

G28 U0 V0 W0 M5;

M30;

%

Прилог 5: Програма за управување на стругот за вториот процес на обработка со стругање

%

O74;

M40;

G99;

G18;

(I PREMIN);

T0100;

M40;

G99;

G18;

G50 S700;

G96 S700 M4;

G00 X32. Z10. Y0.;

Z0.;

G01 Z-1. F0.12 M8;

X52.;

G03 X57. Z-3.2 R2.5;

G01 X59.5 Z-16.3;

X63.7;

Z-21.3;

X66.;

Z-33.;

X75.;

G00 Z-3.5;

X59.;

G01 X32. F0.1;

G00 Z-1.;

X59.;

Z-4.4;

G01 X30.;

Z10.;

G28 U0 V0 W0 M5;

(II PREMIN);

T0500;

M40;

G99;

G18;

G50 S900;

G96 S900 M4;

G00 X30. Z1. Y0.;

G01 Z-3.9 F0.14 M8;

X52.3;

G03 X56.6 Z-5.2 R2.;

G01 X58.8 Z-16.5;

X61.4;

G03 X63.2 Z-17.5 R2.;

G01 Z-21.7;

X63.9;

G03 X65.9 Z-22.7 R2.;

G01 Z-32.9;

X72.;

G03 X74.4 Z-34.1 R2.;

G01 Z-34.5;

G00 X76.;

Z10.;

G28 U0 V0 W0 M5;

(III PREMIN);

T0300;

M40;

G99;

G18;

G50 S750;

G96 S750 M3;

G00 X48.4 Z0. Y0.;

G01 Z-0.8 F0.12 M8;

X35.8 Z-4.5;

Z-50.;

G00 X30.;

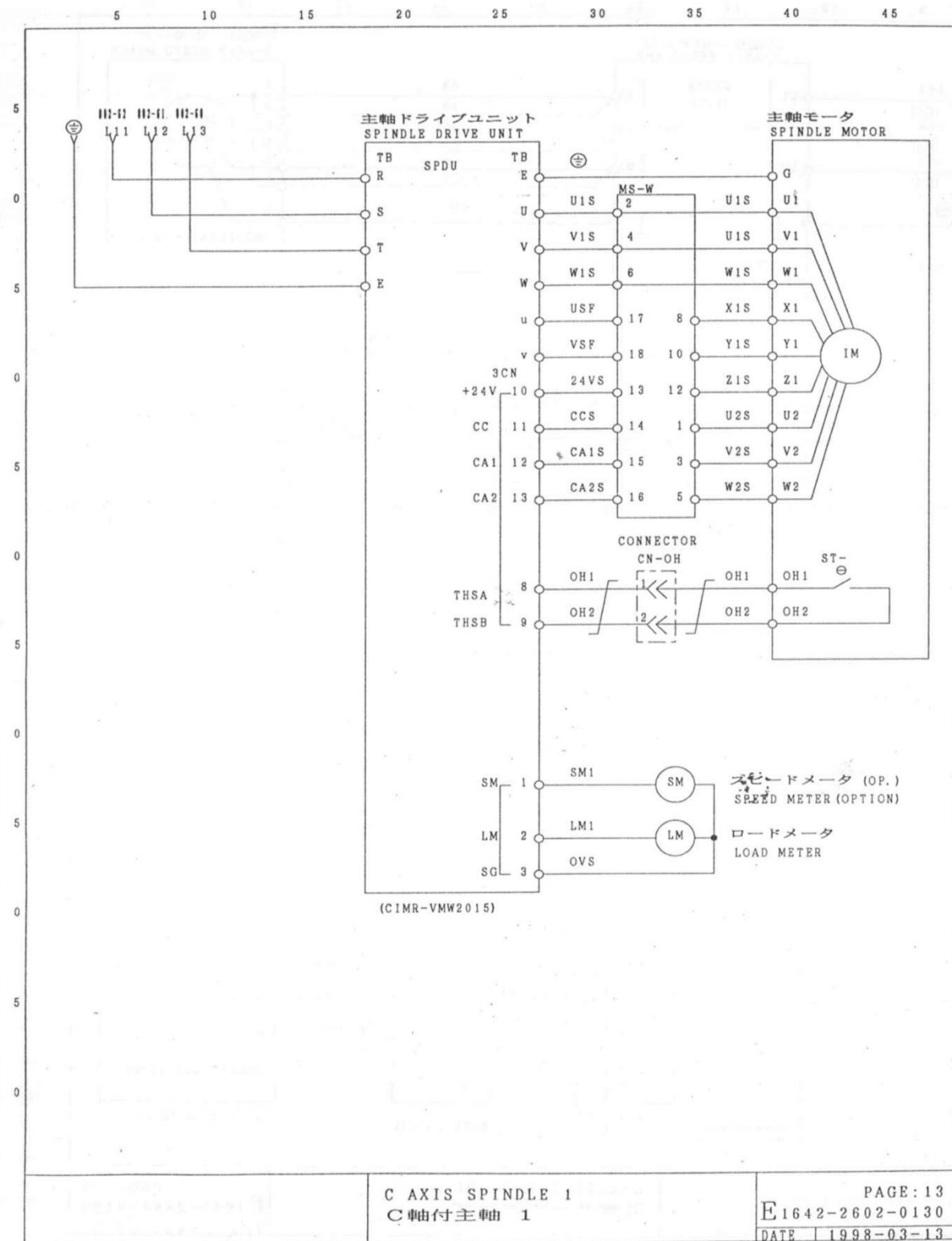
Z10.;

G28 U0 V0 W0 M5;

M30;

%

Прилог 6: Електрична шема на погонски сервомотор за главно движење

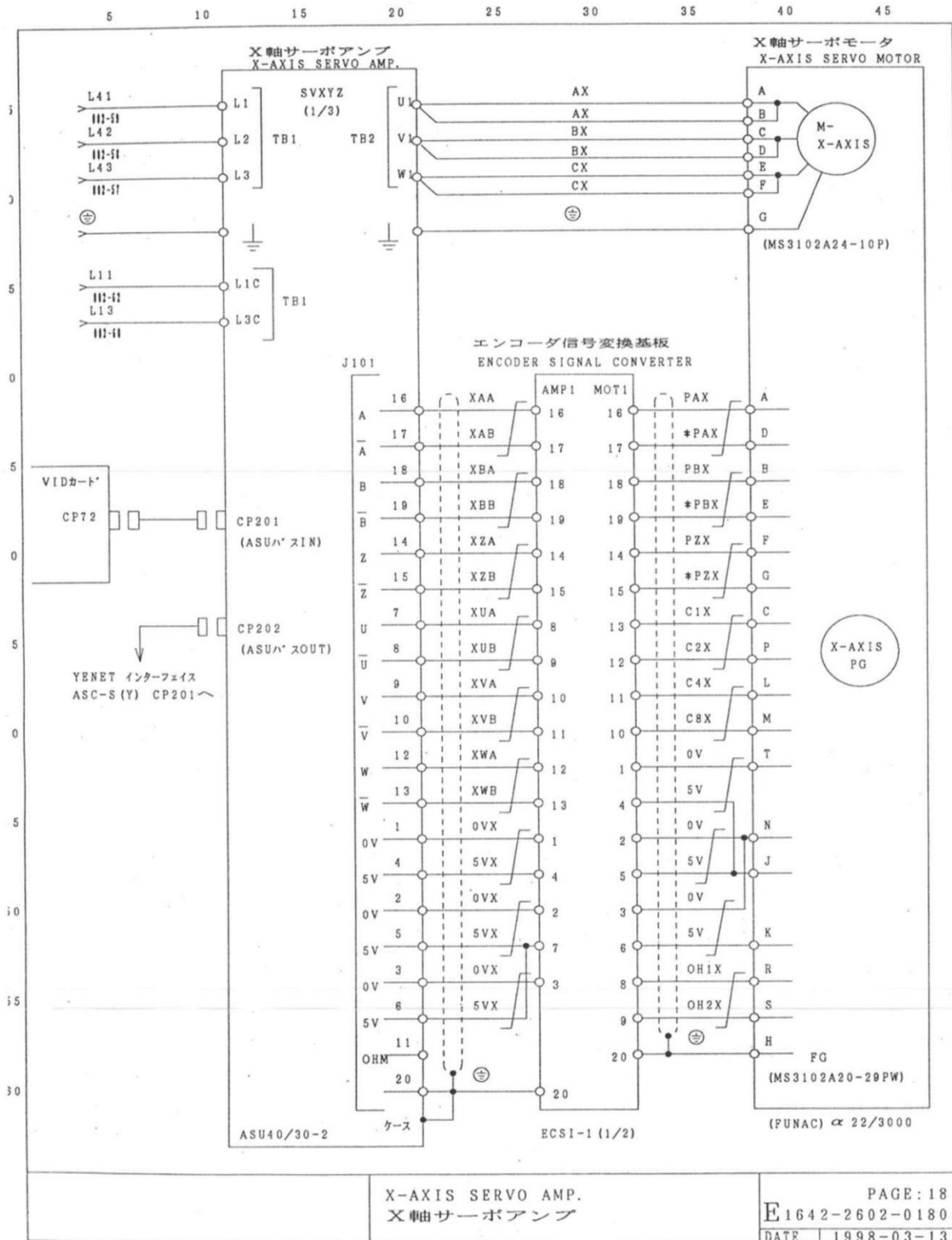


C AXIS SPINDLE 1
C 軸付主軸 1

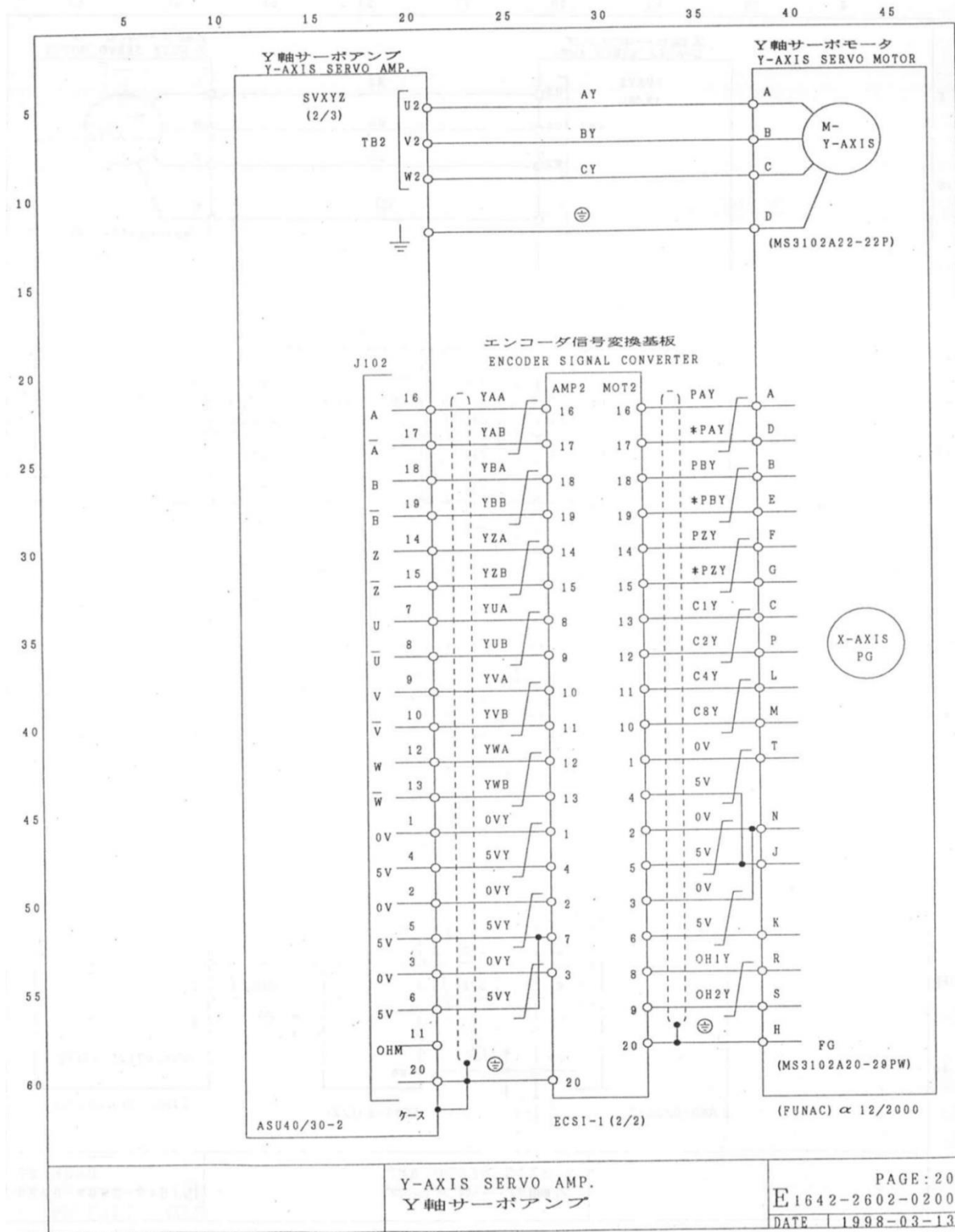
PAGE: 13
E1642-2602-0130
DATE | 1998-03-13

HITACHI SEIKI CO., LTD.

Прилог 7: Електрична шема на погонски сервомотор за помошно движење во правец на X- оската



Прилог 8: Електрична шема на погонски сервомотор за помошно движење во правец на Y- оската



Y-AXIS SERVO AMP.
Y 軸サーボアンプ

PAGE: 20
E 1642-2602-0200
DATE | 1998-03-13

HITACHI SEIKI CO., LTD.

Прилог 9: Електрична шема на погонски сервомотор за помошно движење во правец на Z- оската

