

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Радован Р. Бачанин

**Управљачка јединица CNC машине
резања воденим млазом**

завршни рад

Крагујевац, 2018.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Архитектура рачунарских система

Број индекса: 720/2014

Радован Р. Бачанин Управљачка јединица CNC машине резања воденим млазом

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Радуловић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише методу резања млазом воде (Water jet), управљачку јединицу CNC машине и да изложи пример машинског кода за израду позиције модела, који представља лого факултета.

Препоручена литература:

- [1] **Недић, Б.: Лазић, М.:** Производне технологије, Обрада метала резањем, Машински факултет Крагујевац, 2007.
- [2] **Девеџић, Г.:** CAD/CAM технологије, Машински факултет Крагујевац, 2009.
- [3] WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB

Крагујевац, октобар 2018.

Ментор:
Проф. др Јасна Радуловић

РЕЗИМЕ:

У овом раду биће описана метода резања млазом воде (Waterjet) која се појавила у новије време, развојем нових технологија. Биће описана управљачка јединица машине са специјалним опцијама, додатна јединица за фино штеловање (MPG unit), алат који се користи при изради позиције. Приказана је технологија која се све више користи у индустрији, захваљујући многобројним предностима резања. Дат је пример израде програма у посебном софверу предвиђеном за неконвенционалне технике, са приказом поступка израде позиције задатог облика.

Кључне речи: CNC машина, Waterjet, FANUC

ABSTRACT:

In the final work we will describe the waterjet cutting method that emerged recently, with the development of new technologies. The control unit of the special-option machine will be described, the additional fine-tuning unit (MPG unit), the tool used in the construction of the position. The technology is being used in the industry, thanks to the numerous advantages of cutting. An example of creating a program in a special software designed for non-conventional techniques is given, showing the procedure for creating a position of the given shape.

Key words : CNC mashine, Water jet, FANUC

САДРЖАЈ:

1. УВОД.....	6
2. CNC МАШИНЕ.....	7
2.1. ПРОГРАМИРАЊЕ CNC МАШИНЕ.....	9
2.2. ПОСТУПАК ОБРАДЕ СЕЧЕЊА БОДЕНИМ МЛАЗОМ	10
2.3. ОПИС СЕЧЕЊА ВОДОМ ПОД ПРИТИСКОМ (WATER JET)	11
3. ЕЛЕМЕНТИ CNC МАШИНА WATER JET	12
3.1. УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА МАШИНЕ (MCU)	13
3.1.1. ДИСПЛЕЈ ЈЕДИНИЦА (FANUC)	17
3.1.2. РУЧНИ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛСА (MPG UNIT)	25
3.2. АЛАТ МАШИНЕ	27
3.3. ПОГОНСКИ СИСТЕМ (ПУМПА“STREAMLINE”)	28
3.4. PLC (Programmable Logic Controller)	30
4. ФУНКЦИЈЕ FANUC УПРАВЉАЧКЕ ЈЕДИНИЦЕ.....	31
4.1. ГЛАВНЕ ФУНКЦИЈЕ (G- код за управљачку јединицу FANUC 18 i).....	31
4.2. ПОМОЋНЕ ФУНКЦИЈЕ (M- код за управљачку јединицу FANUC 18 i) ..	32
5. ПРИПРЕМАЊЕ СИСТЕМА.....	33
6. СОФТВЕРСКИ АЛАТИ ЗА ПРИПРЕМАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ	35
6.1. CAD АЛАТИ	36
6.2. CAM АЛАТИ.....	39
7. ИЗРАДА ПРОГРАМА (NC КОДА)	40
8. ЗАКЉУЧАК.....	48
9. ЛИТЕРАТУРА	49

1. УВОД

Савремени технолошки развој у свету карактерише проналазак великог броја нових материјала, који налазе примену у различитим областима људске делатности. Код већине материјала обрада конвенционалним технологијама представља велики проблем због лома и хабања алата, неекономичности или чак, немогућности обраде. То је условило појаву нових неконвенционалних технологија обраде, код којих се обрада изводи без уобичајених ограничења у односу на својство обрадивости материјала.

Машинска индустрија је назамислива без савремених CNC (*Computer Numerical Control*) машина. CNC машине имају мање – више исте делове као и старе, ручно контролисане машине. Битна разлика је додатака контролне MCU (Machine control unit) управљачке јединице машине и серво мотора на свим осовинама. CNC рачуна положаје осовина и контролише кроз куглични вијак. [9]

Већина произвођача CNC машина купује контролне јединице које прикључују уз своје машине. Неке групе контрола се програмирају на сличан начин (Fanuc, Siemens, Mitsubishi), док неке друге су веома (Mazak, Anilam, Prototrak). Најпознатији произвођачи управљачких јединица су:

Fanuc - Јапан
Siemens-Немачка
Heidenhein-Немачка
Mitsubishi-Јапан
Јапан Mazak-Јапан

Програмирање ових машина се врши на више начина:
ISO (Слично или као и DIN) програмирање тј. преко G- кодова, M -кодова, циклуса, и циклуса X,Y,Z и B или A мера. [9]

Дијалог програмирања - преко симбола, цртежа и многих других функција зависно од произвођача. Лоша страна SIEMENS система јесте да је немогуће такав програм претворити у ISO програм. Код FANUC система напротив ово функционише веома добро. [9]

2. CNC МАШИНЕ

Компјутерски управљане машине CNC су специјализована форма флексибилне аутоматизације и CNC апликације обухватају многе врсте, иако је иницијално развијена за контролу кретања и операција машинских алата. [6]

CNC технологија се сваке године развија и при томе се јављају нова унапређења. Ово важи како за софтверски тако и за харверски део. Ова технологија је некад била доступна великим компанијама, али данас је доступна скоро свима, јер се хиљаде машина заснива на CNC технологији. CNC у преводу значи компјутерско нумеричко управљање машинама, тј. програмирање машина као што су глодалице, стругови, обрадни центри помоћу рачунара. [10]

Код CNC управљања алат води микропроцесор и на тај начин се обезбеђују сви услови да сваки обрадак у серији буде једнак. [4]

На слици 1. је приказана CNC машина:



Слика 1. Waterjet NC 3015
(фотографију начинио аутор завршног рада у фирми у којој ради)

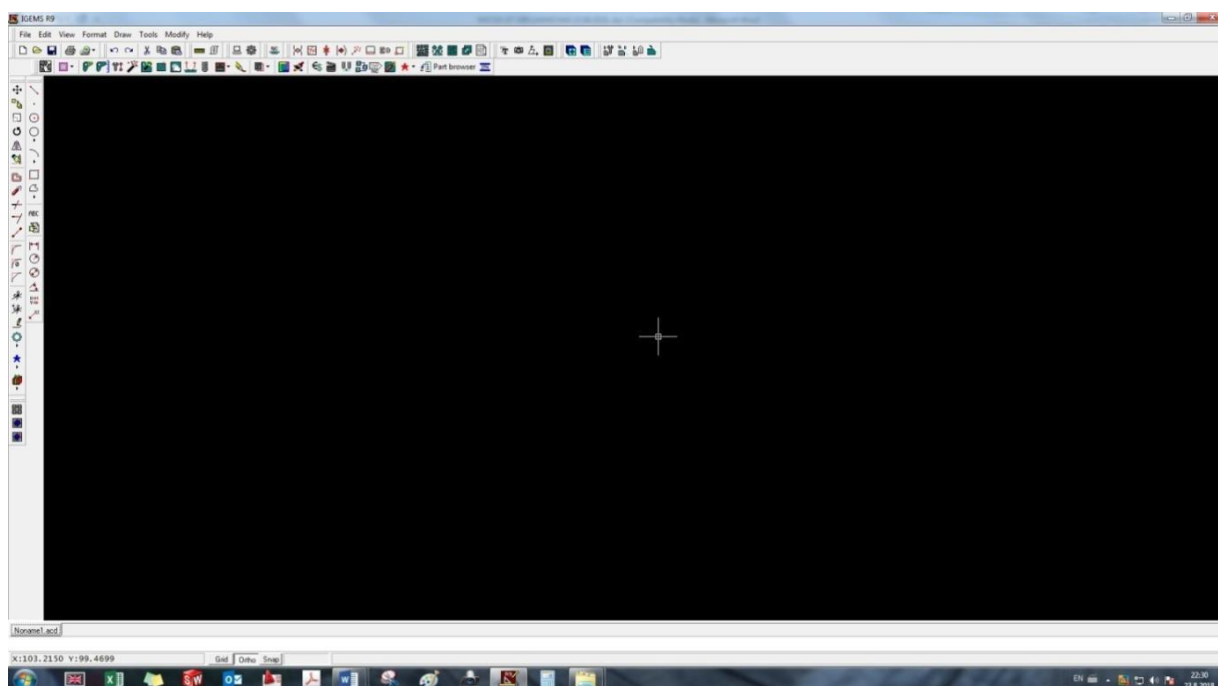
Да би се неко оспособио за рад на CNCмашини, потребно је да зна следеће:

- Дизајн- планирање шта машина треба да произведе
- Следећа тачка је превод дизајна у рачунар
- Контрола-усмеравање покрета машине
- Превод дизајна у језик машине
- Машинство-прављење жељеног производа по мерама и спецификацији.

2.1. ПРОГРАМИРАЊЕ CNC МАШИНЕ

Свака CNC машина садржи софтвер који иде уз управљачку јединицу помоћу кога се врши програмирање кретања алата. Програмирање кретања алата је дат као пример софтвер **IGEMS**.

На следећој слици је приказан изглед тог софтвера:



Слика 2. Софтвер за израду CNCкода

У овај софтвер се убацује цртеж дела или се једноставно нацрта део који је потребно изрезати. Затим се подесе сви потребни параметри за израду обрадка, одреди се димензија табле (материјала) из које ће се део изрезати, подеси се дебљина комада, одреди се колико ће абразива бити потребно за ту дебљину, одреде се улази на делу, одреди се нулта тачка и на крају постпроцесор преведе код у машински језик.

2.2. ПОСТУПАК ОБРАДЕ СЕЧЕЊА БОДЕНИМ МЛАЗОМ

Резање воденим млазом спада у нестандартне поступке обраде резања које се односе на механичко одстрањивање материјала са обрадка. Абразивни водени млаз је танак слој мешавине воде под високим притиском и песка тј. абразива, коју та вода потискује кроз дизну. [7]

У почетку су се млазом воде резали само композитни материјали. Потом је поступак обраде унапређен додавањем абразивних честица (кварцни песок) у водени млаз, чиме су се значајно проширили и опсег материјала који подлежу обради овом методом као и дебљине материјала. Сада се технологија резања млазом воде користи при резању пластике, папира, текстила, коже, хране, дрвета, а уз додатак абразивних честица челици високе тврдоће, прохром, алуминијум, титан, магнетни материјали, стакло, камен итд. Овом технологијом се једино не могу сећи нека термички обрађена стакла, дијаманти и неке врсте керамике. У питању су материјали који се одликују изузетно високом тврдоћом. [7]

Принцип деловања воденог млаза је врло једноставан. Вода под високим притиском (2000 bar – 4000 bar), се преко цеви високог притиска, доводи до резне главе у којој се налази тзв. водена млазница (дијамант, сафир) с малим промером отвора (0,1 mm до 0,4 mm). При истицању воде из млазнице формира се узак млаз воде велике брзине (до 1000 m/s). [1]

Резање воденим млазом омогућује резање свих врста метала (како термички обрађених, како сирових) , пластике, стакла (изузетак је каљено стакло), гуме, сунђера и многих других. Повољно је резање код алатних челика, јер нема утицаја високе температуре која му мења својства. Димензије обрадка се уносе у управљачку јединицу посредством рачунара у коме се налази програм за израду цртежа и завршног комада и који постпроцесор претвара у код, који се касније преноси на управљачку јединицу тј саму машину. [7]

2.3. ОПИС СЕЧЕЊА ВОДОМ ПОД ПРИТИСКОМ (WATER JET)

Процес резања заснива се на коришћењу кинетичке енергије млаза добијене услед изузетно велике брзине струјања воде (до 1000 m/s). Процес резања се може изводити:

- Без додатака абразивних честица – за резање се користи искључиво млаз воде и са њиме се могу сећи мекши материјали као што су стиропор, папир и др.
- Са додатком абразивних честица – за резање се користи кварцни песак кога вода под високим притиском гура ка материјали и тако настаје рез. Материјали који се секу са абразивним честицама су челици, алуминијум и остали тврђи материјали.

Основни делови система за резање воденим млазом

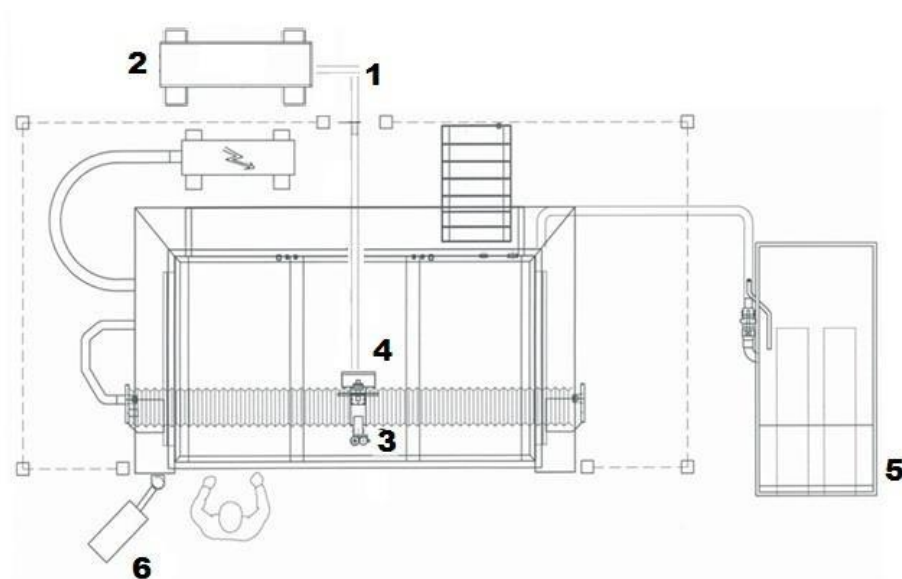
су : Вода под притиском усмерена цевима (1)

Систем за генерисање високог притиска воденог млаза (Пумпа Streamline,

2) Резна глава (3) са резервоаром за абразив (4)

Резервоар за скупљање абразива и одвојених честица након

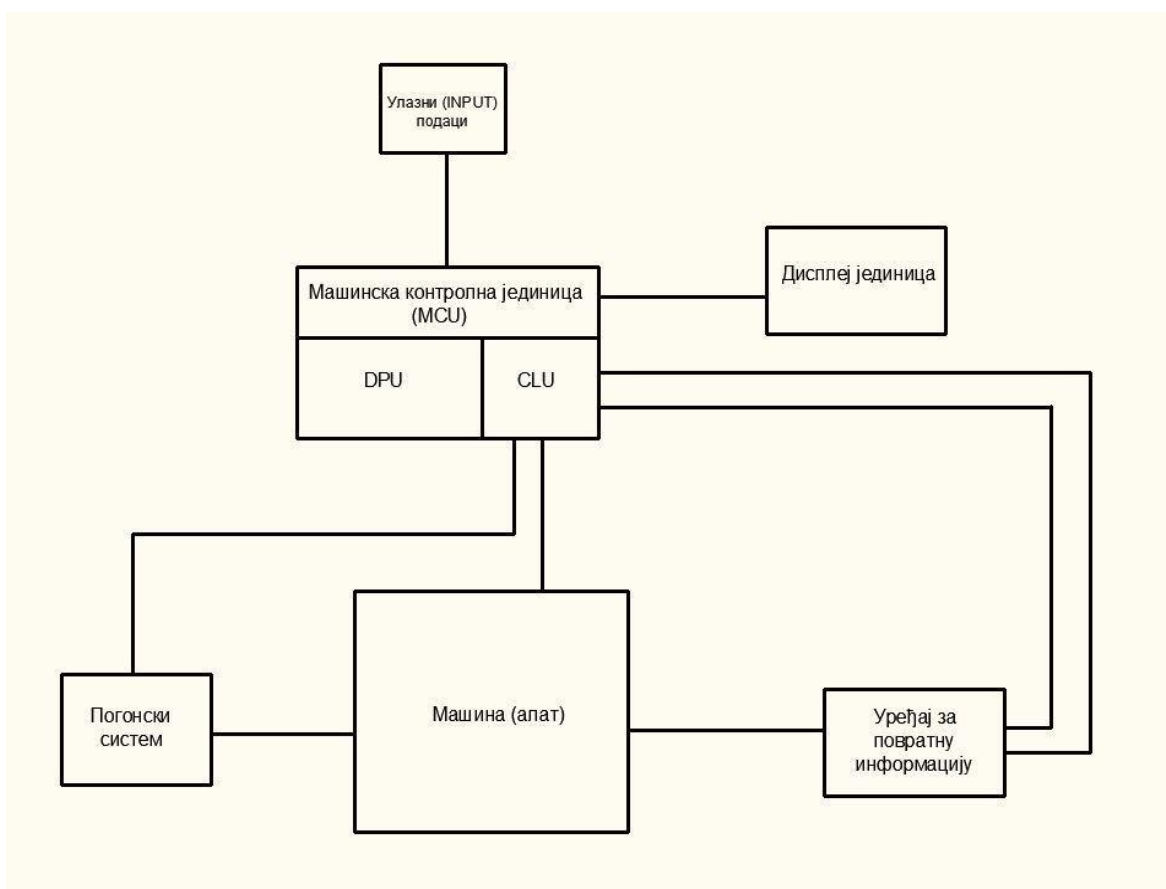
резања (5) Систем за управљање помоћу рачунара (6). [3]



Слика 3. Шематски приказ система обраде воденим млазом
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

3. ЕЛЕМЕНТИ CNC МАШИНА WATER JET

CNC се може сматрати средством за управљање машином помоћу употребе директних нумеричких вредности које се убацују у машину, где се захтевана улазна техничка информација складишти на неки медијум попут CD, DVD, HDD, USB, RAM меморије. Машина прати задату секвенцу машинских операција задатом брзином неопходном да се произведе део одговарајућег облика и величине по очекиваним резултатима. [6]



Слика 4. Приказ елемената CNC машине

Елементи CNC машина:

- Улазни (input) уређај
- Управљачка јединица машине (MCU)
- Машински алат
- Погонски систем
- Уређаји за повратну информацију
- Дисплеј јединица

3.1. УПРАВЉАЧКА ЈЕДИНИЦА МАШИНЕ (MCU)

Представља срце CNC система. Постоје две под јединице у управљачкој јединици и једна служи за обраду података DPU , а друга је јединица управљачке петље CLU. [6]

Јединица за обраду података DPU

По пријему програмског дела, DPU прво интерпретира и декодира програм дела у интерни машински код. Интерполатор DPU а онда израчунава средње позиције у кретању условима BLU (основна јединица дужине) која је најмања јединица дужине коју може да орађује контролер. [6]

Јединица управљачке петље (CLU)

Подаци из DPU а се конвертују у електричне сигнале у CLU да би контролисали покретачки систем ради захтеваних захвата. Друге функције као што су завојно вретено укључи/искључи су такође контролисани од стране ове јединице према интерним машинским кодовима. [6]

Управљачка јединица -командна табла садржи сигурносни прекидач, велики екран осетљив на додир, тастере за дефинисање одређених функција, прекидаче, потенциометар за промену брзине резања, као и USB-порт и прикључке каблова. Тастатура се састоји из дела сектора Старт-Стоп команде за покретање и заустављање програма, тастатуре за ручно позиционирање. Помоћу командне табле може се извршити учитавање, верификација, визуелни приказ програма, контрола програма. [6]



Слика 5. Конфигурација MCU-а у CNC систему

MCU је део хардвера по коме се разликује CNC од класичног NC. MCU се састоји од следећих компоненти:

- Централна процесорска јединица (CPU)
- Меморија
- I/O интерфејс
- Контрола за осе алата и брзину вретена
- Редослед контрола за остале функције машине. [8]

Ови потсистеми су повезани помоћу системских линија, којима се врши размена података и сигнала компоненти мреже. [8]

Централна процесорска јединица CPU је мозак MCU -а. Она управља осталим компонентама у MCU заснованим на софтверу који се налази у главној меморији. CPU се може поделити на три дела:

- секција контроле
- аритметичко-логичка јединица
- директан приступ меморији



Слика 6. Приказ хардвера у кутији контролне јединице(фотографију начинио аутор завршног рада у фирми у којој ради)

Процесор садржи многобројне потпрограме која се позивају у различита времена за време процесирања изворног програма. Процесор је пројектован тако да има способност откривања грешака у програму које су проузроковане грешком програмера.

Секција контроле преузима команде и податке из меморије и генерише сигнале за активирање других компоненти у MCU. [8]

Аритметичко-логичка јединица састоји се од кола за обављање разних калкулација (сабирање, одузимање, множење), бројање и логичке функције захтевају софтвер који је похрањен у меморији.

Директан приступ меморији обезбеђује привремено складиштење података које обрађује CPU. Повезан је са главном меморијом путем системске магистрале података.

Непосредни приступ меморији у CPU није намењен за складиштење софтвера за CNC. Много већи складишни капацитет је неопходан за разне програме и податке који су потребни за управљање CNC системом. Као и већина других рачунарских система, CNC меморија се може поделити у две категорије главну и секундарну меморију. Главна меморија или примарно складиште се састоји ROM и RAM уређаја. Оперативни систем и програми за интерфејс машине углавном се налазе у ROM у. Ови програми су обично инсталирани од стране произвођача MCU а . Програми за нумеричку контролу делова се чувају у RAM уређајима. Тренутни програм у RAM меморији може се избрисати и заменити новим програмима како се радна места мењају. Уређаји секундарне меморије великог капацитета се користе за складиштење великих програма и датотека са подацима који су пребачени у главну меморију по потреби. Међу секундарне уређаје спадају HDD дискови , USB меморије и остали преносни уређаји. [8]

Улазно излазни уређаји (I/O интерфејс) омогућава комуникацију између различитих компоненти CNC система, других рачунарских система и оператора машине.

Контрола осе алата и брзине вретена су хардверске компоненте које контролишу положај и брзину дуж сваке осе машине, као и ротациону брзину вретена машине.

Секвенца контроле за остале функције машине остварује се контрола додатних функција поред контроле положаја моста у односу на сто машине , брзине померања резних глава и брзине резања комада.

Ове помоћне функције су углавном за бинарне радње укључивања и искључивања абразива и опције директних нумеричких података тј. радњи. Да би се избегло преоптерећење процесора, програмабилни логички контролер (PLC) се понекад користи за управљање I/O интерфејсом за ове помоћне функције. [8]

3.1.1. ДИСПЛЕЈ ЈЕДИНИЦА (FANUC)

Дисплеј јединица је интерактивни уређај између машине и оператора. Када је машина активна дисплеј јединица приказује статус, на пример код програма у датом тренутку који машина одрађује.

Ова управљачка јединица је заснована на Пентиум процесорима (постоји могућност избора) са Windows оперативним системом, што поред свих предности PC технологије укључује и мрежно повезивање са другим рачунарима. [8]



Слика 10. Монитор за управљачки систем FANUC
(извор: www.scribd.com/doc/57986455)

Познати јапански произвођач FANUC већ годинама представља једног од лидера у производњи и развоју управљачких система. Њихово примарно тржиште чине Азија и Северна Америка, где су њихови системи преовлађујући у примени у машинама алаткама и роботским системима. Нова серија Fanuc управљачких система базираних на отвореној архитектури (160i, 180i, 210i, као и 160s, 180s, 210s) представља интеграцију конвенционалне CNC управљачке јединице и PC рачунара. [8]

Као и у другим случајевима и FANUC је напредније моделе управљачких система ове, нове генерације управљачких јединица конципирао из два дела: танког панела који се уграђује на машину и CNC јединице која се поставља у управљачки орман, док везу између њих чини високо брзинска серијска комуникација. [8]



*Слика 11. FANUC управљачки систем нове генерације
(извор: www.scribd.com/doc/57986455)*

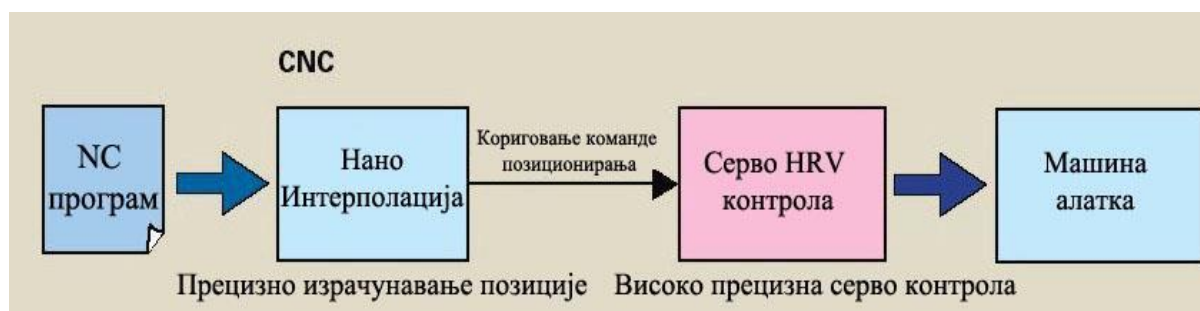
Овакав концепт је примењен на моделе 160i, 180i и 210i који спадају у управљачке системеме високих перформанси, на којима се налазе верзије Windows 2000 и Windows XP оперативног система и који имају веће захтеве за елементима PC рачунара. Управљачки системи који имају захтеве за повишеном поузданошћу имају ознаку S, па су тако настали системи 160s, 180s и 210s.

Ова група управљачких система може бити конфигурисана на два начина: као систем који обједињује CNC јединицу са LCD дисплејем (слика 11.), и као раздвојени систем који се састоји од независног CNC панела са PC функцијама, који је повезан са посебном CNC јединицом. Ова варијанта управљачког система користи оперативни систем Windows SE који је познат по својој компактности и не захтева хард диск што чини систем веома поузданим за примену на машинама алаткама. [8]

Савремени управљачки системи FANUC отворене архитектуре због својих карактеристика имају интегрисан читав низ нових технологија чији је задатак повећање тачности и ефикасности машина алатки. Ту спадају:

- Нано интерполација,
- HRV (High Response Vector) контрола вретена и погона оса,
- Систем за уштеду енергије,
- Двоструки надзорни систем.

Нано интерполација представља математички алгоритам за знатно тачније дефинисање позиције алата и радног предмета, при чему се на основу управљачког програма дефинишу позиције у нанометарским јединицама и као такве се прослеђују систему за контролу позиције, а затим и самој машини (слика 12.) . На овај начин се остварује много тачније позиционирање радног предмета и алата, као што се на слици 12. и види. [8]

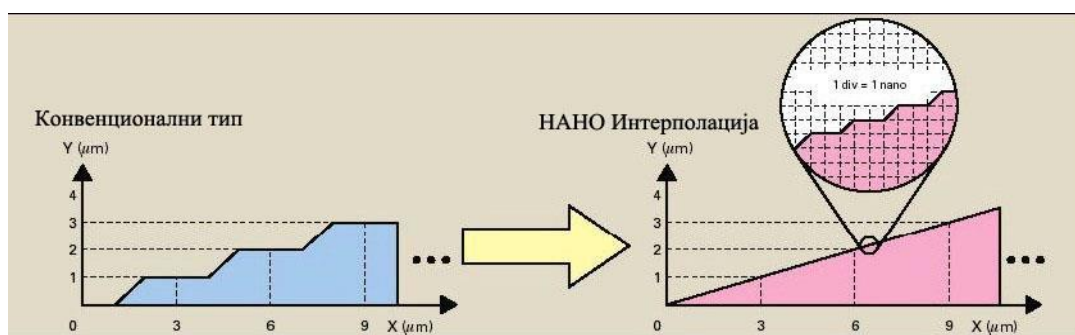


Слика 12. Шематски приказ нано интерполације (извор: www.scribd.com/doc/57986455)

HRV контрола вретена погона појединих оса има задатак у комбинацији са нано интерполацијом омогући примену већих брзина обраде истовремено повећавајући прецизност и тачност позиционирања. Овај тип контроле се користи за контролу помака и за контролу вретена. Висока прецизност помака се остварује комбинацијом јединствене структуре серво мотора, давача високе резолуције и HRV контроле. Уштеда енергије се остварује коришћењем ефикаснијег серво система чиме се скраћује циклус обраде, а самим тим добија и уштеда у енергији. Двоструки надзорни систем представља паралелну примену CNC и надзорног процесора у процесу провере података кретања. [8]

Примена свих ових новина у CNC технологији, уз максимално коришћење комуникационих могућности РС рачунара и олакшаној градњи управљачког софтвера применом за конвенционалне рачунаре уобичајених програмских језика омогућили су да ова група управљачких јединица буде веома конкурентна и по могућностима међу доминантнијим на тржишту. Управо то захтева постојећа репутација фирме FANUC.

Управљачки системи новије генерације се у комбинацији са новим моделима серво мотора (SIMODRIVE) могу користити за градњу машина алатки које по данашњим критеријумима имају екстремне карактеристике. [8]



Слика 13.Резултати примене нано интерпол
(извор: www.scribd.com/doc/57986455)

Слика 14. Главни панел са тастатуром FANUC 180 i



Р.Б.	Опис
1.	TFT 10,4" екран 18i MB
2.	Порт за меморијску картицу (Flash-card)
3.	Тастатура екрана;
4.	Тастатура за 18i MB
5.	Стоп машине
6.	Паљење и гашење машине.
7.	Сигурносно дугме
8.	Ресет машине
9.	Аутоматски паљење пумпе
10.	Cycle start/stop,
11.	Брзина програма сечења 1%
12.	Брсина програма сечења 10%
13.	Операторске функције Main. [5]

Слика 14. Главни панел са тастатуром
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

Следећи тастери су општи за типове машина, могуће је изабрати специјалне тастере за одређене машине (Табела 1.)

Табела 1.

Симбол	Опис
ГЛАВНИ РЕЖИМ	
	MEM- Аутоматски режим, извршавање програмско дела са аутоматским низом блокова
	EDIT-Модификација програма
ОПШТИ РЕЖИМ	
	MDI– Мануални унос података, ручни унос и извршење CNC кодова
	DRY RUN- Изведба дела програма у сувом начину рада
	PROGRAM CHECK- Тест програма за делове без команде пуњења
	SINGLE BLOCK- Изведба блока делова по блоковима
	RETRACE- Повратак програмског циклуса
	REPOS- Враћање на позицију након заустављања
	PROGRAM RESTART- Поново покрените број изабраног блока
	SKIP- Сви блокови који почињу са косом (/) неће се извршавати када се активирају, индикаторско светло се укључује и активира
	M01-Сви M01 кодови ће се извршити када се активира овај тастер
ФУНКЦИЈЕ	
	WATER ON/OFF- Активира или деактивира резну главу, индикаторска лампица је укључена када се активира
	ABRASIVE ON/OFF- Активира или деактивира абразивне хранилице, индикаторска лампица је укључена када се
	HEIGHT SENSOR ON/OFF- Активира или деактивира се нзорвисине, индикаторска лампица је укључена када активира
	MUD PUMP- Активирање пумпе блата
	SAFETY BARRIER UP/DOWN- Сигурносна баријера на предњој страни[5]
ЈОГ, ПОКРЕТАЊЕ МАШИНЕ	
	JOG MODE- Непрекидно кретање
	HAND HELD MPG UNIT ON/OFF

	PROGRAM 0-POINT(G54)- Програм уноса нулте тачке за координатни систем
	Ручно померање X осе
	Ручно померање Y осе
	Ручно померање Z осе
	Померање у негативном смеру
	Померање у позитивном смеру
НР - ОПЦИЈЕ ПУМПЕ	
	HP-PUMP ON/OFF- Укључивање / искључивање пумпе
	HIGH/LOW PRESSURE(option)- Индикаторска лампица је укључена када пумпа високог
	NC RESET- Ресет система
	SERVO POWER ON/OFFandMESSAGECONFIRMATION
ОПЦИЈЕ РЕСЕТОВАЊА СИСТЕМА	
	RAPID- Померање мануално
GO	Када се активира сва брза фаза програмског циклуса биће подешена на 100% брзину. [3]

Функцијски тастери на плочи се директно везују за опције менија, табела 2.

1. 2. 3. 4.



5. 6. 7.

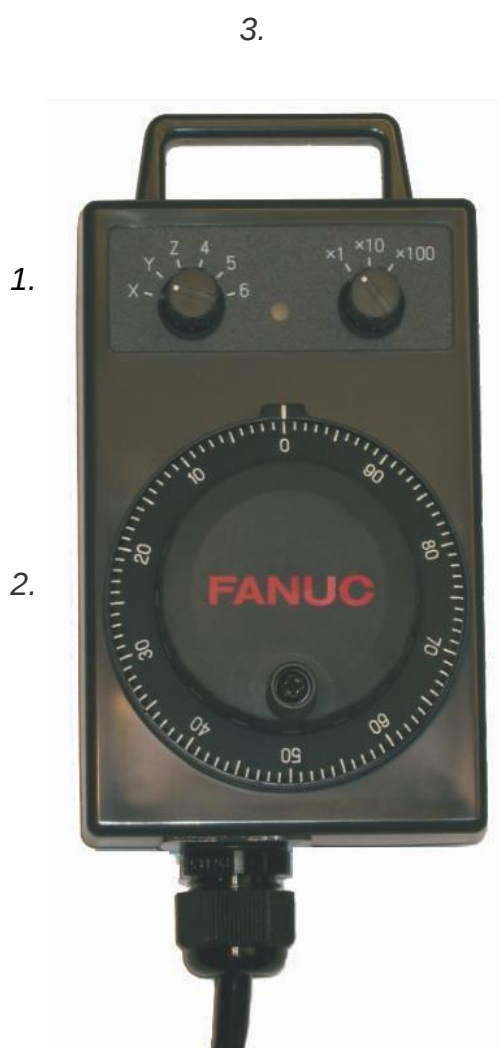
Слика 15. Тастатура (мени опције)
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

Табела 2

Р.Б.	Опис
1.	POS (position); Визуелизација машине и положај програма
2.	PROG (program); Приказује актуелни програм и има опције за учитавање и модификацију програма
3.	OFFSET(offset); Компензација и подешавање нулте тачке
4.	CSTM (custom); Приступ опцијама машине
5.	SYS (system); Приступ параметрима машинског система
6.	MSG (message); Приказ аларма и дневника аларма
7.	GRAPH; Визуализација програмског кода. [3]

3.1.2. РУЧНИ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛСА (MPG UNIT)

MPG UNIT (Manual generator impulse) се користи као додатна јединица са стандардним функцијама на командној табли, разлика је у томе што помоћу генератора можемо фино да наштелујемо почетну тачку нашег, тј. нулту тачку одакле ће програм да започне. [3]



Слика 16. Мануални пулс генератор
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

Свака CNC машина има ручни генератор импулса. Овај уређај служи за генерисање електричних импулса (кратких таласа мале струје) у електронским системима под контролом људског оператора (ручно), за разлику од импулса које аутоматски генерише софтвер. MPG се користе на CNC машинама који користе прецизно позиционирање компоненти. Типични MPG се састоји од ротирајућег дугмета који генерише импулсе који се шаљу на контролер опреме. Контролер ће затим померити комад опреме унапред одређеном растојању за сваки пулс. [11]

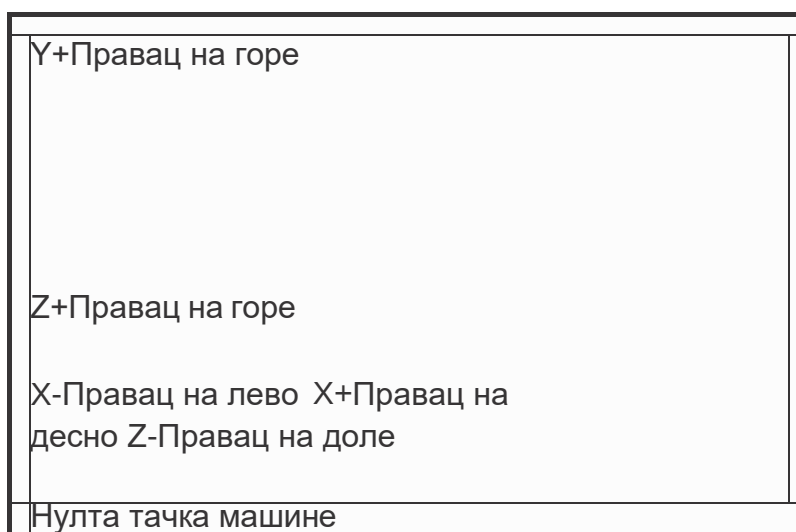
MPG јединица се активира са главног панела притиском на тастер. Када је уређај активиран, индикаторска лампица (3) је укључена. Оса зупца се бира преко прекидача (1), а инкремент се одабере прекидачем (2), прираст се креће:

1 = 0,001,

10 = 0,01

100 = 0,1mm. [3]

Покрети машине су у складу са стандардним координатним системом приказаним на слици. Тамо су два типа ручних кретања, стандардни континуирани инкрементални извор. [5]



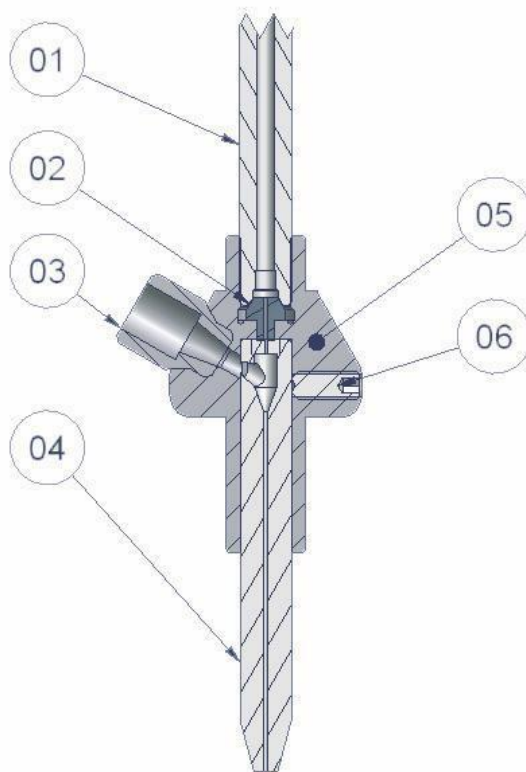
Слика 17. Покрети машине у односу на радни сто
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

Помоћу ручног генератора можемо померати радни сто у све три осе, веома прецизно (када се захтева подешавање у хиљадитом делу милиметра). Померање може да се врши и преко тастатуре FANUC контролне јединице, али није могуће прецизно померање у хиљадитом делу милиметра, већ се то померање врши у милиметрима.

3.2. АЛАТ МАШИНЕ

Користе се два типа главе за сечење, глава за резање (Water jet) и глава за сечење која се користи за чишћење чистог воденог млаза. У зависности од врсте главе реза и спецификације машине, користе се различити типови држача за резање. Такође, дужина цеви млазнице спојене на главу варира у дужини. [3]

Млаз за високи притисак из цеви млазнице (1) прво ће доћи до отвора воде (2). Водени отвори претварају воду под високим притиском у високу брзину и компактан ток. У абразивном млазу абразив се помеша са млазом великих брзина и фокусира се пре него што напусти млазницу и достигне материјал који треба да сече. Песак се улива у тело дизне (5) преко уливника (3), и на њега наилази млаз под високим притиском пролази кроз дизну (4) која је за тело причвшћена завртњем (6), и одлази до отвора и напада материјал. [3]



Слика 7. Резна глава са абразивом

(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

3.3. ПОГОНСКИ СИСТЕМ (ПУМПА“STREAMLINE”)

Састав за генерисање високог притиска мора осигурати стални проток воде високог притиска. Будући да нам је при обради воденим резањем потребан млаз воде чак и до 4000 bar, неопходна је примена генератора ваздуха. У процесу је потребно одржавати волумен и млаз воде без значајних осцилација у времену тако да је њихова контрола врло битна како би испунили те захтеве. [12]

Постоје две главне врсте пумпи које се користе за генерисање воде високог притиска: појачивач млаза (мултипликатор) и клипна пумпа. Појачивач млаза као што и сам назив каже користе принцип појачавања или мултиплицирања млаза за генерисање жељеног притиска воде. Уколико је потребно постићи притиске воде изнад 4000 bar користе се пумпе са једним или више појачивача притисак. Појачивач притиска састоји се од два цилиндра са различитим унутрашњим промерима. Уколико се примењује притисак са једне стране клипа, а са друге стране је цилиндар исте површине, притисак ће бити исти. Смањењем површине једног клипа за пола, на другом клипу ћемо добити двостуко већи притисак. Хидраулично уље делује на већу површину клипа, а на мањој површин клипа генерише се вода високог притиска.

За правилан рад појачивача притиска задужени су серво вентили који електро- сигнаlima регулишу смер довода хидрауличног уља у цилиндар. На самом крају појачивача налазе се једносмерни вентили који омогућавају излазак воде високог притиска и улазак одређене воде. Једносмерни вентил осигурава струјање воде само у једном смеру. Како би се избегло ритмично струјање воде узроковано радом пумпе употребљава се акумулатор притиска или пригушивач коју редукује осцилације притиска у систему. [12]

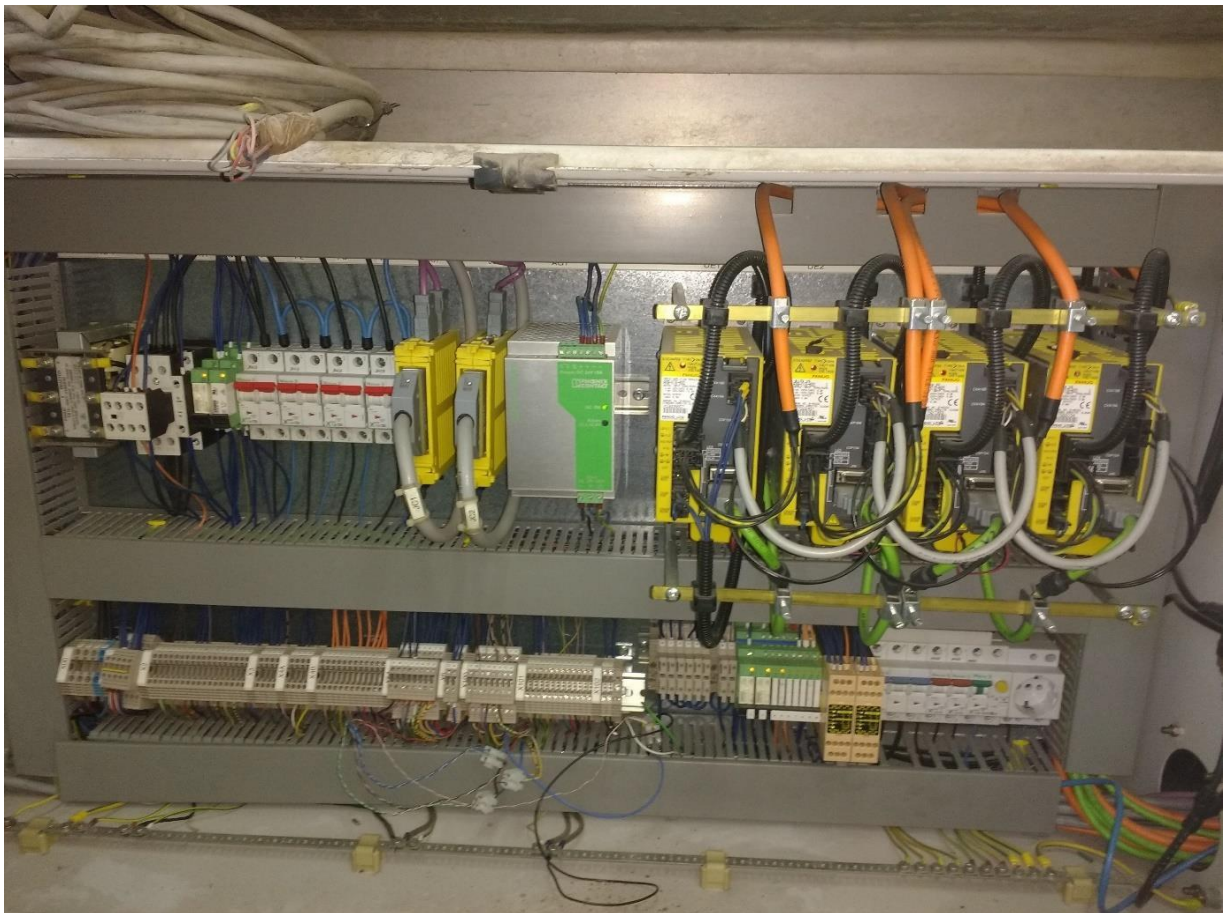


Слика 8. Пумпа високог притиска "Streamline"(фотографију начинио аутор завршног рада у фирми у којој ради)

3.4. PLC (Programmable Logic Controller)

PLC јесте програмски управљач уграђен у CNC машину који има функцију контроле вретена машине. Контрола служи за успешно извођење корака у наставку логичке операције.

Контролер се налази између CNC (управљачке јединице) и машинског програма (NC кода) по којем се машина управља. CNC извршава NC програм ред по ред. За сваки ред тражи повратну информацију да ли се радња извршила, иначе без те информације CNC машина стаје са радом и јавља грешку на екрану контролне јединице. [11]



Слика 9 . Приказ ормара у ком се налази РМС управљач (фотографију начинио аутор завршног рада у фирми у којој ради)

4. ФУНКЦИЈЕ FANUC УПРАВЉАЧКЕ ЈЕДИНИЦЕ

CNC машине врше обраду радног предмета поштујући програм који је предходно учитан у управљачку јединицу. Програм је скуп наредби које треба да изврши CNC машина да би се од припремка добио израдак тачно одређеног облика и димензија.

4.1. ГЛАВНЕ ФУНКЦИЈЕ (G- код за управљачку јединицу FANUC 18 i)

Главне функције означавају се са G и дефинишу услове кретања, односно услове пута. Пуна адреса G-функције обележава се са Gx, где X представља неки број који дефинише дату функцију.

G00 : Позиционирање

G01 : Линеарна интерполација

G02 : Циркуларна интерполација/смер казаљке на љеку сату

G03 : Циркуларна интерполација/смер супротно од казаљке на љеку сату

G04 : Тачно заустављање

G09 : Заустављање

G40 : Поништавање сваке активираних компензација

G49 : Отказивање компензација дужине алата

G53 : Координатни систем машине (нула)

G54-G59 : Координате радног система, G54 узета као стандард.

G77 : Директни циклус брушења са ниским трајањем

G90 : Абсолютно програмирање

G91 : Инкрементално програмирање

G92 : Промена координатног система

4.2. ПОМОЋНЕ ФУНКЦИЈЕ (М- код за управљачку јединицу FANUC 18 i)

Поред главних функција, које дефинишу услове кретања, постоји и група помоћних функција, које искључиво служе за давање инструкција машини алатки. Треба нагласити да је број помоћних функција различит од једног до другог управљачког система. Зависи од врсте и намене машине алатке, обима помоћних инструкција, додатних уређаја на машини и слично. Дефинисане су адресом М и двоцифреним бројем.

M00 : Безусловно заустављање

M01 : Условно заустављање

M03 : Вода укључи

M05 : Вода искључи

M07 : Абразив укључи

M09 : Абразив искључи

M30 : Крај програма

M40 : Стопирај пумпу високог притиска

M60 : Активација бушења

M70 : Деактивација сензора висине

M71 : Активација сензора висине

M98 : Позивање под програма

M99: Крај програма. [3]

5. ПРИПРЕМАЊЕ СИСТЕМА

Као део припрема пре извршења програма, компензација алата мора бити проверена или промењена, а програм 0-тачке мора бити постављен.

Компензација алата

Приликом сечења важно је надокнадити ширину млазнице. Код CNC-а употребљени алат је дефинисан вредношћу "D", D1 се користи као стандард. Радијус млазнице је дефинисан у контролеру за алат D1.

OFFSET			
NO.	DATA	NO.	DATA
001	0.380	017	0.000
002	0.000	018	0.000

Слика 18. Компензација алата

(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

Да би се задржале толеранције, било какво хабање алата, као што је абразивна млазница или водени отвори мора бити дефинисано и често контролисано, све промене морају бити додане повећањем offset алата, слика 18.

Ефекат хабања ће бити да унутрашња геометрија делова који се смањују полако постаје већа и спољашња геометрија мања. Да би се одржале толеранције, онда се компензација алата мора повећати. Ако је ефекат супротан, као и када се замени дигна или дозер, компензација мора бити смањена.

Фапис систем израчунава која страна контуре делова компензује посебним CNC кодовима, G41 је компензација на леву и компензацију G42 десно израчунато из правца сечења. Код G40 ће поништити сваку активiranу компензацију. Кодове за компензацију се обично аутоматски имплементирају CAD / CAM програми које користи машина. [3]

У систему Fanuc је могуће користити шест различитих координатних система за програм 0 тачака, дефинисане су G-кодovima G54-G59. Сви програмски координатни системи, апсолутне координате могу се поставити на било којој жељеној позицији у подручју машине. Сваки координатни систем G54-G59, израчунат је од фиксне машине од 0 тачака.

G54 је стандардни координатни систем који се користи и обично се генерише аутоматски CAD / CAM програми који користи машина. Координате за G54 се такође могу мењати директно са контролне табле према следећим одељцима. [3]



Слика 19. Нулта тачка програма
(извор: WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB)

6. СОФТВЕРСКИ АЛАТИ ЗА ПРИПРЕМАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ

Програмирање CNC машине се одрађује помоћу рачунара. Програмирање подразумева аутоматску израду CNC програма према 3D геометрији израде и режиму обраде. Обај облик програмирања користи CAD/CAM саставе, који скраћују време програмирања неког обратка.

CAD програми служе за потпору код дизајнирања и дефинисања 3D модела обратка, који се преноси у CAM програмски алат који на основу геометрије обратка генерише код са одабраном путањом алата. Технолог одабира параметре према задатом датом цртежу тј. Према захтевима израде финалног производа.

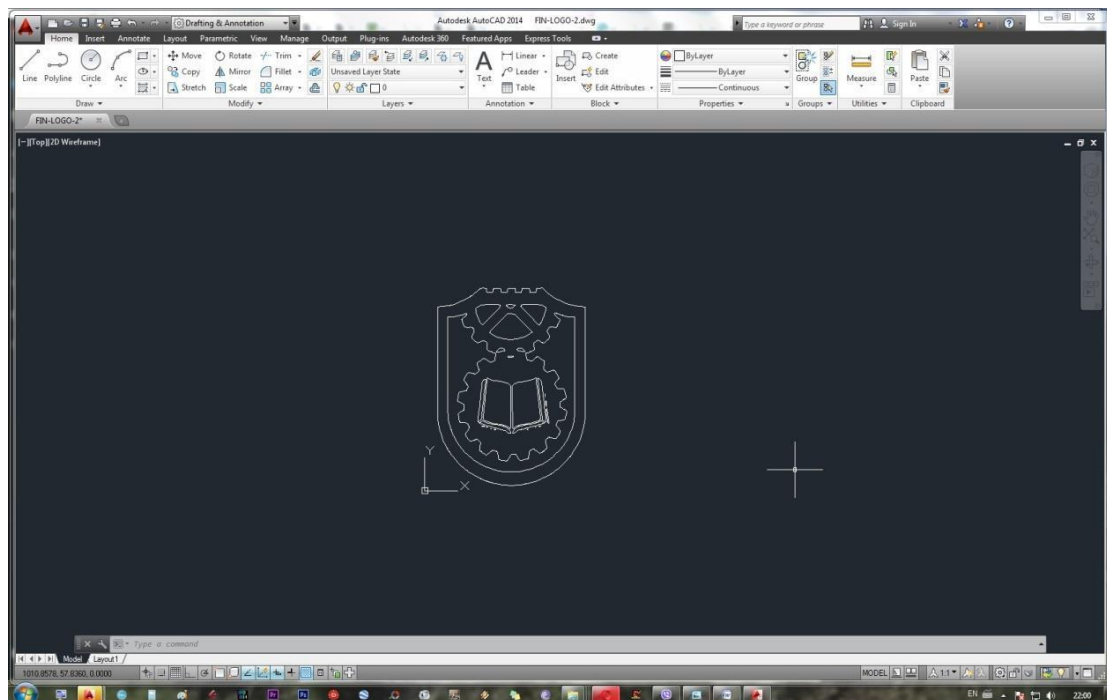
Могућност симулације на CAM алату отклања могуће грешке у програму, што спречава могућност оштећења машине и радног комада. Подаци добијени помоћу CAM софтвера обрађују се у постпроцесору, који генерише код који ће се извршавати на управљачкој јединици машине. [2]

6.1. CAD АЛАТИ

CAD представља компјутерски подржано пројектовање, а омогућава лакше и брже пројектовање и конструисање производа почевши од концепције или модела па до прототипа. Даје нам могућност брже анализе најразличитијих конструкција (од једноставне полуге па све до аеро-профила). Уз помоћ компјутерски подражног инжењерства могуће је неку структуру симулирати и тестирати на статичко, динамичко као и тоplotно понашање итд. [2]

Програм за машине треба да буде оптималан, економичан и без грешака. Програмирање обрадних процеса обухвата низ захвата на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом и кодом према правилима програмског језика у форми управљачког програма. У реалној индустријској пракси примену има:

- ручно програмирање,
- програмирање у погону,
- машинско (компјутерско) програмирање.



Слика 20. Приказ CAD алата (AutoCad 2014)

Ручно програмирање

За израду програма потребне су информације о одређеном типу машине, алатима и уређајима, материјалима, параметрима обраде, разним препорукама и слично. Ове информације се систематизују у облику база података и програмер их по потреби користи. У технолошкој бази података информације се налазе у облику карти алата, машина, каталога, табела или се налазе у датотекама рачунара и користе се по потреби. Уређене управљачке информације у форми програма потребно је пренети на носач информација преко кога ће бити унешене у меморију управљачке јединице на даље процесирање. [8]

Програмирање у погону

Развој електронике утицао је и на развој CNC управљачких јединица. Оне су претрпеле битна побољшања и данас су то углавном снажни више процесорски и микро процесорски системи са компјутерском графиком. За то већина произвођача управљачких јединица обезбеђује као стандардну верзију могућност програмирања у погону, тзв. "радионичко програмирање". Код оваквих управљачких јединица могуће је директно уношење програма преко тастатуре на самој машини коришћењем специјално развијених менија који олакшавају рад програмеру. Такође је могуће описивање контура обраде коришћењем пре дефинисаних елементарних геометријских примитива као што су цилиндар, купа, кугла, разни облици жљебова и усека, оборене и заобљене ивице, навоји и слично. [8]

Управљачка јединица је снабдевена програмима који аутоматски, на основу описа контуре, дефинишу путању алата и израчунавају све потребне координате. Такође постоје одређене програмске рутине које генеришу облик реченице за унете податке. У управљачку јединицу се уносе датотеке материјала, алата и режима тако да се одређени технолошки параметри обраде могу да директно израчунавају време обраде. Пошто имају дисплеје за приказивање слика велике резолуције, поједине управљачке јединице имају посебно развијене и уграђене програме за графичку симулацију тока технолошког процеса обраде, као и контролу путање алата, пре него што почне обрада како би се унапред отклониле евентуално унете грешке у програму. [8]

Програмирање помоћу рачунара

У ручној припреми CNC програма дела, програмер зна да дефинише кретање машине или алата нумеричким речима. Ако је геометрија површине компликована онда неможе бити програмирана ручно. [6]

Основни недостаци ручног програмирања могли би да се искажу следећим констатацијама:

- програмер мора да мења коте са цртежа и да их прилагођава координатном систему машине,
- режиме обраде програмер мора сам да дефинише
- сваки произвођач машине има свој специфичан начин програмирања и кодирања информација.

Као последице ових недостатака могу да се наведу следеће констатације:

- ручно програмирање код већег броја машина и компликованијих делова постаје "уско грло",
- потребно је више квалификованих програмера, сам технолошки поступак израде делова траје дуже услед спорог програмирања, што поскупљује производ,
- већа је могућност грешака, нарочито код сложенијих делова. [8]

Циљеви аутоматског програмирања уз помоћ рачунара могу се исказати на следећи начин:

- аутоматски прорачун путање алата на основу што краћег и једноставнијег описа жељене путање алата,
- сам проблем програмирања дефинисати описно коришћењем правила специјално развијеног симболичког језика,
- аутоматизовано одређивање режима обраде,
- аутоматско прерачунавање координатног система.

Предности примене аутоматског програмирања су:

- бржа и јефтинија израда програма,
- програми су краћи и независни од произвођача машине,
- мања је могућност уноса грешака приликом рачунања,
- боље је искоришћење програмера,
- омогућено је управљање и просторним (контурним) системима обраде. [8]

6.2. CAM АЛАТИ

Када се заврши развој конструкције појединачних делова и склопова производа, у смислу детаљне разраде, анализе и оптимизације геометрије и физичких особина, приступа се њиховој изради. Другим речима, потребно је дефинисати процес трансформације од електронке форме модела ка физичкој форми готовог производа. По природи ствари, у животном циклусу производа израда представља једну од кључних фаза, од великог је значаја обезбедити услове за претходну проверу свих релевантних аспеката производње. Тиме се могућност појаве не квалитетних производа, не повољних токова материјала и сличних проблема своди на најмању меру. То даље резултира у скраћењу времена од идеје до појаве производа на тржишту, смањењу или потпуном изостајању измена током реалне производње. [2]

CAM је компјутерски подржана производња и обухвата све фазе производње у смислу оптимизације коришћења великог броја података. Основна идеја оваквог начина развоја технологије је да се компјутер користи у сврху генерисања програма за CNC (компјутерски нумерички управљане) машине алатке. Потреба за развојем оваквих програмских пакета проистекла је из потребе да се на CNC машинама алаткама израђују делови сложене геометрије брзо, квалитетно и ефикасно. Последња фаза у развоју ових технологија довела је до интеграције CAD и CAM система у компактну целину односно CAD/CAM систем што омогућава кориснику интеграцију функција. [2]

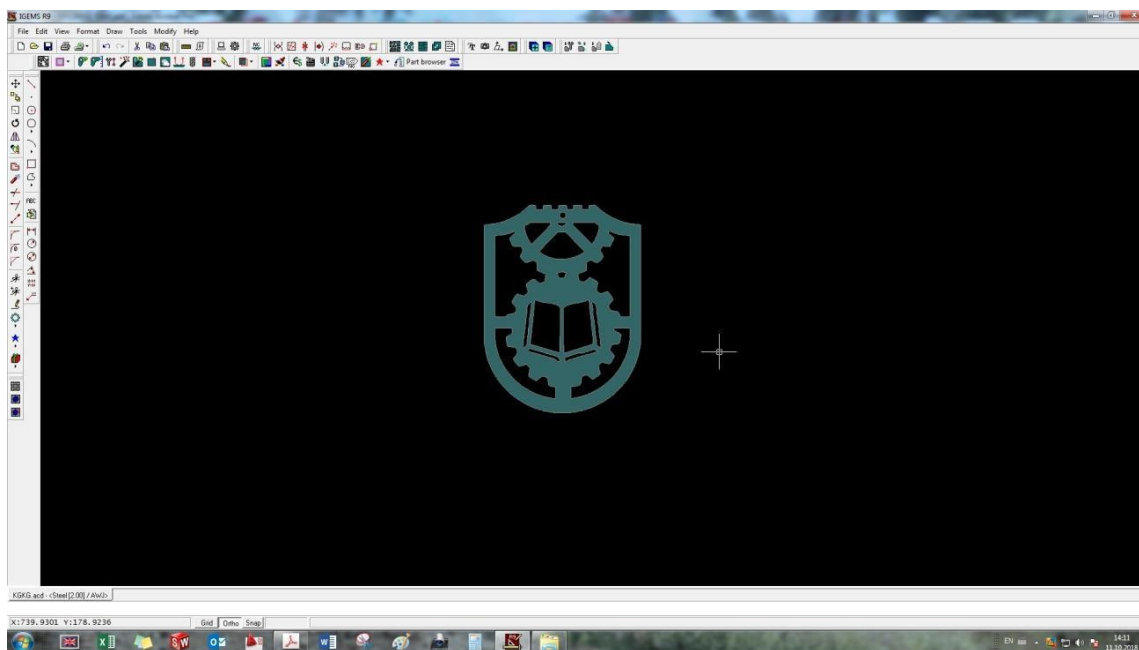
Основне функције CAM система везане су за планирање производно-технолошких процеса. Међу њима су:

- генерисање припремке,
- генерисање и оптимизација путања алата,
- прорачун времена израде,
- генерисање NC програма,
- симулација и визуелизација процеса израде,
- генерисање производне документације,
- брза израда прототипова

7. ИЗРАДА ПРОГРАМА (NC КОДА)

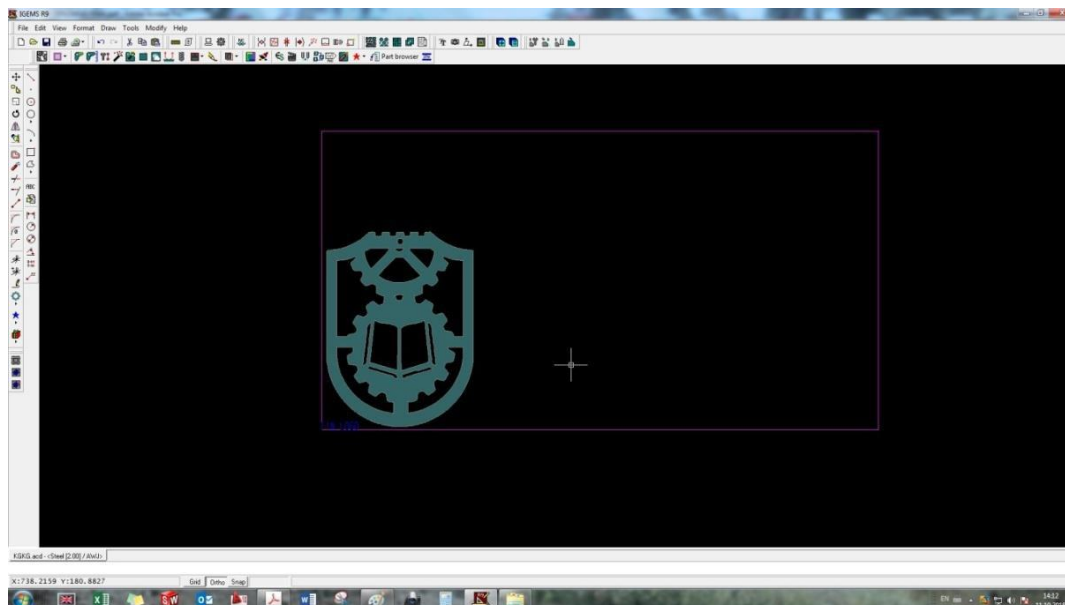
Позицију из сотферског пакета AUTO CAD убацујемо у програм за израду кода машине IGEMS, затим одређујемо величину табле на којој се сече позиција, одређујемо параметре улаза реза , постављамо нулту тачку машине и затим аутоматски постпроцесор преводи у код машине који добијамо исписан у Notepad програму. Тај програм затим преко оптичког кабла путем мреже ажурирамо у саму машину тј. у FANUC.

Комад представља лого факултета.



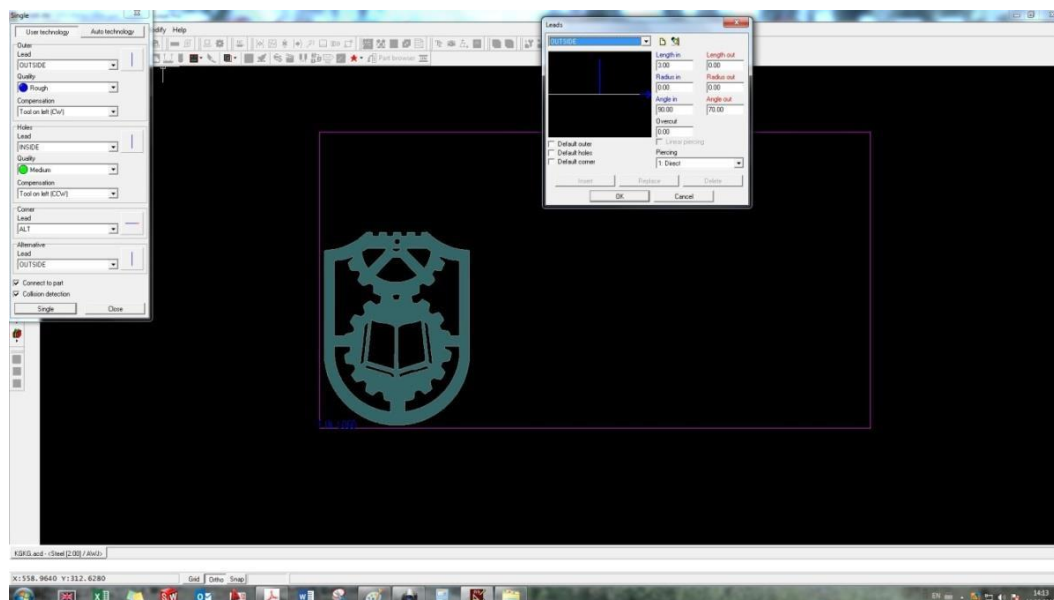
Слика 21. Убачен цртеж за израду кода

Затим одређујемо димензије плоче из које ће се задата позиција исећи, и постављамо позицију где ће се на табли изрезати.

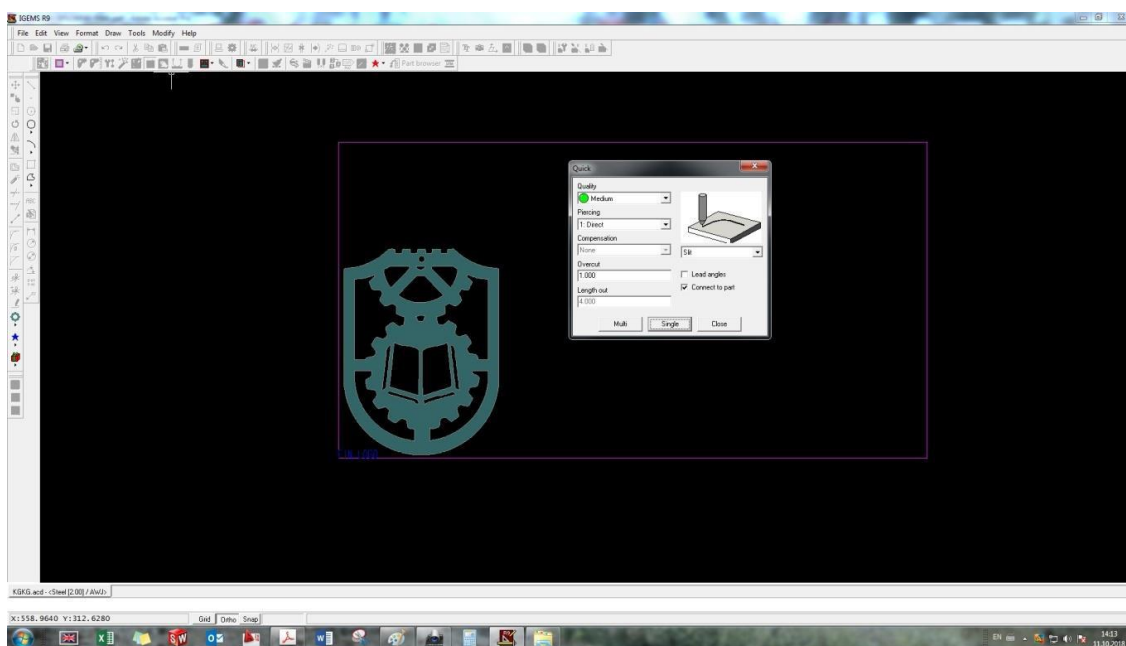


Слика 22. Одређене димензије табле и постављен положај комада у односу на табу

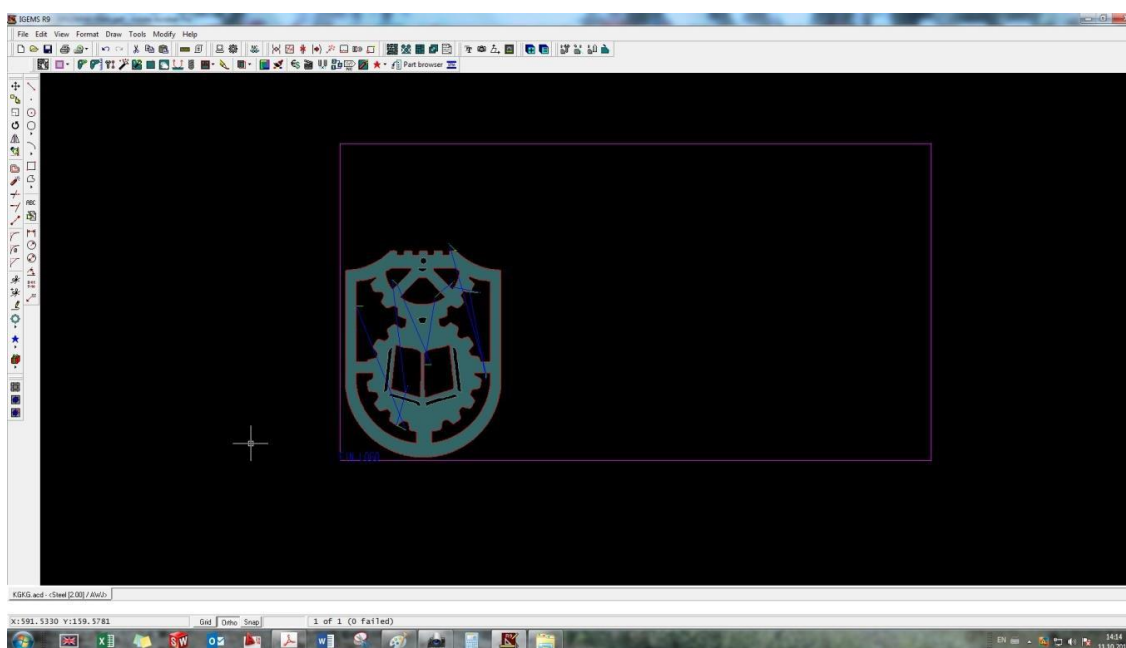
Постављамо параметре улаза и излаза алата, подешавамо облик реза и параметре пред улаза. У појединим случајевима се користи и опција резања по контури.



Слика 23. Одређивање улаза

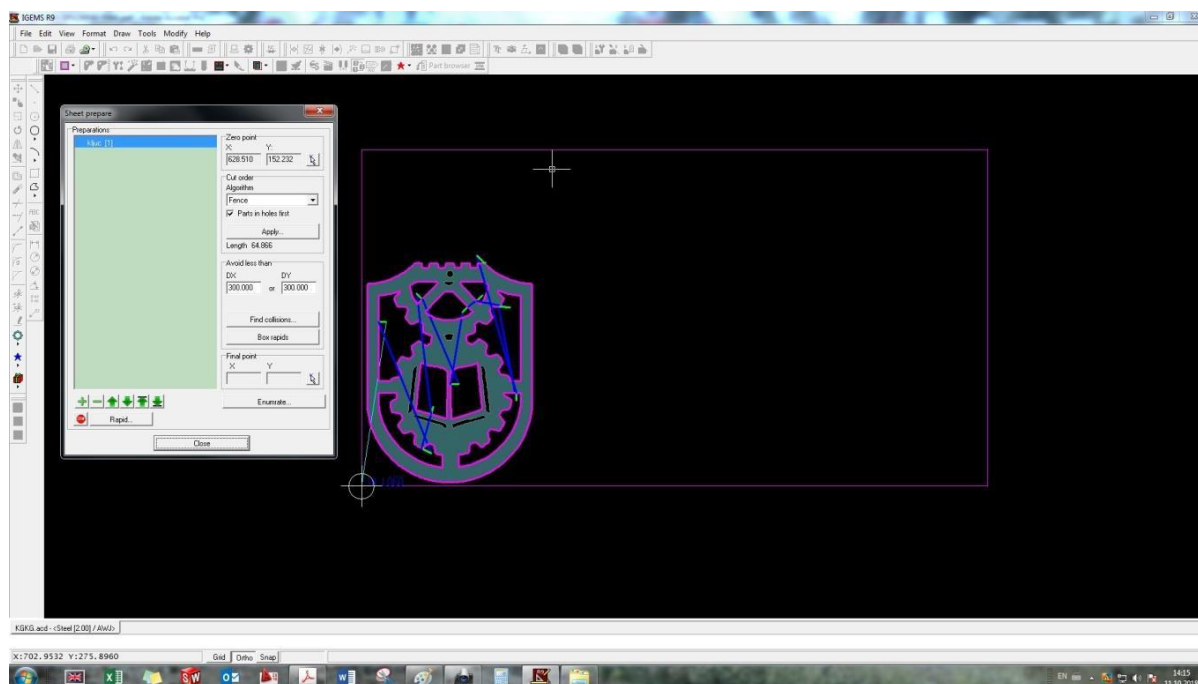


Слика 24. Подешавање улаза

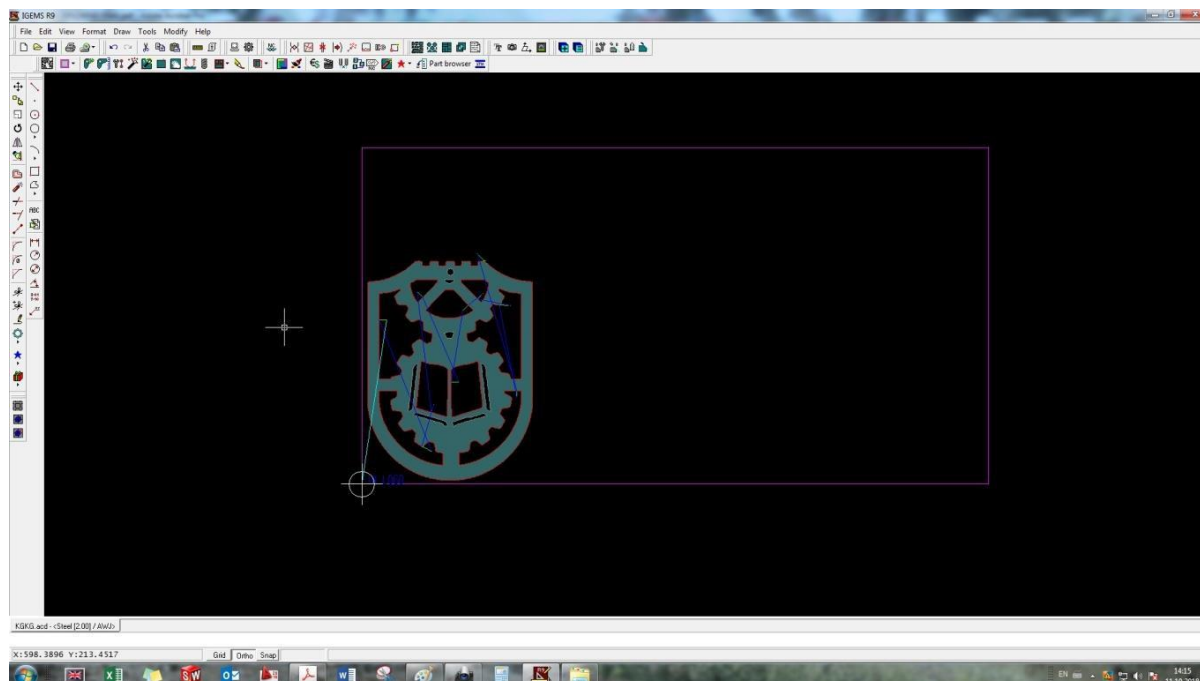


Слика 25. Приказ завршеног обележавања улаза

Одређујемо позицију нулте тачке програма (пред пуштање програма физички оператер на радном комаду тј. плочи из које се исеца део, поставља такође нулту тачку алатом).

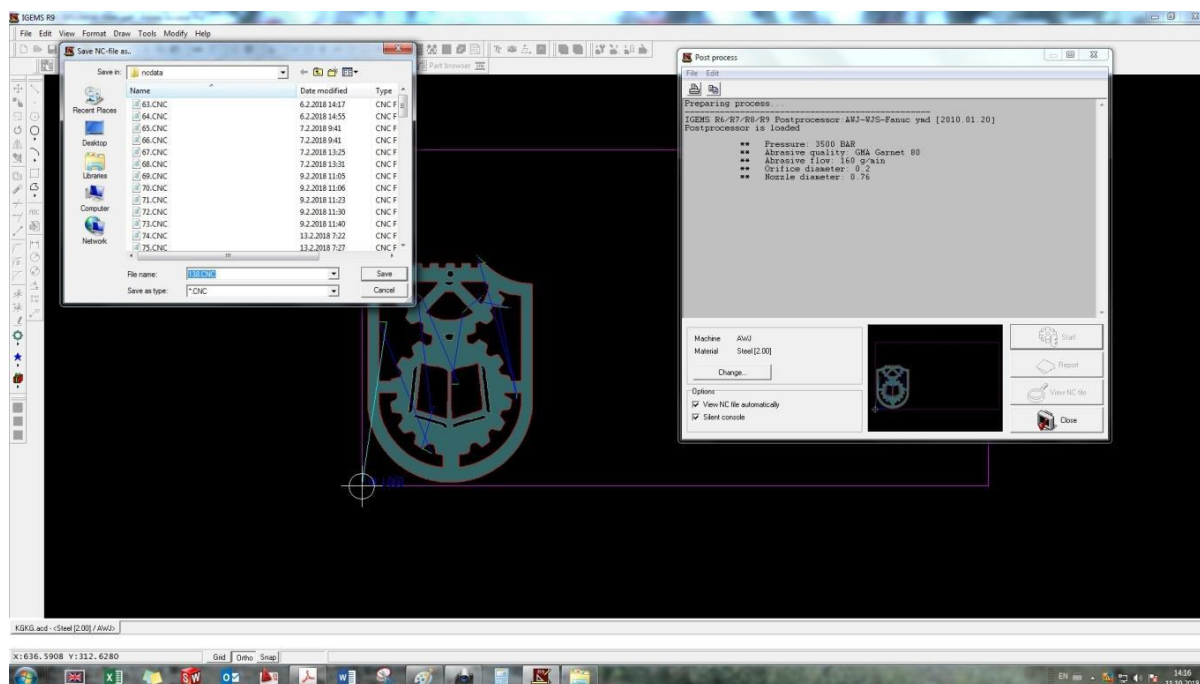


Слика 26. Подешавање нулте тачке

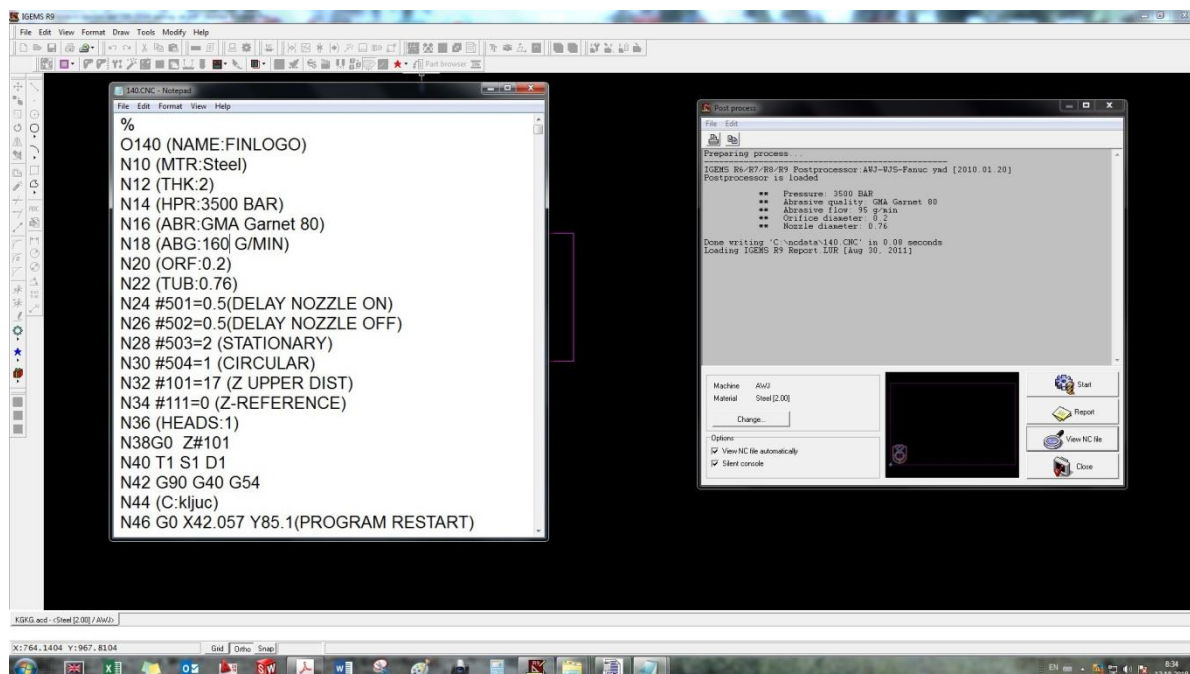


Слика 27. Приказ одакле креће почетак програма

Одабирамо опцију за аутоматску израду CNC кода, и чувамо на одређеној локацији, која се касније пребацује на FANUC управљачку јединицу, одакле позивамо код и пуштамо машину у рад.

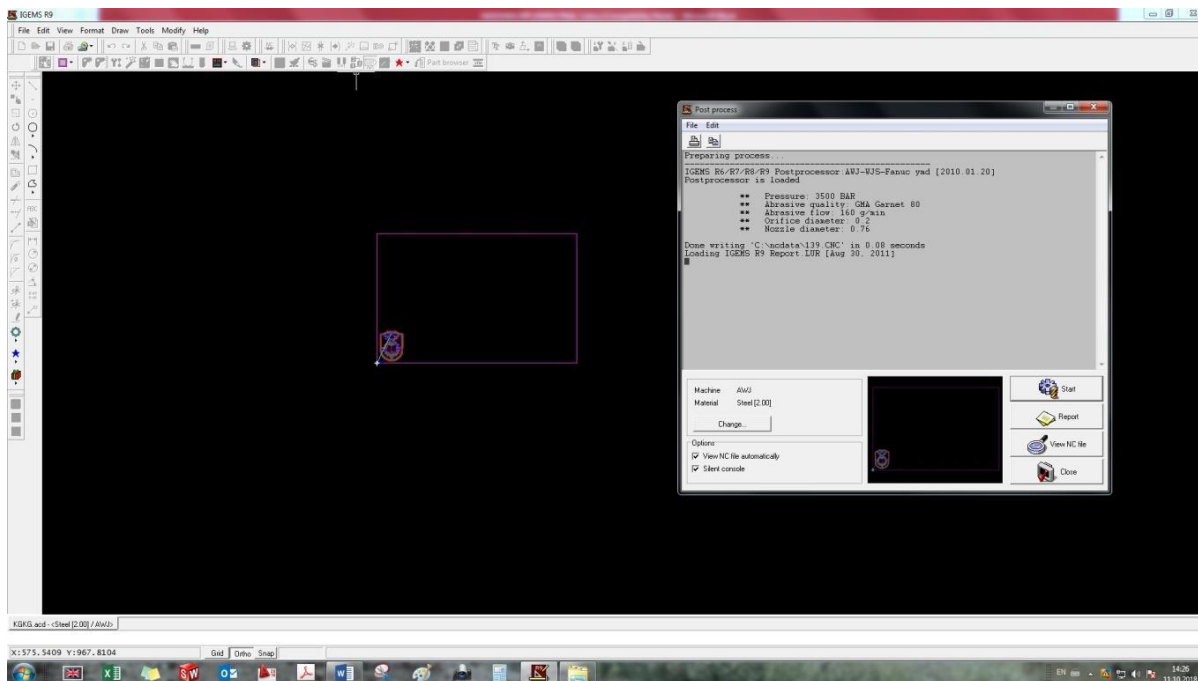


Слика 28. Одабир локације за чување кода



Слика 29. Приказивање израде кода

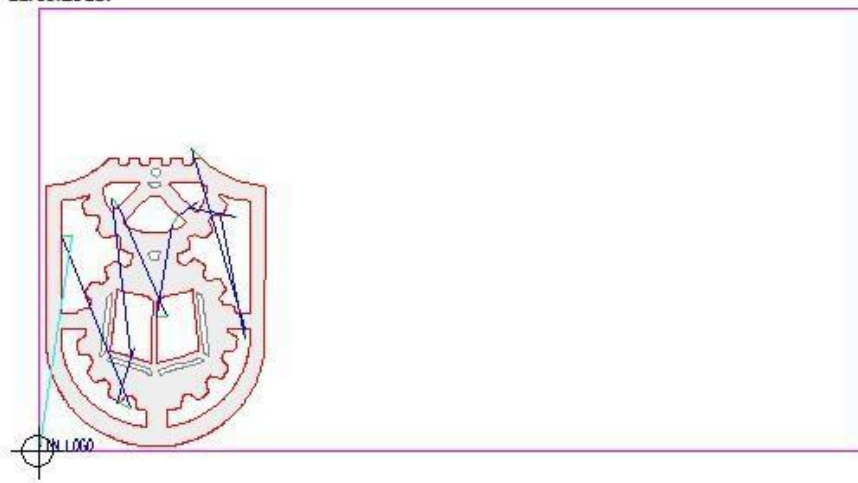
Пре него што се програм пусти у израду, уз CNC код који је технолог припремио, оператер добија и лист програма припреме на коме има све потребне параметре за монтирање и пуштање позиције у рад.



Слика 30. Крај програма и одабир листа за оператере

Лист припреме са укупним временом резања за оператора машине, добијен приликом завршене израде NC кода, коришћењем програма IGEMS. Лист се са NC програмом прослеђује оператору како би имао увид у припремање машине.

FIN LOGO 11.09.2018.



Files

CNC file	C:\ncdata\138.CNC	Date	10/11/18	Time	14:16:31
ACD file	KGKG				

Material

Material	Steel	Thickness	2.0 mm
Name	FIN LOGO	ID	-1
Size X	245.1 mm	Size Y	131.3 mm
Storage	----		

Machine

Machine	AWJ	Pressure	3500 bar	Orifice diameter	0.204 mm
Abrasive quality	GMA Garnet 80	Nozzle diameter	0.762 mm	Abrasive flow	160 g/m

Length

Rapid length	701.5 mm	Marking length	----	Cutting length	957.0 mm
--------------	----------	----------------	------	----------------	----------

Speed

Max feedrate	491.4 mm/m	Min feedrate	171.3 mm/m	Average feedrate	275.7 mm/m
--------------	------------	--------------	------------	------------------	------------

Tools

Tools:1 Distance:300.0 mm

Time

Rapid time	12s [0.003h]	Piercing time	----
Marking time	----	Various	10s [0.003h]
Cutting time	3m, 28s [0.058h]	Total time	3m, 50s [0.064h]

Изглед машинског кода

%	N3656 G2 X21.487 Y85.668 I-29.728 J55.444
O140 (NAME:FIN LOGO)	N3658 G2 X20.683 Y85.255 I-29.198 J55.725 F251
N10 (MTR:Steel)	N3660 G2 X19.115 Y84.493 I-24.206 J47.856 F251
N12 (THK:2)	N3662 G2 X18.026 Y83.999 I-25.447 J54.653 F251
N14 (HPR:3500 BAR)	N3664 G2 X17.476 Y83.76 I-24.358 J55.146 F186.4
N16 (ABR:GMA Garnet 80)	N3666 G2 X16.907 Y83.545 I-2.68 J6.234 F186.4
N18 (ABG:160 G/MIN)	N3668 G2 X16.039 Y83.274 I-10.014 J30.596 F186.4
N20 (ORF:0.2)	N3670 G2 X15.164 Y83.024 I-14.002 J47.255 F186.4
N22 (TUB:0.76)	N3672 G2 X14.847 Y82.981 I-0.317 J1.148 F186.4
N24 #501=0.5(DELAY NOZZLE ON)	N3674 G3 X14.734 Y82.97 I0 J-0.633 F186.4
N26 #502=0.5(DELAY NOZZLE OFF)	N3676 G3 X14.614 Y82.94 I0.158 J-0.866
N28 #503=2 (STATIONARY)	N3678 G3 X14.506 Y82.895 I0.256 J-0.769
N30 #504=1 (CIRCULAR)	N3680 G3 X14.428 Y82.841 I0.153 J-0.305
N32 #101=17 (Z UPPER DIST)	N3682 G2 X14.201 Y82.733 I-0.291 J0.318
N34 #111=0 (Z-REFERENCE)	N3684 G2 X13.607 Y82.646 I-16.751 J111.91
N36 (HEADS:1)	N3686 G2 X12.902 Y82.546 I-16.157 J111.997 F251
N38G0 Z#101	N3688 G2 X11.457 Y82.368 I-6.894 J50.014 F251
N40 T1 S1 D1	N3690 G2 X10.554 Y82.277 I-6.263 J57.692 F251
N42 G90 G40 G54	N3692 G2 X9.956 Y82.225 I-5.36 J57.783 F173.1
N44 (C:kljuc)	N3694 G3 X9.579 Y82.186 I0.783 J-9.507 F173.1
N46 G0 X42.057 Y85.1(PROGRAM RESTART)	N3696 G3 X9.242 Y82.136 I0.766 J-6.253
N48 G0 Z#111	N3698 G3 X8.966 Y82.081 I1.193 J-6.705
N50 M3 M7	N3700 G3 X8.873 Y82.032 I0.043 J-0.195
N52 G4 X#501	N3702 M9 M5
N54 G1 G40 X42.057 Y85.1 F173.1 (LEAD-IN)	N3704 G4 X#502
N56 G3 X42.352 Y85.617 I-0.996 J0.911 F173.1	N3706 G0 G40
N58 G3 X39.803 Y86.5 I-1.291 J0.394 F225.7	N3708G0 Z#101
N60 G3 X42.279 Y85.431 I1.258 J-0.489	N3710 M30
N62 G3 X42.411 Y86.011 I-1.218 J0.58 F173.1	(IGEMS POSTPROCESSOR:AWJ-WJS-Fanuc DATE [2010.01.20])
	%

Слика 30. Скраћен приказ машинског кода

8. ЗАКЉУЧАК

Примена машине је скоро неограничена јер може да сече све врсте материјала, не постоје ограничења материјала у облику.

Предности сечења воденим млазом су веома прецизно сечење чији је пречник мањи од једног милиметра, а тачност резањ $\pm 0.1 \text{ mm}$, рез је хладан и не долази до термичких промена у материјалу, могуће је резати и тврђе и мекше материјале, нема штетних гасова и прашине као код резања на осталим машинама, резна површина је глатка и чиста.

Са технологијом воденог сечења постиже се и значајно смањење трошкова, како серијске производње, тако и код израде прототипова.

Развојем технике видимо да се управљање машина алатки довело до стања да могу на врло једноставан начин обрађивати делове сложене и захтевне геометрије веома брзо са великом стопом учинка, а то нам овај нов систем управљачке јединице у раду са CAD/CAM системом програмских алата и приказује.

Из тога можемо закључити да се преласком на систем помоћу компјутерског управљања и применом одређених софтвера усавршило коришћење машина за обраду материјала, а да притом време израде машинског кода као и израде готових комада свело на минимум.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Недић, Б.; Лазић, М.:** Производне технологије, Обрада метала резањем, Машински факултет Крагујевац, 2007.
- [2] **Девеџић, Г.:** CAD/CAM технологије, Машински факултет Крагујевац, 2009.
- [3] WATER JET SWEDEN, Service and operating manual I, Water Jet Sweden AB
- [4] **Захар, С.:** Машине алатке 1, Југословенско друштво за трибологију, Машински факултет Крагујевац, 1993.
- [5] **Christian Ö.:** A Guide to Waterjet Cutting, Water Jet Sweden AB, Mölnlycke, Sweden, 2006.
- [6] https://www.polyu.edu.hk/ic/training_materials/2012/.pdf, јун 2018.
- [7] https://sh.wikipedia.org/wiki/Rezanje_vodenim_mlazom#cite_note-1, мај 2018.
- [8] <https://www.scribd.com/doc/57986455/>, јул 2018.
- [9] https://bs.wikipedia.org/wiki/CNC_mašina, септембар 2018.
- [10] **Blažević, Z.:** CNC – skripta
- [11] https://jemet.com/Fanuc_Web_Manuals/Prog/63983EN.pdf, октобар 2018.
- [12] <http://www.kmtwaterjet.com/>, октобар 2018.