

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Анђела В. Марковић

**Примена параметризације при пројектовању делова
измењивача топлоте и технолошка припрема за израду
делова сечењем ласером**

завршни рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Основне студије: **Машинско инжењерство.**

Ниво стиудија: **Основне академске студије .**

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

Име и презиме: **Анђела Марковић**

Број индекса: **143/2016**

Анђела В. Марковић

**Примена параметризације при пројектовању делова
измењивача топлоте и технолошка припрема за израду
делова сечењем ласером
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Бодан Недић, ред. проф., ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Основне студије: **Машинско инжењерство.**

Ниво студија: **Основне академске студије.**

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

Име и презиме: **Анђела Марковић**

Број индекса: **143/2016**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Примена параметризације при пројектовању делова изменљивача топлоте и технолошка припрема за израду делова сечењем ласером**

Задатак: У оквиру завршног рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о врстама и карактеристикама изменљивача топлоте. Описати карактеристике изменљивача топлоте фирме "EURO HEAT" Крагујевац. Примена параметризације при пројектовању делова изменљивача. Потребно је у једном поглављу рада описати технологију сечења ласером. Описати технолошку припрему за израду делова применом сечења ласером. У посебном делу рада приказати пример пројектовања једног дела изменљивача и пример технолошке документације за тај део.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања.
2. Врста и карактеристике изменљивача топлоте .
3. Изменљивачи топлоте фирме "EURO HEAT" Крагујевац
4. Примена параметризације при пројектовању делова изменљивача..
5. Технологија сечења ласерским снопом.
6. Технолошка примена за сечење ласером.
7. Закључци.
8. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 12.03.2020.

Садржај:

1. Уводна разматрања.....	1
2. Врсте и катактеристике измењивача топлоте.....	2
3. Измењивачи топлоте фирме EURO HEAT Крагујевац.....	4
3.1 Растављени измењивачи топлоте.....	7
3.2. Лемњени измењивачи топлот.....	8
3.3. Плочасто добошасти измењивачи топлоте.....	9
3.4 Димњачки измењивачи топлоте.....	10
4. Примена параметризације при пројектовању делова измењивача топлоте.....	12
4.1 Параметарско моделирање.....	14
5. Технологија сечења ласерским снопом.....	15
5.1 Историјат и развој ласера.....	19
5.2. Подела ласера.....	20
5.2.1. Чврсти ласери.....	21
5.2.2. Течни ласери.....	22
5.2.3. Гасни ласери.....	23
5.3. Принцип ласерске обраде.....	25
6. Технолошка документација за сечење ласером.....	27
7. Закључак.....	31
8. Литература.....	32

1. Уводна разматрања

У оквиру глобалне конкуренције на домаћем и светском тржишту савремена производња је изложена интензивним притисцима за повећањем квалитета, смањењем времена израде, смањењем цене и флексибилним променама производног програма у циљу задовољења променљивих и све сложенијих захтева купаца. Повећање конкурентности и обезбеђење потребног нивоа квалитета производње, као једног од врхунских захтева, директно је повезано са увођењем нових технологија. Ласерска обрада је у том смислу једна савремена технологија која је брзо постала потреба у скоро свим производним индустријама. За примене у многим областима ласерска обрада је најпрецизнији и најекономичнији метод на располагању. За неке, ласерска обрада је једини метод. Од свих поступака ласерске обраде најраспрострањеније је ласерско сечење. Сноп ласерских зрака је нови универзални резни алат који може практично да сече готово све познате материјале. Произвођачи прототипова знају да је ласерско сечење економична алтернатива другим методама сечења. У односу на поступке гасног сечења, сечења тестером и просецања предности ласерског сечења су: узан рез, минимална зона топлотног утицаја, правилан профил реза, глатке и равне ивице, минимална или никаква деформација радног предмета, могућност обраде великим брзинама, израда сложених профила и брза адаптација на промену производног програма. Брзином, флексибилношћу и прецизношћу, које су карактеристике ласерског сечења, трошкови производње се рапидно смањују и брзо враћа инвестиција. Технолошки проблеми у вези примене ласерског сечења су у недовољном познавању при мене ласерске технике са једне стране и непостојању довољно поузданих практичних података и знања о утицајним параметрима на сам процес обраде са друге стране. Последица тога је недовољна искоришћеност технологије ласерске обраде с обзиром на могућности које она пружа. Ради даљег напретка и усавршавања процеса ласерског сечења почела су да се врше свестрана изучавања теоретских основа и врше експериментална истраживања. Досадашња теоретска и експериментална истраживања бавила су се, углавном, могућношћу примене ласера за различите намене и врсте обрада. Мали број истраживача је објавио радове који обрађују проблематику технологије ласерског сечења, посебно квалитета обраде код ласерског сечења. Из тог разлога врше се истраживања у области ласерског сечења која имају за циљ да се установе и успоставе законитости између квалитета обраде и утицајних фактора процеса обраде.

Циљ овог рада је упознавање са технологијом индустријских ласера са посебним освртом на технологију ласерског сечења као и примена разних врста измењивача топлоте. Историјат плочастих измењивача топлоте почиње 20. века у млекарама индустрије, да би после тог тренутка учиниле значајне примене и у другим областима индустрије: хемијској, петрохемијској, машинској, текстилној, фармацеутској, као и у градским термотехничким и нуклеарним постројењима. Шездесетих година плочасти измењивачи топлоте су почели да се примењују у производњи потрошене топле воде а недуго затварају и за грејање воде у инсталацијама грејања стамбених објеката. У протекле три деценије у развијеним земљама света омасовљена је примена плочастих измена топлоте у системима даљинског грејања и индустријских процеса. Шира примена плочастих измењивача топлоте на простору бивше Југославије јављају се почетком деведесетих година.

У другом и трећем поглављу дате су врсте и карактеристике измењивача топлоте. У четвртом поглављу дата је примена параметризације при пројектовању делова измењивача. У петом поглављу је дат историјат и развој ласера, основни принципи рада и врсте ласера. У шестом поглављу дата је технолошка документација за сечење ласером.

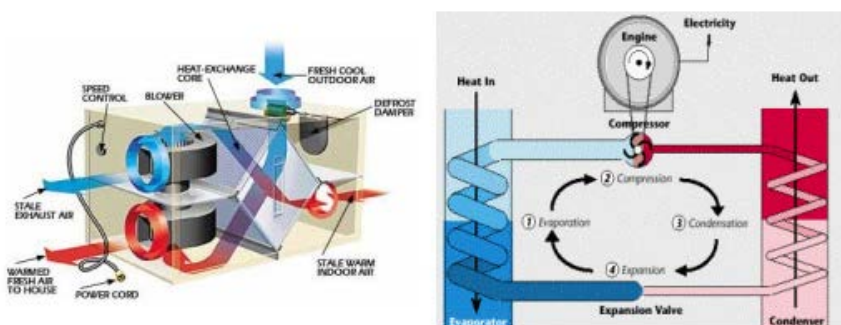
2. Врсте и карактеристике измењивача топлоте

Измењивач топлоте је уређај код кога се топлота преноси са једног флуида (течност или гас) на други (изузетак су ЕАНХ - земља-ваздух.) Размењивачи се користе у : аутоиндустрији, кућној електроници, централном грејању, клима системима и у другим областима. Конструкција изменљивача зависи од следећих фактора: од количине топлоте која треба да се пренесе са једног флуида (течност или гас) на други, од врсте тих флуида, то јест, да ли су гасови или течности, од хемијске агресивности флуида, од присуства прашине у гасовима или присуства чврстих честица у течности, од расположивог простора за смештај размењивача, од величине притиска течности или гаса, од висине температуре течности или гасова и др. Зависно од места примене има више типова измењивача топлоте:

- „цев у цев“
- Измењивач топлоте са снопом цеви
- Бубњаста измењивач топлоте – ложиште
- Спирални измењивач топлоте
- Плочасти измењивач топлоте
- Димњачки измењивачи топлоте
- Растављњни измењивачи топлоте
- Лемљени измењивачи топлоте



Слика 1. спирални измењивач топлоте (вода-вода)(лево)
измењивач топлоте (ваздух-ваздух)(десно) [2]



Слика 2. Шема измењивача топлоте - ваздух-ваздух (лево)
шема топлотне пумпе - вода-вода (десно)[2]

Измењивачи топлоте користе се у кућној техници (фрижидери, замрзивачи) такође се користи у аутоиндустрији, кућној електроници, централном грејању, клима системима и у другим областима:

- Код аутомобила измењивач топлоте је хладњак са водом (или антифризом) где се мотор хлади водом а „ребрасти“ хладњак се хлади вентилатором и струјањем ваздуха тако да се хладјењем воде посредно хлади и мотор аутомобила.
- Код фрижидера и замрзивача је измењивач топлоте позади уређаја и има велику површину. Укратко принцип рада је такав да се у хладњаку (измењивачу) позади уређаја сабија гас за хлађење (фреон или слично) који при преласку из гасовитог у течно стање ослобађа топлоту која се ослобађа из хладњака и иде у атмосферу како би се у унутар уређаја постигла ниска температура.
- У даљинском систему грејања у градовима, топлана греје воду (сагоревањем угља, нафте, мазута или гаса) која кружи „градом“ у затвореном систему тако што се после враћа у топлану. Топла вода долази у зграду и пролази кроз „измењивач“ у подстаници и враћа се у топлану. У згради, у затвореном систему, вода кружи од подстанице до радијатора у становима и враћа се у постаницу. У измењивачу топлоте вода из зграде се греје и иде до радијатора у становима и предаје топлоту ваздуху да би се станови грејали. У овом систему и радијатор је измењивач топлоте пошто топлоту из воде предаје ваздуху у стану (просторији) и тако се стан греје.
- У обичном клима уређају или клима системима постоје у ствари по два измењивача топлоте. Први измењивач је онај у кући (просторији) који се хлади (из затвореног система) а вентилатором се преноси хладноћа у просторију. Други измењивач је онај ван куће (на прозору или тераси) који се греје (из затвореног система) а вентилатором се преноси топлота ван просторије. На тај начин се у ствари измењивачима топлота „извлачи“ из стана у атмосферу односно „хладноћа се узима“ из атмосфере и убацује у стан.

Конструкција измењивача зависи од следећих фактора:

- од количине топлоте која треба да се пренесе са једног флуида (течност или гас) на други,
- од врсте тих флуида, то јест, да ли су гасови или течности,
- од хемијске агресивности флуида,
- од присуства прашине у гасовима или присуства чврстих честица у течности,
- од расположивог простора за смештај измењивача,
- од величине притиска течности или гаса,
- од висине температуре течности или гасова и др.

Фирма "EURO HEAT" производи следеће измењиваче топлоте

- Плочасто добошасте измењиваче топлоте
- Растављене измењиваче топлоте
- Лемљене измењиваче топлоте
- Димњачке измењиваче топлоте

3. Изменљивачи топлоте фирме “EURO HEAT”

Фирма Euro Heat је основана 1995 године у Крагујевцу. Основна делатност фирме је производња плочастих измењивача топлоте.

EURO HEAT SUB је комплетан систем намењен системима даљинског грејања за инсталацију у простору унутрашњег простора за изузетно кратко време. Топлотне подстанице су намењене системима грејања као и припремљене санитарне воде у стамбеним пословним објектима. У потпуности су аутоматизоване и имају могућност контроле над свим циркулационим круговима било у зависности од ручно задате или спољне температуре. Све EURO HEAT SUB топлотне подлоге се израђују од најквалитетнијих, сартификованих и проверених компоненти. Стална улагања у побољшање квалитета производа, обуку њихових радника, професионалност у раду са њиховим купцима довешће до проширености асортимана производа. Квалитет и преданост у раду препозната је и са Европском банком за развој која је финансирала развој њихових производа. Данас Еуро Хеат поред своје основне делатности производње плочастих измењивача топлотних производа и топлотних подстаница, Индивидуално мерне сетове и мераче утрошке топлотне енергије. Производња се одвија у савременој хали површине 1500 м². Упошљава 20 радника за чије додатно образовање се издавају знатна средства. Извоз њихових производа расте из године у години и тренутно 45% производње иде на тржиште Западне Европе, Русије, Белорусије, и у земљама бивше Југославије. Производе лемљене и растављиве измењиваче топлоте до 20 МВ, као и добошасто-плочасте измењиваче капацитета до 100 МВ. Комплексна организација пословања, савремена производња у строго дефинисаном технолошком процесу, коришћење најквалитетнијих материјала, стално усавршавање технологије, детаљна контрола и провера готових производа довели су до тога да постану лидер у југоисточном делу Европе. Десетине хиљада наших уређаја је у употреби у Србији, земљама окружења, Европи и Азији. Компанија “Euro Heat” се одлучила за развој побољшаног типа плочасто-добошастог измењивача топлоте (Plate and shell heat exchanger) сматрајући га бољим и јефтинијим од сличних на тржишту. Овај тип измењивача представља идеалан спој плочастих и добошасто-цевних измењивача топлоте, комбинујући најбоље карактеристике обе врсте измењивача – степен ефикасности и мале габарите плочастих измењивача, са сигурношћу и отпорношћу на високе температуре и притиске добошасто-цевних измењивача топлоте.



Слика 3. Лого фирме “EURO HEAT” [3]

Унутрашње плоче код иновираних топлотних измењивача међусобно су заварене машинама које су у “Еуро хеат”-у сами конструисали, тако да не постоје заптивке, што овом типу измењивача омогућава рад у температурном распону од -200°C до 500°C као и рад на врло високим радним притисцима (до 100 бар, па и више). Осим тога, код старих измењивача заптивке су имале животног века од 5-6 година, након чега је била неопходна њихова замена, а чишћење је било компликовано. Једна од највећих предности плочасто-добошастих измењивача топлоте је лако и брзо чишћење једне стране измењивача (обичном водом под притиском), због чега се овај тип измењивача врло често користи код великих котловских постројења, где служи као примарни измењивач топлоте тј. као заштита котла од нечистоћа које би могле да стигну из топловодне мреже. Целокупна производња плочасто-добошастих измењивача топлоте одвија се у погонима компаније “Euro Heat” у Крагујевцу. Од сировине набављају прохром лим, а главни проблем је што у Србији не постоји преса која може квалитетно да га обликује, већ су за велике измењиваче то до сада радили у Италији. Плочасто-добошасте измењиваче топлоте се најчешће користе у термоелектранама и градским топланама, где су до сада у употреби најчешће били цевни измењивачи који заузимају огроман простор. Измењивачи које је конструисао “Еуро хеат”, иако велики, мањих су димензија, заузимају мањи простор, а степен ефикасности је много већи него код цевног и износи 98,4%.



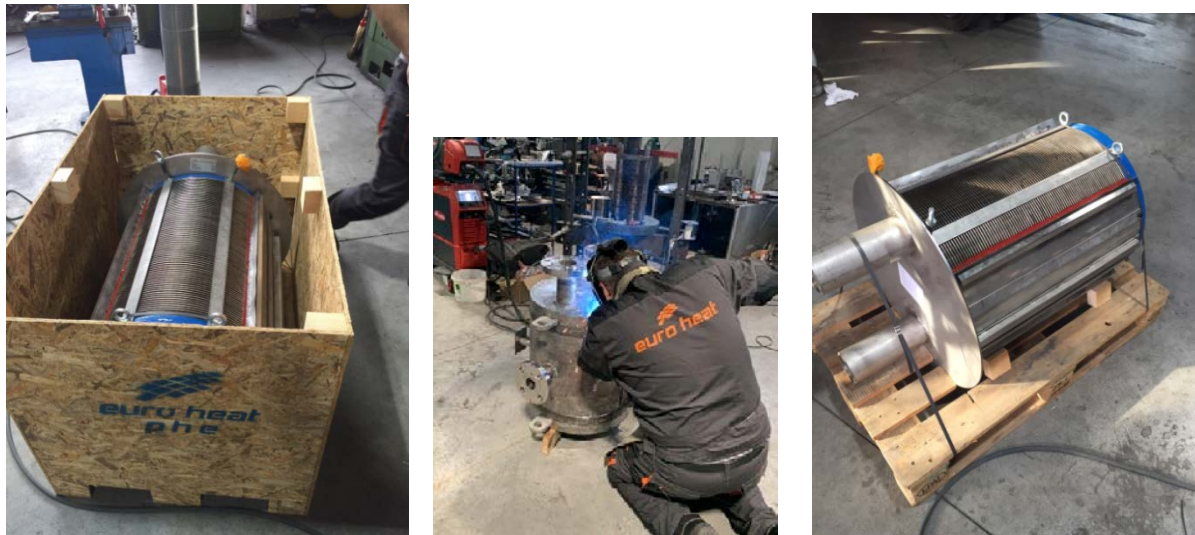
Слика 4. Плочасто добошасте измењиваче топлоте

Сва техничка унапређења постигнута су уз смањење трошкова производње односно цене производа, што уз поправљене техничке карактеристике додатно повећава конкуритивност на тржишту.

Главне предности у односу на сличне производе-техничка побољшања:

- Рад са агресивним флуидима – проширен скуп агресивних радних флуида
- Рад у проширеном опсегу радних температура (-200 Ц до 500 Ц)
- Побољшан трансфер топлоте између радних флуида – повећан коефицијент искоришћене енергије
- Рад на великим притисцима – повећан опсег радног притиска у односу на конкурентске производе
- Једноставна конструкција – једноставнија производња, монтажа и одржавање и руковање
- Могу бити пројектовани за велике капацитете трансфера енергије (100.000 kW)
- Компактан облик – једноставан за транспорт и монтажу
- Одсуство заптивних елемената – појефтиније производњу
- Могућност коришћења у скоро свим областима индустрије

Производња плочасто-добошастих измењивача топлоте апсолутно не загађује животну средину, а у фирми се примењује ИСО 14001 као гаранција да се компанија у потпуности домаћински односи према природи. Развој плочасто-добошастих измењивача топлоте захтевао је повећање стручне радне снаге, па су у протеклој години само у децембру примљена 4 нова радника (укупно имају 16 запослених).



Слика 5. Плочасто добошасте измењивачи топлоте

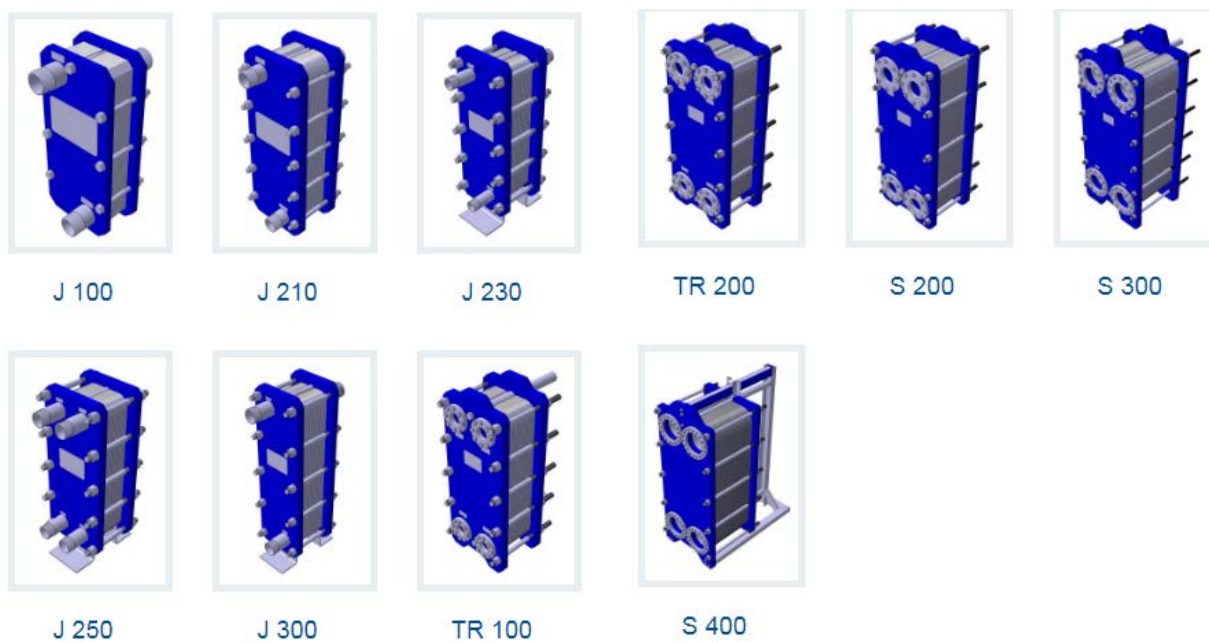
3.1. РАСТАВЉЕНИ ИЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ

ЕУРО ХЕАТ у својој производној поседује 10 различитих габарита растављивих измењивача топлоте са прикључним отворима у дијапазону од 3/4 “па све до ДН200.

Основне карактеристике овог типа промењивача топлоте су радни притисци до 25 бара и радне температуре од -10°Ц до 165°Ц.

Растављиве измењиваче топлоте карактерише велики степен искоришћења укупне површине размене, лако и брзо одржавање као и мали габарити.

Области примене овог типа промењују су многобројне, а само неке од њих су: системи даљинског грејања, системи хлађења, прехранбена, процесна и фармацеутска индустрија



Слика 6. Растављњни измењивачи топлоте [3]

3.2. ЛЕМЉЕНИ ИЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ

У својој производној поседују 4 различита габарита лемљених измењивача топлоте са прикључним отворима у дијапазону од 3/4 “па све до 2 1/2”.

Основне карактеристике овог типа промењивача топлоте су радни притисци до 30 бара и радне температуре од -160°Ц до 200°Ц.

Лемљене измењиваче топлоте карактерише велики степен искоришћења укупне површине размене, херметичност заптивања, велика поузданост у раду, отпорност на високе притиске и високе температуре радних флуида као и мали габарити.

Области примене овог типа промењују су многобројне, а само неке од њих су: фреонске инсталације, системи даљинског грејања, системи хлађења, прехранбена, процесна и фармацеутска индустрија



D 100



D 500



D 600

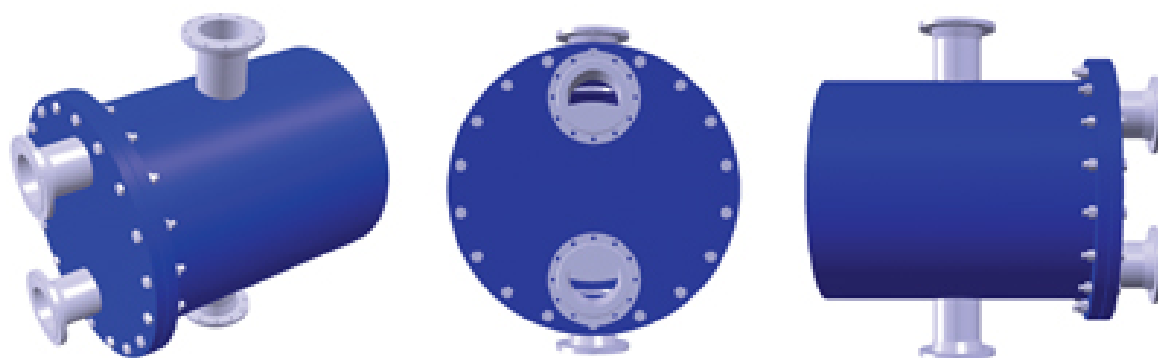
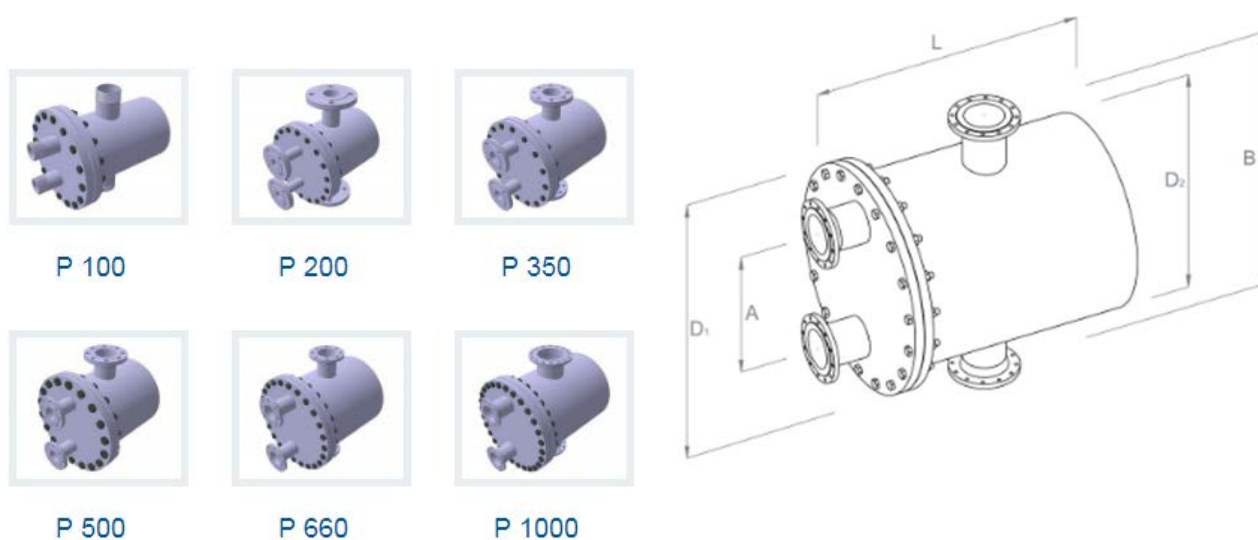


D 800

Слика 7. Лемљени измењивачи топлоте [3]

3.3. ПЛОЧАСТО ДОБОШАСТИ ИЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ

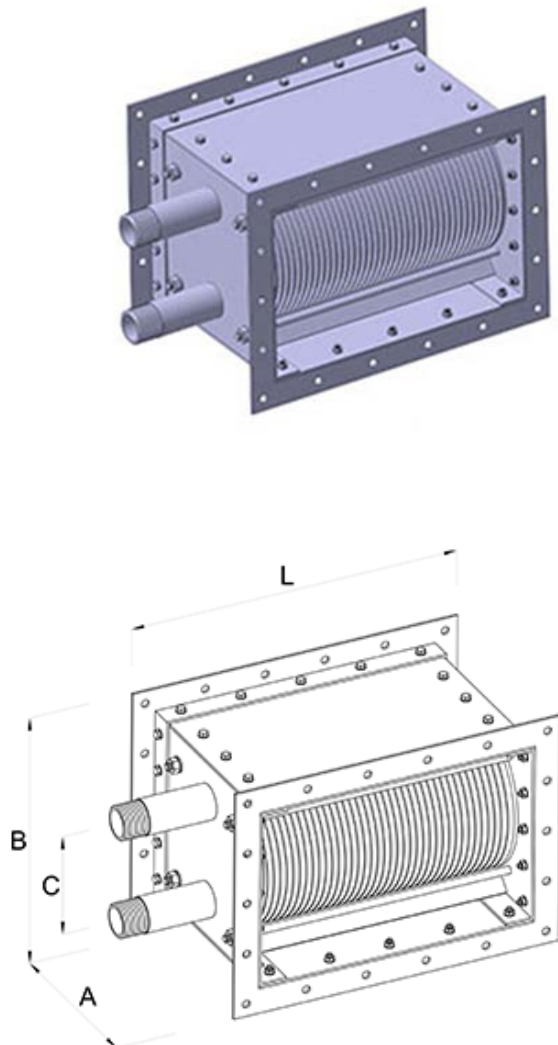
Овај тип измјењивача представља идеалан спој плочастих и добошасто-цевних измјењивача топлоте комбинујући најбоље карактеристике обе врсте измјењивача топлоте - степен ефикасности и мушког габарит плочастих измјењивача са сигурношћу и отпорношћу на високим температурама и притисцима добошасто цевних измјењивача топлоте.



Слика 8. Плочасто добошасте измјењивачи топлоте [3]

3.4. ДИМЊАЧКИ ИЗМЕЊИВАЧ ТОПЛОТЕ

У складу са најмодернијим светским трендовима у екологији и уштеде енергије, ЕУРО ХЕАТ је развио посебну категорију димљачких измењивача топлоте који се користе као економајзери и рекуператори топлоте отпадних гасова.



Model	A [mm]	B [mm]	C [mm]	L [mm]
P 100	230	230	80	2.6 x n
P 200	315	315	130	2.5 x n
P 350	500	500	226	3.5 x n
P 500	700	700	330	3.6 x n
P 660	950	950	498	3.6 x n
P 1000	1300	1300	740	3.3 x n

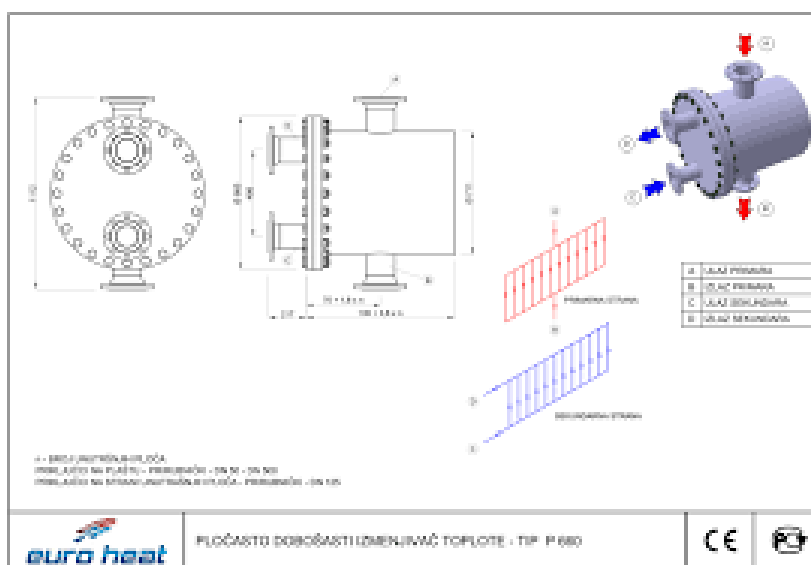
n - broj unutrašnjih ploča

Слика 9. Димњачки измењивачи топлоте [3]

Унутрашње плоче су међусобно заварене тако да не постоје заптивке, што овај тип изменаје омогућава рад у температурном распону од -200 до 500 °Ц као и рад на врло високим радним притисцима (до 100 бара и више) Степен корисности код плочасто добошастог типа измењивача је врло висок и креће се до 95% Овакав тип измењивача је нашао своје место у скоро свим областима где постоји потреба за разменом топлоте између два флуида - система даљинског грејања (врло често као примарни измењивачи са капцитетима од неколико десетина мегавата), у расхладној техници као испаривачи и кондезатори, у индустрији за грејање и хлађење хидрауличног уља.

У последње време овај тип измењеника све више проналази своје место у функцији економијзера и рекуператора топлотне енергије отпадних гасова.

Једна од највећих предности плочасто добошастих измењивача топлоте је лако и брзо чишћење једне стране измењивача, због чега се овај тип измењивача врло често користи код великих котловских постројења где служи као примарни измењивач топлоте тј. као заштита котла од нечистоћа која би могле да стигну из топловодне мреже.

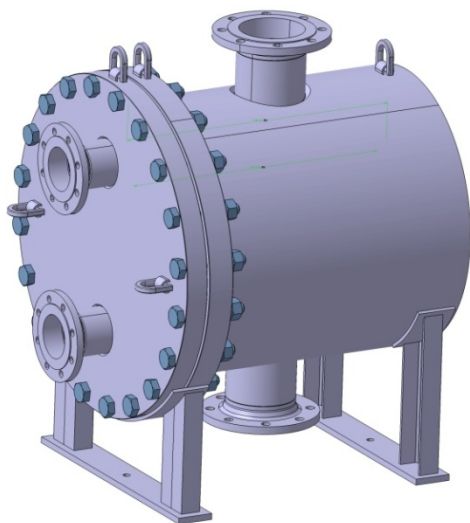


Слика 10. Плочно добошасте измењивачи топлоте [3]

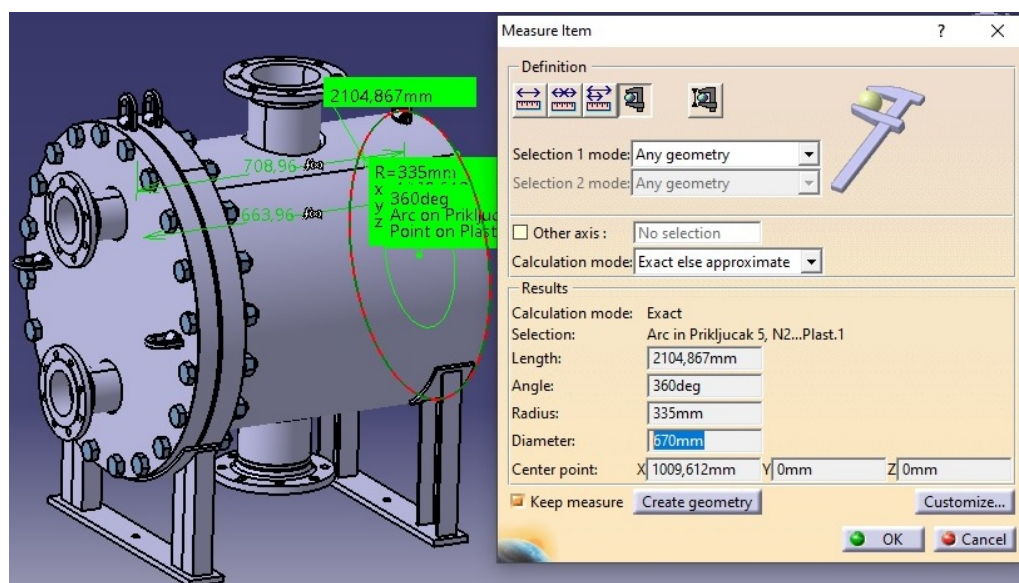
4. Примена параметризације при пројектовању делова измењивача топлоте

Параметризација је урађена у програму Catija који је повезан са Excel-ом. Овакав вид параметризације где се параметризује цео склоп, знатно убрзава израду пројектне документације. Оно што је карактеристично за овакав тип параметризације је да параметризујемо и склоп и делове у склопу. У Excel табели су унети сви параметри који су променљиви. Након промене параметра покретањем опције masco ради се abdejt целог модела.

На слици 11 и 12 приказан је параметризован модел измењивача топлоте P-600 пре измене у Excel табели.



Слика 11. Измењивач топлоте



Слика 12. Димензије измењивача топлоте пре измене у excel табели

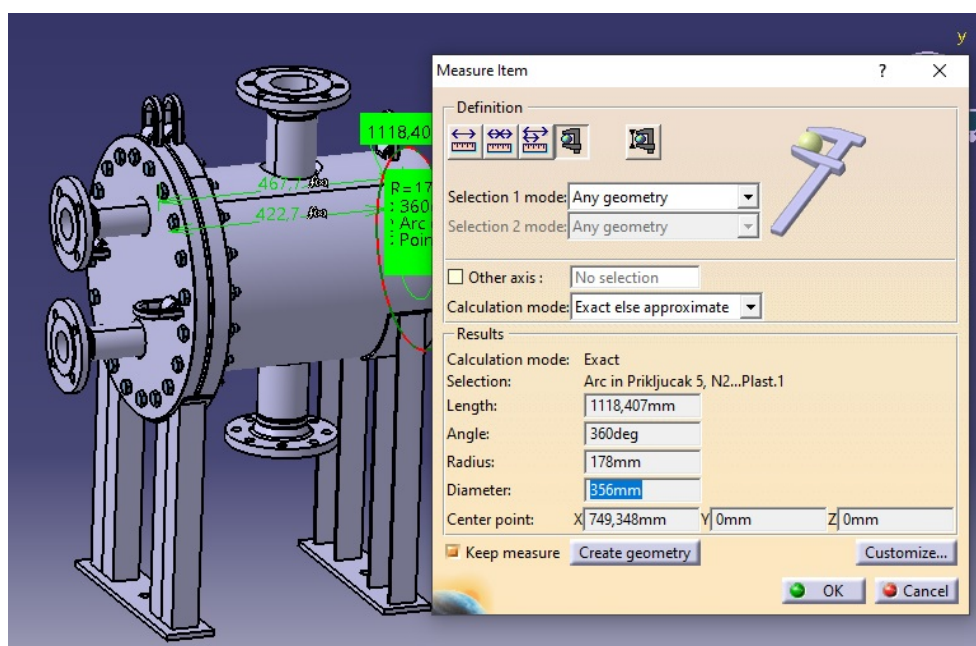
На слици 13 приказан је Excel табела са параметрима који се мењају. Неке од података које је могуће променити су:

- димензије комада
- материјали комада
- њихове ознаке по одговарајућим стандардима
- називи комада
- врста обраде итд

На основу података из табеле могуће је ативирати или деактивирати неке од елемената у склопу. На основу промењених параметара у табели добија се модел P-350. Димензије тог измењивача су мање као што се може видети на слици 14.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	P 600 - 220 H-F 1-1	600	H	220	Karbomun 2	600	0	0.002	M10	10	M8	40	5	830	53	725

Слика 13. Excel табела са улазним подацима измењивача након примене параметризације



Слика 14. Димензије и изгле

4.1. Параметарско моделирање

Све геометријске, инжењерске, технолошке и производне карактеристике модела чувају се као променљиве, односно параметри модела. Параметри могу бити:

- Системски
- Кориснички

Системске параметре задаје CAD/CAM систем аутоматски на основу интерне дефиниције модела форме. Називи параметара зависе од система до система, али могу се променити и ускладити са потребама корисника. Формирани су тако да једнозначно дефинишу сваку моделску форму.

Понекад системски параметри нису довољни или нису у потпуности погодни за примену у конкретном инжењерском проблему. Тада корисник уводи нове параметре сагласно потребама. Такви параметри се називају кориснички параметри.

Сваки параметар има своју вредност која припада одређеној категорији:

- Целобројна
- Реална
- Знаковна
- Логичка
- Физичка (маса, време, густина, притисак)
- Геометријска (дужина, угао, (полу)пречник...)

Вредности параметара се задају:

- Системски, што значи да их сам CAD/CAM програмски пакет аутоматски задаје приликом скицирања или дефинисања, сагласно уграђеном систему јединица: (“унутрашњу”) јединицу CAD/CAM програмског пакета корисник може, сходно својим потребама, прогласити за милиметар, центиметар или неку другу јединицу мере.
- Директно, уношењем одговарајућих вредности за захтев CAD/CAM система, или учитавањем из базе података
- Индиректно, путем функционалних, односно релационих зависности.

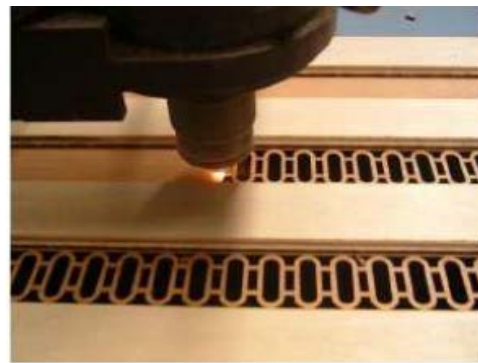
Тип и број параметара који дефинишу једну моделску форму зависи од врсте типске форме која се формира, као и од параметара основног профила. Вредности параметара геометрије профила моделских форми задају се системски одмах након скоцирања, с тим што их конструктор по потреби може променити. Штавише могућност промене вредности параметара у било ком тренутку развоја производа и процеса представља једну од најважнијих предности ове технике моделирања. За генерисање просторног облика моделске форме на основу скице потребно је директно задати вредност барем још једног параметра на захтев CAD система. Директно задавање врши конструктор уношењем тражене вредности или преусмеравањем уноса на одређену базу података. Међутим, један број вредности параметара може се задати и индиректно путем одговарајуће функционалне, односно релационе зависности којом је дефинисана вредност једног параметра у зависности од других параметара. Могућност промене вредности параметара у било ком тренутку током процеса моделирања представља једну од најважнијих предности параметарског моделирања. При том, нарочиту пажњу треба обратити на начин и редослед задавања параметара модела да би се, касније, током модификације очувала основна намера конструктора и суштина конструкције производа.

5. Технологија сечења ласерским снопом

Ласерско резање је врста термичког процеса одвајања. Ласерски сноп погађа површину материјала и загрева га тако снажно да се топи или потпуно испарава. Када ласерски сноп у једном тренутку у потпуности продре у материјал, почиње стварни процес резања. Ласерски систем прати одабрану геометрију и одваја материјал у процесу. У зависности од примене, коришћење процесних гасова може позитивно утицати на резултате. Употребом Laser Cut серије CNC ласера остварује се технолошки најекономичнији процес резања метала и неметала, и гравирања на свим материјалима у погледу брзине, прецизности и цене. Захваљујући софистицираном софтверу и управљачкој јединици, руковање је веома једноставно, а кројне листе се могу увозити из свих стандардних CAD програма. Подржани су Corel, AutoCad, Photo Shop... Ова серија опремљена је и Z осом, односно столом подесивим по висини у опсегу од 300 мм. Уз све моделе Laser Cut серије испоручује се и софтвер за оптимизацију резања помоћу кога се за веома кратко време генерише путања резања са аутоматском имплементацијом свих неопходних параметара попут офсета, редоследа резања, дефинисања улазних тачака. Уграђен фреонски расхладни систем за водено хлађење цеви са континуалним надгледањем температуре омогућава непрекидан рад и дуг радни век цеви од 10.000h. Ласерско резање је данас често коришћен процес за сечење различитих материјала. Висока прецизност, брзина и свестраност ласера су велике предности када се користи процес ласерског резања. Овде објашњавамо како функционише ласерско сечење и за које материјале може да се користи.

Предности ласера приликом резања и основни разлози за коришћење ласера:

Погодан за многе врсте материјала	Ниједна друга технологија не може да реже толико различитих врста органских и неорганских материјала.
Никаква обрада није потребна после самог поступка	Ласер је поступак раздвајања у ком, у већини случајева, није потребна никаква обрада после поступка. Чак врши и заптивање ивице текстила попут синтетике или тепиха тако да се не распадеју. Ово штеди поступке накнадне обраде, као што су механичко заптивање или брушење, у зависности од врсте материјала који се обрађује.
Висока прецизност	Добијени усек је једва већи од самог ласерског снопа. Ово омогућава резање врло fine геометрије било ког облика. Поред тога, интегрисане камере (JobControl Vision) могу направити регистрацијске ознаке и аутоматски надокнадити пут резања - чак и ако се првобитни шаблон поремети, окрене или искриви.
Нема хабања алата	Машине за ласерско резање нису подложне хабању, на пример, главе алата не постају тупе. То смањује трошкове током рада.



Слика 15. Приказ обраде сечења ласером (лим и дрво) [5]

Резање ласером је технологија која користи ласер за резање материјала, и углавном се користи за индустријску примену, али све чешће се користи и у школама, малим предузећима и код хобиста. Резање ласером ради тако да се директно контролише излазна снага ласера, делујући обично компјутером. Материјал се или топи, или изгара, или испарава, или га одува млаз ваздуха под притиском, остављајући високо квалитетне рубове реза. Код неких машина ласерски сноп има дебелину од 0.01мм што дозвољава да се врше врло прецизна сечења. Сложени облици и прецизни резови не представљају изазов за ласере најновије генерације. Све што је потребно јесте да се пошаље или донесе припремљен цртеж у одговарајућем дигиталном формату. Не режу се само лимови, него и профили и цеви. Машинска обрада ласерским снопом је најпогоднија за ломљиве материјале ниске продљивости, мада се може користити на већини материјала. CO2 ласери се користе у индустрији за резање многих материјала: меки челик, алуминијум, нерђајући челик, титанијум, папир, восак, дрво и тканине. YAG ласери се првенствено користе за резање и означавање метала и керамике. Осим извора снаге, за карактеристике рада може утицати и начин мешања и протока гаса унутар оптичког резонатора. Код брзих аксијалних протока, мешавина углен-диоксида, хелијума и азота, кружи са великим брзинама, погоњена турбином или вентилатором. Код попречног тока, мешавина ваздуха се меша с мањим брзинама и за то треба мањи вентилатор. Код новијих решења, имамо дифузионо хлађење са статичким пољем извана, тако да се штеди на одржавању и замени делова. Сви ласери садрже три компоненте:

- Активни ласерски медијум
- Резонатор
- Екстерни извор пумпања



Слика 16. CNC машина Arpel vaterjet [5]

Извор пумпања води екстерну енергију до ласера. Активни ласерски медијум је лоциран унутар ласера. Зависно од дизајна, ласерски медијум се може састојати од мјешавине гаса (CO₂ ласер), кристалног тијела (YAG ласер) или стакленог фибера. Када је енергија допремљена до ласера кроз пумпу, ласер емитује енергију у облику радијације. Активни ласерски медијум је лоциран између два огледала, „резонатори“. Једно од ових огледала је огледало „у једном правцу“. Радијација активног ласерског медијума је умножена у резонатору. У исто вријеме, само одређена радијација може напустити резонатор кроз огледало „у једном правцу“. Овај комплет радијације је ласерска радијација.



Слика 17. Радна површина машине [5]

Ласери раде на принципу емитовања светлости помоћу оптичке амплификације или, стимулисане емисије електромагнетне радијације. Стварање ласерских зрака захтева хлађење. Зависно од величине и распореда, огромна количина топлоте треба бити одведена са расхладним средством. Најбоље решење је вода, у затвореном расхладном систему. Ласерским се сечењем значајно смањују трошкови производње и нема непотребног складиштења међу појединим фазама. Не мање битно, нису више по требни нити додатни радови. Осим тога, избором појединог поступка ласерског сечења, често се смањује и број саставних делова.

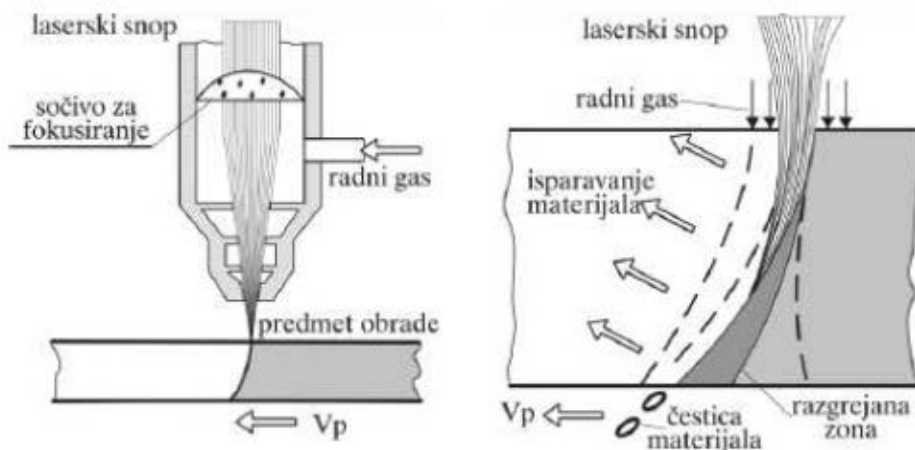
LASERSKI MEDIJUM	PRIMENA
CO ₂	Bušenje Rezanje/označavanje, graviranje
Nd	Visoko energetski impulsi Mala brzina ponavljanja (1 kHz) Bušenje
Nd-YAG	Vrlo visoki energetski impulsi Bušenje, graviranje, podešavanje

	• Masivna konstrukcija izrađena od debelozidnog čelika kontrolisanog kvaliteta. • Elementi postolja povezani su varom, NE šrafovim. • Ovakva konstrukcija obezbeđuje krutost pokretnih segmenata i sprečava uvijanje ili deformaciju prilikom teske obrade.		• Pogon osa X i Y ostvaruje se pomoću zupčastog remena, dok se pogon Z ose ostvaruje pomoću navojnog vretena. • Upotrebom ovakvog sistema pogona, omogućeno je pozicioniranje osa bez zazora, čime se postiže visok kvalitet obrade i dug servisni interval.
	• Laseri serije LaserCut opremljeni su savremenom upravljačkom jedinicom baziranom na Hybrid MicroStep tehnologiji koja obezbeđuje precizno pozicioniranje pri velikim radnim brzinama. Trofazni motori poslednje generacije imaju brz odziv i za razliku od svojih prethodnika ne odlikuje ih visoka mogućnost proklizavanja i gubitka pozicije. • Kompletna upravljačka jedinica smeštena je u samu mašinu čime je postignuta kompaktnost i zaštita elektronskih komponenti.		• Rashladni uređaj sa freonom za vodeno hlađenje obezbeđuje održavanje konstantne temperature rashladne tečnosti ispod 20°C. • Vodeno hlađenje obezbeđuje kontinualan rad cevi i znatno produžava radni vek. Posедуje brojne alarme poput prekoračenja temperature, nedovoljnog nivoa vode, prestanka rada pumpe...
	• Svi modeli lasera serije LaserCut isporučuju se sa visokoeфикаsnom CO2 cevi čiji je vek trajanja 10.000h. U odnosu na konkurentne lasere čiji je radni vek cevi 1.000-1.500h, troškovi zamene cevi u periodu od 5-7 godina manji su za više od 3.000 eura. • Pored 6 puta dužeg radnog veka, naše laserske cevi obezbeđuju jači i precizniji zrak.		• Radna površina je čelično saće koje zbog svoje konstrukcije ima minimalan stepen refleksije zraka čime je eliminisano oštećenje materijala sa donje strane. Istovremeno, saće omogućava rezanje izuzetno sitnih elemenata jer sprečava njihovo propadanje. • Uz modele serije LaserCut isporučuje sistem za odsis gasova koji absorbuje najveći deo dima, čime se proces rezanja čini manje štetnim po čoveka i okolinu.
	• Upravljački softver vrši kompletnu kontrolu procesa i upravlja svim funkcijama mašine. • Radi na Windows XP platformi i omogućava brzo i jednostavno rukovanje, sa potpunom vizuelnom interpretacijom. • Podržava standardne formate fajlova, što ga čini kompatibilnim sa svim poznatim softverskim paketima (Corel, AutoCAD, PhotoShop...) • Takođe sadrži integrisane module za generisanje programa za sve standardne forme.		• Modeli serije LaserCut opremljeni su bezbednosnim prekidačima, kao i Limit tasterima na svakoj osi, čime se eliminiše mogućnost povrede operatera ili oštećenje mašine usled ljudske greške. • Tu su takođe i ostali elementi zaštite, kao što su motorne zaštite i mnogobrojni alarmi na upravljačkoj jedinici.
	• Stope koje se nalaze na svim oslanjajućim pozicijama omogućavaju jednostavno nivelisanje mašine, što je od velikog značaja za pravilan rad. • Takođe obezbeđuju pravilno i ravnomerno opterećenje podloge, kao i dobro prijanjanje, čime se eliminišu vibracije i buka pri radu.		• Crveni laser pointer obezbeđuje mogućnost preciznog pozicioniranja glave u odnosu na materijal. • Za razliku od konkurentnih proizvoda kod kojih se pointer nalazi na glavi i pod uglom je usmeren na materijal, naši laseri pomoću BeamCombine tehnologije imaju zrak pointera položen duž putanje laserskog zraka, čime je obezbeđeno vertikalno usmerenje na materijal i poklapanje sa laserskim zrakom, bez obzira na poziciju stola.
	• Ugrađen senzor za autofokus omogućava brzo i precizno pozicioniranje glave u fokusnu tačku, što je od velikog značaja za kvalitet gravure i reza.		

Слика 18. Карактеристике ласера [5]

5.1. Историјат и развој ласера

Ласер представља светлост електромагнетних таласа у видљивом спектру. 1704. године Њутн је окарактерисао светлост као струјање малих делића (честица). Јангов експеримент обављен 1803. године и непосредно откриће поларизације светлости су убедили научнике у оно време да светлост има способност таласања. Максвелова електромагнетна теорија је објаснила појам светлости као брзину вибрација у електромагнетном пољу проузрокованих осциловањем честица. Први ласер је пронађен у Мајамију, маја 1960. године. То је био рубинов ласер изузетне чврстоће. Многе врсте ласера су пронађене ускоро после рубиновог ласера - први уранијум ласер у ИБМ (новембар 1960. године), први хелијум-неонски ласер 1961. године, први Нд ласер: УАГласер и ЦО₂ ласер 1964. године, Ар ласер 1964. године, хемијски ласер 1965. године. Када познајемо принципе ласера, ово није исувише велико изненађење. Али широки и континуални развој и примена ласера су заиста изванредни и представљају преко чудо. Ласерски сноп, који емитује ласерско тело разликује се од других познатих видова светлости: ласерски зраци су монохроматски, тј. имају само једну одређену таласну дужину; ласерски зрак је висококохерентан, са паралелним зрацима исте фазе; ласерски зрак може да се фокусира на веома малу површину и да обезбеди високу. За последњих 16 до 18 година технолошки процеси који се базирају на локалном загревању обрађиване површине помоћу ласера, добијају значајан развој и примену. Захваљујући високом фокусирању ласерског снопа, високој густини енергије снопа, могућности једноставног управљања ласерским снопом и обраде у веома различитим срединама, обрада ласером добија све већи значај и има низ предности у односу на остале неконвенционалне поступке. Овај нови правац обраде материјала добио је назив ласерска технологија

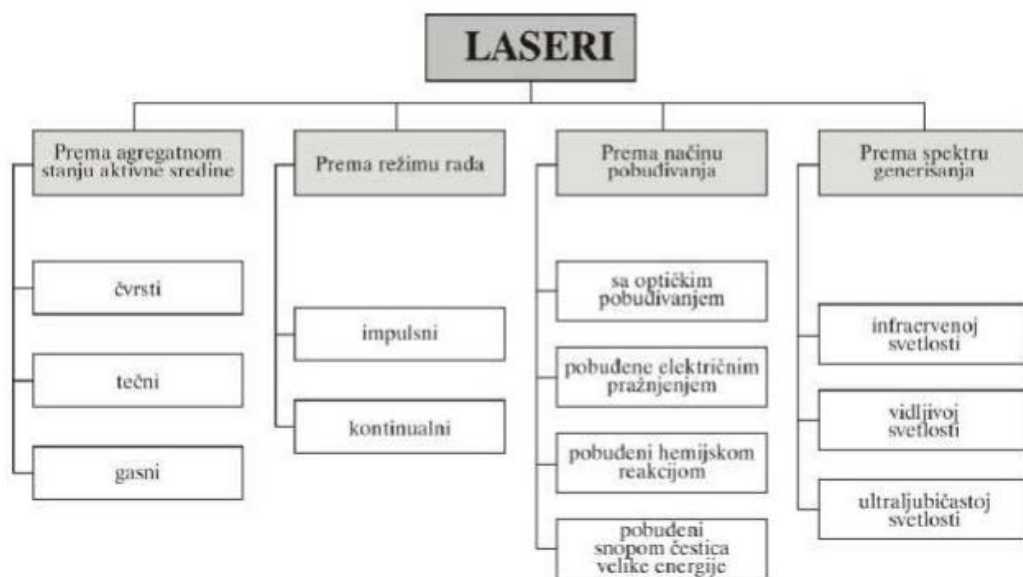


Слика 19. Принципијелна шема формирања ласерског снопа [6]

5.2. Подела ласера

Постоји више критеријума за поделу ласера. На слици 13. приказана је најчешћа подела.

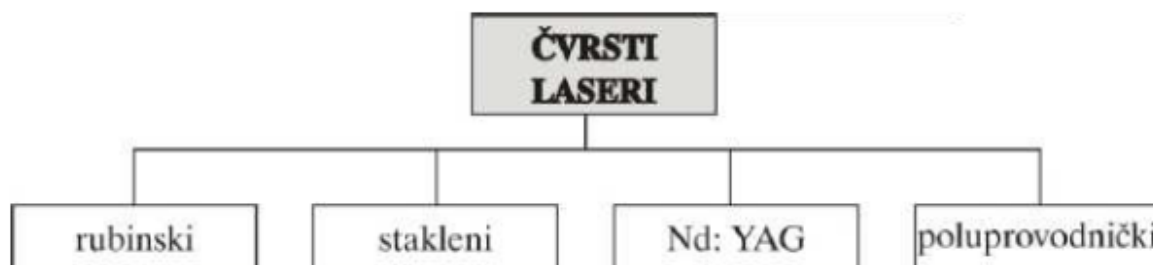
- ЧВРСТИ ЛАСЕРИ: Рубински ласер, Стаклени ласер, Nd: YAG ласер, Полупроводнички ласери.
- ТЕЧНИ ЛАСЕРИ: Ласери на бази неорганске течности, Ласери на бази органских боја.
- ГАСНИ ЛАСЕРИ: CO₂ ласер.



Слика 20. Подела ласера [6]

5.2.1. Чврсти ласери

Ласери са чврстим телом нашли су примену у обради метала и неметала. На слици 2.5 дата је подела чврстих ласера.



Слика 21. Подела чврстих ласера [6]

Као активна средина код ласера на бази чврстих тела користи се кристално или аморфно тело. Чврста тела имају знатно већу концентрацију активних честица него гасови. Због тога је насељеност енергетских нивоа у чврстим телима много већа од насељености енергетских нивоа у гасовима. Чврсто тело као оптичка средина има мању оптичку хомогеност него гасови, што условљава веће дисперзионе губитке светлости и смањење квалитета резонатора при његовој већој дужини, па зато нема смисла производити активне елементе веће дужине. Активни елементи ових ласера не прелазе дужину од 60 цм за оптички најхомогеније материјале. Фибер ласери припадају групи ласера чврстог стања. Они гарантују ласерски сноп у смислу такозваног ласерској сјемена и појачавају исти у специјално дизајнираним стакленим фиберима, који се напајају енергијом кроз пумпа диоде. Са таласом дужином од 1.064 микрометара, фибер ласери производе екстремно мали живи дијаметар; као резултат њихов интензитет је до 100х већи него код CO₂ ласера са истом емитованом просјечном снагом. Ови ласери су оптимални за маркирање метала у смислу каљења, за гравирање мета и за висококонтрастно маркирање пластике. Ови ласери су буквално без потребе за одржавањем и подразумевају дуг животни вијек од најмање 25.000 радних сати. Специјалан тип фибер ласера је МОРА ласер, код којег су дужине пулсирања прилагодљиве. Ово чини МОРА ласера једин од најфелксибилнијих ласера који може бити коришћен за много намјена. Погодни су за следеће материјале: метали, преслојени метали, пластика

5.2.2. Течни ласери

Као активна средина у ласерима на бази течности користе се раствори неорганских једињења ретких елемената и раствори органских боја. Разликује се две врсте ласера на бази течности:

- ласери са растворима неорганских једињења и
- ласери са растворима органских једињења

Пластика		Мешавине	Метал
Akrilonitril butadien stiren (ABS)	Polietilen tereftalat (PET)	Drvo	Metalne folije do 0,5 mm
Akril/PMMA	Polimid (PI)	Papir (beli)	
Poliamid (PA)	Polipropilen (PP)	Hrana	
Polibutilen tereftalat (PBT)	Polipropilen (PP)	Koža	
Polikarbonat (PC)	Polifenilen sulfid (PPS)	Tkanina	
Polietilen (PE)	Polistiren (PS)	Karton	
Poliester (PES)	Pena (bez PVC-a)	Pluto	
Guma	Polioksimetilen (POM) - tj. Delrin®	Papir (obojeni)	

У ласерима на бази течности постиже се иста концентрација активних честица као и у активној средини на бази чврстих тела, тако да се може добити велика енергија зрачења по јединици запремине. Течност је оптички хомогенија од чврстог тела, па су зато у течности мањи губици зрачењ а него у чврстим телима, у којима постоје разни дефекти у структури.

Хлађење течности као активне средине врши се циркулацијом што представљ једноставну и ефикасну методу. Недостатак ласера на бази течности представља временска нестабилност раствора. У раствору се већ након 1/2 месеца стварају талози који битно смањују ласерско зрачење. Избором органског једињења постиже се одговарајуће таласно подручје у којем ласер може да зрачи, а укључивањем селектовних елемената у резонатор постиже се ласерско зрачење на жељеној таласној дужини унутар таласног подручја. Овакви ласери могу радити и у континуалном и у импулсном режиму, док се ласери са неорганским растворима користе само у импулсном режиму. Побуђивање ласера на бази течности врши се оптичким пумпањем.

5.2.3. Гасни ласери

CO₂ ласер - сечење неметала и танких алуминијума и лимова - Ласерско резање користи ласерски зрак да сече широк спектар материјала. Ласерско сечење је први избор резања за многе захваљујући високом нивоу тачности, брзине и релативно ниске цене изрезаних делова. Прецизност сечења елемената, без деформитета, уз високу ефикасност и тачност позиционирања су један од разлога зашто се највећи део производње обавља управо ласерским сечењем. Ласер поседује одличне динамичке карактеристике, прецизну контролу паљења и радне висине резне главе, пренос планова сечења путем LAN мреже или USB-а, могућност подешавања висине паљења резне главе – ласера, САД/САМ софтвер за припрему планова за сечење. Пподразумева обраду пуног дрвета, медијана, шпер плоча, плочастих материјала, акрилних плоча, PVC плоча, PET фолије и сл. Ако се укаже потреба, на производе вршимо услуге гравирања, израде и лепљење налепница. CO₂ ласери су гасни ласери који су базирани на угљен-диоксид мјешавини гасова, који су стимулирани електронски. Са дужином таласа од 10.6 микрометара, погодни су за рад на не-металним материјалима и већини пластика. CO₂ ласери имају релативно велику ефикасност и истичу добар квалитет снопа. Они су најшире коришћени тип ласера. Погодан за следеће материјале: Дрво, акрил, стакло, папир, текстил, пластика, фолија & филмови, кожа, камен У пракси разликујемо три типа ласера на бази пражњења гасова:

- ласере са неутралним атомима,
- јонске ласере и
- молекуларне ласере.

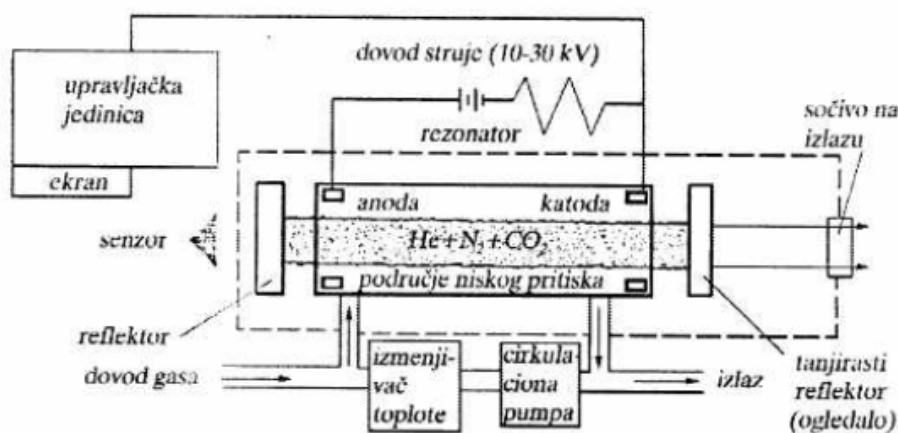
Ови ласери се међусобно разликују по механизму настајања инверзне насељености и по таласној дужини зрачења. CO₂ ласер. Тело CO₂ ласера се састоји од гасне смеше CO₂, He и N₂, при чему активну средину чине молекули CO₂. CO₂ ласери се одликују високом монохроматичношћу и великим коефицијентом корисног дејства. Ласерски сноп има таласну дужину светлости $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$, која је десет пута већа од стаклених и YAG-ласера.

Ови ласери могу да раде у импулсном и континуалном режиму, а као индустријски ласери имају снагу и до 15 kW. CO₂ ласерима може да се врши бушење, сечење, заваривање, маркирање, термичка обрада на различитим материјалима, наношење тврдих превлака итд. Повећање температуре гаса на ласерско тело, које доводи до електричног пражњења, води ка изразитом смањењу излазне снаге, због чега је потребно интензивно хлађење гасне смеше.

Према начину хлађења, CO₂ ласери се деле на:

- ласери са конвенционалним хлађењем и
- ласери са дифузним хлађењем

При дифузном хлађењу, гасна смеша се хлади хлађењем ласерског тела, а при конвенционалном хлађењу, изменом гасне смеше у ласерском телу а потом њеним хлађењем.



Слика

22. Принципијелна шема CO₂ ласера [6]

Према начину протока гасне смеше низ оптички резонатор и према правцу електричног пражњења низ гасни флуид, разликују се више врста CO₂ ласера:

- ласери са аксијалним електричним пражњењем и аксијалним протоком гаса,
- ласери са аксијалним електричним пражњењем и аксијалним брзим протоком гаса,
- ласери са трансферзалним електричним пражњењем и трансферзалним протоком гаса и
- ласери са трансферзалним електричним пражњењем и трансферзалним протоком гаса, са претходном јонизацијом гаса.

Енергија протока гаса, неопходна за процес електричног пражњења, је знатно већа од потребне енергије. Једна од ефективних метода за решавање овог проблема је да се изврши претходна јонизација гаса, а самим тим да се смањи напон електричног пражњења.

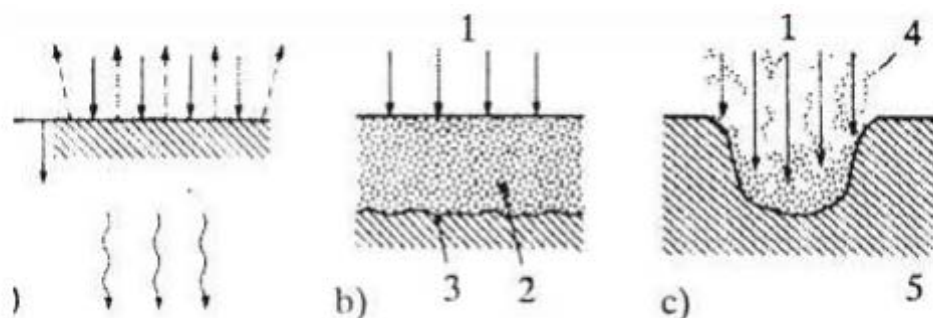
Ефикасност CO₂ ласера је знатно изнад оне која се налази код других типова ласера. Ови ласери могу да емитују велике снаге. За постизање великих снага израђују се ласери великих дужина.

5.3. Принцип ласерске обраде

При судару ласерског снопа са непрозирним чврстим телом, на његовој површини и у подповршинским слојевима (на одређеној дубини) се одигравају различити физички процеси. Под његовим утицајем долази до интензивног површинског загревања материјала предмета обраде, топљења и испаравања материјала предмета обраде. Стога се, дејство ласерског снопа на материјал предмета обраде, може поделити у неколико карактеристичних фаза:

- рефлексија (одбијање) ласерског снопа од површине,
- апсорпција ласерског зрачења по површинским слојевима предмета обраде и
- трансформација фотонске енергије у топлотну,
- загревање озрачене површине, са растапањем и испаравањем површинских слојева,
- уклањање продуката разарања и
- хлађење површине материјала предмета обраде,

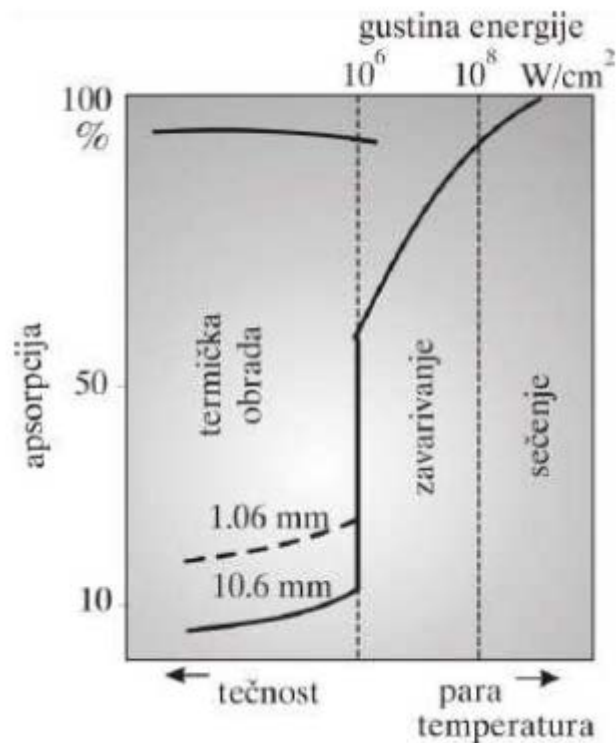
по престанку дејства ласерског зрачења. Поред наведеног, истовремено се одвијају и други процеси (хемијски процеси и фазна трансформација), који битно утичу на карактер дејства ласерског зрачења. Део ласерског снопа што пада на површину предмета обраде, апсорбује се у унутрашњост материјала на одређеној дубини, а део се одбија (рефлектује) од површине.



Слика 23. Интеракција ласерских зрака са обрађиваним материјалом [6]

1 - ласерски зраци, 2 - истопљени материјал, 3 - гранична зона између чврстог и истопљеног материјала, 4 - одношење материјала, 5 - предмет обраде

Количина ласерског снопа која се одбија, зависи од таласне дужине светлости, густине снаге ласерског зрачења, топлотне проводљивости материјала предмета обраде, специфичне енергије потребне за одређену обраду итд. У одређеним случајевима, висока рефлексија на многе материјале при одређеној таласној дужини ласерског зрачења, доводи до тога да је материјал непогодан за обраду ласером.

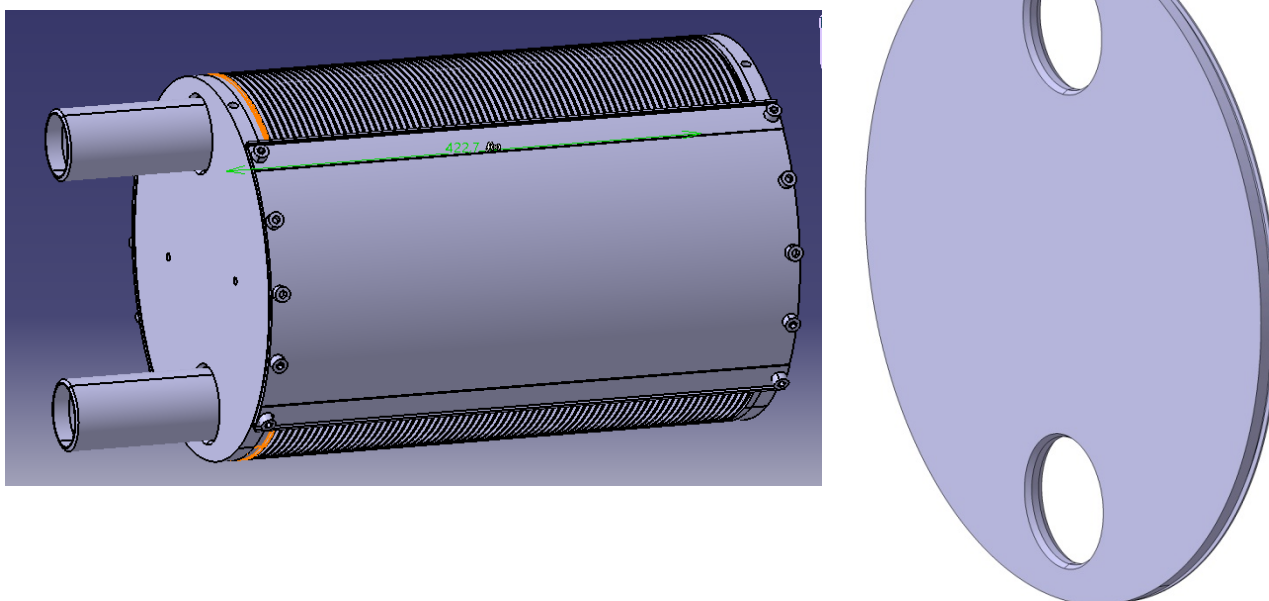


Слика 24. Зависност коефицијента апсорпције од температуре на површини метала [6]

Битан утицај на коефицијент рефлексије има и густина ласерског млаза. Карактеристично је да коефицијент апсорпције и рефлексије, са једне стране, зависе од карактеристика извора ласерског зрачења и оптичког система, а са друге, од особина обрађиваног материјала. Апсорпција зависи и од стања површине предмета обраде параметра храпавости, предходне обраде, нечистоће, оксидних превлака, итд, као и од режима обраде брзина померања снопа ласерских зрака, димензија светлосне мрље. Повећањем брзине обраде и пречника светлосне мрље, може се битно повећати апсорпциона способност А %. У циљу повећања ефикасности обраде ласером може се вештачки снижити рефлексиона способност повећањем храпавости површине, претходним загревањем или коришћењем разних превлака.

6. Технолошка припрема за сечење ласером.

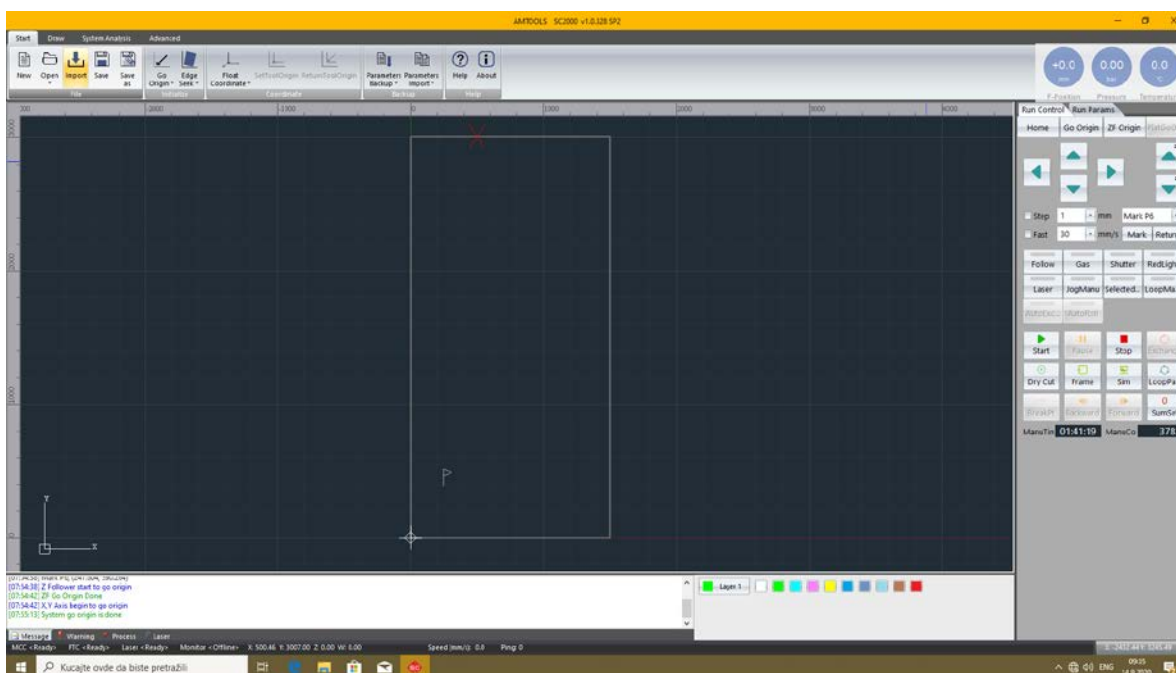
Измењивачи топлоте се састоје од делова који се могу добити сечењем на ласеру. Регистар измењивача топлоте састоји се од унутрашњих и завршних плоча. На слици 25 дат је склоп регистра где је обележена предња завршна плоча која се сече на ласерском секачу.



Слика 25. Предња завршна плоча

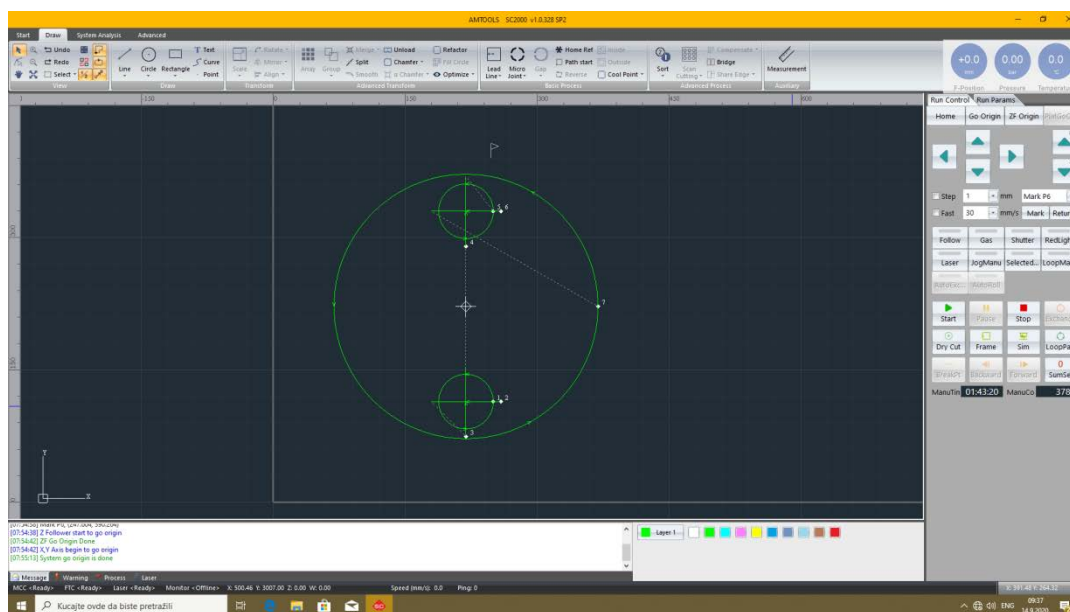
Након израде техничке документације цртеж који је дат на слици 26 у DXF формату уноси се у програм за припрему кројне листе за сечење на ласеру. Припрема кројне листе ради се у програму AM TOOLC где се подешава:

- дебљина материјала
- врста материјала
- брзине сећења
- улазне и излазне тачке сечења



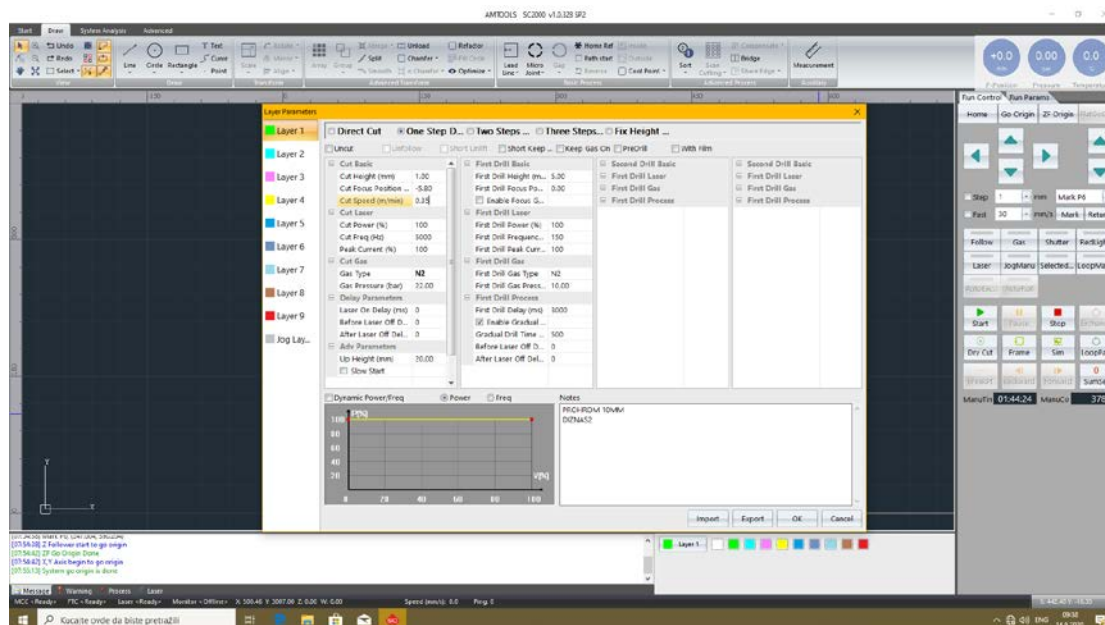
Слика 26. Програм за израду кројне листе ласера AM TOOLC

На слици 26. приказан је програм за израду кројне листе ласера. Кликом на икону INPORT уčitава се DXF фаилн.

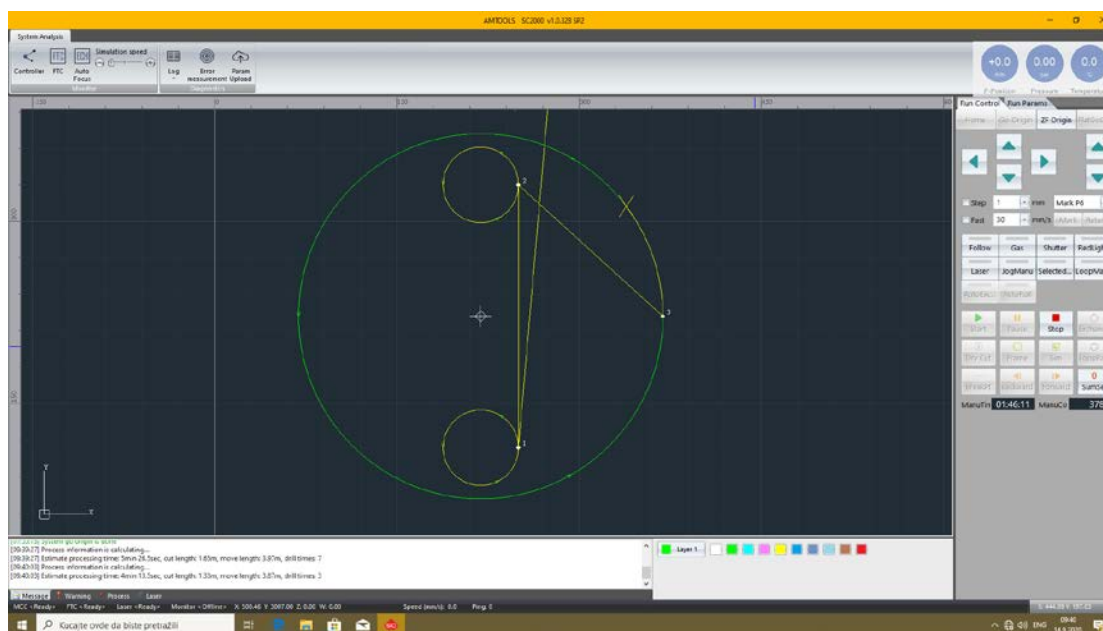


Слика 27. Учитавање цртежа у програму ам тоолс

На слици 27 приказан је учитан цртеж у ком треба радити сечење. Следећи корак је подешавање параметара сечења, прозор у коме се подешавају ти параметри дат је на слици 28



Слика 28. Подешавање параметра сечења



Слика 29. Симулација сечења

Након подешавања свих потребних параметара ради се симулација за сечење као што је приказано на слици 29.

Зелена линије линију реза, а жута линија показује већ исечену контуру. Када цела контура постане жута сечење је готово.

7. Закључак

На основу теоријских разматрања, може се рећи да постоји велики број различитих измењивача топлоте. Неки од њих су : „цев у цев“ Измењивач топлоте са снопом цеви, Бубњасте измењивач топлоте – ложиште, Спирални измењивач топлоте, Плочасте измењивач топлоте, Димњачки измењивачи топлоте, Растављене измењиваче топлоте, Лемљене измењиваче топлоте..

Измењиваче топлоте карактерише плочасте материјал. Већином случаја израђују се од прохрома. Дошли смо до закључка да у протекле три деценије у развијеним земљама света омасовљена је примена плочатих измена топлоте у системима даљинског грејања и индустријских процеса. Шира примена плочастих измењивача топлоте на простору бивше Југославије јављају се почетком деведесетих година. Измењивач топлоте је уређај код кога се топлота преноси са једног флуида (течност или гас) на други.

Може се закључити да ласер има све већу примену у изради сечењем посебно код обраде плочастих материјала јер омогућује брзу, једноставну примену и тачну израду без дораде делова. Ласерско сечење има више предности у односу на класичне поступке сечења материјала. Ширина реза је мала, странице реза су равне, топлотно деформисани слој је мали, могуће је сећи радни предмет по компликованим контурама са великом прецизношћу, могућа је обрада готово свих познатих врста материјала, додатна обрада није потребна, чист је и еколошки прихватљив процес обраде. На основу теоријских разматрања дошло се до закључка да на квалитет обраде код ласерског сечења утиче велики број фактора који су систематизовани на факторе ласерске машине за сечење лима, снопа ласерских зрака који представља алат у обрадном процесу и радног предмета. Испитивања реализована у овом раду су показала да се са повећањем брзине резања и снаге ласера смањује храпавост површине реза, тј. најмања храпавост се постиже при највећој брзини резања. Затим, испитивања су даље показала да се повећањем снаге ласера повећава и храпавост површине резања. Са повећањем дебљине лима погоршава се храпавост површине резања и потребно је смањити брзину резања, а повећати снагу ласера. Мерењем квалитета обрађене површине констатовано је да постоје значајне разлике у квалитету по дубини површине сечења, најбољи квалитет је непосредно на почетку сечења, док је на изласку ласерског снопа и однетог материјала најлошији квалитет.

8. Литература

[1] "Topiz" D.o.o. Београд, Србија <https://www.topiz.co.rs/izmenjivaci-toplote>

Пристапљено: 14.09.2020.

[2] Infonet Group Београд, Србија: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/981/820/izmenjivac-toplote-tipovi-opste-karakteristike-i-primena-u-gradjevinarstvu>

Пристапљено: 14.09.2020.

[3] Сајт фирме "EURO HEAT" Крагујевац, Србија

<https://www.euroheat.co.rs/catalog/izmenjivaci-toplote/>

Пристапљено: 25.08.2020.

[4] Књига: CAD/CAM технологија, Горан Девићић. Крагујевац, 2009. Године.

Пристапљено: 25.08.2020.

[5] Arpel Automation Београд, Србија 2015.

<https://arpel.rs/proizvodi/laseri/lasercut/#karakteristike>

Пристапљено: 25.08.2020.

[6] Дипломски рад. Тема: Квалитет обраде ласером, Јаковљевић Јован 322/2008

Факултет инжењерских наука, Крагујевац, Србија. Пристапљено: 07.09.2020.

[7] Trotec Laser GmbH - Босна и Херцеговина, Бијељина <https://www.troteclaser.com/sr/>

Пристапљено: 14.09.2020.