



Универзитет у Београду Машински факултет

Мастер академске студије

МОДУЛ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

# Микрообрада и карактеризација

## Семинарски рад

Напомена:

Чланови подгрупе:

Петар Лукић 1248/23  
Александар Гаћиновић 1251/23  
Коста Лазић 1269/23  
Алекса Јовановић 1206/23

Наставник:

Асистент:

Оверио:



## Садржај

<b>1. Увод</b> .....	3
1.1. Стојећи таласи .....	3
1.2. Хладнијеве фигуре .....	4
<b>2. CAD МОДЕЛ</b> .....	7
<b>3. Припрема модела хладњака за 3Д штампу</b> .....	9
<b>4. Мерење и анализа</b> .....	14
4.1. Уопштено о метрологији .....	14
4.2. Микроскоп .....	14
4.3. Мерење .....	15
4.5. Закључак.....	19

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
		ПРО	2024/245		

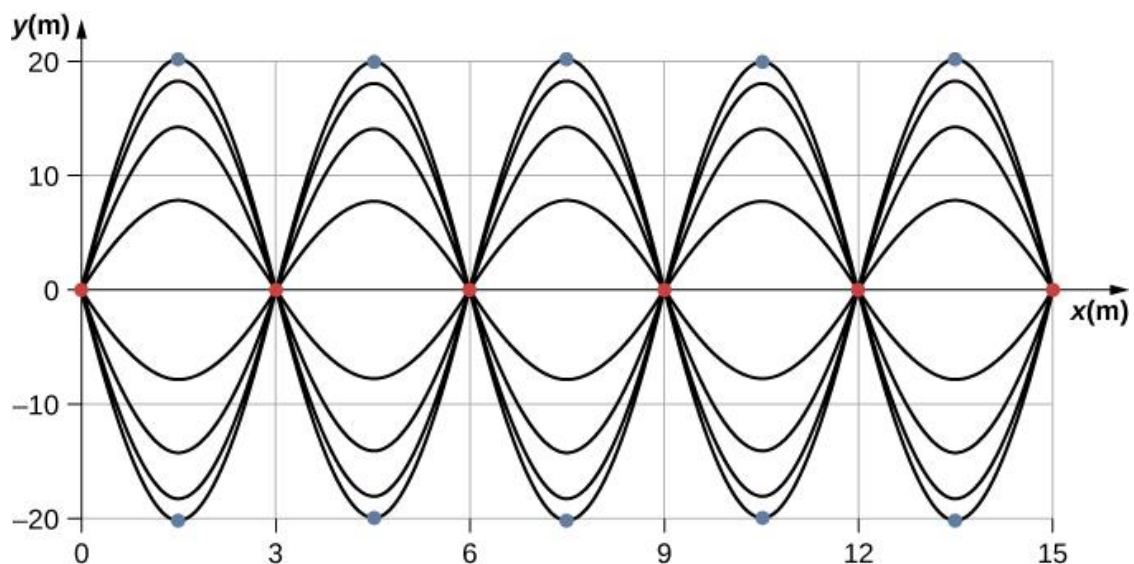
## 1. Увод

Микрообrada је прецизан облик обраде материјала који се користи за израду веома малих и детаљних компоненти, често у микронским димензијама. Користи се у индустријама попут електронике, биомедицине, оптике и прецизне механике. Технике микрообrade укључују ласерску обраду, фотолитографију, микроглодање, електроерозивну обраду (EDM) итд. Због високих захтева за прецизношћу и контролом, микрообrada омогућава производњу компоненти које су кључне за савремене технологије, као што су микрочипови, сензори и микрофлуидни системи.

### 1.1. Стојећи таласи

Стојећи талас је талас који осцилује у времену али чији је профил амплитуде непомичан. Стојећи таласи настају као резултат суперпозиције два таласа исте фреквенције и амплитуде који се крећу у супротним смеровима. Стојеће таласе је први описао Мајкл Фередиј (Michael Faraday, Енглеска 1791-1867) 1831. опажајући ову појаву на површини течности у вибрирајућој посуди, док је термин *стојећи талас* смислио Франц Мелде (Franz Melde, Немачка 1832-1901) на немачком језику и први дао класичан пример једнодимензионог простирања стајаћег таласа кроз затегнуту жицу.

Најједноставнији опис стојећег таласа се види у његовом простирању у једној димензији, нпр. вибрирање жице, као што је приказано на слици 1.1.



Слика 1.1: Једнодимензиони стојећи талас

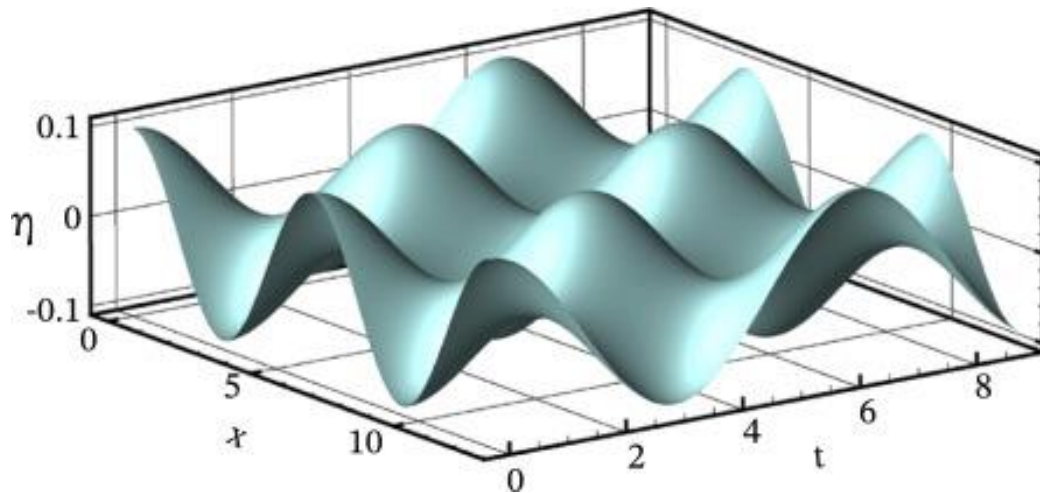
Двoдимензионални стојећи талас (на пример, на правоугаоној мембрани) описује се функцијом облика:

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1269/23	Коста Лазић	ПРО	2024/245		

$$u(x, y, t) = A \cdot \sin\left(\frac{n\pi x}{L_x}\right) \cdot \sin\left(\frac{m\pi y}{L_y}\right) \cdot \cos(\omega t)$$

где је:

- $u(x, y, t)$  – померај тачке на површини у тренутку  $t$ ,
- $L_x, L_y$  – димензије мембране (дужина и ширина),
- $n, m \in \mathbb{R}$  – број чворова у  $x$  и  $y$  правцу респективно,
- $\omega$  – угаона фреквенција.



Слика 1.2: Дводимензионални стојећи талас

## 1.2. Хладнијеве фигуре

Један од начина на који се може видети дводимензионално простирање стајаћег таласа јесте приликом стварања ткз. Хландијевих фигура. Хладнијеве фигуре су сложени обрасци који се формирају на површини танких, чврстих плоча када оне осцилирају одређеном фреквенцијом. Када се на површину плоче поспе ситан песак или прашина, они се померају услед вибрација и скупљају се дуж линија на којима нема померања – чворова стојећих таласа. У тим зонама, због недостатка кретања, материјал остаје нетакнут, док се на другим деловима плоче песак скупља или се помера.

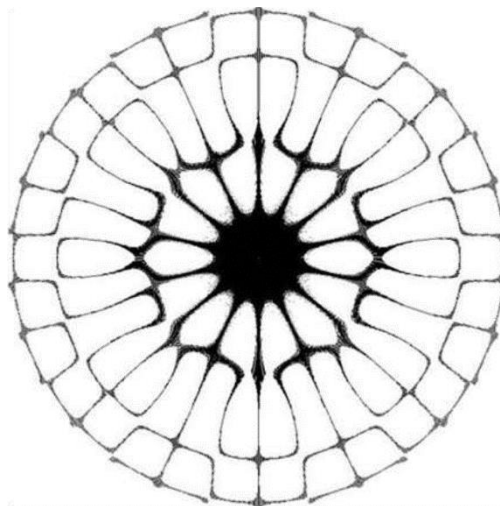
Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1269/23	Коста Лазић	ПРО	2024/245		



Слика 1.3: Хладнијева плоча

Овај феномен први је систематски проучавао и описао немачки физичар и музичар Ернст Хладни (Ernst Florens Friedrich Chladni, Саксонија 1756-1827) крајем 18. века, по којем су и добиле име. Хладнијеве фигуре су важан алат у физици таласа, акустици, као и у инжењерству, где помажу у анализи и контроли вибрација различитих материјала и конструкција. Поред тога што су научни инструмент, Хладнијеве фигуре имају и уметничку вредност због својих симетричних и лепих образаца који настају као резултат природних физичких закона.

Овај семинарски рад ће представити хладњак дизајном инспирисан кландијевом фигурном приказане на слици 1.4:



Слика 1.4

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1269/23	Коста Лазић	ПРО	2024/245		



Карактеристике и изазови хладњака у микросвету:

- Минијатуризација: Системи су врло мали, често у размери микро- или нанометра, што захтева нове приступе дизајну и материјалима.
- Ефикасност хлађења: Због малих димензија и великог топлотног оптерећења по јединици површине, потребно је обезбедити изузетно ефикасне методе одвођења топлоте.
- Контрола протока: У микроскали, понашање флуида и топлотни пренос се разликују од макроскопских услова, па се користе микроцеви, микроћелије и микрофлуидни системи.
- Материјали: Користе се специјални материјали са добрим топлотним и механичким својствима, као и наноструктурирани материјали који побољшавају перформансе.

Примене хладњака у микросвету:

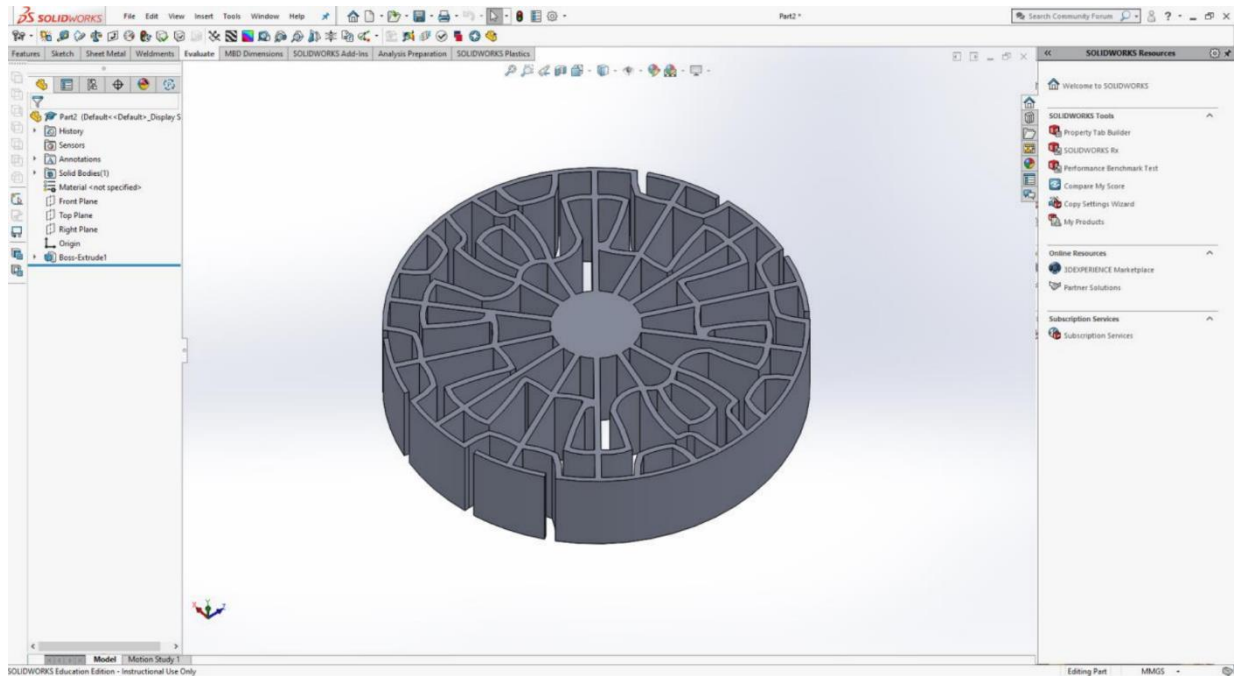
- Хлађење микропроцесора и интегрисаних кола у рачунарима.
- Контрола температуре у биомедицинским уређајима као што су имплантати и сензори.
- Микрохладњаци за оптике и ласерске уређаје.
- Хлађење микроелектромеханичких система (МЕМС).

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1269/23	Коста Лазић	ПРО	2024/245		



## 2. CAD МОДЕЛ

Према слици хладњака и оквирним мерама, урађен је CAD модел у програму SOLIDWORKS.



Слика 2.1

Важно је придржавати се задатих димензија, и побринути се да контура буде затворена. Модел је урађен тако да буде идентичан као пример слике хладњака која нам је задата на слици 1.4.

Функција која је коришћена за креирање модела је boss-Extrude.

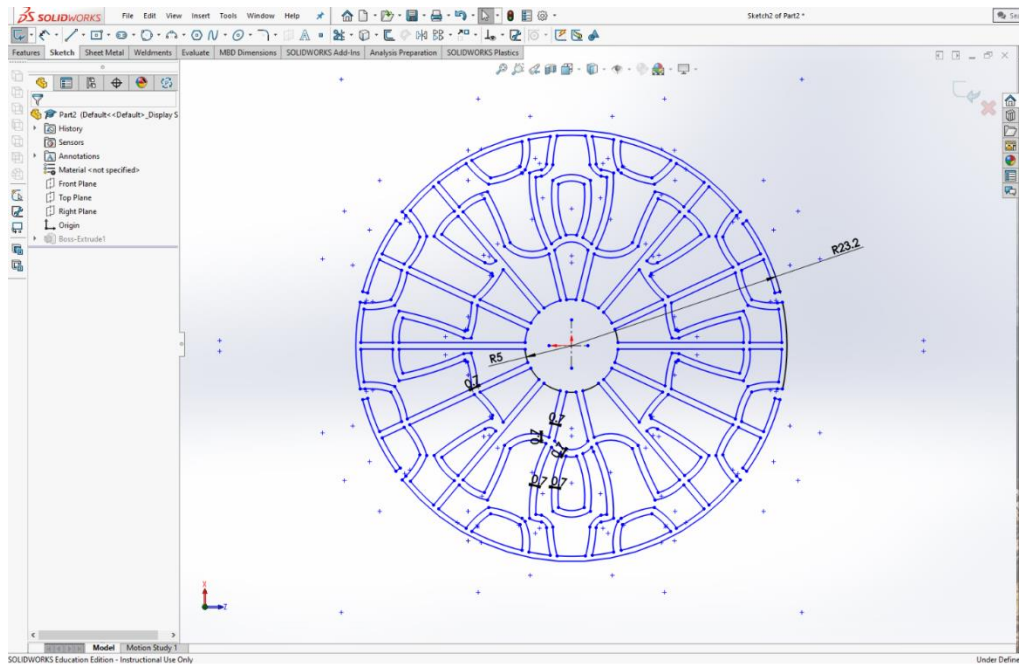
Спољни пречник хладњака:  $46.4\text{mm}$

Висина хладњака:  $10\text{mm}$

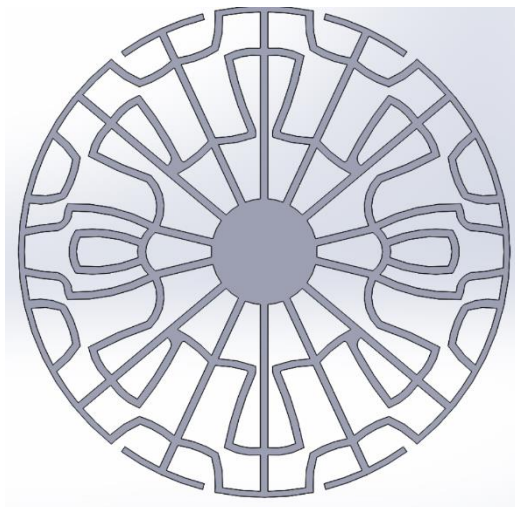
Дебљина зидова хладњака:  $0.5 \cdot 0.7\text{mm}$

Пречник средњег круга:  $10\text{mm}$

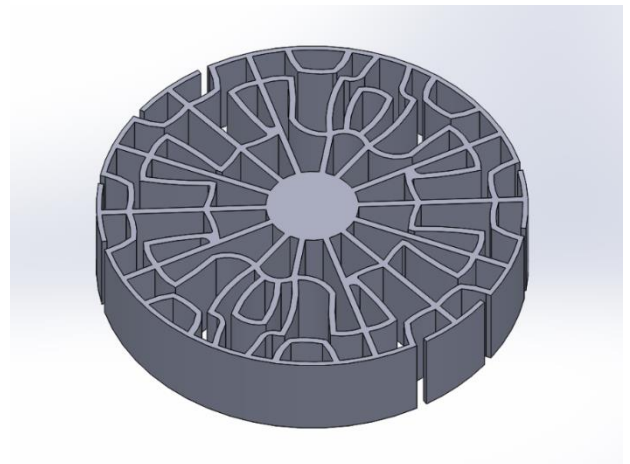
Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1206/23	Алекса Јовановић	ПРО	2024/245		



Слика 2.2



Слика 2.3



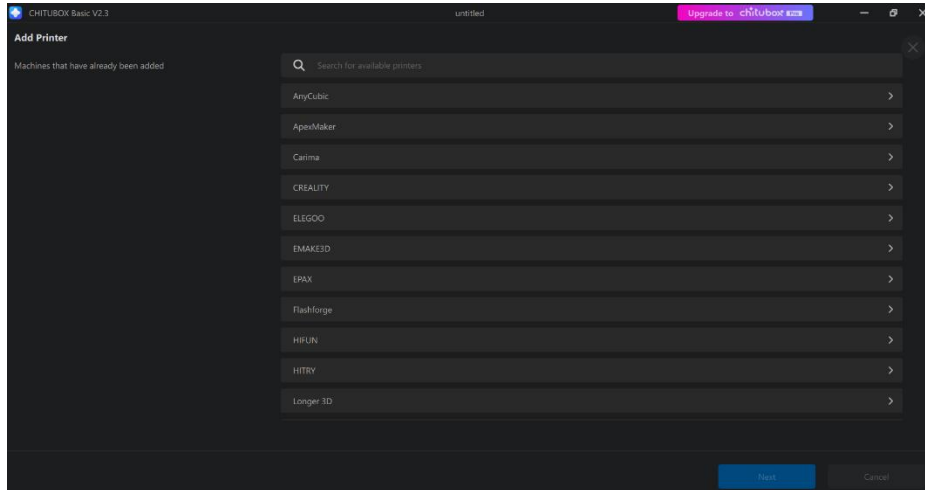
Слика 2.4

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1206/23	Алекса Јовановић	ПРО	2024/245		



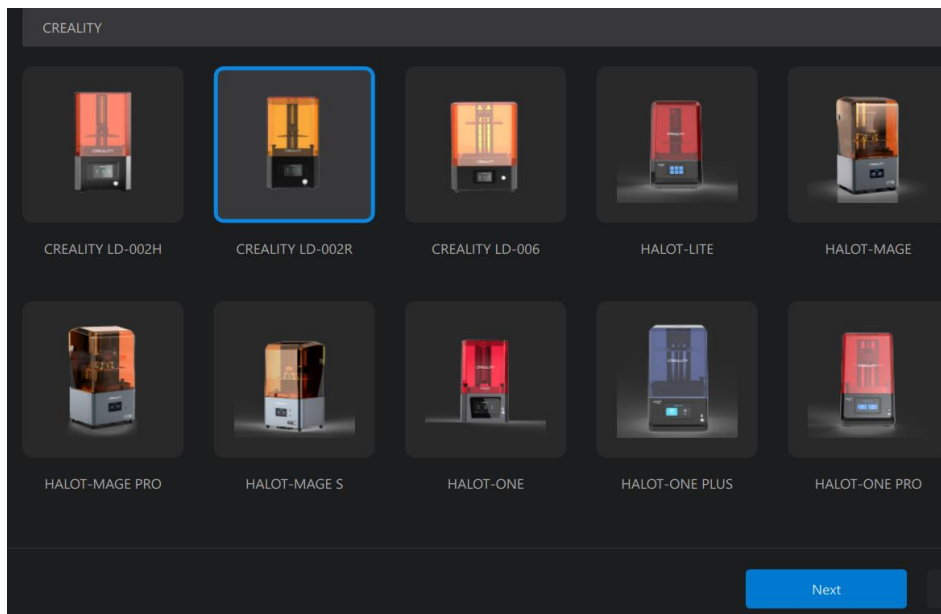
### 3. Припрема модела хладњака за 3Д штампу

Припрема модела хладњака за 3Д штампу коришћењем програма *Chitubox*.  
Окружење програма *Chitubox* је дато на слици 3.1.



Слика 3.1: Окружење програма *Chitubox*

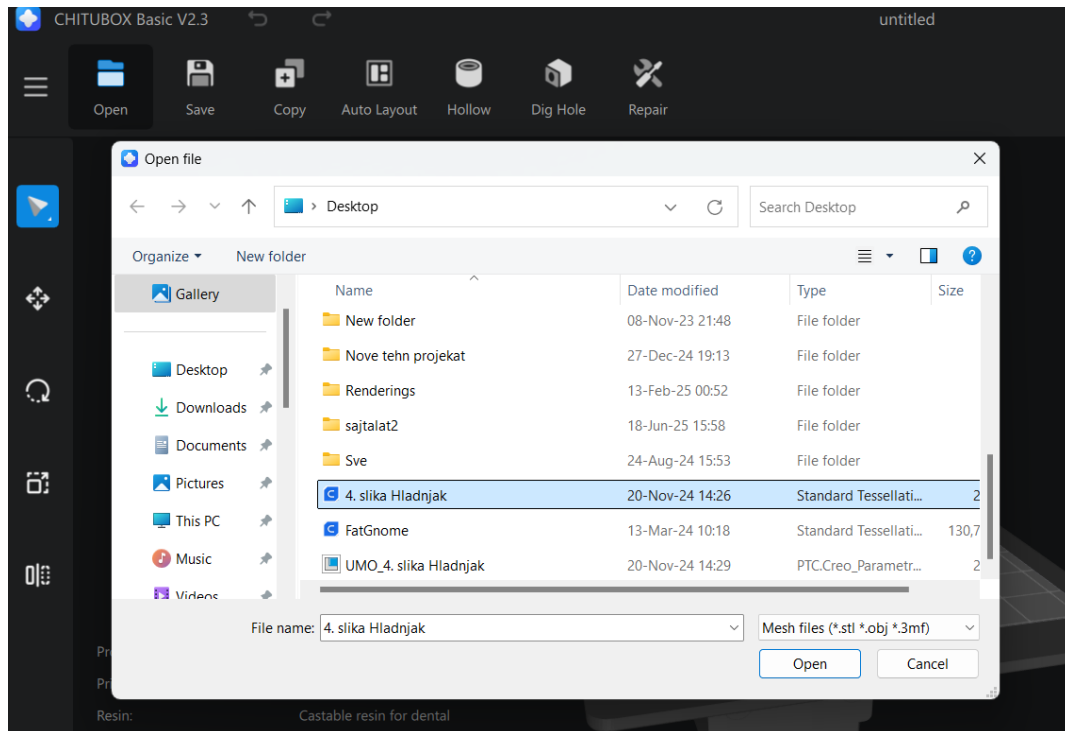
Након учитавања програма потребно је одабрати одговарајући модел штампача. За реализацију вежбе смо користили *CREALITY LD-002R* штампач. Погледати слику 3.2.



Слика 3.2: Одабир одговарајућег штампача

Одабиром штампача прелазимо на учитавање STL фајла нашег модела (хладњака).

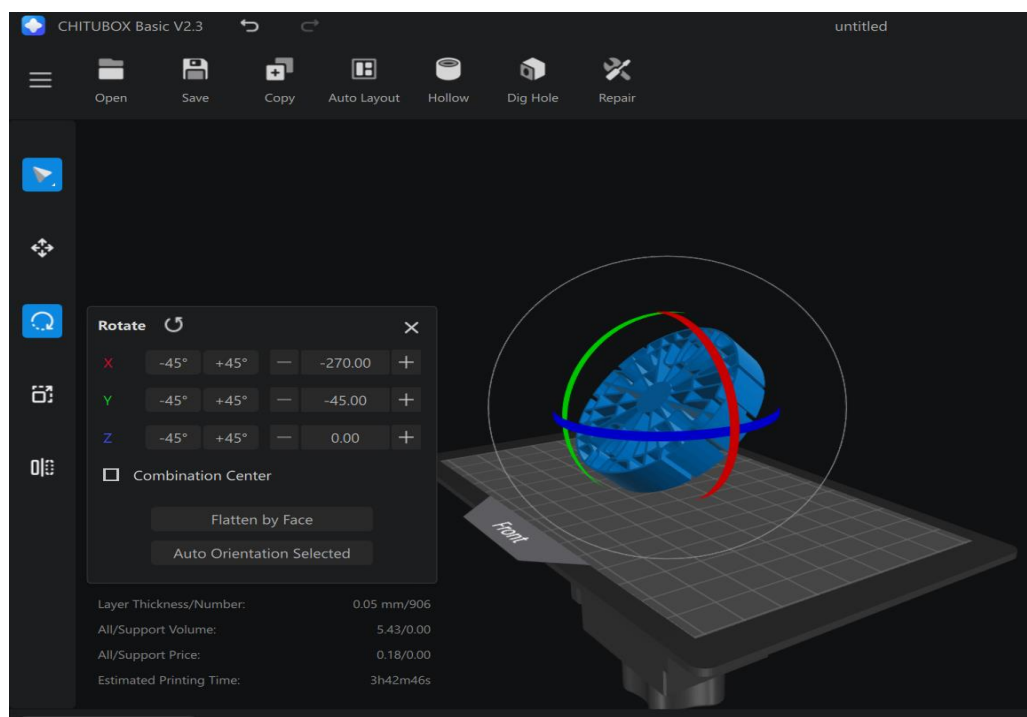
Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1251/23	Александар Гађиновић	ПРО	2024/245		



Слика 3.3: Учитавање STL фајла

Учитавањем STL фајла модел хладњака се појављује у окружењу програма *Chitubox*.

После учитавања модела, потребно је подесити одговарајућу оријентацију.



Слика 3.5: Подешавање оријентације модела хладњака

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1251/23	Александар Гађиновић	ПРО	2024/245		



Након оријентације модела прелазимо на подешавања параметара 3D штампе. Подешавамо дебљину слојева и брзину штампе у циљу добијања што квалитетнијег модела. Подешени параметри су приказани на слици 3.6 и 3.7.

Bottom Lift Distance	5.000	+	0.000	mm
Lifting Distance	5.000	+	0.000	mm
Bottom Retract Distance	5.000	+	0.000	mm
Retract Distance	5.000	+	0.000	mm
Bottom Lift Speed	65.000	+	0.000	mm/min
Lifting Speed	70.000	+	0.000	mm/min
Bottom Retract Speed	150.000	+	0.000	mm/min
Retract Speed	150.000	+	0.000	mm/min

Слика 3.6: Подешавање параметара за штампу

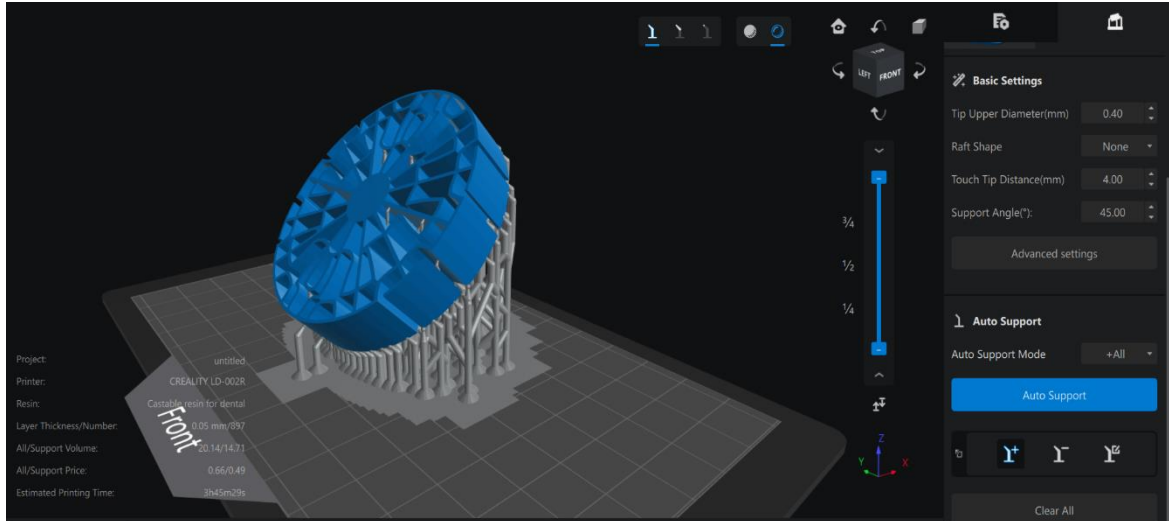
<b>Print</b>	
Layer Height	0.050 mm
Bottom Layer Count	10
Exposure Time	8.000 s
Bottom Exposure Time	50.000 s
Waiting Mode During Printing	Resting time
Rest Time Before Lift	0.000 s
Rest Time After Lift	0.000 s
Rest Time After Retract	0.000 s

Слика 3.7: Подешавање параметара за штампу

Следећи корак је подешавање потпоре (ослонца).

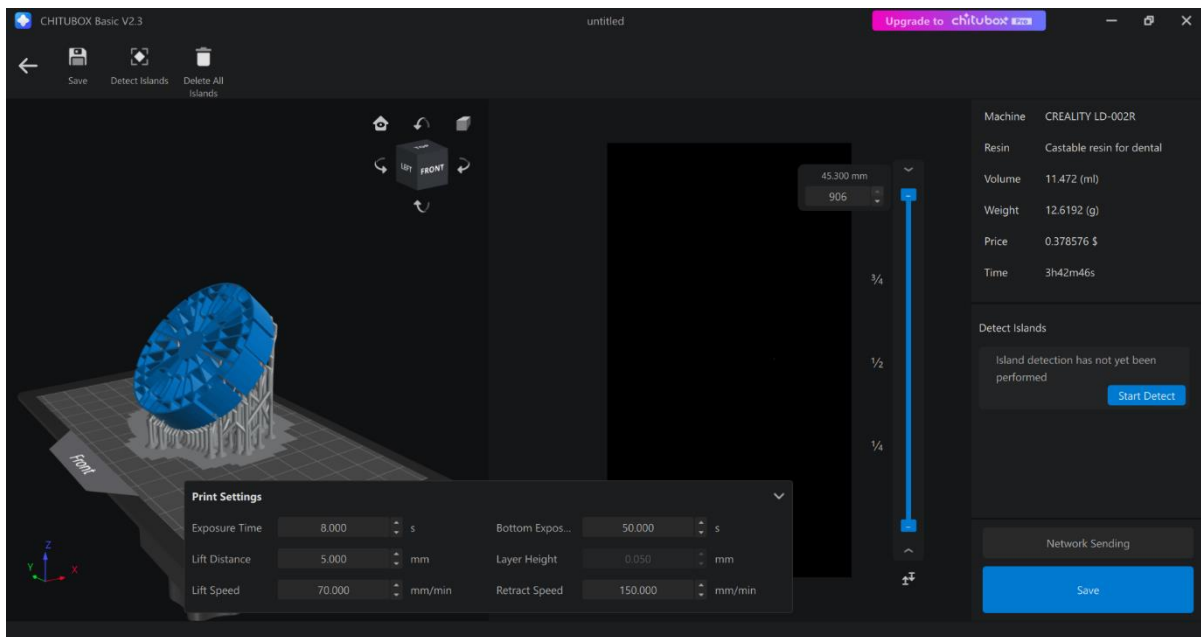
Потпора се може додавати аутоматски или мануелно. Приказ модела са потпором је приказан на слици 3.8.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1251/23	Александар Гађиновић	ПРО	2024/245		



Слика 3.8: Модел са потпором

Након подешавања потпоре, притиском на тастер *Slice* креће 3Д штампање. Добијамо основне податке о моделу (маса, цена, време трајања 3Д штампања). Поступак је приказан на слици 3.9.



Слика 3.9: Основне карактеристике модела

После добијања жељених вредности чувамо податке притиском на тастер *save*. Тако сачувани подаци се касније убацују у одговарајући 3Д штампач.

После завршетка штампања потребно је постпроцесуирање модела, односно уклањање потпоре са модела.

Материјал који је коришћен је смола слична PLA пластици.

Приказ готовог модела дат је на слици 3.10.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1251/23	Александар Гађиновић	ПРО	2024/245		



*Слика 3.10: Приказ готовог модела*

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1251/23	Александар Гађиновић	ПРО	2024/245		



## 4. Мерење и анализа

### 4.1. Уопштено о метрологији

Мерење и контрола су од великог значаја у машинској индустрији. Метрологија као наука о мерењу и карактеризацији материјала, представља засебну област у производњи која доводи до развоја и унапређивања машинских делова.

Мерење представља одређивање физичке величине или мере објекта упоређивањем са еталоном. У области микросвета, мерење је захтевније у односу на макро свет. Потешкоће које се јављају јесте ограничен радни простор, отежано позиционирање и стезање делова и слично. Такође, тачност и резолуција морају бити много веће у односу на макро свет

Постоји више метода мерења у микро области од којих су неке:

- Контактне методе,
- Бесконтактне методе,
- Оптичка микроскопија,
- Конфокална микроскопија
- Скенирајућа електронска микроскопија,
- Микроскопија атомским силама итд.

### 4.2. Микроскоп

За потребе мерења један од адекватних инструмената за коришћење јесте микроскоп. Микроскоп је оптички уређај који се користи за посматрање објеката који су премали да би били видљиви голим оком, као што су ћелије, микроорганизми и други ситни објекти. Микроскоп повећава слику малих објеката помоћу сочива или других оптичких компоненти, као што су објективи и окулари.

Модел микроскопа који је коришћен за посматрање и мерење објекта је *MustoolG600 Digital* преказан на слици 4.1. Овај модел микроскопа поседује могућност увећавања и до 600 пута са дистанцом од посматраног објекта од најмање 15 милиметара. Дигитални микроскоп се састоји од LCD екрана и камере од 3.6 мегапиксела. За чување и складиштење података и слика користи се MicroSD меморијска картица са 64 GB меморије. На предњој страни микроскопа налазе се тастери који се користе за укључивање, приступ менију, избор мода, као и стрелице и тастер *OK*. На задњој страни налазе се мини USB, слот за меморијску картицу, као и потенциометар за подешавање осветљења диода у камери.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		

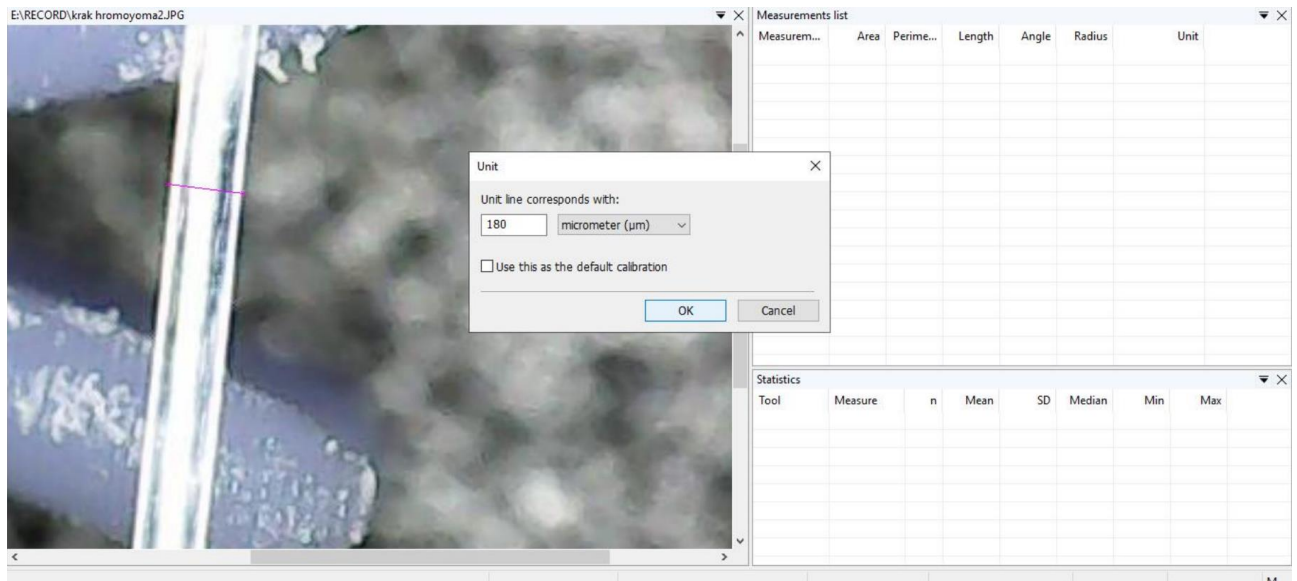


Слика 4.1: Микроскоп *MustoolG600 Digital*

### 4.3. Мерење

Наредни задатак који је потребно извршити јесте мерење свих претходно израђених 3D модела. За мерење је коришћен описани микроскоп *MustoolG600 Digital*. У мерни простор се понасоб поставља сваки део на који се прислони еталон. У нашем еталону струне дебљине су 60, 180 и 300 нанометара (слика 4.2). Заокретањем завртња добија се увеличан и јасан приказ дела на дисплеју. Слика се чува на SD картици која је претходно убачена. Овај поступак је потребно поновити за сваки део.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		



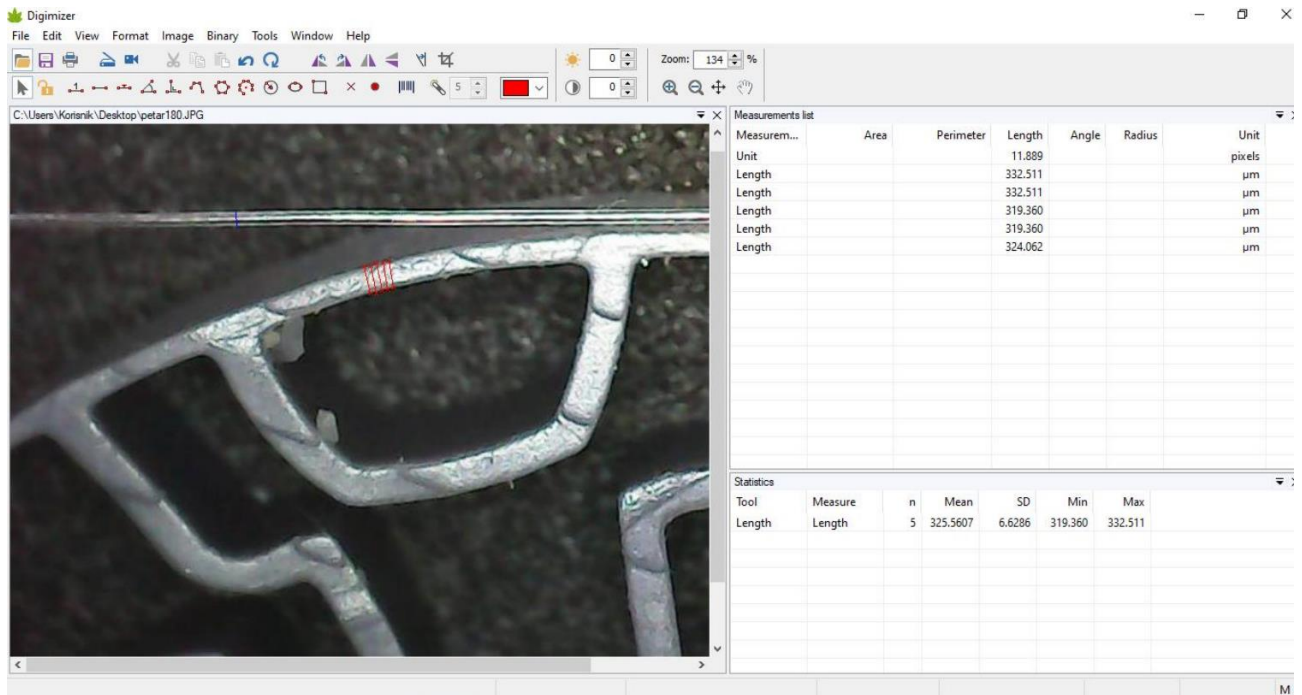
Слика 4.2: Еталон – струна дебљине 180  $\mu\text{m}$

Следећи корак подразумева мерење у програму *Digimizer 6.4.3*.

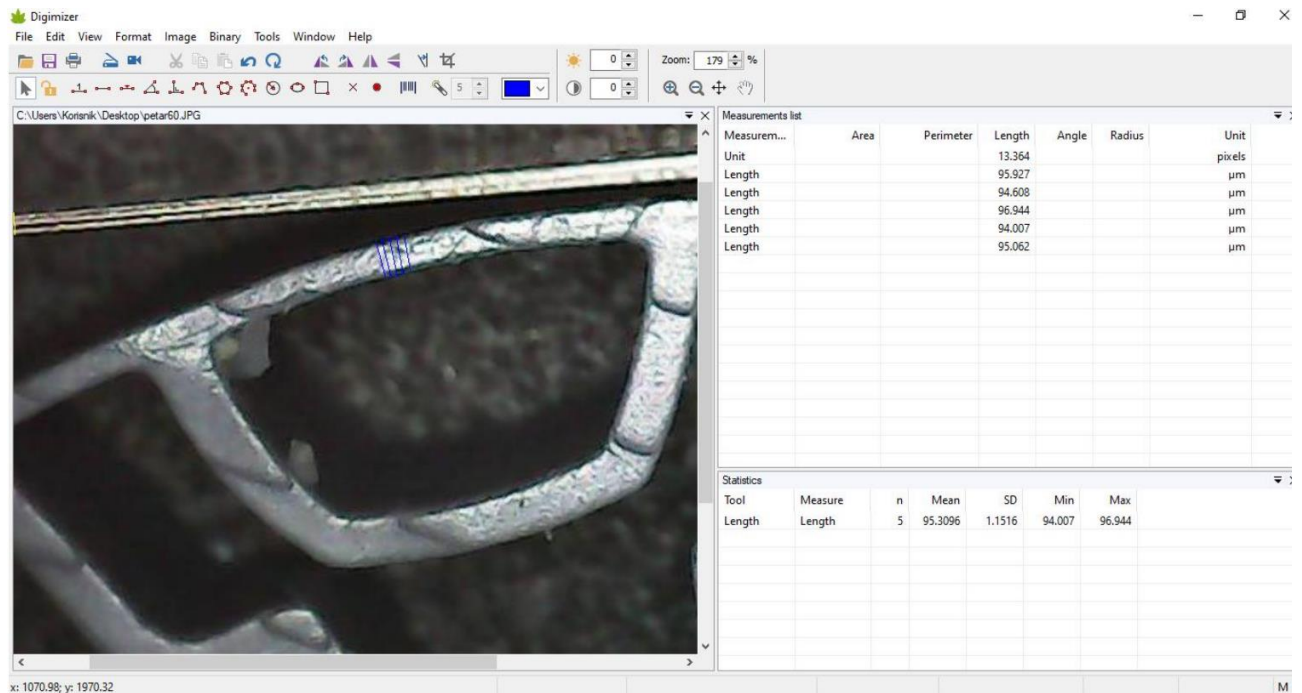
На почетку је потребно увести слику добијену на микроскопу. Затим се повлачи линија (на слици 4.3. плаве боје) која представља дебљину еталона тј струне. С обзиром на то да је позната стварна дебљина струне, програм прерачунава величину пиксела.

Након тога, како би се испунила сва правила валидног мерења, потребно је повући пет линија које би представљале дужину која се мери (на слици 4.3. представљене су црвеном бојом). На самом крају програм израчунава средње вредности на основу којих се може извршити анализа. Добијени и израчунати подаци приказују се табеларно као, на пример, на слици 4.4.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		

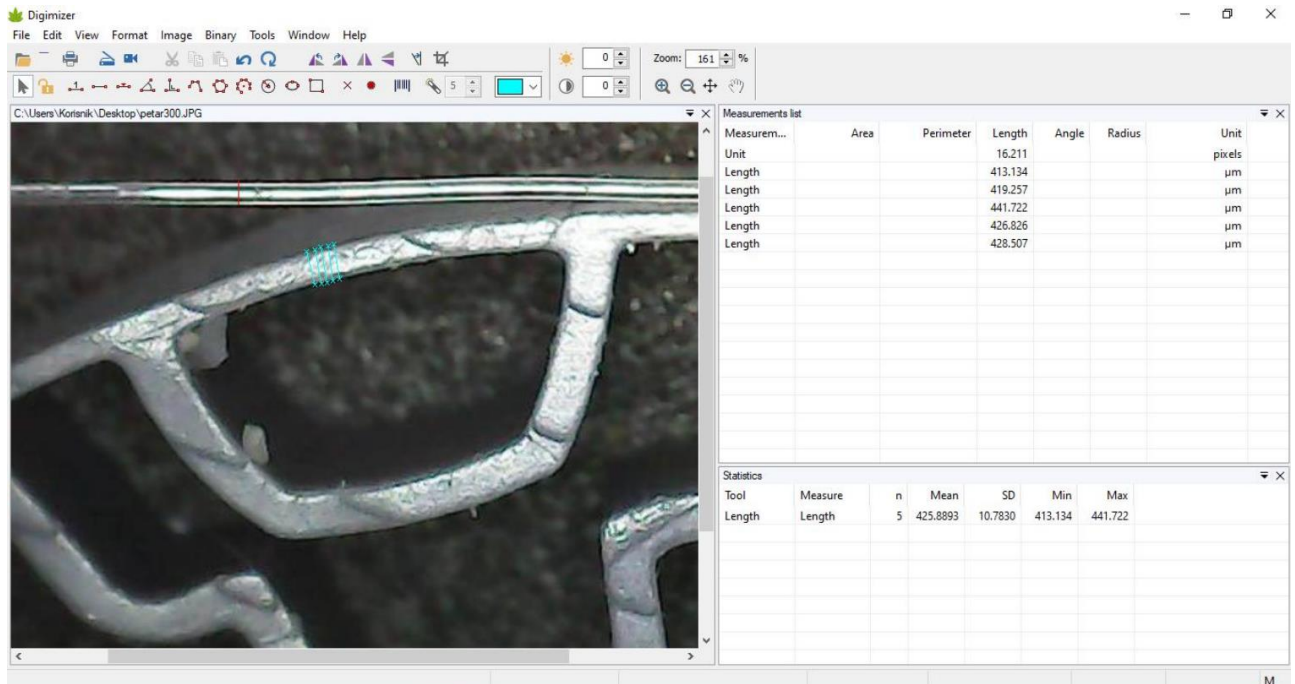


Слика 4.3: Приказ екрана програма Digimizer 6.4.3



Слика 4.4: Приказ мерења хладњака од PLA-like материјала за еталон од 60 μm

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		



Слика 4.5: Приказ мерења хладњака израђеног од PLA-like материјала за еталон од 300µm

#### 4.4. Анализа добијених резултата мерења

Анализа и мерење је извршено на приказаном моделу израђеном од PLA материјала. На основу добијених вредности мерења може се извршити анализа и поређење. Резултате треба упоредити са величином задатом на CAD моделу која износи 0.57 mm.

Апсолутна грешка износи за еталон од 60 µm

$$\delta_1 = |95.3096 - 570| = 474.6904 \mu m$$

Релативна грешка износи:

$$\Delta\delta_1 = \frac{474.6904}{570} = 0.8328 = 83.28 \%$$

Апсолутна грешка износи за еталон од 180 µm

$$\delta_2 = |325.5607 - 570| = 244.4393 \mu m$$

Релативна грешка износи:

$$\Delta\delta_2 = \frac{244.4393}{570} = 0.42884 = 42.884 \%$$

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		



Апсолутна грешка износи за еталон од 300  $\mu\text{m}$

$$\delta_3 = |425.8893 - 570| = 144.1107 \mu\text{m}$$

Релативна грешка износи:

$$\Delta\delta_3 = \frac{144.1107}{570} = 0.25283 = 25.283 \%$$

#### 4.5. Закључак

Добијене величине мерења могу варирати у односу на задате у CAD моделу. Због саме изабране технологије, која је у овом случају адитивна, као и изабраних режима долази до разлика у величинама. Изабрани материјал, његово хлађење, околина у којој се израђује су такође фактори који утичу на крајњи резултат. Још неки значајни фактори су резолуција микроскопа и правилан поступак извођења мерења.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
1248/23	Петар Лукић	ПРО	2024/245		