



Универзитет у Београду
Машински факултет

Мастер академске студије

МОДУЛ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Микро обрада и карактеризација

Ауксетичке структуре

Оверио (потпис/датум):

Група: 8

Име и презиме: Александар Лазић 1091/2023
Ивана Миљковић 1050/2023

Професор: проф. др Божица Бојовић

Школска година: 2024/25.



Садржај

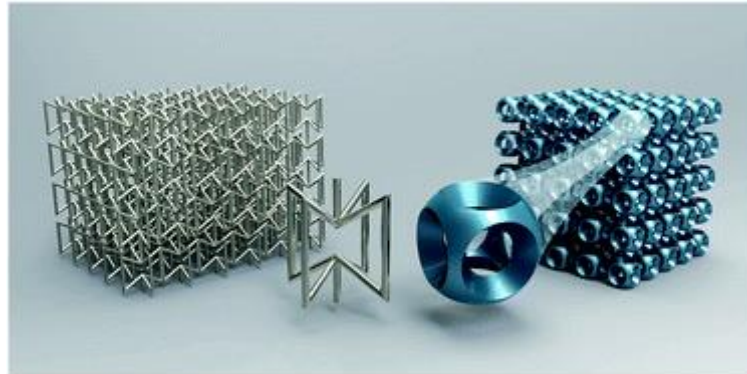
1.	Увод	2
1.1.	Карактеристике ауксетичких структура.....	2
1.2.	Примери- геометријски дизајн и облик.....	3
1.3.	Методe производње ауксетичких структура.....	4
1.4.	Механичка својства ауксетичких структура.....	5
1.5.	Еволуција и будући развој ауксетичких структура.....	7
2.	Моделирање ауксетичке структуре	8
2.1.	SolidWorks симулација.....	11
3.	Адитивне производне технологије	12
3.1.	Увод у адитивне производне технологије.....	12
3.2.	Фотополимеризација у кади (енг. Vat photopolymerization) – Direct Light Processing (DLP).....	13
3.3.	Припрема ауксетичке структуре за штампање	14
3.4.	Резултати 3D штампе	18
4.	Мерење	20
4.1.	Микроскоп MustoolG600 Digital	20
4.4.	Процес мерења.....	21
4.5.	Закључак.....	23
5.	Литература	24

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

1. Увод

1.1. Карактеристике ауксетичких структура

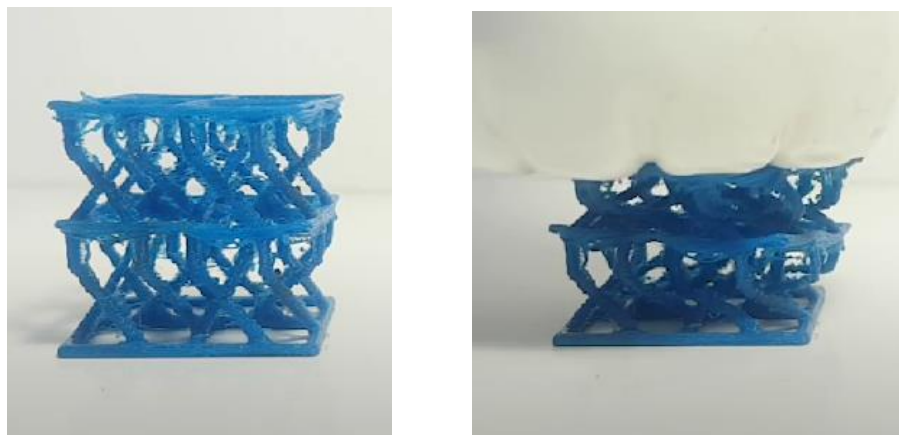
Ауксетичке структуре представљају посебан и иновативан тип материјала, као и конструкција коју одликују јединствена механичка својства, пре свега негативан Поасонов однос. Услед деформација ова група материјала има карактеристична својства, структурно ауксетички материјали састоје се од низа ћелија које се попречно шире када се истежу, а скупљају када се сабијају [3].



Слика 1.1 Ауксетичка структура

Овакво понашање материјала омогућава примену у бројним индустријама, укључујући медицину, грађевинарство, ваздухопловство, израда спортске опреме као и заштитне системе.

Широка примена уследила је као резултат интензивног истраживања у области науке о материјалима, инжењерства и нанотехнологија. Јединствена геометрија и микроструктура често је инспирисана природним феноменима, све за циљ побољшања механичких карактеристика попут веће отпорности на ударе, повећање чврстоће и флексибилности.



Слика 1.2 Понашање ауксетичке структуре при оптерећењу

За разраду и дефинисање „понашања“ оваквих структура, моделирају су решетке помоћу адитивних производних технологија и испитују се понашања на одређена оптерећења.

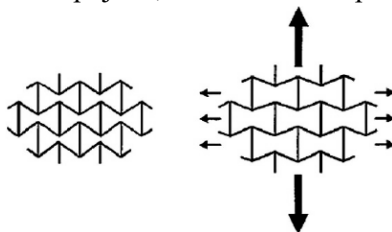
Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

1.2. Примери- геометријски дизајн и облик

Ауксетичке структуре се заснивају на специфичним геометријским дизајнима који омогућавају њихову карактеристичну деформацију. Дизајн је често инспирисан природом и математичким принципима, који доприносе стварању негативног Поасоновог односа. У наставку су наведени најзаступљенији облици ауксетичких структура [1]:

1. **Повратни облик** – Састоји се од ћелија које имају повратне углове. Када се материјал истеже, отварају се повратни углови, узрокују ширење структуре у свим правцима.

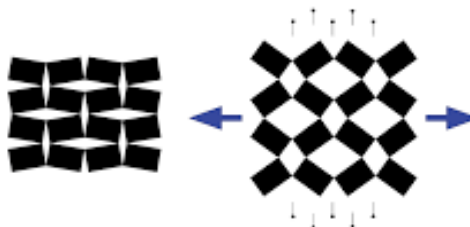
Пример примене: заштитни материјали, подлоге за амортизацију удараца.



Слика 1.3 Повратни облик структуре

2. **Ротациони облик** - Структуре са ћелијама у облику полигона (ромбоиди, шестоуглови или правоугаоници) који су повезани преко ротационих зглобова. Када се структура истегне, полигони се ротирају, омогућавајући ширење у попречном правцу.

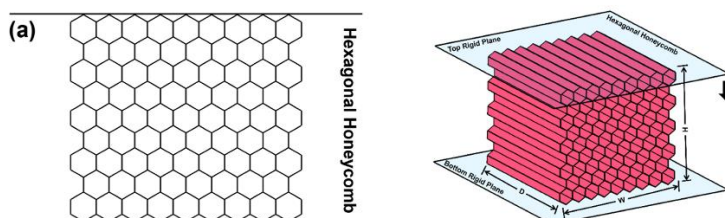
Пример примене: флексибилне површине, спортска опрема.



Слика 1.4 Ротациони облик структуре

3. **Хексагонални облик** (ћелијска мрежа) – модификовани хексагонални дизајн где се облици мењају повратним угловима или закривљеним линијама. Ова врста структура има побољшану флексибилност и отпорност на оптерећење.

Пример примене: лаке и чврсте грађевинске структуре.

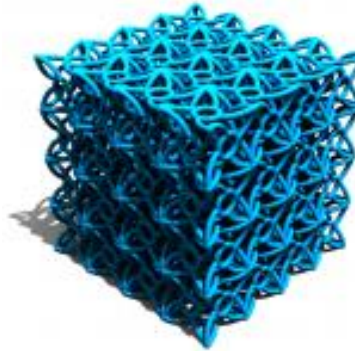


Слика 1.5 Хексагонални облик структуре

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

4. **3D ауксетички облици** – Структура попут кубичних мрежа или тродимензионалних пенастих облика које показују ауксетичке структуре у све три димензије.

Пример примене: енергетски апсорбујући материјал, протетичке компоненте.



Слика 1.6 3D облик структуре

Геометријски дизајн ауксетичких структура није само технички изазов, већ прилика за иновације које би могле унапредити перформансе материјала у многим индустријама.

1.3. Методе производње ауксетичких структура [7]

Производња ауксетичних структура захтева употребу специјализованих метода и технологија због сложене геометрије и специфичних захтева за материјале. У зависности од величине, примене и захтева за прецизношћу, користе се различите технике.

1. 3D штампање (адитивна производња)

3D штампање је једна од најчешће коришћених техника за производњу ауксетичких структура, нарочито за прототипе и сложене геометрије.

-Технологије:

FDM (Fused Deposition Modeling) за полимерне материјале.

SLA (Stereolithography) за високу прецизност и сложене детаље.

SLS (Selective Laser Sintering) за металне и композитне материјале.

Предности: Могућност израде прилагођених структура са високом прецизношћу и сложеним облицима.

Примена: Медицински уређаји, лагане конструкције, заштитни материјали.

У пројекту ће се радити методом адитивне производње.

2. Микрофабрикација

Микрофабрикација се користи за производњу ауксетичних структура на микро и наноскали.

-Методe: Литографија (фотолитографија, ласерска литографија) за стварање прецизних узорака.

Електрохемијско јетковање за креирање микроскопских структура.

Предности: Погодно за производњу ауксетичних структура које се користе у биомедицинским применама или микроелектромеханичким системима (MEMS).

Примена: Биомедицински имплантати, микроелектронски уређаји.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



3. Ливење и калупљење

Методe ливења омогућавају израду ауксетичних структура од разних материјала, укључујући метале, полимeре и композите.

Процес: Креирање калупа са ауксетичном геометријом.

Убризавање или ливење материјала у калуп.

Предности: Погодно за масовну производњу.

Примена: Производња индустријских компоненти и спортске опреме.

5. Метода механичке деформације

Механичка деформација обичних материјала може их трансформисати у ауксетичне.

Процес: Резање и савијање материјала у ауксетичну геометрију.

Повратни облици се добијају применом компресије или торзије.

Предности: Једноставна примена са традиционалним алатима.

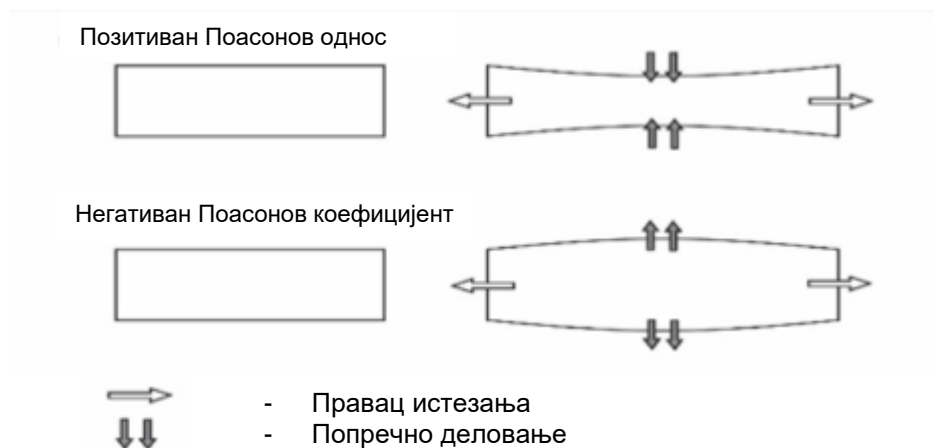
Примена: Производња структура на макроскали.

Изазови које доноси производња ауксетичке структуре односе се на прецизност производње, погото код микро и нано скале. Трошкови које захтевају неки од метода су скупи и временски захтевни. Такође, масовна производња допринела је развоју ефикасних метода за комерцијалну примену.

1.4. Механичка својства ауксетичких структура

Основна механичка својства ауксетичких материјала зависе и процењују се на основу Поасоновог коефицијента. Специфична геометрија и микроструктура омогућавају понашање које је корисно при многим применама. Главна карактеристика структуре јесте[1]:

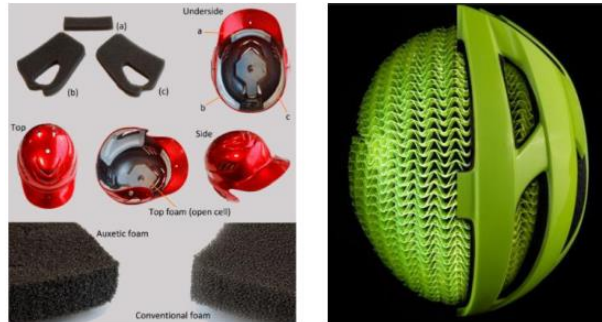
1. **Негативан Поасонов коефицијент** ν се одређује као однос попречног смањења и уздужног издужења материјала приликом тестирања затезања на кидалици. За већину материјала је овај коефицијент већи од нуле, међутим вредност коефицијента ауксетичких материјала мања је од нуле. Што значи да се при истезању ови материјали шире а у попречном се скупљају, у оба правца. Ова особина омогућава побољшану стабилност и отпорност на ломљење.[1]



Слика 1.7 Реакција на деловање силе истезања(Поасоновог однос)

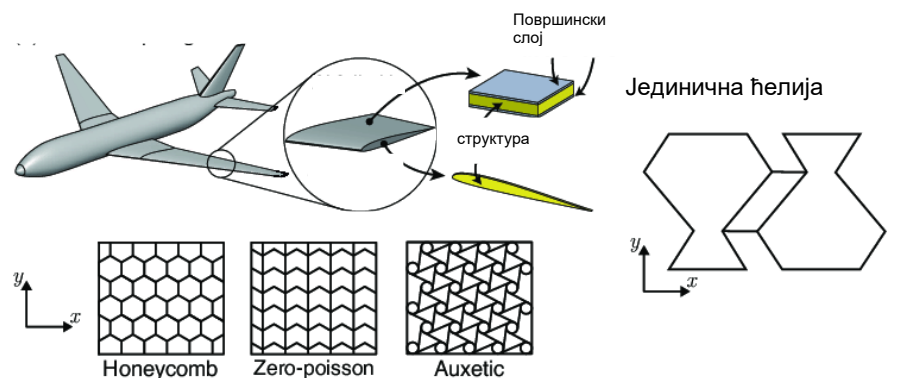
Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

2. **Повећана отпорнос на ударе** – ауксетичка структура апсорбује енергију удара ефикасније од обичних материјала, јер се ширењем током деформације омогућава равномерније распоређивање оптерећења. [5]



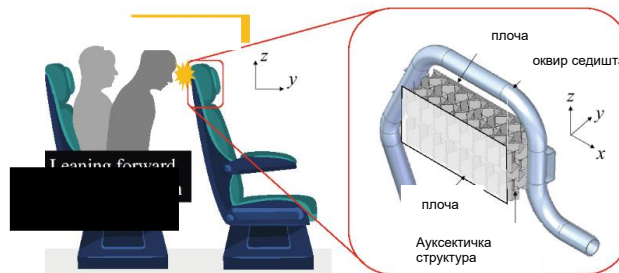
Слика 1.8 Примена у изради заштитне опреме

3. **Повећана специфична чврстоћа** – повећана је специфична чврстоћа у односу на тежину, материјали су веома мале масе, али истовремено задржавају велику механичку чврстоћу због своје структуре. Примена је најчешћа у ваздухопловној и аутомобилској индустрији. [6]



Слика 1.10 Примена у изради структуре крила [6]

4. **Прилагодљивост крутости** – крутост ауксетичних структура може бити прилагођена, прилагођава се променом њихове геометрије, променом величине и густине елемената. Примена је најзаступљенија код амортизера, као и код елемената за пригушење удара. [5]



Слика 1.10 Абсорбер удара

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



1.5. Еволуција и будући развој ауксетичких структура

Ауксетичке структуре комбинују јединствене механичке особине које омогућују њихову примену у изазовном окружењу и новим технологијама. Изучавање употребе има великих потенцијала да значајно унапреди различите области инжењерства.

У наредном периоду, како напредује проучавање микро структуре самих материјала, тако се очекује и напредак ауксетичке структуре. Основне промене које могу утицати на боље особине ове структуре заснива се на експериментима који могу настајати инспирацијом из природе. Након моделирања долази до испитивања на кидалицама, где долазимо до вредности Поасоновиг коефицијента.

Сам напредак зависи и од напретка технологије израде структуре, на пример адитивним технологијама од којих се у будућности очекује повећана тачност при изради сложених структура.

Ауксетички материјали су прошли дуг пут од теоријских концепата до практичних примена. Њихова широка примена чини их најперспективнијим материјалом будућности.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

2. Моделирање ауксетичке структуре

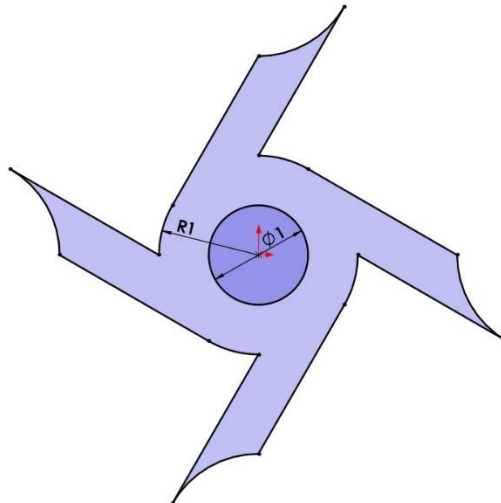
У оквиру овог дела пројекта потребно је урадити тродимензионални модел изабране ауксетичке структуре. Моделирање је извршено у CAD (*Computer Aided Design*, енг.) пакету „SolidWorks“.



Пројектовање производа помоћу CAD система убрзава развој, анализу, редизајнирање модела и доношење одлука о правим решењима, чиме CAD системи обезбеђују висок квалитет и тачност пројектовања [8].

SolidWorks је софтверски пакет намењен за пројектовање 3D модела, склопова, генерисање техничких цртежа, као и анализу и симулацију реалних процеса.

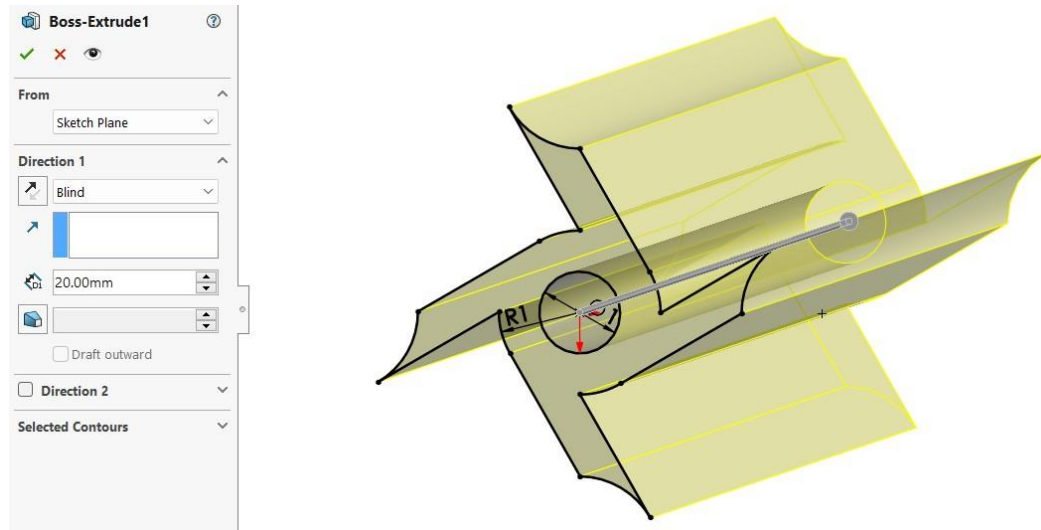
Поступак моделирања започиње се избором равни, у овом случају бира се *Top* раван, потом помоћу команде *Sketch* прели се у окружење за израду 2D скице, где је дефинисана једна ћелија ауксетичке структуре (слика 2.1).



Слика 2.1 2D скица ћелије ауксетичке структуре

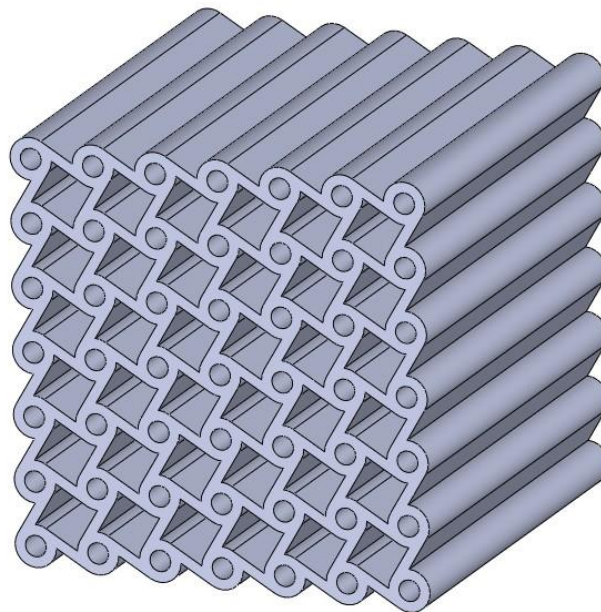
Након завршене скице потребно је извршити превођење 2D скице у тродимензионални модел командом *Extruded Boss/Base*. Дефинисањем смера „извлачења“ скице, као и дубине „извлачења“ добија се трећа димензија тј. дебелина модела. У овом случају дебелина је 20 mm. Овај поступак приказан је на слици 2.2.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



Слика 2.2 Превођење 2D скице у тродимензионални модел

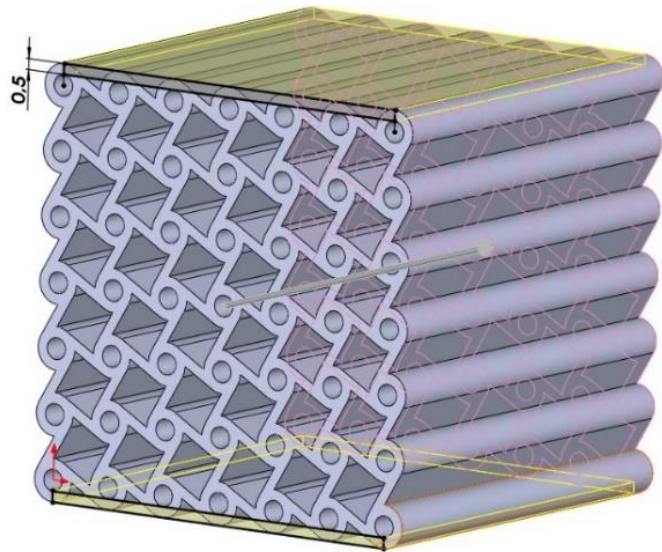
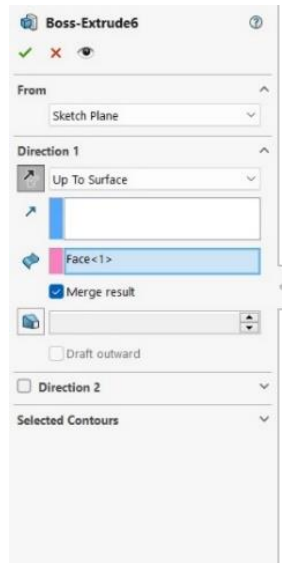
Последњи корак у формирању пуног изгледа ауксетичке структуре је умножавање саме ћелије командом *Linear Sketch Pattern* којом се задаје укупан број ћелија по ширини и висини, након чега је изабрана ауксетичка структура дефинисана (слика 2.3)



Слика 2.3 Дефинисани изглед ауксетичке структуре

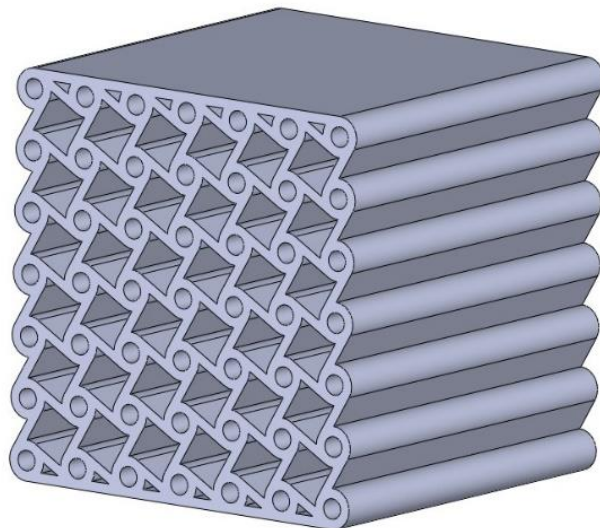
Због лакшег рада са моделом у каснијим деловима пројекта, извршено је редизајнирање модела додавањем плоча дебљина 0,5 mm командом *Extruded Boss/Base* (слика 2.4), које ће омогућити лакше позиционирање модела приликом израде модела, испитивања и/или контроле.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



Слика 2.4 Редизајнирање модела

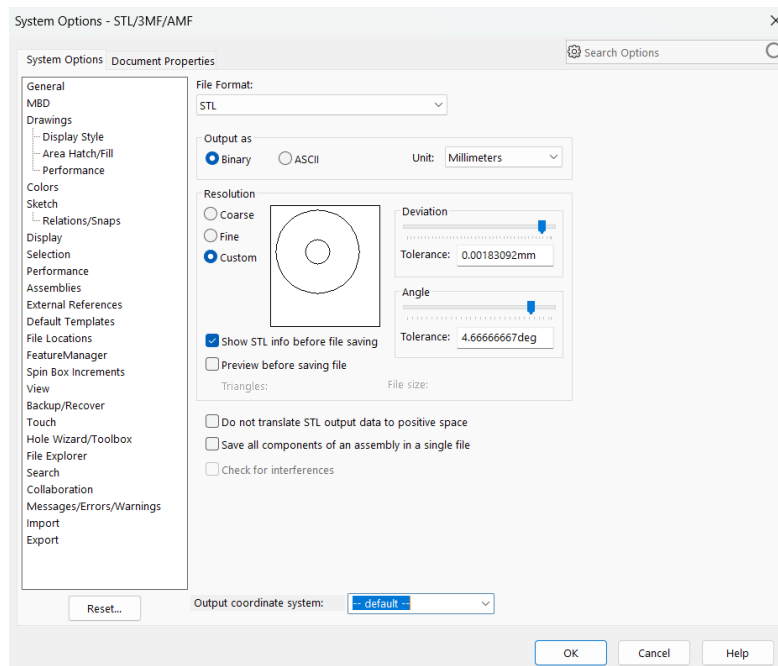
Завршни изглед ауксетичке структуре приказан је на слици 2.5



Слика 2.5 Завршни изглед ауксетичке структуре

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

Модел је потребно сачувати као STL фајл који представља излазни формат из CAD програма, чиме је модел спреман за даљи рад.

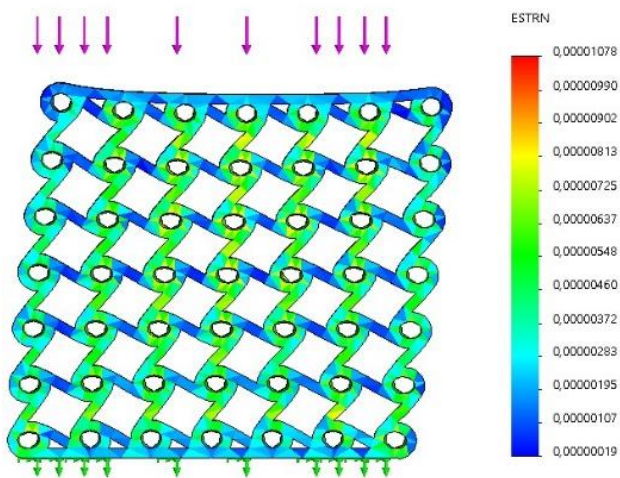


Слика 2.6 Чување модела у STL формату

2.1. SolidWorks симулација

У *SolidWorks* пакету могуће је извршити разне анализе као и симулације које ће указати на квалитет пројектованог производа и указати на могуће проблеме пре саме израде производа, што може значајно убрзати развој производа и смањити трошкове.

У наставку је дат приказ деформације ауксетичке структуре (слика 2.7) услед оптерећења модела на притисак.



Слика 2.7 Деформација ауксетичке структуре

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



3. Адитивне производне технологије

3.1. Увод у адитивне производне технологије

Адитивна производња је процес креирања физичких објеката додавањем материјала слој по слој, коришћењем података из дигиталног 3D модела [9].

Подела адитивних технологија у зависности од примене [10]:

- Брза израда прототипова – *Rapid Prototyping*,
- Брза израда алата и калупа – *Rapid Tooling*,
- Брза (директна) производња – *Rapid Manufacturing*.

Брза израда прототипова – *Rapid Prototyping* обухвата поступке за производњу модела и прототипова, коју могу опонашати облик, материјал и функцију будућих производа.

Брза израда алата и калупа – *Rapid Tooling* примењује се за производњу алата и калупа или њихових најкомпликованијих делова за производњу прототипова или пробних серија производа употребом истог процеса производње којим ће се производити коначни производ.

Брза (директна) производња – *Rapid Manufacturing* подразумева примену адитивних технологија за израду производа који ће се примењивати као и производ израђен у серијској производњи.

Адитивне технологије можемо поделити и у зависности од категорије процеса, према стандарду ASTM F2792 – 12a [11].

- Фотополимеризација материјала у кади (енг. Vat photopolymerization) – процес у коме се полимеризацијом изводи селективно очвршћавање течног фотополимера.
- Бризгање материјала/Директна 3 штампа (енг. Material jetting) – процес у коме се капљице материјала селективно таложу
- Везивна 3 штампа (енг. Binder jetting) – процес у коме се на материјал у виду праха селективно наноси течно везивно средство.
- Спајање прашкастог материјала (енг. Powder bed fusion) – процес у коме долази до фузије материјала у виду праха под утицајем топлотне енергије
- Екструдирање материјала (енг. Material extrusion) – процес у коме се растопљени материјал селективно наноси на подлогу или претходни слој кроз млазницу.
- Депоновање применом усмерене енергије (енг. Directed energy deposition) – процес у коме се помоћу фокусиране топлотне енергије извршава топлење и стапање материјала који се дозира.
- Ламинирање листова материјала (енг. Sheet lamination) – процес у коме се листови материјала кроје по дефинисаној контури и спајају у циљу формирања објекта.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

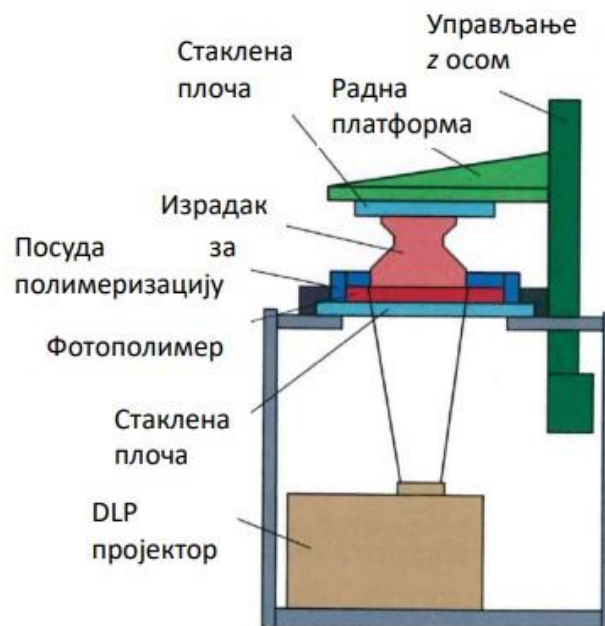
3.2. Фотополимеризација у кади (енг. Vat photopolymerization) – Direct Light Processing (DLP)

Поступак очвршћавања фотополимера остварује се помоћу DLP пројектора који пројектује UV светлост на радну површину. Фотомаска тренутног слоја који се очвршћава формира се унутар пројектора, помоћу фотомаске светлост се пропушта на тачно дефинисана места, чиме се постиже контролисано очвршћавање полимера по тачно дефинисаној контури слоја. Очвршћавање читавог слоја врши се истовремено [12].

Границе радног простора дефинишу две плоче: плоча за изградњу модела и доња стаклена плоча. Плоча за изградњу модела повезана је са z осом и она има функцију дефинисања висине слоја.

Истискивањем вишка фотополимера између две плоче остварује се жељена дебелина слоја, након чега се под дејством UV светла врши очвршћавање тренутног слоја. Последњи корак представља подизање плоче за изградњу модела, чиме се обезбеђује продирање фотополимера. Тиме се завршава циклус изградње једног слоја.

Упрошћена шема поступка фотополимеризације приказана је на слици 3.1.



Слика 3.1 Шема поступка фотополимеризације [12]

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

3.3. Припрема ауксетичке структуре за штампање

3D модел ауксетичке структуре у STL формату потребно је увести у одговарајући софтвер за припрему модела и подешавање параметара штампе.

За потребе овог пројекта коришћен је софтвер *Chitubox*. Софтвер је оријентисан кориснику, што га чини веома једноставним за коришћење.



Приликом покретања софтвера потребно је дефинисати 3D штампач за даљи рад. У овом раду коришћен је 3D штампач произвођача *ELEGOO*, модел *SATURN 3 ULTRA*. На слици 3.2 приказан је изглед 3D штампача, док су у табели 3.1 приказане његове карактеристике.



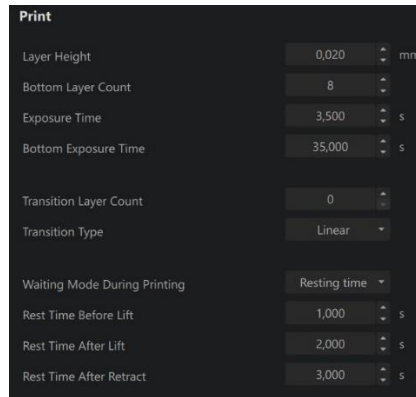
Слика 3.2 3D штампач Elegoo Saturn 3 Ultra [13]

Слајсер	<i>Chitubox, Voxeldance Tango и Autodesk Fusion</i>
Технологија штампе	<i>MSLA Stereolithography</i>
Димензије штампе	218x122x260mm
Димензије 3D штампача	305x273x562mm
Брзина штампе	max 150mm/h
Висина слоја	0.01 – 0.2mm
Прецизност у XY равни	19x24µm
Прецизност Z осе	0.01mm
Тежина	12kg

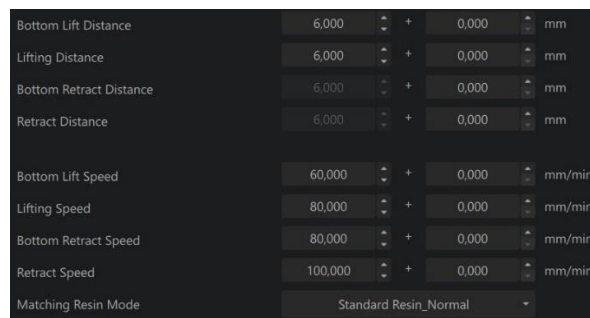
Табела 3.1 Карактеристике 3D штампача Elegoo Saturn 3 Ultra

Следећи корак је избор материјала за изградњу 3D модела и дефинисање параметара штампе. Одабрани материјал за штампу је течна смола (резин) *JAMG HE 10K Standard Plus Resin* са параметрима штампе који су приказани на сликама 3.3 и 3.4.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

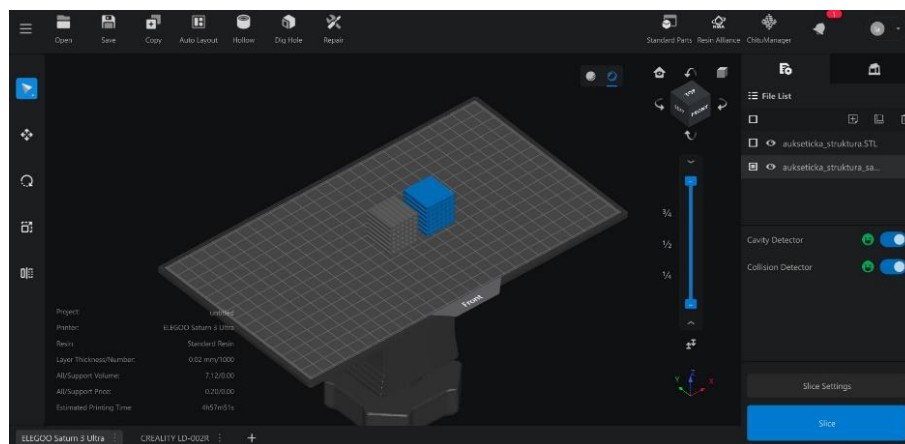


Слика 3.3 Параметри штампе



Слика 3.4 Параметри штампе

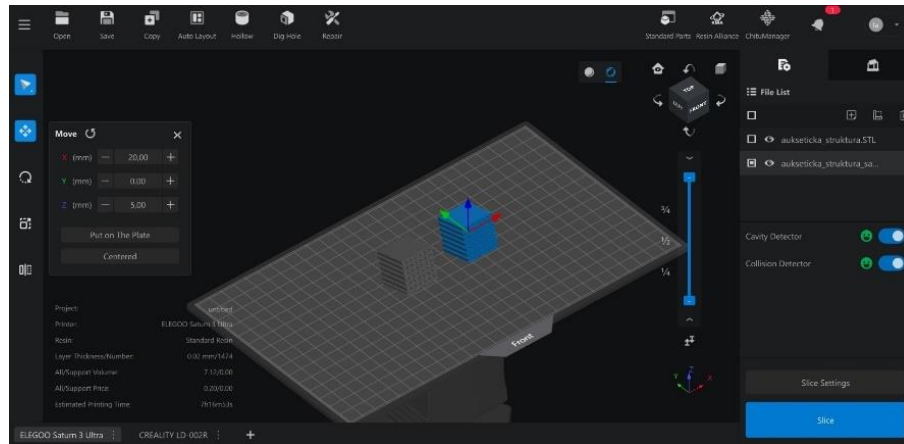
Избором 3D штампача, материјала и одређивањем параметара штампе, стекли су се услови за учитавање модела и дефинисање његовог положаја и оријентације. На слици 3.5 приказани су уčitани модели ауксетичких структура.



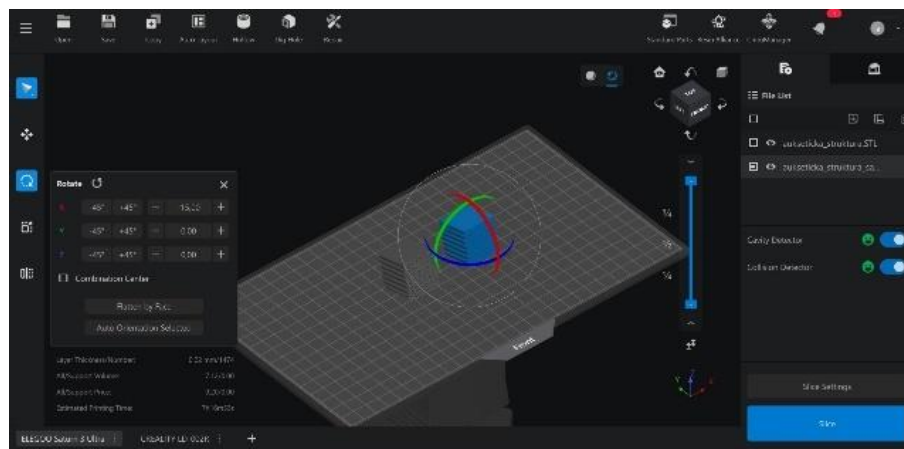
Слика 3.5 Учитавање ауксетичких структура

Како положај и оријентација модела нису погодни за штампу, потребно је поставити моделе у положај и оријентацију који ће обезбедити најбоље резултате штампе. Помоћу команде *Move* (слика 3.6) модели су постављени у одговарајући положај, тако да не долази до међусобне колизије модела, такође модели су подигнути за 5mm од подлоге како би постављање потпоре и касније уклањање модела са подлоге било олакшано. Помоћу команде *Rotate* (слика 3.7) модел је заротиран око X осе за 15° што ће олакшати изградњу модела. Овим је модел правилно постављен на радну плочу и спреман за даљи рад.

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

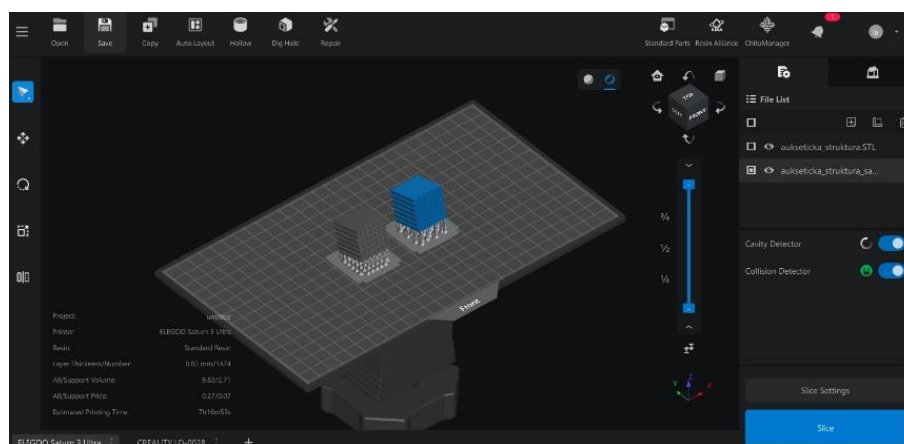


Слика 3.6 Команда Move



Слика 3.7 Команда Rotate

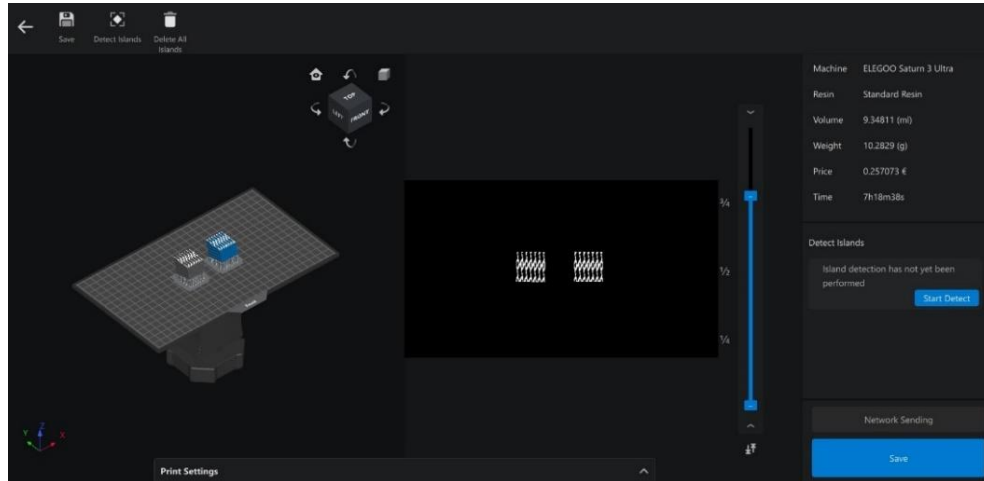
Следећа фаза је генерисање потпоре, која спречава деформације модела приликом процеса штампе. У софтверу је могуће поставити потпору аутоматски или ручно, може се прилагођавати распоред као и дебљина и облик потпоре. У нашем случају извршено је аутоматско генерисање потпоре, након чега је ручно извршена реорганизација потпоре брисањем и додавањем одређених стубова уз комбиновање различитих дебљина потпора. Тиме су модели правилно причвршћени за радну плочу и обезбеђено је исправно штампање. На слици 3.8 је приказан изглед модела са дефинисаном потпором.



Слика 3.8 Дефинисање потпоре

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

Последњи корак је сечење модела командом *Slice* према дефинисаним параметрима штампе, након чега можемо видети приказ слојева, као и информације о потребној количини материјала, тежини модела и потребном времену израде.



Слика 3.9 Приказ слојева

Овим је завршен поступак припреме модела за штампу. Чувањем модела у формату *.ctb* на екстерној меморији можемо започети процес 3D штампе.

Одабрани процес 3D штампе захтева постпроцесирање у виду чишћења модела изопропил алкохолом и накнадно очвршћавање излагањем UV светлу, што је учињено помоћу машине *Anycubic Wash & Cure 3* (слика 3.9).

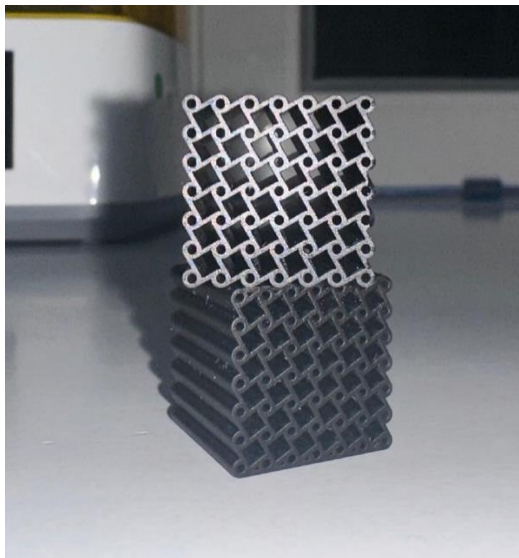


Слика 3.10 Anycubic Wash & Cure 3 [14]

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

3.4. Резултати 3D штампе

Резултат 3D штампе ауксетичке структуре приказан је на слици 3.10.

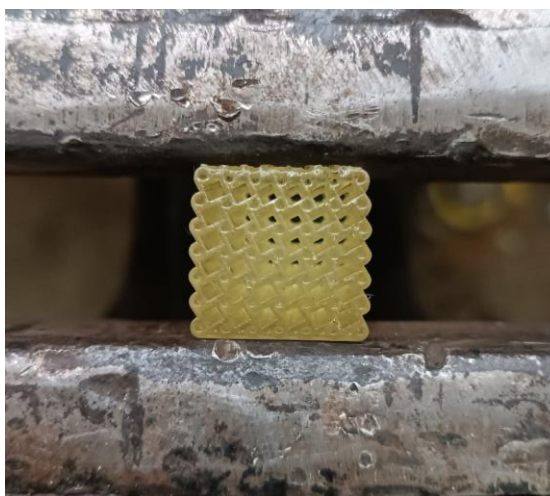


Слика 3.11 Ауксетичке структуре

С обзиром да је за потребе испитивања функционалности ауксетичке структуре потребан модел од материјала са израженим својством еластичности, исти поступак је поновљен са материјалом *eSun eResin – Flex* са препорученим параметрима.

Израдом модела од еластичног материјала, могуће је извршити испитивање функционалности ауксетичке структуре излагањем на притисак.

На слици 3.12 може се видети ауксетичка структура у почетном стању, док се на слици 3.13 може видети стање ауксетичке структуре током оптерећења на притисак.



Слика 3.12 Почетно стање ауксетичке структуре

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



Слика 3.13 Ауксетичка структура оптерећена на притисак

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

4. Мерење

За процес мерења неопходно је обезбедити опрему за мерење, дигитални микроскоп и еталон за мерење. Конкретно при мерењу у овом раду коришћена је струна дебљине 0.18mm .

4.1. Микроскоп MustoolG600 Digital [15]

Микроскоп је инструмент који као резултат даје увећане слике објеката, омогућавајући посматрачу изузетно близак преглед ситних структура при испитивању или анализи. Најпознатији тип микроскопа је оптички (светлосни) микроскоп, за чије коришћење је неопходно стаклено сочиво.

Модел микроскопа који је служио за потребе зумирања и добијања фотографија структуре изратка је MustoolG600 Digital. Овај модел микроскопа поседује могућност увећавања и до 600 пута. Уређај се састоји од LED екрана и камере од 3.6 мегапиксела. За складиштење снимљених фотографија и снимака, користи се MicroSD меморијску картицу од 64Gb.

Са предње стране микроскопа налазе се тастери, који служе за укључивање, улазак у мени, као и сва остала подешавања која су потребна.



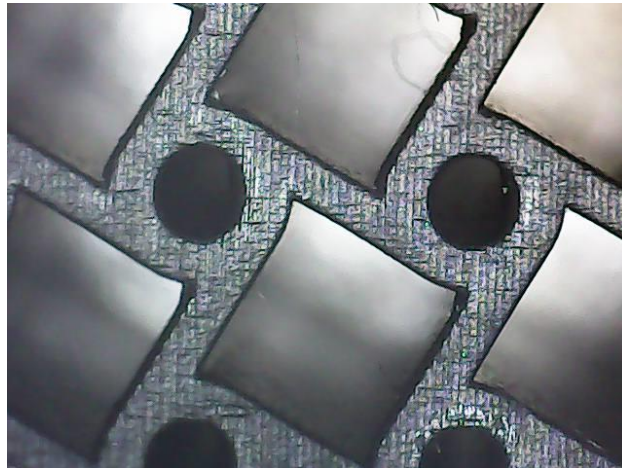
Слика 4.1 Микроскоп MustoolG600 Digital

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



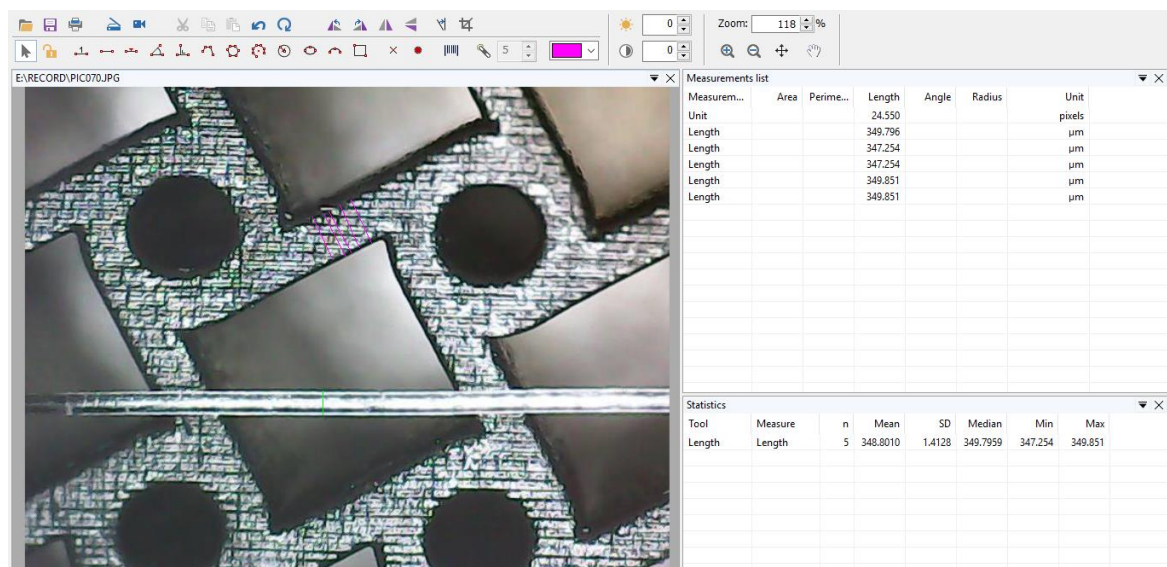
4.4. Процес мерења

За добијање финалних резултата мерења, неопходно је уз помоћ микроскопа направити фотографије на којима се јасно види структура дела. Да би дошло до мерења неопходно је имати еталон на основу кога се упоређују остале димензије и тако добијати тачне мере. Као еталон користи се струна, дебљине $0,18\text{mm}$. Након фотографисања више положаја који нам одговарају, за прецизно мерење дела, фотографије се отварају у програму којим се врши и само мерење.



Слика 4.2 Структура дела фотографисана микроскопом

1. Мерење

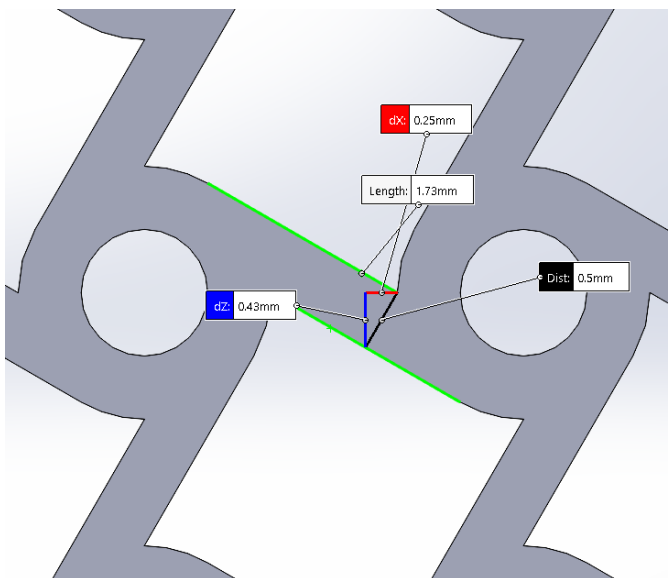


Слика 4.3 Мерење 1

На слици 4.3 приказани су резултати мерења при првој поставци дела и еталона, у табелама десно дати су резултати пет мерења као и средња вредност мерења.

Резултате мерења потребно је упоредити са мерама које су задате при самом моделирању дела. Мерење на моделу при моделирању дато је на слици 4.4

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



Слика 4.4 Мере на моделу

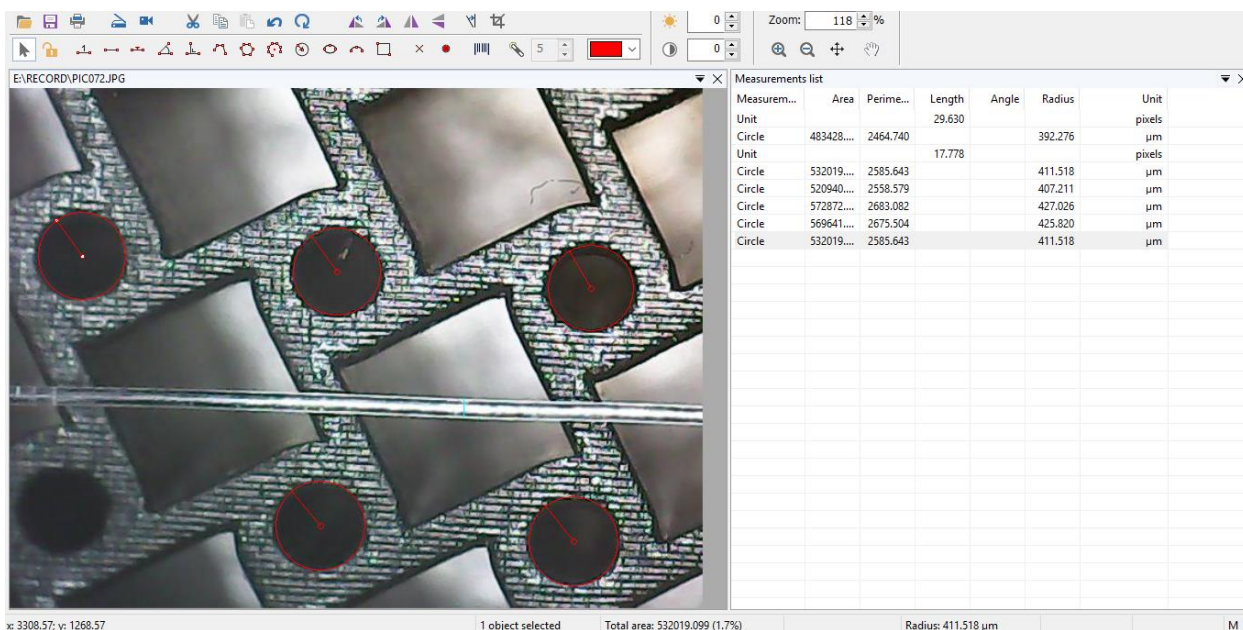
Израчунавање грешке приликом израде 3D модела. Рачунање је дато у наставку:

$$\Delta_1 = l_{modelirano} - l_{mereno} = 500 - 348.801 = 151.19 \mu\text{m}$$

$$\delta_1 = \frac{\Delta}{l_{modelirano}} * 100\% = \frac{151.19}{500} = 30.24\%$$

Аналогно са овим принципом рачунања грешке, рачунају се и грешке при осталим мерењима.

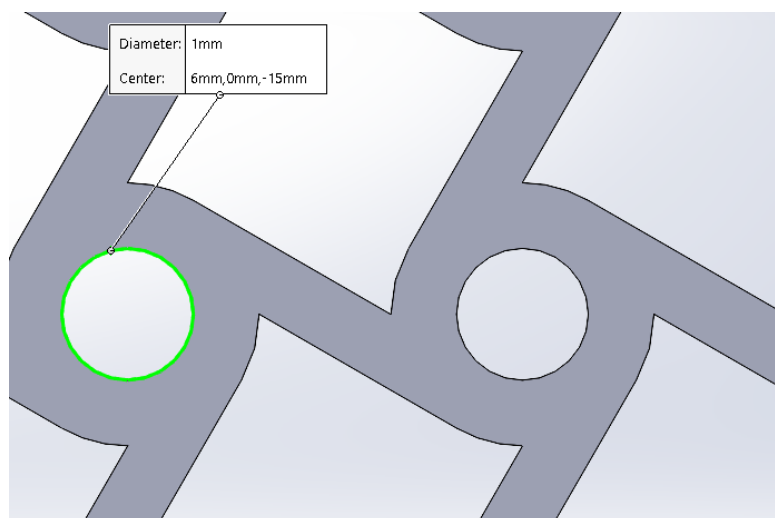
2. Мерење



Слика 4.5 Мерење 2

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	

Поступак се понавља, на слици 4.5 приказани су резултати мерења пречника на микроскопу и у програму, док је на слици 4.6 приказана мера пречника на моделу.



Слика 4.6 Мерење 2

Рачунамо грешку према једначинама:

$$\Delta_2 = r_{modelirano} - r_{mereno} = 500 - 418.894 = 82.106 \mu m$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta}{r_{modelirano}} * 100\% = \frac{82.106}{500} = 16.42\%$$

4.5. Закључак

Услед одабраних режима штампања као и саме резолуције штампача може доћи до промене геометрије примитива. Такође дужине задатих мера могу варирати због непрецизности штампача као и дејства околине на процес штампе (материјал, скупљање, време очвршћавања, влажност ваздуха околине, температура,...)

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	



5. Литература

- [1] https://www.researchgate.net/publication/330779617_A_Review_on_Auxetic_Textile_Structures_Their_Mechanism_and_Properties, [приступ: децембар 2024].
- [2] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2014/753496>, [приступ: децембар 2024].
- [3] <https://www.fillipstudios.com/project/pi-lab-adaptable-auxetics/>, [приступ: децембар 2024].
- [4] <https://onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?AllField=WILEY-VCH+Verlag+GmbH+%26+Co.+KGaA%2C+Weinheim>, [приступ: децембар 2024].
- [5] https://www.trekbikes.com/international/en_IN_TL/wavecel/, [приступ: децембар 2024].
- [6] https://www.researchgate.net/figure/a-Complete-schematic-overview-of-airfoil-morphing-and-main-categories-of-2D-cellular_fig5_350879197, [приступ: децембар 2024].
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Fabrication-methods-of-auxetic-materials_fig2_339986028, [приступ: децембар 2024].
- [8] Бојан Р. Бабић, Рачунарски интегрисани системи и технологије, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 2017.
- [9] ISO/ASTM 52900:2021, Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary, 2021.
- [10] Поповић М., Пјевић М., АПТ_1-5 Изводи са предавања из предмета Адитивне производне технологије, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2023/24.
- [11] Поповић М., Пјевић М., АПТ_6-11 Изводи са предавања из предмета Адитивне производне технологије, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2023/24.
- [12] Поповић М., Пјевић М., АПТ_11-22 Изводи са предавања из предмета Адитивне производне технологије, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2023/24.
- [13] <https://www.bol.com/nl/nl/p/elegoo-saturn-3-ultra-3d-printer/9300000151707420/>, [приступ: децембар 2024].
- [14] <https://www.3djake.ie/anycubic-3d-printer-and-accessories/wash-cure-30>, [приступ: децембар 2024].
- [15] <https://www.sevarg.net/2019/08/04/g600-600x-digital-microscope-teardown/>, [приступ: децембар 2024].

Рег. број	Презиме и име:	Смер:	Шк. год.	Датум:	Прегледао:
	8. група	ПРО	2024/25.	19.12.2024.	