

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологије прераде пластичних маса

Број индекса: 370/2012

Милош, М. Николић

**Могућности примене симулације
убризгавања пластичних маса
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић, дипл. инг. - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да изврши прикупљање и анализу података везаних за полимерне материјале, као и технологије њихове прераде, са посебним освртом на технологију екструзионог бризгања. У практичном делу рада показати могућност симулације убризгавања пластичних маса, са дефинисањем различитих мрежа и променом температурних параметара полимера у оквиру софтвера SolidWorks, и на основу добијених резултата извршити њихову анализу.

Препоручена литература:

1. Богдан Недић, Владислав Ђукић, **Пластичне масе**, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
2. Богдан Недић, **Технологије прераде пластичних маса**, Машински факултет, Крагујевац, 2008.

Могућности примене симулације убризгавања пластичних маса

Possibilities of applying the simulation of injection plastics

Резиме: У оквиру рада извршено је прикупљање, систематизација и анализа података везаних за полимерне материјале, као и технологије њихове прераде, са посебним освртом на технологију екструзионог бризгања. У практичном делу рада, на примеру кућишта кулера, приказане су могућности моделирања и симулације убризгавања са дефинисањем различитих мрежа и са променом температурних параметара полимера у софтверу SolidWorks Plastics и на основу добијених резултата извршена је њихова анализа.

Abstract: As part of the work was carried out data collection, systematization and analysis of data related to polymeric materials and their processing technologies, with particular emphasis on technology, extrusion molding. In the practical part of the paper, on the example of the casing cooler, presented the possibilities of modeling and simulation of injection by defining different meshes and with the change of temperature parameters of the polymer in the software SolidWorks Plastics and based on the results of their analysis was performed.

Садржај

Увод.....	5
1. Пластичне масе.....	7
1.1. Подела пластичних маса.....	7
1.2. Додаци пластичним масама.....	8
1.3. Полимери.....	9
1.3.1. Врсте полимера.....	9
1.3.2. Структура полимера.....	12
2. Технологије прераде пластичних маса.....	14
2.1. Прерада термопласта.....	14
2.2. Прерада дуропласта.....	15
2.3. Прерада пластичних маса бризгањем.....	16
3. Пројектовање дела.....	22
4. Симулација убризгавања пластичних маса.....	37
4.1. Основне команде.....	37
4.2. Симулација убризгавања пластичних маса са различитим мрежама.....	37
4.2.1. Дефинисање мреже.....	37
4.2.2. Дефинисање материјала и места уливања.....	40
4.2.3. Покретање симулације.....	44
4.2.4. Резултати симулације и анализа резултата.....	45
4.2.4.1. Модел са мрежом једнаких троуглова.....	45
4.2.4.2. Модел са гушћом мрежом на горњој површини.....	54
4.3. Симулација убризгавања полистирена са променом температурних параметара.....	63
4.3.1. Дефинисање мреже.....	63
4.3.2. Дефинисање материјала и места уливања.....	64
4.3.3. Покретање и резултати симулације и анализа резултата.....	67
5. Закључак.....	76
6. Литература.....	77

Увод

Полимерни материјали налазе примену у практично свим областима људске делатности. Разлог томе је њихова могућност испуњења најразличитијих захтева.

Последњих година 20тог века, услед наглог развоја хемијске индустрије, посебно у области полимерних материјала, довео је до развоја читавог низа нових производа и масовне производње најразличитијих материјала специфичних механичких и других карактеристика. Појавом композитних материјала долази до нове технолошке револуције, јер се нови материјали могу пројектовати и производити тако да имају знатно боље карактеристике од појединачних особина полазних материјала или нама познатих материјала. Изузетан значај нови материјали на бази полимера добијају применом у аутомобилској, авио и космичкој индустрији, као и у грађевинарству, електротехници и телекомуникацијама.

Данас производња пластичних маса у свету знатно прелази 100 милиона тона, док је 1950. године износила испод једног милиона тона. То указује на вишеструко повећање производње пластичних маса сваке године. Овакав раст производње није забележен ни код једног другог материјала, тако да је производња пластичних маса превазишла производњу свих метала заједно.

Израда предмета од пластичних маса има читав низ предности:

- Ниска цена коштања
- Мала густина у односу на метале (не прелази $1,5 \text{ kg/dm}^3$)
- Лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради
- Добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори
- Висока отпорност на киселине, растворе и друге агресивне средине
- Добра прозрачност и способност бојења
- Добра пригушујућа својства, односно висока отпорност на вибрације, због чега се користе као добри изолатори вибрација
- Добра својства апсорпције звука, односно добри су звучни изолатори
- Добре антифрикционе особине, а по потреби и добра фриктиона својства

Недостаци пластичних маса су:

- Ниска чврстоћа на повишеним температурама
- Смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења
- Кратак век трајања, што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и кисеоника

Ради даљег повећања примене пластичних маса, потребно је обезбедити развој у три правца:

- Развој нових материјала пластичних маса
- Развој технологија прераде, уређаја и алата за прераду
- Развој примене нових материјала и развој нових производа од пластичних маса

У рада описана је проблематика пројектовања модела и симулација убризгавања применом различитих полимера са различитом мрежом и симулација убризгавања при промени температурних параметара.

У првом поглављу вршен је општи опис о пластичним масама како се оне деле, који су то додаци, врсте полимера и њихова структура.

У другом поглављу говори се о технологијама прераде, и где ће се описати поступак екструзионог брузгања.

У треће поглављу приказан је и објашњен поступак моделирања модела кућишта за кулер.

У четвртом поглављу вршена је симулација убризгавања, где је описан начин дефинисања мреже, материјала, уливног система, промена температурних параметара, покретање симулације као и анализа добијених резултата.

На крају рада дат је закључак и литература.

1. Пластичне масе

Пластичне масе су материјали који се састоје из основне компоненте и додатака. Основна компонента је полимер, а додаци, у зависности од потребних карактеристика производа, могу бити: пластификатори, пунила, боје, мазива, стабилизатори и очвршћивачи.

Вештачке (синтетичке) материје које имају аморфну макромолекуларну структуру чине велику групу конструкционих материјала који се једном речју називају пластике. Полазне сировине за производњу пластика могу бити минералног и органског порекла. Минералне сировине су: нафта, угаљ и земни гас, од којих се најпре израђују основна хемијска једињења за даљу прераду. Ова се једињења различитим процесима преводе у полупроизводе који могу бити у облику гранула, течности, смола, таблета и тд. Даљи процеси прераде ових полупроизвода у финалне утичу не само на промену облика и структуре, већ и на промену хемијских веза које чине основу материје.

Пластике могу бити направљене као листови, фигуре и структуре нудећи знатну флексибилност и еластичност тог дизајна. Пластични материјали су хемијски резистентни, јефтини, лагани, са широким опсегом физичких и оптичких особина. Многе пластике имају способност термозаваривања, лако се штампају, могу бити интегрисани у производне процесе где је паковање формирано, напуњено и затворено у истој производној линији.

1.1. Подела пластичних маса

Пластичне масе се према механичким карактеристикама деле на:

- Пластомере
- Еластомере

Пластомери имају могућност деформисања од 0.5 до 200 %. У ову групу спадају и термопластичне и термореактивне масе осим каучука.

Еластомери су пластичне масе које се на температурама блиским нули могу еластично деформисати и до 1000%. Представник ове групе је каучук.

Зависно од понашања на повишеним температурама пластичне масе се деле на:

- Термопластичне
- Термореактивне

Термопластичне масе су линеарни полимери добијени полимеризацијом. Ове масе се на повишеној температури лако обликују, и при хлађењу задржавају облик. У

термопластичне масе спадају: полиетилен, полипропилен, поливинил-хлорид (ПВЦ), полистирен, полиакрилати, полиамиди, електропроводни полимери итд.

Термореактивне пластичне масе (фенопласти за пресовање) на бази формалдехидних смола садрже пунила, чиме се побољшавају посебна својства. Прерада ових пластичних маса се врши посредним или ињекционим пресовањем. Приликом кондензације у базној средини прво настаје резол. Следећа фаза је настанак резолне смоле, па загревањем на 140 – 1800 °C за неколико минута добија са тврда, крта и нерастворљива маса која се зове резит (бакелит).

Да би се смањила кртост у прелазној фази добијања резита, у састав резолне смоле, додају се и друге термопластичне смоле и каучук. Једино резит има неопходна експлоатациона својства, добра механичка, електроизолациона својства и хемијску постојаност на вишим температурама.

1.2. Додаци пластичним масама (Адитиви)

Пластификатори (омекшивачи) су материје у којима се полимери растварају и набубре, што изазива повећање еластичности на рачун затезне чврстоће и тврдоће, као и измену неких физичко-хемијских својстава, у првом реду снижења температуре топљења. Сложеног су хемијског састава и ту спадају камфор, трикрезол сулфат, трибутил фосфат и други., а према агрегатном стању су најчешће уљасте течности високе температуре кључања, али могу бити и у чврстом стању сличном воску и каучуку.

Пунила су материје које се додају полимерима ради побољшања механичких особина и смањења цене коштања. Могу бити органског и неорганског порекла. Пунила органског порекла су: дрвено брашно, азбест, текстилна влакна, графит и др. Они углавном делују као очвршћивачи. Пунила неорганског порекла су: метал, стакло и др. На пример када се дода метални прах, повећава се електропроводљивост пластичне масе.

Према структури пунила могу бити:

- Прашката (дрво, кварцно брашно, метални прах, прах лискуна...)
- Влакната (азбесна, стаклена, памучна или синтетичка влакна)
- Слојевита (хартија, метална фолија, памучна тканина, синтетичка, стаклена, жичана мрежа)

Боје се пластичним масама могу додавати према потреби. Њихов задатак је да поред обојености масе, утичу и на хемијску и термичку стабилност. Могу бити органског и неорганског порекла.

Мазива побољшавају пластификацију и елиминишу прилепљивање (везивање) пластичне масе за алат (калуп). Најчешће се примењују: парафин, стеорин и калцијум-стеарат.

Стабилизатори обезбеђују очување првобитних особина пластичних маса повећањем отпорности на топлоту и штетна зрачења.

Очвршћивачи обезбеђују прелазак пластичне масе из житког (тестастог) у чврсто стање.

Катализатори убрзавају очвршћавање.

1.3. Полимери

Полимери су материје које се састоје од макромолекула. Могу бити природни и синтетички. Скроб, целулоза, свила, протеини и други су природни полимери. Синтетички полимери добијају се хемијским путем (синтезом мономера).

Основне методе синтезе мономера су:

- Полимеризација
- Поликондензација
- Полиадиција

Полимеризација је процес стварања макромолекула спајањем већег броја мономера, при чему се не издвајају споредни продукти и не врши се прегруписавање атома у молекулу. Карактеристично је то да се не сме прекинути процес полимеризације (не може се наставити), и да се особине полимера битно разликују од особина мономера.

Поликондензација је метода синтезе већег броја мономера у макромолекуле уз издвајање споредних продуката, најчешће воде, амонијака и др.

Полиадиција је поступак спајања већег броја мономера у макромолекуле при чему не долази до издвајања споредних производа. Изводи се у ступњевима. На тај начин добијени полимери имају сличну структуру као и полимери добијени поликондензацијом. Овај поступак је негде између полимеризације и поликодензације.

1.3.1. Врсте полимера

Полиетилен је најједноставнији полиугљиководоник, а уједно и један од најпознатијих и најважнијих материјала данашњице. Индустриски се производи полимеризацијом етилена, а лабораторијски се може добити и од диазометана.

Полиетилен се састоји од мноштва јединица $-CH_2-CH_2-$, које међусобним повезивањем стварају ланчане макромолекуле великих молекулних маса опште формуле $-(CH_2-CH_2)-n$. Једноставна структура макромолекула у издуженим планарним конформацијама омогућава њихову лагану кристализацију. Полиетилен се кристалише у транс-конформацији и под уобичајеним условима из растоп

ствараправилно грађене ламеле пресавијених макромолекула. Из нуклеуса израстају врпчасте ламеле, изграђујући лоптасте формације, сферолите.

Својства полиетилена зависе од његове структуре и адитива који се додају током производње. Најважнији структурни параметри, који директно утичу на својства полиетилена, јесу степен кристализације, просечна молекуларна маса и расподела молекуларних маса. Степен кристализације мера је односа кристалizacione фазе према аморфној. Наиме, полиетиленски макромолекуле нису само равноланчане, већ неки од главних атома могу бити замењени мањим или већим (краћим или дужим) угљоводичним везама. Они онемогућавају густо слагање ланчаних сегмената и потпунију кристализацију, па се са повећањем гранатости смањује степен кристализације. Степен кристализације директно је пропорционалан густини полиетилена. Како се густина може једноставно мерити, својства полиетилена се управо према његовој густини и оцењују. Са порастом густине повећава се тачка топљења и већина механичких својстава, међу њима тврдоћа, затезна чврстоћа, отпор према пузању, крутост, а такође и хемијска постојаност. Осим тога, смањује се и пропусност течности и гасова. Са друге стране, с порастом густине смањује се савитљивост, прозирност, жилавост и отпорност према настајању напрлина од напрезања. Просечна молекуларна маса полиетилена врло је важна, посебно из разлога што од ње зависи способност прераде полиетилена. Полиетилен с већом молекуларном масом се генерално теже прерађује. Он показује боља механичка својства, нпр. повећану ударну жилавост, чврстоћу на кидање и отпорност према корозији због напрлина од напрезања, а већа му је и хемијска постојаност. Међутим, тврдоћа, савитљивост и затезна чврстоћа не зависе уопште од износа просечне молекулске масе. Расподела молекулских маса утиче такође на својства политетилена и његову прерадљивост.

Полипропилен је пластомер линеарних макромолекула опште формуле $[-CH(CH_3)-CH_2-]$. Распоред метилних зрна у ланцу је правилан тј. оне се увек налазе на сваком другом угљениковом атому. Међутим, макромолекуле полипропилена могу се разликовати с обзиром на просторну оријентацију метилних група. Ако су све оријентисане једнако, полипропилен је изотактичан, ако им је оријентација статичка, ради се о атактичном полипропилену, док оријентацију наизменично у једном и у другом смеру даје синдиотактични полипропилен. Пожељно је да полипропилен садржи што већи удео изотактичне структуре. Захваљујући тој просторној правилности ланца, макромолекуле обликују спиралну структуру у облику завојнице и таква структура погодује кристализацији, што је предуслов добрим својствима полипропилена. Комерцијални полипропилен садржи 90% изотактичних секвенци са степеном кристалности од 60 до 70% што зависи и од раније топлотне обраде.

Полипропилен је један од најлакших полимерних материјала са густином од 0,90 до 0,91 g/cm³. Висока тачка топљења омогућава употребу полипропилена у релативно широком температурном подручју. Тако је тачка топљења чистог изотактичног полипропилена 176°C, док се технички полипропилен топи у температурном подручју између 160 и 170°C. Са порастом молекуларне масе и са повећаним уделом атактичне структуре смањује се тврдоћа, затезна чврстоћа, густина, крутост. Важна је и расподела молекуларних маса, па се тако течљивост растопа повећава с већим уделом нижих молекуларних маса, међутим долази до опадања ударне жилавости материјала.

Полипропилен се одликује добром уравнотеженошћу својих механичких, топлотних и електричних својстава. Многа својста су слична својствима полиетилену ниске густине. Међутим, полипропилен има већу тврдоћу и затезну чврстоћу, еластичнији је, прозирнији и сјајнији уз једнаку пропустљивост према гасовима. Недостатак пропилена је мала ударна жилавост, посебно на температурама нижим од собне. Тај се недостатак може ублажити кополимеризацијом с другим α -олефинима, највише са етиленом, који се додају у количини од 5 до 20%. Чисти полипропилен је изврстан електричн изолатор захваљујући неполарном карактеру својих макромолекула. Као и већина кристаластих полиолефина, полипропилен је врло стабилан према деловању воде, органских растварача, мазива и других уобичајених реагенса.

Полистирен је пластомер линеарних макромолекула опште формуле $[-CH(C_6H_5)-CH_2-]$. Полистирен је врло важан полимер због својих добрих својстава и ниске цене. Он се лако прерађује и показује многа добра својства важна за практичну примену. Полистирен настаје полимеризацијом чистог стирена као хомополимер којем се према потреби додају антистатисти, светлосни стабилизатори, бојила и пигменти, средства против горења и сл. Модификациом полистирена каучуком ствара се двофазни систем па се тако производи полистирен посебних својстава, у првом реду високе ударне жилавости. Стирен лако ствара кополимере са многим мономерима међу којима је најважнији стирен-акрилонитрин (САН) који се такође може модификовати каучуком и добити акрилонитрил-бутадиен-стирен (АБС). САН је хемијски отпорнији од полистирена и показује нека боља механичка својства док АБС поседује већу крутост, тврдоћу и лакшу прерађивост.

Хомополимерни полистирен је пластомерни материјал врло добрих механичких, топлотних и изолацијских својстава. Густина му је од 1.05 до 1.06 g/cm³. Тврд је и крт, сличан стаклу (стакласт) и прозиран, мале ударне жилавости, великог индекса лома и велике светлосне пропустљивости. Тачка топљења му је на температури између 80 и 100°C па се може примењивати само до температуре до 70°C. Полистирен је изврстан електричн изолатор.

Полистирен високе жилавости, називан и модификованим полистиреном или полистиреном отпорним на удар, двофазни је систем фино диспергованих честица еластомера у полистирену. Комерцијалне врсте полистирена високе жилавости садрже од 3 до 12% полибутадиена са величином еластомерних честица од 1 до 5 nm. За разлику од обичног полистирена који је тврд и крт материјал па пуца већ при продужењу до 1%, модификовани је полистирен врло жилав и може се пре лома истегнути и до 60% своје почетне дужине. Таквом комбинованом полимерном материјалу полистирен даје умерену крутост и добра прерађивачка својства, а еластомер му повећава еластичност и ударну жилавост.

ПВЦ је назив за групу пластомера који садрже макромолекуле са познавајућим јединицама $-CH_2-CHCl-$. Својства основног полимера могу се лако мењати процесима модификације, тако да је познато преко стотину врста полимерних материјала на основи винил-хлорида. Они се разликују по процесима производње, врсти и количини присутног пластификатора или удела мономера, па се његова физичка својства мењају од меканог и еластомерног до тврдог и жилавог материјала. Захваљујући доброј

компатибилности са пластификаторима и другим додацима, лаганој прерадљивости и ниској цени, ПВЦ се много употребљава и има широко подручје примене.

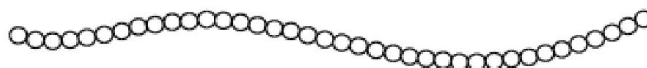
По изгледу је ПВЦ бела до бело-жута супстанца без мириса и укуса. Тешко је запаљив, не упија воду а показује добра електрична и друга својства. Производ полимеризације је прах од којег се даљом прерадом производе две основне врсте:

- Тврди ПВЦ
- Меки ПВЦ

Тврди ПВЦ настаје директном прерадом полимерног праха без посебних додатака. То је прозиран, тврд, жилав и тешко прерадив материјал, али врло стабилан на атмосферске утицаје, влагу и хемикалије. Меки ПВЦ добија се прерадом уз додатак пластификатора којим се добије густа паста која се загревањем растапа у хомогену масу. Својства меког ПВЦ зависе у уделу пластификатора. Слабијих је механичких својстава, мање отпоран према деловању топлоте, атмосферским утицајима и хемикалијама, али је савитљив, растегљив и лагано се прерађује.

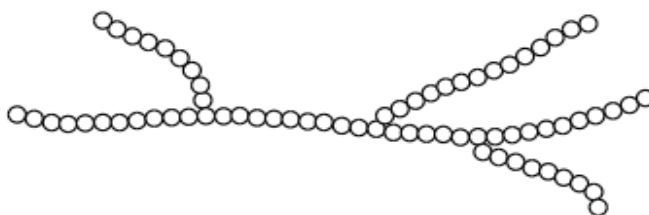
1.3.2. Структура полимера

С обзиром на структуру полимери могу бити са линеарним, разгранатим и умреженим ланцима. Линеарни полимерни ланци су најједноставнији јер је код њих елемент понављања (полимер) повезан у издужен ланац (Слика 1.).



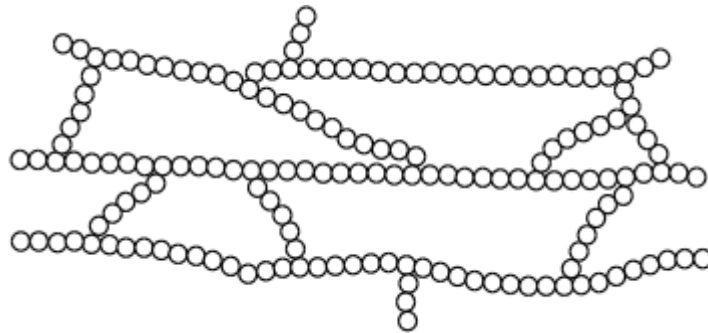
Слика 1. Линеарни полимер (6)

Разгранати полимерни ланац има на основном издуженом ланцу краће или дуже огранке који су састављени од истих понављајућих елемената као и основни ланац (Слика 2.).



Слика 2. Разгранати полимер (6)

Мрежасти полимерни ланац има међусобно повезане издужене полимерне ланце у дводимензионалне и/или тродимензионалне мреже (Слика 3.).



Слика 3. Мрежасти полимер (6)

2. Технологије прераде пластичних маса

Под технолошким поступцима прераде пластичних маса подразумевају се поступци у којима се од сировине (полимера) добија полуфабрикат или готов производ. Избор одређеног поступка прераде зависи од врсте и састава полимера.

Поступци прераде обично се деле према технологији прераде, независно од хемиских и физичких промена које се дешавају за време прераде.

Постоје два основна поступка:

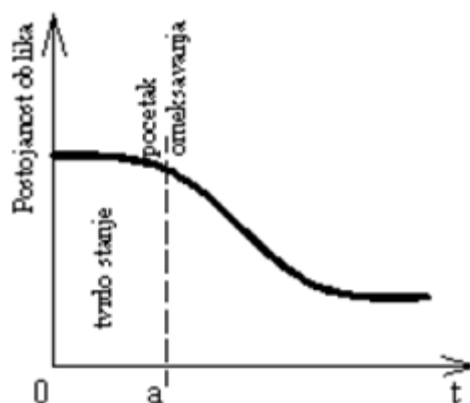
- Прерада без употребе притиска (ливење, уроњавање, премазивање, импрегнирање, синтеровање, ...)
- Прерада са употребом притиска и истовремено довођење или одвођење топлоте (пресовање, ливење под притиском, екструзија, ваљање, савијање, утискивање, дубоко извлачење, ...)

Вредности притисака и температура, као и времена њиховог деловања зависе од физичких и хемијских карактеристика пластичних маса.

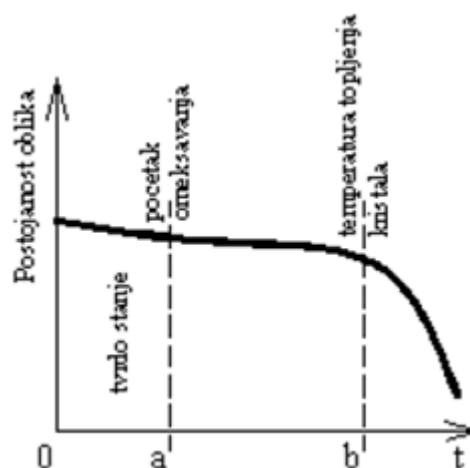
Прерада пластичних маса се остварује савлађивањем међумолекулских сила. Што су макромолекули већи и ближе смештени један до другог, то су силе које делују између њих веће. Са повећањем температура међумолекулске силе слабе, што се може закључити деловањем повишених температуре на пластичне масе. Међутим, ако су макромолекули везани по главним валенцијама (дуропласти), тада се промена облика може остварити само механичком обрадом. Одавде се види да вредност температуре и притиска зависе од физичко-хемијских карактеристика пластичних маса.

2.1. Прерада термопласта

Разликујемо две основне прераде термопласта, аморфних и кристалних. Промена облика аморфних термопласта у зависности од температуре дата је дијаграмом на *слици 4*. Прерада ових термопласта се врши при што вишој температури односно што нижем вискозитету, а затим се наглим хлађењем спречава појава унутрашњих напрезања у готовом производу. Аморфни термопласти прерађују се методама каландровања, екструзијом, ливења под притиском и пресовањем.



Слика 4. Дијаграм промене облика аморфних термопласта у зависности од температуре (3)



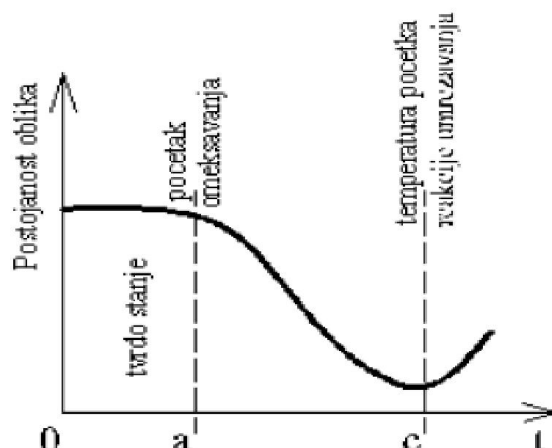
Слика 5. Утицај температуре на кристале термопласта (3)

При повећању температуре, делимично кристални термопласти се понашају као аморфни, али тек када достигну температуру топљења кристала долази до наглог пада вискозитета (Слика 4. и 5.). Материјал до температуре a је у чврстом стању. У области од a до b материјал омекшава, а повећањем температуре преко b (температура топљења кристала) настаје нагли пад вискозитета. Од тада се понашају као аморфни термопласти.

Кристални термопласти имају низак вискозитет, из чега произилази да се могу прерађивати: ливењем, уроњавањем, синтеровањем и шприцањем. Ваљање и каландровање се тешко изводи, тако да се ова два поступка не примењују.

2.2. Прерада дурупласта

Под дејством повишених температура долази до снижавања вискозитета, слично као код термопласта. На одређеној температури долази до умножавања, пораста жилавости и настаје пластичност (Слика 6.).



Слика 6. Утицај температуре на прераду дуропласта (3)

2.3. Прерада пластичних маса бризгањем

Бризгање је са економског аспекта најзначајнији поступак прераде пластичних маса, такође је бризгање пластике најважнији, најстарији и најбољи циклични процес прераде полимера. Овим поступком се могу прерађивати дуромери (дуропласти), еластомери и термопласти. У Европи се са прерадом пластике бави приближно 20.000 предузећа, који укупно запошљавају око 1,6 милиона радника. Од овог броја око 15.000 предузећа се бави бризгањем пластике. И поред великих трошкова за набавку опреме (машина и алата) овај поступак даје велике предности код серија од само неколико хиљада комада.

Екструзионо бризгање се дефинише као процес трансформисања истискивањем растопљеног полимера у алатну шупљину. Истиснути полимер очвршћује у готов производ, полимеризацијом и/или умрежавањем. Екструдзионим бризгањем се израђују производи или полупроизводи. То су производи за потребе ауто и авио индустрије, прехранбене индустрије, грађевинарства, медицине.

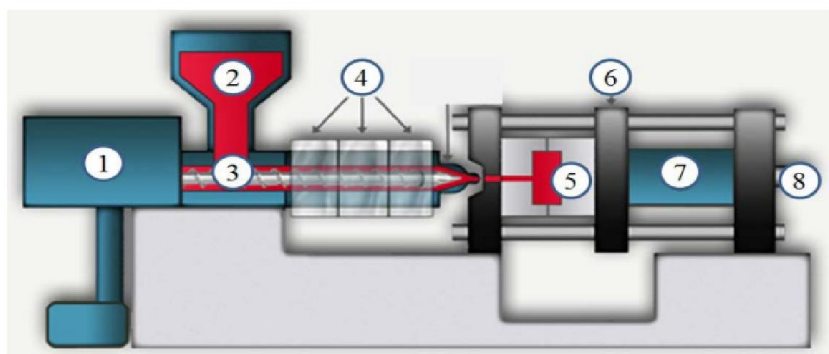
У задњих двадесет година пластичне масе су доживеле најбржи развој у процесу производње. Један од најзначајнијих фактора у процесу бризгања пластике има температура – промене температуре пластичне масе и алата мења се циклично. Имајући у виду значај температуре током обраде, њен значај ће бити детаљније објашњен у наредним поглављима.

Развојем самог процеса прераде пластичних маса развијале су се и машине које се у тим процесима користиле. При процесу обраде пластичне масе екструзионим бризгањем као машина за прераду пластичних маса користи се екструдер.

Основни елементи екструдера, приказани на слици 7. су:

1. Електромотор

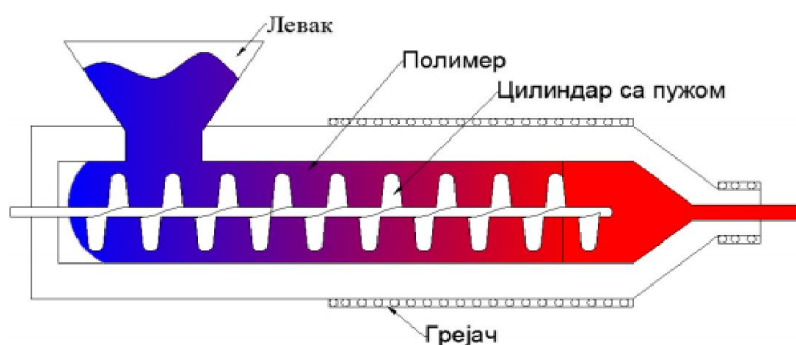
2. Левак са полимером
3. Цилиндар са пужем
4. Грејач
5. Алат
6. Доња потисна плоча
7. Покретна старана алата
8. Прикључак за покретну страну машине



Слика 7. Основни елементи екструдера (7)

Јединица за бризгање има задатак да припреми одређену количину (дозу) материјала и да га под високим притиском задатом брзином убризга у затворен калуп. Са обзиром на функцију коју обављају у процесу прераде, цилиндар и пужни вијак су најважнији делови бризгалице. Пуж чини цилиндрично језгро и пужна завојница која може имати различиту дубину. Задатак пужа је да транспортује материјал у чврстом и течном стању, да га добро измеша, хомогенизује и сабије, тако да под одређеним притиском буде ливен у калуп. Дужина пужа је различита код различитих бризгалица и зависи од њиховог капацитета и врсте полимера. У сваком случају, он се протеже од улазног дела за гранулат до излазног дела, односно дизне. На том растојању разликују се три зоне, што је приказано на слици 8.:

- Зона увлачења
- Зона притискивања (компресије)
- Зона истискивања



Слика 8. Процес екструзионог бризгања (4)

Гранулат се из левка за пуњење дозира под дејством силе земљине теже у улазни део цилиндра. Овај део је термички изолован од осталих цилиндара или се чак хлади да не би дошло до привременог топљења материјала. У компресионој зони почиње топљење и хомогенизација полимера. Ова зона мора бити довољно дугачка да на њеном крају полимер буде потпуно истопљен и хомогенизован. Ово је нарочито битно ако се полимер боји бојама чија температура топљења може бити различита од температуре топљења полимерног материјала. Температура топљења полиетилена се креће у границама од 180 °C до 270 °C. Истопљен материјал улази у зону истискивања, где под дејством притиска улази у улазну дизну. У овом делу обично су постављени отвори за вентилацију кроз које одлазе испарљиве материје, које би могле да поремете равномерни ток материјала кроз дизну у калуп. У процесу бризгања пуж се креће двојачко, кружно и праволинијски (напред-назад). Праволинијско кретање врши се најчешће на хидраулични погон. Потискивање клипа напред врши се истискивањем материјала кроз дизну. У исто време врши се упуштање новог гранулата у улазну зону цилиндра. Враћањем клипа уназад, затвара се улаз у цилиндар и отпочиње мешање и топљење унетог материјала. Пренос снаге са електромотора на пуж врши се системом зупчаника, чиме се истовремено врши смањење, односно повећање броја обртаја.

Циклус прераде пластичне масе (слика 9.) састоји се из више фаза:

- Затварање алата
- Бризгање растопљене масе у шупљину алата
- Фазе накнадног притиска да компензује скупљање
- Фаза хлађења
- Фаза отварања алата
- Избацивање дела



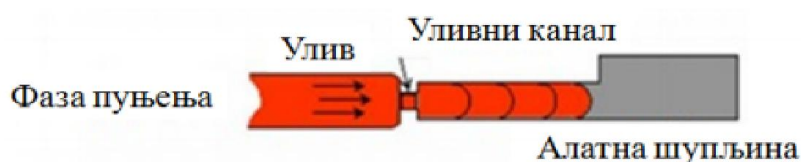
Слика 9. Основни циклуси процеса бризгања (5)

Као што је приказано на слици 9, прва фаза циклуса је затварање калупа (алата), а остварује се јединицом за затварање. За ту операцију потребно је одређено време затварања калупа. Након тога следи приближавање млазнице улику калупа, након чега следи операција убризгавање растопљене масе у калупну шупљину, као што је приказано на слици 10.



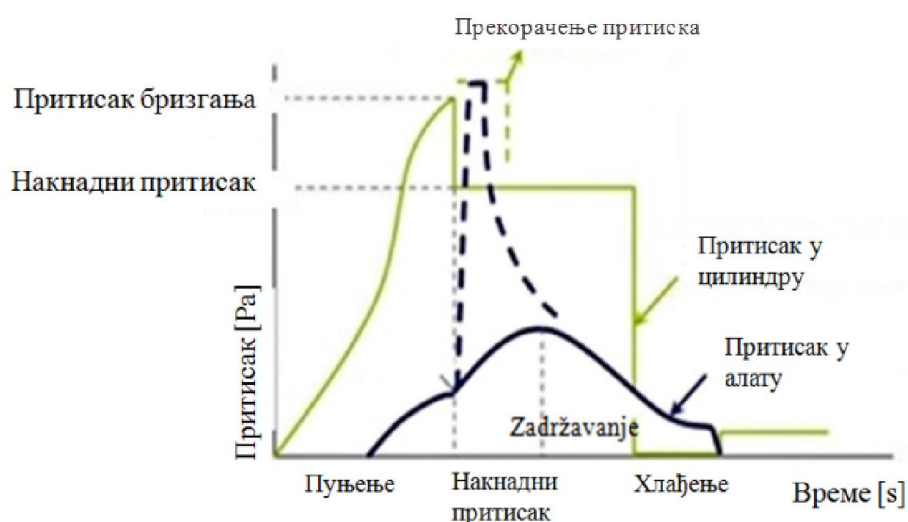
Слика 10. Поступак попуњавања калупне шупљине (5)

Попуњавање калупне шупљине слади након затварања алата и представља једну од најважнијих фаза производног циклуса. Фаза пуњења (слика 11.) почиње од тренутка попуњавања калупне шупљине до тренутка дејства додатног притиска (услед процеса скупљања услед хлађења). Обично овај временски период зависи од величине дела који се бризга и капацитета постројења за бризгање. Процес бризгања престаје када је калупна шупљина испуњена на неких 95 %.



Слика 11. Процес попуњавања калупне шупљине (5)

При скоро испуњеној (на неких 95%) калупној шупљини наставља се са бризгањем али у нешто измењеном режиму у односу на претходну фазу пуњења. Ова фаза пуњења се зове фаза накнадног притиска, што је приказано на слици 13. Након фазе попуњавања калупне шупљине следи фаза додатног притиска, која служи да компензује сакупљање, које настаје у процесу очвршћавања, што је приказано pVT дијаграмом на слици 12.



Слика 11. Приказ pVT дијаграма у циклусу бризгања (5)

Основна функција накнадног притиска је компензација скупљања при очвршћавању пластичне масе. Ови притисци су обично мањи од притисака који се остварују при бризгању. Дужина трајања овог процеса зависи у великој мери од дебљине зида дела, што је повезано са скупљањем током хлађења. Накнадни притисак делује до “печаћења”, тј. до тренутка када се спојно место између калупне шупљине и уливног система толико охлади и очврсне да више није могуће протицање растопа. Ако деловање накнадно притисака почне пребрзо, радни комад неће правилно и потпуно попунити калупну шупљину. Као последица тога може доћи до изливања растопљене пластичне масе или до лома алата.



Слика 13. Фаза накнадног притиска (5)

Из описаног се може закључити да је пластичну масу потребно загрејати а онда одмах охлади, при чему би температура алата остају исте. Штавише, економска продуктивност захтева најнижу могућу температуру. Топлота потребна за загревање пластомера доводи се грејачима смештеним на цилиндру за топљење. Потребно време хладјења готовог дела, често је дуже од времена убризгавања, накнадног притиска, пластифицирања и враћања млазнице. Због тога је потребно и допунско време хлађења да се отпресак охлади на температури која омогућује поуздано потискивање отпреска из калупне шупљине. Када се отпресак довољно охлади, калуп се отвори одмицањем помичног од непомицног дела. У току ове фазе долази до избацивања радног комада из калупне шупљине.

Време хлађења је време од почетка деловања накнадног притиска до почетка отварања алата. Одређује се рачунски преко количине одведене топлоте током хлађења дела или се одређује резличитим емпиријским методама. У већини случајева, време хлађења је најдужи од свих времена (бризгања, накнадног бризгања, избацивања дела, затварања и отварања алата). Време хлађења у процесу бризгања пластике је дефинисано као потребно време за хлађења пластичне масе до температуре погодне за избацивање дела, и дефинисано је на следећи начин, помоћу једначине (1):

$$t_h = t_u + t_{np} + t_{ps} + t_{mr} + t_d \quad (1)$$

Величине које фигуришу у једначини су:

- t_h - време хлађења
- t_u - време бризгања
- t_{np} - време накнадног притиска
- t_{ps} - време топљења пластичне масе
- t_{mr} - време течења пластичне масе
- t_d - додатно време хлађења

Главни циљ оптимизације процеса и развоја представљене технологије је скратити време t_d , које је теоретски непотребно, а у пракси оно заузима од 45 до 67 % целокупног циклуса прераде бризгањем. Размере између поменутих температурама у процесу бризгања су емпиријски дата односом (2):

$$\Delta T_U : \Delta T_K : \Delta T_T = 6 : 5 : 1 \quad (2)$$

где је:

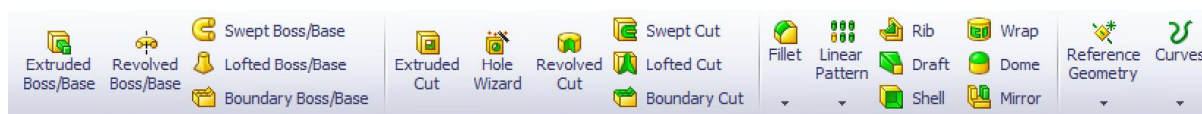
- ΔT_U - промена температуре избацивања
- ΔT_K - промена температуре алата
- ΔT_T - промена температуре растопљене пластичне масе

На основу претходног израза може се закључити да температура алата има велику важност, и велику утицај на време хлађења.

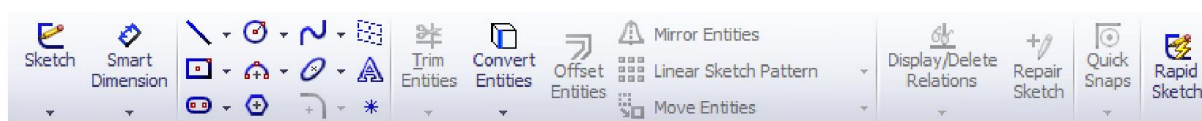
3. Пројектовање кућишта кулера

У оквиру трећег поглавља извршено је моделирање кућишта кулера помоћу програмског пакета SolidWorks 2012. Поступак моделирања вршен је у 20 корака, а палете које се користе за моделирање су:

- Features (Слика 14.)
- Sketch (Слика 15.)
- Surfaces (Слика 16.)



Слика 14. Features палета

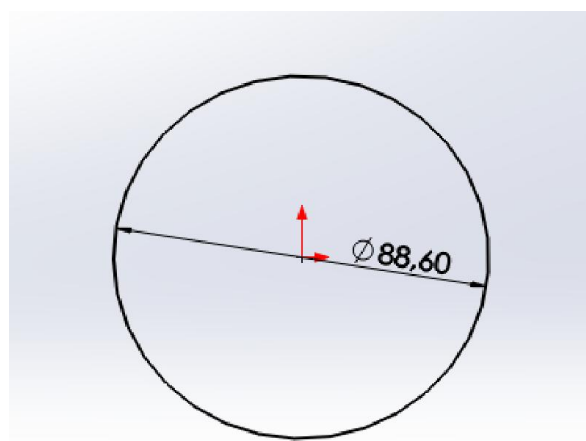


Слика 15. Sketch палета



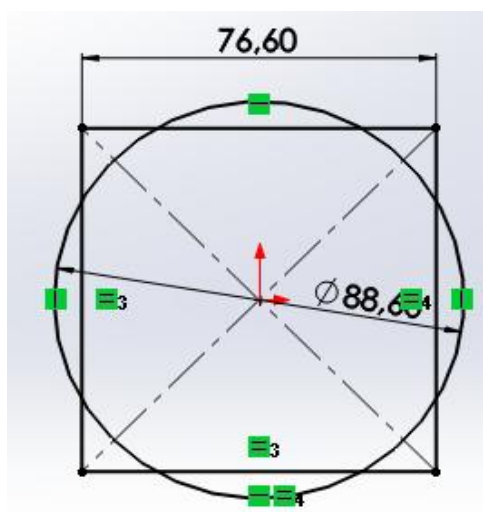
Слика 16. Surfaces палета

1. У радном окружењу **Sketch**, у **Top** равни црта се круг пречника $\Phi 88.6$.



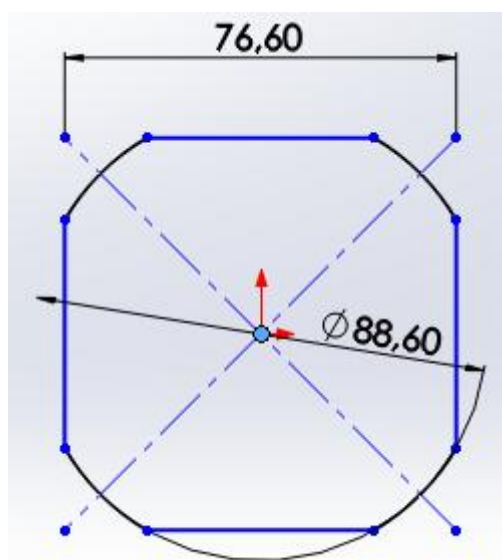
Слика 17. Круг пречника $\Phi 88.6$

2. У истом **Sketch**-у и истој равни црта се квадрат једнаких страница од 76.6 mm. Означавањем свих страница у доњем левом углу приказује се команда **Equal** и кликом на њу све странице постају исте.



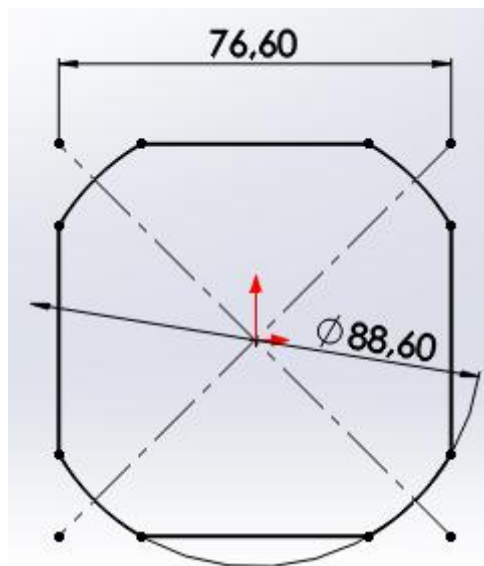
Слика 18. Квадрат једнаких страница од 76.6 mm

3. У наредном кораку врши се сечење преко команде **Trim** која се налази у **Sketch** менију.



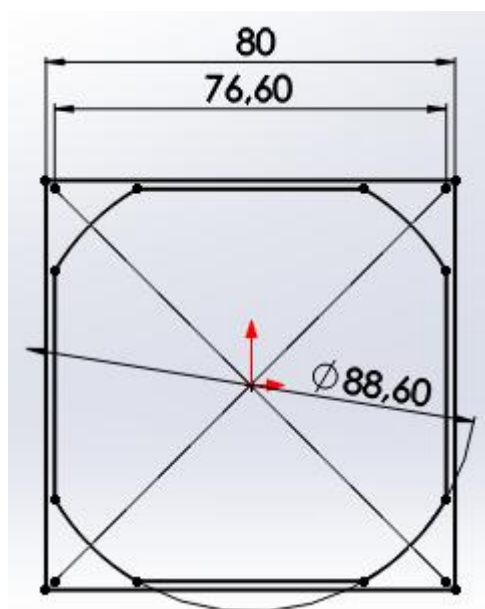
Слика 19. Цртеж након сечења линија које су вишак командом *Trim*

4. У наредном кораку врши се дефинисање цртежа: **Tools – Dimensions – Fully Define Sketch**, означе се све странице, а затим се покрене опција **Calculate**.



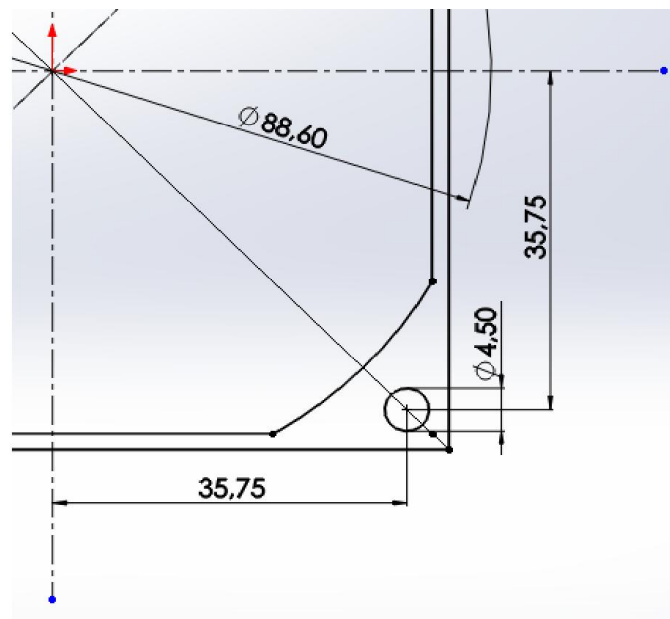
Слика 20. Дефинисање цртежа

5. У истом радном окружењу и равни, црта се квадрат једнаких страница од 80 mm. Означавањем свих страница и помоћу команде **Equal** све странице постају једнаке.

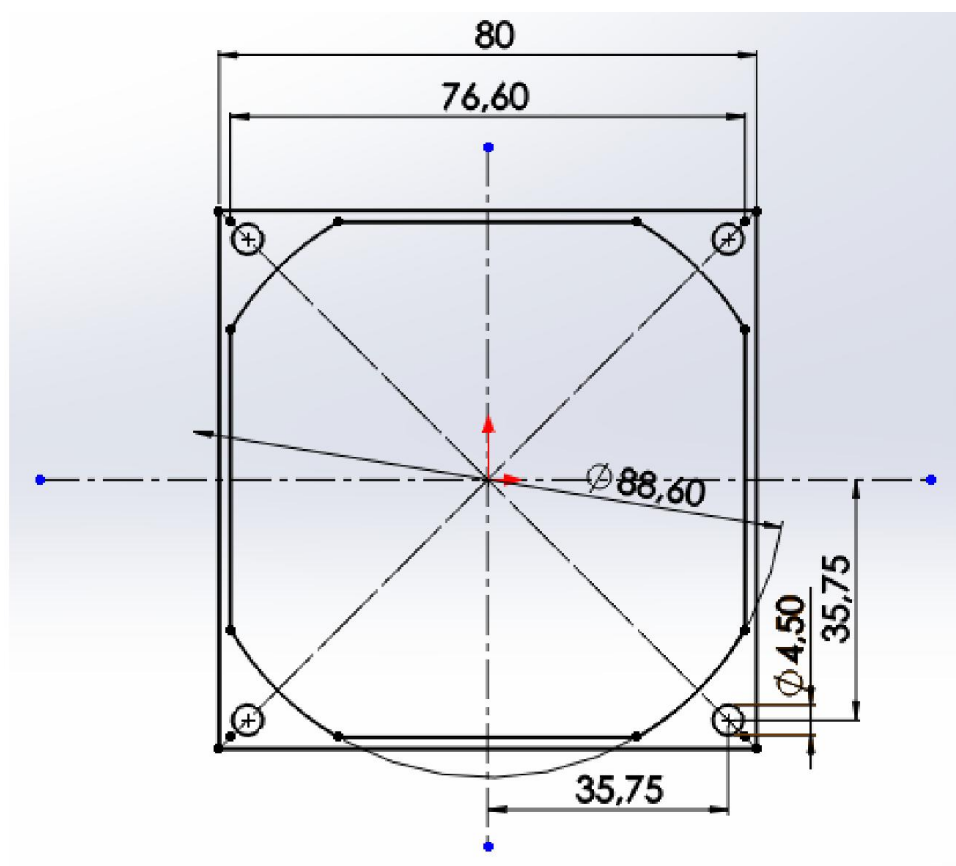


Слика 21. Квадрат једнаких страница од 80 mm

6. У наредном кораку цртају се четири круга који су пречника $\Phi 4.50$. Нацрта се само један круг који се умножава преко комаде **Mirror Entitties**, али пре тога поставља се једна хоризонтална и једна вертикална помоћна линија.

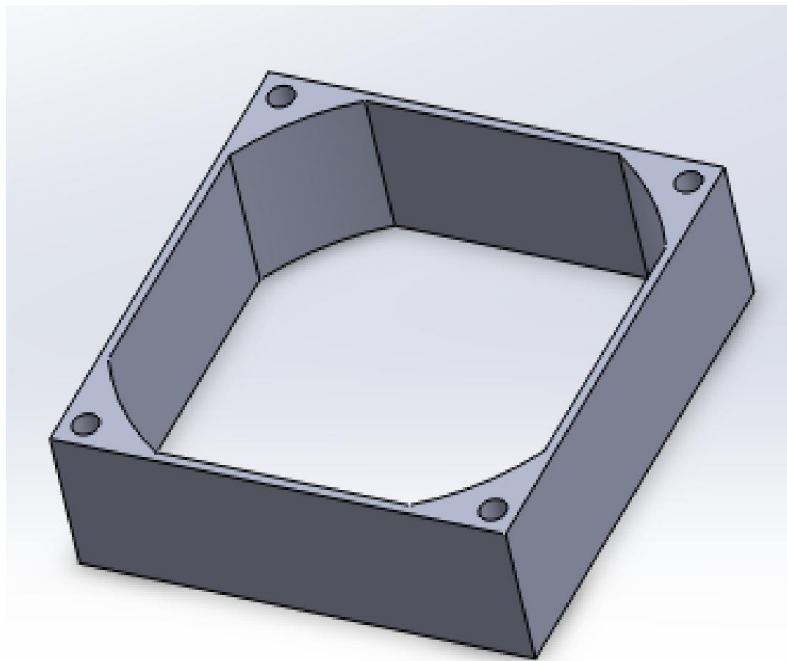


Слика 22. Круг пречника $\Phi 4.50$



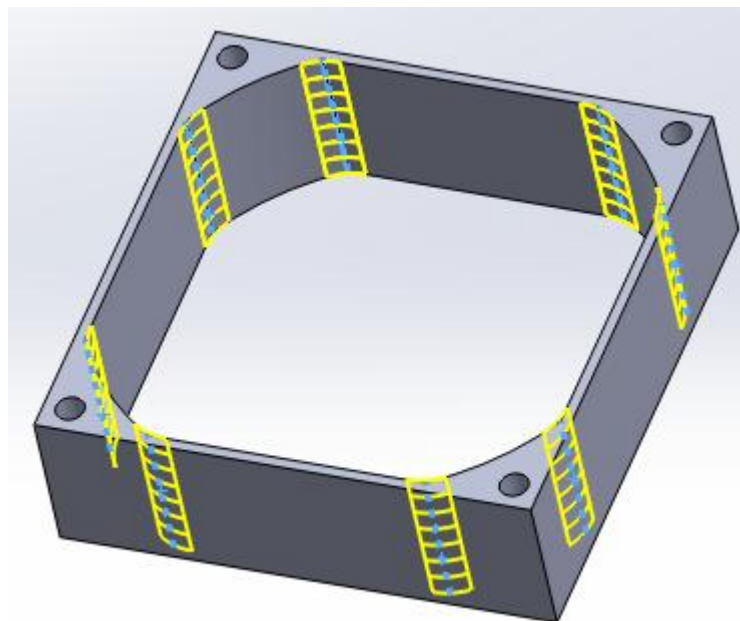
Слика 23. Умножавање круга помоћу *Mirror Entitties*

7. Излази се из **Sketch**-а и помоћу команде **Extruded Boss/Base – Mid Plane** екструдира се цртеж за 25.4 mm.

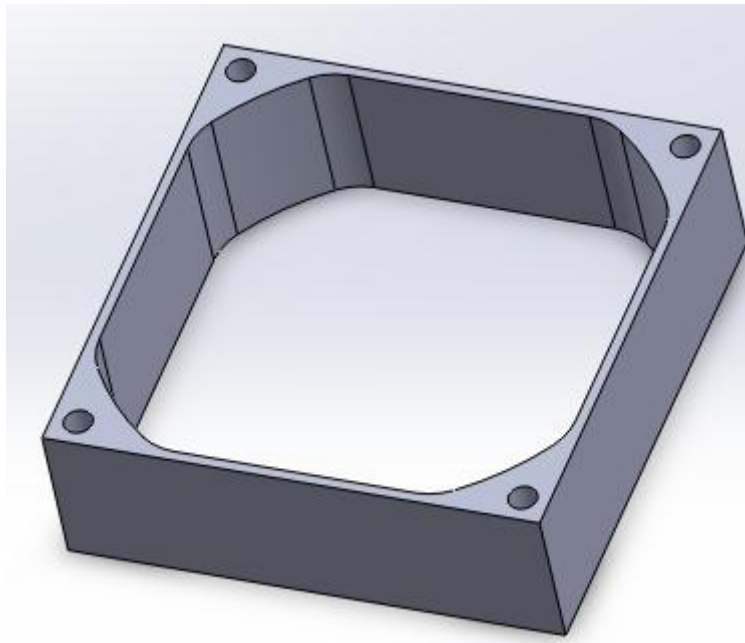


Слика 24. Екструдирање цртежа

8. Командом **Fillet - FilletXpert** врши се заобљавање се унутрашњих ивица модела за $R=10\text{ mm}$.

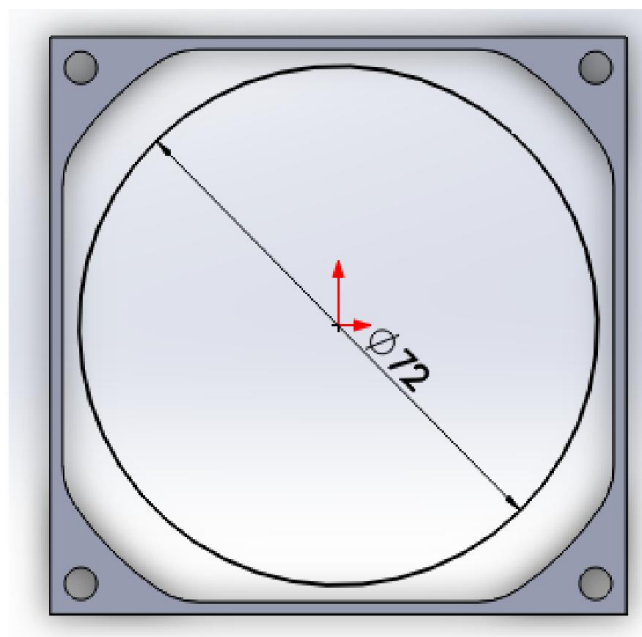


Слика 25. Означене унутрашње ивице



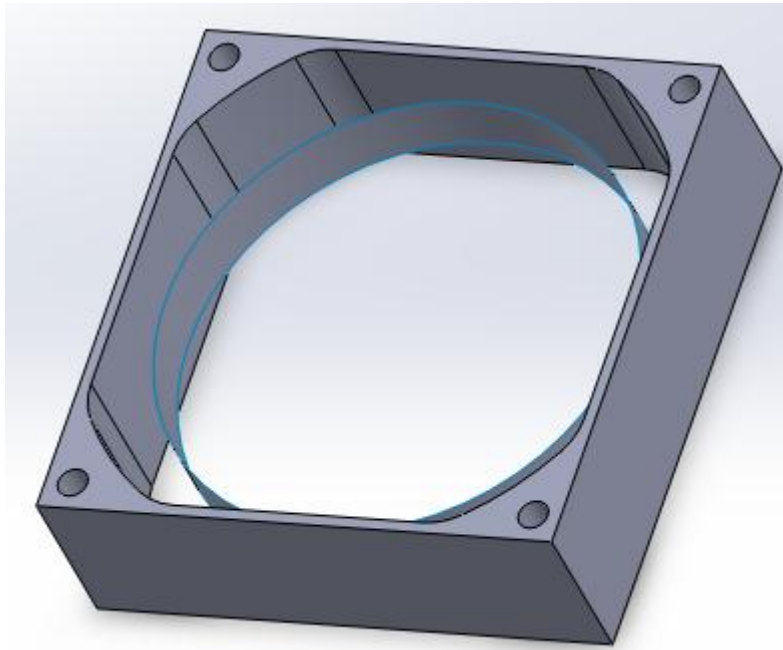
Слика 26. Заобљавање унутрашњих ивица командом *Fillet*

9. Покрене се ново радно окружење притиском на **Sketch** и у **Top** равни црта се круг пречника $\Phi 72$ mm.



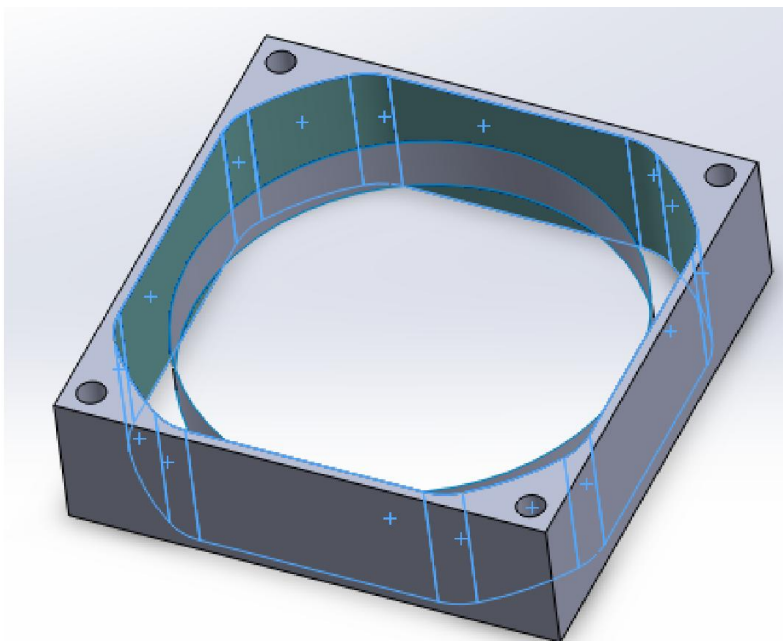
Слика 27. Круг пречника $\Phi 72$ mm

10. Излази се из **Sketch**-а и уради се следеће **Surfaces – Extruded Surfaces – 10mm – Mid Plane**.



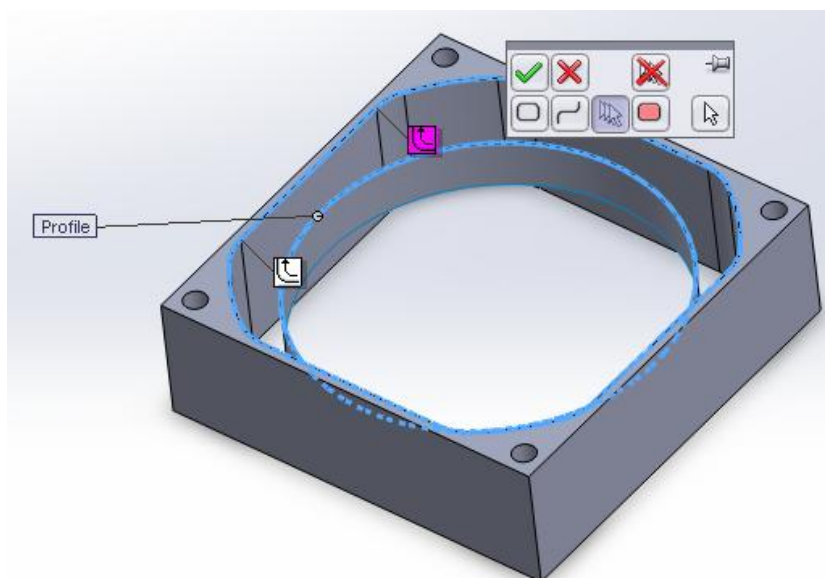
Слика 28. Екструдирање круга

11. У наредном кораку креира се помоћна површина помоћу опције **Offset Surface** на 0 mm. Она је потребан да би се урадио *корак 12*.

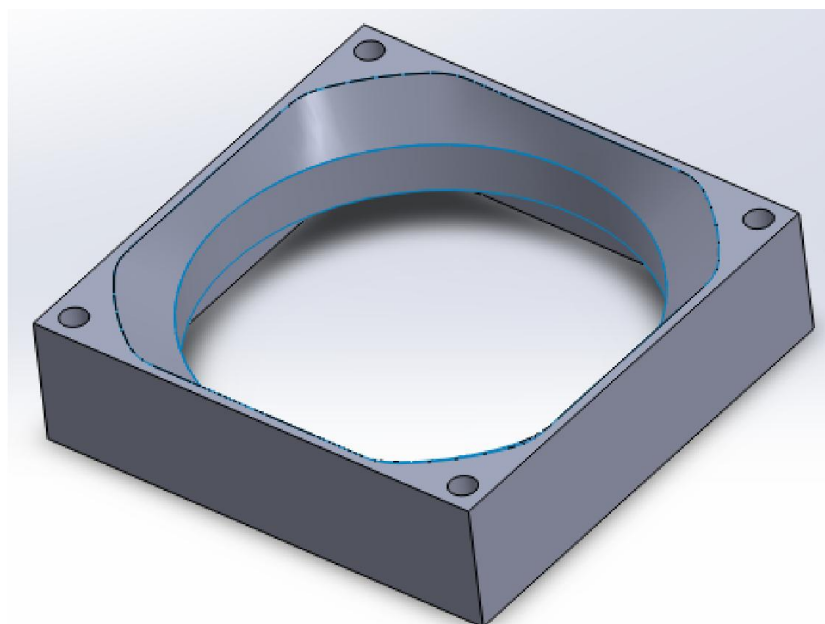


Слика 29. Помоћна површина

12. У наредном кораку командом **Loft Surface** креира се горња површина помоћу ивица које су приказане на слици 30. Прво се покрене команда **Loft Surface** затим се кликне на горњу линију круга и десним кликом на њу отвориће се прозор у коме се покрене опција **SelectionManager**, кликом на њега отвориће се следећи прозор где треба да буде активна команда **SelectGroup** (иконица са 3 стрелице). Након тога треба да се означе унутрашње ивице горње површине модела и добија се потребна површина (Слика 31.).

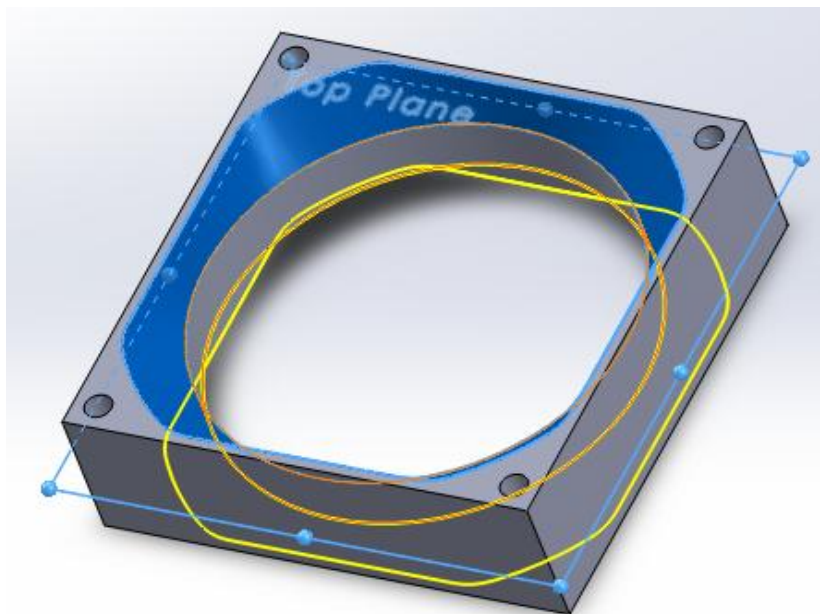


Слика 30. Означавање ивица

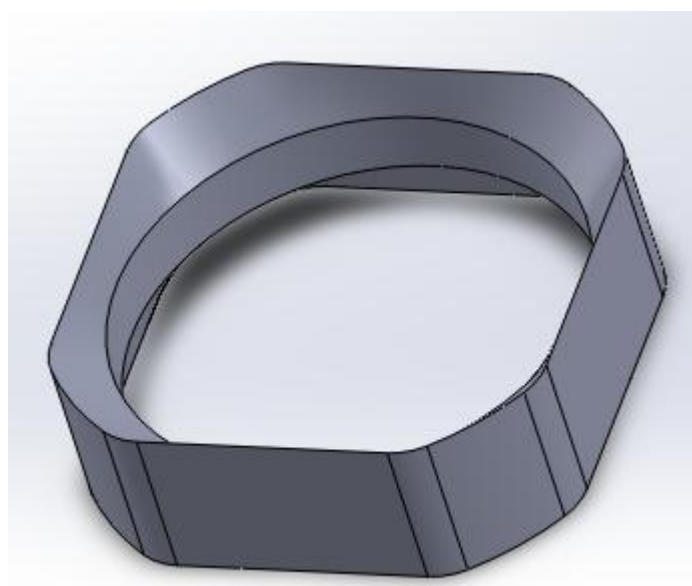


Слика 31. Креирана површина помоћу Loft Surface

13. У овом кораку врши се пресликавање површине добијене у *кораку 12* помоћу команде **Mirror** (налази се су **Features**). Као **Mirror Face/Plane** селекује се **Top** раван, а као **Bodies to Mirror** селекује се површина добијена у *кораку 12*. Након тога треба да се сакрије први део који је екструдирани да би биле видљиве само површине као на *слици 33* и помоћу команде **Knit Surface** се врши повезивање у једну целину тако што се селекују све четири површине и чекира се опција **Try to form solid**. Након тога део који је сакривен треба да буде видљив јер треба тај део и површине које су спојене у једну целину повезати да буду такође једна целина, то се постиже помоћу опције **Combine (Insert – Features)**.

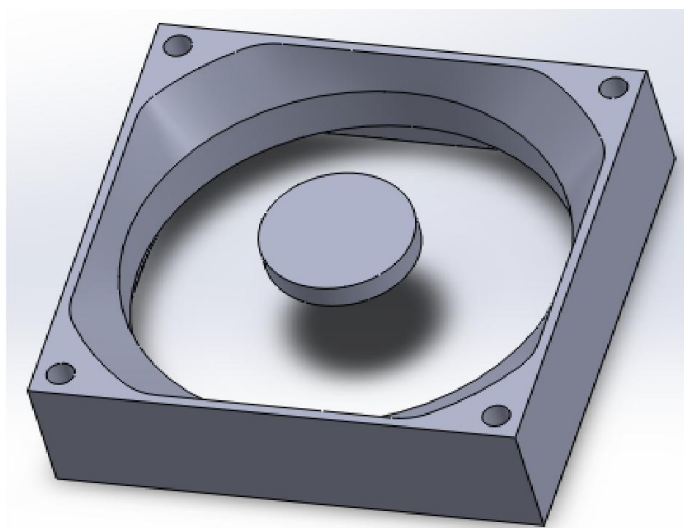


Слика 32. Пресликавање површине помоћу команде *Mirror*



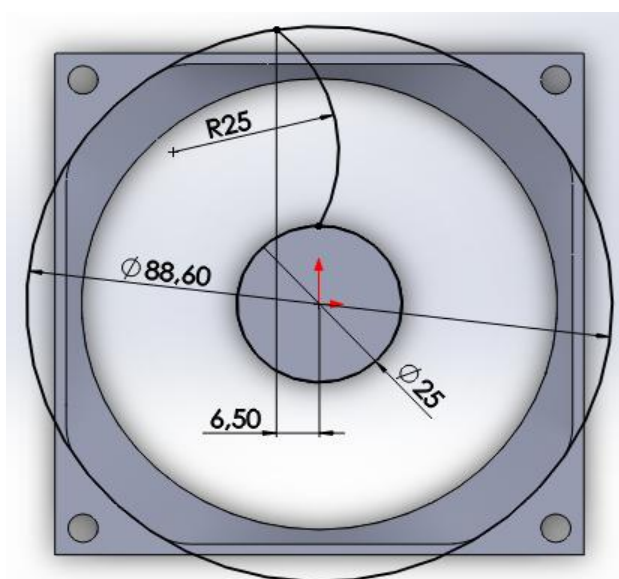
Слика 33. Четири површине повезане у једну целину

14. У наредним корацима креира се решетка кулера. У новом **Sketch**-у селекује се горња површина предмета (део који је први екструдиран) и црта се круг пречника $\Phi 25$, и екстудира се на 5 mm у смеру на доле.

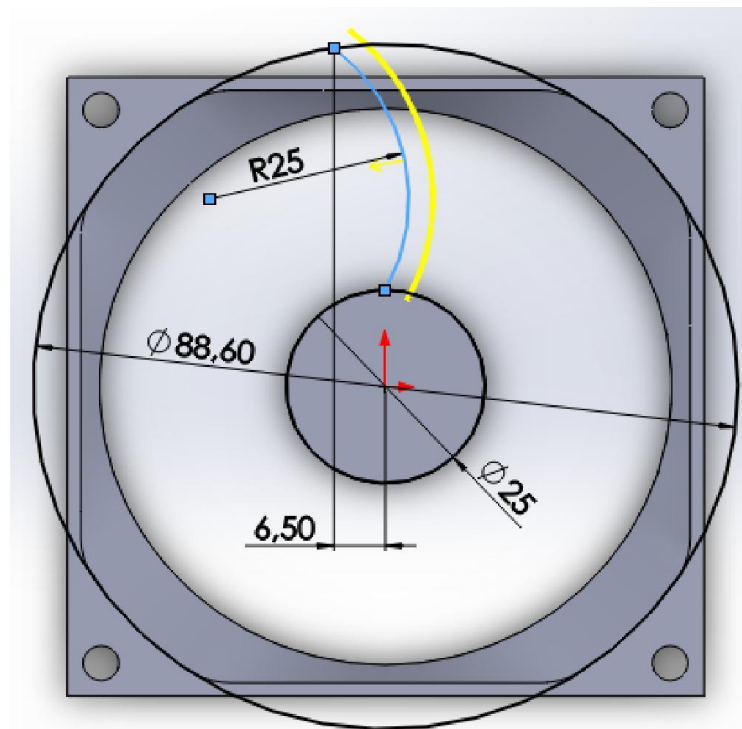


Слика 34. Екстудирање круга пречника $\Phi 25$

15. У овом кораку креира се једно ребро која се касније умножити. У новом **Sketch**-у селектовањем горње површине претходно изведеног круга прво се креира већи круг пречника $\Phi 88.6$, а затим круг мањег пречника $\Phi 25$. Након тога црта се лук полупречника R25, где је његова горња тачка коинцидентна са већи кругом, а растојање између ње и центра трба да износи 6.5 mm, док је доња тачка лука вертикална са центром и коинцидентна са мањим кругом слика 35. На слици 36 се види да је лук одмакнут 3 mm помоћу команде **Offset Entities** и чекирањем опције **Reverse**.

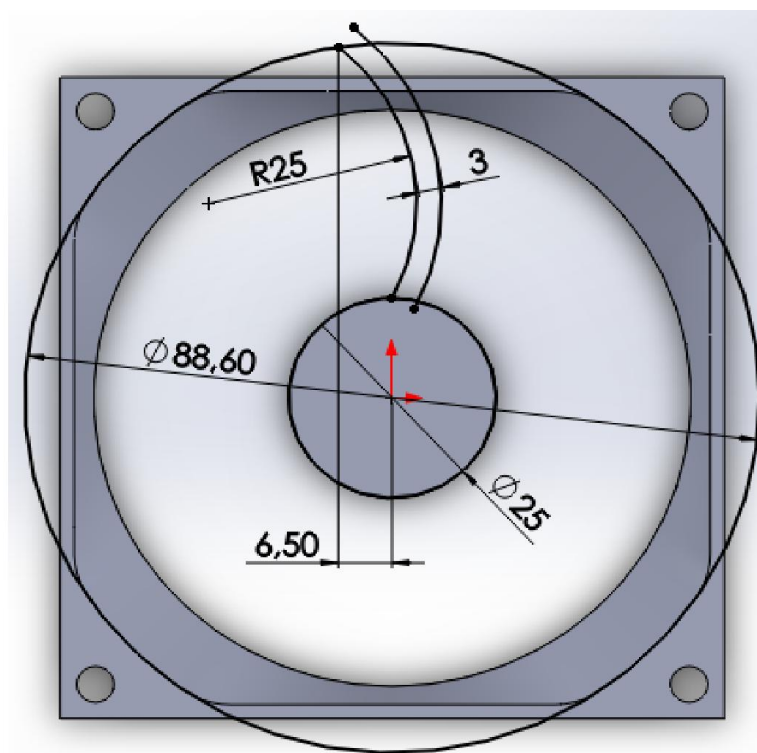


Слика 35. Цртање кругова мањег и већег пречника и цртање лука

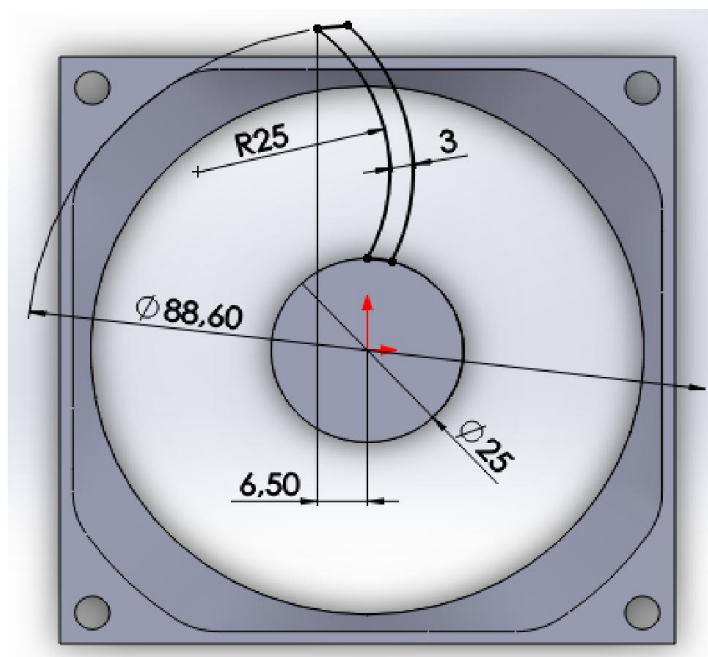


Слика 36. Офsetовање лука за 3 mm

16. У овом кораку врши се сечење линија које су вишак командом **Trim**. На слици 37 је приказан цртеж пре тримовања, а на слици 38 цртеж после тримовања.

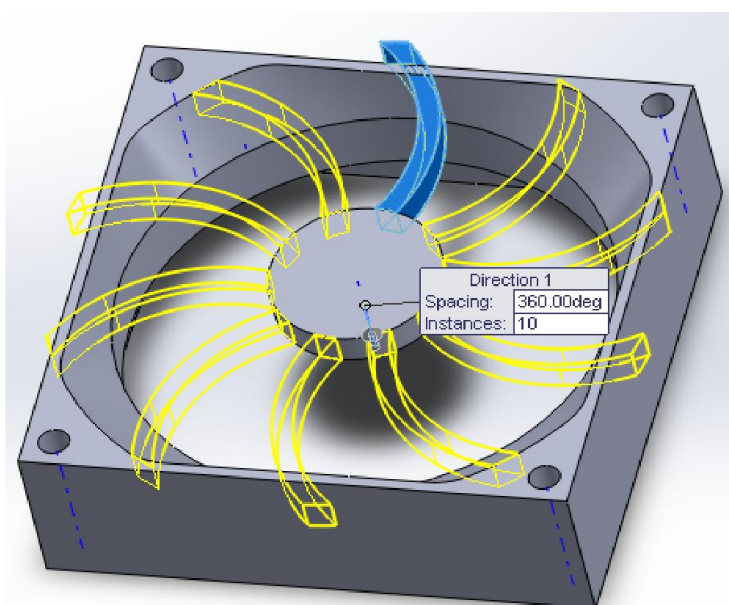


Слика 37. Цртеж пре тримовања

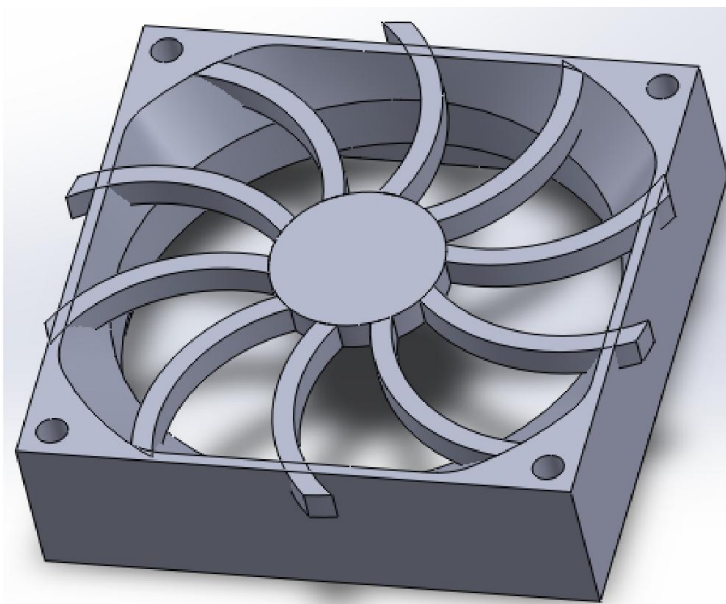


Слика 38. Цртеж после тримовања

17. У овом кораку екструдира се ребро за 5 mm и умножава се преко **Circular Pattern**-а. Прво се екструдира ребро за 5 mm на доле и одчекира се **Merge result**. Да би се урадио **Circular Pattern** потребно је укључити помоћну осу у центру помоћу **View – Temporary Axes**. Када се то уради покрене се **Circular Pattern** и у одељку **Bodies to Pattern** треба да се селекује ребро, а у одељку **Parameters** селекује се оса која се налази у центру, и промени се правац на горе, и уписује се број ребара који је у овом случају 10.

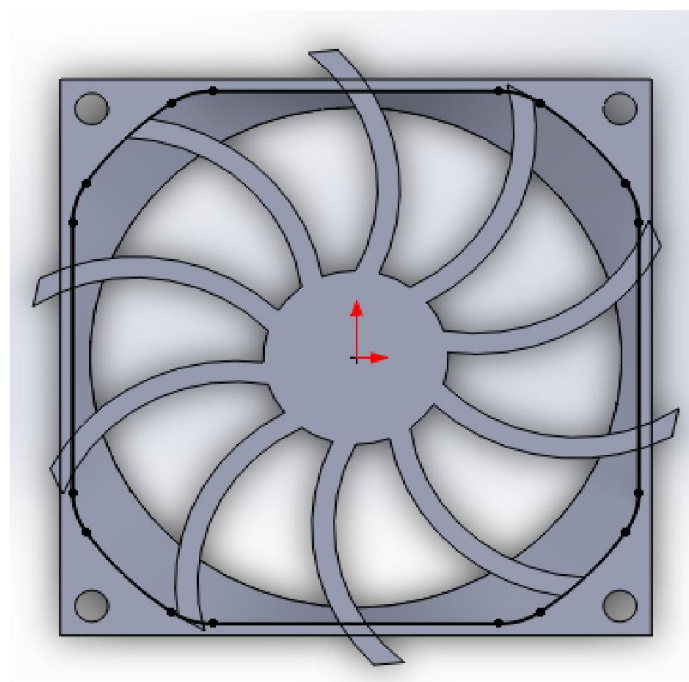


Слика 39. Умножавање помоћу Circular Pattern-а

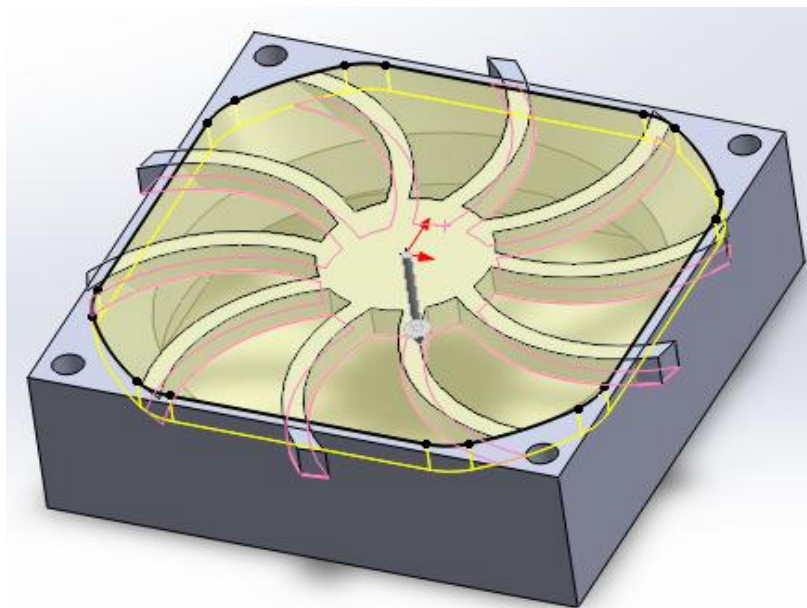


Слика 40. Изглед модела након *Circular Pattern-a*

18. Сада треба повезати у једну целину ребра и круг пречника 25 mm (*корак 14.*), а то се постиже командом **Combine**. Након тога треба се решити вишкова који пролазе кроз модел, који се могу видети на *слици 40*. Да би се то урадило прво треба отворити ново радно окружење и селектовати површину првог дела који је екструдиран и помоћу команде **Convert Entitties** означити ивице као на *слици 41*, а затим изаћи и **Sketch-a** и екструдирати “само до површине” (**Up to surface**) тако што се селекује доња површина круга (*Слика 42.*).

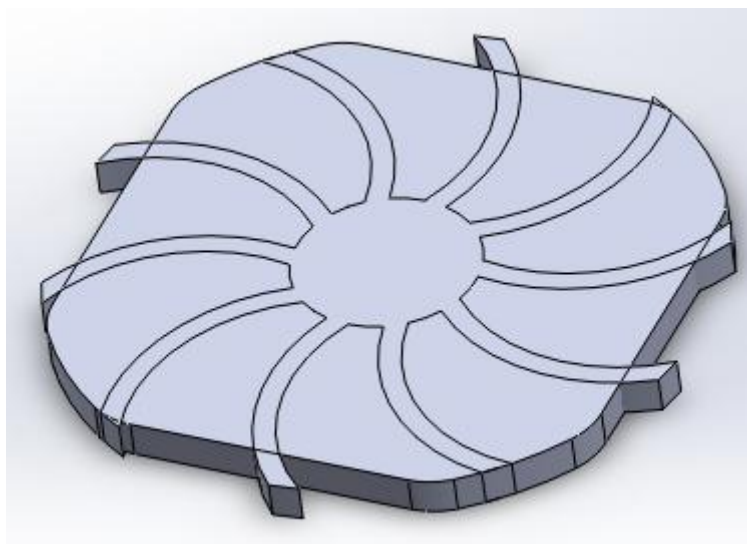


Слика 41. Селектовање ивица помоћу *Convert Entitties*

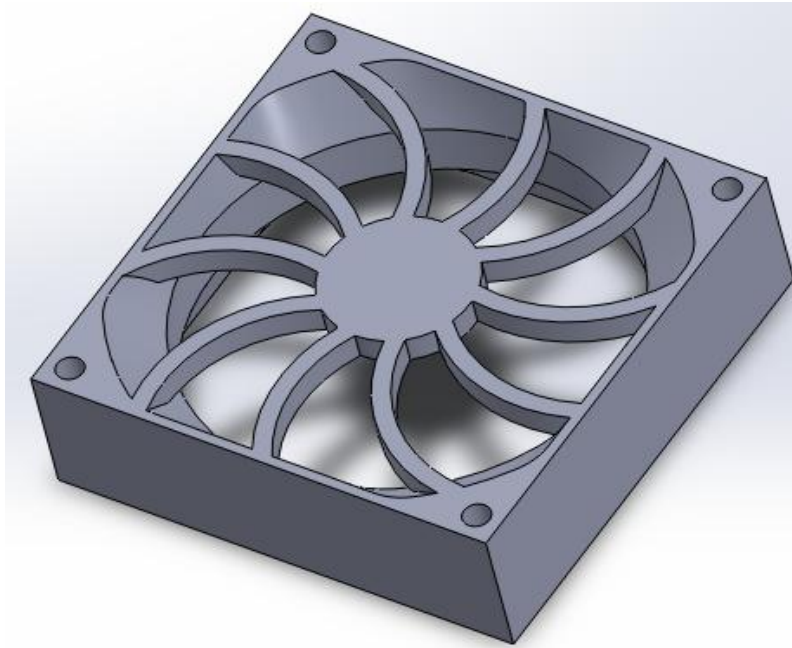


Слика 42. Екструдирање *Up to surface*

19. Сада треба сакрити део који је први екструдиран тако да остану видљиви само решетка и део који је претходно екструдиран (Слика 43.). Након тога покрене се команда **Combine**, чекира се опција **Common** и селекују се та два дела, и добиће се одговарајућа дужина ребара тако да одговарају делу који је претходно сакривен, и које затим треба повезати у једну целину опцијом **Combine** (Слика 44.).

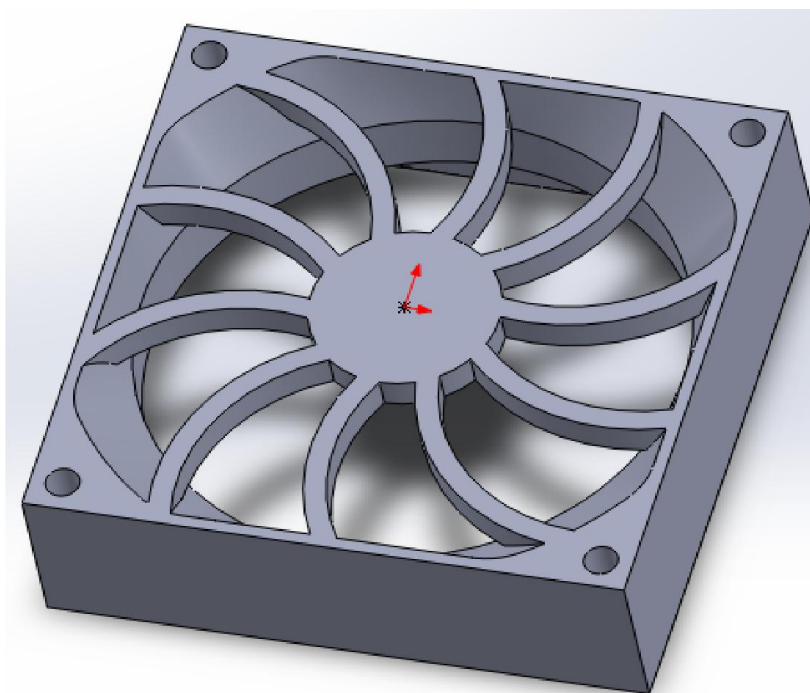


Слика 43. Решетка и део који је претходно екструдиран



Слика 44. Решетка и рам повезани у једну целину

20. У последњем кораку поставља се тачка која означава место уливања, а то се постиже тако што се прво селекује горња површина дела и покрене **Sketch**, а затим помоћу опције **Point** у самом центру поставља тачка (Слика 45.).



Слика 45. Постављање тачке помоћу опције Point

4. Симулација убризгавања пластичних маса

У овом поглављу биће примењен модул SolidWorks Plastics који представља додатак програмског пакета SolidWorks, и који је намењен за симулацију убризгавања пластике. Даље у тексту биће објашњене основне команде за овај модул, као и извођење симулације убризгавања са различитим полимерима као што су полипропилен, полистирен и поливинил – хлорид са различитим мрежама модела, и симулација убризгавања полистирена са променом температурних параметара.

4.1. Основне команде

Палета (Слика 46.) која се користи за SolidWorks Plastics састоји се од неколико команди, а ову су неке које се најчешће примењују:

- *Mesh Model* – приказ мреже модела
- *Transparent Model* – приказ провидног модела
- *Thickness Distribution* – приказ дебљине зида
- *Cavity Visibility* – приказ шушљине
- *Runner Visibility* – приказ разводних канала
- *Measure* – мерења



Слика 46. Палета SolidWorks Plastics

4.2. Симулација убризгавања пластичних маса са различитим мрежама

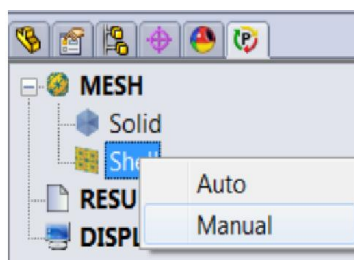
За симулацију користиће се модел који је претходно моделиран на коме ће се појединачно дефинисати две мреже, једна са једнаким троугловима и друга са гушћом мрежом на горњој површини.

4.2.1. Дефинисање мреже

Дефинисање мреже врши се помоћу **PlasticManager**-а (Слика 47.). Десним кликом на **Shell** биће понуђене две опције **Auto** и **Manual**, од којих се бира **Manual** (Слика 48.).

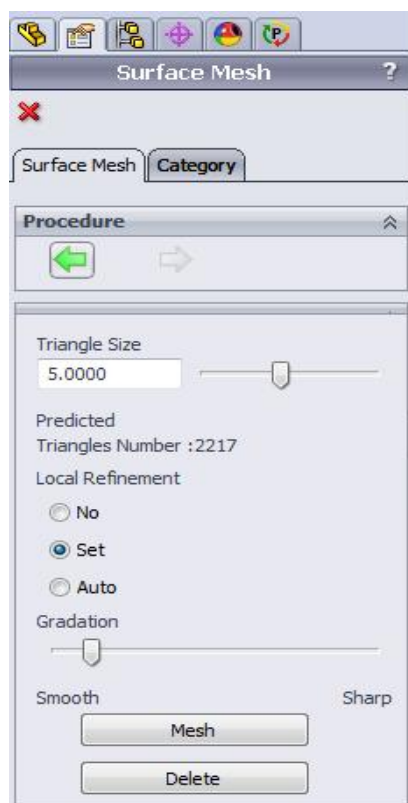


Слика 47. PlasticManager



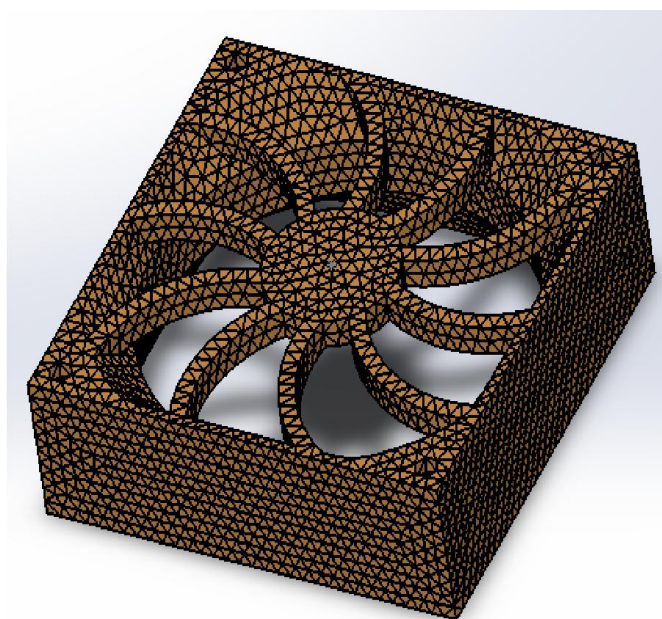
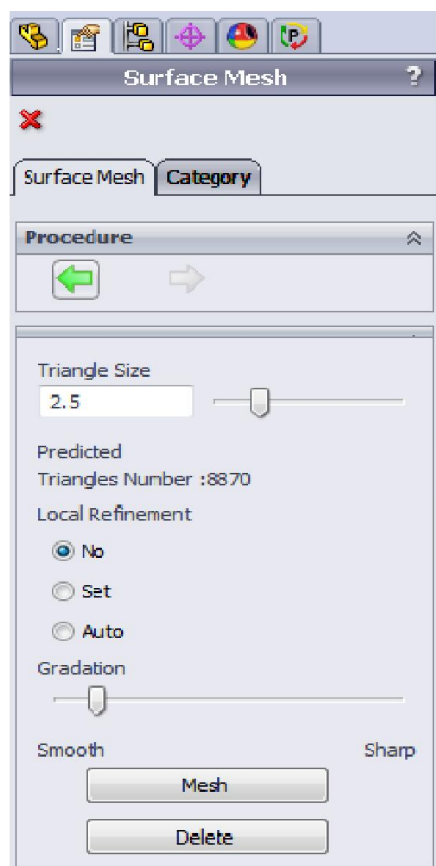
Слика 48. Shell

Након што је одабрано ручно дефинисање мреже (Manual) у картици **Surface Mesh** (Слика 49.) појављују се опције као што су **Triangle Size** која служи за подешавање величине троуглова, **Local Refinement** која служи за аутоматско постављање мреже као и за постављање мреже на одређену површину, ивуцу или тачку.



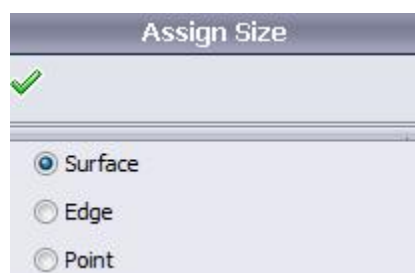
Слика 49. Surface Mesh

За дефинисање мреже са једнаким троугловима (Слика 50.) у картици **Surface Mesh** потребно је подесити да величина троуглова (**Triangle Size**) буде 2.5 mm, док у опцији **Local Refinement** чекира се опција **No**, па притиском на **Mesh** дефинише се мрежа.

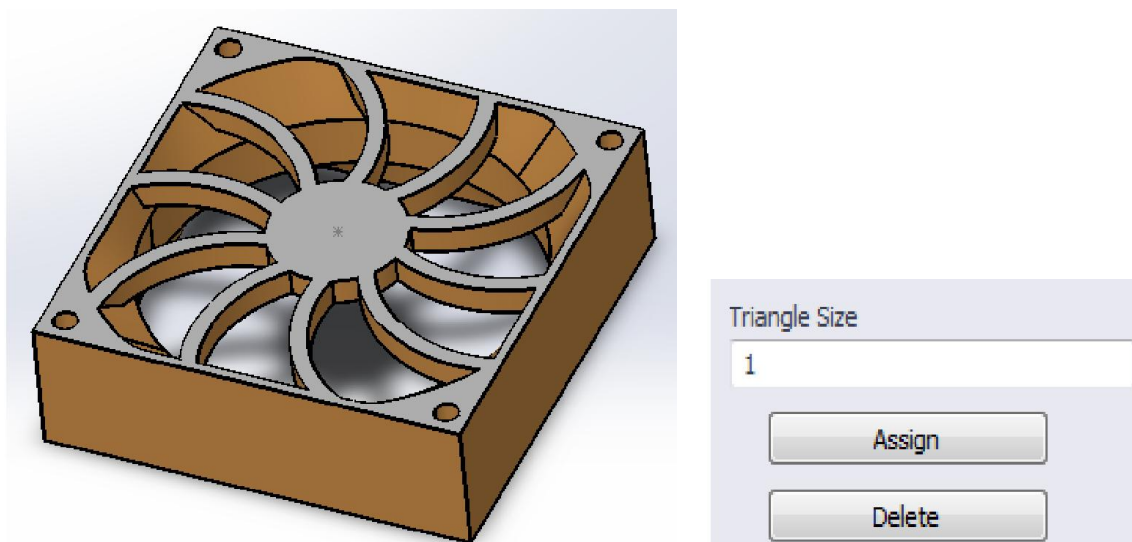


Слика 50. Дефинисање мреже са једнаким троугловима

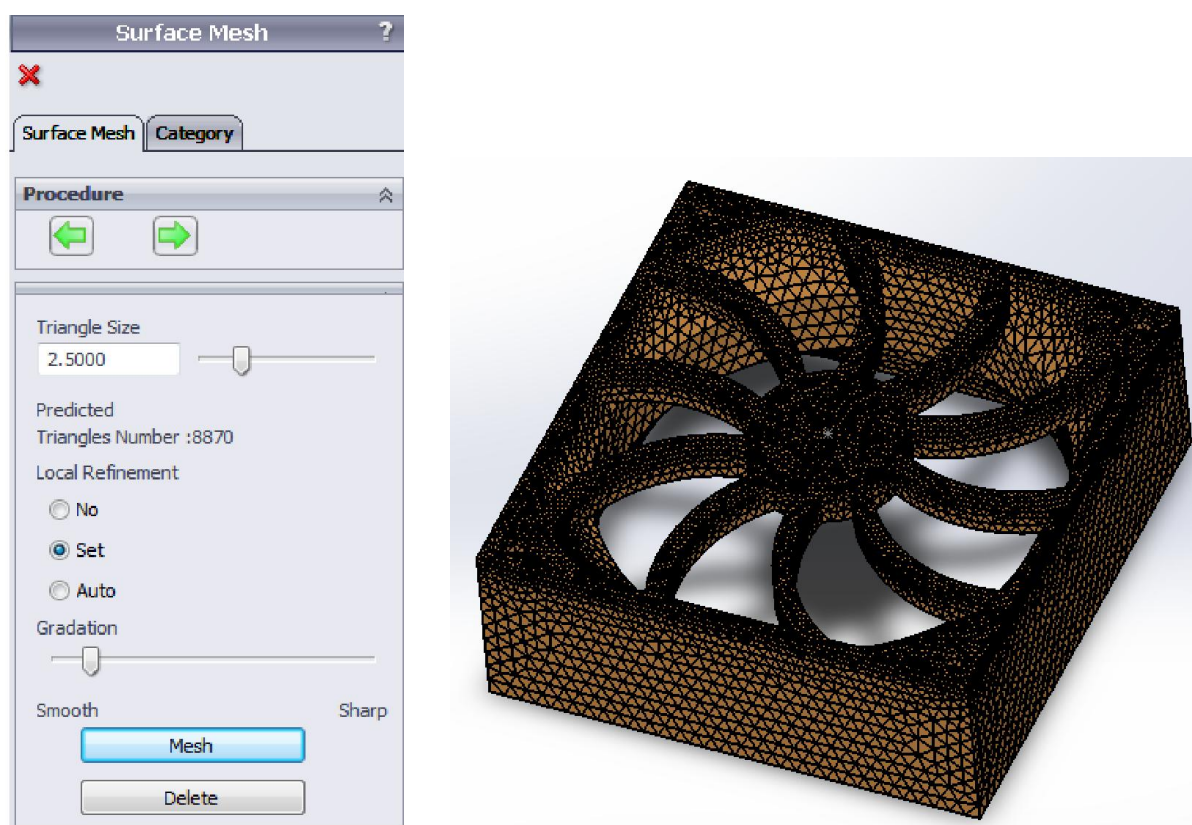
За дефинисање гушће мреже на горњој површини модела потребно (Слика 53.) је у картици **Surface Mesh** потребно је подесити да величина троуглова (**Triangle Size**) буде 2.5 mm, док се у опцији **Local Refinement** чекира опција **Set**, при чему се отвара нова картица **Assign Size** (Слика 51.) у којој је потребно да буде чекирана опција **Surface**. Затим је потребно означити горњу површину модела и у доњем делу картице уписати величину троуглова која мора бити 1 mm и притиснути **Assign** (Слика 52.). Изласком из картице потребно је притиснути **Mesh** за дефинисање мреже.



Слика 51. Assign Size



Слика 52. Означавање површине и уписивање величине троугла

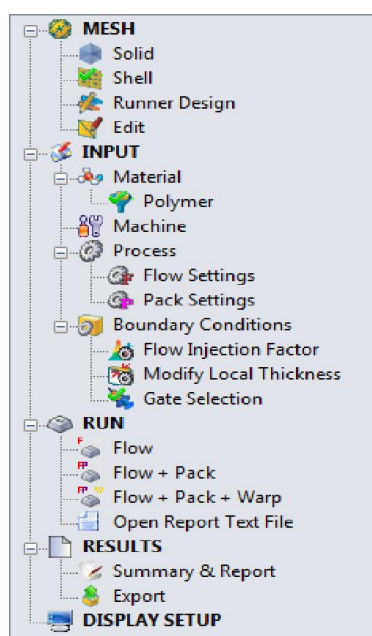


Слика 53. Дефинисање гушће мреже на горњој површини модела

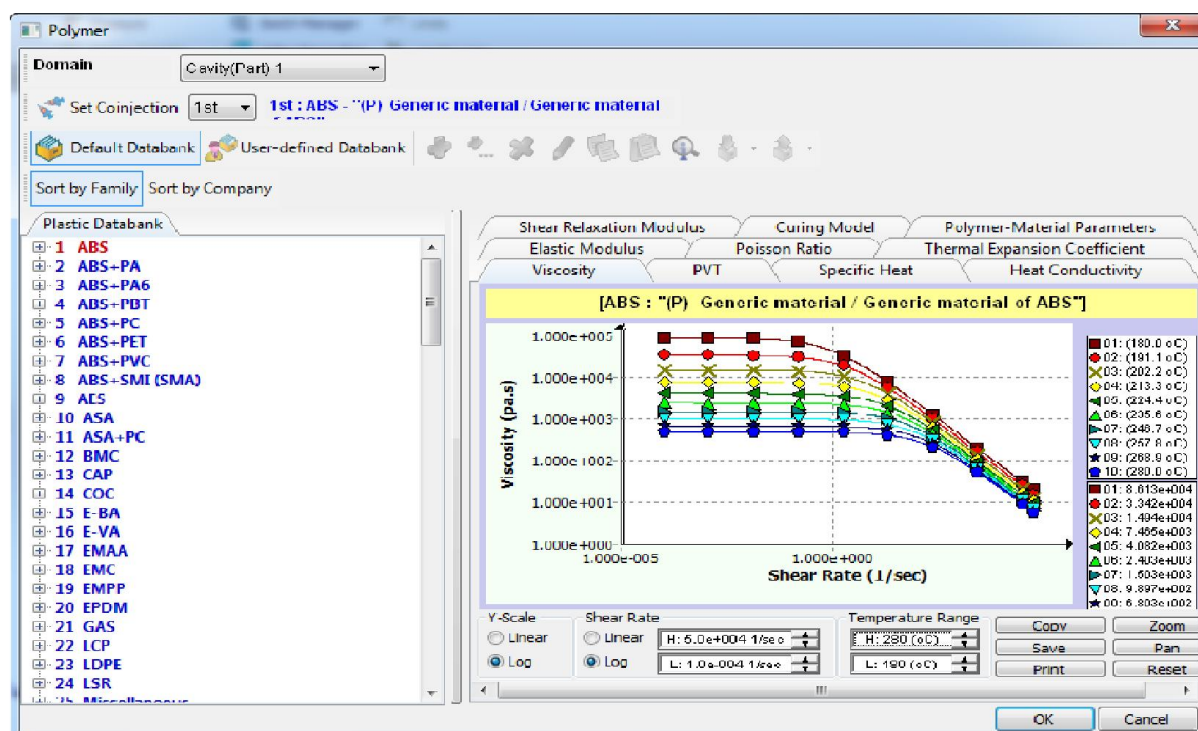
4.2.2. Дефинисање материјала и места уливања

Након што је извршено дефинисање мреже може се приступити дефинисању материјала (полимера) као и места уливања помоћу картице која је приказана на слици 54. Покретањем опције **Polymer** отвара се нови прозор у коме се налазе

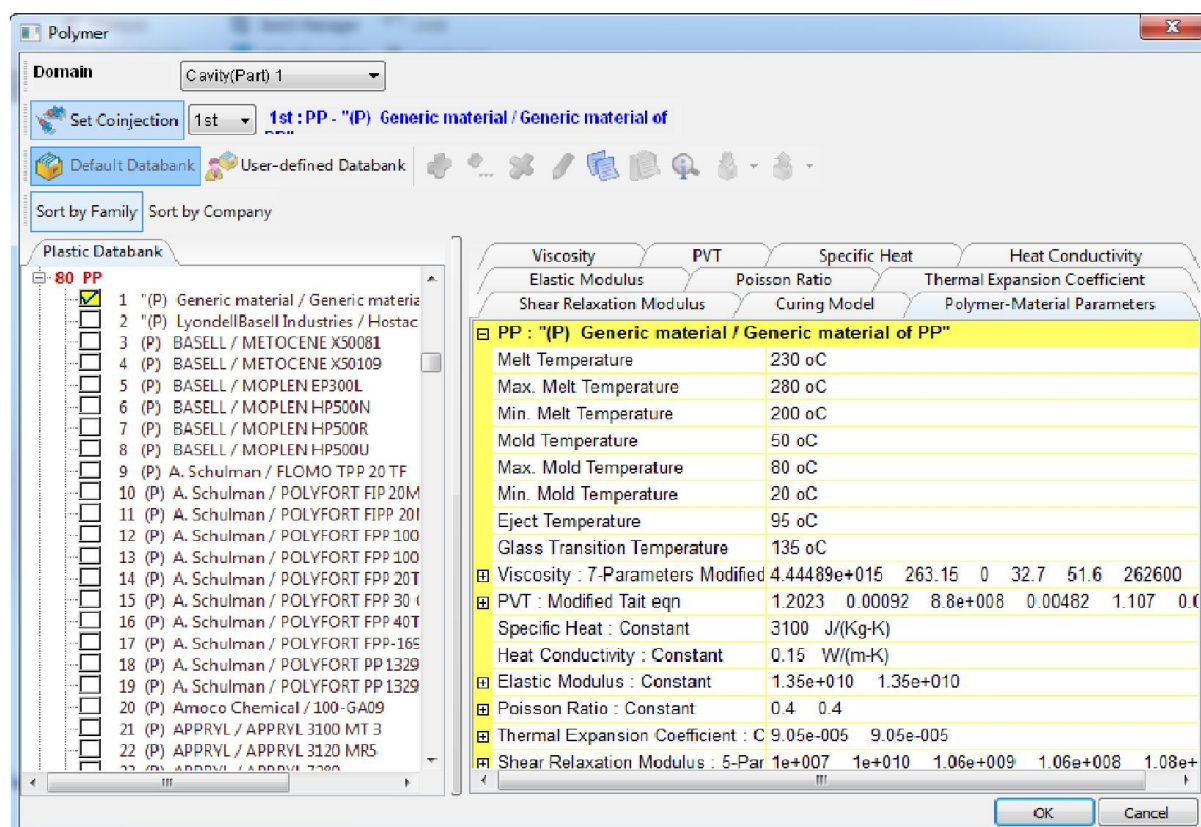
различите врсте полимера поређани по редним бројевима и где се могу видети њихови параметри (Слика 55.). Полимери који ће се користити за симулацију су полипропилен (PP) који се налази под редним бројем 80., полистирен (PS) који се налази под редним бројем 92., и поливинил – хлорид (PVC) који се налази под редним бројем 98., чији параметри се могу видети на сликама 56, 57, и 58. Након одабира жељеног полимера притисне се **OK** за потврду.



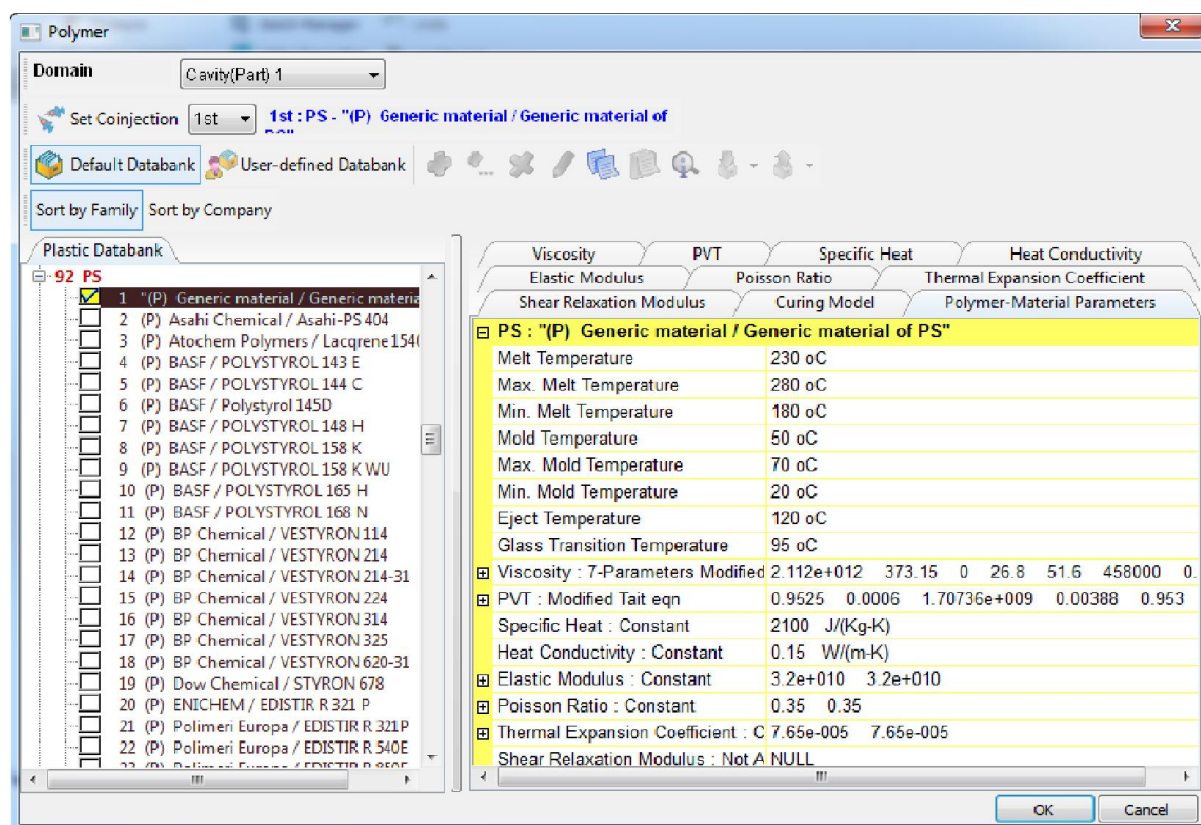
Слика 54. Картица за дефинисање материјала и места уливања



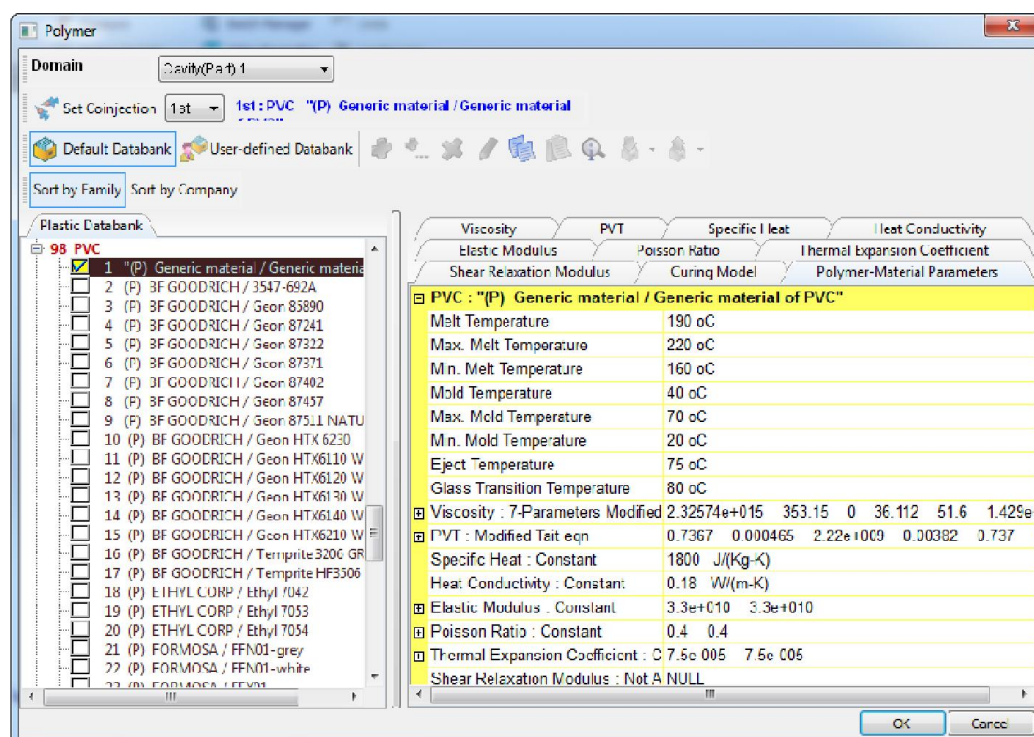
Слика 55. Врсте полимера поређани по редним бројевима



Слика 56. Полипропилен и његови параметри

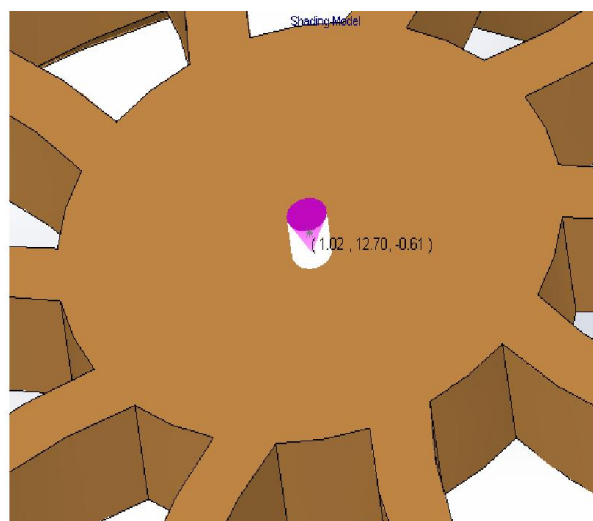
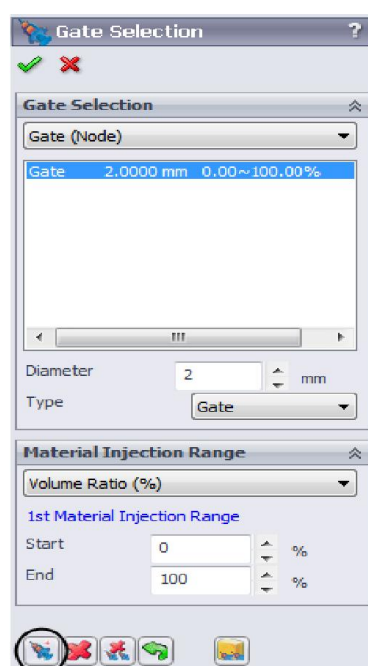


Слика 57. Полистирен и његови параметри



Слика 58. Поливинил – хлорид и његови параметри

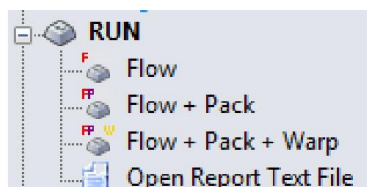
Након одабира полимера следеће што треба урадити јесте одредити место уливања, то се постиже покретањем опције **Gate Selection** при чему се отвара нова картица (Слика 59.). Затим је потребно поставити уливник (Слика 59.), који ће у овом случају бити у центру селектовањем тачке која је постављена након завршетка моделирања кућишта и кликом на **Add Gate** (заокружено поље на слици 59.).



Слика 59. Gate Selection и одабир места уливања

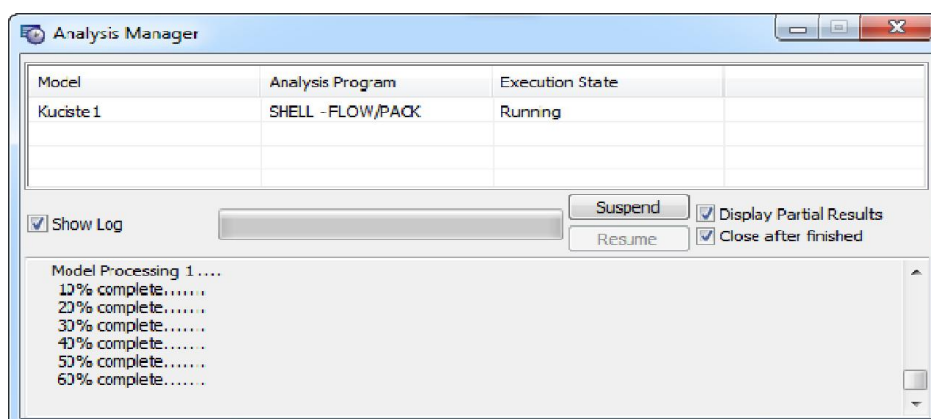
4.2.3. Покретање симулације

После дефинисања мреже, материјала и места уливања може се приступити покретању симулације помоћу картице приказане на *слици 53*, тако што се у делу **RUN** помоћу опције **Flow** покреће процес (*Слика 60*).



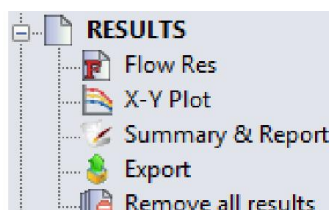
Слика 60. RUN – за покретање симулације

Покретањем процеса појављује се прозор **Analysis Manager** на којем се може видети трајање процеса које је приказано у процентима (*Слика 61*).



Слика 61. Analysis Manager

Резултати симулације се могу видети одмах након завршетка процеса, али уколико желимо да их погледам неки други пут то се може постићи преко групе **RESULTS** која се налази у картици на *слици 54*, и то покретањем опције **Flow Res** (*Слика 62*).

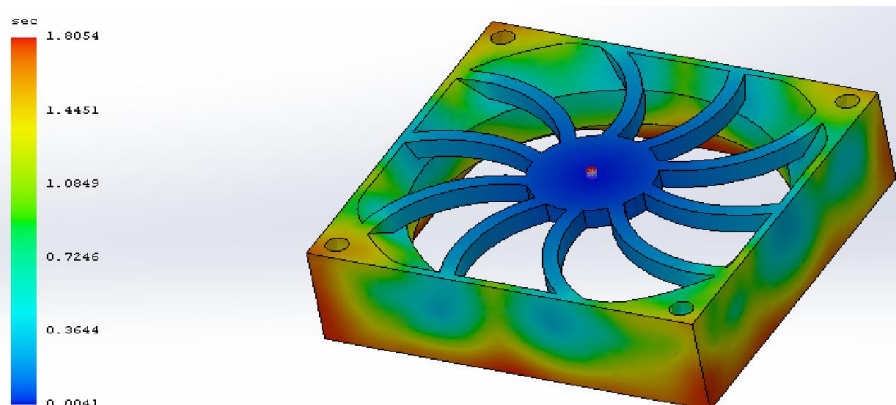


Слика 62. RESULTS – за сагледавање резултата процеса

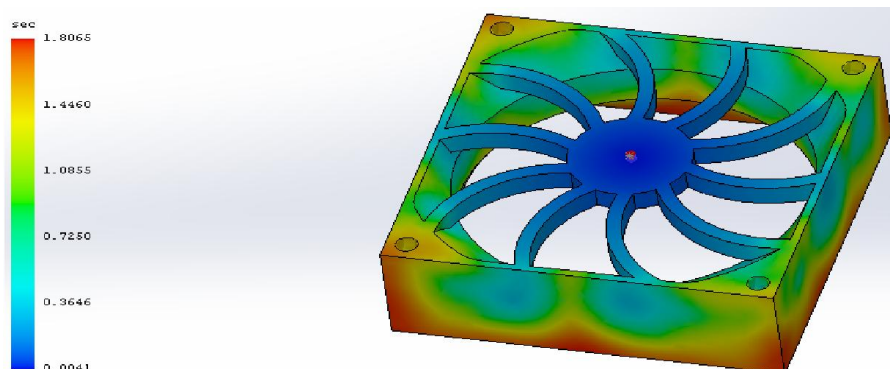
4.2.4. Резултати симулације и анализа резултата

4.2.4.1. Модел са мрежом једнаких троуглова

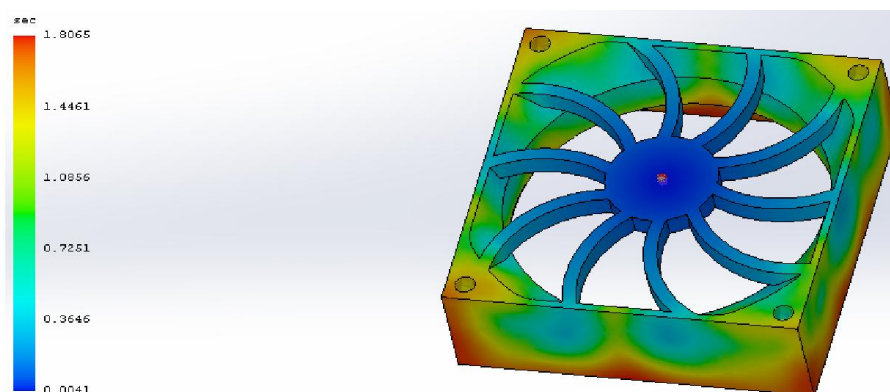
- ВРЕМЕ УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 63. Време убризгавања за PP

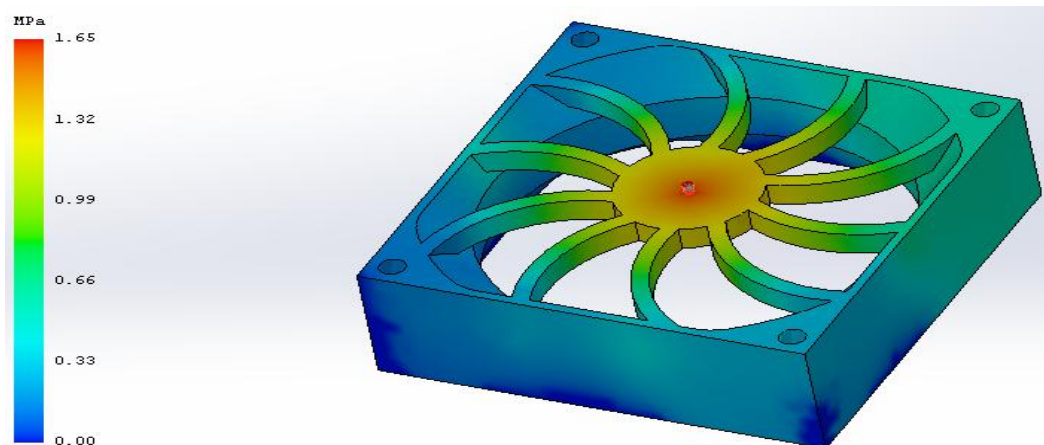


Слика 64. Време убризгавања за PS

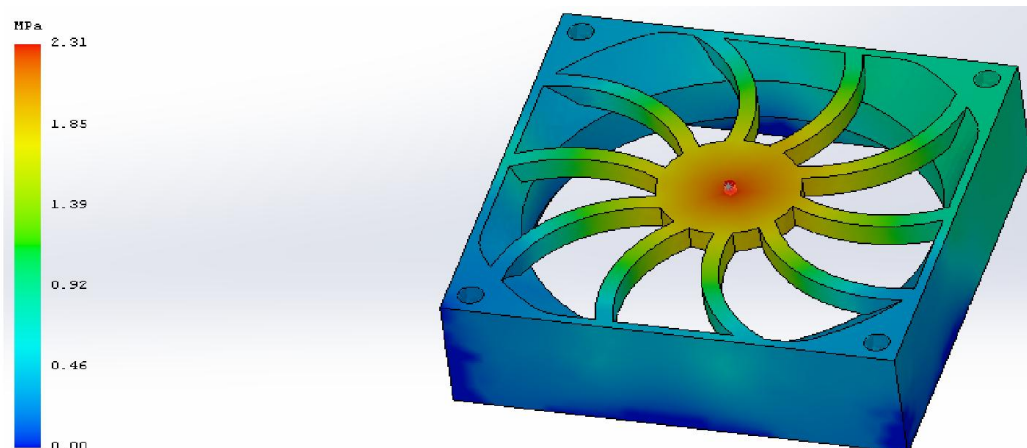


Слика 65. Време убризгавања за PVC

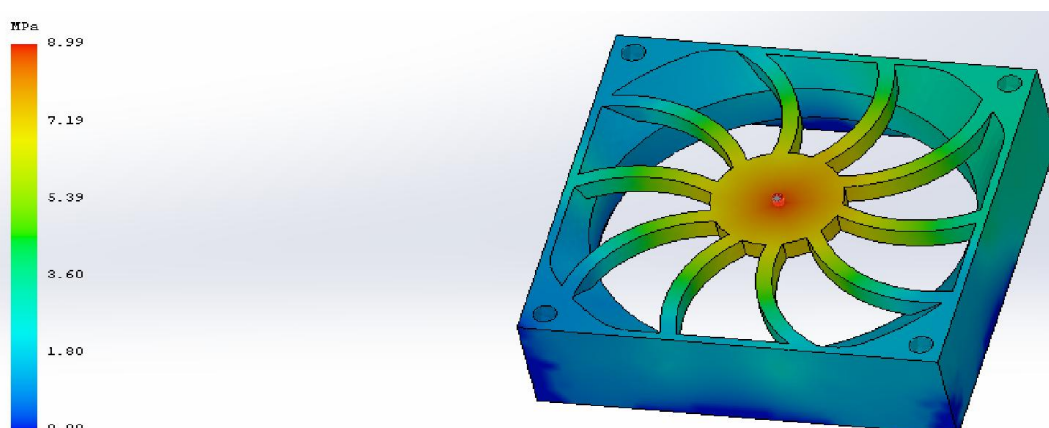
- ПРИТИСАК НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 66. Притисак након убризгавања за PP

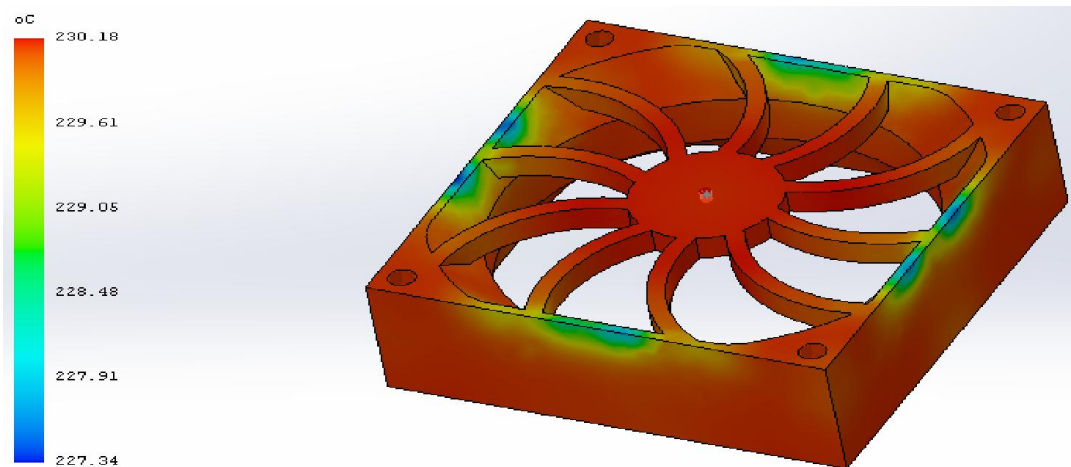


Слика 67. Притисак након убризгавања за PS

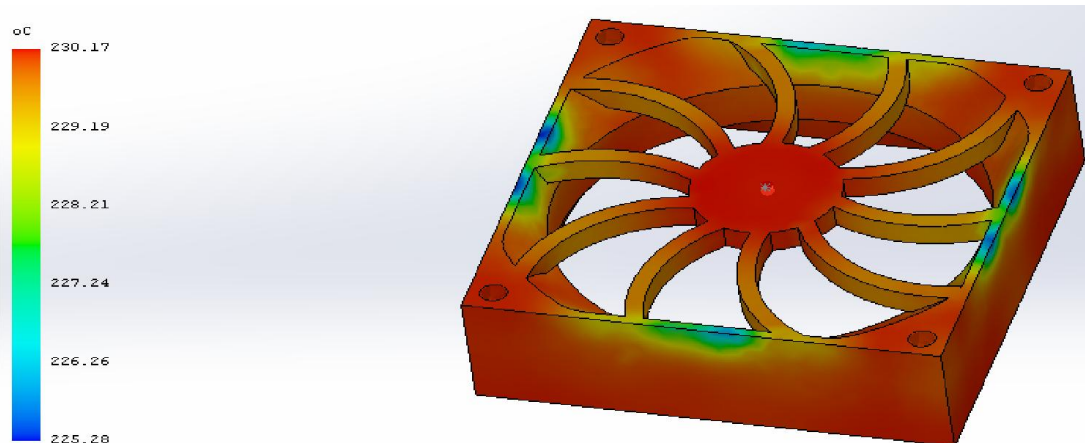


Слика 68. Притисак након убризгавања за PVC

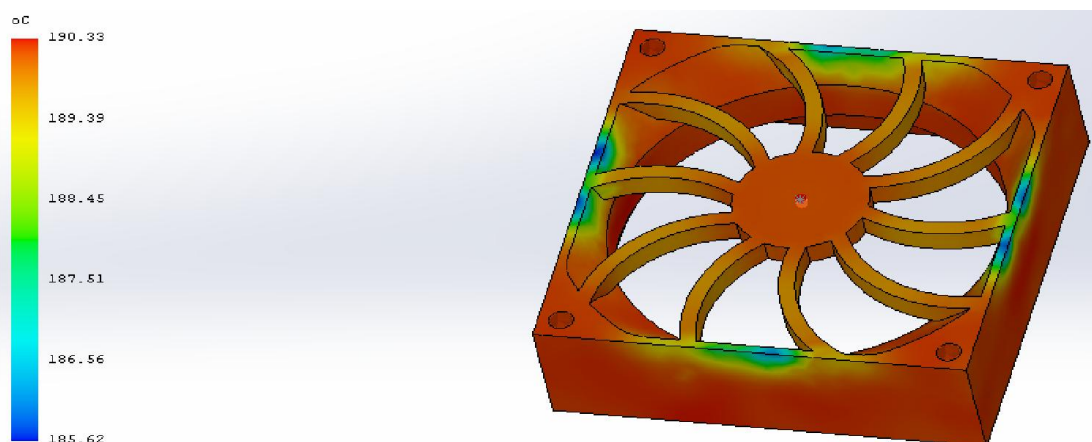
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 69. Температура након убризгавања за PP

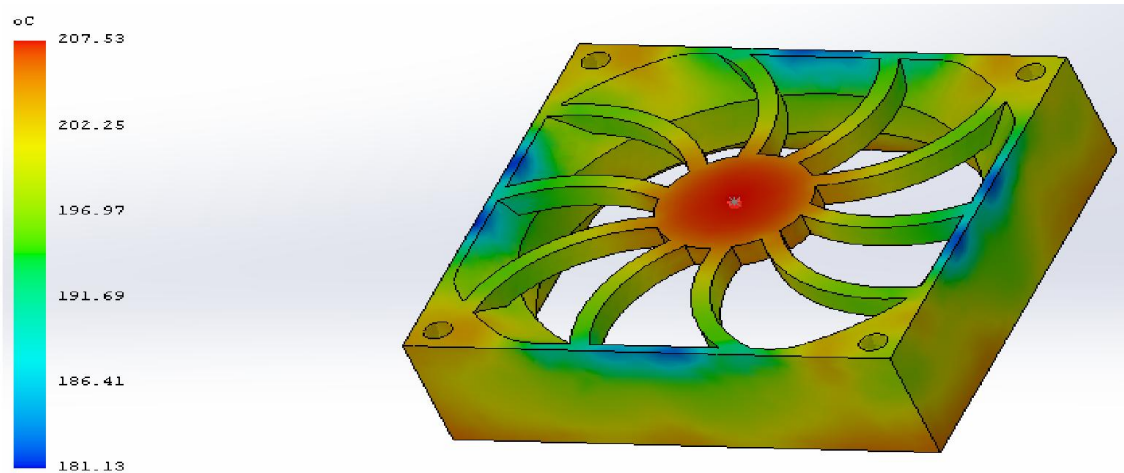


Слика 70. Температура након убризгавања за PS

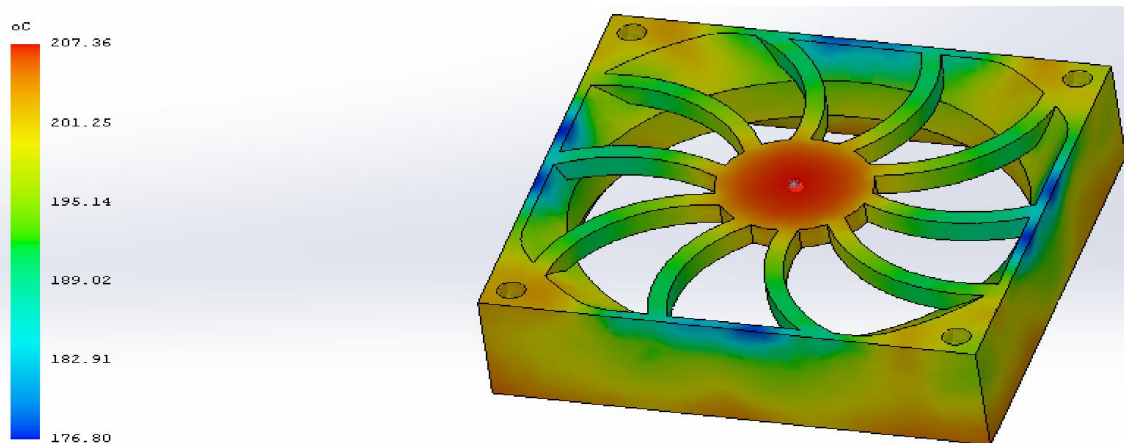


Слика 71. Температура након убризгавања за PVC

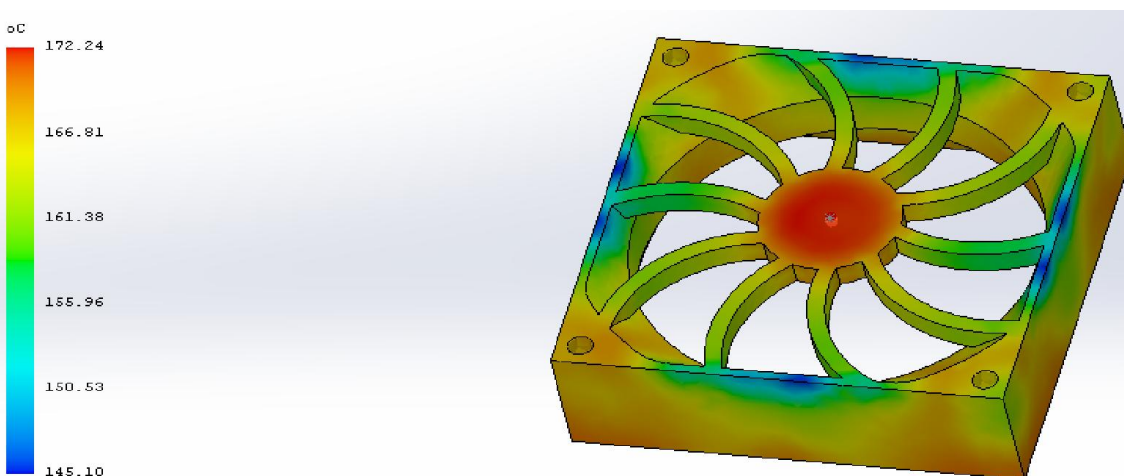
- СРЕДЊА ВРЕДНОСТ ТЕМПЕРАТУРЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 72. Средња вредност температуре након убризгавања за PP

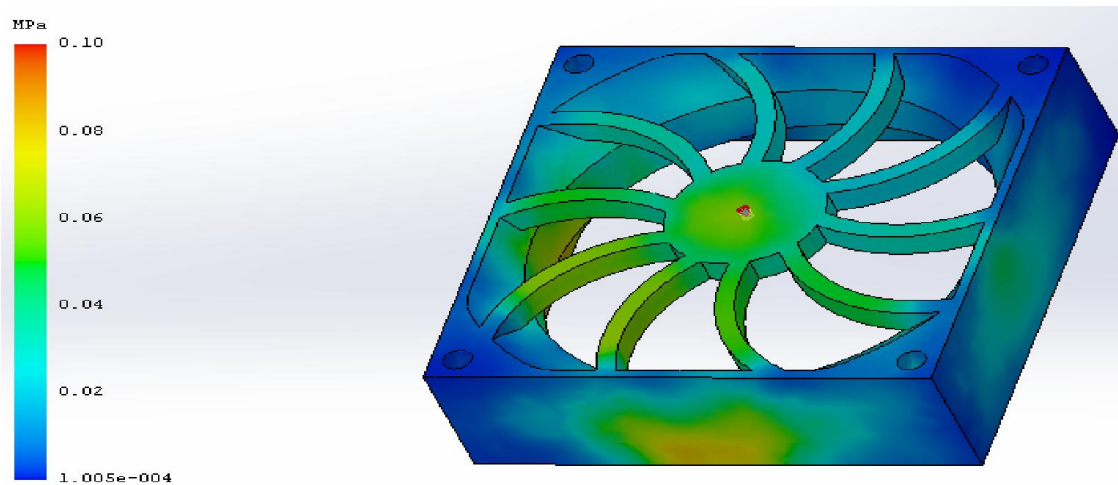


Слика 73. Средња вредност температуре након убризгавања за PS

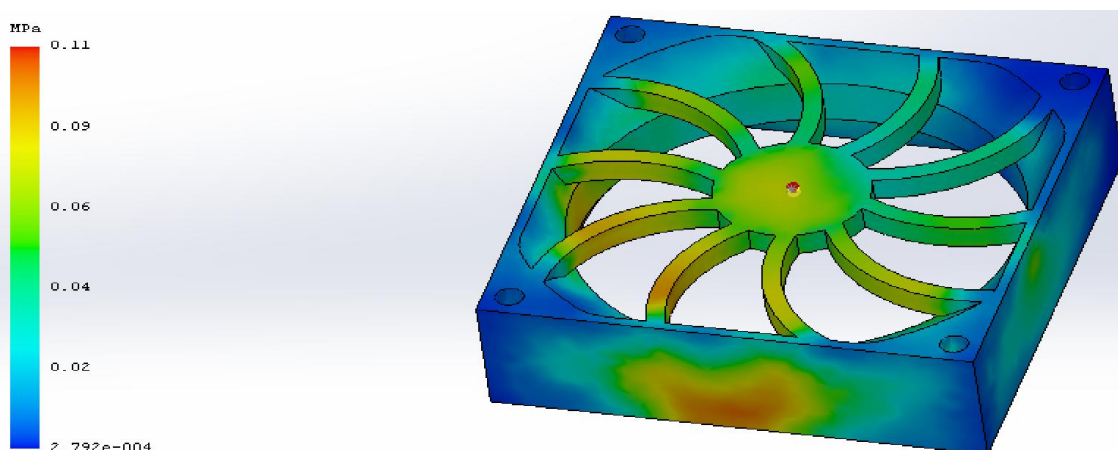


Слика 74. Средња вредност температуре након убризгавања за PVC

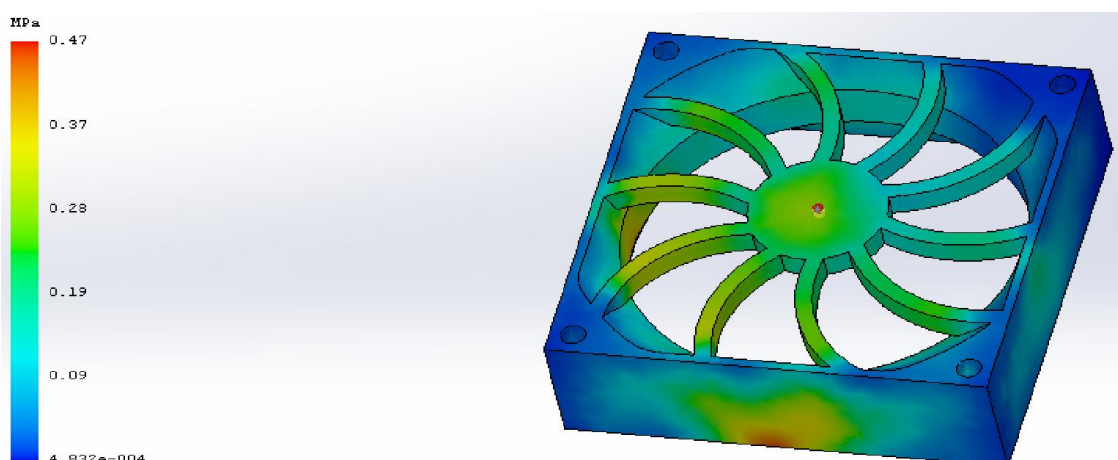
- НАПОН СМИЦАЊА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 75. Напон смицања након убризгавања за PP

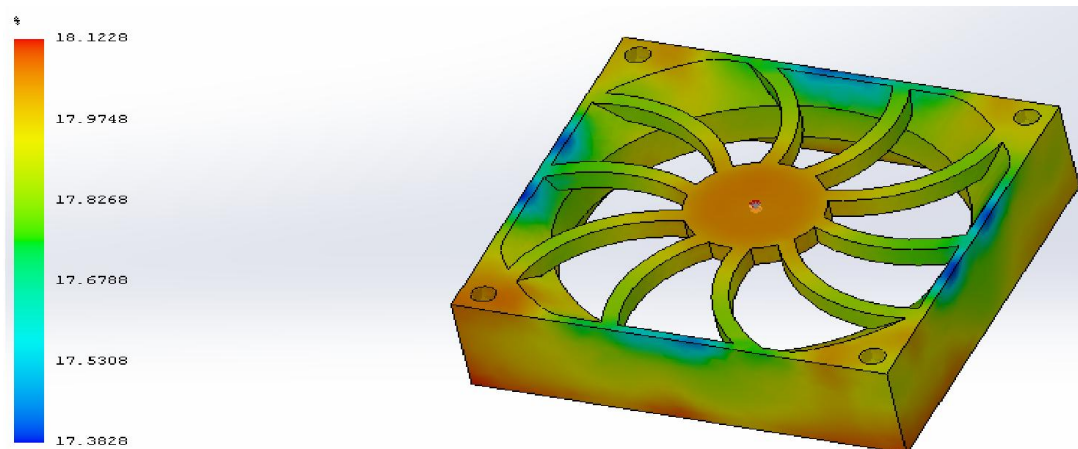


Слика 76. Напон смицања након убризгавања за PS

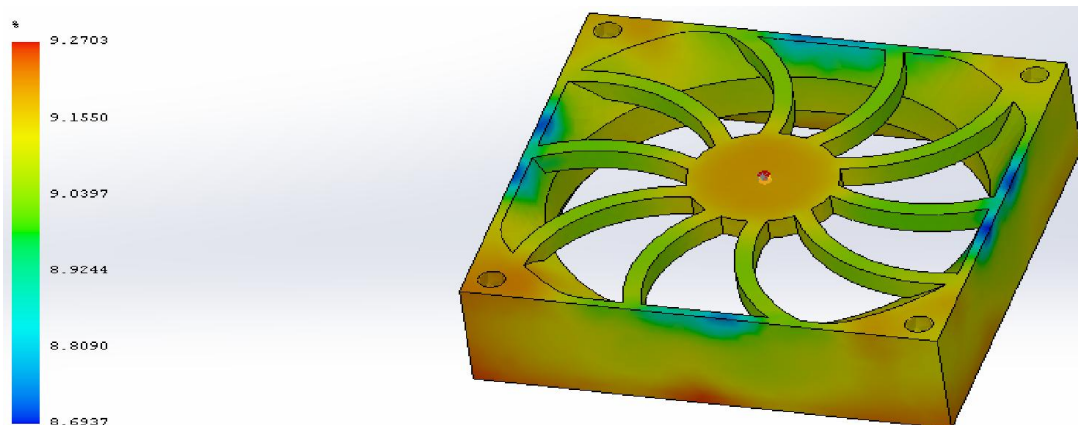


Слика 77. Напон смицања након убризгавања за PVC

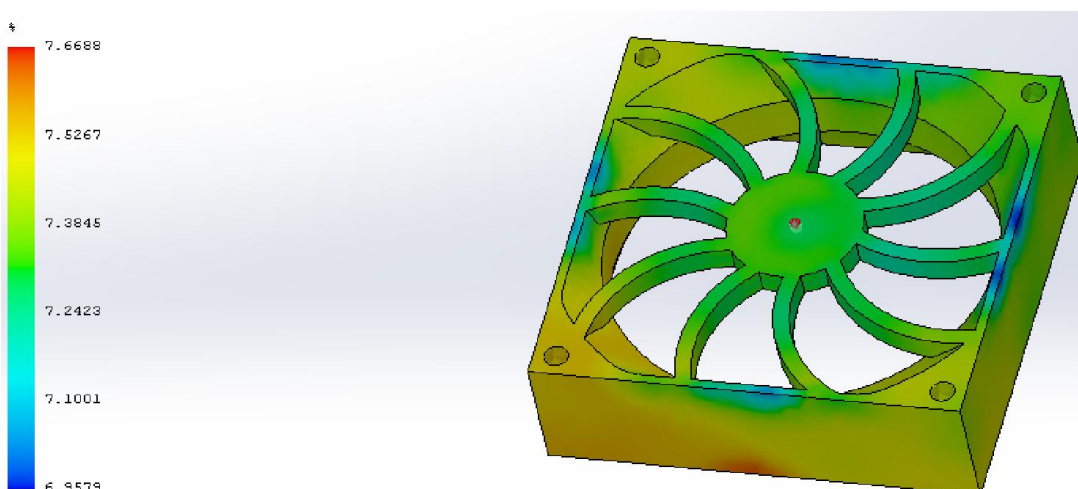
- СКУПЉАЊЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 78. Скупљање након убризгавања за PP

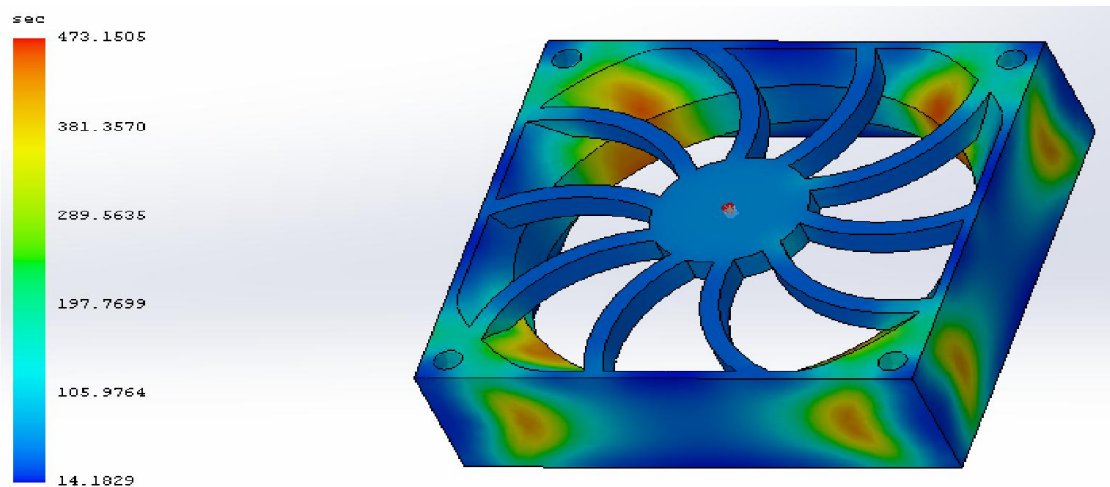


Слика 79. Скупљање након убризгавања за PS

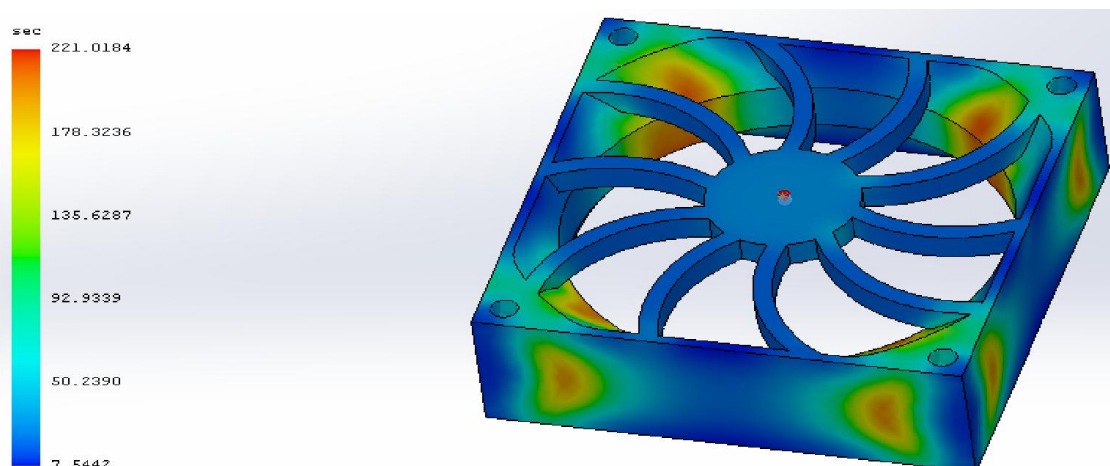


Слика 80. Скупљање након убризгавања за PVC

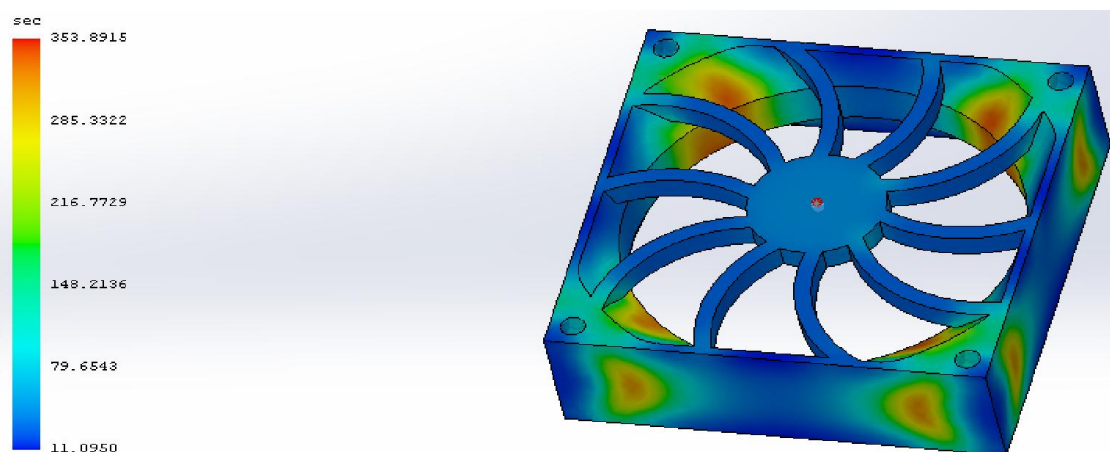
- ВРЕМЕ ХЛАЂЕЊА (PP, PS, PVC)



Слика 81. Време хлађења за PP

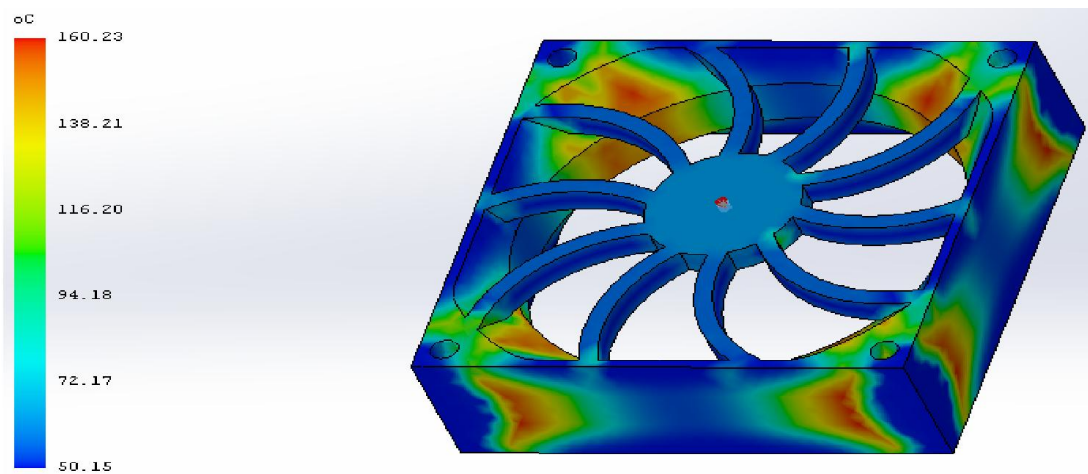


Слика 82. Време хлађења за PS

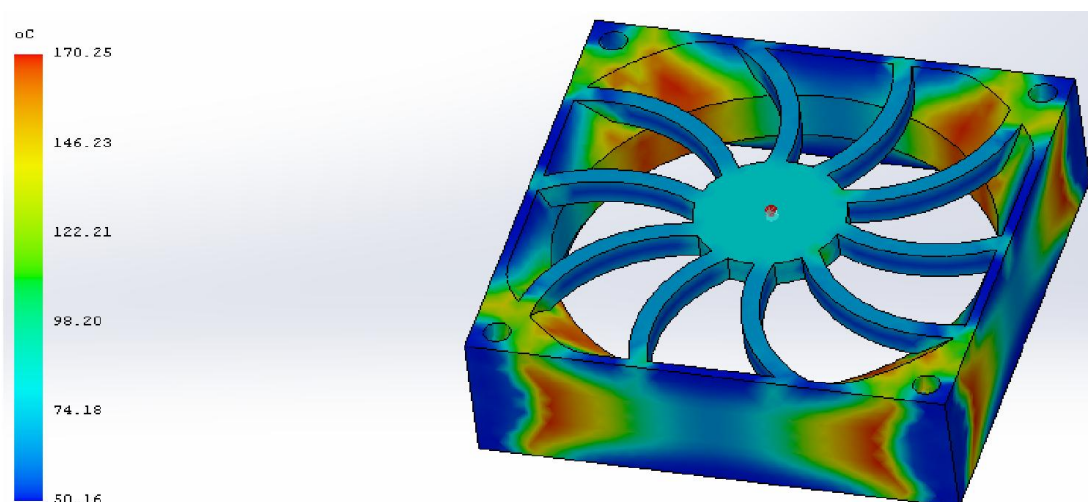


Слика 83. Време хлађења за PVC

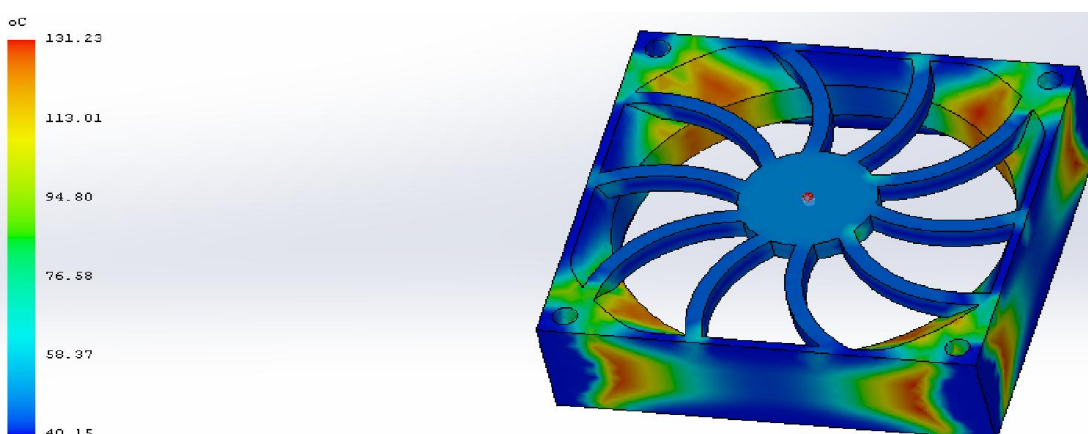
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН ХЛАЂЕЊА (PP, PS, PVC)



Слика 84. Температура након хлађења за PP



Слика 85. Температура након хлађења за PS



Слика 86. Температура након хлађења за PVC

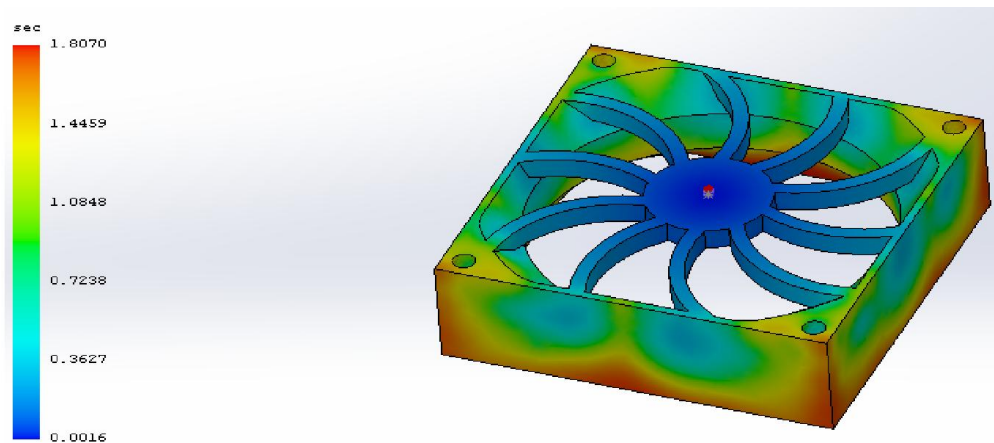
Табела 1. Резултати за модел са мрежом једнаких троуглова

	Полимер		
	PP - полипропилен	PS - полистирен	PVC – поливинил-хлорид
Време убризгавања	1.8054 s	1.8065 s	1.8065 s
Притисак након убризгавања	1.65 МПа	2.31 МПа	8.99 МПа
Температура након убризгавања	230.18 °C	230.17 °C	190.33 °C
Средња вредност температуре након убризгавања	207.53 °C	207.36 °C	172.24 °C
Напон смицања након убризгавања	0.10 МПа	0.11 МПа	0.47 МПа
Скупљање након убризгавања	18.1288 %	9.2703 %	7.6688 %
Време хлађења	473.1505 s	221.0184 s	353.8915 s
Температура након хлађења	160.23 °C	170.25 °C	131.23 °C

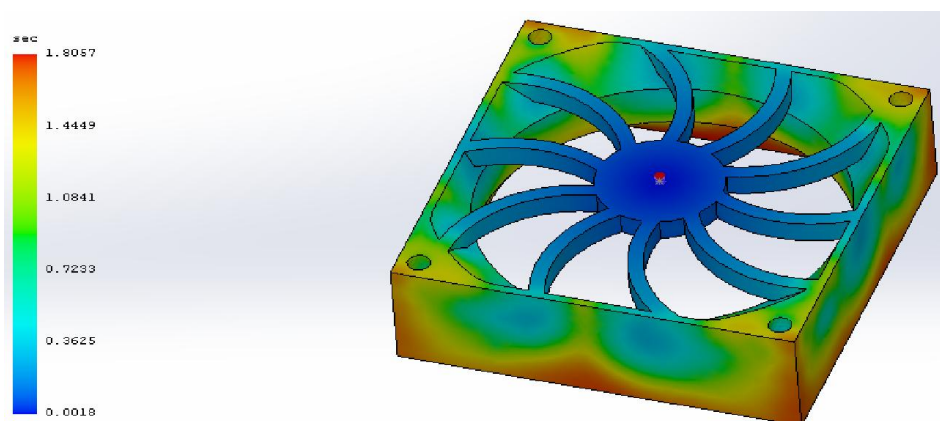
На основу добијених резултата за модел са мрежом једнаких троуглова приликом испитивања са полипропиленом, полистиреном и поливинил – хлоридом дошло се до закључка да полимер полистирен највише одговара за овај модел без обзира што полимер поливинил – хлорид има неколико вредности које су ниже од вредности полистирена, јер поливинил – хлорид има знатно већи притисак након убризгавања у односу на полистирен.

4.2.4.2. Модел са гушћом мрежом на горњој површини

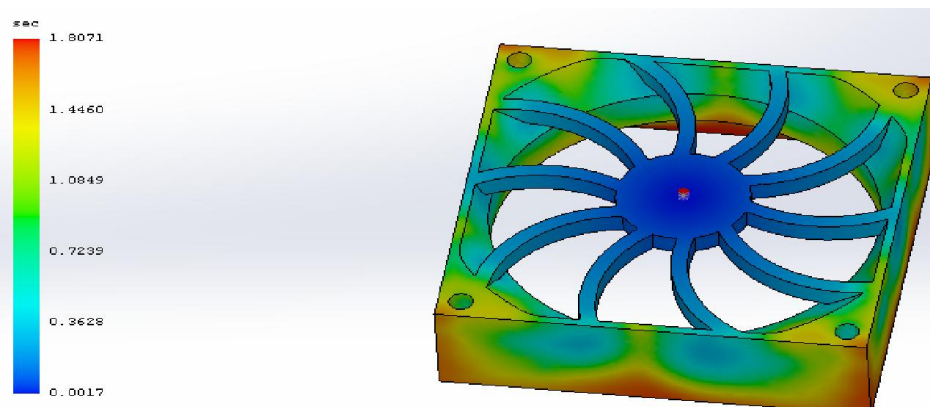
- ВРЕМЕ УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 87. Време убризгавања за PP

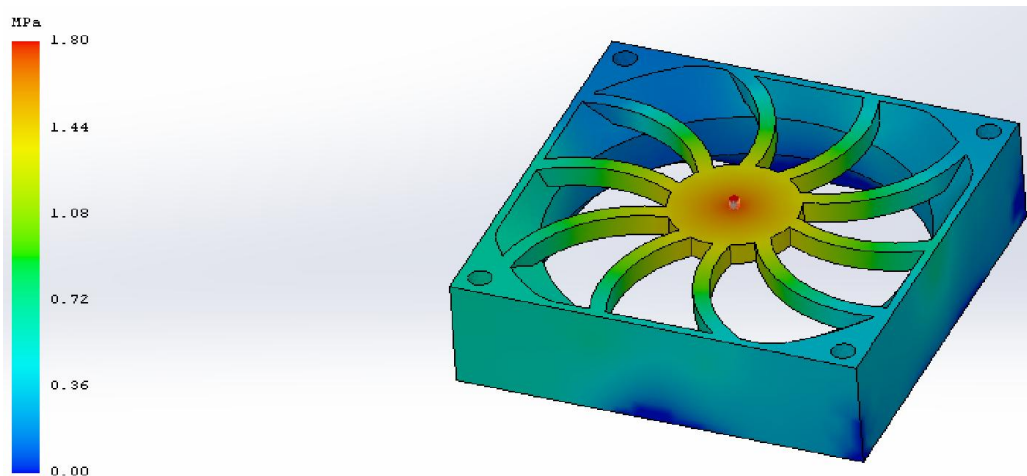


Слика 88. Време убризгавања за PS

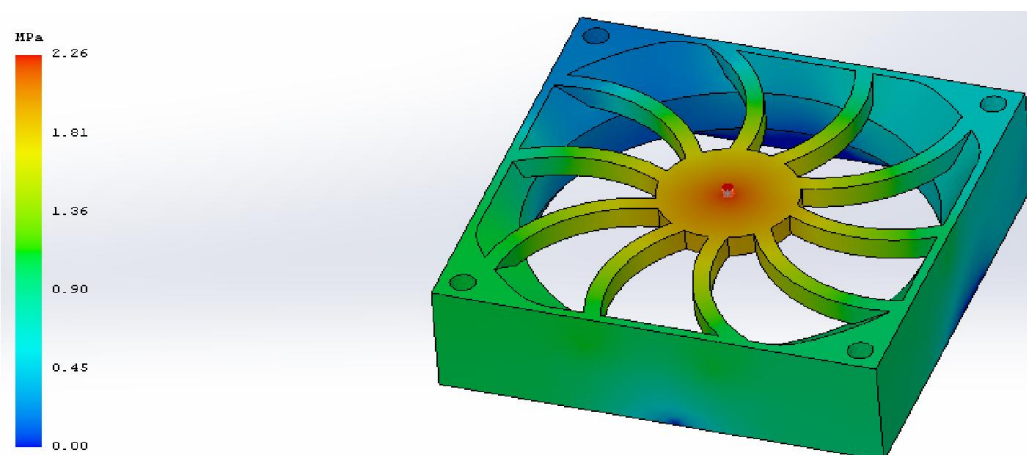


Слика 89. Време убризгавања за PVC

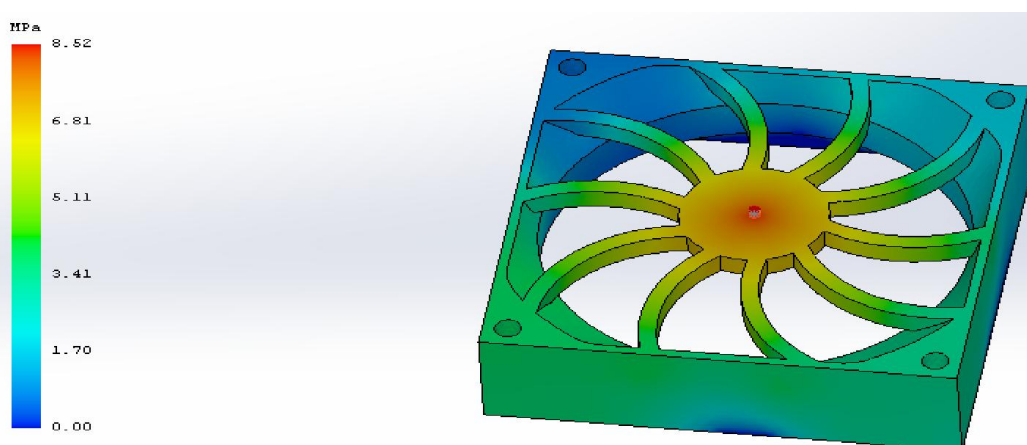
- ПРИТИСАК НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 90. Притисак након убризгавања за PP

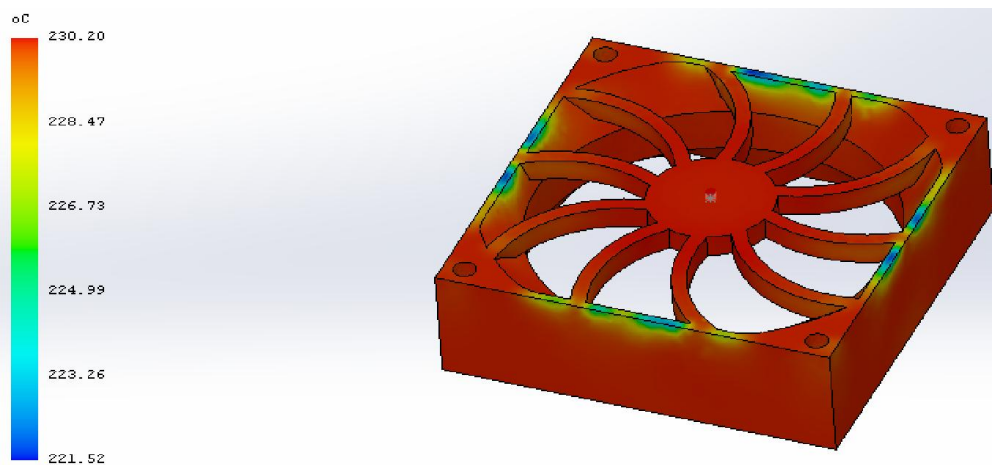


Слика 91. Притисак након убризгавања за PS

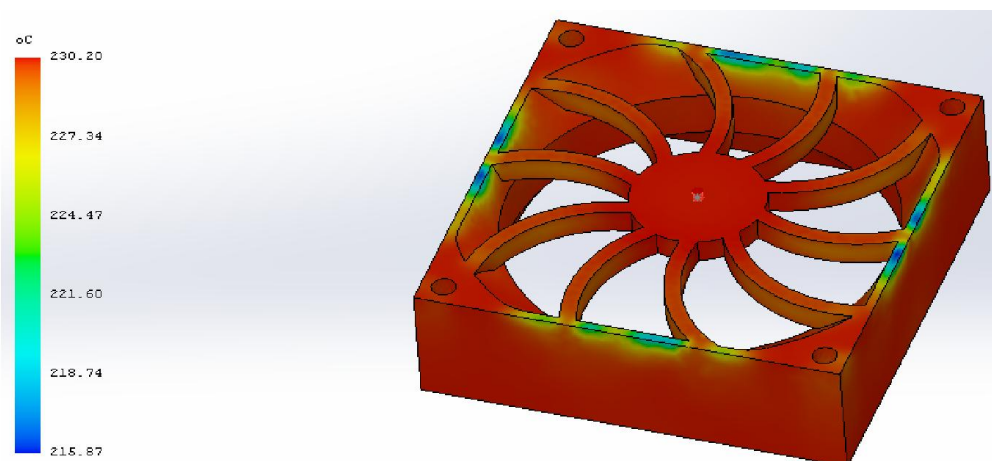


Слика 92. Притисак након убризгавања за PVC

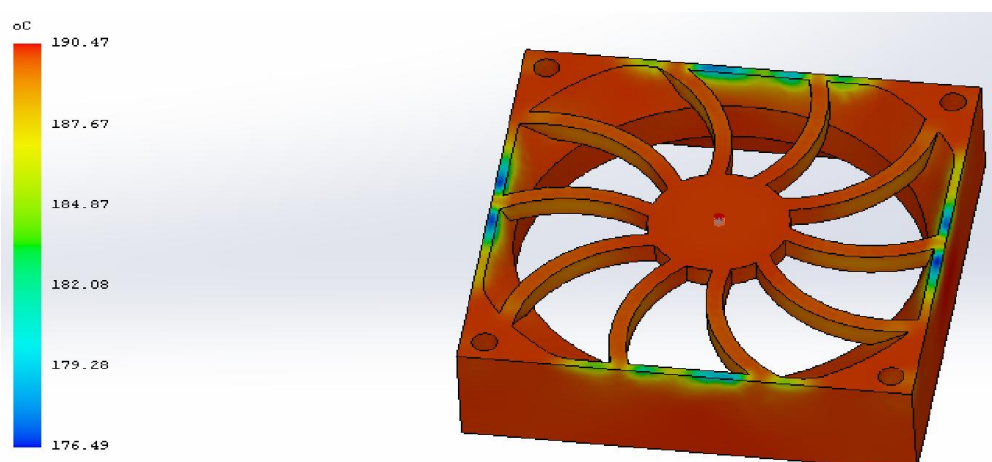
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 93. Температура након убризгавања за PP

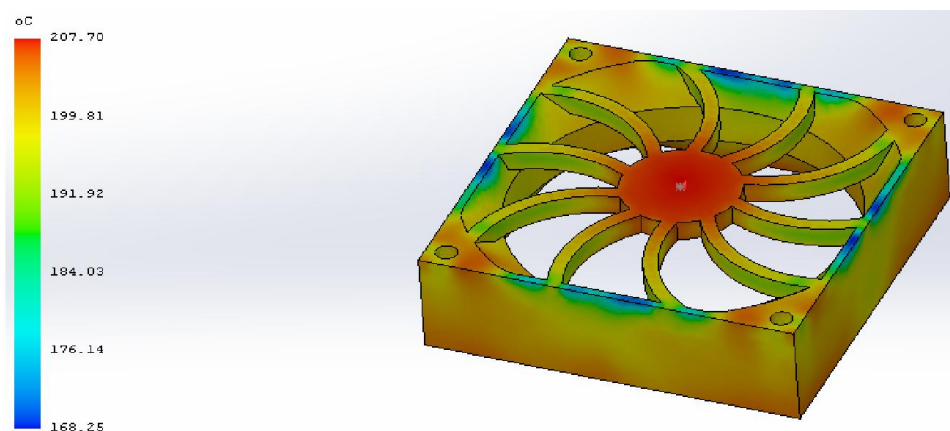


Слика 92. Температура након убризгавања за PS

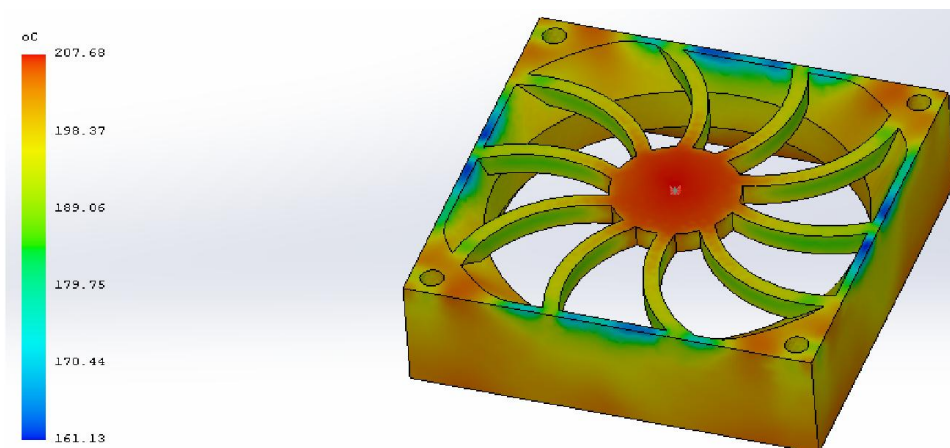


Слика 94. Температура након убризгавања за PVC

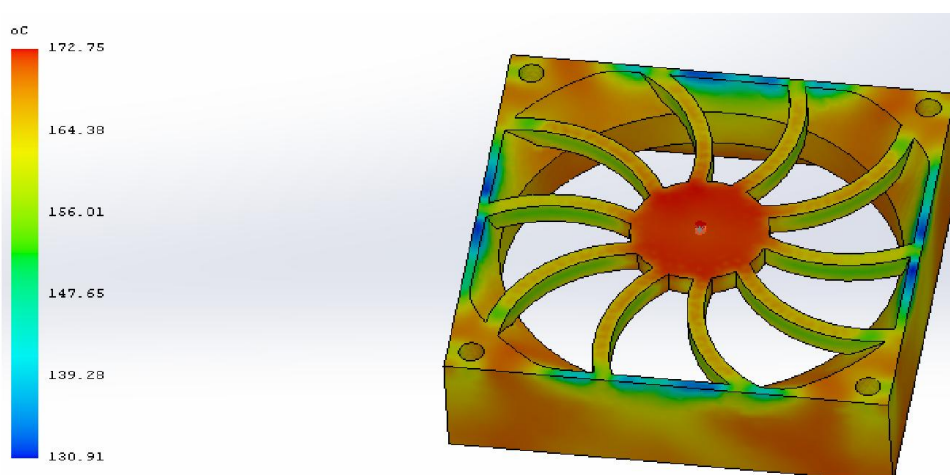
- СРЕДЊА ВРЕДНОСТ ТЕМПЕРАТУРЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 95. Средња вредност температуре након убризгавања за PP

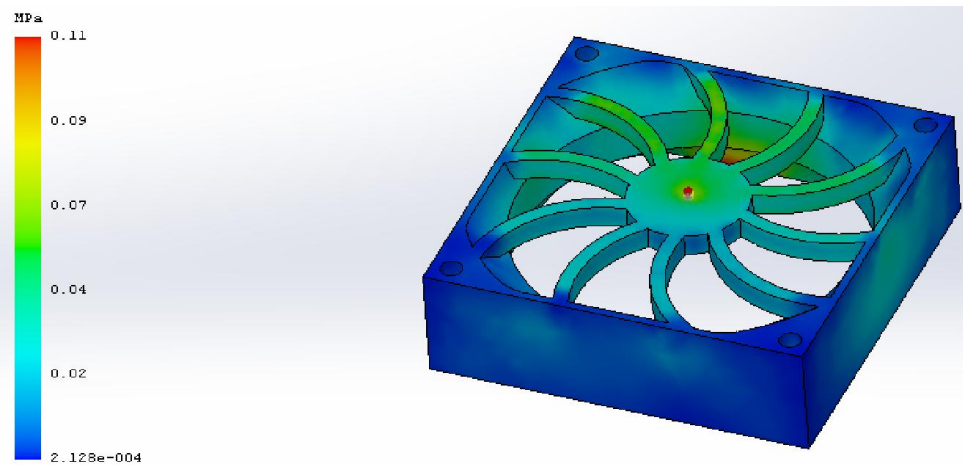


Слика 96. Средња вредност температуре након убризгавања за PS

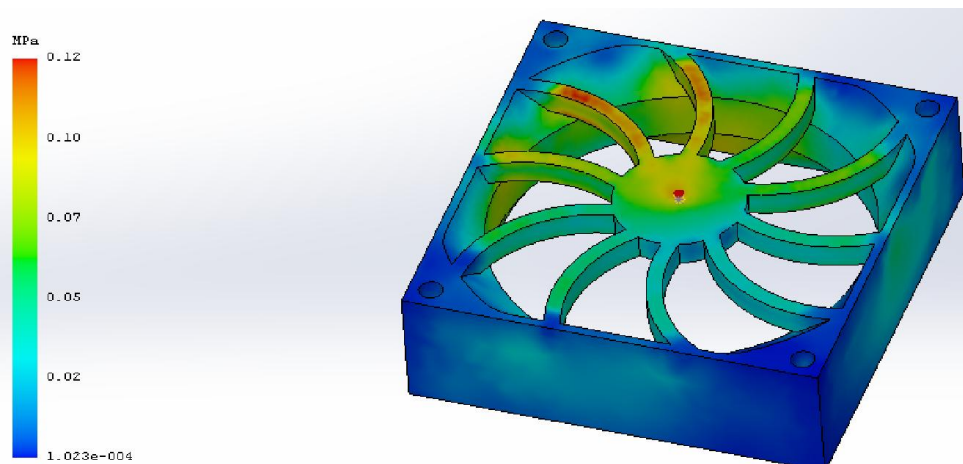


Слика 97. Средња вредност температуре након убризгавања за PVC

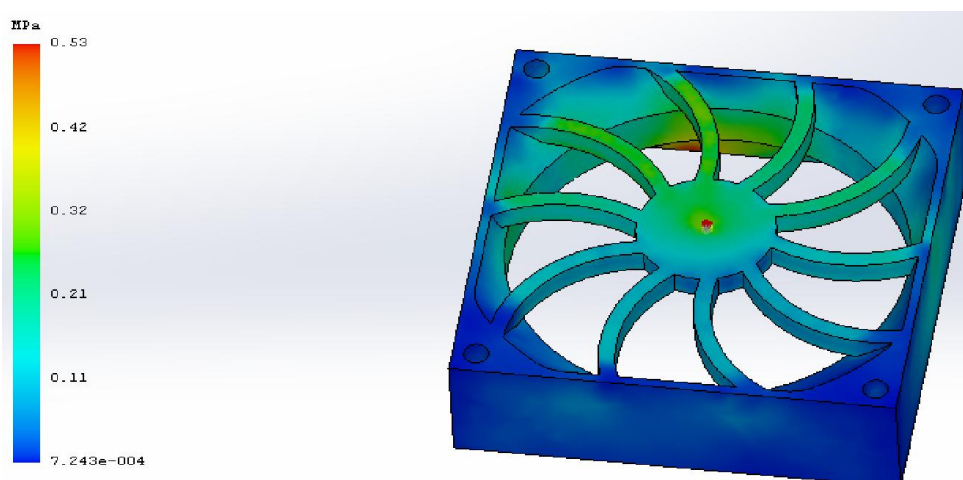
- НАПОН СМИЦАЊА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 98. Напон смицања након убризгавања за PP

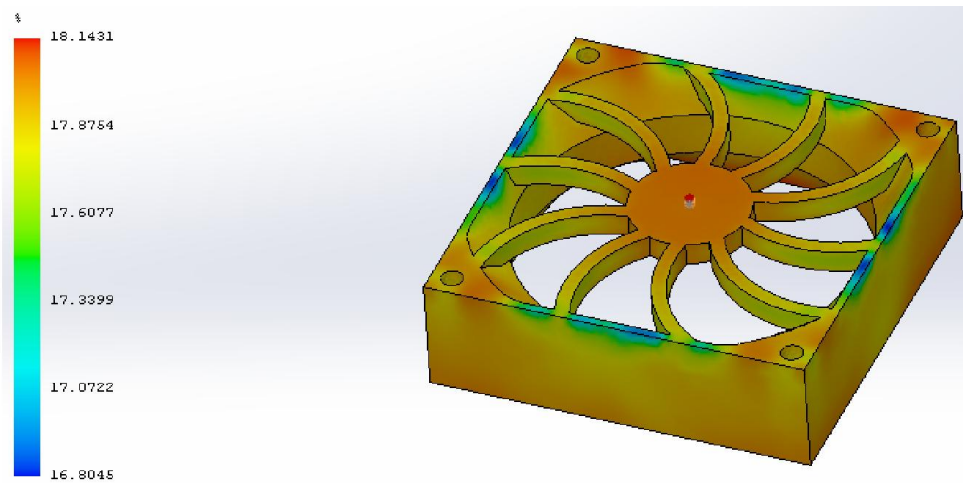


Слика 99. Напон смицања након убризгавања за PS

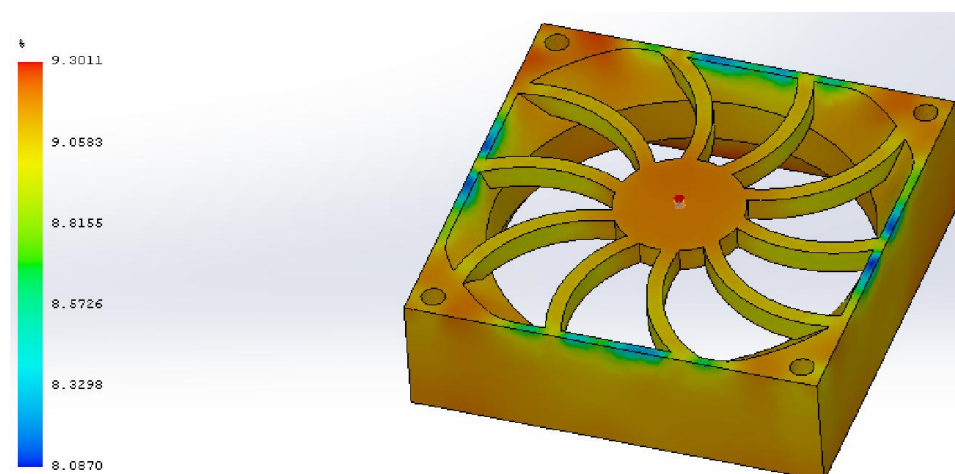


Слика 100. Напон смицања након убризгавања за PVC

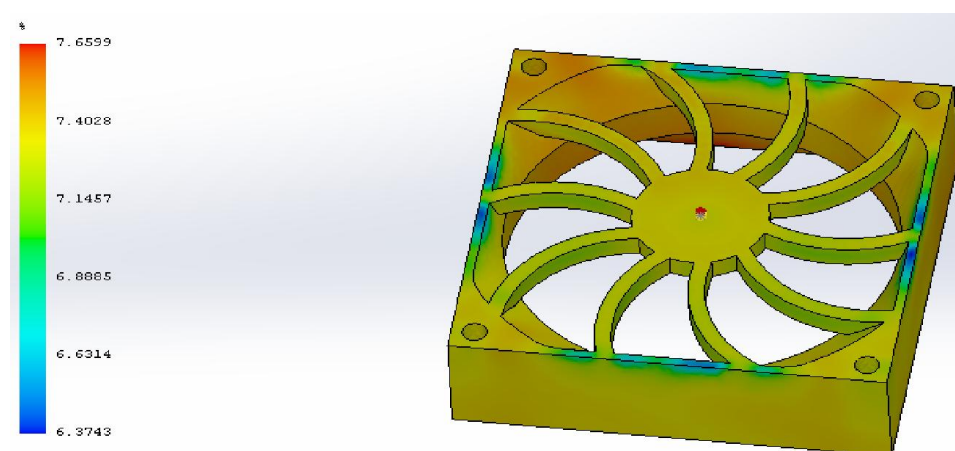
- СКУПЉАЊЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PP, PS, PVC)



Слика 101. Скупљање након убризгавања за PP

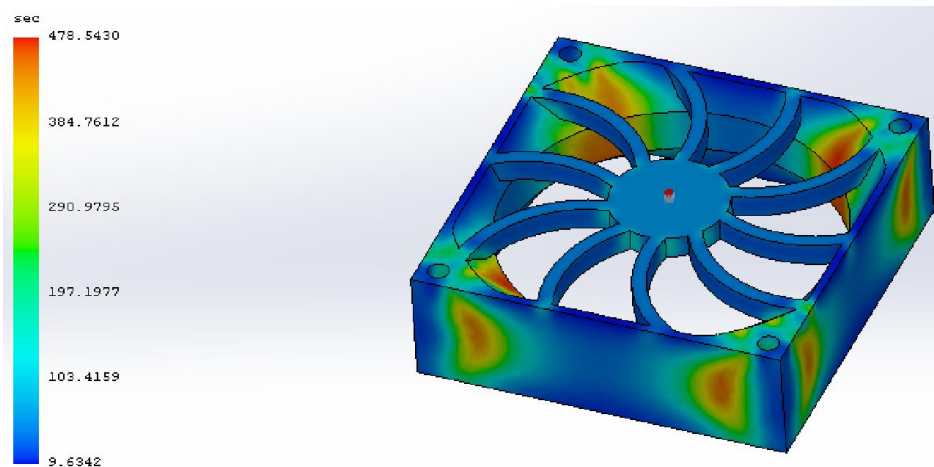


Слика 102. Скупљање након убризгавања за PS

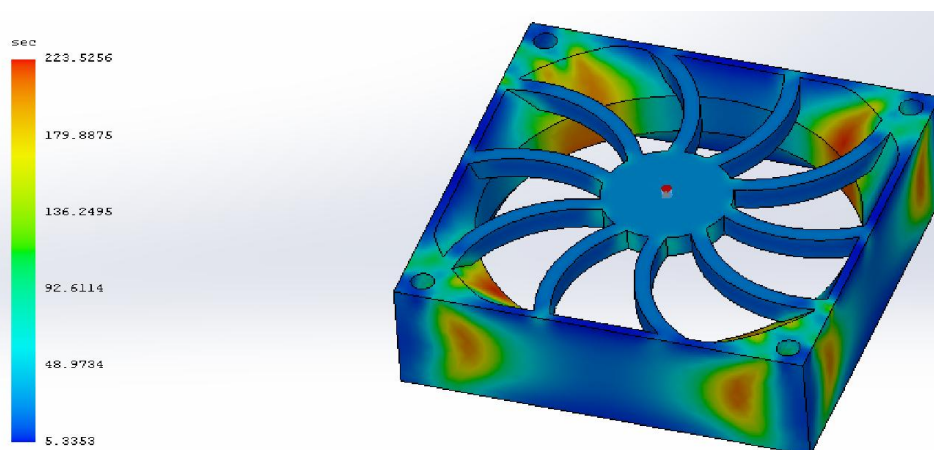


Слика 103. Скупљање након убризгавања за PVC

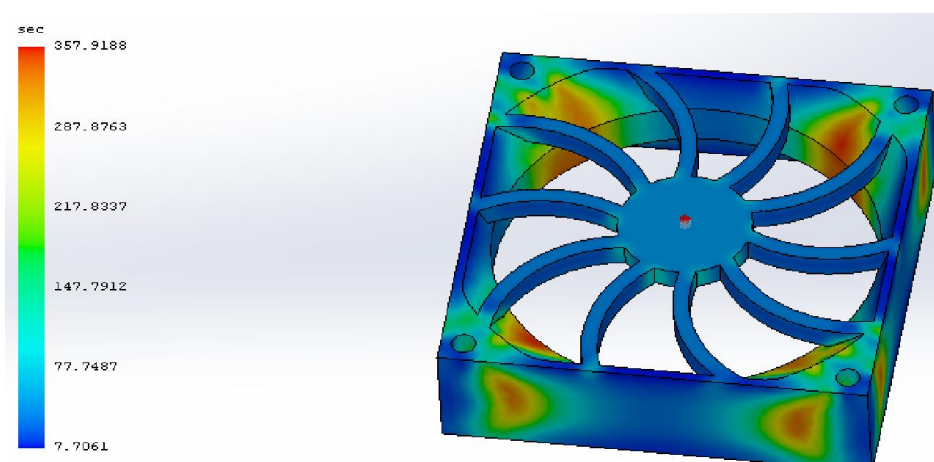
- ВРЕМЕ ХЛАЂЕЊА (PP, PS, PVC)



Слика 104. Време хлађења за PP

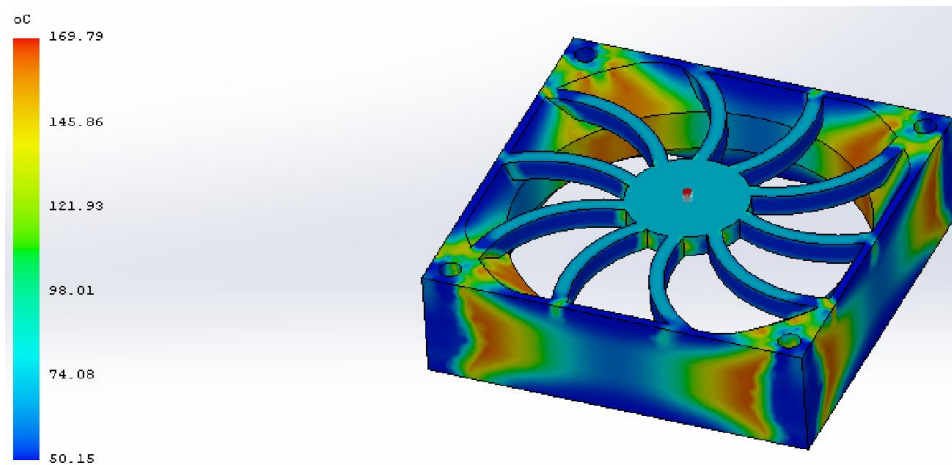


Слика 105. Време хлађења за PS

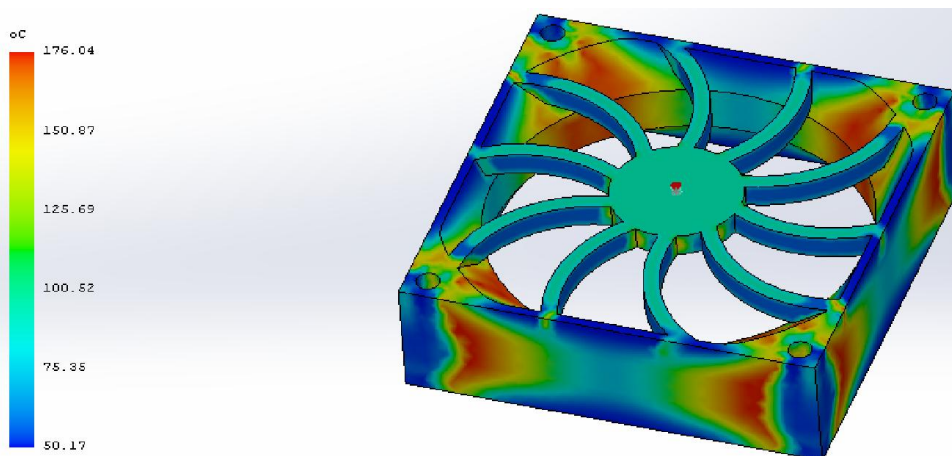


Слика 106. Време хлађења за PVC

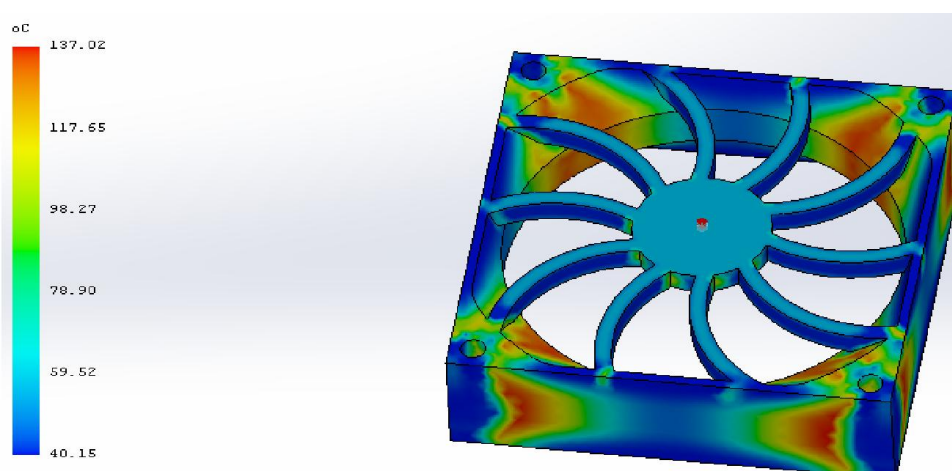
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН ХЛАЂЕЊА (PP, PS, PVC)



Слика 107. Температура након хлађења за PP



Слика 108. Температура након хлађења за PS



Слика 109. Температура након хлађења за PVC

Табела 2. Резултати за модел са гушћом мрежом на горњој површини

	Полимер		
	PP – полипропилен	PS – полистирен	PVC – поливинил-хлорид
Време убризгавања	1.8070 s	1.8051 s	1.8071 s
Притисак након убризгавања	1.80 МПа	2.26 МПа	8.52 МПа
Температура након убризгавања	230.20 °C	230.20 °C	190.47 °C
Средња вредност температуре након убризгавања	207.70 °C	207.68 °C	172.65 °C
Напон смицања након убризгавања	0.11 МПа	0.12 МПа	0.53 МПа
Скупљање након убризгавања	18.1431 %	9.3011 %	7.6599 %
Време хлађења	478.5430 s	223.5256 s	357.9188 s
Температура након хлађења	169.79 °C	176.04 °C	137.02 °C

На основу резултата добијених за модел са гушћом мрежом дошло се до закључка да су се вредности на неким местима повећале а на неким смањиле у малим вредностима, што значи да су резултати слични као и у претходном анализирању. Тако да овом моделу највише одговара полимер полистирен.

Након овог испитивања може се рећи да примена различитих мрежа у овом сличају не утичу много на добијене вредности ове две анализе.

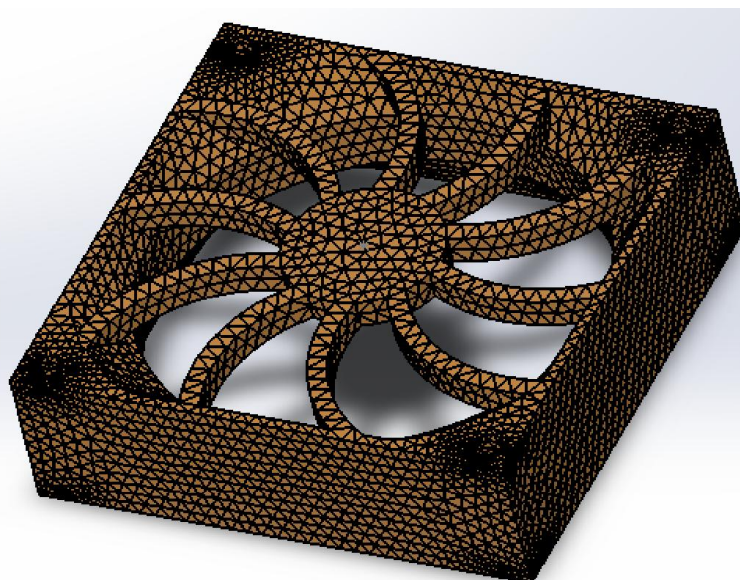
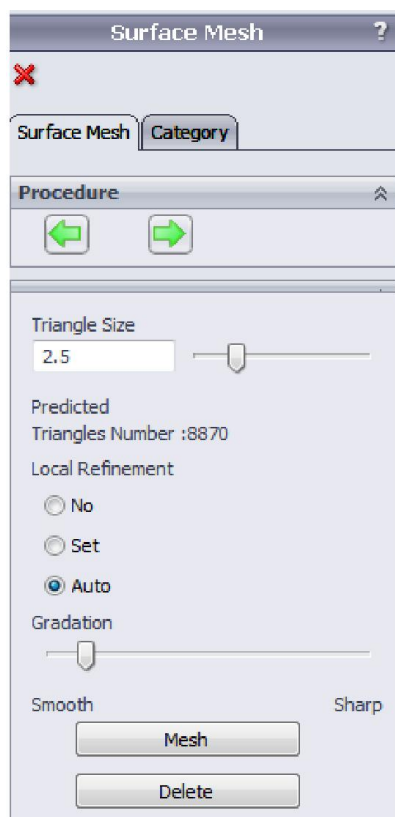
4.3. Симулација убризгавања полистирена са променом температурних параметара

За симулацију се користи претходно моделиран модел, мрежа је дефинисана аутоматски, а температурни параметри као што су: температура топљења (**Melt Temperature**), температура калупа (**Mold Temperature**), температура приликом убризгавања пластике (**Eject Temperature**) итд. биће увећане за 50 °C и 100 °C.

Поступак се изводи тако што се врши упоређивање вредности добијених од стандардних параметара, параметара увећаних за 50 °C, и параметара увећаних за 100 °C.

4.3.1. Дефинисање мреже

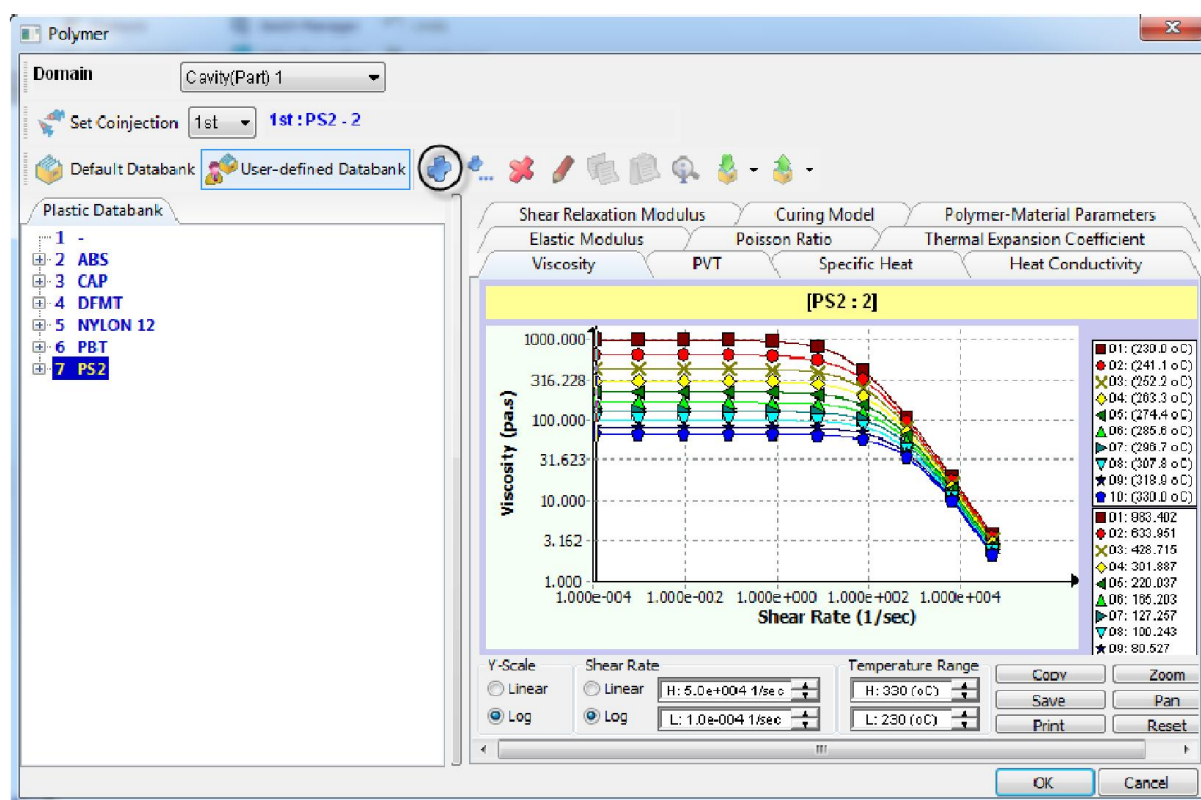
Дефинисање мреже је исто као и у претходној симулацији само што се овај пут код опције **Local Refinement** бира опција **Auto** и подешава се да величина троуглова буде 2.5 mm (Слика 110.).



Слика 110. Дефинисање аутоматске мреже

4.3.2. Дефинисање материјала и места уливања

Дефинисање материјала и места уливања (Слика 55. И 59.) је такође исто као и у претходној симулацији. Покреће се опција **Polymer** у картици на слици 54 и затим бира полистирен који је под редним бројем 92., где се могу видети његови стандардни температурни параметри (Слика 57.). За промену температурних параметара потребно је додати два нова полимера, а то се постиже тако што се опет покрене опција **Polymer**, па затим кликом на **User-defined Data** пружа се моћућност за креирање новог полимера. Помоћу опције **Add Product** (плави крстић слика 111.) отвара се нови прозор у коме се уписују нове температурне вредности (Слика 112.) док код осталих параметара као што су: **Viscosity**, **Conductivity**, **Specific Heat**, **Visco Elastic**, **Poisson Ratio** итд. Се уписују стандардне вредности полистирена, а овај полимер називамо **PS2**. За додавање другог полимера поступак је једноставнији потребно је десним кликом на додати полимер **PS2** покренути опцију **Edit** и изменити температурне параметре и преименити у **PS3** (слика 113.).



Слика 111. Додавање новог полимера

Polymer Product Manager

Polymer Material : PS2 Polymer Product : PS2

Melt Temperature: 280 °C
Max. 330
Min. 230

Mold Temperature: 100 °C
Max. 120
Min. 70

Part Ejection Temperature: 170 °C

CGS SI

Curing Model No-Flow Temperature Melt Flow Rate Index Fibers Others Viscoelastic
Shear Relaxation Modulus Thermal Expansion Coefficient Young Modulus Poisson Ratio
Glass Transition Temperature Specific Heat Conductivity Viscosity PVT

1 : Const. temp

145 °C

OK Cancel

Слика 112. Промена температурних параметара (PS2)

Polymer Product Manager

Polymer Material : PS2 Polymer Product : PS3

Melt Temperature: 330 °C
Max. 380
Min. 280

Mold Temperature: 150 °C
Max. 170
Min. 120

Part Ejection Temperature: 220 °C

CGS SI

Curing Model No-Flow Temperature Melt Flow Rate Index Fibers Others Viscoelastic
Shear Relaxation Modulus Thermal Expansion Coefficient Young Modulus Poisson Ratio
Glass Transition Temperature Specific Heat Conductivity Viscosity PVT

1 : Const. temp

145 °C

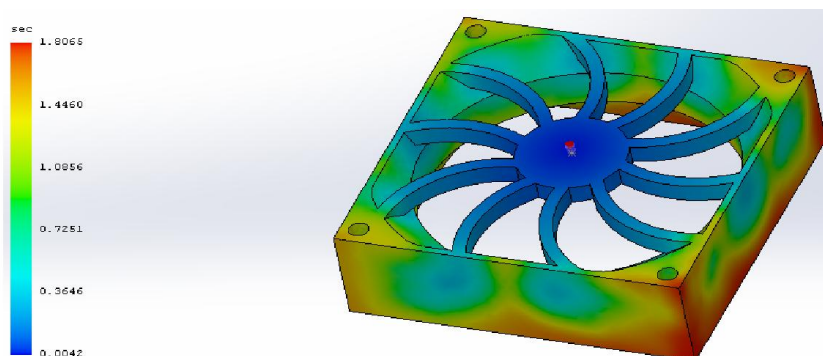
OK Cancel

Слика 113. Промена температурних параметара већ додатог полимера и његово примењавање у PS3.

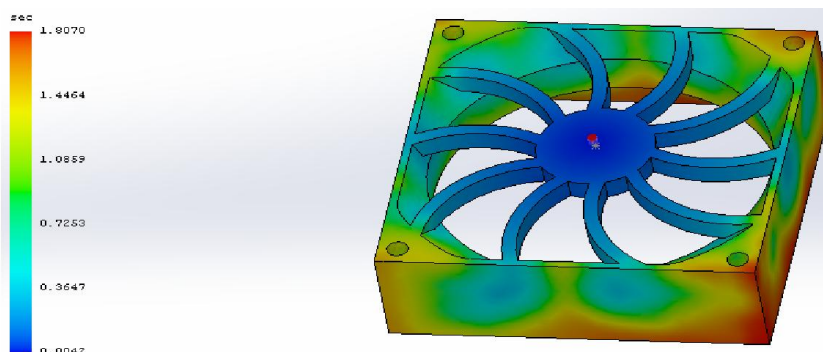
4.3.3. Покретање и резултати симулације и анализа резултата

Покретање симулације је такође исто као и у претходној симулацији тако што се у групи **RUN** покрене опција **Flow** (Слика 60.), а резултати се могу видети након завршетка **Analysis Manager**-а (Слика 61.) или помоћу групе **RESULTS** покретањем опције **Flow Res** (Слика 62.).

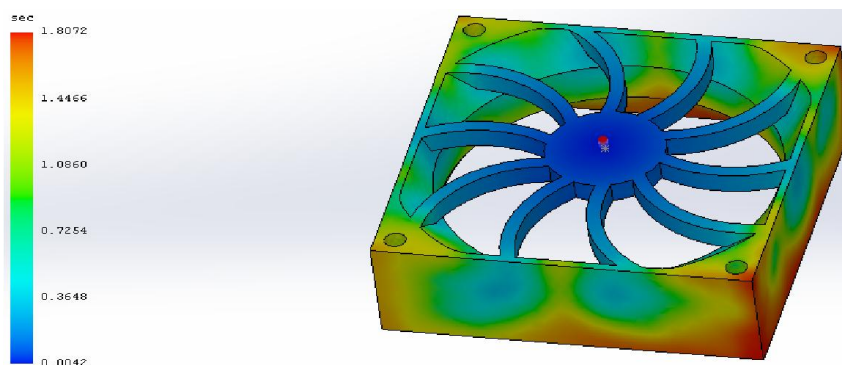
- **ВРЕМЕ УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)**



Слика 114. Време убризгавања за PS

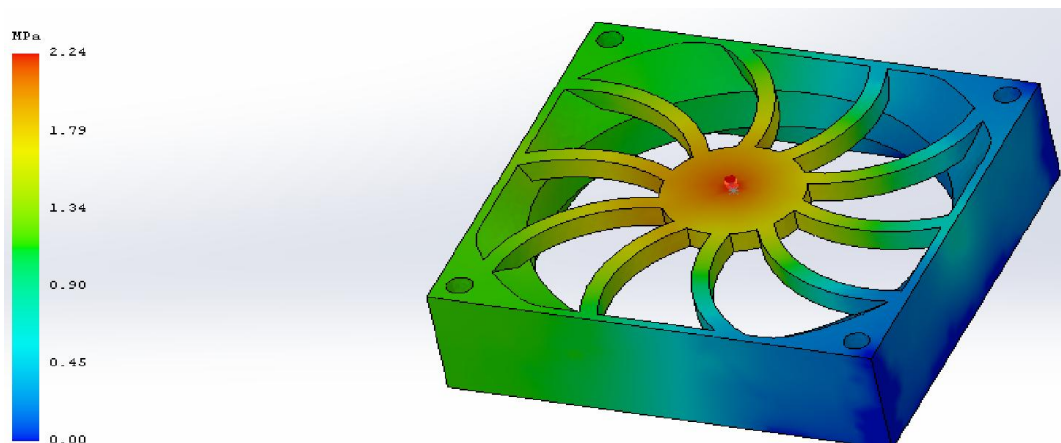


Слика 115. Време убризгавања за PS2

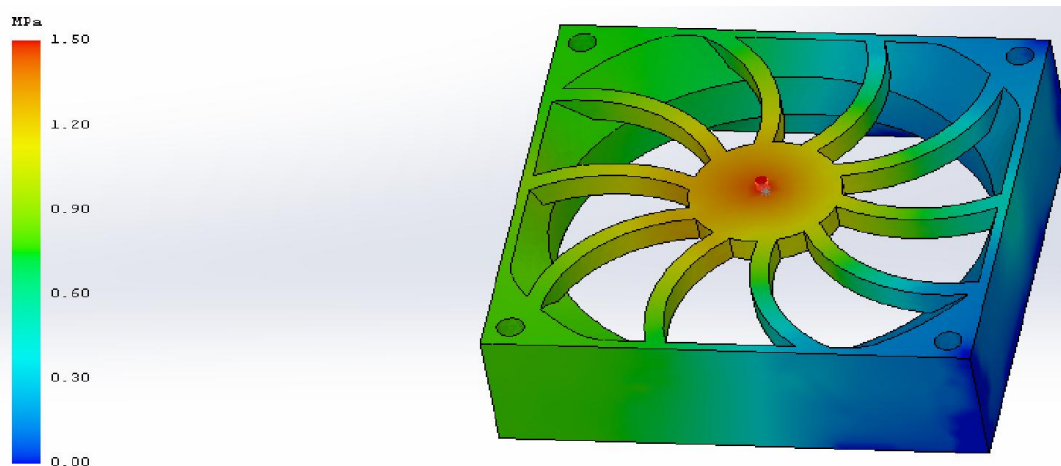


Слика 116. Време убризгавања за PS3

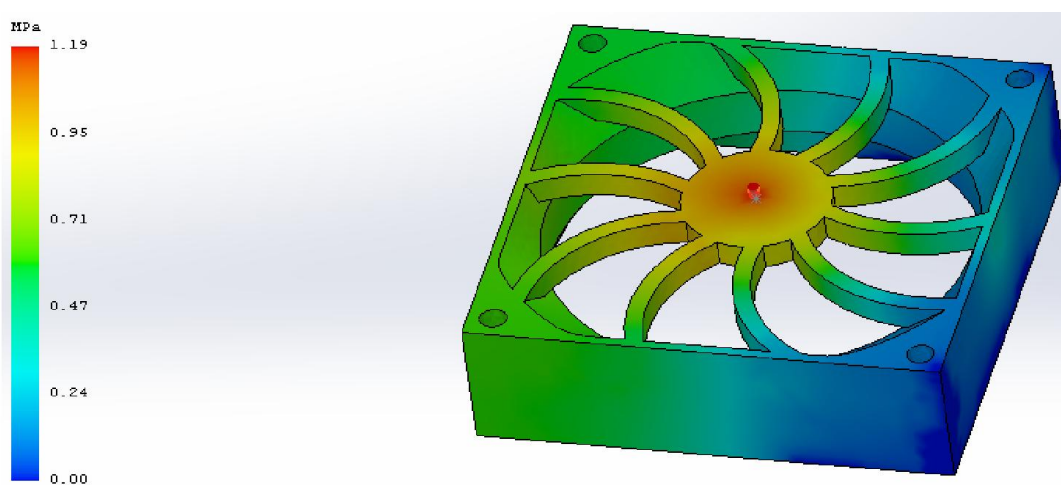
- ПРИТИСАК НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 117. Притисак након убризгавања за PS

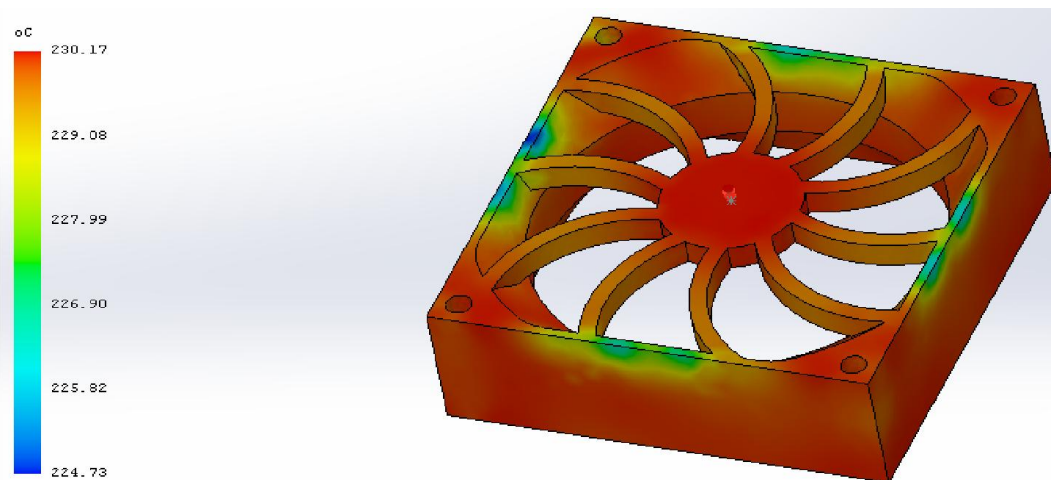


Слика 118. Притисак након убризгавања за PS2

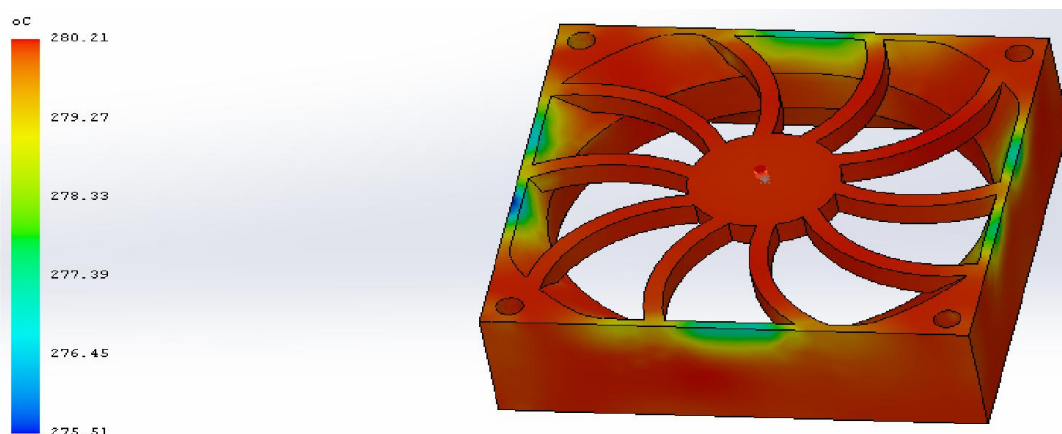


Слика 119. Притисак након убризгавања за PS3

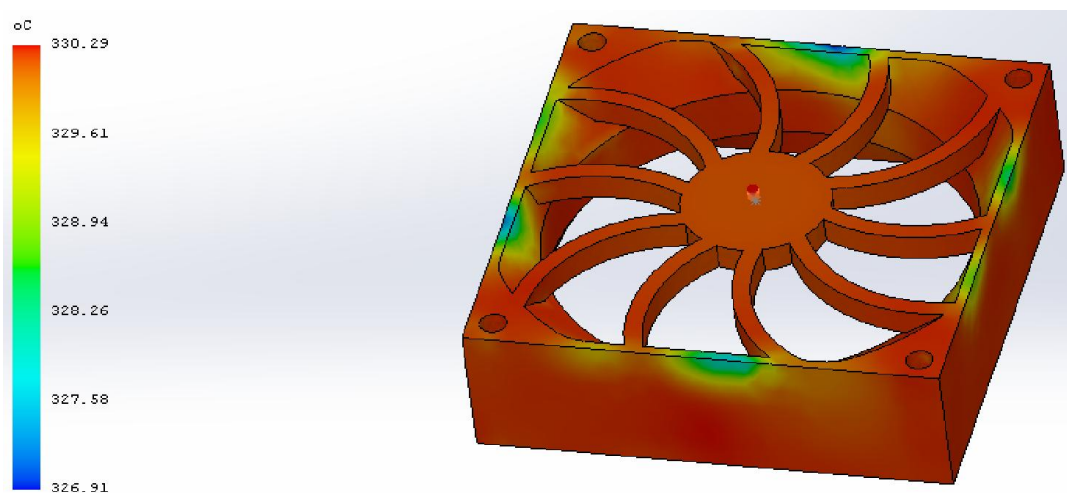
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 120. Температура након убризгавања за PS

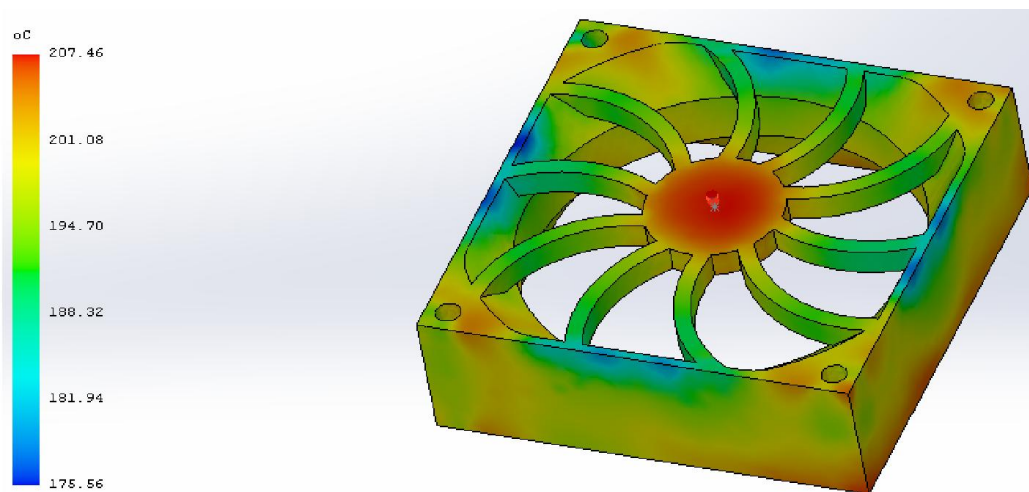


Слика 121. Температура након убризгавања за PS2

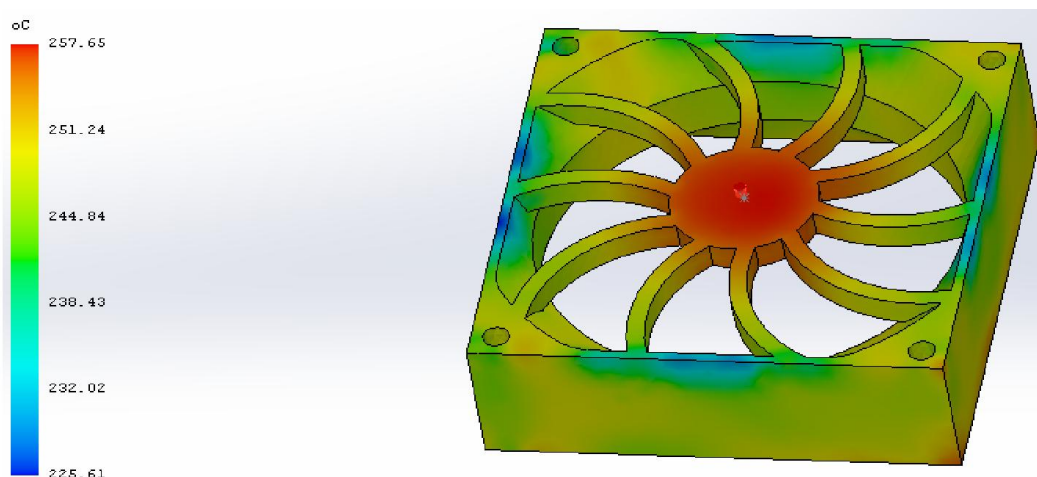


Слика 122. Температура након убризгавања за PS3

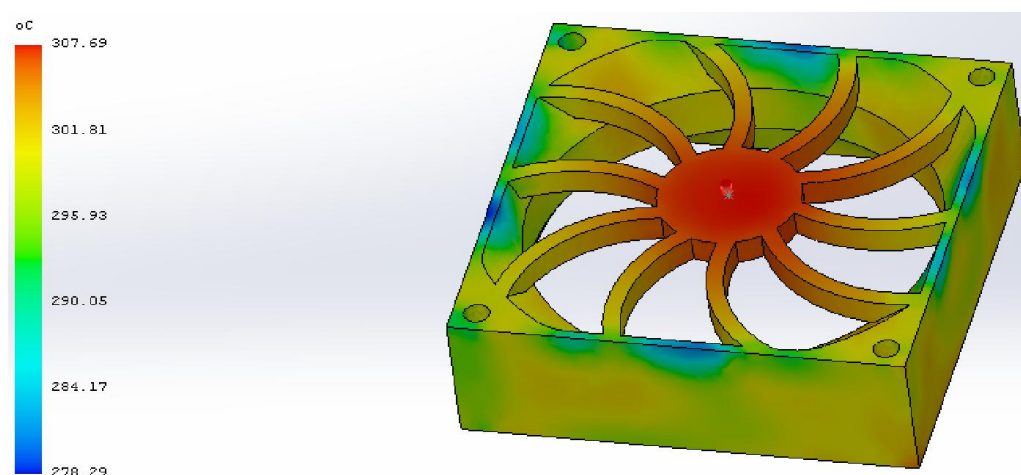
- СРЕДЊА ВРЕДНОСТ ТЕМПЕРАТУРЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 123. Средња вредност температуре након убризгавања за PS

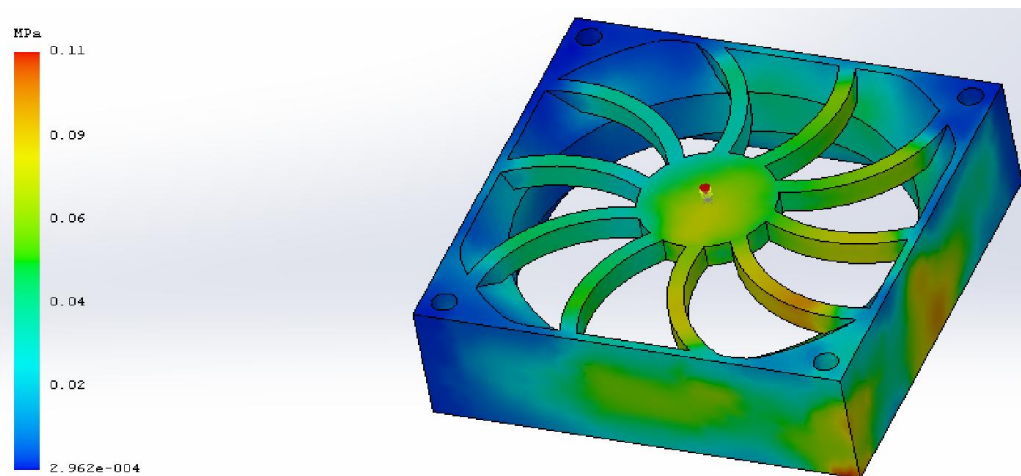


Слика 124. Средња вредност температуре након убризгавања за PS2

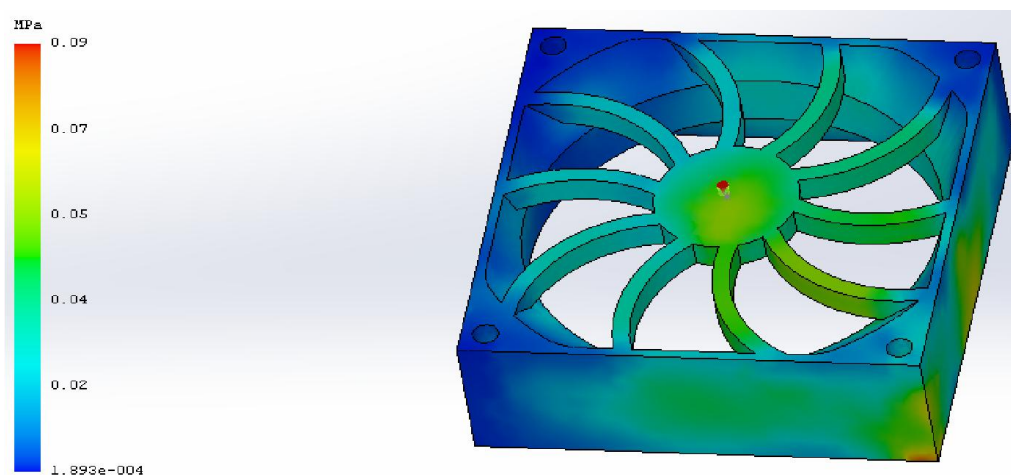


Слика 125. Средња вредност температуре након убризгавања за PS3

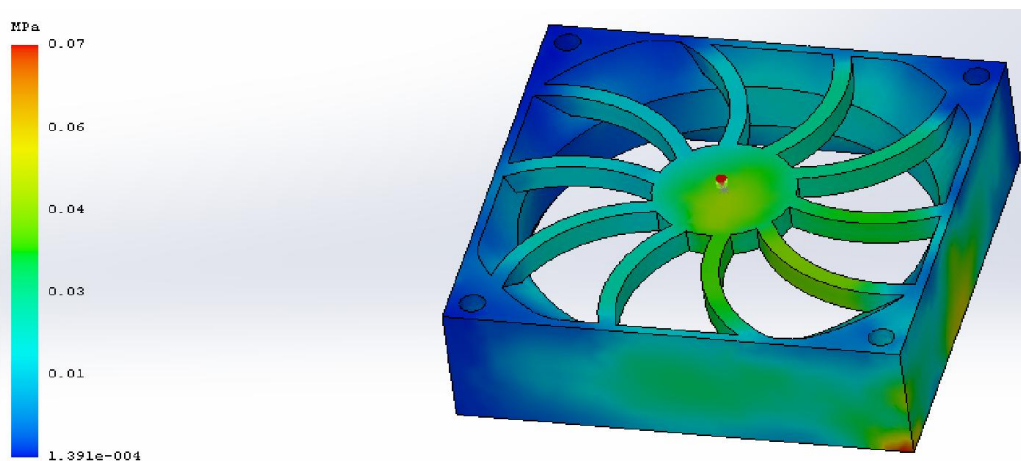
- НАПОН СМИЦАЊА НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 126. Напон смицања након убризгавања за PS

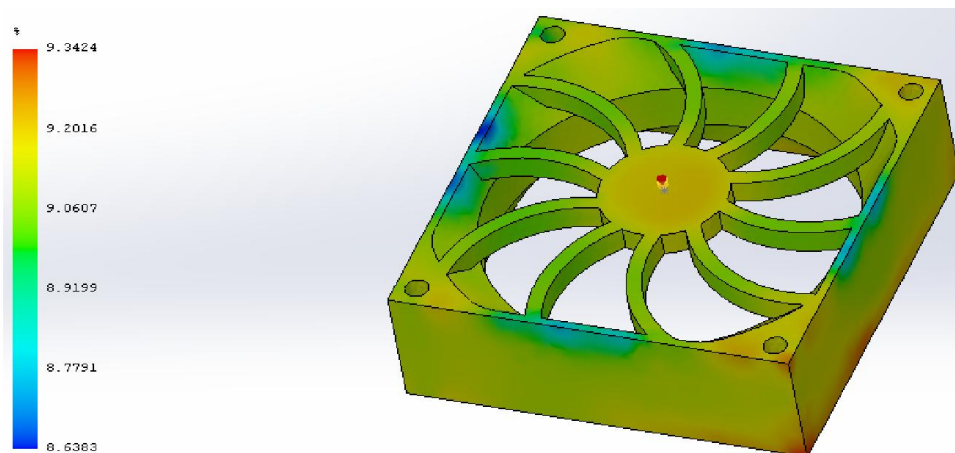


Слика 127. Напон смицања након убризгавања за PS2

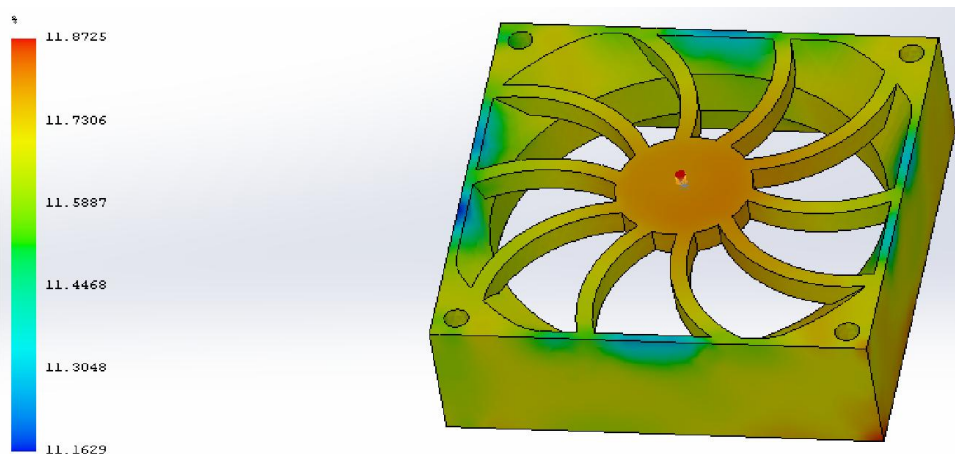


Слика 128. Напон смицања након убризгавања за PS3

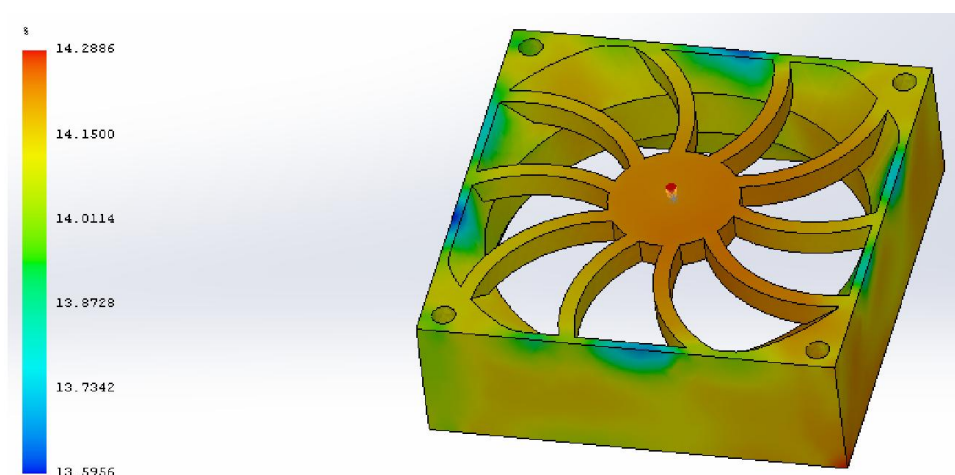
- СКУПЉАЊЕ НАКОН УБРИЗГАВАЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 129. Скупљање након убризгавања за PS

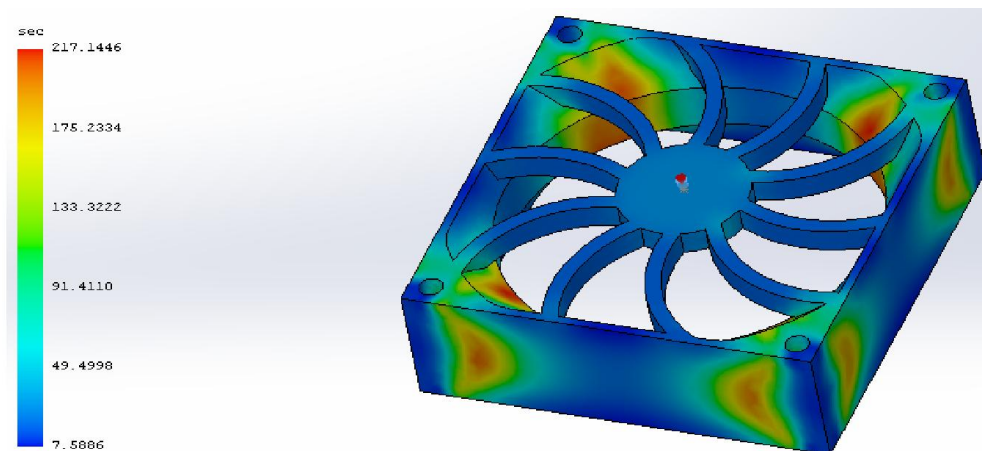


Слика 130. Скупљање након убризгавања за PS2

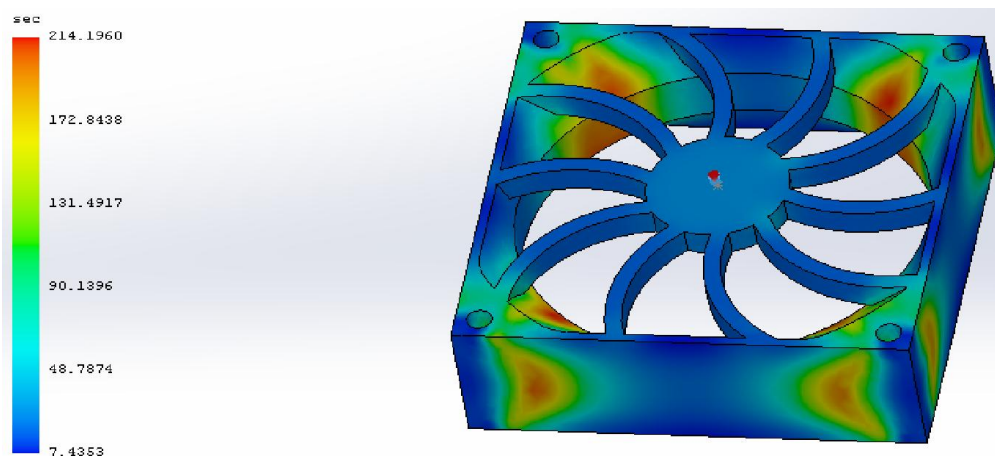


Слика 131. Скупљање након убризгавања за PS3

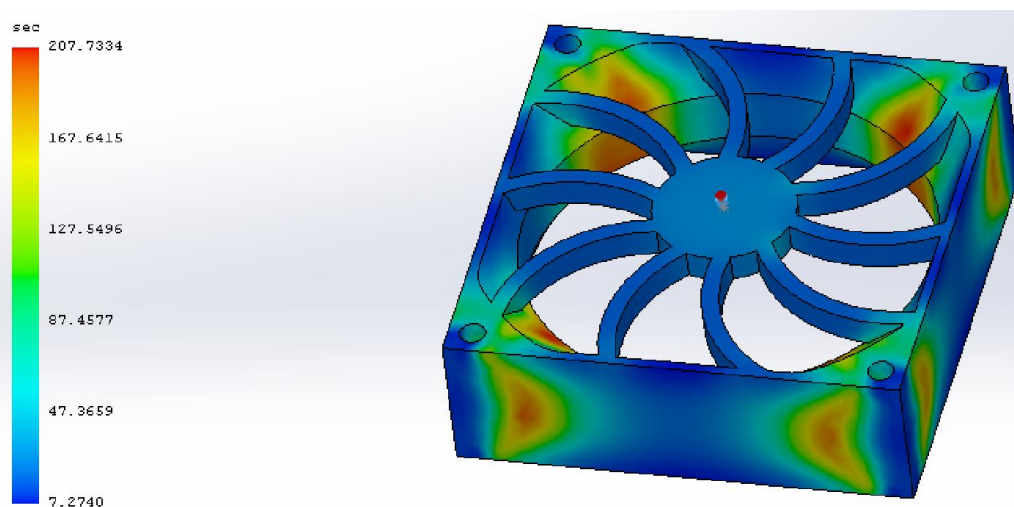
- ВРЕМЕ ХЛАЂЕЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 132. Време хлађења за PS

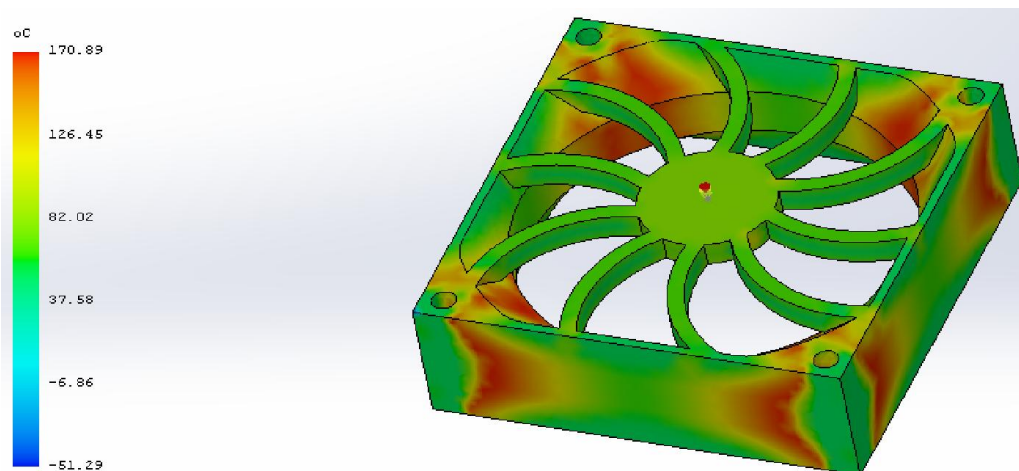


Слика 133. Време хлађења за PS2

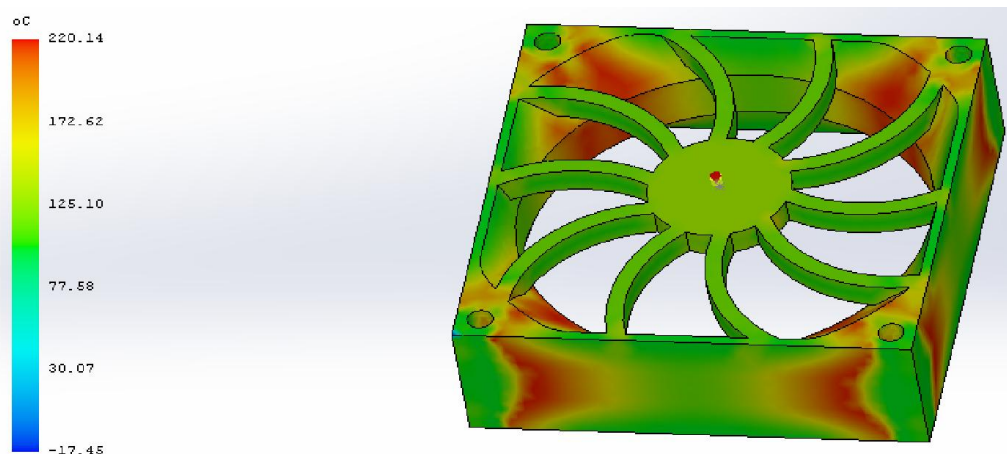


Слика 134. Време хлађења за PS3

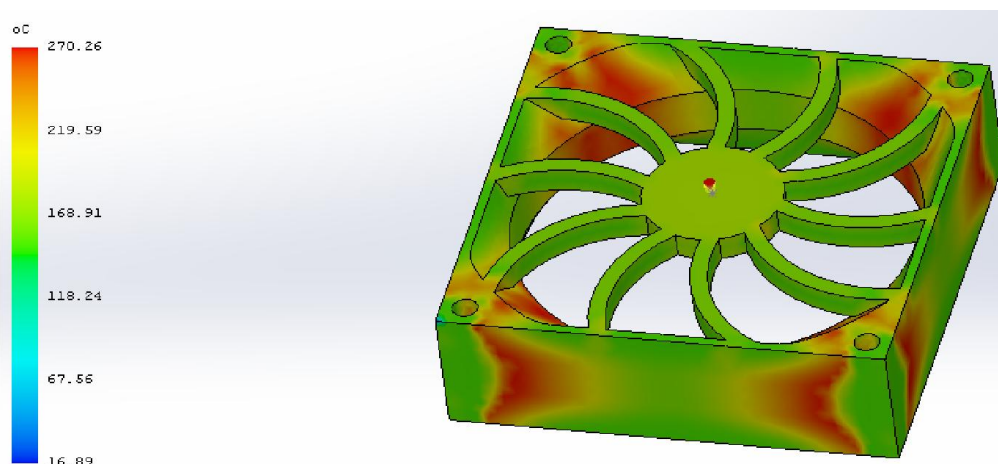
- ТЕМПЕРАТУРА НАКОН ХЛАЂЕЊА (PS, PS2, PS3)



Слика 135. Температура након хлађења за PS



Слика 136. Температура након хлађења за PS2



Слика 137. Температура након хлађења за PS3

Табела 3. Резултати процеса

	Полимери		
	PS	PS2	PS3
Време убризгавања	1.8065 s	1.8070 s	1.8072 s
Притисак након убризгавања	2.24 MPa	1.50 MPa	1.19 MPa
Температура након убризгавања	230.17 °C	280.21 °C	330.29 °C
Средња вредност температуре након убризгавања	207.46 °C	257.65 °C	307.69 °C
Напон смицања након убризгавања	0.11 MPa	0.09 MPa	0.7 MPa
Скупљање након убризгавања	9.3424 %	11.8725 %	14.2886 %
Време хлађења	217.1446 s	214.1960 s	207.7334 s
Температура након хлађења	170.89 °C	220.14 °C	270.26 °C

На основу добијених резултата при промени температурних параметара, дошло је до неких промена у виду да повећањем температурских параметара долази до смањења притиска након убризгавања, смањења напона смицања након убризгавања, скупљање након убризгавања се повећава, и потребно је мање време хлађења приликом веће температуре.

5. Закључак

Због развоја индустрије условио је брз развој производње полимера и непрестано ширење њихове употребе у различитим подручјима:

- Телекомуникациона опрема
- Електронска опрема
- Аутомобилска индустрија
- Дечије играчке
- Рачунари и рачунарске компоненте

Главни разлог наглог ширења употребе пластичних маса треба тражити у немогућности повећања производње природних материјала тако брзо као што расте потреба за њима.

Захтеви на тржишту стално расту, тако да ниво квалитета и прецизност израде делова од пластичних маса морају бити све бољи. Захваљујући томе веома је важно грешке и проблеме у планирању, пројектовању, производњи и контроли свести на минимум како би задржали конкуретност. Ови процеси се данас углавном спроводе применом CAD/CAM/CAE система. Код ових система се управљање пројектовањем и производњом обавља преко рачунара, чиме се постижу значајна побољшања у односу на примену старијих принципа рада. Предности примене CAD/CAM/CAE система се постижу у следећим сегментима пројектовања и производње:

- 2D и 3D модела
- Генерисање техничког цртежа дела
- Прорачуни
- Технолошки поступци
- NC програми за машине

SolidWorks је само један од програмских пакета који омогућавају пројектовање модела и извођење симулације који ће приказати како изгледа виртуелно убризгавање пластике пре него што се изведе у реалном простору.

У овом случају било је потребно видети да ли ће доћи до неких промена вредности резултата симулације уколико се користе различите мреже и различити полимери. Резултати су показали да нема већих промена и да су резултати за обе мреже готово једнаки. Док се код промене температурних параметара могле видети значајне промене у виду да се притисак смањује при повећању температуре, да се скупљање повећава и да је брже хлађење на већим температурама.

6. Литература

1. Богдан Недић, Владислав Ђукић, **Пластичне масе**, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
2. Богдан Недић, **Технологије прераде пластичних маса**, Машински факултет, Крагујевац, 2008.
3. Миланка Ђипоровић, **Композити**, Шумарски факултет, Београд.
4. Ковач Незир, **Одређивање затезних својстава пластичних маса према стандарду ЈУСГ.С2.612**, Семинарски рад, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ, Зеница, 2010.
5. Боштјан Жагор, **Развој технологије темперирања с термоелектричним модули и употреба в предели полимерних материјала**, Докторска дисертација, Факултет за електротехнику, Љубљана, 2008.
6. <http://www.gradst.hr/Portals/9/docs/katedre/Gradjevinski%20materijali/web/POLIMERNI%20%20MATERIJALI.pdf>, април 2014.
7. www.orpal.si/storitve/tehnologija-brizganj, септембар 2014.